保存用

受付
10.4.13
係2

共同研究報告書
整理番号第202号

車間側方コントロールシステムの開発に関する共同研究報告書

―土木研究所における機能検証実験を中心として―

平成10年3月

建設省土木研究所
道路部高度道路交通システム研究室

(財)道路新産業開発機構
沖電気工業(株)
オムロン(株)
小糸工業(株)
昭和電線電纜(株)
住友電気工業(株)
星和電機(株)
(株)デンソー
(株)東芝
トヨタ自動車(株)
名古屋電機工業(株)
日産自動車(株)
日本電気(株)
日本無線(株)
(株)日立製作所
日立電線(株)
(株)フジクラ
富士通(株)
古河電気工業(株)
本田技研工業(株)
松下通信工業(株)
マツダ(株)
三菱自動車工業(株)
三菱電機(株)
三菱電線工業(株)

Copyright©(1998) by P.W.R.I.
All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.
この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共同研究報告書
第202号 1998年3月

車間側方コントロールシステムの開発に関する共同研究報告書

―土木研究所における機能検証実験を中心として―

建設省土木研究所
道路部高度道路交通システム研究室

(財)道路新産業開発機構
沖電気工業(株)
オムロン(株)
小糸工業(株)
昭和電線電纜(株)
住友電気工業(株)
星和電機(株)
(株)デンソー
(株)東芝
トヨタ自動車(株)
名古屋電機工業(株)
日産自動車(株)
日本電気(株)
日本無線(株)
(株)日立製作所
日立電線(株)
(株)フジクラ
富士通(株)
古河電気工業(株)
本田技研工業(株)
松下通信工業(株)
マツダ(株)
三菱自動車工業(株)
三菱電機(株)
三菱電線工業(株)

要旨

車間側方コントロールシステムは、道路側からの連続通信によって車両の走行を支援するシステムである。走行支援の形態としては連続情報提供、運転補助、完全自動運転等が想定される。車間側方コントロールシステムを実現するためには道路交通状況等の情報を収集するインフラセンシング技術、車両との通信を行う連続通信技術、ドライバに情報を提供、あるいは車両を制御する車両技術等の多岐に亘る技術開発が必要となる。本報告書は平成7年度に土木研究所試験走路で実施した連続情報提供、完全自動運転の基礎実験及びインフラ、通信に関する要素技術検討結果等について記述したものである。

キーワード：車間側方コントロールシステム、連続通信、自動運転

序　車間側方コントロールシステム研究体制

1）研究体制

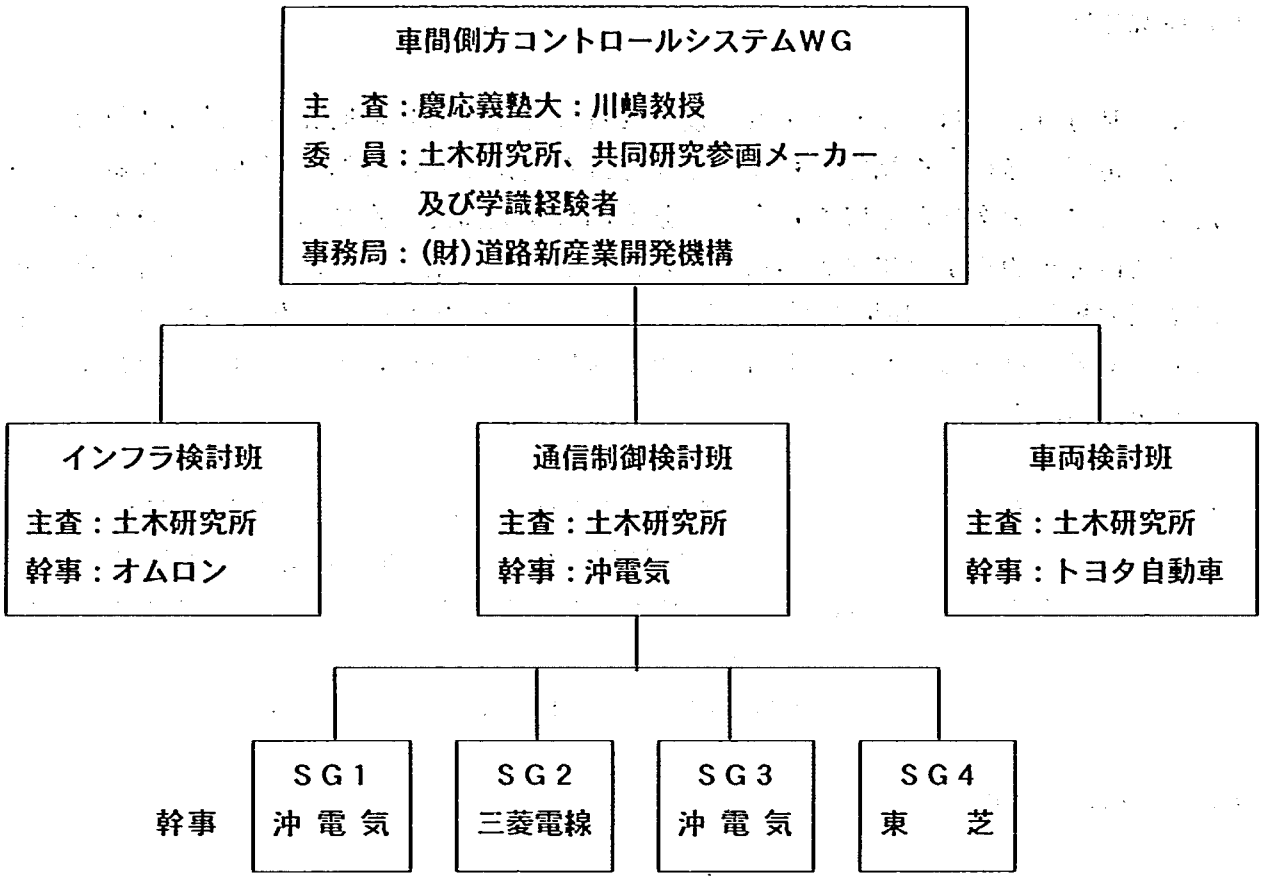
車間側方コントロールシステム（以下ＡＨＳと称する）の開発は、道路技術のみではなく電気、通信、機械等の様々な産業分野が連携した研究開発が必要となる。そのため、これらの多様な分野を統合し、効率的な研究開発を進めるために建設省研究所等共同研究実施規定（建設省訓第７号）に基づき甲（土木研究所）、乙（(財）道路新産業開発機構）、丙（民間企業２４社）により研究体制を構築した。各機関の主な業務分担関係は以下のとおりである。なお、丙に関しては前述の共同研究規定に基づき公募を行い決定した。

（1）土木研究所　：研究全体の方向性の決定、基幹技術の研究開発、民間研究技術の相互調整、担当部分の技術研究開発等
（2）(財)道路新産業開発機構：民間企業相互の分担調整、共同研究運営に関する諸事務等
（3）民間メーカー　：担当部分の技術研究開発等

2）研究体制の概要

ＡＨＳの効率的な研究開発を進めるために前述の共同研究体制下に、図序-1 に示す車間側方コントロールシステムＷＧを構築した。ＷＧの下部検討班として道路交通に関する情報収集技術を検討するインフラ検討班、路車間の連続通信技術を検討する通信制御班、車両に関する表示、制御技術を検討する車両班を編成した。また、研究の方向性、研究内容に関して学術的な大局的助言、方向性の指示を受けるために慶應義塾大学理工学部川嶋弘尚教授にＷＧの主査をお願いした。

図序-1　車間側方コントロールシステム研究体制



インフラ検討班：画像センサ、個別事象検出のためのセンサの開発等

通信制御検討班：ＬＣＸ通信性能の向上（各種通信特性）の検討（SG1)、ＬＣＸの性能向上（指向性付加、広帯域化）の検討（SG2)、ＡＨＳ（自動運転道路システム）走行実験データによる通信特性の評価（SG3)、通信ネットワークに関するシステムデザインの検討（SG4)

車両検討班：車両位置制御・車両位置把握手法の開発、実験車（前方道路危険警告機能、自動運転機能）の制作

車間側方コントロールシステムＷＧ　委員名簿

主査

慶応義塾大学 理工学部 教授	川嶋 弘尚

委員

慶応義塾大学 理工学部 教授	小澤 愼治
早稲田大学 人間科学部 人間健康科学科 教授	石田 敏郎
建設省土木研究所 道路部長	中村　亮
	(中垣 光弘)
建設省土木研究所 道路部道路交通総括研究官	常田 賢一
	(中村　亮)
建設省土木研究所 道路部総合交通安全研究官	高島 一彦
	(松村 哲男)
建設省土木研究所 道路部 高度道路交通システム研究室長	上田　敏
建設省土木研究所 道路部 高度道路交通システム研究室 研究員	今長 信浩
建設省土木研究所 道路部 高度道路交通システム研究室 研究員	村田 重雄
通商産業省生命工学工業技術研究所 生体情報部 神経情報研究室長	赤松 幹之
日本道路公団 技術部 交通技術課長	古川　健
首都高速道路公団 交通管制部 交通施設課長	森川 邦雄
阪神高速道路公団 業務部 交通管制課長	清水 正朝
	(江原　武)
トヨタ自動車(株) 東富士研究所 第一ＦＰ部 主査	青木 啓二
沖電気工業(株) ＴＳＥセンタ　部長	工藤 安人
オムロン(株) 道路管理システム事業部 システム技術課長	東　秀雄
小糸工業(株) 研究開発室 課長	若林 義道
昭和電線電纜(株) ネットワークシステム開発室 部長代理	大橋 省吾
住友電気工業(株) システム事業部 第二技術部長	金崎　穣
星和電機(株) 第二事業部 第三営業技術課	村山 光弘
(株)デンソー 開発１部 開発２３ 担当部員	永縄　浩
(株)東芝 通信官公システム営業第一部 部長代理	石川 省三
名古屋電機工業(株) システム開発部 システム開発課 主任技師	長屋 保視
日産自動車(株) 電子情報研究所 主任研究員	押上 勝憲
	(保坂 明夫)
日本電気(株) ＩＴＳ事業推進本部 システム担当部長	白田　清

日本無線(株) ｼｽﾃﾑ機器事業部 情報ｼｽﾃﾑ技術部 道路情報課 担当部長	五代　均
(株)日立製作所 システム事業部 公共システム部 技師	堀江　武
日立電線(株) 電線事業部 副技師長	石川 一徳
(株)フジクラ 情報伝送事業部 情報技術部 技術課 課長補佐	小川 幸三
富士通(株) ＩＴＳ事業推進本部 担当部長	石坂　允
古河電気工業(株) 光伝送事業部 技術部 部長補佐	庄子 民雄
	(大久保正紀)
本田技研工業(株)	
((株)本田技術研究所　和光基礎技術研究ｾﾝﾀｰ 基礎研究室 ﾁｰﾌｴﾝｼﾞﾆｱ)	高橋 文孝
松下通信工業(株) 情報ｼｽﾃﾑ事業部 ＩＴＳ推進室	伊藤　功
マツダ(株) 技術研究所 主任	香川八州男
三菱自動車工業(株) 乗用車開発本部 電子技術部グループ長	山田 喜一
三菱電機(株) 自動車機器事業部 開発企画担当部長	大西 辰彦
三菱電線工業(株) 自動車部品事業部 岡崎開発センター 開発部長	猪俣 輝久

事務局

(財)道路新産業開発機構 専務理事	角町　洋
(財)道路新産業開発機構 ＩＴＳ統括研究部長	村田 迪夫
技術参与	(増田芳太郎)
(財)道路新産業開発機構 ＩＴＳ統括部 調査役	小川 寛一
企画開発部　調査役	(吉海　達)

作業協力

(株)三菱総合研究所 社会システム部 地域基盤システム室 研究員	加藤　勲
(株)三菱総合研究所 社会基盤部 政策技術システム室 副研究員	池田 朋広

車間側方コントロールシステムの開発に関する共同研究報告書　詳細目次
－土木研究所における機能検証実験を中心として－

車間側方コントロールシステム研究体制

1章　車間側方コントロールシステム（ＡＨＳ）の概要 …… 1
1．1　まえがき …… 1
1．2　ＡＨＳ開発の背景 …… 3
1．2．1　道路交通問題解決への社会的要請 …… 3
1．2．2　システムのねらいとシステム機能の方向性 …… 4
1．3　ＡＨＳ開発の経緯 …… 6
1．4　ＡＨＳの機能 …… 7
1．4．1　連続情報提供警告 …… 7
1）前方道路危険警告機能 …… 7
2）非常時通報機能 …… 7
3）周辺車両位置表示警告機能 …… 8
1．4．2　運転補助 …… 9
1）追突防止機能 …… 9
2）車線逸脱警告機能 …… 9
1．4．3　自動運転レベル …… 10
1．5　ＡＨＳ研究項目 …… 11

2章　ＡＨＳ実験 …… 13
2．1　ＡＨＳ実験施設の概要 …… 13
2．1．1　ＬＣＸと下位、上位情報処理装置 …… 13
2．1．2　レーンマーカー …… 14
2．1．3　画像情報処理装置 …… 14
2．1．4　ＡＶＭ、ＣＣＴＶ装置 …… 14
2．2　ＡＨＳ実験機能 …… 15
2．2．1　前方道路危険警告機能 …… 15
2．2．2　自動運転基礎実験 …… 15

3章　実験システムの構成 …… 16
3．1　インフラ実験システム …… 16
3．1．1　ＡＨＳ成立に必要な情報内容と運用可能センサ …… 16
3．1．2　事象検知の基礎実験 …… 18
1）実験 …… 18

（1）実験の概要 …… 18
（2）実験の状況 …… 18
（3）実験項目 …… 19
①車両速度及び車両存在位置 …… 19
②車両停止位置検知 …… 19
③落下物検知 …… 19
④火災検知 …… 19
（4）実験機器 …… 19
2）考察 …… 20
（1）車両速度及び車両存在位置 …… 20
①可視カメラ …… 20
②低照度カメラ …… 20
（2）車両停止位置検知 …… 21
①可視カメラ …… 21
②赤外線カメラ …… 21
③低照度カメラ …… 21
（3）落下物検知 …… 23
①可視カメラ …… 23
②赤外線カメラ …… 23
③低照度カメラ …… 23
（4）火災検知 …… 24
①可視カメラ …… 24
②赤外線カメラ …… 24
③低照度カメラ …… 25
（5）可視カメラと低照度カメラの総合的な比較 …… 25
3．2 通信システム …… 26
3．2．1 AHSにおける通信形態 …… 26
1）通信形態の整理 …… 26
2）通信方式の比較 …… 28
（1）無線方式の比較 …… 28
①次世代の通信システムとして考えられる無線方式 …… 28
②広域無線ゾーン …… 29
③連続小無線ゾーン …… 29
④ケーブルによる無線ゾーン …… 29
⑤経済比較 …… 30
⑥次世代道路交通システムに有効な通信方式 …… 30
（2）ケーブル方式の比較 …… 31
3）通信システム構築イメージ …… 32
（1）関連条件の整理 …… 32

①データ更新時間に関する条件 …… 32
②安全車間距離に関する考え方 …… 32
（2）通信システムの概要 …… 34
①通信制御機器の構成 …… 34
②通信プロトコルの概要 …… 34
③情報量と収集伝達方法 …… 37
④課題の抽出 …… 38
3．2．2 ＬＣＸ基礎実験 …… 40
1）実験目的 …… 40
（1）準マイクロ波帯(1.5GHz 及び 2.6GHz)の
2波を使用する理由 …… 40
（2）伝送速度 512Kbps 及び 64Kbps を使用する理由 …… 40
2）実験装置 …… 41
（1）概要 …… 41
（2）実験装置諸元 …… 41
①送信側測定器 …… 41
②受信側測定機器 …… 41
3）実験内容 …… 43
（1）概要 …… 43
（2）実験項目 …… 44
①電界強度分布実験１ …… 44
②Bit 誤り率の測定１ …… 44
③電界強度分布実験２ …… 44
④Bit 誤り率の測定２ …… 45
⑤その他 …… 45
4）実験結果 …… 46
（1）基本実験結果 …… 46
①周波数による比較 …… 46
②ＬＣＸの設置高による比較 …… 47
③受信アンテナによる変化 …… 48
④速度による変化 …… 48
⑤ＬＣＸの伝送損失 …… 49
⑥必要な送信出力 …… 49
（2）追加実験結果 …… 49
①遮蔽物の影響について …… 50
②車両アンテナ設置位置の影響について …… 51
（3）実験結果のまとめ …… 51
3．2．3 通信システムの構成・機能 …… 52
1）通信制御機器の構成 …… 52
2）各機器の機能 …… 52

（1）下位情報処理装置 …… 52
（2）上位情報処理装置 …… 52
（3）無線送受信機 …… 52
（4）漏洩同軸（ＬＣＸ） …… 53
（5）車両位置表示装置（ＡＶＭ） …… 53
（6）ＣＣＴＶモニタ装置 …… 53
3．2．4　通信システムの実験結果 …… 56
1）評価作業概要と評価項目 …… 56
（1）評価作業の目的 …… 56
（2）作業項目と作業内容 …… 56
①アンケート調査 …… 56
②プロトコルアナライザ（ラインモニタ）での計測 …… 56
③ストップウォッチ／ロジックアナライザによる
伝送時間計測 …… 57
④下位装置、車載無線制御部収集データ解析 …… 62
⑤処理装置の能力 …… 62
⑥伝送時間自動計測 …… 62
2）評価結果 …… 62
（1）システム機能評価 …… 62
①評価項目と結果 …… 63
②考察 …… 67
（2）システム性能評価 …… 68
①伝送時間の評価 …… 68
②処理能力の評価 …… 82
（3）処理方式に関する評価 …… 86
①通信プロトコルの妥当性 …… 87
②異常処理方式 …… 89
③車載機インターフェイス …… 90
（4）動作確認評価 …… 91
①通信プロトコル …… 91
②路側ネットワーク …… 97
③インフラ装置Ｉ／Ｆ …… 97
④車載無線制御部インターフェイス …… 98
⑤その他 …… 99
（5）実験課題 …… 100
3）資料編 …… 101
3．3　車両システム …… 129
3．3．1　前方道路危険警告機能実験車 …… 129
1）概要 …… 129

2）実験車その１（住友電気工業株式会社） …… 129
（１）車両機能 …… 129
（２）機器構成 …… 130
①情報処理機器 …… 130
②情報提供機器 …… 131
3）実験車その２（トヨタ自動車株式会社） …… 133
（１）車両機能 …… 133
（２）機器構成 …… 133
①情報処理機器 …… 133
②情報提供機器 …… 133
4）実験車その３（日産自動車株式会社） …… 137
（１）車両機能 …… 137
（２）機器構成 …… 137
①情報処理機器 …… 137
②情報提供機器 …… 138
5）実験車その４（マツダ株式会社、古河電気工業株式会社） …… 142
（１）車両機能 …… 142
（２）機器構成 …… 145
①情報処理機器 …… 146
②情報提供機器 …… 149
6）実験車その５（本田技研工業株式会社） …… 150
（１）車両機能 …… 150
（２）機器構成 …… 150
①情報処理機器 …… 151
②情報提供機器 …… 151
7）実験車その６（三菱自動車工業株式会社） …… 153
（１）車両機能 …… 153
（２）機器構成 …… 153
①情報処理機器 …… 153
②情報提供機器 …… 154
8）実験車その７（三菱電機株式会社） …… 156
（１）機器構成 …… 156
①情報処理機器 …… 156
②情報表示機器 …… 159
3．3．2 自動運転基礎実験車 …… 162
1）概要 …… 162
2）実験車その１（本田技研工業株式会社・
住友電気工業株式会社） …… 163
（１）車両機能 …… 163
（２）機器構成 …… 164

①通信機器、情報処理機器 …… 164
②情報表示機器 …… 165
③車両制御機器 …… 166
3）実験車その２（トヨタ自動車株式会社） …… 169
（1）車両機能 …… 169
（2）機器構成 …… 170
①通信機器 …… 170
②情報処理機器 …… 172
③情報提供機器 …… 175
④車両制御機器 …… 176
⑤制御方式 …… 176
（3）車両制御データ …… 178
①操舵制御（操舵角度、横偏差値） …… 178
②車間距離制御（設定車間距離、車速） …… 179
4）実験車その３（日産自動車株式会社） …… 180
（1）車両機能 …… 180
（2）機器構成 …… 181
①情報処理機器 …… 181
②車載センサ構成 …… 182
③ソフトウェア構成 …… 183
④車車間通信 …… 184
⑤情報表示仕様 …… 184
⑥情報提供例 …… 186
⑦車両制御機器 …… 187
（3）制御手法 …… 188
①前後制御 …… 188
②側方制御 …… 189
（4）性能評価結果 …… 190
①車間制御 …… 190
②側方制御 …… 190
5）実験車その４（三菱自動車工業株式会社・三菱電機株式会社） …… 191
（1）車両機能 …… 191
（2）機器構成 …… 191
①通信機器 …… 191
②情報処理機器 …… 193
③情報提供機器 …… 193
（3）車両制御手法 …… 194
①車両制御機器 …… 194
②操舵制御 …… 197
③速度制御 …… 198

（4）車両制御データ …… 199
①横変位量 …… 199
②設定車間距離と変動量 …… 200

4章　AHS開発のための基礎検討、実験項目 …… 204
4．1　インフラセンサに関する検討 …… 204
4．1．1　画像センサによる道路、交通状況把握のための各種事象把握実験 …… 204
1）画像処理による渋滞監視システム …… 204
（1）インフラ班（渋滞監視）の活動目的 …… 204
（2）実験 …… 204
①実験の目的 …… 204
②実験の手順 …… 204
③現場撮影状況 …… 205
④評価解析方法 …… 207
（3）実験結果 …… 210
①評価の前提 …… 210
②速度系 …… 210
③占有率系 …… 210
④交通量系 …… 210
⑤結果一覧 …… 211
（4）考察 …… 211
（5）今後の課題 …… 211
画像処理による渋滞監視システムデータシート …… 212
2）画像処理による停止車両検知 …… 219
車両停止検知・カバーエリアの評価 …… 219
（1）目的 …… 219
（2）実験 …… 219
①実験概要 …… 219
②実験場所 …… 220
③実験期間 …… 220
④実験方法 …… 220
⑤評価・解析手法 …… 231
（3）実験結果 …… 233
（4）考察 …… 244
①検出範囲 …… 244
②時間計測精度 …… 245
③位置計測精度 …… 245
車両停止の細分化判定 …… 249
（1）目的 …… 249

（2）実験 …… 249
①概要 …… 249
②実験収録環境 …… 250
③実験手順 …… 251
④実験機器構成 …… 252
（3）評価方法 …… 252
（4）評価内容 …… 253
①通常停止、急停止 …… 253
②蛇行、本線逸脱、横向き …… 253
（5）実験結果 …… 254
①昼間の実験　パターン1（停止位置：カメラから40m） …… 254
②昼間の実験　パターン2（停止位置：カメラから100m） …… 258
③夜間の実験　パターン1（停止位置：カメラから100m） …… 262
④夜間の実験　パターン2 …… 265
（6）考察 …… 267
①通常停止、急停止 …… 267
②蛇行、本線逸脱、横向き …… 267
実フィールドでの事故映像データの評価 …… 269
①実験目的 …… 269
②実験状況 …… 269
③解析手法 …… 269
④解析結果 …… 270
⑤考察 …… 270
今後の課題について …… 281
①実環境における検出エリアの検討 …… 281
②悪条件下での検証 …… 281
データ集 …… 282
4．1．2　画像センサによる事象検知の基礎実験 …… 444
1）路面湿潤検知［実験1／3］ …… 444
（1）実験目的 …… 444
（2）実験概要（試験設置概要） …… 444
①機器構成 …… 444
②試験設置機器 …… 444
③設置方法 …… 445
④試験設置期間 …… 445
⑤試験設置場所 …… 445
⑥実験条件 …… 445
⑦評価項目 …… 446
⑧実験及びデータ収集 …… 447
（3）検出原理 …… 450

（4）実験データに対する評価 …… 451
（5）降雨時のデータに対する評価 …… 452
（6）夕暮れにおける評価 …… 452
2）路面湿潤検知［実験2／3］ …… 462
（1）実験目的 …… 462
（2）画像収集状況 …… 462
①検討用画像データ …… 462
②時系列データ …… 462
（3）解析手法 …… 463
①テクスチャー解析手法 …… 463
②解析装置 …… 463
（4）解析結果 …… 463
①検討用画像データを用いた路面状況解析 …… 463
②時系列データを用いた路面状況解析 …… 465
（5）まとめ …… 465
（6）課題 …… 466
3）路面湿潤検知［実験3／3］ …… 483
（1）概要 …… 483
（2）目的 …… 483
（3）原理 …… 483
（4）実験方法 …… 486
①路面の乾燥状態及び湿潤状態を判別させるための基礎実験 …… 486
②時間的に変化する路面水分量を判別するための基礎実験 …… 488
（5）実験器具 …… 489
（6）解析結果 …… 489
（7）検討・考察 …… 499
4）路面凍結検知 …… 501
（1）はじめに …… 501
（2）路面凍結検知用光ファイバセンサに関する基礎実験 …… 501
①実験目的 …… 501
②光ファイバセンサケーブルの構造選定 …… 501
③光ファイバセンサの埋設方法の検討と伝送損失の測定 …… 503
④繰り返し荷重試験によるケーブルの耐久性確認 …… 506
⑤実験結果のまとめ …… 509
（3）建設省新潟試験場構内における凍結検知実験 …… 510
①目的 …… 510
②実験方法 …… 510
③実験結果 …… 512
④簡易シミュレーションによる路面凍結予測の可能性検討 …… 516
⑤本実験結果のまとめ …… 522

（4）実道路（国道18号）における凍結検知実験 …… 523
①実験目的 …… 523
②実験方法 …… 523
③実験結果 …… 524
④凍結予測システムの検討 …… 531
（5）今後の課題 …… 536
①簡易な路面濡れセンサの検討 …… 536
②凍結予測手法の高精度化検討 …… 536
（6）付録 …… 537
①実験結果拡大図 …… 537
②簡易シミュレーション結果拡大図 …… 541
③新潟試験場構内における凍結検知実験状況 …… 546
④実道路における凍結検知実験状況
（光ファイバセンサ埋設状況） …… 548
5）霧検知 …… 549
（1）実験の目的 …… 549
（2）実験場所 …… 549
①映像データ収集 …… 549
②評価解析 …… 549
（3）実験方法 …… 549
①実験項目 …… 549
②実験方法 …… 549
③実験機器の構成 …… 550
④実験内容 …… 550
（4）評価解析結果 …… 551
①可視カラーカメラによる評価 …… 551
②可視白黒カメラによる評価 …… 556
③赤外線カメラによる評価 …… 565
6）トンネル内煤煙 …… 580
（1）実験の目的 …… 580
（2）実験の方法 …… 580
（3）実験の体制 …… 580
（4）実験の手順 …… 581
（5）実験報告の概要 …… 581
基礎実験－Ⅰ （映像収録） …… 583
（1）映像収録 …… 584
①概要 …… 584
②実験用機器の構成 …… 585
③カメラ設置条件 …… 586
④照明種類 …… 587

⑤目標物等の設置状況 …… 588
⑥透過率 …… 588
（2）フィールド映像の検討 …… 589
①概要 …… 589
②日時 …… 589
③検討方法 …… 589
基礎実験Ⅱ－1 …… 591
（1）画像処理手法の検討 …… 592
①基礎検討 …… 592
②基礎検討の結果 …… 592
③検討のまとめ …… 595
（2）エッジ検出による試行 …… 595
①概要 …… 595
②試行結果 …… 596
（3）考察とまとめ …… 600
①画像処理手法に関して …… 600
②照明種別による差異 …… 600
（4）今後の方針 …… 600
基礎実験Ⅱ－2 …… 601
（1）概要 …… 602
（2）評価に使用した指標 …… 602
①濃度抽出処理による指標数値化 …… 602
②コントラスト抽出による指標数値化 …… 602
（3）評価結果 …… 602
①濃度抽出処理による評価結果 …… 602
②コントラスト抽出処理による評価結果 …… 602
③真値との相関について …… 603
（4）考察 …… 603
基礎実験Ⅱ－3 …… 607
（1）概要 …… 608
（2）検討方法 …… 608
（3）検討結果 …… 609
①空気の透過率とエッジ出力値の相関性 …… 609
②エッジ出力値による透過率の推定 …… 613
（4）考察 …… 613
（5）まとめ …… 618
（6）今後の課題 …… 618
7）越波 …… 619
（1）実験概要 …… 619
（2）実験の概要 …… 619

①実験映像 …… 619
②実験概要 …… 619
（3）まとめと課題 …… 623
①まとめ …… 623
②課題 …… 623
8）飛砂センサ …… 624
（1）目的 …… 624
（2）理論 …… 624
①飛砂 …… 624
②開発目標 …… 625
③センサの検討 …… 626
（3）補助センサ …… 628
①音響式センサ外形図 …… 628
②圧電型加速度センサ …… 629
③特徴 …… 630
④周波数特性 …… 630
（4）フィールド実験 …… 630
①実験目的 …… 630
②実験方法 …… 630
③実験結果 …… 631
④考察 …… 631
4．1．3 画像センサ以外のセンサによる事象検知の基礎検討 …… 635
1）音による交通状況検知 …… 635
（1）研究目的 …… 635
（2）検討1：車両から発生する音の音圧レベルの
時間変化と周波数分布の特性評価 …… 635
①実験目的 …… 635
②実験状況 …… 636
③解析手法 …… 637
④解析結果 …… 637
⑤今後の検討課題 …… 639
（3）検討2：音による通過車両検知 …… 650
①実験目的 …… 650
②実験状況 …… 650
③解析手法 …… 651
④解析結果 …… 651
⑤今後の検討課題 …… 652
（4）総論 …… 652
4．2 通信システムにおける基礎実験 …… 656

4．2．1　ＬＣＸの各種通信特性の検討 …… 656
1）電波干渉と最適設置間隔の検討 …… 656
（1）同一区間の最適設置間隔（区間中央の給電部） …… 657
①実験の目的 …… 657
②実験の方法 …… 657
③実験結果 …… 658
（2）異なる区間の最適設置間隔（区間端部の境界部） …… 661
①実験の目的 …… 661
②実験の方法 …… 661
③実験結果 …… 661
（3）接続区間の最適設置間隔（区間途中のＬＣＸ接続部） …… 664
①実験の目的 …… 664
②実験の方法 …… 664
③実験結果 …… 665
（4）車載アンテナの変更による干渉エリアの変化 …… 665
①実験の目的 …… 665
②実験の方法 …… 665
③実験結果 …… 666
2）外部要因による電波の乱れと対策 …… 669
（1）塩分、汚れの影響把握 …… 669
①実験の目的 …… 669
②実験の方法 …… 669
③実験の結果 …… 669
（2）車両アンテナの変更による障害車両対策 …… 671
①実験の目的 …… 671
②実験の方法 …… 671
③実験結果 …… 672
3）ＬＣＸの布設方法検討 …… 679
（1）近傍の障害物による影響 …… 679
①実験の目的 …… 679
②実験の方法 …… 679
③実験結果 …… 679
（2）トラフ内布設 …… 686
①実験の目的 …… 686
②実験の方法 …… 686
③実験結果 …… 687
4．2．2　ＬＣＸの指向性検討（指向性付加、広帯域化） …… 697
1）指向性ＬＣＸの検討 …… 697
（1）2.6GHz 帯供試ＬＣＸの特性 …… 697
①構造 …… 697

②円周方向指向性の測定 …… 697
（2）指向性付加のＬＣＸの検討 …… 705
①電波吸収体貼り付け形ＬＣＸ …… 705
②水平偏波形ＬＣＸ …… 706
③指向性付加ＬＣＸの今後の課題 …… 708
（3）改善効果確認のためのフィールド実験結果 …… 713
①実験の目的 …… 713
②実験条件 …… 713
③試料 …… 714
④実験方法 …… 716
⑤実験結果 …… 719
2）広帯域ＬＣＸの検討 …… 732
（1）各社の検討状況のとりまとめ …… 732
（2）１条で80MHz帯～2600MHz帯までカバーする
広域帯ＬＣＸの検討 …… 733

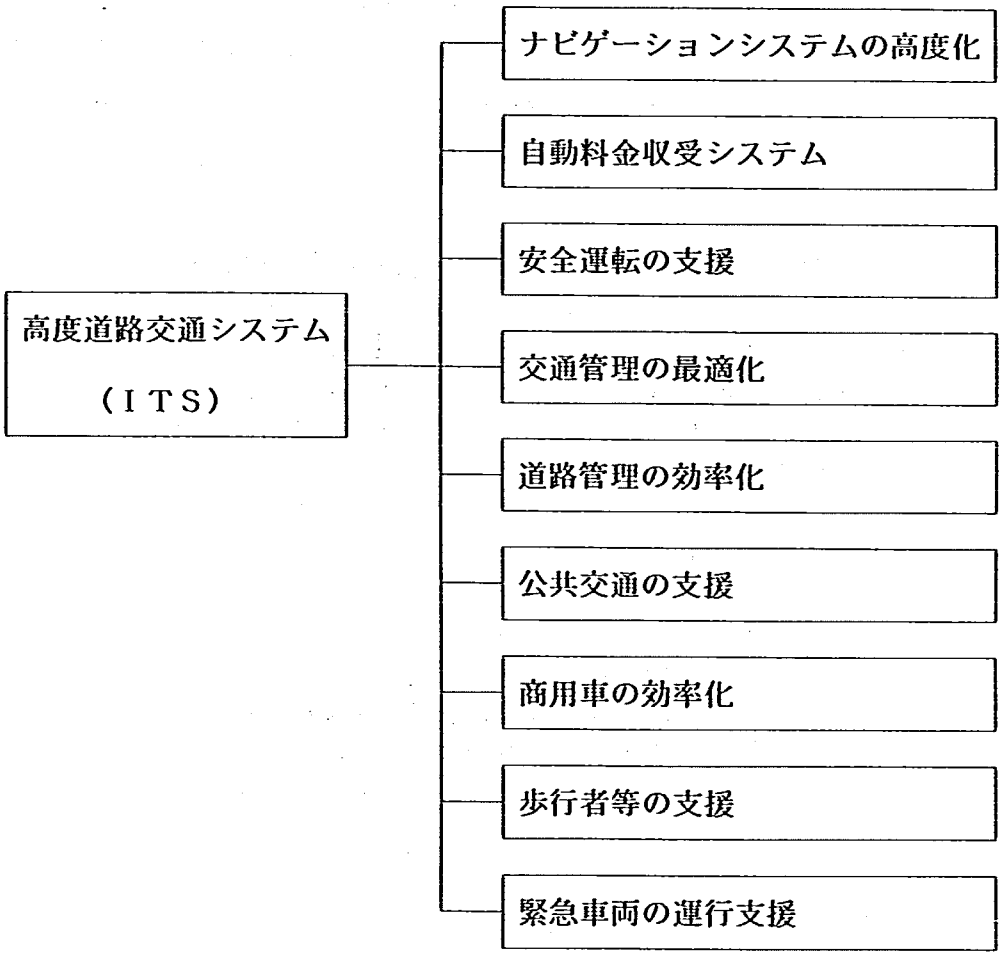
研究担当者一覧

１章　車間側方コントロールシステム（ＡＨＳ）の概要

１．１　まえがき

現在、世界では発展の著しい電気・通信技術等を活用して様々な産業分野の高度情報化が図られている。我が国においても1995年２月に「高度情報通信社会推進に向けた基本方針」を策定した。これは、情報通信インフラの整備に積極的に取り組む姿勢を内外に示すとともに2000年までを先行投資期間とし、光ファイバ網については「2010年を念頭に早期の全国整備を目指す」と、政府で初めて整備目標年次を盛り込んだ。中でも公共分野の情報化は「我が国全体の情報化の起爆剤」として期待されている。

図表(1.1)-1　ＩＴＳの開発分野

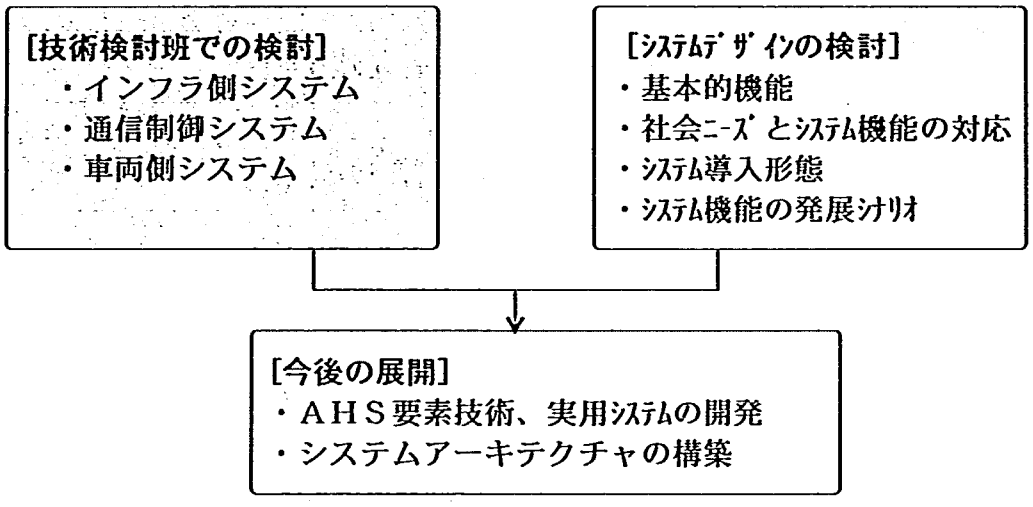


道路、交通、車両の情報化はこの公共分野の情報化の一つとしてあげられ最先端の情報通信技術を用いて道路と車を一体のシステムとして構築し、安全性の向上を達成し、環境保全に資する高度道路交通システムの推進を図ることを目的としている。このため、政府は学民と連携を図り、ナビゲーションシステムの高度化、自動料金収受システムの確立、安全運転の支援、交通管理の最適化、道路管理の効率化など、高度道路交通システムの全体構想を策定し、システムを構成する車載機、インフラなどに関する研究開発、フィールドテスト、普及を推進している。

車間側方コントロールシステム（以下ＡＨＳと称する）はこのＩＴＳ分野の中の安全運転の支援を主な目的とし、さらに道路管理の効率化等を目指して開発を進めており、道路と車の連続通信による危険情報の提供、アクセルやブレーキ制御などの運転補助、完全自動運転の実現を目的としている。本報告書はこれら研究成果の内、平成７年度に実施した各種実験結果を中心に記述したものである。

なお、ＡＨＳの基本的機能、社会ニーズとの対応、システム導入形態、発展シナリオ等については別途「車間側方コントロールシステム　システムデザイン」としてシステムアーキテクチャ構築に向けて検討した。これらについては本報告書とは別にとりまとめており、本報告書では１章に簡単に記述するにとどめている。

図表(1.1)-2　共同研究での検討の枠組みと本報告書での検討範囲



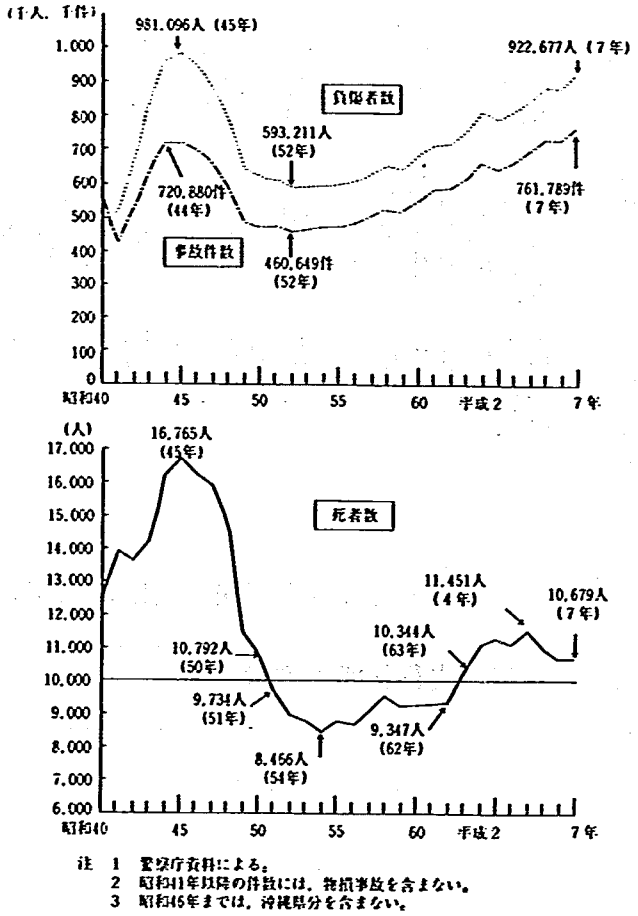
１．２　ＡＨＳ開発の背景

１．２．１　道路交通問題解決への社会的要請

道路交通は社会経済の発展に大きく貢献し、社会システムの中で重要な役割を果たしているが、一方では、交通事故の多発、渋滞発生、環境への悪影響といった社会問題も引き起こしている。交通事故に関しては、年間死亡者が１万人以上に達する水準で推移している。また、都市部を中心に交通渋滞が慢性化しており、効率的な経済活動を阻害している。また、沿道環境の悪化、地球環境との不調和、エネルギー消費の増大といった問題が顕在化し、これらの問題の解決が強く求められている。

また、21世紀に向けてより豊かさを享受できる社会を形成していかなければならないとともにその一方では、高齢化の進展など社会経済活動の制約となる現象も生じるため道路交通面においてもドライバの負担をできるだけ軽くするシステムの実現が要請される。

図表(1.2.1)-1　道路交通事故による死傷者、負傷者数及び事故件数の推移



注　1　警察庁資料による。
　　2　昭和41年以降の件数には、物損事故を含まない。
　　3　昭和45年までは、沖縄県分を含まない。

出所：交通安全白書（平成8年）

１．２．２　システムのねらいとシステム機能の方向性

ＡＨＳは道路側と車両側との間の情報のやりとりを通じてシステムの目的を果たす機能とこれに車両の制御が加わった機能を含む。

図表(1.2.2)-1　ＡＨＳのねらいと対応の可能性

ねらい		システム対応の方向性	
安全性の向上	事故防止	・危険事象のﾄﾞﾗｲﾊﾞ認知支援	・視野外の危険事象情報の提供 ・周辺車両の接近、死角内の車両の存在に関する情報の提供
		・安全確保のためのﾄﾞﾗｲﾊﾞ判断の支援	
		・安全確保のためのﾄﾞﾗｲﾊﾞ操作の支援	・車両への追突、落下物への衝突等を防止する制御 ・速度、車間、車線内走行等、適切な走行状態を確保する制御 ・ｱｸｾﾙ・ﾌﾞﾚｰｷ・ﾊﾝﾄﾞﾙ等運転操作に関わる適切な制御
	非常時の迅速・的確な対応	・緊急連絡の支援	・異常事態発生時における車両から管理者側への緊急発信
輸送効率の向上	道路容量の向上	・安全性を保持した状態での車間距離の短縮	・車間を縮めながらも安全な走行状態を保つ制御 ・車群としての走行制御
	交通流の円滑化	・道路を有効利用するためのﾄﾞﾗｲﾊﾞ操作支援	・適正な速度を維持する制御 ・合流・分流を適正な速度、タイミングで行う制御
	交通安全確保（異常気象等の時の交通確保のための機能）	・安全確保のためのﾄﾞﾗｲﾊﾞの認知、判断、操作支援	・周辺の走行環境、交通状況に関する情報提供・危険警告、車両制御
運転負荷の軽減		・ドライバの行うべき認知、判断、操作の支援	
環境への影響の軽減		・適正な走行状態の維持	

図表(1.2.2)-2　ＡＨＳによる道路交通の課題への対応・高度化

ねらい	ＡＨＳによる 道路交通の課題への対応・高度化の内容
安全性の向上	・悪条件下での安全な走行（通行できるという道路本来の機能の維持と安全走行の実現） －積雪・寒冷地域での通行確保 －濃霧、強風、豪雨、地吹雪、飛砂、越波等気象条件の厳しい地域における安全走行の確保 －過密交通下での安全走行の確保 －地形の険しい地域での安定した走行の確保（曲線、勾配箇所、トンネルなど各々の線形に合った走行） ・危険回避の早期化による事故の発生あるいは拡大の防止 ・ドライバ、同乗者、自車両、自車周辺の異常の即時通報による被害拡大防止 ・個人のハンディキャップの軽減 －高齢者、身障者でも安心して利用できる道路交通の実現
輸送効率の向上	・道路容量の実質的な拡大による渋滞の軽減 ・物流の効率化 －ドライバの負荷軽減（群走行の実現によるドライバの適正配置化等） ・悪条件下（霧等）での安全走行が可能になることによる通行止め等規制の軽減 ・車線利用率の是正 ・サグ、トンネル入口等での速度低下の防止
環境への影響の軽減	・排ガスの低減 ・騒音・振動の低減 ・エネルギー消費の軽減
運転負荷の軽減	・長距離走行、渋滞等が原因となる疲労の軽減 －ドライバに大きな負担をかけない帰省、行楽 －高齢者、身障者の自由な移動

１．３　ＡＨＳ開発の経緯

ＡＨＳの開発には車両、通信、インフラセンシング等に関する様々な要素技術の開発が必要となる。そこで平成元年度より、システム形態の構築、システムを構成する要素技術の抽出を実施した。平成３年度から平成５年度までは抽出した要素技術の内、最も基幹となる路車間通信について基礎的な通信形態の検討及び通信実験を実施した。路車間通信の形態としては、ＶＩＣＳに代表される間欠極小ゾーン方式と連続通信方式の二方式が想定される。

ＡＨＳは車両の制御までを想定しており通信に求められる条件としては常時接続、リアルタイム、高精度等の条件が上げられるため、連続デジタル通信方式について実験を実施した（３章参照）。その結果、連続デジタル通信方式によって良好な通信が確保されることが確認された。

平成元年度から平成５年度までの研究成果を受けて平成６年度からはＡＨＳを構成する車両、通信、インフラの技術開発に着手し、平成７年度に土木研究所試験走路３km区間を利用しＡＨＳの情報提供レベルである前方道路危険警告及び自動運転基礎実験を実施した。平成８年度は平成７年度の実験で課題として上げられた実環境下でのＡＨＳ機能評価実験を実施した。なお、年度毎に本研究を実施した体制についてに図表(1.3)-1に示す。

図表(1.3)-1　ＡＨＳの研究体制

年　度	体　制	成果等
平成元年度 ～平成２年度	建設省土木研究所単独研究 （（財）道路新産業開発機構自主研究）	――――
平成３年度 ～平成５年度	建設省土木研究所と（財）道路新産業開発機構間での共同研究 研究名：次世代道路交通システムの開発に関する研究	共同研究報告書：中・長期にわたる次世代道路交通システムの開発（その１） ［発行：建設省土木研究所、（財）道路新産業開発機構、平成５年12月］
平成６年度 ～平成８年度	建設省土木研究所と（財）道路新産業開発機構間での共同研究 研究名：車間側方コントロールシステムの開発に関する研究	共同研究報告書：車間側方コントロールシステムの開発（その１）及びＡＨＳ（その２） ［発行：建設省土木研究所、平成９年３月］ 報告書：車間側方コントロールシステム（ＡＨＳ）システムデザイン ［発行：（財）道路新産業開発機］

１．４　ＡＨＳの機能

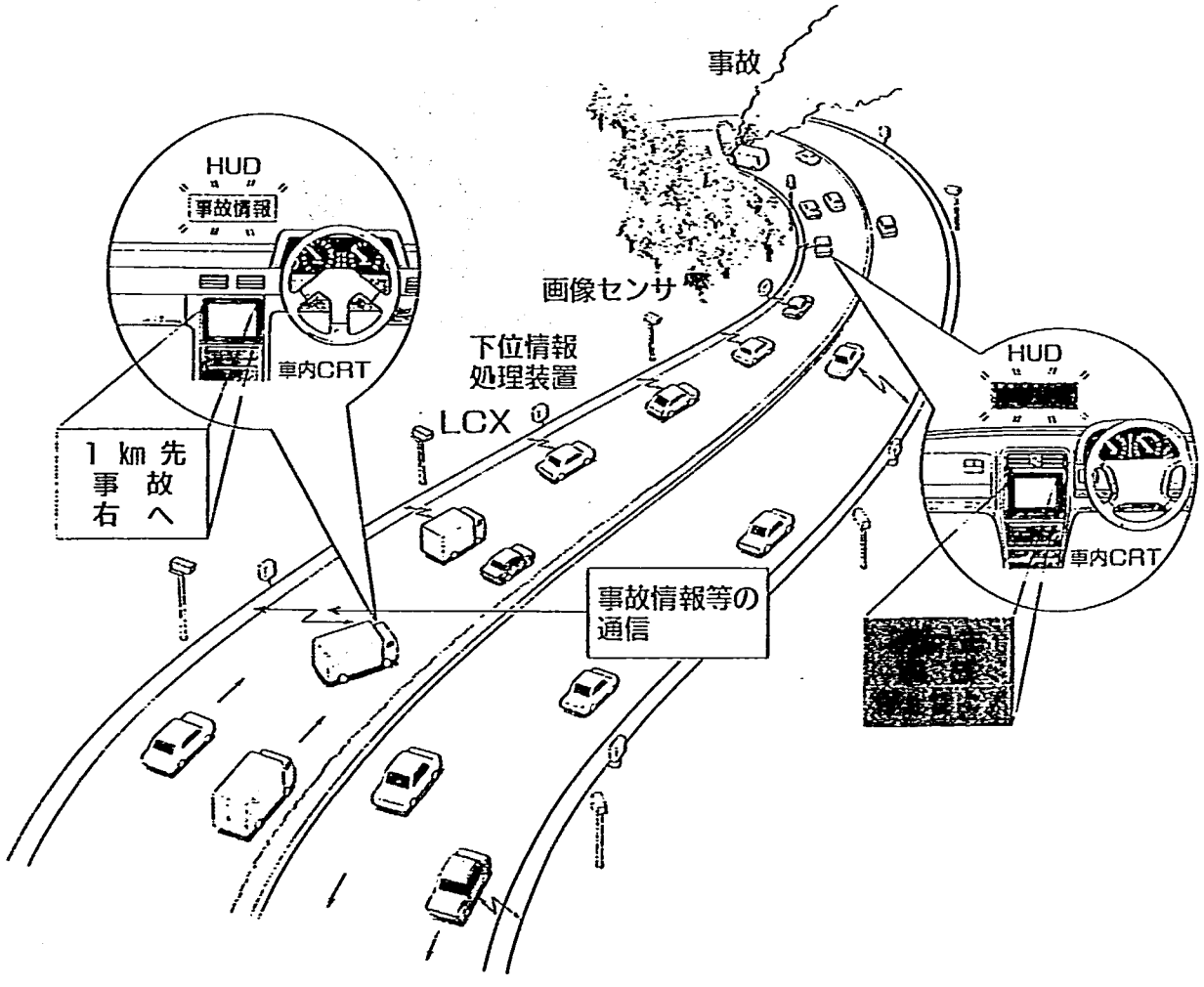
ＡＨＳは車両、インフラの整備レベルによっていくつかの導入形態が想定される。以下にそれらの概要について記述する。

１．４．１　連続情報提供警告

１）前方道路危険警告機能

道路に設置されたインフラセンサが道路上で発生した事故等の異常事象を瞬時に把握し、連続通信によって後続車に警告を行う機能である。この機能によって多重衝突事故の被害軽減が可能となる。

図表(1.4.1) 1-1　前方道路危険警告機能実験のイメージ



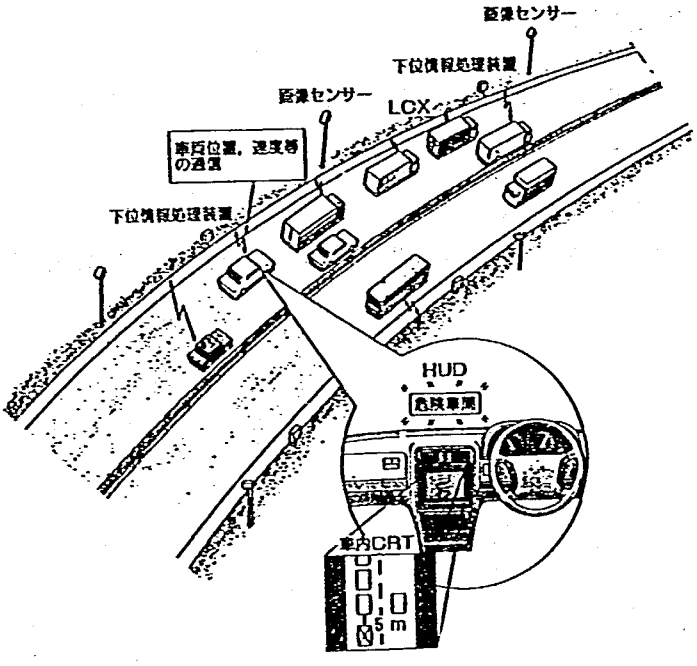
２）非常時通報機能

道路上で発生した各種事象（事故、渋滞等）や自車の異常（車両、ドライバ）を連続通信を通して道路管理者等に通報する。この機能により道路管理者等は異常事態の発生を迅速に把握することが可能となる。

3）周辺車両位置表示警告機能

自車周辺の車両の存在、挙動（速度等）をドライバに伝達する。この機能により悪天候時や分・合流時の走行支援、異常接近車の警告が可能となる。

図表(1. 4. 1) 3-1　周辺車両位置表示機能

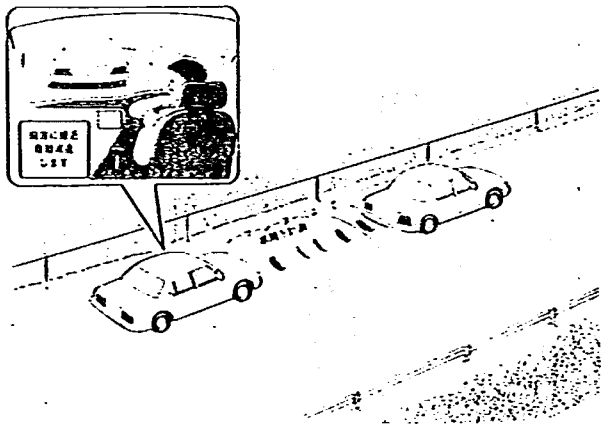


１．４．２　運転補助

１）追突防止機能

前車との車間が危険車間になった場合、ドライバに警告の上、必要に応じてアクセル、ブレーキを自動制御する。なお、アクセルやブレーキの制御はＬＣＸから送信されてくる路面状況等を反映する。

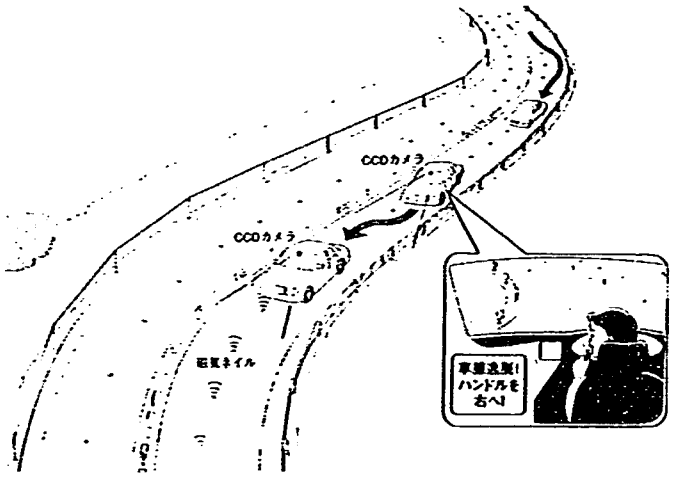
図表(1.4.2) 1-1　レーダによる車間維持機能



２）車線逸脱警告機能

側方走行車や路肩等との位置を計測し、ドライバが危険な車線変更や車線逸脱を起こしそうになった場合、警告、必要に応じてステアリングの制御を行う。

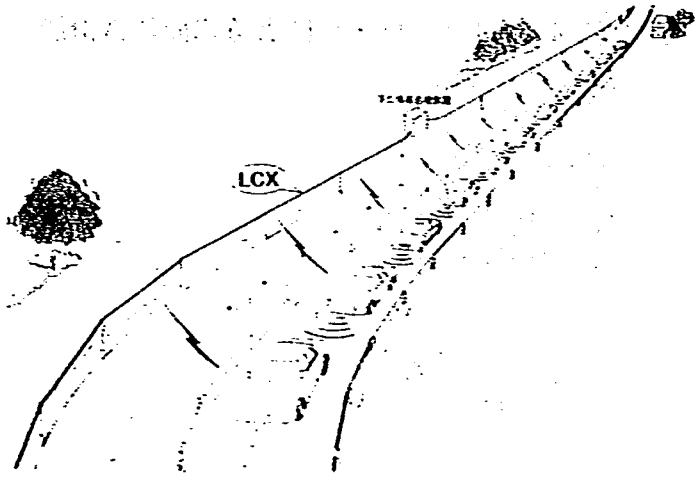
図表(1.4.2) 2-1　車線逸脱警告



１．４．３　自動運転レベル

連続通信からの情報と車両制御機能を組み合わせにより完全な自動運転を行う。導入の形態によって専用車線での自動運転や一般車線での混在下の自動運転が想定される。

図表(1.4.3) 1-1　自動運転機能（車群走行の例）



１．５　ＡＨＳ研究項目

ＡＨＳの開発に向けて本共同研究においては、インフラセンサ、通信制御、車両に関する様々な研究開発課題について実験を中心とした検討を行った。

本共同研究における検討テーマを図表(1.5)-1に示す。

図表(1.5)-1　共同研究における検討テーマと担当検討班(1/2)

○：共同研究報告書「土木研究所における機能検証実験を中心として」にて報告
●：共同研究報告書「上信越道における実道路実験を中心として」にて報告
◎：上記２者にて報告

研究目的	研究項目	担当		
		インフラ	通信制御	車両
・車間及び側方のコントロールに必要な各種情報収集技術の確立	・道路・交通状況に関する情報を高精度、自動、時間連続的にｾﾝｼﾝｸﾞ可能な画像ｾﾝｻの開発			
	－渋滞監視	◎		
	－落下物検知	●		
	－停止車両検知	◎		
	・AHSに必要な個別の事象情報を高精度、自動、時間連続的にｾﾝｼﾝｸﾞ可能な画像ｾﾝｻの開発			
	－路面湿潤検知	◎		
	－路面凍結検知	◎		
	－霧検知	○		
	－ﾄﾝﾈﾙ煤煙検知	◎		
	－越波検知	○		
	－飛砂検知	◎		
	－ＤＧＰＳによる車両位置検知	●		
	・上記画像ｾﾝｻ以外のｾﾝｻの開発			
	－音ｾﾝｻ(交通状況検知)	◎		
	・実環境下での情報収集装置の機能検証			
	－情報伝送時間の検証	●		
	－性能検証	●		

図表(1.5)-1　共同研究における検討テーマと担当検討班(2/2)

研究目的	研究項目	担当		
		インフラ	通信制御	車両
・高度(リアルタイム、連続)な路車間無線通信システムの構築に資する通信媒体(LCX)及びその活用方法の確立	・LCXの通信特性の見極めと活用方法の確立 －電波干渉対策 －外乱要因対策 －適切な布設方法の確立 ・通信特性を向上させたLCXの開発 －指向性の付与 －広帯域化		 ○ ○ ○ ○ ○	
・高度(リアルタイム、連続)な路車間無線通信システムの構築	・LCXを用いた路車間通信システムの伝送時間、処理能力等の評価 ・通信、情報提供に関するシステム機能・性能評価 ・実道路における通信特性の検証 －電界強度と誤り率の測定 －通信機能、性能、信頼性、方式、操作性		○ ○ ● ●	
・実用化に向けた通信ネットワークの構築	・通信ネットワークに関するシステムデザインの確立		●	
・情報提供・警告機能、自動運転機能を満たす車両の開発	・前方道路危険警告機能実験車の開発 －前方道路危険警告機能の検証 －非常時通報機能の検証 －ヒューマンインターフェイスの情報提供機能検証 ・自動運転基礎実験車の開発 －LCX通信を用いた車間コントロールシステムの開発 －磁気ネイルセンサを用いた側方コントロールシステムの開発 －ヒューマンインターフェイスの情報提供機能検証 －道路構造(縦断・横断勾配、道路線形)を反映した車両制御機能の検証 －車載機器の外乱要因対策(天候、路面凹凸、乗車人員の影響の把握) ・複合技術の検証 －各種想定機能の有効性の検証 －車群制御技術の開発		 ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ● ● ● ●	

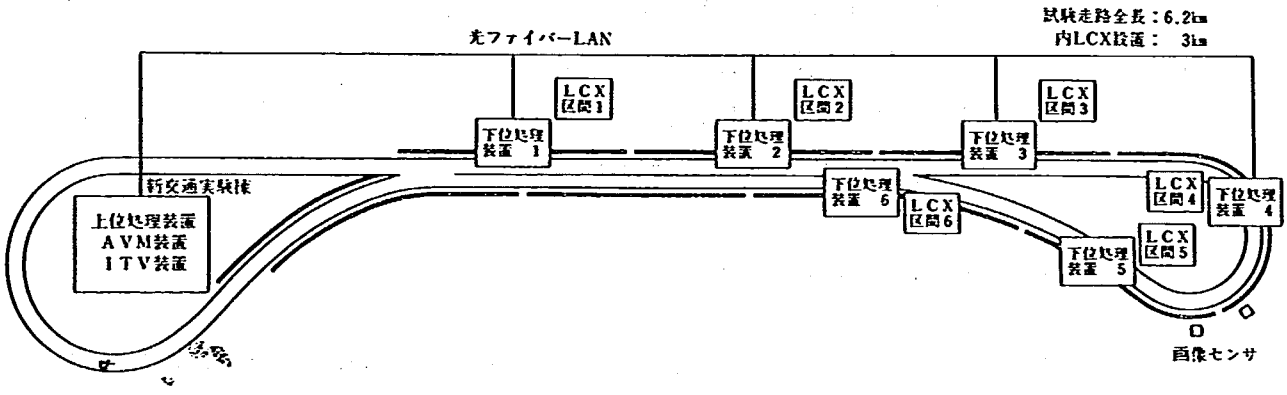
2章　AHS実験

AHSの実験の第一段階として、平成6年度までに構築したLCXによる連続通信技術を基本とし、既存の車両制御技術、インフラ技術を中心として、AHSの最も初期のレベルである前方道路危険警告機能と最終形である自動運転機能について機能の再現を行いシステムの有効性について検討を行った。以下に再現を行った機能の概要を示す。

2．1　AHS実験施設の概要

実験施設は図表(2.1)-1に示すように土木研究所試験走路の3kmを使用できるように設置されている。以下、それぞれの機器の概要について述べる。

図表(2.1)-1　実験施設の配置



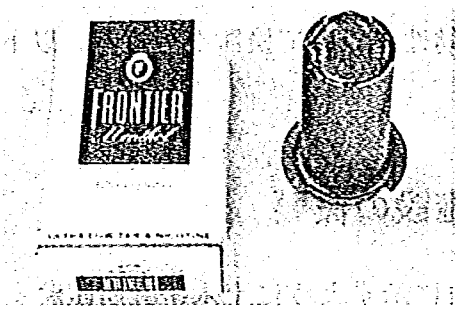
2．1．1　LCXと下位、上位情報処理装置

試験走路は路車間連続情報通信用のLCXが1区間500mで合計6区間、3kmに渡って設置されている。このLCXから車両に対して指示速度や道路上の事故などの情報を伝達したり、車両から送信される位置や速度を受信したりする。通信周波数は準マイクロ波の2.6GHz帯を使用している。それぞれのLCX区間には下位情報処理装置が付属し、各下位情報処理装置は光ファイバーLANで隣接する下位情報処理装置や上位情報処理装置と接続されている。なお、通信機器の詳細仕様については通信システム（3．2）を参照されたい。

２．１．２ レーンマーカー

実験ではレーンマーカーとして図表(2.1.2) 1-1に示す磁気ネイルを使用している。設置間隔は１ｍであり、このネイルから発生する磁界パターンを自動運転車の磁気ネイルが検出し車線横方向の位置制御を行う。

図表(2.1.2) 1-1　磁気ネイル



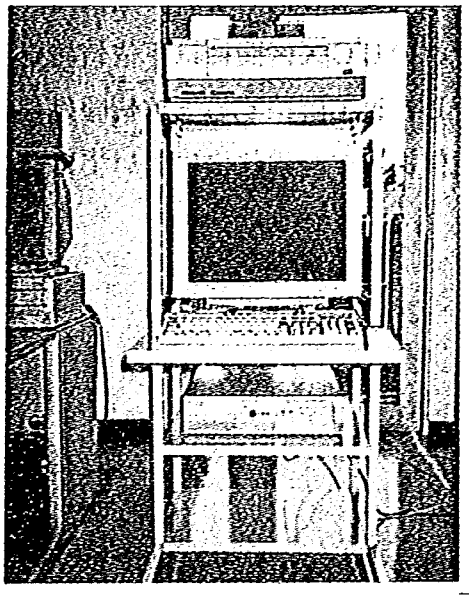
２．１．３　画像情報処理装置

道路上で発生した車両停止（事故等）、渋滞、落下物等を画像で検知し、自動判定を行う画像センサと情報処理装置をＬＣＸ区間５に設置している。自動判定を行った情報は下位情報処理装置に伝達されＬＣＸから車両に提供される。機器の詳細についてはインフラ実験システム（３．１）を参照されたい。

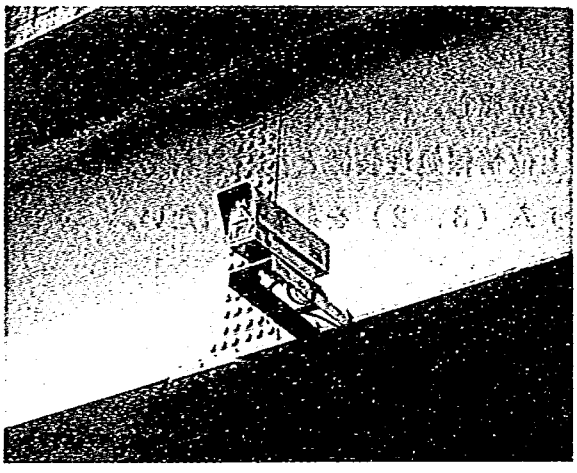
２．１．４　ＡＶＭ、ＣＣＴＶ装置

実験車の位置、速度、挙動、走行状態等を管理する装置であり、図表(2.1.4)-1及び図表(2.1.4)-2に示すＡＶＭ、ＣＣＴＶ装置を新交通実験棟内に設置している。ＡＶＭ装置は各実験車からＬＣＸに送信される信号を上位情報処理装置を経由して受信、加工し大型ディスプレイに各実験車の位置、速度等を表示する。

図表(2.1.4)-1　ＡＶＭ装置



図表(2.1.4)-2　ＣＣＴＶ装置



２．２　ＡＨＳ実験機能

２．２．１　前方道路危険警告機能

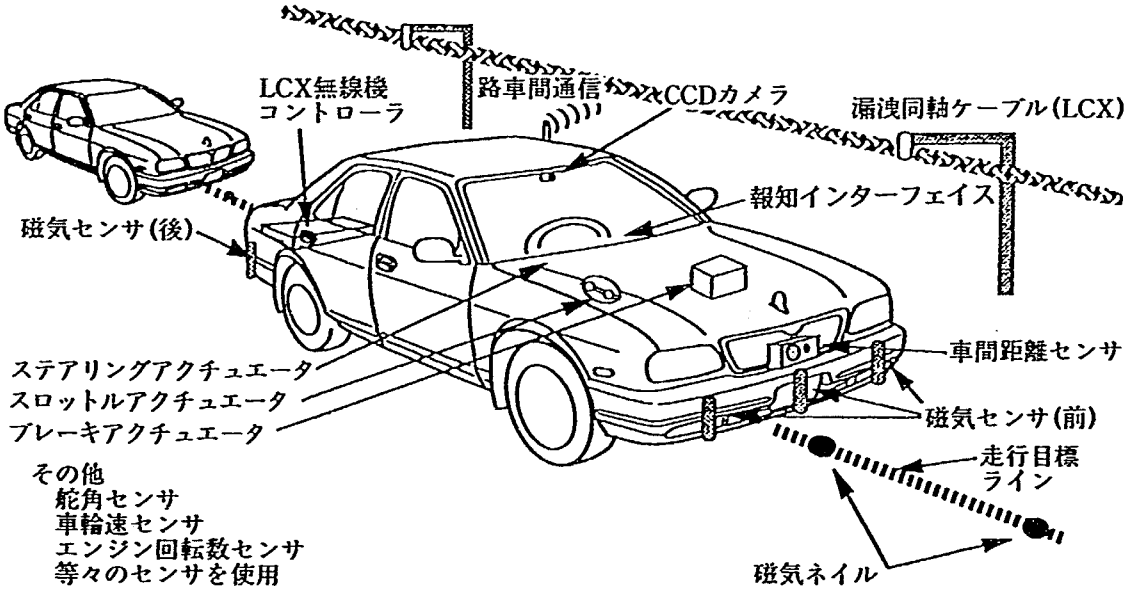
道路側のセンサで発生した事故や落下物の情報を、瞬時に自動検知、判定し路側の下位情報処理装置に伝達しＬＣＸを通して後続車に伝達する機能である（図表(1.4.1)1-1参照）。図表(2.2.2)-1に機能のイメージを示す。この機能により後続車は前方で発生した危険を余裕を持って回避することが可能となり高速道路上での多重衝突事故の被害軽減が期待できる。

実験ではＬＣＸ区間５に設置された道路側の画像センサが車両停止を自動判定、後続の実験車のＣＲＴ、音声合成装置などのインターフェイス機器を使用してドライバに伝達する。

２．２．２　自動運転基礎実験

自動運転を実現するには様々な技術検討が必要となる。平成７年度の実験車はそのプロトタイプシステムを構築したもので同一メーカー内の実験車が２～３台の車群を構成し走行を行う。自動運転の実験車にはＬＣＸから送信される道路の構造、路面状況、交通密度等を考慮した指示速度情報が与えられる。与えられた情報は車載情報処理装置により処理されアクセル、ブレーキの制御が自動的に行われる。また、横方向の制御は路面に埋設された磁気ネイルを磁気センサで検知することや、小型ＣＣＤカメラによる白線検知等によって行われる。なお、図表(2.2.2)-1に自動運転基礎実験のイメージを示す。

図表(2.2.2)-1　自動運転基礎実験のイメージ



LCX：Leakage coaxial cable　　AVM：Automatic Vehicle Monitoring System

3章　実験システムの構成

3．1　インフラ実験システム

インフラ実験システムとしてＬＣＸ区間５に画像センサを設置し事象検知の能力、精度の検証を行った。以下にＡＨＳに必要な情報内容、使用可能なセンサの選定理由、精度検証実験、実験システムの構成等について記述する。

3．1．1　ＡＨＳ成立に必要な情報内容と運用可能センサ

ＡＨＳに必要な情報種別として以下に示す項目が想定される。また、これらの事象を検知するためのセンサとして図表(3.1.1)-1に示す機器が上げられる。ＡＨＳの成立のためにはこれら機器の開発、精度検証、統合化、通信ネットワークの形態等の検討が必要となる。これらセンサの開発の中で、平成７年度の実験では、一種類のセンサで多種の情報を一定範囲で収集可能な画像センサを実験対象とし検知能力、判定精度等の検証を行った。

- （１）交通状況 ― 車両の走行状態
  - 速度
  - 位置
  - 密度
  - 走行状態（避走等）
  - 異常状態（停止、事故等）
- （２）道路状態 ― 路面の状態
  - 乾燥
  - 湿潤
  - 凍結
  - 損傷（穴等）
  - 落下物
- （３）道路周辺状況 ― 気象状況
  - 天候
  - 風速

図表(3.1.1)-1　センサの種類

センサ種類	収集情報内容	収集範囲	適用例
磁界	車両存在等	点	車両検知器(ループコイル)
超音波	車両存在等	点	車両検知器
光	車両存在、気象状態等	点、線	車両検知器、透過率計
赤外線	車両存在、路面状況、路面温度等	点	車両検知器、赤外線温度計
電波	車両存在、速度、挙動落下物、路面状態等	点、面	適用例無
画像	車両存在、速度、挙動落下物、路面状態等	面（最大150m程度）	突発事象検知システム
音	車両存在等	点	適用事例無

３．１．２　事象検知の基礎実験

１）実験

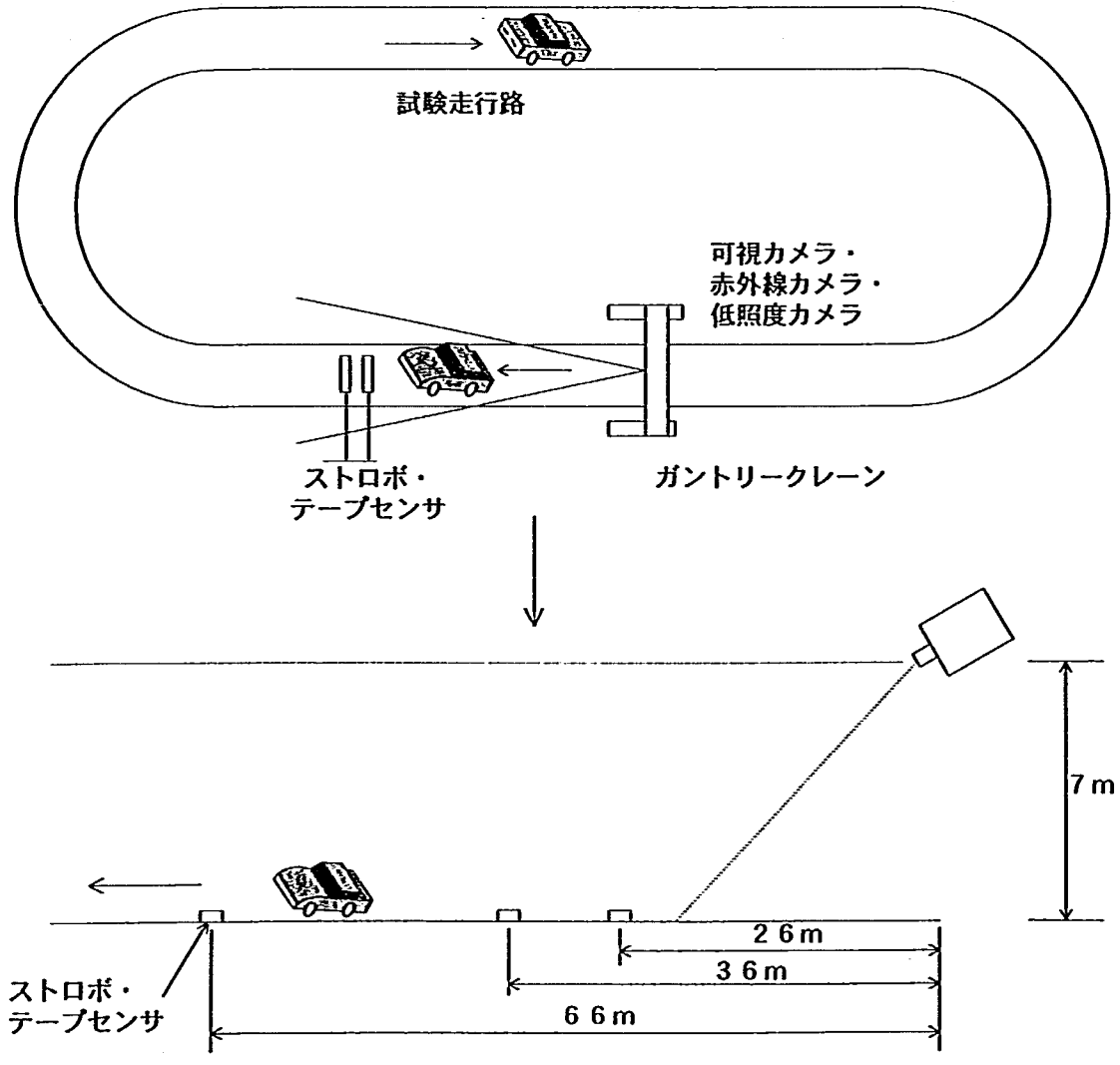
（１）実験の概要

インフラ側情報収集センサとして想定している可視カメラ、赤外線カメラ、低照度カメラの３種のカメラに関して、試験走行路において、車両速度、車両存在、停止位置、落下物及び車両火災の基礎データを収集し、画像処理装置にて解析を行った。

（２）実験の状況

図表(3.1.2) 1-1に示すようなデータ収集環境下にて、データ収集を行った。

図表(3.1.2) 1-1　データ収集実験概要図



（３）実験項目

次の項目についてデータ収集を行った。

①車両速度及び車両存在位置

速　　度：100km/h、140km/h、180km/h

車　　両：白系統乗用車、黒系統乗用車

照　　度：昼間条件、夜間条件

②車両停止位置検知

停止位置：40m、60m、80m、100m（カメラ取付位置より）

車　　両：白系統乗用車、黒系統乗用車

照　　度：昼間条件、夜間条件

③落下物検知

落下位置：30m、40m、50m、80m（カメラ取付位置より）

落 下 物：400㎜、600㎜立方体、材質スポンジ

照　　度：昼間条件、夜間条件

④火災検知

発 火 点：固定＝30m、40m、50m、80m（カメラ取付位置より）

走行状態

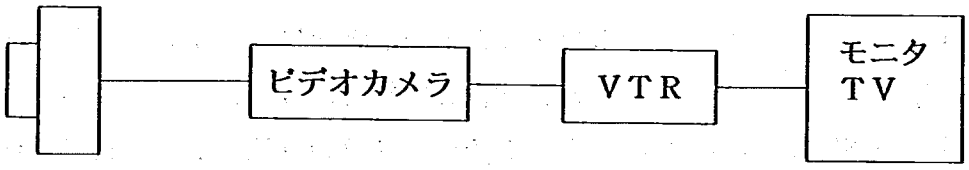
発 火 物：発煙筒　１個あるいは２個

照　　度：昼間条件、夜間条件

（４）実験機器

図表(3.1.2) 1-2に機器構成の概要図を示す。

図表(3.1.2) 1-2　機器構成図



可視カメラ
赤外線カメラ
低照度カメラ

2）考察

（1）車両速度及び車両存在位置

26m、36m、66m地点に取り付けたテープセンサに連動するストロボの発光タイミングをＶＴＲをコマ送りして目視解析した。ＶＴＲは１フィールド単位での録画、再生のため、実時間とのズレは発生している。

①可視カメラ

40m区間の実速度を真値とした場合の標準偏差は、昼間時（サンプル数：19）4.17%、夜間時（サンプル数：15）4.20%であり、共に10%以下となっている。

10km/h以上の高速走行車両について、誤差率は10%以内の精度で計測できることが確認できた。

また、昼間時、夜間時ともに、車種による誤差率の大きな差異は見られない。

②低照度カメラ

速度のバラツキが大きくないものの、

・白系統の車両に対して、黒系統の車両は、車両の追跡可能な範囲が約80mまでで、画面の上部から1/4程度までであった。

・夜間は、白系統、黒系統の車両に関わらず、約70mまでとなった。

昼間時の白系統の車両については、ほぼ良好な結果となっている。昼間時、黒系統の車両については、車両の特徴が明確でないために、速度は白系統の車両に比べ誤差が大きくなっている。

夜間時は、使用している撮像素子が撮像管のために残像が発生している。

撮像素子が低照度カメラは撮像管、可視カメラがＣＣＤ素子という特性が、解析結果として現れたと考えられる。

昼間の実験において低照度カメラでは、残像及び車体下の陰影等が明確なコントラストとして現れないために、追跡可能な範囲が可視カメラに比べ、短くなったものと考えられる。また、夜間時においては、イメージインテンシファイヤーの特性により、車両が画面に存在しない画面と車両が画面に存在する画面とでは、背景となる画面に大きく差が生じ、また、残像の影響もあって、追跡距離が短くなった。

これらの影響については、現在の低照度カメラの特性は改善されており、可視カメラに近い特性が見込める。

（2）車両停止位置検知

①可視カメラ

可視カメラによる可側では、実測距離に対するズレは小さく、良好な結果となっている。昼間時の誤差要因は、停止位置を車体とするか、車体下の陰影の部分とするかによる差として現れている。夜間時は、テールライトの広がりとライトに対する高さ成分の誤差による。

遠方における誤差範囲は、ラインの分解能が低下することよると考えられる。

②赤外線カメラ

モニタＴＶの画面を４分割するように領域を設定しているため上記のような結果となった。

車種、及び照度によらず、停止位置の実測距離と停止を検知した領域は一致しており、良好な結果を得ている。

高速走行時に比べ、コントラストが明確になっているため、可視カメラと同等の結果が得られると考えられる。

夜間時は、停止時にテールランプの広がりが大きく、停止位置をどの程度まで判断できるか不明である。

③低照度カメラ

実測距離に対して計測距離のズレは昼間でやや小さく、夜間でやや大きく出る傾向があるが、おおむね良好な結果となっている。

このようなズレの原因としては、

昼間：車両の端を影の位置として計測しているが、大きな問題はないと考える。
しかし遠方では、画像処理のデジタル誤差が発生するため計測誤差が大きくなる。

夜間：車両の端をテールライトとしているため。

・路面からのテールライトの高さの差

テールライトの高さを0.5mとすると理論上７％程度の誤差が発生するが実際はこれより小さな値となっている。これはライトの広がりによりテールライトの高さをキャンセルするような効果がでていると考えられる。

遠方（80、100m）位置での誤差は、画像上の垂直画素分解能が低下することに

より大きくなる。

垂直方向分解能は、画像の垂直構成画素を240画素とすると、

視野最近点で約0.1m/垂直画素

視野最遠点で約2.7m/垂直画素

となり遠方では分解能が低下する。

図表(3.1.2) 2-1、図表(3.1.2) 2-2に解析結果を示す。

図表(3.1.2) 2-1 昼間時 (1/20 11:07～)

(単位：m)

	ｻﾝﾌﾟﾙ NO.	実測距離	計測距離（平均値）		
			可視カメラ	赤外線カメラ	低照度カメラ
白系統	1	39.6	39.9	38.4～51.5	39.2
	2	60.9	59.3	51.5～76.8	60.3
	3	82.0	78.4	モニタ映像範囲外で停止	81.0
	4	100.8	95.1		98.6
黒系統	5	40.3	41.0	38.4～51.5	39.7
	6	60.6	59.3	51.5～76.8	59.7
	7	80.2	76.6	モニタ映像範囲外で停止	79.0
	8	100.2	96.0		98.6

図表(3.1.2) 2-2 昼間時 (1/20 11:07～)

(単位：m)

	ｻﾝﾌﾟﾙ NO.	実測距離	計測距離（平均値）		
			可視カメラ	赤外線カメラ	低照度カメラ
白系統	1	40.2	43.1	38.4～51.5	40.7
	2	60.4	63.2	51.5～76.8	62.0
	3	80.0	82.1	モニタ映像範囲外で停止	82.1
	4	100.6	101.6		103.3
黒系統	5	40.4	42.0	38.4～51.5	40.7
	6	59.7	60.5	51.5～76.8	60.8
	7	79.6	79.3	モニタ映像範囲外で停止	81.0
	8	100.3	98.2		101.7

（3）落下物検知

図表(3.1.2) 2-3に昼間時の解析結果を示す。

①可視カメラ

夜間時は、目視においても落下物を確認することは出来なかったため、解析は行っていない。

昼間時は、実測距離に対して、計測距離のズレは少なく良好な結果となっている。

②赤外線カメラ

判定は、落下物が停止していることを検知するものであり、停止している物体が落下物であるという判定はしていない。

昼間時は、落下物の大きさによらず、落下物の停止位置の実測距離と、落下物の停止を検知した領域は一致しており、良好な結果を得ている。

夜間時については、目視における落下物の確認はかろうじて可能であるが、解析結果は、単に車両が走行していると判定するのみである。

センサとして用いた赤外線カメラは、物体の温度差を映像にするものであるので、仮に、落下物が温度の高い物質であれば、落下物の停止を検知できると考えられる。

③低照度カメラ

夜間時においては、路面とスポンジとのコントラストが十分でなく、遠方までの判別は困難となった。

- カメラ近点では落下位置を判断できると考えられるが、遠方に行くとコントラストが低下し、50m付近で限界となった。

- 夜間時は、可視カメラでは目視でも確認が困難であったのに比べ、低照度カメラでは約50m前方まで確認できた。

図表(3.1.2) 2-3　昼間時（1/20　10:30～）

（単位：m）

	ｻﾝﾌﾟﾙ NO.	実測距離	計測距離（平均値）		
			可視カメラ	赤外線カメラ	低照度カメラ
600mm	1	32.6	32.4	29.7～38.4	34.0
	2	35.5	35.1	29.7～38.4	36.3
	3	50.9	49.5	38.4～76.8	50.1
	4	80.2	77.8	―――	―――
400mm	5	24.8	24.9	24.0～29.7	―――
	6	28.7	28.8	24.0～38.4	29.9
	7	43.6	42.6	38.4～51.5	43.8
	8	52.8	51.3	51.5～76.8	51.5
	9	91.2	89.8	―――	―――
	10	75.0	73.6	51.5～76.8	―――

（4）火災検知

図表(3.1.2) 2-4、図表(3.1.2) 2-5に発火点を固定した場合の発火点位置考察結果を示す。

①可視カメラ

火災については、発火点を固定した状態及び発火点を移動させた状態の２通りあるが、発火点が移動する状態で、単なる車両が走行しているものとしか判断できない。

また、発火点を火災として判定することはしていない。

②赤外線カメラ

照度によらず、発火点の状態が固定である場合は、車両停止位置と車両の停止を検知した領域は一致している。但し、解析結果は車両の停止を検知しているもので、発火点を火災として判定はしていない。

発火点が移動の場合は、単に車両の走行として判定するのみである。

③低照度カメラ

可視カメラに比べ、発火点のコントラストが低くなる傾向にある。

図表(3.1.2) 2-4 昼間時 (1/19 15:39～)

ｻﾝﾌﾟﾙ NO.	実測距離	計測距離（平均値）		
		可視カメラ	赤外線カメラ	低照度カメラ
1	36.0	36.4	29.7～51.5	35.6
2	36.0	37.0	29.7～51.5	36.4

図表(3.1.2) 2-5 夜間時 (1/19 20:24～)

ｻﾝﾌﾟﾙ NO.	実測距離	計測距離（平均値）		
		可視カメラ	赤外線カメラ	低照度カメラ
1	40.0	41.1	38.4～51.5	38.7
2	40.0	40.1	38.4～51.5	36.2

（5）可視カメラと低照度カメラの総合的な比較

基本的には、夜間の落下物等の可視カメラではその存在すら確認できない状況下で、低照度カメラの利点が発揮できるものと考えられる。その他の項目では、可視カメラの映像の方が残像がない等トータル的によい結果が確認できた。低照度カメラについては、外部照明のない状況下での使用、あるいは、可視カメラ、低照度カメラの併用等が考えられるが、最終的には技術動向等を調査する必要もあろう。

3．2　通信システム

3．2．1　AHSにおける通信形態

1）通信形態の整理

現在検討されている通信システムは、次世代道路交通システムの目標である安全性の向上と、輸送効率の向上を実現するために利用される道路～車両間通信手段である。こうした通信形態は、従来の移動体通信システムとはかなり異なったものと思われる。

以下に、その相違点を中心に検討することにより、目的とされている通信の形態を整理する。

従来の自動車に関する移動体通信システムの利用形態の特徴として、

・人対人の対話型通信である
・ホスト対端末あるいは端末対端末のデータ通信がなされる
・センターからの情報提供がなされる

ということなどがあげられる。したがって、情報提供のタイミングについては、利用者（人）が、必要となった時に、情報を利用できる状態になっていればよいことになる。

一方、次世代道路交通システムの通信利用形態の特徴と考えられることとして、

・自車と道路及び他車の位置関係の把握が必要である
・周囲の車両の行動意思の把握が必要である
・走行中の道路の状況把握が必要である
・車両と道路間で連続した通信が必要である

ということなどがあげられる。したがって、情報提供のタイミングについては、走行中の車両が、常時、情報を利用できる状態になっていることが求められる。これらのことより、両者の相違点についてまとめると以下のようになる。

図表(3.2.1) 1-1　従来型と次世代型の通信システムの比較

従来の通信システム	次世代道路通信システム
・必要な時に通信リンクを設定 ・１：１の通信リンクが原則 ・情報の遅延許容値は、人間の通常感覚レベルで決まる ・通信リンクの確立は数秒 ・情報の信頼性は利用目的による ・直接安全性とリンクしない	・常時通信リンクを保持 ・同時存在車両数分の通信リンクを同時に実現 ・情報の遅延許容値は車両の運動レベルで決まる。 ・区間にはいると、瞬時に通信リンクを確立 ・情報の信頼性は直接安全性につながる

以上のことから、次世代道路交通システムにおける通信システムに要求される技術的項目としては、

・リアルタイムであること

・連続していること

・常時接続されていること

・高信頼が確保されること

等があげられる。

2）通信方式の比較

（1）無線方式の比較

1）でまとめたように、リアルタイム性、連続性、常時接続性、高信頼性を備えた通信形態を実現できる通信システムとして、どのような無線方式を採用することが望ましいかを検討するため、考えられる方式の比較を行う。

①次世代の通信システムとして考えられる無線方式

路車間通信システムとしてこれまでに研究が進められてきたものにビーコンを用いた道路側と車両側の完結小ゾーンにおけるスポット的な通信を行うＲＡＣＳ（Road Automobile Communication System）がある。しかし、次世代道路交通システムにおける通信システムは通信の連続性を確保する必要があるため、ビーコンを用いたＲＡＣＳは補助的なシステムとし、連続性が保てる別のシステムを導入する必要がある。

したがって、通信の連続性を条件とすると、無線方式として次の４種の形態が考えられる。

ａ．衛星通信の利用（超広域無線ゾーン）

ｂ．広域無線ゾーン

ｃ．連続小無線ゾーン

ｄ．ケーブルによる無線ゾーン

この中で、衛星通信は全国どこでも利用可能であるが、衛星通信の問題点として、

・全国の車両が常時衛星と通信リンクを構成することは不可能である。

・仮に、通信リンクが構成できたとしても、センターでの処理量は膨大になる。

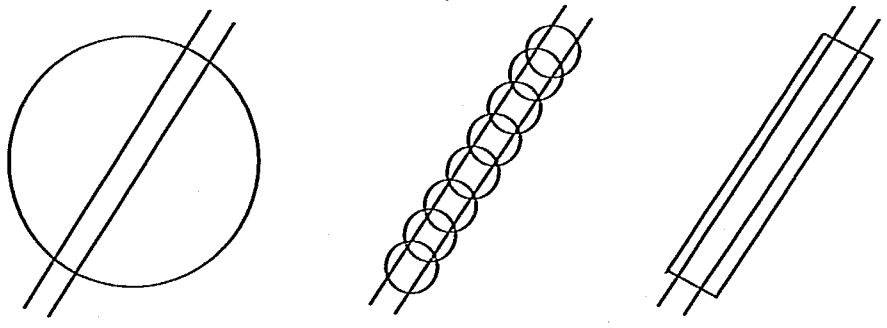
・衛星通信にはかなりの伝達遅延がある。（伝送時間だけで、約500ms）

・トンネル内、ビル影等リンクの構成できない場所がある。

ということがあり、実用的でない。

図表(3.2.1) 2-1に広域無線ゾーン、連続小無線ゾーン、ケーブルによる無線ゾーンの概念を示す。

図表(3.2.1) 2-1　無線方式の概念



a.広域無線ゾーン　　ｂ．連続小無線ゾーン　　ｃ．ケーブルによる無線ゾーン

②広域無線ゾーン

これは、該当道路を含む広域無線ゾーンを構成する方式である。広域無線ゾーンを構築する場合はチャンネル数の規模が問題となると考えられる。例えば、無線ゾーンの範囲として10kmを想定し、ゾーン内のサービス範囲を、道路１路線（片側のみ）とすると、１km区間64kbpsを１チャンネルの基準とした場合の10倍の規模となる。また、広域ゾーンの場合には、マルチパスの影響から高速伝達は不可能であり、テレターミナルでも9.6kbps程度である。複数チャンネルが利用できるとしても、

64k ÷ 9.6k ≒ 7CH

7CH × 10 ＝ 70CH

が必要となる。さらに、実際には、円のゾーン内には複数の路線及びそれぞれの路線の上下方向がある。したがって、全体の規模は

70CH×２(上下)×路線数×N(干渉対策)

が必要であり、実用的でない。

③連続小無線ゾーン

これは、道路に沿って連続小無線ゾーンを構成する方式である。

連続小無線ゾーンによる通信はＲＡＣＳによりかなりの技術は確立されている。ただしサービス提供内容は限定される。

②と同様に同様にマルチパスを考慮して、9.6kbpsで伝送することを考える。区間長１km、伝送速度64kbpsをもとにすると、ゾーンの大きさは、

1km × 9.6 / 64 ≒ 150m

となる。ゾーン間の干渉のため、ゾーンごとに無線ＣＨを切り替える必要があり、200km/hで走行する車両は、約３秒毎にＣＨ切り替えが必要となる。そのため基地局におけるゾーン間処理が繁雑になる。

④ケーブルによる無線ゾーン

これは、道路に沿って敷設したケーブル（漏洩同軸ケーブル：ＬＣＸ等）による無線ゾーンを利用するものである。ＬＣＸ等によるケーブルによる方式は、ケーブルに沿って安全な電界が構成できる他、広帯域性を有しており、またゾーンの長さを任意に設定できるため、技術面から見ると最も有利である。

この方式の場合、伝送遅延に対する要求や、区間あたりの車両台数が増加したとしても、更に伝送速度を高速にすることが可能である。また、技術方式の流れとしては、ビーコンを用いたＲＡＣＳ（ＲＡＣＳ－Ｂ）の発展形としてとらえられ、開発中のＲＡＣＳの成果を応用し、ＬＣＸ等のケーブルを用いたＲＡＣＳとすることが可能である。（ＲＡＣＳ－Ｌ）

⑤経済比較

概念的には、連続小ゾーンの場合の装置及び設置工事コスト（複数台）と、ケーブルの場合のケーブル及び敷設コストの比較となる。数値的な比較は更に方式の詳細検討を進めないとできないが、大幅な差はないと思われる。

また、ケーブル方式の場合には、ケーブルを多目的に利用することによる経済化が図れるという利点がある。

⑥次世代道路交通システムに有効な通信方式

路車間の情報通信システムを構築することにより、直前車両の状況だけでなく、前方の複数車両の速度、相対位置等の情報が入手でき、これによりドライバが視黙認できない領域における他車の動きを知ることができる。また、ドライバ不注意による視認漏れ等を、本システムの情報提供機能により、補うことが可能となる。

次世代道路交通システムの通信システムでは、このような機能を満足するとともに連続通信ができることが前提となる。このような条件を満足し、かつ多目的に利用できるシステムを、主として技術的な断面、特に高速伝送をという点からとらえると

・広域無線ゾーンはマルチパス等の影響を受けやすいため適応しにくい。
・連続小ゾーン方式の場合にも高速伝送路を構成するためには、極小とする必要があり、路上局が非常に大きくなるとともに、ゾーン切り替えを含む通信制御がかなり複雑となる

という難点がある。一方、ケーブルによる無線ゾーン方式は、

・安全な電界構成できる
・広域帯性を有する
・ゾーンの長さを任意に設定できる

という有利性を備えているため、ＬＣＸ等のケーブル方式について研究を進めることが適当であると考えられる。

（2）ケーブル方式の比較

無線方式の比較検討により、ケーブル方式が有利であるとの結論が得られたため、ケーブル方式の比較検討を行う。

各種ケーブル方式の特性を比較すると図表(3.2.1) 2-2のとおりとなる。

図表(3.2.1) 2-2　ケーブル方式の比較

方式	原理的な可能性	データ高速伝送の可能性	実用上の問題点	備考
1　ＬＣＸ単独	ＯＫ （実績あり）	ＯＫ （広帯域伝送可）	準マイクロ波帯では伝送損失が大きく、多数のリピータが必要となる。 モデルシステムを考え具体的な検討が必要	・構成 LCX　LCX —□—□— ・実用帯域 ～２GHZ ・地上敷設
2　光fiver －ＬＣＸ 複合方式	ＯＫ	ＯＫ	光fiver採用によるcost upが要検討 （そのため光fiverは多目的に使用し、本方式への負担を軽くすることを考える必要がある）	・構成 （画像） 光fiver（Tel） LCX　LCX □—□— ・実用帯域 ～２GHz ・地上敷設
3　ＯＷ	× アースリターン方式では、準マイクロ波での伝送損失は過大になり伝送困難と思われる	×	——	・実用帯域 ～３MHz
4　平行２線	× 準マイクロ波帯では波の輻射が発生し、長距離伝送は困難	× 伝送周波数特性悪く広帯域、長距離伝送は困難	——	・実用帯域 ～30MHz
5　誘導無線	× 準マイクロ波帯ではRadiation Waveや、Leaky Waveが発生し、誘導界方式は成立しないと思われる	×	——	・実用帯域 ～500MHz
6　埋込み ループコイル	× 準マイクロ波では、Soilでの損失が大になって送信装置の電力が問題となる	×	——	・実用帯域 ～500KHz
7　高架用ＡＴ	× 誘導無線と同様	×	——	

これらのケーブル方式を比較すると、原理的な可能性、データの高速伝送の可能性等から大容量漏洩同軸ケーブル（ＬＣＸ）を用いた（光ファイバー複合方式でも可）方式が有利である。

3）通信システム構築イメージ

（1）関連条件の整理

①データ更新時間に関する条件

データ更新時間に関する条件としては、車両側によって決定されるものと通信側によって決定されるものが考えられる。

a)車両側によって決められる条件

- 自動車運転に必要な制御条件
  車両特性、走行速度、道路線形等
- 上記条件下で安定して走行可能な条件
  0.2sec、0.4sec、0.8sec･･･（環境によって異なる）
- 自動車工学的条件
  旋回性能、ブレーキ性能等

b)通信側によって決められる条件

- 伝送速度
- 送受信エリア
- 環境条件下での通信品質
  温度、湿度、気象、ノイズ、再送の必要性
- エリアの繋ぎ部分での通信の連続性
  または通信不連続を前提としたシステム設計

c)交通工学的条件

- 車群の形成、安定性
  追突防止、車間距離維持・縮小
- 車群が形成された場合の最も混雑した条件
  通信システム側の最繁トラフィック条件

②安全車間距離に関する考え方

通信システムを構築するためには、①で整理したとおり、各種の条件を考慮する必要があるが、基礎検討を行うためには特に車間距離の設定が必要となる。

前方車のブレーキランプ視認にｔ1，ブレーキ操作にｔ2の時間がかかるとすると安全車間距離Ｌは、

$$L \geqq (t1+t2) \times 時速 + 制動距離$$

である。（前方車が即時に停車した場合を想定）

安全車間距離に関する明確な規程は道路構造令では行っていないが、走行中の車両が前方の同一車線上に、障害物が存在する場合に、安全に制動停止するために必要な距離については制動停止距離として以下に示す式において規程されている。よって通信に関するデータを検討するために用いる数値はこれを用いることにする。

$$D = \frac{V}{3.6} t + \frac{V^2}{2 g f (3.6)^2}$$

ここで、D：制動停止距離（m）
V：速度（㎞/h）
f：摩擦係数
t：反応時間

上式の第１項は空走距離であり道路構造例では、反応時間×速度で表している。反応時間は1.5秒（判断時間）＋1.0秒（反応時間）と規程されている。

したがって、前式においてｔ＝2.5秒、ｇ＝9.8㎞/s²及び本システムで仮定した条件として速度140㎞/h、摩擦係数0.28を代入すると、約400mとなる。なお、摩擦係数については湿潤路面を想定し、120㎞/hのデータから推計した。よって、前車との間隔を400mとして設定すれば、自動運転下において前車にトラブルが発生した場合でも安全に停車することが可能である。

しかし、実際には、400mよりも短い車間距離で走行しており、仮に通信システムを車間距離400mを前提として構築すると交通容量が大幅に低下することになる。したがって設定する車間距離は交通容量を低下させないため現在の走行における車間距離あるいはそれ以下にする必要がある。

ここでは、ＡＨＳをモデルとして検討しているため、高速道路における実際の車間距離を参考とすることとする。したがって東名高速道路横浜～御殿場間までの観測値から得られる車間距離が、100m程度あることから、通信システムで前提とする車間距離は100m以下とする。

（２）通信システムの概要

①通信制御機器の構成

路側に漏洩同軸ケーブル（ＬＣＸ）を設置し、車両と道路との連続通信を可能にする。

各区間には500m長の漏洩同軸ケーブル、区間の中間には無線送受信機、下位情報処理装置を設置し、これらを統括するセンタ内に上位情報処理装置、車両位置表示装置（ＡＶＭ装置）、ＣＣＴＶモニタ装置を設置する。

②通信プロトコルの概要

通信プロトコルは１区間に500mに36台の車両が存在するものとし、さらに、まもなく自区間に到着する車両の情報として９台分、自区間から次の区間に退出したときの９台分合計54台分の車両情報を伝達できるように設計されている。

通信のタイプは短期通信サイクル（0.1秒毎）と長期通信サイクルの２種類に分類している。緊急性の高い情報は短期通信サイクルに割り当て、緊急性の比較的少ない情報は長期通信サイクルに割り当てる。

通信の速度は512Kbps、路側からの送信は連続送信方式、車両からの送信はバースト信号による時分割多重方式である。

通信は１サイクルを0.1秒毎とし、その間に54台の車両が必ず１回の通信を行うようにしている。

最初に路側から登録タイミング信号と長期下り信号の複合信号が送出される。その信号を受信した車両は登録信号を送出する。その後、登録された車両の番号と車両に割り付けた送信タイムスロットが路側から各車両に通知される。通知される送信タイムスロットは短期通信サイクルと長期通信サイクルの両方のものである。

登録に失敗した車両は次の0.1秒後に再度登録を試みることになる。一度登録された車両は次のＬＣＸ区間に進入するまで新たな登録は行わない。

登録された車両は割り付けられた長期上りの信号のタイムスロットで自社の情報を路側に伝送する。長期上り信号はデータ量が多いため、１サイクル（0.1）秒の間にすべての車両が送信することはできず、数サイクルに分割して送信される。それに対し短期上り信号は１サイクル内で必ず１回の送信タイムスロットが割り付けられており、各車両は0.1秒に１回ずつ自車情報を送信する。

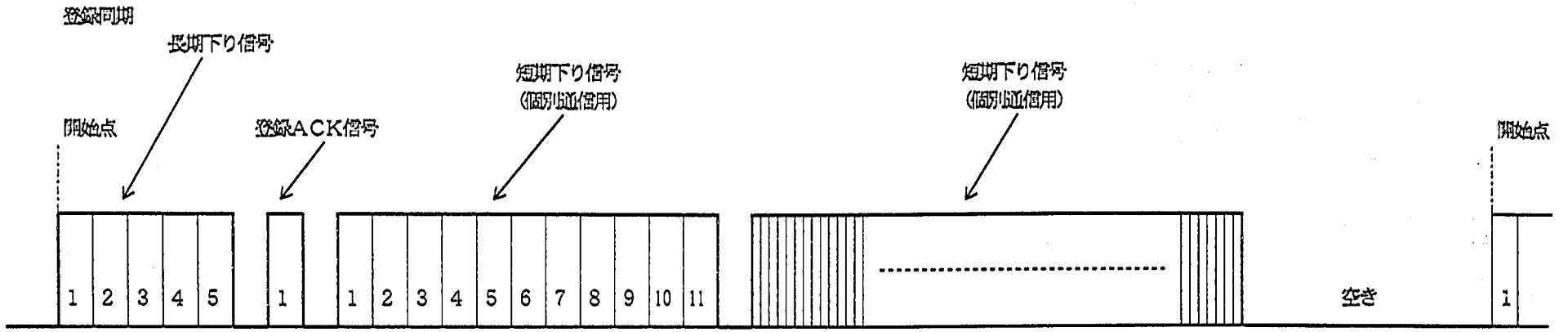
短期下り信号は、道路側のセンサが特に安全上問題と判断した車両に対し個別に注意・警告を与えるモードと、各車両の短期上りデータをそのまま中継して送信するモードがある。

図表(3.2.1) 3-1　信号の種類と情報の内容

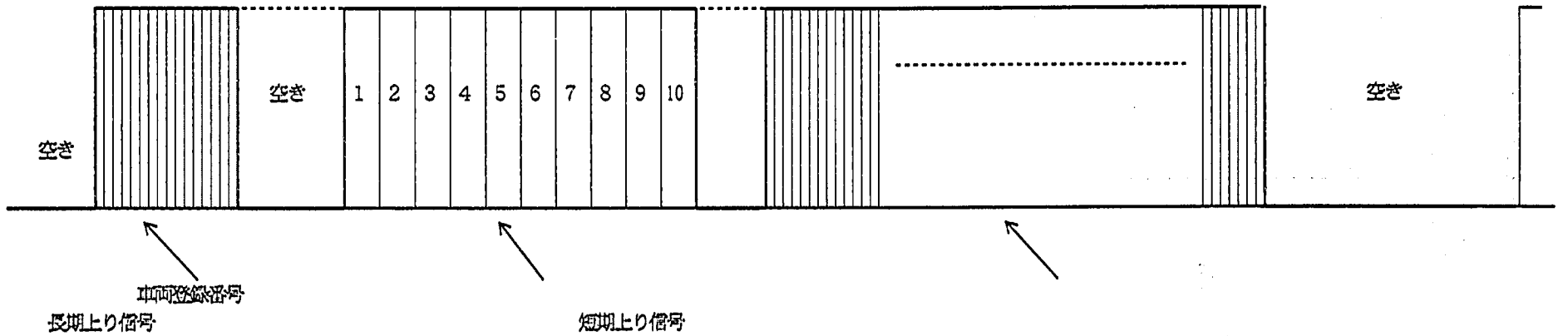
短期サイクル信号		長期サイクル信号	
車両→道路	道路→車両	車両→道路	道路→車両
車両仮ＩＤ番号 車両長 車両幅 車両位置 車両の異常情報	今年度は使用しない	車両本ＩＤ番号 車両属性 車両異常情報	ＬＣＸ位置 遠方緊急車両情報 道路情報 事故情報 災害情報 異常情報 緊急メッセージ

図表(3.2.1) 3-2　通信フォーマット

路側から車両方向



車両から路側方向



③情報量と収集伝達方法

a)情報量

仮に車両の走行速度を200km/hとし、各車両のデータ内容を10m毎（0.18秒）に更新するものとし、ＡＨＳのための情報量を試算すると、車両あたり約250bitの情報量となる。なお、この情報量は、bit単位の積み上げであり、byte構成としての考慮、通信制御用の符号、冗長bit等は考慮されていない。

図表(3.2.1) 3-3　ＡＨＳのための情報量予測

分類	情報名	情報量(bit)	適用ステップ（注2）
法規情報（注1）	＊進行方向規制（左・右折禁止等）	12	Ⅰ
	＊制限速度	8	Ⅰ
	＊走行方法規制（追越し禁止等）	4	Ⅰ
道路構造（注1）	＊車線数	3	Ⅰ
	＊カーブ半径	12	Ⅰ
	＊勾配	8	Ⅰ
	＊バンク角	4	Ⅰ
路面状況	＊気象情報（場所）	20	Ⅰ
	＊路面状況（凍結等）	12	Ⅰ
前方道路状況	＊落下物、故障車等	20	Ⅰ
車車間情報	＊行動意志	8	Ⅴ
	＊車両運動	24	Ⅳ
位置情報	＊車両ＩＤ	64	
	＊基準位置信号	3	Ⅱ
	＊自車社走行距離	12	Ⅱ
	＊自車速度	8	Ⅱ
	＊他車位置・速度	24	
		計246bit	

注１：ＲＡＣＳ情報ビーコンで提供可能

注２：適用ステップ

Ⅰ；インフォメーション・システム

Ⅱ；アラーム・システム

Ⅲ；アシスト・システム

Ⅳ；パーシャルコントロール・システム

Ⅴ；オートモナス・システム

④課題の抽出

a)車両の位置把握

車両から収集するデータの中で、最も重要なものは、車両位置情報である。ＲＡＣＳ－Ｂによる位置補正と、自律走行センサーの組み合わせで、道路長方向のデータを生成する。ただし、この場合の位置精度が、目的の車間コントロールに使用可能かどうかは、別途検討する必要がある。

なお、走行レーンの情報をどのように把握するかが重要課題となる。

b)区間またがりの処理

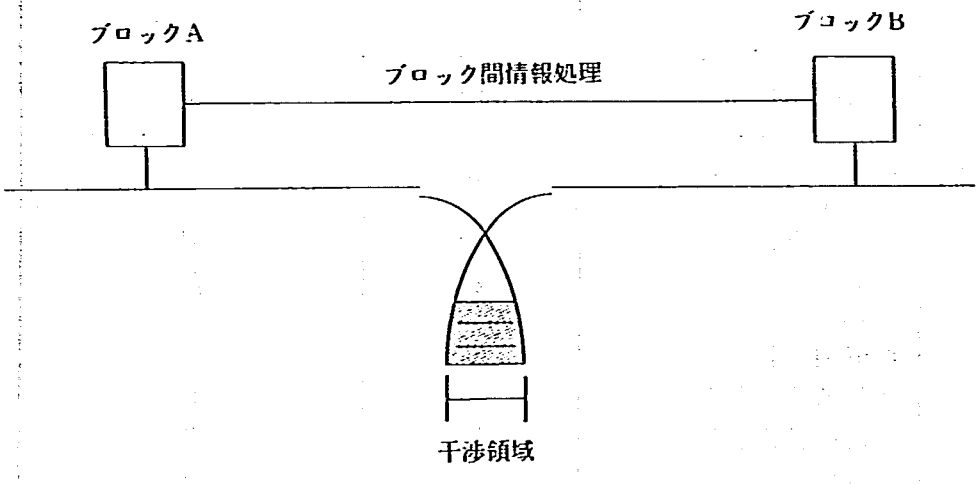
ＬＣＸによる１ブロックの長さは、道路側の処理遅延や処理能力等で決まるものと思われる。こうしたブロックが連続したシステムを構成した場合、

・ブロック間の情報処理の方法

・ＬＣＸ末端での干渉による誤り領域とその対策

等が課題となる。

図表(3.2.1) 3-4　ブロック間の情報処理



c)通信の信頼度

ＬＣＸでつくられた通信領域でデータ伝送した場合の回線信頼度がどうなるかということーとシステムに要求されるデータの信頼度はどの程度かを検討し、誤り制御をどのように行うかを決定する必要がある。

d)ＲＡＣＳ－Ｂとの共用、機能分担等

ＲＡＣＳ－Ｂとの関係を整理する必要がある。

e) ＬＣＸ無線伝送技術

ＬＣＸシステムの回線設計に必要なパラメータの値を設定する必要がある。検討項目としては、以下のことがあげられる。

・ＬＣＸの特性
・使用周波数
・ＬＣＸの設置位置
・車両のアンテナの種類と位置　等

３．２．２　ＬＣＸ基礎実験

１）実験目的

次世代道路交通システムの通信媒体として利用が考えられるＬＣＸケーブルは路側通信や列車無線などの通信媒体として利用され十分な実績を持っている。しかしながら、次世代道路交通システムに適用することを考えると、従来の利用周波数より高い準マイクロ波を使用して高速データ伝送を行うことが想定され、基本的な通信特性を検証しておく必要がある。そのため、準マイクロ波帯（1.5GHz及び2.6GHz）におけるＬＣＸケーブルの各種通信特性を把握するために①電界強度の分布、②誤り率の測定実験を行うものである。

この実験によって得られた結果から車両の制御におけるＬＣＸケーブル利用可能性の検証及びＬＣＸケーブルを用いた場合の、路車間の連続した通信プロトコルの検証等を行う。

なお、伝送速度512Kbps及び64Kbpsで行うが、その理由は以下に示すとおりである。

（１）準マイクロ波帯（1.5GHz及び2.6GHz）の２波を使用する理由

2.6GHz帯については路車間情報システムで実用化されつつあり、同じ周波数帯でのシステム構築は最も合理的であると考えられる。しかしながら、現状のＬＣＸケーブル製作技術では2.6GHz帯における伝送損失は12dB/100mになり道路沿いのシステムを想定した場合、中間の中継増幅器を多数必要とする。一方1.5GHz帯における伝送損失は5.5dB/100mであり2.6GHz帯に比較して半分以下の伝送損失ですむことから中継増幅器は半分以下になり、より経済的なシステムを実現できると期待される。このため、本実験においては、2.6GHzを第一の周波数とし1.5GHzについても実験を行い伝送特性の把握を行う必要がある。

（２）伝送速度512Kbps及び64Kbpsを使用する理由

64Kbpsの伝送速度については間欠極小ゾーン通信方式の路車間情報システムですでに実用化されつつある。一方次世代道路交通システムにおけるＡＨＳでは路車間に常時通信を確保する必要があり、多数の車両が道路側と同時に通信するためには高速で通信を行わなければならない。将来高度な通信機能を展開するためには64Kbpsにとどまらず、更に高度な伝送速度での実験を行い、その利用可能性を評価する必要がある。

2）実験装置

（1）概要

本実験研究で用いる装置は、送信側測定機器と受信側測定機器及びＬＣＸケーブルによって構築される。送信側測定機器の主要構成機器は、ＰＮパターン発生機、モデム（変調器）、可変アッテネター、送信変換部、電力増幅部等である。また、受信側測定機器の主要構成機器は、受信変換部、電界強度測定器、モデム（変調器）、誤り率測定器等である。各機器の主要諸元は以下に示すとおりである。なお、送信側測定機器の構成を図表(3.2.2) 2-1に、受信側測定機器の構成を図表(3.2.2) 2-2に示す。

（2）実験装置諸元

①送信側測定器

a)送信部

送信周波数： 1.5GHz帯の一波及び2.6GHzの一波
送信出力 ： １Ｗ
電波形式 ： Ｇ１Ｄ
変調方式 ： ＧＭＳＫ 64kbps
： ＧＭＳＫ 512kbps

b)空中線部

形式 ： ＬＣＸケーブル
結合損失 ： 70dB（1.5GHz帯）
60dB（2.6GHz帯）
伝送損失 ： 55dB/km（1.5GHz帯）
120dB/km（2.6GHz帯）
地上高 ： ０ｍ～７ｍ（０ｍ、1.5m、５ｍを標準値とする。）
長さ ： 200m

②受信側測定機器

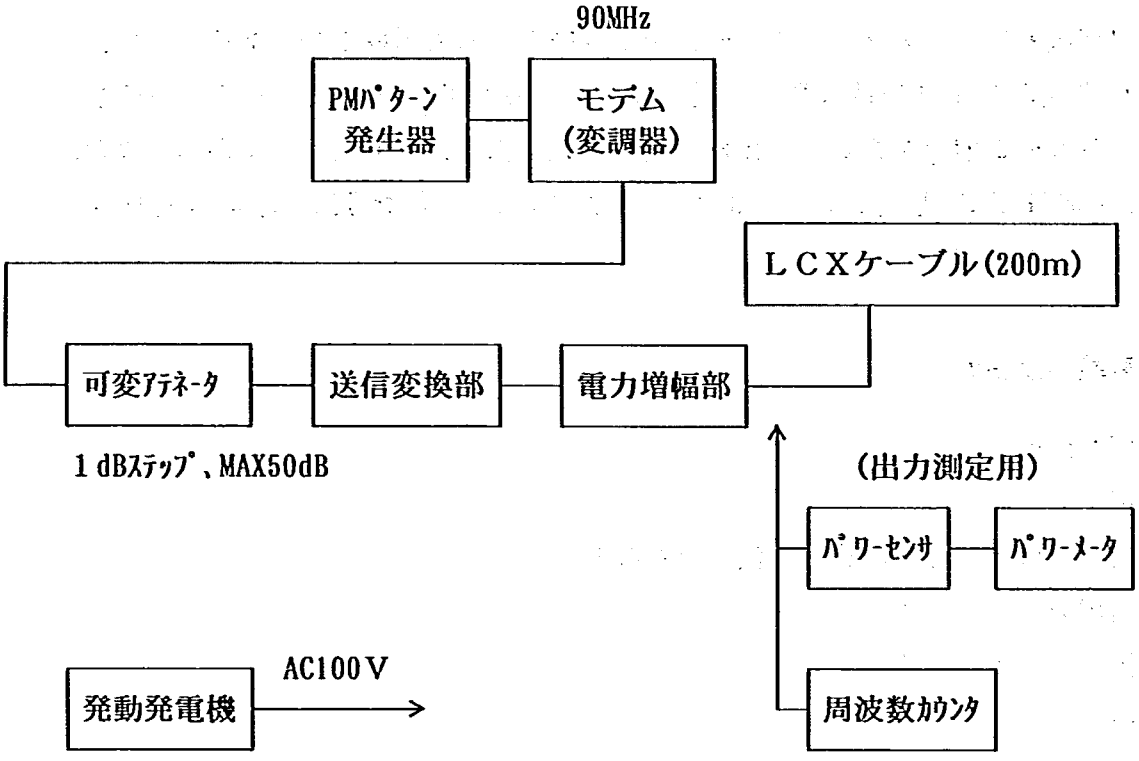
a)受信部

受信周波数： 1.5GHz帯の一波及び2.6GHz帯の一波
中間周波数： 90MHz
検波方式 ： 周波数検波２値検知方式

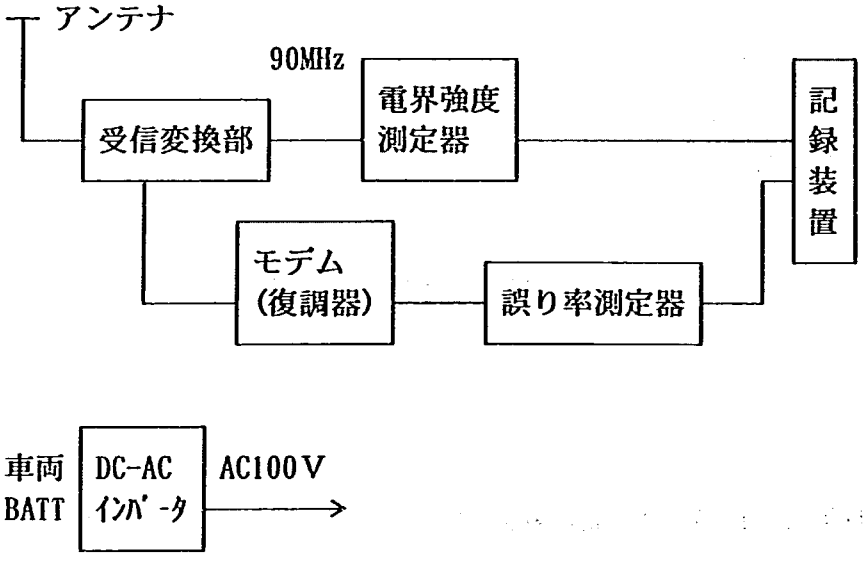
b)空中線部

方式　　：　２モノポール他、数種類

図表(3.2.2) 2-1　送信側測定系統図



図表(3.2.2) 2-2　受信側測定系統図



3）実験内容

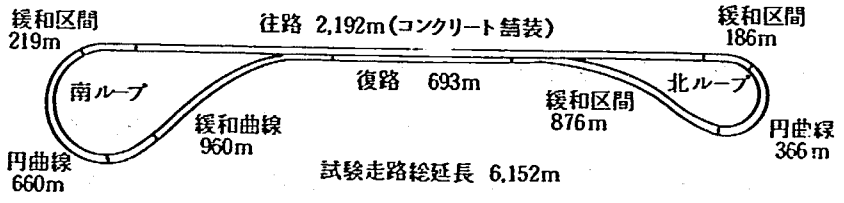
（1）概要

実験は図表(3.2.2) 3-2に示す土木研究所内試験走路の直線部分（コンクリート部及びアスファルト部それぞれ約２km）で実施した。実施した内容は、①電界強度分布、②Bit誤り率の測定の２種類について行った。ＬＣＸケーブルの設置高さについては、実際の道路上または、その付属施設に設置することを考慮し０～７ｍの範囲で任意に設置するが、標準値としては、①道路上に直接設置した場合の地上高０ｍ（ケース１）、②ガードレール等の安全施設に添架して設置した場合の地上高約1.5ｍ（ケース２）、③遮音壁の上部に設置した場合の地上高約５ｍ（ケース３）の３種を用いた。なお、ケーブルの架設は図表(3.2.2) 3-3に示す方法で行った。また、測定は車両に測定機器を搭載し走行しながら行った。図表(3.2.2) 3-1に実験の項目一覧を示す。

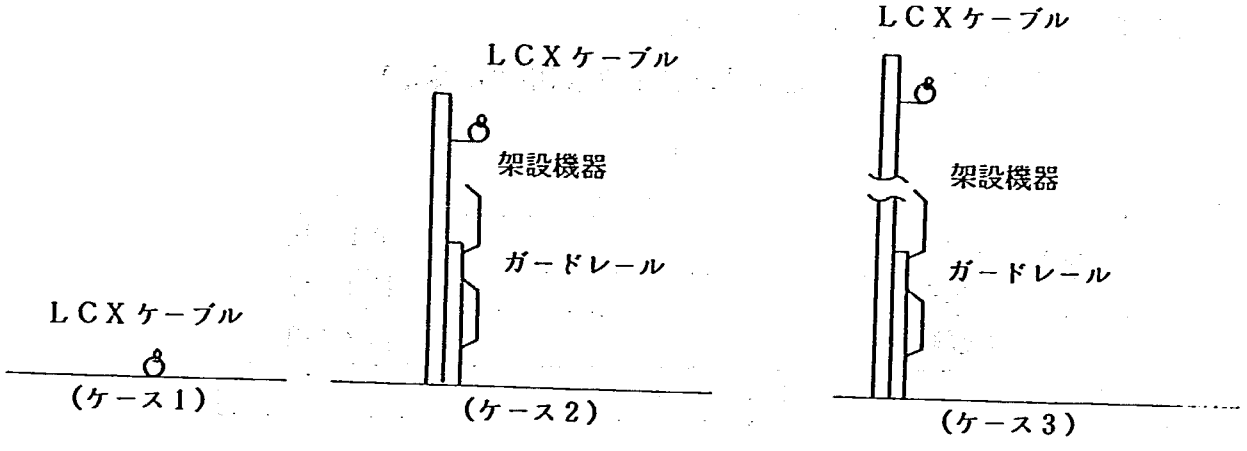
図表(3.2.2) 3-1　実験項目一覧

周 波 数	1.5GHz帯、2.6GHz帯
車　　速	０～150km/hの範囲で任意に設定
高　　さ	０～７ｍの範囲で任意に設定 （０ｍ、1.5ｍ、５ｍを標準値とする。）
測定位置	１～３車線
測定項目	電界強度、ビット誤り率

図表(3.2.2) 3-2　実験場所



図表(3.2.2) 3-3　ケーブルの架設方法

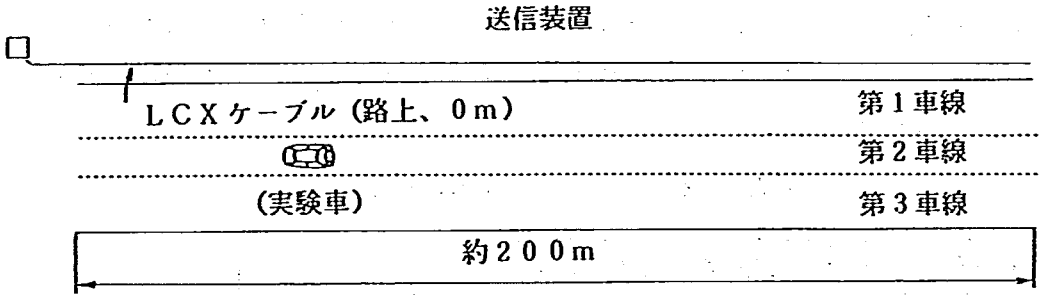


（2）実験項目

①電界強度分布実験１（図表(3.2.2) 3-4参照）

試験走路縦断方向200mに、ＬＣＸケーブルを設置し、送信装置をケーブル端に設置し電界を発生させ、道路縦断方向における車線ごと（１～３車線）及び高さ毎の電界強度分布を車両内に搭載した電界強度測定器を用いて測定する。周波数は1.5GHz及び2.6GHzの２種類とする。車速は０～150km/hまでとする。なお、図表(3.2.2) 3-4は全て標準値で示した。また、受信装置を搭載する車両の種類としては乗用車、ワゴン車、バス、トラックの４車種を用いるものとする。

図表(3.2.2) 3-4　電界強度分布実験(端部給電)



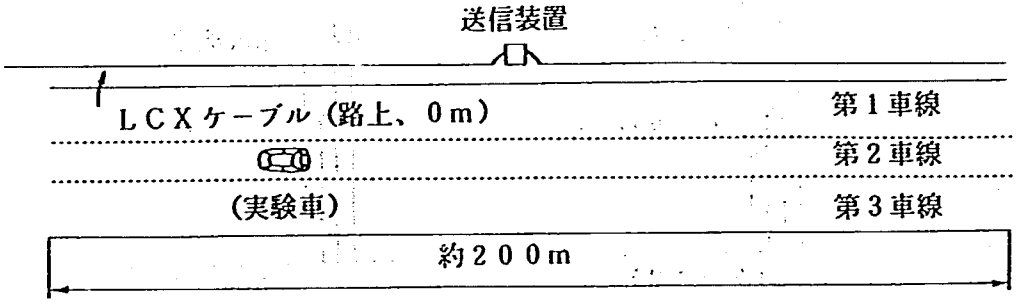
②Ｂｉｔ誤り率の測定１

①の電界強度測定実験と同じ構成で、定型パターンデータを送信して、Bit誤り率を測定した。さらに送信出力を可変アッテネータで低下させBit誤り率の変化特性を把握した。なお、測定は車線ごと（１～３車線）に行った。

③電界強度分布実験２（図表(3.2.2) 3-5参照）

試験走路縦断方向200mに、ＬＣＸケーブルを設置し、送信装置をケーブル中央に設置し電界を発生させ、道路縦断方向における車線ごと（１～３車線）及び高さ毎の電界強度分布を車両内に搭載した電界強度測定器を用いて測定した。周波数は1.5GHz及び2.6GHzの２種類とした。また、車速は０～150km/h程度までとした。なお、図表(3.2.2) 3-5は全て標準値で示した。

図表(3.2.2) 3-5　電界強度分布実験(中央部給電)



④Ｂｉｔ誤り率の測定２

①の電界強度測定実験と同じ構成で、定型パターンデータを送信して、Bit誤り率を測定した。さらに送信出力を可変アッテネータで低下させBit誤り率の変化特性を把握した。なお、測定は車線ごと（１～３車線）に行った。

⑤その他

［受信空中線の選択及び車両障害の影響］

路側に設置されたＬＣＸケーブル方向に対し利得をもつアンテナを選択する必要があり、上方指向性アンテナ（車両の屋根に設置）と車体側面指向性アンテナ（車体側面に設置）の２種類を用いて実験を行った。また、追加実験として併走車等の車両障害が発生した場合を想定し、試験走路内に大型バスを停止させ、アンテナ設置位置を変化させた場合の電界強度分布、Bit誤り率の測定も同様に行った。

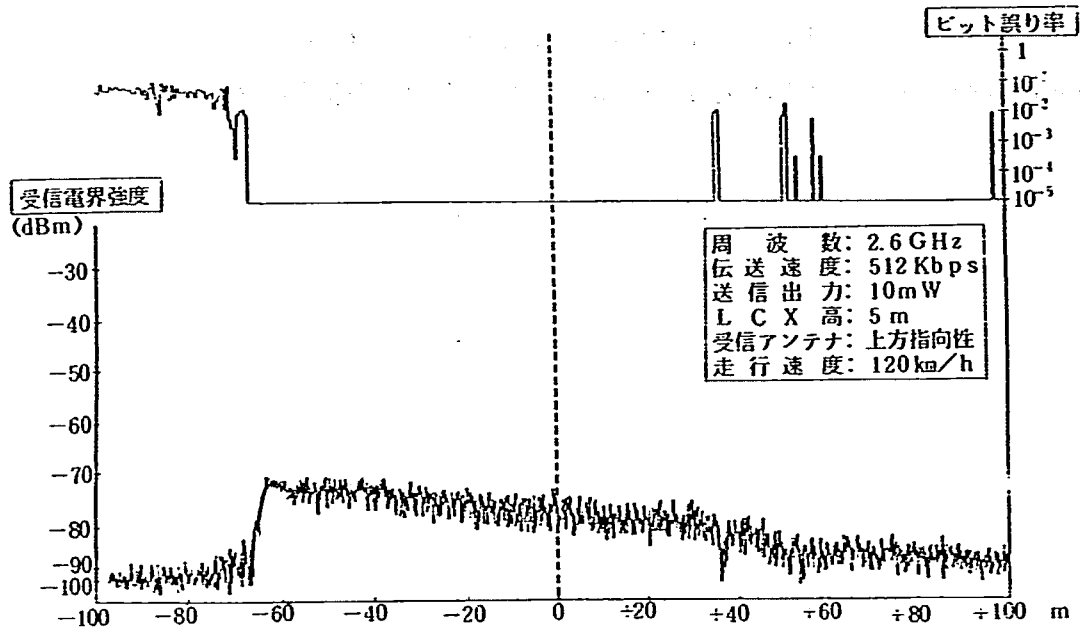
4）実験結果

（1）基本実験結果

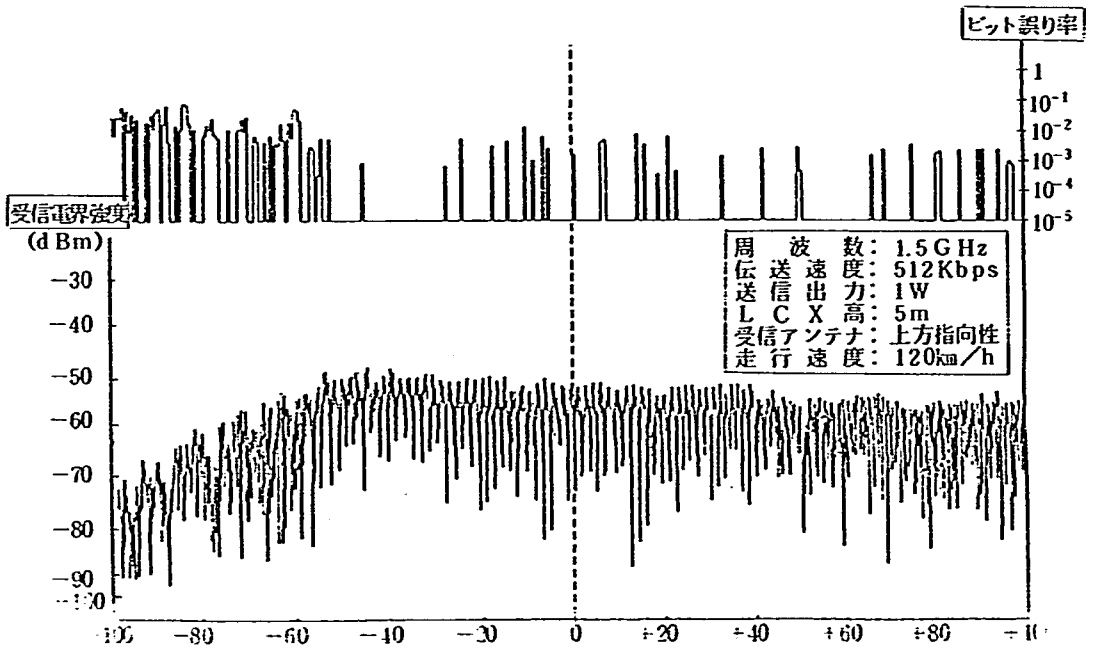
①周波数による比較

図表(3.2.2) 4-1に2.6GHzの、図表(3.2.2) 4-2に1.5GHzの受信電界強度の変動とデータ誤り率を示す。これに見られるように2.6GHzの方が受信電界の変動幅が少ない、低レベルまで受信誤りが発生しないとの傾向を示しており、今回の実験では全般的に伝送特性がすぐれていた。ただし、1.5GHzにおいてもケーブル特性の改善等により伝送特性の向上は図れると考えられる。

図表(3.2.2) 4-1　2.6GHzの受信電界強度とデータ品質



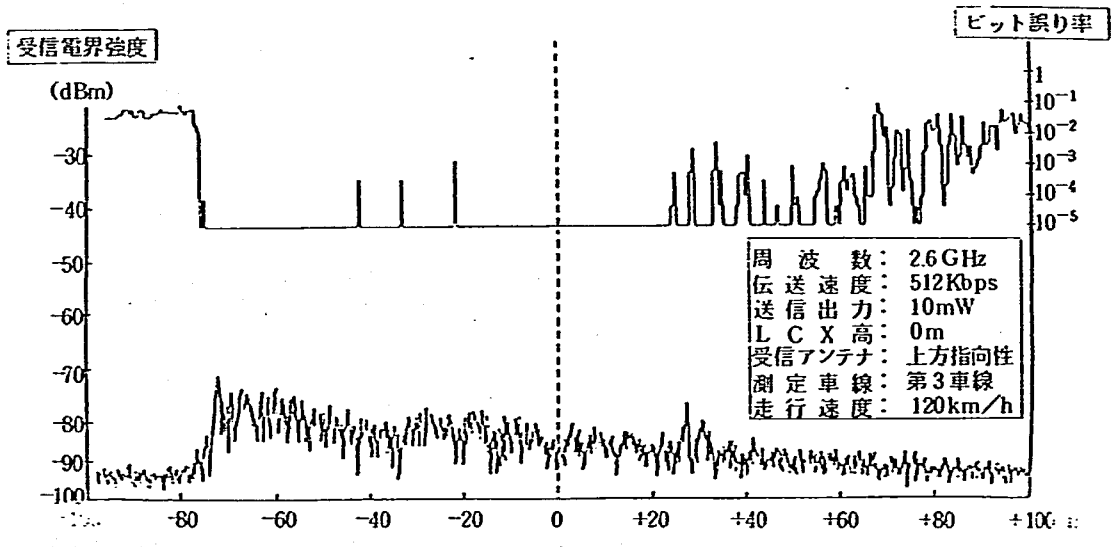
図表(3.2.2) 4-2　1.5GHzの受信電界強度とデータ品質



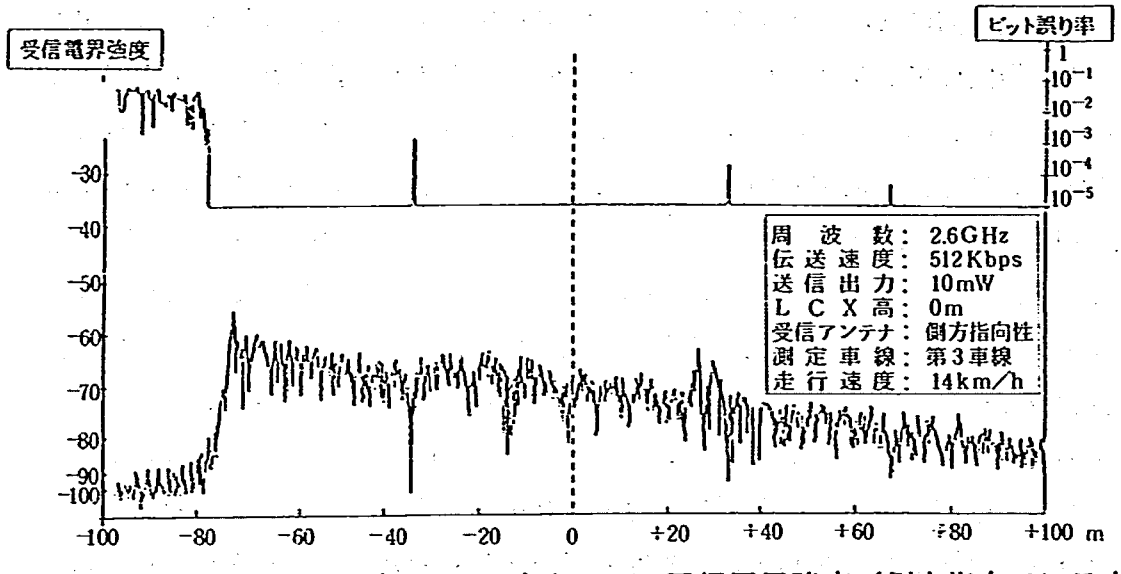
②ＬＣＸの設置高による比較

ＬＣＸの設置高は各種の車載アンテナを使用し比較を行った。比較を行ったアンテナは上方指向性アンテナ（車両の屋根に設置）と車体側方指向性アンテナ（車体側面に設置）の２種類とした。まず、上方指向性アンテナではＬＣＸケーブルの設置高さが高いほど、受信電界が大きくなった。また、ケーブルの設置高さ０ｍでは車両の屋根が遮蔽板として働き、受信電界の大きな低下が見られた（図表(3.2.2) 4-3）。一方、車体側方に指向性を持ったアンテナではＬＣＸ設置高さ０ｍの場合の受信特性が改善され、1.5ｍと同レベルの受信電界が確保できた（図表(3.2.2) 4-4）。反面、図表(3.2.2) 4-5に見られるように設置高５ｍの場合、レベルの低下が見られた。また、設置高０ｍの場合は1.5m、５ｍに比較して長周期のレベル変動が見られた。ただし、地上高０ｍの場合はフェージングが激しくなる、敷設端で急激にレベルが劣化する等の現象が見られた。この現象についてはっきりした原因はつかめていないが、ケーブルのねじれやうねりに起因すると考えられる。

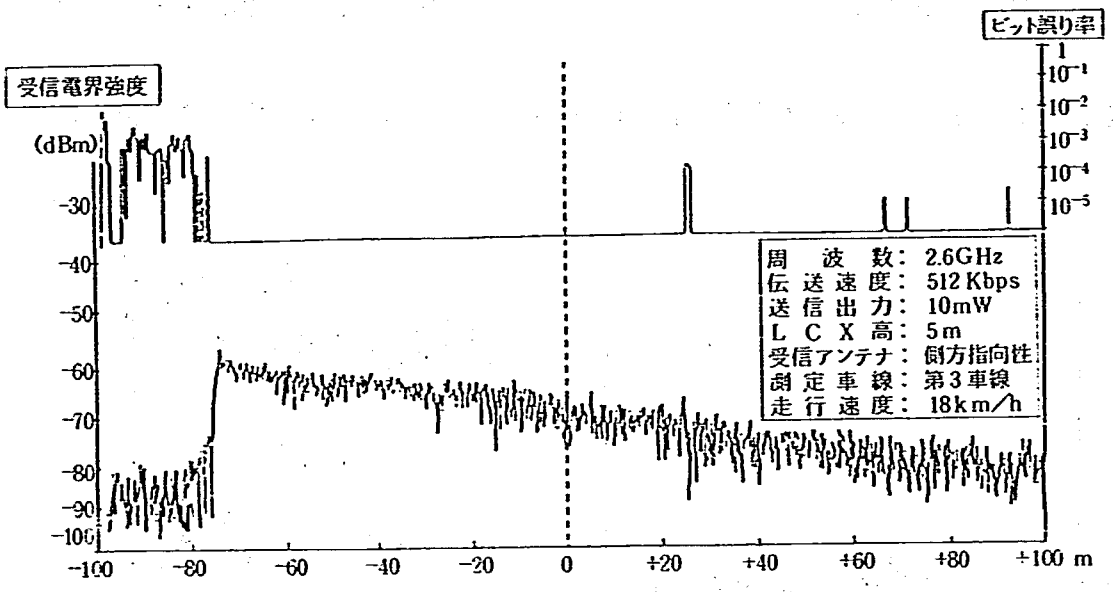
図表(3.2.2) 4-3　ケーブルの設置高さ０ｍの受信電界強度（上方指向アンテナ）



図表(3.2.2) 4-4　ケーブルの設置高さ０ｍの受信電界強度（側方指向アンテナ）



図表(3.2.2) 4-5　ケーブルの設置高さ５ｍの受信電界強度（側方指向アンテナ）



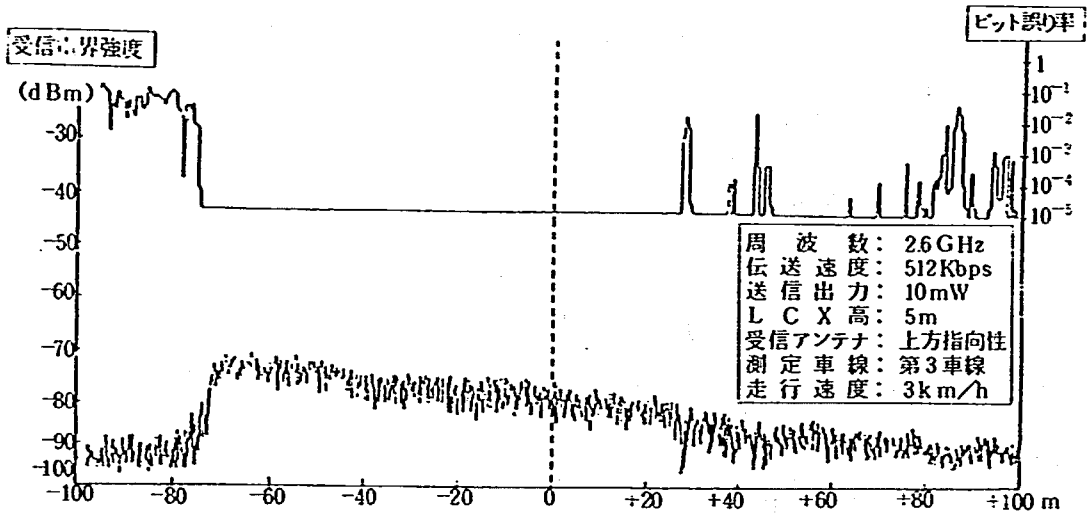
③受信アンテナによる変化

受信アンテナは前述の通り、車体天井に設置した上方指向性アンテナと車体側面に設置した側方指向性アンテナを用いたが上方指向性アンテナの場合は０ｍにおける電界が悪い。また、側面に設置した指向性アンテナは０ｍの電界もさほど低下しておらず、実用面では側面の空中線がすぐれていると考えられる。

④速度による変化

今回の実験においては、徐行（10km/h以下）～120km/h程度まで速度を変化させ走行したが、受信電界、データ誤り率とも特に大きな差は見られなかった。図表(3.2.2) 4-6に徐行時のデータを示す。なお、120km/h走行時のデータは図表(3.2.2) 4-1に示した。

図表(3.2.2) 4-6　徐行時の受信電界



⑤ＬＣＸの伝送損失

ケーブルの伝送品質はＬＣＸの敷設状況とはほとんど関係なく一定であった。1.5GHzにて、3.8～4.1dB/100m（規格5.5dB/100m）、2.6GHzにて10.4～11.4dB/100m（規格12dB/100m）であった。

⑥必要な送信出力

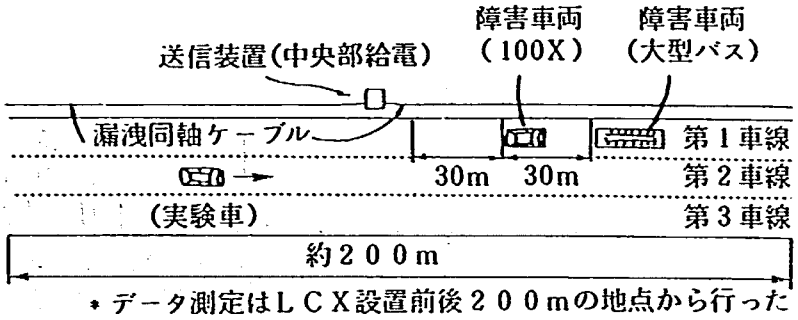
今回の実験では送信出力を最大１ｗとし、0.1w、0.01wまで低下させて実験を行った。その結果、2.6GHzにおいては計算値の予想よりも伝送品質がよく、512Kbpsで0.01w程度でシステムが構築できる可能性がある。また、1.5GHzにおいてもＬＣＸケーブルの輻射特性を改善できれば同等の送信電力でシステムを構築できる可能性がある。

送信出力を0.01wとした場合、ＬＣＸケーブルの伝送品質を補償するために2.6GHzにおいては約100m毎、1.5GHzにおいては約200m毎の中継増幅がそれぞれ必要となり経済的とは言い難い。このため、現実的には送信出力を１ｗ程度とし、中継区間を延長することが現実的であろう。この場合の中継区間は2.6GHzにて300m、1.5GHzにて約600mとなる。

（２）追加実験結果

追加実験は、図表(3.2.2) 4-7に示すように１ボックスカー及び大型バスを第１車線に停車させ、そのわきの第２車線を走行した場合の受信電力レベル、Bit誤り率を測定した。実験結果を以下に示す。なお、測定条件を図表(3.2.2) 4-8に示す。

図表(3.2.2) 4-7　遮蔽物存在時の受信電界強度



＊データ測定はＬＣＸ設置前後２００ｍの地点から行った

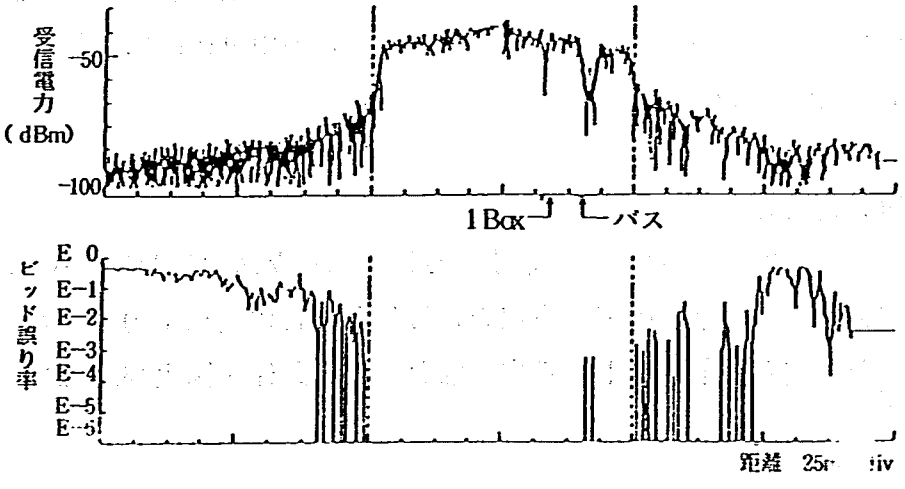
図表(3.2.2) 4-8 追加実験測定条件

ＬＣＸ条件	給電点：中央給電 敷設高：5.1、5.0m
周波数	2.6GHz
伝送速度	64Kbp³
送信レベル	1.0W
測定条件	乗用車
走行条件	車速：40km／h
	走行車線：１．２．３
受信アンテナ位置	ルーフ、センターピラー バンパ、リアトレイ
遮蔽物	配置位置：給電点より30m地点（ワンボクッス） 給電点より60m地点（大型バス） 配置車線：１．２

①遮蔽物の影響について

ＬＣＸとアンテナ間が見通し関係でなくなると、受信電力レベルが大きく劣化する。ただし、劣化の状況はゆるやかであった。これは、電波の反射やまわり込みに起因すると考えられる。また、劣化量はＬＣＸ高さ及びアンテナ高さの組合わせによらず同様な傾向にあった。また、遮蔽物が大きいほど、劣化量は大きい傾向にあった。データ例を図表(3.2.2) 4-9に示す。

図表(3.2.2) 4-9　遮蔽物存在時の受信電界強度



②車両アンテナ設置位置の影響について

側方指向性設置アンテナ（ルーフ、センターピラー、バンパ）に比較して上方指向性アンテナ（リアトレイ）では受信電力レベルが低い。側方指向性アンテナでは大きな差がみられなかった。

（3）実験結果のまとめ

今回の通信機能検証実験において、以下に示すことが検証された。

①ＬＣＸを通信媒体とし、準マイクロ波を利用した通信は受信電界の変動幅が少ない、低レベルまで受信誤りが発生しないなどのすぐれた伝送特性を有している。

②空中線の架設位置はほとんど通信品質に影響しない。ただし、車両アンテナと空中線間の見通しが確保できないと通信品質は低下する。

③速度による通信品質の変化は受信電界、データ誤り率とも特に大きな差は見られない。低速域から高速域まで安定している。

④ＬＣＸの伝送損失は敷設状況とはほとんど関係なく一定である。

⑤送信出力は１Ｗ程度でシステム構築の可能性がある。

３．２．３　通信システムの構成・機能

１）通信制御機器の構成

土木研究所のテストコース上３kmに漏洩同軸ケーブル（ＬＣＸ）を設置し、車両と道路との連続通信を可能にしている。実験システムは６区間に分割し、１区間はおよそ500mで構成する。

各区間には500m長の漏洩同軸ケーブル、区間の中間には無線送受信機、下位情報処理装置を設置し、テストコース近傍の新交通実験棟には上位情報処理装置、車両位置表示装置（ＡＶＭ装置）、ＣＣＴＶモニタ装置を設置している。

それぞれの下位情報処理装置は光ファイバで、隣接する下位情報処理装置や新交通実験棟内の上位情報処理装置と接続している。

（図表(3.2.3) 2-1～図表(3.2.3) 2-3参照）

２）各機器の機能

（１）下位情報処理装置

下位情報処理装置は、区間内を走行する車両との通信、他の下位情報処理装置や道路上の各種センサとの情報交換、上位情報処理装置との通信を行う。

本装置は、さらに、回線制御部と信号処理部に分かれる。回線制御部は、送受信データの作成、編集処理、光ＬＡＮ通信処理などを行ない、信号処理部は、送信データを実際の無線信号に変換し、受信した無線信号を受信データに戻す処理を行い、また、車両登録処理などを行う。

（２）上位情報処理装置

上位情報処理装置は下位情報処理装置を管理する。各下位情報処理装置の通信情況をモニタ、記録したり、車両へ提供する情報を遠隔設定する。

（３）無線送受信機

車両との無線通信を行なう。周波数は2.6GHz帯の２波を使用しており、送信電力は車両、路側とも１Ｗである。送受信機本体と共用分配器から成り、共用分配器は、250m長のＬＣＸ２本に無線信号を分配、集約するものである。

（4）漏洩同軸（ＬＣＸ）

漏洩同軸ケーブルは2.6GHz専用に設計されたケーブルを使用している。直径は約50mm、結合損失は60dB、伝送損失は１ｍあたり0.12dBである。

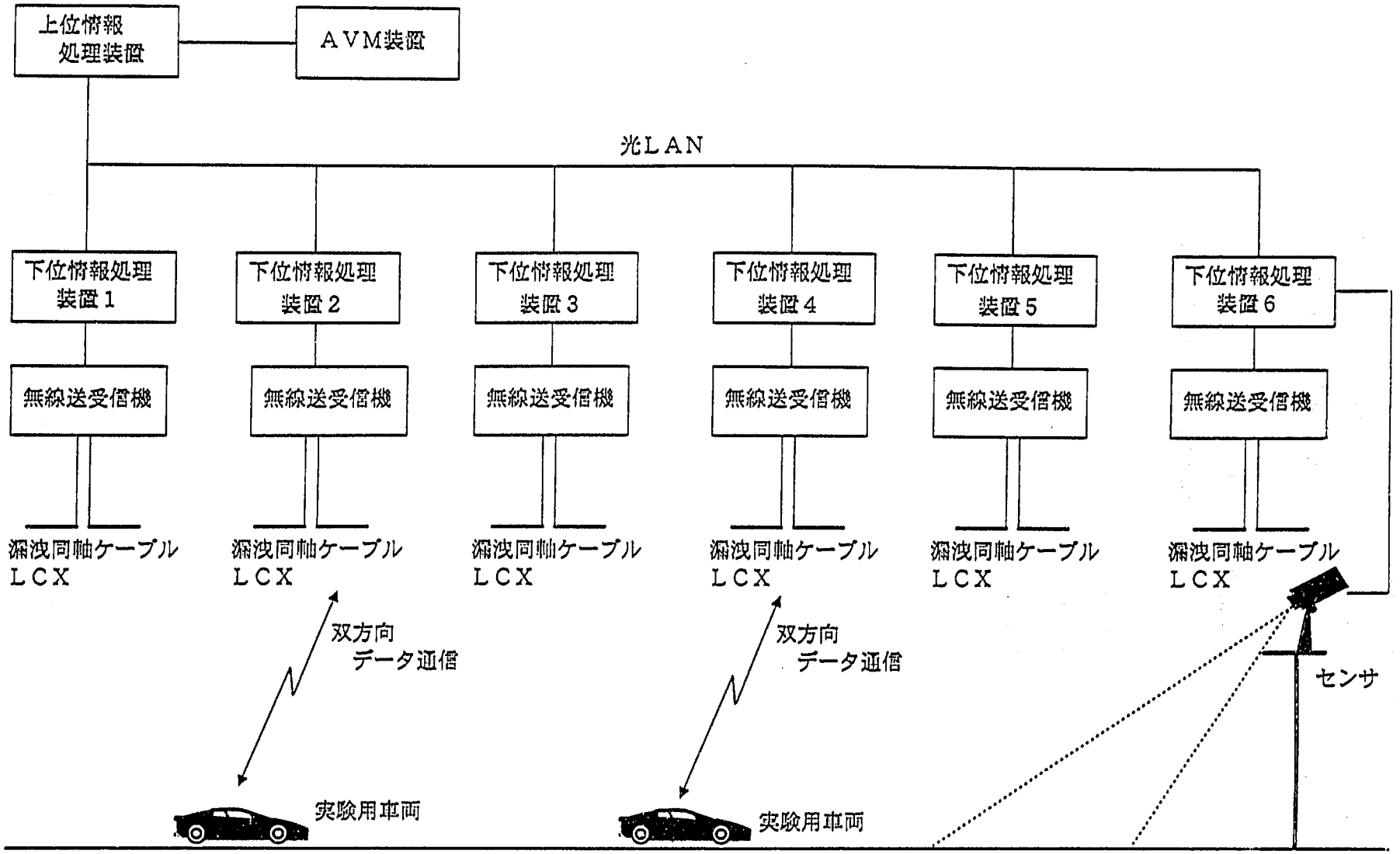
（5）車両位置表示装置（ＡＶＭ）

テストコース上の実験車両の位置や速度を表示する。

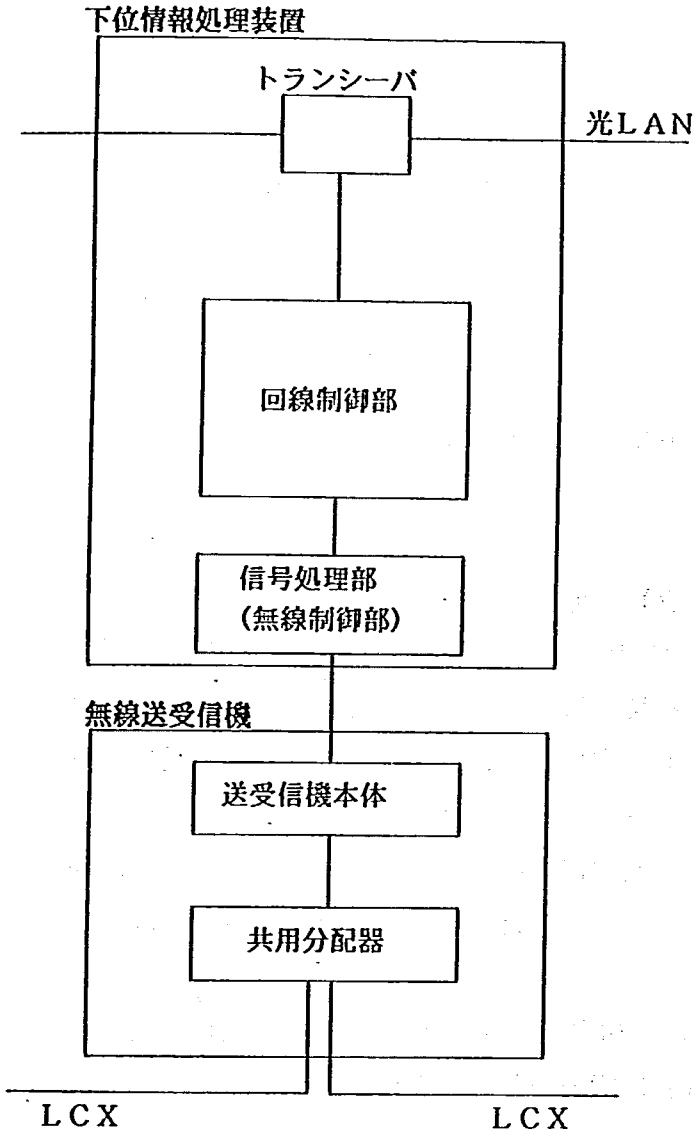
（6）ＣＣＴＶモニタ装置

テストコース上の２ヵ所にモニタカメラを設置し、コースでの実験の様子を新交通実験棟でモニタする。

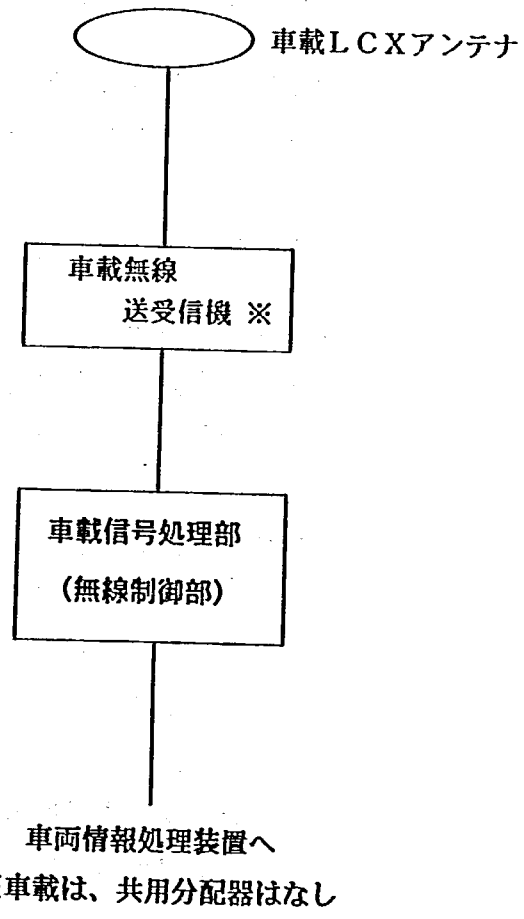
図表(3.2.3) 2-1　通信システムの構成



図表(3.2.3) 2-2　下位情報処理施設と
無線送受信機の構成



図表(3.2.3) 2-3　車両機器構成



３．２．４　通信システムの実験結果

通信制御班の下に評価作業のためのサブグループを設け実験、評価を行った。

１）評価作業概要と評価項目

（１）評価作業の目的

ＡＨＳの双方向通信機能、前方道路危険警告、非常時通報実験の評価を行う。

（２）作業項目と作業内容

①アンケート調査

・実験車両参加者に対し、アンケート用紙を配布（３名／車両参加メーカ）

・アンケート結果を基に、質問項目ごとにデータ整理を行う。

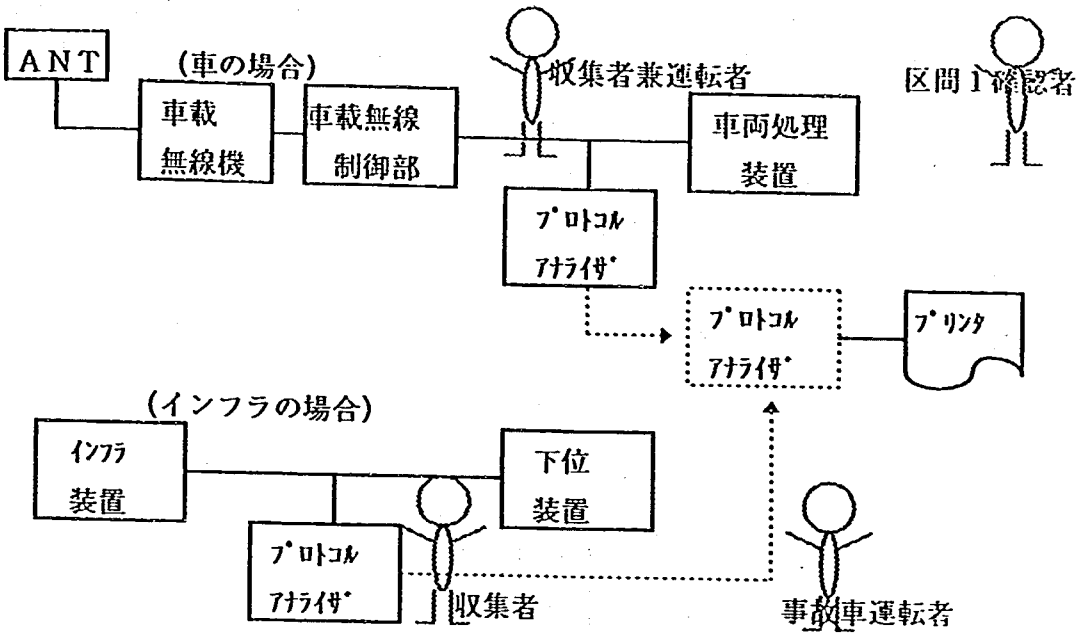
②プロトコルアナライザ（ラインモニタ）での計測

・プロトコルアナライザを232Ｃ回線に挿入し、通信電文を、車の場合は９ピン／９ピン／25ピン３つ又ケーブルを接続し、実験車で３周し１周づつ記録、プリントする。”ＡＲＴＳ１”ソフトで実施。その際、区間１で停止し長期上りを３回上げる。（下位装置１画面で受信を確認しつつ）

・インフラ装置付近の場合は、約10分間記録、プリントする。その際、車を区間５インフラ局舎付近第２車線で停止させることをショートカット走行しながら３回行う。

・再送などの不具合発生状況の有無、通信タイミング遅れ状況などの有無を調査、データを整理する。その結果から通信能力の評価等を行う。

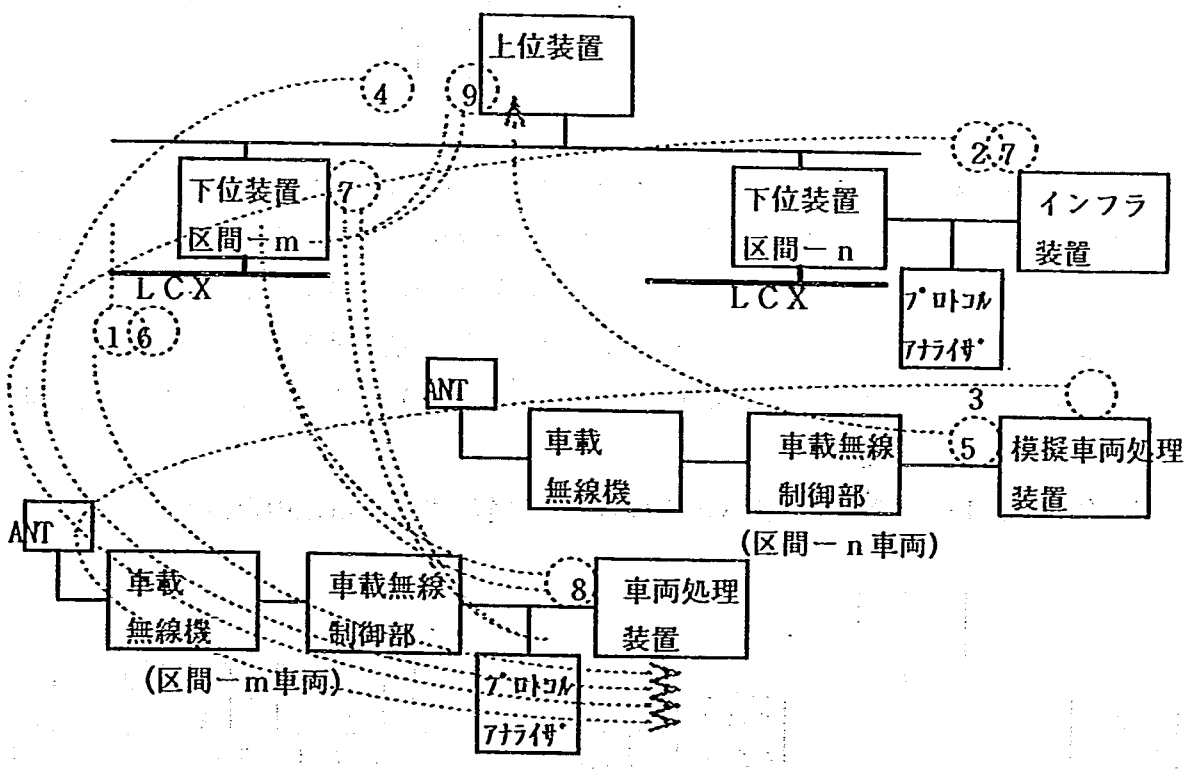
図表(3.2.4) 1-1　実験システムの構成（ﾌﾟﾛﾄｺﾙｱﾅﾗｲｻﾞによる計測）



③ストップウオッチ／ロジックアナライザによる伝送時間計測

伝送時間計測は、次図に示す①から⑨の経路に対し計測する。

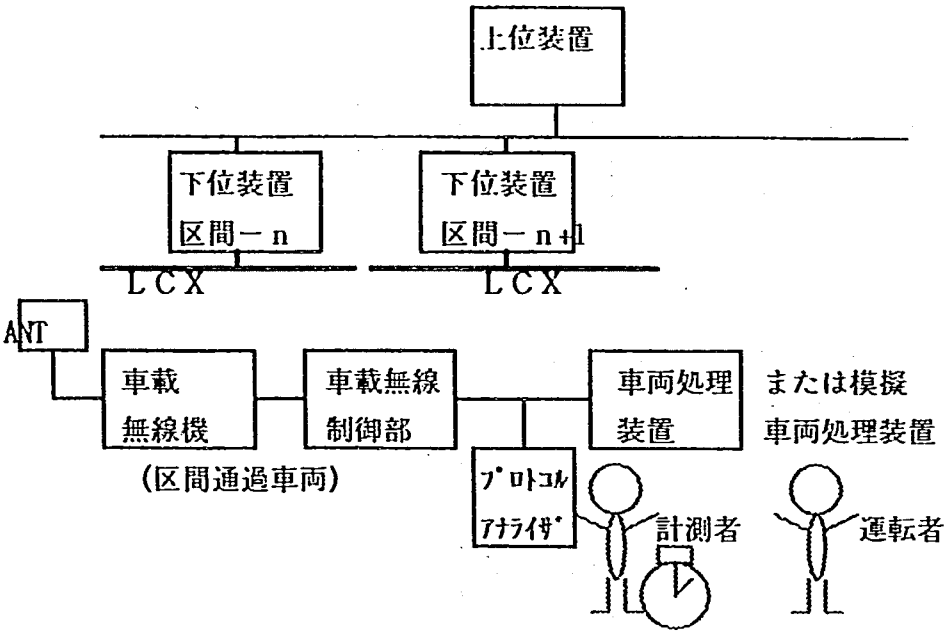
図表(3.2.4) 1-2　伝送時間計測経路



a)通信エリア進入通知遅れ時間・・・プロトコルアナライザを車載機I/Fに挿入し、走行する。ＬＣＸ区間への進入を目視し（コーン等を目印）ストップウオッチをスタートし、アナライザに進入通知コマンドが受かった時ストップし遅れ時間を計測。代表的な４種類の道路構造等に対応した４区間、２スピード、５回走行分、一部区間では走行車線を変えて実施。

また、同一方法で長期下り情報受信遅れ時間も計測する。プロトコルアナライザで計測が難しい場合は、模擬車両処理装置を用いて計測する。

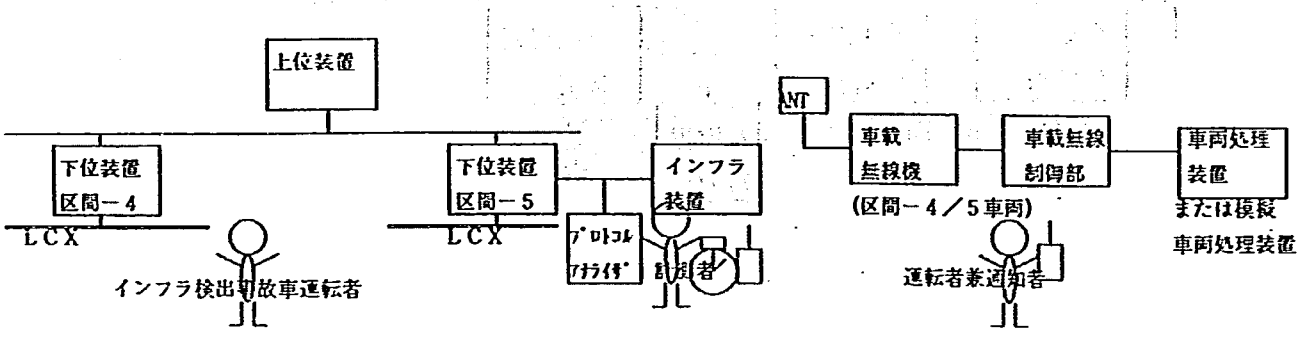
図表(3.2.4) 1-3　実験システムの構成(通信エリア進入通知遅れ時間計測)



b)前方道路危険警告情報の伝送時間・・・インフラ装置I/Fにプロトコルアナライザを挿入し、インフラ情報通過でストップウオッチをスタートさせ、一方、区間４を走行中の車両から情報受信と同時に無線機で音声で通知し、ストップする事で計測する。ただし、音声通知の遅れ時間を、後で補正する必要がある。

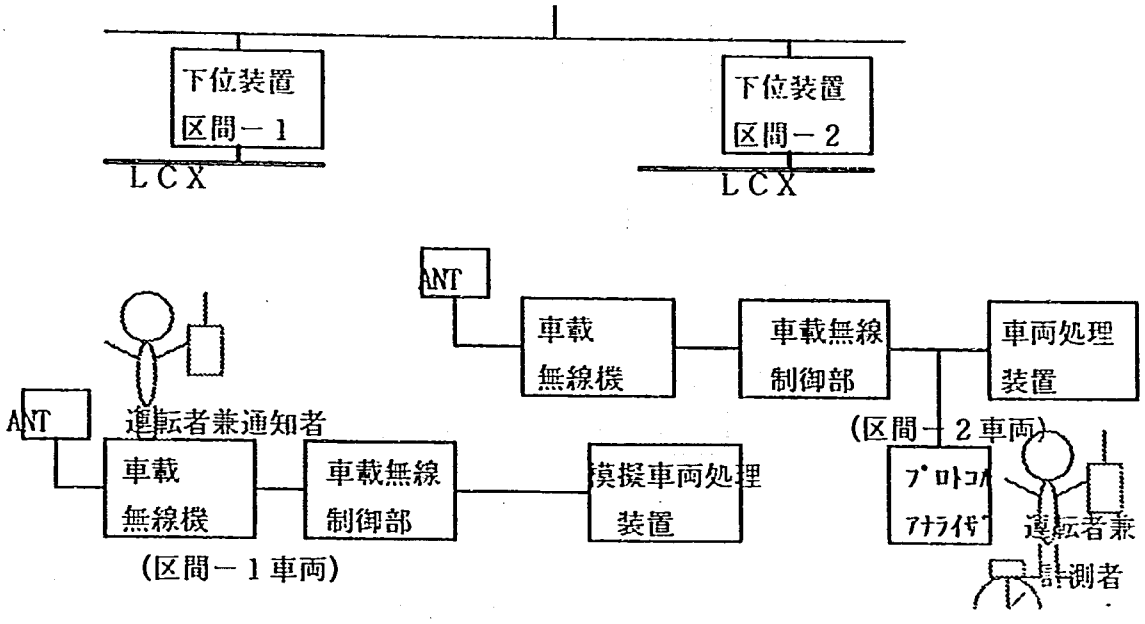
車両位置は、区間５（自区間）と区間４（他区間）の２通り計測する。計測車は停止していて問題ない。

図表(3.2.4) 1-4　実験システムの構成(前方道路危険警告情報の伝送時間計測)



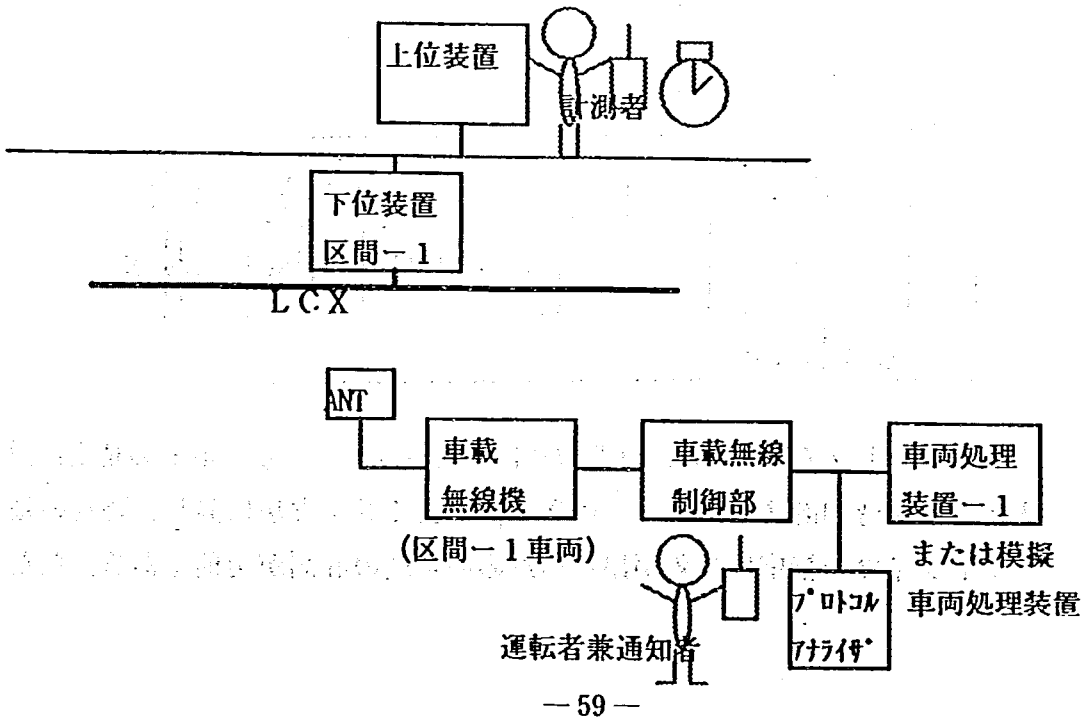
c)非常時通報の伝送時間・・・２台の車両が１、２区間に１台づつ停止し、区間２の車載機より非常時通報を上げ、区間２の車両から区間１の車両に情報が伝送される時間をストップウオッチと無線機の音声通知で計測する。

図表(3.2.4) 1-5　実験システムの構成(非常時通報の伝送時間計測)



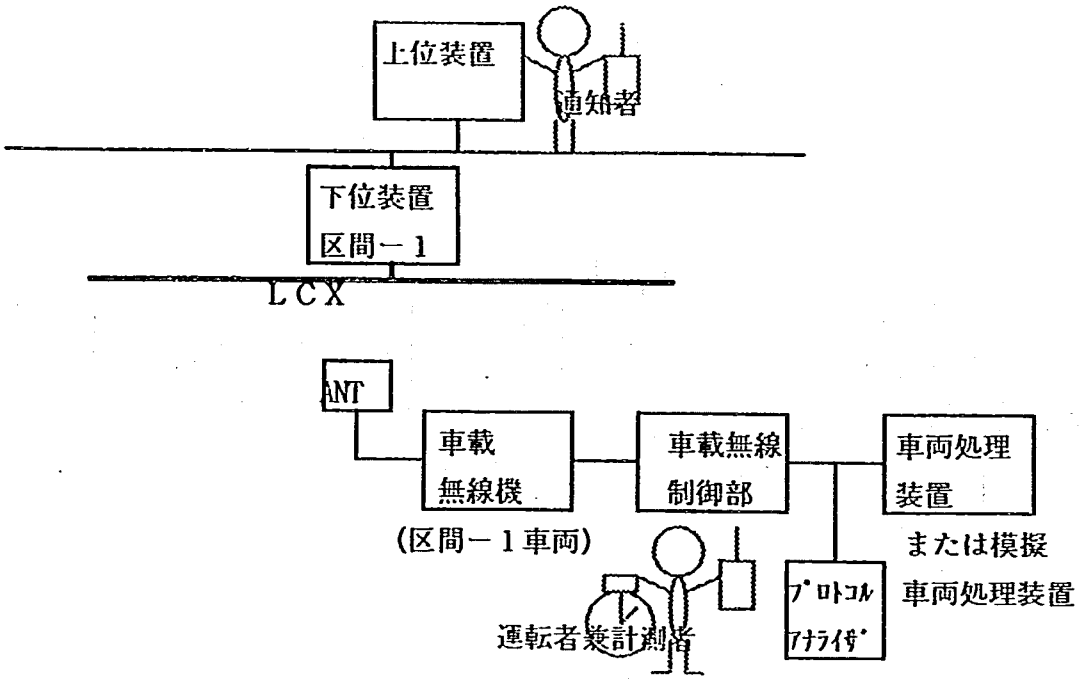
d)上位からの指示情報の伝送時間・・・上位装置で指示キー押下（全車緊急停止など）と同時にストップウオッチをスタートさせ、走行中の車両の車載機I/Fに挿入させたプロトコルアナライザ等で情報受信を目視し、受信と同時に無線機で音声通知し計測する。

図表(3.2.4) 1-6　実験システムの構成(上位からの指示情報の伝送時間計測)



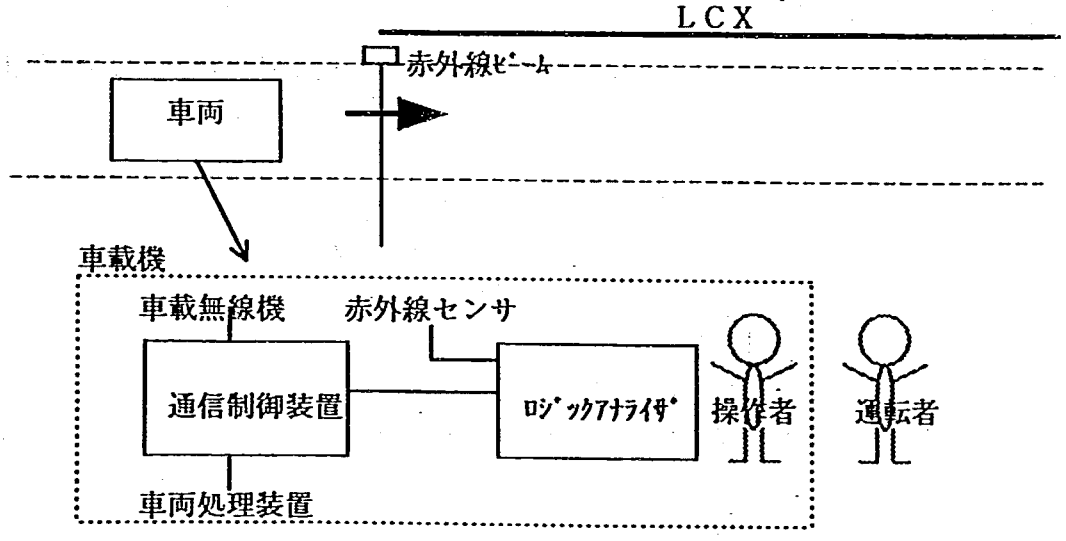
e)上位への報告情報の伝送時間・・・車両の車載機I/Fに挿入したプロトコルアナライザ等で長期上り情報送信確認と同時にストップウオッチをスタートさせ、上位装置では長期上りの報告受信と同時に無線機で車両へ音声通知し計測する。

図表(3.2.4) 1-7　実験システムの構成(上位への報告情報の伝送時間計測)



f)ロジックアナライザによる通信エリア進入通知遅れ時間計測方法・・・下図の様に赤外線センサを用いて実施する。

図表(3.2.4) 1-8　実験システムの構成(通信エリア進入通知遅れ時間計測)



・ロジックアナライザを用いた計測方法は、ストップウオッチ計測の精度に対し、また、伝送時間計測用フレームの送受信による計測方法に対し、時刻の整合、ソフトタイマの精度に誤差が出ないため高精度の計測が可能である。ただし、

計測時には、複数の被実験装置とロジックアナライザを接続するため接続の必要な関連機器を一ヶ所に集められる事が条件となる。

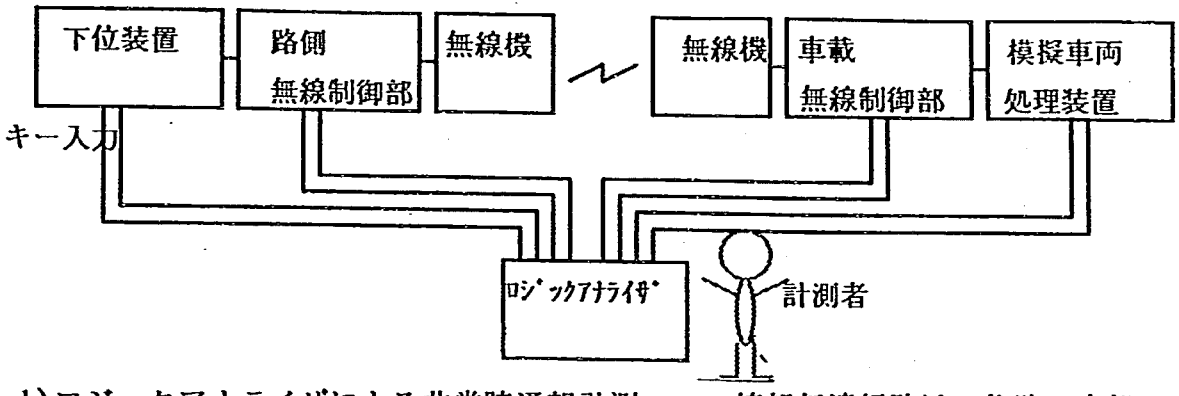
・信号出力ソフトは、ある決められた処理を行った時に信号を出力するものであり、処理の種類に合わせて複数の信号を出力する。

g)ロジックアナライザによる前方道路危険警告情報の伝送時間・・・下位装置、路側無線制御部、車載無線制御部、模擬車両処理装置を一ヶ所に集めそれぞれ２本づつの信号出力線をロジックアナライザに接続し、計測する。

・情報伝達経路は、往路：下位→路無→車無→車処→復路：車処→車無→路無→下位の様に往復を計測する。インフラ装置は、移動が困難なため下位装置がインフラ情報を受信する状況は下位装置のキーの押下で代用させる。

・信号出力線には、各機器でのデータの送信バッファへの格納完了、及び、受信バッファへのデータ受信完了のタイミングで電圧値を距形状に変化させる。

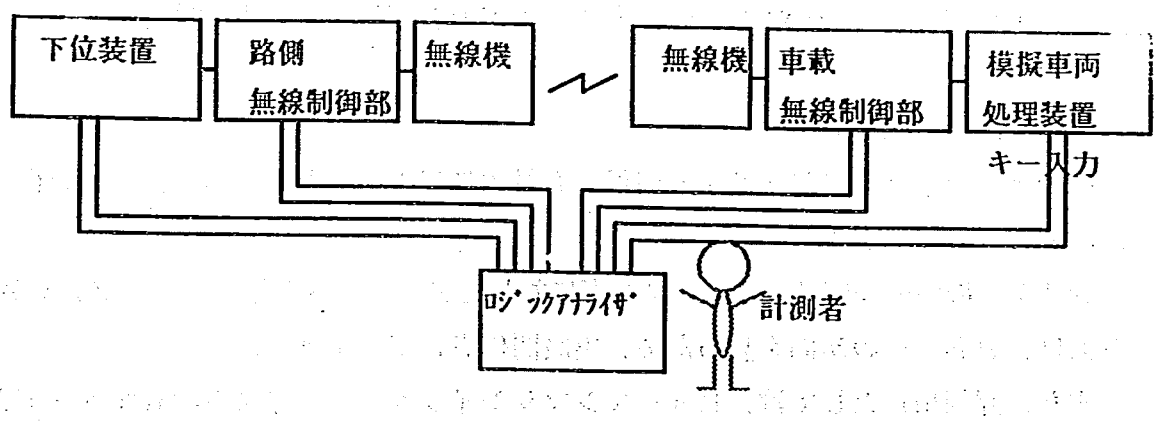
図表(3.2.4) 1-9　実験システムの構成(前方道路危険警告情報の伝送時間計測)



h)ロジックアナライザによる非常時通報計測・・・情報伝達経路は、往路：車処→車無→路無→下位→復路：下位→路無→車無→車処とする。

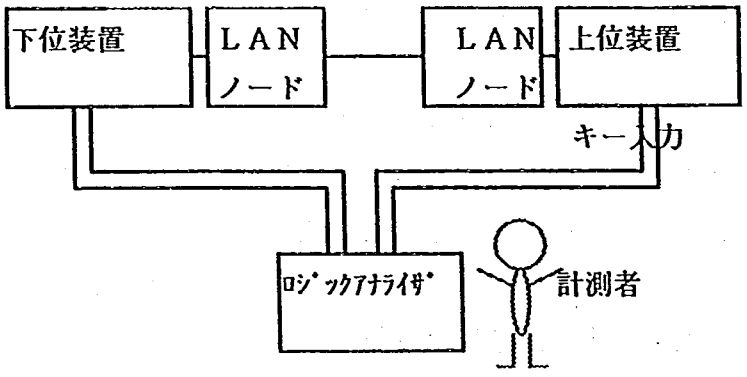
・模擬車両処理装置でキー入力によりトリガーをかける。

図表(3.2.4) 1-10　実験システムの構成(非常時通報の伝送時間計測)



i)上位装置への報告情報・・・情報伝達経路は、往路：上位→下位→復路：下位→上位とする。

図表(3.2.4) 1-11　実験システムの構成(上位装置への報告情報の伝送時間計測)



④下位装置、車載無線制御部収集データ解析

・下位装置で収集した公開デモ時の代表的通信記録をＦＤに読み出す。担当者は、パソコン画面でエディタを用い上記評価項目についてサーチし調査する。

⑤処理装置の能力

・各装置にアイドル時間カウントソフトを組み込み、カウント数の大小で処理余力を計測する。車両０台、長期下りデータ０個から、順次車両台数、長期下り情報数を増加させ、得たグラフ曲線から能力限界を推定する。

⑥伝送時間自動計測

・伝送時間計測用フレームを送受信し、フレームが通過した時に各処理装置がフレーム内にスタンプした時刻を解析し伝送時間を計測する。

2）評価結果

評価結果を、システムの機能、性能、方式、動作の各項目にまとめて説明する。

（1）システム機能評価

機能評価作業は実験参加メーカ関係者を対象にアンケートを実施し、作業を行った。回答者数は15名である。

システム機能の評価は、本来、第３者に対してアンケートを行なうべきであるが、今回は、おおよその傾向を見るため、実験関係者に対し実施した。

また、評価項目としては、ヒューマンマシンインターフェイスも調査すべきであるが、これら車載機の詳細な評価（表示文字数、大きさ、レイアウトなど）につい

ては別途実施することとし、今回は、通信フォーマット、通信手順に係わってくる情報提供形態に関する項目を中心に実施した。

①評価項目と結果

評価項目の分類として、情報内容に関する評価、情報提供手段に関する評価、情報提供のタイミングについての評価の大きく３つに分けた。情報内容に関する評価と情報提供手段に関する評価では、ほぼ現状通りで問題ないとの評価を得たが、情報提供のタイミングについては意見が分かれたものもある。

システム全体については肯定的な意見が多かったが、ナビ・ＶＩＣＳとの棲み分けや統合などの課題も指摘されている。

a)情報内容に関する評価

ｱ)提供された情報の内容はすぐに分かったか

図表(3.2.4) 2-1　アンケート集計結果（情報のわかりやすさ）

	分かった	分からない	未回答
発生事象	１５	0	0
距離	１５	0	0
車線	１４	1	0

ｲ)情報が複雑すぎるか、簡単すぎるか

図表(3.2.4) 2-2　アンケート集計結果（情報の複雑さ）

ちょうど良い	複雑すぎる	簡単すぎる	未回答
１３	0	1	1

ｳ)情報の詳しさは妥当か

図表(3.2.4) 2-3　アンケート集計結果（情報の詳しさ）

妥当（詳細不要）	詳細表示要
１１	4

ｴ)他に欲しい情報

・霧、雨、凍結、雪、氷等の突然の気象変化地点の表示
・カメラでとらえた動的な情報
・出口、サービスエリア、料金所までの距離

b)情報提供手段に関する評価

ｱ)文字・図形・音声の認識しやすさ

図表(3.2.4) 2-4　アンケート集計結果（情報提供手段の認識のしやすさ）

手段	認識しやすい	認識しにくい	未回答
文字	１２	3	0
図形	１５	0	0
音声	１３	0	3

ｲ)提供装置の設置場所は妥当か

図表(3.2.4) 2-5　アンケート集計結果（提供装置の設置場所）

妥当	不適当	未回答	設置場所
１３	1	1	インパネ、フロントガラス、センターコンソール

注：センターコンソール設置が不適当と回答

ｳ)表示を見ることで危険を感じたか

図表(3.2.4) 2-6　アンケート集計結果（危険の有無）

危険を感じた	感じなかった	未回答
4	１１	0

ｴ)提供手段としてのメディアの組み合わせ

図表(3.2.4) 2-7　アンケート集計結果（適当なメディアの組み合わせ）

文字	図形	音声	文字･図形	文字･音声	図形･音声	文字･音声･図形	その他
0	0	0	0	0	1	１４	0

ｵ)提供手段への改善要望

特になし。

c)情報提供のタイミングについて

ｱ)情報提供開始のタイミング・情報の更新間隔（距離）は妥当か

図表(3.2.4) 2-8　アンケート集計結果（情報提供開始のタイミング・更新距離）

	妥当	不適当	未回答
タイミング	１０	2	3
更新間隔	9	4	2

ｲ)どの程度手前から情報が欲しいか

図表(3.2.4) 2-9　アンケート集計結果（情報の欲しい範囲）

1,000m	2,000m	3,000m	4,000m	5,000m
1	2	1	0	1

ｳ)妥当と考えられる表示内容の更新間隔（距離）

図表(3.2.4) 2-10　アンケート集計結果（表示内容の更新距離）

100m	150m	200m	250m	300m
1	0	1	1	2

ｴ)表示内容の更新間隔（時間）

図表(3.2.4) 2-11　アンケート集計結果（表示内容の更新時間）

0.5s以下	1ｓ	5ｓ	30s	1min	5min以上	未回答
1	1	10	2	0	0	1

ｵ)本線、カーブ、ＪＣＴ以外に情報が必要と思われる場所（最大３つ）

図表(3.2.4) 2-12　アンケート集計結果（情報が必要な場所）

SA・PA	料金所	入路(分岐)	出路(分流)	トンネル
7	8	9	9	6

ｶ)連続的な提供は必要か

図表(3.2.4) 2-13　アンケート集計結果（連続的な情報提供の必要性）

必要	一定間隔	未回答
6	7	2

ｷ)事象発生地点にいたるまでの情報提供は必要か

図表(3.2.4) 2-14　アンケート集計結果（事象発生地点までの情報提供の必要性）

発生地点まで	手前まで
13	2

ｸ)手前までの場合の距離

図表(3.2.4) 2-15　アンケート集計結果（手前までの場合の距離）

50m	100m
1	1

d)システム全体

ア)本システムによって、どの程度安全性が高まるか

・事前に危険等の情報を知ることにより、かなり安全性が高まる。特に、雨、雪の場合（視界の悪い条件下）に有効である。（５名）
・渋滞時の追突事故、多重衝突など（２次災害）が低減される。（５名）
・急な天候変化では大幅な安全性の向上、渋滞、事故、落下物では安心感が主に向上する。（２名）
・渋滞軽減による事故の低減。

イ)本システムによって、どの程度快適性（安心感）が高まるか

・前方の危険事象が分かり、事故に巻き込まれずにすむことへの安心感が、かなり高まる（不測の事態への安心感）。（５名）
・自車、自車周辺での異常発生時に外部へ通報できることの安心感が、かなり高まる。（４名）
・事前に前方の事象を知ることで、ドライバに心のゆとりが生じる。（２名）
・少しだけ高まる（ほとんどのユーザは、そんなに意識していないのではないだろうか）。

ウ)安全性を向上させるために改善すべき点は何か

・危険事象の検出精度をアップ
・表示デバイス（２名）
・表示位置（２名）
・情報の信頼性と即時性の向上（４名）
・高速走行時の玉突き衝突等を皆無にするために、ＬＣＸは何ができるかの検討（緊急性対応）
・事象を正確に判断できる方式の検討
・警告を無視した場合の対応検討
・ボーレートアップと通信の信頼性向上

エ)システムの使いやすさ（受け入れやすさ）を高めるために改善すべき点は何か

・小型化
・コスト低減（２名）
・ナビゲーションシステム、ＶＩＣＳ等との使い分け（システム統合）（４名）
・情報の交換が一方通行であり、通信の双方向性を高めるべきである。
・表示デザイン（ヒューマンインターフェイス）（３名）

・表示タイミング
・ドライバの手を煩わせることなく、大きな安心感を得るための、セールスポイントの確保
・安全以外の機能の追加
・情報の信頼性向上（２名）
・事象検出技術をはじめとする、機能の信頼性向上（２名）

e)その他

ｱ)エアーフォーマット見直し

ｱ)-1短期上り
・前方警告でも車速が必要である。
・車両位置がキロポストとの差だけでは不足である。

ｱ)-2長期下り
・データ長はSIZEがあるので不要である。

ｱ)-3全体
・データ長、データ間の区切りを分かりやすくする。バイト単位で分ける。

ｲ)データ
・緊急メッセージと事象が同じ原因で出る必要はなく、どちらかに統一（事象）した方がデータが少なくなる。

②考察

全体として、現状のシステム機能に対し肯定的な評価が大半であった。情報提供手段において車載ディスプレイ表示を見ることで運転に危険を感じたとの回答が数名いたことは、ヒューマンインターフェイスの改善の余地がかなりあることを示している。情報提供のタイミングについては意見が分かれたが、今後の実験において上記安全面なども含め適切なタイミングを見極める必要がある。

その他システム全体に対しての意見については、現状のシステムに対して肯定的な意見が多かったが、いくつかの改善点や課題も指摘されており、引き続き検討が必要である。

また、今回は開発者に対してのアンケート調査による評価であったが、今後機能の評価に当たっては、一般利用者の評価も必要であり、何らかの施策を検討することが、機能評価としての今後の課題である。

（２）システム性能評価

本評価作業は、ストップウオッチ、ロジックアナライザ、ラインモニタ、赤外線センサ等の機能を用いて、また専用の計測用データフォーマット（パケット）を用意し、伝送時間、処理能力を対象に行った。

①伝送時間の評価

a)ストップウオッチによる伝送時間計測

ストップウオッチ計測では、操作者の反応遅れによる計測誤差が無視出来ないため、操作者の反応遅れをまず計測した。最初の人がヘッドライトを点灯し、次の人が点灯を見て別のヘッドライトを点灯し、最後の人がストップウオッチをストップし、最初の人と最後の人のストップウオッチを比較することで人間の反応時間（２人介在）を計測したところ次のようになった。

図表(3.2.4) 2-16　操作者の反応時間計測結果

(秒)

	条件	１回	２回	３回	４回	５回	平 均
反応時間	昼間	0.72	0.85	0.89	0.94	0.55	0.79秒

したがって、１人当たり反応遅れは0.4秒となり、以降人間が介在する計測はこれで補正することとする。

7)通信エリア進入通知遅れ時間

7)-1　計測方法

ＬＣＸ区間への進入時点で目視によりストップウオッチをスタートし、プロトコルアナライザ上で進入通知コマンド受信が確認できたときストップすることにより進入通知遅れ時間を測定する。

・対象区間　区間１（ＬＣＸ通信の末端タイプ）、区間２（標準的直線タイプ）、区間３（反対車線の区間６の影響がある直線タイプ）、区間５（バンク部のカーブ路タイプ）

・対象車線　車線１（路肩側）および３（分離帯側）

図表(3.2.4) 2-17　通信エリア進入通知遅れ時間計測結果

(単位：秒)

区間／車線	車　速	1回	2回	3回	4回	5回	平均
区間1							
車線1	20km/h	-18.37	-20.17	-18.27	-23.70	-17.44	-19.95
	60km/h	-2.11	-4.85	-4.75	-3.94	-4.30	-3.99
車線3	20km/h	-19.95	-18.27	-15.31	-20.56	-32.95	-21.41
	60km/h	-5.53	-7.26	-5.52	-7.43	-5.88	-6.32
区間2							
車線1	20km/h	1.33	0.89	0.80	0.93	1.29	1.05
	60km/h	0.96	0.94	0.70	0.92	0.68	0.84
車線2(異なる	20km/h	0.91	0.90	1.14	1.51	0.88	1.07
日時に測定)	60km/h	0.87	0.66	1.07	0.67	0.87	0.83
車線3	20km/h	2.12	1.45	0.94	0.78	0.93	1.24
	60km/h	1.07	0.77	0.97	0.98	1.15	0.99
区間3							
車線1	20km/h	1.02	0.98	0.97	0.95	0.89	0.96
	60km/h	0.72	0.65	0.64	0.61	0.61	0.65
車線3	20km/h	1.33	1.39	1.44	1.64	1.16	1.39
	60km/h	0.77	0.78	0.80	0.93	0.84	0.82
車線3	60km/h	2.53	1.33	1.29	1.31	1.63	1.62
(区間6							
ｱｯﾃﾈｰﾀなし)							
区間5							
車線1	20km/h	1.39	1.67	1.28	1.47	1.23	1.41
	60km/h	0.86	0.90	0.88	0.89	0.76	0.86
車線3	20km/h	1.74	1.75	1.94	2.02	2.01	1.89
	60km/h	1.26	1.15	1.15	1.14	1.18	1.18

ｱｯﾃﾈｰﾀ：区間3への影響を押さえるため区間6の下流側ＬＣＸに挿入した10dBの減衰器

ｱ)-1-1　通信エリア進入通知遅れ（通信エリア進入通知受信まで）

進入通知までの時間とは、車両が新たなＬＣＸ区間に入ったことを車両が認識するまでの時間差を示す。

・対象区間区間２（標準的直線タイプ）、区間３（反対車線の区間６の影響があるタイプ）

・対象車線車線１及び３

図表(3.2.4) 2-18　通信エリア進入通知遅れ時間計測結果単位：秒)

区間／車線	車速	1回	2回	3回	4回	5回		距離差 (時間×車速)
通常の直線区間 (区間2)								
車線1	20km/h	0.21	0	0.1			計測不能	—
	60km/h	0.30	0.3				計測不能	—
車線3	20km/h	0.64	0.8				0.75	4.2m
	60km/h	0.42	0.5				0.48	8.0m
反対車線通信の影響を受ける区間 (区間3)								
車線3	20km/h	1.88	1.0	1.1	1.11	1.0	1.25	6.9m
	60km/h	0.94	0.8				0.89	14.8m
車線3 (区間6 ｱｯﾃﾈｰﾀなし)	20km/h	2.31	1.3	2.38	1.88	2.37	2.06	11.4m
	60km/h	1.20	1.59				1.40	23.3m

ｱ)-1-2　通信エリア進入から長期下り情報受信までの遅れ時間(区間6ｱｯﾃﾈｰﾀなし)

長期下り情報受信までの時間とは、新たなＬＣＸ区間に進入して、その区間の固有のデータを受信するまでの時間に相当する。

・対象区間　前項に同じ

・対象車線　前項に同じ

図表(3.2.4) 2-19　通信エリア進入通知遅れ時間計測結果

(単位：秒)

区間／車線	車速	1回	2回	3回	4回	5回	平均
(区間2)							
車線1	60km/h	1.38	1.59	1.27	1.19	1.59	1.40
車線3	60km/h	1.51	1.58	1.26	1.50	1.43	1.46
(区間3)							
車線1	60km/h	1.32	1.46	1.53	1.12	1.73	1.43
車線3	60km/h	2.68	3.22	2.97	2.19	2.24	2.66

ｱ)-2　考察

ｱ)-2-1　通信エリア進入通知遅れ時間（登録ＡＣＫ受信まで）

区間1では車線1、3ともかなり前からデータを受信しており、車線3の方が車線1に比べより手前で受信する。手前で受信する距離は平均値から、車線1におい

て20km/hの場合で約108m、60km/hの場合で約66mとなる。したがって、手前で受信しないよう何らかの対策が必要と思われる。

区間２と区間３（区間６のアッテネータ有り）では、車線１，３とも0.1秒前後の差であり、両区間ではあまり差がないと思われる。車線３で区間６のアッテネータをはずすことにより倍近くの時間を要しており反対車線の区間６からの電波の影響は距離が近付くと急激に増えるものと思われる。

ｱ)-2-2通信エリア進入通知遅れ時間（通信エリア進入通知受信まで）

ＡＣＫ受信の前までの時間を測定したものであるが、車線１では進入時の目視による確認からプロトコルアナライザの表示をみるための視線移動の間に完了してしまうので正確には測定できなかった。そのため、赤外線センサ使用の計測にゆだねるものとした。

この場合も、区間３で区間６のｱｯﾃﾈｰﾀ無しの場合がもっとも時間を要しており、区間６の影響があるものと思われる。

ｱ)-2-3　通信エリア進入から長期下り情報受信までの遅れ時間（区間６ｱｯﾃﾈｰﾀ無し）

区間３の車線３でもっとも時間を要しているが、その他の場合区間２とは大差ない結果となっている。したがって、前項同様区間３の車線３がもっとも強く区間６の影響を受けていると思われる。

ｲ)前方道路危険警告情報の伝送時間

ｲ)-1　計測方法

インフラ装置に接続したプロトコルアナライザにてインフラ情報通過を確認した時点でストップウオッチをスタートさせ、車両からの情報受信の音声通知（車両のヘッドライト点灯）でストップさせることにより伝送時間の計測を行う。

ｲ)-2　計測データ

以下に計測データを示す。

図表(3.2.4) 2-20　前方道路危険警告情報の伝送時間計測結果

（単位：秒）

区間／車線	車速	1回	2回	3回	4回	5回	平均	補正後
区間5→5	停止	0.90	0.96	1.08	0.84	0.78	0.91	0.51
区間5→4	停止	1.68	0.95	0.91	1.98	1.74	1.45	1.05

ｲ)-3　考察

自区間の場合と他区間の場合では平均で0.5秒の差がある。これは他区間の下位装置との情報伝送時間に相当するものと考えられる。

ﾛ)非常時通報情報の伝送時間

ﾛ)-1　計測方法

同一区間と他区間の場合を計測した。何れも前方の実験車両が非常通報を発信し、後方車両（模擬車両処理装置）で受信する。

・車載の事故ボタンの押下からの伝送時間を計測した。

・後方車両のヘッドライトの点灯で前方車両に準備完了を通知し、また、前方車両のブレーキランプの消灯で事故ボタン押下を後方車両に知らせることで実施した。

ﾛ)-2　計測データ

図表(3.2.4) 2-21　非常時通報情報の伝送時間計測結果

（単位：秒）

区間／車線	車速	1回	2回	3回	4回	5回	平均	補正後
区間2→区間2 車線1	停止	1.45	1.38	1.22	1.37	1.15	1.31	0.51
区間2→区間1 車線1	停止	1.42	2.54	1.90	1.96	1.29	1.82	1.72

次データは、非常時通報情報発信車両側のアプリケーション処理時間を除くため、模擬車両処理装置2台を用いて計測したものである。また、100V電源をコードで供給する関係で計測区間を変更している。

図表(3.2.4) 2-22　非常時通報情報の伝送時間計測結果

（単位：秒）

区間／車線	車速	1回	2回	3回	4回	5回	平均	補正後
区間2→区間2 車線1	停止	1.68	1.56	1.56	1.26	1.14	1.44	0.64
区間2→区間1 車線1	停止	1.44	1.50	1.80	1.51	1.49	1.55	0.75

ﾛ)-3　考察

事故ボタン押下処理については、処理時間にバラツキが多いことが分かる。また、それを考慮して伝送時間は、自区間内で0.6秒、他区間で0.9秒、自、他の差は、0.3秒程度である。

ｲ)上位からの指示情報の伝送時間

ｲ)-1　計測方法

正確に計測するため、建物内の上位装置に隣接して模擬の区間１下位装置と模擬車両処理装置を設置し、上位装置で緊急停止ボタンを押下する時カウントダウンし、ストップウオッチスタートタイミングの誤差を減らす工夫をし、計測した。カウントダウンを行なうため操作者反応時間補正は１人分で行った。

ｲ)-2　計測データ（補正後）

図表(3.2.4) 2-23　上位からの指示情報の伝送時間計測結果

（単位：秒）

区間／車線	車速	１回	２回	３回	４回	５回	平均
模擬区間１（建物内）	停止	0.23	0.29	0.30	0.30	0.31	0.29

ｲ)-3　考察

長期下り情報を車両に送信するだけであり、無線の0.1秒周期サイクルの待ち時間、光ファイバの伝送時間、下位装置、路側信号処理部、車側信号処理部での処理時間の合計のみでありかなり早く伝送できるようである。

ﾛ)上位への報告情報の伝送時間

ﾛ)-1　計測方法

前項と同様とし、模擬車両処理装置からの長期上り情報受信ボタン押下をカウントダウンで行い、計測した。

ﾛ)-2　計測データ

図表(3.2.4) 2-24　上位への報告情報の伝送時間計測結果

（単位：秒）

区間／車線	車速	１回	２回	３回	４回	５回	平均
模擬区間１（建物内）	停止	0.46	0.45	0.50	0.32	0.46	0.44

ﾛ)-3考察

長期上りデータの送信は、0.6秒周期で回ってくる割当てスロットを待って上り送信するため、前項と異なり、時間にばらつきあり。また、多少伝送時間が増加しているようである。

b)ロジックアナライザによる伝送時間計測

ア)通信エリア進入通知遅れ時間

ア)-1　計測方法

・区間１、２間、及び区間２、３間のＬＣＸ境界で計測した。

・計測に使用した赤外線センサの仕様は、次の通り。

・検出方式：透過性

・検出距離：０～30m

・光軸機械軸のずれ：最大±２°

・電圧、電流：ＤＣ10～30Ｖ，50mA以下（投光、受光計）

・応対時間：１ms以下（動作、復帰とも）

・制御出力：ＮＰＮ出力1.2Ｖ以下

・使用周囲照度：10,000ルクス以下（太陽光、受光面照度）

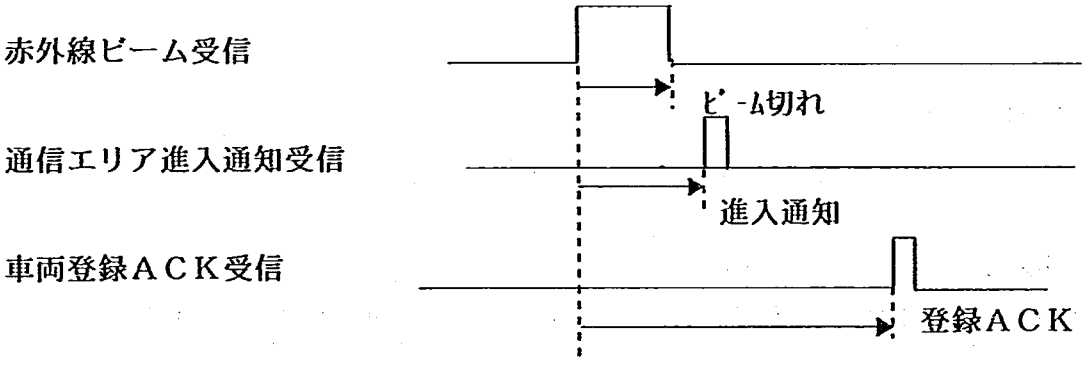
・車両は、土木研究所のセプタを使用。

・路側の発光センサは、ガードレール横にガムテープで貼付け、車両の受光センサは車両の車載アンテナ下のボディーに発光センサと同じ高さにガムテープで貼付けた。両センサ共ほぼ水平、進行方向に直角に貼付けた。

ア)-2　計測結果

数値の見方は、次の通り。単位は、m秒。マイナスは、位置が逆転する。

図表(3.2.4) 2-25　ビーム切れ、進入通知、登録ＡＣＫの計測時点



ｱ)-2-1　区間１、２境界、第１車線

図表(3.2.4) 2-26　通信エリア進入通知遅れ時間計測結果

(ｍｓ)

回数	２０ｋｍ／ｈ			６０ｋｍ／ｈ		
	ﾋﾞｰﾑ切れ	進入通知	登録ACK	ﾋﾞｰﾑ切れ	進入通知	登録ACK
1	100	-102	311	35	66	204
2	96	243	390	37	184	358
3	88	-74	41	37	355	481
平均	94.7	22.3	247.3	36.3	201.7	347.7
遅れ時間	－	-0.03秒	0.20秒	－	0.18秒	0.33秒

ｱ)-2-2　区間１、２境界、第３車線

図表(3.2.4) 2-27　通信エリア進入通知遅れ時間計測結果

(ｍｓ)

回数	２０ｋｍ／ｈ			６０ｋｍ／ｈ		
	ﾋﾞｰﾑ切れ	進入通知	登録ACK	ﾋﾞｰﾑ切れ	進入通知	登録ACK
1	251	-450	-196	90	61	255
2	232	-432	80	88	26	298
3	245	-421	-69	91	85	509
平均	242.7	-434.3	-61.7	89.7	57.3	354
遅れ時間	－	-0.56秒	-0.18秒	－	0.00秒	0.31秒

ｱ)-2-3　区間２、３境界、第１車線

図表(3.2.4) 2-28　通信エリア進入通知遅れ時間計測結果

(ｍｓ)

回数	２０ｋｍ／ｈ			６０ｋｍ／ｈ		
	ﾋﾞｰﾑ切れ	進入通知	登録ACK	ﾋﾞｰﾑ切れ	進入通知	登録ACK
1	101	109	469	37	259	393
2	109	328	485	38	221	392
3	101	294	518	35	286	496
平均	103.7	243.7	490.7	36.7	267.6	427
遅れ時間	－	0.19秒	0.44秒	－	0.25秒	0.41秒

ｱ)-2-4　区間２、３境界、第３車線

図表(3.2.4) 2-29　通信エリア進入通知遅れ時間計測結果

(ｍｓ)

回数	２０ｋｍ／ｈ			６０ｋｍ／ｈ		
	ﾋﾞｰﾑ切れ	進入通知	登録ACK	ﾋﾞｰﾑ切れ	進入通知	登録ACK
1	243	510	939	85	195	401
2	261	3	745	82	147	536
3	262	9	738	93	451	641
平均	255.3	174	807.3	86.7	264.3	526
遅れ時間	－	0.13秒	0.76秒	－	0.22秒	0.48秒

※遅れ時間は、ビーム切れの半分の値からの時間として計算している。

ｱ)-3　考察

区間１、２境界の測定結果では、第１車線でほぼ同時に進入を受信するが、第３

車線では早目に受信されることがわかる。また、区間２、３境界では、進入通知と登録ＡＣＫも区間１、２境界より遅くなっており、反対車線の電波の影響をうけていると思われる。さらに、前述のストップウオッチによる計測より全体に少な目の値となっているが、この差は人間の操作遅れ時間が車に乗りながら画面を見る場合さらに遅れるためと思われる。

イ)前方道路危険警告情報の伝送時間

イ)-1　計測方法

下位情報処理装置から車両処理装置までのデータ伝送時間を計測し、前方道路危険警告情報の伝送時間とする。

ただし、インフラ装置での画像処理時間と、インフラ装置から下位装置までの時間は含まない

イ)-2　計測結果

図表(3.2.4) 2-30　前方道路危険警告情報の伝送時間計測結果

情報または I/F	経　路	伝送時間	備考
長期下り (無線部分)	路側無線制御部 ⇒ 車載無線制御部	87～30ms 平均 60ms	MAX 100ms
車載機 I/F (RS232C)	車載無線制御部 ⇒ 車両処理装置	上り 24～39.5ms 平均 36ms 下り 30.5ms	ﾃﾞｰﾀ長 26B
長期上り	路側無線制御部 ⇔ 車両処理装置	531.5～130ms 平均 296ms	6ｻｲｸﾙ ごとにｽﾛｯﾄあり
下位装置内 I/F	回線制御部 ⇔ 路側無線制御部	上り 1.5～1ms 平均 1.4ms 下り 1.5～1ms 平均1.2ms	

※元のデータは３）資料編の資料－１を参照

イ)-3　考察

・無線制御部から無線区間への送信時には、送信タイミング待ち時間が含まれる。
・長期下りは、（路無線制御の始端→車無線制御始端）一度イベントが発生した後は、１秒ごとに送信するが最初の一発目は、100msのサイクルで送信を始めるため最大でも100msと考えられ、実測は理論通りである。
・車載のRS232部の伝送時間は、使用した車両処理装置が、計測専用機であり、これも理論通りであった。
・長期上りは、範囲が広い理由は６サイクル（100msごとに10台分54台で600ms）

ごとに長期上りのスロットが割り当てられているため、その待ち時間が色々のためと思われる。

・処理時間も含め、下位装置から車両までの伝送時間は、66ms～131msの結果となった。

ｳ)非常時通報情報の伝送時間

ｳ)-1　計測方法

車両処理から、下位情報処理装置までのデータ伝送時間を計測した。

ｳ)-2　計測結果

図表(3.2.4) 2-31　非常時通報情報の伝送時間計測結果

情報または I/ F	経　　路	伝送時間	備考
車載機I/F (RS232C)	車載無線制御部⇔車両処理装置	下り 22.3～22.4ms 上り 23.5～23.9ms	ﾃﾞｰﾀ長 19B
短期上り	車載無線制御部 ⇒路側無線制御部	9.7～71.5ms 平均32.8ms	MAX 100ms
長期下り	路側無線制御部 ⇒車載無線制御部	17.8～18.3ms 平均18.0ms	
下位装置内I/F	回線制御部⇔路側無線制御部	下り 1.6～1.8ms 上り 0.6ms	

※元のデータは、３）資料編の資料－1を参照

ｳ)-3 考察

・ＲＳ２３２Ｃの伝送時間、短期上りの伝送時間は理論通りであった。

・処理時間を含め、車両から下位装置までは、54.3ms～121.4msの結果となった。

・長期下りが、17.8ms～18.3ms、平均18.0msであることは、100ms周期よりかなり短期時間であり、さらに解析する必要がある。

I)上位装置への報告情報の伝送時間

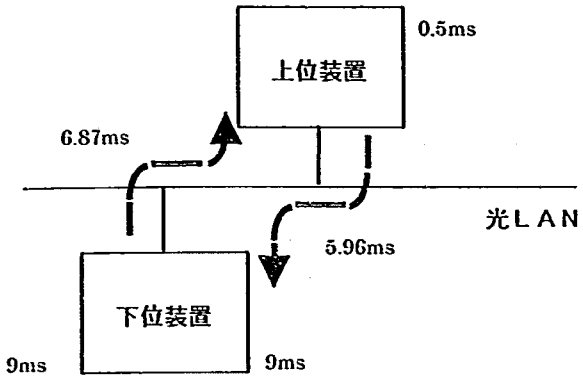
I)-1　計測方法

下位装置から上位装置への光ＬＡＮ経由の報告伝送時間を計測する。

I)-2　計測結果

図表(3.2.4) 2-32　下位装置から上位装置への伝送時間計測結果

Ⅰ. 上位処理装置処理時間　：0.5ms
Ⅱ. 光ＬＡＮ伝送時間　：5.96ms
Ⅲ. 下位処理装置処理時間　：9ms
Ⅳ. 光ＬＡＮ伝送時間　：6.87ms
Ⅴ. トータル　：22.33ms



※元のデータは、３）資料編の資料－２に示す

I)-3　考察

・元のデータでは、上位から下位への往復時間を計測したが、データ長にかかわらず、ほぼ22msかかり、片道の伝送時間は約11msである。
・現在他のサブグループで検討中の伝送時間は、装置処理時間：0.1s、通信時間：0.1s～0.5sであることから、要求性能を満足していることが分かる。
・現在、車間側方コントロールシステムＷＧで検討段階にあるシステム構成では、中位装置の設置やＬＡＮ以外の通信システムの利用が考えられることから、実システムと同等の構成での再試験が必要である。

c) パケット授受による伝送時間自動計測

ｱ)上位からの往復計測

ｱ)-1　計測方法

上位装置からデータを送信し、下位装置、無線区間を経由して車両処理装置にて折り返して上位装置に返送されるまでの伝送時間をデータに付与されたタイムスタンプにて測定する。

ｱ)-2　計測データ

次に測定データの整理結果を示す。

図表(3.2.4) 2-33　上位からの往復における伝送時間計測結果

(単位　100ms)

	条件1	条件2	条件3	平均
上位装置→下位装置	0.0	-0.05	0.0	-0.017
下位装置処理時間	0.0	0.0	0.125	0.042
下位装置→路側無線制御部	0.1	0.1	0.05	0.083
路側無線制御部処理時間	0.5	0.6	2.725	1.275
路側無線制御部→車側無線制御部	0.0	0.05	-1.1875	-0.379
車側無線制御部処理時間	0.0	0.0	0.0	0.0
車側無線制御部→車両処理装置	4.4	2.6	2.5625	3.188
車両処理装置処理時間	0.0	0.0	0.0	0.0
車両処理装置→車側無線制御部	4.4	2.6	2.5625	3.188
車側無線制御部処理時間	3.7	1.3	3.575	2.858
車側無線制御部→路側無線制御部	0.0	0.05	-1.1875	-0.379
路側無線制御部処理時間	0.0	0.1	0.075	0.058
路側無線制御部→下位装置	0.1	0.1	0.05	0.083
下位装置処理時間	0.0	0.0	0.0	0.0
下位装置→上位装置	0.0	-0.05	0.0	-0.017
合計	13.2	7.4	9.35	9.983

※元の計測データは、3）資料編の資料－3に示す。

7)-3　考察

・伝送時間については、大部分が10ms以下であるが車側無線制御部と車両処理装置間伝送時間が320msともっとも長くなっているが、伝送速度（9600bps、調歩同期）との関係があると思われる。

・処理時間については、時間を要しているのは無線制御部である。路側無線制御部では、下りで130msであるのに対し、上りでは6msとなっている。また、車側無線制御部では、上りで290ms要している。これは通信手順に関係があると思われる。

・タイムスタンプ値が逆転しているものは計測誤差と考えられる。

・トータル伝送時間は、車側無線制御部－車両処理装置間の通信時間及び無線制御部処理時間が大きなウェイトを占めており、これによってほとんど決まってしまう。

・処理時間について言えば、下りでは路側無線制御部処理時間、上りでは車側無線制御部処理時間が大きな値となり特徴が現れている。送信スロット待時間が

含まれている影響と考えられる。

・また、上りの車側無線制御部処理時間は、平均では0.29secとなったが、12回の測定での最大値を見ると0.59secであり、車側無線制御部－車両処理装置間の通信時間よりもむしろ大きな値となる。

・非常通報の伝送時間は、車両から上位装置までの時間として、条件別計測結果は次表の通りであり0.5秒であった。下り情報の長さや各種処理が有意に伝送時間に影響している様である。

図表(3.2.4) 2-34　非常時通報伝送時間の条件別計測結果

条件	下り情報長さ	他車両有無	μ計算処理有無	緊急処理有無	伝送時間	備考
1	長い	有り	有り	有り	0.66秒	4ﾃﾞｰﾀ
2	短い	無し	無し	無し	0.37秒	4ﾃﾞｰﾀ
3	短い	無し	無し	無し	0.47秒	4ﾃﾞｰﾀ

平均0.50秒

ｲ)車両からの往復計測による測定

ｲ)-1　計測方法

車両処理装置からデータを送信し、無線区間、下位装置を経由して折り返して車両処理装置に返送されるまでの伝送時間をデータに付与されたタイムスタンプにて測定する。

ｲ)-2 計測データ

以下に測定データの整理結果を示す。

図表(3.2.4) 2-35　車両からの往復における伝送時間計測結果

単位100ms

項　目	条件1	2	3	4	5	6	7	平均
車両処理装置→車側無線制御部	2.2	1.5	1.4	2.415	1.4	1.9	1.3	1.731
車側無線制御部処理時間	3.3	3.9	2.638	4.9	2.9	1.7	2.4	3.105
車側無線制御部→路側無線制御部	0	0.1	0.025	0.07	0.1	0.1	0.1	0.071
路側無線制御部処理時間	0.1	0.1	1.563	0.17	0.2	0.2	0.1	0.348
路側無線制御部→下位装置	0	0	0.013	0	0	0	0	0.002
下位装置処理時間	0	0	0	0	0	0	0.2	0.029
下位装置→路側無線制御部	0	0	0.01	0	0	0	0	0.001
路側無線制御部処理時間	0.6	3.0	1.563	3.83	0.5	0.5	0.5	1.499
路側無線制御部→車側無線制御部	0	0.1	0.025	0.07	0.1	0.1	0.1	0.071
車側無線制御部処理時間	0	0	2.638	0	0	0	0	0.377
車側無線制御部→車両処理装置	2.2	1.5	1.4	2.415	1.4	1.9	1.3	1.731
合計	8.4	10.2	11.3	13.9	6.6	6.4	6.0	9.0

※元の計測データは、３）資料編の資料－４に示す。

ｲ)-3　考察

・伝送時間については、緊急処理有無の違いによる差は見受けられない。

・処理時間については、上りにおいて車側無線制御部が時間を要している。上りでの処理時間は条件４の緊急処理無しがもっとも長く、したがって、あげられた条件の違いよりも他の条件の影響があるのではないかと思われる。これは、送信スロットの待時間と思われる。

・車両処理装置－車側無線制御部間の通信時間及び無線制御部処理時間でトータル伝送時間がほとんど決まってしまう。

・ここで、条件２のデータは下りの路側無線制御部処理時間がかなり大きな値であるが、これは４回の測定の内２回目のデータが突出しているのが影響しており、もしこの値を除外すると0.05secで条件１のデータとほぼ同じとなる。この２回目のデータを特異データと見なすかどうか検討が必要である。

・前方道路危険警告での情報ルートの１つである、事故車両から緊急情報を長期上りで発信し、後続の車両へ長期下り情報で緊急情報を伝達するまでの時間は、パケット授受による計測データを利用すれば次表の通りで0.9秒（同一区間）であった。伝送時間自動計測での条件も合わせて示す。

図表(3.2.4) 2-36　緊急情報伝送時間の条件別計測結果

条件	下り情報長さ	他車両有無	μ計算処理有無	緊急処理有無	伝送時間	備考
1	短い	有り	無し	無し	0.84秒	4ﾃﾞｰﾀ
2	短い	無し	無し	無し	1.02秒	4ﾃﾞｰﾀ
3	長い	有り	無し	無し	1.13秒	4ﾃﾞｰﾀ
4	長い	無し	無し	無し	1.39秒	3ﾃﾞｰﾀ
5	長い	有り	有り	無し	0.66秒	4ﾃﾞｰﾀ
6	長い	有り	有り	有り	0.64秒	4ﾃﾞｰﾀ
7	長い	有り	有り	有り	0.60秒	4ﾃﾞｰﾀ

平均0.90秒

・事前の予想では、長期下りが1秒周期の半分の0.5秒、長期上りが0.6秒周期の半分の0.3秒でその他各経由装置内の処理時間を加え1.5秒前後で伝送されるとしていた。実際には、装置内処理時間が短く、全体でも予想より多少短かったほぼ理論通りと思われる。この事から伝送時間は、スロット待ち時間がかなり影響している事が分かる。

・これらの伝送時間に関しては、ほぼ事前の予想通りであり、通信スロット待ち時間の占める割合の大きい事が確認できた。

②処理能力の評価

処理能力の計測は、処理装置のタスクが一巡する度にカウントアップする計数ソフトを各装置に組み込み、そのカウント値を単位時間で計測したものである。したがって、カウント値が大きい程処理に余裕が有り、カウント値が0で処理能力の限界（実際には1000程度）を示す。

実験は、走行車両台数0台、1台、2台の3パターンを実施した。

データサンプル数(同時走行車両台数）が少なく精度は良くないが、今回の計測結果は次の通りであった。

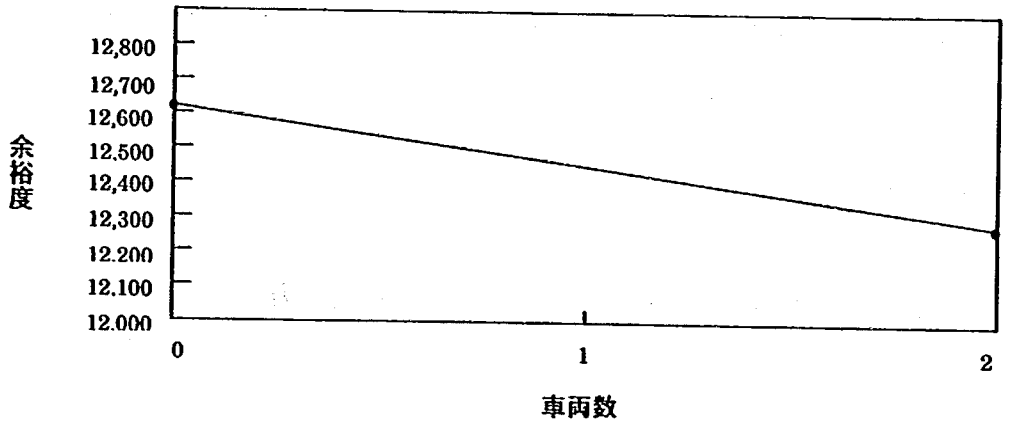
a)上位情報処理装置

ｱ)計測結果

図表(3.2.4) 2-37　上位情報処理装置の処理能力計測結果

両台数	余裕度	備考
0	12620	区間1～6平均
1	――	――
2	12284	〃

図表(3.2.4) 2-38　上位情報処理装置の処理能力計測結果



※元のデータは、3）資料編の資料－5に示す。

f)収容可能な車両数の算出

上記ア)の計測結果より、余裕度が0となる車両台数を算出すると、75台が上位情報処理装置の収容可能な車両数となる。

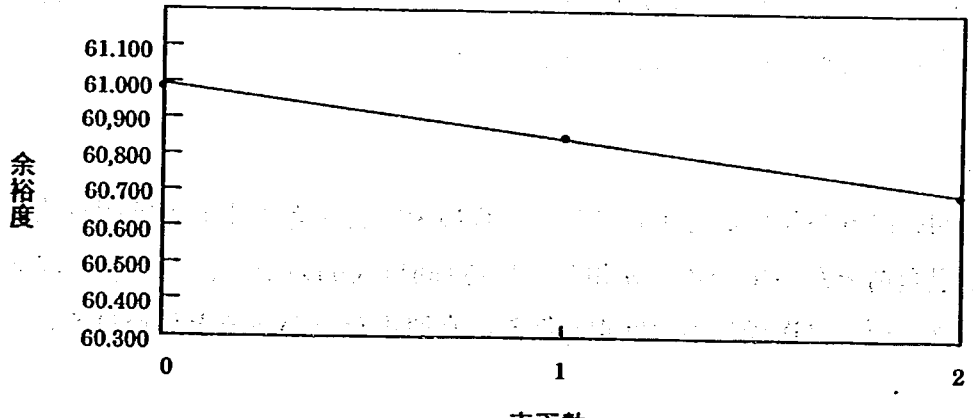
b)下位情報処理装置

ア)計測結果

図表(3.2.4) 2-39　上位情報処理装置の処理能力計測結果

両台数	余裕度	備考
0	60989	区間1～6平均
1	60865	〃
2	60725	〃

図表(3.2.4) 2-40　上位情報処理装置の処理能力計測結果



※元のデータは、3）資料編の資料－5に示す。

イ)最大収容車両数の算出

上記ア)の計測結果より、余裕度が0となる車両台数を算出すると、435台～491台が下位情報処理装置の収容可能な車両数となる。

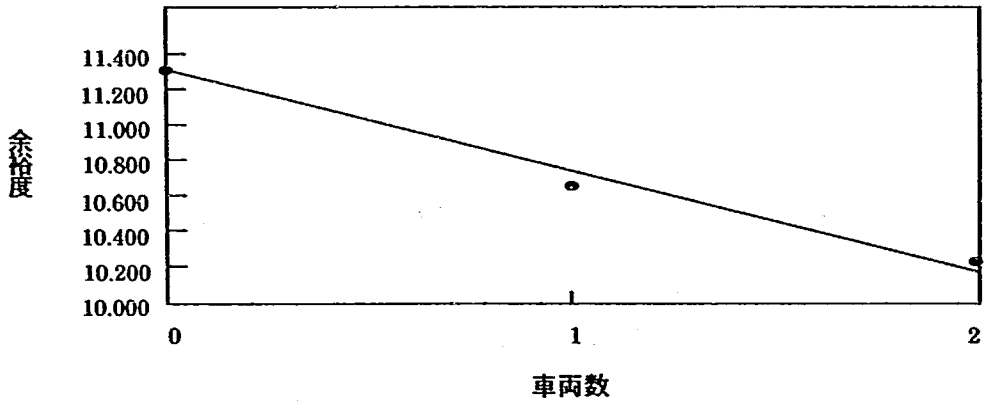
c)路側無線制御装置

ア)計測結果

図表(3.2.4) 2-41　路側無線制御装置の処理能力計測結果

両台数	余裕度（ＨＥＸ）	備考
0	２ＢＢ４	区間１～６平均
1	２９９６	〃
2	２７Ｅ０	〃

図表(3.2.4) 2-42　路側無線制御装置の処理能力計測結果



※元のデータは、３）資料編の資料－５に示す。

イ)最大収容車両数の算出

上記ア)の計測結果より、余裕度が0となる車両台数を算出すると、18台～28台が路側無線制御装置の収容可能な車両数となる。

d)考察

・当初の設計条件である１ＬＣＸ当たり最大54台を考慮すると路側無線制御装置が過負荷となっている。使用している16bit cpuの変更、クロック周波数のアップ、データ送受相手の回線制御部の高速化などが必要と思われる。

・現在新たに検討中の前提条件である１ＬＣＸ当たり最大210台（70台／車線×３車線）の車両を収容することを考慮すると、以下の通りとなる。

a. 上位情報処理装置：現状の性能では厳しい状況である。

b. 下位情報処理装置：現状の性能で問題ない。

c. 路側無線制御装置：現状の性能では厳しい状況である。

・今回の解析に当たり以下の問題点がある。

a. 条件が３条件（車両数０台、１台、２台）しかないため、解析結果の信頼性はそれほど高くない。

b. １台走行時及び２台走行時のデータが０台走行時のデータに比べ非常に少ない。

c. 上位情報処理装置の性能は、収容されている下位情報処理装置の台数にも影響されることが予想されるが、今回の計測では考慮されていない。

・車両台数、車線、区間及び上位情報処理装置については、収容する下位情報処理装置の台数等の条件をを増やし、再試験等の検討が必要である。

e)車載I/F

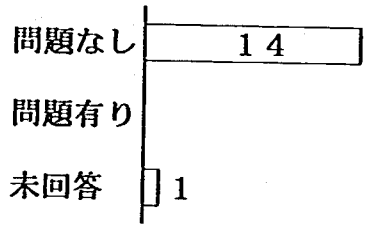
ｱ)計測方法

車載I/Fについて、実験参加者に対するアンケート形式による評価を行った。

ｲ)結果

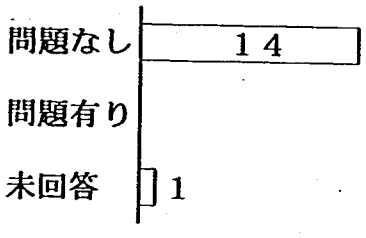
図表(3.2.4) 2-43　車載I/Fに関するアンケート結果(1/2)

＜車載機I/FのRS232C手順＞



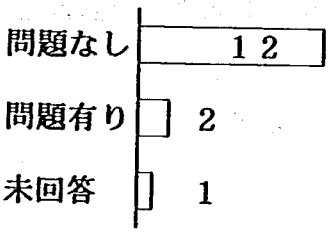
コメント
・特になし

＜伝送速度9600bps＞



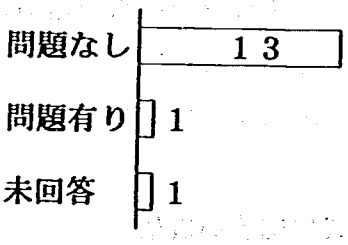
コメント
・特になし

＜各データのデータ量＞



コメント
・データ構造が複雑であり、必要な情報を取り出すのにすべてデータをデコードしなければならない

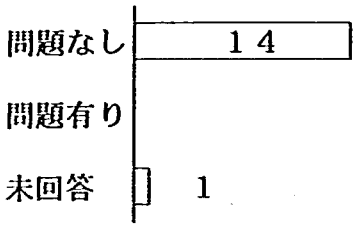
＜通信処理時間＞
＊通信エリア進入通知受信処理



コメント
・進入通知を見落とすことがあった。
・中間装置の方に原因あり

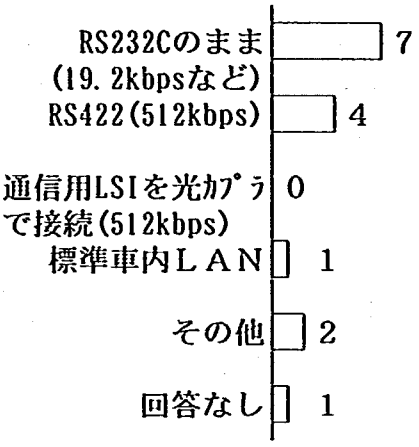
図表(3.2.4) 2-43　車載I/Fに関するアンケート結果(2/2)

＜通信処理時間＞
＊登録ＡＣＫ／ＮＡＫ受信処理



コメント
・特になし

＜RS232Cから高速I/Fへの変更＞



コメント
・RS422について、I/F高速化の目的がよくわからない。車載機I/Fのバッファ機能があればＬＣＸと同じ速度はいらないのでは。伝送系の一部を高速化してもシステムのスループットがあがるとは思えない。
・標準車内ＬＡＮとしては、J-1850準拠
・その他として、特に希望なし、イーサネットなど標準的なドライバが整備されているもの、という意見があった。

ｳ)考察

車載I/Fは、9600bpsと低速のため当初は心配であったが情報量を節約する等で時々短期上り情報の抜けが起きるものの致命的な異常動作に至ることはなかった。短期下りが無く、短期上りが100ms間隔であれば情報量が今より多少増えてもそのままのI/Fでよいと思われる。

その他、一部にデータ構造の複雑性や中間装置の課題に関する意見があるものの、問題ないとする意見が大勢であった。

フェーズ２でのI/Fについては、RS232Cのままが一番多く、ついでRS422であった。ただし、フェーズ２（周辺車両位置警告）で9600bpsのまま実現しようとすると周辺車両として１～２台分の情報を送るのが限界であり、アンケート回答者の回答をそのまま認めることは難しい。

なお、少数であるがJ-1850やイーサネットなどを希望する意見があった。

（３）処理方式に関する評価

処理方式に関しては、エアフォーマット等では特に問題は無いが、車載無線機と車両処理装置間のインターフェイスに関し、異常処理時の使い勝手に対する配慮が

不十分な所が多少あった。

①通信プロトコルの妥当性

a)概要

車間側方ＣＷＧフェーズ１実験評価用アンケートの「３．通信プロトコルの妥当性」に関するアンケート結果をまとめたものである。

本アンケートはＬＣＸ車間側方通信の車載無線機と車載端末間のインターフェイスの通信プロトコルに関するもので、また通信プロトコルはヘルスチェック、及び長期サイクル上り以外は、一方通行通信であり、もし、伝送エラーが発見されても再送やＡＣＫ応答はしないことを前提としている。

アンケートには、15名の回答が得られた。各アンケート項目には大半が「はい」と答えており、現在の通信プロトコルで問題はないと考えられる。ただし、項目によっては一方通行通信では危険なのでＡＣＫ等の確認手段を考慮したほうが良いとする意見もみられた。

b)アンケート項目と結果

アンケート項目と結果を図表(3.2.4) 2-44に示す。

図表(3.2.4) 2-44　通信プロトコルの妥当性に関するアンケート項目と結果(1/2)

項番	項　　目			
1	ヘルスチェック	はい	いいえ	無記入
	・ヘルスチェック信号の再送信間隔は10秒以上で良いか？	11	2	2
	・車載無線機からの応答が3秒以上遅れた場合は異常扱いとしているがこれで良いか？	11	2	2
	・このほかの改善事項？ ・早い方が良いのでは? →ヘルスチェックの再送信間隔：3秒以上、車載無線機からの応答が1秒以上遅れた場合は異常扱いにする、という意見があった。10秒間では車の速度を120km/hとすると約330m走ってしまうことになる。データの処理時間や送信時間に影響がでない範囲でできるだけ短い間隔で送信するように再検討することも考えられる。 ・ＬＣＸの切れ目などで、進入通知を受信できなかった時、退去になってしまうが、再進入の手続きはできないか？ →通信エリア進入通知は車載無線機から車載端末への一方通行通信なので本指摘のような現象が発生する可能性はあると考えられる。ＡＣＫ手順を追加するか、再進入手続き等の手段を検討すべきであると考えられる。			
2	長期サイクル下りデータ	はい	いいえ	無記入
	・車載無線機からの一方通行通信で良いか？	8	5	2
	・車載無線機からの通信ｻｲｸﾙが1秒で妥当か？	12	0	3
	・このほかの改善事項？ ・登録・進入通知などはＡＣＫ／ＮＡＫで確認するのが良い。 ・指示車速は重要なデータなので、垂れ流しプロトコルでは危ないと思われる。 → 後の処理に影響があるような重要なデータの場合は確実に受信したことを確認できるプロトコルでないと危険である、という指摘である。「一方通行で良い」とする回答が8名と少なく、ＡＣＫ手順の追加を検討することも考えられる。			

図表(3.2.4) 2-44　通信プロトコルの妥当性に関するアンケート項目と結果(2/2)

項番	項　　目			
3	短期サイクル上りデータ	はい	いいえ	無記入
	・０．１秒間隔で妥当か？	１２	1	2
	・車載端末からの一方通行通信で良いか？	１０	3	2
	・このほかの改善事項？ → 指摘なし。			
4	長期サイクル上りデータ	はい	いいえ	無記入
	・再送２回までで妥当か？	8	2	5
	・再送の時間間隔は３秒以上で良いか？	１０	0	5
	・長期上りデータは不定期な送信であるがこれで良いか？	9	0	6
	・このほかの改善事項？ ・再送は受けるまでやらないと必要な事が送れなくなる。 →「再送２回までで妥当」とする回答が８名と少ないが、送信に失敗した場合には、次サイクルで再送すれば良いと考えられるでの、受け取るまで再送を繰り返す必要はないと考えられる。			
5	通信プロトコルに関し、上記以外に要望事項、改善点等ありましたらご記入ください。 ・車載端末で車載無線機の異常を早い時期に認識したい。方法として 案１．ヘルスチェックが一定時間受信されないと車載無線機系異常とするヘルスチェックの受信で正常に復帰。 案２．短期サイクル上りデータに応答信号を追加することで、車載端末、車載無線機系異常を検出する。等の検討をお願いします。 → 現仕様でヘルスチェックは実施しているので車載端末で車載無線機の異常を認識することは可能である。			

②異常処理方式

本項目も車載機開発担当者に対し、アンケートにより調査した。

結果は次のとおりであった。

a)登録動作

問題なし	10名
問題あり	２名
無回答	３名

問題ありの意見としては、登録に失敗した場合、処理装置のリセット以外に回復手段が無いとの回答であった。

b)長期サイクル下り

問題なし	11名
問題あり	２名
無回答	２名

問題としては、ＬＣＸ区間境界の受信できないゾーンの存在があるとの意見であった。

c)長期サイクル上り

問題なし	10名
問題あり	２名
無回答	３名

事故想定車から緊急情報が上がらないことがある。また、通信が成功したか否か車両側から確認できないと意見があった。

d)短期サイクル上り

問題なし	11名
問題あり	１名
無回答	３名

通信が成功したか否か車両から確認できないとの意見があった。

以上の結果から、異常処理方式には改善すべき点が明確になった。また、短期サイクル上りのようにその情報の特性や性能に影響するため、すぐには同意しかねるとの意見もあった。

③車載機インターフェイス

今回の実験では、一部意見として車載機I/Fの使い勝手やデータ構造の改良に関するものがあったが、問題無いとする意見が大勢であった。少数意見として次の意見があり対応する方向で検討すべきと思われる。

・車両進入通知が確認出来ない事がある。

→車両処理装置の受信準備完了を車載無線機に通知する手段を設け、また、リセットコマンドを設け復帰処理操作を改善する。

・データ構造が見難い

→データ圧縮のため分かり易さを犠牲にしているが、バランスを考え一部バイトバウンダリ構造とする。

・区間番号情報が頻繁に欲しい。

→車両処理装置での処理のし易さ向上のため現在走行中の区間番号を常に確認出来るように対応する。

（4）動作確認評価

本評価は、上位、下位処理装置、無線制御部内にデータを記録する機能を組み込み、また、モニタ車両処理装置、ラインモニタ等を利用して行なった。

①通信プロトコル

a)登録・退去動作

ア)登録動作

区間ごと、車両ごとの登録について、ＮＡＫ回数、ＡＣＫ率、他の車両台数の順で図表(3.2.4) 2-45に示す。

確認方法は、３）資料編の資料－９に示す。

図表(3.2.4) 2-45　区間ごと、車両ごとの登録結果

車両仮ID	区間1			区間2			区間3			区間4			区間5			区間6			平均		
	NAK回数	ACK率	他車両台数	NAK回数	ACK率	他車両台数	NAK回数	ACK率	他車両台数	NAK回数	ACK率	他車両	NAK回数	ACK率	他車両台数	NAK回数	ACK率	他車両台	NAK回数	ACK率	他車両台数
01													0	1.0	1	退去			0	1.0	1
01													0	1.0	1	退去			0	1.0	1
02	1	0.5	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	2	0	1.0	0	0.2	0.9	0.3
02	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	2	0	1.0	0	0	1.0	0.3
03	3	0.25	0	1	0.5	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0.7	0.79	0
03	2	0.33	5	0	1.0	5	0	1.0	5	0	1.0	5	0	1.0	7	0	1.0	4	0.3	0.89	5.2
03	8	0	5	0	1.0	5	0	1.0	4	0	1.0	4	0	1.0	7	0	1.0	3	0	0.83	4.7
04	0	1.0	4	1	0.5	1	0	1.0	1	0	1.0	1	0	1.0	1	0	1.0	1	0.2	0.92	1.5
06	5	0.17	1	0	1.0	1	0	1.0	1	0	1.0	1	0	1.0	1	0	1.0	0	0.8	0.86	0.8
07	3	0.25	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	4	0.5	0.88	0.7
07	4	0.2	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0.7	0.87	0
08	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0
09	6	0.14	2	0	1.0	2	0	1.0	2	0	1.0	2	0	1.0	2	0	1.0	2	1.0	0.86	2
10	3	0.25	1	1	0.5	1	0	1.0	1	0	1.0	1	0	1.0	1	0	1.0	1	0.6	0.79	1
11	26	0.04	1	0	1.0	1	0	1.0	1	0	1.0	1	0	1.0	1	0	1.0	1	4.3	0.84	1
11	0	1.0	6	0	1.0	6	0	1.0	6	0	1.0	6	0	1.0	8	0	1.0	5	0	1.0	6.2
11				0	1.0	6	0	1.0	5	0	1.0	5	0	1.0	8	0	1.0	4	0	1.0	5.4
12	1	0.5	1	0	1.0	1	0	1.0	1	0	1.0	1	1	0.5	3	0	1.0	1	0.3	0.83	1.3
12	0	1.0	1	0	0.5	1	退去						0	1.0	4	0	1.0	1	0.3	0.88	1.8
14	10	0.09	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	1	1.7	0.85	0.2
14	4	0.2	4	0	1.0	4	0	1.0	4	0	1.0	4	0	1.0	6	0	1.0	3	0.7	0.87	4.2
14	8	0.11	4	0	1.0	4	0	1.0	3	0	1.0	3	0	1.0	6	0	1.0	4	1.3	0.85	4.0
15	1	0.5	3	0	1.0	3	0	1.0	3	0	1.0	3	0	1.0	5	0	1.0	2	0.2	0.92	3.2
15	0	1.0	3	0	1.0	3	0	1.0	2	0	1.0	2	0	1.0	5	0	1.0	3	0	1.0	3
16	7	0.13	3	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	0	1.0	0	1.2	0.86	0.5
17	0	1.0	2	0	1.0	2	0	1.0	2	0	1.0	2	0	1.0	4	退去			0	1.0	4
17	0	1.0	2	0	1.0	2	0	1.0	1	0	1.0	1	0	1.0	3	0	1.0	2	0	1.0	1.8
平均	3.8	20%	2.0	0.2	86%	1.9	0	100%	1.8	0	100%	1.8	0.04	96%	2.8	0	100%	1.75			

仮IDが複数あるのはコースを周回走行しているためである。

この表から分かることは、以下の通り。

区間１については、末端（スタート）の区間であり、かなり手前（離れたところ）での通信を含んでいるため、ＡＣＫ率が低いと考える。その他の区間では、86％～100％と、区間ごとで若干の差（特性）はあるが、概ね１回で登録できている。同一区間内の他の車の台数の悪影響は、最大で６台まで問題ないことを確認できた。

ｲ)退去動作

区間ごと、車両ごとの退去動作につき以下の表にまとめた。進入通知については、各区間に必ず通知されており(100％)、正常に動作していた。これにより、今まで居た区間は、通知された車両が自区間を退去したことを認識できる。

図表(3.2.4) 2-46　区間ごと、車両ごとの退去動作

凡例

／：進入していない、
○：退去通知あり
－：退去通知なし、
△：退去通知でているが矛盾あり

車両仮ID	区間１	区間２	区間３	区間４	区間５	区間６	区間１
０１	／	／	／	／	○	／	／
０１	／	／	／	／	○	／	／
０２	－	－	－	△	－	○	○
０２	－	－	－	－	－	－	／
０３	－	－	△	－	－	○	○
０３	－	－	－	－	△	○	○
０３	－異常	－	－	－	－	○	／
０４	－	－	－	－	－	○	○
０６	－	－	－	△	－	○	○
０７	－	－	－	－	－	○	○
０７	－	－	－	－	－	－	／
０８	－	－	－	－	－	○	○
０９	－	－	－	－	－	○	○
１０	－	－	－	－	－	○	○
１１	△	△	－	－	－	○	○
１１	－	－	－	－	－	○	○
１１	－異常	－	－	－	△	○	／
１２	－	－	－	－	－	○	○
１２	－	○	／	／	－	○	／
１４	－	－	－	－	－	○	○
１４	－	－	－	－	－	○	○
１４	－	－	－	－	－	○	／
１５	－	－	－	－	－	○	○
１５	－	－	－	△	－	○	／
１６	－	－	－	－	－	○	○
１７	－	－	－	－	○	／	／
１７	－	－	－	－	－	○	／
平均	０％	４％	０％	０％	１１％	９２％	帰路

この表から分かることは、次の通り。

進入通知は、100％区間ごとに出されているが、退去通知は区間６と区間１で多く出ており、その他の区間から出るときは、ほとんど通知していないことがわかる（退去通知はないのが正常）。これは、区間６と区間１が電波の状況が悪く、車両が隣りの区間へ移動する前に路側で監視している上り情報が受信できず、路側が退去したことを確認し、下位装置が通知してきたものである。区間６の後半は、反対車線区間３への影響を軽減するため電波を弱めており、デモ走行上、区間６の電波の弱い所で停止し長時間居るためと思われる。また、帰路の区間１も反対車線からの電波であり受信感度が弱いためと考えられる。

また、△表示は、退去通知が表示しているが、短期上り通信でその区間から出ていないという上り通信の時間的ずれ（タイミングのずれ）があった事を示す。

ほとんどの場合、区間６を出たあと区間１進入、区間１退去という経緯を辿る。これは、帰路での電波受信によるものと考える。

b)短期上り通信の確認

自動運転デモ車両のID08、09、10の３台について一周分のデータを解析し、表にまとめると次のようになる。

図表(3.2.4) 2-47　短期上り通信解析結果

車両仮ID	区間１	区間２	区間３	区間４	区間５	区間６	平均
08	64回/84秒 76%	30回/33秒 91%	35回/41秒 85%	31回/34秒 92%	35回/39秒 90%	50回/55秒 91%	245回/286秒 86%
09	68回/79秒 86%	24回/32秒 75%	36回/42秒 86%	29回/33秒 88%	34回/39秒 87%	45回/53秒 85%	236回/278秒 85%
10	61回/82秒 74%	26回/33秒 79%	29回/42秒 69%	29回/33秒 88%	34回/38秒 89%	42回/53秒 79%	221回/281秒 79%
平均	193回/245秒 79%	80回/98秒 82%	100回/125秒 80%	89回/100秒 89%	103回/116秒 89%	137回/161秒 85%	

この表から分かることは、次の通り。

短期上りデータは、１秒ごとに車両より送られてくる。但し、約10秒に１回は表示処理の影響で抜けることを考慮すると約90％で、エラー無しで通信できたと考えて良い。

区間４、５が、ほぼエラーが無しで通信できていることがわかる。これは、区間４．５がバンク部であり、ＬＣＸケーブルが路肩の高い位置にあり通信品質が良いことが関係していると思われる。また、区間　１、２、３は約80％、区間６では85％という結果が得られた。

その他、解析結果より区間５から区間６へ移行のとき２、３秒同じ時刻でそれぞれの区間の短期上り通信が表示されていた。また、最後の短期上り通信表示から退

去表示まで約10秒程度間隔があり、設計通りであることが確認できた。

c)長期上り情報の確認

情報提供車デモ２周分のデータを解析し、長期上りを定期的に約10秒ごとにあげているＩＤ１４について上り通信時刻を追跡調査し表にまとめると次の様になる。

ｱ)計測結果

・１周目

図表(3.2.4) 2-48　長期上り通信時刻

区間１	区間２	区間３	区間４	区間５	区間６
４３：３７	４３：５９	４４：３１	４４：５１	４５：１３	４５：４５
４３：４８	４４：１０	４４：４２	４５：０２	４５：２４	
４６：２３	４４：２０				
４６：２４					

（数値は時刻の分：秒）

・２周目

図表(3.2.4) 2-49　長期上り通信時刻

区間２	区間３	区間４	区間５	区間６
５４：３２	５５：０５	５５：２６	５５：４７	５６：１９
５４：４４	５５：１５	５５：３６	５５：５８	５６：２９
			５６：０９	

（区間１は別の要因で収集データ無し）

ｲ)考察

この表から次の事が分かる。

・１区間を20～30秒で通過しており当時の時速80km走行（500mを約23秒）に一致する。

・区間１での受信回数が多いのは、帰路での電波受信による。

・区間６での受信回数が１回抜けているのは、反対車線への影響を減らすため路側の電波送出出力を弱めていた影響、あるいは、登録遅れによると思われる。

・１周目での長期上り通信成功率は、14/15回である。

・２周目での長期上り通信成功率は、12/12回である。

・１、２回目共にID07（デモ時模擬故障車）からも長期上りは複数回上がっていた。

以上の事から次の事が言える。

・他からの要因を除き、長期上り通信に限定すれば、かなりの信頼性があると考えられる。
・しかし、他の予測不能の影響を考慮し長期上りＡＣＫ返答による信頼性の向上は、必要であろう。

d)長期下り情報の確認

モニタ車両処理装置で長期下り情報を受信、記録後、１秒に１回づつ受信している事を確認し、特に問題は見つからなかった。車両登録の時点で不具合があるとその区間で長期下り情報を受けられない問題があるが、これは、すでに記述の様に車載機I/Fを改良し、リセットコマンドや送信許可コマンドを追加することで解決すると思われる。

e)ＣＲＣ処理の確認

ア)計測方法

下位装置に評価用ソフトを組み込みコース上に車両を走行させ、その時下位装置で収集した評価データを解析する。ＣＲＣエラーは、フレーム種類ごとにカウントする。

また、計測条件は次の通り。

・車両は１台、土木研究所のセプタにモニタ車両処理装置を搭載、接続したものを用意し、短期上りを0.1秒ごと、長期上りを５秒ごとに送信しながら時速30km/h（データ数が多く取れるよう遅い速度で）、第２車線を走行。
・長期下りは、公開デモ以前に送信していたデバッグ用情報を常に送信の状態。
・車両走行は、区間１の前の無線受信無しの所から区間１～３、区間４の途中迄の直線部（計測ソフトの都合で車両走行後ある時間内にデータを吸い上げる必要があり下位装置局舎への出入りの便利なバンクの無い所を選んだため）
・データ収集区間は、１～３
・同時に下位装置に表示される回線制御部と無線制御部の処理能力余裕度も計測、収集した。
・収集データは、余裕度が10秒ごとの値、フレームエラー数が１分ごとの積算値で記録される。

フレーム種類ごとにＣＲＣエラー率発生を見ると次の通りであり、車両登録フレームでは、エラーは生じていないが、短期上りフレーム、長期上りフレームではかなり生じている。元データを資料－６に示す。

・車両登録フレーム・・・エラー率　　0%
・短期上りフレーム・・・　　6.44%

・長期上りフレーム・・・　　10.40%

ｲ)考察

ＣＲＣエラーの生じる原因は、次の様に考えられる。

車両からの上り情報は車載アンテナの指向性が広く、走行中の区間でも受信するが、実験システムでは路側で区間間の同期を取っていないため隣接区間に受信された上りフレーム情報は、同期がずれており本来受信するフレーム長と異なるフレームを受信する事となり結果としてＣＲＣエラーで受け捨てる現象が発生する。

短期上り、長期上りは、頻繁に通信しており、それによるエラーが多数生じている。

また、車両登録は、送信回数がもっとも少ない上、フレーム長が短い事が影響してエラー率０となっている様である。

このＣＲＣエラーは、隣接区間への受信であるから受信できなくて問題は無いが、もし、隣接区間の境界近くを他の車両が走行中、その車両の通信スロットと偶然重なった時、他の車両が通信を妨害される恐れが大きい事は明確になった。対策としては、次の案が考えられ今後検討し詰めていく必要がある。

・車載アンテナの指向性改善
・隣接区間同士で同期をとり、スロット位置の割り当て決定時に隣接のスロット位置を考慮するロジックとする。
・複数の上り周波数を区間交互に繰り返し使用し、混信を避ける。
・上り情報混信を検知した場合、直に再登録動作を行い使用スロットをずらす機能を追加するなど。

②路側ネットワーク

今回の実験システムでは路側ネットワークとして、光ファイバを用いた10MbpsのＬＡＮ(IEEE802.3)を使用したが特に動作上問題は見つかっていない。

③インフラ装置I/F

下位処理装置からのヘルスチェックは、11時１分48秒から11時30分48秒まで１分ごとに発信し、それに対するインフラセンサI/F装置からのインフラデータへのＡＣＫ応答は、すべて正常に返信されている。また、インフラデータの画像処理装置状態、映像信号状態は共に全て正常であった。（資料－７）

実験による結果を以下に示す。

a)インフラデータの再送割合

送信	36 回
再送	0 回
再送割合	0 %

b)インフラデータのステータス

正常	36 回
異常	0 回
異常割合	0 %

c)ヘルスチェック応答

正常	30 回
異常	0 回
異常割合	0 %

以上の結果から、インフラセンサI/F装置～下位処理装置間の通信能力は、十分な通信処理能力を持っていると判断できる。

④車載無線制御部インターフェイス

本インターフェイスは、RS232Cの9600bpsで実現しているが、動作的には、特に問題は見つかっていない。ただし、前述の様に使い勝手の改善が必要である。短期下り情報を利用する実験では、より高速のインターフェイスへの変更が必要である。元データを資料－８に示す。

⑤その他

評価作業中に問題となったその他の事項を列挙する。

・区間境界の混信エリア（３～10mある事を確認）で車両が停止すると情報を受信出来なくなる。

→サブグループ１、２の検討結果を考慮し、継続検討とする。複数周波数使用、車載アンテナ、ＬＣＸの指向性付与などの対策が考えられる。

・ＡＶＭ画面で表示する走行車両の位置飛びがあった。

→原因は、車両側の送信自車両位置データ誤りと思われる。車両からの電波が他のＬＣＸ区間で受信し、キロポストがずれて起る事も考えられるが、他ＬＣＸの電波はスロットのタイミングがずれＣＲＣエラーで受け捨てられるか、または、運良くＣＲＣがクリアできても退去或は未登録の車両の上り情報は仮ＩＤチェックで受け捨てられるため起き得ない。

また、アンケート調査で明らかになった車両側の機器取付け位置や構成を次に示す。

a)アンテナ取付位置

トランク上部	２グループ
リアパーセル	１グループ
リアスポイラー埋込み	１グループ
室内リアトレイ	１グループ
トランクリッド左	１グループ

b)アンテナ取付方向

垂直方向から60°	２グループ
垂直方向から45°	２グループ
垂直方向から30°	２グループ

であり、進行方向からは、すべてのグループで左９０°であった。

c)アンテナ取付け高さ

地上より1.2m	１グループ
地上より1.1m	１グループ
地上より1.0m	４グループ

d)車両処理装置機種とＯＳソフト

ﾊﾟｰｿﾅﾙｺﾝﾋﾟｭｰﾀ	５グループ
ﾎﾞｰﾄﾞｺﾝﾋﾟｭｰﾀ	１グループ
ﾎﾞｰﾄﾞｺﾝﾋﾟｭｰﾀとﾊﾟｰｿﾅﾙｺﾝﾋﾟｭｰﾀ	１グループ

MS-DOS3.3	１グループ
MS-DOS5.0	３グループ
MS-DOS6.2	１グループ
MS-WINDOWS 3.1	１グループ

e)中間装置の有／無

車載の信号処理部と車両処理装置の間に、中間処理を行なう装置を設けているか否かについては、次の結果となった。

中間装置なし	４グループ
中間装置あり	２グループ
未回答	１グループ

中間処理の内容としては、データ変換、データ選択、車速パルスの取込み、レーン検知データ取込みであった。

（５）実験課題

今回構築した実験システムでは各機能に良好な評価を得る事が出来た。しかしながら幾つかの問題点も明らかになっており、今後継続評価すべき課題ものこされた。

次に、評価作業に関する課題を列挙する。

・車両台数が多い場合の評価データの収集。デモ時は車両台数が多かったが、評価用ソフト挿入での不具合発生の可能性もあり実施できなかった。
・前述の車載機インターフェイスを改善した上での信頼性の評価。
・今回、車両から道路への上り情報の通信に0.6秒周期で通信する長期上り情報手段を用いたため伝送時間がかなりかかっている。次回の実験では、通信情報量を絞り0.1秒周期の短期上りの情報通信手段を用いて伝送時間を計測する。
・分合流或は自動運転への乗り入れ、降り出しの評価、実道路での検証等の作業。
・上位処理装置、下位処理装置、ＡＶＭ装置の使い勝手など操作性に関する評価。
・中位処理装置を設け機能分散した場合の評価。

3）資料編

資料－1　前方道路危険警告と非常時通報（ロジックアナライザ計測）

図表(3.2.4) 3-1

モード　2　　1995/11/21 10:55

resolution = 500 micro sec

	1	2	3	4	5
1: DV	0	0	0	0	0
2:	4	4	3	4	4
3: Road	7	7	6	7	6
4:	74	172	57	107	165
5: Car	83	181	66	115	174
6:	84	183	67	117	174
7: 98	132	261	144	195	253
8:	172	325	208	259	315
9: Car	233	386	269	320	376
10:	738	1237	522	571	1430
11: Road	747	1246	531	580	1439
12:	756	1254	539	589	1447
13: DV	757	1255	541	590	1448
14:	761	1259	545	593	1452

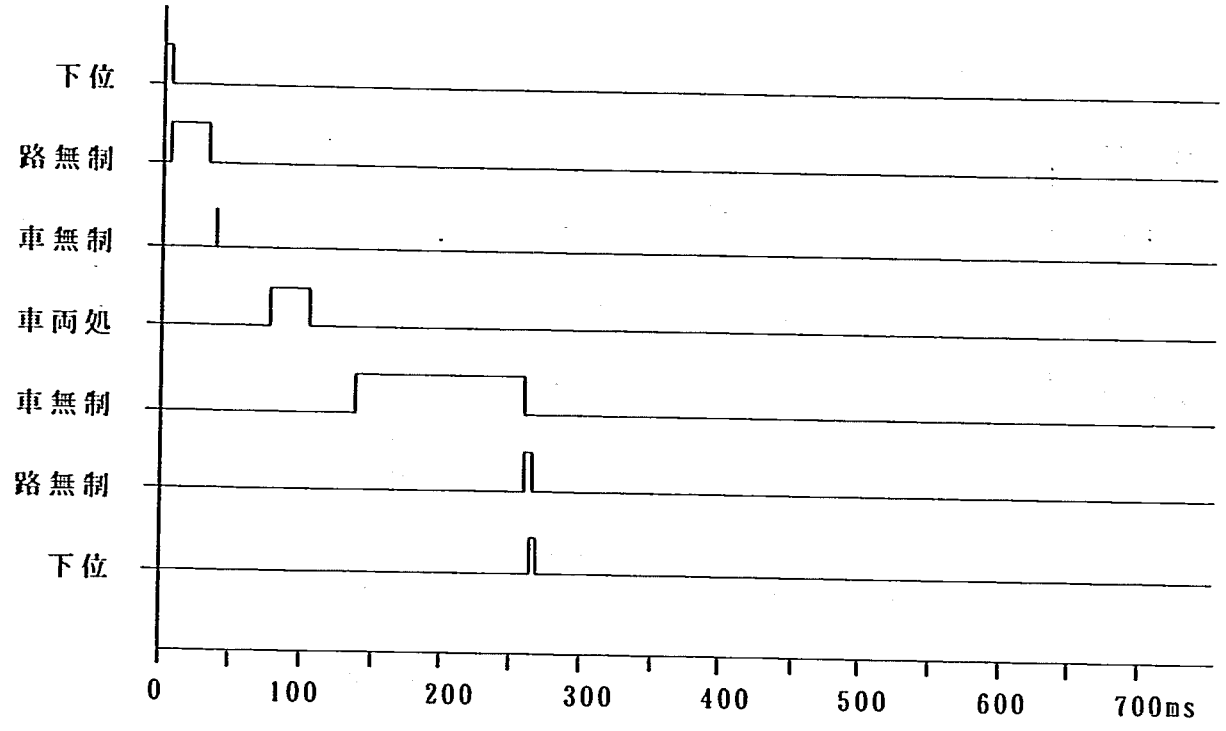
図表(3.2.4) 3-2

モード 3 1995/11/21 11:44

resolution = 100 micro sec

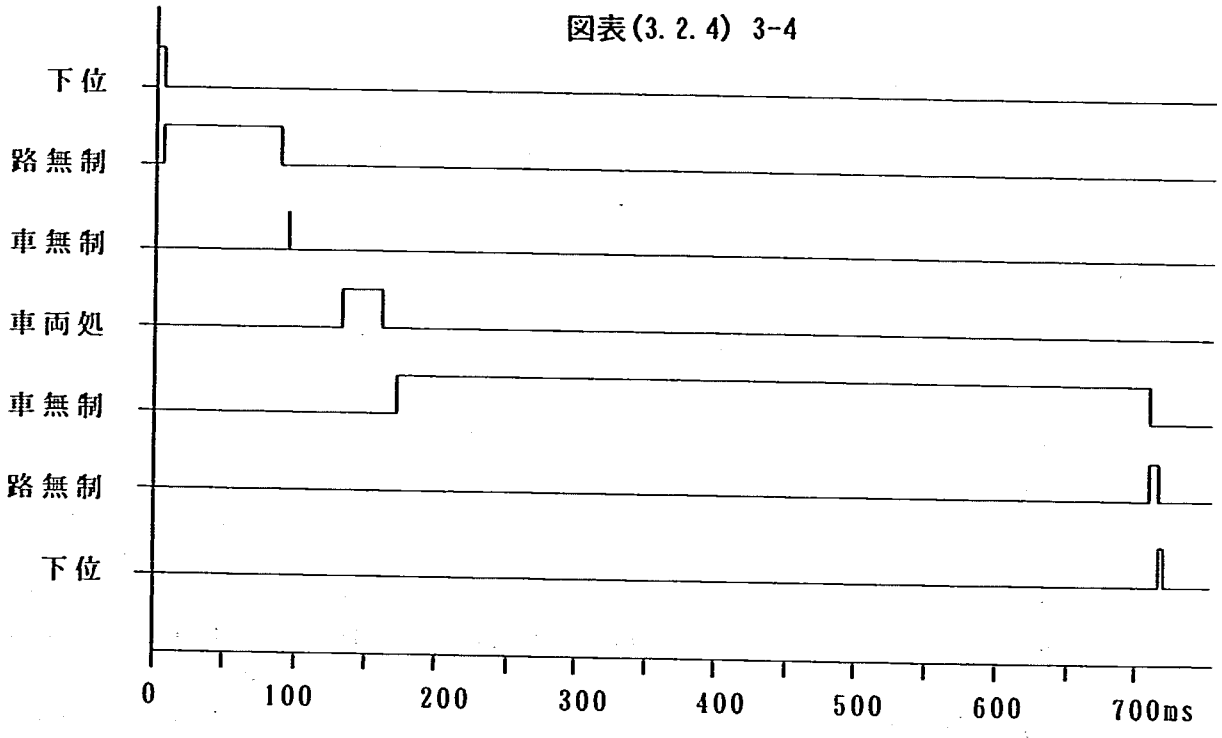
	1	2	3	4	5
1: 98	0	0	0	0	0
2:	*0	*0	*0	*0	*0
3: Car	223	224	223	224	223
4:	317	277	456	606	903
5: Road	354	321	492	650	938
6:	537	476	633	719	1208
7: DV	543	482	639	725	1214
8:	560	500	658	739	1229
9: Road	576	516	675	755	1247
10:	713	652	809	895	1304
11: Car	757	695	853	938	1428
12:	764	702	860	945	1435
13: 98	1003	937	1099	1183	1671
14:	1213	1139	1300	1391	1873

図表(3.2.4) 3-3



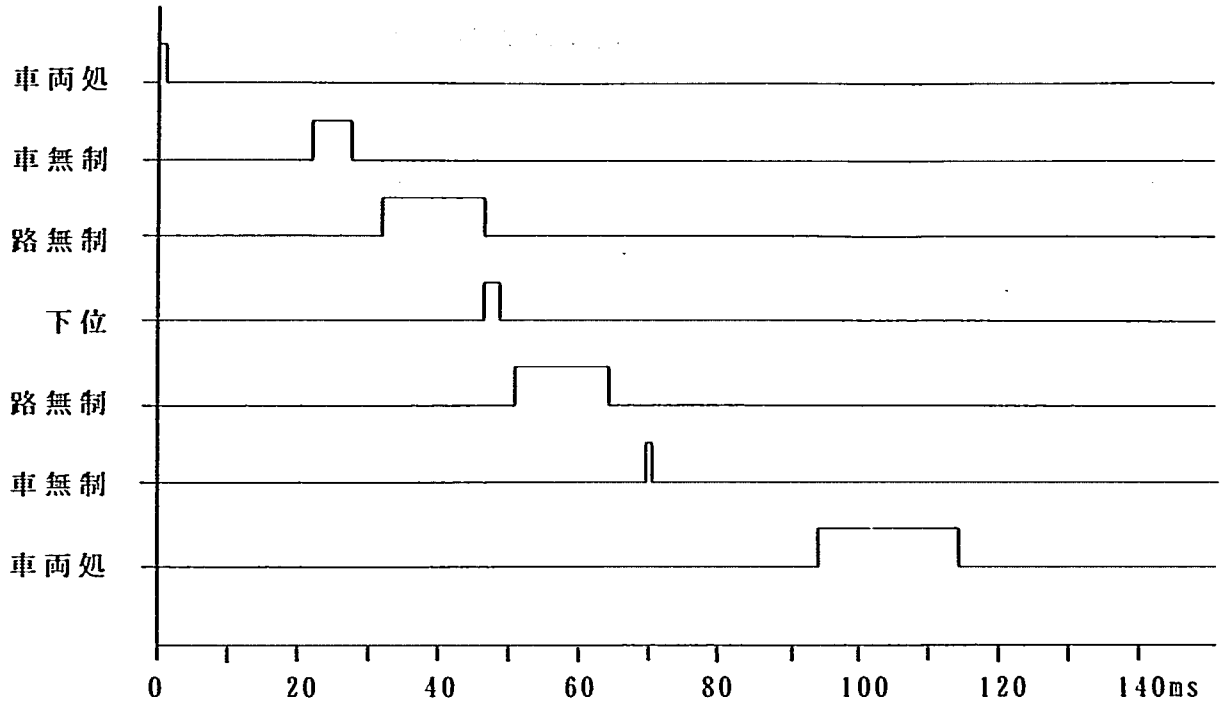
モード2　短時間の例（下位 長期下り 車 長期上り 下位）

図表(3.2.4) 3-4



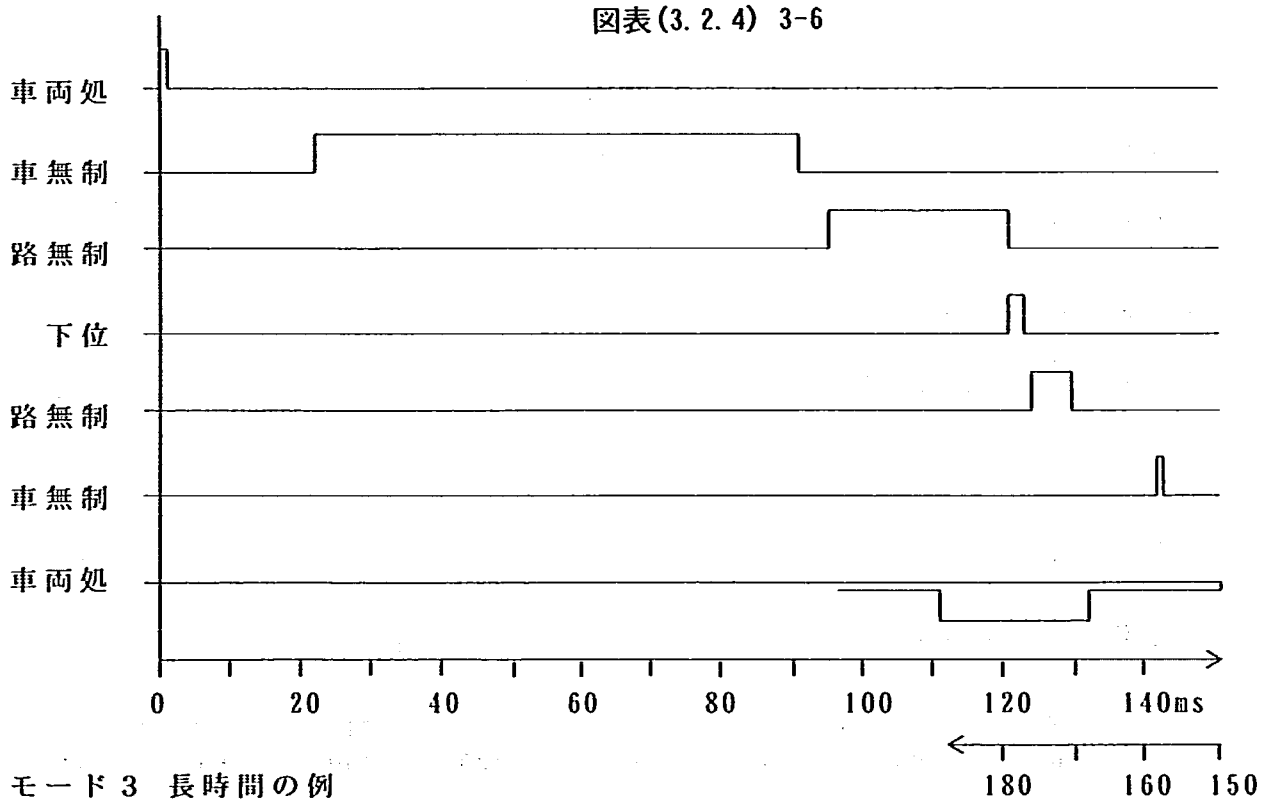
モード2　長時間の例

図表(3.2.4) 3-5



モード３　短時間の例（車 短期上り 下位 長期下り 車）

図表(3.2.4) 3-6



モード３　長時間の例

資料－２　上位装置への報告（ロジックアナライザ）

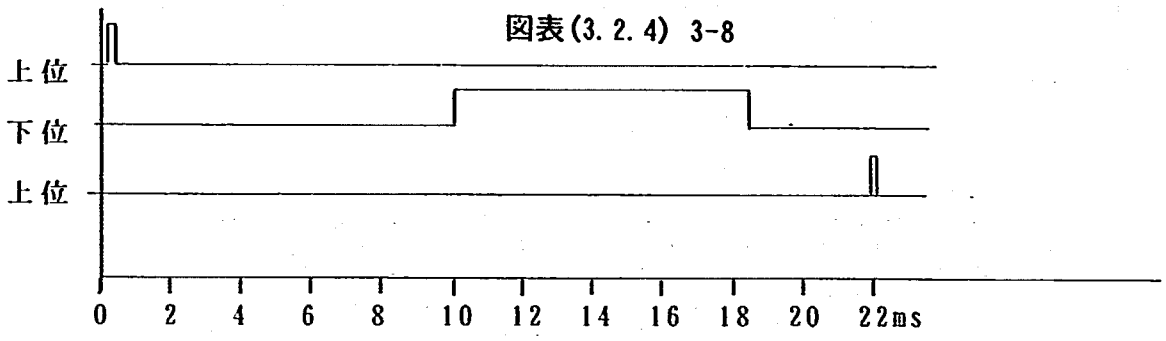
図表(3.2.4) 3-7

モード４
resolution＝20μs

95/11-21 14:00
数値単位：１μｓ

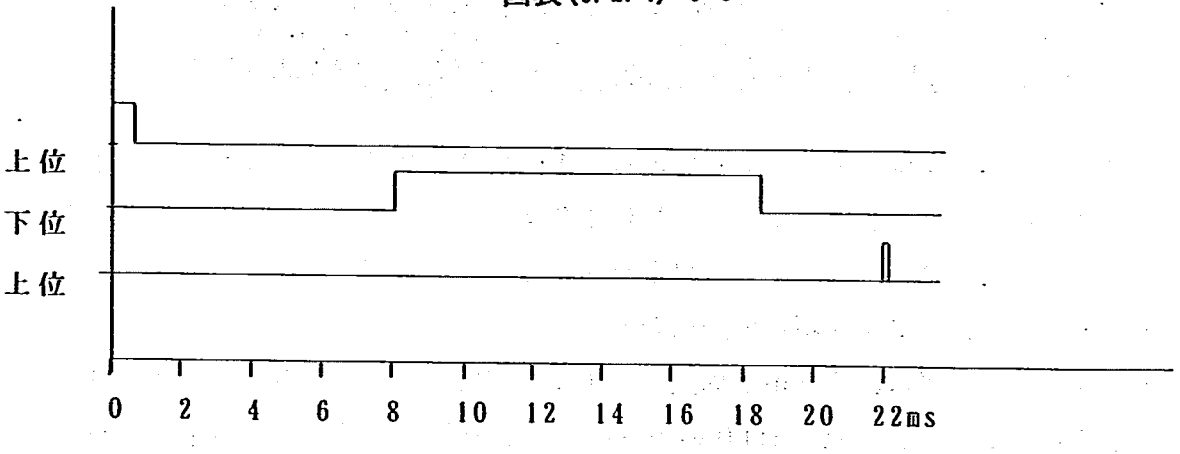
	1	2	3	4	5
1:上位装置	0	0	0	0	0
2:	６００	３００	５４０	１４０	５２０
3:下位装置	３９６０	９３６０	９２８０	９３８０	４４６０
4:	１３１４０	１８０２０	１７９２０	１７９４０	１３２６０
5:上位装置	２２１４０	２１９００	２２１８０	２１８００	２２０６０
6:	２２２００	２２０００	２２２８０	２１９００	２２１６０

図表(3.2.4) 3-8



モード４　短時間の例（上位 →光LAN→ 下位 →光LAN→ 上位）

図表(3.2.4) 3-9



モード４　長時間の例

資料－３　パケットによる伝送時間計測

伝送時間自動計測方法

ＭＯＤＥ５（上位→車→上位）

・上位装置→下位装置→路側無線制御部→車側無線制御部→車両処理装置→車側無線制御部→路側無線制御部→下位装置→上位装置のルートの伝送時間自動計測。

・長期下り、上り情報、緊急停止指示、事故通知の伝送時間計測を模している。

・当日のテストコースの都合、計測のし易さから区間６で行った。使用仮IDは01。

・上位装置で収集したファイル01231437.DATを調査し、長期下り（往路）、長期上り（復路）データ中のタイムスタンプ値を読み取り条件別にタイムスタンプ値表を作成し、平均値を算出する。フォーマットは次の通り。

図表(3.2.4) 3-10

１４：４５：４２　区間０６　長期下り
0000 0006 0000 0000 0000 0000 0100 8100 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0006
0000 0000 0000 0000 0101 8254 0000 0000 5200 19D4 0000 0206 0019 D403 EE03 F229
0007 0000 0000 0002 0000 1B3D 0000 0000 0100 1AF8 0245 0000 0000 2A13 0000 0000
2A0E 2A0E 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0500 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0006 0000 0000
0000 0000 0100 8300 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000

１４：４５：４２　区間０６　長期上り　仮ＩＤ＝１１１１１０１
0000 0006 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 004C 0111 1101 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0100 0000 0203 21F4 0100 0103 C190 0700 022A 1300 0000 002A 0E2A
0E52 2452 2801 4E01 4E4C 024C 0202 1C02 3153 0C53 0E2A 602A 6000 0000 002A 6005
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 2143

・タイムスタンプは、全部で２０個あり、１個当り２バイトからなり、１バイト目は１秒、２バイト目は１０ｍｓ単位で各々バイナリ表現されている。タイムスタンプデータの後ろには０５Ｈが存在するため位置がわかる。

・下表のタイムスタンプ項目の順に並ぶ。

・上位、下位装置は、５５ｍｓ周期のタイマを使用のためそれ以下の時間は０になる場合がある。また、all０の場合の場所が未セットは、予備バイト（将来の中位装置用）の部分である。

モード５（下位→車→下位）（上位でのログデータ）

図表(3. 2. 4) 3-11

0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0061 1111 0182 6900 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0061 1111 0182 6900 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0061 1111 0182 6900 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000

ＡＣＫ

0000 0006 0000 0000 0000 0000 0200 860D 0603 1100 0100 0000 0111 1101 000F 000F
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000

１４：３７：４４　区間０６　短期上り　仮ＩＤ＝１１１１１０７
0000 021E 8860 0632 7504 B000 0000 0400 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000

１４：３７：４５　区間０６　短期上り　仮ＩＤ＝１１１１１０７
0000 021E 8860 0632 7504 B000 0000 0400 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000

１４：３７：４５　区間０６　長期下り
0000 0006 0000 0000 0000 0000 0200 C100 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0006
0000 0000 0000 0000 0201 C267 0000 0000 B300 19D4 0007 0800 1400 0402 32B2 0003
0132 0C02 65B2 1001 0000 1402 00FF 1803 2901 0106 0019 D403 EE03 F229 0007 0100
001B 3D07 0010 5A02 0012 6C04 001A F802 0000 0000 0001 F401 0003 E702 0007 FF03
4A02 8400 0600 C8C0 4023 030D 142D 0047 D080 2302 0F09 0000 0000 0006 0000 0000
0000 0000 0202 C34E 0000 001B 0000 0100 2301 0000 0001 BFF8 4043 0317 3B3B 001F
3840 8202 173B 3B00 4000 8041 0117 3B3B 2E04 0000 0000 2D62 2D62 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0500 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0006 0000 0000 0000 0000
0200 C400 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0006 0000 0000 0000 0000 0200 C500
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000

１４：３７：４６　区間０６　短期上り　仮ＩＤ＝１１１１１０７
0000 021E 8860 0632 7504 B000 0000 0400 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000

１４：３７：４７　区間０６　長期上り　仮ＩＤ＝１１１１１０１
0000 0006 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 004C 0111 1101 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0100 0000 0203 21F4 0100 0103 C190 0700 022E 0400 0000 002D 622D
6276 1876 1F02 5102 5170 1B70 1B03 4304 0377 3577 362F 1E2F 1E00 0000 002F 2405
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 7280

１４：３７：４７　区間０２　長期下り

図表(3.2.4) 3-12

条件1

タイムスタンプ値（区間6）

単位 100ms

タイムスタンプ項目	1回目	2回目	3回目	4回目
上位装置送信準備終了	460.4	430.7	153.8	507.1
下位装置受信終了	459.8	430.2	153.8	507.1
下位装置バッファ書き込み終了	459.8	430.2	153.8	507.1
路側無線制御部読み込み終了	1182.4	1746.0	2074.4	2422.9
路側無線制御部送信準備終了	1183.1	1746.1	2075.1	2423.1
車側無線制御部受信終了	28.1	52.3	33.0	31.5
車側無線制御部送信準備終了	28.1	52.3	33.0	31.5
車両処理装置受信終了	1122.7	1685.7	2015.3	2362.7
車両処理装置送信準備終了	1122.7	1685.7	2015.4	2362.7
車側無線制御部受信終了	36.7	60.9	42.2	40.1
車側無線制御部送信準備終了	40.3	65.6	48.1	40.7
路側無線制御部受信終了	1195.3	1759.4	2090.3	2432.4
路側無線制御部ﾊﾞｯﾌｧ書込終了	1195.4	1759.4	2090.4	2432.4
下位装置読み込み終了	473.0	443.9	170.3	516.4
下位装置送信準備終了	473.0	443.9	170.3	516.4
上位装置受信終了	473.6	444.5	169.7	517.0

図表(3.2.4) 3-13

収集条件3：下り情報長さ：短　他車両有無：無　μ計算処理有無：無　緊急処理有無：有

タイムスタンプ（区間6）

単位 100ms

	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
上位装置送信準備終了	151.0	462.0	165.3	421.9	300.05
下位装置受信終了	150.5	461.5	165.3	421.4	299.675
下位装置バッファ書込み終了	150.5	462.0	165.3	421.4	299.8
路側無線制御部読込み終了	2512.8	261.8	561.9	823.6	1040.025
路側無線制御部送信準備終了	2513.0	272.0	562.0	824.0	1042.75
車側無線制御部受信終了	21.7	21.5	43.3	17.8	26.075
車側無線制御部送信準備終了	21.7	21.5	43.3	17.8	26.075
車両処理装置受信終了	2449.2	198.2	498.3	760.2	976.475
車両処理装置送信準備終了	2449.2	198.2	498.3	760.2	976.475
車側無線制御部受信終了	26.8	26.6	48.6	22.8	31.2
車側無線制御部送信準備終了	28.9	31.7	53.6	24.9	34.775
路側無線制御部受信終了	2520.3	272.4	572.4	831.2	1049.075
路側無線制御部バッファ書込み終了	2520.4	272.4	572.4	831.4	1049.15
下位装置読込み終了	158.2	472.5	175.8	429.6	309.025
下位装置送信準備終了	158.2	472.5	175.8	429.6	309.025
上位装置受信終了	158.7	473.0	176.3	429.6	309.4

収集条件2

・下り情報長さ：短　他社車両有無：有　μ計算処理有無：無　緊急処理有無：無

・区間6

＜タイムスタンプ値＞

(単位　100ms)

	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
上位装置送信準備終了	341.2	110.4	439.5	160.4	
下位装置受信終了	341.2	110.9	439.0	159.8	
下位装置ﾊﾞｯﾌｧ書込み終了	341.2	110.9	439.0	159.8	
路側無線制御部読込み終了	898.5	1270.1	1601.1	1918.0	
路側無線制御部送信準備終了	899.0	1271.0	1602.0	1918.0	
車側無線制御部受信終了	29.5	36.2	25.3	23.1	
車側無線制御部送信準備終了	29.5	36.2	25.3	23.1	
車両処理装置受信終了	835.2	1207.2	1538.2	1854.3	
車両処理装置送信準備終了	835.2	1207.2	1538.2	1854.3	
車両無線制御部受信終了	34.6	41.3	30.4	28.3	
車両無線制御部送信準備終了	35.6	42.4	30.5	31.3	
路側無線制御部受信終了	905.2	1277.3	1607.4	1926.3	
路側無線制御部ﾊﾞｯﾌｧ書込終	905.4	1277.4	1607.4	1926.4	
下位装置読み込み終了	348.3	118.1	445.6	168.6	
下位装置送信準備終了	348.3	118.1	445.6	168.6	
上位装置受信終了	348.3	118.1	446.1	168.6	
備考					

資料－４　伝送間計測方法　モード６（車→下車→車）

図表(3.2.4) 3-15

・車両処理装置→車側無線制御部→路側無線制御部→下位装置→路側無線制御部→車側無線制御部→車両処理装置のルートの伝送時間自動計測。
・車両から車両への緊急危険警告の伝送時間計測を模している。
・当日のテストコースの都合、計測のし易さから区間６で行った。
・車両処理装置で収集したファイル01231405.LOGなど７ファイルを調査し、長期上り（往路）、長期下り（復路）データ中のタイムスタンプ値を読み取り表を作成、平均値を算出する。データのフォーマットは次の通り。

長期上り情報
1002 132E 2B01 1111 0101 0203 21F4 0100 0103 C190 0700 0238 00FF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FF06 1003 B9

長期上りＡＣＫ
1002 0502 1003 14

長期下り
1002 0413 000F 0019 D400 0100 1AF8 0245 0000 3831 0010 0362

長期下り
1002 042B 0027 0019 D400 0100 1AF8 0245 0010 1000 0038 0001 5902 0FA6 03A6 0501 1401 1AA6 05A6 0A02 1802 1838 3E06 1003 0E

・タイムスタンプは全部で１２個あり、１個当たり２バイトで構成され、１バイト目は１秒、２バイト目は１０ｍｓ単位で各々バイナリ表現されている。タイムスタンプの後ろには０６Ｈが存在する。
・下表のタイムスタンプ項目の順に並ぶ。
・長期上りデータを抽出し直後２つ目の長期下りデータと対で処理する。

モード６（車→下位→車）（上位でのログデータ）

図表(3. 2. 4) 3-16

0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0006 0000 0000 0000 0000 0100 8500
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000

１４：０７：４６　区間０６　長期下り
0000 0006 0000 0000 0000 0000 0100 C100 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0006
0000 0000 0000 0000 0101 C22C 0000 0000 2A00 19D4 0000 0206 0019 D403 EE03 F229
0007 0000 0000 0002 0000 1B3D 0000 0000 0100 1AF8 0245 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0006 0000 0000
0000 0000 0100 C300 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0006 0000 0000 0000 0000
0100 C400 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0006 0000 0000 0000 0000 0100 C500
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000

１４：０７：５３　区間０６　長期上り　仮ＩＤ＝１１１１１０１
0000 0006 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 003C 0111 1101 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0100 0000 0203 21F4 0100 0103 C190 0700 026C 1E01 3D01 4EDA
18DA
1935 2EFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FF06 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 755C

１４：０７：５３　区間０６　長期下り
0000 0006 0000 0000 0000 0000 0100 0100 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0006
0000 0000 0000 0000 0101 0244 0000 0000 4200 19D4 0000 0206 0019 D403 EE03 F229
0007 0000 0000 0002 0000 1B3D 0000 0000 0100 1AF8 0245 0010 0000 6C1E 013D 014E
DA18 DA19 352E 352E FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF 0600 0000 0000 0000 0000 0000
0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0006 0000 0000
0000 0000 0100 0300 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000

モード６（車→上位→車）（車でのログデータ（01231359.LOG））

図表(3.2.4) 3-17

```
長期下り
1002 041C 0018 0019 D400 0100 1AF8 0225 0000 0001 00C8 C040 2303 0D4D 6000 1003
47

通信エリア進入通知
1002 010A 0000 0000 0000 0006 1003 1E

登録ＡＣＫ
1002 0209 0000 0001 1111 0110 0318

長期下り
1002 041C 0018 0019 D400 0100 1AF8 0225 0000 0001 00C8 C040 2303 0D52 6000 1003
47

長期下り
1002 041C 0018 0019 D400 0100 1AF8 0225 0000 0001 00C8 C040 2303 0D53 6000 1003
47

長期上り情報
1002 132E 2B01 1111 0101 0203 21F4 0100 0103 C190 0700 0254 4EFF FFFF FFFF FFFF
FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FF06 1003 9B

長期下り
1002 041C 0018 0019 D400 0100 1AF8 0225 0000 0001 00C8 C040 2303 0D54 6300 1003
47

長期上りＡＣＫ
1002 0502 1003 14

長期下り
1002 0434 0030 0019 D400 0100 1AF8 0225 0010 1000 0100 C8C0 4023 030D 142D 544E
0241 0314 602C 602D 2300 2300 602D 6032 031B 031B 5545 0610 0301

長期下り
1002 0434 0030 0019 D400 0100 1AF8 0225 0010 1000 0100 C8C0 4023 030D 142D 544E
0241 0314 602C 602D 2300 2300 602D 6132 041B 041C 5645 0610 0307

長期下り
1002 0434 0030 0019 D400 0100 1AF8 0225 0010 1000 0100 C8C0 4023 030D 142D 544E
0241 0314 602C 602D 2300 2300 602D 6232 051B 051B 5745 0610 0303

長期下り
1002 0434 0030 0019 D400 0100 1AF8 0225 0010 1000 0100 C8C0 4023 030D 142D 544E
0241 0314 602C 602D 2300 2300 602D 6332 061B 061B 5845 0610 0302

長期下り
1002 0434 0030 0019 D400 0100 1AF8 0225 0010 1000 0100 C8C0 4023 030D 142D 544E
0241 0314 602C 602D 2300 2300 602D 6432 071B 071B 5945 0610 0305

長期下り
1002 0434 0030 0019 D400 0100 1AF8 0225 0010 1000 0100 C8C0 4023 030D 142D 544E
0241 0314 602C 602D 2300 2300 602D 6532 081B 081B 5A45 0610 0304

長期下り
1002 0434 0030 0019 D400 0100 1AF8 0225 0010 1000 0100 C8C0 4023 030D 142D 544E
0241 0314 602C 602D 2300 2300 602D 6632 091B 091B 5B45 0610 0307

長期下り
1002 0434 0030 0019 D400 0100 1AF8 0225 0010 1000 0100 C8C0 4023 030D 142D 544E
0241 0314 602C 602D 2300 2300 602D 6732 0A1B 0A1B 5C45 0610 0306

長期下り
1002 0434 0030 0019 D400 0100 1AF8 0225 0010 1000 0100 C8C0 4023 030D 142D 544E
0241 0314 602C 602D 2300 2300 602D 6832 0B1B 0B1B 5D45 0610 0309

長期下り
1002 0434 0030 0019 D400 0100 1AF8 0225 0010 1000 0100 C8C0 4023 030D 142D 544E
0241 0314 602C 602D 2300 2300 602D 6932 0C1B 0C1B 5E45 0610 0308

長期下り
1002 041C 0018 0019 D400 0100 1AF8 0225 0000 0001 00C8 C040 2303 0D5F 4200 1003
47

長期下り
1002 041C 0018 0019 D400 0100 1AF8 0225 0000 0001 00C8 C040 2303 0D60 4200 1003
47
```

図表(3.2.4) 3-18

条件1

タイムスタンプ値（区間6） 01231345.LOG 単位 100ms

タイムスタンプ項目	1回目	2回目	3回目	4回目
車両処理装置送信準備終了		1038.0	1259.6	1493.0
車側無線制御部受信終了		22.0	21.5	24.3
車側無線制御部送信準備終了		24.8	24.8	28.2
路側無線制御部受信終了		344.3	566.4	800.4
路側無線制御部ﾊﾞｯﾌｧ書込み終了		344.5	566.5	800.5
下位装置受信終了		468.1	90.1	324.1
下位装置ﾊﾞｯﾌｧ書込み終了		468.1	90.1	324.1
路側無線制御部読込み終了		344.5	566.5	800.5
路側無線制御部送信準備終了		345.1	567.1	801.1
車側無線制御部受信終了		25.6	25.6	129.0
車側無線制御部送信準備終了		25.6	25.6	129.0
車両処理装置受信終了		1045.6	1269.0	1501.6

図表(3.2.4) 3-19

条件2

タイムスタンプ値（区間6） 01231353.LOG 単位 100ms

タイムスタンプ項目	1回目	2回目	3回目	4回目
車両処理装置送信準備終了	98.0	326.0	509.4	701.1
車側無線制御部受信終了	26.0	18.4	15.7	18.5
車側無線制御部送信準備終了	28.5	20.9	20.9	23.9
路側無線制御部受信終了	2231.3	2459.3	85.4	277.4
路側無線制御部ﾊﾞｯﾌｧ書込み終了	2231.5	2459.5	85.5	277.5
下位装置受信終了	110.9	339.0	525.2	117.0
下位装置ﾊﾞｯﾌｧ書込み終了	110.9	339.0	525.2	117.0
路側無線制御部読込み終了	2231.5	2459.5	85.5	277.5
路側無線制御部送信準備終了	2232.0	2470.0	86.0	278.0
車側無線制御部受信終了	29.3	31.7	21.7	24.7
車側無線制御部送信準備終了	29.4	31.7	21.7	24.7
車両処理装置受信終了	104.1	342.1	518.1	711.0

図表(3.2.4) 3-20

収集条件3 ：下り情報長さ：長　他車両有無：有　μ計算処理有無：無　緊急処理有無：有

タイムスタンプ（区間6）　　（単位１００ｍｓ）

	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
車両処理装置送信準備終了	75.8	268.1	453.5	635.5	358.225
車側無線制御部受信終了	21.8	17.1	20.4	16.1	18.85
車側無線制御部送信準備終了	27.8	22.3	26.3	20.1	24.125
路側無線制御部受信終了	1718.3	1910.3	2096.4	2276.4	2000.35
路側無線制御部バッファ書込み終了	1718.5	1910.5	2096.4	2276.5	2000.475
下位装置受信終了	360.4	552.1	138.4	318.6	342.375
下位装置バッファ書込み終了	360.4	552.1	138.4	318.6	342.375
路側無線制御部読込み終了	1718.5	1910.5	2096.5	2276.5	2000.5
路側無線制御部送信準備終了	1719.0	1911.0	2097.0	2287.0	2003.5
車側無線制御部受信終了	28.2	23.2	27.1	30.8	27.325
車両無線制御部送信準備終了	28.2	23.2	27.1	30.8	27.325
車両処理装置受信終了	85.0	277.0	463.0	653.0	369.5
備考					

図表(3.2.4) 3-21

ファイル名：０１２３１３５９．ＬＯＧ（条件４）

収集条件　：下り情報長さ：長　他車両有無：無　μ計算処理有無：無　緊急処理有無：無

タイムスタンプ値（区間6）　　（単位１００ｍｓ）

	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
車両処理装置送信準備終了	847.8	1036.5	1214.8	1359.7	1114.7
車側無線制御部受信終了	26.5	16.7	17.5	18.7	19.85
車側無線制御部送信準備終了	32.0	20.4	23.0	23.2	24.65
路側無線制御部受信終了	964.4	1151.3	1331.3	1511.4	1239.6
路側無線制御部バッファ書込み終了	964.5	1151.5	1331.5	1511.5	1239.75
下位装置受信終了	350.0	536.8	117.0	297.2	325.25
下位装置バッファ書込み終了	350.0	536.8	117.0	297.2	325.25
路側無線制御部読込み終了	964.5	1151.5	1331.5	1511.5	1239.75
路側無線制御部送信準備終了	965.0	1152.0	1342.0	1522.0	1245.25
車側無線制御部受信終了	32.7	21.3	33.8	34.0	30.45
車両無線制御部送信準備終了	32.7	21.3	33.8	34.0	30.45
車両処理装置受信終了	856.9	1049.9	1233.9	1413.9	1138.65
備考					

収集条件5

・下り情報長さ：長　他社車両有無：有　μ計算処理有無：有　緊急処理有無：無

・区間6

<タイムスタンプ値（区間6）　０１２３１４０１．ＬＯＧ>

（単位１００ｍｓ）

	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
車両処理装置送信準備終了	1619.6	1796.6	1971.8	2160.8	
車側無線制御部受信終了	16.0	14.8	18.3	25.6	
車側無線制御部送信準備終了	18.8	15.5	23.7	28.0	
路側無線制御部受信終了	1889.4	2064.3	2244.3	2430.4	
路側無線制御部ﾊﾞｯﾌｧ書込終	1889.5	2064.5	2244.5	2430.5	
下位装置受信終了	75.2	250.0	430.2	16.4	
下位装置ﾊﾞｯﾌｧ書込み終了	75.2	250.0	430.2	16.4	
路側無線制御部読込み終了	1889.5	2064.5	2244.5	2430.5	
路側無線制御部送信準備終了	1890.0	2065.0	2245.0	2431.0	
車側無線制御部受信終了	19.5	16.4	24.6	28.8	
車両無線制御部送信準備終了	19.5	16.4	24.6	28.8	
車両処理装置受信終了	1625.9	1800.9	1980.9	2166.9	
備考					

図表(3.2.4) 3-23

収集条件6
・下り情報長さ：長　他社車両有無：有　μ計算処理有無：有　緊急処理有無：有
・区間6

タイムスタンプ値（区間6）　01231403．LOG（条件6）

（単位１００ｍｓ）

	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
車両処理装置送信準備終了	2368.2	2548.5	167.2	350.9	
車側無線制御部受信終了	17.5	16.7	13.8	19.3	
車側無線制御部送信準備終了	20.2	19.1	18.4	20.2	
路側無線制御部受信終了	788.4	968.4	1149.3	1329.3	
路側無線制御部ﾊﾞｯﾌｧ書込終	788.5	968.5	1149.5	1329.5	
下位装置受信終了	340.1	520.3	101.0	281.3	
下位装置ﾊﾞｯﾌｧ書込み終了	340.1	520.3	101.0	281.3	
路側無線制御部読込み終了	788.5	968.5	1149.5	1329.5	
路側無線制御部送信準備終了	789.0	969.0	1150.0	1330.0	
車側無線制御部受信終了	21.0	19.9	19.3	21.1	
車両無線制御部送信準備終了	21.0	19.9	19.3	21.1	
車両処理装置受信終了	2374.4	2554.4	175.4	355.4	
備考					

収集条件7

・下り情報長さ：長　他社車両有無：有　μ計算処理有無：有　緊急処理有無：有

・区間6

タイムスタンプ値（区間6）　０１２３１４０５．ＬＯＧ（条件7）

（単位１００ｍｓ）

	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
車両処理装置送信準備終了	560.0	732.9	909.5	1083.0	
車側無線制御部受信終了	18.9	12.8	17.0	16.1	
車側無線制御部送信準備終了	21.5	16.7	18.2	17.8	
路側無線制御部受信終了	1660.3	1834.3	2008.4	2182.4	
路側無線制御部ﾊﾞｯﾌｧ書込終	1660.5	1834.5	2008.5	2182.5	
下位装置受信終了	12.0	186.2	360.4	534.6	
下位装置ﾊﾞｯﾌｧ書込み終了	12.6	186.2	360.4	534.6	
路側無線制御部読込み終了	1660.5	1834.5	2008.5	2182.5	
路側無線制御部送信準備終了	1661.0	1835.0	2009.0	2183.0	
車側無線制御部受信終了	22.4	17.5	19.0	18.6	
車両無線制御部送信準備終了	22.4	17.5	19.0	18.6	
車両処理装置受信終了	566.2	740.2	914.2	1088.2	
備考					

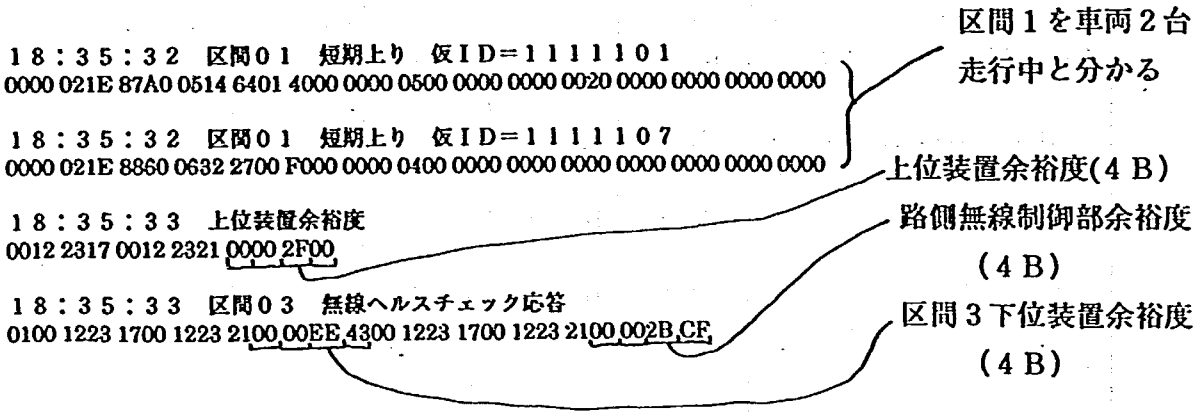
図表(3. 2. 4) 3-25

処理装置の能力

上位装置、下位装置、路側無線制御部の処理能力余裕度

・ファイル 01221829.DAT のデータを調査し、１０秒に１回の“上位装置余裕度”及び、“無線ヘルスチェック応答”のデータから知る。

・余裕度は、フォーマットは次の通り。各装置のカウント値の単位時間は異なる。



上位装置でのログデータ

図表(3. 2. 4) 3-26

0100 1223 0400 1223 0E00 00EE 4600 1223 0400 1223 0E00 002C 21

１８：３５：１４　区間０１　登録
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0011 1111 0198 A900 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0011 1111 0198 A900 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
ＡＣＫ
0000 0001 0000 0000 0000 0000 0100 460D 0603 1100 0100 0000 0111 1101 001D 001D
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000

１８：３５：１４　区間０１　短期上り　仮ＩＤ＝１１１１１０１
0000 021E 87A0 0514 6401 4000 0000 0500 0000 0000 0020 0000 0000 0000 0000

１８：３５：１４　区間０１　車両進入通知
0000 0001 0101 1111 01

１８：３５：１６　区間０１　短期上り　仮ＩＤ＝１１１１１０１
0000 021E 87A0 0514 6401 4000 0000 0500 0000 0000 0020 0000 0000 0000 0000

１８：３５：１７　区間０１　短期上り　仮ＩＤ＝１１１１１０１
0000 021E 87A0 0514 6401 4000 0000 0500 0000 0000 0020 0000 0000 0000 0000

１８：３５：１９　区間０１　短期上り　仮ＩＤ＝１１１１１０１
0000 021E 87A0 0514 6401 4000 0000 0500 0000 0000 0020 0000 0000 0000 0000

１８：３５：２１　区間０１　短期上り　仮ＩＤ＝１１１１１０１
0000 021E 87A0 0514 6401 4000 0000 0500 0000 0000 0020 0000 0000 0000 0000

１８：３５：２２　区間０１　短期上り　仮ＩＤ＝１１１１１０１
0000 021E 87A0 0514 6401 4000 0000 0500 0000 0000 0020 0000 0000 0000 0000

１８：３５：２３　区間０１　短期上り　仮ＩＤ＝１１１１１０１
0000 021E 87A0 0514 6401 4000 0000 0500 0000 0000 0020 0000 0000 0000 0000

１８：３５：２３　上位装置余裕度
0012 230E 0012 2317 0000 304D

１８：３５：２３　区間０３　無線ヘルスチェック応答
0100 1223 0E00 1223 1700 00EE 4800 1223 0E00 1223 1700 002C 0D

１８：３５：２３　区間０５　無線ヘルスチェック応答
0100 1223 0E00 1223 1700 00EE 4400 1223 0E00 1223 1700 002A 65

１８：３５：２３　区間０２　無線ヘルスチェック応答

資料－6　ＣＲＣエラー計測

図表(3.2.4) 3-27

（1）区間1

・余裕度

開始時間	終了時間	回線制御部余裕度	無線制御部余裕度
13：17：58	13：18：08	11312	59718
13：18：08	13：18：18	11230	59716
13：18：18	13：18：28	11235	59715
13：18：28	13：18：38	11296	59716
13：18：38	13：18：48	11303	59715
13：18：48	13：18：58	11302	59713
13：18：58	13：19：08	11308	59716
平均			

時刻は時：分：秒（以下同様）

・フレーム毎のＣＲＣエラー率　　正常フレーム数／異常フレーム数

開始時刻	終了時刻	車両登録フレーム	短期上りフレーム	長期上りフレーム
13：12：12	13：13：12	0／0	0／0	0／0
13：13：12	13：14：12	0／0	0／0	0／0
13：14：12	13：15：12	8／0	313／0	6／0
13：15：12	13：16：12	2／0	423／32	10／2
13：16：12	13：17：12	0／0	25／14	2／2
13：17：12	13：18：12	0／0	0／0	0／0
13：18：12	13：19：12	0／0	0／0	0／0
			761／46	18／4

（2）区間2

・余裕度

開始時間	終了時間	回線制御部余裕度	無線制御部余裕度
13：19：11	13：19：21	11234	59713
13：19：21	13：19：31	11236	59716
13：19：31	13：19：41	11294	59717
13：19：41	13：19：51	11234	59714
13：19：51	13：20：01	11282	59720
13：20：01	13：20：11	11307	59713
13：20：11	13：20：21	11310	59716
平均			

・フレーム毎のＣＲＣエラー率

開始時刻	終了時刻	車両登録フレーム	短期上りフレーム	長期上りフレーム
13：12：39	13：13：39	0／0	0／0	0／0
13：13：39	13：14：39	0／0	0／0	0／0

13:14:39	13:15:39	0／0	107／38	2／1
13:15:39	13:16:39	3／0	543／0	11／0
13:16:39	13:17:39	0／0	30／1	0／0
13:17:39	13:18:39	0／0	0／0	0／0
13:18:39	13:19:39	0／0	0／0	0／0
			680／39	13／1

（3）区間3

・余裕度

開始時間	終了時間	回線制御部余裕度	無線制御部余裕度
13:20:27	13:20:37	11245	59712
13:20:37	13:20:47	11321	59713
13:20:47	13:20:56	11253	59715
13:20:56	13:21:06	11288	59718
13:21:06	13:21:16	11281	59717
13:21:16	13:21:26	11318	59714
13:21:26	13:21:36	11310	59718
平均			

・フレーム毎のＣＲＣエラー率

開始時刻	終了時刻	車両登録フレーム	短期上りフレーム	長期上りフレーム
13:14:35	13:15:35	0／0	0／0	0／0
13:15:35	13:16:35	0／0	64／45	0／0
13:16:35	13:17:35	3／0	524／10	10／0
13:17:35	13:18:35	0／0	79／5	2／0
13:18:35	13:19:35	0／0	0／0	0／0
13:19:35	13:20:36	0／0	0／0	0／0
13:20:36	13:21:36	0／0	0／0	0／0
			667／60	12／0
			2108／145	43／5

資料－7　インフラ装置Ｉ／Ｆデータ（部分）

図表(3.2.4) 3-29

```
[START 96-01-06  10:59:41] [STOP  96-01-06  11:29:08]                PAGE:00
001
"MONITOR MODE"    ASYNC              FORMAT-NRZ                       CLOCK- 9
600
                  PARITY-EVEN        DATA BIT-8

                  TRIGGER-OFF        ERROR STOP-OFF
                  MEMORY MODE-RING   MEMORY SIZE-ALL

"TRIGGER MODE"    LINE-SD            DATA-                        EVENT COUNT
-01
                  MODE-STOP

"DATA COUNT"      SD = 000952        RD = 000366          START POSITION = 000
001
"PRINT MODE"      MODE-DATA          LINE-DUAL            CODE-HEX

000001S:                 02 36 06 0B 01 30 00 00 03 7B
000001R: 02 33 01 03 37                                  02 33 01 03 37

000002S: 02 36 06 0B 02 30 00 00 03 7C                   02 36 06 0B 03
000002R:                              02 33 01 03 37

000003S: 30 00 00 03 7D                  02 36 06 0B 04 30 00 00 03 7E
000003R:                 02 33 01 03 37

000004S:                 02 36 06 0B 05 30 00 00 03 7F 02 35 0D 00 00
000004R: 02 33 01 03 37

000005S: 31 00 C7 00 40 23 02 0B 05 36 03 E8                     02 35
000005R:                                    02 31 02 35 03 6B

000006S: 0D 00 00 31 00 C7 00 40 83 02 0B 06 0E 03 21
000006R:                                                 02 31 02 35 03

000007S:    02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 23 02 0B 06 0F 03 DA
000007R: 6B                                                        02 31

000008S:            02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 83 02    06 15 03
000008R: 02 35 03 6B

000009S: 40                    02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 23 02 0B
000009R:    02 31 02 35 03 6B

000010S: 06 16 03 C9                     02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40
000010R:             02 31 02 35 03 6B

000011S: 83 02 0B 06 1D 03 30                    02 35 0D 00 00 31 00
000011R:                    02 31 02 35 03 6B

000012S: C7 18 40 23 02 0B 06 1E 03 E9                    02 35 0D 00
000012R:                               02 31 02 35 03 6B
```

図表(3.2.4) 3-30

インフラセンサI／F装置～下位処理装置間通信データ

```
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 01 30 00 00 03 7B
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 02 30 00 00 03 7C
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 03 30 00 00 03 7D
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 04 30 00 00 03 7E
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 05 30 00 00 03 7F
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 23 02 0B 05 36 03 E8
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 83 02 0B 06 0E 03 21
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 23 02 0B 06 0F 03 DA
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 83 02 0B 06 15 03 40
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 23 02 0B 06 16 03 C9
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 83 02 0B 06 1D 03 30
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 23 02 0B 06 1E 03 E9
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 83 02 0B 06 21 03 4C
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 06 30 00 00 03 80
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 07 30 00 00 03 81
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 08 30 00 00 03 82
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 09 30 00 00 03 83
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 23 02 0B 09 32 03 00
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 83 02 0B 0A 17 03 46
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 0A 30 00 00 03 84
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 0B 30 00 00 03 85
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 23 02 0B 0C 09 03 DA
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 83 02 0B 0C 24 03 55
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 0C 30 00 00 03 86
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 0D 30 00 00 03 87
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 23 02 0B 0E 13 03 CE
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 0E 30 00 00 03 88
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 83 02 0B 0F 22 03 3E
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 80 40 23 02 0B 0F 24 03 60
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 80 40 83 02 0B 0F 25 03 C1
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 0F 30 00 00 03 89
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 10 30 00 00 03 8A
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C6 D0 40 23 02 0B 11 10 03 9D
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 11 30 00 00 03 8B
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C6 D0 40 83 02 0B 12 24 03 12
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 12 30 00 00 03 8C
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 13 30 00 00 03 8D
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 23 01 0B 14 0F 03 E7
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 14 30 00 00 03 8E
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 83 01 0B 15 25 03 5E
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 15 30 00 00 03 8F
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 16 30 00 00 03 90
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 23 04 0B 17 30 03 F6
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 17 30 00 00 03 91
02 31 02 35 03 6B 02 35 17 00 00 31 00 C6 E8 40 23 02 0B 18 02 31 00 C7 00 40 43 04 0B 17 30 03 89
02 31 02 35 03 6B 02 35 17 00 00 31 00 C6 E8 40 43 02 0B 18 02 31 00 C7 00 40 83 04 0B 18 07 03 C1
02 31 02 35 03 6B 02 35 17 00 00 31 00 C6 E8 40 43 02 0B 18 02 31 00 C7 18 40 23 04 0B 18 08 03 7A
02 31 02 35 03 6B 02 35 17 00 00 31 00 C6 E8 40 43 02 0B 18 02 31 00 C7 18 40 83 04 0B 18 09 03 DB
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C6 E8 40 83 02 0B 18 20 03 2C
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 18 30 00 00 03 92
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 19 30 00 00 03 93
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 23 04 0B 1A 00 03 C9
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 83 04 0B 1A 15 03 3E
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 38 40 23 04 0B 1A 16 03 17
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 38 40 83 04 0B 1A 17 03 78
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 1A 30 00 00 03 94
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C6 E8 40 23 02 0B 1B 30 03 DF
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 1B 30 00 00 03 95
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 1C 30 00 00 03 96
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C6 E8 40 83 02 0B 1C 31 03 41
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 23 02 0B 1C 32 03 13
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 83 02 0B 1D 0A 03 4C
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 23 02 0B 1D 0B 03 ED
02 31 02 35 03 6B 02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 83 02 0B 1D 25 03 67
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 1D 30 00 00 03 97
02 33 01 03 37 02 36 06 0B 1E 30 00 00 03 98
```

図表(3.2.4) 3-31

インフラセンサI／F装置からのインフラデータの内容

インフラセンサからのインフラデータ

02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 23 02 0B 05 36 03 E8
02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 83 02 0B 06 0E 03 21
02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 23 02 0B 06 0F 03 DA
02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 83 02 0B 06 15 03 40
02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 23 02 0B 06 16 03 C9
02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 83 02 0B 06 1D 03 30
02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 23 02 0B 06 1E 03 E9
02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 83 02 0B 06 21 03 4C
02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 23 02 0B 09 32 03 00
02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 83 02 0B 0A 17 03 46
02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 23 02 0B 0C 09 03 DA
02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 83 02 0B 0C 24 03 55
02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 23 02 0B 0E 13 03 CE
02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 83 02 0B 0F 22 03 3E
02 35 0D 00 00 31 00 C7 80 40 23 02 0B 0F 24 03 60
02 35 0D 00 00 31 00 C7 80 40 83 02 0B 0F 25 03 C1
02 35 0D 00 00 31 00 C6 D0 40 23 02 0B 11 10 03 9D
02 35 0D 00 00 31 00 C6 D0 40 83 02 0B 12 24 03 12
02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 23 01 0B 14 0F 03 E7
02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 83 01 0B 15 25 03 5E
02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 23 04 0B 17 30 03 F6
02 35 17 00 00 31 00 C6 E8 40 23 02 0B 18 02 31 00 C7 00 40 43 04 0B 17 30 03 89
02 35 17 00 00 31 00 C6 E8 40 43 02 0B 18 02 31 00 C7 00 40 83 04 0B 18 07 03 C1
02 35 17 00 00 31 00 C6 E8 40 43 02 0B 18 02 31 00 C7 18 40 23 04 0B 18 08 03 7A
02 35 17 00 00 31 00 C6 E8 40 43 02 0B 18 02 31 00 C7 18 40 83 04 0B 18 09 03 DB
02 35 0D 00 00 31 00 C6 E8 40 83 02 0B 18 20 03 2C
02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 23 04 0B 1A 00 03 C9
02 35 0D 00 00 31 00 C7 00 40 83 04 0B 1A 15 03 3E
02 35 0D 00 00 31 00 C7 38 40 23 04 0B 1A 16 03 17
02 35 0D 00 00 31 00 C7 38 40 83 04 0B 1A 17 03 78
02 35 0D 00 00 31 00 C6 E8 40 23 02 0B 1B 30 03 DF
02 35 0D 00 00 31 00 C6 E8 40 83 02 0B 1C 31 03 41
02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 23 02 0B 1C 32 03 13
02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 83 02 0B 1D 0A 03 4C
02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 23 02 0B 1D 0B 03 ED
02 35 0D 00 00 31 00 C7 18 40 83 02 0B 1D 25 03 67

各事象とも以下の情報は同一であったので省略する。

基準ﾎﾟｽﾄ 3m
事象種類　停止
事象内容詳細　なし
車線数　3

図表(3.2.4) 3-32

事象1

基準からの距離	発生／解消	発生車線	発生時間
２２４m	発生	2	11:05:54
２２４m	解消	2	11:06:14
２２７m	発生	2	11:06:15
２２７m	解消	2	11:06:21
２２４m	発生	2	11:06:22
２２４m	解消	2	11:06:29
２２７m	発生	2	11:06:30
２２７m	解消	2	11:06:33
２２７m	発生	2	11:09:50
２２７m	解消	2	11:10:23
２２７m	発生	2	11:12:09
２２７m	解消	2	11:12:36
２２４m	発生	2	11:14:19
２２４m	解消	2	11:15:34
２４０m	発生	2	11:15:36
２４０m	解消	2	11:15:37
２１８m	発生	2	11:17:16
２１８m	解消	2	11:18:36
２２７m	発生	1	11:20:15
２２７m	解消	1	11:21:37
２２４m	発生	3	11:23:48
２２１m	発生	2	11:24:02
２２１m	継続中	2	11:24:02
２２１m	継続中	2	11:24:02
２２１m	継続中	2	11:24:02
２２１m	解消	2	11:24:32
２２４m	発生	3	11:26:00
２２４m	解消	3	11:26:21
２３１m	発生	3	11:26:22
２３１m	解消	3	11:26:23
２２１m	発生	2	11:27:48
２２１m	解消	2	11:28:49
２２７m	発生	2	11:28:50
２２７m	解消	2	11:29:10
２２７m	発生	2	11:29:11
２２７m	解消	2	11:29:37

図表(3.2.4) 3-33

事象2

基準からの距離	発生／解消	発生車線	発生時間
２２４m	継続中	3	11:23:48
２２４m	解消	3	11:24:07
２２７m	発生	3	11:24:08
２２７m	解消	3	11:24:09

資料－8　車載Ｉ／Ｆデータ（部分）（通常走行）

図表(3.2.4) 3-34

```
ART 96-01-06  12:08:08]  [STOP  96-01-06  12:11:43]                PAGE:00001
MONITOR MODE*     ASYNC                FORMAT-NRZ                    CLOCK- 9600
                  PARITY-ODD           DATA BIT-8

                  TRIGGER-OFF          ERROR STOP-OFF
                  MEMORY MODE-RING     MEMORY SIZE-ALL

'TRIGGER MODE*    LINE-SD              DATA-                    EVENT COUNT-01
                  MODE-STOP

'DATA COUNT*      SD = 040737          RD = 004398         START POSITION = 001025

'PRINT MODE*      MODE-DATA            LINE-DUAL           CODE-HEX

)00001S: 10 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32 6B 00 F4 00 10 03 50 10
)00001R:

)00002S: 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32 6B 00 F4 00 10 03 50 10 02
)00002R:

)00003S: 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32 6B 00 F4 00 10 03 50 10 02 12
)00003R:

)00004S: 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32 6B 00 F4 00 10 03 50 10 02 12 0E
)00004R:

)00005S: 00 00 02 1E 88 60 06 32 6B 00 F4 00 10 03 50 10 02 12 0E 00
)00005R:

)00006S: 00 02 1E 88 60 06 32 6B 00 F4 00 10 03 50 10 02 12 0E 00 00
)00006R:

)00007S: 02 1E 88 60 06 32 6B 00 F4 00 10 03 50 10 02 12 0E 00 00 02
)00007R:

)00008S: 1E 88 60 06 32 6B 00 F4 00 10 03 50 10 02 12 0E 00 00 02 1E
)00008R:

)00009S: 88 60 06 32 6B 00 F4 00 10 03 50 10 02 12 0E 00 00 02 1E 88
)00009R:

)00010S: 60 06 32 6B 00 F4 00 10 03 50 10 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60
)00010R:

)00011S: 06 32 6B 00 F4 00 10 03 50 10 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06
)00011R:

)00012S: 32 6B 00 F4 00 10 03 50 10 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32
)00012R:
```

車載Ｉ／Ｆデータ（部分）（長期上り送信）

図表(3.2.4) 3-35

```
[START 96-01-06  13:14:50] [STOP  96-01-06  13:15:16]                PAGE:00001
*MONITOR MODE*     ASYNC                FORMAT-NRZ                    CLOCK- 9600
                   PARITY-ODD           DATA BIT-8

                   TRIGGER-OFF          ERROR STOP-OFF
                   MEMORY MODE-RING     MEMORY SIZE-ALL

*TRIGGER MODE*     LINE-SD              DATA-                      EVENT COUNT-01
                   MODE-STOP

*DATA COUNT*       SD = 004930          RD = 000860          START POSITION = 000001

*PRINT MODE*       MODE-DATA            LINE-DUAL            CODE-HEX

000001S: 10 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32 F3 C2 D4 00 10 03 2A
000001R:                                                        10

000002S:
000002R: 02 04 17 00 13 00 13 AE 00 00 21 00 10 10 00 01 00 C8 C0 40

000003S:                                  10 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32
000003R: 23 03 0D 14 2D 10 03 C2

000004S: F3 C2 D4 00 10 03 2A 10 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32 F6
000004R:

000005S: 42 D4 00 10 03 AF 10 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32 F6 42
000005R:

000006S: D4 00 10 03 AF 10 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32 F6 42 D4
000006R:

000007S: 00 10 03 AF 10 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32 F6 42 D4 00
000007R:

000008S: 10 03 AF 10 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32 F6 42 D4 00 10
000008R:

000009S: 03 AF 10 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32 F6 42 D4 00 10 03
000009R:

000010S: AF 10 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32 F6 42 D4 00 10 03 AF
000010R:

000011S: 10 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32 F6 42 D4 00 10 03 AF 10
000011R:

000012S: 02 12 0E 00 00 02 1E 88 60 06 32 F6 42 D4 00 10 03 AF
000012R:                                                       10 02
```

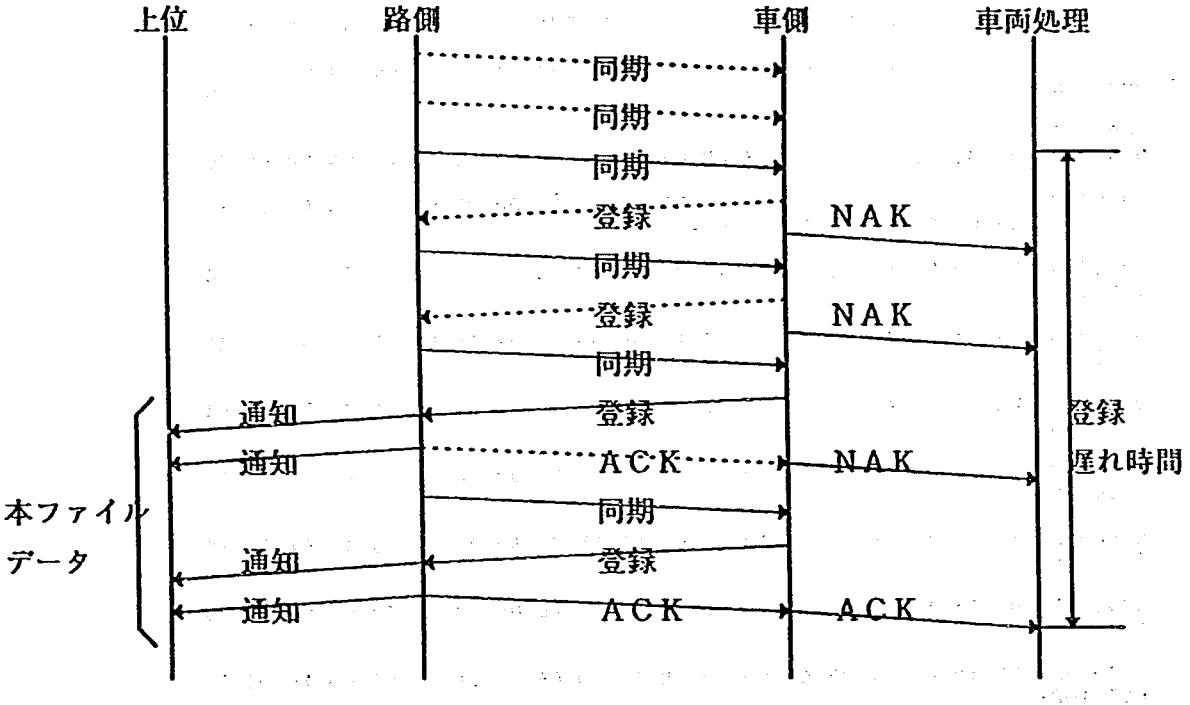
資料－９　登録ＡＣＫ確認方法

図表(3.2.4) 3-36

登録動作の確認

（1）登録ＡＣＫ率

・登録の不具合は、次図の様に電波電搬状況によるものと登録処理不具合によるものの２通りあるが、本項では前者の内上位へ通知されたデータで調査する。後者の不具合は生じていないため作業は省略する。



・ファイル 11101012.DAT のデータを調査し、登録回数を計数し、区間、車両仮ＩＤでマトリクス表を作成する。

・データ中の該車両が該区間で車両登録がN回あれば最後の１回がＡＣＫ、Ｎ－１回がＮＡＫである。

・ＡＣＫ率＝１／（ＮＡＫ回数＋ＡＣＫ回数）

・その時の車両台数とは、登録時に他の車両がその区間で既に何台走行しているかを示す。

3．3　車両システム

実験車は自動運転基礎実験対応車が９台（うち、３台は前方道路危険警告機能と共用）、前方道路危険警告機能対象車が５台となっている。

3．3．1　前方道路危険警告機能実験車

1）概要

・前方道路危険警告機能
ＬＣＸとの連続通信を行うことで前方で発生した事故や渋滞を瞬時に受信できる。

・非常時通信機能
走行中に目撃した事故や、自車の異常を任意の地点でＬＣＸを通して道路管理者に通報する。

・ＨＭＩ（ヒューマンインターフェイス）
コース地図と現在位置・運転モード、ＬＣＸとの通信状態・指示速度、前走車または後走車の車速・車間距離をディスプレイ上に表示する。また、音声による案内や視線移動の少ないＨＵＤ（ヘッドアップディスプレイ）、詳細情報を見るＣＲＴがある。人間にとって最も適切な形で情報を提供する。

なお、各実験車の担当メーカーを図表(3.3.1) 1-1に示す。（詳細は以降を参照）実験車はメーカーごとに担当したので以降ではメーカーごとに実験車の内容を示す。

図表(3.3.1) 1-1　担当メーカー

	担当メーカー
実験車１	住友電気工業株式会社
実験車２	トヨタ自動車株式会社
実験車３	日産自動車株式会社
実験車４	マツダ株式会社 古河電気工業株式会社
実験車５	本田技研工業株式会社
実験車６	三菱自動車工業株式会社
実験車７	三菱電機株式会社

2）実験車その１（住友電気工業株式会社）

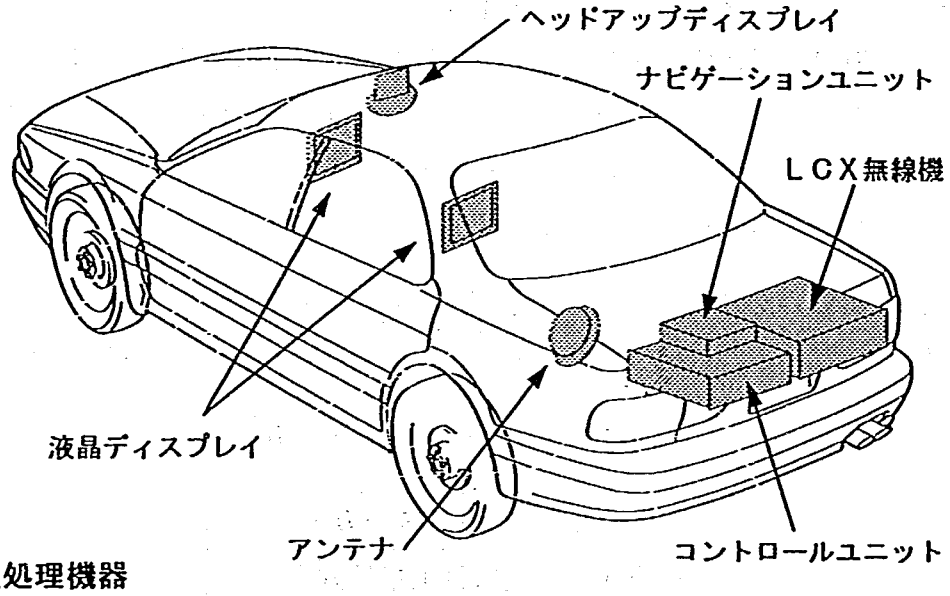
（１）車両機能

路車間通信で得られた前方の事象（事故、渋滞、落下物）情報を、液晶ディスプレイ及びヘッドアップディスプレイ（ＨＵＤ）に表示してドライバに警告する機能を有する。また、自車両が事故に遭遇したり、事故を目撃したときなどに路車間通信を通して事故情報を道路管理者に通報する機能や、現在の自車両の走行状態・走行位置を通知する機能も有する。

（２）機器構成

実験車両の機器配置を図表(3.3.1) 2-1に示す。表示機器類を車室内に設置、路車間通信用アンテナをトランクリッドに設置し、その他の機器はトランク内に搭載した。

図表(3.3.1) 2-1　機器配置



①情報処理機器

情報処理機器の構成を図表(3.3.1) 2-2に示す。コントロールユニットにはＰＣ９８ノート型パソコンを使用した。コントロールユニットは以下の機能からを有する。

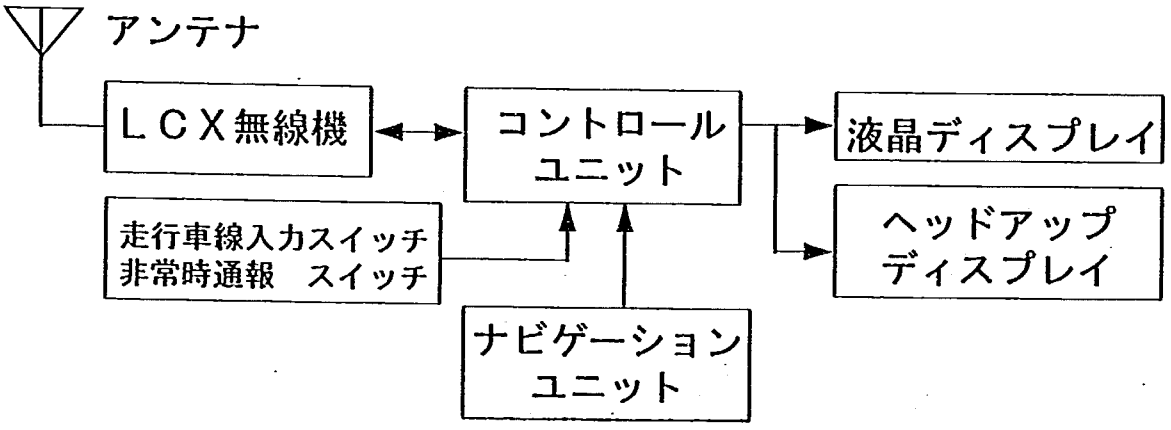
a)ＬＣＸ無線機との情報のやりとり（シリアル通信による）。

b)事象発生位置までの相対距離の算出。

c)表示画面の決定。

d)液晶ディスプレイ、ＨＵＤへの表示とナビゲーション画面との切り替え。

図表(3.3.1) 2-2　機器構成

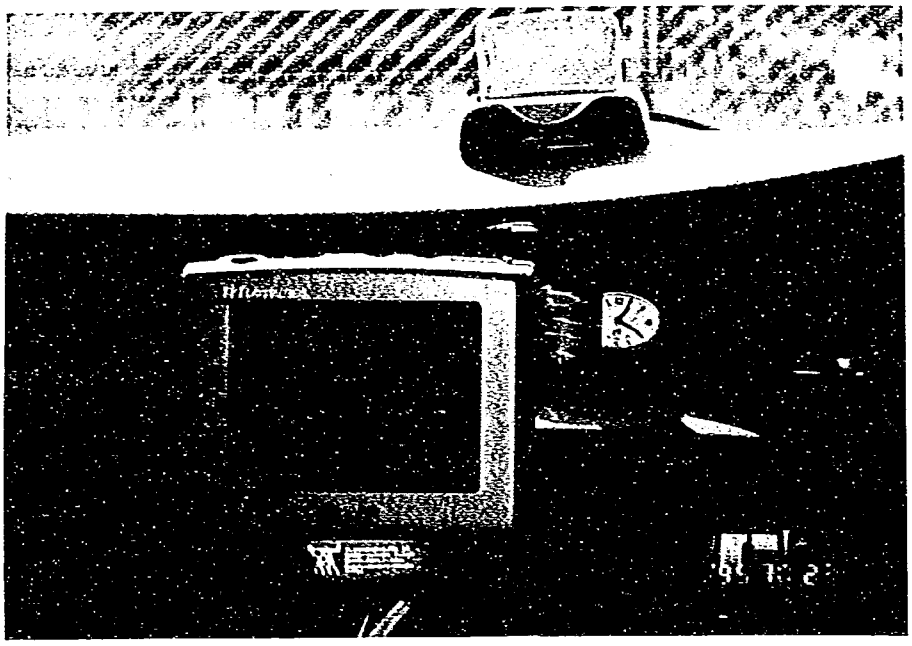


②情報提供機器

液晶ディスプレイ及び後付け型ヘッドアップディスプレイ装置をそれぞれセンターコンソール上部、運転席インパネ上部に設置した（図表(3.3.1) 2-3）。また後部座席搭乗者用として前部座席間に液晶ディスプレイを設けた。通常時には、ナビゲーションシステムの地図・案内情報が液晶ディスプレイ及びヘッドアップディスプレイに表示されているが、路車間通信により情報を受信したときには、ドライバへの警告画面に切り替わる。

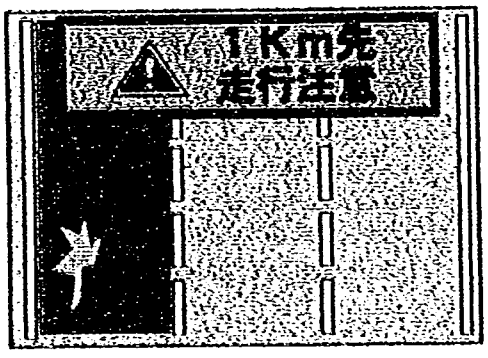
表示内容は、事象内容（事故、渋滞、落下物）、発生車線、事象発生位置（車両相対の前方位置）である。まず事象発生位置を液晶ディスプレイの上部及びヘッドアップディスプレイに表示して運転者の注意を喚起するとともに、事象内容及び事象内容については、絵記号を使用し認識時間の短縮を図った。距離表示は、２㎞手前から100m刻みで事象発生位置までの距離を表示する。液晶ディスプレイへの表示例を図表(3.3.1) 2-4に示す。

図表(3.3.1) 2-3　表示機器



図表(3.3.1) 2-4　表示例

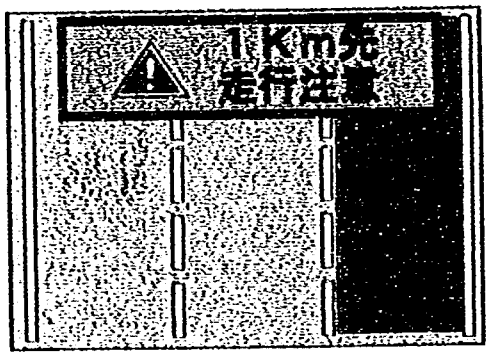
■事故



■渋滞



■落下物



3）実験車その２（トヨタ自動車株式会社）

（１）車両機能

ＬＣＸとの連続双方向通信を行うことにより、前方で発生した事故や渋滞などの情報をリアルタイムでドライバへ伝達する前方道路危険警告機能と、走行中に目撃した事故や自車の異常を任意の位置で道路管理者に通報する非常時通報機能を有する。実験車両の外観を図表(3.3.1) 3-1に示す。

（２）機器構成

①情報処理機器

各種の情報処理機器の搭載状況とシステム構成を図表(3.3.1) 3-3、図表(3.3.1) 3-4に示す。トランクリッドに搭載されたアンテナでＬＣＸからの電波を受信し、ＬＣＸ送受信機を通して信号処理装置に入力され、ここでデータ変換されて情報処理装置に出力される。また入力スイッチより非常通報信号が入力されたら、情報処理装置、信号処理装置を経由して、即座にＬＣＸに伝達される。

②情報提供機器

情報処理装置では、ＬＣＸから送られてくる区間データと車速センサにより常に現在走行地点を演算している。事象データが送られてきたら、現在地から事象発生地点までの相対距離を計算し、必要なデータを画面表示装置に送る。警告画面は画面表示装置で作成され、図表(3.3.1) 3-2に示すＬＣＤディスプレイに表示される。

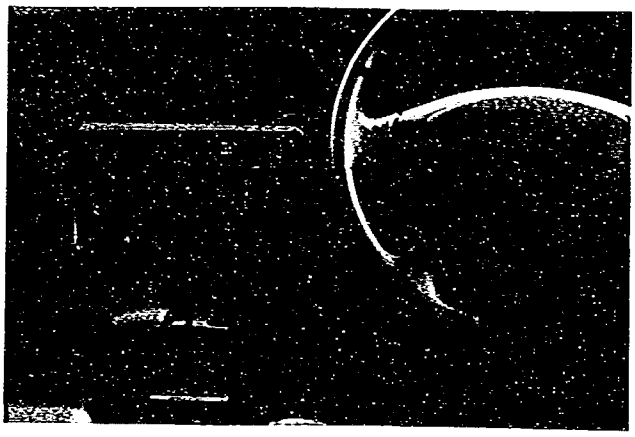
警告画面の構成は、発生事象の内容とその絵文字（アイコン）、発生場所の道路構造と事象発生レーン、自車両走行レーン、事象までの相対距離を表示する。背景色は相対距離に応じて変化させる。画面更新（情報表示開始、情報内容変更）時などに警告音を鳴らすことにより、ＬＣＤ画面に注目させ、ドライバの注意を喚起する。

この他に、緊急時に文字情報だけを表示する緊急メッセージ画面が用意されより詳細な内容をドライバに伝達する。

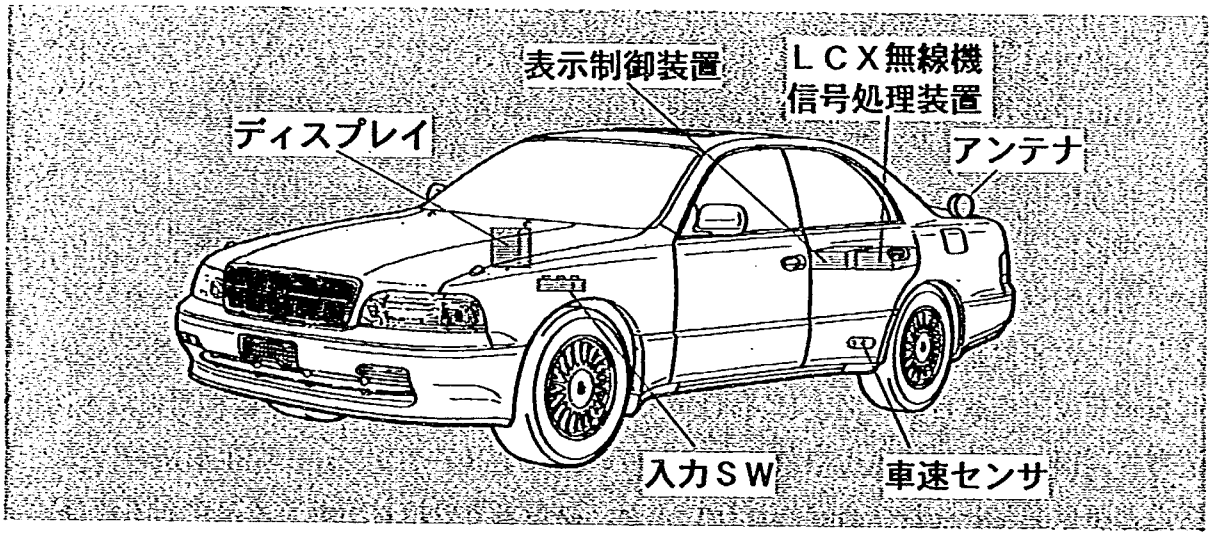
図表(3.3.1) 3-1　前方道路危険警告実験車



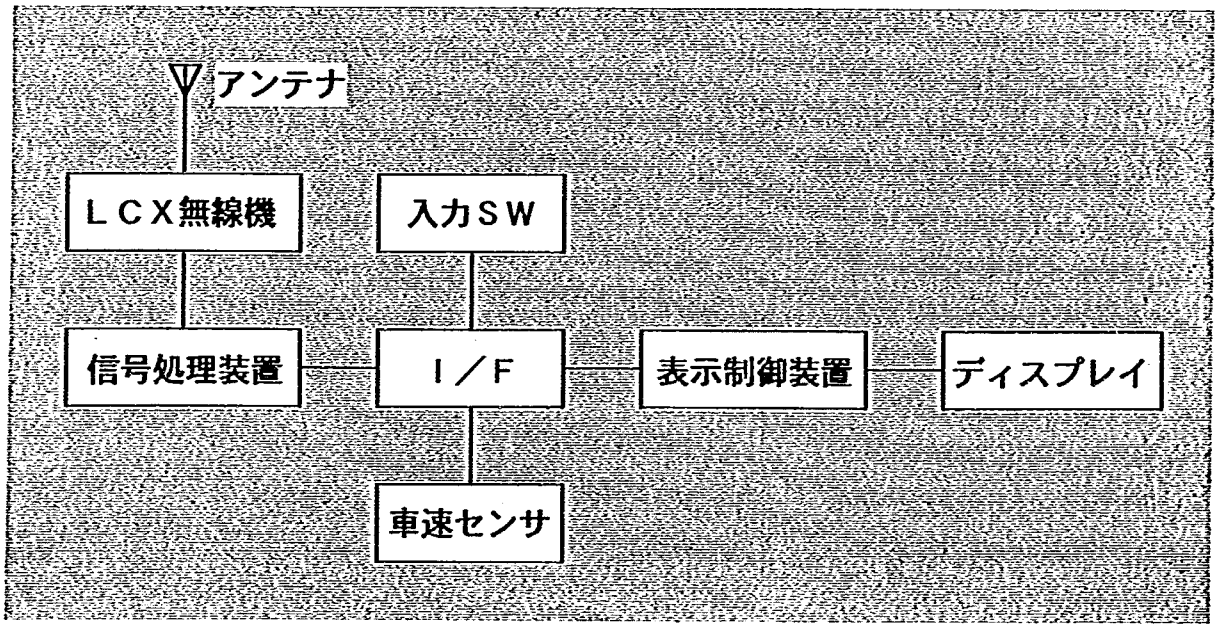
図表(3.3.1) 3-2　警告画面表示装置



図表(3.3.1) 3-3　機器搭載状況



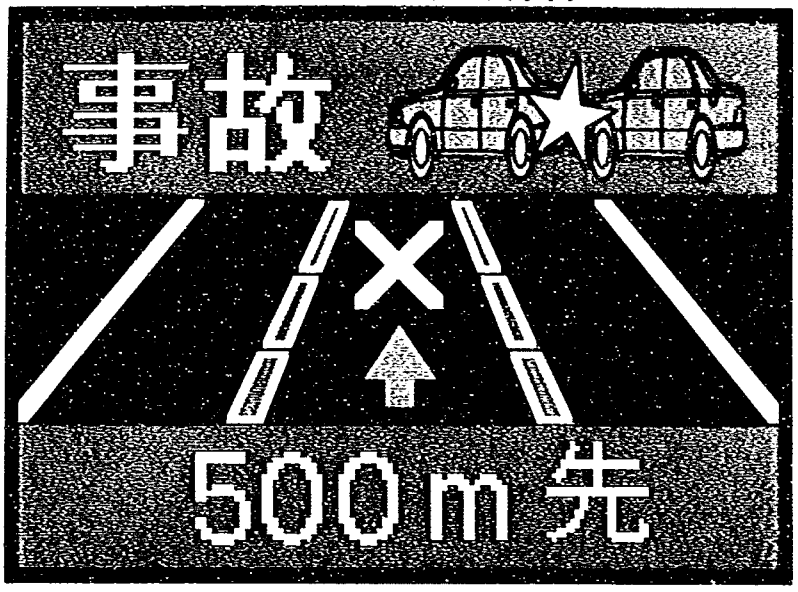
図表(3.3.1) 3-4　システム構成



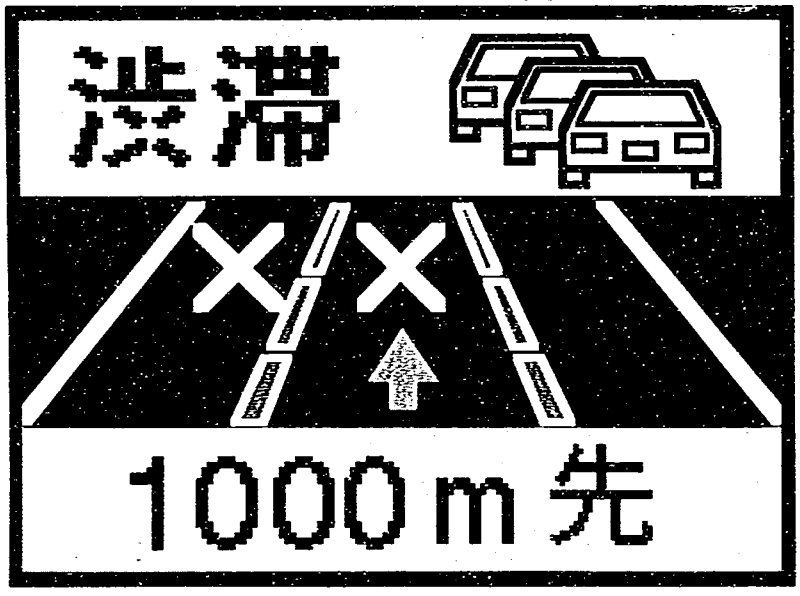
図表(3.3.1) 3-5　警告画面仕様

表示事象	事故、渋滞、落下物
表示距離	前方注意！　　0～　99m 20m毎　100～　499m 50m毎　500～　999m 100m毎　1000～4999m
背景色	赤　　0～　499m 黄　　500～　999m 緑　　1000～4999m
画面更新	0．5秒以上
警告音	表示開始時（事象発生時） 内容更新時（背景色変更等）

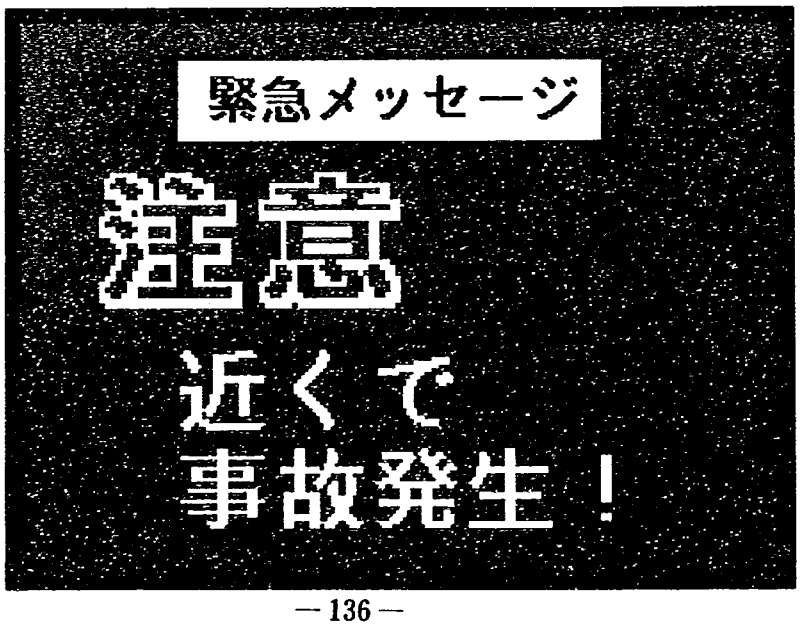
図表(3.3.1) 2-6　事故表示例



図表(3.3.1) 2-7　渋滞表示例



図表(3.3.1) 2-8　緊急メッセージ表示例



4）実験車その３（日産自動車株式会社）

（１）車両機能

本システムは、道路側に設置されたＬＣＸと車両との連続通信により、ドライバが発見できない遠方の事故や渋滞等の情報を早く知らせる前方道路危険警告機能と、分流や合流といった道路構造や道路環境の変化について知らせる道路情報機能を持っている。また、万一車両が故障した場合には、ドライバがＬＣＸを介して、道路管理者や他車両へ情報を伝える非常通報機能も持っている。

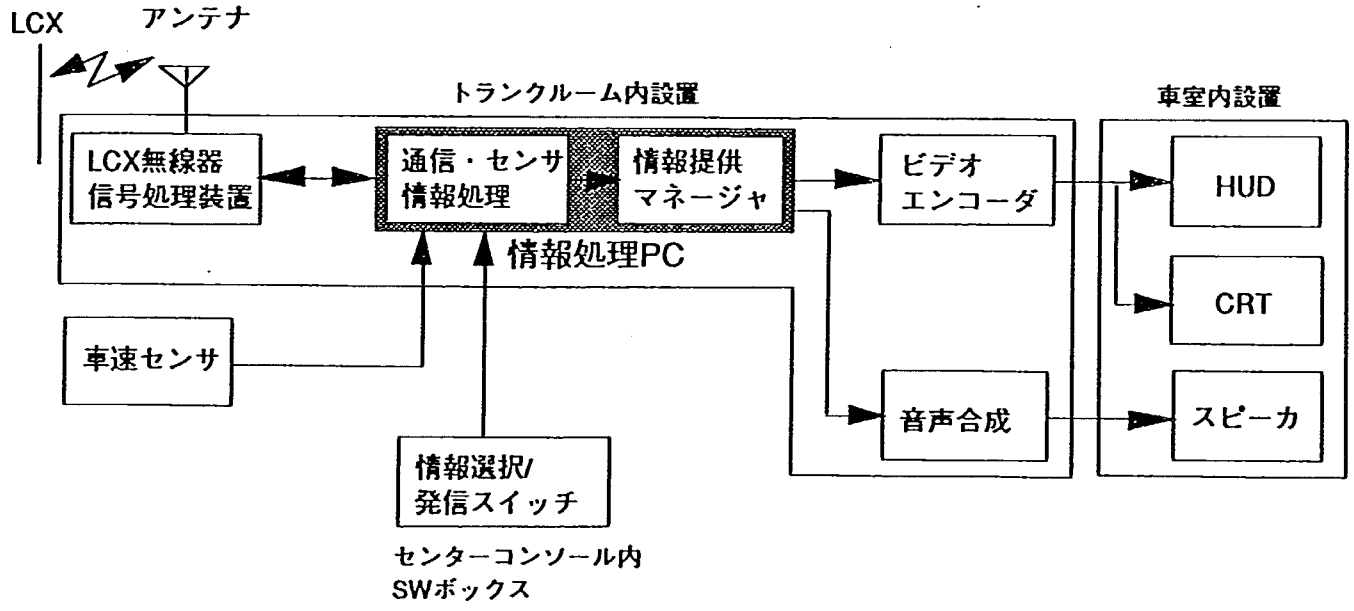
これら機能の作動状況は、緊急性の高い情報には視線移動が小さいＨＵＤ（ヘッドアップディスプレイ）、より詳細な情報はＣＲＴ表示、注意を喚起させる場合には音／音声を使用した３種類のＨＭＩ（ヒューマンマシンインターフェイス）により、ドライバと乗員に知らせる。各インターフェイスを通じて行われる情報提供は、情報の緊急度や量に応じて報知手段の優先順位を変えることにより、人間にとって最適な形で行うことができる。

（２）機器構成

①情報処理機器

実験車に車載した情報処理機器のブロック図を図表(3. 3. 1) 4-1に示す。この情報処理ＰＣは、車両の速度を計測する車速センサ、操作ＳＷ信号読み込み、ＨＵＤ／ＣＲＴの表示データを生成、音声情報を出力するＨＭＩ制御及び、ＬＣＸ通信のための情報を生成するＬＣＸ信号処理部を内部に持っている。

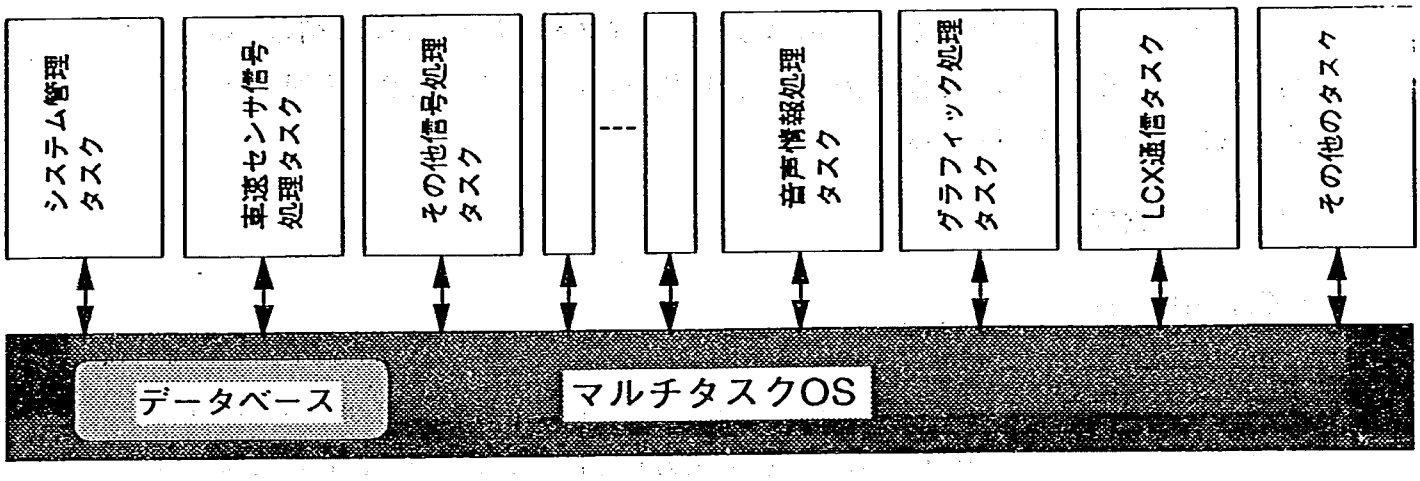
図表(3. 3. 1) 4-1　情報処理機器ブロック



〔ソフトウエア構成〕

本実験車のソフト構成は、図表(3.3.1) 4-2に示したようにＬＣＸ、車速センサ等の信号処理及び、グラフィック処理等の複数のタスクをマルチタスクＯＳ上で実行する。これらのタスクは、ハードウエアに直結した処理を行い、さらに、ＯＳが管理する共通のデータベースを各タスクがアクセスすることによって、タスク間通信を行っている。そのため、各タスクは他のタスクに影響を与えにくく、自由度の高いプログラミングが可能である。また、実行するタスクの変更、追加、削除が容易であり、ハードウエアに異常が生じた場合であっても対応するタスクのみを停止することができるなど、信頼性の高いシステムを構築することができる。

図表(3.3.1) 4-2　ソフトウェア構成



②情報提供機器

a)報知仕様

ｱ)ＬＣＸ情報種類

ＬＣＸに対し、車両側無線器／信号処理装置を介して送受される情報を図表(3.3.1) 4-3に示す。道路構造／上位装置指示緊急メッセージ／インフラ検知事象等の情報を、車載情報処理コンピュータ（またはドライバによる選択スイッチ）により選別し、ドライバへ伝達する。

図表(3.3.1) 4-3　ＬＣＸ情報

		短期サイクルデータ更新	長期サイクルデータ更新
サイクル周期		0.1sec	0.5～数sec
情報形態		連続変化情報中心	イベント情報中心
情報量		約30B	100B～数十KB
前方道路 危険警告システム	路 ← 車	車両ID、車両位置 自車両異常情報	車両ID、車両種類
	路 → 車	――――――	LCX位置、道路構造(分/合流等) 上位指示緊急ﾒｯｾｰｼﾞ ｲﾝﾌﾗ検知事故/渋滞情報 (内容、発生位置、発生時刻等)

ｲ)報知手段／コンセプト

ドライバに知らせる情報は、その情報内容によって報知インターフェイスデバイスを変えて報知する必要がある。図表(3.3.1) 4-4は、情報内容を情報／警報の提供タイミングと報知デバイスとの関係で分類した例である。

本システムでは、

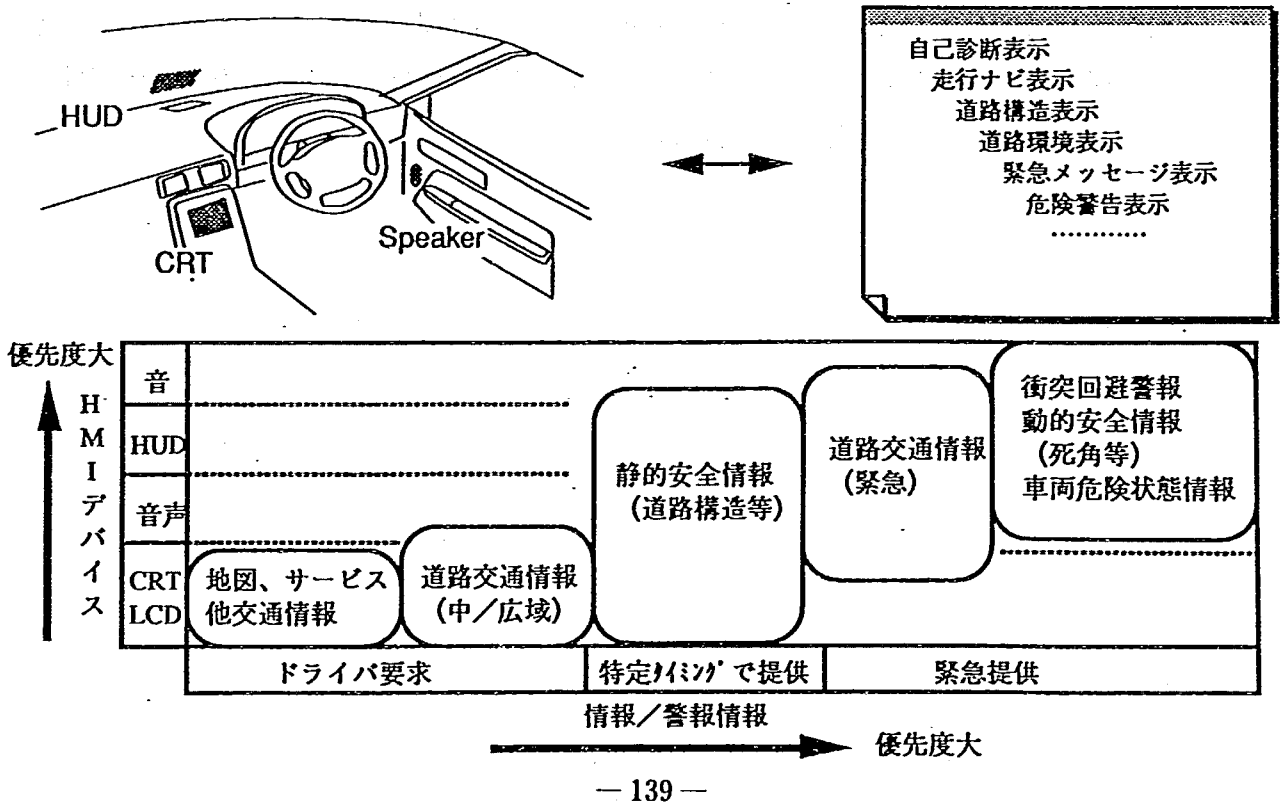
・緊急性の高い情報にはドライバの視線移動が少ないＨＵＤ

・より詳しい詳細情報を知りたい場合にはＣＲＴ表示

・ドライバに注意を喚起させる場合には音／音声

という様に、情報提供マネージャ（ｳ)参照）に従い、情報内容により報知デバイスを選択している。

図表(3.3.1) 4-4　情報緊急性と報知デバイス

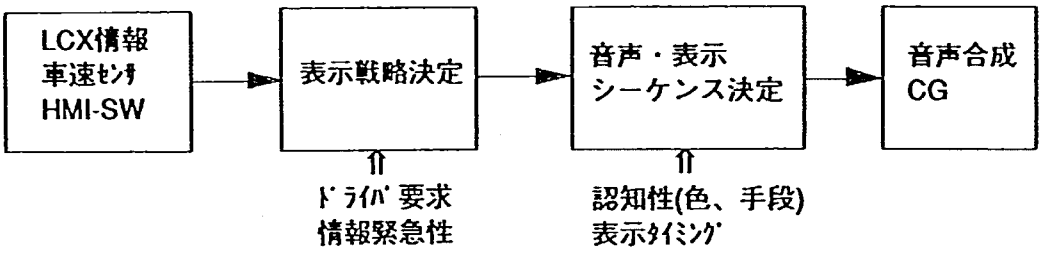


ＨＵＤやＣＲＴは、フルカラー、フルグラフィック表示が可能であり、特に、直感的にドライバへ情報を伝達する必要のあるＨＵＤでは、情報内容をアイコン化した表示が可能となる。また、各報知デバイスは、音／音声を含め、日本語／英語に切り換えることができる。

ｳ)情報提供マネージャ

情報提供マネージャ（図表(3.3.1) 4-5）は、ＬＣＸ／車両／ドライバ要求情報の内容により、報知デバイス（ＨＵＤ、ＣＲＴ、スピーカ）を選択する処理を行なう。表示戦略決定では、予め設定記憶されている表示項目を、ドライバの要求及びその情報の緊急性により呼び出し、音声・表示シーケンス決定では、ドライバに分かりやすい報知手段・表示色・報知タイミングを決定する。

図表(3.3.1) 4-5　情報提供マネージャ

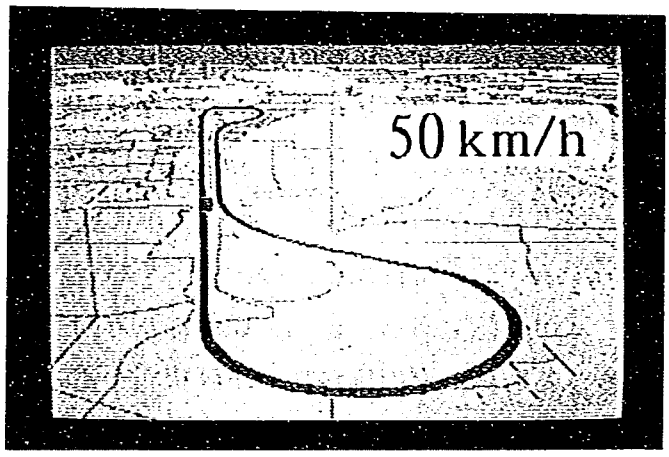


b)報知例

図表(3.3.1) 4-6に報知例（ＣＲＴ、ＨＵＤ及び、音声）を示す。本システムでは、ＬＣＸから送られる情報に緊急情報や事象情報が含まれていない場合には道路形状を俯瞰図で表示するバードビューナビゲーション表示を行っており、ＬＣＸ情報に緊急情報や事象情報が存在する場合には、情報提供マネージャが情報を選択し、図表(3.3.1) 4-6に示した表示を行う。

図表(3. 3. 1) 4-6　報知例

通常表示（バードビューナビ表示）

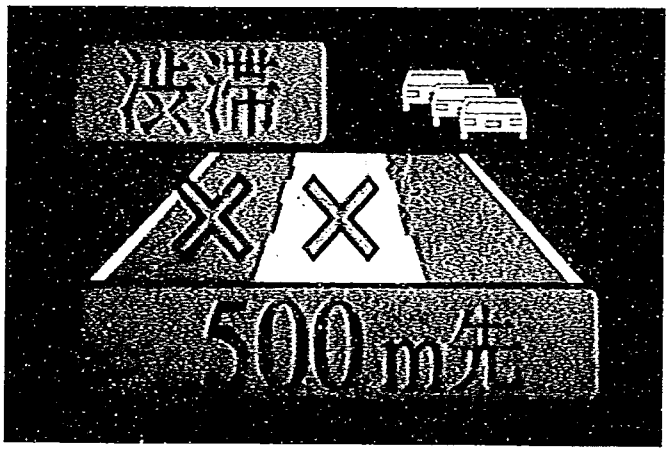


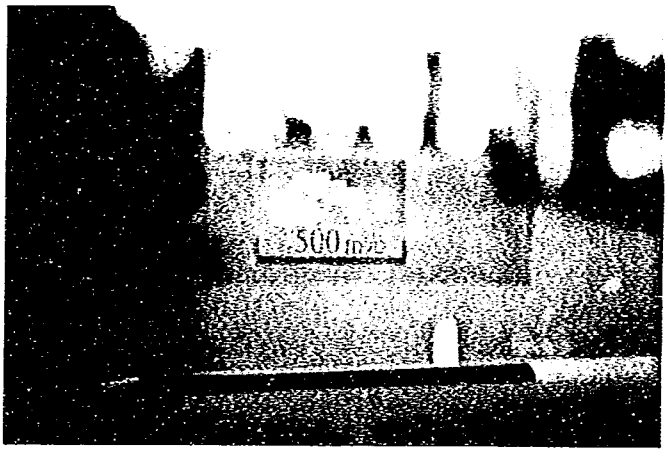
緊急情報



音声：“（ポン）。緊急メッセージです。”

事象情報





ＣＲＴ表示　　ＨＵＤ表示

音声：“（ポン）。この先、渋滞が発生しています。”

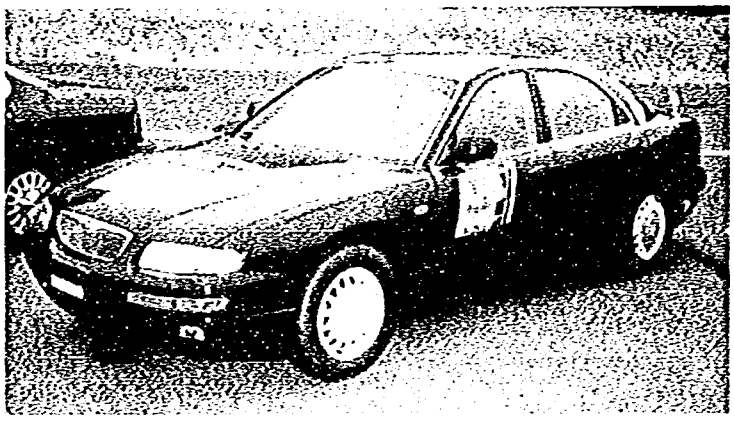
5）実験車その４（マツダ株式会社、古河電気工業株式会社）

（１）車両機能

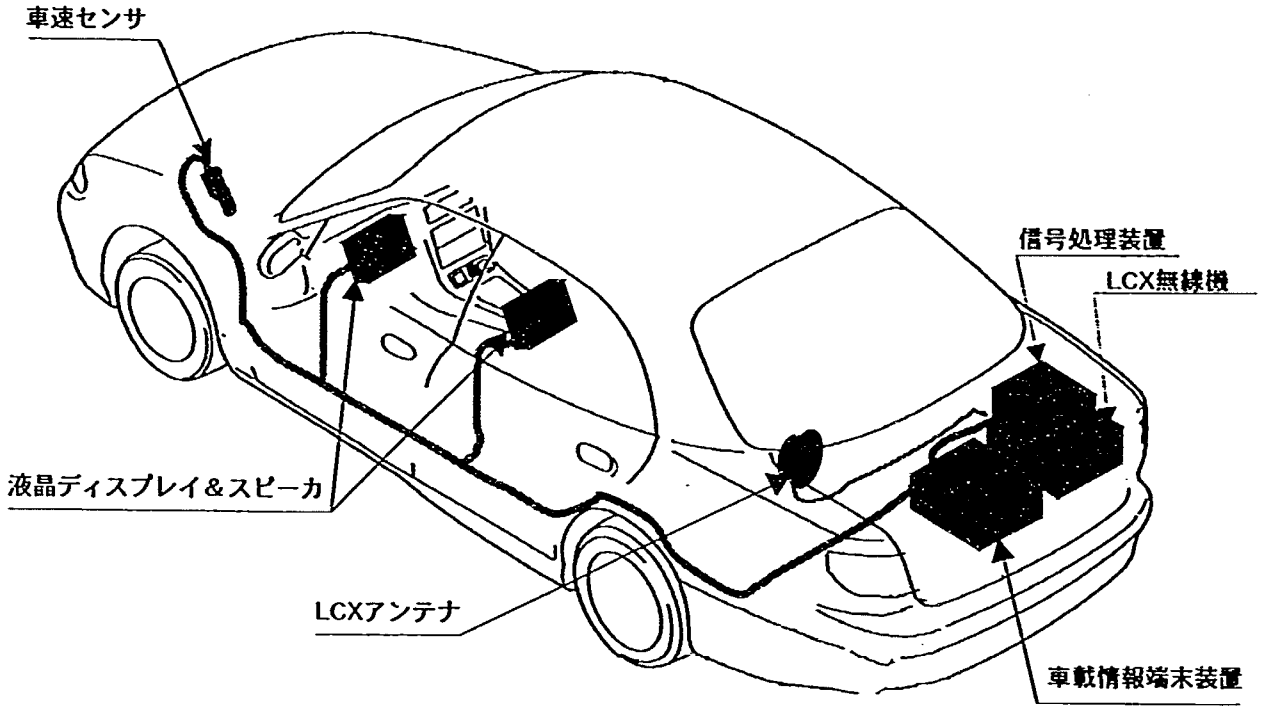
ＡＨＳ（自動運転道路システム）において情報提供警告レベルの機能は、路車間通信により前方で発生した事故や渋滞などの情報を瞬時にドライバに伝えることにより多重衝突事故などを防止することを狙ったシステムで、比較的早期に実用化されることが期待されている。このシステムでは、道路で発生した障害や事故などの各種の事象は道路側に設置されたセンサで自動検知され、道路に沿って連続的に設置されたＬＣＸ（漏洩同軸ケーブル）を通信媒体とした路車間通信により車両側に伝えられる。車両と路側システムとの通信が間断なく常時行えるため、ドライバの安全運転を支援する情報を瞬時に提供することが可能である。また、通信は双方向で行われ、路側システムから情報を受信するとともに、車両側からも車両状態や道路状況などの情報が路側システム側に送信される。

図表(3.3.1) 5-1は平成７年度に実施された実験のために試作した実験車両で、情報提供警告レベルの機能として前方道路危険警告機能及び非常時通報機能を備えた実験システムを開発した。また、図表(3.3.1) 5-2に実験車両に搭載された実験システムの機器構成を示す。以下ではこれら２つの機能の概要について述べる。

図表(3.3.1) 5-1　実験車両（マツダユーノス800）

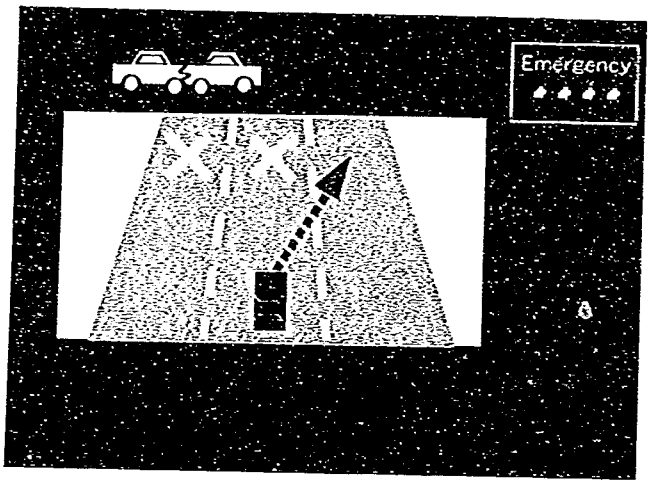


図表(3. 3. 1) 5-2　実験車の機器構成

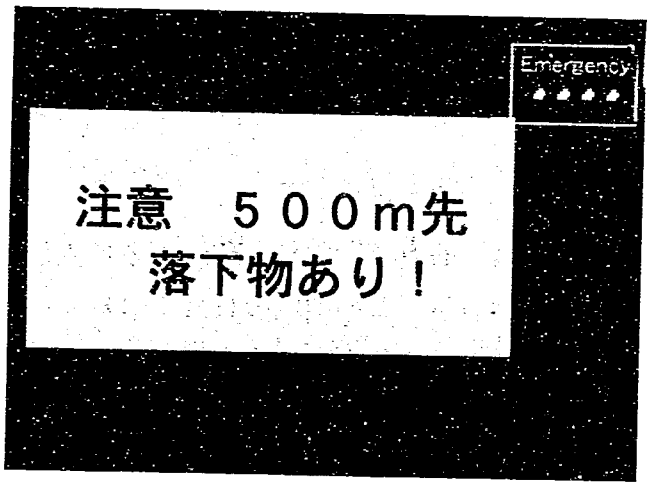


前方道路危険警告機能は、前方で発生した危険事象を受信し、ドライバに警告・アドバイスを与える機能である。この機能のＨＭＩ（ヒューマンマシンインターフェイス）は、グラフィック表示、警告音、音声によりドライバの危険認知が容易で適切な運転行動を取りやすいような情報形態で警告・アドバイスが提供されるよう設計を行った。図表(3. 3. 1) 5-3に前方道路危険警告機能の表示画面の基本構成を示す。この画面には、発生した事象の種類（画面上部）、事象が発生した車線（×印で表示）及び自車両の走行車線（車両アイコンで表示）、事象までの距離が表示される。事象の種類としては、事故、渋滞、落下物などの情報が提供される。事象発生時には、このようなグラフィック表示とともに、警告音と音声で事象発生を伝え、事象までの距離が少なくなり車線変更が必要な場合には、あらためてグラフィック表示（矢印で表示）と音声で車線変更をアドバイスする。警告音は事象までの距離が短くなり危険度合いが増すに連れ、警告音のピッチを上げ、ドライバに注意を促す。また、緊急メッセージが受信された場合には、図表(3. 3. 1) 5-4のようにポップアップ表示するとともに、音声で内容を伝えドライバに注意を促す。

図表(3. 3. 1) 5-3　前方道路危険警告機能の表示画面（事故表示）

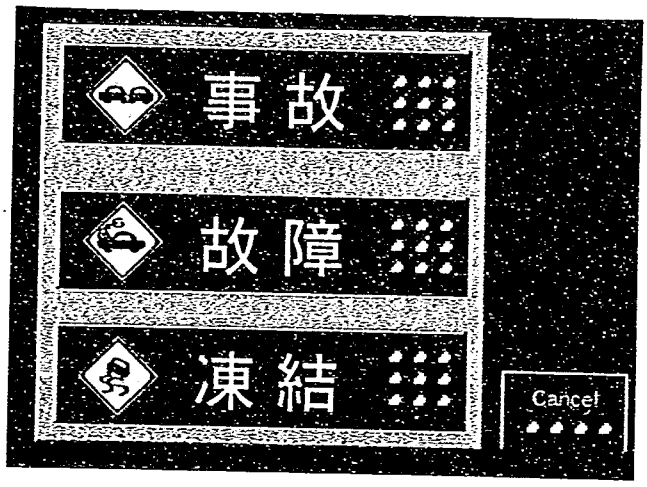


図表(3. 3. 1) 5-4　前方道路危険警告機能の表示画面（非常時通報メッセージ）



非常時通報機能は、自車両の故障や走行中に目撃した事故などの情報を、事象発生位置情報とともにＬＣＸを通じて道路管理者側に通報する機能である。今回試作した実験システムでは、非常時通報機能の操作はドライバのマニュアル操作とした。この操作は、非常時通報ボタン（図表(3. 3. 1) 5-3のEmergencyボタン）をタッチパネルでダブルクリックすることにより行う。図表(3. 3. 1) 5-5に示すように、非常時通報ボタンが操作されると、通報する情報の種類の入力を促すメニューが表示され、さらにダブルクリックすることにより情報が送信される。

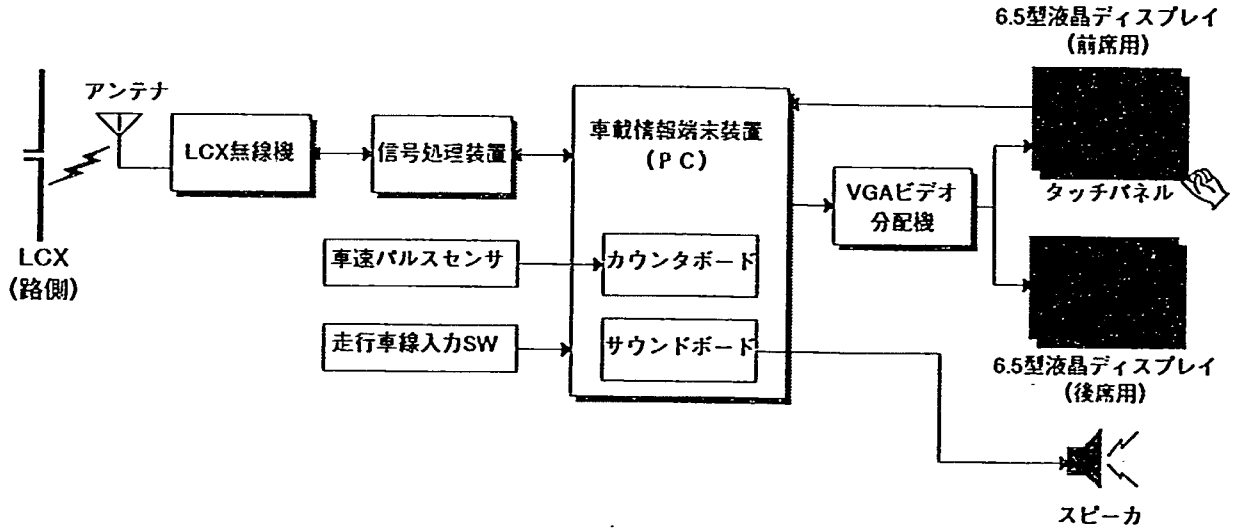
図表(3. 3. 1) 5-5　非常時通報機能の表示画面



（2）機器構成

図表(3. 3. 1) 5-6に実験システムのハードウェア構成を示す。車載情報端末装置としてはパーソナルコンピュータを用いており、ＬＣＸ無線機で受信された信号は信号処理装置でデコードされ、シリアル通信により車載情報端末装置に送られる。

図表(3. 3. 1) 5-6　実験システムのハードウェア構成

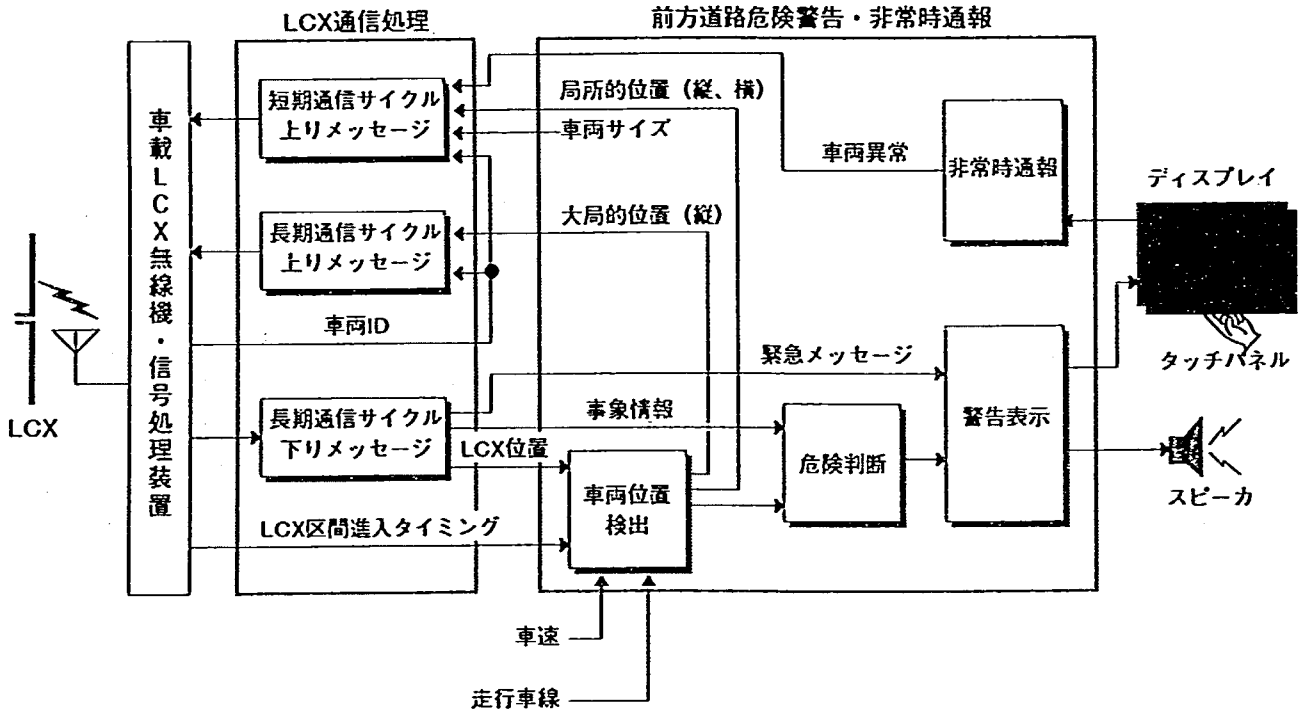


①情報処理機器

図表(3.3.1) 5-7に車載情報端末装置におけるソフトウェアのブロック図を示す。

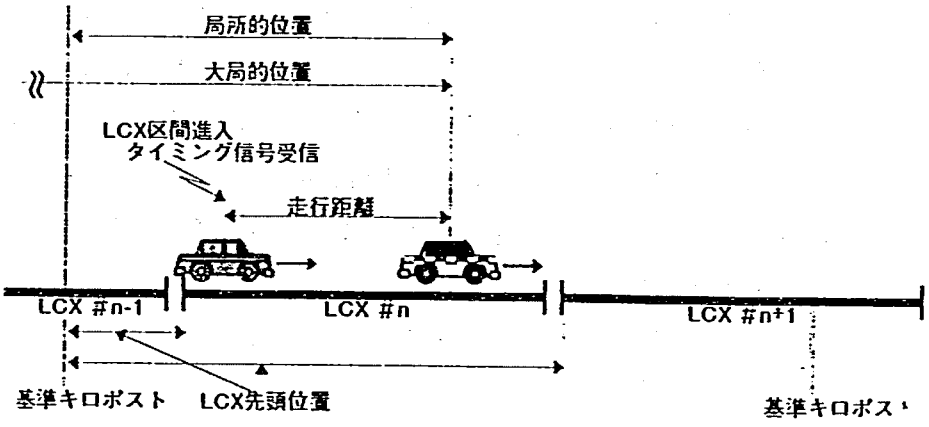
ＬＣＸ通信処理部では車載ＬＣＸ無線機・信号処理装置とのデータ送受信処理を実行する。ＬＣＸ側と送受信されるデータは、データの伝送方向及び通信サイクルに応じて、長期通信サイクル下りメッセージ、長期通信サイクル上りメッセージ、短期通信サイクル上りメッセージに分けられる（将来的には、短期通信サイクル下りメッセージも追加される予定）。長期通信サイクル下りメッセージには、自車両が通信中のＬＣＸの位置に関するデータ、事象情報、緊急メッセージなどの情報があり、数秒間に１メッセージの割合でＬＣＸ側から送られてくる。長期通信サイクル上りメッセージでは、自車両の大局的位置情報と車両ＩＤを毎秒１度の割合でＬＣＸ側に送信する。また、短期通信サイクル上りメッセージでは、自車両の局所的位置情報、車両サイズ、車両異常、及び車両ＩＤなどの情報を0.1秒に一度のサイクルでＬＣＸ側に送信する。

図表(3.3.1) 5-7　実験システムのソフトウェア構成



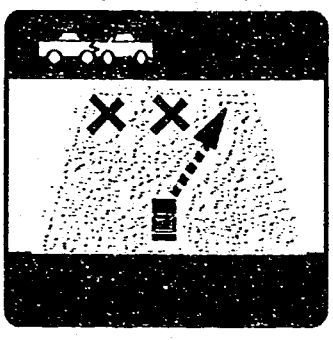
車両位置検出は、前方で発生した事象までの正確な距離を特定したり、ＬＣＸ側に自車両の位置を伝えたりするために重要な処理である。車両の縦方向（進行方向）位置の検出処理は、車速、長期通信サイクル下りメッセージとして送信されてくるＬＣＸ位置情報、及びＬＣＸ区間進入時に車載ＬＣＸ無線機・信号処理装置から送られてくるタイミング信号を利用して行う。図表(3.3.1) 5-8に示すように、車両が新たなＬＣＸ区間に進入した時点からの走行距離を車速データよりカウントし、この値に当該ＬＣＸの先頭位置データを加えた値を車両の縦方向位置としている。なお、ＬＣＸ接続部における通信不能領域の存在や通信遅れなどの原因で、ＬＣＸ区間進入タイミング信号は実際のＬＣＸ区間進入より若干遅れて受信されるため、現行では車速に応じた補正項を加えて位置の算出を行っている。また、車両の横方向位置の検出に関しては技術が確立されていないため、現行では走行車線入力スイッチによるマニュアル入力としている。将来的には、高精度なＤＧＰＳやＬＣＸなどによる横方向位置検出技術の開発が期待される。

図表(3.3.1) 5-8　車両位置の検出



発生した事象に対する危険判断は、事象までの距離を３段階に分け、その距離と事象の程度（例えば、全ての車線が塞がれているかどうか）から危険度合いを判断し、警告タイミングや提示する情報形態を制御している。危険度合いに応じた警告表示の例を図表(3.3.1) 5-9に示す。

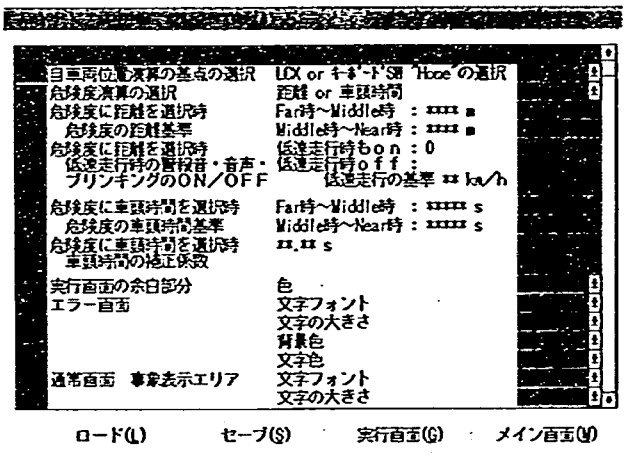
図表(3.3.1) 5-9　警告表示

危険度	小	中	大
表示			
音声	『ポーン、2km先事故です。注意して下さい』	『ポーン、右車線に移動して下さい』	『ポーン、右車線に移動して下さい』
警報音		『ピッ、ピッ、ピッ…』	『ピ、ピ、ピ…』

また、非常時通報処理は、ドライバによって選択された通報内容を車両異常情報として短期通信上りサイクルメッセージにのせ送信している。

以上のような情報提供レベルの基本機能の他に、実験システムでは、ドライバにとって最適なＨＭＩを容易に設計・評価できるよう、警告音の種類、警告タイミング、表示色などの多種多様な表示・警告パラメータをメニューベースで簡単に設定できるユーザインターフェイスを備えている（図表(3.3.1) 5-10参照）。さらに、前方道路危険警告機能及び非常時通報機能自体のＨＭＩもマイクロソフト社のVisualBasicを用いてプログラミングすることにより、表示デザインの仕様変更が容易に行えるようにするなど、ラピッドプロトタイピングを可能とした。

図表(3.3.1) 5-10　ＨＭＩパラメータ設定メニュー画面



②情報提供機器

開発した実験システムでは、情報表示装置として、カラー液晶ディスプレイ採用した。その仕様を図表(3. 3. 1) 5-11に示す。

図表(3. 3. 1) 5-11　表示ディスプレイの仕様

LCDパネル	6.5型TFTカラー液晶
解像度	640×480
ビデオ入力信号	VGA
その他	光式タッチパネル付き

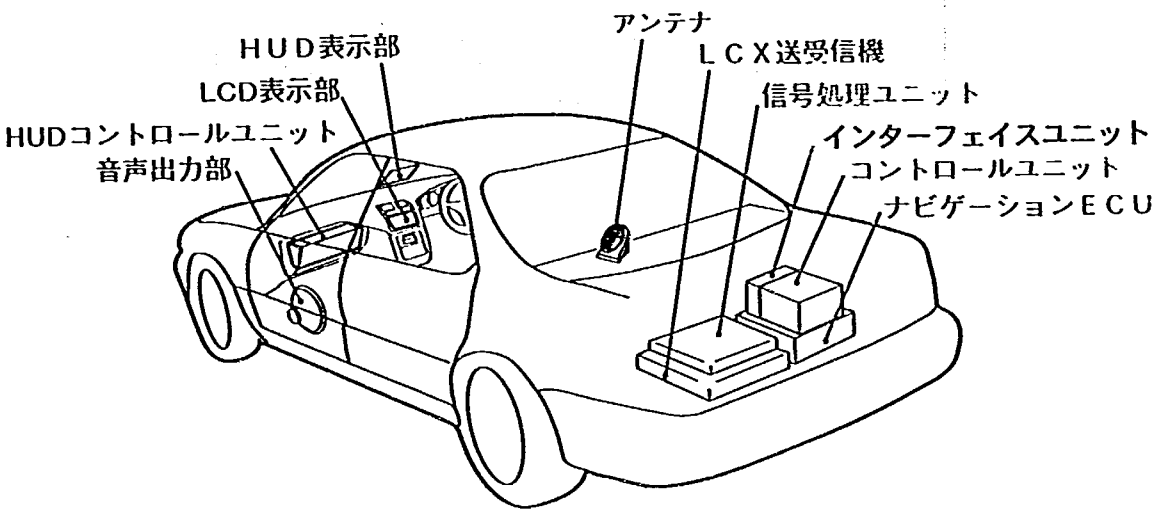
6）実験車その５（本田技研工業株式会社）

（１）車両機能

道路走行中に前方で発生した事故やその他の危険事象、気象などの道路状況を即時にドライバに提供することによって安全運転支援を行うことを目的とする。

車両機能としては、ＨＵＤ（ヘッドアップディスプレイ）により道路前方の事象情報とその発生位置までの距離を表示し、同時に音声による情報伝達も行う。各システム配置図を図表(3.3.1) 6-1に示す。

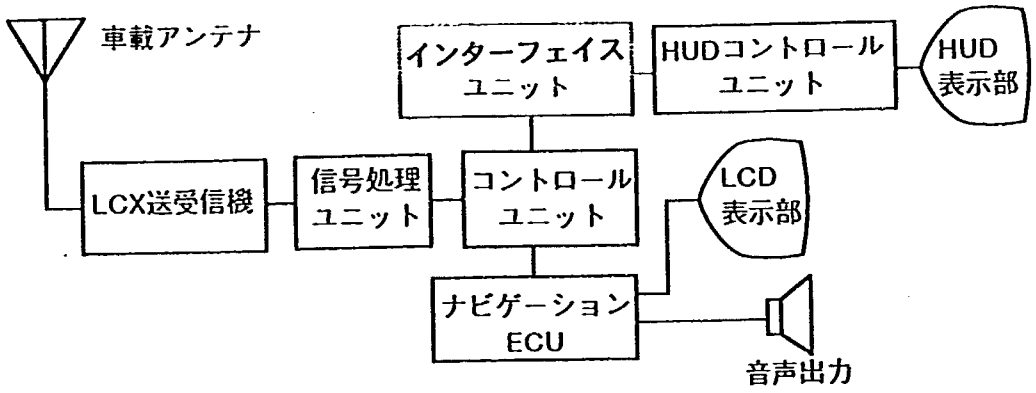
図表(3.3.1) 6-1　システム配置図



（２）機器構成

システムの構成は、ＬＣＸ送受信機、信号処理ユニット、コントロールユニット、ナビゲーションＥＣＵ、ＨＵＤ、ＬＣＤ各表示部、音声出力部で構成した。システムブロック図を図表(3.3.1) 6-2に示す。

図表(3.3.1) 6-2　システム構成図



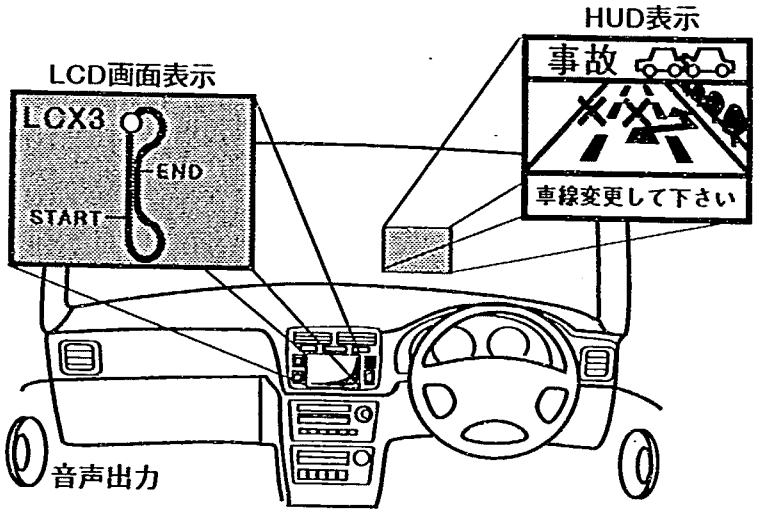
①情報処理機器

ＬＣＸと車内のリアトレイに設置されたアンテナ間で、双方向の通信を行いＬＣＸからは、前方道路の事象やその位置情報が送られ信号処理、コントロールユニットを通して事象を表示する。また同時に送られてくる現在走行中のＬＣＸの位置番号と車速パルスから自車位置を求め、その値と事象位置までの差を算出し、距離を表示する。自車からＬＣＸに対しては、車両ＩＤ番号、自車位置、緊急情報等を送信する。

②情報提供機器

情報表示はドライバの視線移動が少なく確認が容易であるＨＵＤとＬＣＤ画面を用い、同時に音声によって情報伝達を行う。ＨＵＤ表示は画面を分割し事象と発生車線情報、事象までの距離、運転指示等を簡潔に表示することによって瞬時に理解ができるようにした。ＬＣＤ画面には自車位置及び現在走行中のＬＣＸ番号を表示し、音声はＨＵＤで表示される情報内容をチャイムと同時にアナウンスする。これらの表示器と表示例を図表(3. 3. 1) 6-3に示す。

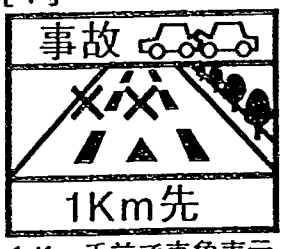
図表(3. 3. 1) 6-3　各表示器と表示例



今回の土木研究所のテストコースで行ったデモ走行で、ＬＣＸより事故事象の情報が送られてきて、事故現場を通過するまでの一連のＨＵＤ表示及び音声内容を図表(3.3.1) 6-4に示す。

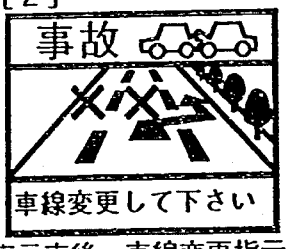
図表(3.3.1) 6-4　事象位置までのＨＵＤ表示と音声案内

[1]



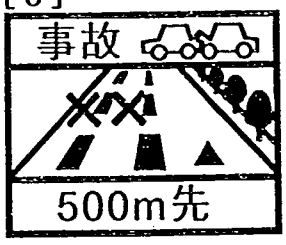
１Ｋｍ手前で事象表示
音声：１km先、事故発生

[2]



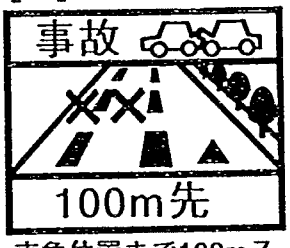
表示直後、車線変更指示
車線を変更する
音声：車線を変更してください

[3]



事象位置までの距離表示
音声：500m先、事故発生

[4]



事象位置まで100mステップ距離表示
音声：まもなく事故現場通過

7）実験車その６（三菱自動車工業株式会社）

（１）車両機能

本システムは、ＬＣＸ通信によって道路側から提供された前方道路情報をインストゥルメンタルパネル上に表示、また、音声により案内、警告し、ドライバの安全運転を補助する機能を持つ。また、車両側で検出した道路状態や、事故情報、車両故障などのリアルタイムデータをＬＣＸ通信により道路側へ伝送する機能を持つ。

図表(3. 3. 1) 7-1　前方道路危険警告実験車両外観



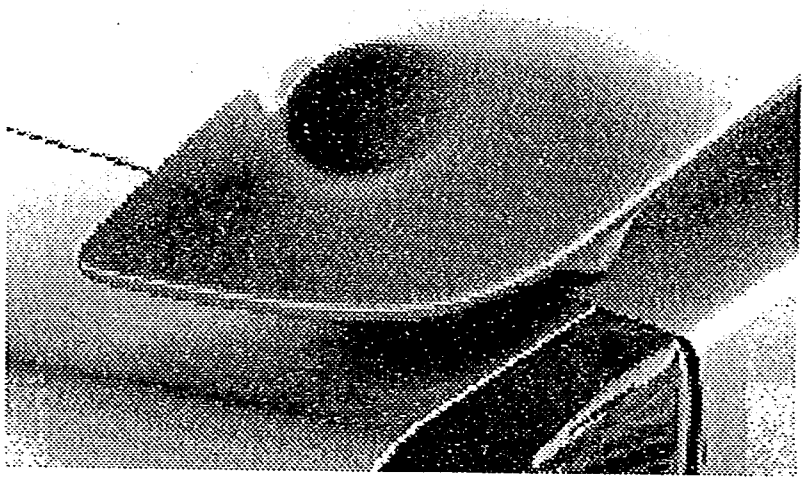
（２）機器構成

①情報処理機器

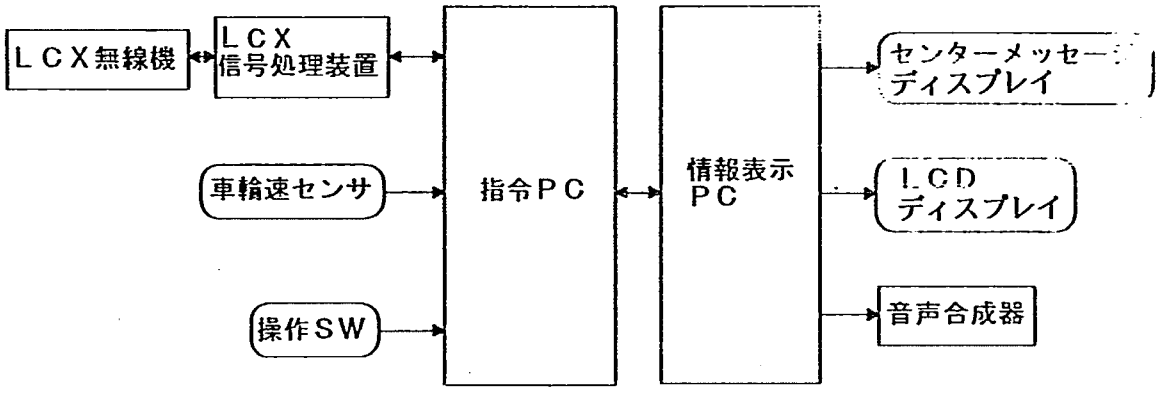
路車間通信機器は前記のＬＣＸ装置を用い、車載の情報処理機器とシリアル通信を行って、情報のやりとりを行う。図表(3. 3. 1) 7-2にＬＣＸアンテナの車両搭載状況を示す。

車載の情報処理機器のシステム構成を図表(3. 3. 1) 7-3に示す。様々な情報を判断して情報提供指令をだす指令コンピュータとＬＣＤ画面に画像情報表示するための情報表示コンピュータからなる。

図表(3.3.1) 7-2　ＬＣＸアンテナ搭載状況（リアスポイラー内）



図表(3.3.1) 7-3　情報処理機器システム構成

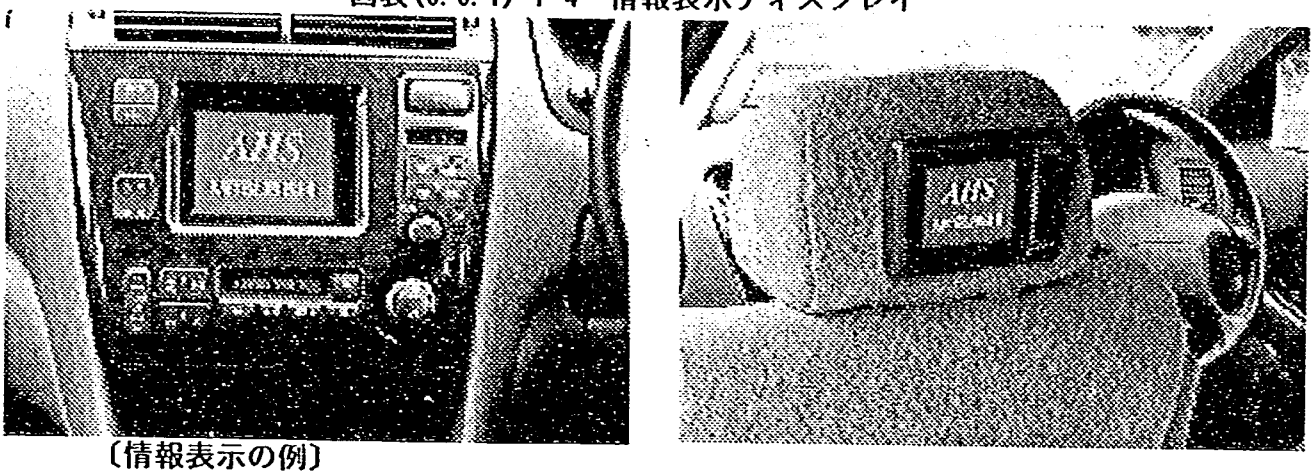


②情報提供機器

インストゥルメンタルパネル中央の６インチＬＣＤと、後席搭乗者にわかりやすいように、運転席、助手席ヘッドレスト後面に５インチＬＣＤを装着し、情報提供を行った。また、インストゥルメンタルパネル上部センターメッセージディスプレイにも、現在車速、車間距離、ＬＣＸ区間を表示した。

これら画像による情報提供以外に、発進時、次のＬＣＸ区間進入時、自動停止時、緊急停止時に音声で案内を行った。

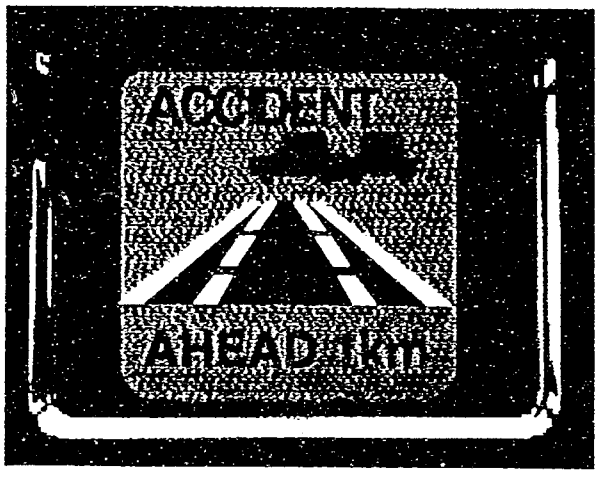
図表(3. 3. 1) 7-4　情報表示ディスプレイ

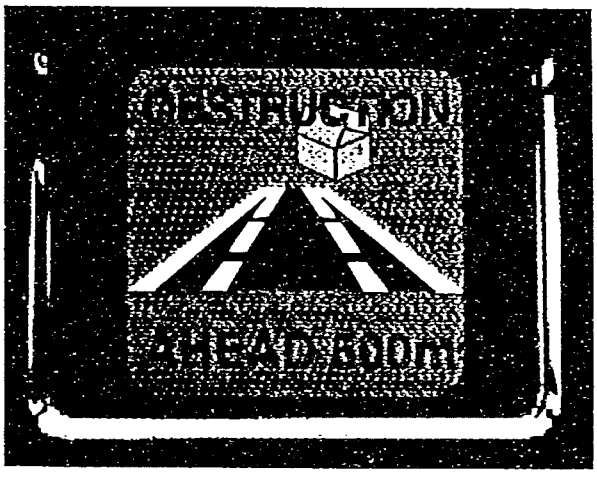


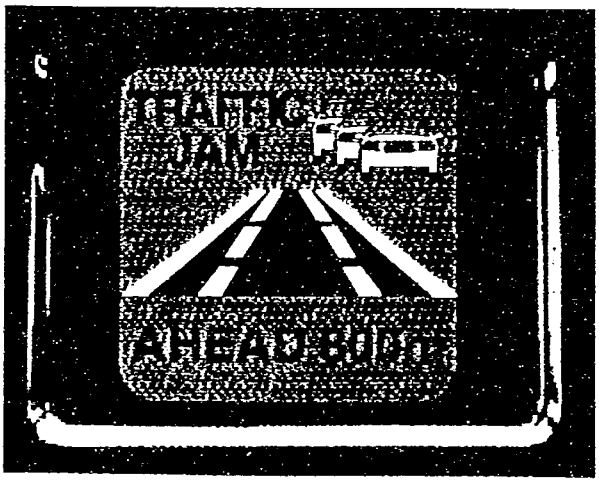
〔情報表示の例〕

図表(3. 3. 1) 7-5に示す様な画像情報表示を行った。例は英語版であるが、同様な内容で日本語の画面も用意し、適宜切り替えて使用した。

図表(3. 3. 1) 7-5　情報提供画面表示の例







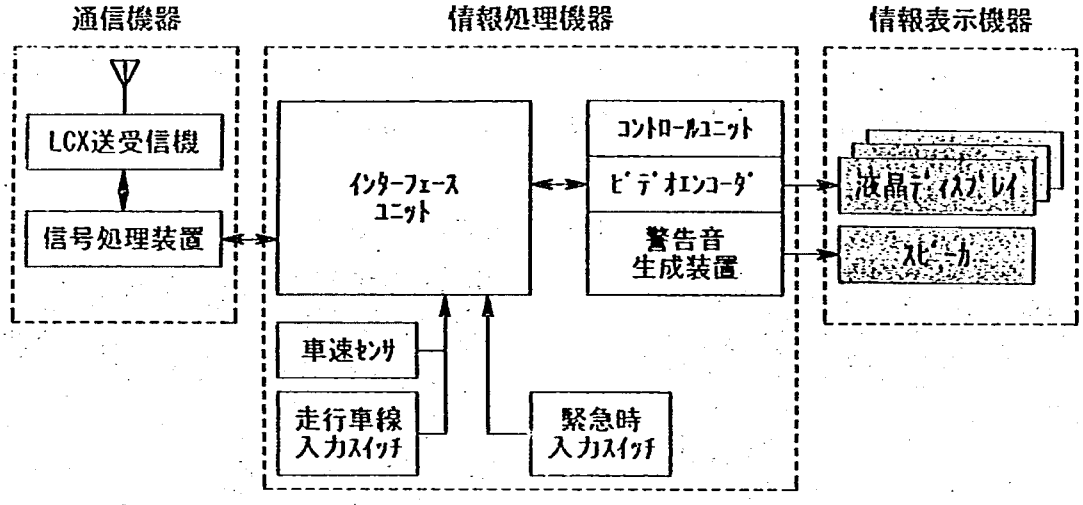


8）実験車その７（三菱電機株式会社）

（１）機器構成

車両側の機器の構成はＬＣＸによる双方向通信を行うＬＣＸ送受信機とその信号処理装置からなる通信機器、センサからの信号やドライバが発する緊急信号などをエンコードしたり、通信機器で受けた信号をデコードして表示するための情報処理機器、情報処理した内容をドライバに提示する情報表示機器よりなっている。

図表(3. 3. 1) 8-1　システム構成図



㋑情報処理機器

インターフェイスユニットに通信データ変換機能、移動距離演算機能等の処理機能を持たせることにより、コントロールユニットの処理負荷を軽減し表示機能を向上させている。

機器のユニット構成とその機能は以下の通り

＊車速センサ：自車速をセンシングして出力。

＊走行車線入力スイッチ：ドライバが現状走行車線を入力。

＊緊急時入力スイッチ：事故等の自車異常時にドライバが入力。

＊インターフェイスユニット（ＩＦ／Ｕ）：

ＬＣＸ信号処理装置（ＬＣＸ／Ｕ）、コントロールユニット（Ｃ／Ｕ）間のＲＳ２３２Ｃシリアル通信データ変換をサポートし、Ｃ／Ｕからの指示でＬＣＸ／Ｕとの通信を行うとともに、Ｃ／Ｕに必要なデータを送信。

・ＲＳ２３２Ｃ仕様

図表(3.3.1) 8-2　ＲＣ２３２Ｃ仕様

	方式	ﾎﾞｰﾚｰﾄ	ｷｬﾗｸﾀ長	誤り検出方式
L/U－IF/U間	調歩同期式	9600bps	８ﾋﾞｯﾄ	ﾊﾟﾘﾃｨ有り
IF/U－C/U間	調歩同期式	9600bps	８ﾋﾞｯﾄ	ﾊﾟﾘﾃｨ無し

・短期上りデータを0.1秒毎にＬＣＸ／Ｕに送信。

・ヘルスチェック、長期上りデータを保持し、Ｃ／Ｕの指令でＬＣＸ／Ｕに送信。

・長期下りデータを受信、データを整理し、Ｃ／Ｕの指令でＣ／Ｕに送信。

・各スイッチ入力を加工してＣ／Ｕに送信。

＊コントロールユニット（Ｃ／Ｕ）：

ＩＦ／Ｕに指令して、ＩＦ／Ｕからの情報を読み出し、上りデータを作成しＬＣＸ／Ｕへの送信指令をするとともに、表示データ作成し、表示機器を制御する。

・ＬＣＸ送受信機のヘルスチェック機能。

・短期上りデータを作成し、変更時にＩＦ／Ｕに送信。

・長期上りデータを作成し、車両故障、ドライバの急病等の自車異常時にドライバのスイッチ入力情報をＩＦ／Ｕ介しＬＣＸ／Ｕに送信。

・長期下りデータをＩＦ／Ｕより読み出し、受信データに応じ表示画面を作成し　アナログＲＧＢでビデオエンコーダに出力するとともに、警告音を決定して　警告音生成装置に出力。

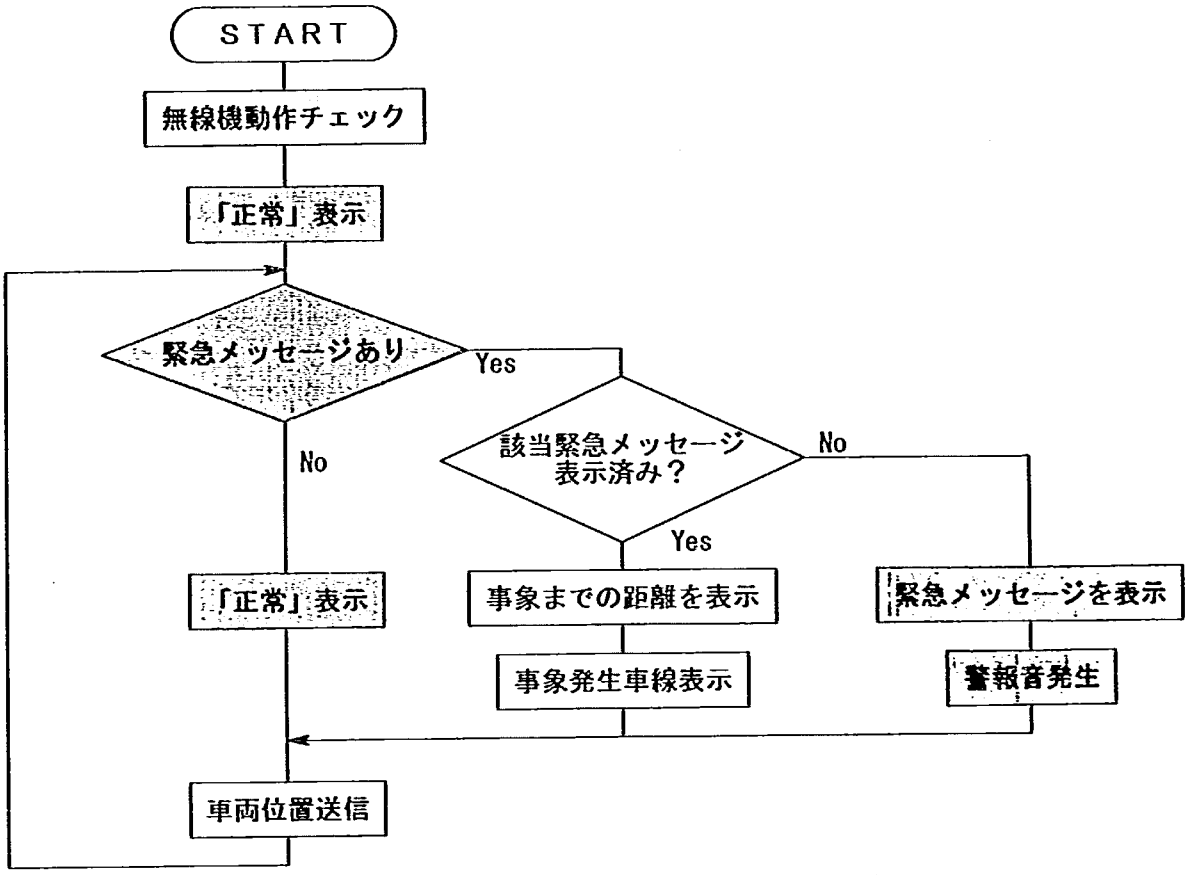
・長期下りデータ、車両移動距離より自車位置を演算。

・長期下りデータ、自車位置より事象発生位置までの距離を演算。

＊ビデオエンコーダ：アナログＲＧＢの画面表示情報をＮＴＳＣ信号に変換。

＊警告音生成装置：警告音情報を音声信号に変換。

図表(3.3.1) 8-3　C／Uの処理概略フロー



＊C／Uにおける車両位置の演算

自車位置＝（キロポスト＋１）km＋（走行距離［下３桁］）

－－－（走行距離［下３桁］）≦（ＬＣＸ位置）

＝（キロポスト）km＋（走行距離［下３桁］）

－－－（走行距離［下３桁］）＞（ＬＣＸ位置）

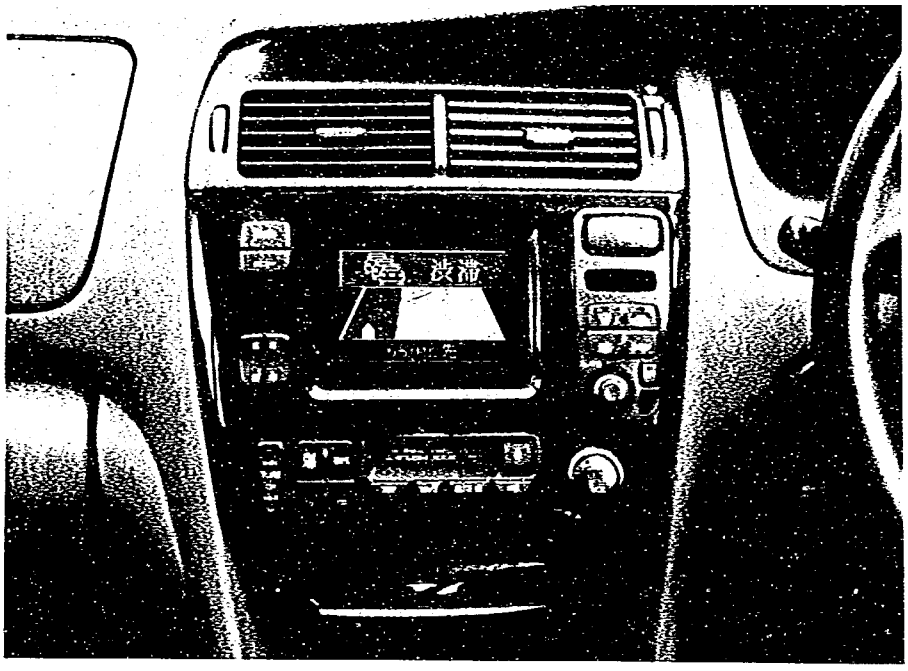
＊C／Uにおける事象発生位置までの距離の演算

事象までの距離＝（キロポスト）km＋（発生位置）－（自車位置）

②情報表示機器

情報の表示装置として、前席用にコンソールパネル中央にカラー液晶ディスプレイ（ＬＣＤ）を、後席用に前席ヘッドレスト後部に２台のＬＣＤ（デモ用）を設置。

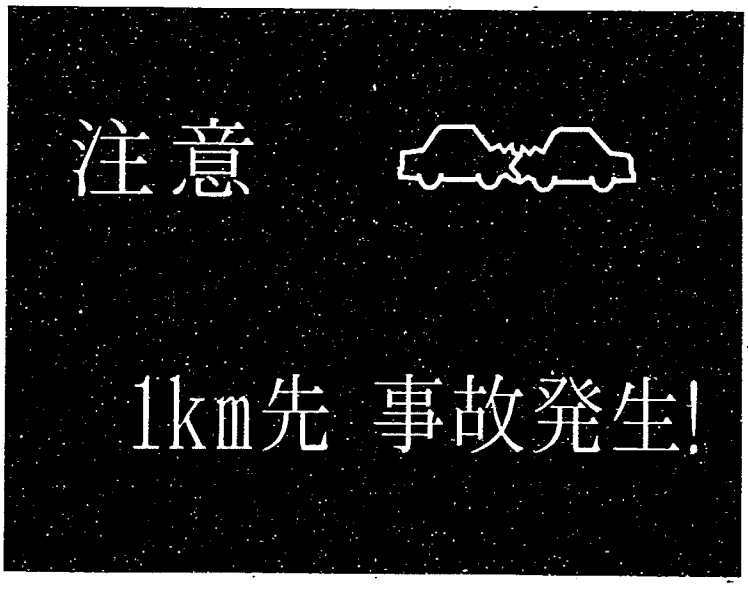
警報音の発生は車載オーディオ用スピーカを使用。



＊緊急メッセージ表示、警報

長期下りデータの緊急メッセージコードが来たら、その内容を単純化された絵と短い文字列で表示すると共に、警報音を発生。

図表(3.3.1) 8-5　１km先事故発生表示



＊前方危険情報表示

緊急メッセージ表示後にさらに詳細な「前方危険情報」画面を表示。

・表示上部：渋滞、事故、落下物等の前方危険事象を絵と文字で表示。

表示の背景色を危険事象までの距離により可変。

距離 1020m ～ 2000m ：青色
距離 420m ～ 1000m ：黄色
距離 220m ～ 400m ：赤色
距離 200m以下 ：赤色点滅

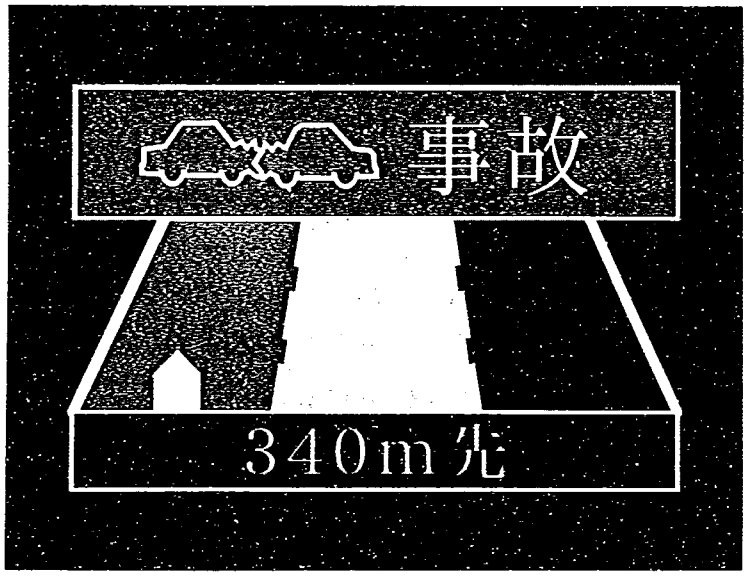
・表示中央部

異常車線：異常発生車線を赤色、隣接車線を黄色で表示。

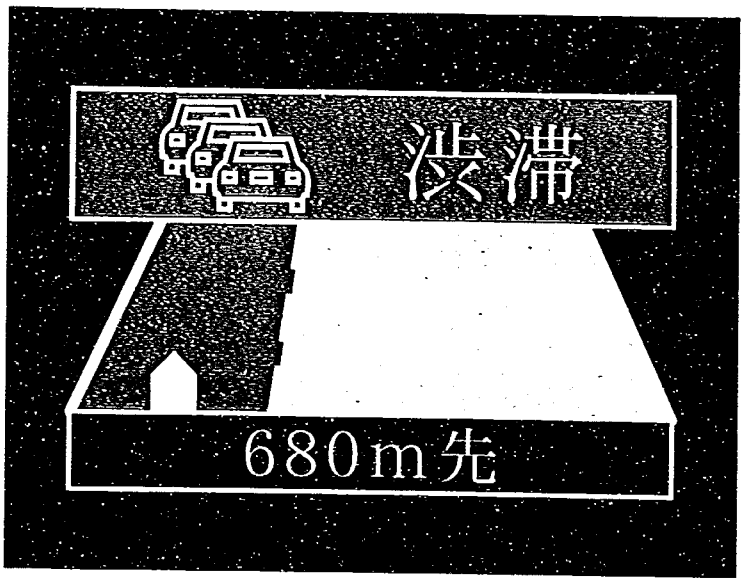
自車両走行車線位置：走行車線中に簡単な絵で表示。

・表示下部：危険事象までの距離を20m単位で表示。

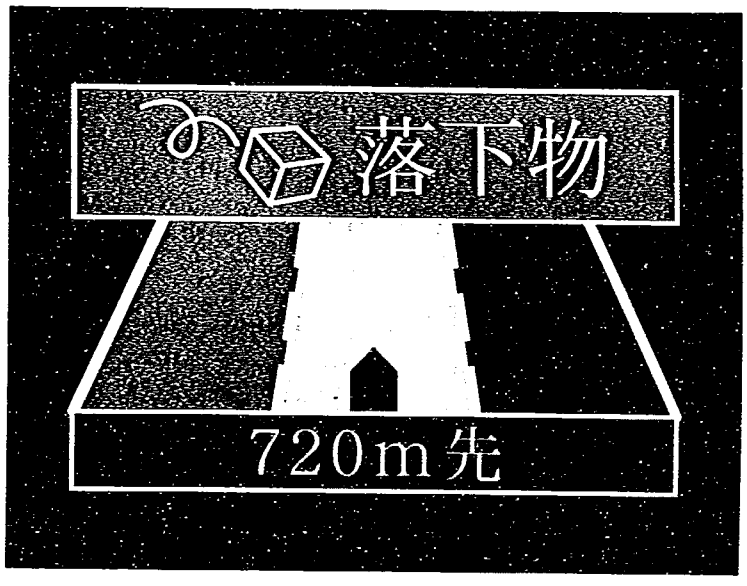
図表(3.3.1) 8-6 340m先事故表示



図表(3.3.1) 8-7　渋滞表示



図表(3.3.1) 8-8　落下物表示



３．３．２　自動運転基礎実験車

１）概要

・車間コントロールシステム

道路に設置されたＬＣＸ（同軸漏洩ケーブル）からの速度指令と、レーザレーダで検知された車間距離とに基づいてブレーキとスロットルを制御し、指定された速度及び車間距離で走行する。

・側方コントロールシステム

磁気ネイルセンサからの車両位置情報をもとにステアリングを制御し、指定された車線に追従走行する。

・ＨＭＩ（ヒューマンインターフェイス）

コース地図と現在位置・運転モード、ＬＣＸとの通信状態・指示速度、前走車または後走車の車速・車間距離をディスプレイ上に表示する。人間にとって最も適切な形で情報を提供する。音声による案内や視線移動の少ないＨＵＤ（ヘッドアップディスプレイ）、詳細情報を見るＣＲＴがある。

なお、各実験車の担当メーカーを図表(3.3.2) 1-1に示す。（詳細は以降を参照）実験車はメーカーごとに担当したので以降ではメーカーごとに実験車の内容を示す。

図表(3.3.2) 1-1　担当メーカー

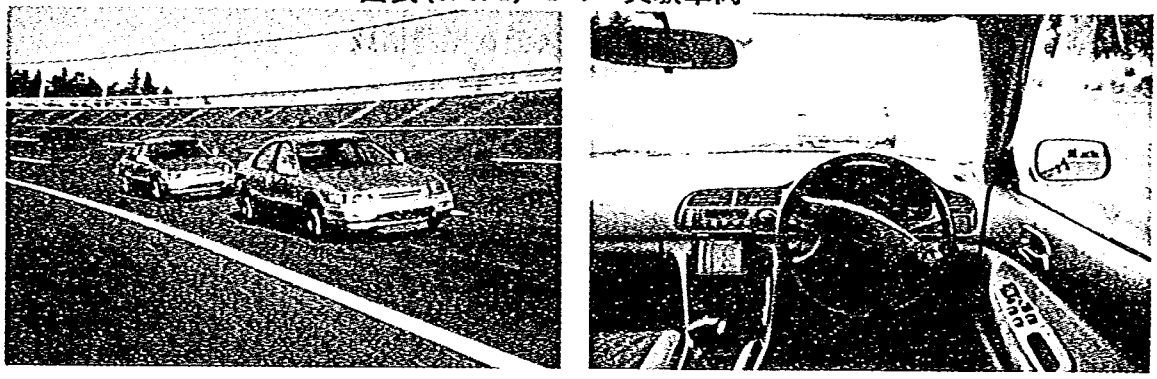
	担当メーカー
実験車１	本田技研工業株式会社 住友電気工業株式会社
実験車２	トヨタ自動車株式会社
実験車３	日産自動車株式会社
実験車４	三菱自動車工業株式会社 三菱電機株式会社

2）実験車その１（本田技研工業株式会社・住友電気工業株式会社）

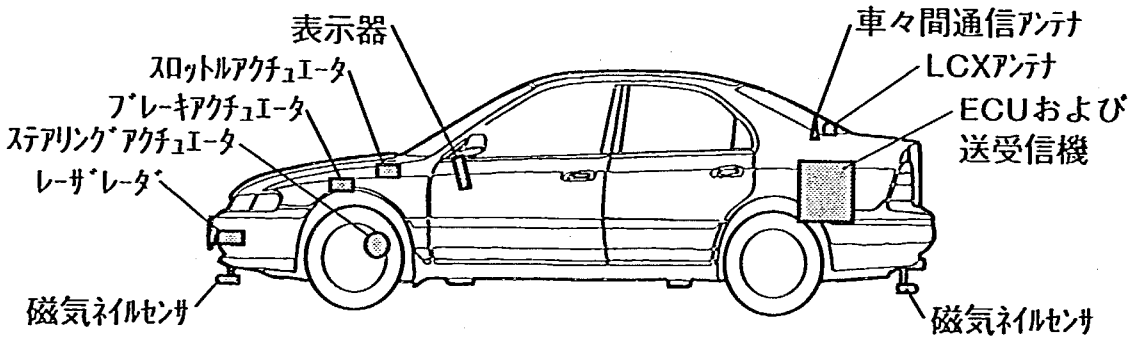
（１）車両機能

実験車は、先行車両と追従する車両の２台で走行する。路側のＬＣＸから実験車に対して与えられる指示速度や道路形状などの情報と路面に一定間隔で埋設された磁気ネイルを検出し横方向の車両制御を行う。縦方向はＬＣＸからの指示速度、停止指示信号、車間距離センサからの信号、磁気ネイルのカウント値、車速センサからの信号をもとに制御する。実験車両の外観を図表(3.3.2) 2-1、各システム配置を図表(3.3.2) 2-2に示す。

図表(3.3.2) 2-1　実験車両



図表(3.3.2) 2-2　システム配置図



（２）機器構成

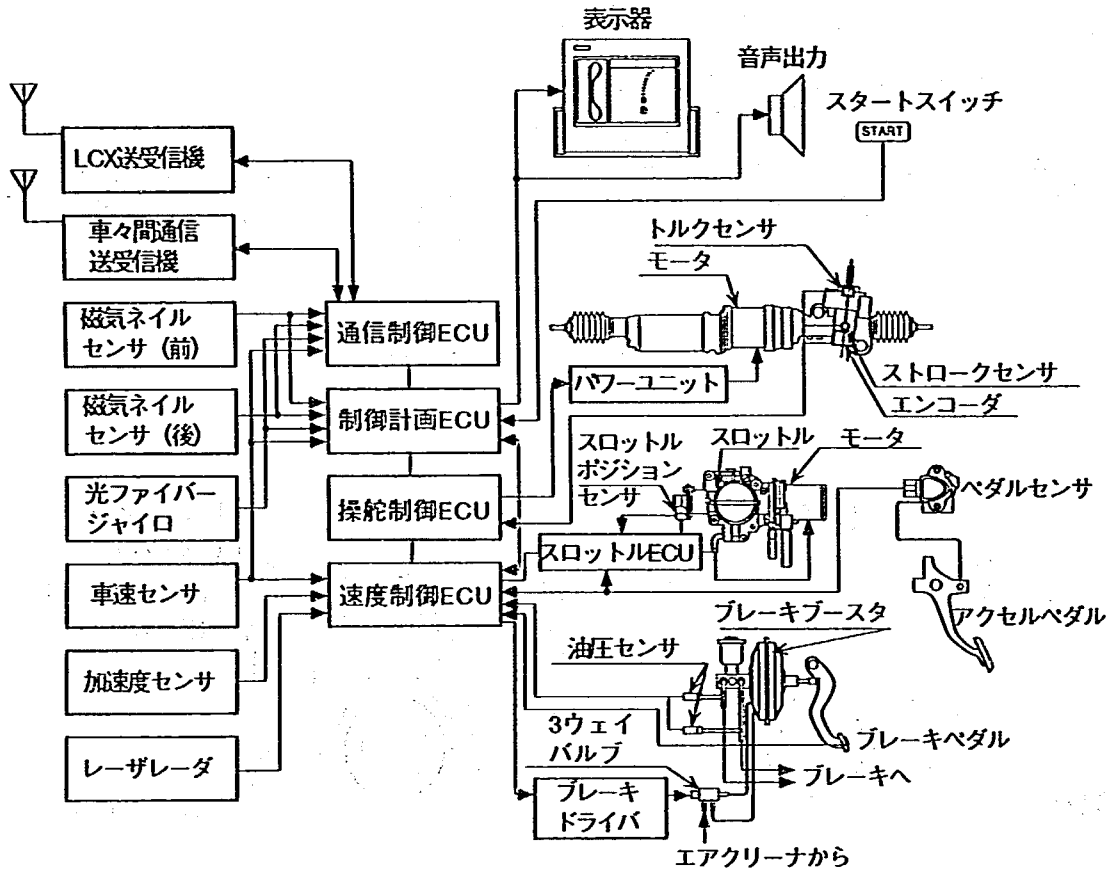
システム機器構成を図表(3.3.2) 2-3に示す。システムは通信制御、制御計画、操舵制御、速度制御の４台の制御ユニットで構成した。

①通信機器、情報処理機器

a)車車間通信

プラトゥーン走行中は前後の車両位置、速度、加速度などの情報を車車間通信でやりとりし走行状態を相互に把握することによって追従制御を行う。通信周波数は2.4GHz、伝送レートは256kbps、ノイズなどの外乱に強いスペクトラム拡散方式を採用し、この双方向通信によって高精度な追従、車間距離制御を可能とした。

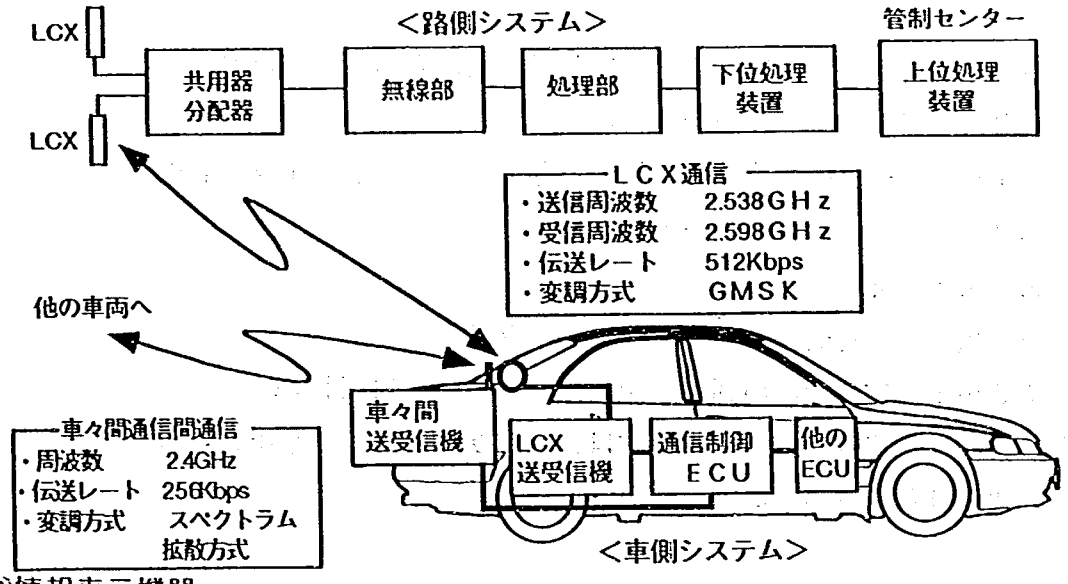
図表(3.3.2) 2-3　システム機器構成



b)路車間通信

路車間通信では、路側のＬＣＸ送受信機からの指示速度、停止指示信号、事故などの緊急情報が送られ、車両からはＩＤ番号、位置、速度情報などが送信される。周波数は2.6GHz伝送レートは、512kbpsである。図表(3.3.2) 2-4に通信制御システムを示す。

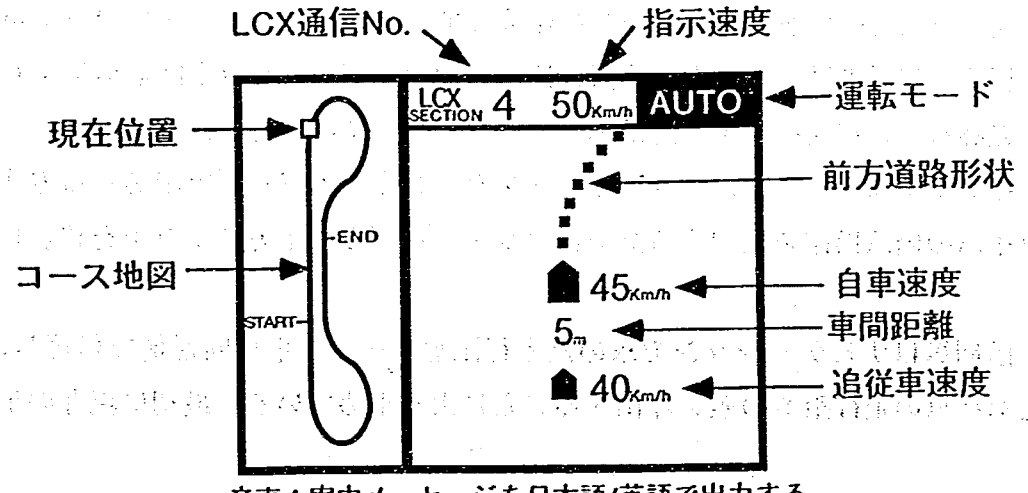
図表(3.3.2) 2-4　通信制御システム



②情報表示機器

情報表示によって自動走行中に現在の制御状態が指示に対して正常に動作しているかどうかを把握することができ、これによって安全確認、安全走行を行う。表示は、センターコンソールの液晶画面で行い、内容は先頭車及び追従車のそれぞれの位置、車速、車間距離、ＬＣＸ番号、指示速度、前方道路形状である。また音声出力は聴覚による自動走行の動作確認を行うために指示速度、停止、自動走行終了時の案内を日本語及び英語で行った。表示内容を図表(3.3.2) 2-5に示す。

図表(3.3.2) 2-5　モニタ画面



音声：案内メッセージを日本語/英語で出力する。

③車両制御機器

a)ステアリング

磁気ネイルからの信号によってステアリングを制御し、またドライバの緊急操作を検知するためにステアリングにトルクセンサを装着している。制御に用いる入力量を図表(3.3.2) 2-6に示す。これらを用いて操舵角δswを表すと

$$\delta sw=F(v)*1/R+G(v)*\varepsilon y+H(v,1/R)*(1/s)\varepsilon y+J(v)*\theta+K(v)*\theta Pre$$

となる。ここでF、G、H、J、Kはゲイン関数を示し、車速の関数となっている s は微分演算子である。各項の内容は

第１項：カーブへの釣り合い舵角を与えるフィードフォワード項

第２項：εyの比例フィードバック項

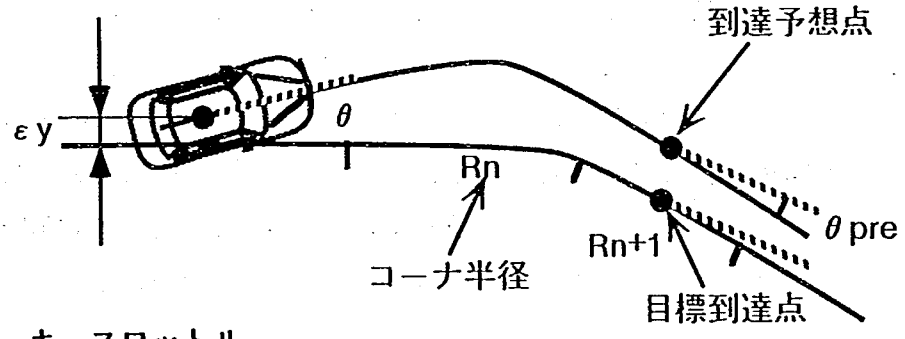
第３項：第２項の積分項

第４項：ヨー角偏差θのフィードバック項

第５項：一定時間後の到達予想点でのθPreの予見制御項

である。到達予想点でのヨー角偏差は、ナビゲーションから出力される前方地図と慣性航法軌跡から算出する。

図表(3.3.2) 2-6　ラテラル制御における入力量



b)ブレーキ、スロットル

先導車は、路側のＬＣＸから送られてくる指示速度を受信し、現在の車速から指示速度に達するまでの車速プロフィールを作成して、そのプロフィールに沿った車速制御を行う。追従車は、先導車の位置、速度、加速度データを車車間通信により受信し、先導車との車間を一定または車間時間を一定にする制御を行う。

ブレーキアクチュエータは、ブレーキブースタを３ウェイバルブで制御する方式で、ドライバの緊急操作を検知するためにブレーキペダルに圧力スイッチを装着した。

車間距離制御はナビゲーションで求めた走行距離データを車車間通信で伝達し、先導車と追従車の走行距離の差を算出することにより求めている。最初に現在の加

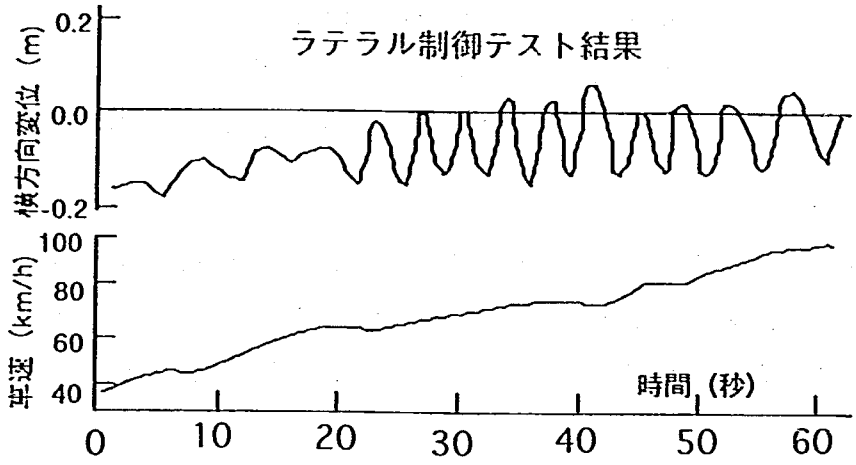
速度を一定と仮定したときのT秒後の先導車と追従車の速度及び距離を予測しその後、両車の速度偏差を求める。それらの偏差をゼロとするための加速度を計算し、その値が達成できるようにスロットルとブレーキを協調して積分制御を行っている。

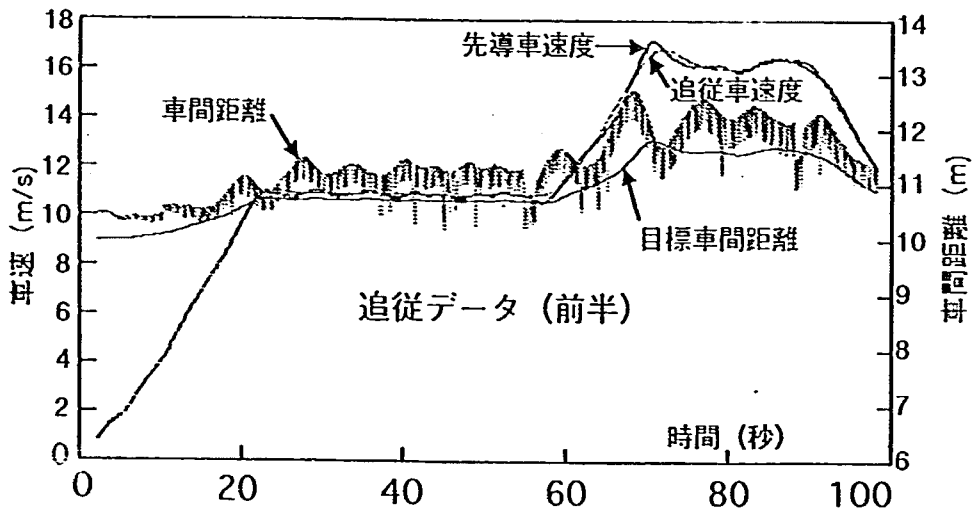
このスロットルとブレーキの協調制御では減速指示の場合、エンジンブレーキで発生する減速度を予測し、不足する加速度をブレーキで補うように制御している。

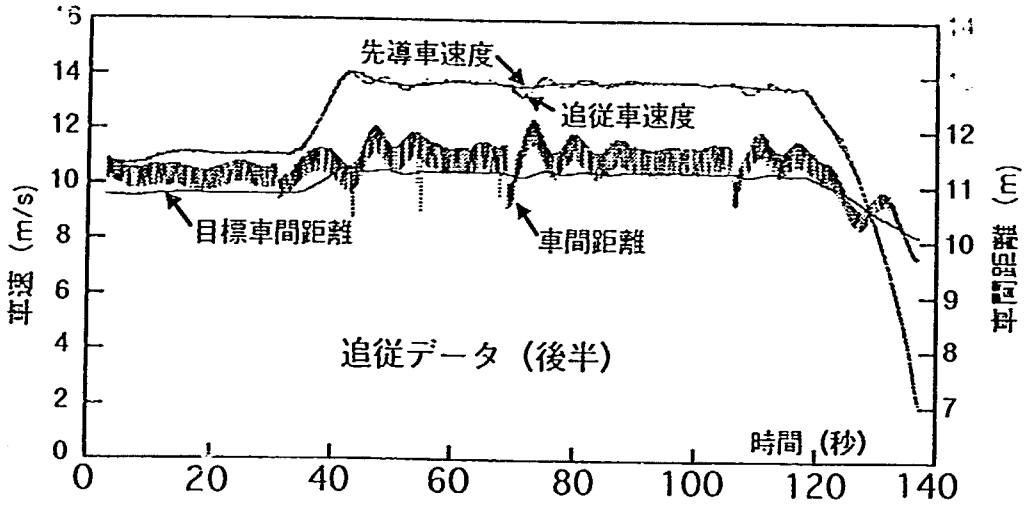
c)車両制御データ

これらの制御によって走行テストを行った結果、直線部で100km/hでの走行、140Rのカーブでは70km/hの走行が可能となった。全コースでの横変位誤差は20cm、直線部では10cm以下である。それらのデータを図表(3.3.2) 2-7に示す。

図表(3.3.2) 2-7　各テストデータ







3）実験車その２（トヨタ自動車株式会社）

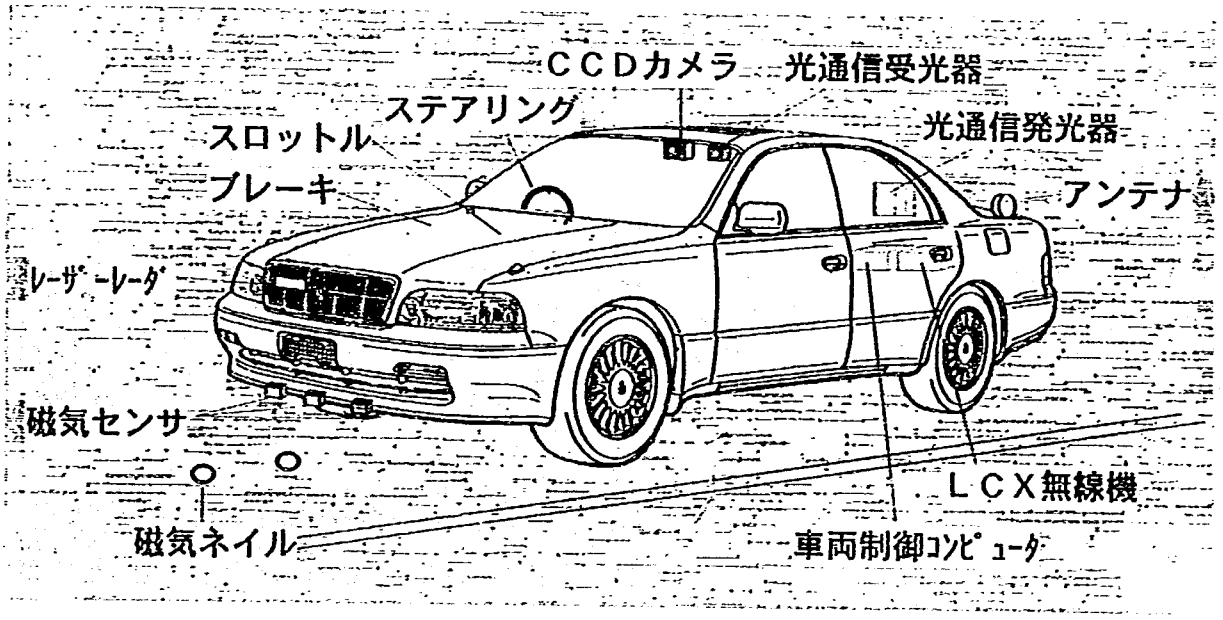
（１）車両機能

路面に埋設された磁気ネイルをガイドとする自動操舵機能、比較的短い車間距離で先行車を追従するプラトゥーン走行機能を有する。またＬＣＸからの指示に従い加減速制御や自動停止等を行う。実験車の外観を図表(3.3.2) 3-1に示す。また機器の搭載状況を図表(3.3.2) 3-2に示す。

図表(3.3.2) 3-1自動運転実験車両外観



図表(3.3.2) 3-2　機器搭載状況



（２）機器構成

①通信機器

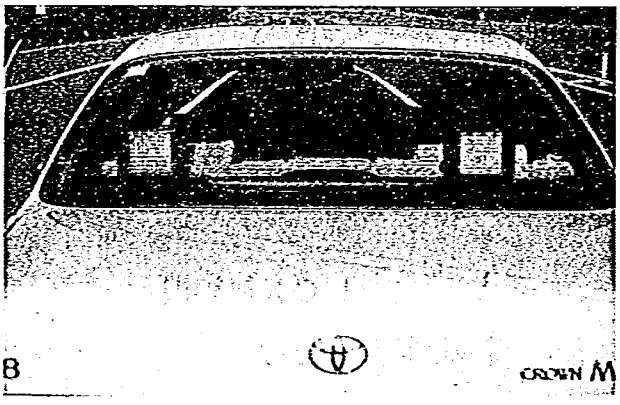
a)路車間通信

路車間通信装置はＬＣＸ送受信機とアンテナを搭載し、車両制御コンピュータとシリアル通信によりデータの送受を行っている。

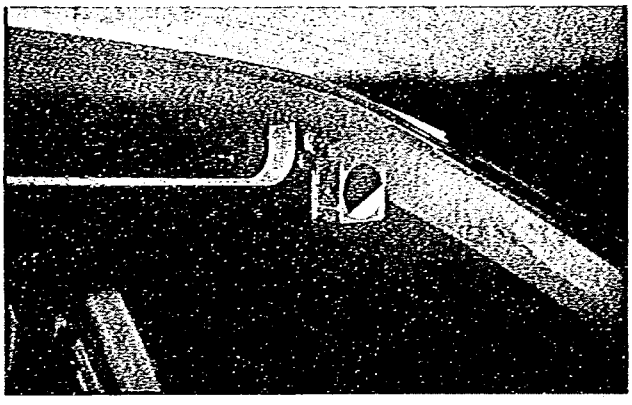
b)車車間通信

プラトゥーン走行では、先行車への急接近や追突を防止し、精度良く車間距離を維持するために、先行車の走行状態（車速、加速度等）を正確かつリアルタイムで知ることが重要になる。このために車車間通信システムを搭載している。通信媒体としては高速伝送が可能で通信エリアの限定が容易な赤外光を用いている。実験車両には図表(3.3.2) 3-3に示すように、２台の発光器がリアウィンドウ内側に搭載され、後述の車間距離センサと共用されている。また図表(3.3.2) 3-4に示すように、受光器がフロントウィンドウ内側に搭載されている。図表(3.3.2) 3-5に光車車間通信システムの構成を示す。このシステムは先行車から後続車へのみデータ送信する単方向型通信システムであり、混信防止のため送信（発光）と休止（消灯）が、33ms毎に繰り返される時分割発光が行われる。３台以上で車群を構成する場合は、図表(3.3.2) 3-6に示すように、ある先行車の非送信期間とその次の後続車の送信期間とが一致するように同期が取られる。これにより送信周期66msで先行車両のＩＤや車速、加速度など約10バイトのデータ列が送信される。また送信期間中に同じデータ列を繰り返し送信することにより、データの信頼性を向上させている。また通信距離、通信エリア等、主な仕様を図表(3.3.2) 3-7に示す。

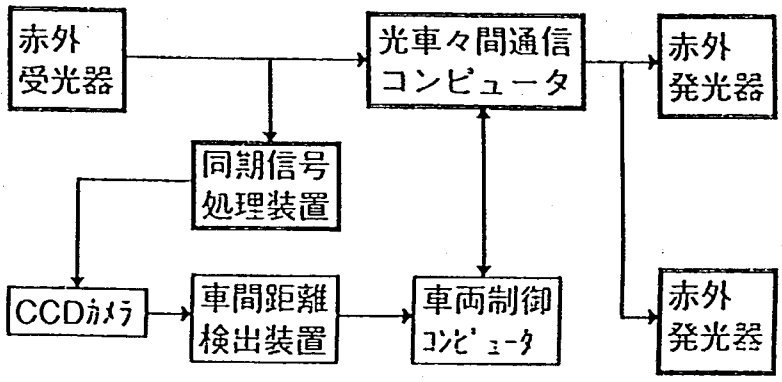
図表(3.3.2) 3-3　光通信発光器



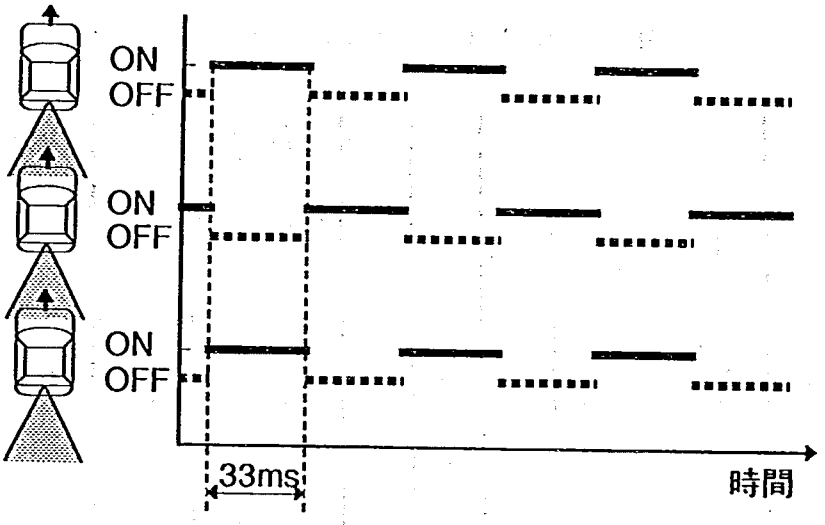
図表(3.3.2) 3-4　光通信受光器



図表(3.3.2) 3-5　光車車間通信システム



図表(3.3.2) 3-6　送信タイミング



図表(3.3.2) 3-7　光通信仕様

最大通信距離	20m
通信エリア	±15°　(水平方向)
最大通信容量	3.6Kbyte／66ms
発光素子	赤外発光パネル（100×100㎜²）２枚 ＬＥＤ（波長＝850㎚）80個／枚
受光素子	Ｐｉｎフォトダイオード
通信方式	ＡＭ変調
通信データ	ヘッダ、車両ＩＤ番号、 車速、加速度、操舵角．．．終了コード

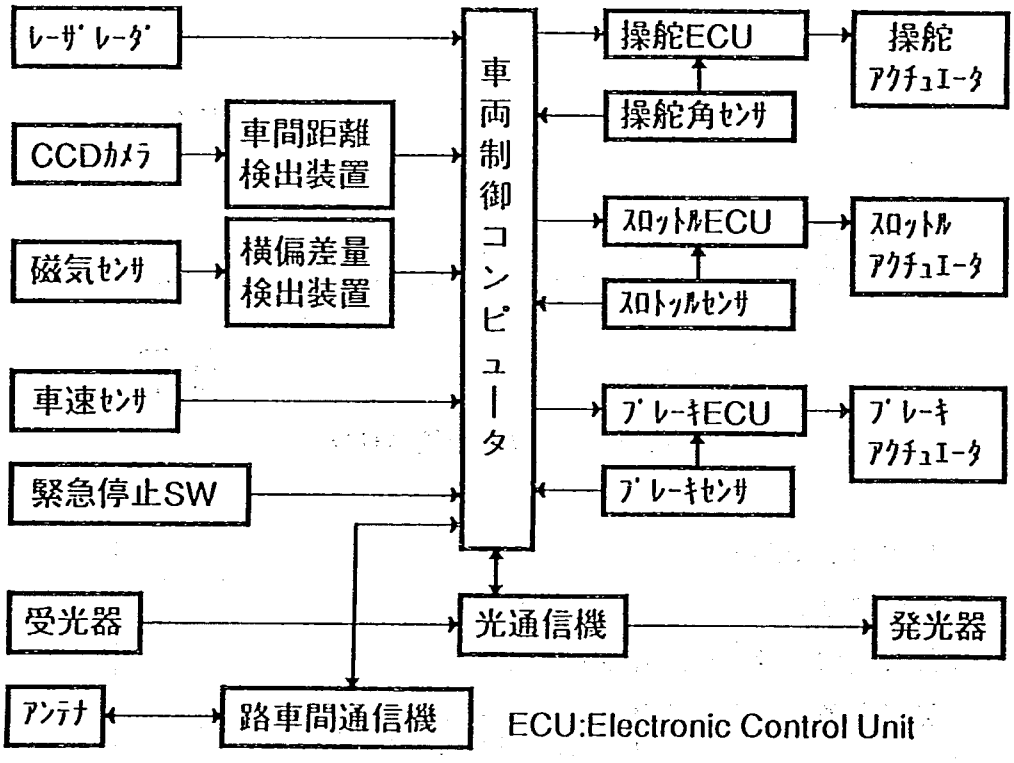
②情報処理機器

図表(3.3.2) 3-8に実験車両に搭載されているシステムの構成を示す。情報処理機器として車両制御（ホスト）コンピュータの他に、アクチュエータ制御用、センサ信号処理用、画像処理用と各デバイス毎に専用のコンピュータが搭載される。このような構成にすることで、ホストコンピュータの負荷軽減、各コンピュータ間の相互監視による故障診断を行っている。また制御に必要なデータは、車速センサ、磁気センサ、ＣＣＤカメラ、通信装置等により入力される。

a)車両制御コンピュータ

車載用の16ビットマイコンが搭載され、車速、加速度演算のほか、操舵量、アクセル、ブレーキ操作量の演算とステアリング、スロットル、ブレーキの各コントローラへの指示を行っている。

図表(3.3.2) 3-8　システム構成



b)磁気センサ

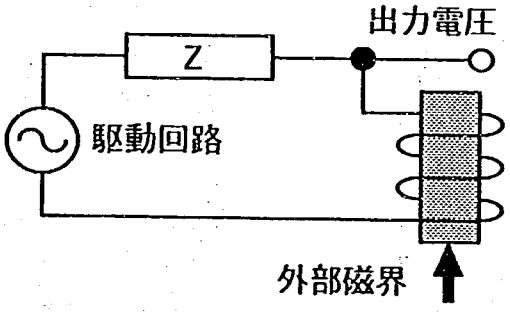
磁気センサは路面に埋設された磁気ネイルの磁界強度を検出し、走行レーンに対する車両の横方向偏差量を算出する。図表(3.3.2) 3-9に磁気センサの構造を示す。

フェライト系コアを有するコイルに加えた電圧が、コア軸方向の外部磁界成分により変化することを利用して、磁界強度及び磁界方向を検出する。1個の磁気センサは2個のコイルを直交配置することで、水平／垂直方向の磁界が検出できるように構成されている。磁気ネイルからの横偏差は、この水平／垂直磁界強度から算出される。ただし横偏差が大きくなるほど磁界強度が弱くなり検出精度が低下するため、実験車両には磁気センサがフロントバンパ下部に、地上15cm、横方向に25cm間隔で3個搭載される。位置検出装置は、3個の磁気センサの水平／垂直磁界強度データから磁気ネイルに対する車両の横偏差を算出し、これにより±45cmの検出範囲と、±3cmの検出精度を確保し、図表(3.3.2) 3-10に示すような特性で車両制御コンピュータへ出力する。また検出可能な車速域は5～120km/hである。

また磁気センサは横偏差の算出と同時に、水平／垂直磁界方向より磁気ネイルのＮＳ極性判定を行っている。実験コースにはＮＳ極をビットデータとして区間番号を表現するバイナリコードが、区間の始点に走行方向に沿って配置されており、このコードを読み取ることで正確な走行地点の認識を行っている。

この情報と路車間通信で得られる道路曲率データと組み合わせることで、現在地点の正確な曲率を算出し、安定した操舵制御を可能としている。

図表(3.3.2) 3-9　磁気センサ



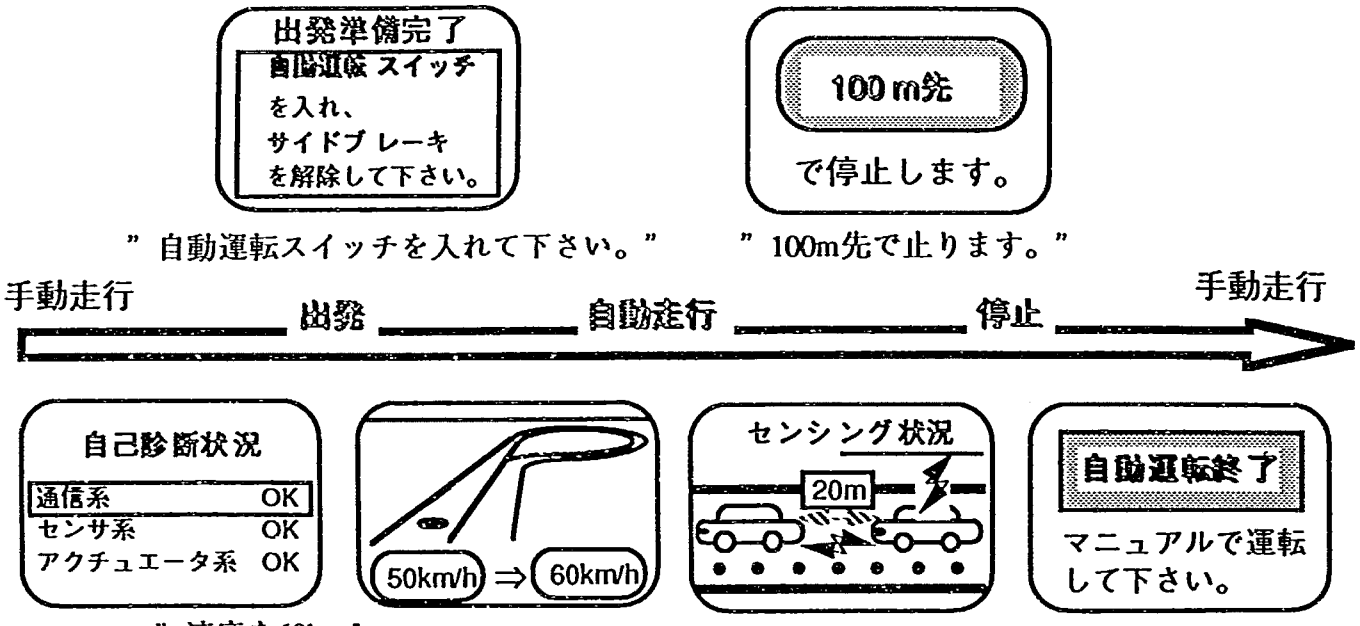
⑥情報提供例

表示は、システム動作が容易に分かること、システムの現在の状態を把握できることを重点に、

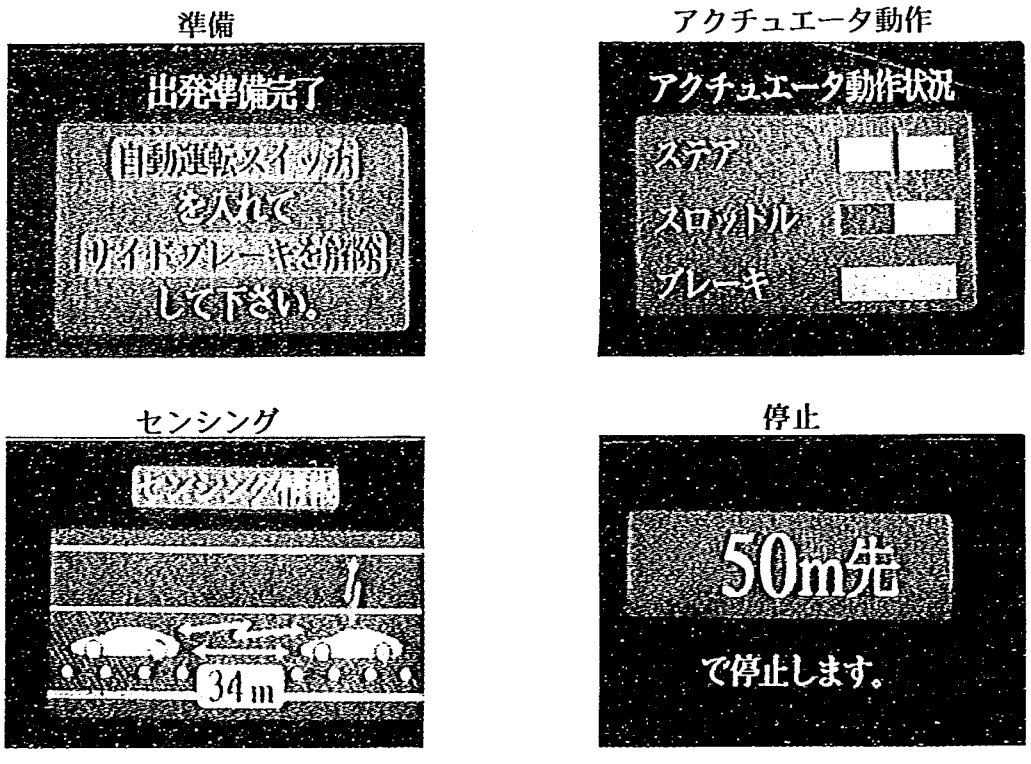
手動走行→自動走行→手動走行

という走行プロセスにおいて、ドライバにとって違和感の無いシステムを実現するようにした。図表(3.3.2) 4-11は、走行プロセスに於ける情報提供表示の流れ、図表(3.3.2) 4-12は、実際に表示される代表例を示している。

図表(3.3.2) 4-11 表示プロセス



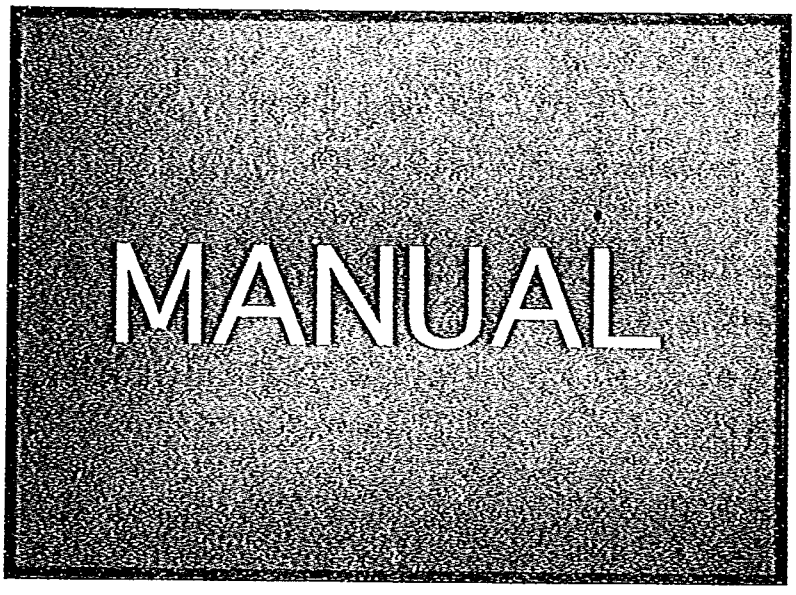
図表(3.3.2) 4-12 表示例



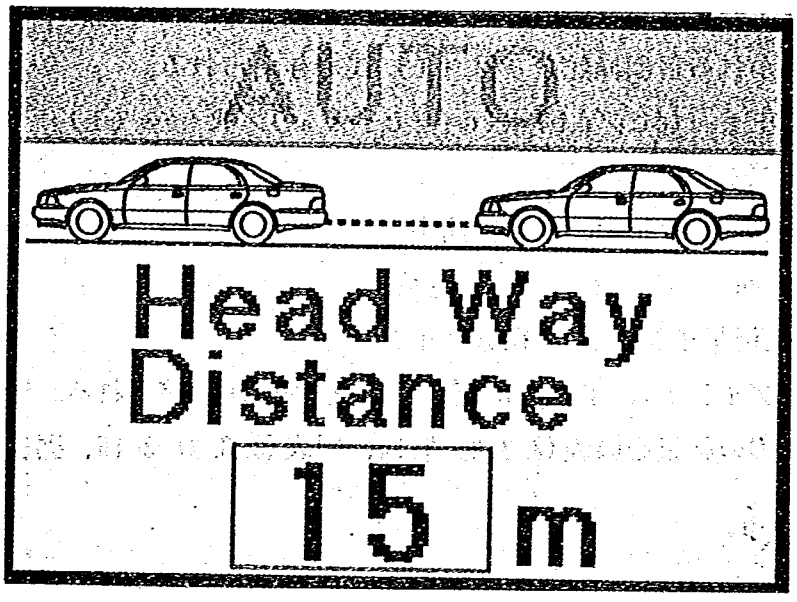
③情報提供機器

情報表示装置は、車両の走行状態を表示する。図表(3.3.2) 3-11はマニュアル運転時の表示画面例である。また図表(3.3.2) 3-12は自動運転時の表示画面例であり、車間距離等を表示する。

図表(3.3.2) 3-11　マニュアル運転時画面例



図表(3.3.2) 3-12　自動運転時画面例



④車両制御機器

a)ステアリング

ステアリングはＤＣブラシレスモータ、電磁クラッチから構成されるステアリングアクチュエータにより電気的に制御される。操舵トルクがモニタされ、ドライバの操作が検出されたら即座にマニュアル運転モードに切り替える。

またステアリングコラム内の操舵角センサにより異常動作が監視される。

b)スロットル／ブレーキ

スロットルはステップモータにより電気的に制御される。電子制御スロットルとアクセルペダルは並列構成となっており、自動走行中もドライバによるアクセル操作が可能である。

ブレーキは油圧サーボ弁により電気的に制御される。電子制御ブレーキとフットブレーキは並列構成となっており、自動走行中もドライバによってフットブレーキ操作が可能である。なおフットブレーキが操作された場合は即座にマニュアル運転モードに切り替わる。

⑤制御方式

a)操舵制御

磁気センサで検出された横偏差量によるフィードバック制御に加え、路車間通信で送られてくる道路曲率データを基に、その曲率とその時の車速に応じた最適舵角を算出するフィードフォワード制御により、ステアリングが制御される。車両運動モデルから導かれる目標操舵角θは（1）式で与えられる。

$$\theta = f_1 \cdot e + f_2 \cdot (de/dt) + (c_1 - c_2 \cdot v_0^2)/R \quad \cdots (1)$$

ここで

e：横偏差量　　R：道路曲率

v_0：車速　　c_1、c_2：定数

f_1：比例ゲイン　f_2：微分ゲイン

である。制御ゲインf_1、f_2は車速v_0に応じて値が調整される。テストコースにおける操舵制御の結果を図表(3.3.2) 3-14、図表(3.3.2) 3-15、図表(3.3.2) 3-16に示す。

b)車間距離制御

電子制御スロットル、電子制御ブレーキを用いて車間距離制御が行われる。

車車間通信で入力された先行車の走行データと車間距離データにより、目標駆動力が算出され、この駆動力を発生させるようにスロットル、ブレーキが制御される。目標駆動力Fは（2）式で与えられる。

$$F = M \cdot (g_f + k_1 \cdot (d_s - d_t(v_0)) + k_2 \cdot (v_f - v_0)) \quad \cdots (2)$$

$F > M \cdot g_0$ の場合、スロットル制御を実行

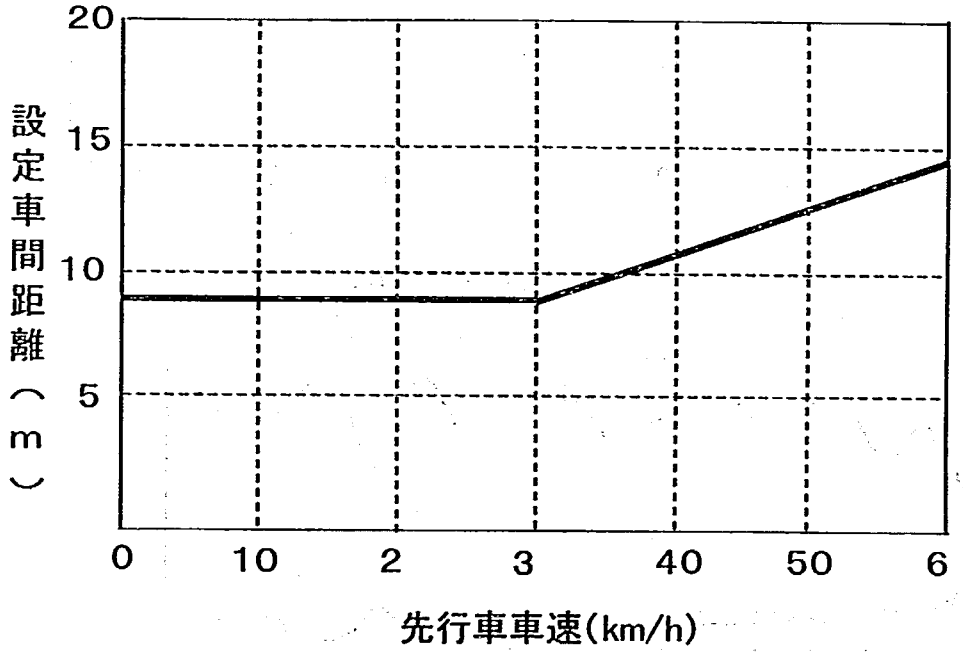
$F < M \cdot g_0$ の場合、ブレーキ制御を実行

ここで

F ：目標駆動力	M ：車両重量
g_f：先行車加速度	g_0：惰行減速度
k_1：比例ゲイン	k_2：微分ゲイン
v_f：先行車速度	v_0：自車速度
d_s：実車間距離	d_t：目標車間距離

である。目標車間距離d_tは、図表(3.3.2) 3-13に示すように低速域を除いて、車間時間0.8～1.0秒に設定されている。テストコースにおける車間距離制御の結果を図表(3.3.2) 3-17、図表(3.3.2) 3-18、図表(3.3.2) 3-19に示す。

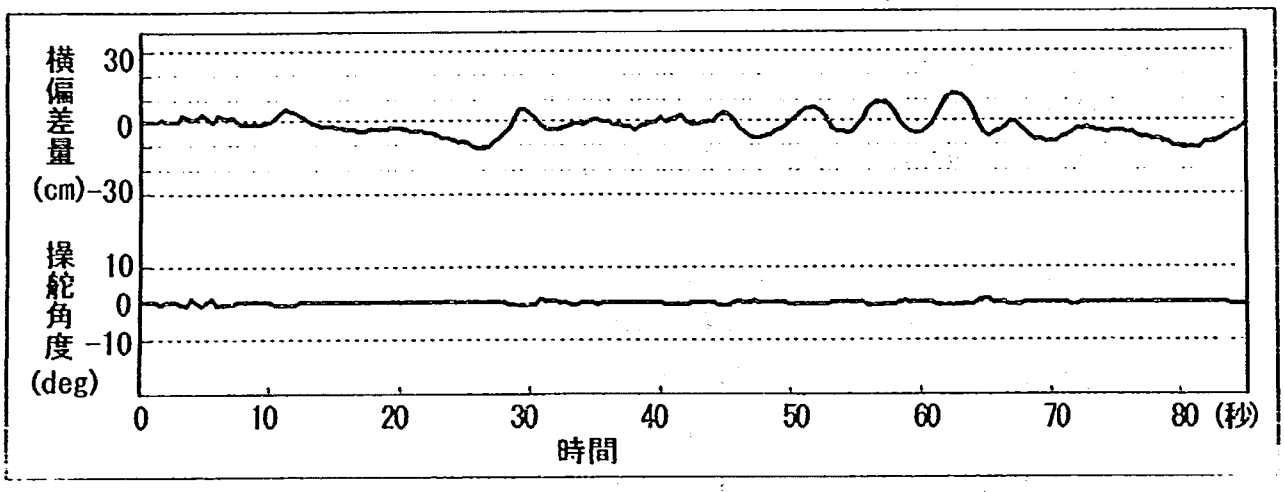
図表(3.3.2) 3-13　目標車間距離



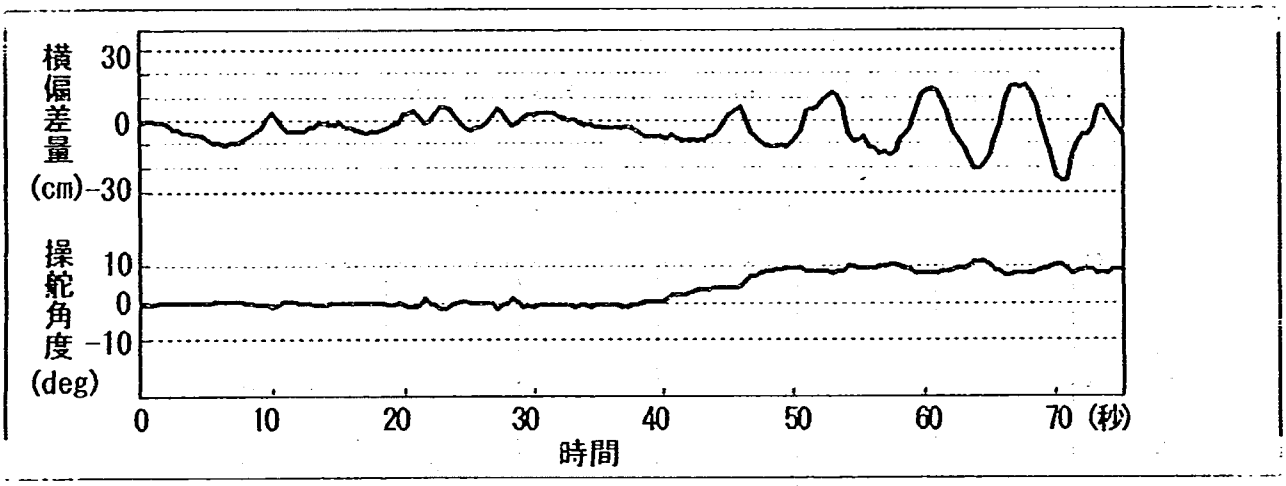
（３）車両制御データ

①操舵制御（操舵角度、横偏差量）

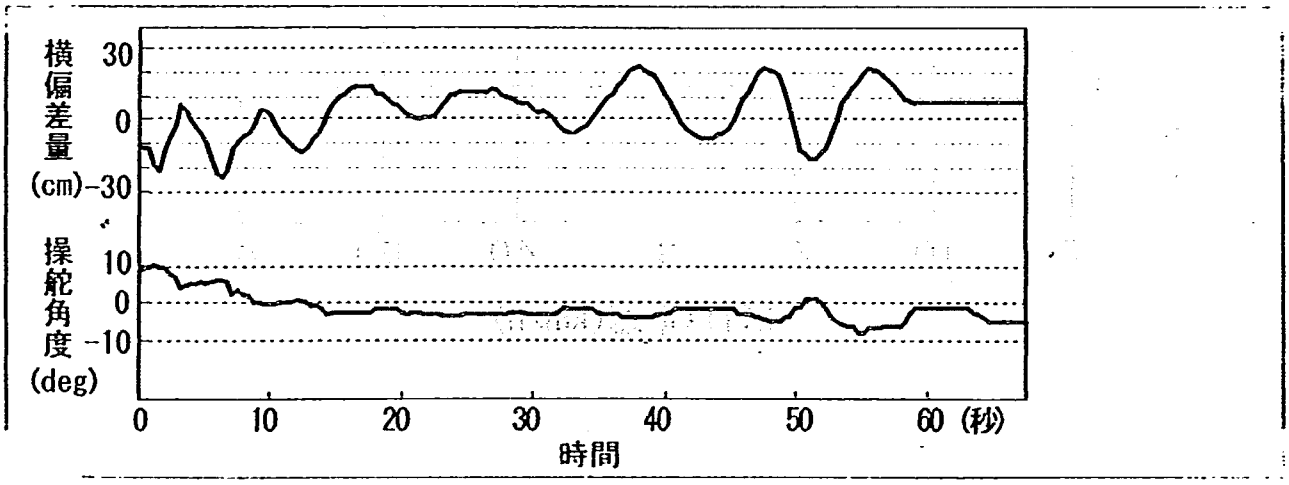
図表(3.3.2) 3-14　ＬＣＸ区間１、２



図表(3.3.2) 3-15　ＬＣＸ区間３、４

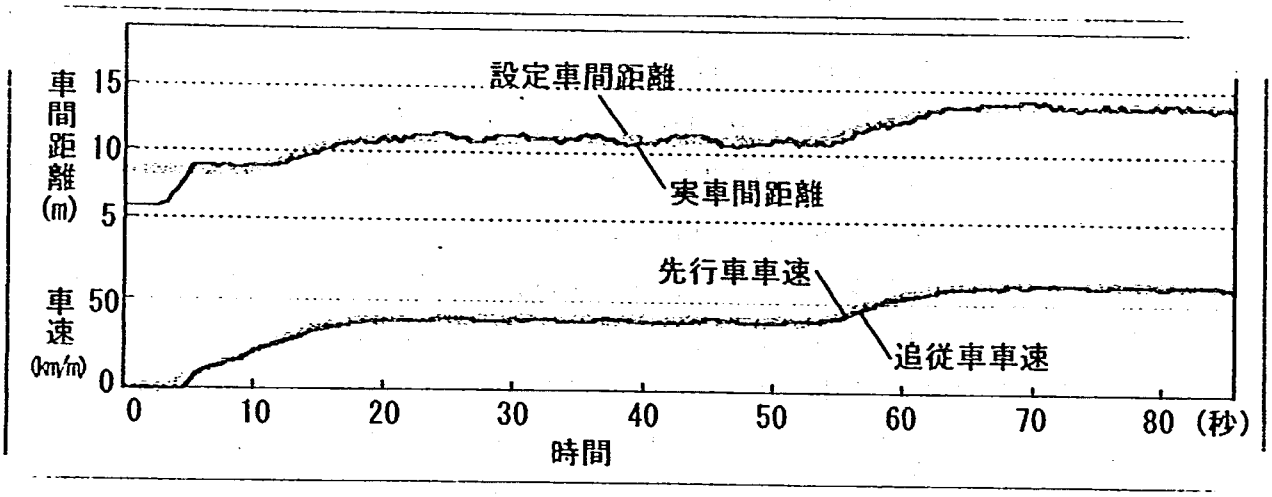


図表(3.3.2) 3-16　ＬＣＸ区間５、６

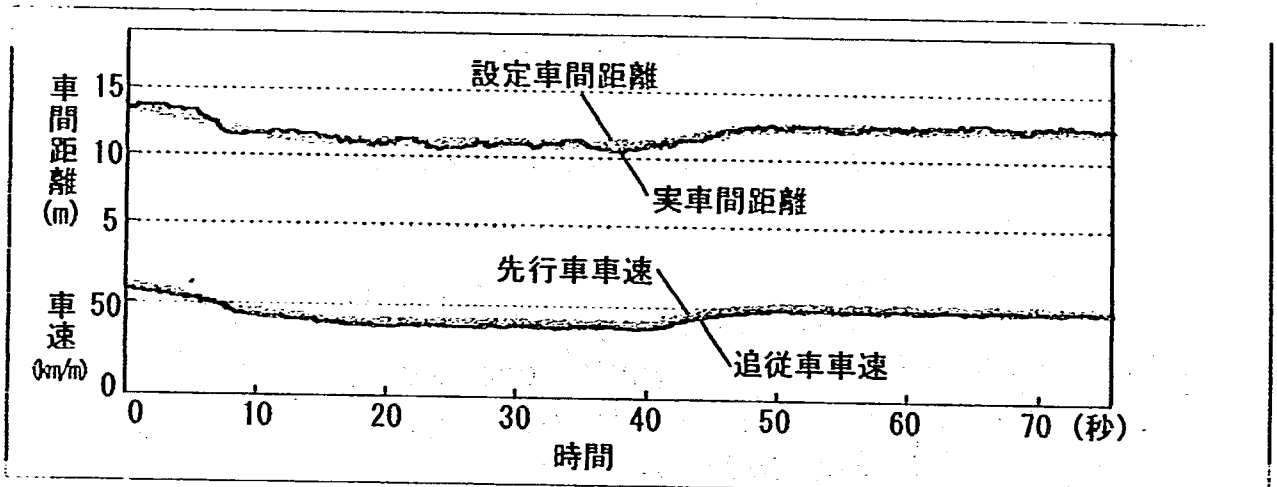


②車間距離制御（設定車間距離、車速）

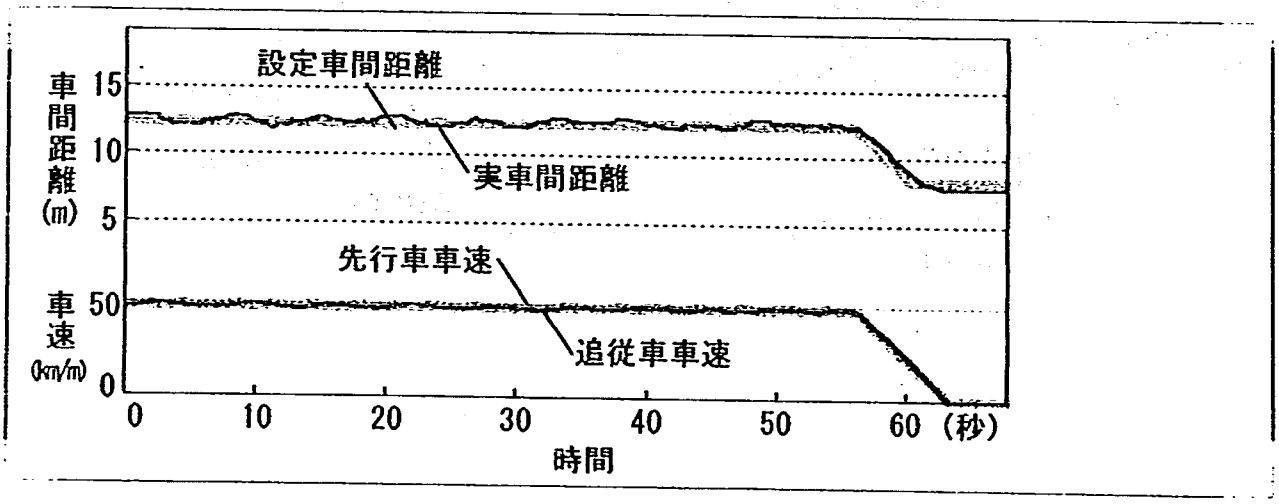
図表(3.3.2) 3-17　ＬＣＸ区間１、２



図表(3.3.2) 3-18　ＬＣＸ区間３、４



図表(3.3.2) 3-19　ＬＣＸ区間５、６



4）実験車その３（日産自動車株式会社）

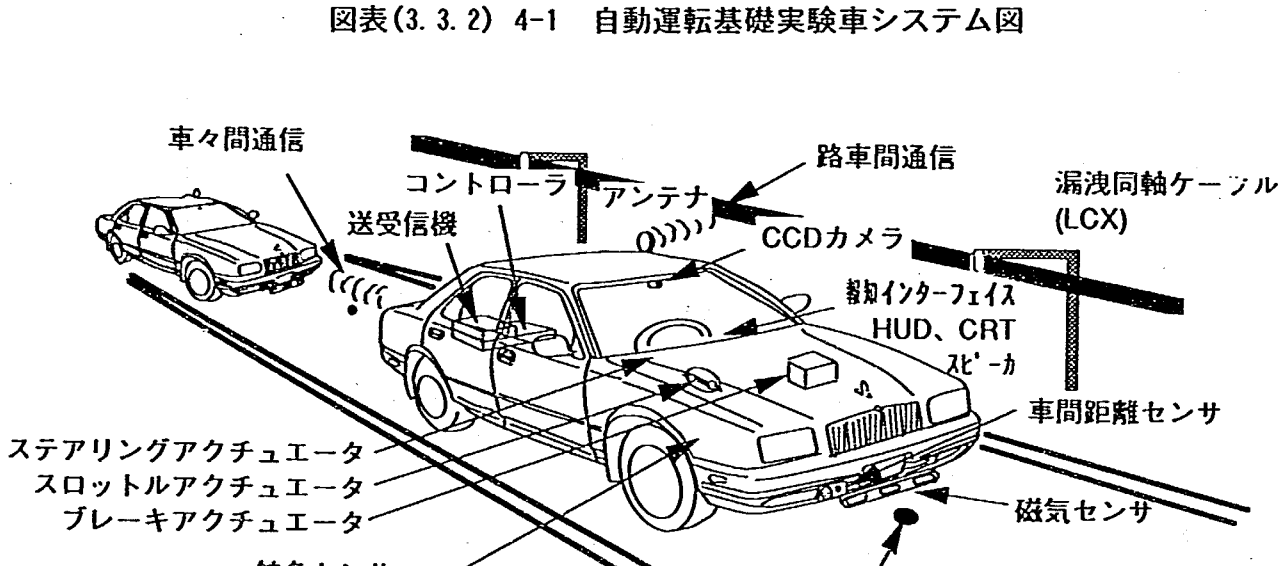
（１）車両機能

本システムは、指定された速度と車間距離で走行する「車間コントロールシステム」と、指定された車線上を走行する「側方コントロールシステム」の２つの制御システムを持ち、車群走行が可能となっている。本システムのシステム図を図表(3.3.2) 4-1に示す。車間コントロールシステムでは、ＬＣＸからの速度指令と、レーザレーダで検知された車間距離に基づいて、スロットルとブレーキを制御する。一方、側方コントロールシステムでは、磁気センサからの車両位置情報と、画像処理による白線認識を用いてステアリング制御を行っている。

車群走行中には、車車間通信により車両間の情報を交換し、また、道路地図や画像情報によるセンサのバックアップ機能により信頼性や制御性を高めている。

さらに、ＨＭＩ（ヒューマンマシンインターフェイス）機能として、ＨＵＤ（ヘッドアップディスプレイ）やＣＲＴ表示及び、音声案内を持ち、ドライバ及び、乗員に走行状態や道路状態を知らせる機能を持っている。

図表(3.3.2) 4-1　自動運転基礎実験車システム図

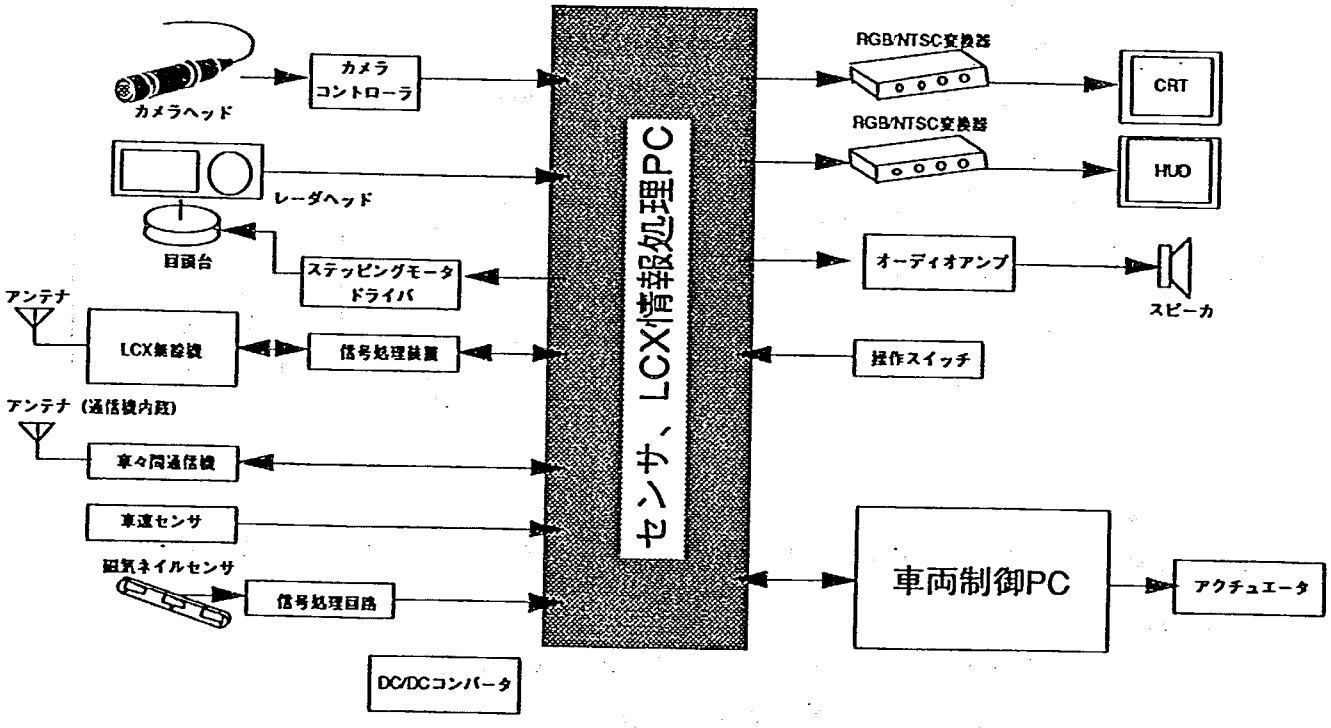


（２）機器構成

①情報処理機器

実験車に車載した情報処理機器のブロック図を図表(3.3.2) 4-2に示す。本システムでは、センサ情報を扱う情報処理ＰＣとアクチュエータの制御を行う車両制御ＰＣの２台のＰＣ車載し、信頼性の向上及び、高機能化をはかっている。情報処理機器には、ＨＵＤやＣＲＴへのグラフィックデータの描画及び、音声案内の出力タイミング生成、そして、カメラ、レーザレーダなどセンサの信号処理を行う機能と、ＬＣＸ、車車間通信を行う通信の機能を持ち、これらの情報を車両制御ＰＣへ出力する。さらに、車両制御ＰＣによる制御状態を情報処理ＰＣへ送ることによって、各々の動作状態をモニタすることができる。

図表(3.3.2) 4-2　情報処理機器ブロック図



②車載センサ構成

車間制御及び側方制御共に、２系統のセンサを搭載して、相互補完を行い、システムの信頼性を確保している。

図表(3 3 2) 4-3　車間及び側方制御のセンサ構成

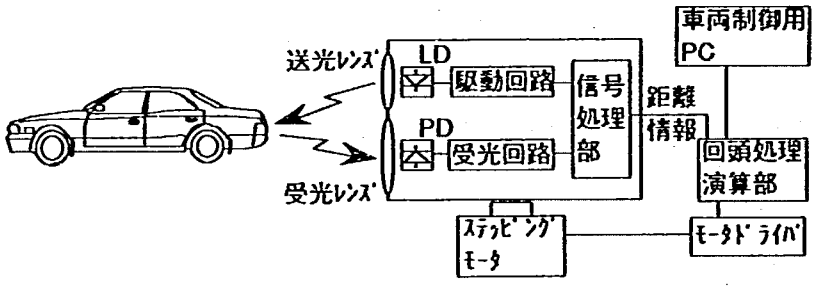
制御対象	センサ
車間制御	レーザレーダ
	車々間通信
側方制御	白線認識システム
	磁気ネイルセンサ

概要

1．レーザレーダ

3ビームタイプのレーザレーダを採用し、小曲率路に対応するため、レーダヘッドをモータで回頭させる回頭制御機能を持っている。

図表(3. 3. 2) 4-4　レーザレーダの概要

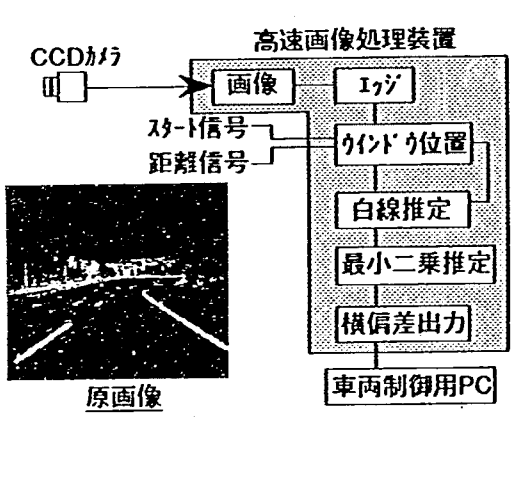


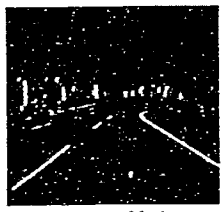
項目		仕様
検出範囲	直線	1～80 (m)
	カーブ	1～50 (m)
距離分解能		0.1　(m)

2．白線認識システム

高速画像処理装置に、路面の白線認識専用の処理ロジックを付加して、車両の側方制御信号を出力する。

図表(3. 3. 2) 4-5　白線認識システムの概要




エッジ検出


検出ウインドウ

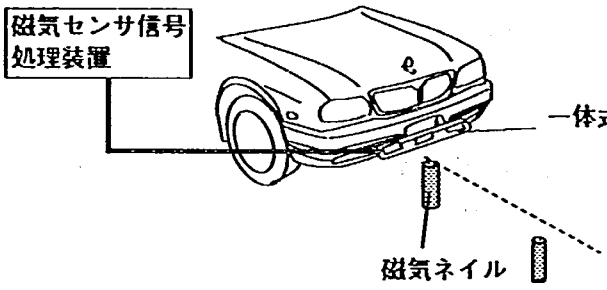
白線検出ウインドウ設定

項目	仕様
画角	±23 (deg)
画素数	256×240
検出範囲	±6.3 (m)

3．磁気センサ

車両前方部に一体式に配置された感磁ユニットと、トランク内の信号処理装置により構成される。磁気ネイルから発せられる磁力線の強さと向きを、ユニットに内蔵した磁気センサにより検出し、車両側方制御信号を出力する。合わせて、通過する磁気ネイルの極性符号コード、個数も同時に読みとることが可能である。

図表(3.3.2) 4-6　磁気センサの概要

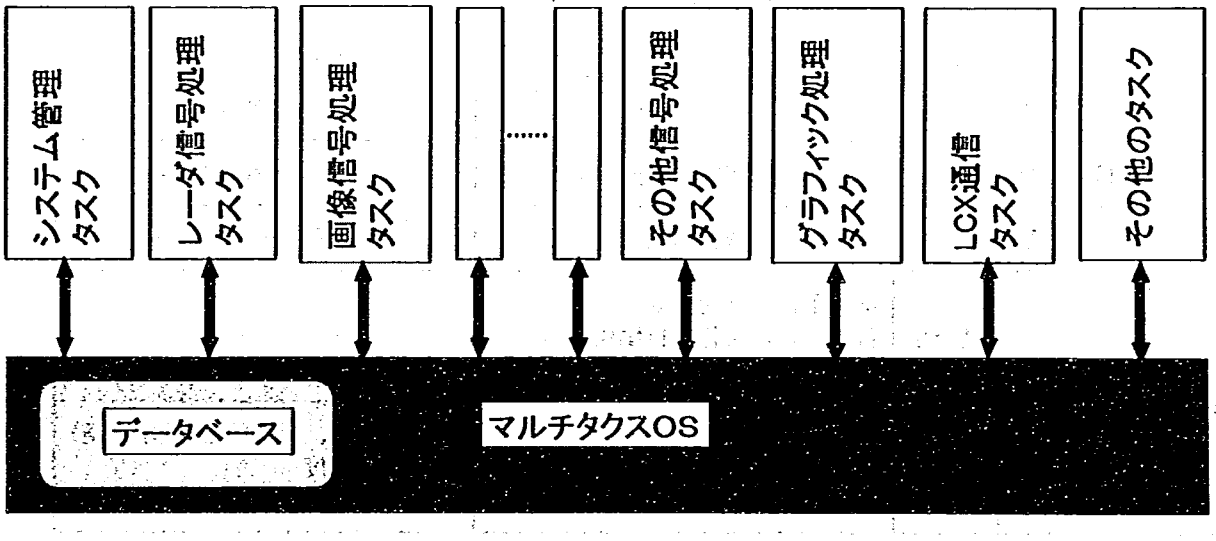


項目	仕様
検出範囲	±450(mm)
基準車高値	150(mm)
チャンネル数	3(ch)
チャンネル間隔	250(mm)

③ソフトウェア構成

本実験車のソフト構成は、図表(3.3.2) 4-7に示したようにレーダ、画像処理等の信号処理及び、グラフィック処理等の複数のタスクをマルチタスクＯＳ上で実行する。これらのタスクは、ハードウェアに直結した処理を行い、さらに、ＯＳが管理する共通のデータベースを各タスクがアクセスすることによって、タスク間通信を行っている。そのため、各タスクは他のタスクに影響を与えにくく、自由度の高いプログラミングが可能である。また、実行するタスクの変更、追加、削除が容易であり、ハードウェアに異常が生じた場合であっても対応するタスクのみを停止することができるなど、信頼性の高いシステムを構築することができる。

図表(3.3.2) 4-7　ソフトウェア構成



④車車間通信

400MHz帯出力10mWの特定小電力通信機により車両間の通信を実現している。使用した通信機は、連続送信可能なテレメータ仕様のもので、100m程度であれば通信可能である。通信は先行車から後続車への一方向とし、先行車の位置と車速を後続車へ送信している。また、情報処理ＰＣ内においてエラー訂正を行っており、質の高い通信を実現している。

図表(3.3.2) 4-8　車車間通信機能の概要

使用通信機

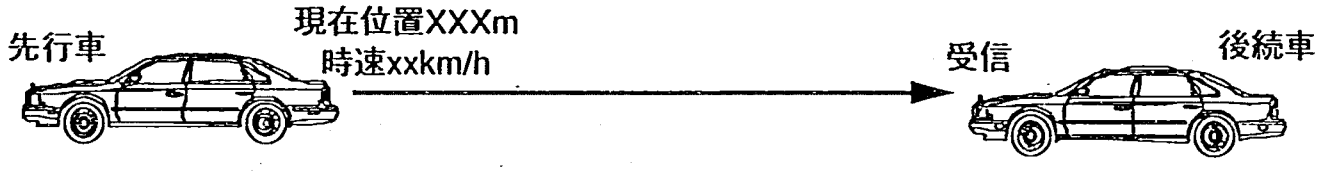
テレメータ仕様特定小電力データ通信機を使用

・使用周波数：400MHz帯　　・送信出力：10mW（通信エリア半径100m）

・伝送速度　：4800bps　　・通信周期：100ms

・通信内容

車両位置、車速



⑤情報表示仕様

a)報知仕様

7)ＬＣＸ情報種類

ＬＣＸに対し、車両側無線器／信号処理装置を介して送受される情報を図表(3.3.2) 4-9に示す。下りデータとして自動運転時の指示速度、道路線形、上りデータとして車両位置／速度を中心に通信が行なわれる。また上位装置からの緊急メッセージも受信される。

図表(3.3.2) 4-9　ＬＣＸ情報

		短期サイクルデータ更新	長期サイクルデータ更新
サイクル周期		０．１ｓｅｃ	０．５～数ｓｅｃ
情報形態		連続変化情報中心	イベント情報中心
情報量		約３０Ｂ	１００Ｂ～数十ＫＢ
自動運転システム	路→車	車両ＩＤ、車両位置 自動両異常情報、自動両速度	―――
	路→車	―――	ＬＣＸ位置、道路線形(曲率半径) 走行指示速度 上位指示緊急メッセージ

ｲ)報知手段/コンセプト

情報提供システムで記述した様に、本システムでは、ＨＭＩとして

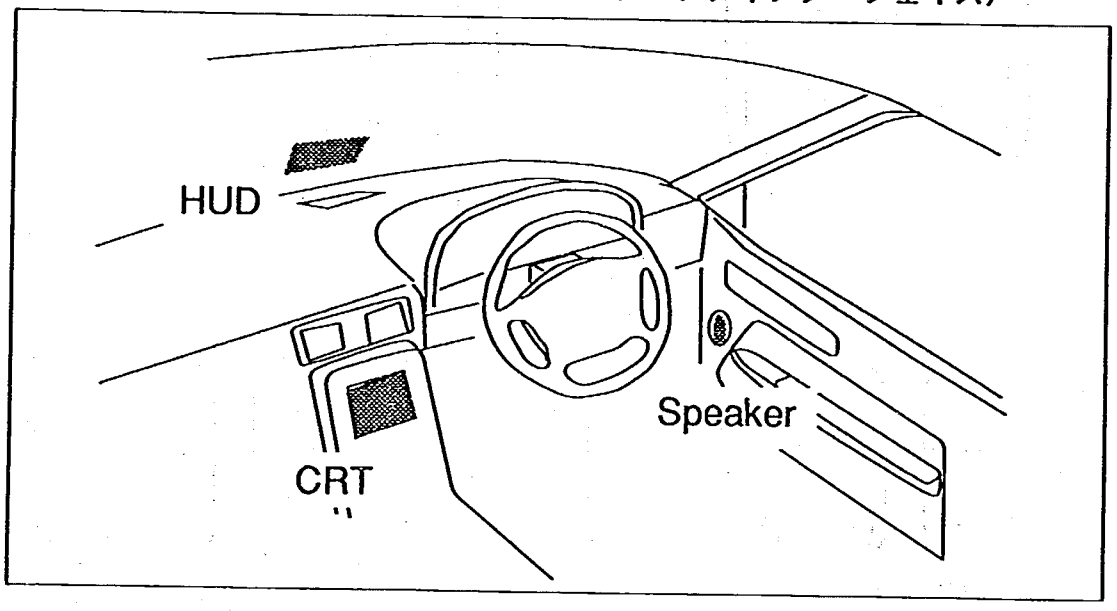
・緊急性の高い情報にはドライバの視線移動が少ないＨＵＤ

・より詳しい詳細情報を知りたい場合にはＣＲＴ表示

・ドライバに注意を喚起させる場合には音／音声

を基本に情報提供を行なっている。これらの機器の車載概要を図表(3.3.2) 4-10に示す。

図表(3.3.2) 4-10　ＨＭＩ（ヒューマンマシンインターフェイス）



自動運転系における情報提供の考え方として、

・自動運転作動開始／終了時、操作手順の誘導
・出発／走行中／停止時、システム作動状態の表示

を行なうことにより、

・システム開始／終了操作ミスの解消
・走行中のシステム作動把握による不安感軽減

による安全性向上とシステム動作違和感軽減が期待できる。

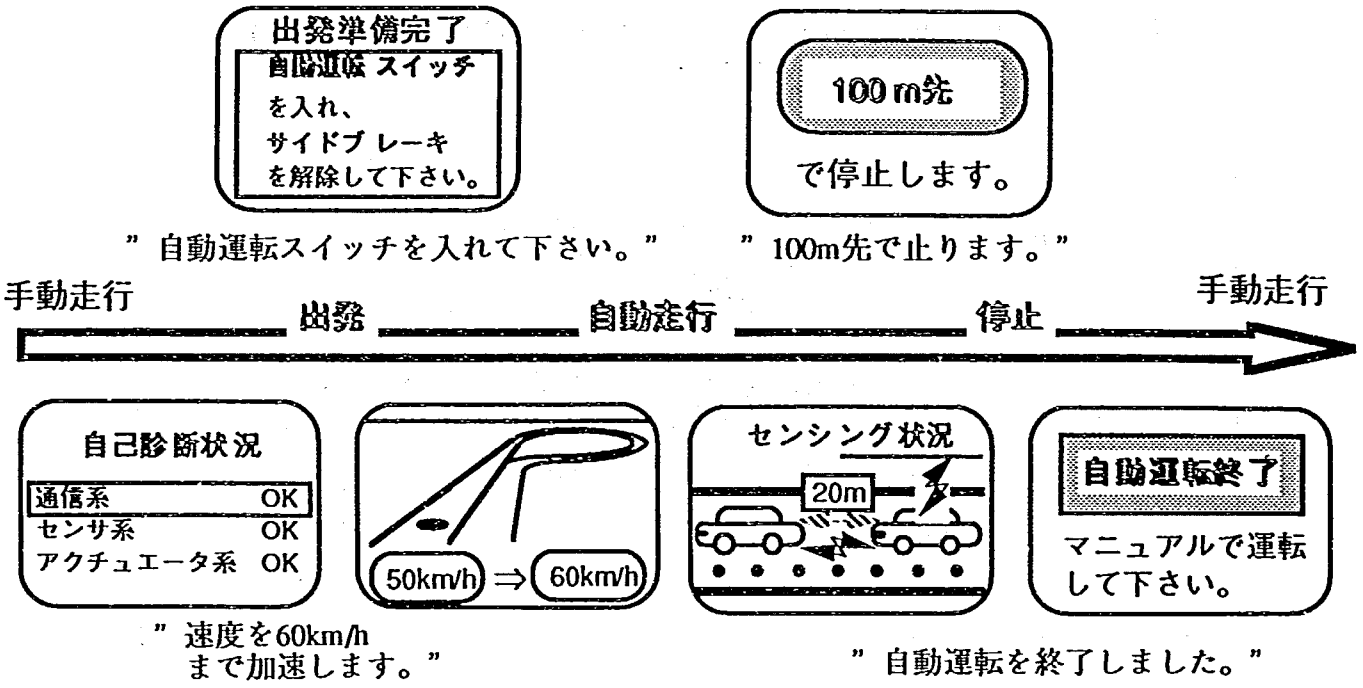
⑥情報提供例

表示は、システム動作が容易に分かること、システムの現在の状態を把握できることを重点に、

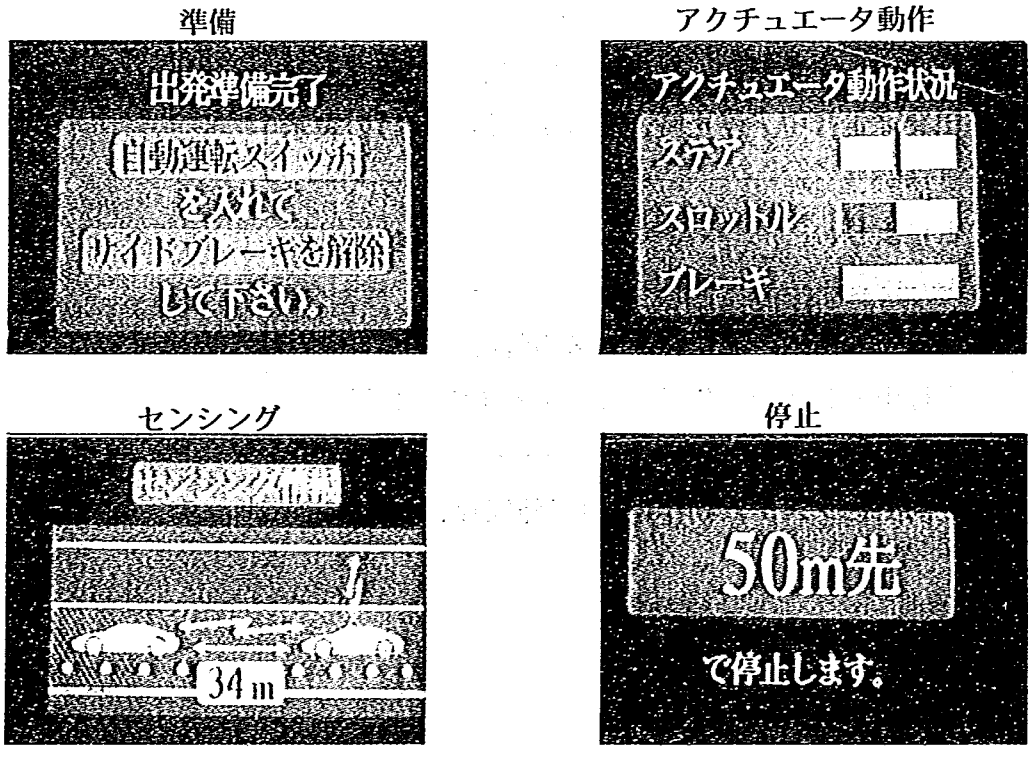
手動走行→自動走行→手動走行

という走行プロセスにおいて、ドライバにとって違和感の無いシステムを実現するようにした。図表(3.3.2) 4-11は、走行プロセスに於ける情報提供表示の流れ、図表(3.3.2) 4-12は、実際に表示される代表例を示している。

図表(3.3.2) 4-11 表示プロセス



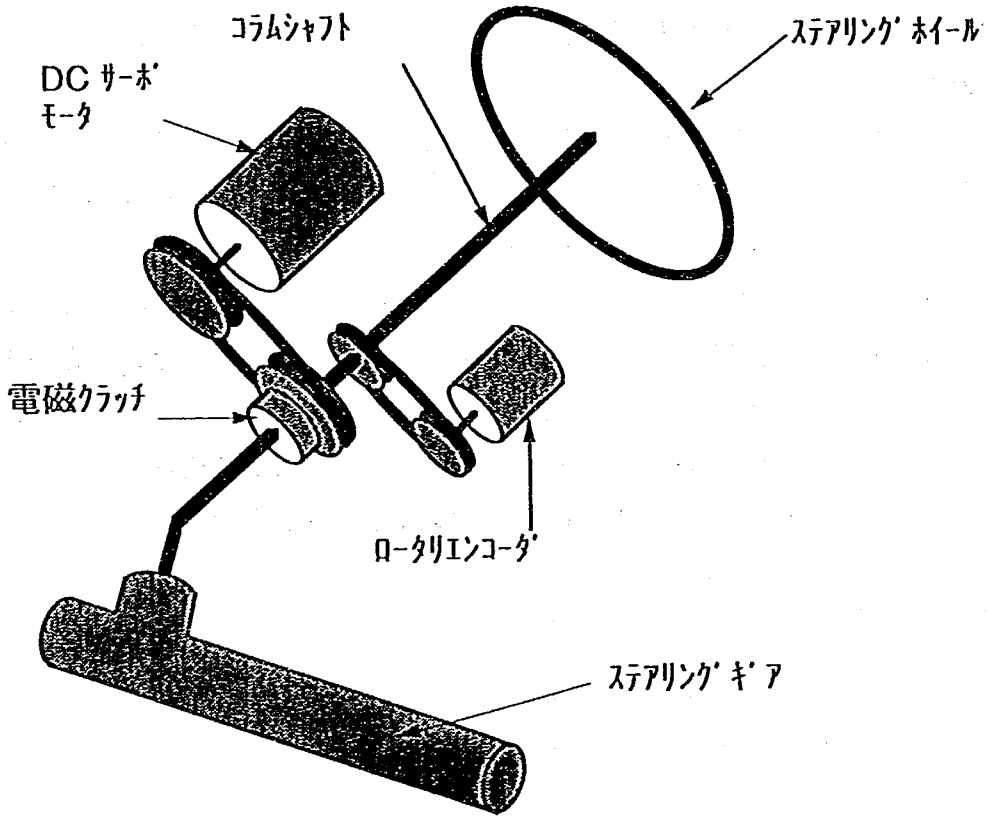
図表(3.3.2) 4-12 表示例



⑦車両制御機器

スロットル、ブレーキ、ステアリングには電子制御アクチュエータを連結して、車両制御ＰＣによって制御される。これらアクチュエータは、緊急時には、ドライバが手動運転操作できるように構成されている。スロットルアクチュエータはＤＣモータがワイヤを介してアクセルドラムを開閉するオートクルーズコントロール用のものを使用している。ブレーキアクチュエータはトラクションコントロール用のものを改造して４輪にブレーキがかかるようにしたが、小さな減速度で群走行を行なう場合は、制御精度を上げるため後輪のみを制御することとした。ステアリングアクチュエータは、ＤＣサーボモータとクラッチを用いて、図表(3.3.2) 4-13の構成にしている。

図表(3.3.2) 4-13　ステアリングアクチュエータ



（３）制御手法

①前後制御

車間距離制御は車間時間ｔ₀を一定にするように制御される。車間時間ｔ₀は約１秒に設定した。

図表(3.3.2) 4-10に車間制御の制御ブロック図を示す。また、駆動側の車両の動特性をGt(s)、制動側の車両の動特性をGb(s)とし、

Gt(s)=Gc(s)*Gb(s)

となるようなGc(s)を導入することにより、制動側駆動側によらず単一のフィードバックゲインで制御全体を構成できる。そして、通常のＰＩＤ制御の設計手法に基づいてＰＩＤのフィードバックゲインを求めた。

目標減速度がエンジンブレーキで発生可能な減速度であるならブレーキは作動させない。したがって、

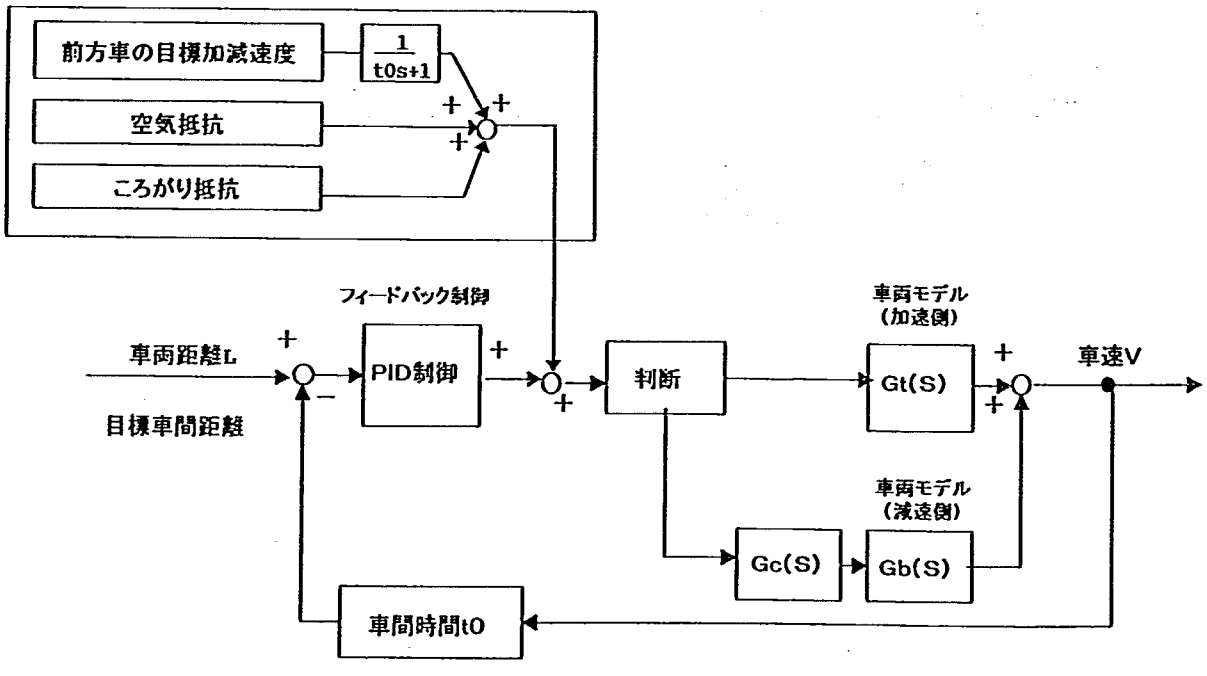
(エンジンブレーキで発生可能な減速度)＞＝(目標減速度)　ならば　スロットル制御のみ

(エンジンブレーキで発生可能な減速度)＜(目標減速度)　ならば　(目標ブレーキ圧力)＝(定数)＊｛(目標減速度)-(エンジンブレーキで発生可能な減速度)｝

として、減速度の不足分を補うだけのブレーキ制御を行なう。

一方、車間時間をｔ₀秒にするということは、先頭車の目標加減速度Ｇ１＊の１次遅れを追従車の目標加減速度Ｇ２＊にするということに他ならない。先頭車の目標加減速度Ｇ１＊は車車間通信により、先頭車から後続車に伝達される。更に、空気抵抗、ころがり抵抗が考慮されてフィードフォワード項が構成される。

図表(3.3.2) 4-10　車間制御の制御ブロック図



②側方制御

本システムでは、磁気ネイルセンサと画像処理装置とからの信号に基づいてレーンキープ操舵制御を行なっている。まず、磁気ネイルに対する車両の横変位信号に応じて操舵制御する場合について記す。操舵制御システムは図表(3.3.2) 4-11に示すようにフィードフォワード部とフィードバック部から構成されている。

フィードフォワード部は、予め与えられる目標コースの曲率情報をもとに決定した。

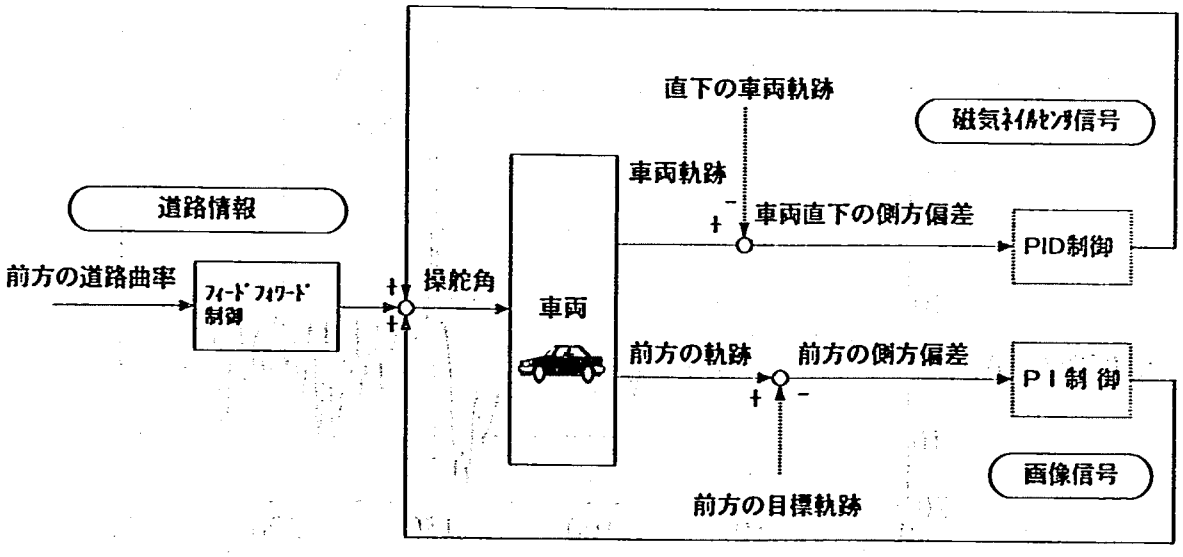
フィードバック部は、本システムが１入力１出力系なのでＰＩＤの古典制御に基づいて制御系を構成をした。

ＰＩＤ制御では制御関数の形に拘束条件があるので、極配置を任意の位置には設定できない。比例定数が増大すると、減衰性が悪化し、性能の成立範囲が狭くなってしまう。このようにハイゲイン化できないために、耐外乱安定性とライントレース性能の両立がはかれる領域に制御定数を設定した。

次に、画像情報に基づいた制御について記す。画像情報に基づいた制御では、前方での横変位をフィードバックする。この方式では原理的にヨー角による横変位も含まれるため、ヨー角フィードバックが存在することになる。そのため系の安定性が充分確保され、比例定数を増加することが可能になる。

画像センサと磁気ネイルセンサとを比較すると、画像センサは光学系のセンサであるために雨や日差しといった環境の影響を受けやすいという欠点がある。一方、磁気ネイルセンサによる制御は、車両が一旦磁気ネイル上からはずれてしまうと元にもどれないという欠点がある。したがって、基本的には磁気ネイルセンサの情報を基に横制御を行ない、何らかの理由で磁気ネイルの情報が途絶えた場合には、画像情報による制御に切替わるようにした。

図表(3.3.2) 4-11　側方制御の制御ブロック図

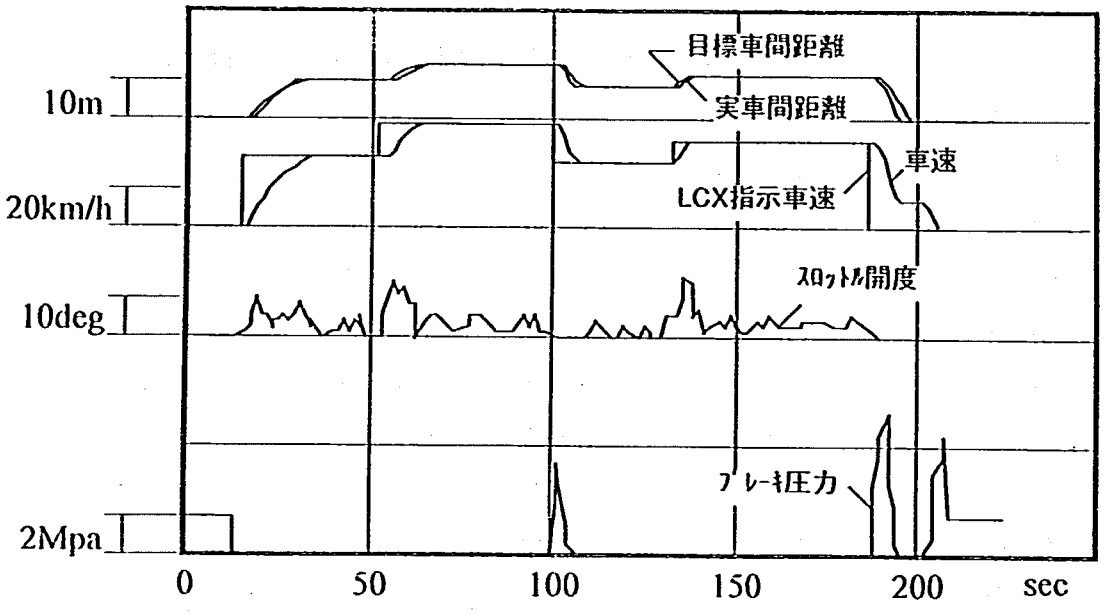


（4）性能評価結果

①車間制御

図表(3. 3. 2) 4-12に車間制御結果を示す。目標車間距離によく追従しており、発進から停止まで±１mの制御精度を確保している。

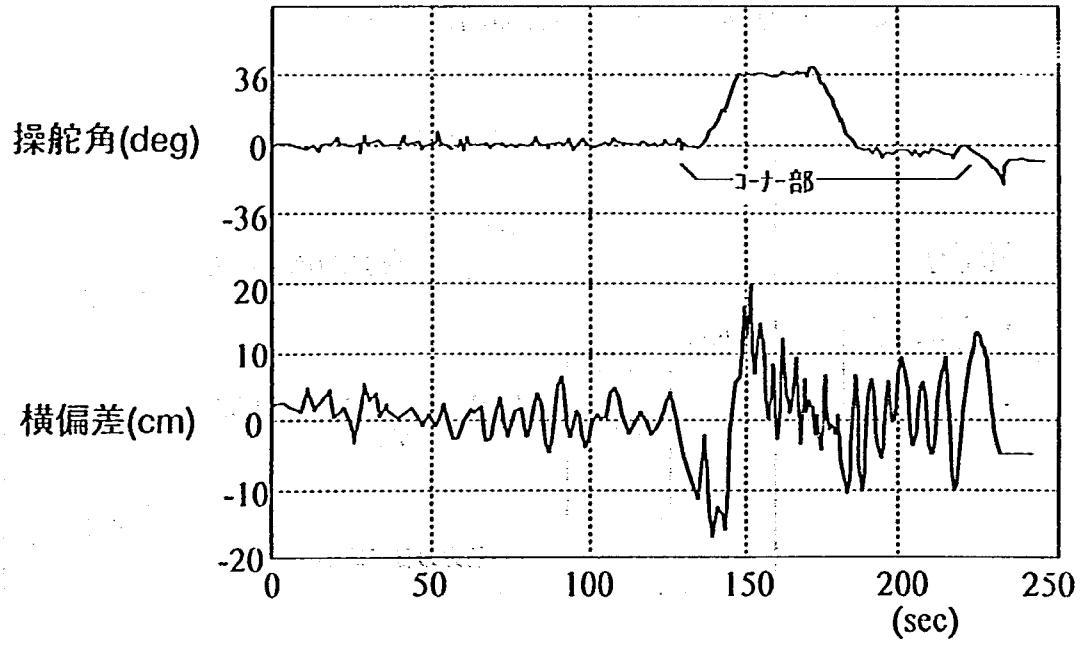
図表(3. 3. 2) 4-12　車間制御の実験結果



②側方制御

図表(3. 3. 2) 4-13に車間制御結果を示す。直線部では、積分制御の効果で定常偏差をゼロに制御している。一方、曲線部に進入するときには±20cm程度の制御精度を確保している。

図表(3. 3. 2) 4-13　側方制御の実験結果



5）実験車その４（三菱自動車工業株式会社・三菱電機株式会社）

（１）車両機能

本システムは、ＬＣＸ通信による道路側からの走行指示に基づき、ハンドル、エンジン出力、ブレーキを総合的に制御し、安全快適な自動走行を可能にするシステムである。

ハンドル制御は、磁気ネイルセンサシステム及び画像処理によるレーン認識で得られた車両横位置情報をもとにレーン中央を走行するように制御する。エンジン出力及びブレーキ制御は、ＬＣＸ通信から得られる指示車速で走行するように制御する。これらの制御により、短い車間距離での群走行を行う機能、ＬＣＸからの緊急停止指示に対応し自動停止する機能、障害物の前で安全に自動停止する機能を実現している。

自動走行時にも、ドライバの意志によるハンドル操作、加減速操作のオーバーライドは可能であり、この場合すぐに自動走行制御は中断する。

図表(3. 3. 2) 5-1　自動運転基礎実験車両外観



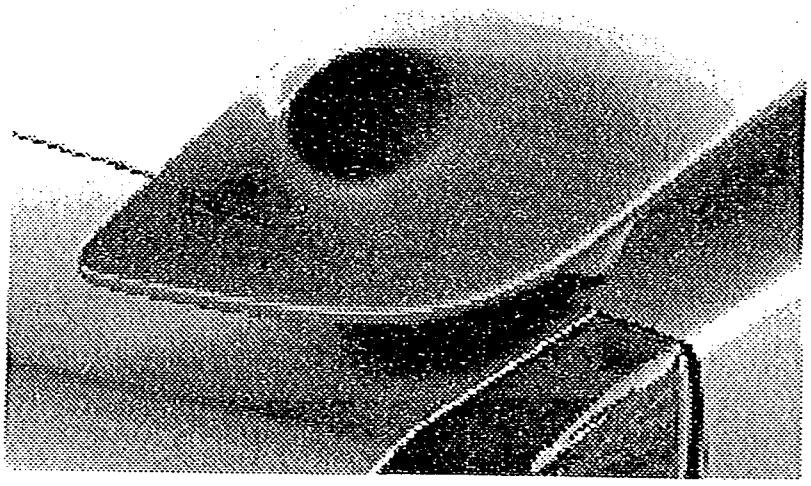
（２）機器構成

①通信機器

a)路車間通信

路車間通信は、前方道路の状態、事故情報、走行指示車速を受信し、さらに、車両状態を地上へ送信するために使用する。路車間通信機器は前記のＬＣＸ装置を用い、車載の情報処理機器とシリアル通信を行って、情報のやりとりを行う。

図表(3.3.2) 5-2　ＬＣＸアンテナ搭載状況（リアスポイラー内）



b)車車間通信

車車間通信は、先行車情報を追従車に送ることにより、短い車間距離での群走行を安全に行うため、及び、追従車の走行状態を先行車に送り、群走行管理を行うために使用する。車車間通信機器は430MHz帯の小電力無線機を使用しており、100msec周期で双方向通信を行っている。車車間通信の内容を図表(3.3.2) 5-3に示す。

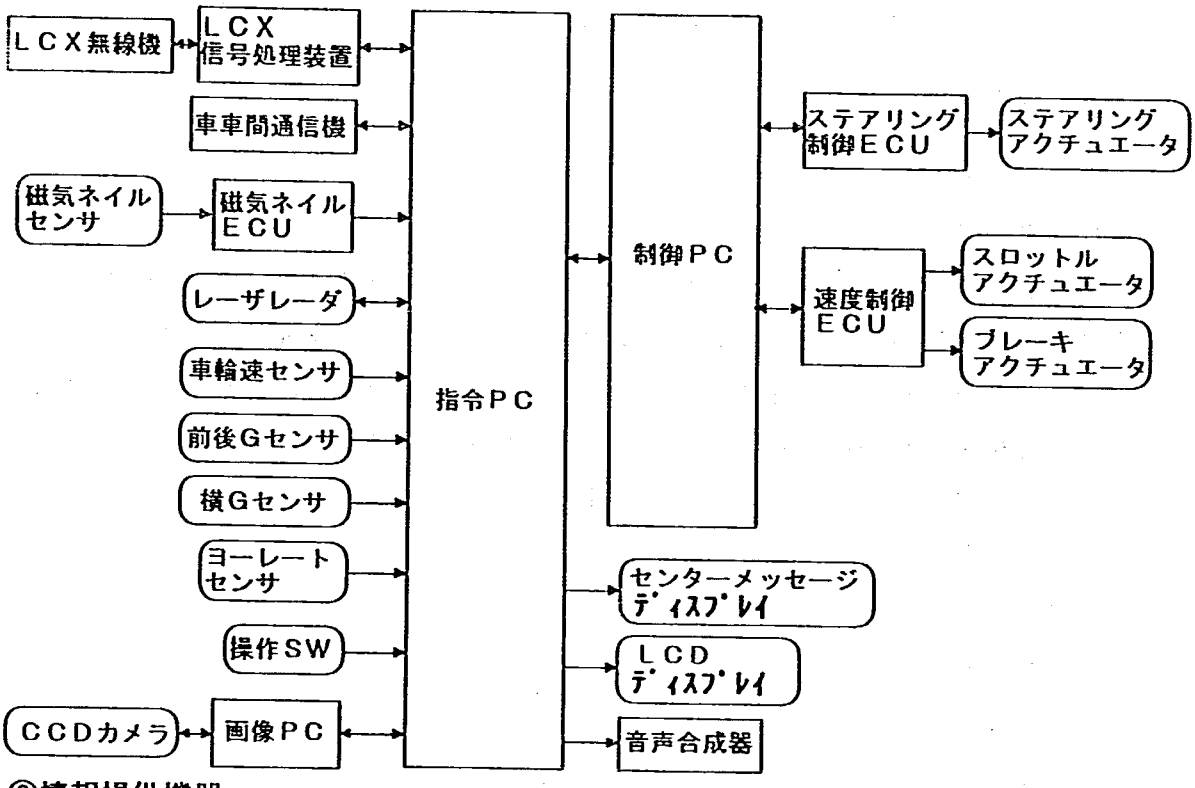
図表(3.3.2) 5-3　車車間通信

通信方式	小電力無線　４３０ＭＨｚ
通信出力	１０ｍＷ
通信速度	４８００ｂｐｓ
最大通信距離	１００ｍ（見通し）
通信周期	１００ｍｓｅｃ
通信データ	車両ＩＤ、速度、加速度、ブレーキ圧力 スロットル開度、車両準備状態　など　１５バイト

②情報処理機器

車載の情報処理機器のシステム構成を図表(3.3.2) 5-4に示す。様々な情報を判断して走行指令を出す指令コンピュータとアクチュエータ制御のための制御コンピュータ、レーン認識のための画像処理コンピュータからなり、計算の負荷を分散し、相互監視をすることにより高信頼性化を図っている。

図表(3.3.2) 5-4　情報処理機器システム構成図

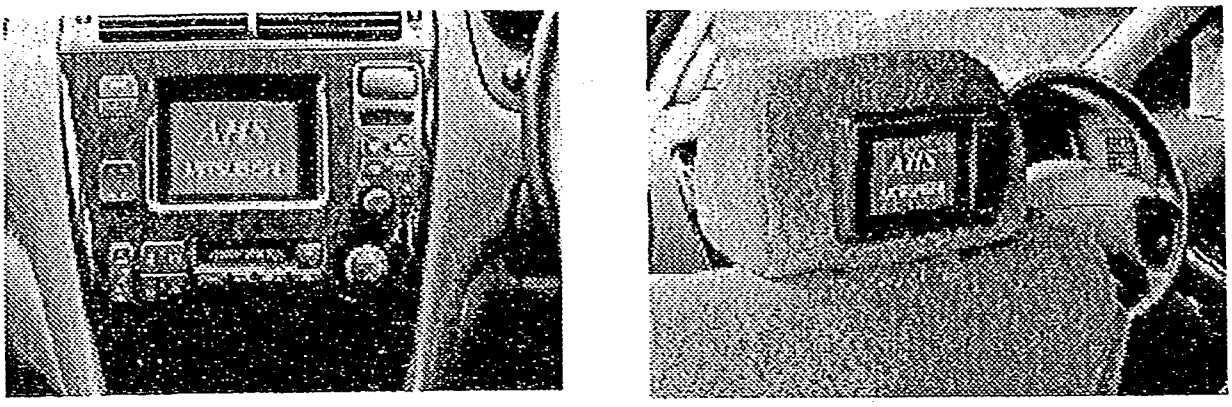


③情報提供機器

インストゥルメンタルパネル中央の６インチＬＣＤに画像処理による走行レーン認識状況を表示した。後席搭乗者に走行状況がわかりやすいように、運転席、助手席ヘッドレスト後面に５インチＬＣＤを装着し、情報提供を行った。また、インストゥルメンタルパネル上部センターメッセージディスプレイにも、現在車速、車間距離、ＬＣＸ区間を表示した。

これら画像による情報提供以外に、発進時、次のＬＣＸ区間進入時、自動停止時、緊急停止時に音声で案内を行った。

図表(3.3.2) 5-5　情報表示ディスプレー



（３）車両制御手法

①車両制御機器

a)ＣＣＤカメラ

走行レーン認識用にルームミラー内に埋め込んだ小型ＣＣＤカメラを使用した。カメラレンズには偏向フィルタ、ゴム製フードを装着し、逆光時にも前方画像がコントラスト良く撮影可能な様にした。本カメラは量産車搭載品をそのまま使用しており、高信頼性化を図っている。ただ、土木研究所テストコースのカーブを認識可能な様にカメラレンズは広角レンズを使用した。

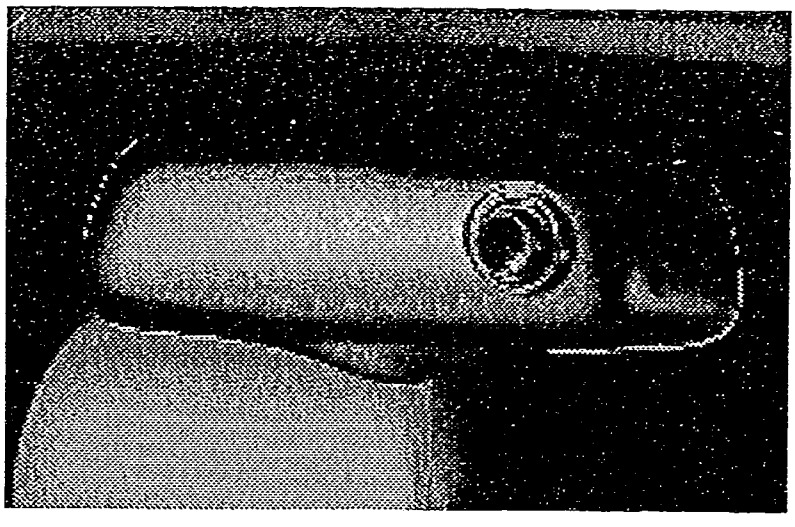
[仕様]

画素数　　：25万画素

水平画角　　：46deg

最低被写体照度：5lux

図表(3.3.2) 5-6　ルームミラー内のＣＣＤカメラ



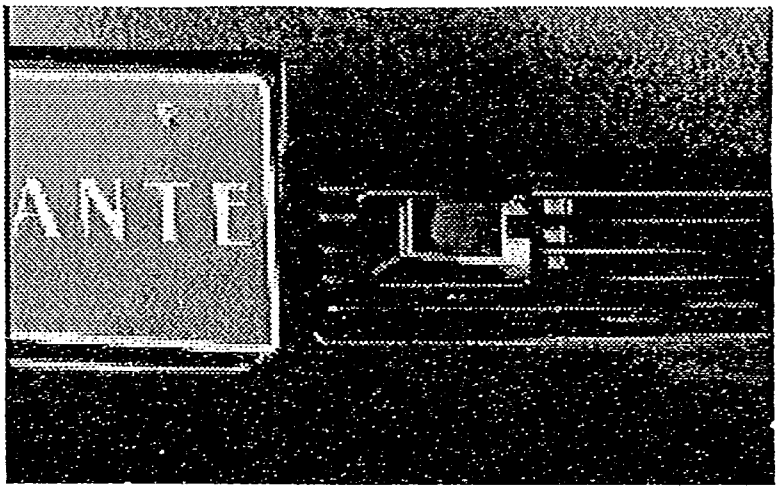
b)レーザレーダ

車間距離計測及び障害物認識用にフロントグリル内に搭載したスキャンタイプレーザレーダを使用した。本レーザレーダは細いレーザビームを左右に素早く振ることにより、対象物までの距離だけでなく方向も検出し、カーブ路や、複数車線の道路での車間距離計測などを精度良く行うことができる。本レーザレーダは量産車搭載品を無改修で使用しており、高信頼性化を図っている。

[仕様]

形式　　：ビームスキャンタイプ赤外レーザレーダ（波長850nm）
最大計測距離　：100m以上
距離精度　　：±1m
水平スキャン角：12deg
垂直ビーム角　：4deg
スキャン時間　：150msec
水平ビーム本数：80
方向分解能　　：0.15deg

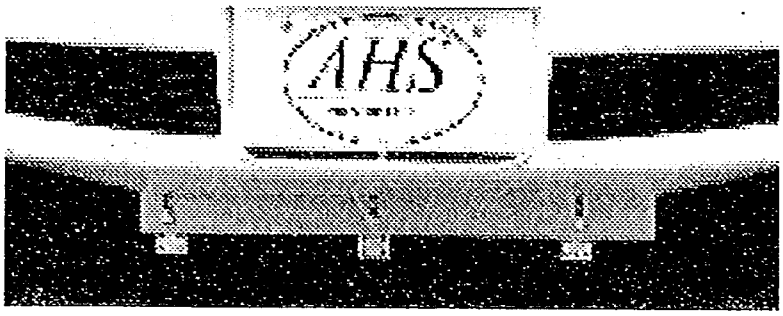
図表(3.3.2) 5-7　スキャンタイプレーザレーダ



c)磁気ネイルセンサ

車両前端部に磁気ネイルセンサを装着し、車両の左右方向位置の計測及び操舵制御に用いた。計測可能な横位置は±45cmであり、この横ずれ情報がアナログ電圧で、磁気ネイルの極性がデジタル出力で出力される。

図表(3.3.2) 5-8　磁気ネイルセンサ



d)ステアリングアクチュエータ

自動操舵には、量産車に使われている信頼性の高いＤＣモータ使った電動パワーステアリング用ステアリングシャフトを採用した。ハンドル角の位置制御のため、ステアリングシャフト先端にポテンショメータを装着した。また、制御性を高めるためモータと同軸にパルスエンコーダを組み込み速度フィードバックを行った。

モータとステアリングシャフトの結合部にはクラッチが入っており、異常時にはすぐに自動制御が切れる構造となっている。

[仕様]

形式　　：ＤＣモータ
定格電圧　：12Ｖ
定格出力　：200Ｗ
最大回転数：1800rpm

e)ブレーキアクチュエータ

自動ブレーキのアクチュエータには、ブレーキブースタの負圧を制御するタイプの電子制御負圧ブースタを使用した。ブレーキ力の制御は車体減速度のフィードバックを行っている。本システムでは、アクチュエータが作動時にもドライバのブレーキ踏み増しが効く様な構造になっている。フェールセーフのため、ブースタ駆動用電磁バルブを２重系とした。

[仕様]

形式　　：電子制御負圧ブースタ
最大減速Ｇ：0.6Ｇ
応答遅れ　：100msec

f)スロットルアクチュエータ

スロットル制御用のアクチュエータには、量産車のオートクルーズシステムに使われている信頼性の高い負圧式アクチュエータを採用した。本システムでは、アクチュエータが作動時にもドライバのスロットル踏み増しが効く様な構造になっている。

〔仕様〕

形式　　：負圧直動型オートクルーズアクチュエータ

応答遅れ　：50msec

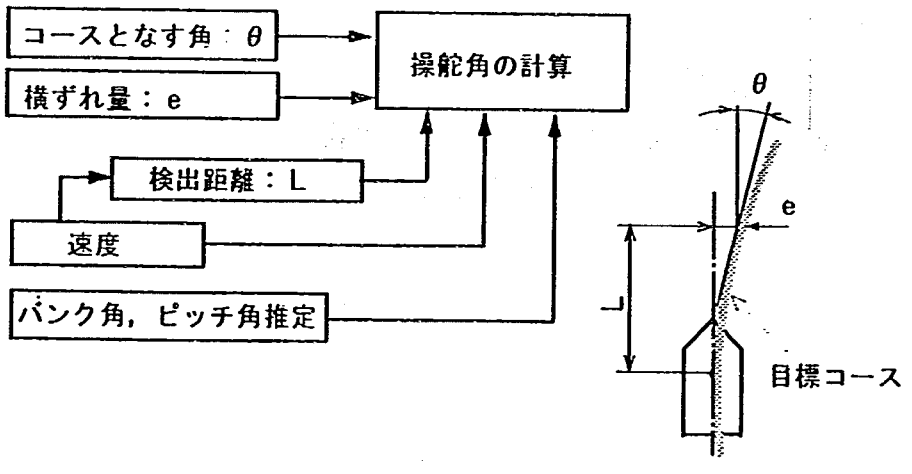
②操舵制御

操舵制御は画像処理による走行レーン認識と磁気ネイルによる横位置検出を組み合わせて行った。組み合わせる手法は、画像処理による走行レーン認識をメインとして、画像処理精度が低下した場合や、逆光などの悪条件下で画像処理が不可能となった場合に、磁気ネイルによる方法に切り替えた。

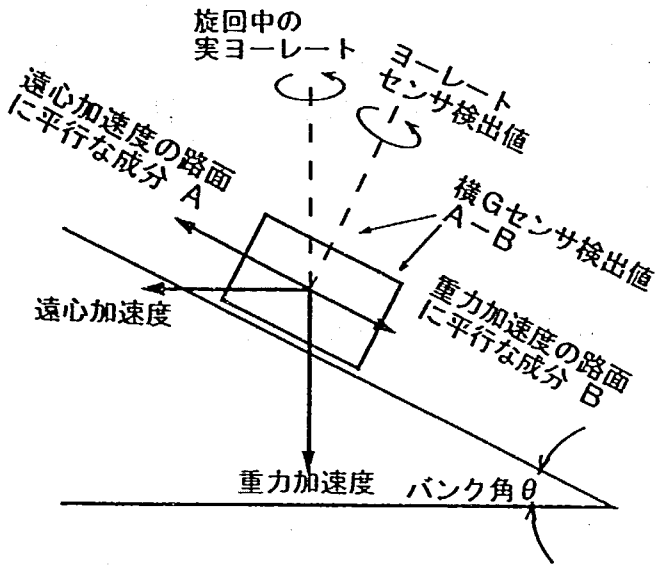
まず、画像処理による方法は、図表(3.3.2) 5-9に示す様にカメラから得られる画像情報から、車両の横ずれ量とコースとなす角とを算出し、これらをフィードバックして操舵角制御を行った。この際、加減速に伴うピッチ角変化の影響及び、カーブ走行中のバンク角の影響を補正するために、ピッチ角及びバンク角をリアルタイムで推定した。このうち図表(3.3.2) 5-10にはバンク角の推定方法を示す。推定方法は、ヨーレートセンサ及び横Gセンサを用いて、幾何学的に定まる力の釣り合いを求める方法である。

磁気ネイルによる操舵制御は磁気ネイルセンサから得られる横位置と、これから計算される横位置の変化率をフィードバックして行った。

図表(3.3.2) 5-9　操舵制御手法



図表(3.3.2) 5-10　バンク角推定方法

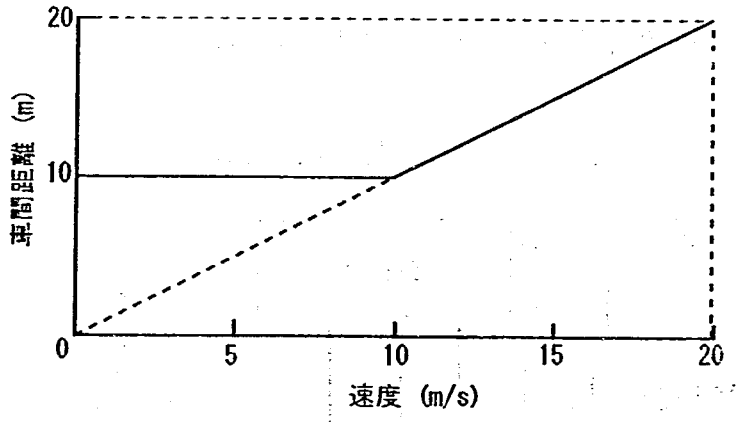


③速度制御

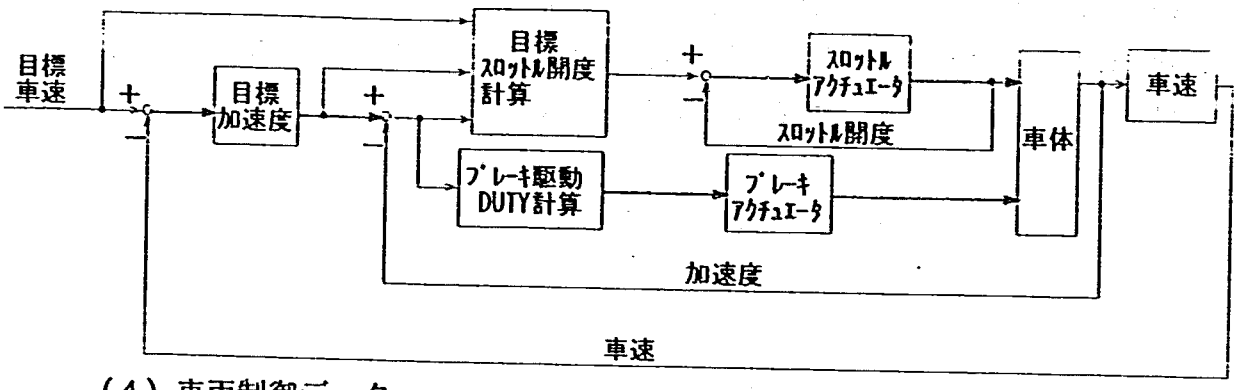
図表(3.3.2) 5-11に示すように、群走行での車間距離は車間時間で1秒に設定した。ただし、画像処理によるレーン認識を行っているため、10m以下の車間距離では先行車の車体により白線が見えなくなるので、速度10m/s(36km/h)以下では固定値の10mとした。

速度制御は図表(3.3.2) 5-12に示すように、車車間通信で得られる先行車の速度、加速度から目標車速を計算し、スロットルとブレーキに指示を送るフィードバック系を構成した。

図表(3.3.2) 5-11　設定車間距離



図表(3.3.2) 5-12 速度制御ブロック図



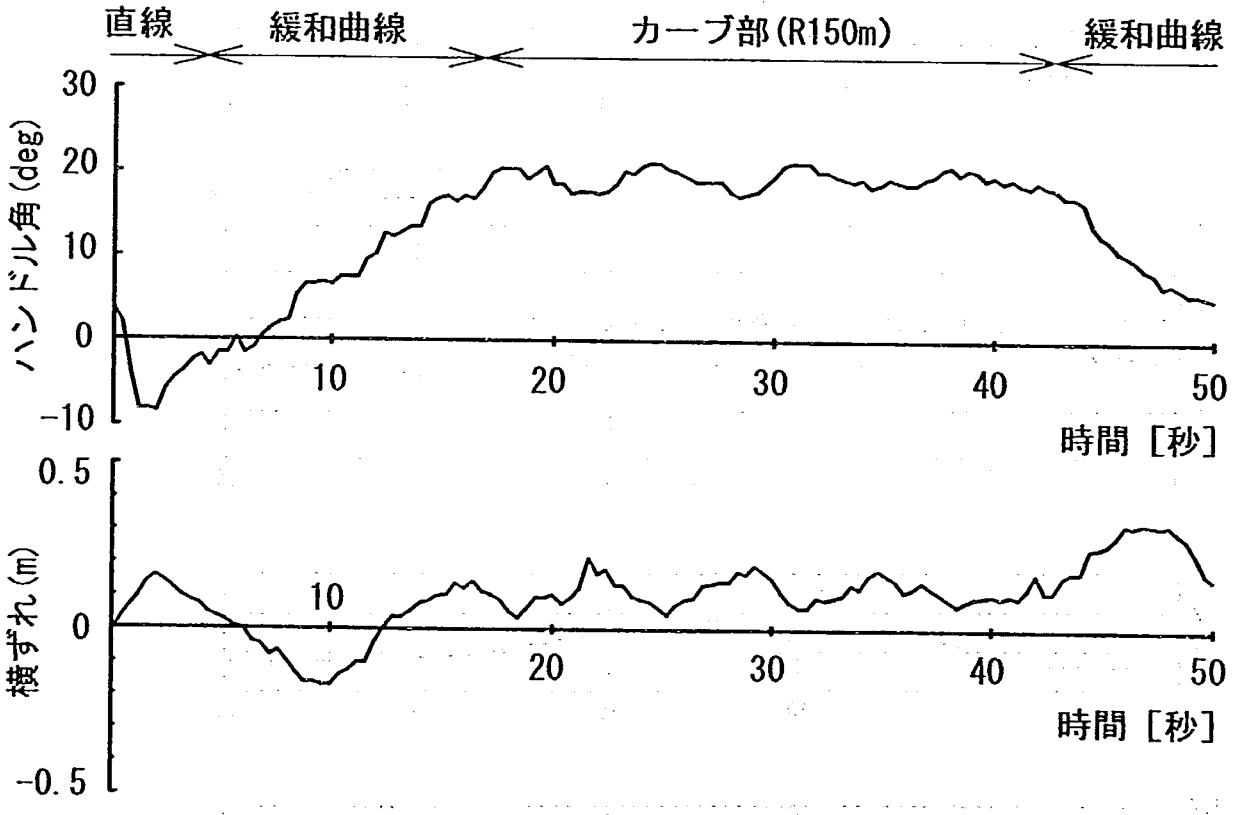
（4）車両制御データ

①横変位量

自動走行中の横ずれは、直線、カーブとも±20cm以内に収まった。図表(3.3.2) 5-13には、カーブ走行中のハンドル角と横ずれを示す。バンク角補正が効いて横ずれが大きくなっていない。

図表(3.3.2) 5-13 カーブ走行中の横ずれ量

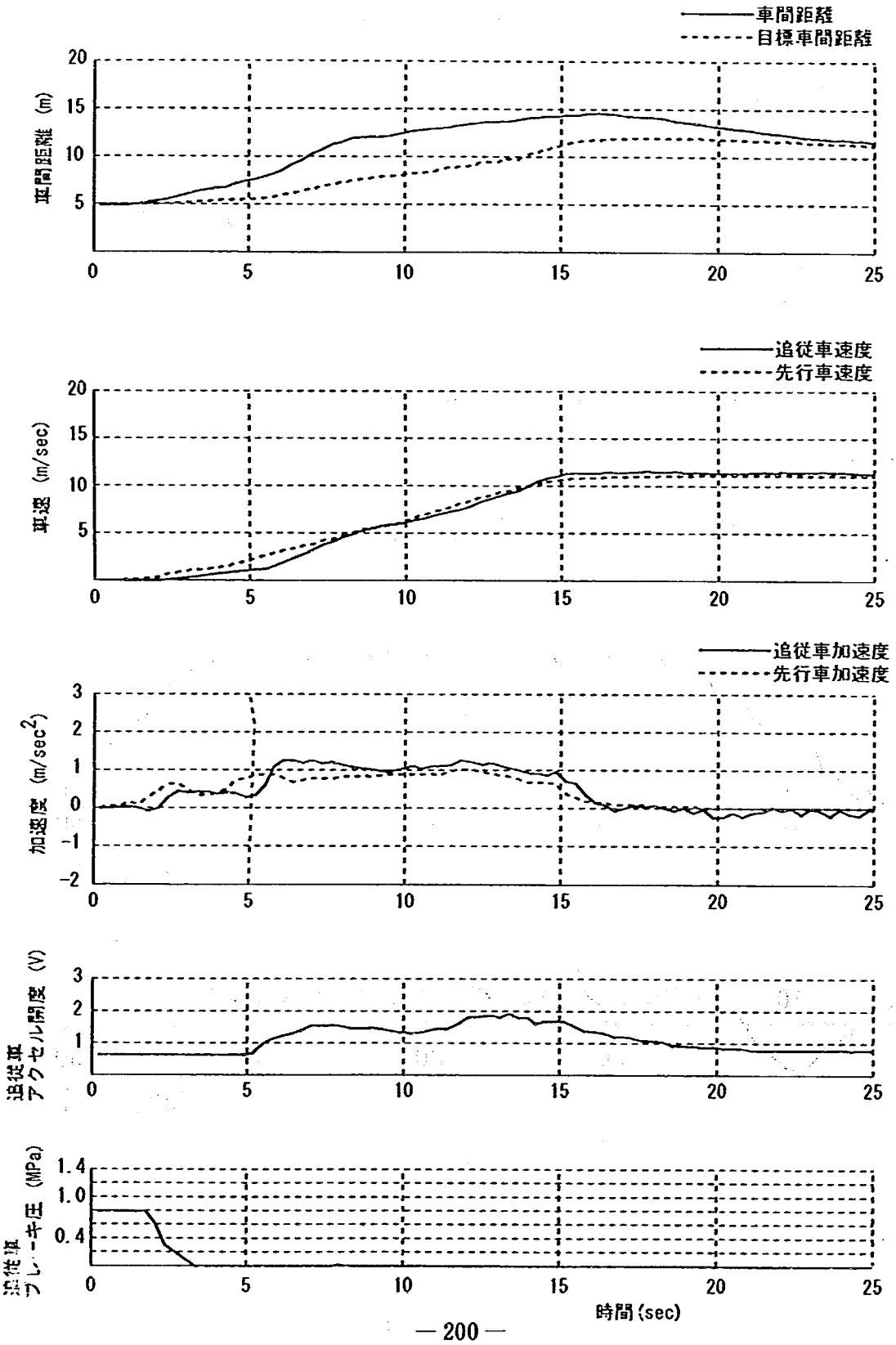
車速 50km/h



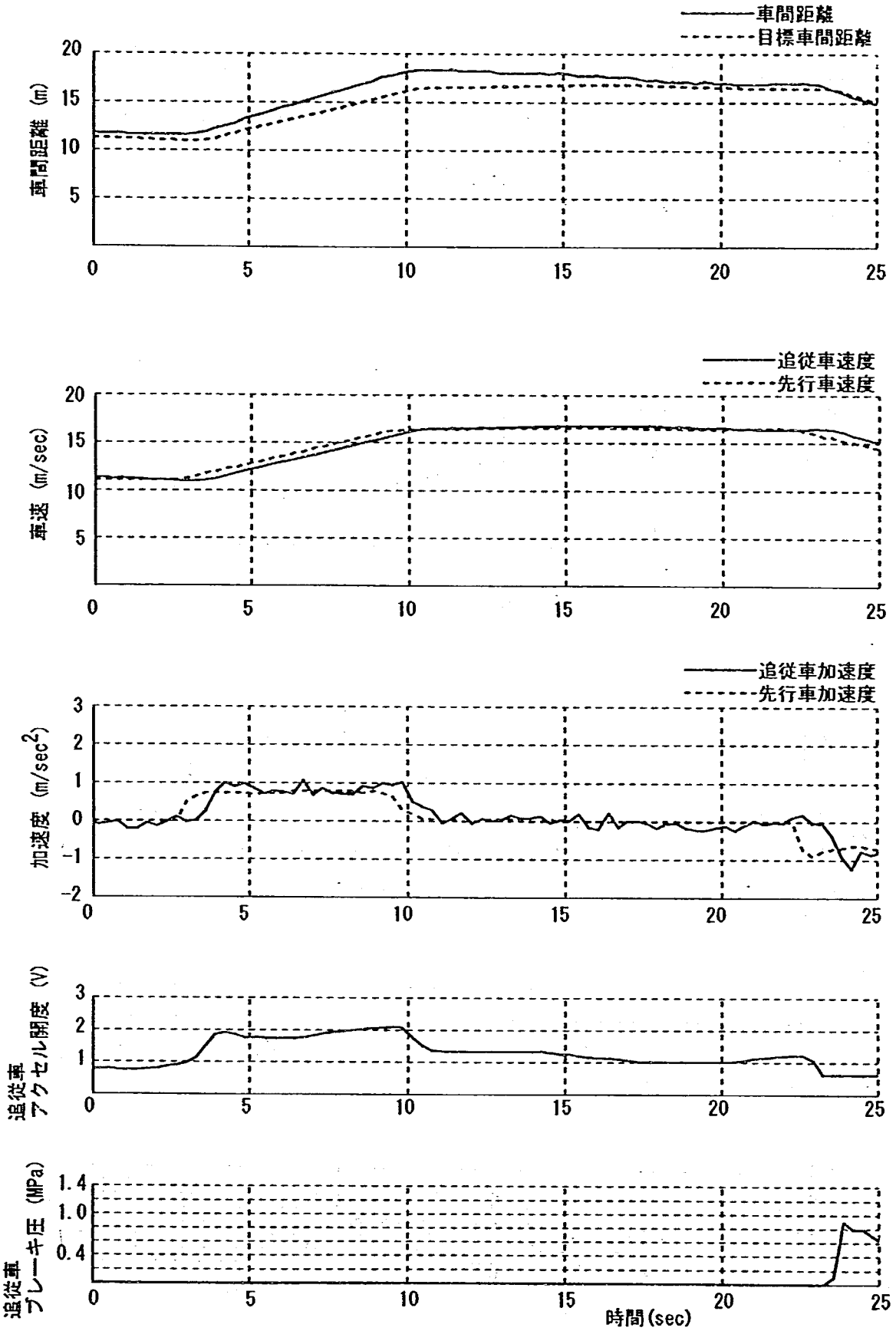
②設定車間距離と変動量

図表(3.3.2) 5-14から図表(3.3.2) 5-17に、群走行時の、発進、中間加速、中間減速、停止の速度制御データを示す。発進時には実車間距離が目標車間距離より5mほど延びるが、その他の場合は±2m以内に収まった。

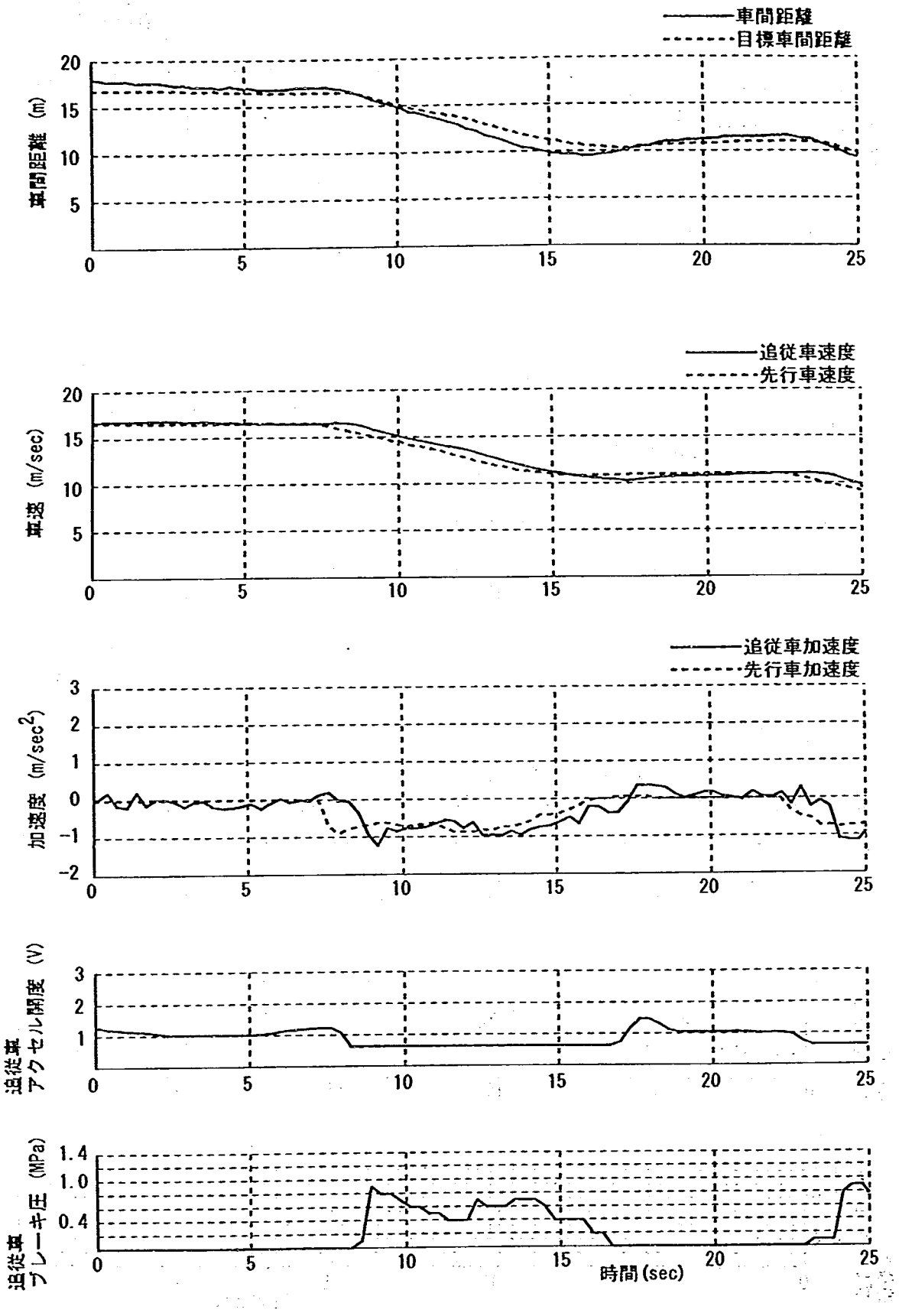
図表(3.3.2) 5-14　発進時速度制御データ（0→40km/h）



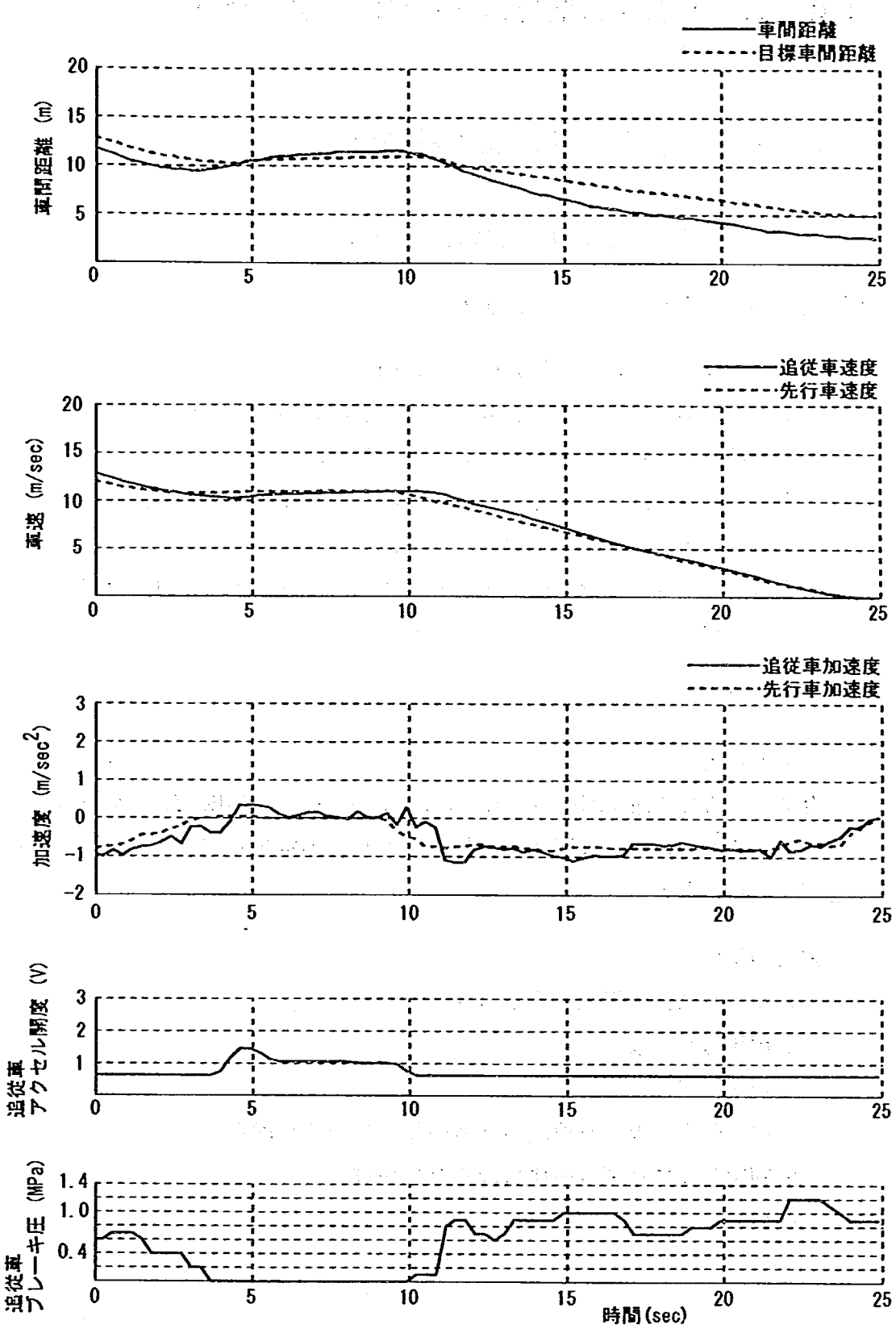
図表(3.3.2) 5-15　中間加速時速度制御データ (40→60km/h)



図表(3.3.2) 5-16　中間減速時速度制御データ (60→40km/h)



図表(3.3.2) 5-17　停止時速度制御データ (40→0 km/h)



4章　AHS開発のための基礎検討、実験項目

4．1　インフラセンサに関する検討

4．1．1　画像センサによる道路、交通状況把握のための各種事象把握実験

1）画像処理による渋滞監視システム

（1）インフラ班（渋滞監視）の活動目的

渋滞監視の高精度化、1センサ当たりの計測範囲拡大を目的に、以下の点についての技術的見通しを得る事を活動の目的とした。

・カメラの映像から渋滞そのものを計測し、渋滞の発生と解消を検出する。

・渋滞の発生、解消を検出可能な最大距離を見極める。

・1台のカメラの撮影範囲を超えるような渋滞は、複数のカメラ（カメラ間リンク）を用いて計測する方法を検討する。

（2）実験

①実験の目的

カメラからの映像を画像処理し、渋滞の発生／解消検出、ならびに検出囲（距離）を検証するために、一般国道の画像を収録し、判定アルゴリズムの検討を行うことを実験の目的とする。

②実験の手順

1. 検証用映像撮影現場選定（現場下見含む）
2. 現場撮影段取り確認
3. 現場撮影
4. 撮影映像の編集＆検証用共通映像（ビデオ）配布
5. 判定アルゴリズムの検討ならびに検証
6. 纏め

③現場撮影状況

・実施日時　：平成８年１月17日（水）6:30～20:00

・天　　候　：薄曇り

・収録担当　：a)新宿１号橋　　：名古屋電機工業、日立製作所

b)今川２号橋　　：富士通、オムロン、日本電気

c)道路状況監視　：三菱電機、松下通信工業

・カメラ仕様：a)カメラ型式　　：シャープ製液晶ビューカム VL-HL3

b)アイリス　　：オート

c)シャッター速度：1/100秒

d)撮像素子　　：4.5㎜（1/4インチ）ＣＣＤ固体撮像素子41万画素

e)フォーカス（ｽﾞｰﾑ）：無限遠に固定

・その他機材：a)携帯電話（１台／Ｇｒ）

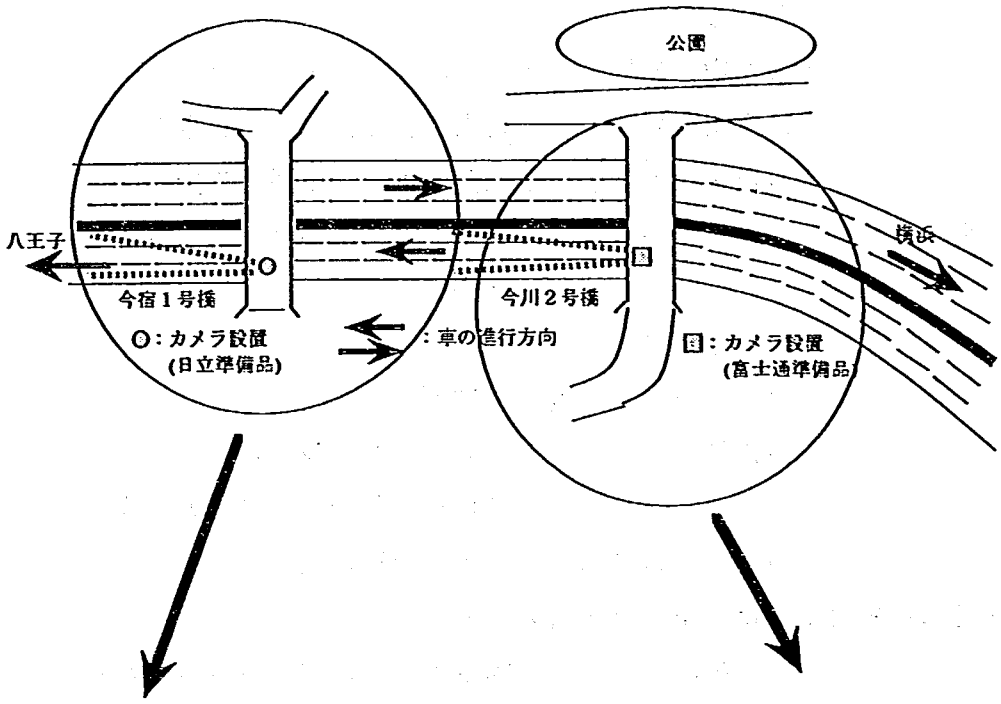
b)三脚、脚立（三脚固定の針金、紐、ゴム等含む）

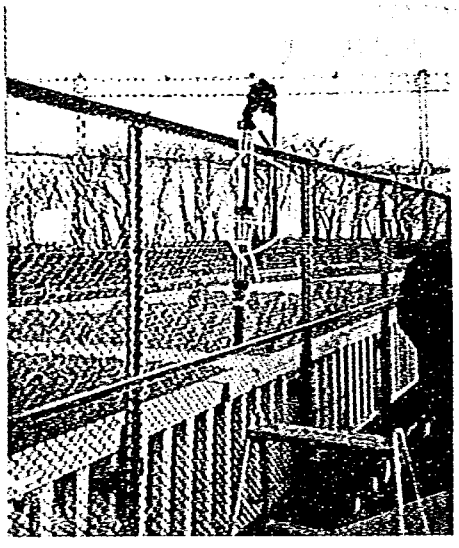
c)車両（機材運搬、保管、待機用）

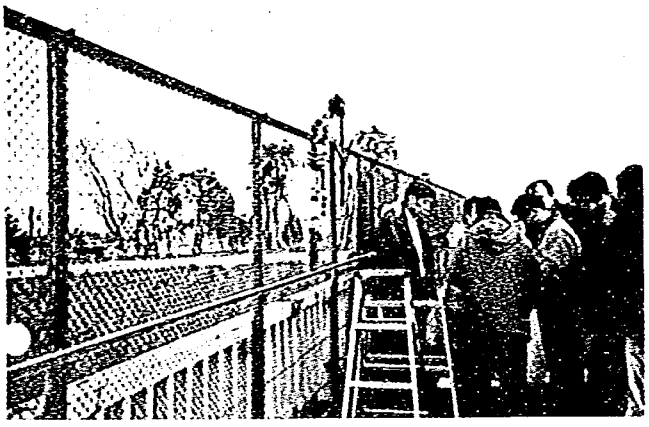
d)メジャー、スチールカメラ、他工具一式

・現地概図、撮影機材設置風景

図表(4.1.1) 1-1　現地概図・撮影機材設置風景







・録画内容

図表(4.1.1) 1-2　録画内容

収録時間帯	道路状況	今川２号橋	今宿１号橋
８：５０ ～９：５０	渋滞	テープＶｏｌ．１	テープ 「渋滞監視９：００ ～１３：３０」
１２：１０頃 ～１３：３０	渋滞解消～発生 ～解消	テープＶｏｌ．２ テープＶｏｌ．３	同上
１５：５５ ～１８：３０	自然流	テープＶｏｌ．３	テープ 「渋滞監視１５：５８ ～１７：４１」

ただし、渋滞解消～発生～解消の画像については、撮影機材の都合により一部収録出来ず。

④評価解析方法

・計測項目　：渋滞　（時間帯：　9:00～　9:10）

自然流（時間帯：13:15～ 13:25）

＊：解消と発生については今年度は行わないものとする。

・評価用画像：富士通の機材で収録の画像（中央分離帯側車線）

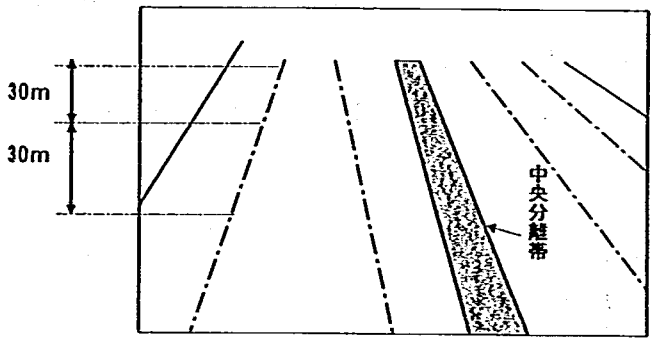
－富士通、三菱、オムロン、ＮＥＣ

日立の機材で収録の画像（中央車線）

－名古屋電機工業、松下通信工業、日立製作所

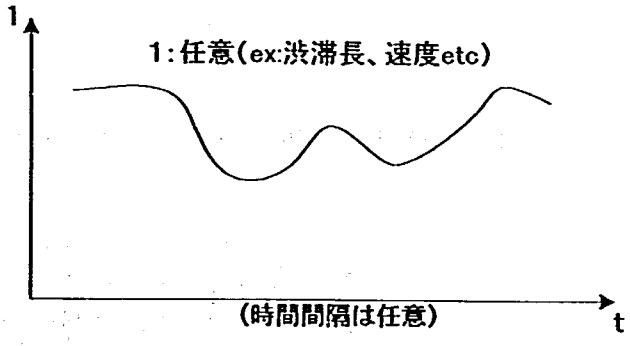
・纏め方　　：計測単位長：最小30m（遠方の計測長は(30×ｎ)ｍとする）

図表(4.1.1) 1-3　収録画像イメージ



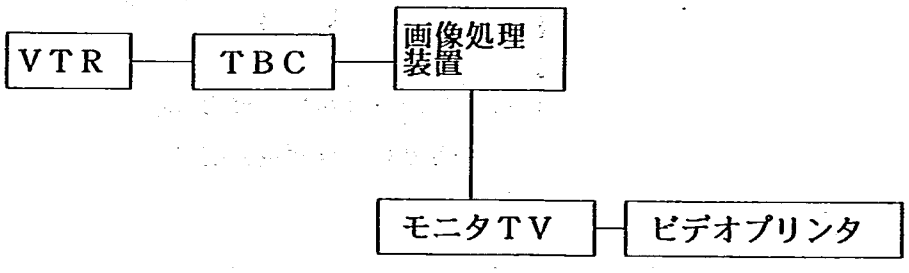
結果－下記様式のグラフ

図表(4.1.1) 1-4　結果のグラフ様式（イメージ）



・解析機器構成

図表(4.1.1) 1-5　解析機器構成



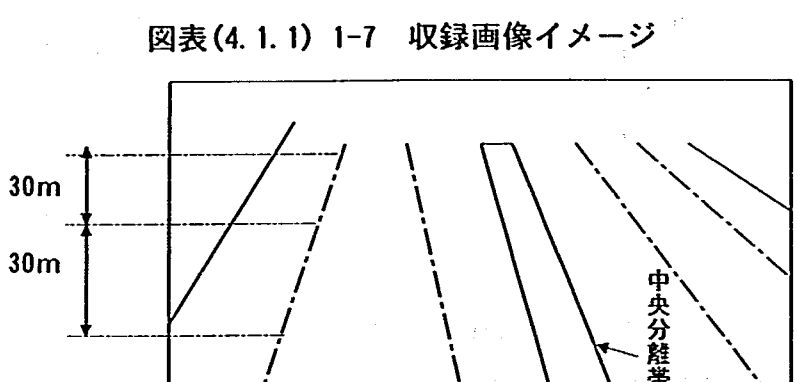
・解析手法

図表(4.1.1) 1-6　解析手法

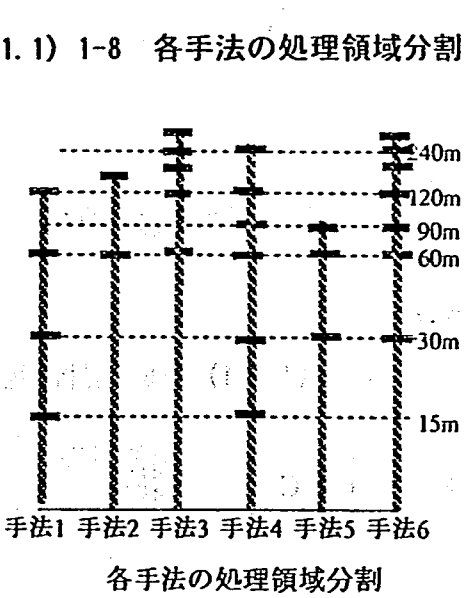
手法		1	2	3	4	5	6
処理対象画像		今川２号橋			今宿１号橋		
画像処理画素数 (H×V)		256*240	256*240	320*240	256*240	512*480	256*220
計測項目		領域：4	領域：2	領域：5	領域：6	領域：3	領域：8
	速度系	○	○	○	○	○	○
	占有率系	○	○	－	－	－	○
	交通量系	－	○	－	－	－	－

＊：各手法とも下図のような領域（原則30mなれど任意）を設定し各領域毎に処理を行う。

図表(4.1.1) 1-7　収録画像イメージ



図表(4.1.1) 1-8　各手法の処理領域分割



各手法の処理領域分割

・各手法のアルゴリズム

図表(4.1.1) 1-9　各手法のアルゴリズム

	アルゴリズム概要		
	特徴抽出の方法	背景、ノイズ除去の方法	判定パラメータ計測の方法
手法1	エッジ検出によって車両の特徴抽出を行う。	長時間の静止物体のマスク処理及び領域指定によるマスク処理によって行う。	速度系：各区間毎に車両、車両の一部または車群がその区間に進入して抜ける迄の時間で速度を計測し、単位時間の平均速度を計算する。 占有率系：各区間毎に車両、車両の一部または車群がその区間に空間的に占める割合を占有率（図ではDTT度）として計測する。
手法2	背景差分法及びソーベルフィルタによるエッジ情報をもとに車両を検出する。	メディアンフィルタ及び孤立点除去法により除去。	平均速度：車両抽出から車両個々の移動量を求めて、垂直方向の位置と実際の距離との対応から速度を求めて平均化する。 占有率：画面内での車両の存在する部分の大きさを抽出して、占有率を求める。
手法3	背景の平均画像と入力画像との差分法により、移動している車両のみを抽出。	・平均背景画像の使用による照度変化の除去。 ・水平エッジ強調処理による影の除去。	199.8ms(33ms×6フレーム)周期で、各計測区間毎における最後尾の車両の移動画素量を計測し、撮影幾何学系から速度に換算する。さらに、各計測区間毎で10秒間における車両速度を平均化することで全体の平均速度を算出する。
手法4	画面相関により車両の移動量を直接算出。	メディアンフィルタ等によるノイズ除去。	10秒間の移動平均量を算出し、各区間毎の速度を算出する。そして各区間毎の速度変化の追従性より渋滞末尾の移動を判定する。
手法5	背景差分方法により、移動している物体(車両)のみを抽出。	背景差分方法により路面・標識の背景成分を除去。	66.6ms周期で個々の車両の移動画素数を相互相関法により計測する。ここでは、検出精度の向上を図るため画素単位での移動量ではなく、画素内での移動量を算出している。 そして、この画素内での移動量を撮影幾何学系から速度に換算し、各区間毎の30秒間における車両速度を平均することで全体の平均速度を算出する。
手法6	背景差分、パターンマッチングにより、移動している車両のみを抽出。	背景差分、パターンマッチングによる背景除去と論理演算によるノイズ除去。	フレーム周期(33.4ms)で個々の車両を検出し、領域内の移動量より車両の走行速度を求める。求めた対象車両の速度、領域内空間移動時間ならびに末尾であることの判定より渋滞と渋滞長を算出する。

（3）実験結果

①評価の前提

今回撮影した映像から人が見て明らかに自然流、渋滞と判断出来る映像を決めてパラメータ判定可能かを評価した。

②速度系

撮影範囲手前から最大60～120mまでは今回の映像で速度系のみで渋滞判定可能と思われる見通しを得た。

手法6は、遠方における画面上の車両の移動量は少ないため判定時間の延長により計測精度を高めており、その効果により範囲が他の手法に比べ広くなっていると思われる。

③占有率系

撮影範囲手前～120mまでは本パラメータで渋滞判定可能の見通しを得た。手法1では～120mまでしか解析しておらず、120m以降についての判定は不明であるが速度系に比べ判定可能な範囲を広げるのに有効なパラメータと言える。

ただし、手法1では占有率系のみで渋滞判定可能と即座に言えない。なぜならば、グラフから分かるように渋滞が継続しているにもかかわらず非渋滞と判定している部分が有るためである。これについては、速度系を参考にすること及び出力のフィルタリングを行う等の改良が必要である。

④交通量系

今回の映像では撮影範囲手前～60mまで行ったが、渋滞と自然流で差が出ず単独のパラメータとして有効ではない。

ただし、台数／速度で密度的なパラメータに換算した場合グラフから分かるように、差が生じるので判別に利用できる可能性を得た。

⑤結果一覧

図表(4.1.1) 1-10　結果一覧

手法	1	2	3	4	5	6
画像処理画素数	今川２号橋			今宿１号橋		
画像処理画素数 (H*V)	256*240	256*240	320*240	256*240	512*480	256*220
計測項目	領域：4	領域：2	領域：5	領域：6	領域：3	領域：8
速度系	○	○ (60m)	○ (60m)	○	○ (90m)	○ (180m)
占有率系	○ (120m)	○ (60m)	—	—	—	○ (180m)
交通量系	—	○	—	—	—	—
計測区間	約120m	約150m	約60m	約150 ～200m	約90m	約180m

（4）考察

・計測範囲の大きさでは、占有率系の方が速度系よりも大きい。占有率による渋滞判定は監視している画面全体に対するものであり、渋滞の判定は連続するカメラ間の判定が適している。これに対し、速度による判定では路線として渋滞の延伸が判定可能となる。

・計測の精度アップのためには、速度系、占有率系（密度系）との組み合わせによる手法検討と評価が必要であり次年度のテーマとしたい。

・個々の渋滞判定、可能性の見通しは得たが、システムの計測範囲については、上記の組み合わせ手法の評価を行う事で計測範囲を明確にして行く。

・精度評価：今回は渋滞の定義、手法、パラメータの傾向を見極める事を目的にした。したがって、真値評価を行い収録した映像を見て精度評価を進める。

（5）今後の課題

・雨天、夜間等

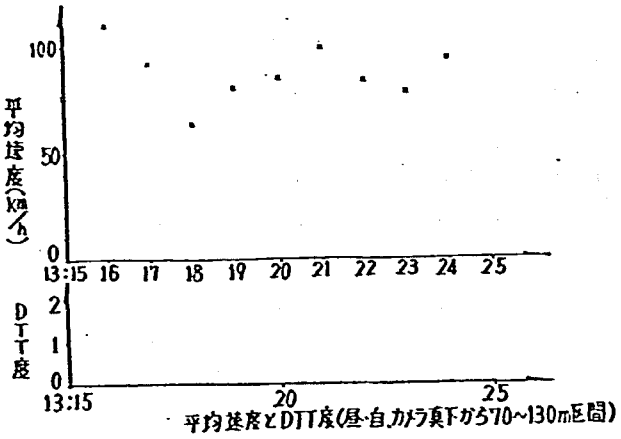
・カメラ間リンク

・真値評価

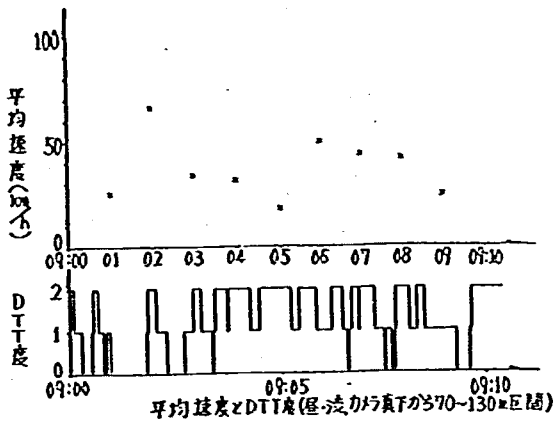
・組み合わせ手法

・収録映像中の発生／解消の評価

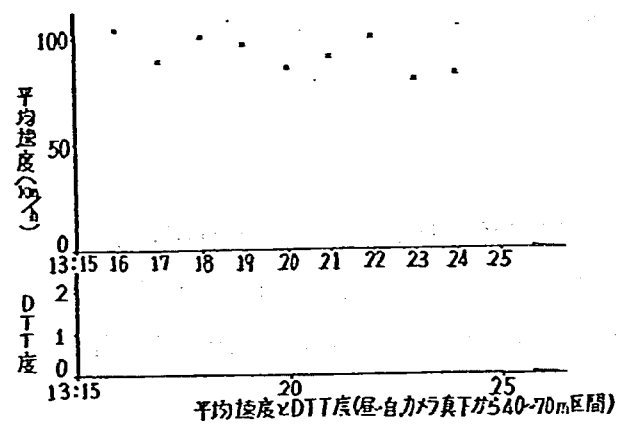
図表(4.1.1) 1-11 自然流と渋滞時の平均速度（手法１）



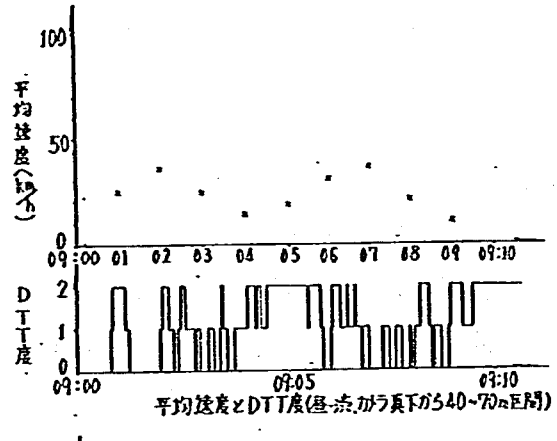
平均速度とDTT度(昼・自,カメラ真下から70~130m区間)



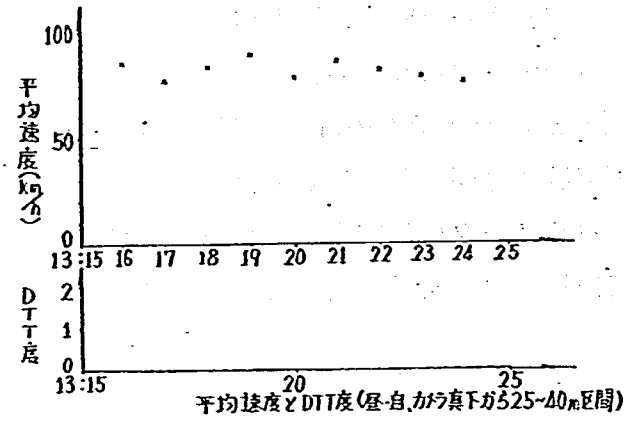
平均速度とDTT度(昼・渋,カメラ真下から70~130m区間)



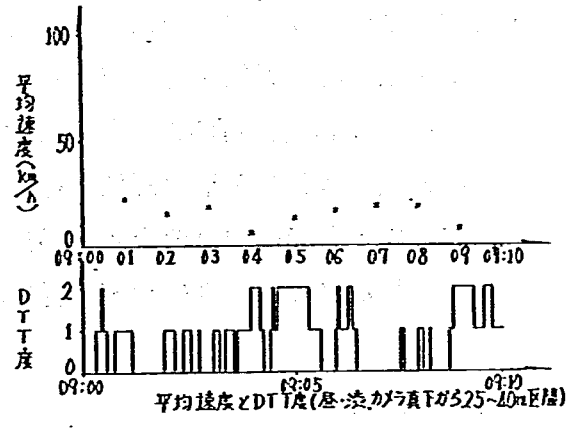
平均速度とDTT度(昼・自,カメラ真下から40~70m区間)



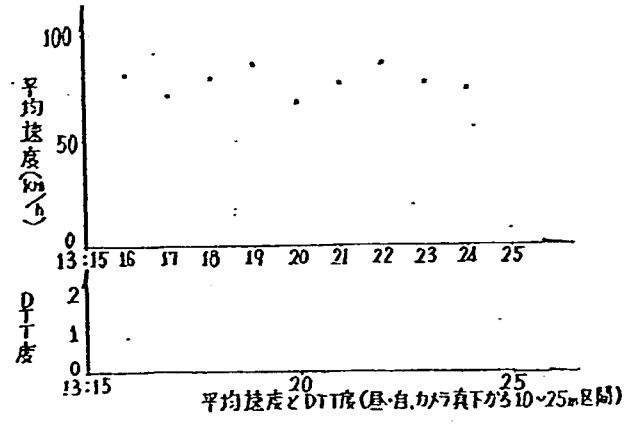
平均速度とDTT度(昼・渋,カメラ真下から40~70m区間)



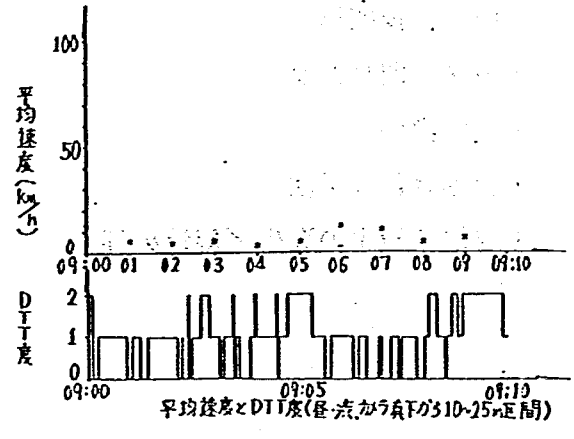
平均速度とDTT度(昼・自,カメラ真下から25~40m区間)



平均速度とDTT度(昼・渋,カメラ真下から25~40m区間)

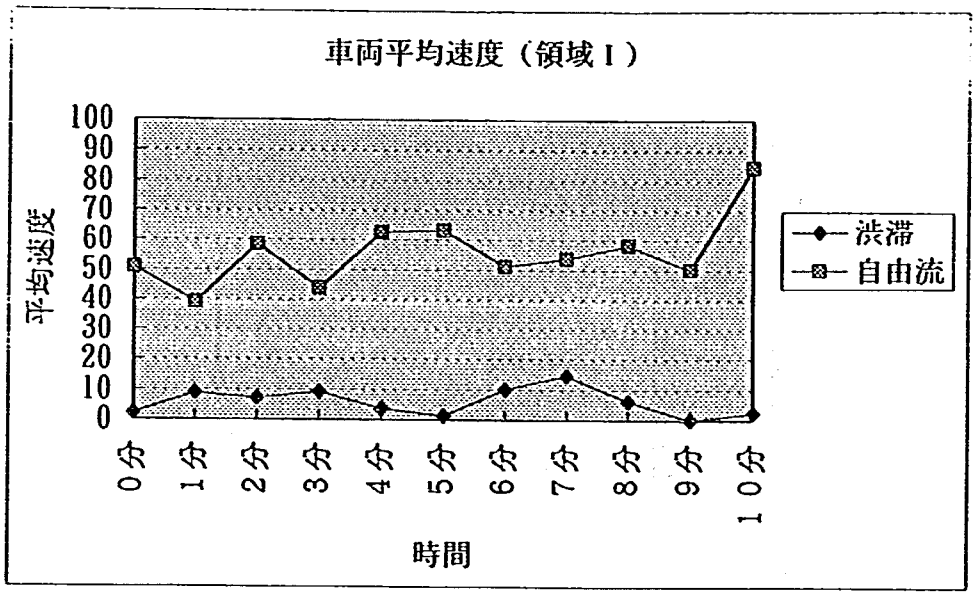


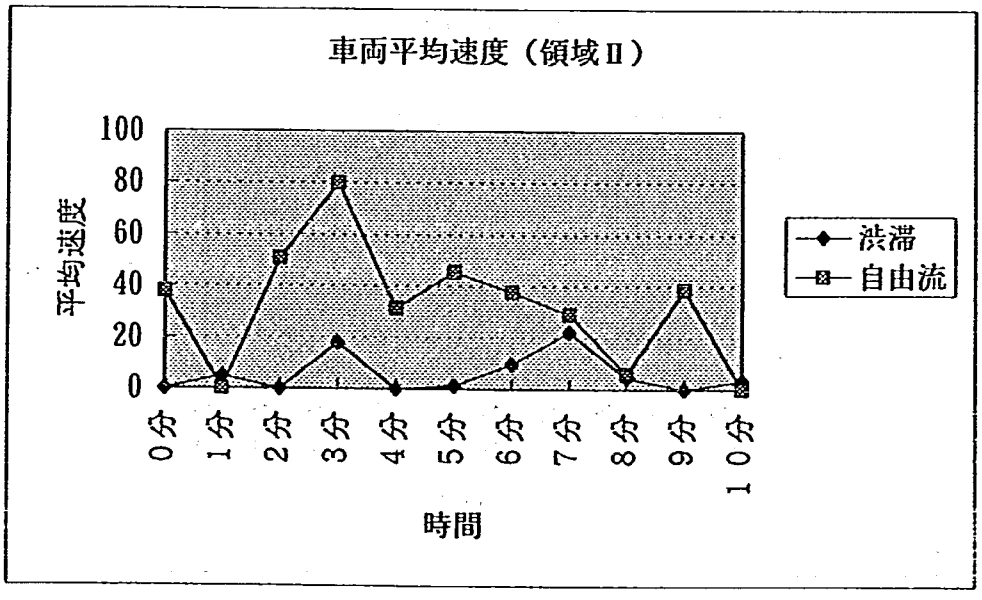
平均速度とDTT度(昼・自,カメラ真下から10~25m区間)



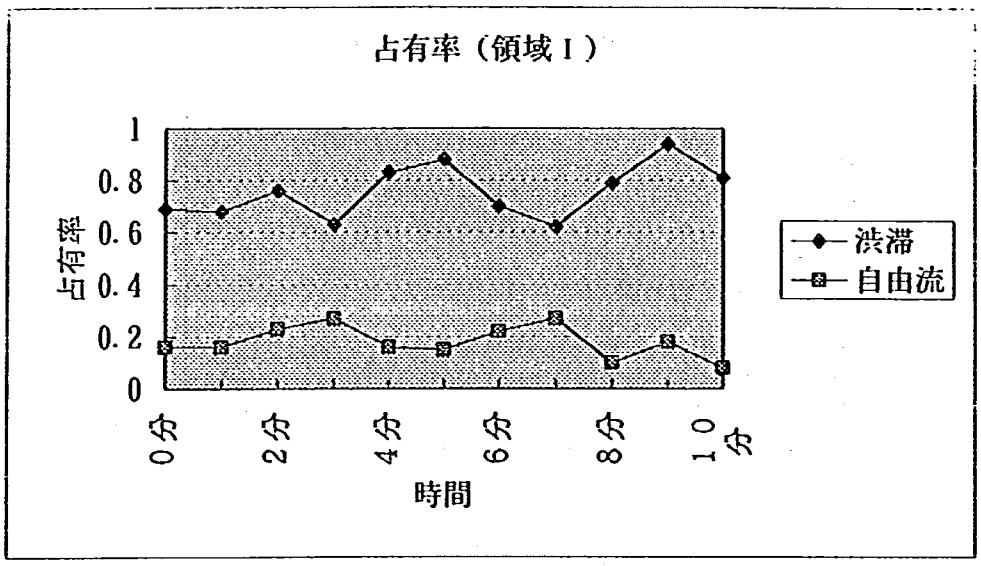
平均速度とDTT度(昼・渋,カメラ真下から10~25m区間)

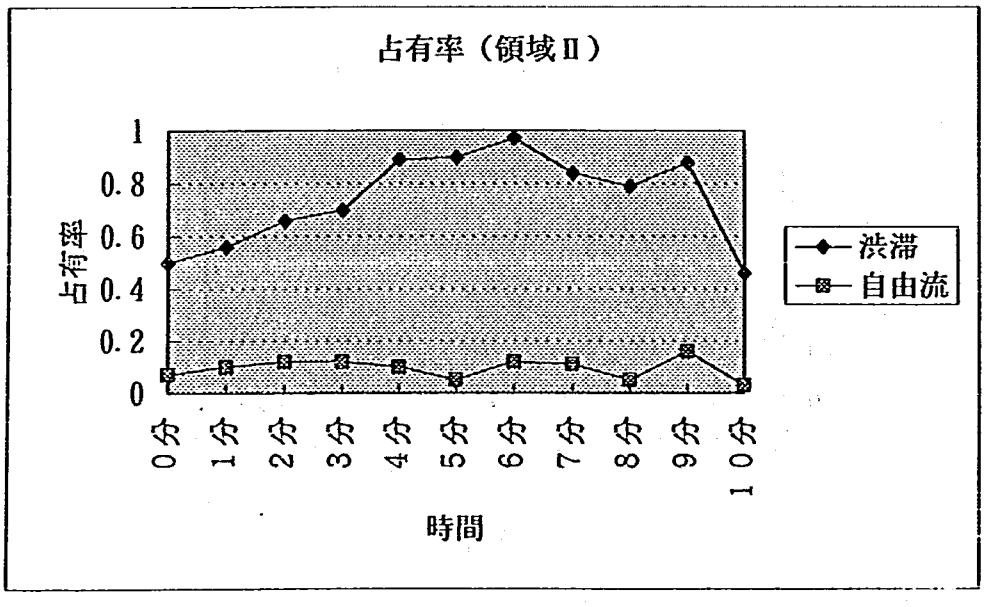
図表(4.1.1) 1-12　自然流と渋滞時の平均速度（手法２－(1)）



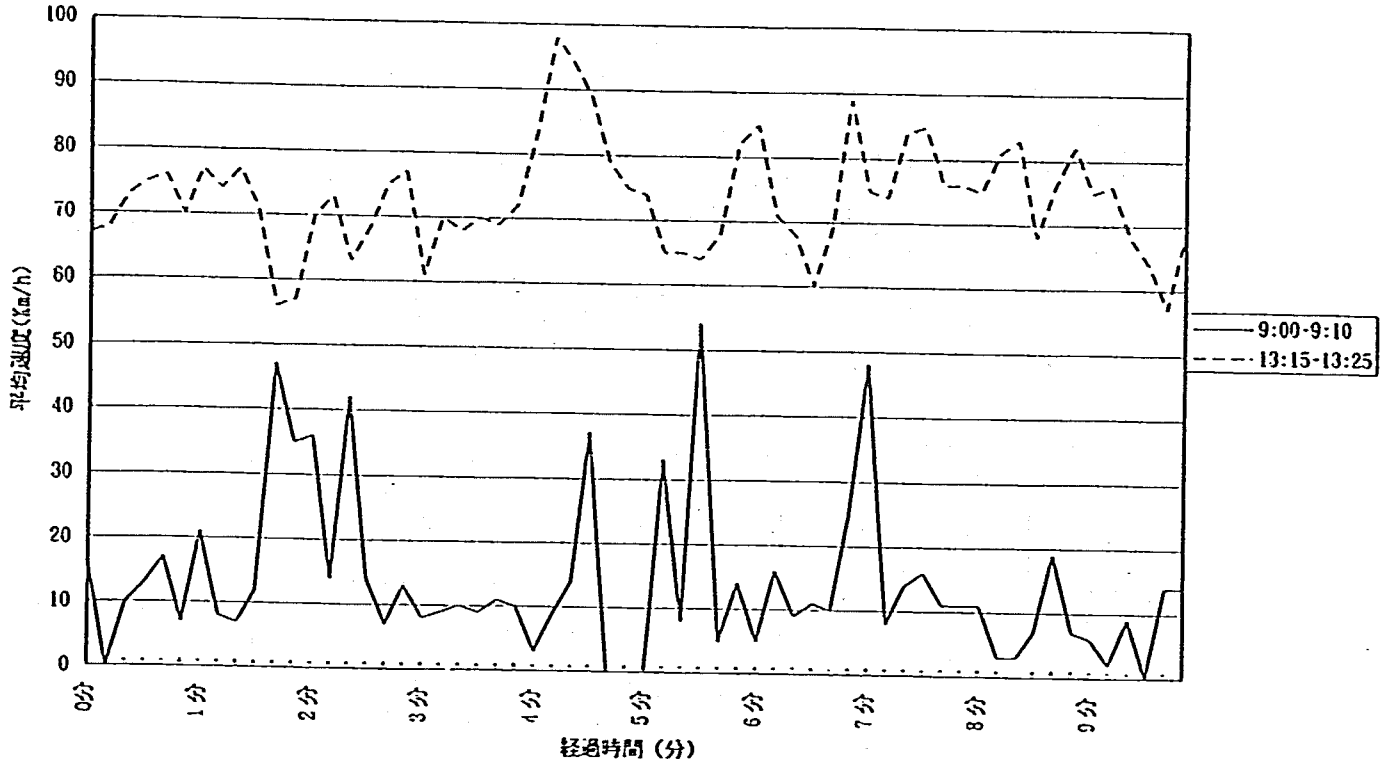


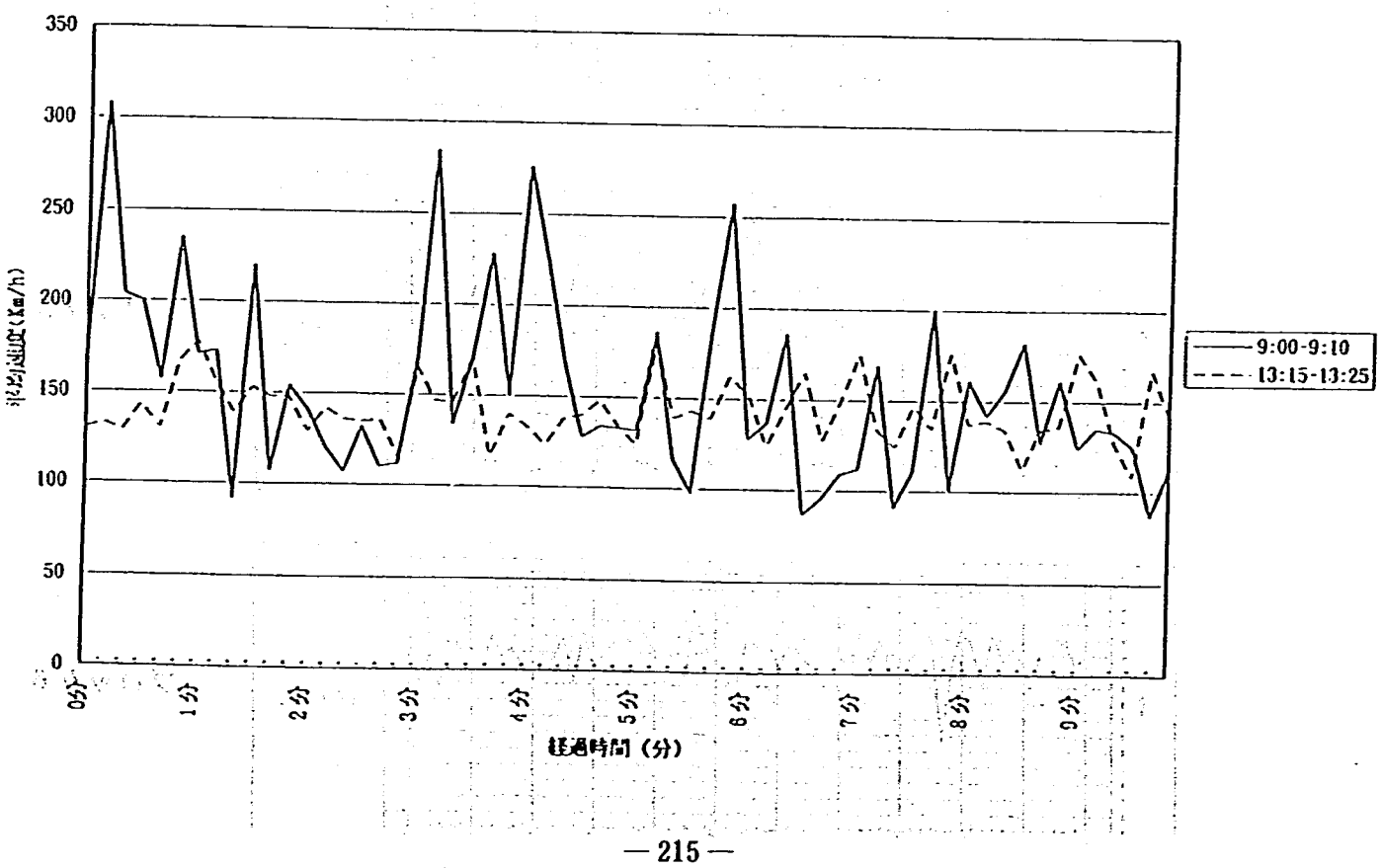
図表(4.1.1) 1-13　自然流と渋滞時の平均速度（手法２－(2)）



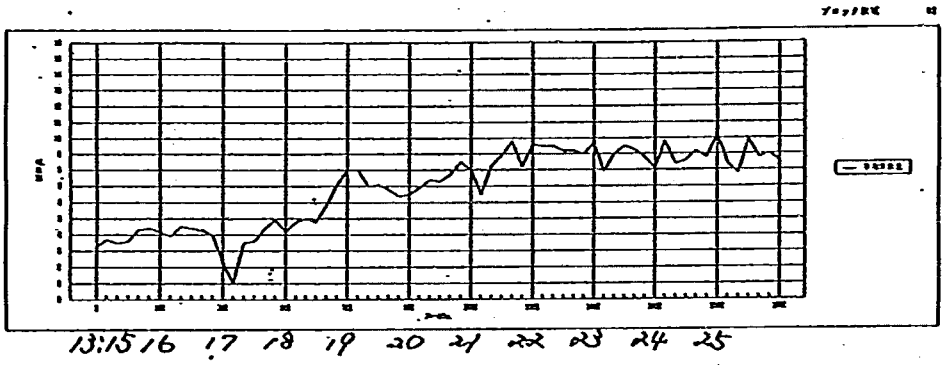


図表(4.1.1) 1-14　自然流と渋滞時の平均速度（手法３）

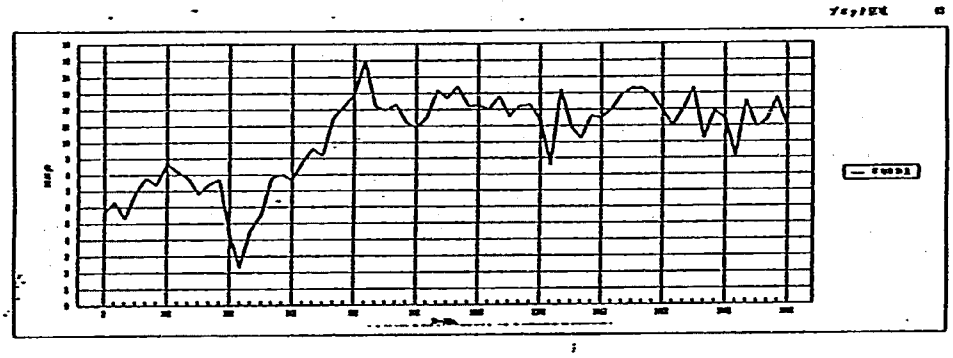




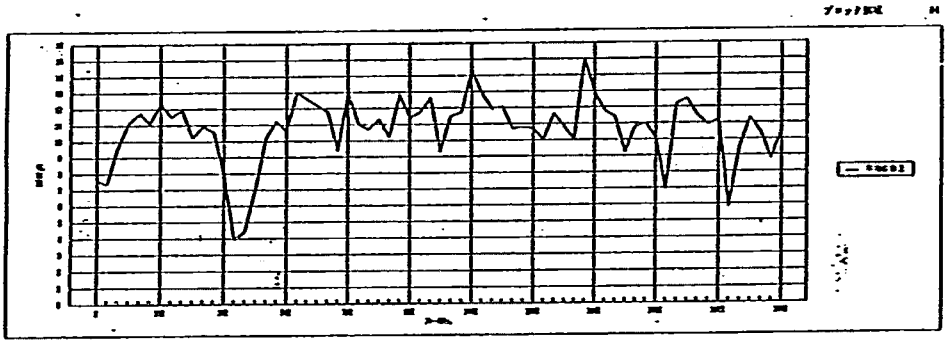
図表(4.1.1) 1-15　自然流と渋滞時の平均速度（手法４）



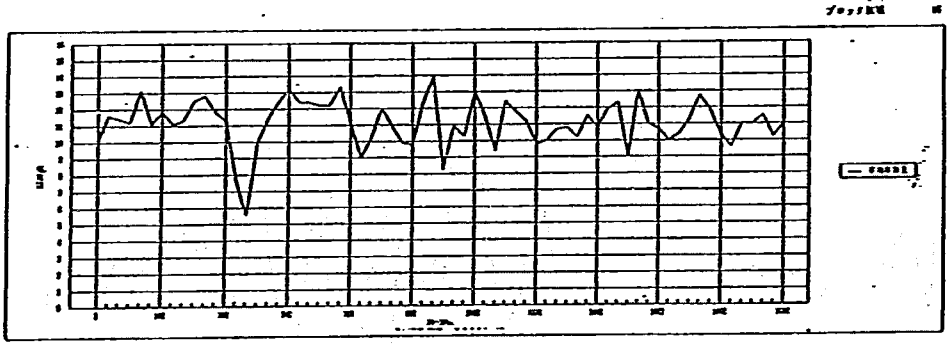
ブロック２



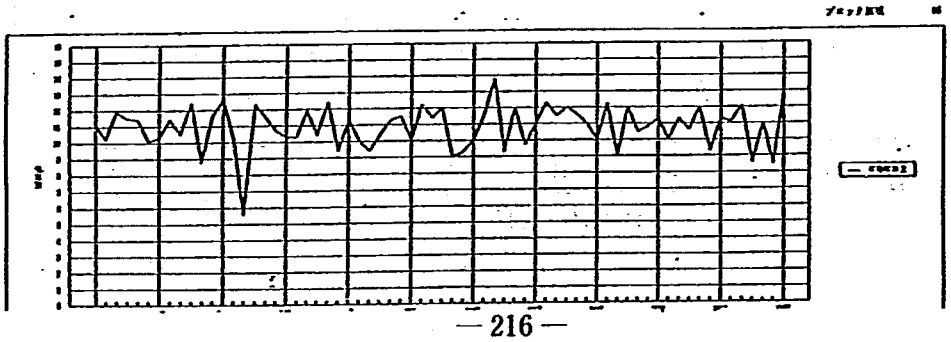
ブロック３



ブロック４

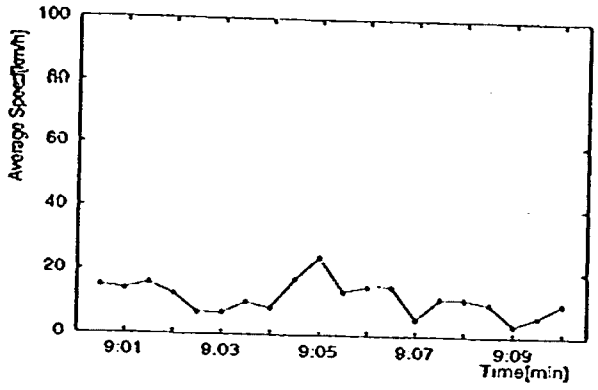


ブロック５

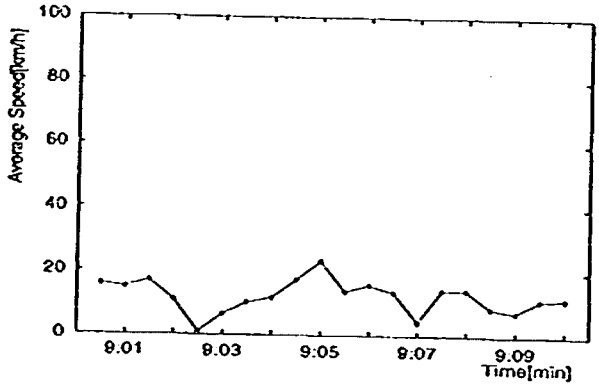


ブロック６

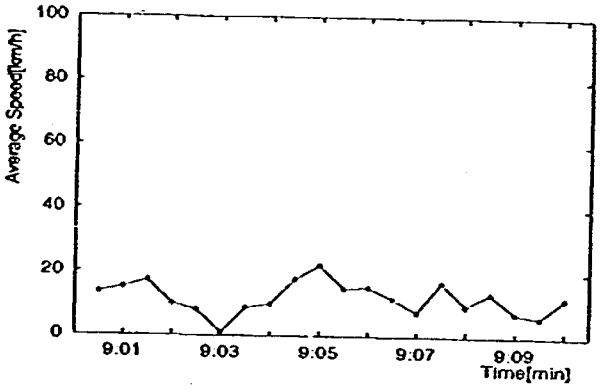
図表(4.1.1) 1-16　自然流と渋滞時の平均速度（手法５）



(a) 近傍 30m

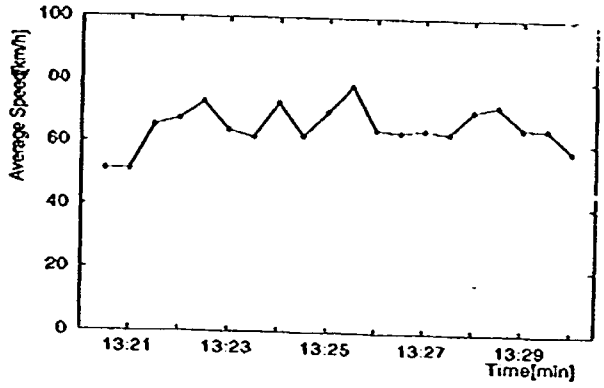


(b) 中間 30m

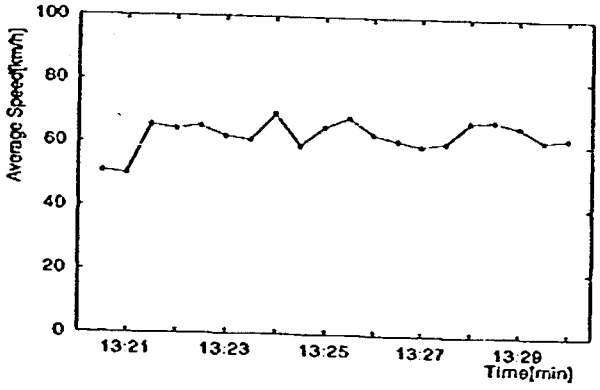


(c) 遠方 30m

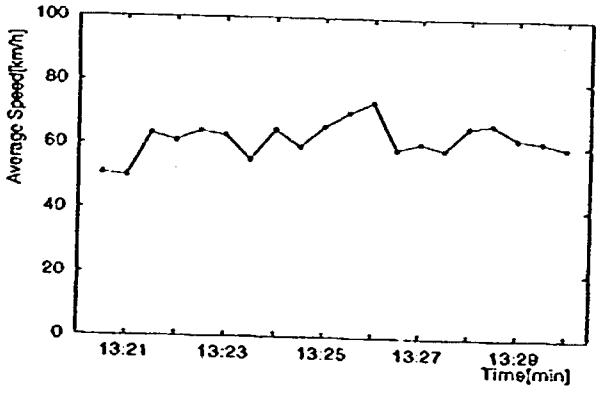
渋滞の車両平均速度



(a) 近傍 30m



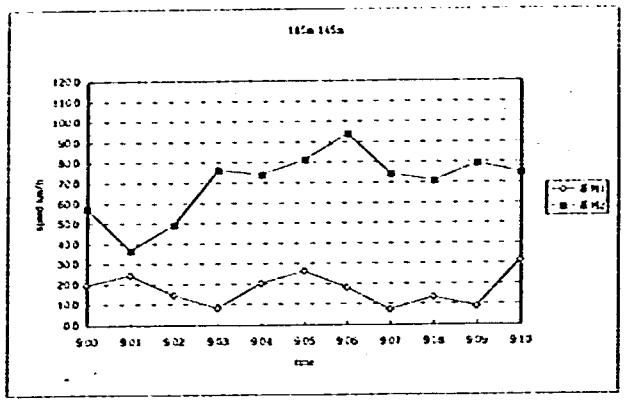
(b) 中間 30m

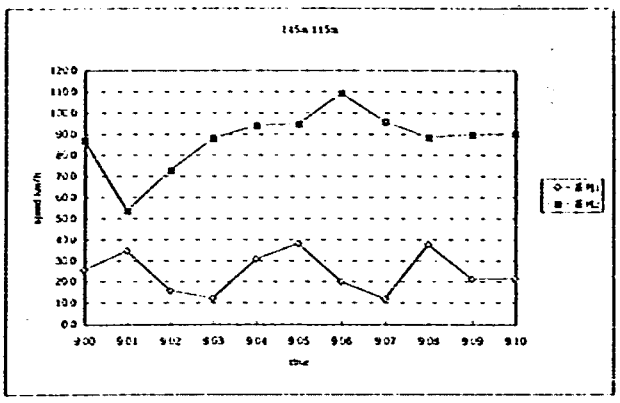


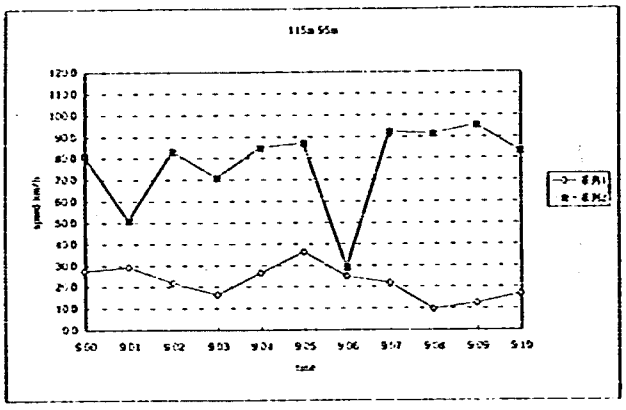
(c) 遠方 30m

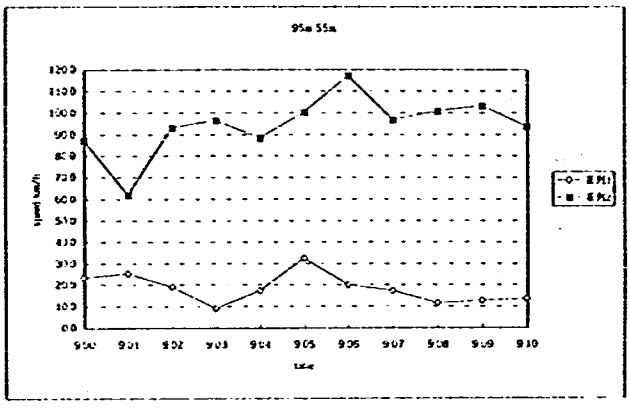
自然流の車両平均速度

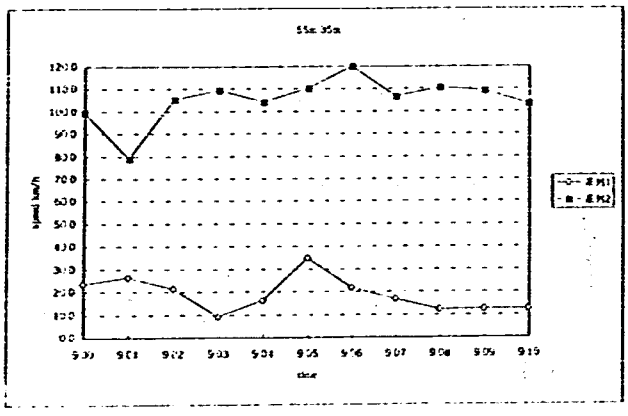
図表(4.1.1) 1-17　自然流と渋滞時の平均速度（手法６）

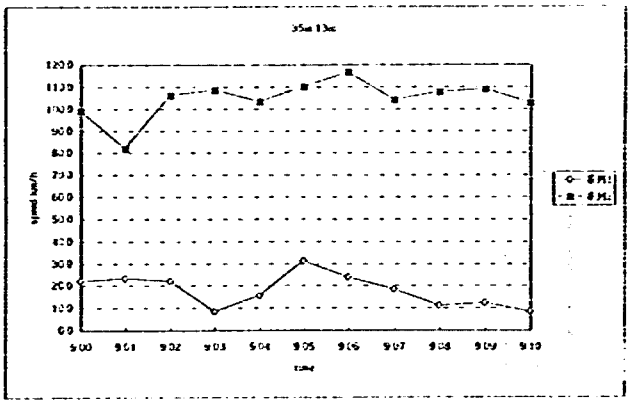












2）　画像処理による停止車両検知

車両停止検知・カバーエリアの評価

（1）目　　的

道路上に設置されるＣＣＴＶカメラの映像に画像処理を施すことで、映像中の突発事象（停止車両、障害物、異常交通流等）を検出し、通信インフラを介して車両に対し、前方で発生している危険を警告するインフラセンサは、システムの性質上、１ＣＣＴＶカメラにて検出可能な範囲が、より広いことが望まれる。

そこで、レンズの焦点距離による検出範囲拡大の検討を行う。

（2）実　　験

①実験概要

カメラ仕様、設置環境（俯角以外）は固定とし、レンズの焦点距離及び俯角を可変として、車両をカメラ設置直下より100m、200m、300m、400mに順次停止させた映像を収録し、その映像をオフラインにて画像処理をかけ評価することで各レンズ条件に於ける検出範囲の評価を行った。

②実験場所

茨城県つくば市大字旭１番地

建設省　土木研究所敷地内　テストコース　ガントリークレーン部

③実験期間

平成７年12月12日（火）～12月13日（水）の２日間

④実験方法

a)映像収録環境

映像収集時の環境は、以下の通りである。

カメラ　　：1/2インチＣＣＤ 単板カラーカメラ

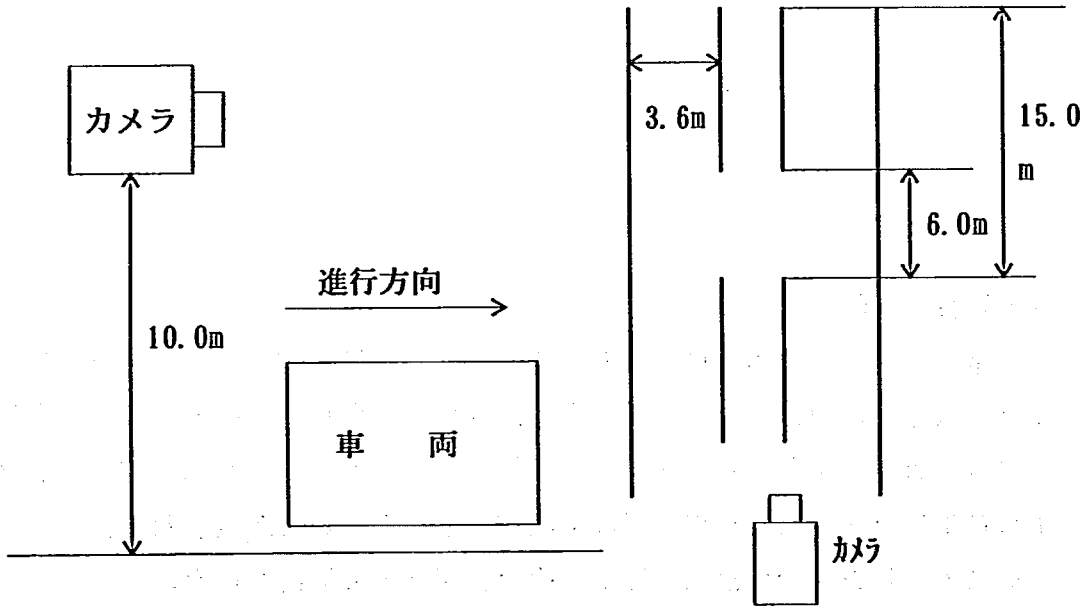
レンズ　　：手動ズームレンズ（8mm～48mm）

設置高さ　：地上10m

天　候　　：晴天

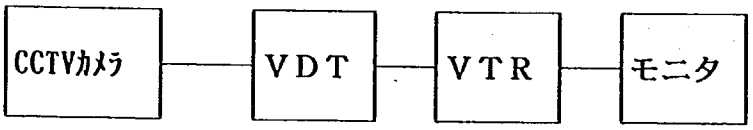
時間帯　　：昼間、夜間

図表(4.1.1) 2-1　カメラ設置図

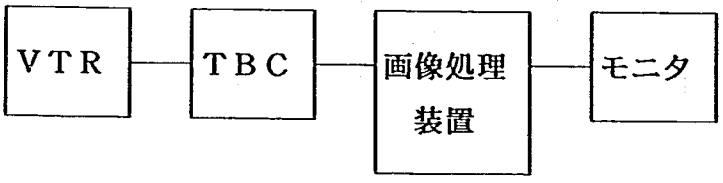


b)実験系統図

図表(4.1.1) 2-2　映像収録系統図



図表(4.1.1) 2-3　評価・解析系統図



凡　例

VDT：ビデオタイマー

VTR：ビデオテープレコーダ

TBC：タイムベースコレクタ

c)実験手順

①レンズ焦点距離を８㎜とし、白系統車両を約60㎞/hにて走行させ、停止ポイントにて２分間の停止、その後、次の停止ポイントまで走行させ、また２分間の停止を400m地点まで行い、次に車両を黒系統車両としてその映像をＶＴＲにより収録すると共に、カメラ設置環境、画角等の各種環境パラメータの記録なども行う。

②上記作業をレンズ焦点距離15㎜, 30㎜, 48㎜の場合についても順次行う。

③上記①～②の作業を昼間及び夜間の時間帯に行うが、夜間に関しては、車種は黒系車両のみとし、ブレーキランプ点灯時とスモールランプ点灯時に関して行う。

評価パターンと各パターンに於ける画角（撮像範囲）を図表(4.1.1) 2-4に示す。

尚、焦点距離48㎜の500～800mに関しては、当初の計画にはなかったが、更に遠方まで検出の可能性が考えられたため、現地にて追加したものである。

但し、スケジュールの関係上、より検出が困難であると考えられる黒系車両に関してのみ行った。

図表(4.1.1) 2-4　評価パターン一覧

ﾚﾝｽﾞ焦点距離 [mm]	車両停止位置 [mm]	昼		夜		画　角 撮像範囲[m]
		色：白	色：黒	ﾌﾞﾚｰｷ	ｽﾓｰﾙ	
8	100	○	○	○	○	18.4～400
	200	○	○	○	○	
	300	○	○	○	○	
	400	○	○	○	○	
15	100	○	○	○	○	32.7～400
	200	○	○	○	○	
	300	○	○	○	○	
	400	○	○	○	○	
30	100	○	○	○	○	62.1～400
	200	○	○	○	○	
	300	○	○	○	○	
	400	○	○	○	○	
48	100	○	○	○	○	93.7～400
	200	○	○	○	○	
	300	○	○	○	○	
	400	○	○	○	○	
48 (参考)	500	－	○	○	○	100～800
	600	－	○	○	○	
	700	－	○	○	○	
	800	－	○	○	○	

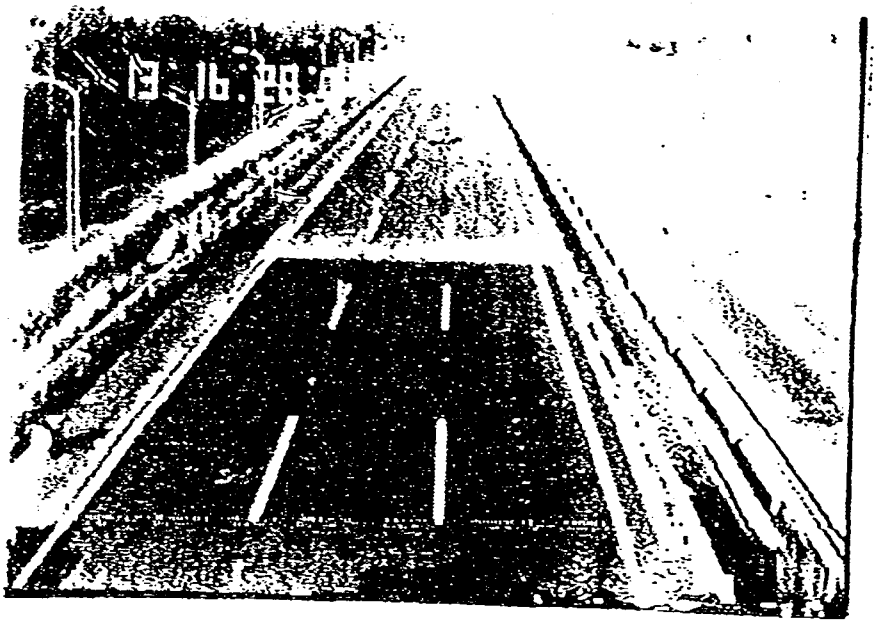
凡　例

○：評価対象　－：評価対象外（映像未収集）

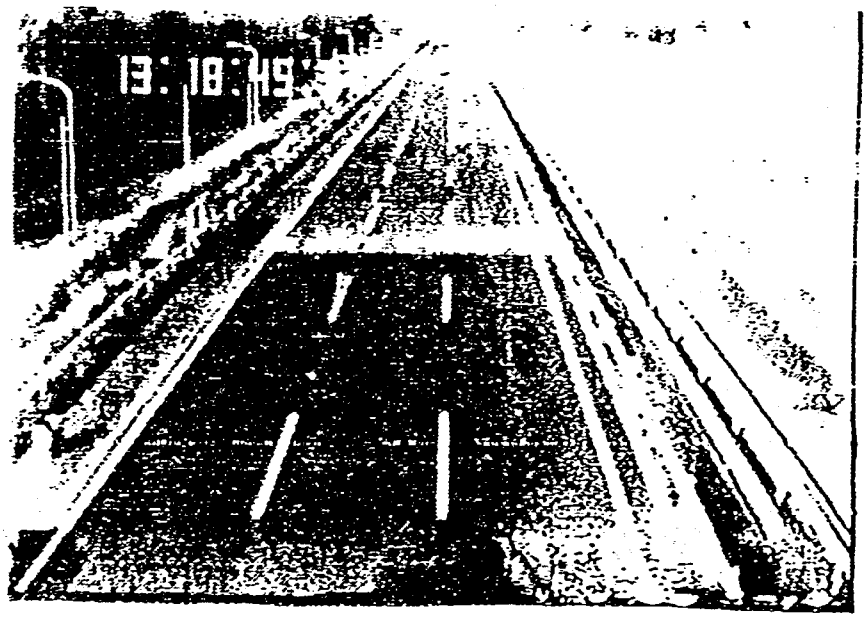
ﾌﾞﾚｰｷ：ﾌﾞﾚｰｷﾗﾝﾌﾟ点灯時（車両停止以降もﾌﾞﾚｰｷを踏んだ状態）

ｽﾓｰﾙ　：ｽﾓｰﾙﾗﾝﾌﾟのみ点灯時（車両停止以降はﾌﾞﾚｰｷを踏まない状態）

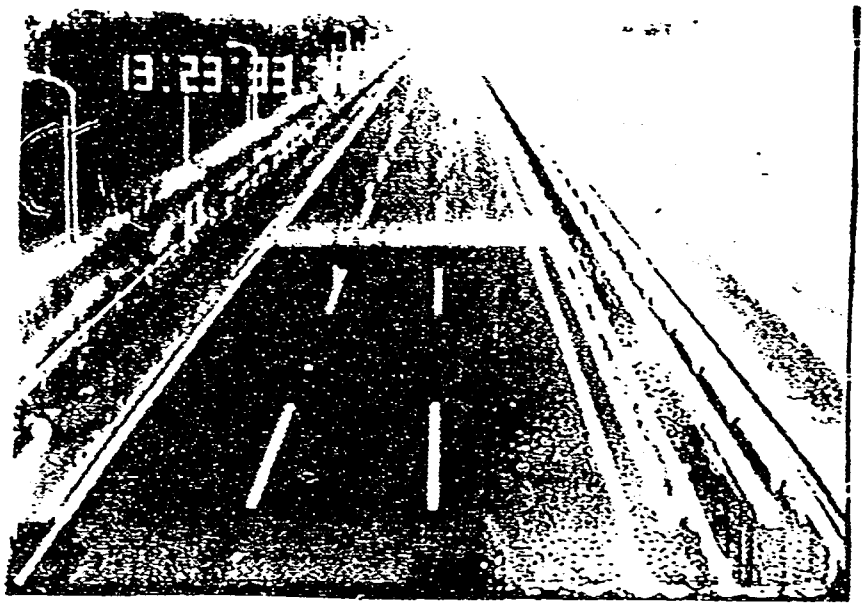
図表(4.1.1) 2-5　焦点距離8mm　昼間　100m地点停止状況



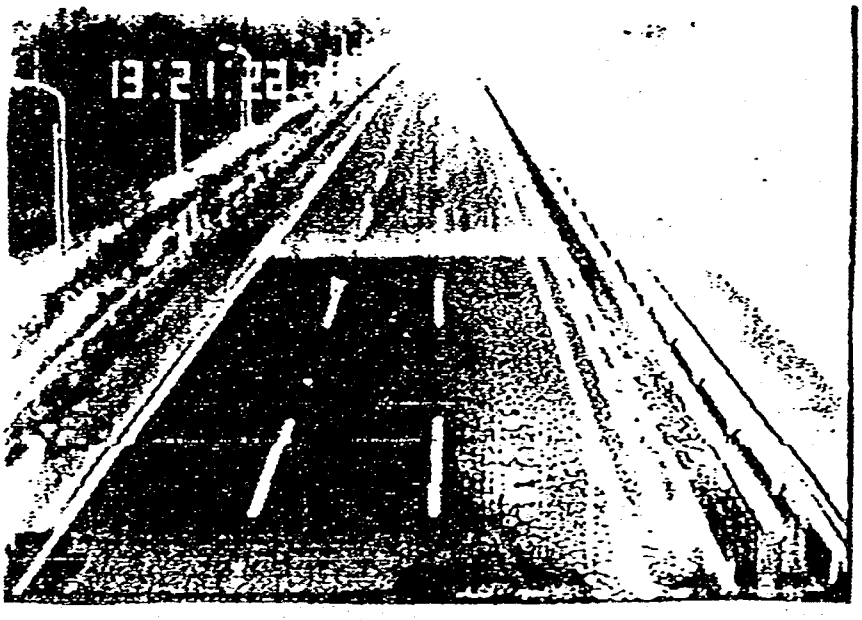
図表(4.1.1) 2-6　焦点距離8mm　昼間　200m地点停止状況



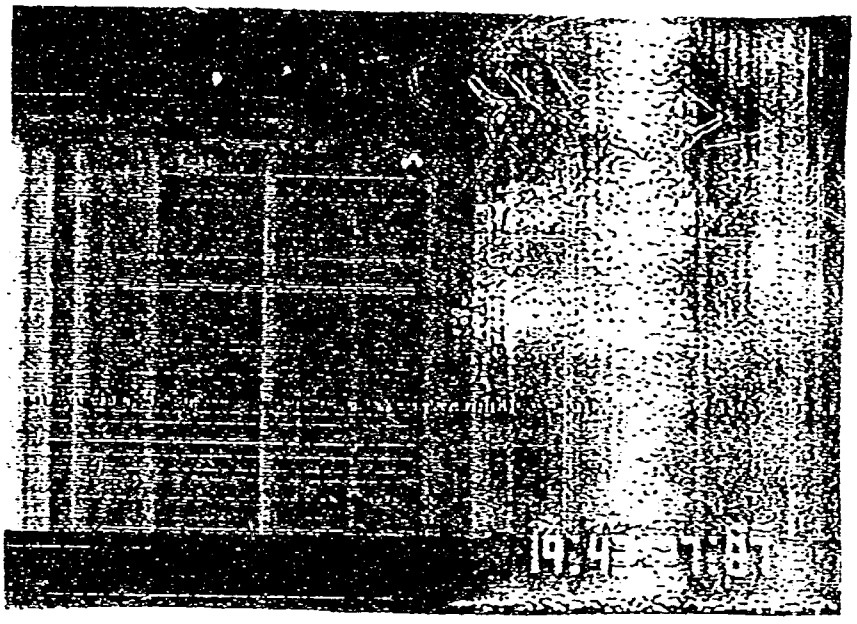
図表(4. 1. 1) 2-7　焦点距離8mm　昼間　300m地点停止状況



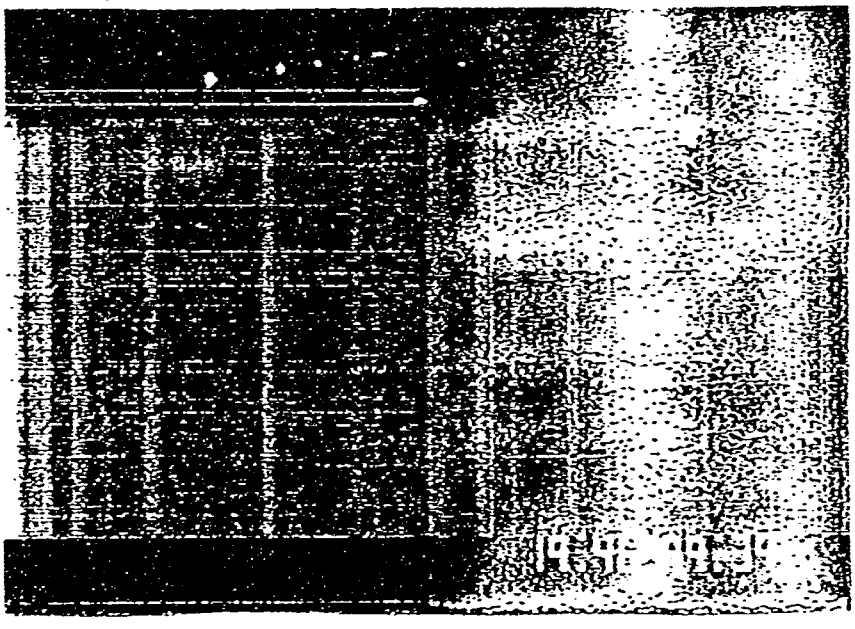
図表(4. 1. 1) 2-8　焦点距離8mm　昼間　400m地点停止状況



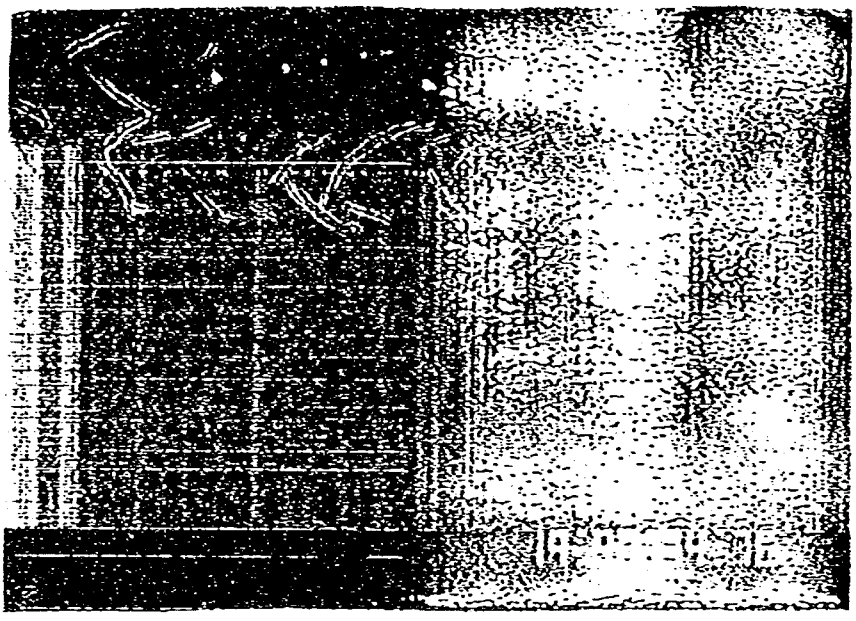
図表(4. 1. 1) 2-9　焦点距離8mm　夜間　100m地点停止状況



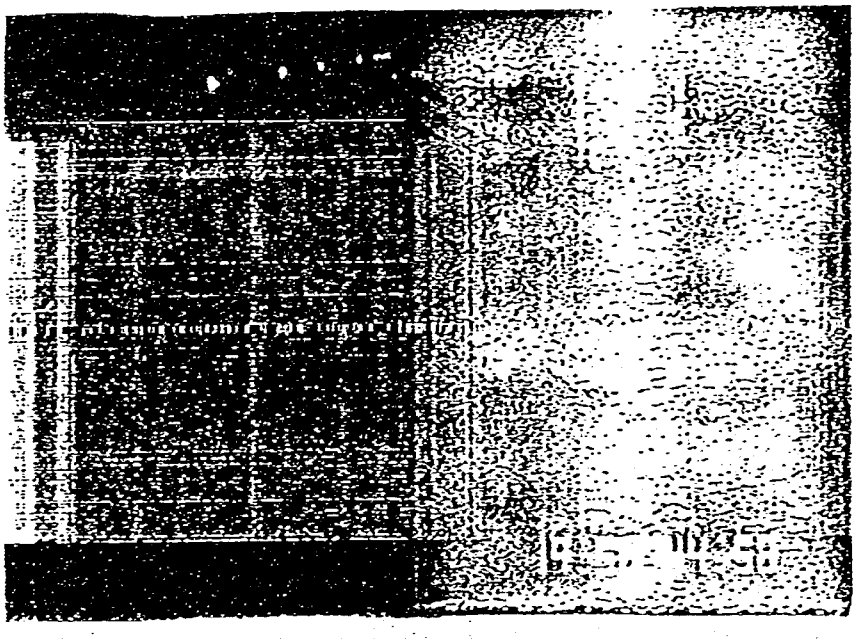
図表(4. 1. 1) 2-10　焦点距離8mm　夜間　200m地点停止状況



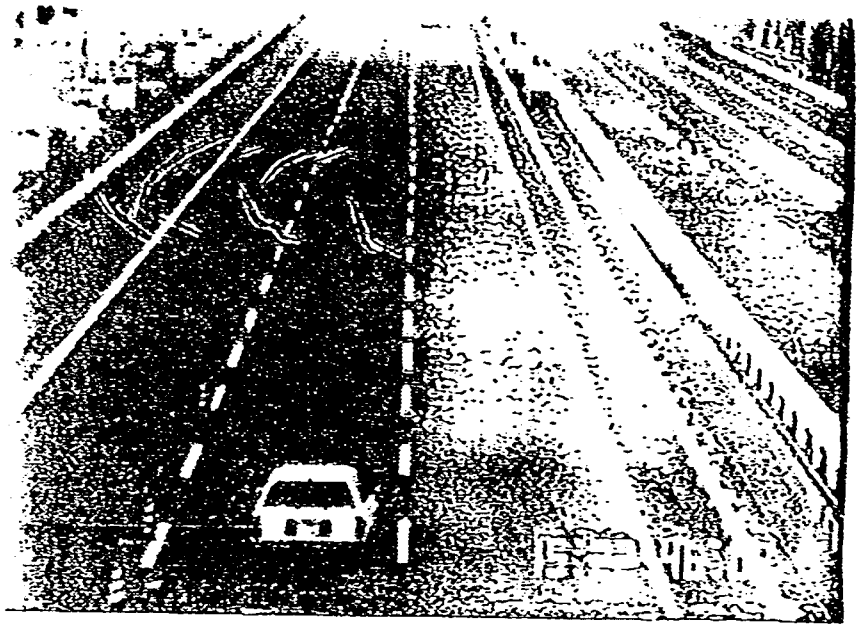
図表(4. 1. 1) 2-11　焦点距離8㎜　夜間　300m地点停止状況



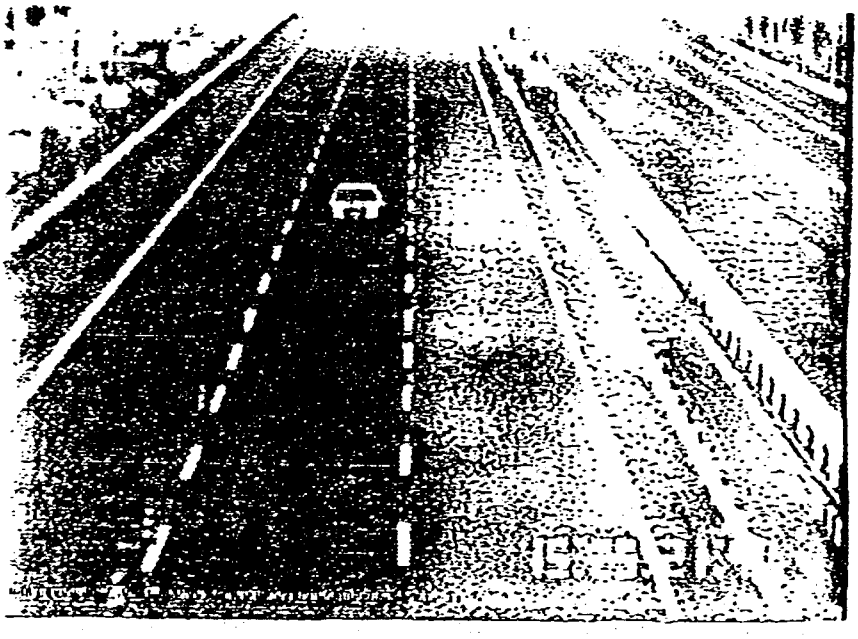
図表(4. 1. 1) 2-12　焦点距離8㎜　夜間　400m地点停止状況



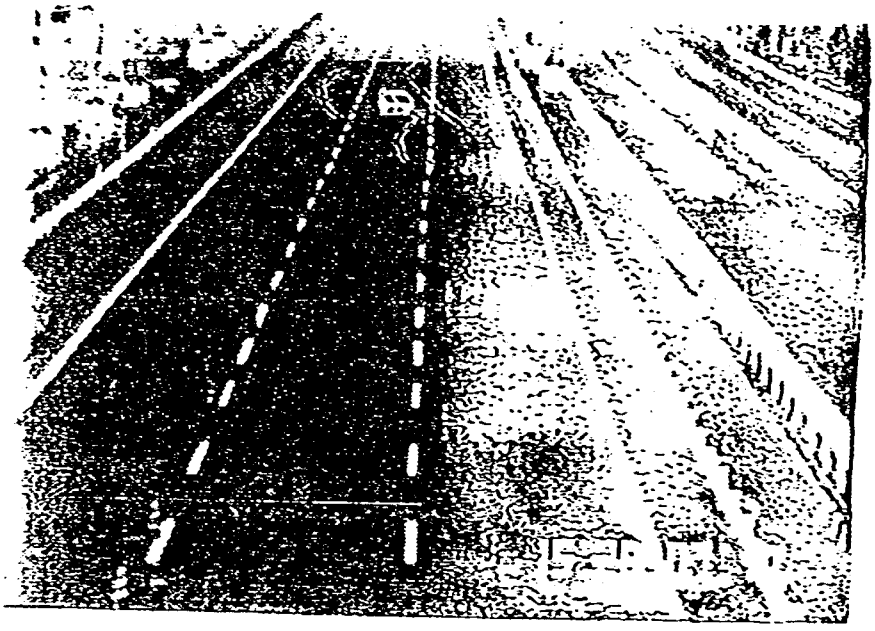
図表(4.1.1) 2-13　焦点距離48mm　昼間　100m地点停止状況



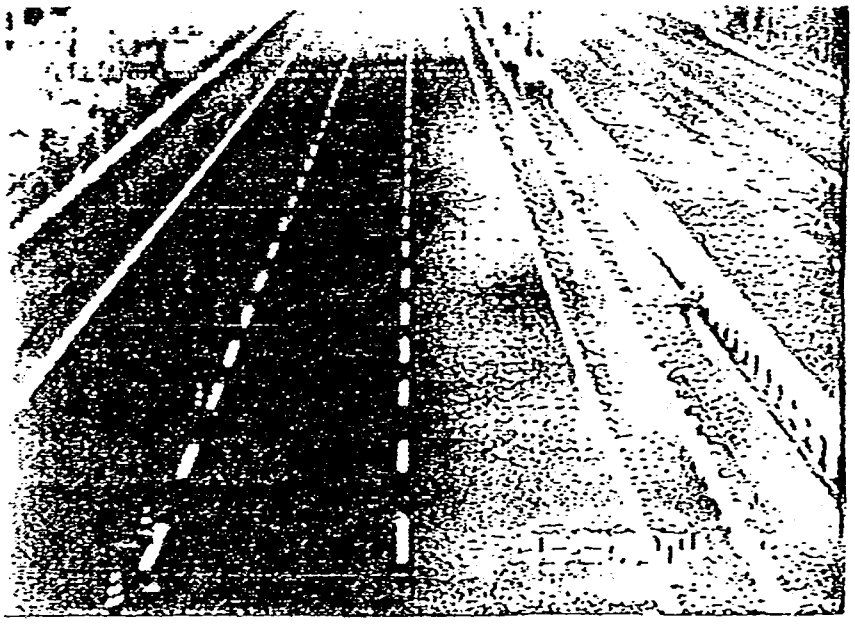
図表(4.1.1) 2-14　焦点距離48mm　昼間　200m地点停止状況



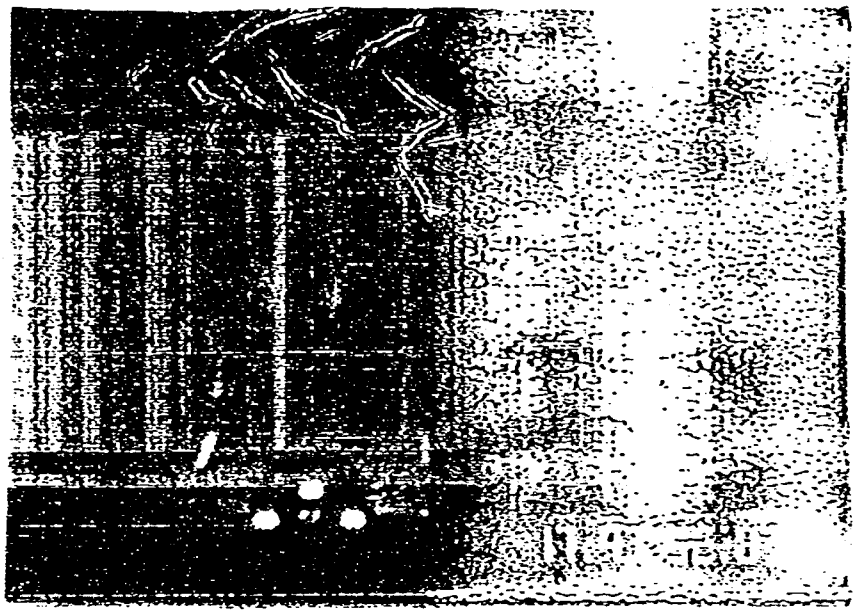
図表(4.1.1) 2-15　焦点距離48mm　昼間　300m地点停止状況



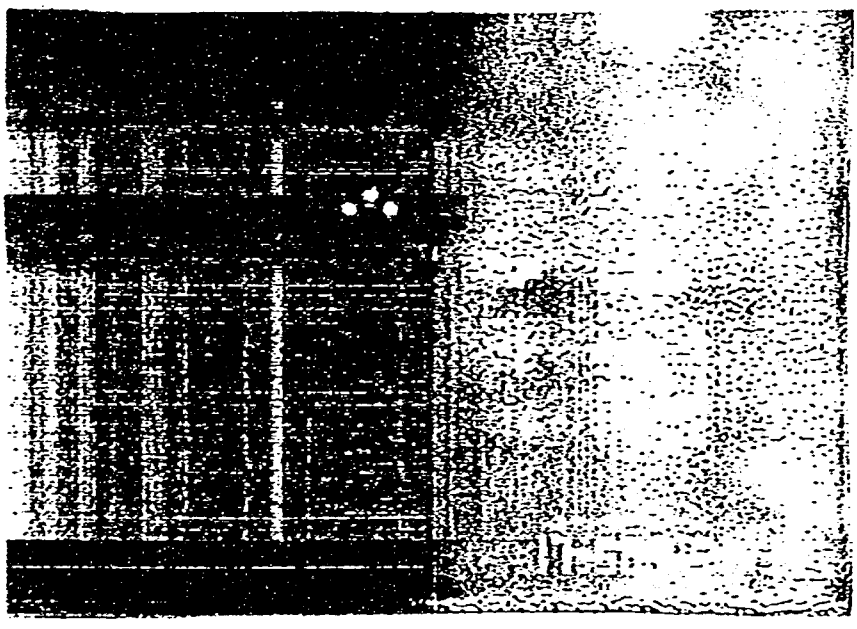
図表(4.1.1) 2-16　焦点距離48mm　昼間　400m地点停止状況



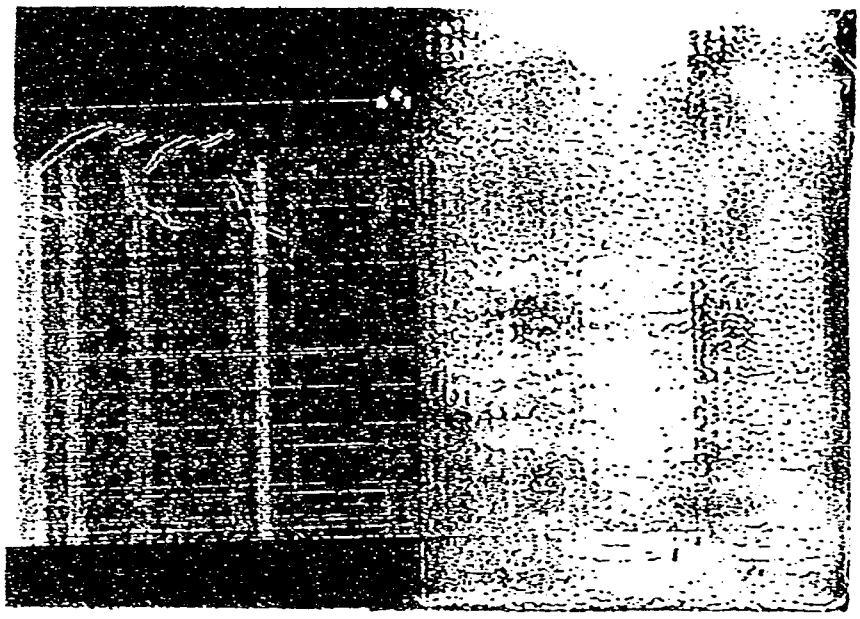
図表(4.1.1) 2-17　焦点距離48mm　夜間　100m地点停止状況



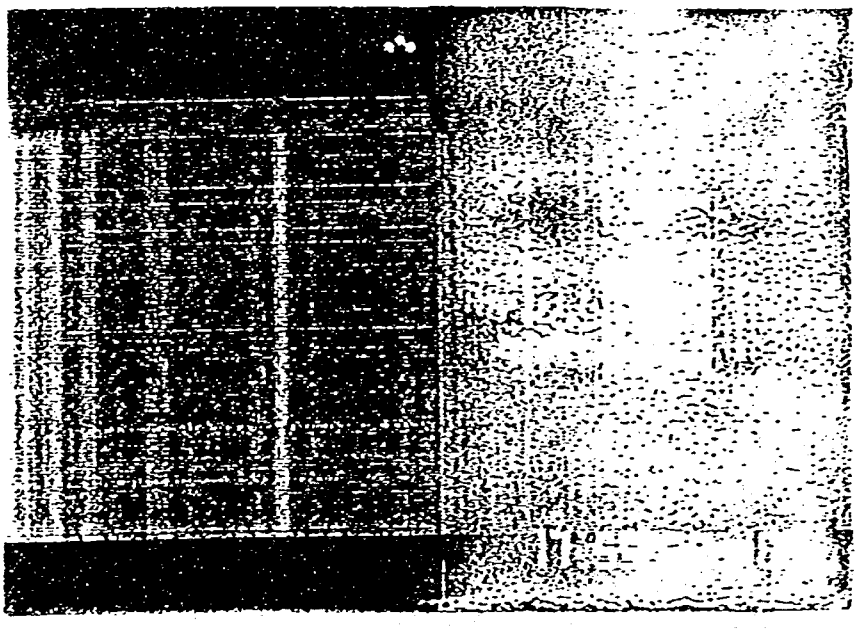
図表(4.1.1) 2-18　焦点距離48mm　夜間　200m地点停止状況



図表(4. 1. 1) 2-19　焦点距離48mm　夜間　300m地点停止状況



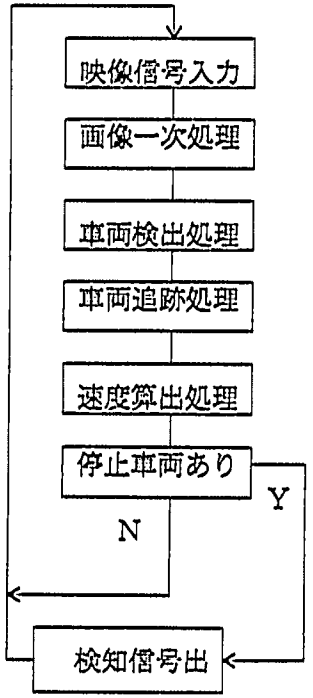
図表(4. 1. 1) 2-20　焦点距離48mm　夜間　400m地点停止状況



⑤評価・解析手法

下表に示す４手法により評価を実施した。

図表(4.1.1) 2-21　評価・解析手法

	手法 A	手法 B	手法 C	手法 D
処理概略フロー				
処理画像(H×V)	512×512	512×484	256×256	640×480

a)停止検出の可否

100m, 200m, 300m, 400m（参考では更に500m, 600m, 700m, 800m）地点に於ける車両停止検出の可否を停止時間計測精度[注1]を基準として判定する。

今回の判定では、停止時間計測精度30秒以上を基準とした。

注１：車両停止時間の真値２分と計測値との差

b)停止位置計測精度

実験の手順により予め取り決めた車両停止位置（真値）と計測値との差により判定する。

c)停止時間計測精度

実験の手順により予め取り決めた車両停止時間の２分を真値とし、計測値との差により判定する。

（3）実験結果

検出範囲に関する評価結果を図表(4.1.1) 2-22及び図表(4.1.1) 2-23に、また、計測精度に関する評価結果を図表(4.1.1) 2-24及び図表(4.1.1) 2-25に示す。

図表(4.1.1) 2-22 停止検出範囲評価結果

レンズ焦点距離[mm]	昼/夜	車種色等	検出最大距離[m] 手法 A	B	C	D
8	昼	白系統	400	400	100	200
		黒系統	400	400	100	200
	夜	ﾌﾞﾚｰｷ	200	400	300	200
		ｽﾓｰﾙ	200	400	300	200
15	昼	白系統	400	400	200	300
		黒系統	400	400	300	200
	夜	ﾌﾞﾚｰｷ	400	400	400	300
		ｽﾓｰﾙ	300	400	400	300
30	昼	白系統	400	400	300	300
		黒系統	400	400	300	300
	夜	ﾌﾞﾚｰｷ	400	400	400	300
		ｽﾓｰﾙ	400	400	400	300
48	昼	白系統	400	400	400	300
		黒系統	400	400	400	300
	夜	ﾌﾞﾚｰｷ	400	400	400	300
		ｽﾓｰﾙ	400	400	400	300
48（参考）	昼	白系統	---	---	---	---
		黒系統	800	800	500	***
	夜	ﾌﾞﾚｰｷ	800	800	800	500
		ｽﾓｰﾙ	800	800	700	700

評価は、停止判定時間を基準として、２分間（車両停止時間の真値）の内、30秒以上の場合につき停止検出可、30秒未満のものについては、停止検出否とした。

注）ﾌﾞﾚｰｷ：ﾌﾞﾚｰｷﾗﾝﾌﾟ点灯時（車両停止以降もﾌﾞﾚｰｷを踏んだ状態）

ｽﾓｰﾙ：ｽﾓｰﾙﾗﾝﾌﾟのみ点灯時（車両停止以降はﾌﾞﾚｰｷを踏まない状態）

---- ：評価対象外

図表(4.1.1) 2-22の結果及び評価時の画角を整理すると、各レンズに於ける検出範囲は、図表(4.1.1) 2-23の通りとなる。

図表(4.1.1) 2-23

ﾚﾝｽﾞ焦点距離	検出範囲
8	18.4～200 (400)
15	32.7～200 (400)
30	62.1～300 (400)
48	93.7～400
48 (参考)	100～500 (800)

注：( ) 内の値は、今回の評価の最高値、( ) 外の値は、最低値を示す。
また、( ) 内の値がないものに関しては、最高値＝最低値を示す。

図表(4.1.1) 2-24　停止位置計測精度評価結果(1/5)

レンズ焦点距離[mm]	停止位置[m]	昼/夜	車種色等	停止位置計測誤差[m] 手法 A	B	C	D
8	100	昼	白系統	-11	-1	+35	-13
			黒系統	-10	+1	+27	-11
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	-2	±0	+7	-23
			ｽﾓｰﾙ	-2	+1	+7	-15
	200	昼	白系統	-10	+2	****	+8
			黒系統	-9	+3	****	+2
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	-18	+3	-7	-29
			ｽﾓｰﾙ	-29	+8	+118	-38
	300	昼	白系統	+4	-5	****	****
			黒系統	-16	****	****	****
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	****	-4	+463	-71
			ｽﾓｰﾙ	****	+6	+463	-71
	400	昼	白系統	+2	-17	****	****
			黒系統	+5	±0	****	****
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	****	+18	****	****
			ｽﾓｰﾙ	****	+18	****	****

注）ﾌﾞﾚｰｷ：ﾌﾞﾚｰｷﾗﾝﾌﾟ点灯時（車両停止以降もﾌﾞﾚｰｷを踏んだ状態）

ｽﾓｰﾙ　：ｽﾓｰﾙﾗﾝﾌﾟのみ点灯時（車両停止以降はﾌﾞﾚｰｷを踏まない状態）

----　：評価対象外

****　：停止未検出

図表(4.1.1) 2-24　停止位置計測精度評価結果(2/5)

レンズ焦点距離[mm]	停止位置[m]	昼/夜	車種色等	停止位置計測誤差[m] 手法 A	B	C	D
15	100	昼	白系統	− 9	+ 1	+ 9	+ 15
			黒系統	− 6	+ 2	+ 2	+ 16
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	− 6	− 1	− 7	− 1
			ｽﾓｰﾙ	− 3	+ 2	− 4	+ 4
	200	昼	白系統	− 5	+ 3	+ 88	+ 48
			黒系統	− 2	− 3	+ 58	+ 9
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	− 1	− 3	+ 17	− 1
			ｽﾓｰﾙ	+ 6	+ 8	+ 24	− 1
	300	昼	白系統	+ 16	− 4	****	+ 43
			黒系統	+ 19	− 19	+274	+ 43
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+ 10	+ 4	+ 66	− 2
			ｽﾓｰﾙ	+ 10	+ 10	+ 86	− 2
	400	昼	白系統	+ 5	± 0	****	+ 87
			黒系統	+ 8	± 0	****	****
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+ 19	+ 10	+178	− 42
			ｽﾓｰﾙ	****	+ 10	+230	+ 2

図表(4.1.1) 2-24 停止位置計測精度評価結果(3/5)

レンズ焦点距離[mm]	停止位置[m]	昼/夜	車種色等	停止位置計測誤差[m]			
				手法			
				A	B	C	D
30	100	昼	白系統	− 12	− 1	+ 2	+ 6
			黒系統	− 14	− 1	− 6	+ 2
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	− 7	− 1	− 9	+ 1
			ｽﾓｰﾙ	− 6	+ 1	− 8	+ 6
	200	昼	白系統	− 12	± 0	+ 41	+ 14
			黒系統	− 9	+ 4	+ 16	+ 9
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	− 7	+ 2	+ 1	+ 2
			ｽﾓｰﾙ	− 4	+ 5	+ 1	± 0
	300	昼	白系統	+ 5	− 2	+105	+ 11
			黒系統	+ 13	+ 3	+ 74	+ 14
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	− 3	+ 3	+ 23	− 13
			ｽﾓｰﾙ	+ 4	+ 6	+ 23	− 11
	400	昼	白系統	+ 4	+ 5	****	+ 1
			黒系統	+ 9	+ 5	****	− 53
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+ 9	+ 5	+ 65	− 35
			ｽﾓｰﾙ	+ 9	± 0	+ 65	− 35

図表(4.1.1) 2-24 停止位置計測精度評価結果(4/5)

レンズ焦点距離[mm]	停止位置[m]	昼/夜	車種色等	停止位置計測誤差[m]			
				手法			
				A	B	C	D
48	100	昼	白系統	− 4	+ 1	− 5	− 9
			黒系統	− 5	+ 1	− 5	+ 12
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	− 4	± 0	± 0	+ 2
			ｽﾓｰﾙ	− 5	+ 1	− 5	+ 8
	200	昼	白系統	− 6	+ 4	+ 8	+ 17
			黒系統	− 6	+ 6	+ 8	+ 9
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	− 9	+ 2	+ 10	+ 23
			ｽﾓｰﾙ	− 6	+ 5	+ 10	+ 15
	300	昼	白系統	− 7	+ 4	+ 34	+ 25
			黒系統	− 7	+ 8	+ 34	+ 13
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	− 4	+ 1	+ 45	+ 27
			ｽﾓｰﾙ	± 0	+ 4	+ 45	+ 29
	400	昼	白系統	+ 5	+ 3	+ 94	+ 12
			黒系統	+ 5	+ 6	+ 94	+ 19
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	± 0	± 0	+100	+ 26
			ｽﾓｰﾙ	+ 7	+ 6	+100	+ 45

図表(4.1.1) 2-24 停止位置計測精度評価結果(5/5)

レンズ焦点距離[mm]	停止位置[m]	昼/夜	車種色等	停止位置計測誤差[m] 手法 A	B	C	D
48 (参考)	500	昼	白系統	----	----	----	----
			黒系統	+ 25	- 4	+ 70	****
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	- 3	- 4	+ 70	+ 36
			ｽﾓｰﾙ	- 4	- 9	- 6	- 27
	600	昼	白系統	----	----	----	----
			黒系統	+ 51	- 4	****	****
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+ 12	+ 15	+195	+101
			ｽﾓｰﾙ	+ 32	+ 9	+ 54	- 3
	700	昼	白系統	----	----	----	----
			黒系統	+129	± 0	****	****
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+ 54	+ 9	+312	****
			ｽﾓｰﾙ	+ 4	- 9	+ 68	- 26
	800	昼	白系統	----	----	----	----
			黒系統	+ 89	- 11	****	****
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+ 57	- 11	+437	****
			ｽﾓｰﾙ	+ 32	- 33	****	****

図表(4.1.1) 2-25　停止時間計測精度評価結果(1/5)

レンズ焦点距離[mm]	停止位置[m]	昼/夜	車種色等	停止時間計測誤差[s]			
				手法			
				A	B	C	D
8	100	昼	白系統	+ 9	+ 5	- 1	+ 5
			黒系統	+13	+13	+13	+ 15
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+18	+10	+10	+ 11
			ｽﾓｰﾙ	+22	+12	+14	+ 6
	200	昼	白系統	-16	+ 3	***	+ 8
			黒系統	+16	+12	***	+ 18
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+22	+11	+11	+ 11
			ｽﾓｰﾙ	+20	+13	+12	+ 19
	300	昼	白系統	+ 8	+14	***	***
			黒系統	+23	***	***	***
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	***	+13	+14	***
			ｽﾓｰﾙ	***	+15	+18	***
	400	昼	白系統	±0	+ 3	***	***
			黒系統	+22	+19	***	***
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	***	+24	***	***
			ｽﾓｰﾙ	***	+16	***	***

注）ﾌﾞﾚｰｷ：ﾌﾞﾚｰｷﾗﾝﾌﾟ点灯時（車両停止以降もﾌﾞﾚｰｷを踏んだ状態）

ｽﾓｰﾙ　：ｽﾓｰﾙﾗﾝﾌﾟのみ点灯時（車両停止以降はﾌﾞﾚｰｷを踏まない状態）

----　：評価対象外

****　：停止未検出

図表(4.1.1) 2-25　停止時間計測精度評価結果(2/5)

レンズ焦点距離[mm]	停止位置[m]	昼/夜	車種色等	停止時間計測誤差[s] 手法 A	B	C	D
15	100	昼	白系統	+14	+10	+ 9	+ 12
			黒系統	+21	+19	+14	+ 18
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+20	+12	+11	+ 13
			ｽﾓｰﾙ	+16	+15	+ 3	+ 14
	200	昼	白系統	+18	+ 9	+10	+ 9
			黒系統	+24	+19	+18	+ 18
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+25	+12	+11	+ 18
			ｽﾓｰﾙ	+11	+13	+12	+ 15
	300	昼	白系統	+24	+12	+17	***
			黒系統	+26	+19	+16	+ 18
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+ 2	+18	+16	+ 18
			ｽﾓｰﾙ	+18	+16	-113	+ 17
	400	昼	白系統	+12	+ 8	***	***
			黒系統	+44	+48	***	***
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+16	+20	***	***
			ｽﾓｰﾙ	***	+11	***	***

図表(4.1.1) 2-25　停止時間計測精度評価結果(3/5)

レンズ焦点距離[mm]	停止位置[m]	昼/夜	車種色等	停止時間計測誤差[s]			
				手法			
				A	B	C	D
30	100	昼	白系統	+15	+14	+ 9	+ 12
			黒系統	+21	+20	+16	+ 13
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+21	+10	+15	+ 17
			ｽﾓｰﾙ	+19	+16	+14	+ 11
	200	昼	白系統	+18	+17	+ 8	+ 16
			黒系統	+19	+17	+16	+ 16
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+15	+11	+14	+ 11
			ｽﾓｰﾙ	+14	+13	+13	+ 13
	300	昼	白系統	+22	+17	+14	+ 6
			黒系統	+26	+17	+15	+ 16
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+24	+16	+14	+ 19
			ｽﾓｰﾙ	+20	+16	+17	+ 16
	400	昼	白系統	+15	+ 9	***	***
			黒系統	+18	+18	***	***
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+18	+18	+14	***
			ｽﾓｰﾙ	+38	+36	+36	***

図表(4.1.1) 2-25 停止時間計測精度評価結果(4/5)

レンズ焦点距離[mm]	停止位置[m]	昼/夜	車種色等	停止時間計測誤差[s] 手法 A	B	C	D
48	100	昼	白系統	+13	+11	+ 8	+ 15
			黒系統	+17	+12	+13	+ 5
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+12	+11	+ 7	+ 8
			ｽﾓｰﾙ	+20	+17	+15	+ 16
	200	昼	白系統	+12	+13	+ 5	+ 9
			黒系統	+16	+12	+13	+ 5
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+16	+13	+10	+ 11
			ｽﾓｰﾙ	+15	+13	+ 8	+ 7
	300	昼	白系統	+16	+14	+11	+ 13
			黒系統	+21	+13	+18	+ 10
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+19	+16	+ 9	+ 13
			ｽﾓｰﾙ	+15	+11	+ 9	+ 13
	400	昼	白系統	+12	+ 9	+10	***
			黒系統	+20	+19	+15	***
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+324	+24	+18	***
			ｽﾓｰﾙ	+20	+17	+14	***

図表(4.1.1) 2-25 停止時間計測精度評価結果(5/5)

レンズ焦点距離[mm]	停止位置[m]	昼/夜	車種色等	停止時間計測誤差[s] 手法 A	B	C	D
48(参考)	500	昼	白系統	---	---	---	---
			黒系統	+45	+69	***	***
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+24	+16	+18	+21
			ｽﾓｰﾙ	+37	+20	+18	+34
	600	昼	白系統	---	---	---	---
			黒系統	+63	+40	***	***
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+33	+20	+17	***
			ｽﾓｰﾙ	+34	+20	+18	+27
	700	昼	白系統	---	---	---	---
			黒系統	+31	+27	***	***
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+27	+16	+15	***
			ｽﾓｰﾙ	+30	+16	+17	+31
	800	昼	白系統	---	---	---	---
			黒系統	+22	+15	***	***
		夜	ﾌﾞﾚｰｷ	+23	+ 9	+13	***
			ｽﾓｰﾙ	- 1	+ 9	***	***

（4）考察

①検出範囲

図表(4.1.1) 2-22に於ける検出範囲の差は、検出アルゴリズム、処理画像構成（インフラセンサ（画像処理装置）で扱う画像の垂直、水平解像度）が主な原因であると考えられる。

最高値のみを比較した場合には、今回評価対象としたいずれのレンズに於いても、400mまで停止車両の検出が可能という結果を得たが、最低値も含め比較をした場合には、より焦点距離の長いレンズの方が検出範囲が広がる傾向にあると言える。これは、昼間に於いては、車両自体、車両によりできる影などを特徴点として抽出を行う手法が主であるが、焦点距離が短いほど遠方での分解能が劣るため、ノイズとの識別が困難になるなど特徴点の抽出が不安定となることによるものであり、夜間に於いては、処理の過程は異なるとしても結果的にテールランプを特徴点として

抽出する手法が主であり、昼間に比べて特徴点のコントラストを確保し易いが、特徴点自体が小さくなるため、やはり、昼間と同様なことが言えると考えられる。

②時間計測精度

停止時間の計測精度に関しては、レンズ焦点距離の違いによる差は見られず、一部のデータ（各手法とも揃って誤差が大きく、外的要因が考えられるもの及び１手法のみ突出しているもの）を除いては、いずれも真値の２分間に対して、－16～＋26[s]という結果となった。

但し、参考として実施した焦点距離48㎜の500m～800mに関しては、－１～＋60[s]程度と誤差として大きくなる傾向にあると言える。

③位置計測精度

位置計測精度は、より遠方（300m以上）での計測精度を比較した場合には、焦点距離の長いレンズの方が有利な結果を得たが、比較的近い場所（100m～200m）を対象とした場合には、焦点距離の違いによる差が見られない結果となった。

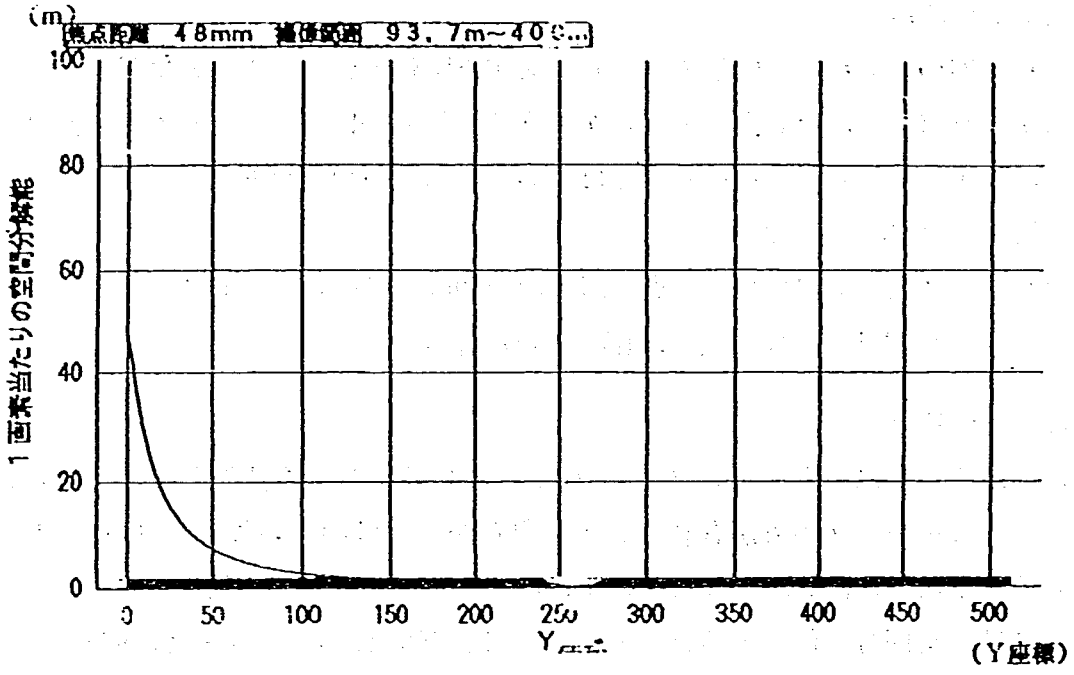
これは、空間分解能によるところも大きく、200m程度までは比較的レンズ毎の差が小さいのに対し、300m以降に関しては、その差が明確になるためであると考えられる。

この他、アルゴリズム、画像処理構成なども少なからず影響していると考える。

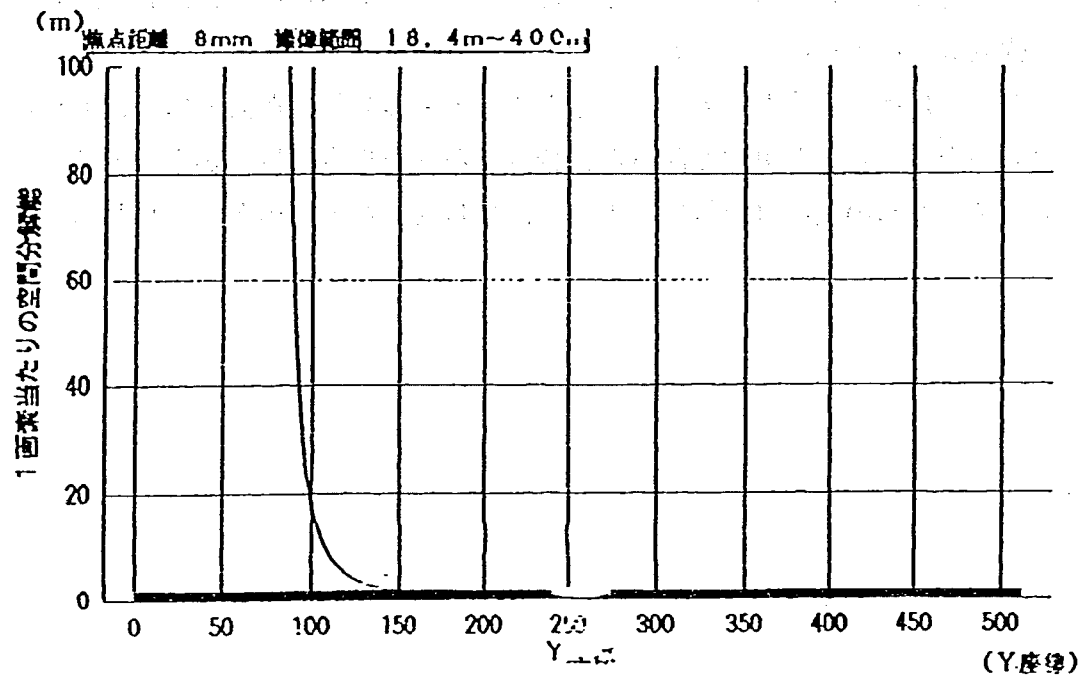
アルゴリズムとしては、車尾を正確に認識（推測）するということが必要になってくるが、車尾を正確に認識することが出来ずに車頭、車高、車両の影あるいは他のノイズを車尾として誤認識した場合には、焦点距離が短いほど、更に遠方になるほど位置計測誤差への影響は大きくなると考えられる。

また、処理画像構成としては、対象とする画像の分解度が高いほど、より正確に位置計測を行うことが可能となるが、分解能が低い場合には、焦点距離及び計測対象のカメラからの位置（距離）による差が生じ易くなるものと考えられる。

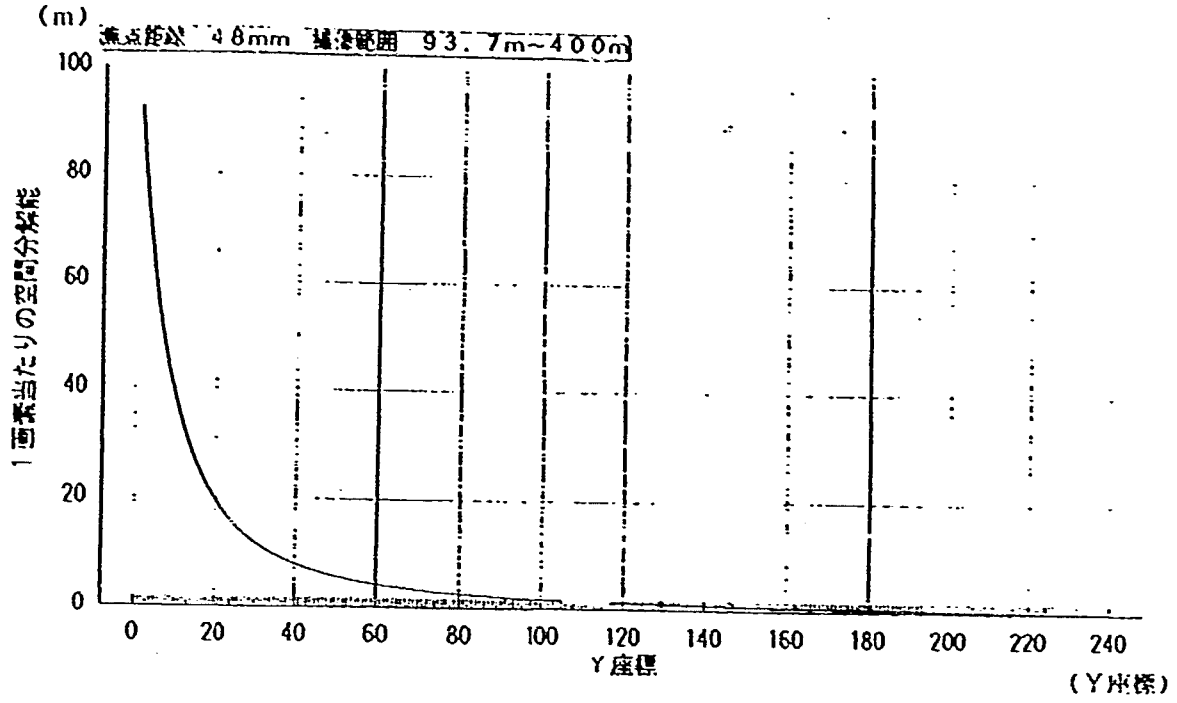
図表(4.1.1) 2-26　フレームを対象とした場合の空間分解能のグラフ



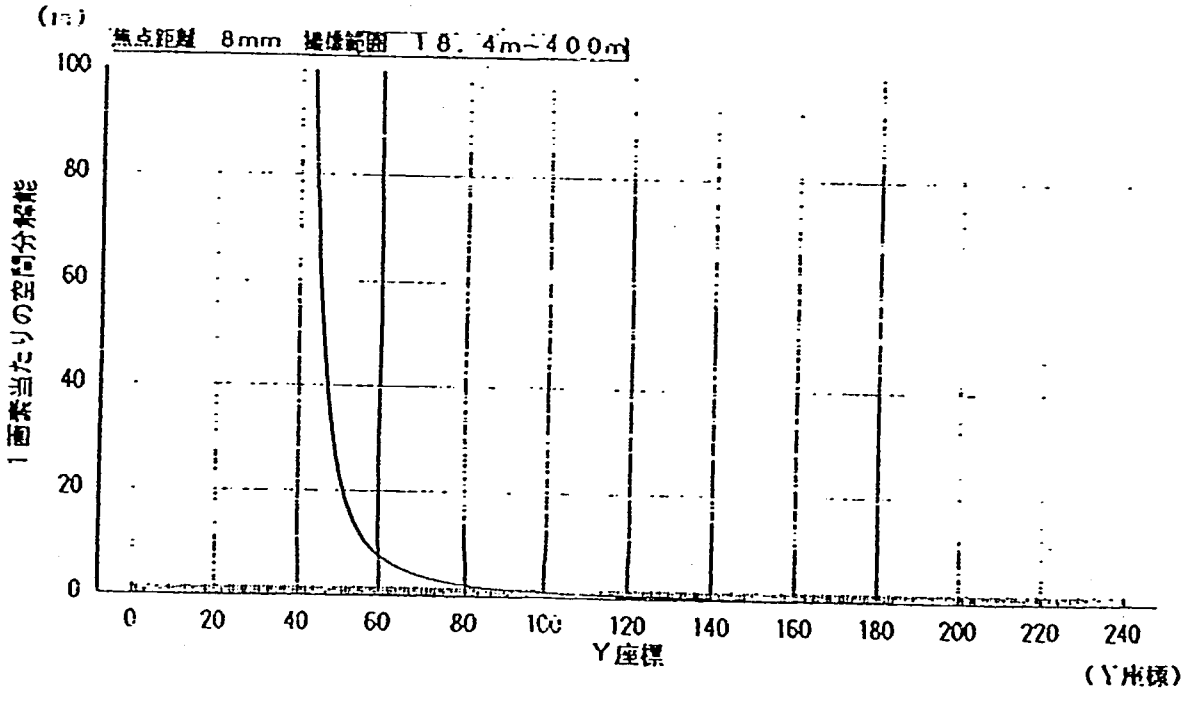
図表(4.1.1) 2-27　フレームを対象とした場合の空間分解能のグラフ



図表(4.1.1) 2-28　フィールドを対象とした場合の空間分解能のグラフ



図表(4.1.1) 2-29　フィールドを対象とした場合の空間分解能のグラフ



車両停止の細分化判定

（1）目的

ＣＣＴＶカメラの映像に画像処理を施すことで、走行する車両を検知・追跡し、突発事象の検出を行う。

その際車両の走行軌跡に着目し、車両停止の細分化判定の可能性について評価を行う。

（2）実験

①概要

カメラ仕様、設置環境を固定、レンズの焦点距離及び俯角を可変とし、車両の単なる停止と事故による停止を想定して撮影を行う。

日時：平成 7年12月12日（火）
場所：茨城県つくば市大字旭１番地
建設省土木研究所敷地内
テストコース、ガントリークレーン部

撮影条件

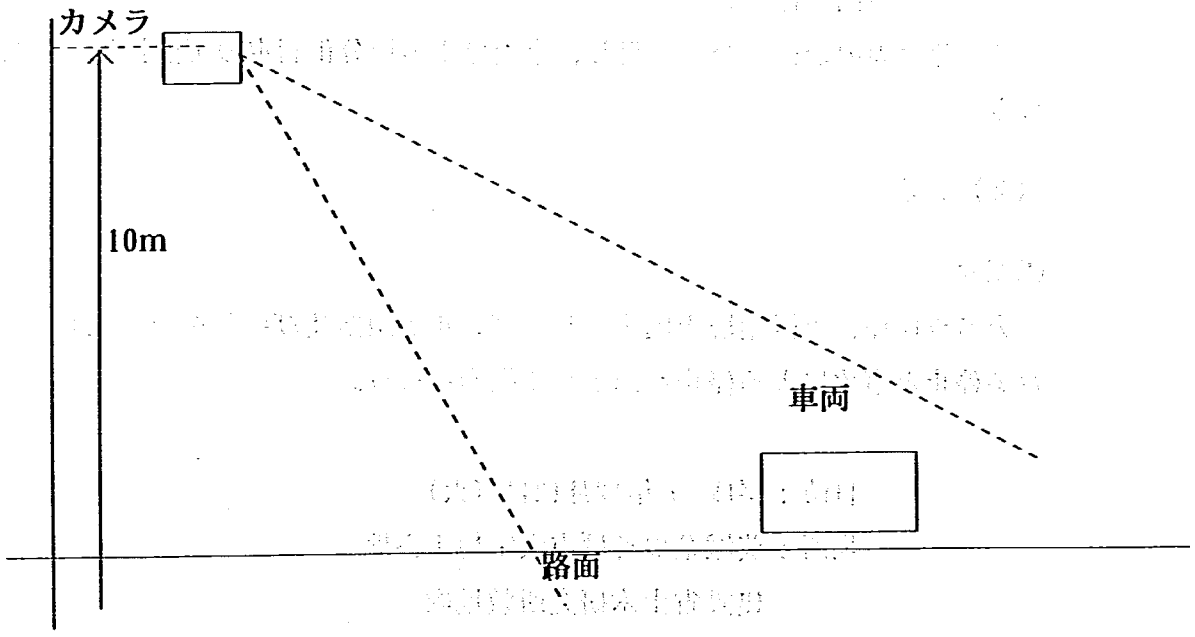
・カメラ　：1/2インチＣＣＤ単板カラーカメラ
・レンズ　：手動ズームレンズ　8、15(㎜)
・設置高さ：10(m)
・天候　　：晴天
・停止位置：カメラ取り付け位置から40、100(m)
・停止方法：低速停止、急停止、蛇行、本線からの逸脱、横向
・時間帯　：昼間、夜間
・車種　　：白系統自動車、黒系統自動車（夜間は黒系統自動車のみ）

停止方法の詳細

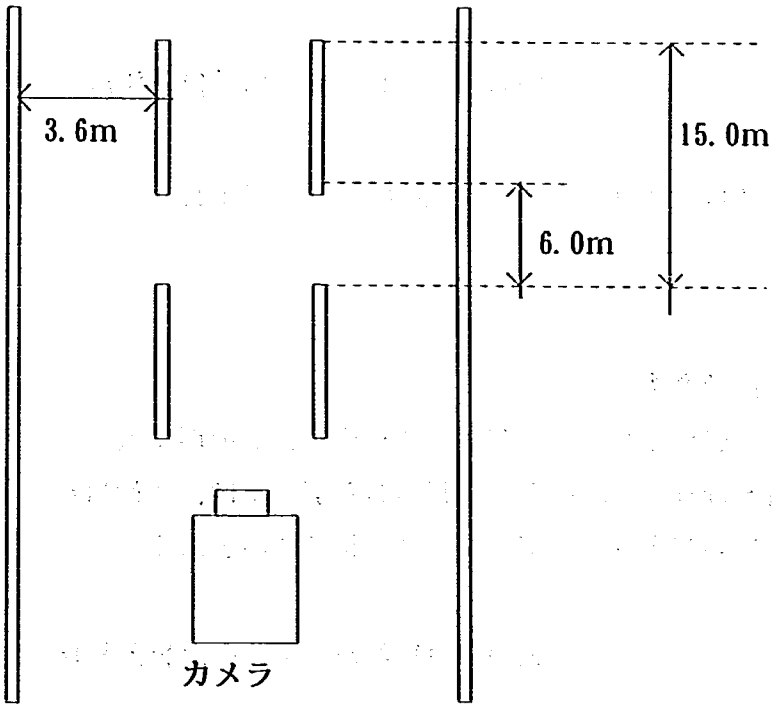
・低速停止：80（㎞/h）程度の走行状態から計測範囲内で減速し始め、通常停止。
・急停止　：80（㎞/h）程度の走行状態から計測範囲内で減速し始め、急停止。
・蛇行　　：車線を超えた蛇行運転後、停止。
・本線逸脱：本線から路肩（左車線を路肩と想定）へ逸脱し、停止。
・横向き　：低速走行後、車線方向に対し横向きに停止。

②実験収録環境

図表(4.1.1) 2-30　カメラ設置条件



図表(4.1.1) 2-31　カメラ設置図



③実験手順

レンズ焦点距離を８㎜として、カメラから40m付近がモニタＴＶの画面上部に映るようにカメラユニット俯角を調整し、撮影を開始する。

(1)80(km/h)程度の速度で白系統乗用車を走行させ、カメラから40m付近にて車両を通常停止させる。
(2)約１分間停止する。
(3)黒系統乗用車について(1)～(2)を行う。
(4)急停止、蛇行、本線逸脱、横向きについても下記の通り白系統乗用車と黒系統乗用車について実施する。

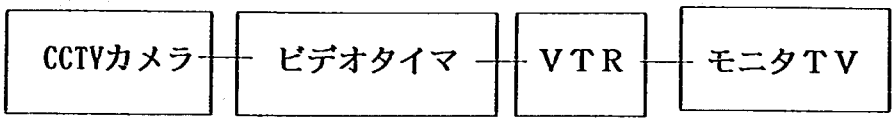
同様に、レンズ焦点距離15㎜でカメラから100m付近での車両停止についても撮影を行う。

以上の作業を昼間及び夜間の時間帯について行う。但し、夜間に関しては車両は黒系統乗用車のみを用い、ヘッドライトを点灯して走行するものとする。

④実験機器構成

実験収録時の構成を示す

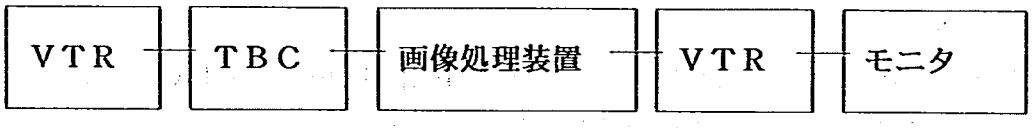
図表(4.1.1) 2-32　実験機器構成



（３）評価方法

実験で収録した映像をＶＴＲで再生し、その再生映像から画像処理装置により映像解析を行う。計測によって得られたデータは、映像目視による真値と比較し、各条件別に評価する。以下にデータ解析系統図を示す。

図表(4.1.1) 2-33　データ解析系統図



（4）評価内容

①通常停止、急停止

・画像処理装置により、収録映像から車両の検出・追跡を行い、車両速度を計測する。

（横軸：時間、縦軸：計測速度としたグラフを作成）

・同じ条件下（昼、夜、車両の色、停止位置）で通常停止と急停止のグラフを比較し、特徴を抽出する。

②蛇行、本線逸脱、横向き

・画像処理装置により、収録映像から車両の検出・追跡を行い、車両の走行軌跡を求める。

・グラフから各々の場合において特徴を抽出する。

評価パターンの一覧を図表(4.1.1) 2-34に示す。

図表(4.1.1) 2-34　評価パターン一覧

停止位置	焦点距離	停止方法	昼		夜	画　角
			白	黒	黒	
40m	8mm	通常停止	○	○	○	11.7～52.0m
		急停止	○	○	○	
		蛇行	○	○	○	
		本線逸脱	○	○	○	
		横向き	○	○	○	
100m		通常停止	○	○	○	
		急停止	○	○	○	26.5～110.0m
		蛇行	○	○	○	
		本線逸脱	○	○	○	
		横向き	○	○	○	

凡例：　○評価対象

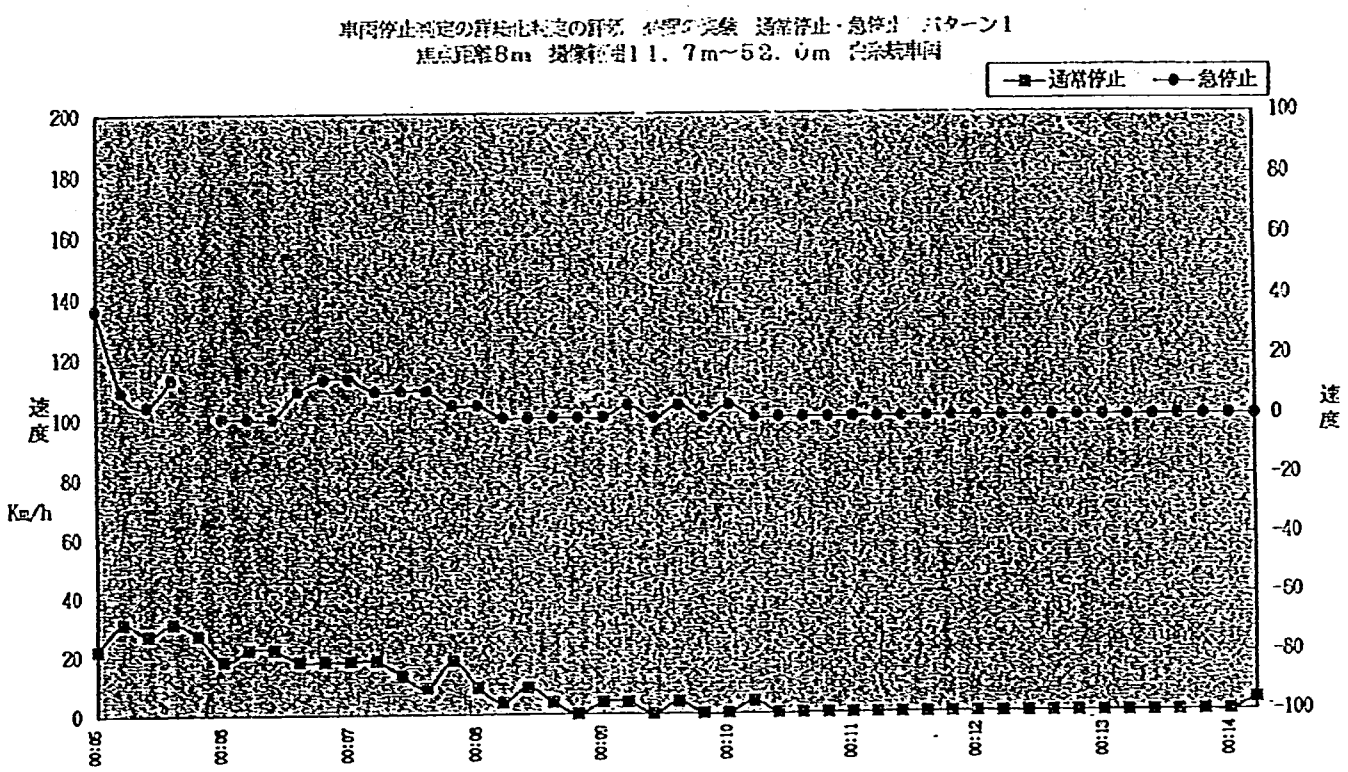
（5）実験結果

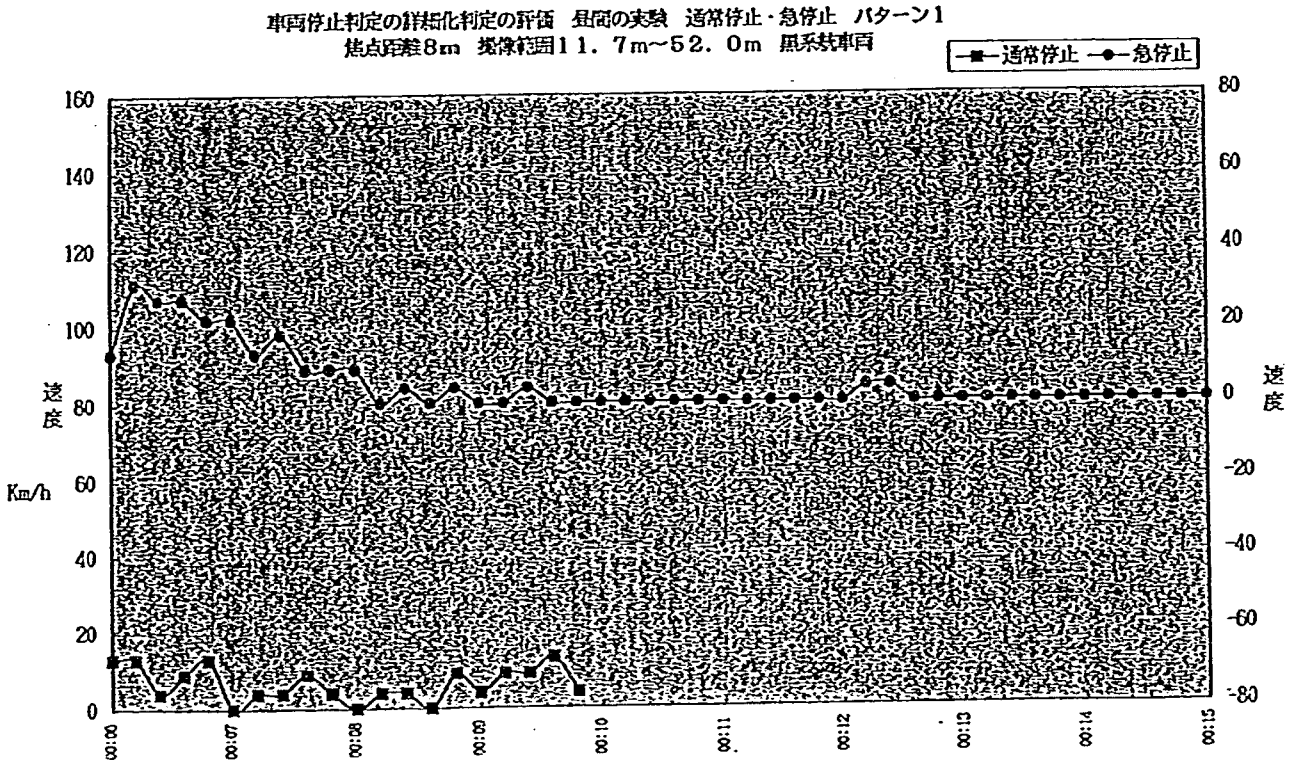
①昼間の実験　パターン1（停止位置：カメラから40m）

a)通常停止、急停止

焦点距離：8㎜　　撮像範囲：11.7m～52.0m　　照　　度：43000lux

図表(4.1.1) 2-35





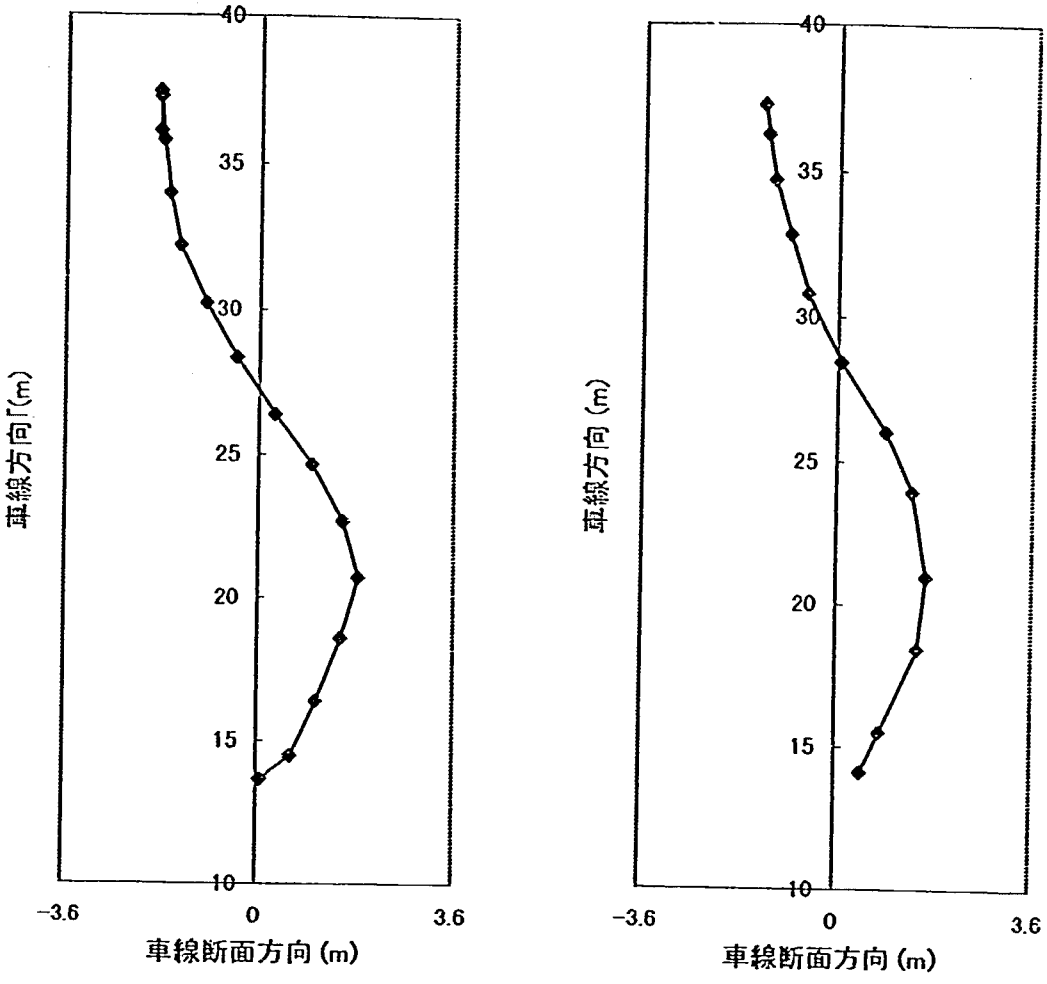
b)蛇行

焦点距離　8㎜

撮像範囲　11.7m～52.0m

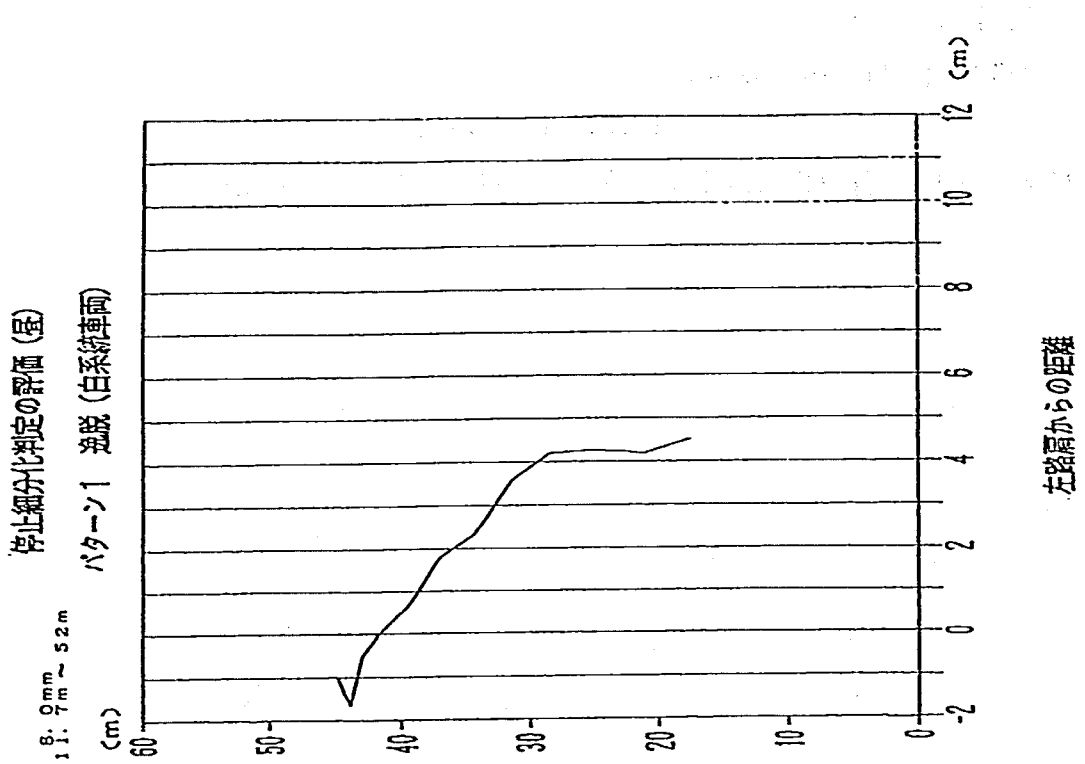
図表(4.1.1) 2-36

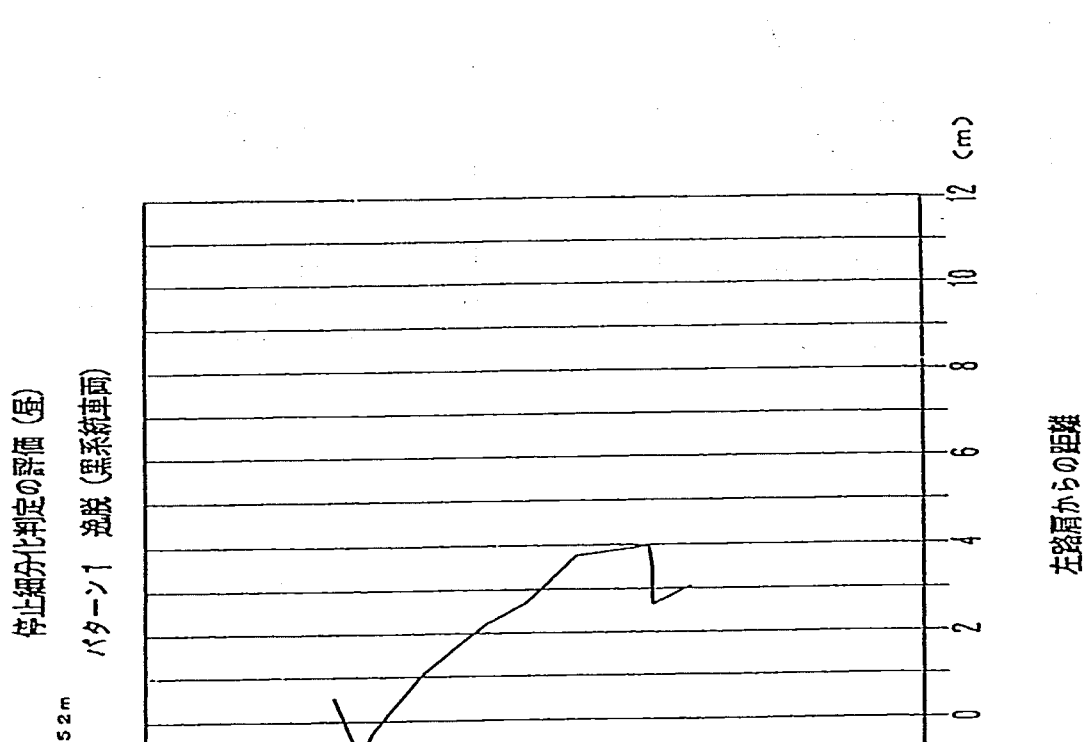
パターン1　蛇行（白系統車両:昼）　　パターン1　蛇行（黒系統車両：昼）



c)本線逸脱

図表(4.1.1) 2-37



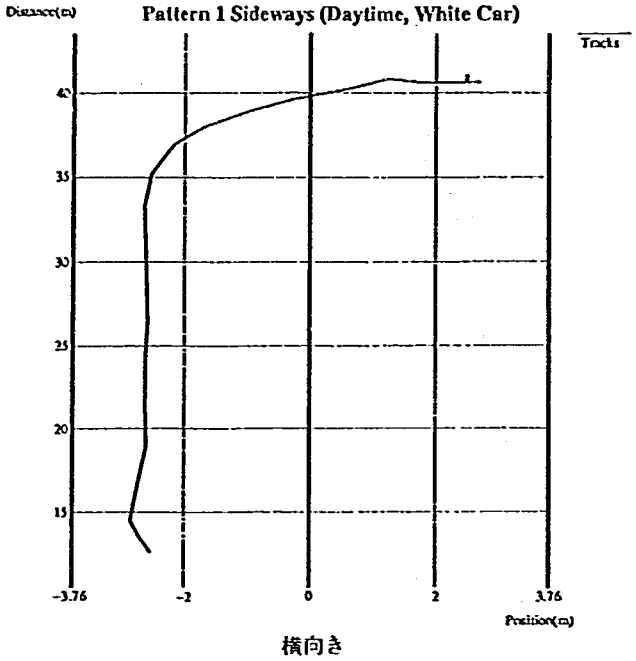


d)横向き

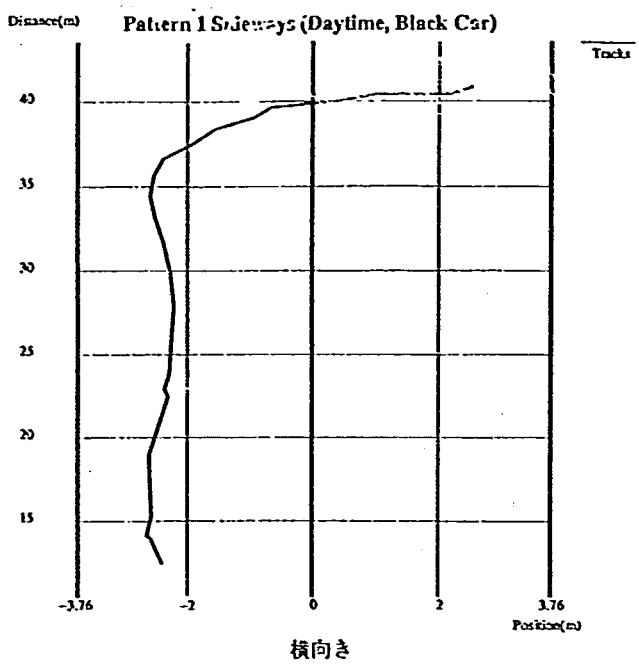
焦点距離　8㎜

撮像範囲　11.7m～52.0m

図表(4.1.1) 2-38



横向き



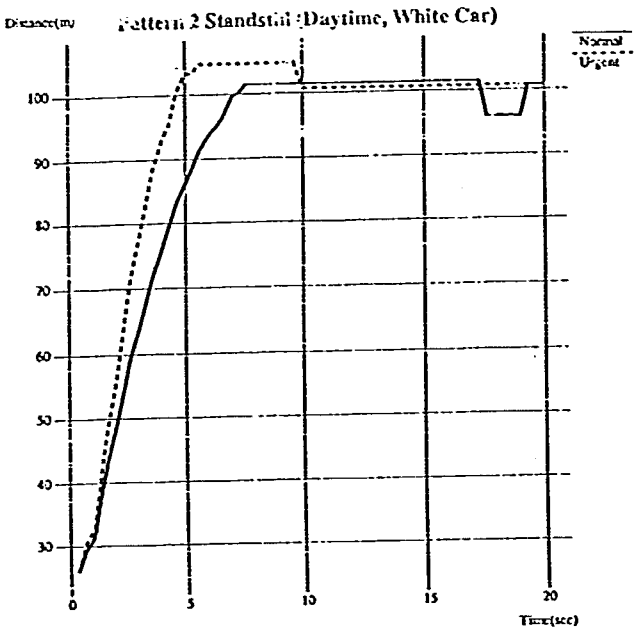
横向き

②昼間の実験　パターン２（停止位置：カメラから100m）

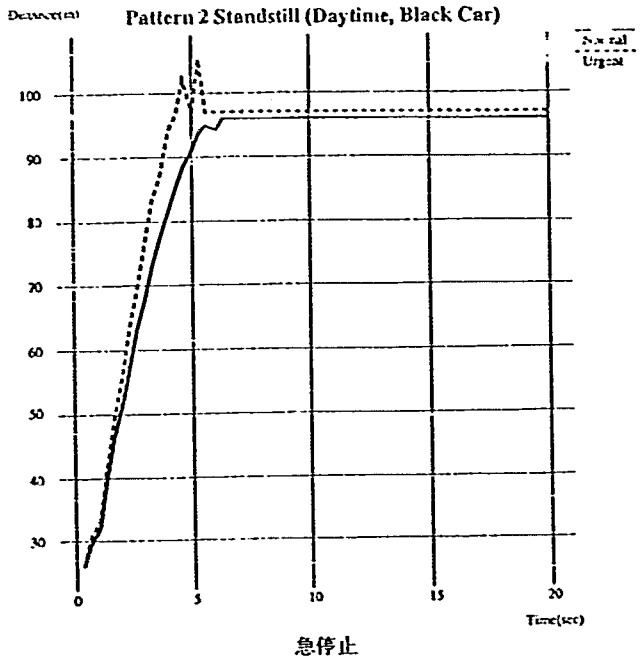
a)通常停止、急停止

焦点距離：15mm　　撮像範囲：26.5m～110.0m

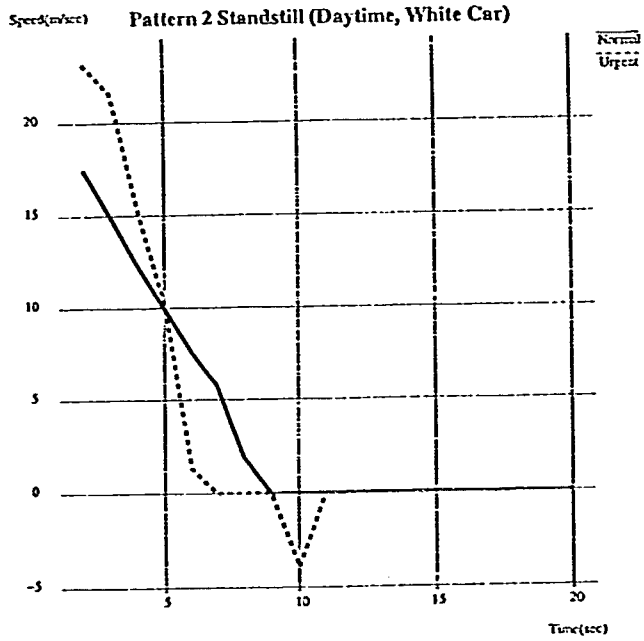
図表(4.1.1) 2-39



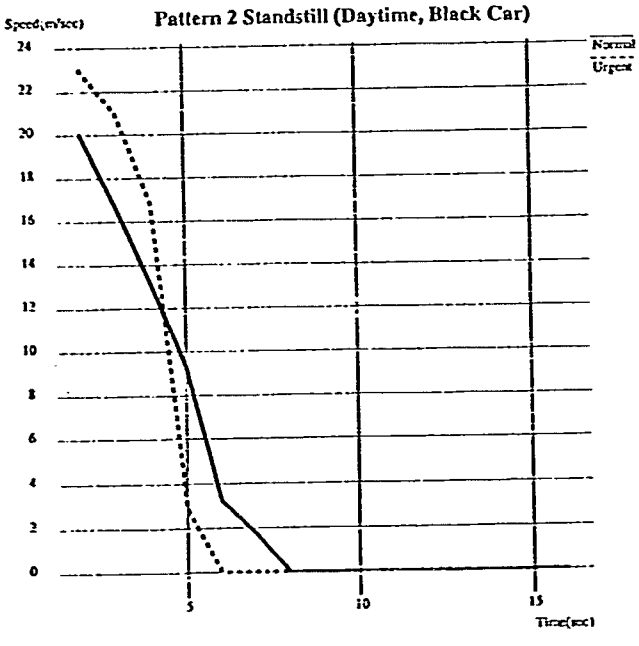
急停止



急停止



急停止

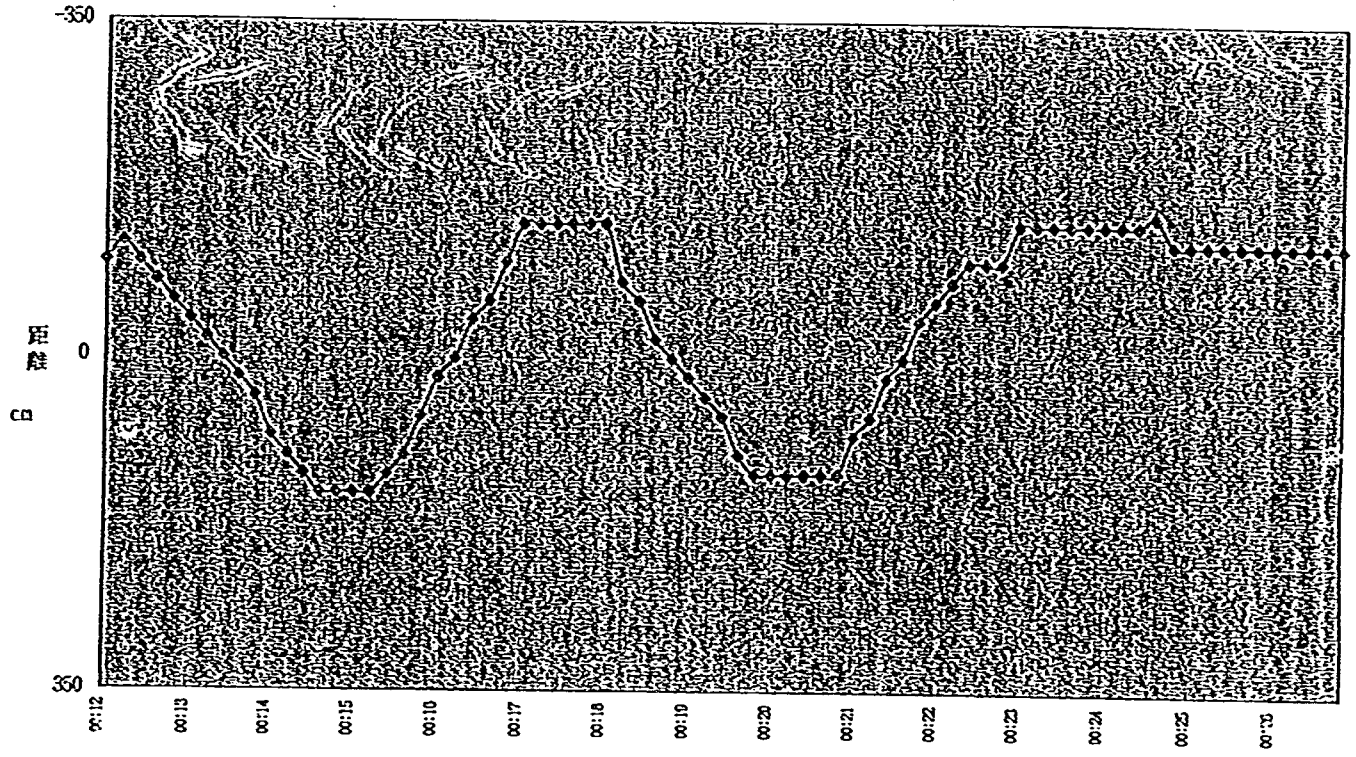


急停止

b)蛇行

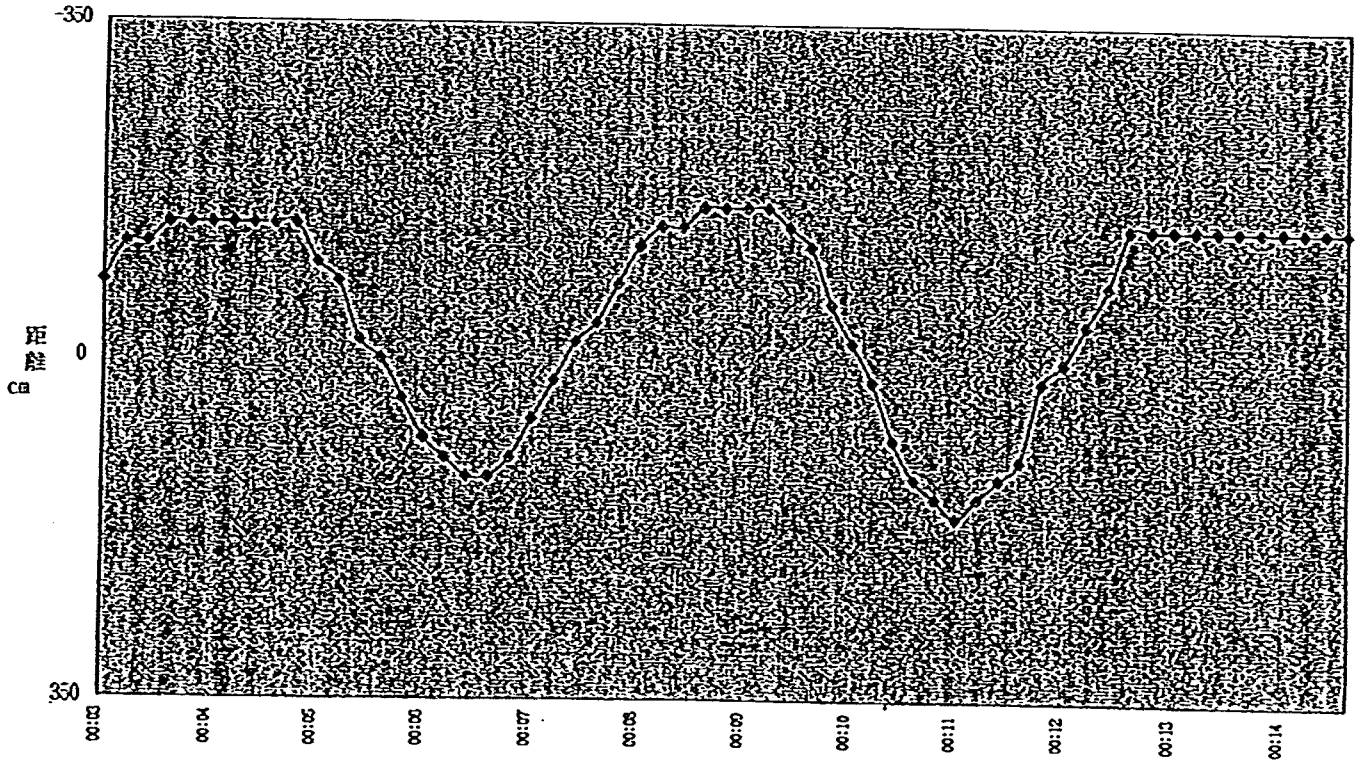
図表(4. 1. 1) 2-40

車両停止判定の詳細化判定の評価 昼間の実験 蛇行 パターン2
焦点距離15m 撮像範囲26. 5m~110. 0m 白系統車両

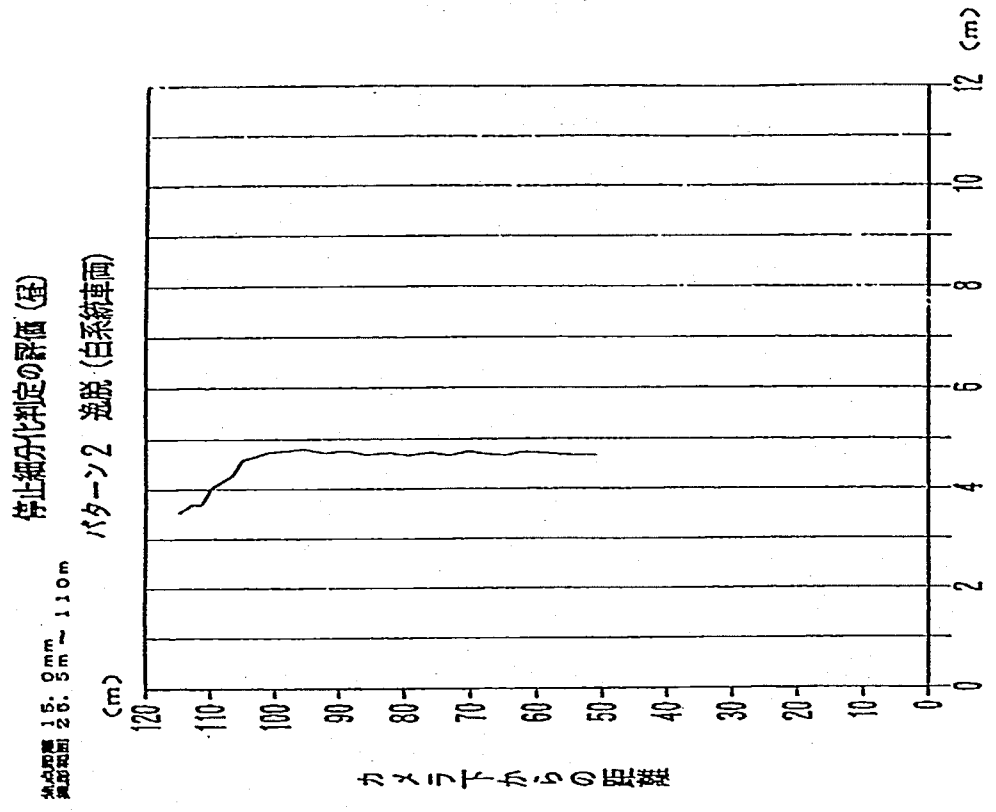


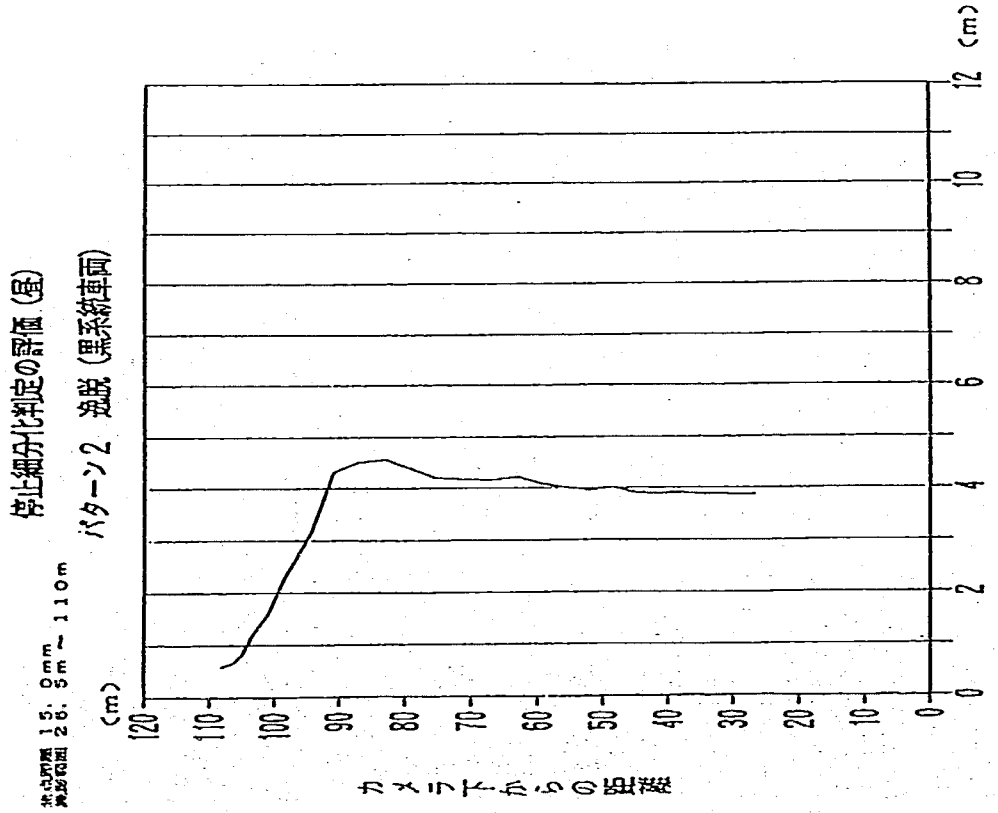
図表(4. 1. 1) 2-41

車両停止判定の詳細化判定の評価 昼間の実験 蛇行 パターン2
焦点距離15m 撮像範囲26. 5m~110. 0m 黒系統車両



c)本線逸脱





図表(4.1.1) 2-42

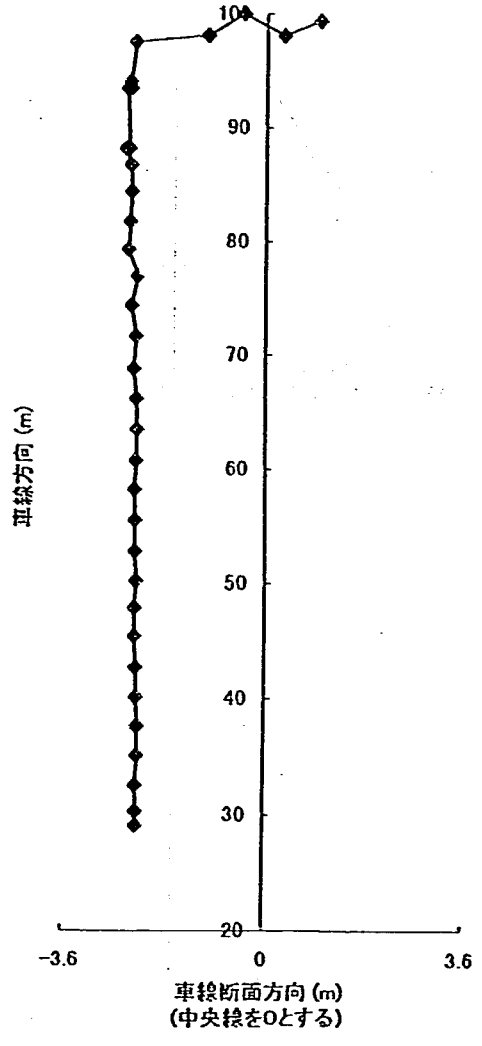
d)横向き

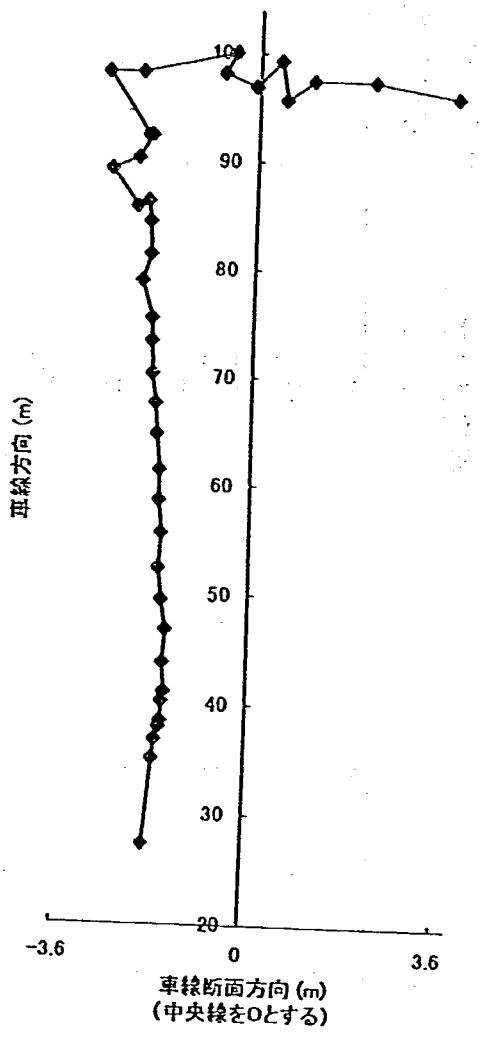
焦点距離　15mm

撮像範囲　26.5m～110.0m

図表(4.1.1) 2-43

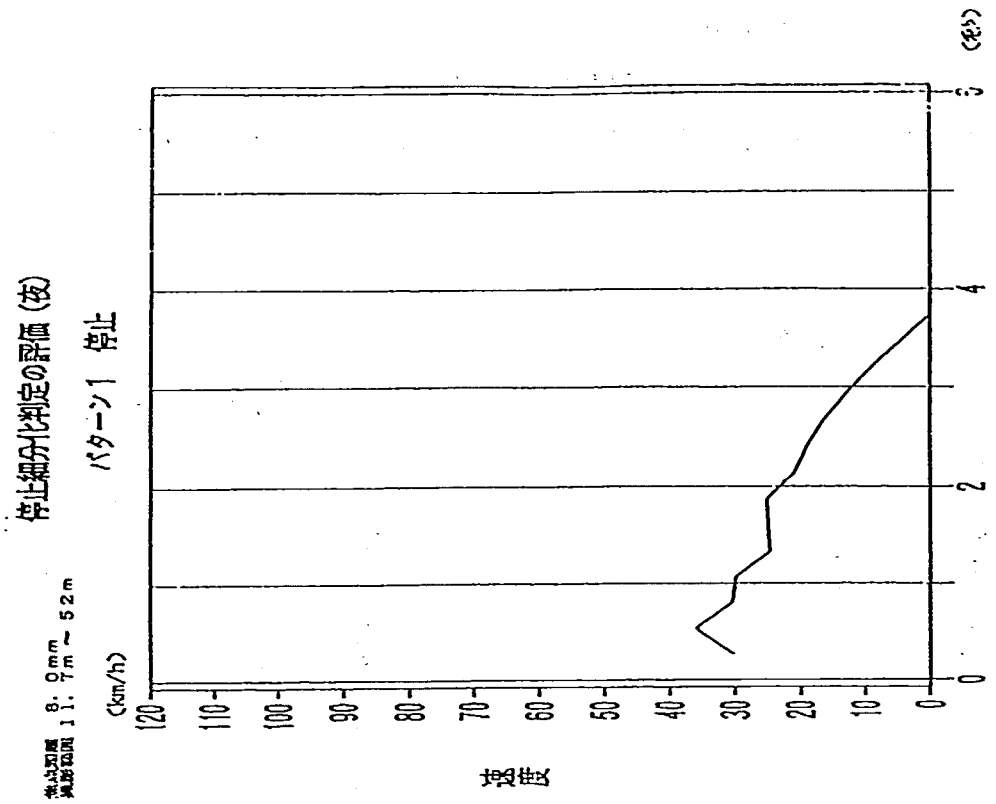
パターン2 横向き（白系統車両:昼）　パターン2 横向き（黒系統車両：夜）

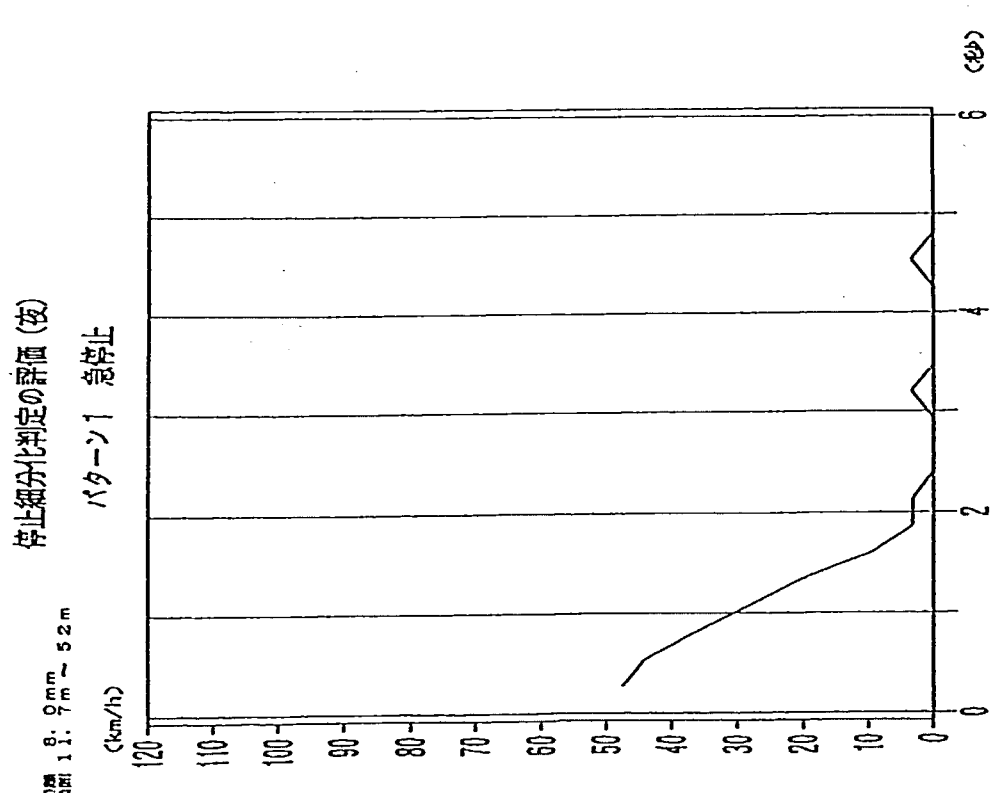




③夜間の実験　パターン１（停止位置：カメラから100m）

a)通常停止、急停止





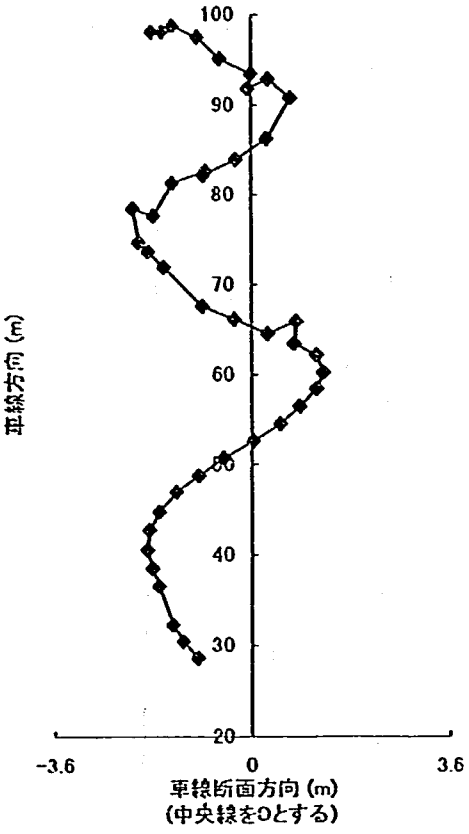
図表（4.1.1）2-44

b)蛇行

焦点距離　15mm

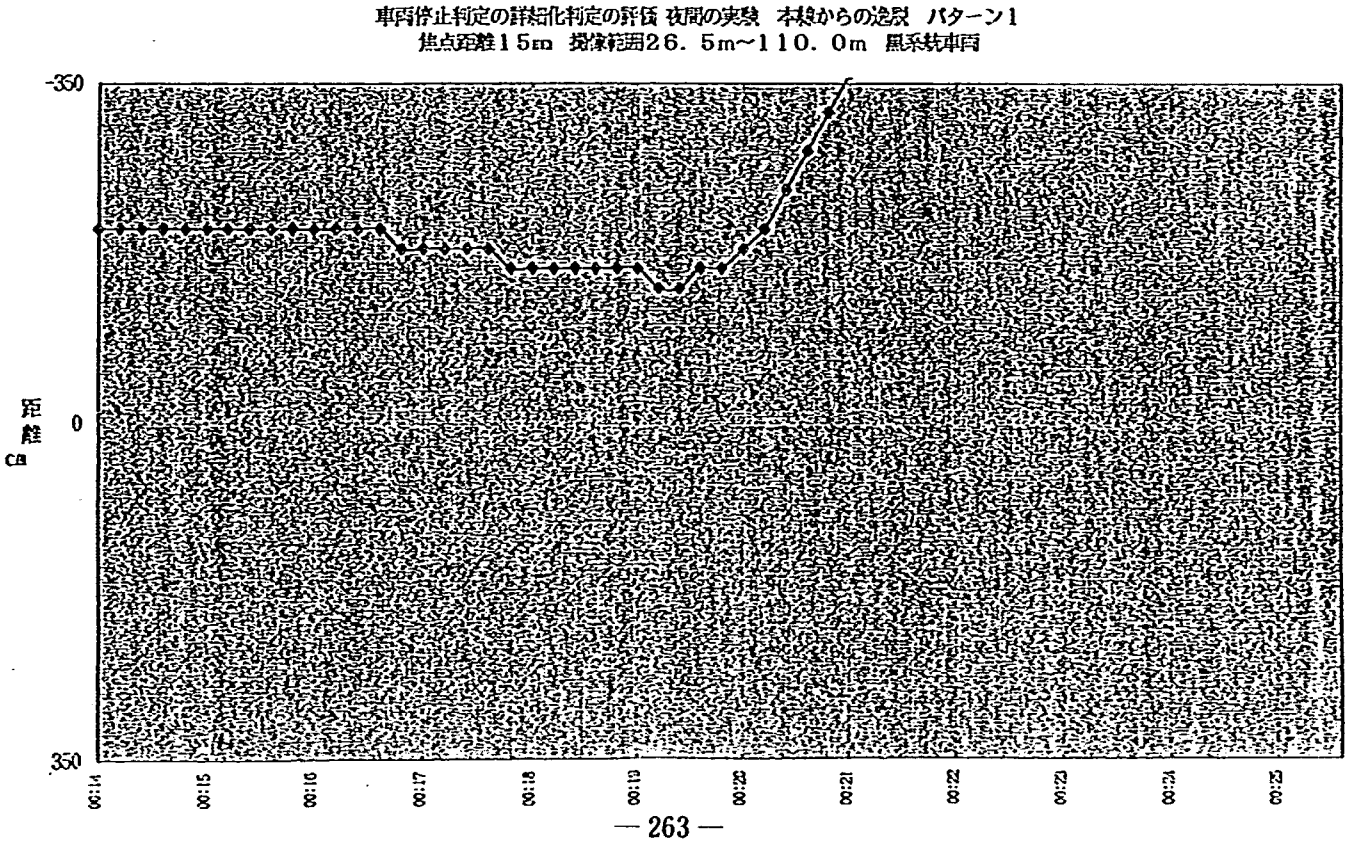
撮像範囲　26.5m～110.0m

図表(4.1.1) 2-45



c)本線逸脱

図表(4.1.1) 2-46

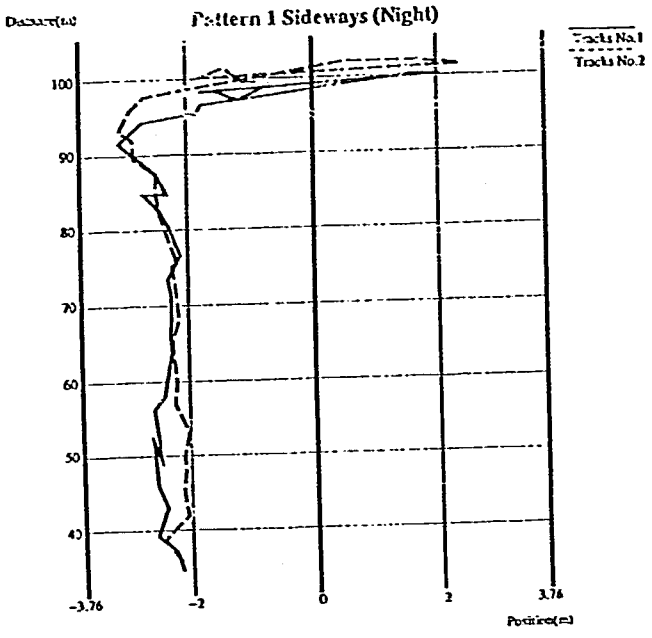


d)横向き

焦点距離　15.0mm

撮像範囲　26.5m～110.0m

図表(4.1.1) 2-47

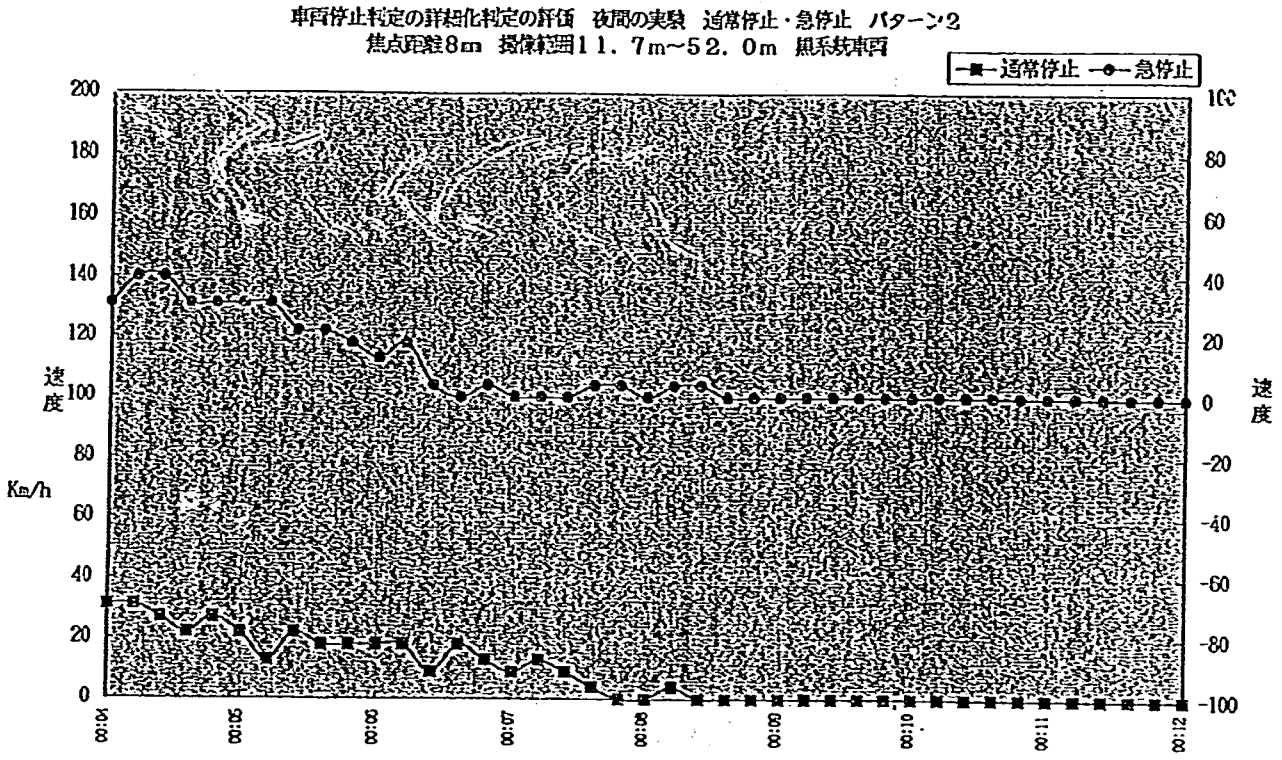


横向き

④夜間の実験　パターン２

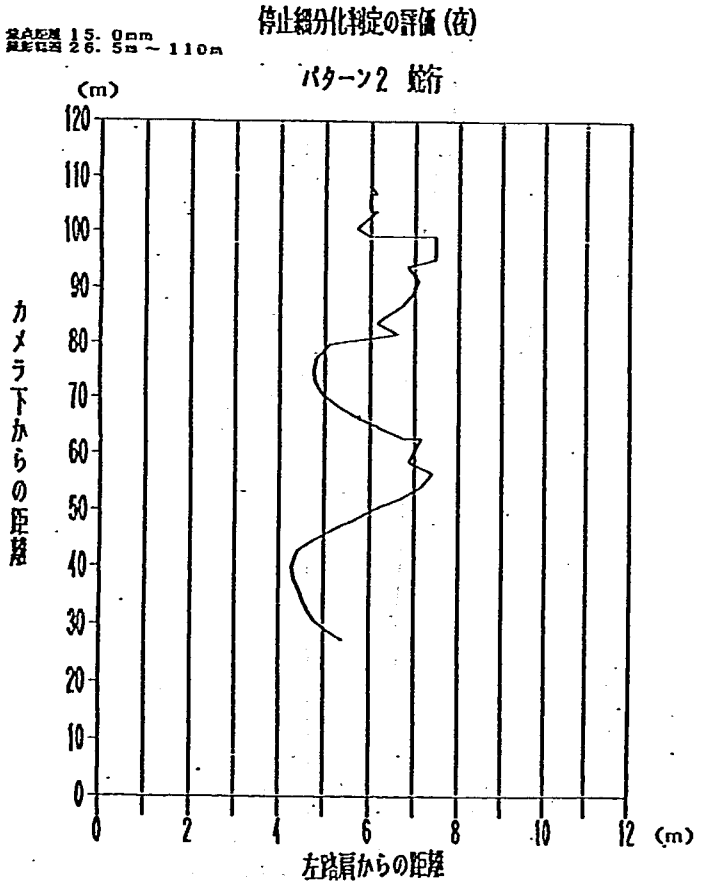
a)通常停止、急停止

図表(4 1. 1) 2-48



b)蛇行

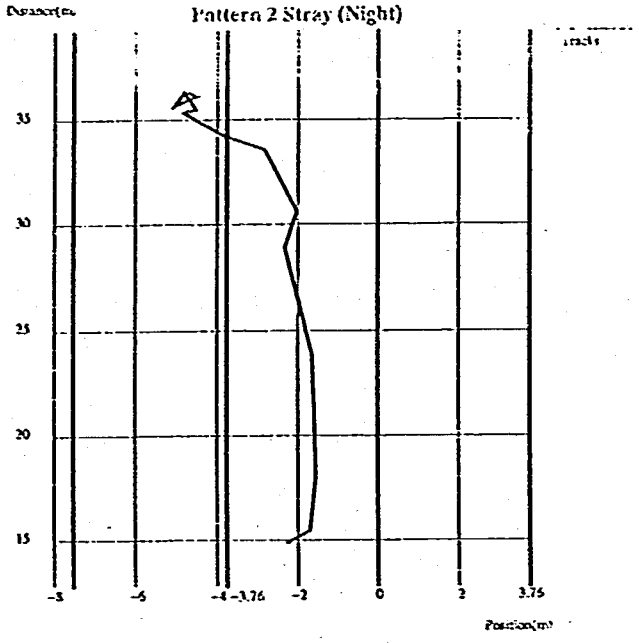
図表(4. 1. 1) 2-49



c)本線逸脱

焦点距離8.0㎜、撮像範囲11.7m～52.0m

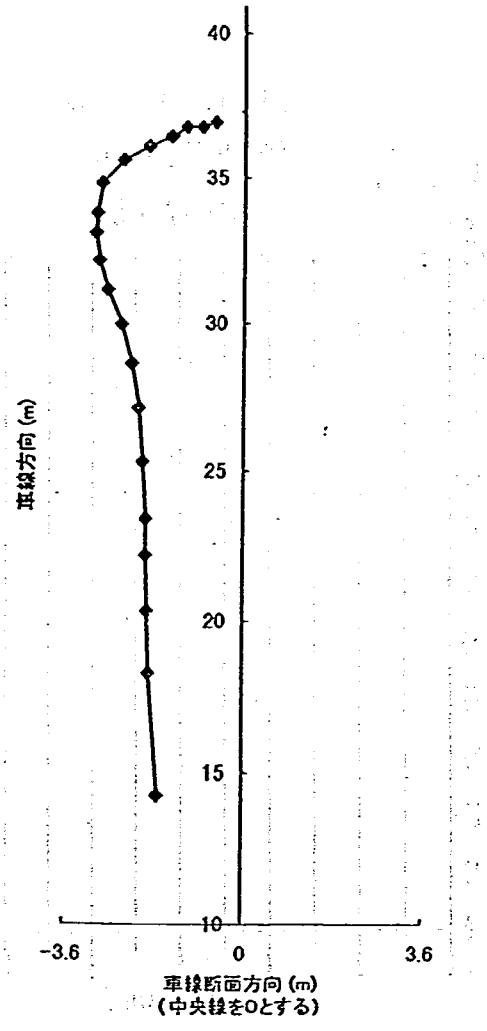
図表(4.1.1).2-50



d)横向き

焦点距離8.0㎜．撮像範囲11.7m～52.0m

図表(4.1.1).2-51



（6）考察

昼の実験で、検出に影響を及ぼす現象として

・風によるカメラのぶれ

時間差分処理において道路上の白線等が浮き出てしまい、ノイズが発生

・建築物の影

黒系統自動車が横切る場合、路面との輝度差が無くなり、検出に影響があり、一時的に検出が不安定になる事があった。

夜の実験においては、映像から道路上の白線、建築物の影等が無くなるので、昼の場合と比べると安定した計測結果が得られた。また、検出対象がテールランプだけとなるので、停止位置等、車両の存在位置を計測する場合、昼と夜とで補正をかける必要がある。

以下に各事象について述べる。

①通常停止、急停止

速度と時間の関係のグラフから通常停止と急停止の比較を行った場合、停止位置40m時（焦点距離8㎜）にはグラフから特徴量の違いは殆ど見られず、停止位置100m時（焦点距離15㎜）においては瞬間速度の変化量(加速度)に顕著な違いが見られた。

また、急停止によるタイヤスモークが画像処理に影響し、車両位置、速度の計測が不安定になる事があったが、それ自体を異常事象と検出する事は可能と思われる。

②蛇行、本線逸脱、横向き

車両軌跡グラフは、検出開始位置～停止位置までの車両走行軌跡を表しており、ｘ軸は車線断面方向、ｙ軸は車線方向におけるカメラからの距離を示している。

また、ｙをｘで微分した値（グラフの傾き）は車両の進行方向を表しており、符号が負であれば進行方向に向かって左曲がり、符号が正であれば進行方向に向かって右曲がりに走行している事を示している。各事象についてグラフから読み取れる事を以下に述べる。

a)蛇行

車両軌跡グラフが、傾きの符号の変化→中央線の横断を繰り返した後、停止を示しているようであれば、蛇行と判別が可能である。

この際、符号の変化点から再び変化するまでの車線断面方向の変異量を、蛇行の度合いとして抽出するのも可能と思われる。

b)本線逸脱

車両軌跡グラフが傾き0未満になった後、軌跡がとぎれた事を示しているようであれば、本線逸脱と判別が可能である。

c)横向き

停止している状態が横向きであるという判定については、車両軌跡だけでなく、車両形状自体の検出も必要と思われ、

縦横の長さ
エッジパターン
面積
テールランプの軌跡

等の変化の状況判断等により、特徴抽出を行っていく必要があると思われる。
車両軌跡グラフからだけでは、横向きに停止しているかどうかを検出するのは困難であるが、車線変更後、停止したという判別は可能である。

実フィールドでの事故映像データの評価

①実験目的

実際のフィールドでの既存の事故映像データを処理し、事故車両の検出が可能か否かを検証し、問題点の洗い出し及び有効な手法の検討を行う。

②実験状況

事故映像

収録場所	新宿カーブ
収録日	昼間　1995年　3月　1日
	夜間　1995年　1月　29日
カメラ仕様	カメラB　1/2インチＣＣＤモノクロカメラ
	昼間：テープNo. 41、夜間：テープNo. 43
	カメラC　2/3インチＣＣＤモノクロカメラ
	昼間：テープNo. 42、夜間：テープNo. 44
カメラ設置高さ	６ｍ

③解析手法

前記カバーエリアの評価、車両停止の細分化判定の評価で用いたものと同様の手法により解析を行った。

④解析結果

図表(4.1.1) 2-52、図表(4.1.1) 2-53にテープNo.42、43における事故発生時の映像を500msec間隔でサンプリングした画像を示す。

図表(4.1.1) 2-52では画面内に車両が出現し、スピンしながら車両が横を向いた状態で右側壁に激突した後、進行方向と逆方向に向きを変えながら反対側の左側壁の所で停止する様子を表している。

また、図表(4.1.1) 2-53では画面内に車両が出現し、低速走行した後停止する様子を表している。

各テープの解析結果を図表(4.1.1) 2-54～図表(4.1.1) 2-61に示す。本解析結果のグラフは処理開始時刻を0:00:00とした時の車線横断方向と奥行方向の車両位置の時間変化（サンプリング間隔：200msec）を表している。

⑤考察

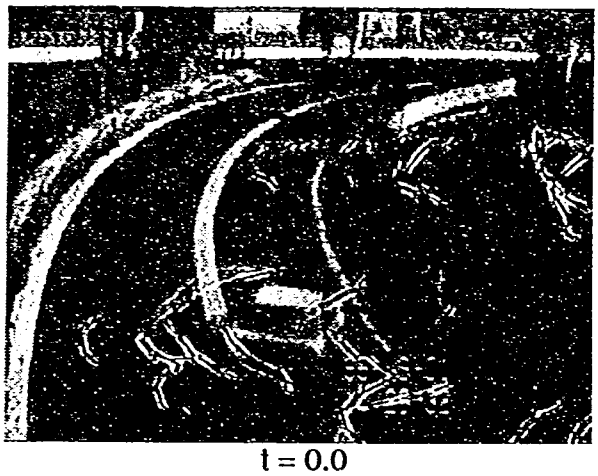
a) 今回のデータにおいては事故発生時に単独走行しており、他車との重なりなどの障害が無かったため車両の追跡が可能であった。

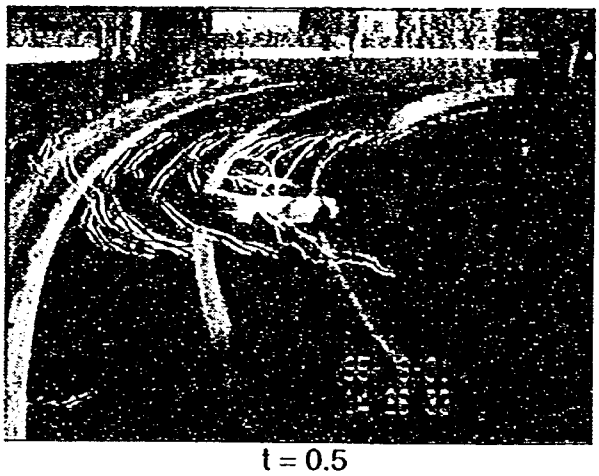
b) 走行車両が少ない（オクルージョン、車両の重なりの無い）状況での停止車両の検出は可能であると予想される。

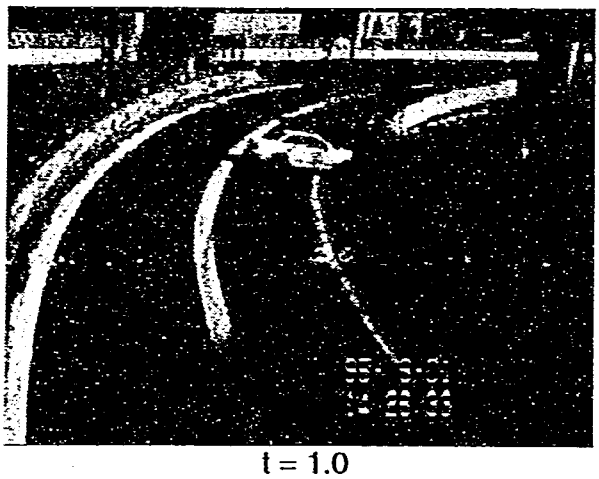
c) 昼間のデータにおいては車両がスピンしているが、車両の向きに関しては現状では検出が困難である。

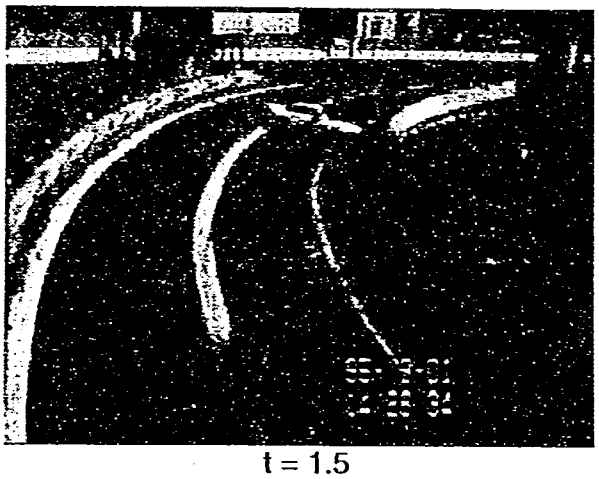
d) 昼間のデータにおいては、白系統の大型車が通過する場合ハレーションが発生し画像処理するうえで重大な問題となると思われる。

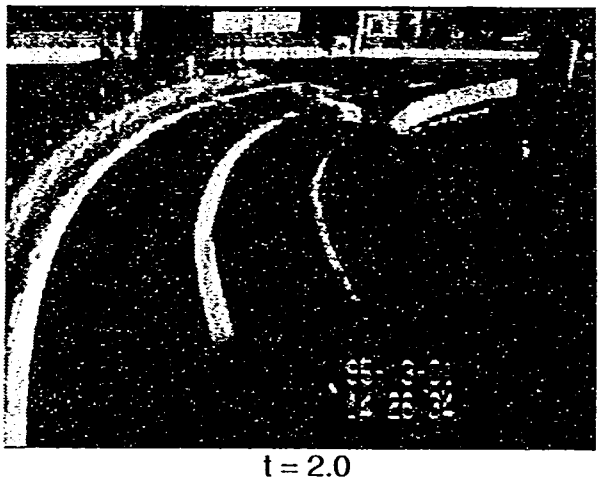
図表(4. 1. 1) 2-52　昼間事故映像

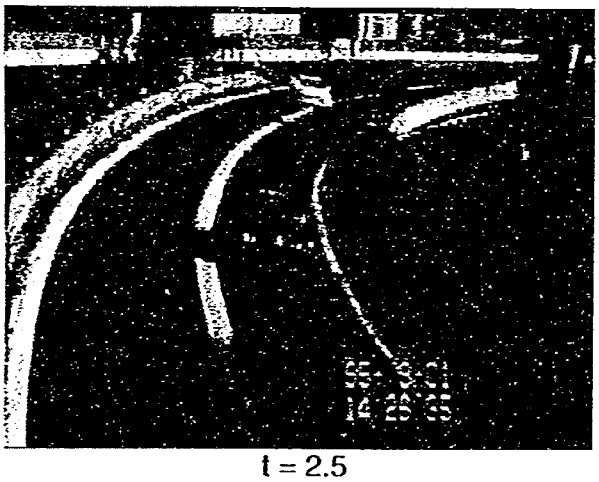

t = 0.0

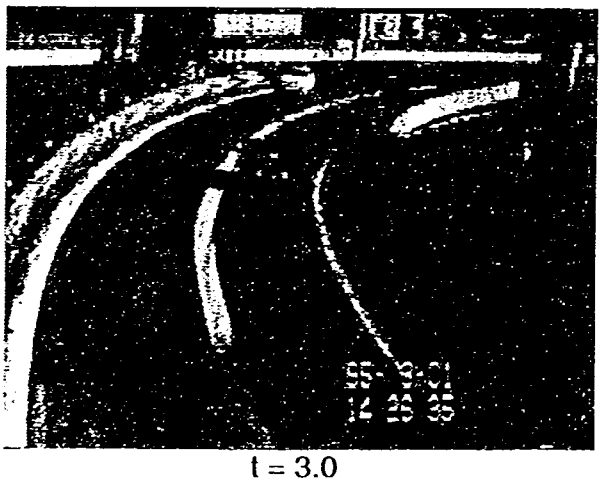

t = 0.5

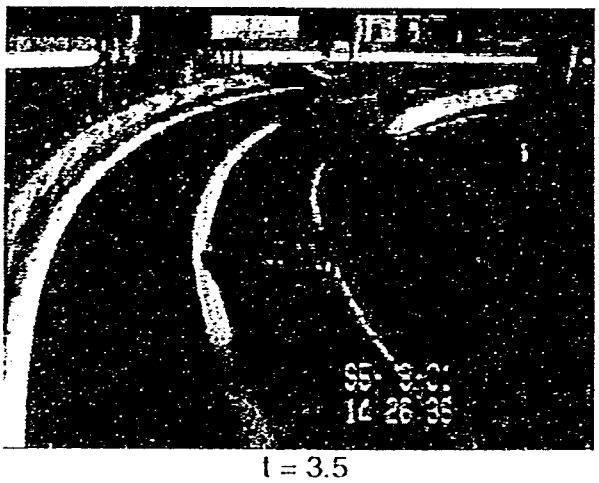

t = 1.0


t = 1.5


t = 2.0


t = 2.5


t = 3.0


t = 3.5

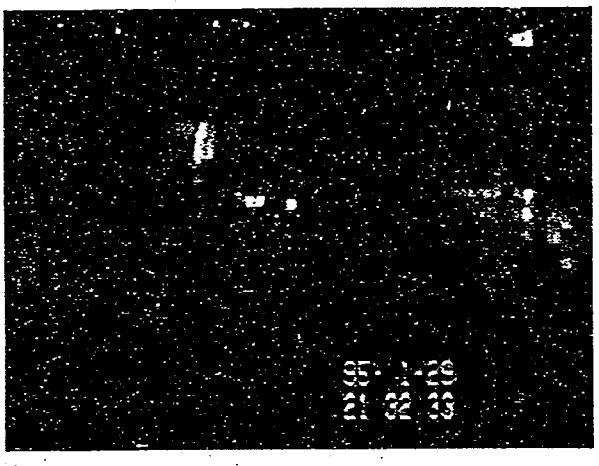
図表(4.1.1) 2-53　夜間事故映像



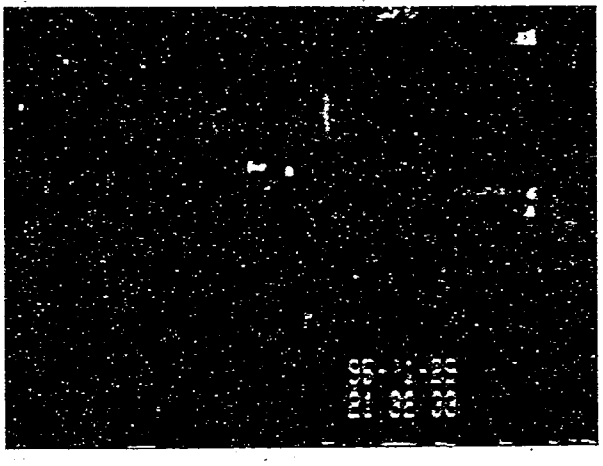
t = 0.0



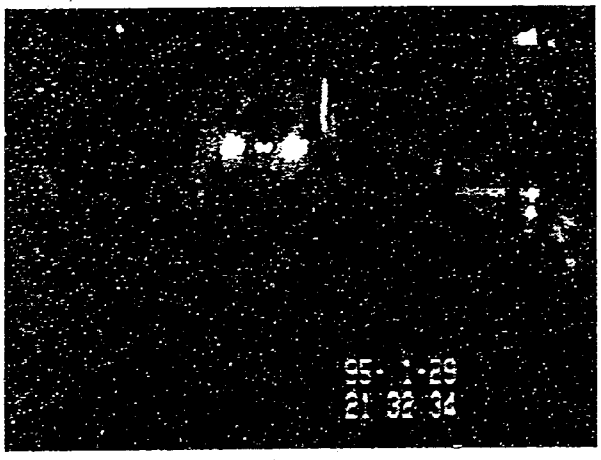
t = 0.5



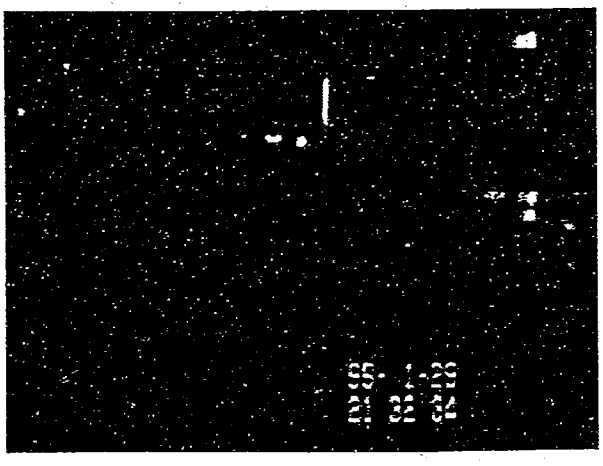
t = 1.0



t = 1.5



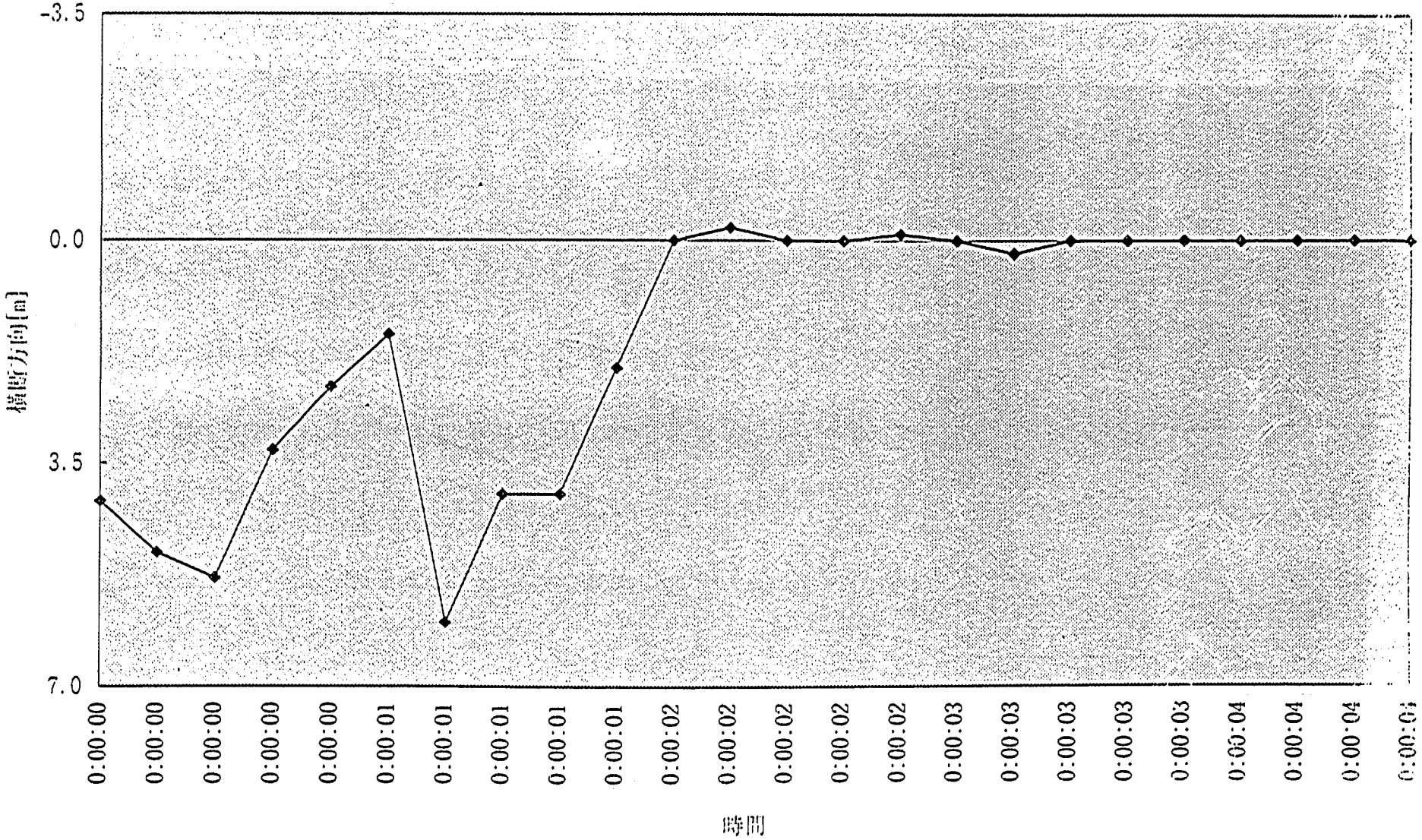
t = 2.0



t = 2.5

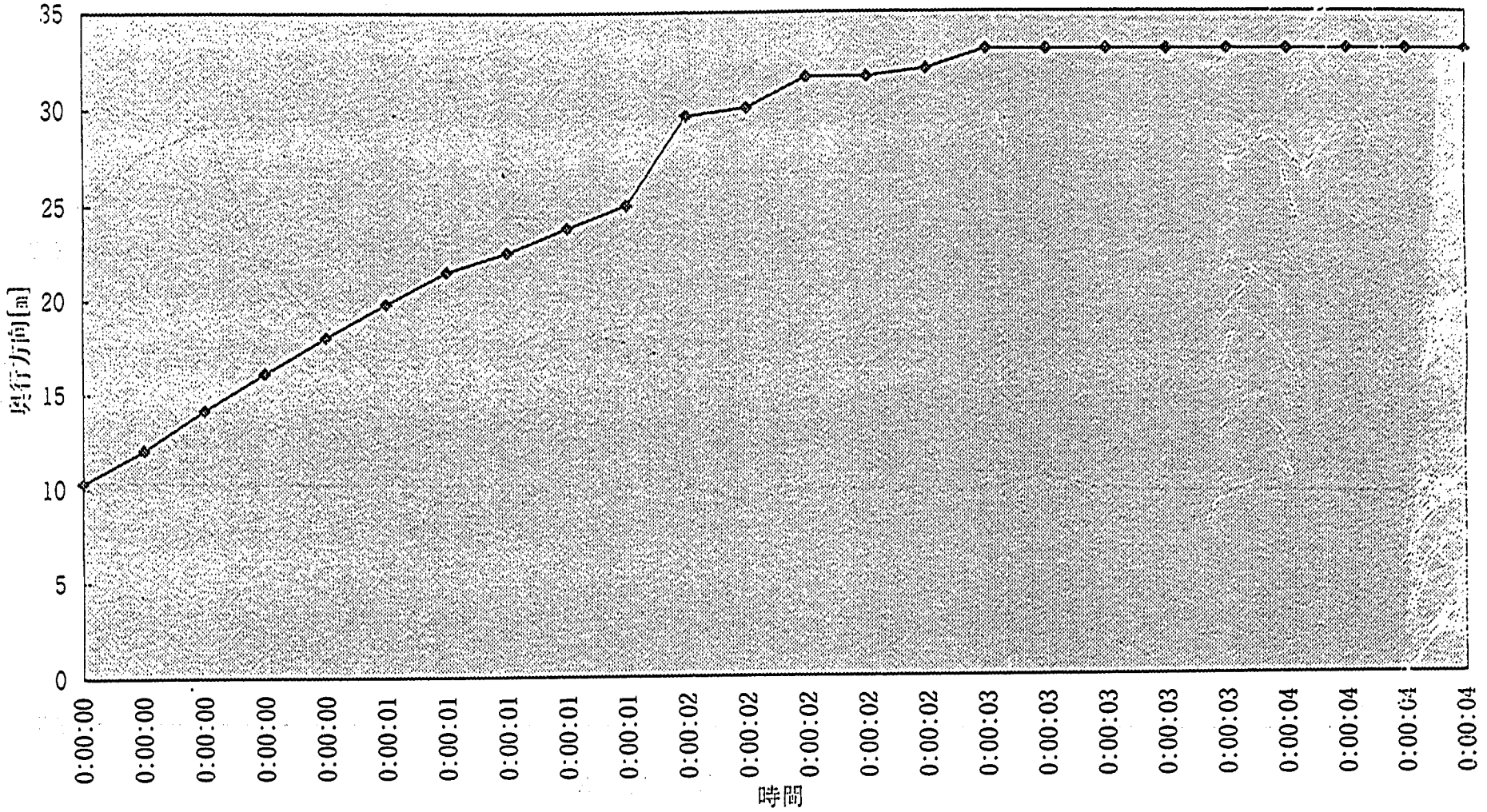
図表(4.1.1) 2-54　事故映像（No.41昼間）

車線横断方向　X－t



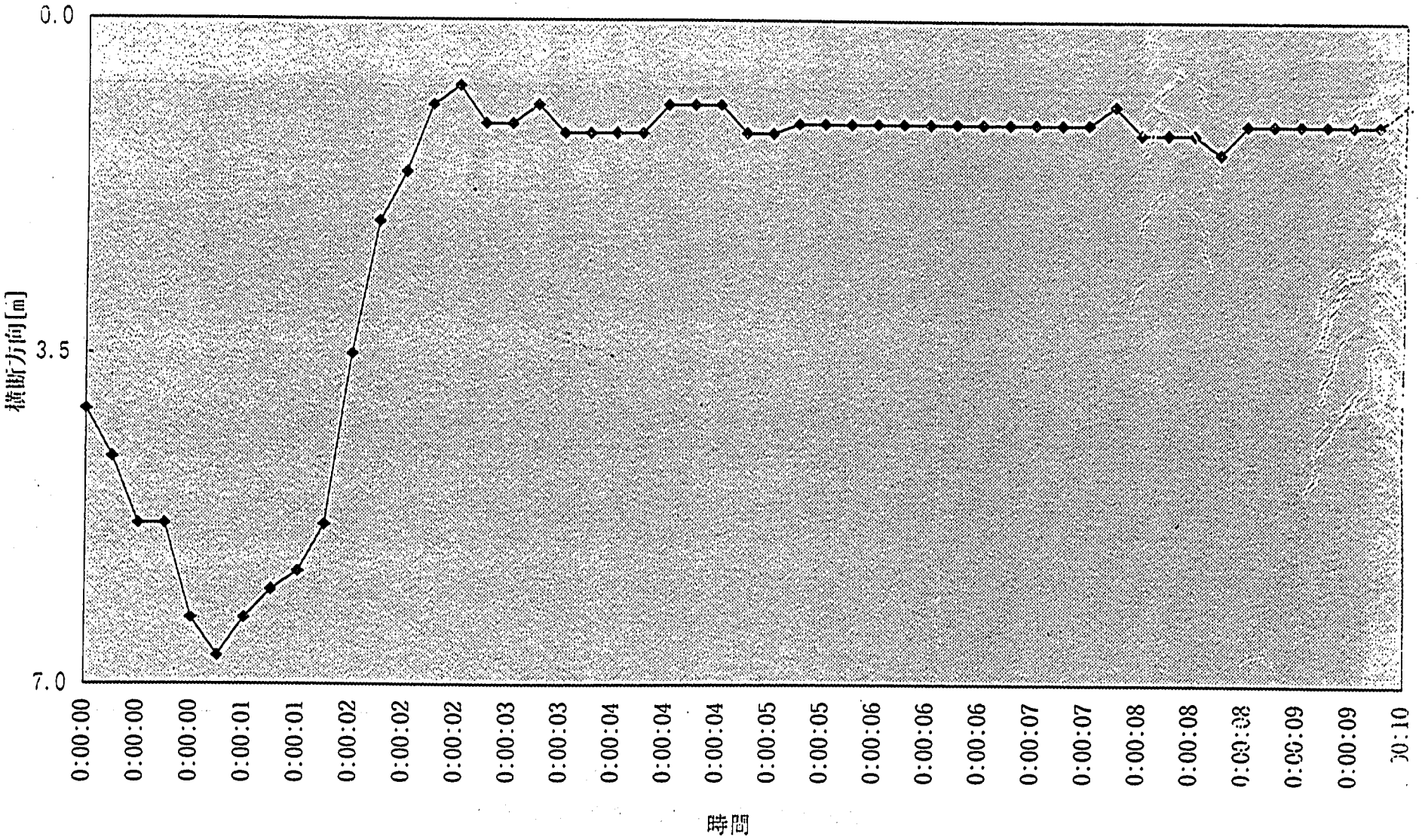
図表(4.1.1) 2-55　事故映像（No.41昼間）

奥行方向　Y－t



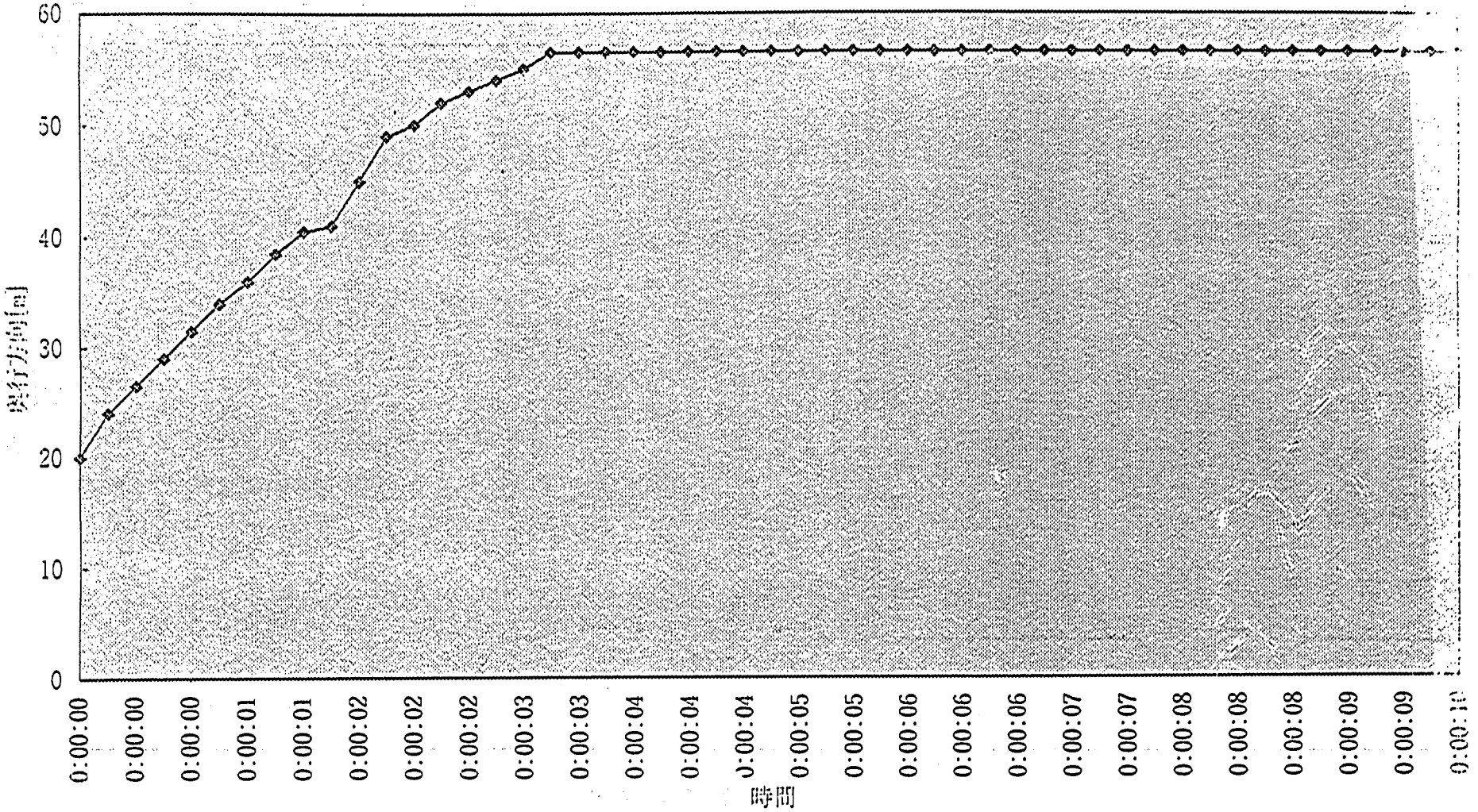
図表(4.1.1) 2-56　事故映像 (No.42昼間)

車線横断方向　X－t



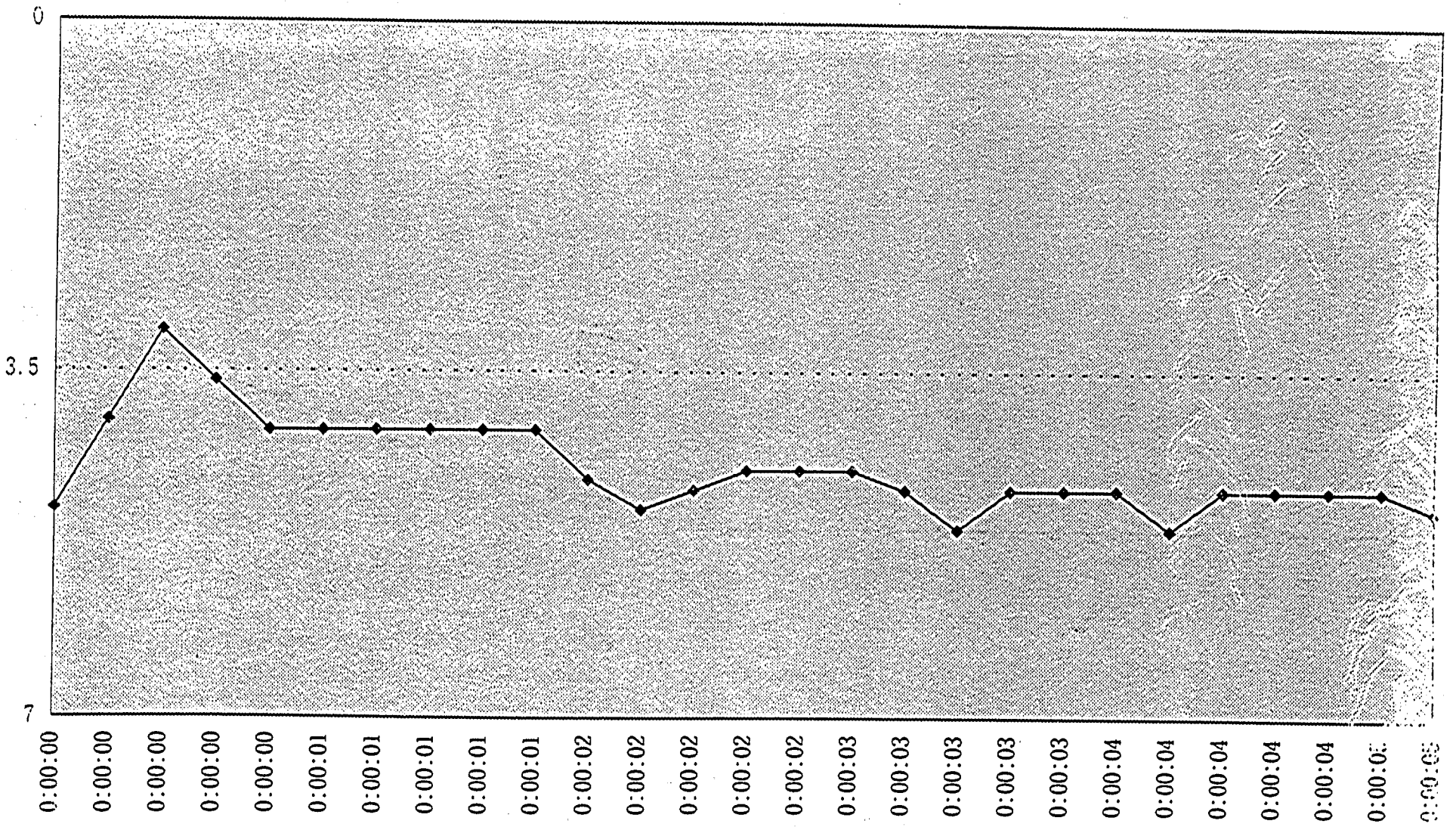
図表(4.1.1) 2-57　事故映像（No.42昼間）

奥行方向　Y－t



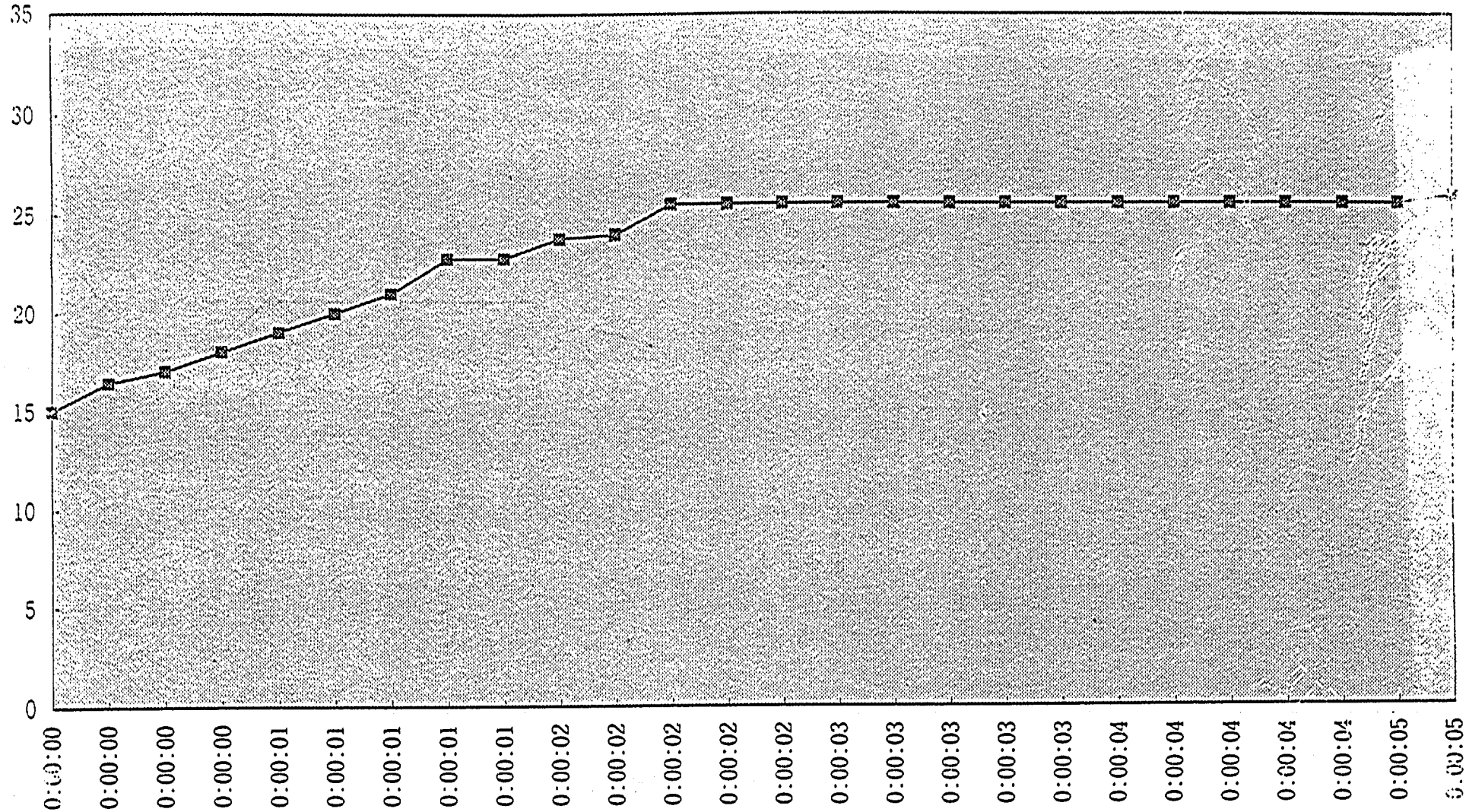
図表(4.1.1) 2-58　事故映像 (No.43夜間)

車線横断方向　X－t



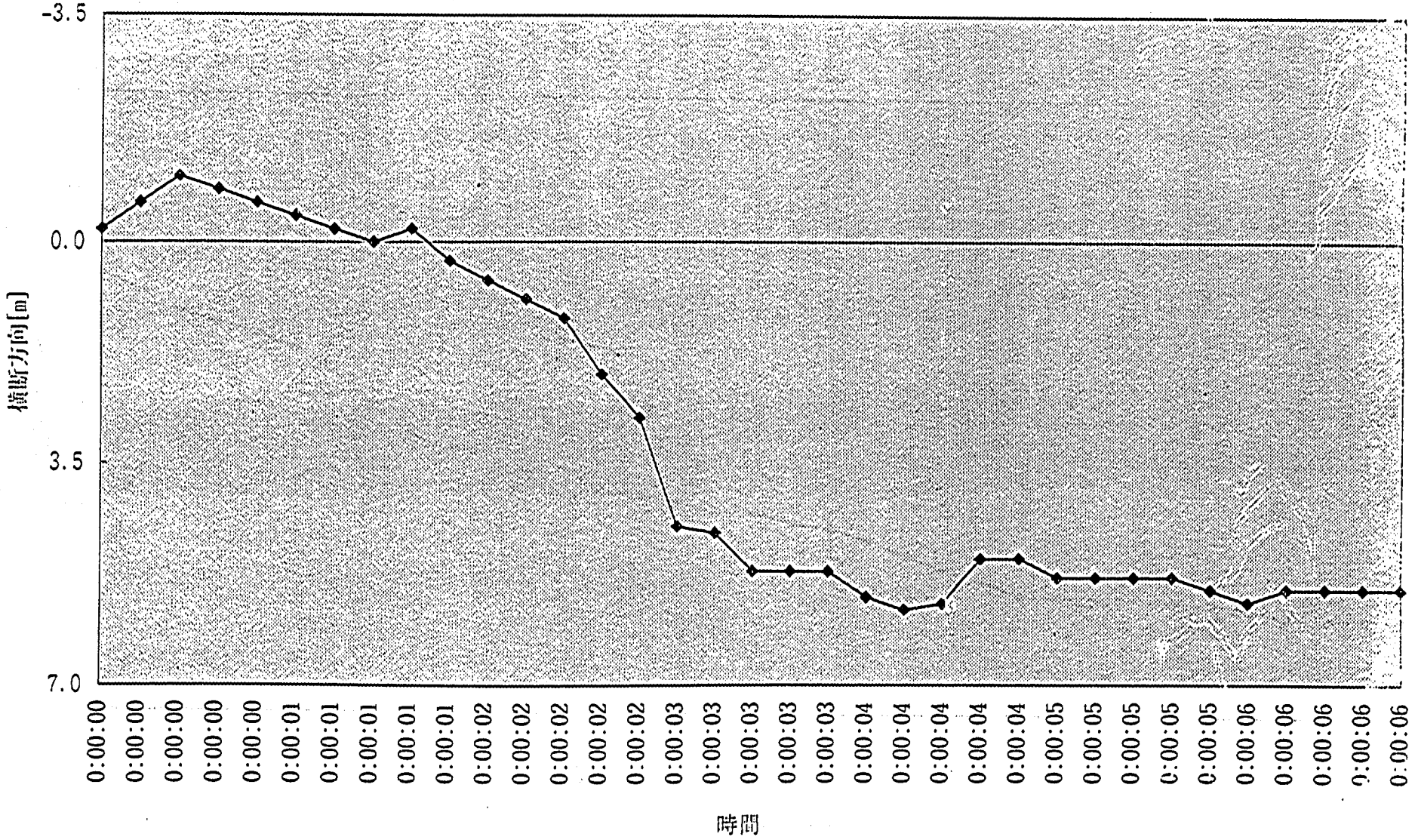
図表(4.1.1) 2-59　事故映像（No.43夜間）

奥行方向　Y－t



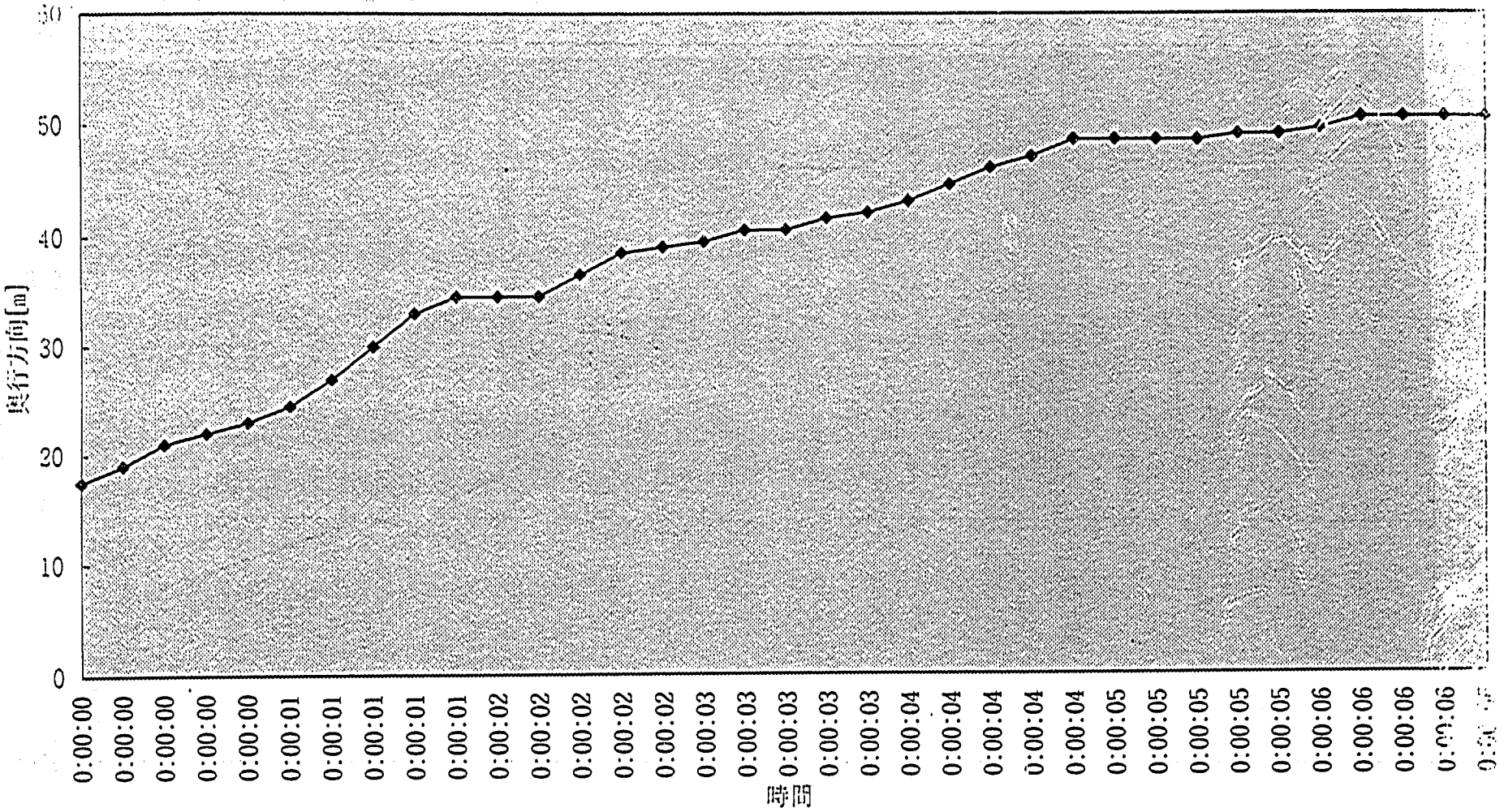
図表(4.1.1) 2-60　事故映像（No.44夜間）

車線横断方向　X－t



図表(4.1.1) 2-61　事故映像（No.44夜間）

奥行方向　Y－t



今後の課題について

①実環境における検出エリアの検討

実道路環境では、刻々と交通流は変化し、渋滞が慢性化している今日では車両同士の重なりは避けられない状況となっている。今回の実験では、車両の重なりは全く考慮しなかったが、今後、車両の重なりを考慮して検討を行う必要がある。

②悪条件下での検証

雨天、霧、逆光等、実環境下で起こり得る条件での検証が必要である。

データ集

「カバーエリアの評価」の項で示したＡ～Ｄの４手法により評価した各項目の解析結果を次ページ以降に添付する。

A 手 法

＜昼間の計測実験結果＞

(1) パターン1　焦点距離 8.0m 、昼間

図表 (4.1.1)2-62　白系統車両

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	13:16:22	13:18:28	13:16:24	13:18:33	89m	129sec
200	13:18:45	13:20:52	13:18:43	13:20:59	190m	104sec
300	13:21:08	13:23:08	13:21:05	13:23:13	304m	128sec
400	13:23:37	13:25:38	13:23:43	13:25:43	402m	120sec

図表 (4.1.1)2-63　黒系統車両

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	13:27:03	13:29:13	13:27:05	13:29:18	90m	133sec
200	13:29:30	13:31:39	13:29:29	13:31:45	191m	136sec
300	13:32:00	13:34:14	13:31:57	13:34:20	284m	143sec
400	13:34:32	13:36:46	13:34:29	13:36:51	405m	142sec

(2) パターン2　焦点距離 15.0m 、昼間

図表 (4.1.1)2-64　白系統車両

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	14:08:54	14:11:05	14:08:57	14:11:11	91m	134sec
200	14:11:21	14:13:30	14:11:20	14:13:38	195m	138sec
300	14:13:47	14:15:57	14:13:43	13:16:05	316m	144sec
400	14:16:13	14:18:20	14:16:05	14:18:17	405m	132sec

図表 (4.1.1)2-65　黒系統車両

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	14:19:44	14:22:01	14:19:46	14:22:07	94m	141sec
200	14:22:18	14:24:33	14:22:15	14:24:39	198m	144sec
300	14:24:52	14:27:11	14:24:50	14:27:16	319m	146sec
400	14:27:28	14:30:04	14:27:25	14:30:09	408m	164sec

(3) パターン3　焦点距離 30.0m　、昼間

図表 (4.1.1)2-66; 白系統車両

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	14:49:27	14:51:39	14:49:29	14:51:44	88m	135sec
200	14:51:57	14:54:12	14:51:59	14:54:17	188m	138sec
300	14:54:30	14:56:44	14:54:30	14:56:52	305m	142sec
400	14:57:01	14:59:10	14:57:00	14:59:15	404m	135sec

図表 (4.1.1)2-67 黒系統車両

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	15:00:43	15:03:02	15:00:46	15:03:07	86m	141sec
200	15:03:18	15:05:53	15:03:21	15:05:40	191m	139sec
300	15:05:53	15:08:09	15:05:51	15:08:17	313m	146sec
400	15:08:26	15:10:39	15:08:26	15:10:44	409m	138sec

(4) パターン4　焦点距離 48.0m　、昼間

図表 (4.1.1)2-68　白系統車両

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	15:22:39	15:24:49	15:22:41	15:24:54	96m	133sec
200	15:25:04	15:27:14	15:25:07	15:27:19	194m	132sec
300	15:27:31	15:29:42	15:27:33	15:29:49	293m	136sec
400	15:30:01	15:32:07	15:30:00	15:32:12	405m	132sec

図表 (4.1.1)2-69　黒系統車両

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	15:33:23	15:35:37	15:33:25	15:35:42	95m	137sec
200	15:35:55	15:38:08	15:35:57	15:38:13	194m	136sec
300	15:38:26	15:40:42	15:38:27	15:40:48	293m	141sec
400	15:40:59	15:43:11	15:40:56	15:43:16	405m	140sec

＜夜間の計測実験結果＞

(1) パターン1　焦点距離 48.0m

図表(4.1.1)2-70：ブレーキランプ

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	17:47:49	17:49:59	17:47:52	17:50:04	96m	132sec
200	17:50:20	17:52:33	17:50:23	17:52:39	191m	136sec
300	17:52:53	17:55:05	17:52:52	17:55:11	296m	139sec
400	17:55:24	18:02:40	17:55:21	18:02:45	400m	444sec

図表(4.1.1)2-71 スモールランプ

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	18:02:52	18:05:10	18:02:55	18:05:15	95m	140sec
200	18:05:30	18:07:44	18:05:32	18:07:47	194m	135sec
300	18:08:04	18:10:17	18:08:05	18:10:20	300m	135sec
400	18:10:36	18:12:49	18:10:34	18:12:54	407m	140sec

(2) パターン2　焦点距離 30.0m

図表(4.1.1)2-72 ブレーキランプ

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	18:28:15	18:30:33	18:28:17	18:30:38	93m	141sec
200	18:30:53	18:33:05	18:30:56	18:33:11	193m	135sec
300	18:33:22	18:35:38	18:33:21	18:35:45	297m	144sec
400	18:35:59	18:38:10	18:35:57	18:38:15	409m	138sec

図表(4.1.1)2-73 スモールランプ

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	18:39:43	18:41:58	18:39:45	18:42:04	94m	139sec
200	18:42:18	18:44:32	18:42:20	18:44:34	196m	134sec
300	18:44:51	18:47:06	18:44:45	18:47:05	304m	140sec
400	18:47:26	18:50:00	18:47:27	18:50:05	409m	158sec

(3) パターン3　焦点距離 15.0m

図表(4.1.1)2-74 ブレーキランプ

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	19:15:22	19:17:37	19:15:25	19:17:45	94m	140sec
200	19:17:55	19:20:10	19:17:55	19:20:20	199m	145sec
300	19:20:29	19:22:44	19:20:30	19:22:52	310m	122sec
400	19:23:05	19:25:19	19:23:08	19:25:24	419m	136sec

図表(4.1.1)2-75 スモールランプ

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	19:26:45	19:29:00	19:26:45	19:29:01	97m	136sec
200	19:29:19	19:31:31	19:29:17	19:31:28	206m	131sec
300	19:31:49	19:34:03	19:31:54	19:34:12	310m	138sec
400	19:34:26	19:36:30	———	———	———	———

(4) パターン4　焦点距離 8.0m

図表(4.1.1)2-76 ブレーキランプ

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	19:43:09	19:45:20	19:43:08	19:45:26	98m	138sec
200	19:45:38	19:47:49	19:45:35	19:47:57	182m	142sec
300	19:48:08	19:50:18	———	———	———	———
400	19:50:34	19:53:00	———	———	———	———

図表(4.1.1)2-77 スモールランプ

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
100	19:54:32	19:56:46	19:54:30	19:56:52	98m	142sec
200	19:57:05	19:59:18	19:57:09	19:59:29	171m	140sec
300	19:59:35	20:01:50	———	———	———	———
400	20:02:10	20:04:29	———	———	———	———

＜追加データ＞

図表(4.1.1)2-78 昼間

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
500	15:58:02	16:01:31	15:58:05	16:01:50	525m	165sec
600	16:02:17	16:04:48	16:02:14	16:05:07	651m	183sec
700	16:05:15	16:07:34	16:05:27	16:07:58	829m	151sec
800	16:07:57	16:10:19	16:08:02	16:10:24	889m	142sec

図表(4.1.1)2-79 夜間、ブレーキランプ

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
500	17:30:53	17:33:10	17:30:56	17:33:20	497m	144sec
600	17:33:35	17:35:50	17:33:36	17:36:09	612m	153sec
700	17:36:11	17:38:30	17:36:11	17:38:38	754m	147sec
800	17:38:41	17:40:59	17:38:41	17:41:04	857m	143sec

図表(4.1.1)2-80 夜間、スモールランプ

停止位置	真　値		画像処理計測値			
[m]	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止時間
500	20:12:06	20:14:25	20:12:05	20:14:42	496m	157sec
600	20:14:54	20:17:08	20:14:54	20:17:28	632m	154sec
700	20:17:29	20:19:44	20:17:31	20:20:01	704m	150sec
800	20:20:07	20:22:20	20:20:26	20:22:25	832m	119sec

＜停止詳細化＞

通常停止と急停止の減速方向への加速度を比較する。

(1) 昼間の実験

図表 (4. 1. 1) 2-81　昼間、加速度比較

ﾊﾟﾀｰﾝ	焦点距離８ｍｍ		焦点距離１５ｍｍ	
	白系車両	黒系車両	白系車両	黒系車両
通常停止	-1.98m/s²	-1.25m/s²	-3.27m/s²	-3.74m/s²
急停止	-3.30m/s²	-4.22m/s²	-6.17m/s²	-11.11m/s²

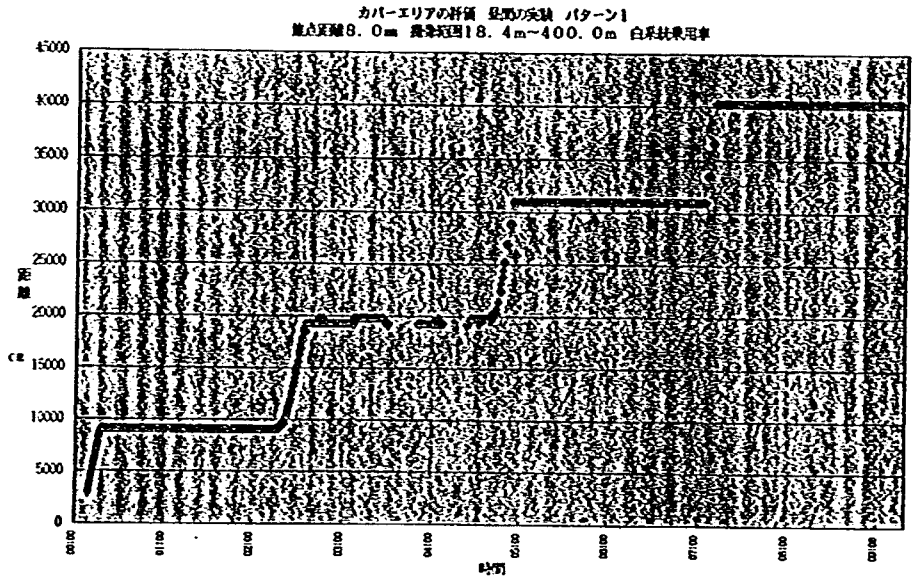
(2) 夜間の実験

図表 (4. 1. 1) 2-82　夜間、加速度比較

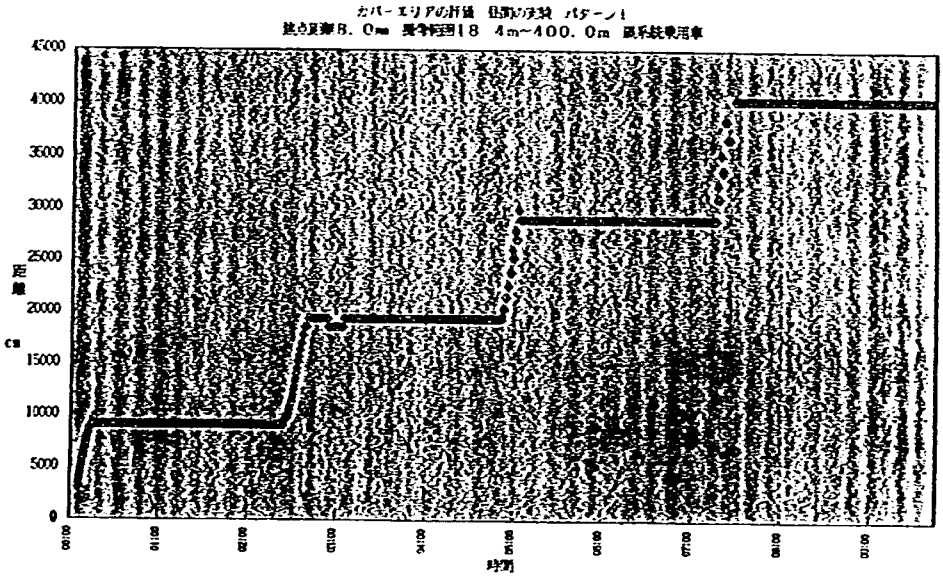
ﾊﾟﾀｰﾝ	焦点距離８ｍｍ		焦点距離１５ｍｍ	
	白系車両	黒系車両	白系車両	黒系車両
通常停止		-2.78m/s²		-3.33m/s²
急停止		-5.56m/s²		-10.10m/s²

カバーエリアの評価

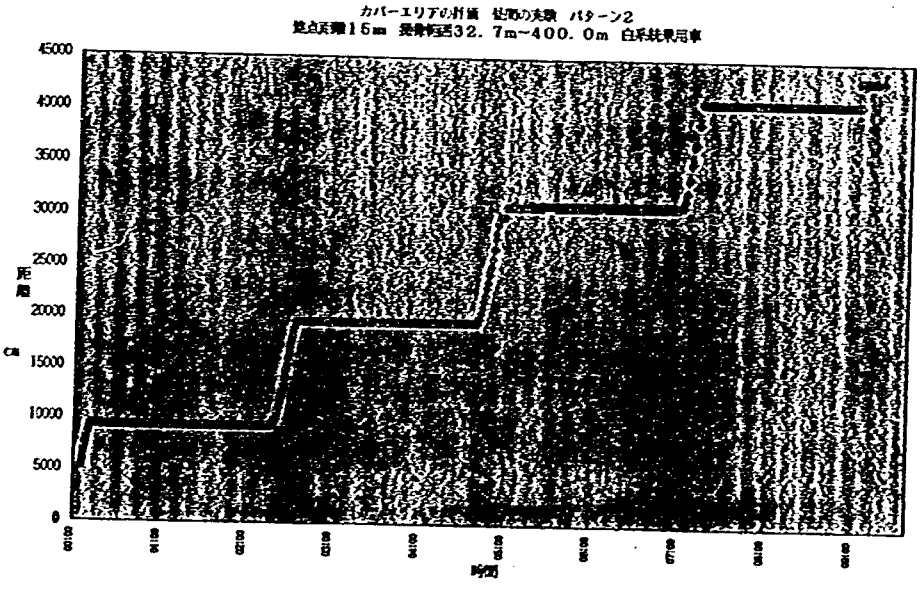
図表(4.1.1)2-83



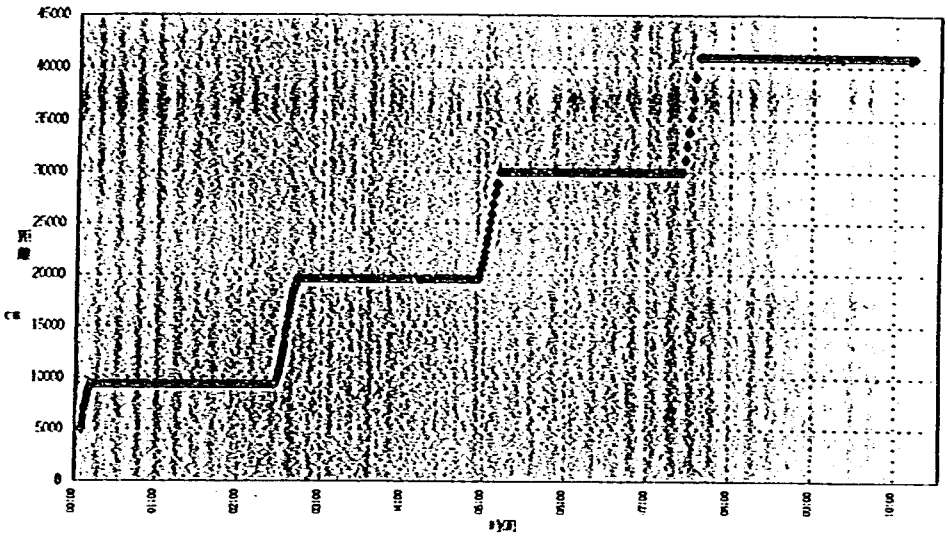
図表(4.1.1)2-84



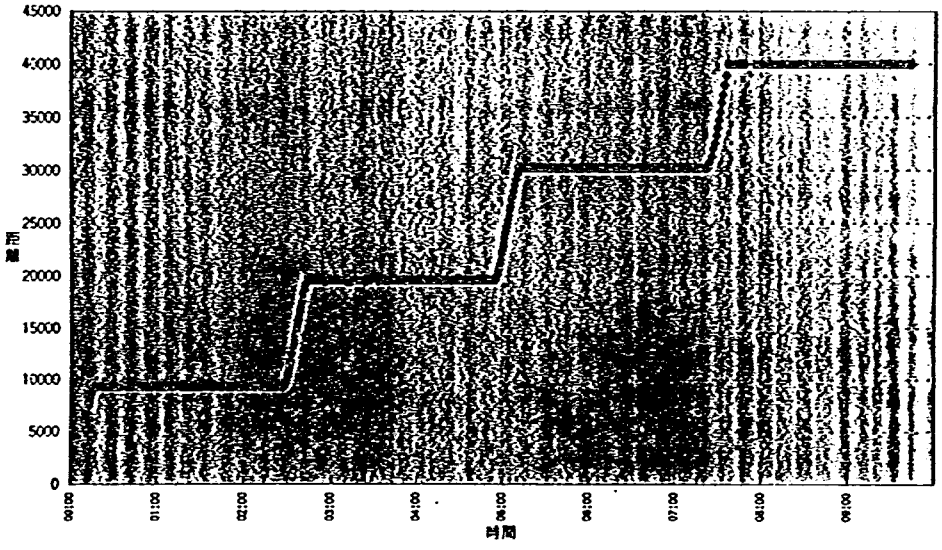
図表(4.1.1)2-85



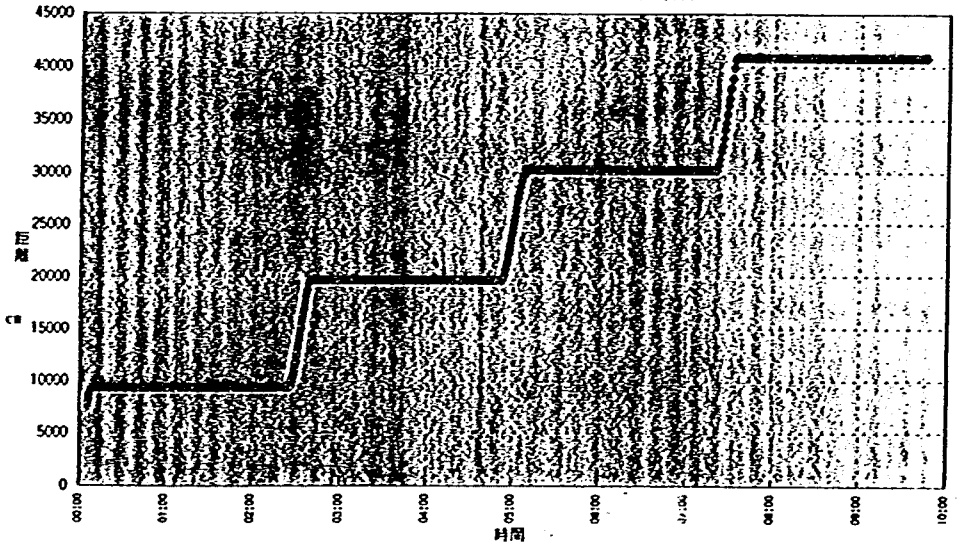
図表(4.1.1)2-86



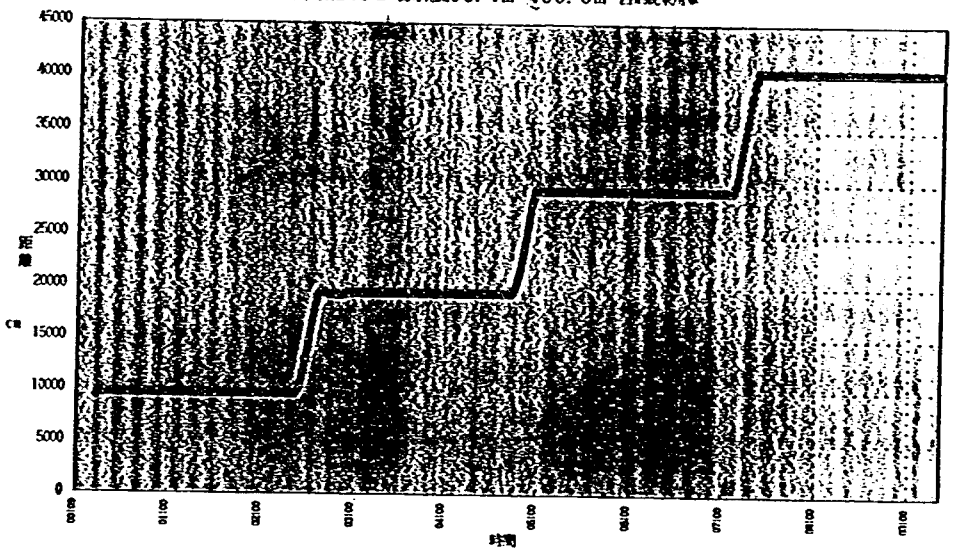
図表(4.1.1)2-87



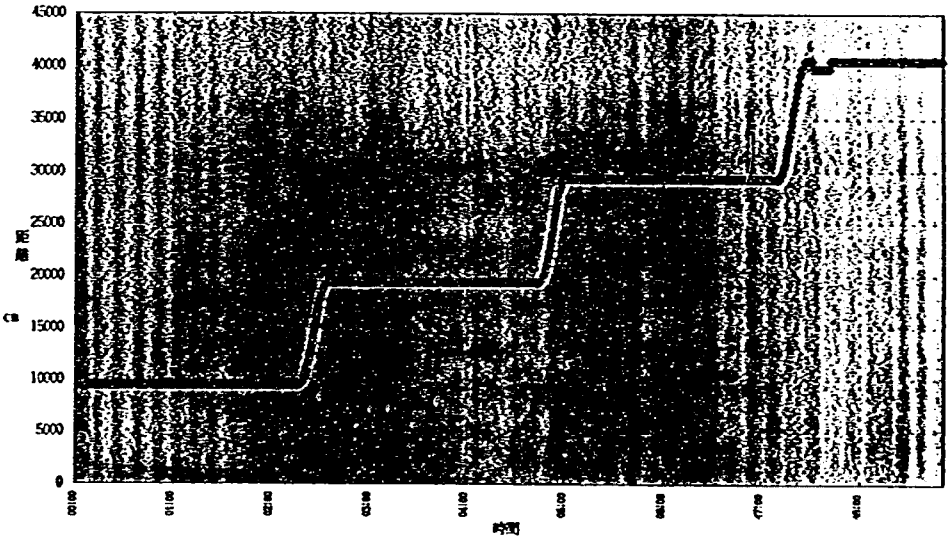
図表(4.1.1)2-88



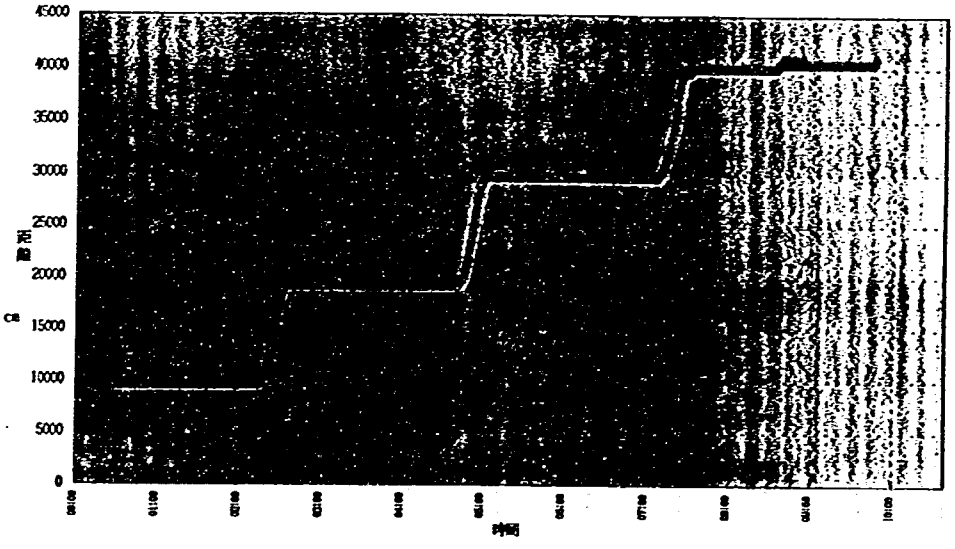
図表(4.1.1)2-89



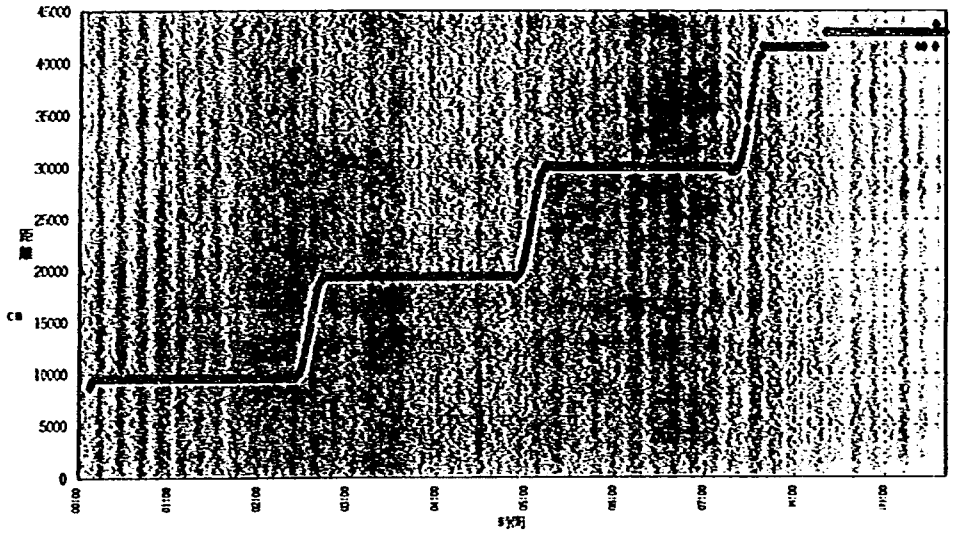
図表(4.1.1)2-90



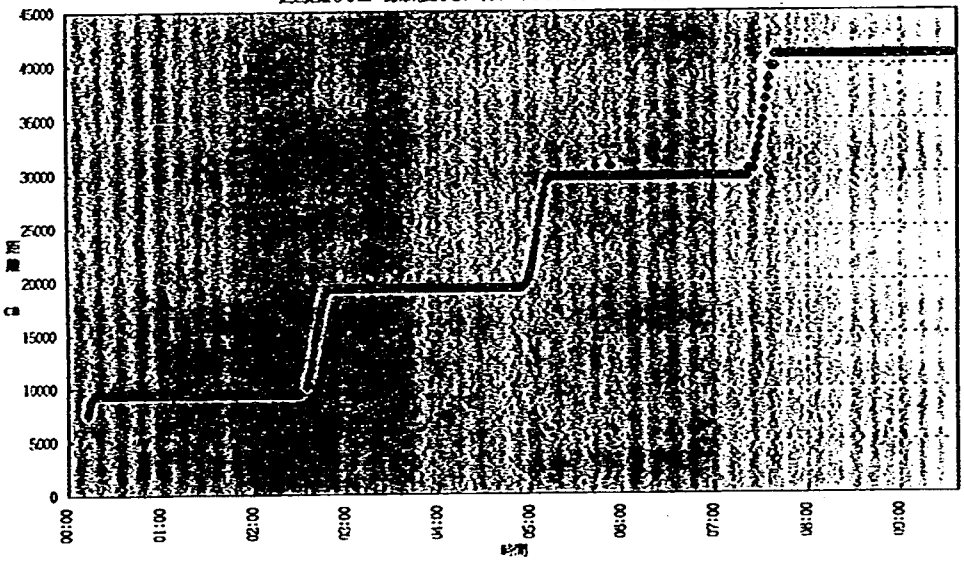
図表(4.1.1)2-91



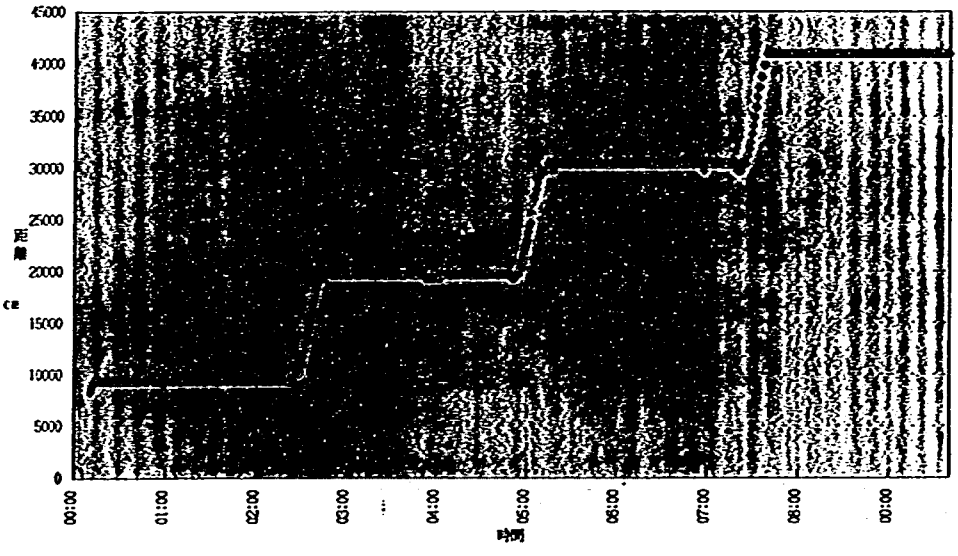
図表(4.1.1)2-92



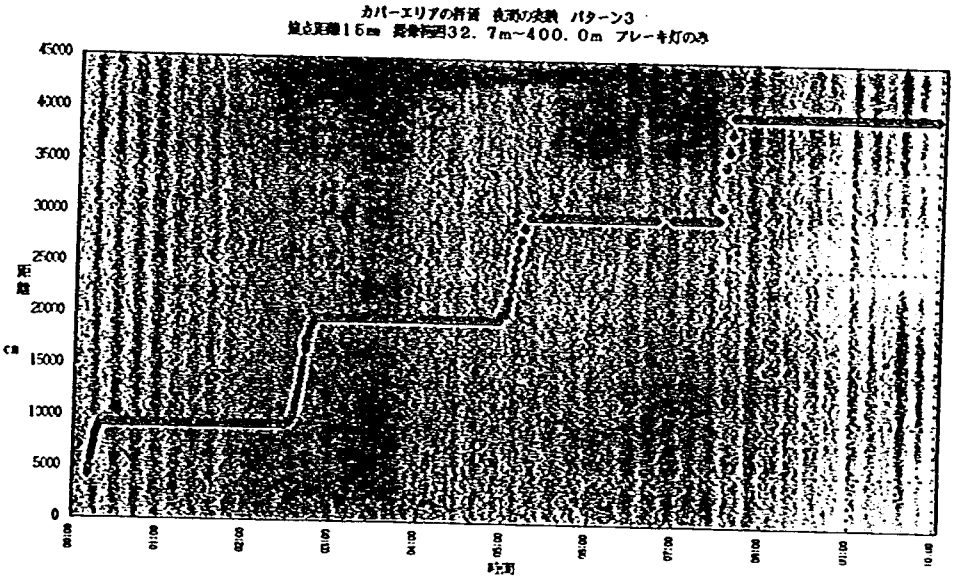
図表(4.1.1)2-93



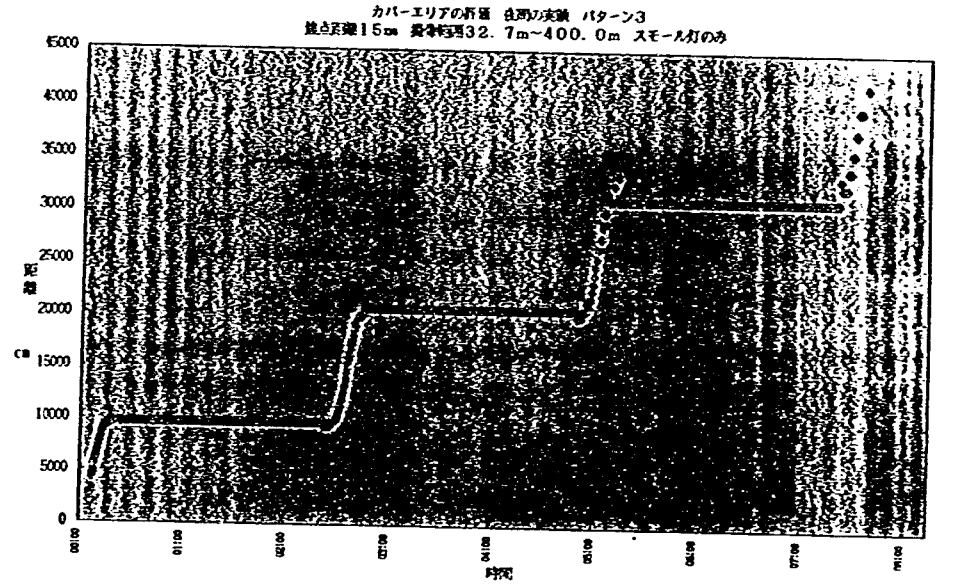
図表(4.1.1)2-94



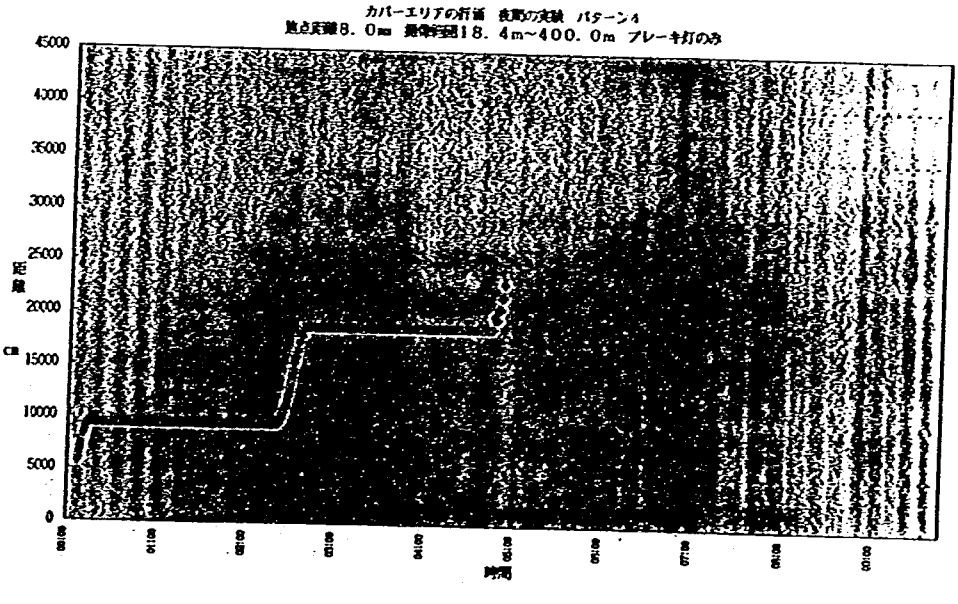
図表(4.1.1)2-95



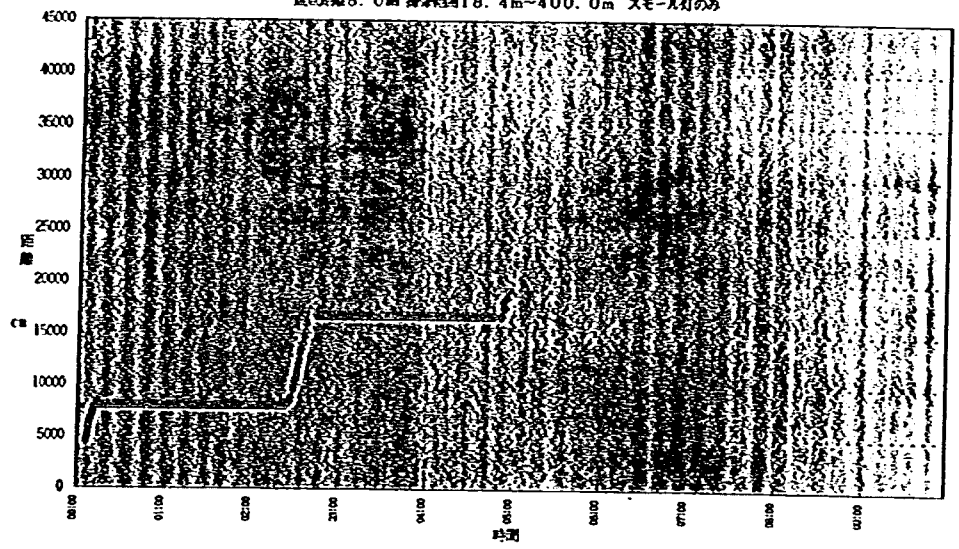
図表(4.1.1)2-96



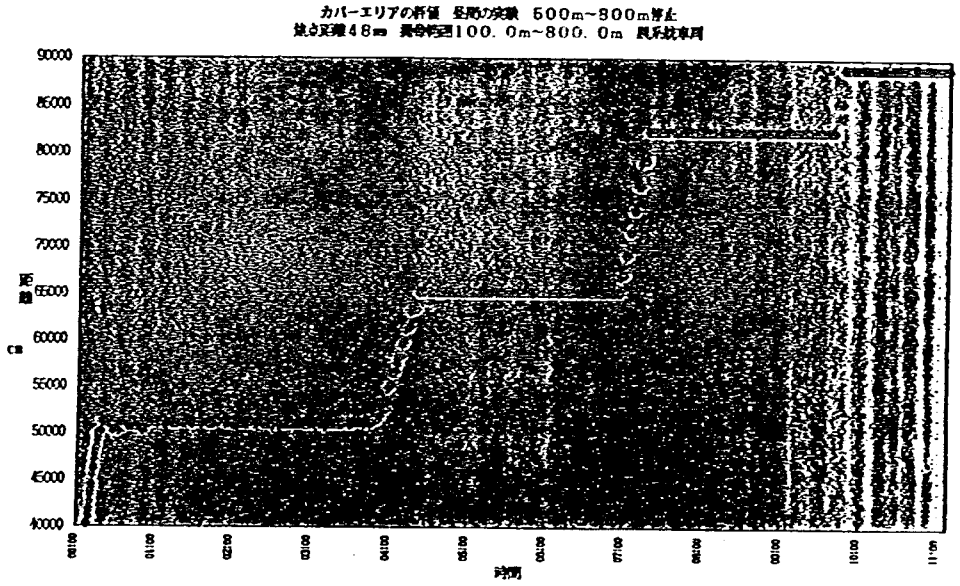
図表(4.1.1)2-97



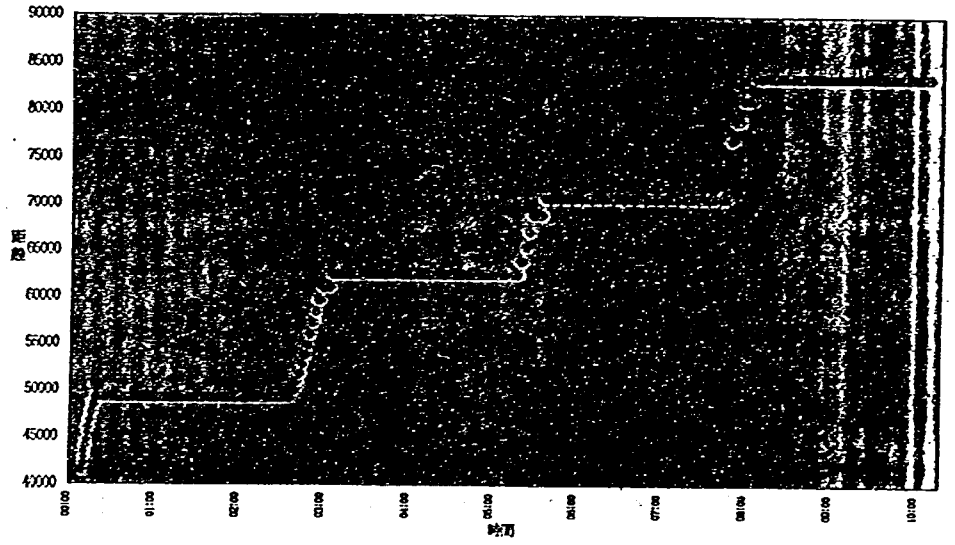
図表(4.1.1)2-98



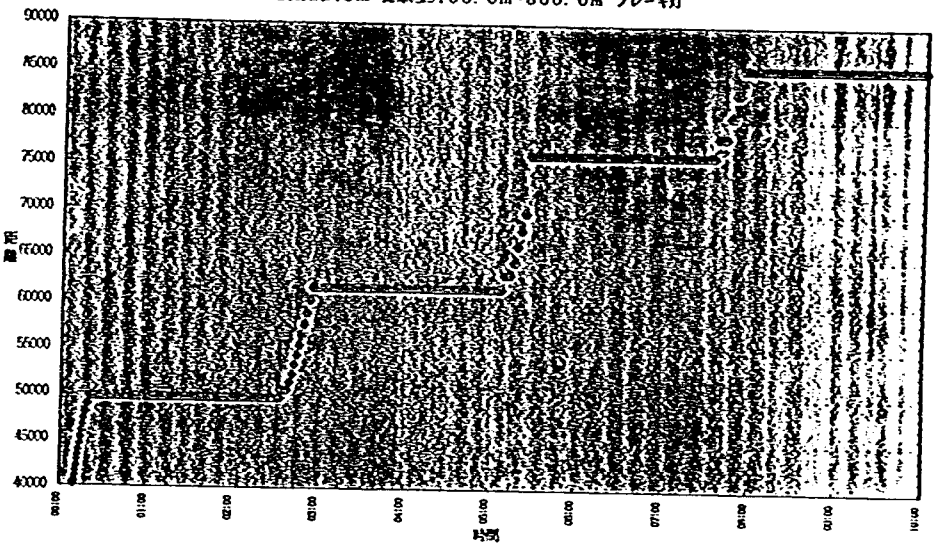
図表.(4.1.1)2-99



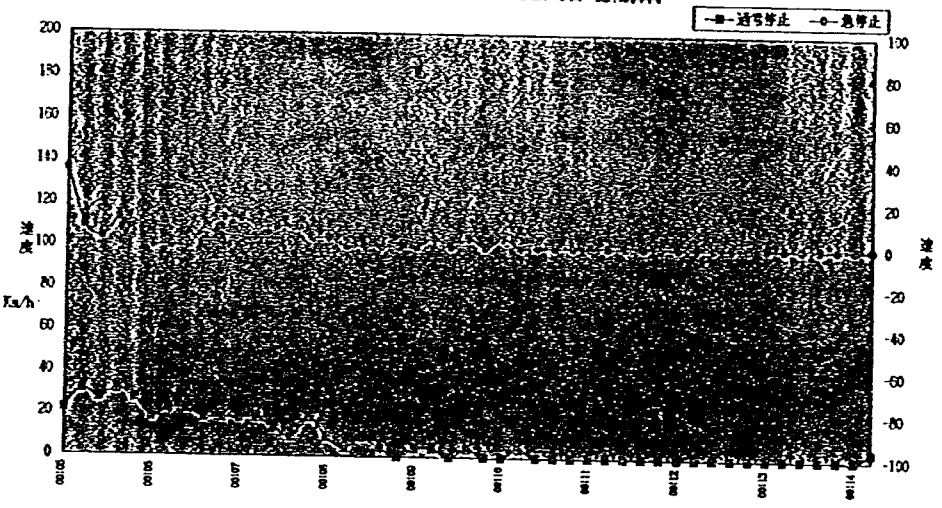
図表(4.1.1)2-100



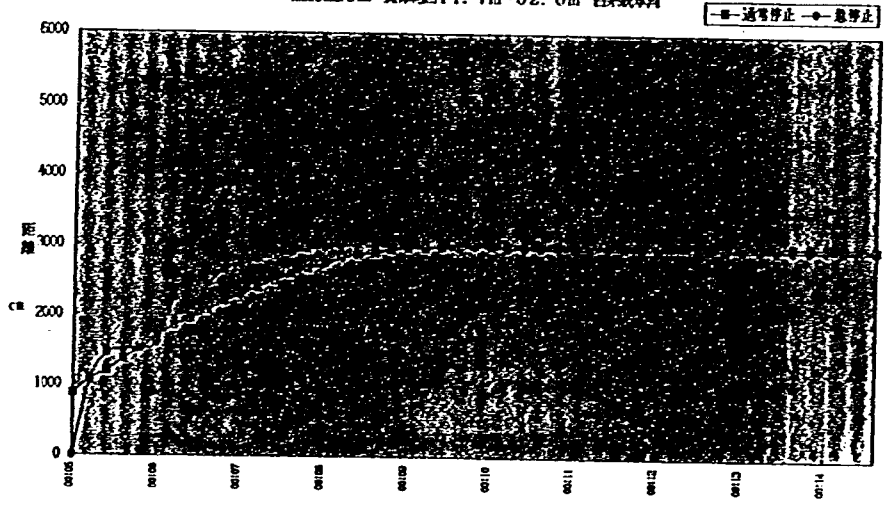
図表(4.1.1)2-101



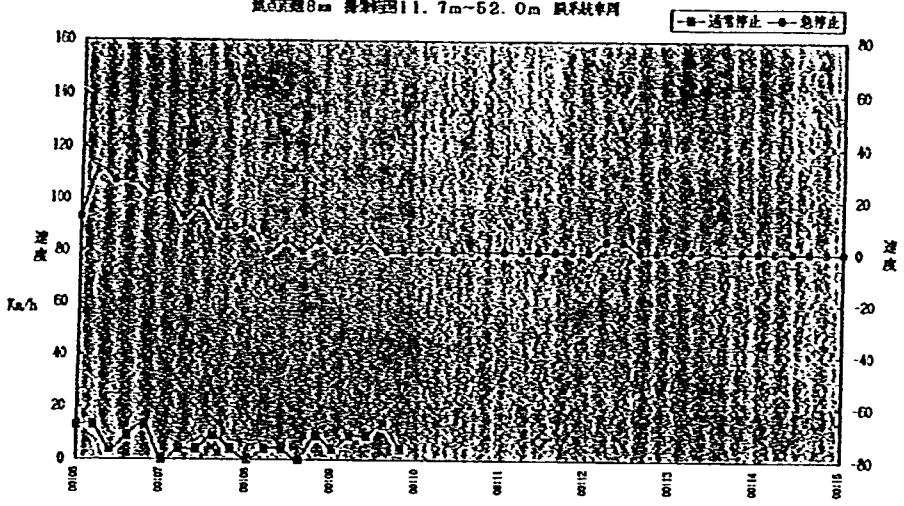
図表(4.1.1)2-102



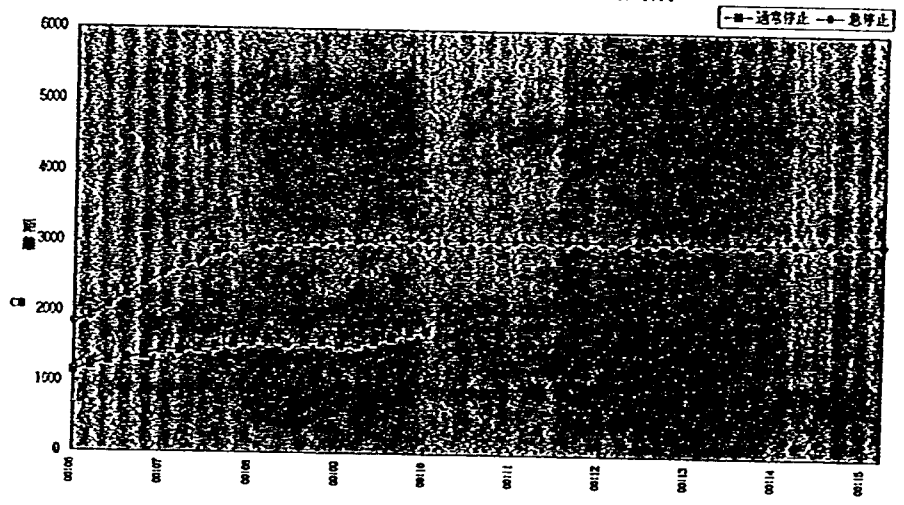
図表(4.1.1)2-103



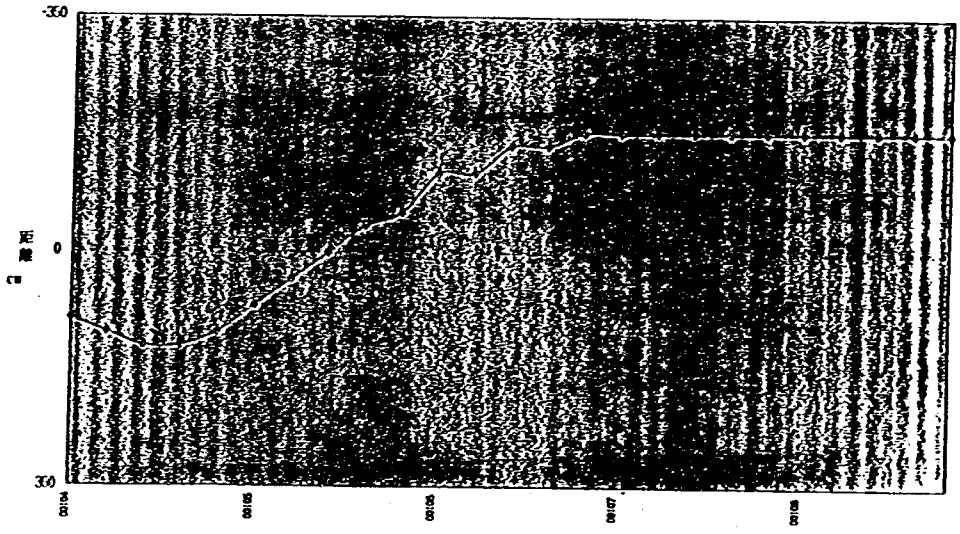
図表(4.1.1)2-104



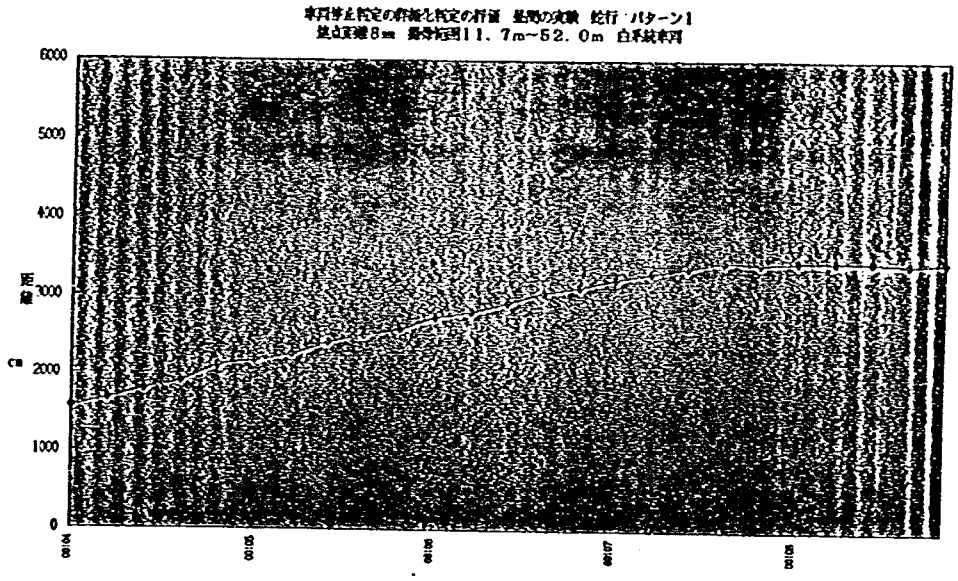
図表(4.1.1)2-105



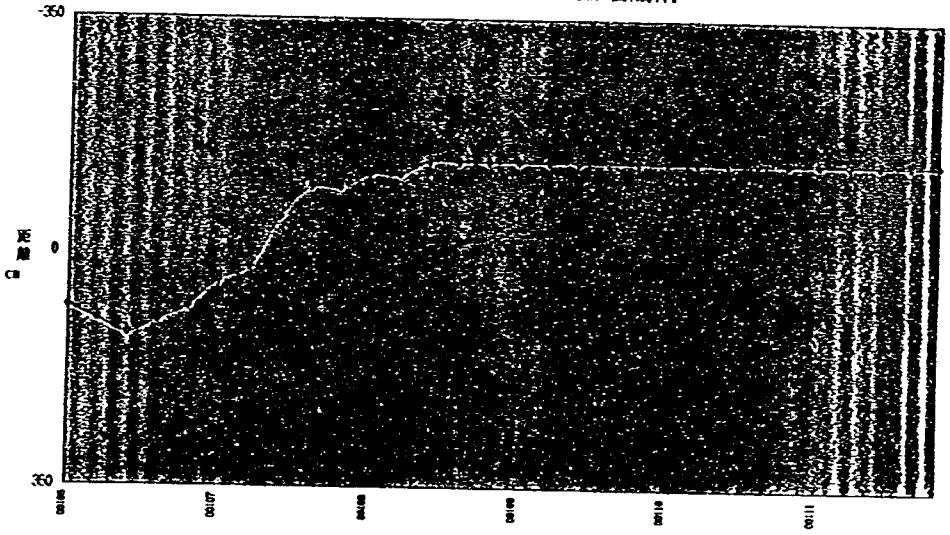
図表(4.1.1)2-106



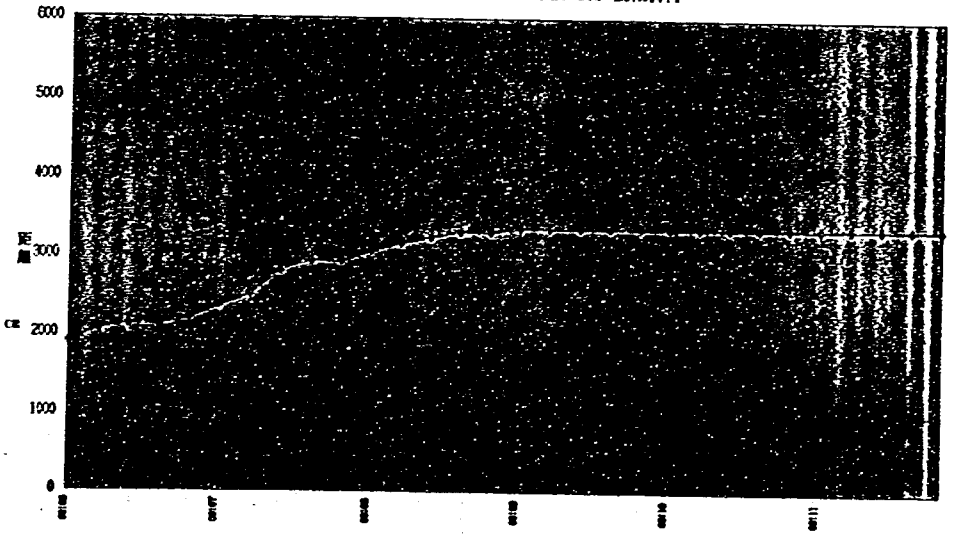
図表(4.1.1)2-107



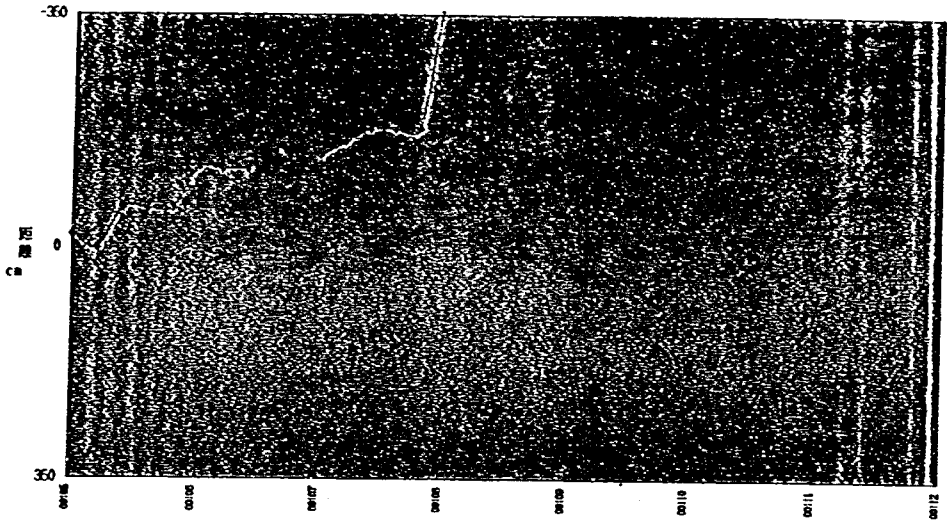
図表(4.1.1)2-108



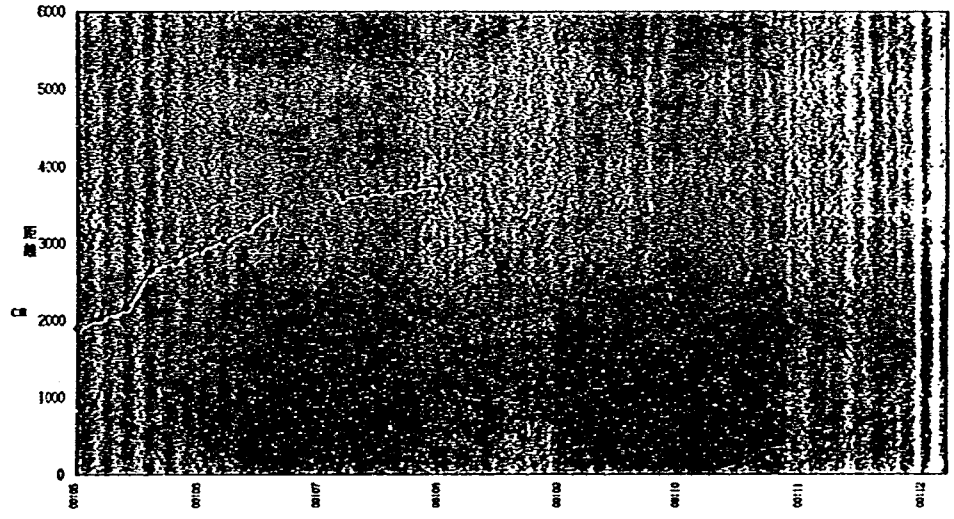
図表(4.1.1)2-109



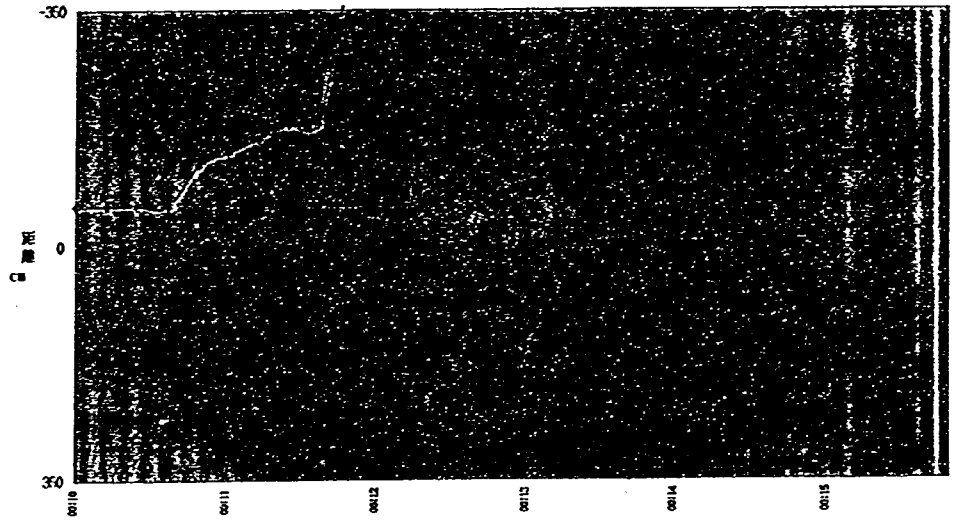
図表(4.1.1)2-110



図表(4.1.1)2-111

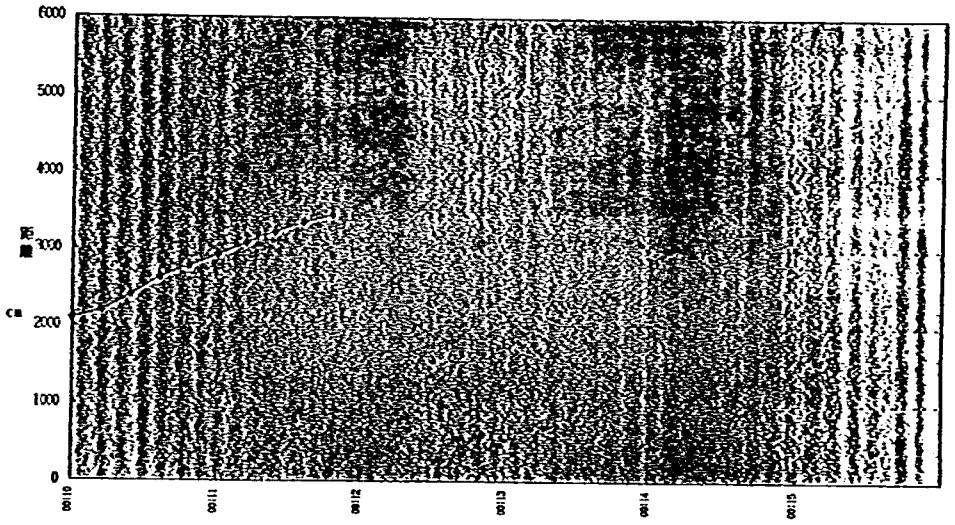


図表(4.1.1)2-112



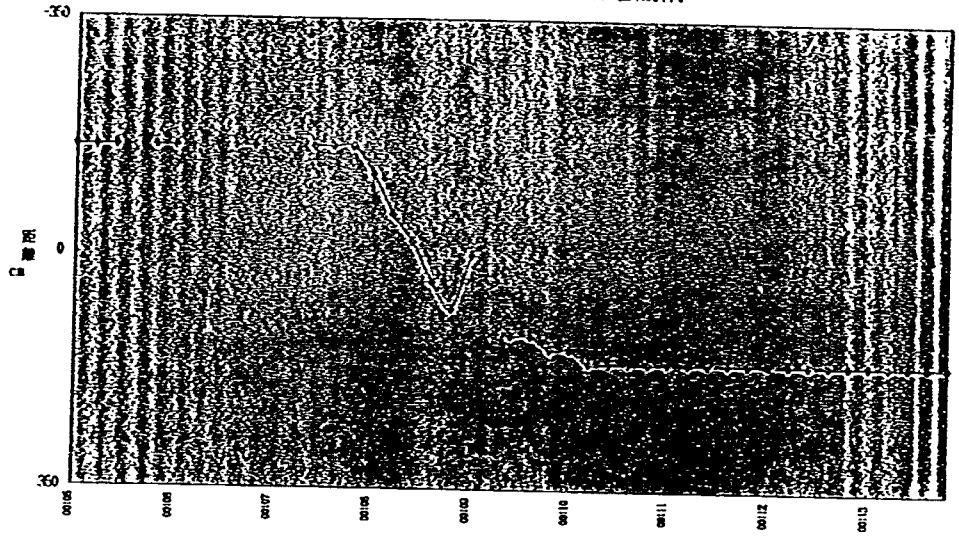
図表(4.1.1)2-113

車両停止判定の群縮化判定の肝箇 昼間の実験 本線からの退避 パターン1
始点距離8m 観測距離11.7m~52.0m 白系統車両



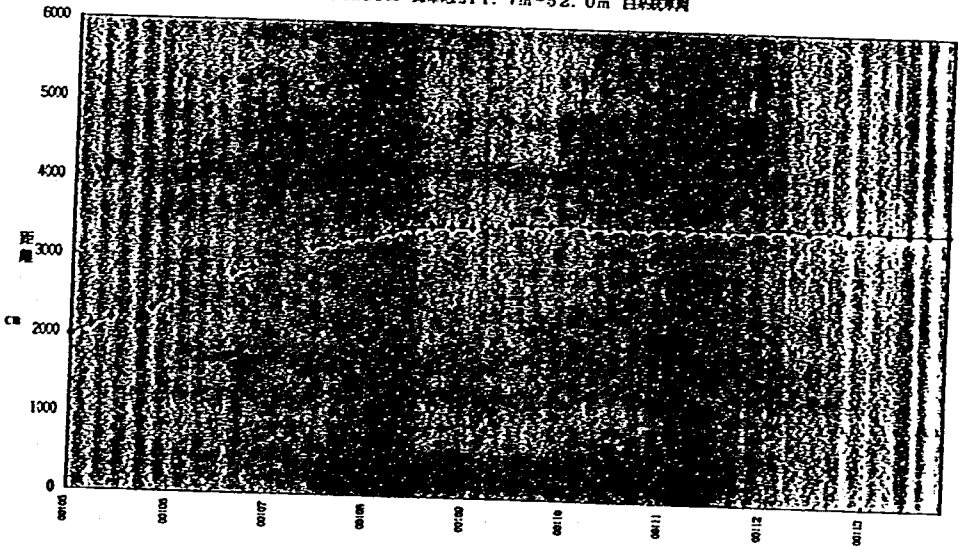
図表(4.1.1)2-114

車両停止判定の群縮化判定の肝箇 昼間の実験 横ぎき パターン1
始点距離8m 観測距離11.7m~52.0m 白系統車両



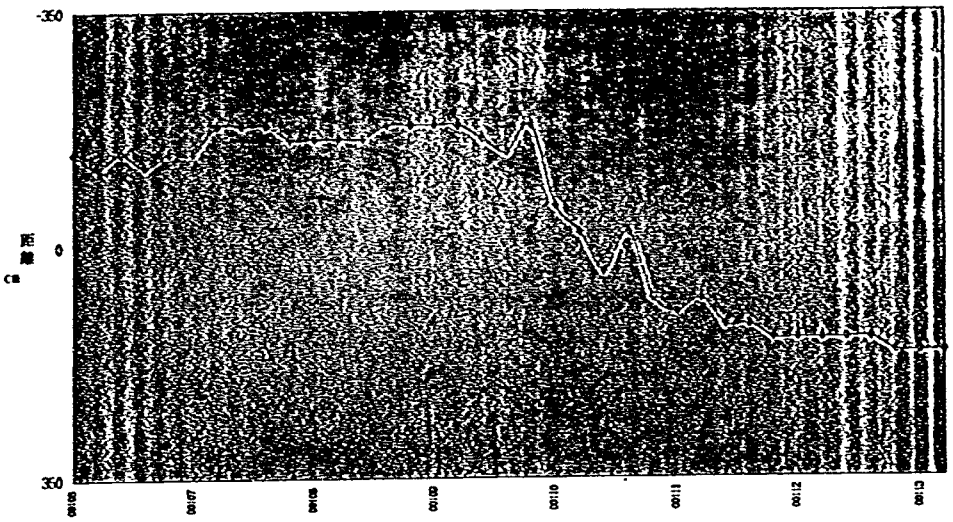
図表(4.1.1)2-115

車両停止判定の群縮化判定の肝箇 昼間の実験 横ぎき パターン1
始点距離8m 観測距離11.7m~52.0m 白系統車両



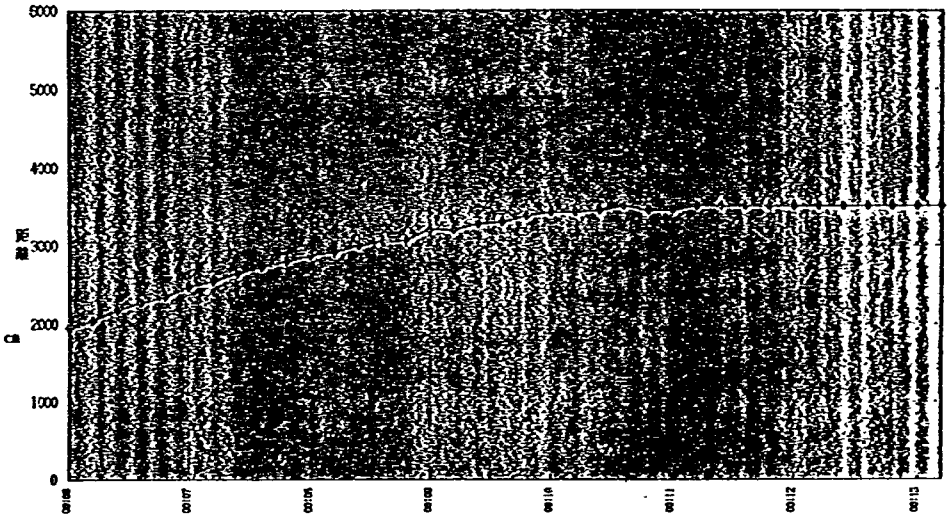
図表(4.1.1)2-116

車両停止判定の群論化判定の評価　昼間の実験　横ぎき　パターン1
始点距離8m　最終距離11.7m～52.0m　最終故車両



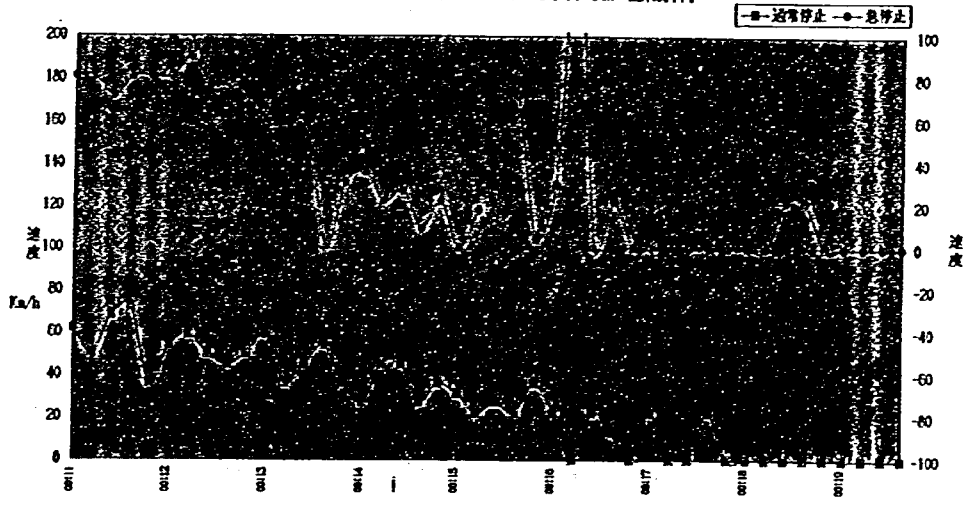
図表(4.1.1)2-117

車両停止判定の群論化判定の評価　昼間の実験　横ぎき　パターン1
始点距離8m　最終距離11.7m～52.0m　最終故車両

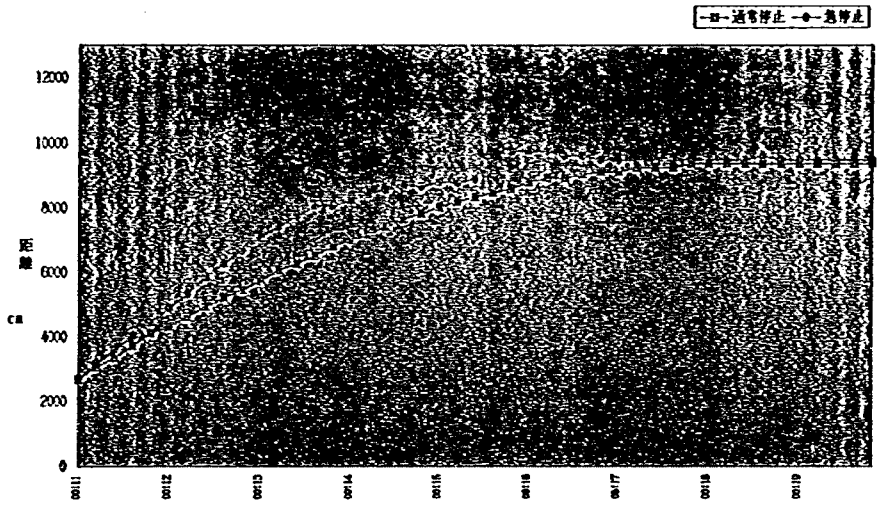


図表(4.1.1)2-118

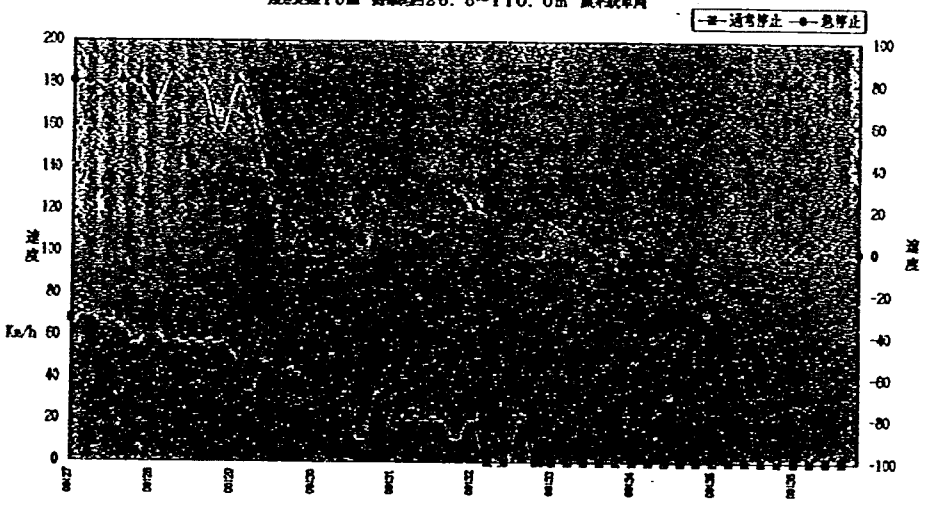
車両停止判定の群論化判定の評価　昼間の実験　通常停止・急停止　パターン2
始点距離15m　最終距離26.5m～110.0m　白昇故車両



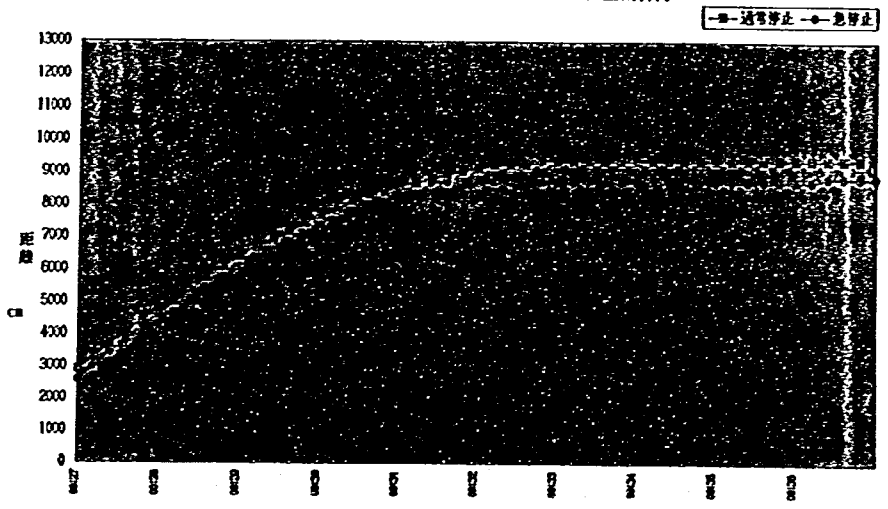
図表(4.1.1)2-119



図表(4.1.1)2-120

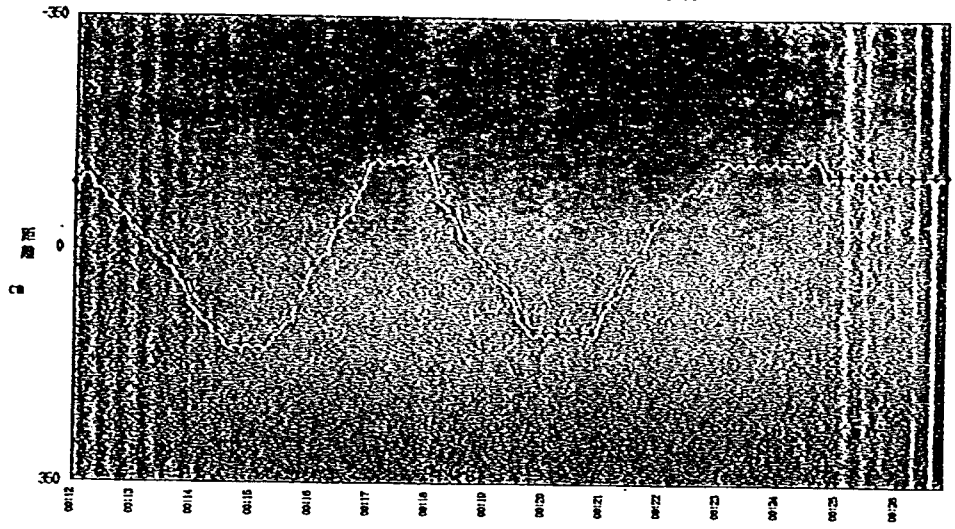


図表(4.1.1)2-121



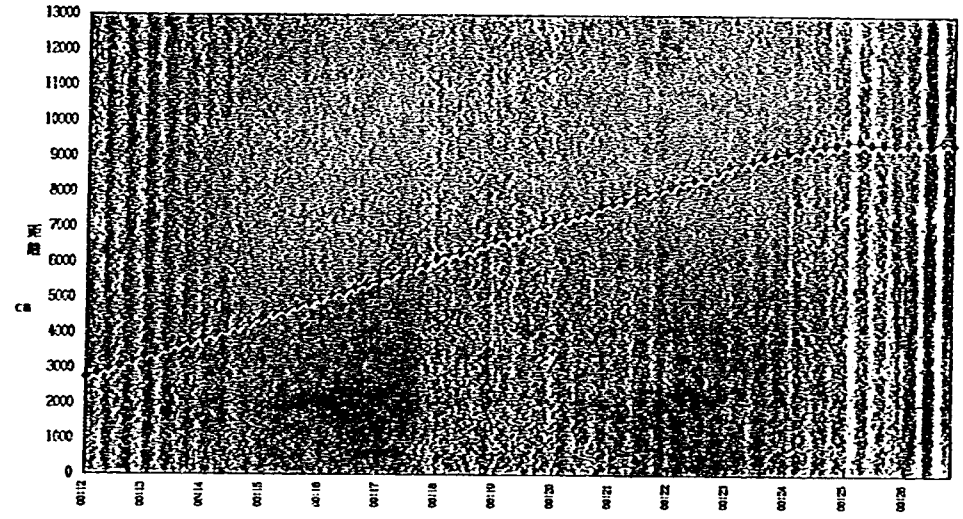
図表(4.1.1)2-122

車両停止判定の精緻化判定の評価 登坂の実験 蛇行 パターン2
焦点距離15m 最寄駅西26.5m~110.0m 白系統車両



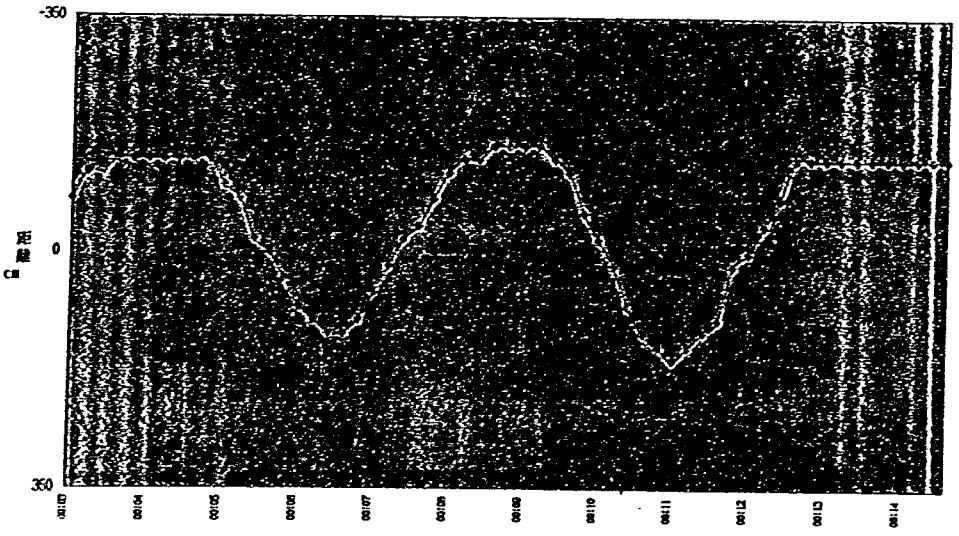
図表(4.1.1)2-123

車両停止判定の精緻化判定の評価 登坂の実験 蛇行 パターン2
焦点距離15m 最寄駅西26.5m~110.0m 白系統車両

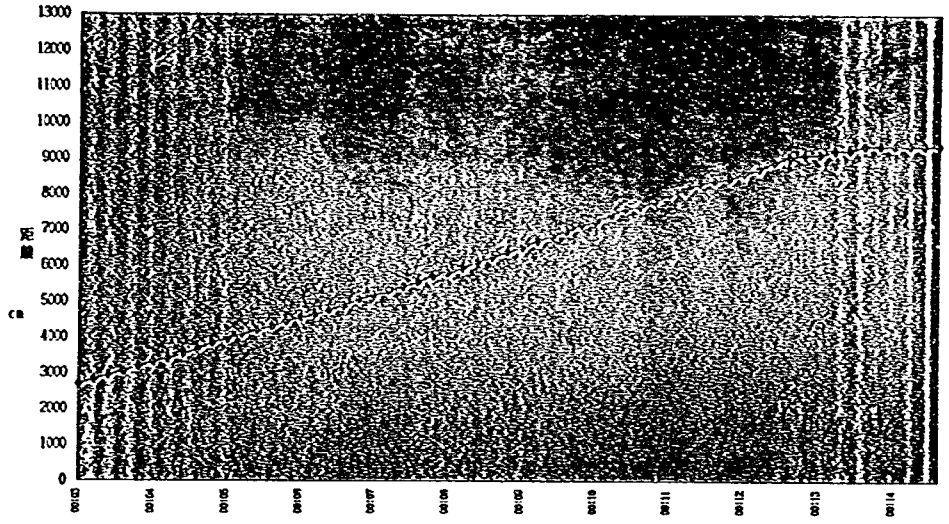


図表(4.1.1)2-124

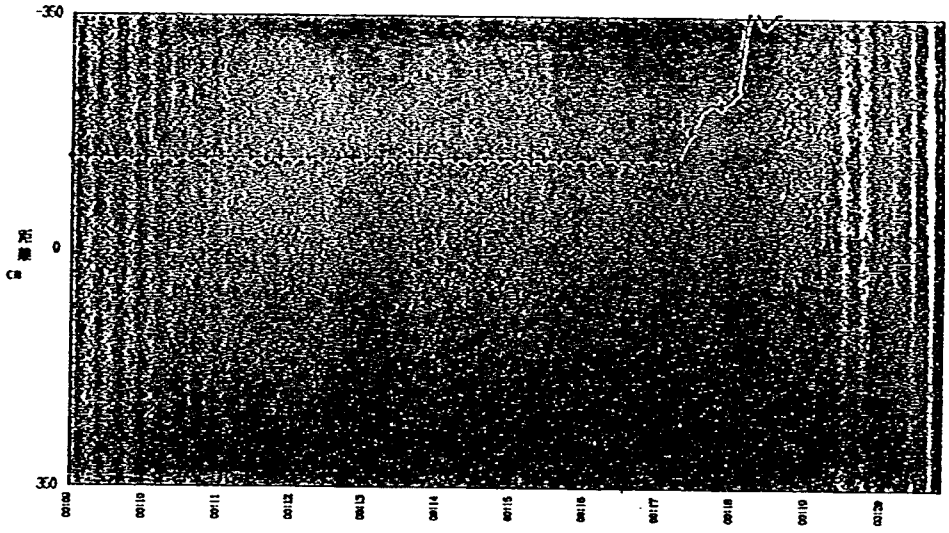
車両停止判定の精緻化判定の評価 登坂の実験 蛇行 パターン2
焦点距離15m 最寄駅西26.5m~110.0m 黒系統車両



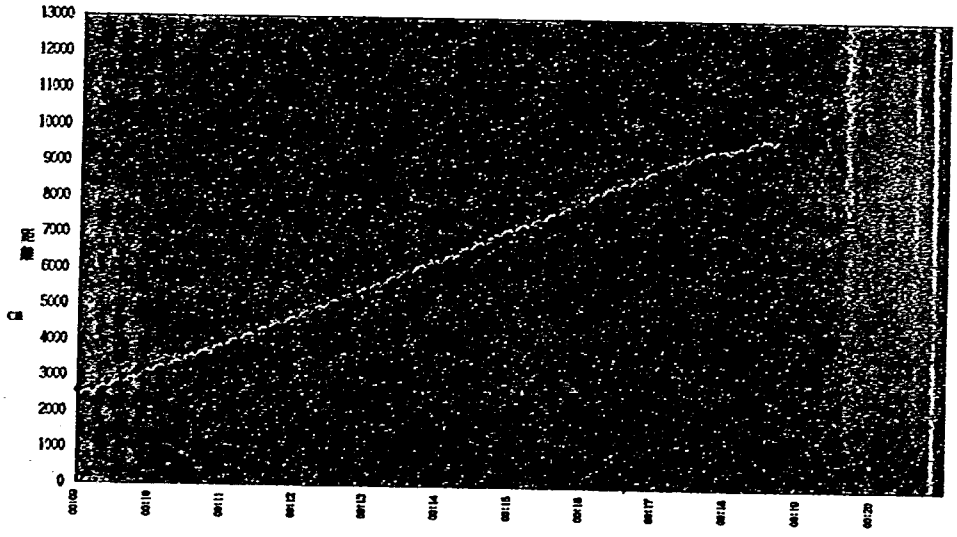
図表(4.1.1)2-125



図表(4.1.1)2-126

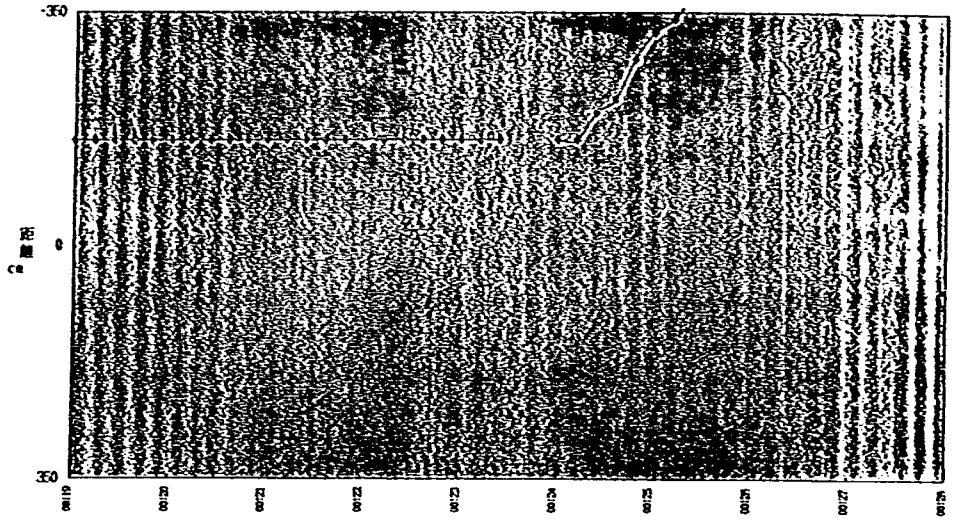


図表(4.1.1)2-127



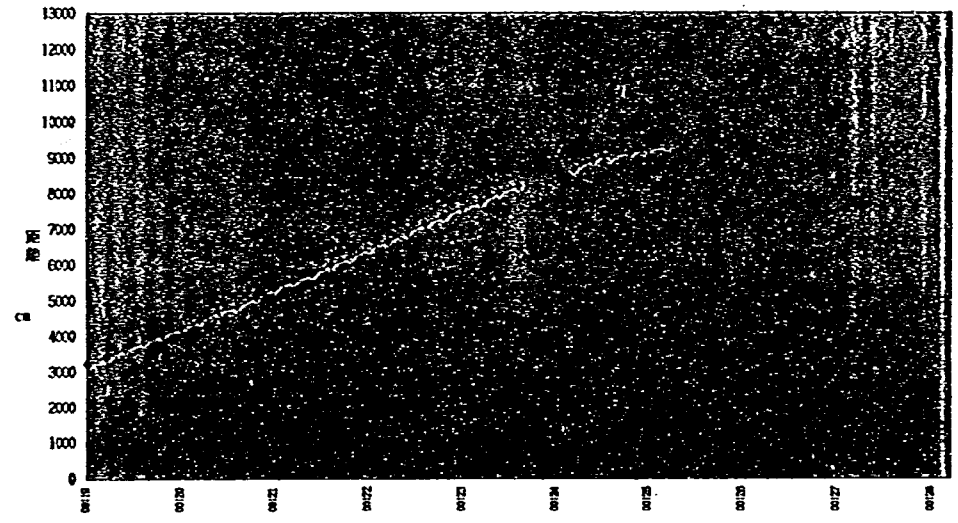
図表(4.1.1)2-128

車両停止判定の形態化判定の評価　昼間の実験　本線からの退出　パターン2
焦点距離15m　撮影範囲26.5m～110.0m　展示技術課



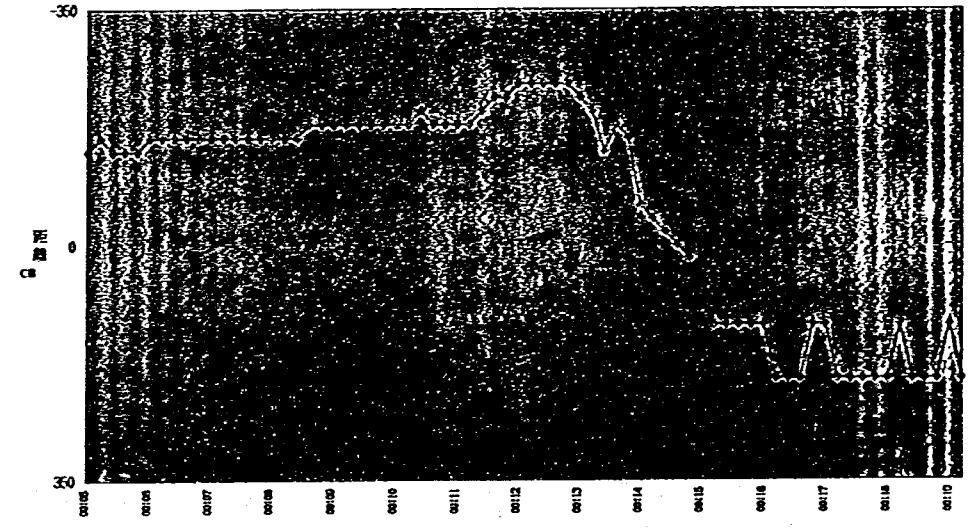
図表(4.1.1)2-129

車両停止判定の形態化判定の評価　昼間の実験　本線からの退出　パターン2
焦点距離15m　撮影範囲26.5m～110..0m　展示技術課

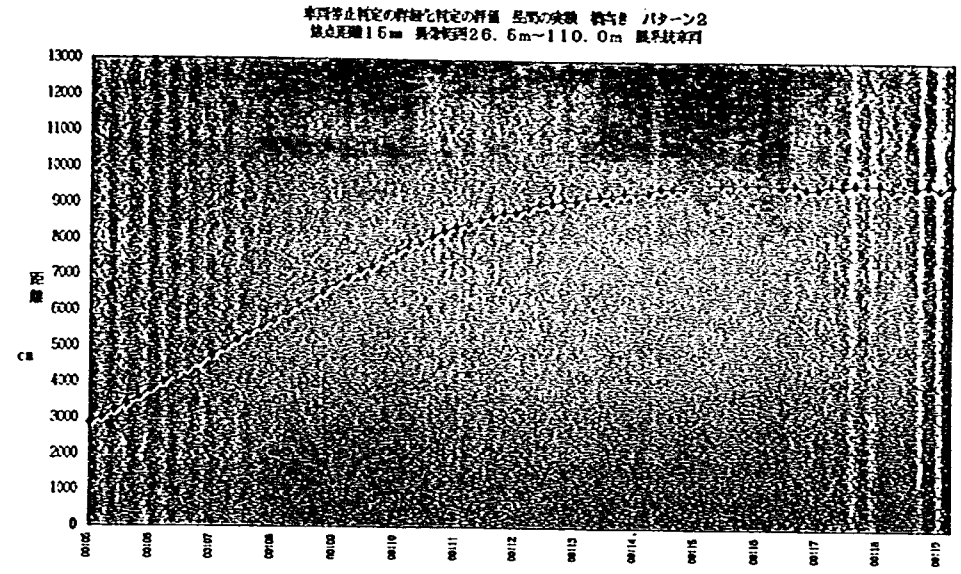


図表(4.1.1)2-130

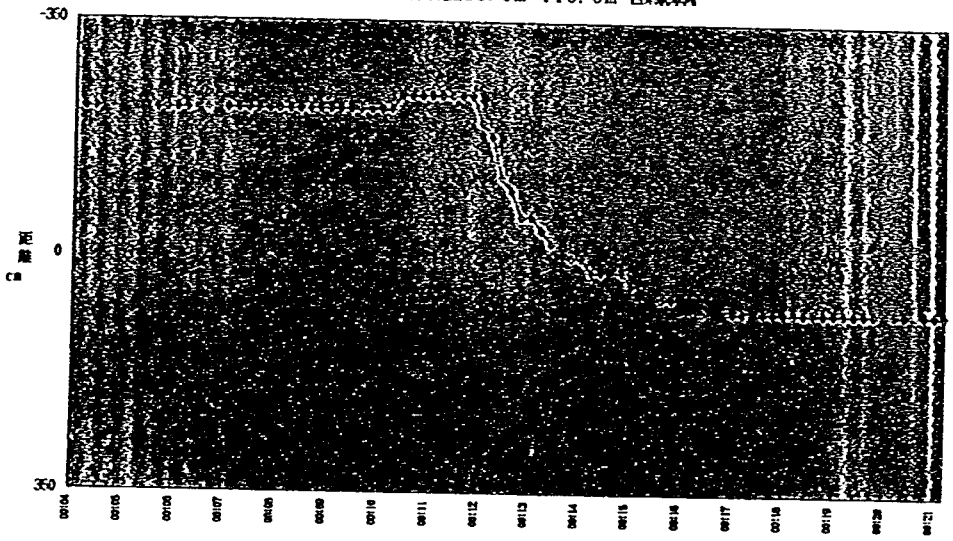
車両停止判定の形態化判定の評価　昼間の実験　横与8　パターン2
焦点距離15m　撮影範囲26.5m～110.0m　展示技術課



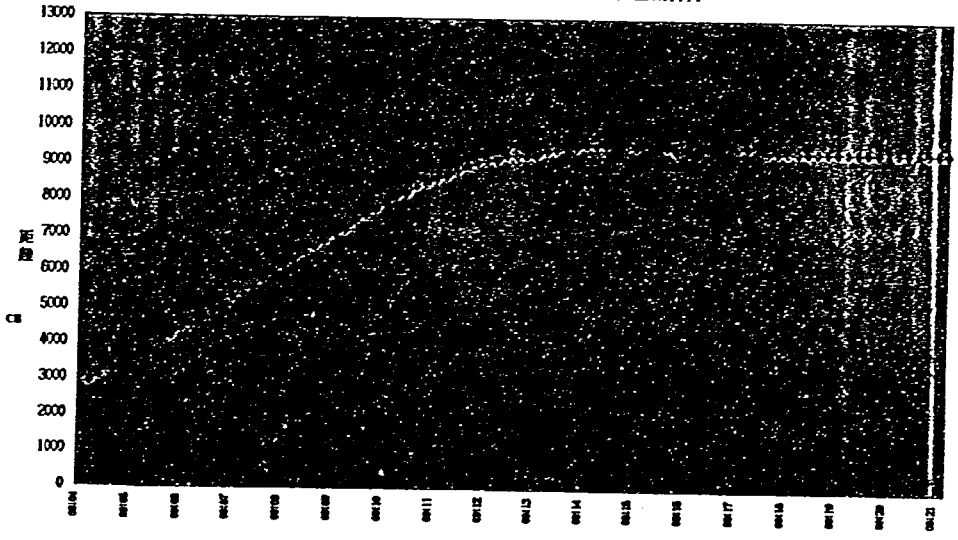
図表(4.1.1)2-131



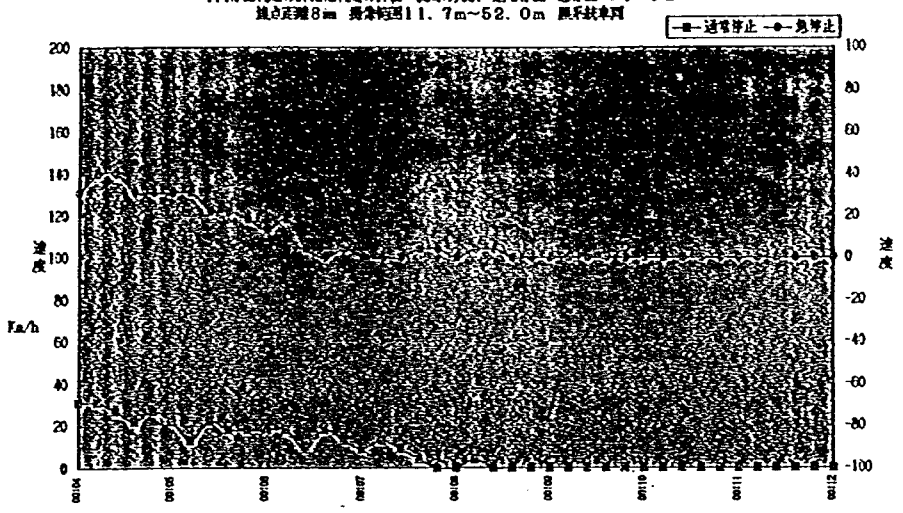
図表(4.1.1)2-132



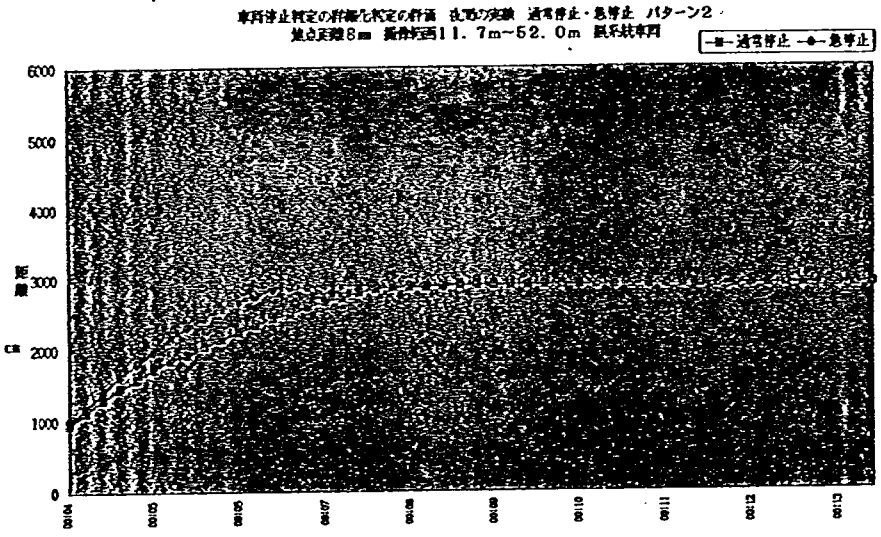
図表(4.1.1)2-133



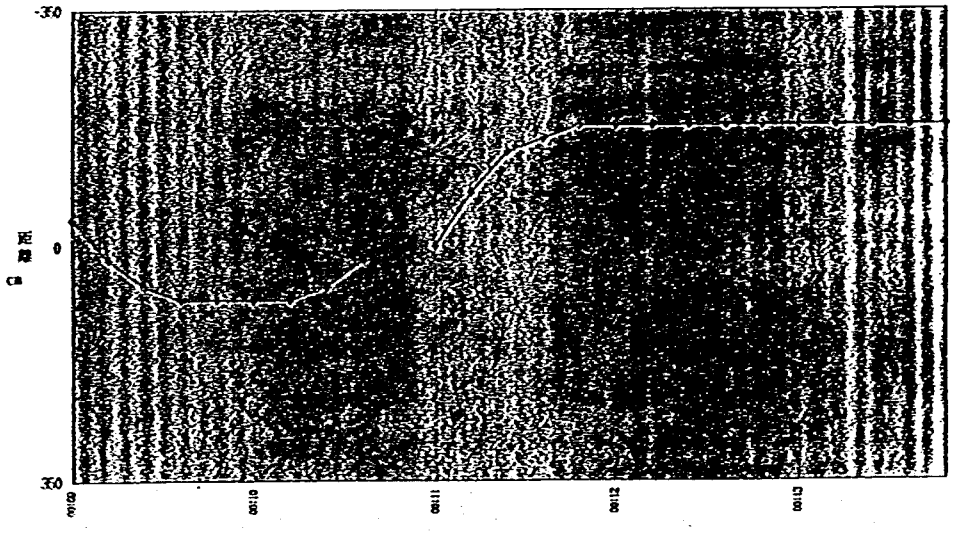
図表(4.1.1)2-134



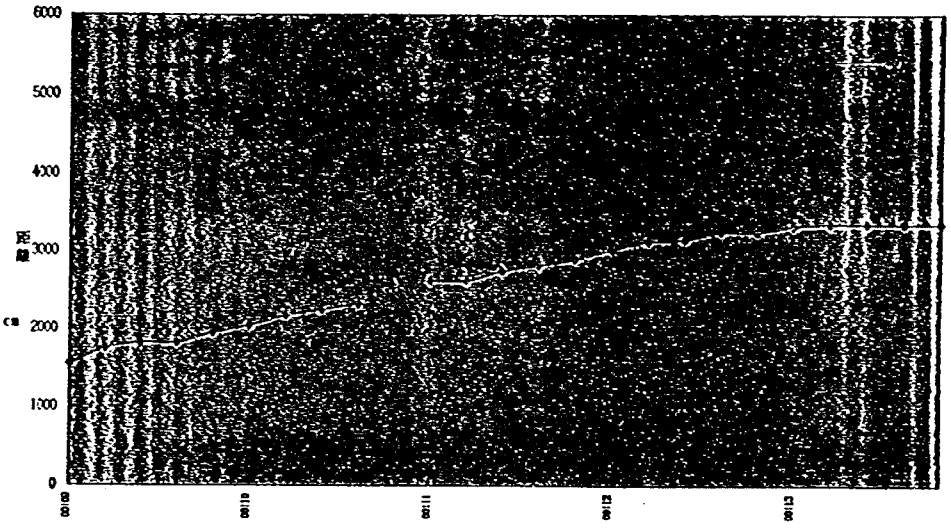
図表(4.1.1)2-135



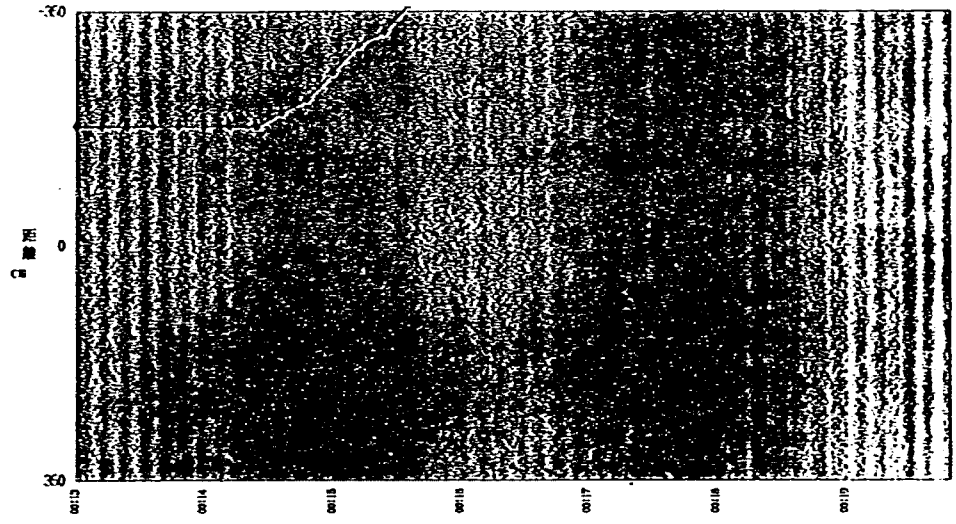
図表(4.1.1)2-136



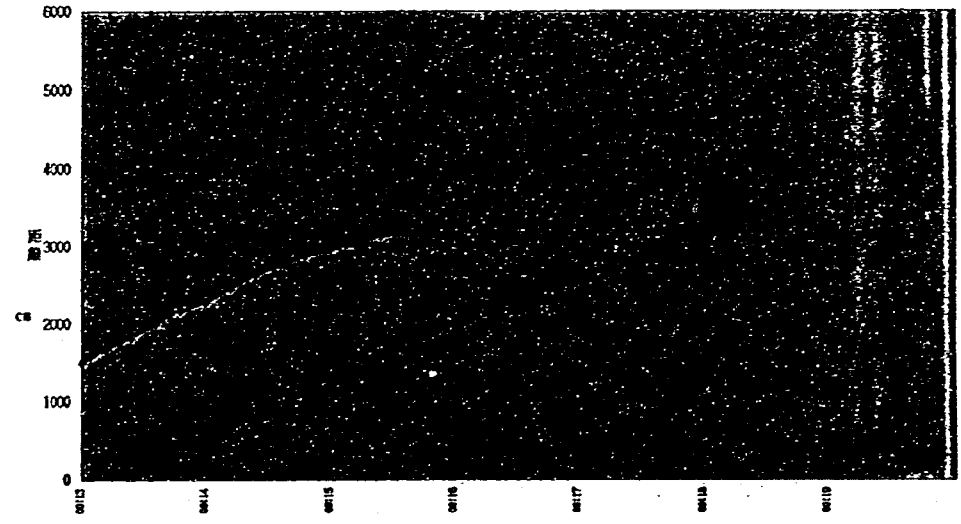
図表(4.1.1)2-137



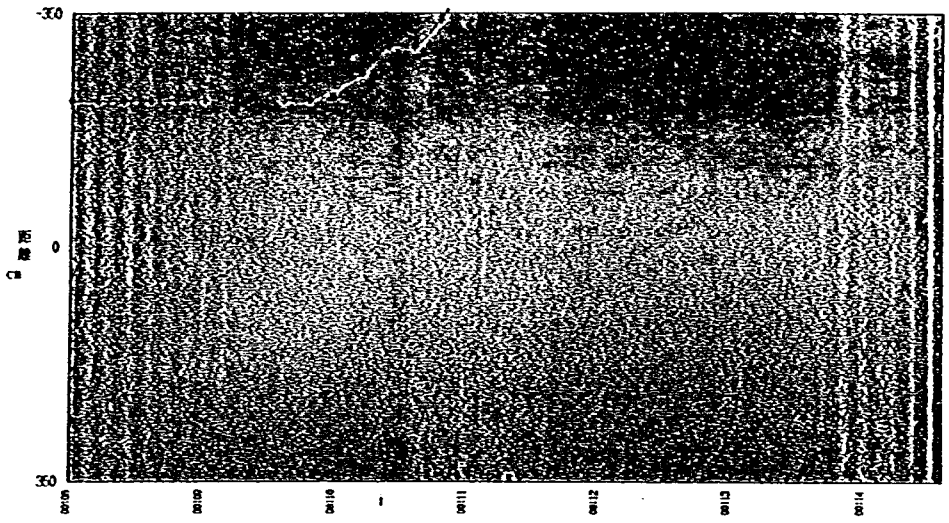
図表(4.1.1)2-138



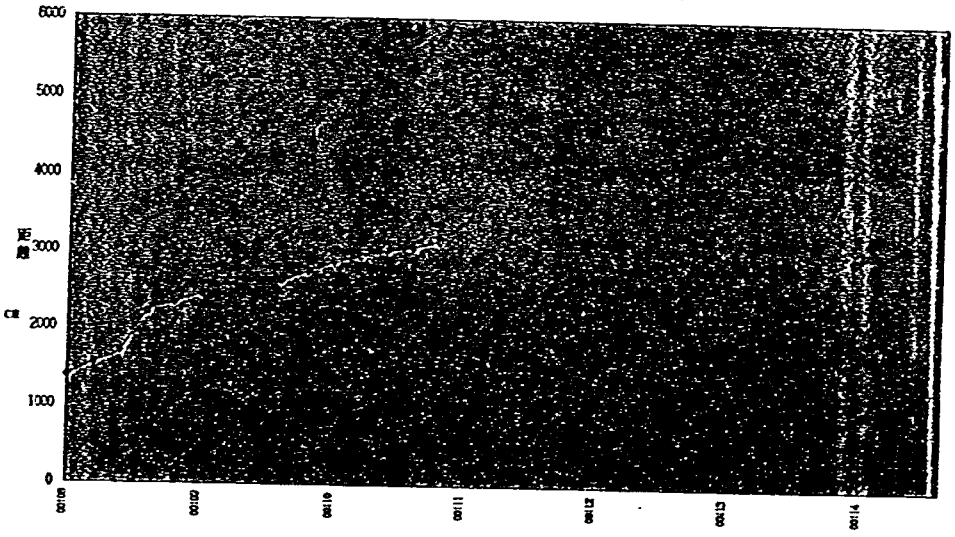
図表(4.1.1)2-139



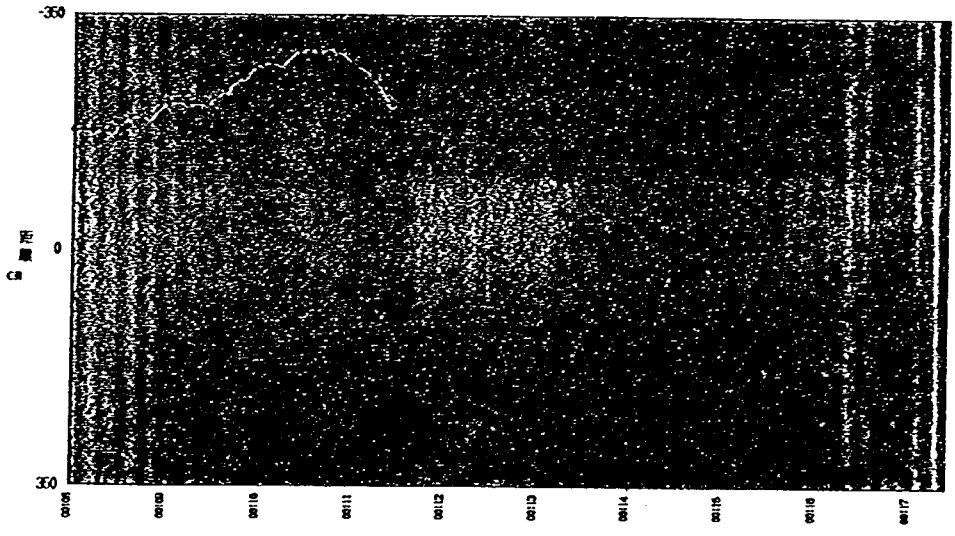
図表(4.1.1)2-140



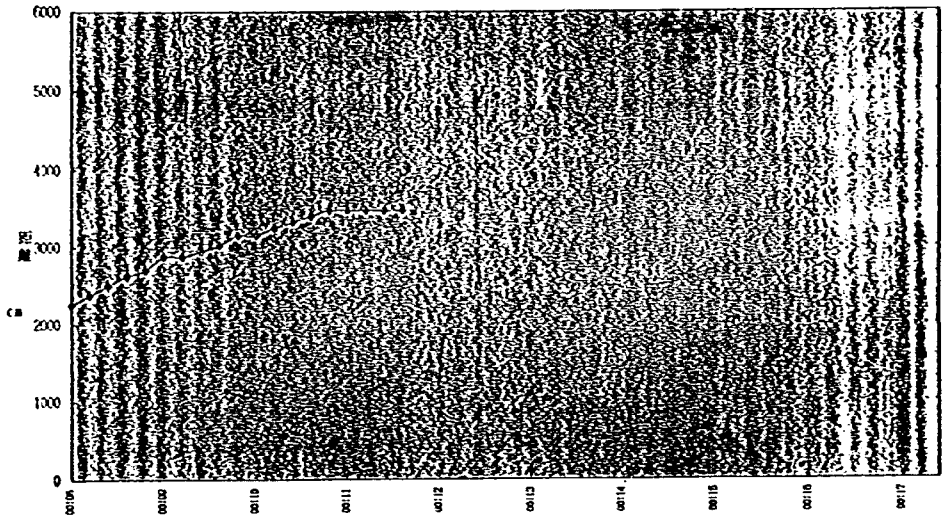
図表(4.1.1)2-141



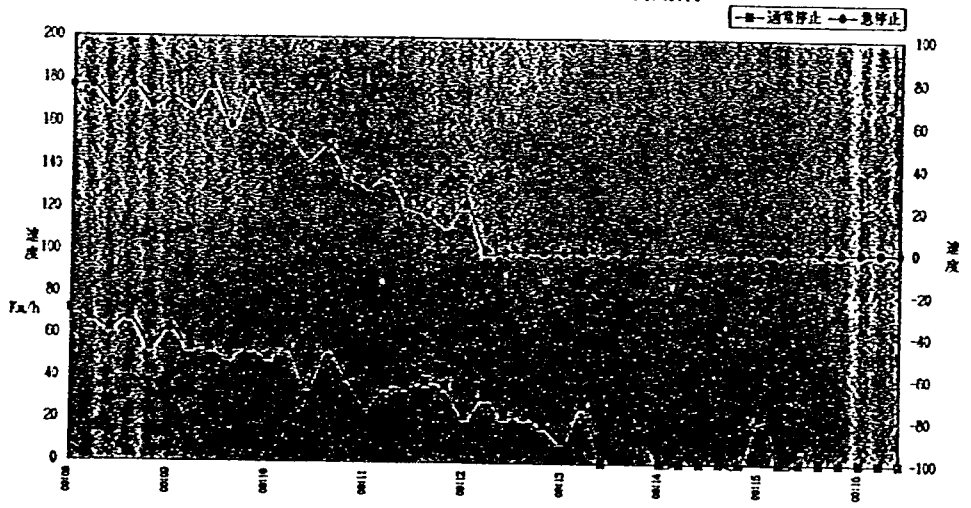
図表(4.1.1)2-142



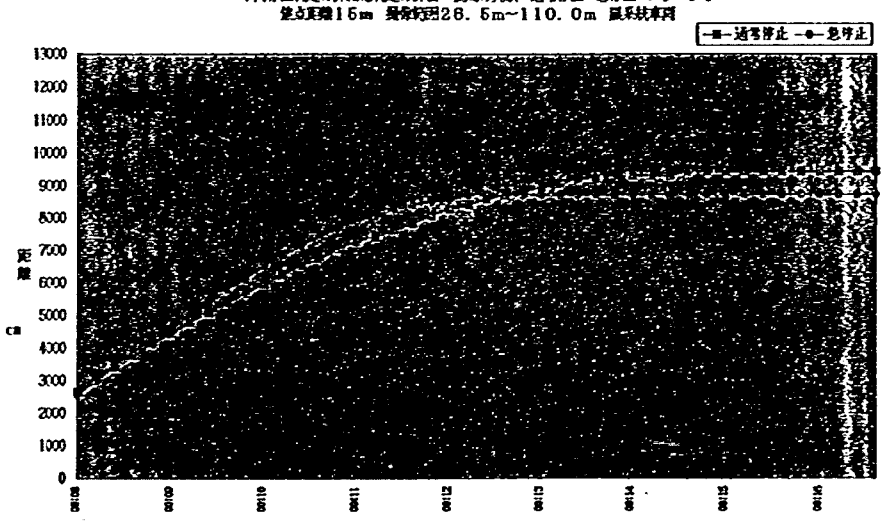
図表（4.1.1）2-143



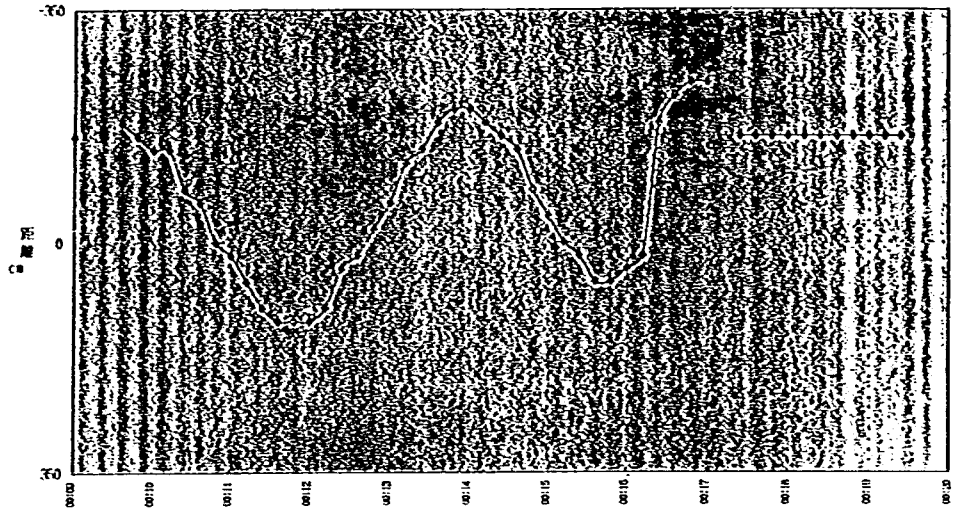
図表（4.1.1）2-144



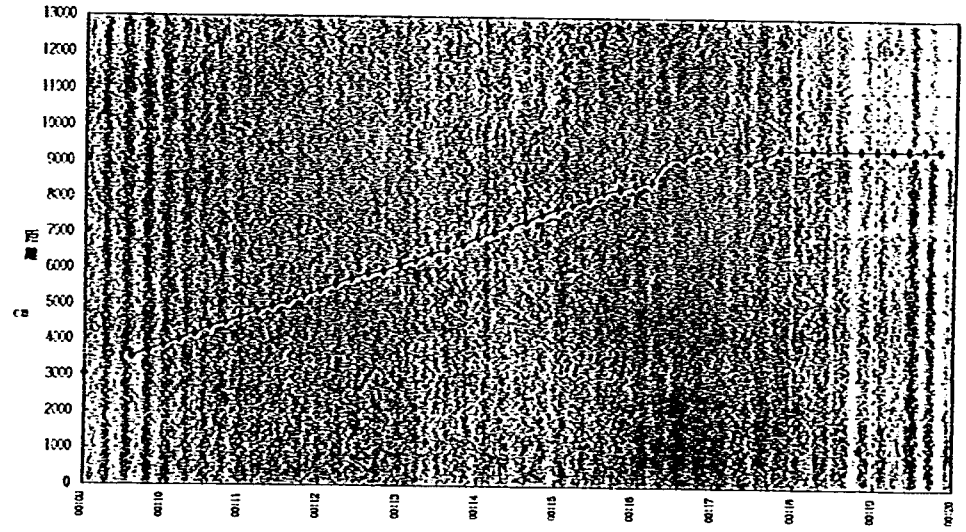
図表（4.1.1）2-145



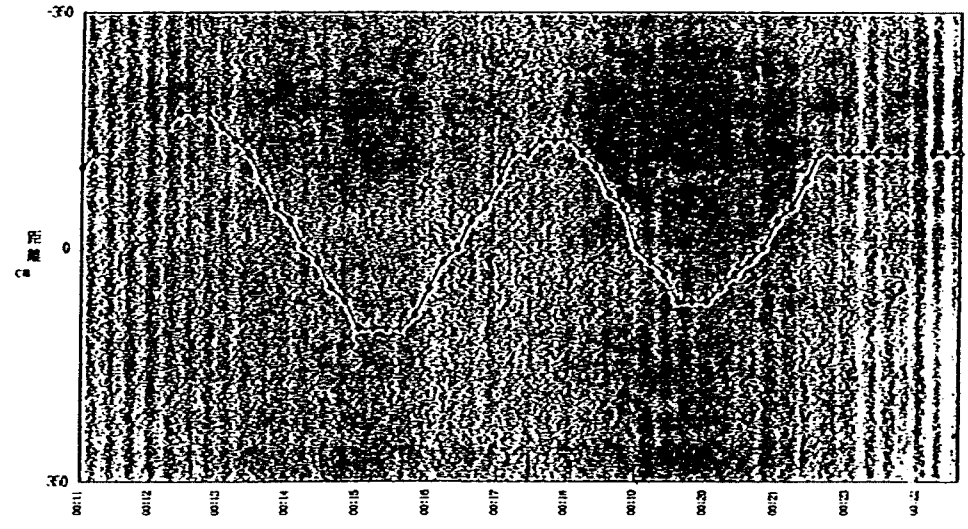
図表（4．1．1）2-146



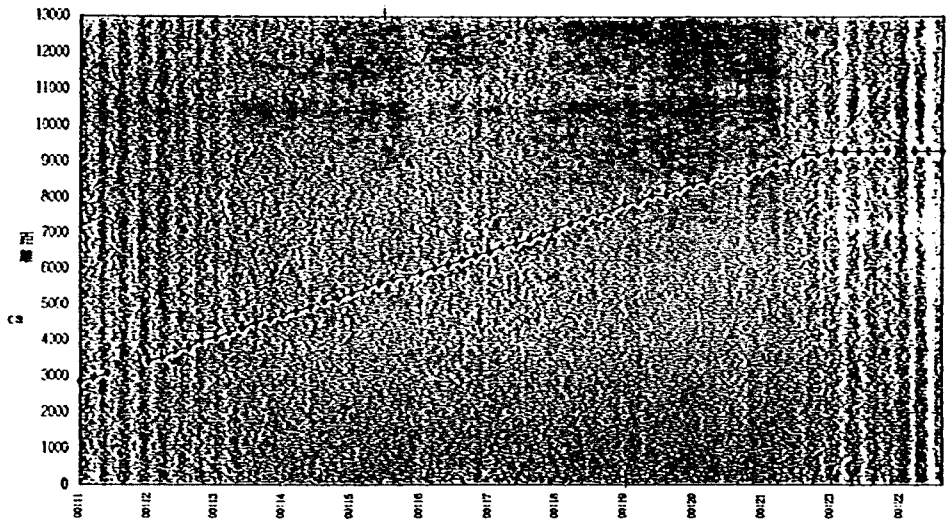
図表（4．1．1）2-147



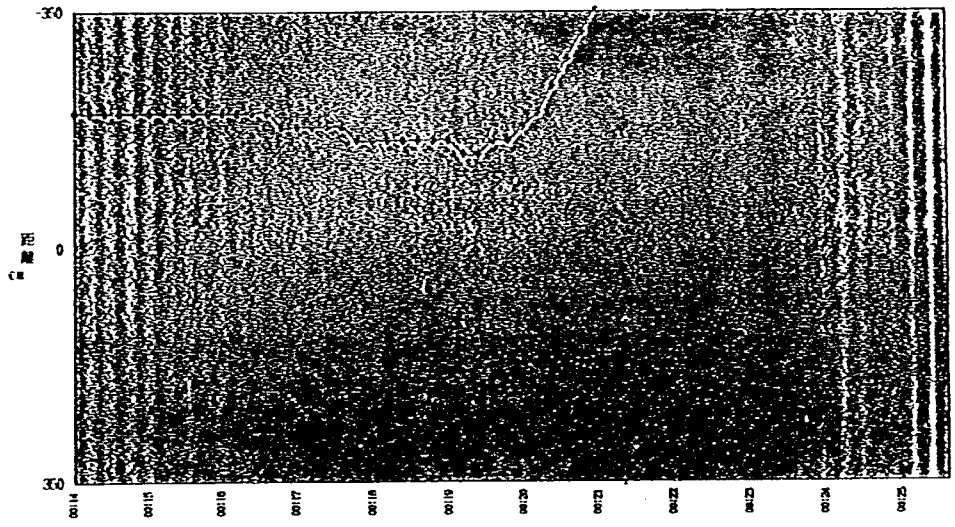
図表（4．1．1）2-148



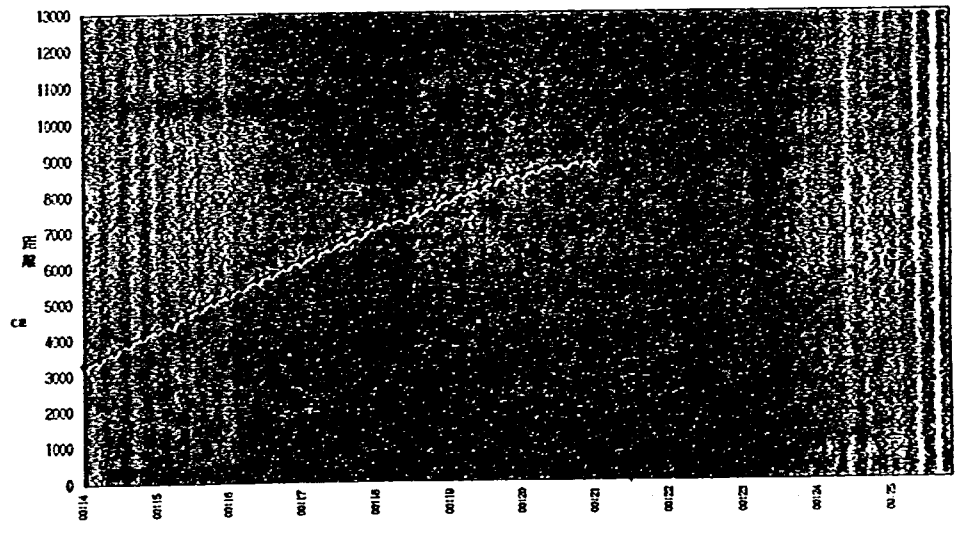
図表 (4. 1. 1) 2-149



図表 (4. 1. 1) 2-150

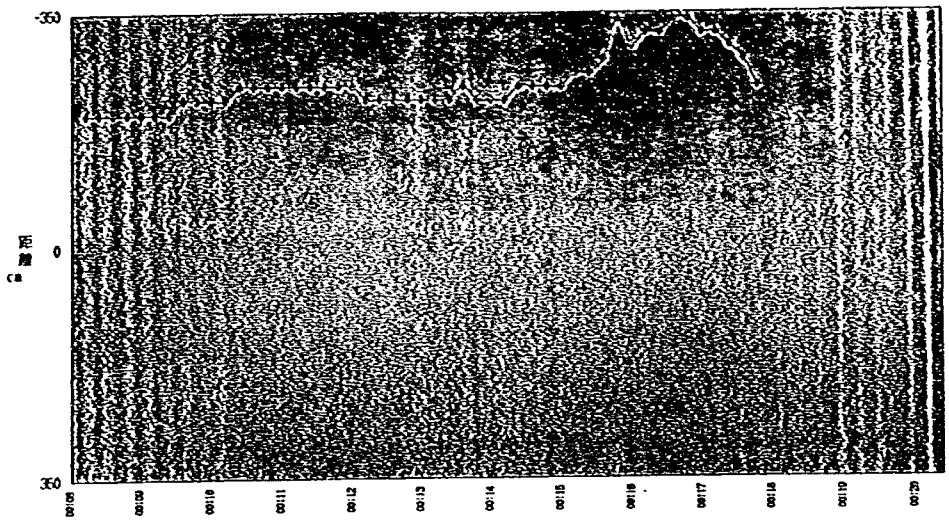


図表 (4. 1. 1) 2-151



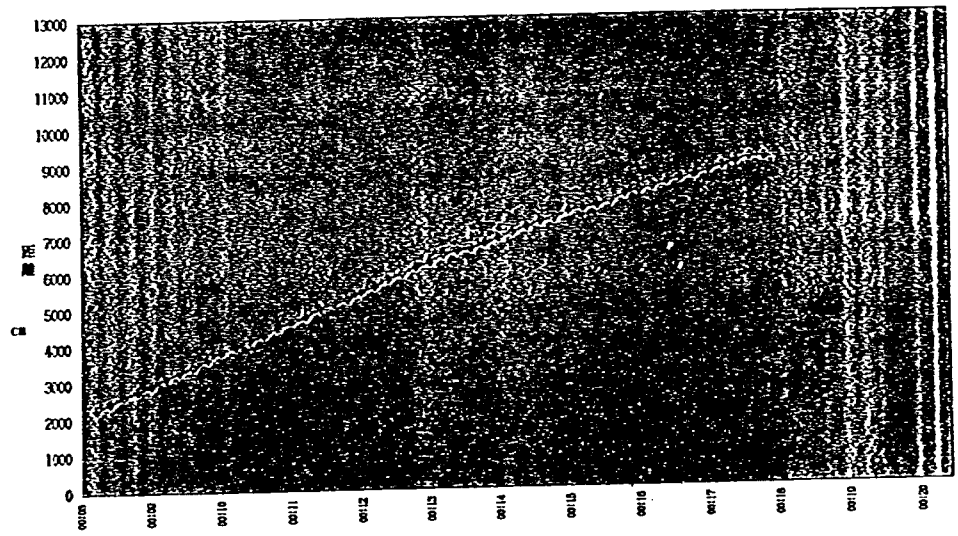
図表(4.1.1)2-152

車両停止判定の群疎化判定の肝通 夜間の実験 横当き パターン1
焦点距離15m 最遠距離26.5m~110.0m 最長枕車列



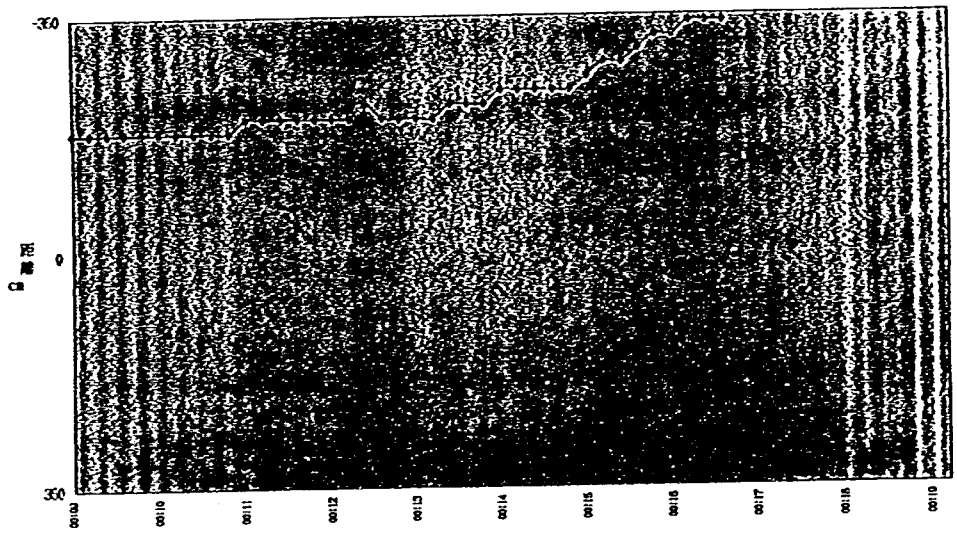
図表(4.1.1)2-153

車両停止判定の群疎化判定の肝通 夜間の実験 横当き パターン1
焦点距離15m 最遠距離26.5m~110.0m 最長枕車列

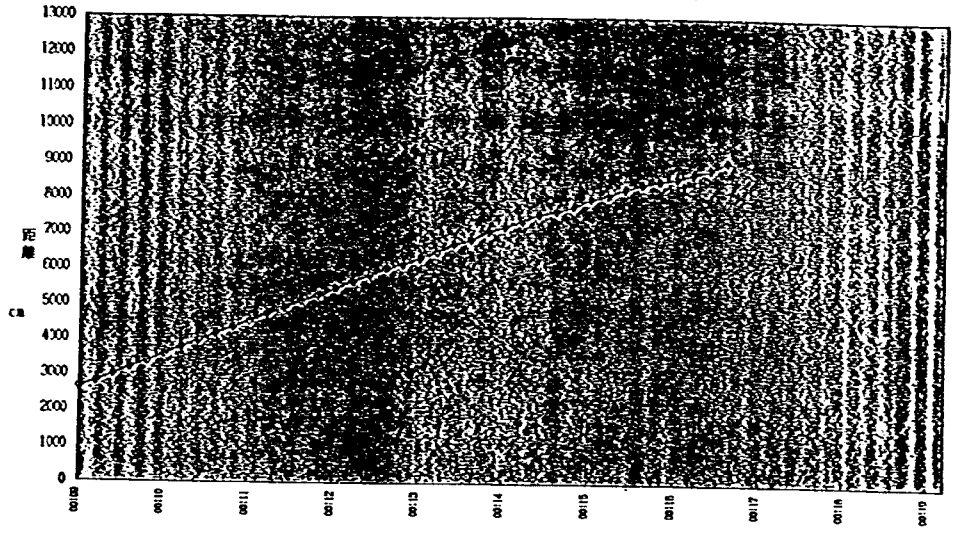


図表(4.1.1)2-154

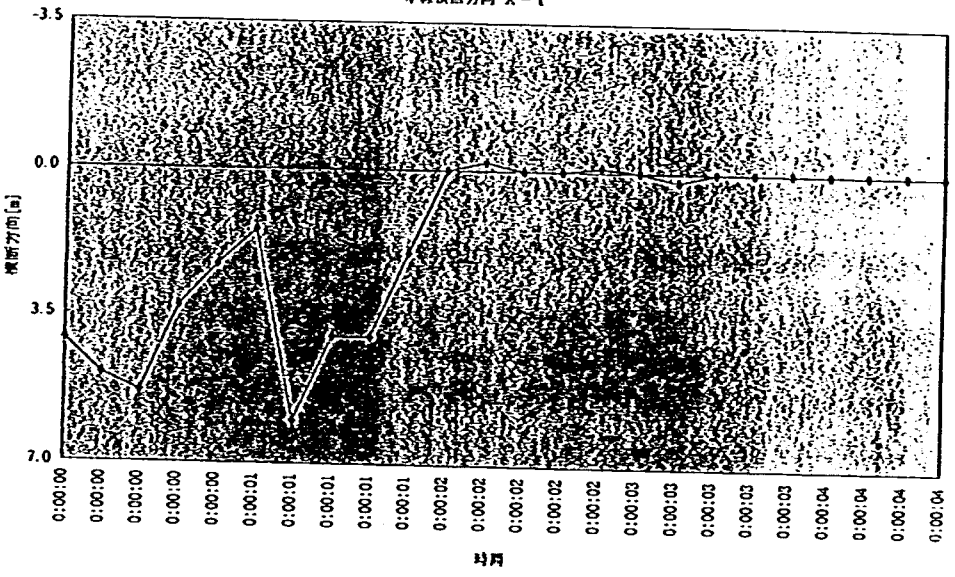
車両停止判定の群疎化判定の肝通 夜間の実験 横当き (2回目) パターン1
焦点距離15m 最遠距離26.5m~110.0m 最長枕車列



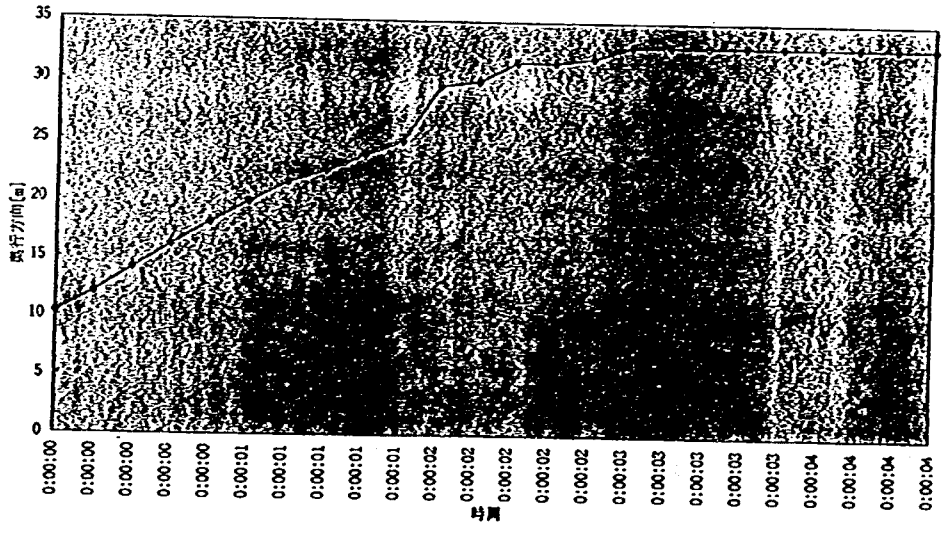
図表(4.1.1)2-155



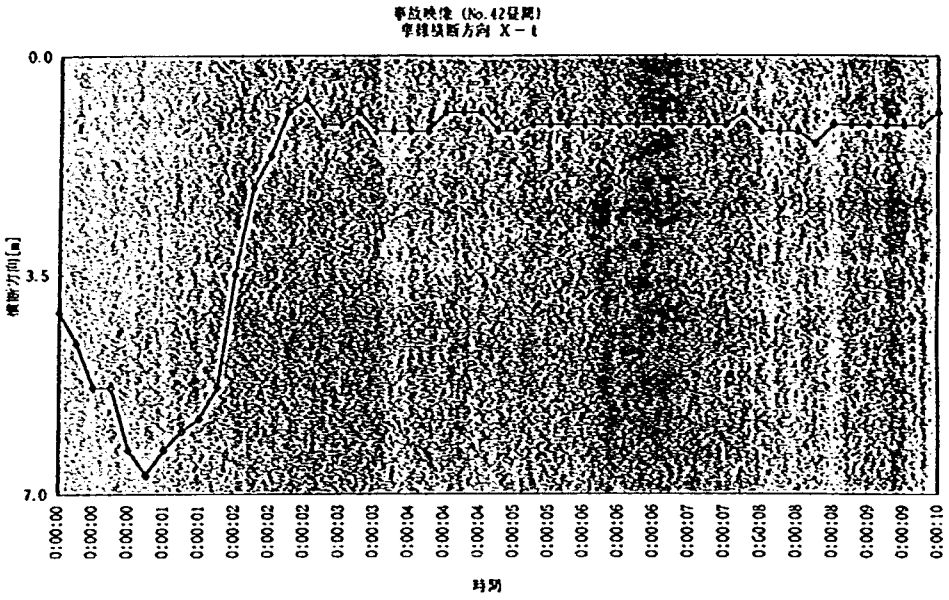
図表(4.1.1)2-156



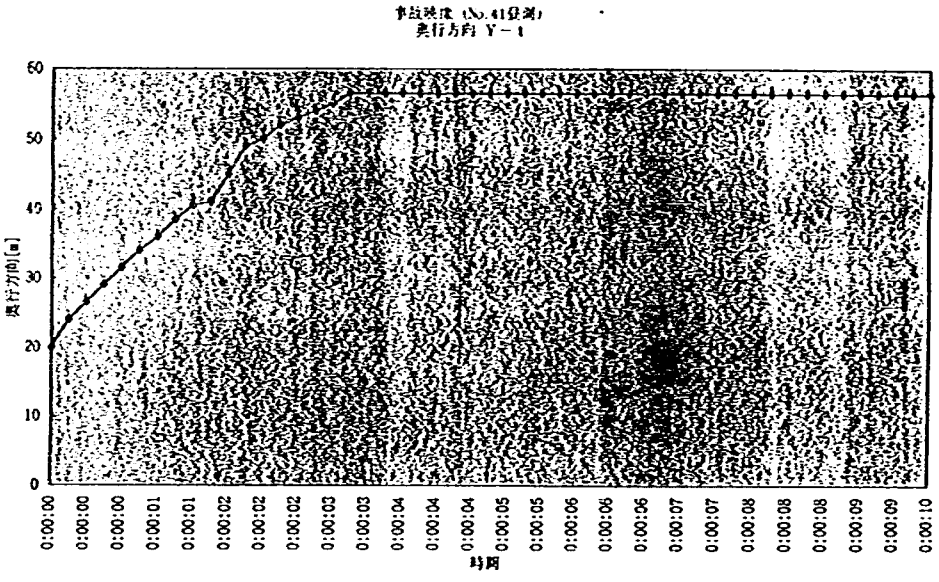
図表(4.1.1)2-157



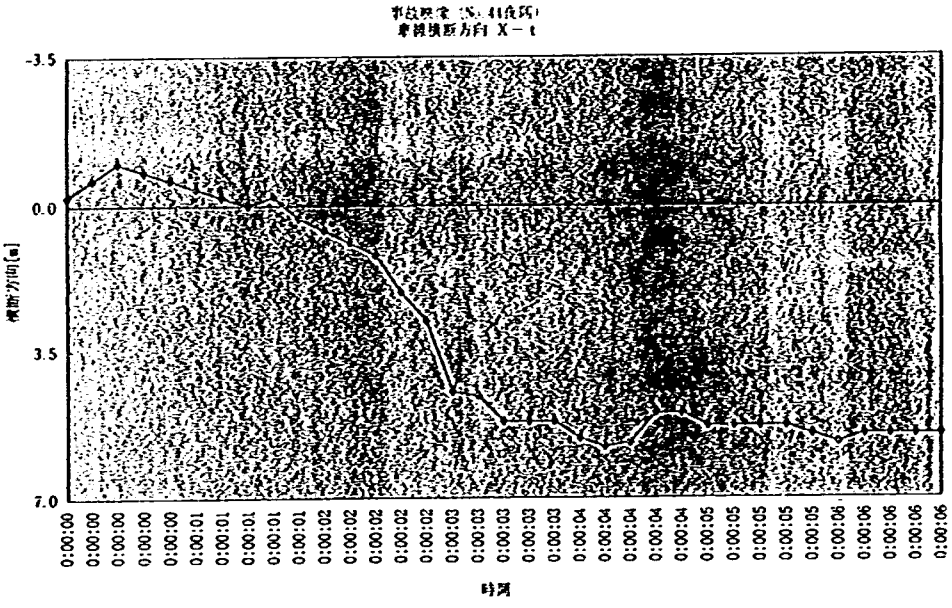
図表(4.1.1)2-158



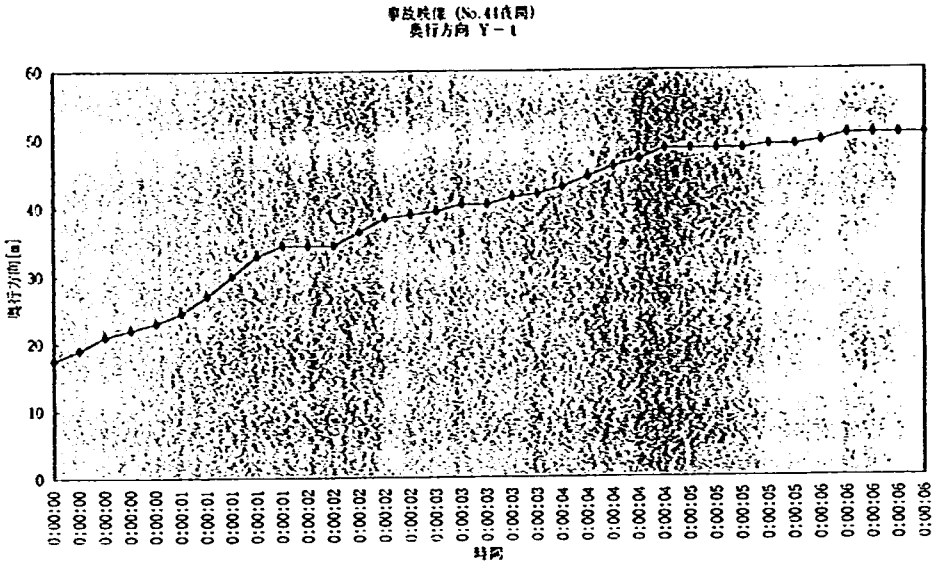
図表(4.1.1)2-159



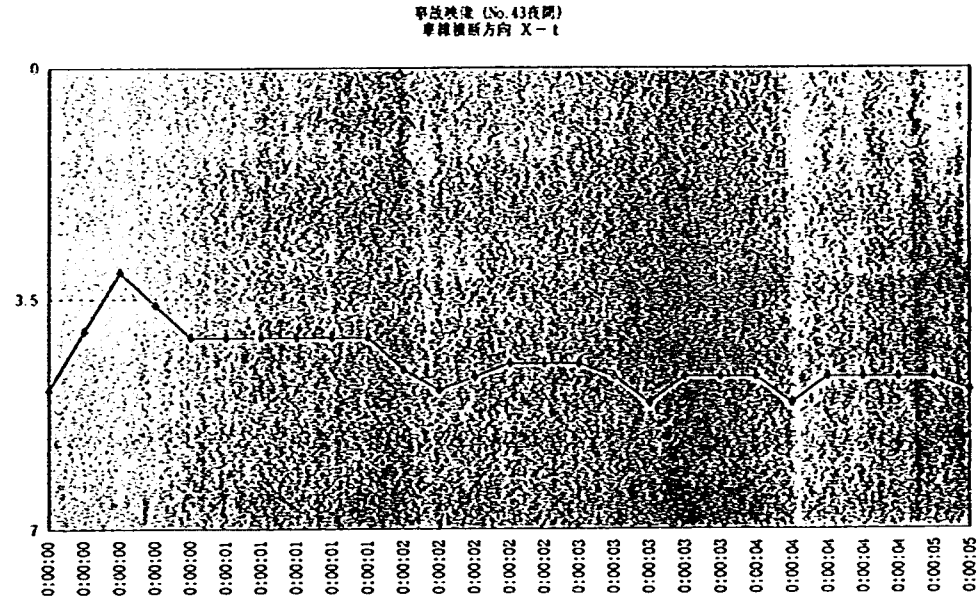
図表(4.1.1)2-160



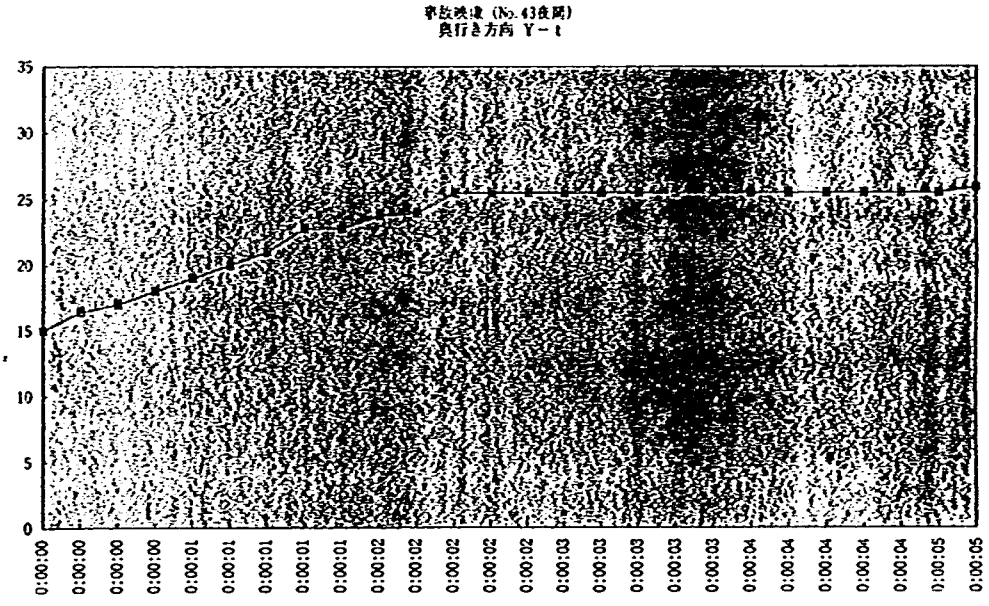
図表 (4. 1. 1) 2-161



図表 (4. 1. 1) 2-162

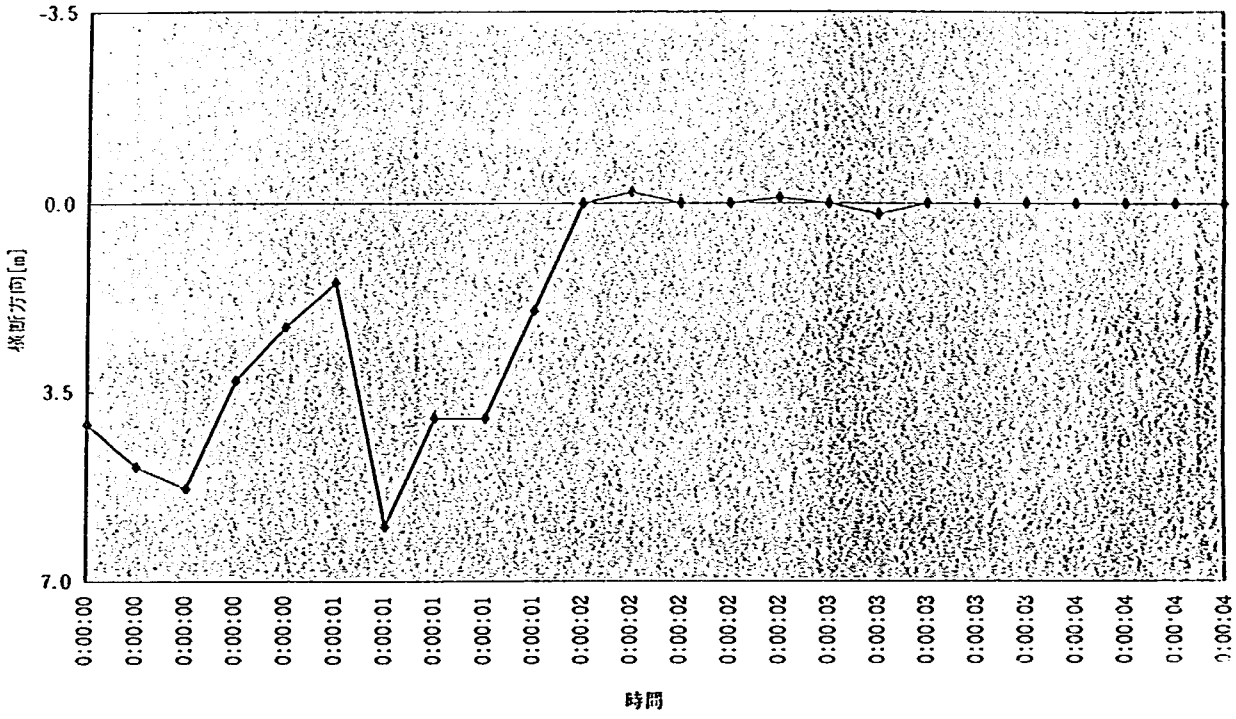


図表 (4. 1. 1) 2-163



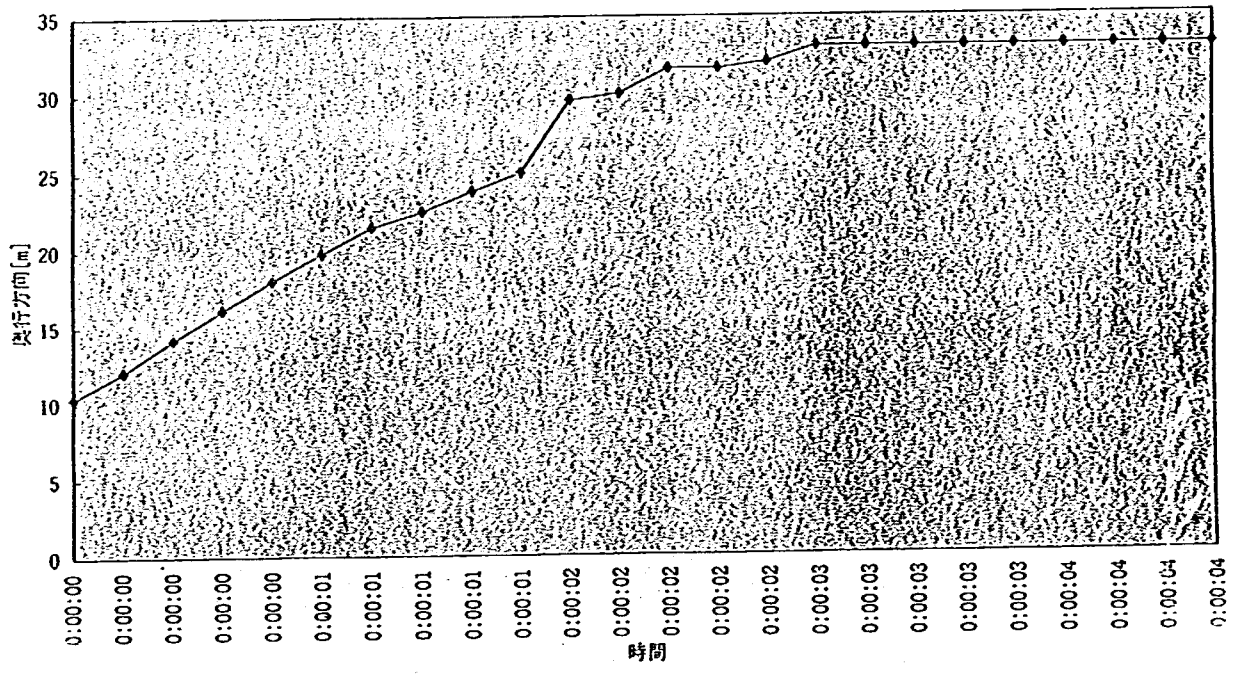
図表（4．1．1）2-164 事故映像（No41昼間）

車線横断方向 X－t



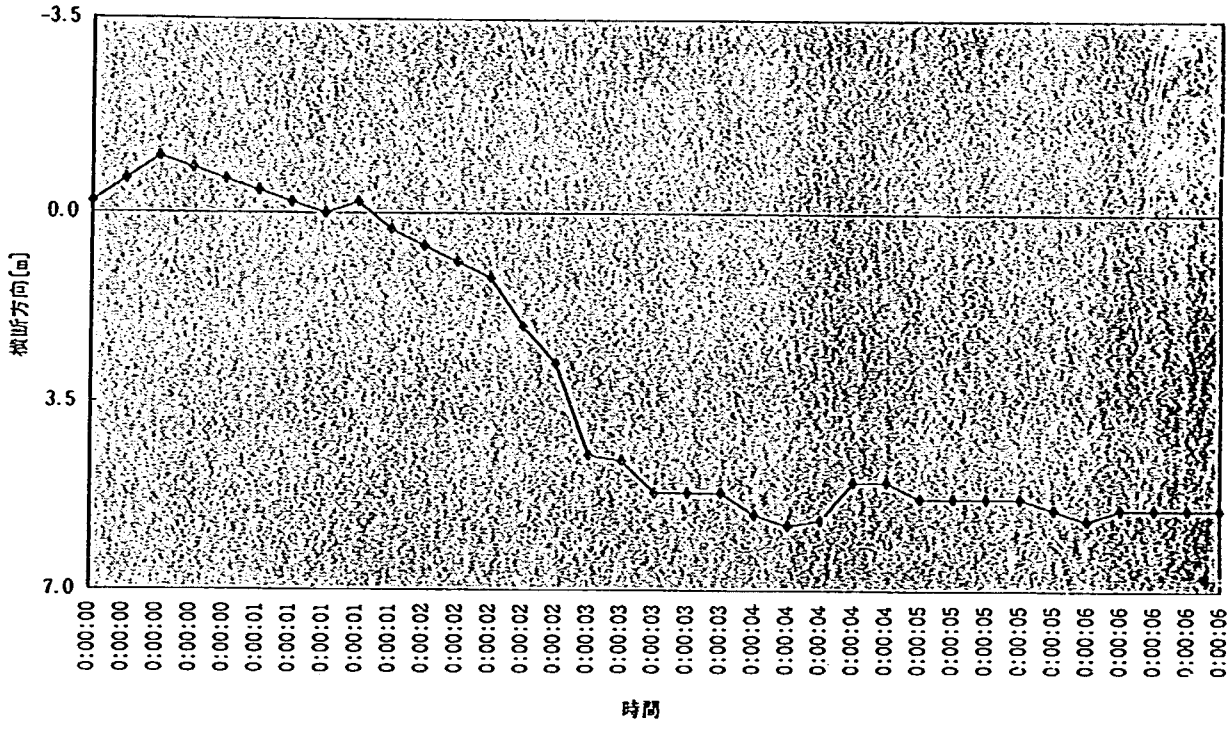
図表（4．1．1）2-165 事故映像（No41昼間）

奥行方向 Y－t



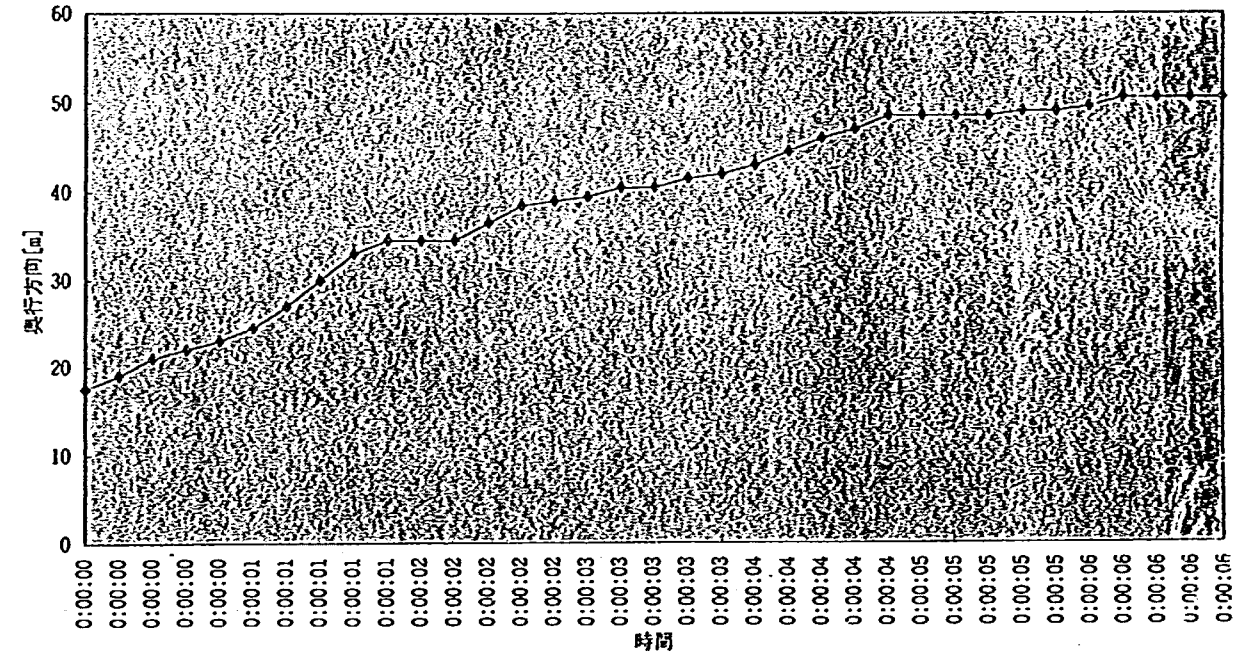
図表 (4. 1. 1) 2-170 事故映像 (Hb44夜間)

車線横断方向 X－t



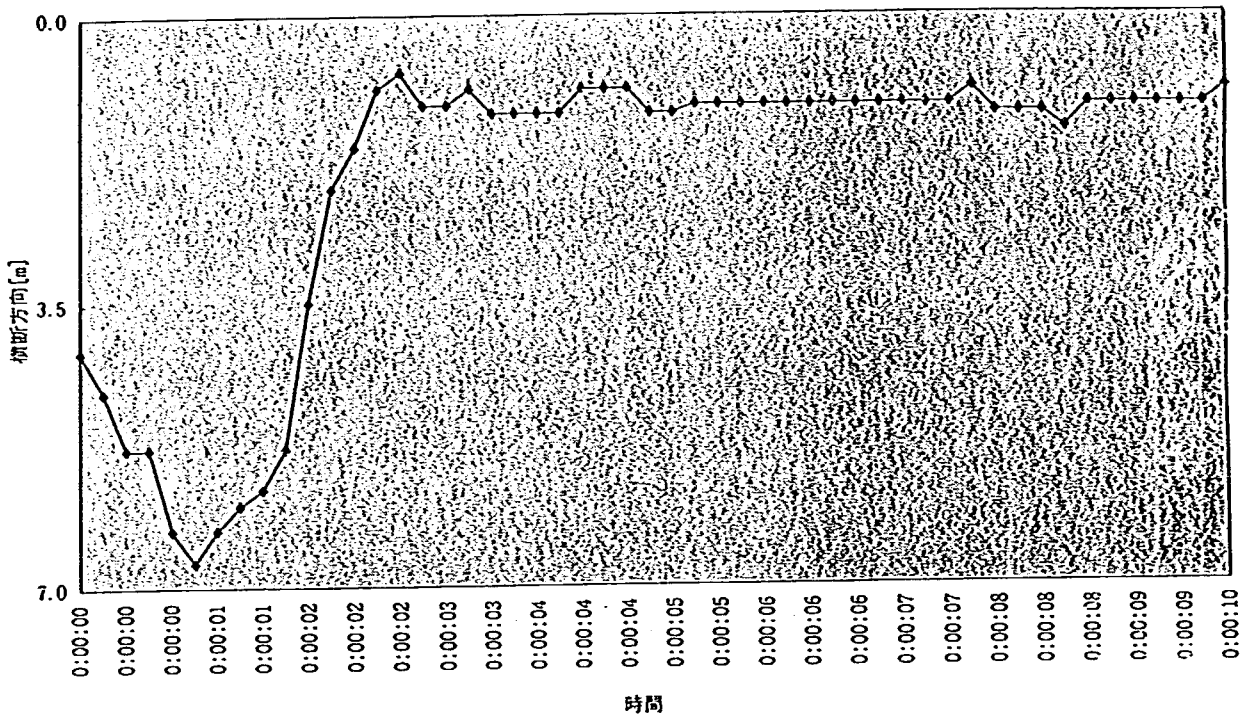
図表 (4. 1. 1) 2-171 事故映像 (Hb44夜間)

車行方向 Y－t



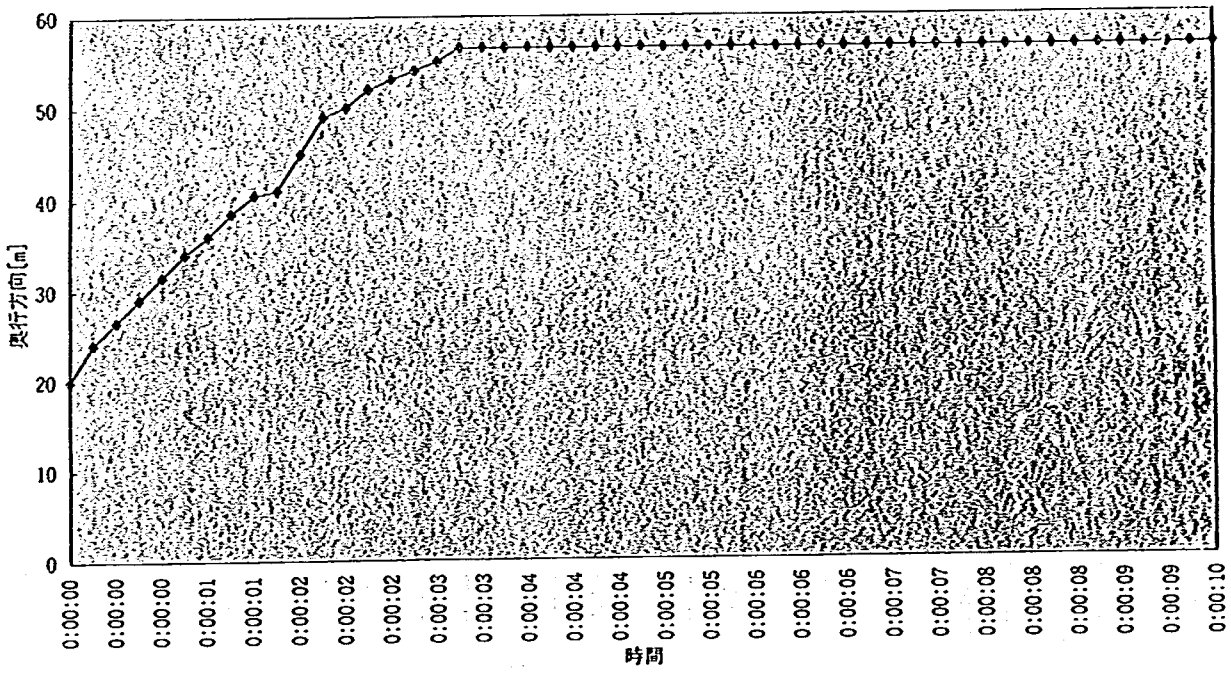
図表（4.1.1）2-166 事故映像（No.42昼間）

車線横断方向　X－t



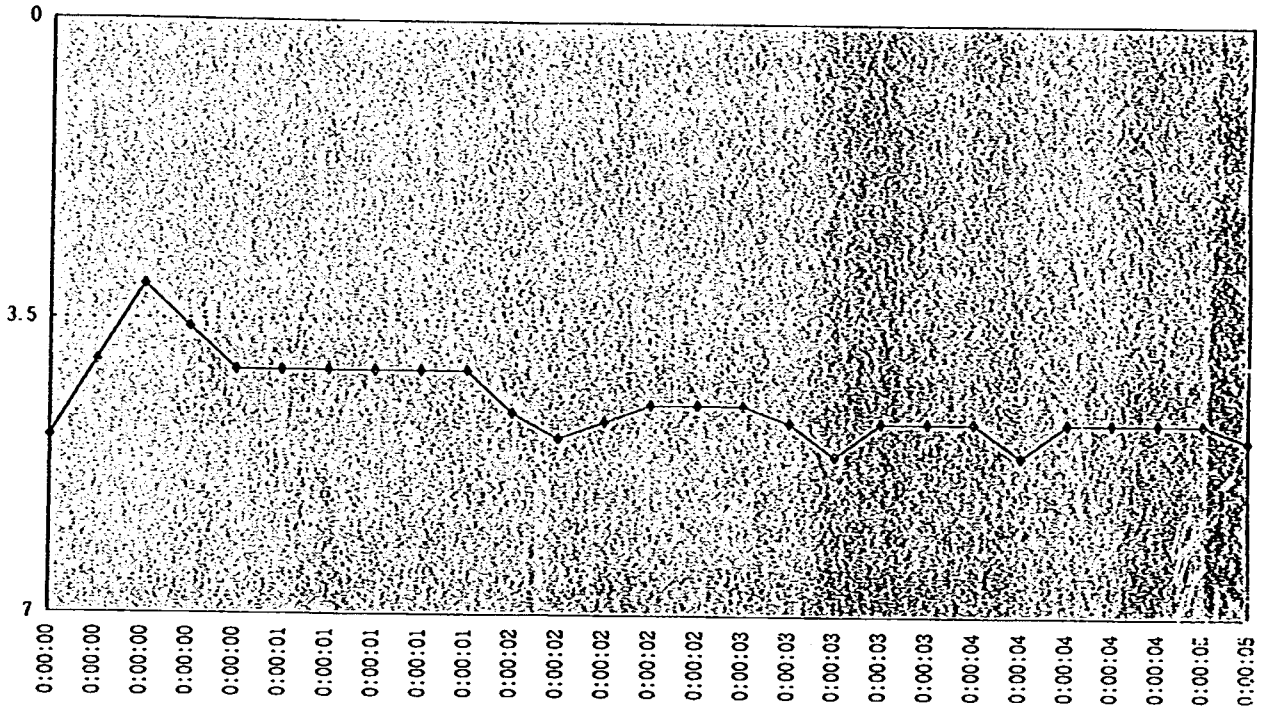
図表（4.1.1）2-167 事故映像（No.42昼間）

奥行方向　Y－t



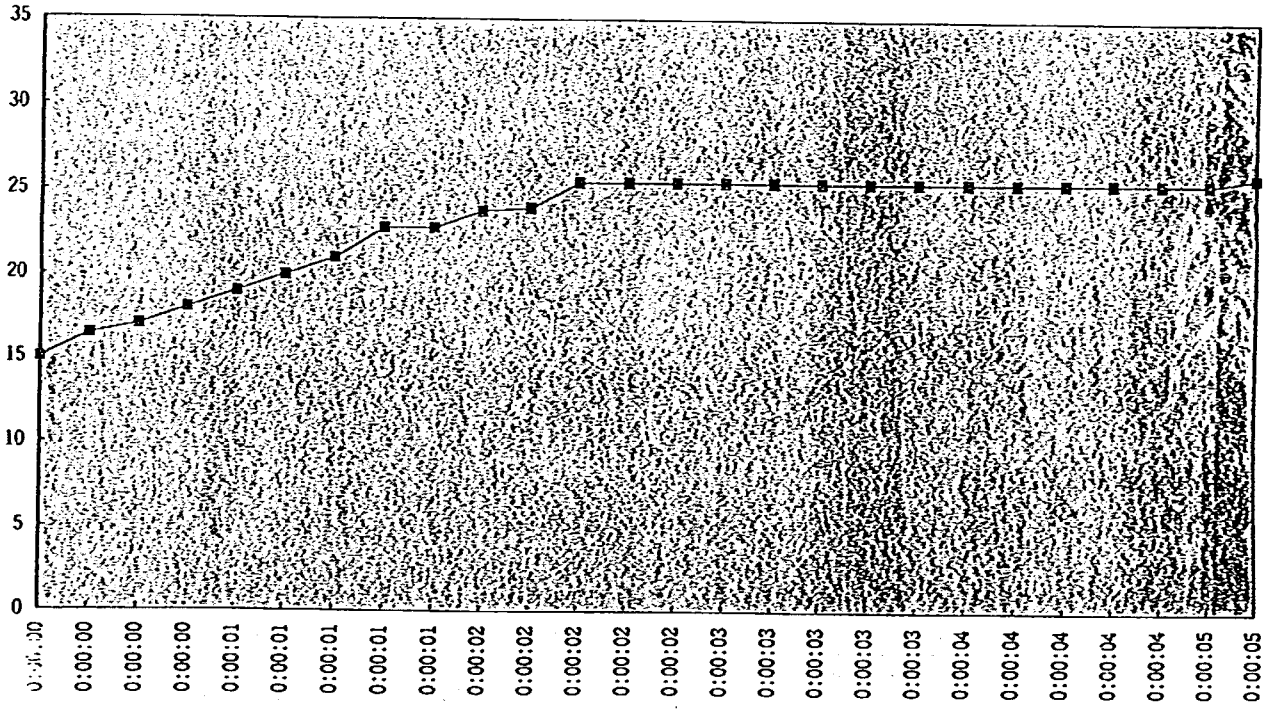
図表（4.1.1）2-168 事故映像（No.43夜間）

車線横断方向 X－t



図表（4.1.1）2-169 事故映像（No.43夜間）

奥行方向 Y－t



B 手 法

車両停止の細分化判定の評価

1. 昼間の実験

(1) パターン1 (停止位置:カメラから40m)

焦点距離　8mm
撮像範囲　11.7m ～ 52.0m
照 度　43000 lux
検出点　車両の重心

1−1 通常停止、急停止

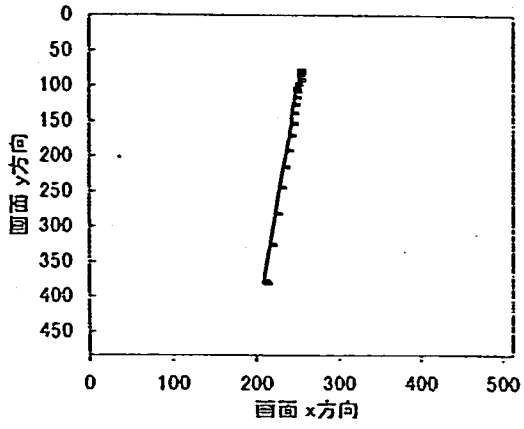
サンプリング周期:270 (ms)

図表 (4. 1. 1) 2-172
白系統自動車通常停止
昼 40m 計測結果

画面x方向	画面y方向
210	382
209	379
216	327
222	283
227	246
232	217
236	193
239	172
241	155
242	140
244	128
245	118
246	109
245	106
248	99
251	93
251	83
251	79
250	86
250	80

(単位:dot)

図表 (4. 1. 1) 2-173
画面上の車両軌跡
通常停止 (白):昼 40m

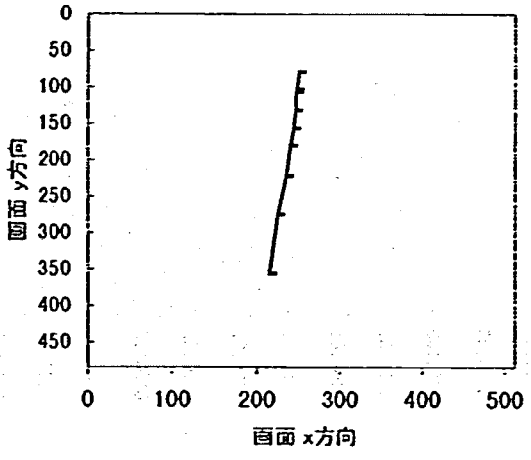


図表 (4. 1. 1) 2-174
白系統自動車急停止
昼 40m 計測結果

画面x方向	画面y方向
215	357
225	276
235	223
240	181
244	157
246	133
247	107
248	104
250	80

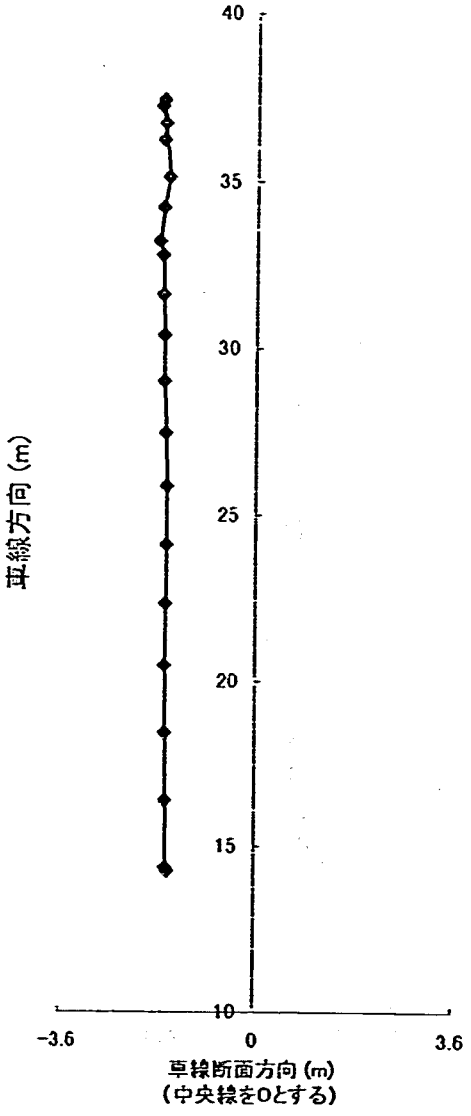
(単位:dot)

図表 (4. 1. 1) 2-175
画面上の車両軌跡
急停止(白):昼 40m



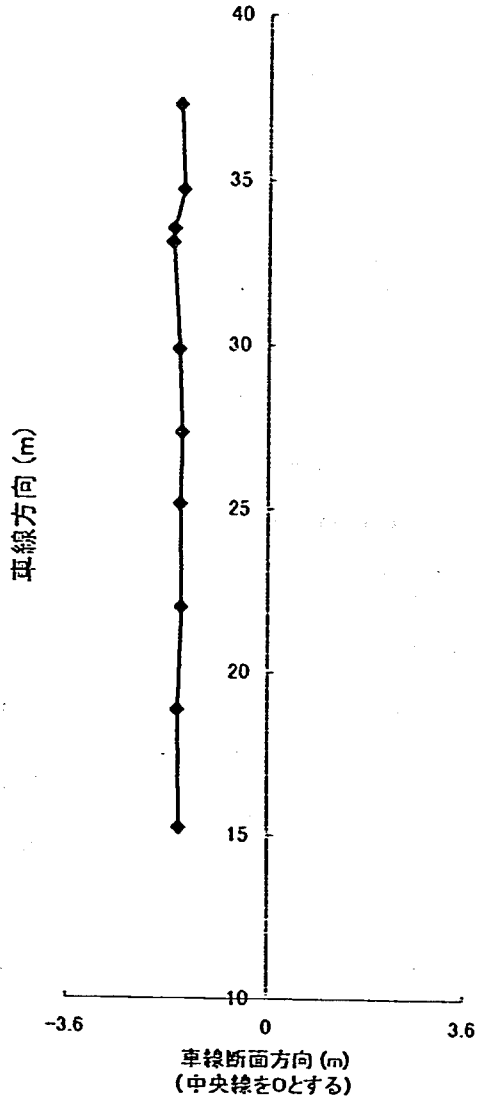
図表 (4. 1. 1) 2-176

車両軌跡図(座標変換後)
通常停止 (白):昼 40m



図表 (4. 1. 1) 2-177

車両軌跡図(座標変換後)
急停止(白):昼 40m



図表 (4. 1. 1) 2-178

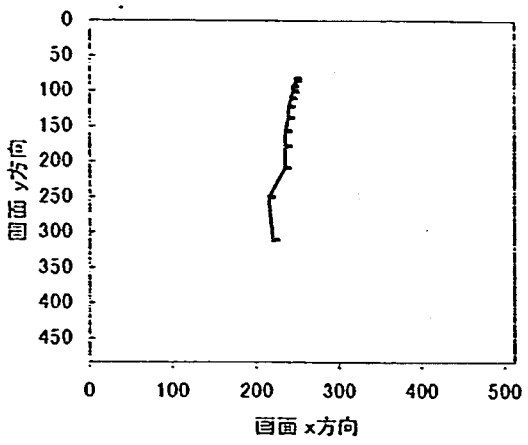
黒系統自動車通常停止
昼 40m 計測結果

画面x方向	画面y方向
220	312
215	251
234	210
235	179
235	158
238	139
239	123
241	111
244	102
244	94
247	87
247	83

(単位:dot)

図表 (4. 1. 1) 2-179

画面上の車両軌跡
通常停止 (黒):昼 40m



図表 (4. 1. 1) 2-180

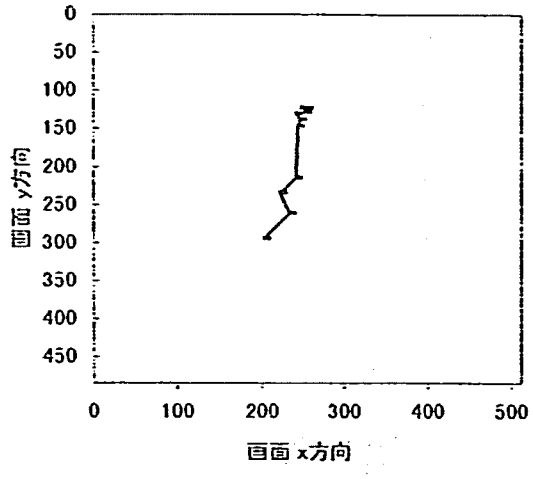
黒系統自動車急停止
昼 40m 計測結果

画面x方向	画面y方向
203	295
233	261
222	235
241	215
243	147
246	138
241	131
252	129
254	123
247	123

(単位:dot)

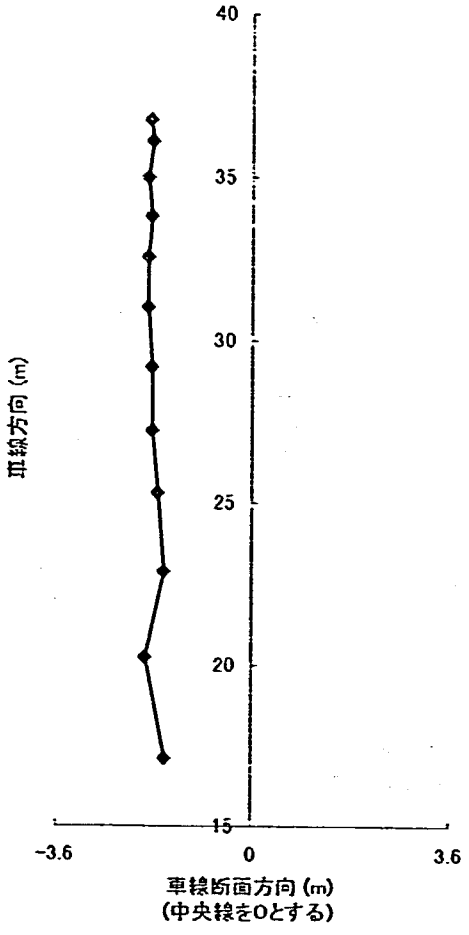
図表 (4. 1. 1) 2-181

画面上の車両軌跡
急停止 (黒):昼 40m



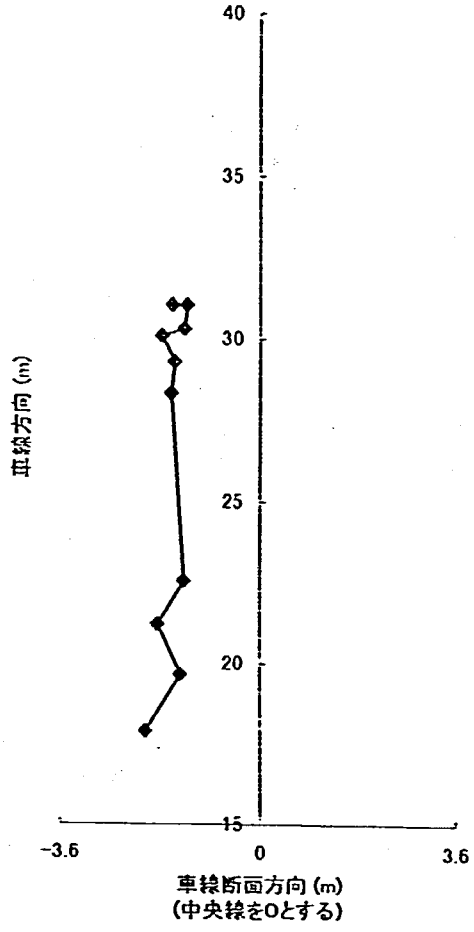
図表(4.1.1)2-182

車両軌跡図(座標変換後)
通常停止(黒):昼 40m



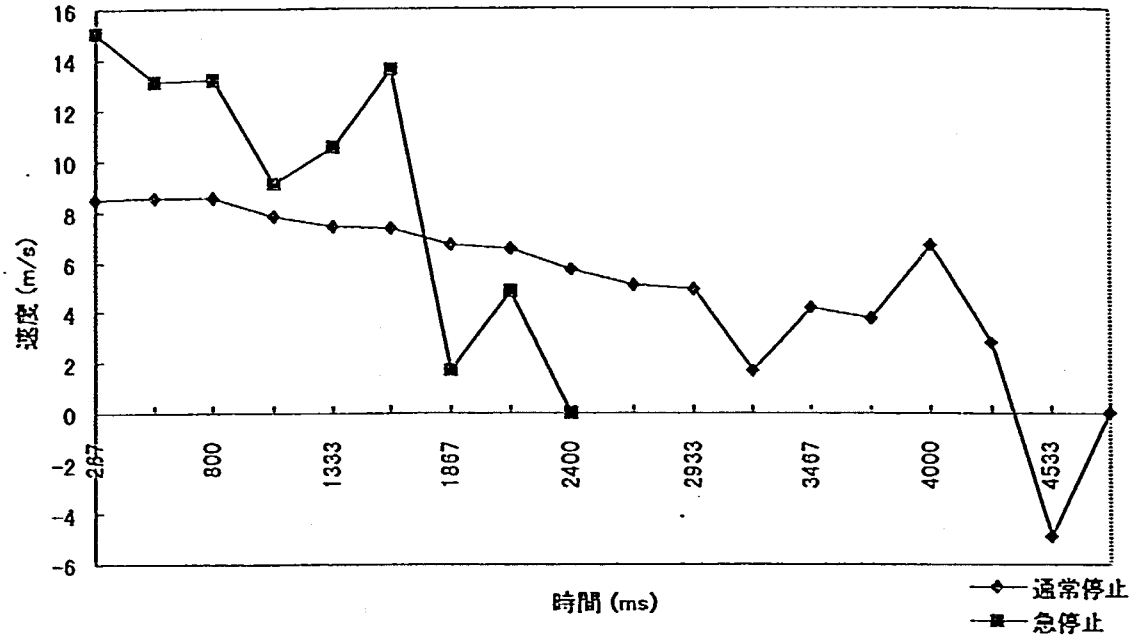
図表(4.1.1)2-183

車両軌跡図(座標変換後)
急停止(黒):昼 40m



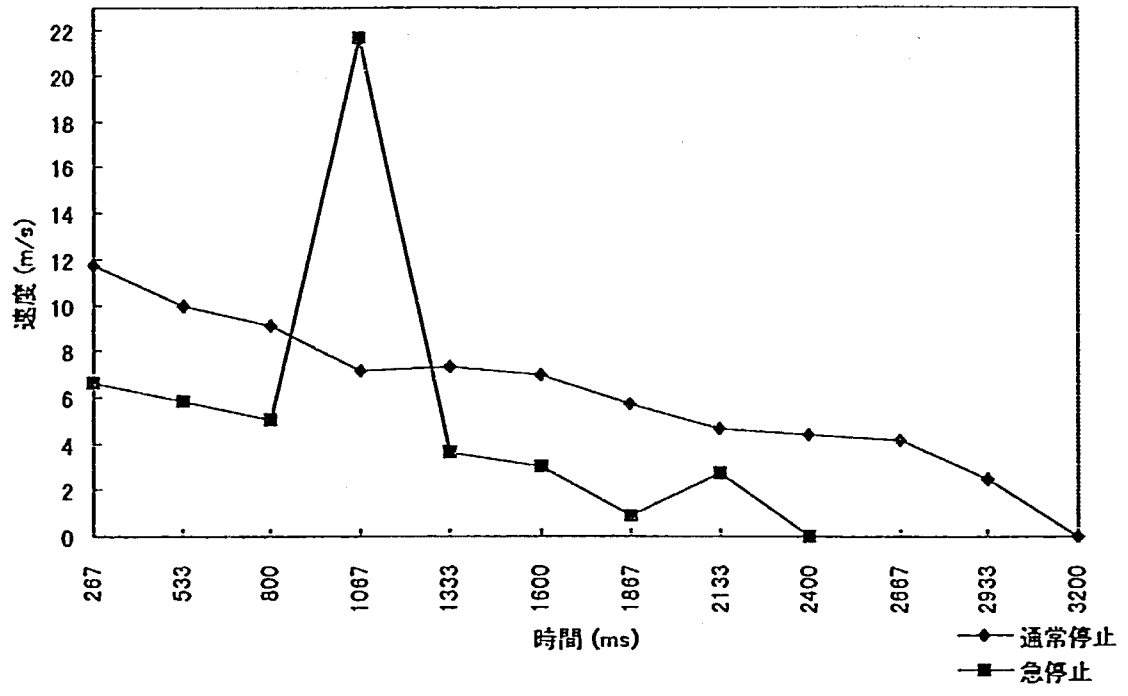
図表 (4. 1. 1) 2-184

白系統自動車 時間と速度の関係



図表 (4. 1. 1) 2-185

黒系統自動車 時間と速度の関係



1－2 蛇行

サンプリング周期:300 (ms)

図表 (4. 1. 1) 2-186

[illegible]系統自動車 蛇行

昼 40m 計測結果

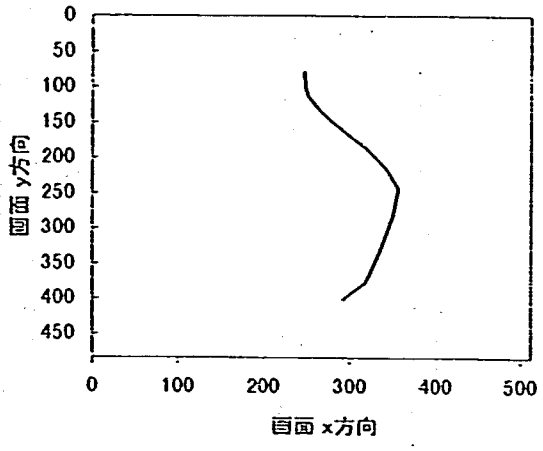
画面x方向	画面y方向
292	401
318	377
336	328
350	281
356	243
341	213
319	187
297	167
277	147
263	130
252	114
249	101
248	89
248	80
248	79
247	87

(単位:dot)

図表 (4. 1. 1) 2-187

画面上の車両軌跡

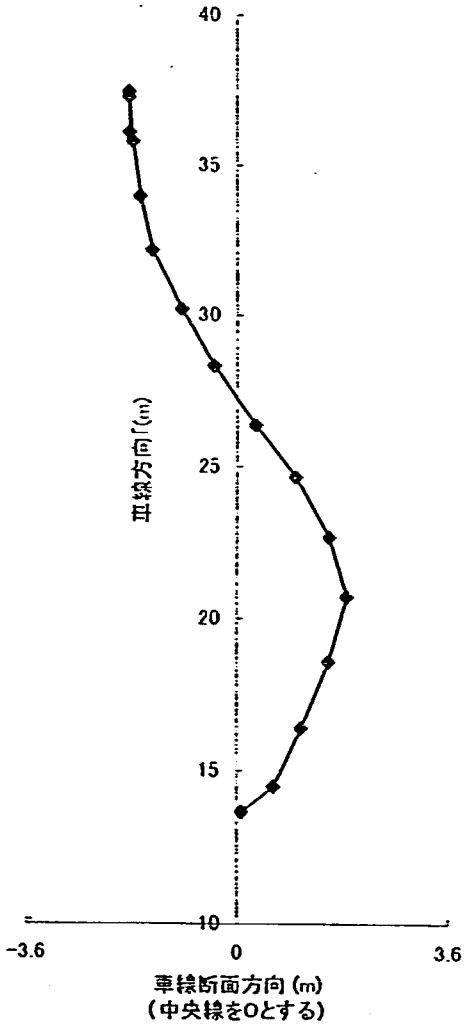
蛇行 (白):昼 40m



図表 (4. 1. 1) 2-188

車両軌跡図(座標変換後)

蛇行 (白):昼 40m



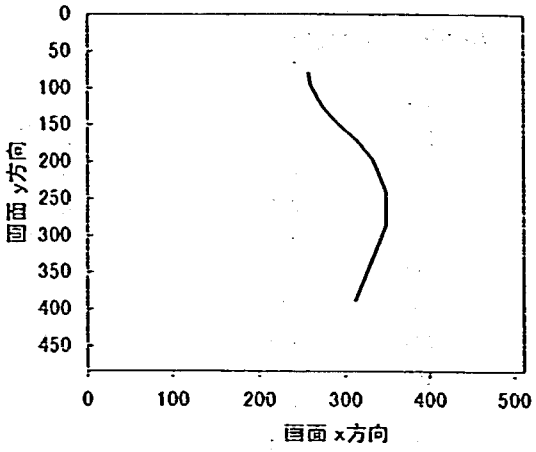
図表 (4. 1. 1) 2-189

貴系統自動車 走行
昼 40m 計測結果

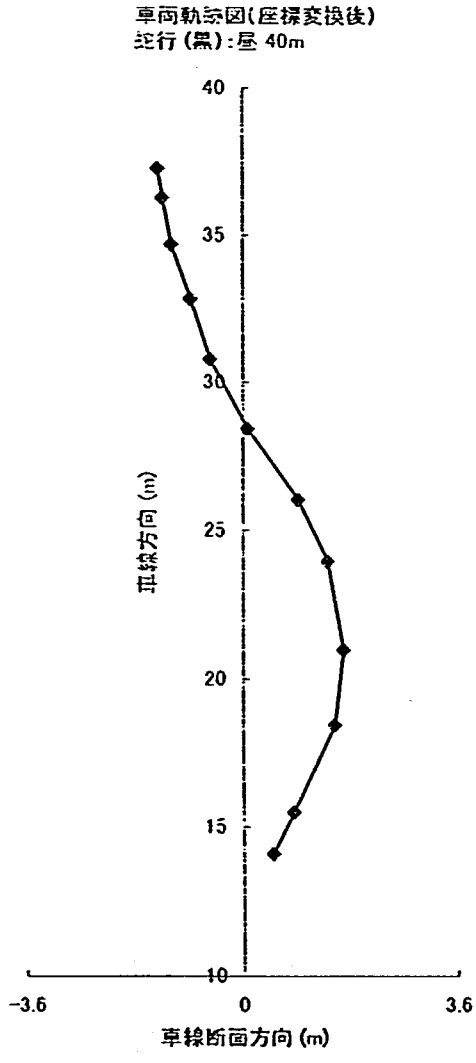
画面x方向	画面y方向
312	388
326	350
349	284
348	239
333	196
315	171
290	146
274	125
267	109
261	96
259	86
258	80

(単位:dot)

図表 (4. 1. 1) 2-190



図表 (4. 1. 1) 2-191



1−3 車線の逸脱

サンプリング周期:167 (ms)

図表 (4. 1. 1) 2-192

白系統自動車 逸脱

昼 40m 計測結果

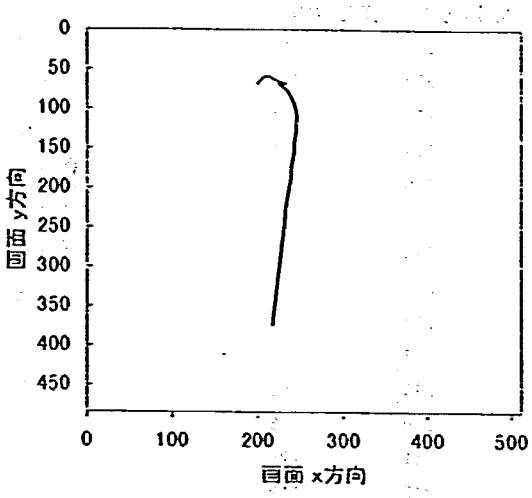
画面x方向	画面y方向
217	373
221	337
225	303
228	274
231	249
233	227
236	206
239	188
240	172
242	157
243	143
244	131
245	120
246	109
244	99
242	91
239	84
236	77
231	73
225	68
234	68
223	64
214	59
209	58
200	68

(単位:dot)

図表 (4. 1. 1) 2-193

画面上の車両軌跡

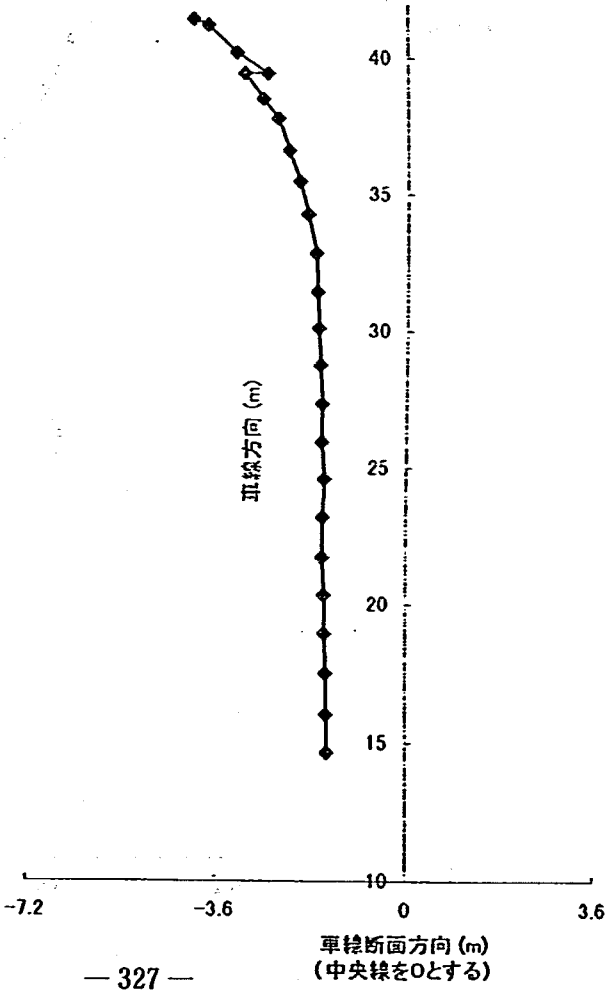
逸脱 (白):昼 40m



図表 (4. 1. 1) 2-194

車両軌跡図(座標変換後)

逸脱 (白):昼 40m



図表(4.1.1)2-195

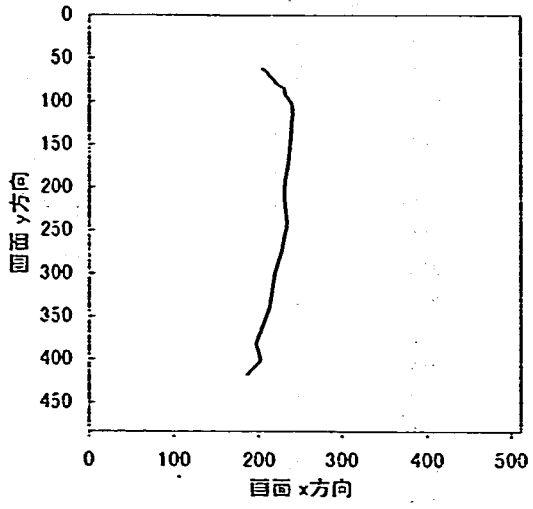
黒系統自動車 追跡
昼 40m 計測結果

画面x方向	画面y方向
186	418
203	401
197	381
213	341
220	299
228	275
235	242
231	210
233	191
236	175
238	156
240	138
241	125
242	112
241	102
232	91
233	85
221	79
219	75
212	70
211	65
204	62

(単位:dot)

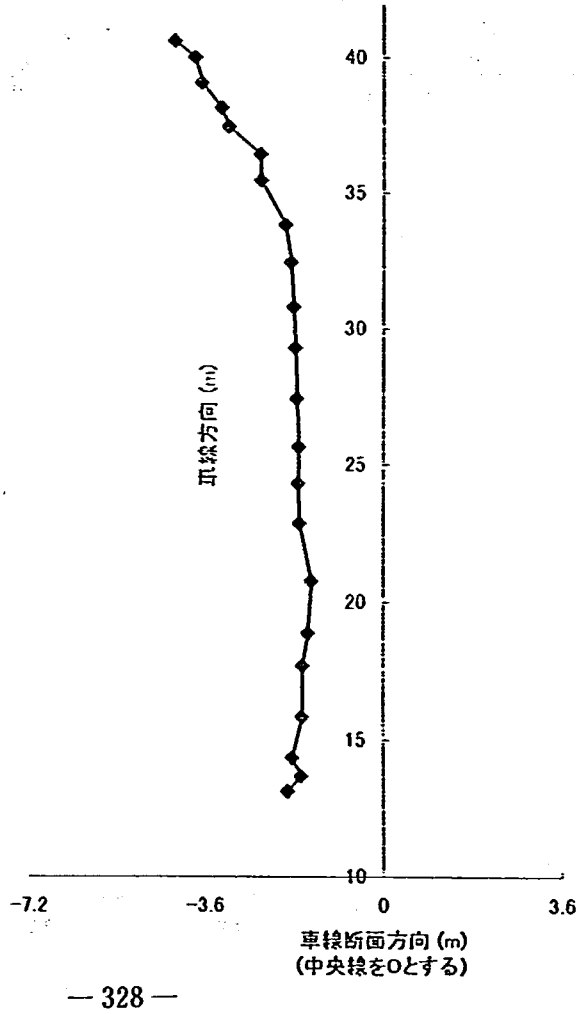
図表(4.1.1)2-196

画面上の車両軌跡
追跡(黒):昼 40m



図表(4.1.1)2-197

車両軌跡図(座標変換後)
追跡(黒):昼 40m



1－4 横向き

サンプリング周期:300(ms)

図表(4.1.1)2-198

日系統自動車 横向き

昼 40m 計測結果

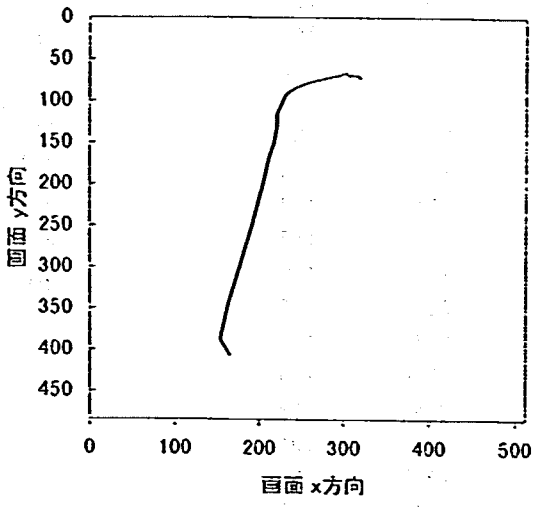
画面x方向	画面y方向
165	406
153	387
163	346
177	297
190	255
198	222
205	194
211	169
217	150
221	129
221	115
226	102
231	92
241	85
252	80
264	76
280	72
295	69
301	67
307	70
316	70
318	72

(単位:dot)

図表(4.1.1)2-199

画面上の車両軌跡

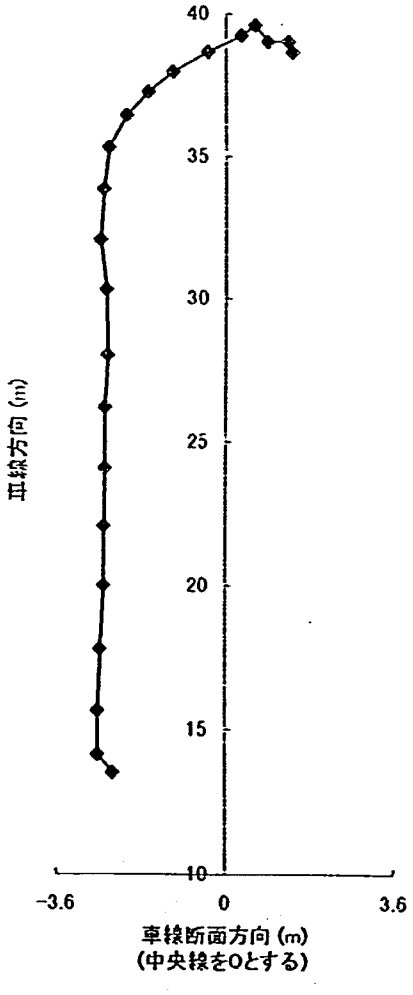
横向き(白):昼 40m



図表(4.1.1)2-200

車両軌跡図(座標変換後)

横向き(白):昼 40m



図表 (4. 1. 1) 2-201

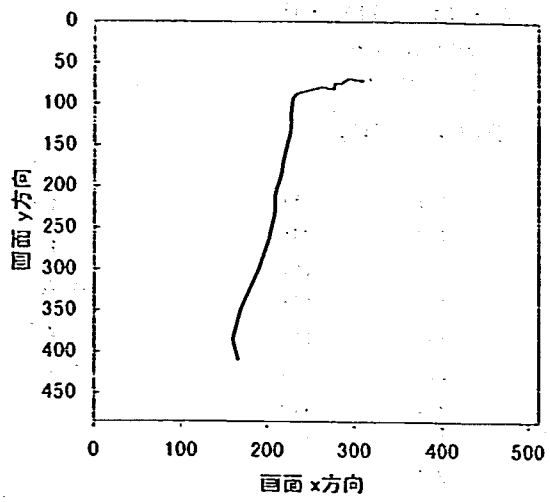
高架橋自動車 横向き
昼 40m 計測結果

画面x方向	画面y方向
166	410
160	385
169	348
190	300
201	264
208	232
209	208
215	187
218	167
222	150
226	135
227	122
227	115
226	119
227	104
229	92
234	87
263	79
276	82
277	75
284	75
294	69
301	71
304	70
310	72

(単位:dot)

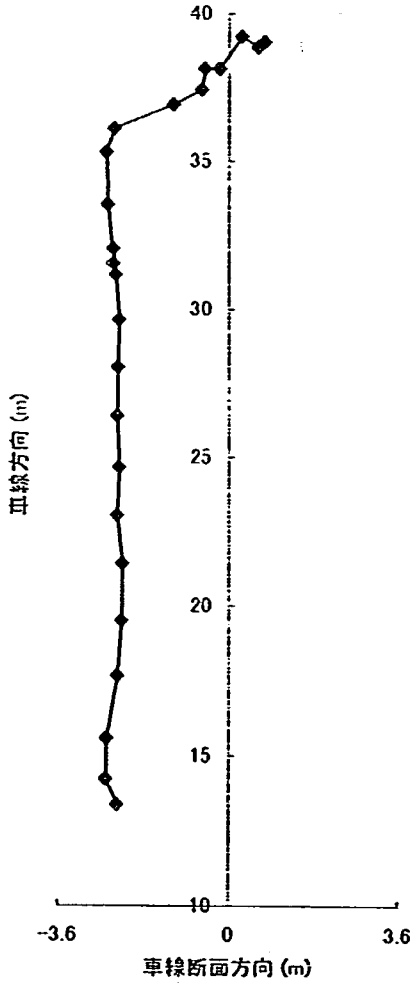
図表 (4. 1. 1) 2-202

画面上の車両軌跡
横向き (黒) : 昼 40m



図表 (4. 1. 1) 2-203

車両軌跡図(座標変換後)
横向き(黒) : 昼 40m



(2) パターン2（停止位置：カメラから100m）

焦点距離　15mm

撮像範囲　26.5m ～ 110.0m

照　度　53000 lux

検出点　車両の重心

2-1 通常停止、急停止

サンプリング周期：230 (ms)

図表（4. 1. 1）2-204

白系統自動車通常停止

昼 100m 計測結果

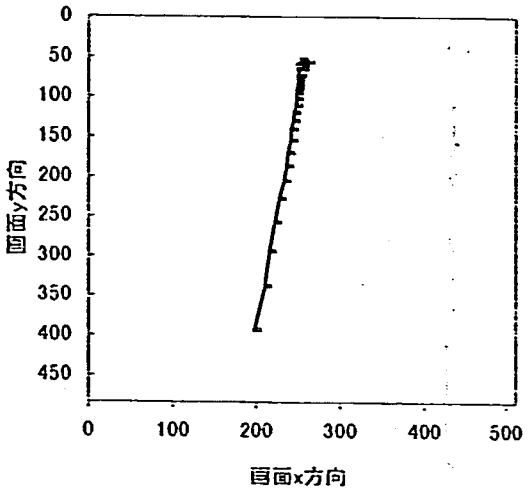
画面x方向	画面y方向
198	393
210	338
216	294
222	258
228	228
233	206
236	187
238	171
241	155
242	141
244	130
245	120
247	111
248	103
248	96
249	90
250	84
250	79
250	74
252	74
250	66
255	66
255	66
255	60
249	59
255	55
254	54
262	58

(単位:dot)

図表（4. 1. 1）2-205

画面上での車両軌跡

通常停止(白)：昼 100m



図表（4. 1. 1）2-206

白系統自動車 急停止

昼 100m 計測結果

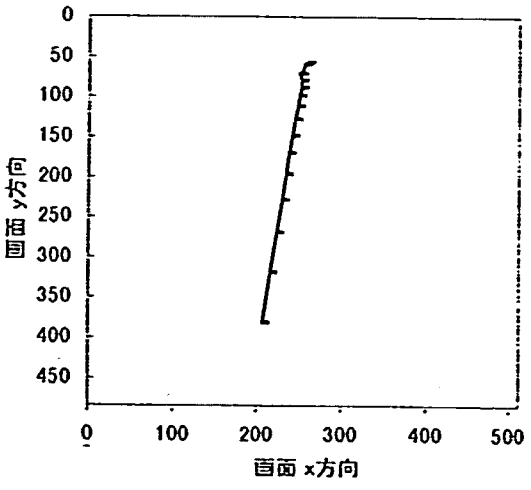
画面x方向	画面y方向
207	382
216	319
224	270
230	229
235	197
238	171
242	149
245	129
248	112
250	99
252	89
252	80
250	72
251	72
256	60
260	58

(単位:dot)

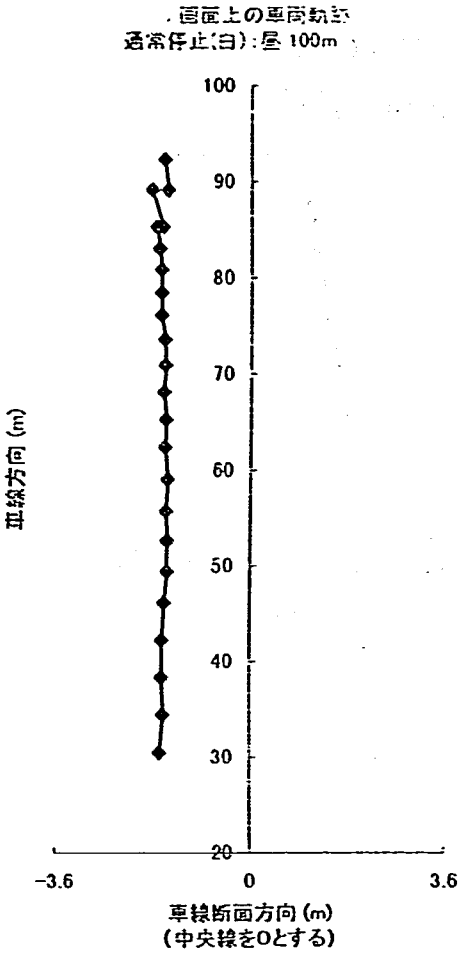
図表（4. 1. 1）2-207

画面上の車両軌跡

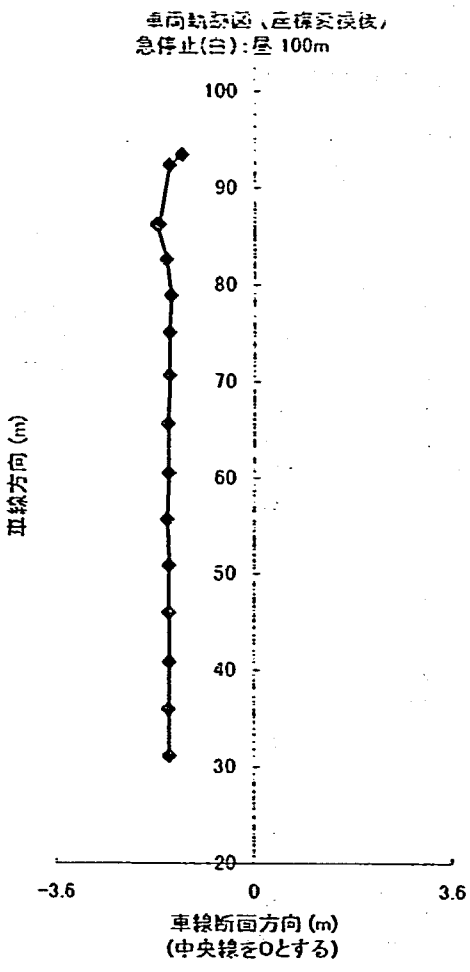
急停止(白)：昼 100m



図表 (4. 1. 1) 2-208



図表 (4. 1. 1) 2-209



図表(4.1.1)2-210

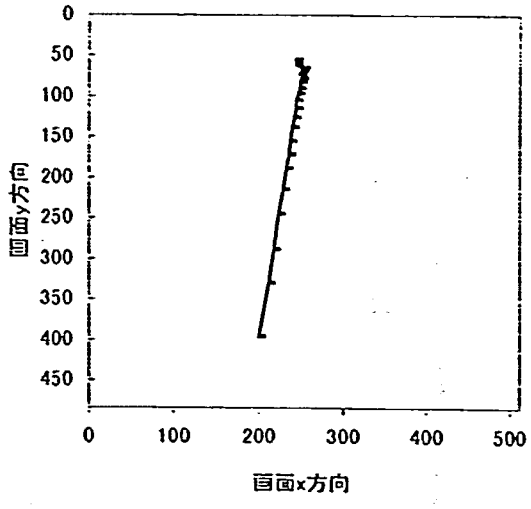
黒系統自動車通常停止
昼 100m 計測結果

画面x方向	画面y方向
200	396
212	330
218	289
224	245
229	215
233	189
236	172
238	155
240	138
243	126
245	115
245	105
247	97
249	90
250	83
251	78
249	73
251	69
253	65
245	62
245	55
244	57

(単位:dot)

図表(4.1.1)2-211

画面上での車両軌跡
通常停止(黒):昼 100m



図表(4.1.1)2-212

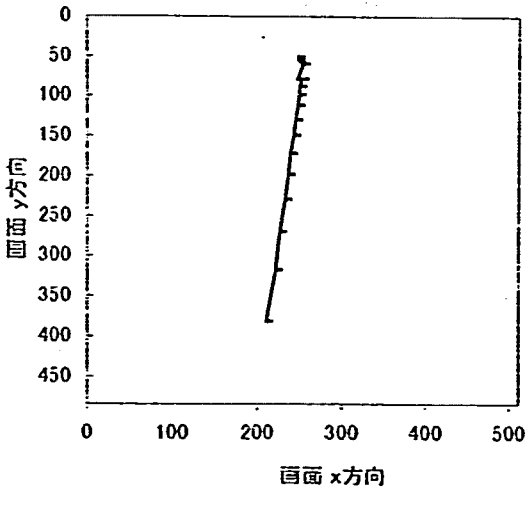
黒系統自動車 急停止
昼 100m 計測結果

画面x方向	画面y方向
210	382
221	318
226	270
232	230
236	198
239	172
243	149
245	130
247	112
249	99
250	88
252	79
247	79
254	60
248	54
248	51
247	46
245	38
247	42

(単位:dot)

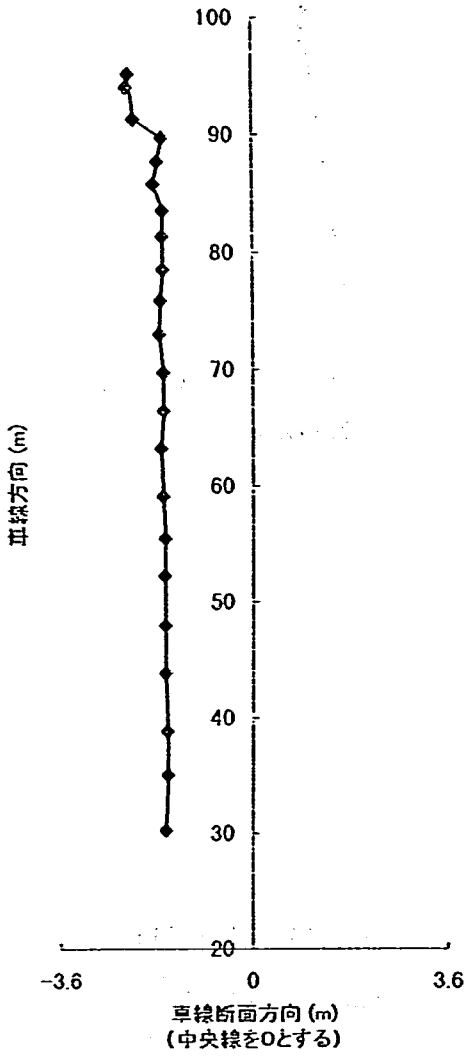
図表(4.1.1)2-213

画面上の車両軌跡
急停止(黒):昼 100m



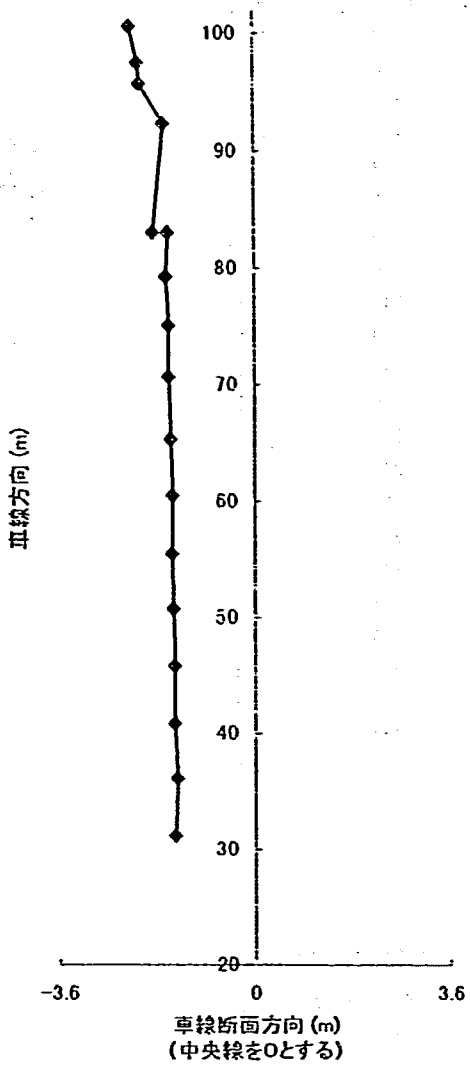
図表 (4. 1. 1) 2-214

車両軌跡図（座標変換後）
通常停止(黒)：昼 100m



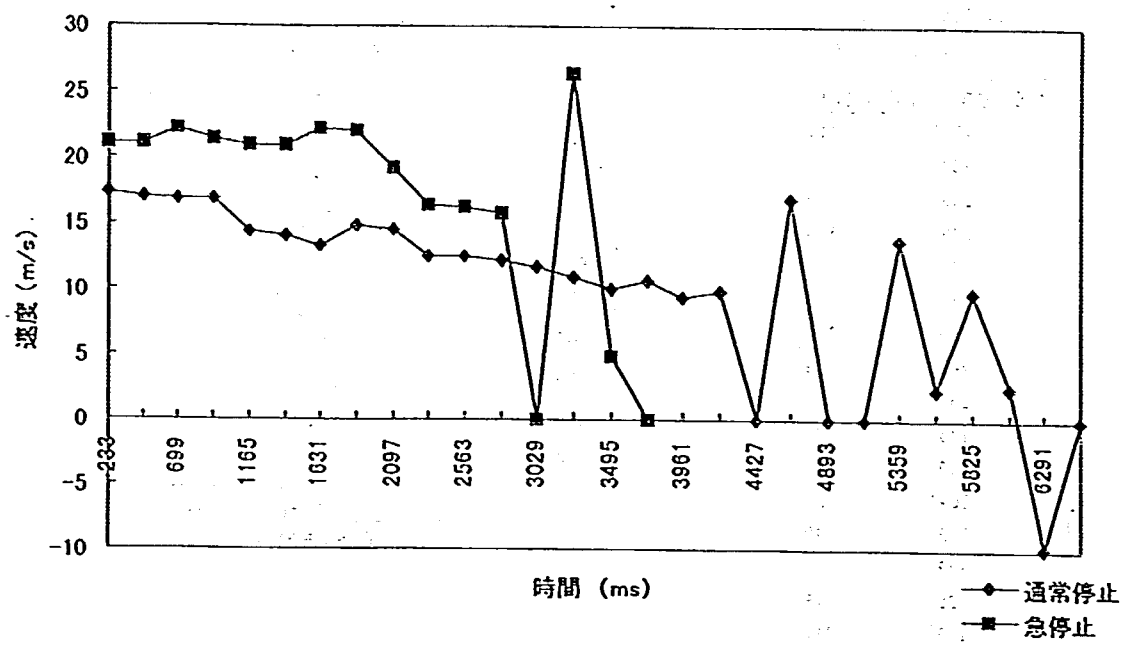
図表 (4. 1. 1) 2-215

車両軌跡図（座標変換後）
急停止(黒)：昼100m



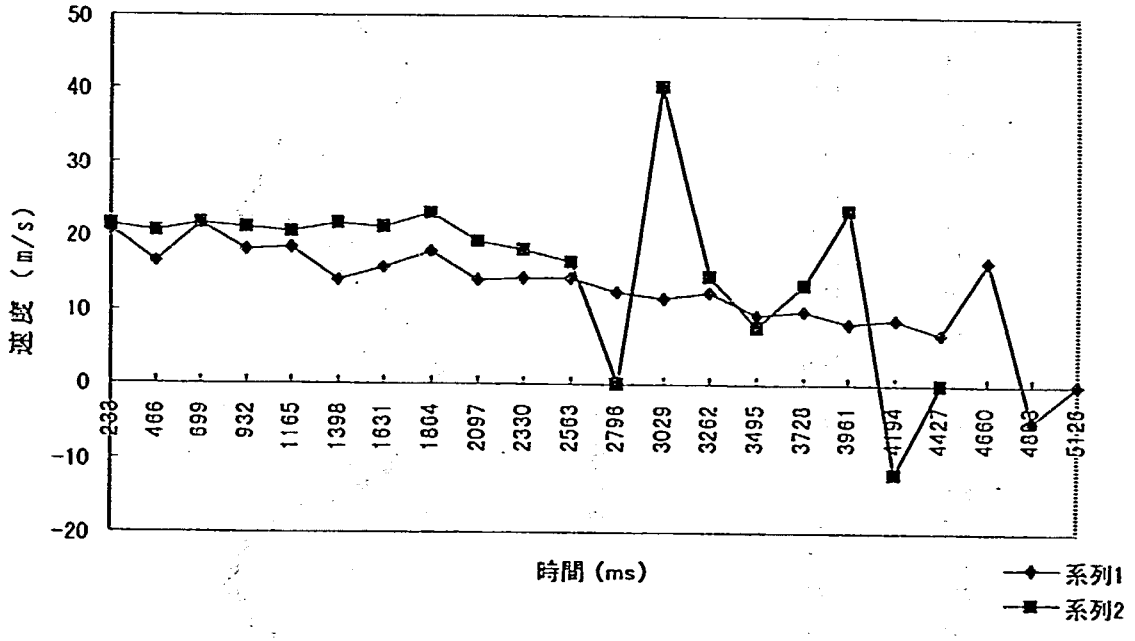
図表（4.1.1）2-216

白系統自動車　時間と速度の関係



図表（4.1.1）2-217

黒系統自動車　時間と速度の関係



2－2 蛇行

サンプリング周期：230(ms)

図表（4．1．1）2-218

自然統合実車 蛇行

昼 100m 計測結果

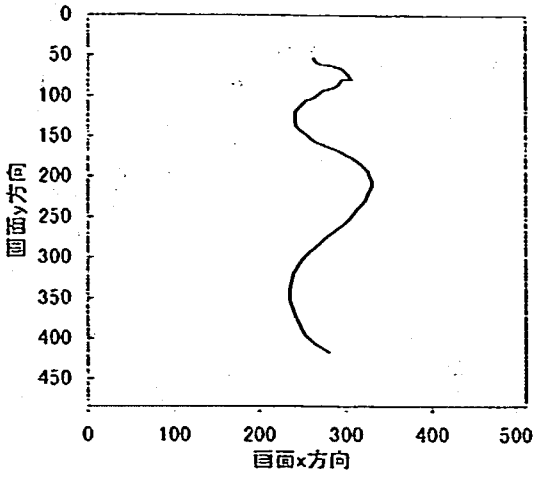
画面x方向	画面y方向
281	417
264	406
253	396
243	374
236	354
236	337
240	320
249	303
261	291
275	277
289	265
302	254
312	240
322	229
326	218
330	212
331	206
327	198
326	194
318	184
307	176
294	169
281	163
268	158
259	152
256	148
246	141
242	136
243	130
242	120
250	110
255	105
260	104
264	102
269	98
274	94
280	92
290	88
295	80
304	79
308	79
303	74
295	65
293	65
282	62
272	61
266	58
265	58
263	53

（単位：dot）

図表（4．1．1）2-219

画面上での車両軌跡

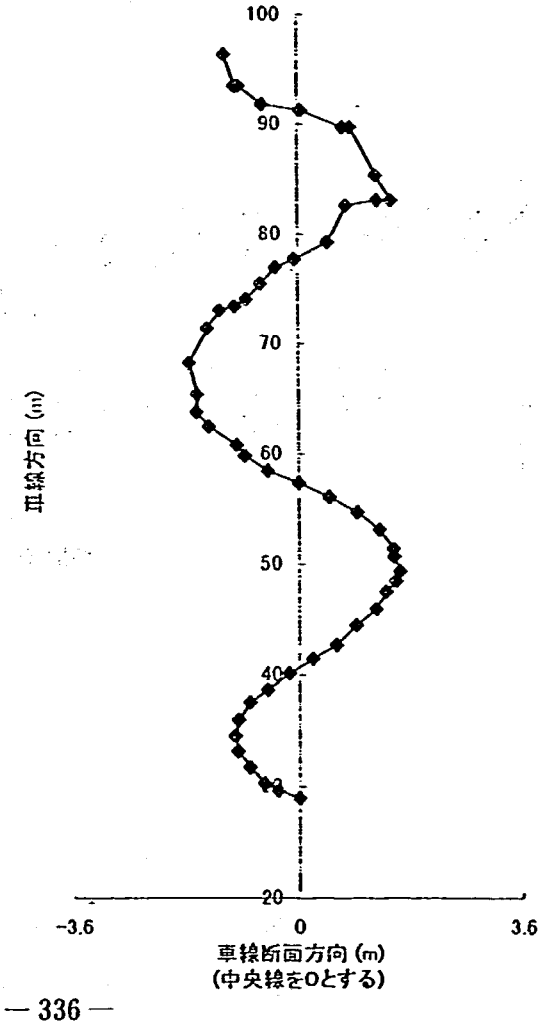
蛇行(白)：昼 100m



図表（4．1．1）2-220

車両軌跡図(座標変換後)

蛇行(白)：昼 100m



図表 (4. 1. 1) 2-221

黒系統自動車 走行

昼 100m 計測結果

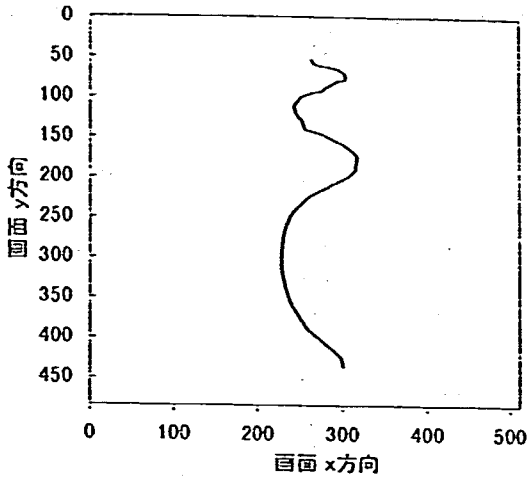
画面x方向	画面y方向
300	436
298	424
285	413
275	404
257	388
246	370
238	354
233	339
228	317
228	305
228	290
230	276
233	262
239	247
246	238
260	224
277	215
293	206
306	199
316	190
316	182
317	174
312	167
301	159
289	153
275	146
264	143
255	140
252	129
246	124
244	118
242	110
247	106
249	101
260	96
275	93
280	89
288	84
293	80
300	79
303	79
303	74
302	70
293	65
282	62
272	61
266	58
265	58
263	53

(単位:dot)

図表 (4. 1. 1) 2-222

画面上の車両軌跡

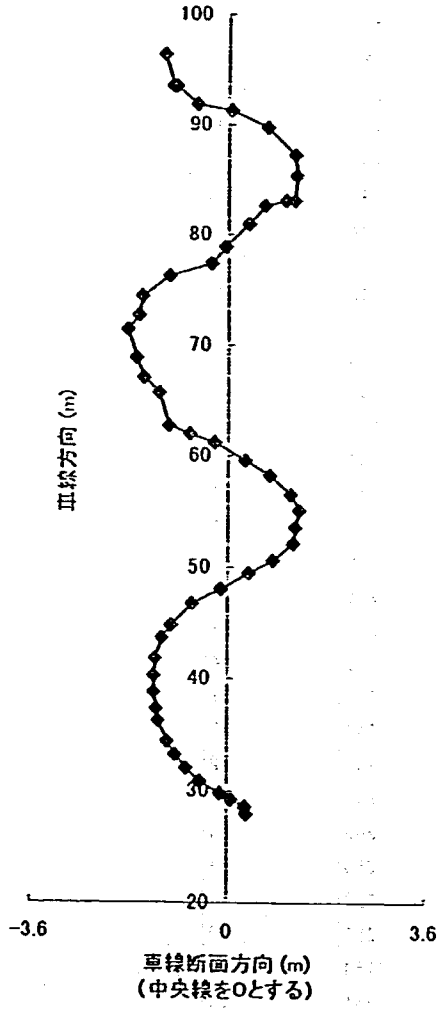
走行 (黒):昼 100m



図表 (4. 1. 1) 2-223

車両軌跡図(座標変換後)

走行(黒):昼 100m



サンプリング周期:167(ms)

図表 (4. 1. 1) 2-224

白系統自動車 逸脱

昼 100m 計測結果

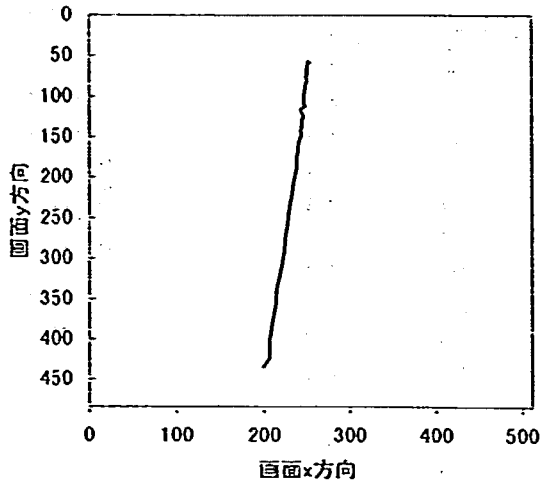
画面x方向	画面y方向
198	435
206	424
206	412
205	404
207	394
210	373
213	357
214	338
217	324
220	310
222	295
224	282
225	271
227	257
228	247
229	236
231	227
232	218
233	209
235	201
236	193
238	186
237	179
238	172
239	166
239	158
241	153
243	147
242	141
244	136
243	131
244	126
246	126
242	116
249	111
246	111
246	107
246	99
246	95
246	95
248	88
248	84
250	81
248	75
251	72
249	72
249	69
250	57
250	73
250	60
254	58
251	56

(単位:dot)

図表 (4. 1. 1) 2-225

画面上での車両軌跡

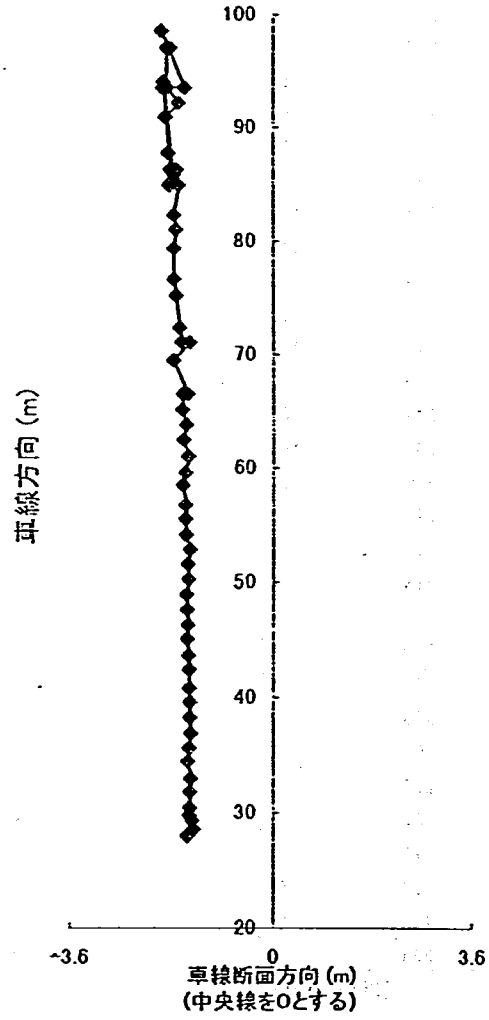
逸脱(白):昼 100m



図表 (4. 1. 1) 2-226

車両軌跡図(座標変換後)

逸脱(白):昼 100m



図表 (4. 1. 1)2-227

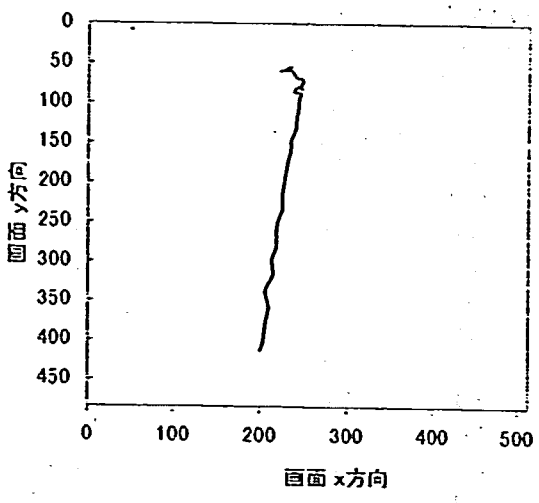
黒系統自動車 逸脱
昼 100m 計測結果

画面x方向	画面y方向
200	413
203	405
206	379
210	358
205	337
215	316
213	298
219	281
218	265
220	250
225	236
226	223
226	212
227	201
229	190
230	181
232	171
234	163
235	154
235	147
238	139
240	132
241	122
242	116
243	112
243	104
244	100
243	95
247	88
237	86
242	79
248	83
246	79
248	75
249	71
248	69
241	69
236	59
227	59
222	60
236	54

(単位:dot)

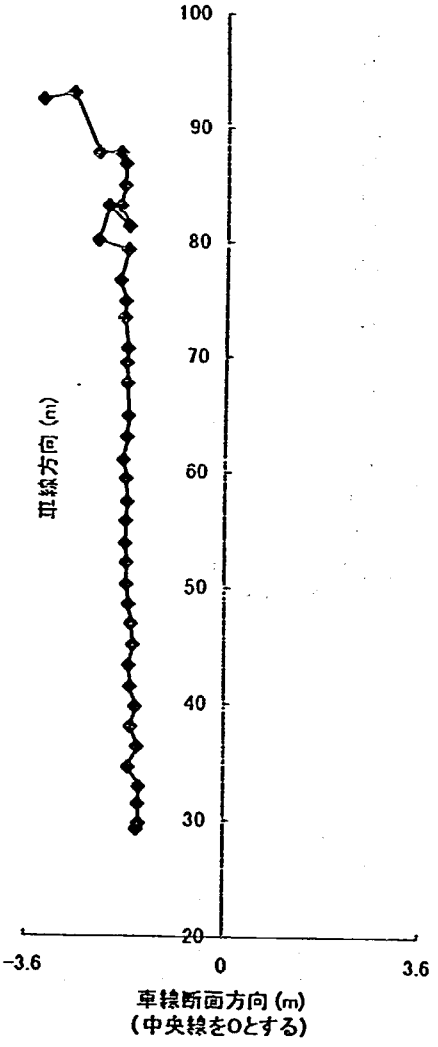
図表 (4. 1. 1)2-228

画面上の車両軌跡
逸脱 (黒):昼 100m



図表 (4. 1. 1)2-229

車両軌跡図(座標変換後)
逸脱(黒):昼 100m



2－4 横向き

サンプリング周期：300ms

図表（4. 1. 1）2-230

日系抗自動車 横向き

昼 100m 計測結果

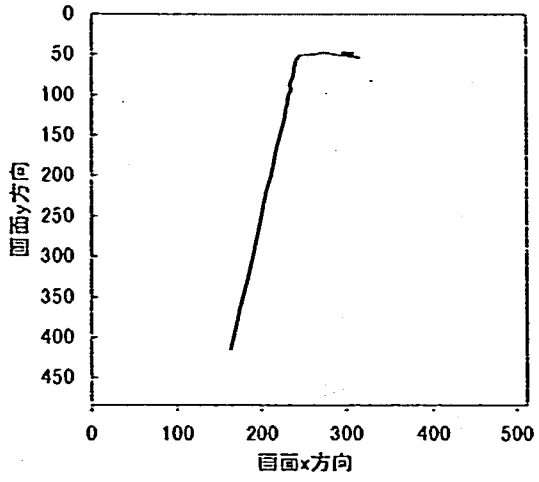
画面x方向	画面y方向
163	415
167	396
174	363
183	330
189	302
194	277
199	254
203	233
207	216
211	201
214	186
217	172
220	159
223	148
226	137
228	127
229	118
232	109
232	101
236	94
234	88
236	82
238	76
239	71
238	68
239	68
241	58
242	58
242	57
245	51
265	50
265	50
275	47
286	50
316	54
296	47
309	48

（単位:dot）

図表（4. 1. 1）2-231

画面上での車両軌跡

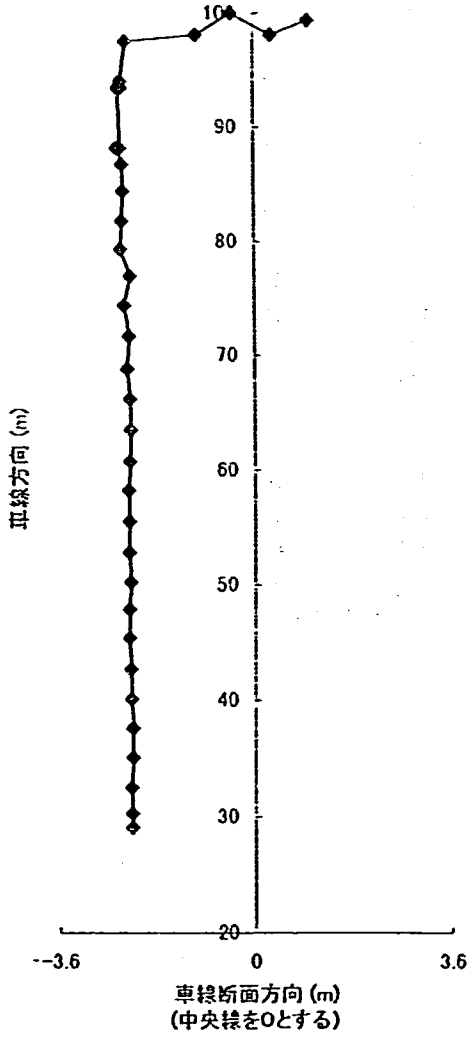
横向き(白):昼 100m



図表（4. 1. 1）2-232

車両軌跡図(座標変換後)

横向き(白):昼 100m



図表 (4. 1. 1) 2-233

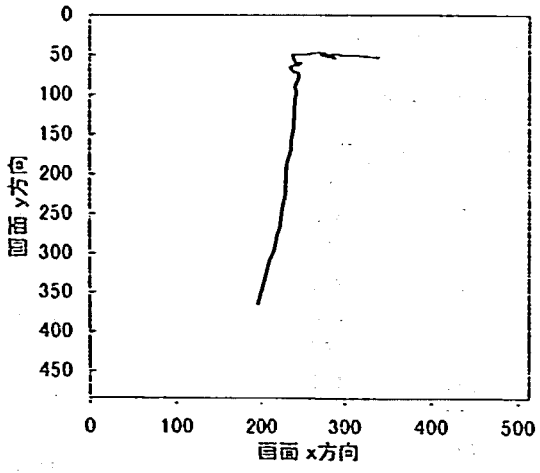
黒系統自動車 横向き
昼 100m 計測結果

画面x方向	画面y方向
196	365
205	330
210	310
215	298
217	292
220	275
223	267
225	245
230	223
230	205
231	188
235	171
236	157
238	145
239	132
240	122
240	113
241	104
242	98
240	89
244	83
245	76
245	72
241	73
234	66
247	60
248	60
243	64
243	64
237	50
247	50
274	47
289	54
271	50
280	52
287	48
297	51
315	51
340	53

(単位:dot)

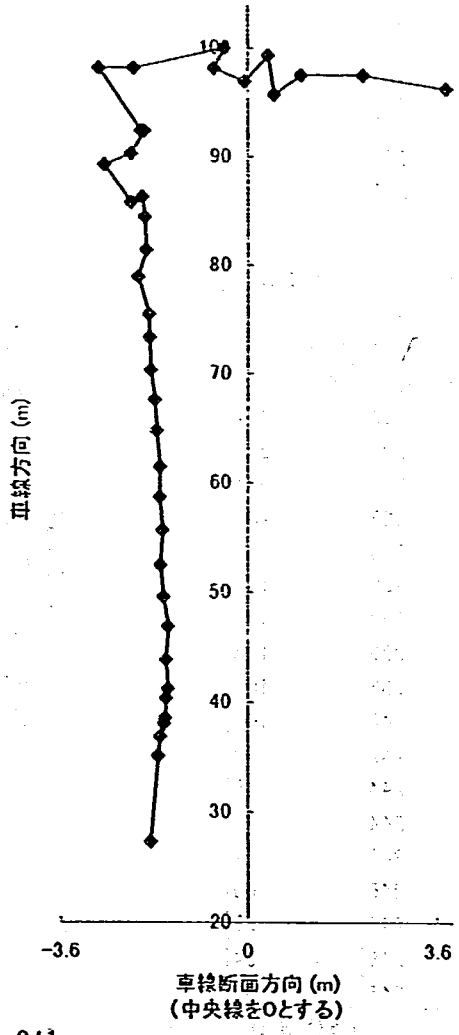
図表 (4. 1. 1) 2-234

画面上の車両軌跡
横向き (黒):昼 100m



図表 (4. 1. 1) 2-235

車両軌跡図(座標変換後)
横向き(黒):昼 100m



(3) パターン3（停止位置:カメラから100m）

焦点距離　15mm
撮像範囲　26.5m ～ 110.0m
検出位置　テールランプ

3－1 通常停止、急停止

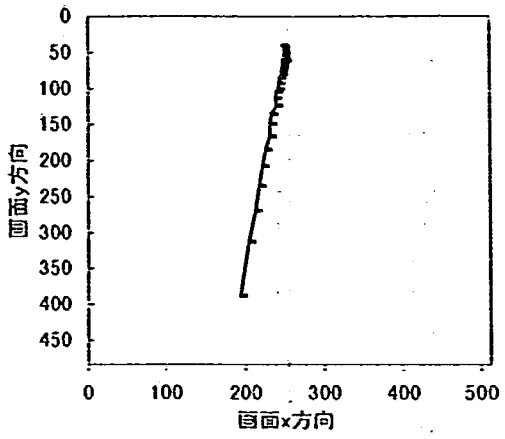
サンプリ[illegible]

図表（4. 1. 1）2-236
通常停止:夜
100m 計測結果

画面x方向	画面y方向
193	389
204	313
213	270
218	236
222	208
226	185
231	167
232	150
234	136
240	124
239	114
240	105
242	101
243	93
244	86
246	80
246	75
247	71
248	66
248	62
250	59
251	62
250	55
250	48
250	44
248	41

（単位:dot）

図表（4. 1. 1）2-237
画面上での車両軌跡
通常停止:夜 100m

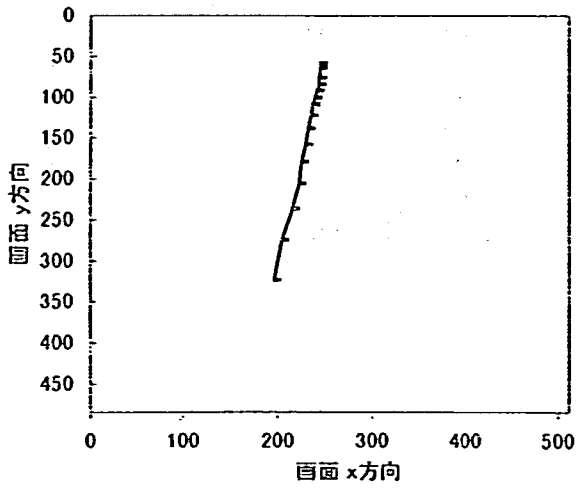


図表（4. 1. 1）2-238
急停止:夜
100m 計測結果

画面x方向	画面y方向
196	324
205	275
216	237
223	206
226	180
230	159
233	139
236	123
238	109
240	101
242	92
244	85
244	77
245	77
246	65
246	59
248	54
246	52

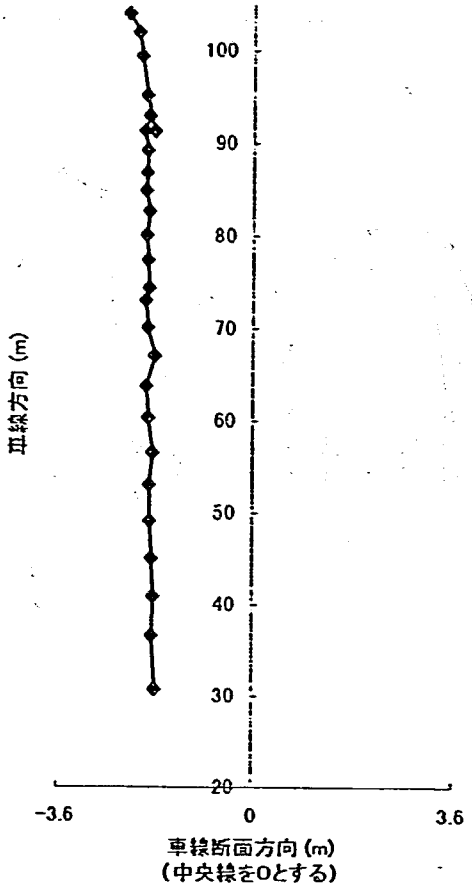
（単位:dot）

図表（4. 1. 1）2-239
画面上の車両軌跡
急停止:夜 100m



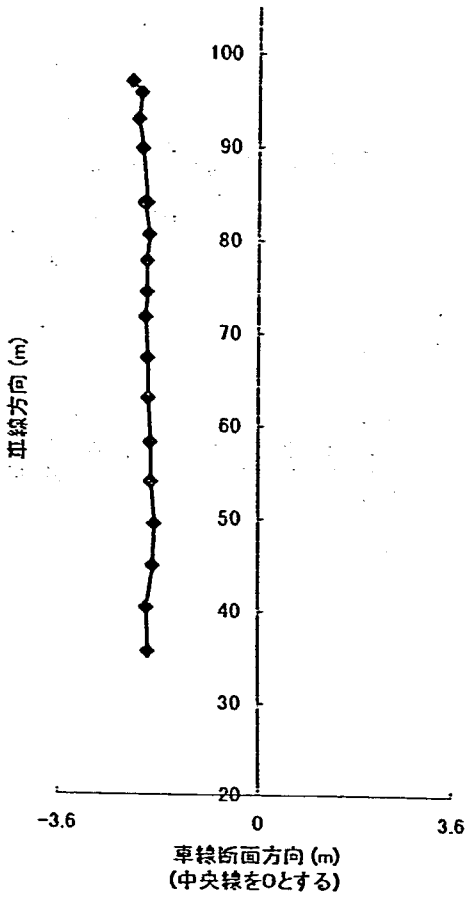
図表 (4. 1. 1) 2-240

車両軌跡図(圧探変換後)
通常停止:夜 100m



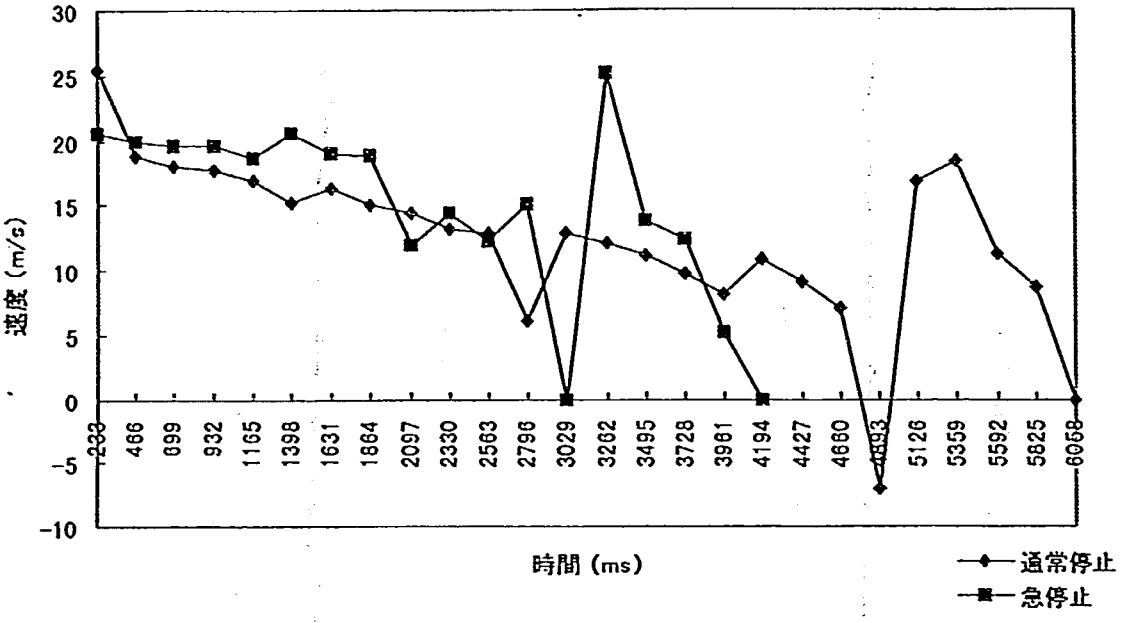
図表 (4. 1. 1) 2-241

車両軌跡図(圧探変換後)
急停止:夜 100m



図表 (4. 1. 1) 2-242

時間と速度の関係



3—2 蛇行

サンプリング周期:230 (ms)

図表 (4. 1. 1) 2-243

蛇行:夜

100m 計測結果

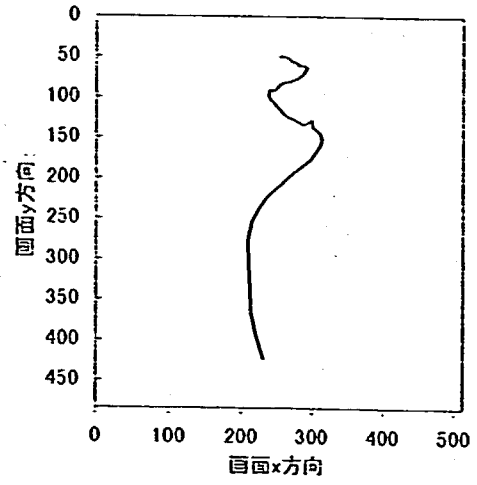
画面x方向	画面y方向
230	423
219	393
213	366
210	313
209	292
209	273
214	254
223	238
236	222
251	210
266	198
282	187
296	177
305	167
312	158
314	150
310	142
300	137
300	128
288	133
274	127
261	122
247	108
242	103
239	100
239	90
246	92
254	83
266	80
265	81
276	77
286	72
293	63
286	59
280	61
281	58
272	55
266	51
259	49
256	50
253	50

(単位:dot)

図表 (4. 1. 1) 2-244

画面上での車両軌跡

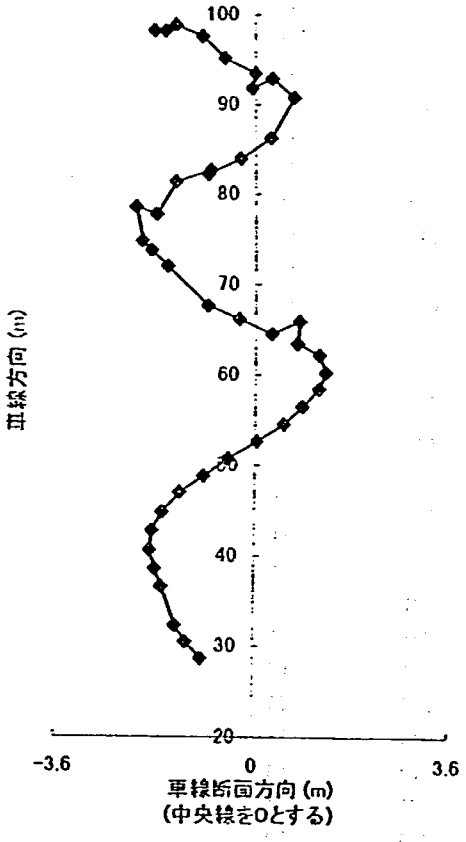
蛇行:夜 100m



図表 (4. 1. 1) 2-245

車両軌跡図(座標変換後)

蛇行:夜 100m



3-3 車線の逸脱

サンプリング周期:167 (ms)

図表 (4. 1. 1) 2-246

逸脱:夜

100m 計測結果

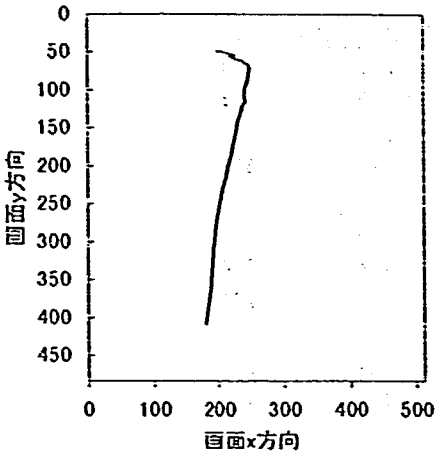
画面x方向	画面y方向
178	409
183	382
187	359
191	310
195	291
197	274
201	257
204	243
207	230
212	216
214	205
217	195
220	185
222	176
224	168
226	160
228	152
229	145
231	139
234	132
235	126
238	120
238	127
238	121
243	115
240	110
242	96
243	92
244	88
245	93
246	89
247	81
247	81
249	71
247	71
250	71
247	66
242	64
238	61
231	60
225	58
218	56
227	54
225	54
209	50
202	50
199	49

(単位:dot)

図表 (4. 1. 1) 2-247

画面上での車両軌跡

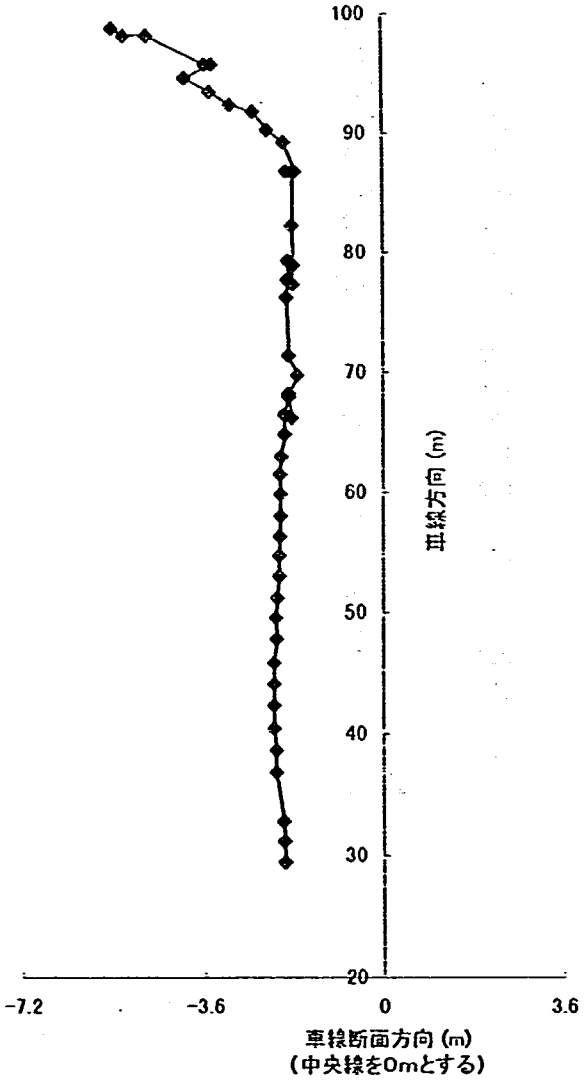
逸脱:夜 100m



図表 (4. 1. 1) 2-248

車両軌跡図 (座標変換後)

逸脱:夜 100m



3—4 横向き

サンプリング周期:300 (ms)

図表 (4. 1. 1) 2-249

横向き:夜

100m 計測結果

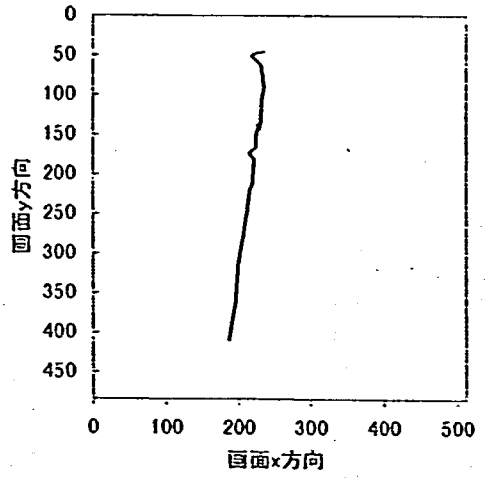
画面x方向	画面y方向
186	410
191	384
195	361
199	313
203	294
206	278
209	261
212	247
214	233
216	221
220	210
220	200
221	190
222	181
215	173
225	166
224	157
225	150
226	144
227	137
229	143
231	136
231	130
231	120
232	113
232	105
233	101
234	97
234	97
235	93
236	88
234	86
235	82
233	82
234	76
233	73
232	70
232	64
231	62
230	62
230	60
225	56
224	56
224	56
224	56
220	52
218	50
222	48
227	47
229	47
232	46
236	45
241	45
253	51
251	49
256	56

(単位:dot)

図表 (4. 1. 1) 2-250

画面上での車両軌跡

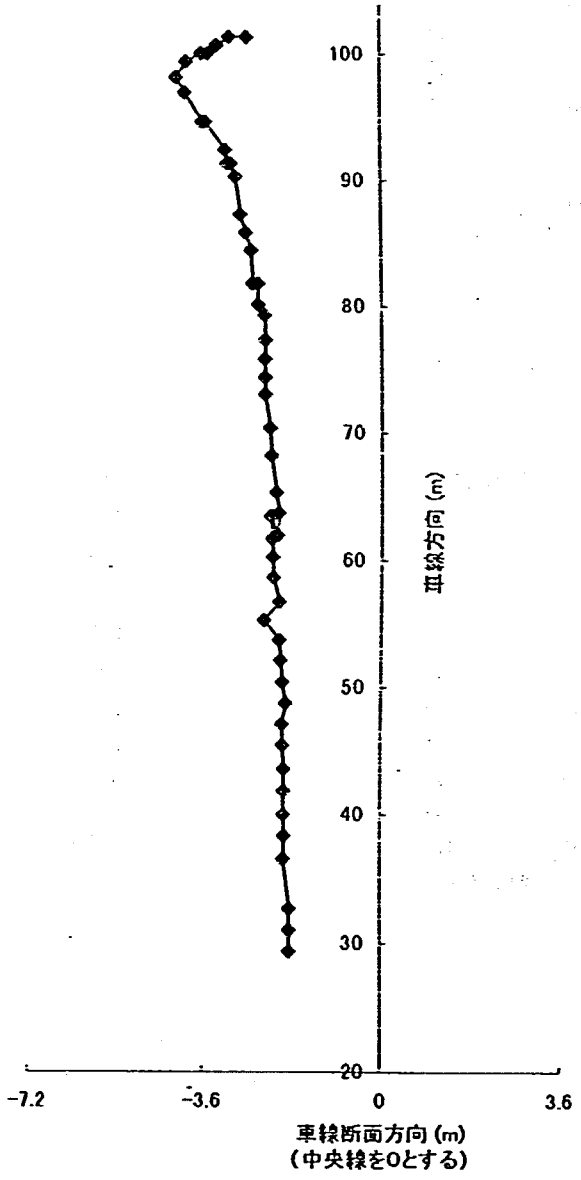
横向き:夜 100m



図表 (4. 1. 1) 2-251

車両軌跡図 (座標変換後)

横向き:夜 100m



(4) パターン4（停止位置：カメラから40m）

焦点距離　8mm

撮像範囲　11.7m ～ 52.0m

検出位置　テールランプ

4－1 通常停止、急停止

サンプル数 200（n）

図表（4. 1. 1）2-252

通常停止：夜

40m 計測結果

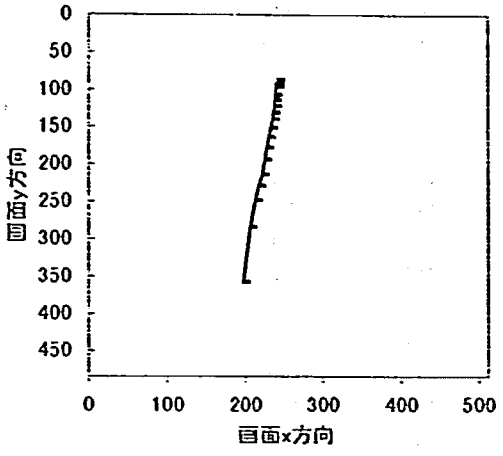
画面x方向	画面y方向
197	358
206	284
212	248
217	229
221	214
224	194
227	178
229	164
232	151
234	140
235	131
237	122
237	114
238	107
239	94
240	97
240	93
241	87

（単位：dot）

図表（4. 1. 1）2-253

画面上での車両軌跡

通常停止：夜 40m



図表（4. 1. 1）2-254

急停止：夜

40m 計測結果

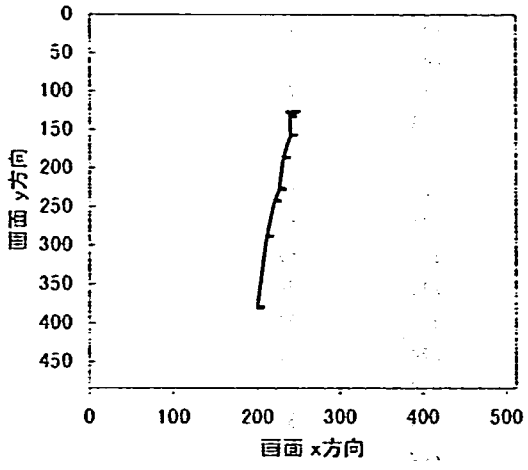
画面x方向	画面y方向
200	381
211	289
221	243
226	228
231	187
240	158
239	130
239	133
243	127
236	128
239	128

（単位：dot）

図表（4. 1. 1）2-255

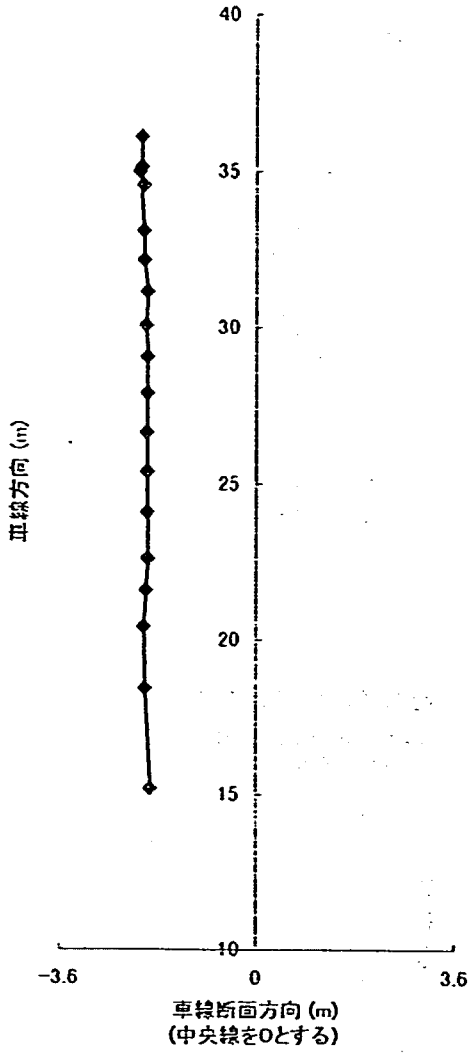
画面上の車両軌跡

急停止：夜 40m



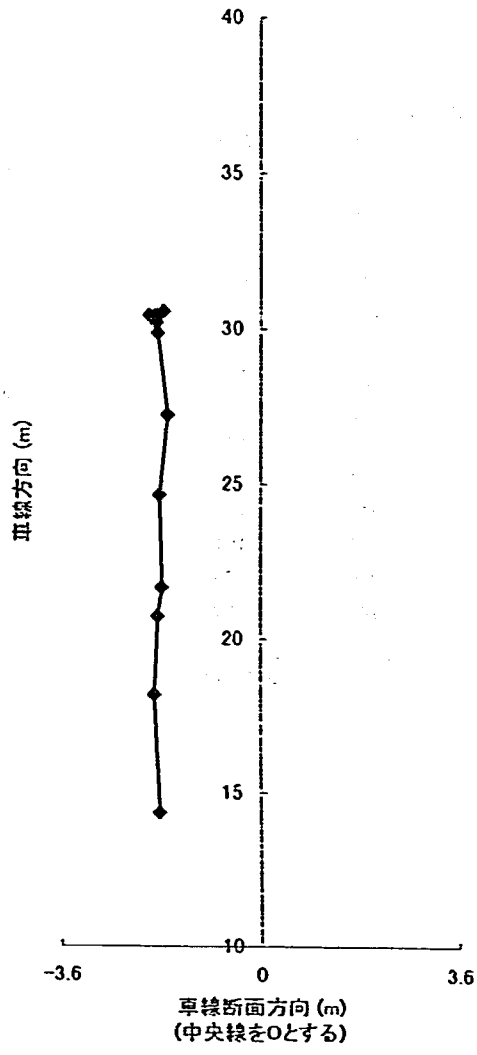
図表 (4. 1. 1) 2-256

車両軌跡図 (区画変換後)
通常停止:夜 40m



図表 (4. 1. 1) 2-257

車両軌跡図 (区画変換後)
急停止:夜 40m



4－2 蛇行

サンプリング周期 300 (ms)

図表 (4. 1. 1) 2-258

蛇行：夜

40m 計測結果

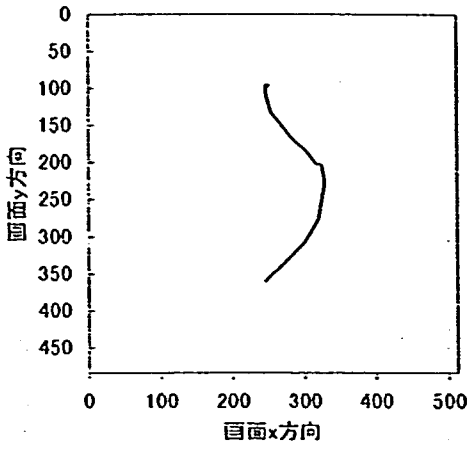
画面x方向	画面y方向
244	360
274	333
301	307
320	276
329	226
324	202
317	202
301	183
282	167
264	144
254	133
247	111
245	101
246	95
248	99
251	95

(単位：dot)

図表 (4. 1. 1) 2-259

画面上での車両軌跡

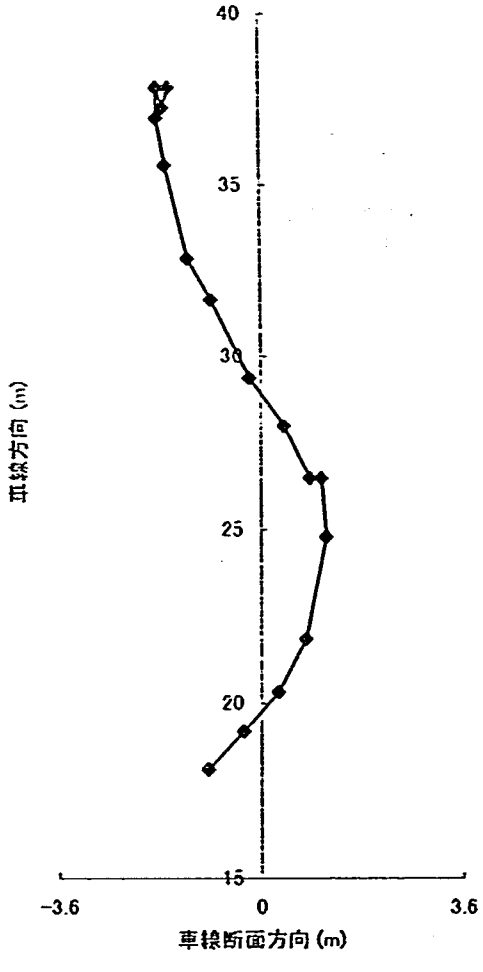
蛇行：夜 40m



図表 (4. 1. 1) 2-260

車両軌跡図 (座標変換後)

蛇行：夜 40m



4－3 車線の逸脱

サンプリング周期:167 (ms)

図表 (4. 1. 1) 2-261

車両の逸脱:夜

40m 計測結果

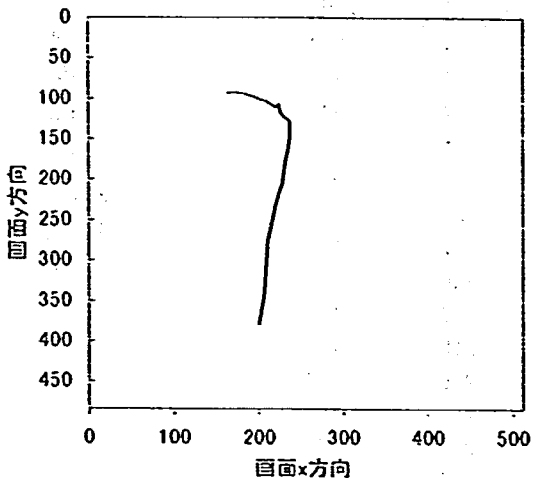
画面x方向	画面y方向
200	379
206	344
211	275
216	250
220	231
224	217
228	206
230	190
233	174
236	161
237	148
238	128
228	120
226	114
225	107
221	111
216	107
209	103
203	101
196	98
190	96
184	94
181	94
178	93
164	93

(単位:dot)

図表 (4. 1. 1) 2-262

画面上での車両軌跡

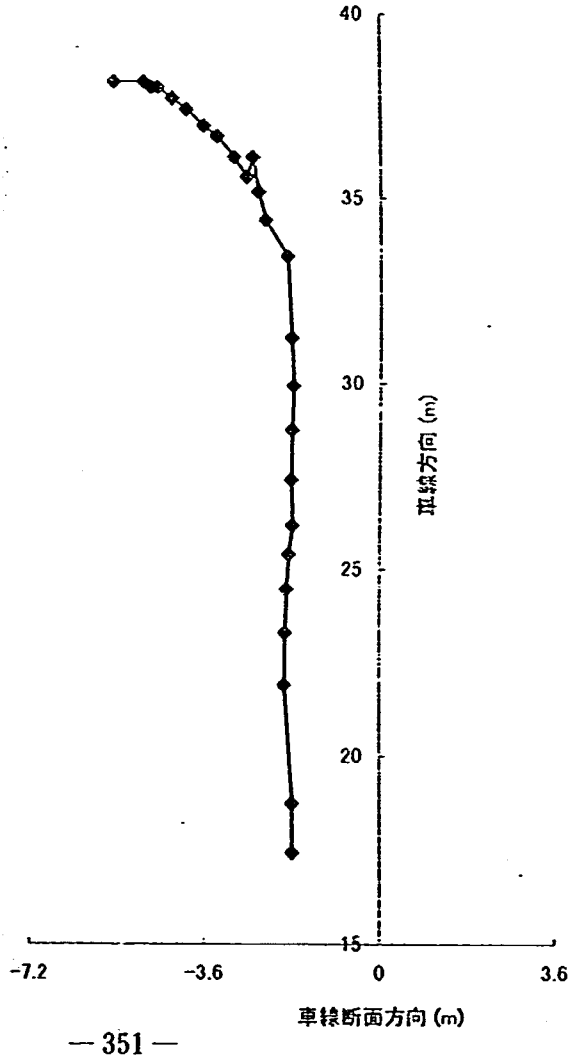
車線の逸脱:夜 40m



図表 (4. 1. 1) 2-263

車両軌跡図 (座標変換後)

車線の逸脱:夜 40m



4－4 横向き

サンプリング周期:300(ms)

図表 (4. 1. 1) 2-264

表30 横向き,夜

40m 計測結果

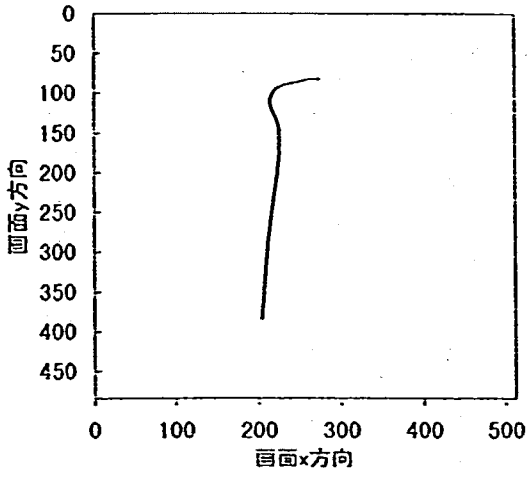
画面x方向	画面y方向
204	384
212	287
217	249
221	220
224	203
226	179
227	159
226	144
223	132
218	122
216	114
216	107
218	102
222	95
233	90
245	87
255	85
262	83
269	83
275	82

(単位:dot)

図表 (4. 1. 1) 2-265

画面上での車両軌跡

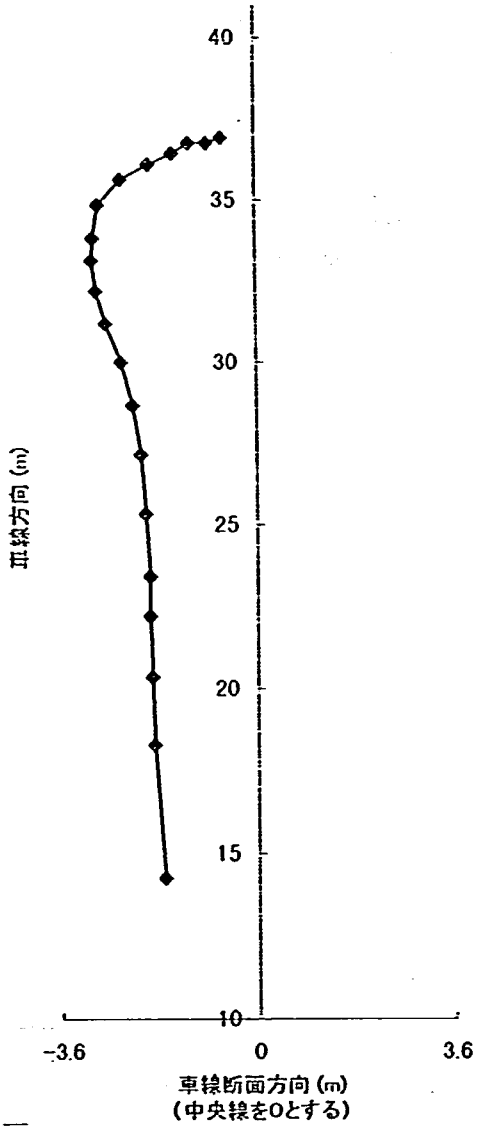
横向き:夜 40m



図表 (4. 1. 1) 2-266

車両軌跡図 (座標変換後)

横向き:夜 40m



昼間の計測実験結果

(1) パターン1　　焦点距離　8.0mm
撮像範囲　18.4m～400m
照　　度　45000lux

図表 (4. 1. 1) 2-267 白系自動車

真　　値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	13:16:23	13:18:23	99m	13:16:21	13:18:26	125sec
200m	13:18:45	13:20:45	202m	13:18:44	13:20:47	123sec
300m	13:21:08	13:23:08	295m	13:21:05	13:23:19	134sec
400m	13:23:35	13:25:35	383m	13:23:31	13:25:34	123sec

図表 (4. 1. 1) 2-268 黒系自動車

真　　値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	13:27:03	13:29:03	101m	13:26:57	13:29:10	133sec
200m	13:29:33	13:31:33	203m	13:29:28	13:31:40	132sec
300m	13:32:02	13:34:02				
400m	13:34:32	13:36:32	400m	13:34:31	13:36:50	139sec

(2) パターン2　　焦点距離　15.0mm
撮像範囲　32.7m～400m
照　　度　30600lux

図表 (4. 1. 1) 2-269 白系自動車

真　　値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	14:08:55	14:10:55	101m	14:08:52	14:11:02	130sec
200m	14:11:22	14:13:22	203m	14:11:20	14:13:29	129sec
300m	14:13:47	14:15:47	296m	14:13:43	14:15:55	132sec
400m	14:16:14	14:18:14	400m	14:16:09	14:18:17	128sec

図表 (4. 1. 1) 2-270 黒系自動車

真　　値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	14:19:47	14:21:47	102m	14:19:42	14:22:01	139sec
200m	14:22:22	14:24:22	197m	14:22:18	14:24:37	139sec
300m	14:24:55	14:26:55	281m	14:24:52	14:27:11	139sec
400m	14:27:28	14:29:28	400m	14:27:21	14:30:09	168sec

(3) パターン3　　焦点距離　30.0mm
撮像範囲　62.1m～400m
照　　度　6000lux

図表(4.1.1)2-271 白系自動車

真値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	14:49:30	14:51:30	99m	14:49:26	14:51:40	134sec
200m	14:52:00	14:54:00	200m	14:51:58	14:54:15	137sec
300m	14:54:36	14:56:36	298m	14:54:33	14:56:50	137sec
400m	14:57:03	14:59:03	405m	14:57:06	14:59:15	129sec

図表(4.1.1)2-272 黒系自動車

真値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	15:00:46	15:02:46	99m	15:00:41	15:03:01	140sec
200m	15:03:21	15:05:21	204m	15:03:20	15:05:37	137sec
300m	15:05:55	15:07:55	303m	15:05:53	15:08:10	137sec
400m	15:08:29	15:10:29	405m	15:08:27	15:10:45	138sec

(4) パターン4　　焦点距離　48.0mm
撮像範囲　93.7m～400m
照　　度　4400lux

図表(4.1.1)2-273 白系自動車

真値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	15:22:41	15:24:41	101m	15:22:37	15:24:48	131sec
200m	15:25:06	15:27:06	204m	15:25:04	15:27:17	133sec
300m	15:27:34	15:29:34	304m	15:27:32	15:29:46	134sec
400m	15:30:04	15:32:04	403m	15:30:01	15:32:10	129sec

図表(4.1.1)2-274 黒系自動車

真値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	15:33:25	15:35:25	101m	15:33:22	15:35:34	132sec
200m	15:35:57	15:37:57	206m	15:35:52	15:38:04	132sec
300m	15:38:29	15:40:29	308m	15:38:24	15:40:37	133sec
400m	15:41:03	15:43:03	406m	15:40:56	15:43:15	139sec

夜間の計測実験結果

(1) パターン1　　焦点距離　48.0mm
撮像範囲　93.7m～400m

図表 (4. 1. 1) 2-275 ブレーキ灯

真値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	17:47:51	17:49:51	100m	17:47:47	17:49:58	131sec
200m	17:50:22	17:52:22	202m	17:50:20	17:52:33	133sec
300m	17:52:55	17:54:55	301m	17:52:51	17:55:07	136sec
400m	17:55:25	17:57:25	400m	17:55:21	17:57:45	144sec

図表 (4. 1. 1) 2-276 スモール灯

真値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	18:02:59	18:04:59	101m	18:02:53	18:05:10	137sec
200m	18:05:33	18:07:33	205m	18:05:32	18:07:45	133sec
300m	18:08:07	18:10:07	304m	18:08:06	18:10:17	131sec
400m	18:10:40	18:12:40	406m	18:10:36	18:12:53	137sec

(2) パターン2　　焦点距離　30.0mm
撮像範囲　62.1m～400m

図表 (4. 1. 1) 2-277 ブレーキ灯

真値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	18:28:22	18:30:22	99m	18:28:14	18:30:32	130sec
200m	18:30:55	18:32:55	202m	18:30:53	18:33:04	131sec
300m	18:33:26	18:35:26	303m	18:33:23	18:35:39	136sec
400m	18:36:00	18:38:00	405m	18:35:57	18:38:15	138sec

図表 (4. 1. 1) 2-278 スモール灯

真値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	18:39:49	18:41:49	101m	18:39:44	18:42:00	136sec
200m	18:42:21	18:44:21	205m	18:42:22	18:44:35	133sec
300m	18:44:54	18:46:54	306m	18:44:51	18:47:07	136sec
400m	18:47:28	18:49:28	400m	18:47:27	18:50:03	156sec

(3) パターン3　　焦点距離　15.0mm
撮像範囲　32.7m～400m

図表 (4. 1. 1) 2-279 ブレーキ灯

真値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	19:15:25	19:17:25	99m	19:15:21	19:17:33	132sec
200m	19:18:00	19:20:00	197m	19:17:55	19:20:07	132sec
300m	19:20:31	19:22:31	304m	19:20:26	19:22:44	138sec
400m	19:23:09	19:25:09	410m	19:23:02	19:25:22	140sec

図表 (4. 1. 1) 2-280 スモール灯

真値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	19:26:47	19:28:47	102m	19:26:44	19:28:59	135sec
200m	19:29:21	19:31:21	208m	19:29:18	19:31:31	133sec
300m	19:31:53	19:33:53	310m	19:31:48	19:34:04	136sec
400m	19:34:28	19:36:28	410m	19:34:17	19:36:28	131sec

(4) パターン4　　焦点距離　8.0mm
撮像範囲　18.4m～400m

図表 (4. 1. 1) 2-281 ブレーキ灯

真値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	19:43:12	19:45:12	100m	19:43:07	19:45:17	130sec
200m	19:45:41	19:47:41	203m	19:45:37	19:47:48	131sec
300m	19:48:09	19:50:09	296m	19:48:04	19:50:17	133sec
400m	19:50:39	19:52:39	418m	19:50:35	19:52:59	144sec

図表 (4. 1. 1) 2-282 スモール灯

真値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
100m	19:54:37	19:56:37	101m	19:54:33	19:56:45	132sec
200m	19:57:08	19:59:08	208m	19:57:06	19:59:19	133sec
300m	19:59:41	20:01:41	306m	19:59:39	20:01:54	135sec
400m	20:02:16	20:04:16	418m	20:02:09	20:04:25	136sec

追加実験の計測結果

(1) 昼間 黒系自動車　　焦点距離　48.0mm
撮像範囲　100m～800m
照　　度　2100lux

図表(4.1.1)2-283 黒系自動車

真値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
500m	15:58:18	16:00:18	496m	15:58:07	16:01:16	189sec
600m	16:02:28	16:04:28	596m	16:02:13	16:04:53	160sec
700m	16:05:20	16:07:20	700m	16:05:13	16:07:40	147sec
800m	16:08:08	16:10:08	789m	16:08:04	16:10:19	135sec

(2) 夜間 ﾌﾞﾚｰｷ灯　　焦点距離　48.0mm
撮像範囲　100m～800m

図表(4.1.1)2-284 ﾌﾞﾚｰｷ灯

真値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
500m	17:30:59	17:32:59	496m	17:30:51	17:33:07	136sec
600m	17:33:40	17:35:40	615m	17:33:31	17:35:51	140sec
700m	17:36:16	17:38:16	709m	17:36:10	17:38:26	136sec
800m	17:38:54	17:40:54	789m	17:38:49	17:40:58	129sec

(3) 夜間 ｽﾓｰﾙ灯　　焦点距離　48.0mm
撮像範囲　100m～800m

図表(4.1.1)2-285 ｽﾓｰﾙ灯

真値			画像処理計測値			
停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止位置	停止開始時刻	停止終了時刻	停止判別時間
500m	20:12:12	20:14:12	491m	20:12:08	20:14:28	140sec
600m	20:14:57	20:16:57	609m	20:14:53	20:17:13	140sec
700m	20:17:33	20:19:33	691m	20:17:35	20:19:51	136sec
800m	20:20:10	20:22:10	767m	20:20:12	20:22:21	129sec

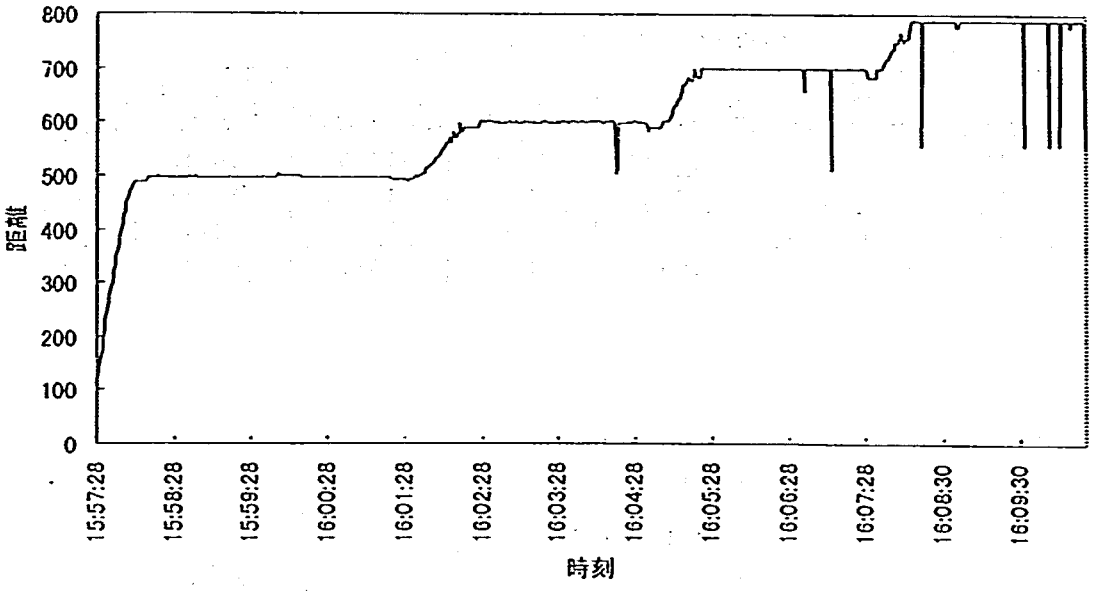
3．追加実験

(1) 昼間　黒系自動車

焦点距離　48mm
撮像範囲　100m～800m
照　　度　2100lux

図表(4.1.1)2-286

グラフ　追加実験 昼 黒系自動車　時刻と距離の関係



カバーエリアの評価

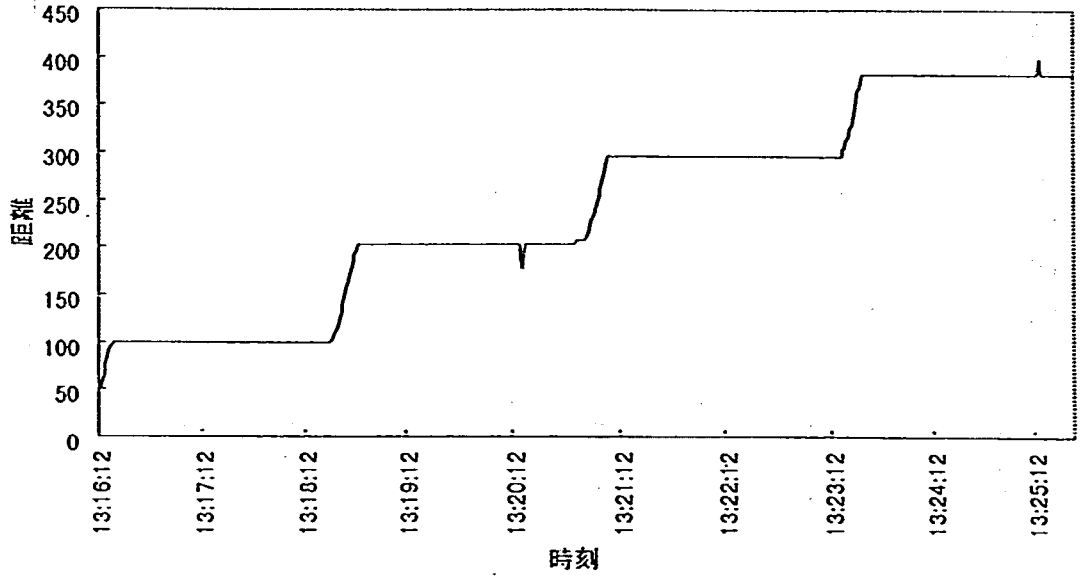
1．昼間の実験計測結果

(1) ﾊﾟﾀｰﾝ1

焦点距離　8.0mm
撮像範囲　18.4m～400m
照　　度　45000lux

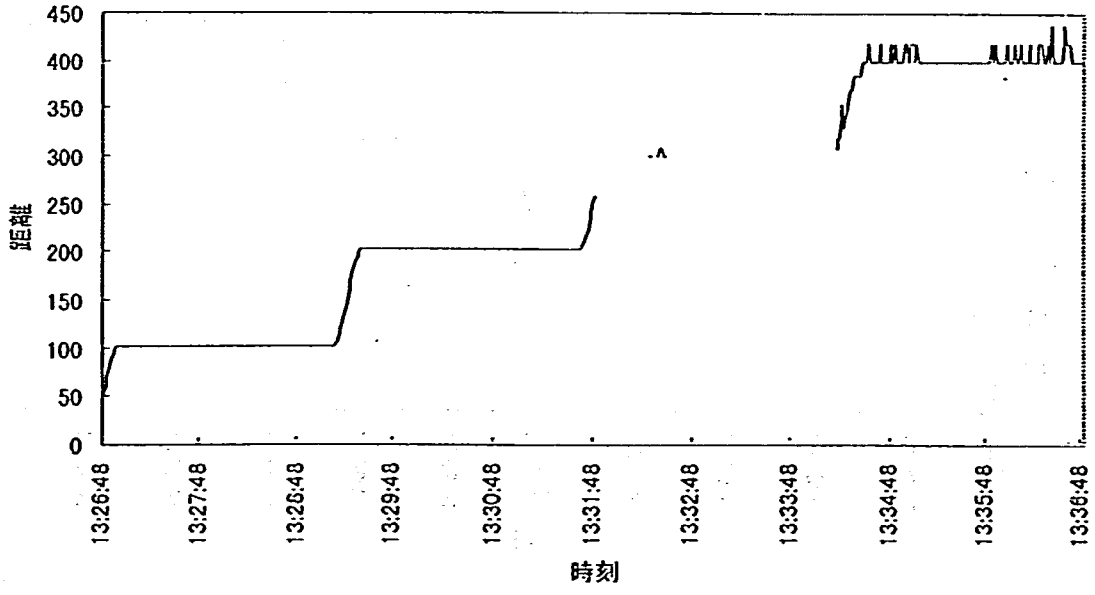
図表 (4.1.1)2-287

ﾊﾟﾀｰﾝ1 白系自動車　時刻と距離の関



図表 (4.1.1)2-288

ﾊﾟﾀｰﾝ1 黒系自動車　時刻と距離の関係



(2) ﾊﾟﾀｰﾝ2

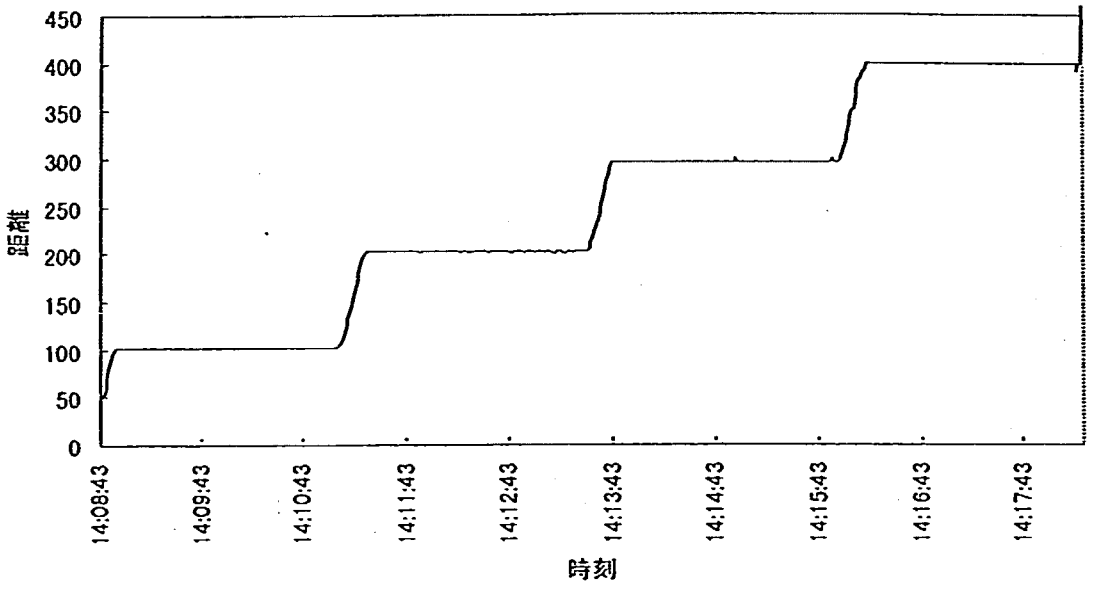
焦点距離　15mm

撮像範囲　32.7m～400.0m

照　　度　30600lux

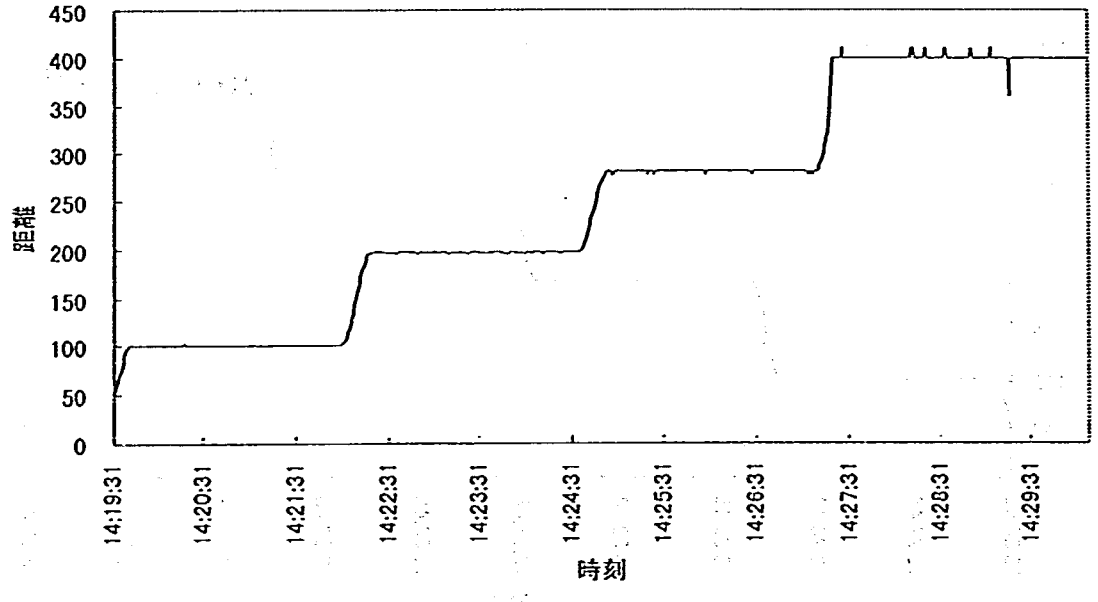
図表(4.1.1)2-289

ﾊﾟﾀｰﾝ2 白系自動車　時刻と距離の関係



図表(4.1.1)2-290

ﾊﾟﾀｰﾝ2 黒系自動車　時刻と距離の関係



(3) ﾊﾟﾀｰﾝ3

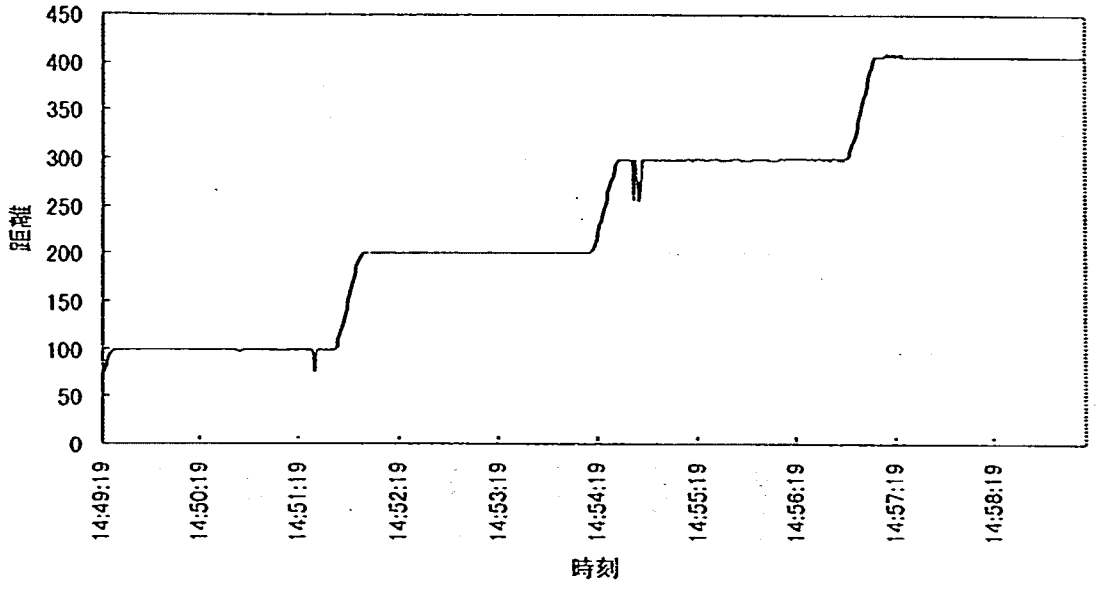
焦点距離　30㎜

撮像範囲　62.1m～400.0m

照　　度　60001ux

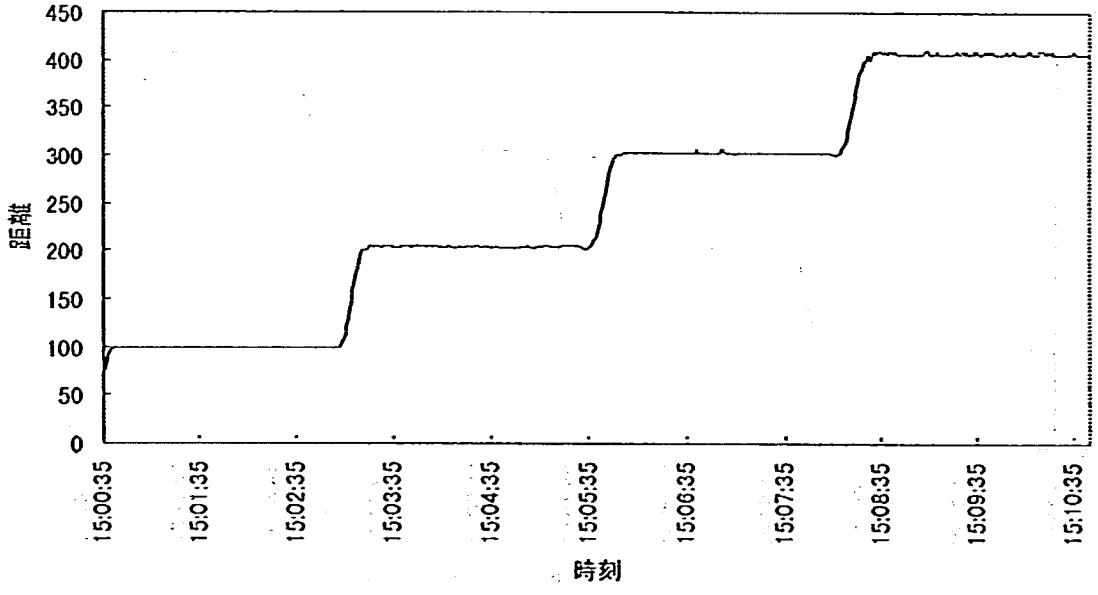
図表(4.1.1)2-291

ﾊﾟﾀｰﾝ3 白系自動車　時刻と距離の関係



図表(4.1.1)2-292

ﾊﾟﾀｰﾝ3 黒系統自動車　時刻と距離の関係

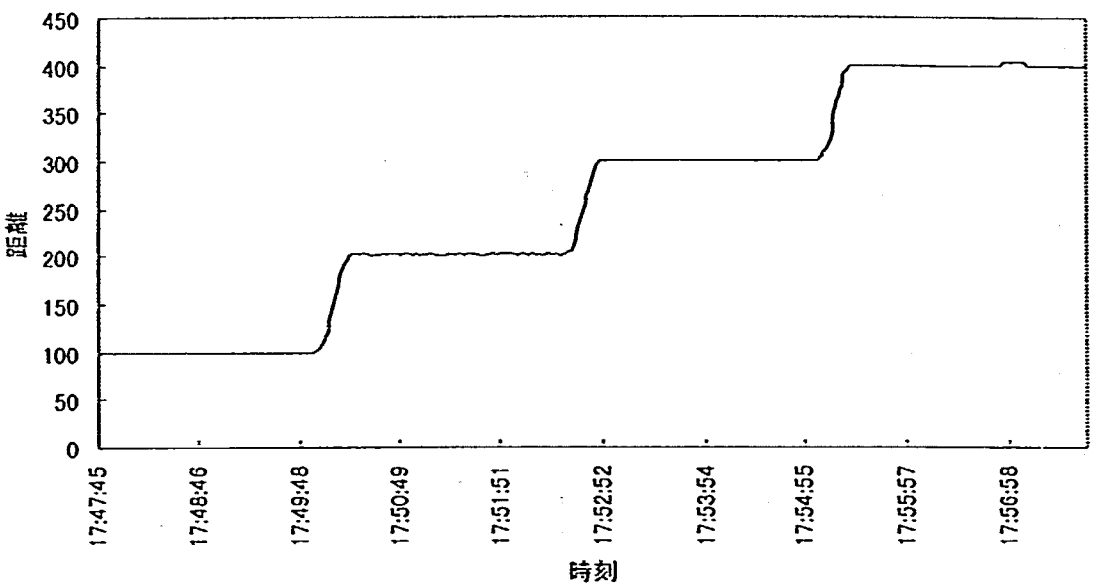


2．夜間の実験計測結果

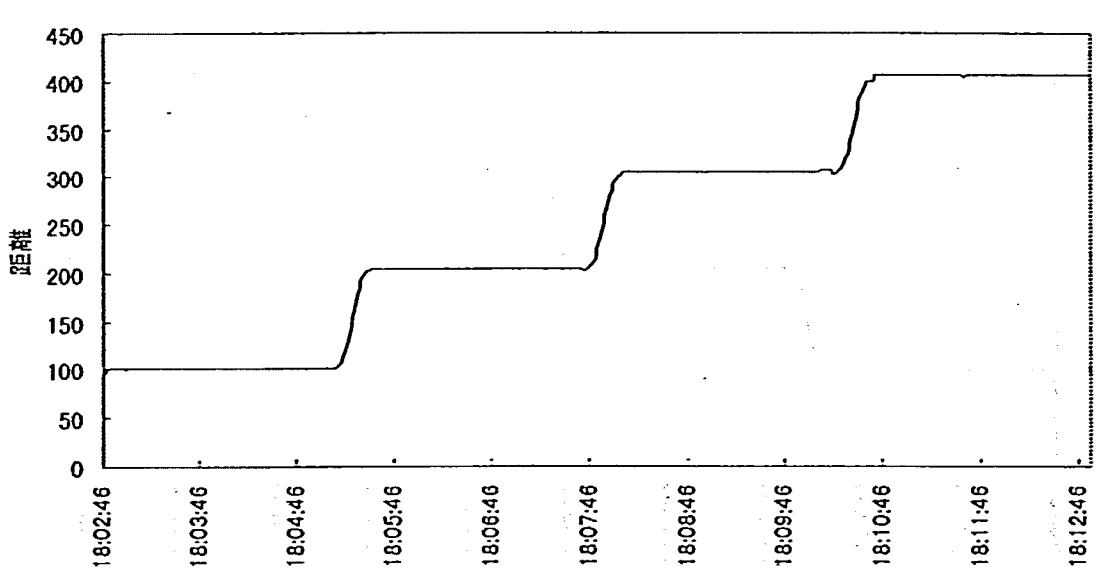
(1) ﾊﾟﾀｰﾝ1

焦点距離　48㎜
撮像範囲　93.7m～400.0m

図表(4.1.1)2-295
ﾊﾟﾀｰﾝ1 ブレーキ灯　時刻と距離の関係



図表(4.1.1)2-296
ﾊﾟﾀｰﾝ1 ｽﾓｰﾙ灯　時刻と距離の関係



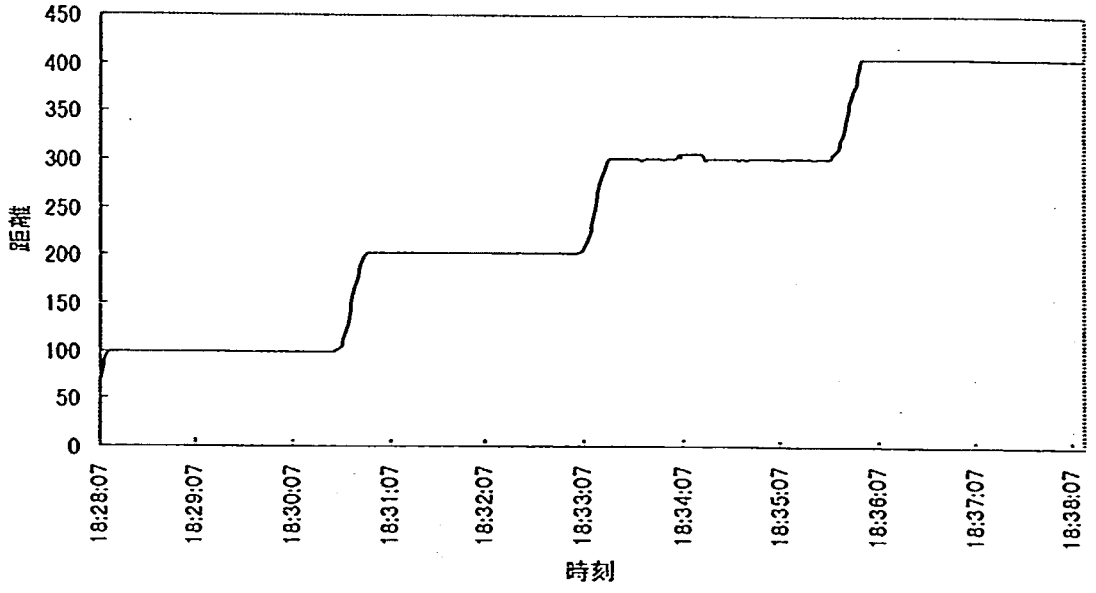
(2) ﾊﾟﾀｰﾝ2

焦点距離　30mm

撮像範囲　62.1m～400m

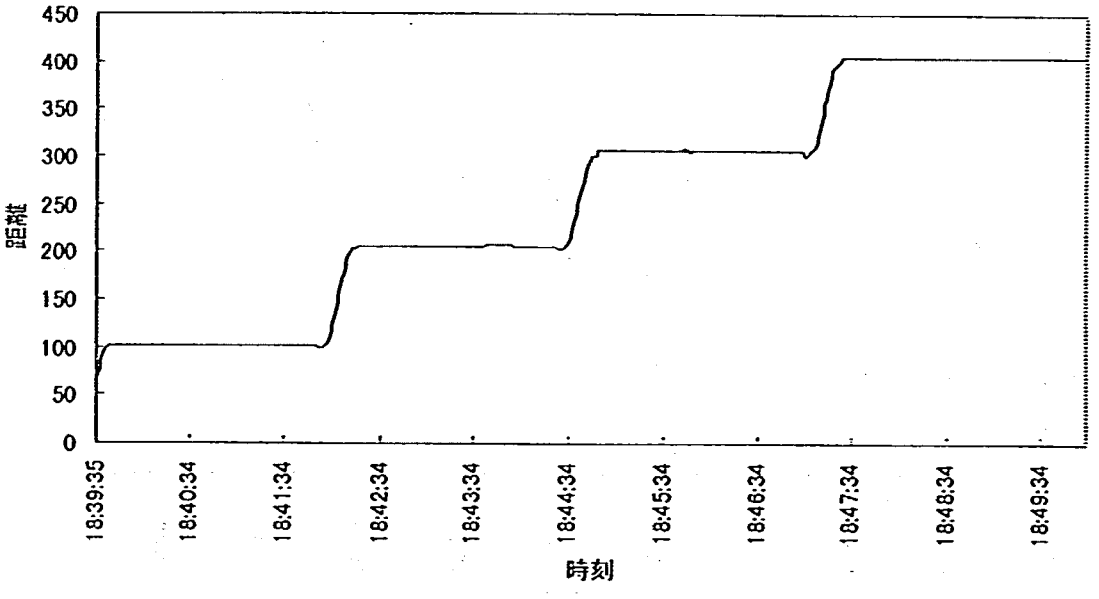
図表(4.1.1)2-297

ﾊﾟﾀｰﾝ2 ﾌﾞﾚｰｷ灯　時刻と距離の関係



図表(4.1.1)2-298

ﾊﾟﾀｰﾝ2 ｽﾓｰﾙ灯　時刻と距離の関係

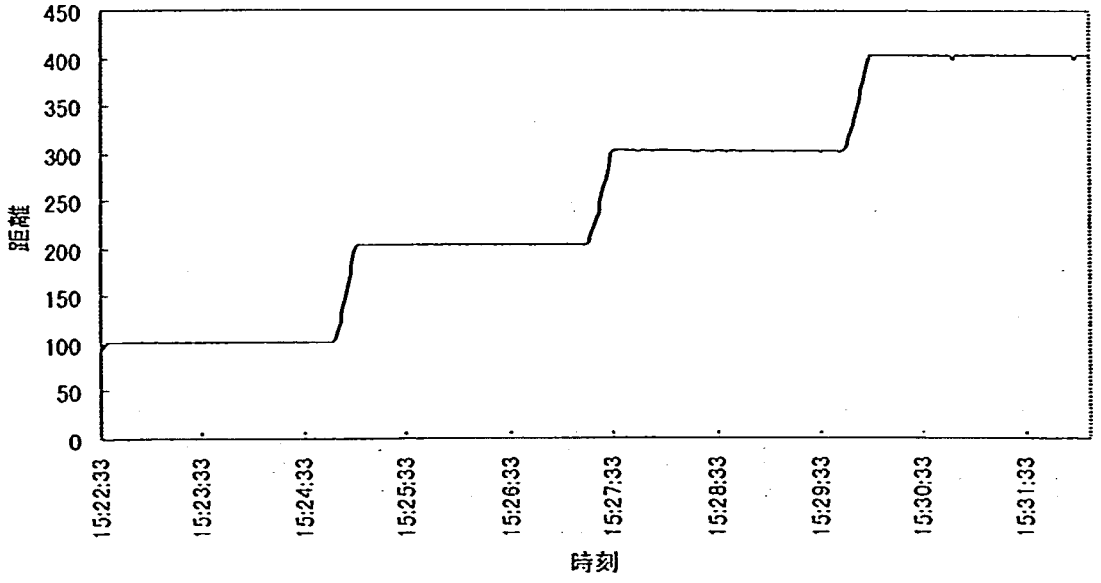


(4) ﾊﾟﾀｰﾝ4

焦点距離　48mm
撮像範囲　93.7m～400.0m
照　　度　44001ux

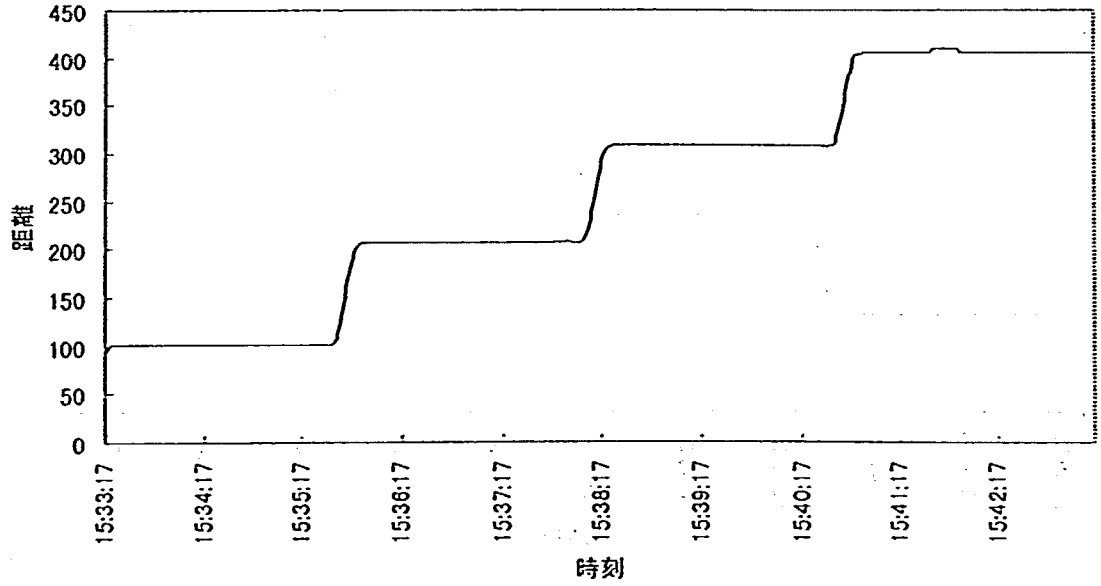
図表 (4.1.1)2-293

ﾊﾟﾀｰﾝ4 白系自動車　時刻と距離の関係



図表 (4.1.1)2-294

ﾊﾟﾀｰﾝ4 黒系自動車　時刻と距離の関係



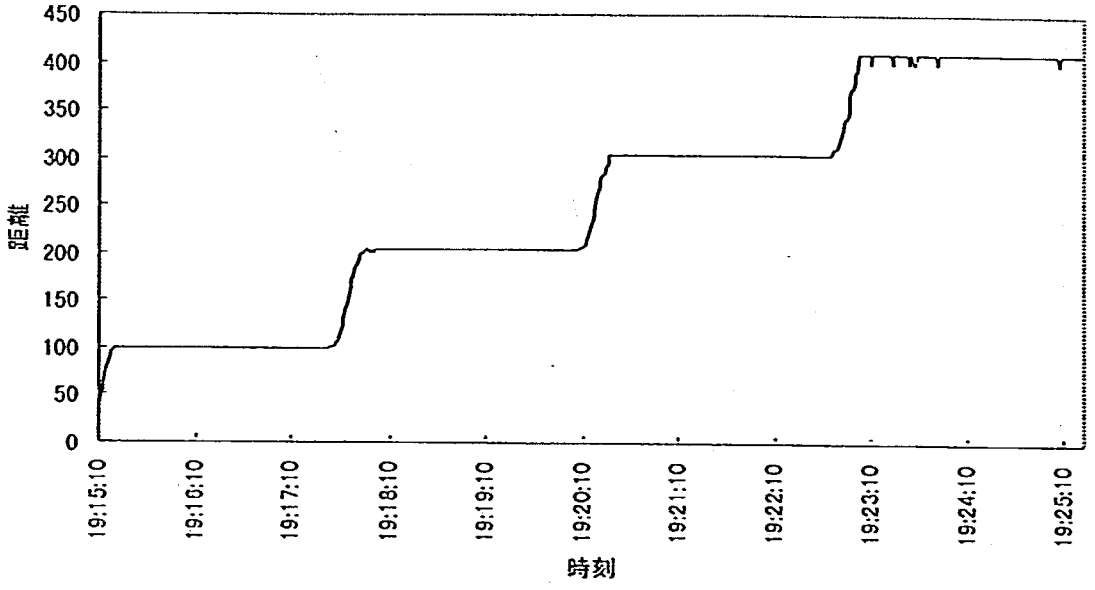
(3) ﾊﾟﾀｰﾝ3

焦点距離　15mm

撮像範囲　32.7m～400m

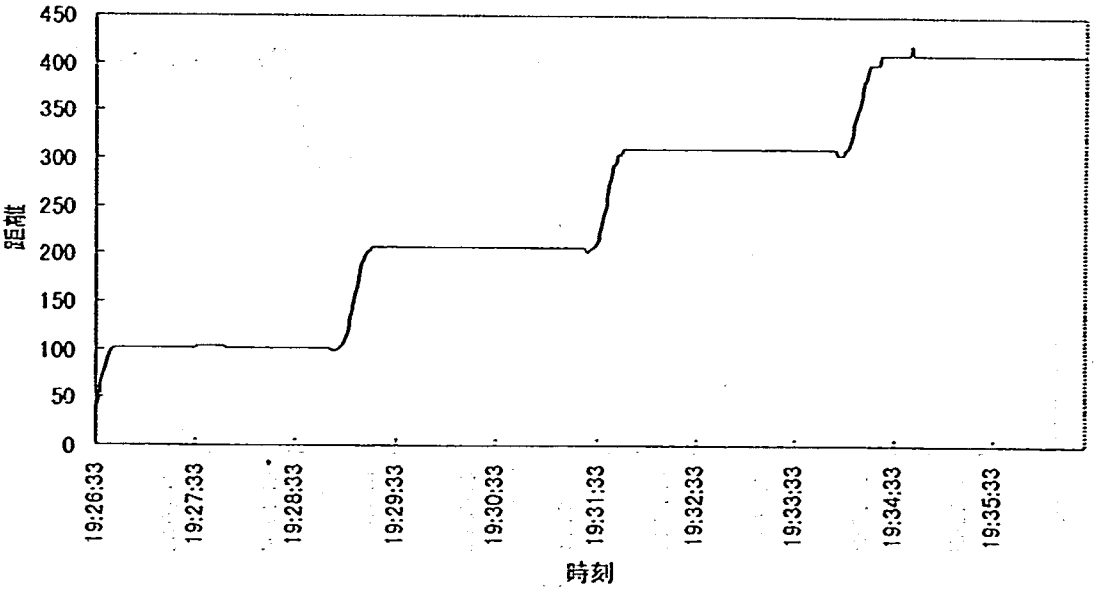
図表(4.1.1)2-299

ﾊﾟﾀｰﾝ3 ﾌﾞﾚｰｷ灯　時刻と距離の関係



図表(4.1.1)2-300

ﾊﾟﾀｰﾝ3 ｽﾓｰﾙ灯　時刻と距離の関係



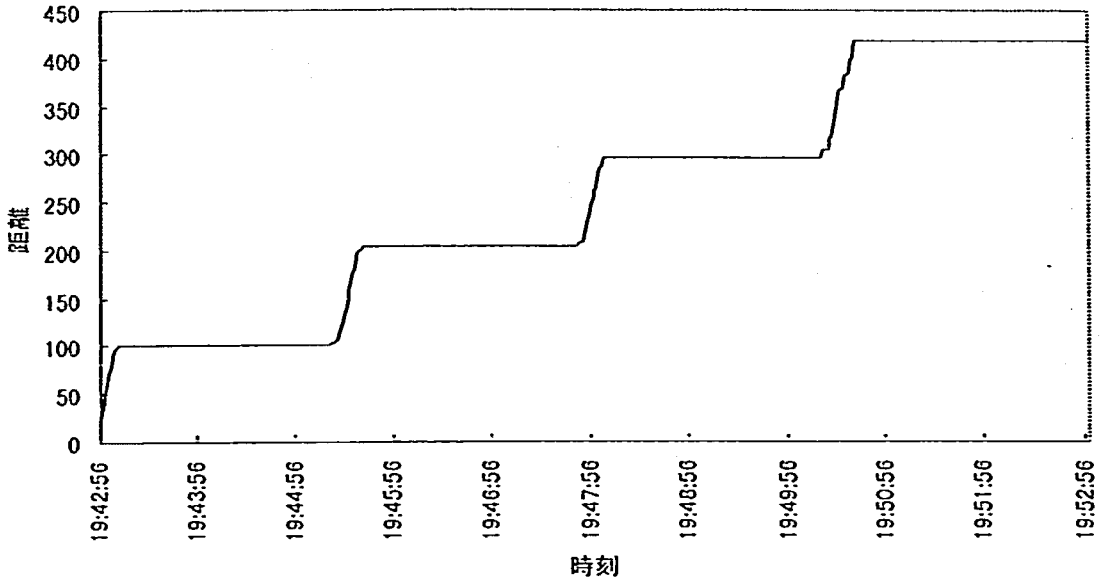
(4) ﾊﾟﾀｰﾝ4

焦点距離　8.0mm

撮像範囲　18.4m～400m

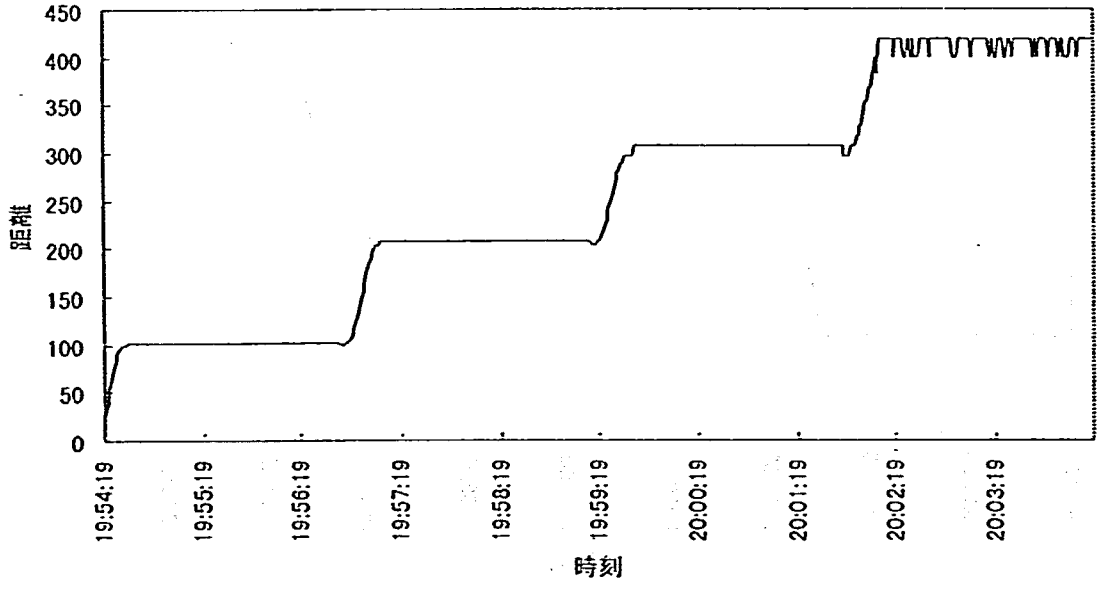
図表 (4.1.1)2-301

ﾊﾟﾀｰﾝ4 ﾌﾞﾚｰｷ灯　時刻と距離の関係



図表 (4.1.1)2-302

ﾊﾟﾀｰﾝ4 ｽﾓｰﾙ灯　時刻と距離の関係



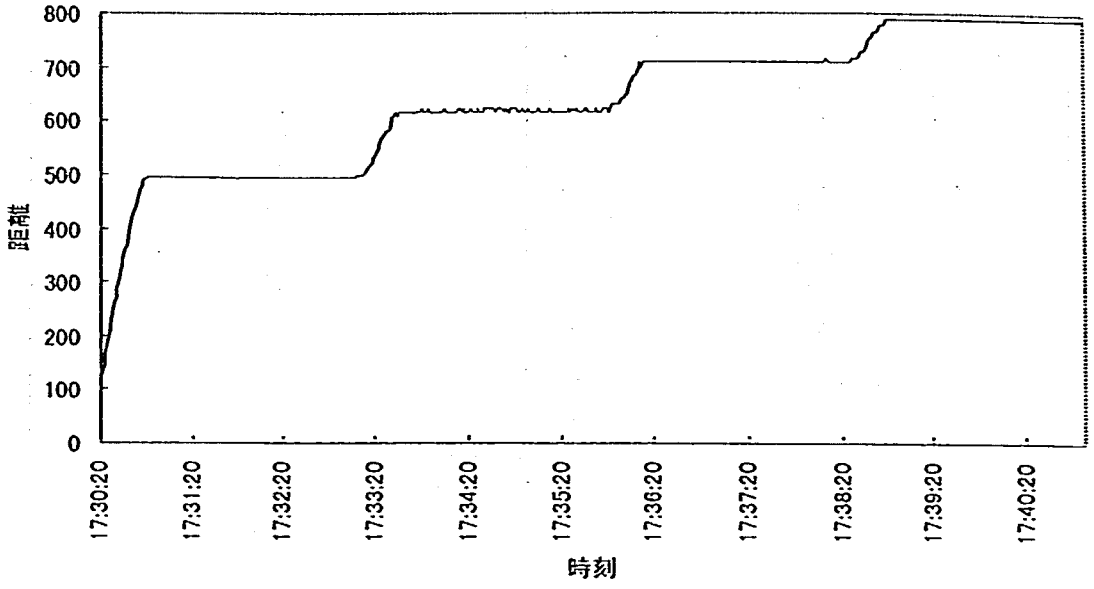
(2) 夜間

焦点距離　48mm

撮像範囲　100m～800m

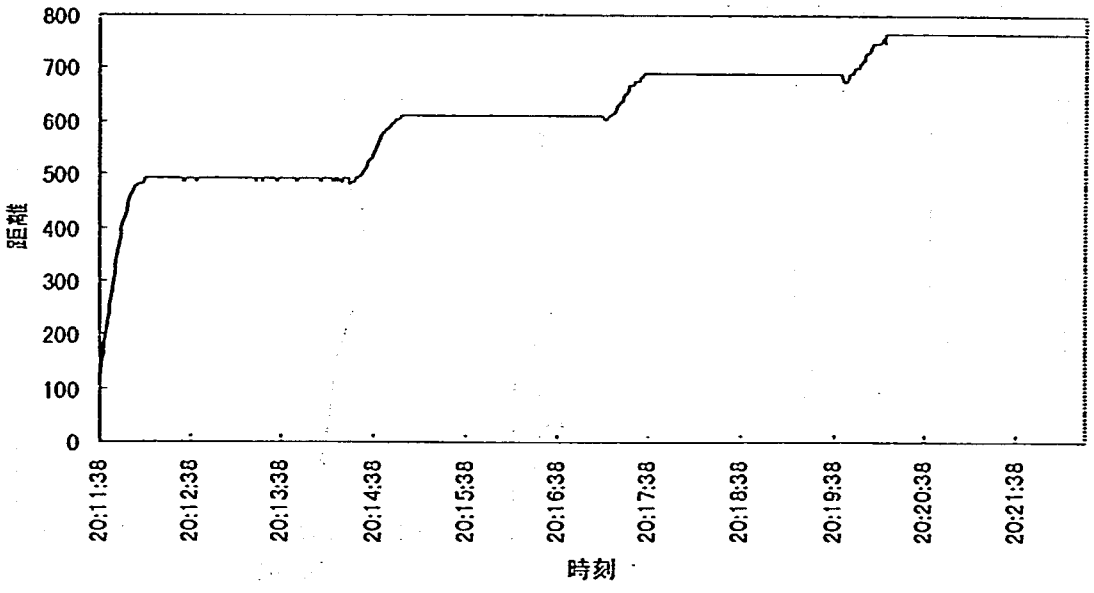
図表 (4. 1. 1) 2-303

追加実験 ブレーキ灯　時刻と距離の関係



図表 (4. 1. 1) 2-304

追加実験 スモール灯　時刻と距離の関係



実際の事故映像の評価（新宿カーブ）

昼間の映像

(1) パターン1

焦点距離　12mm
管径　　1/2インチ
カメラ高さ　6m

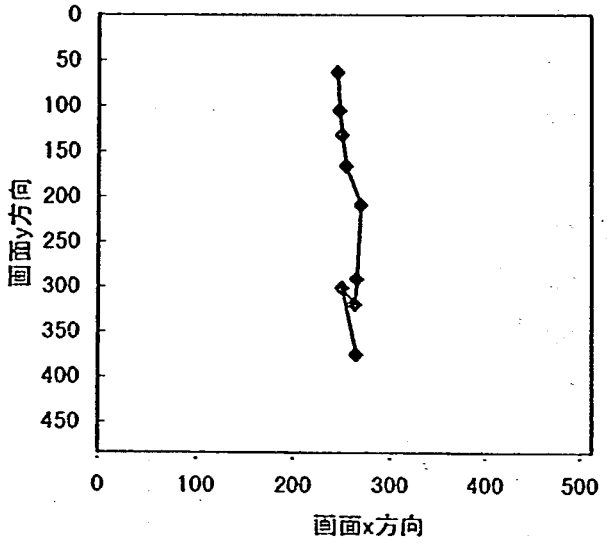
図表（4. 1. 1）2-305

表 新宿カーブ 右車線 通常走行

画面x方向	画面y方向
265	375
251	301
264	319
266	291
270	209
255	166
251	132
248	105
246	63

単位：dot

グラフ 昼 右車線 通常走行



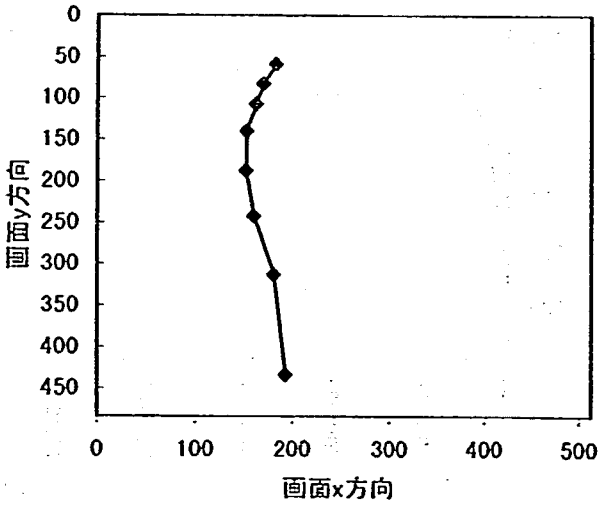
図表（4. 1. 1）2-306

表 新宿カーブ 左車線 通常走行

画面x方向	画面y方向
193	434
181	313
160	243
152	188
153	140
162	108
170	83
183	59

単位：dot

グラフ 昼 左車線 通常走行

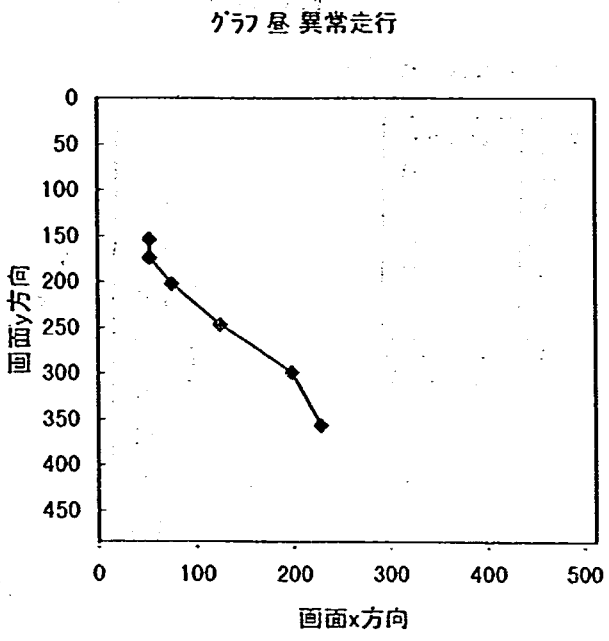


図表 (4. 1. 1) 2-307

表 新宿カーブ 異常走行(事故)

画面x方向	画面y方向
228	357
198	299
124	247
75	202
53	174
53	154

単位:dot

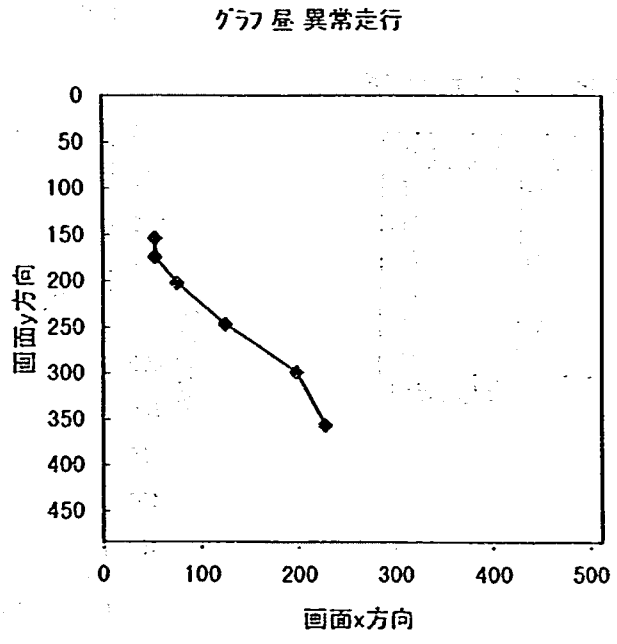


図表 (4. 1. 1) 2-308

表 新宿カーブ 異常走行(事故)

画面x方向	画面y方向
228	357
198	299
124	247
75	202
53	174
53	154

単位:dot



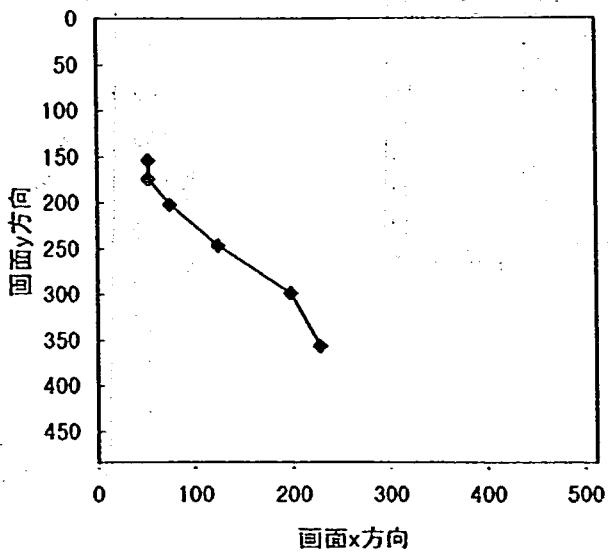
図表 (4. 1. 1) 2-309

表 新宿カーブ 異常走行(事故)

画面x方向	画面y方向
228	357
198	299
124	247
75	202
53	174
53	154

単位:dot

グラフ 昼 異常走行



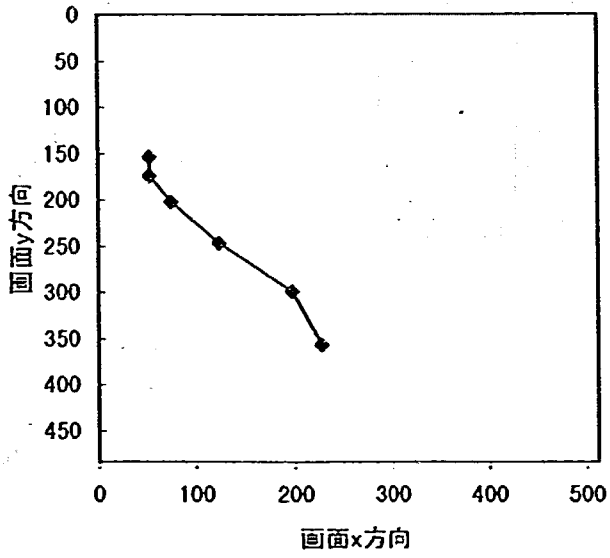
図表 (4. 1. 1) 2-310

表 新宿カーブ 異常走行(事故)

画面x方向	画面y方向
228	357
198	299
124	247
75	202
53	174
53	154

単位:dot

グラフ 昼 異常走行



(2) パターン2

焦点距離　16mm

管径　　2/3インチ

カメラ高さ　6m

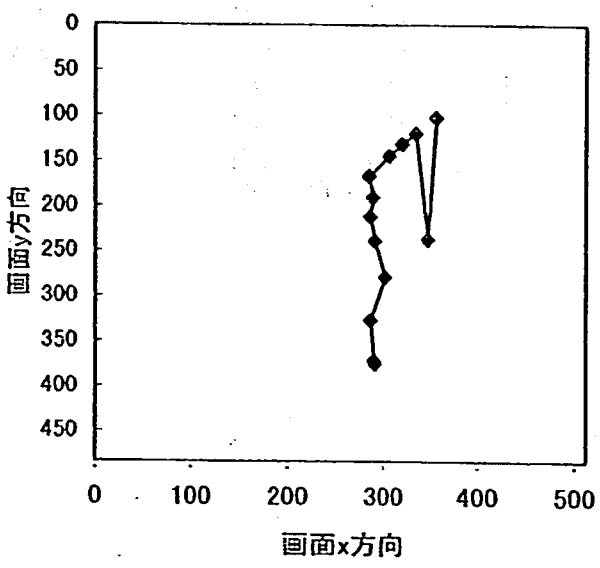
図表 (4. 1. 1) 2-311

表 新宿カーブ 右車線 通常走行

画面x方向	画面y方向
291	375
290	371
286	326
302	278
291	238
286	211
289	190
285	167
307	144
321	131
335	119
348	236
357	102

単位:dot

グラフ 昼 右車線 通常走行



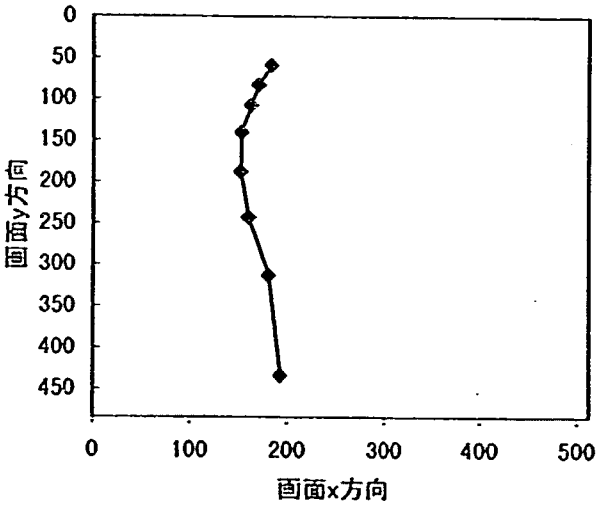
図表 (4. 1. 1) 2-312

表 新宿カーブ 左車線 通常走行

画面x方向	画面y方向
198	333
191	278
193	228
206	196
217	174
239	149
223	187

単位:dot

グラフ 昼 左車線 通常走行



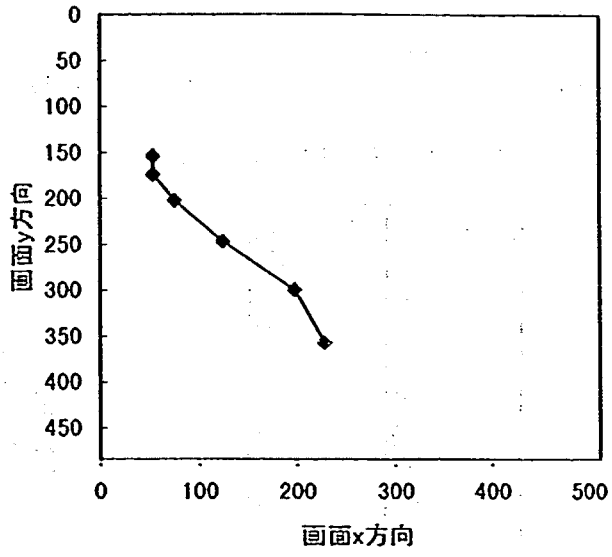
図表(4.1.1)2-313

表 新宿カーブ 異常走行(事故)

画面x方向	画面y方向
263	367
258	321
272	258
281	227
289	203
295	180
298	167
297	144
309	137
314	129

単位:dot

グラフ 昼 異常走行



夜間の映像
(1) パターン1
焦点距離　12mm
管径　　1/2インチ
カメラ高さ　6m

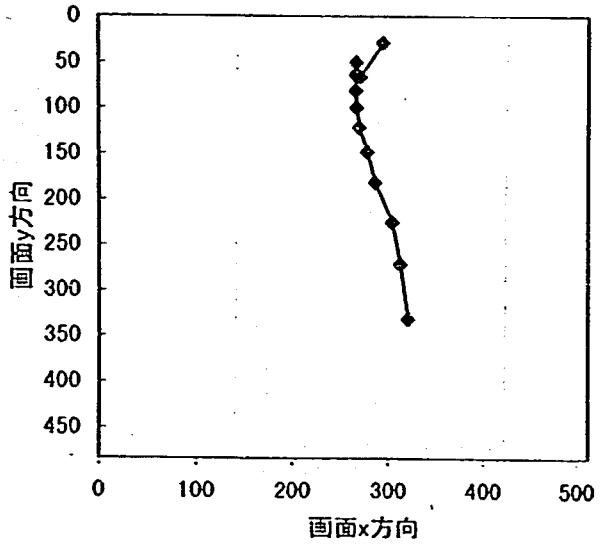
図表 (4. 1. 1) 2-314

表 新宿カーブ 右車線 通常走行

画面x方向	画面y方向
320	330
312	270
304	224
286	181
278	148
270	121
267	100
266	81
266	64
267	50
271	66
295	29

単位:dot

グラフ パターン1 夜 右車線 通常走行



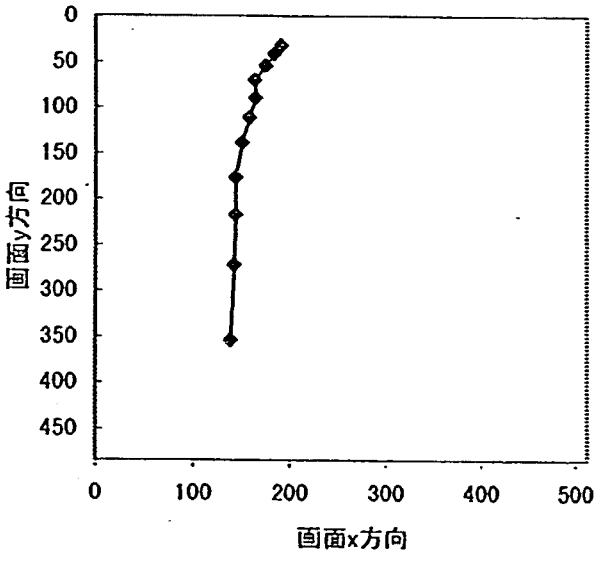
図表 (4. 1. 1) 2-315

表 新宿カーブ 左車線 通常走行

画面x方向	画面y方向
138	354
142	272
143	217
143	176
149	138
157	111
163	89
162	70
174	54
183	41
190	32

単位:dot

グラフ パターン1 夜 左車線 通常走行



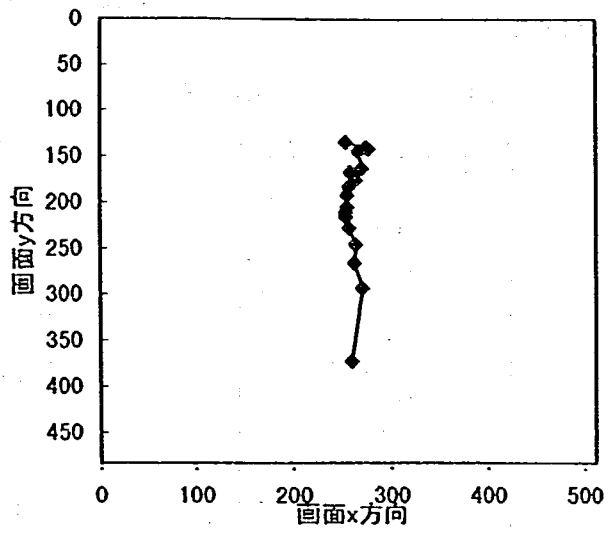
図表 (4. 1. 1) 2-316

表 新宿カーブ 異常走行(事故)

画面x方向	画面y方向
259	373
270	293
262	266
263	246
256	228
253	211
253	216
254	205
254	192
256	183
263	176
258	167
269	163
266	144
273	140
253	134
276	141

単位:dot

ｸﾞﾗﾌ ﾊﾟﾀｰﾝ1 新宿カーブ 夜 異常走行



(2)パターン2

焦点距離　16mm

管径　　2/3インチ

カメラ高さ　6m

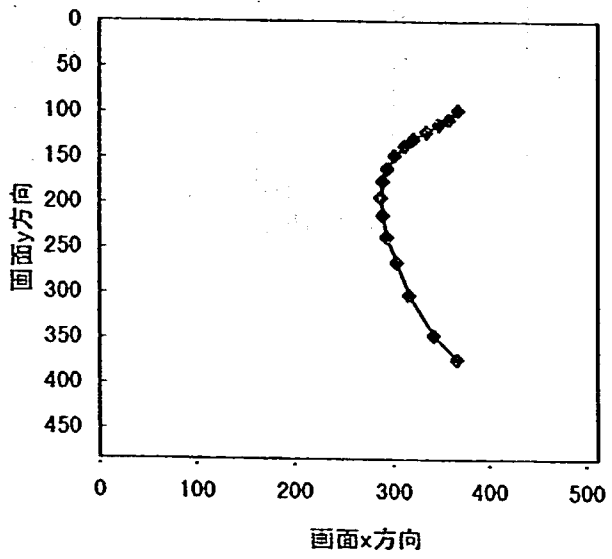
図表 (4. 1. 1) 2-317

表 新宿カーブ 右車線 通常走行

画面x方向	画面y方向
367	373
343	346
317	302
304	266
294	238
290	214
288	194
290	176
295	162
302	148
312	138
322	130
335	122
348	114
359	108
368	98

単位:dot

ｸﾞﾗﾌ 右車線 通常走行



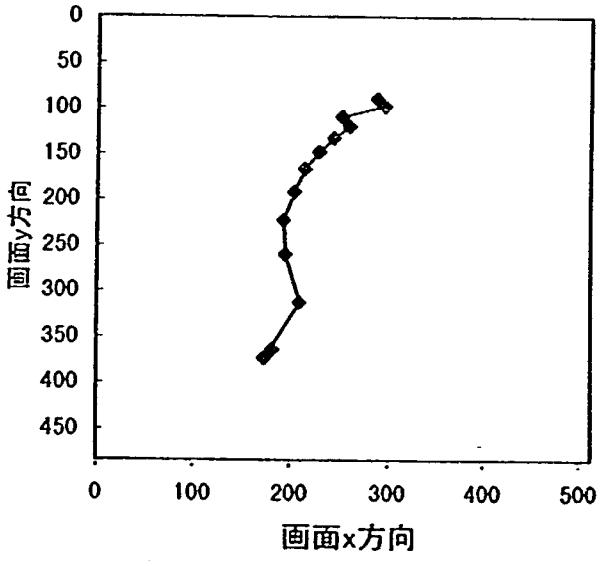
図表 (4. 1. 1) 2-318

表 新宿カーブ 左車線 通常走行

画面x方向	画面y方向
182	364
174	373
210	313
195	260
193	223
204	192
215	167
229	148
244	133
260	120
252	109
296	98
288	90

単位:dot

ｸﾞﾗﾌ 左車線 通常走行



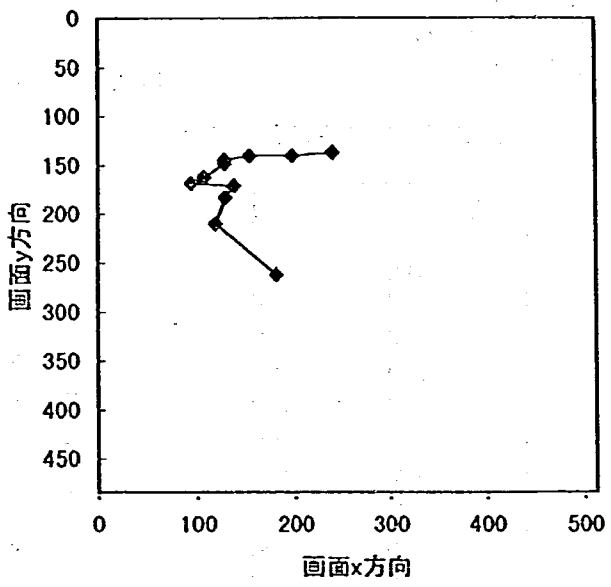
図表 (4. 1. 1) 2-319

表 新宿カーブ 異常走行(事故)

画面x方向	画面y方向
181	262
119	210
129	183
138	171
94	168
107	162
128	148
128	144
154	140
198	140
240	137

単位:dot

ｸﾞﾗﾌ 新宿カーブ 夜 異常走行



C　手　法

[目　次]

1　カバーエリアの評価
　1．1　カバーエリアの評価結果
　1．2　各パターンの分解能グラフ
2　車両停止の細分化判断
　2．1　停止・急停止
　2．2　蛇行
　2．3　本線からの逸脱
　2．4　横向き
　2．5　各レンズにおける分解能グラフ
3　実際の事故映像の評価（新宿カーブ）

1　カバーエリアの評価

1．1　カバーエリアの評価結果

（1）真値：フィールド実験後に配布されたデータを使用した。
- 停止位置
- 停止開始時刻
- 停止修了時刻
- 停止時間

（2）評価内容：下記について真値との比較、評価を行った。
- 停止位置
- 停止判断時刻
- 停止解除時刻
- 停止時間

（3）評価対象：全19種類のデータについて評価した。
- 焦点距離、撮像範囲　5種類
  1)焦点距離　8mm　撮像範囲　18.4～400m
  2)焦点距離　15mm　撮像範囲　32.7～400m
  3)焦点距離　30mm　撮像範囲　62.1～400m
  4)焦点距離　48mm　撮像範囲　93.7～400m
  5)焦点距離　48mm　撮像範囲　100～400m
- 時間帯、車種　4種類
  1)時間帯：昼　車種：白系統
  2)時間帯：昼　車種：黒系統
  3)時間帯：夜　車種：ﾌﾞﾚｰｷﾗﾝﾌﾟ
  4)時間帯：夜　車種：ｽﾓｰﾙﾗﾝﾌﾟ

※但し、5)焦点距離　48mm　撮像範囲　100～800mの
1)時間帯：昼　車種：白系統はデータ収集を行わなかった。

（4）評価結果：次頁に表及びグラフを示す。
- 表中の ———— は計測不可の意味。
- 各パターンは下記の通り定義する。

昼	パターン1	焦点距離	8mm	撮像範囲	18.4～400m
	パターン2	焦点距離	15mm	撮像範囲	32.7～400m
	パターン3	焦点距離	30mm	撮像範囲	62.1～400m
	パターン4	焦点距離	48mm	撮像範囲	93.7～400m
	パターン5	焦点距離	48mm	撮像範囲	100 ～800m
夜	パターン1	焦点距離	48mm	撮像範囲	93.7～400m
	パターン2	焦点距離	30mm	撮像範囲	62.1～400m
	パターン3	焦点距離	15mm	撮像範囲	32.7～400m
	パターン4	焦点距離	8mm	撮像範囲	18.4～400m
	パターン5	焦点距離	48mm	撮像範囲	100 ～800m

＜昼間の計測実験結果＞

（１）パターン１　　焦点距離　8.0mm　　撮像範囲　18.4m～400m

図表(4.1.1)2-320　白系統車両

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	135.7	13:16:23	13:18:23	120sec	13:16:25	13:18:24	119sec
200	———	13:18:45	13:20:45	120sec	———	———	———
300	———	13:21:08	13:23:08	120sec	———	———	———
400	———	13:23:35	13:25:35	120sec	———	———	———

図表(4.1.1)2-321　黒系統車両

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	127.1	13:27:03	13:29:03	120sec	13:27:03	13:29:16	133sec
200	———	13:29:33	13:31:33	120sec	———	———	———
300	———	13:32:02	13:34:02	120sec	———	———	———
400	———	13:34:32	13:36:32	120sec	———	———	———

（２）パターン２　　焦点距離　15.0mm　　撮像範囲　32.7m～400m

図表(4.1.1)2-322 白系統車両

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	109.7	14:08:55	14:10:55	120sec	14:08:55	14:11:04	129sec
200	288.3	14:11:22	14:13:22	120sec	14:11:21	14:13:31	130sec
300	———	14:13:47	14:15:47	120sec	———	———	———
400	———	14:16:14	14:18:14	120sec	———	———	———

図表(4.1.1)2-323 黒系統車両

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	102.1	14:19:47	14:21:47	120sec	14:19:46	14:22:00	134sec
200	258.5	14:22:22	14:24:22	120sec	14:22:18	14:24:36	138sec
300	574.8	14:24:55	14:26:55	120sec	14:24:54	14:27:10	136sec
400	———	14:27:28	14:29:28	120sec	———	———	———

（３）パターン３　　焦点距離　30.0mm　　撮像範囲　62.1m～400m

図表(4.1.1)2-324 白系統車両

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	102.5	14:49:30	14:51:30	120sec	14:49:31	14:51:40	129sec
200	241.1	14:52:00	14:54:00	120sec	14:52:05	14:54:13	128sec
300	405.1	14:54:36	14:56:36	120sec	14:54:32	14:56:46	134sec
400	———	14:57:03	14:59:07	120sec	———	———	———

図表(4.1.1)2-325 黒系統車両

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	94.5	15:00:46	15:02:46	120sec	15:00:45	15:03:01	136sec
200	216.5	15:03:21	15:05:21	120sec	15:03:20	15:05:36	136sec
300	374.5	15:05:55	15:07:55	120sec	15:05:54	15:08:09	135sec
400	———	15:08:29	15:10:29	120sec	———	———	———

（４）パターン４　　焦点距離　48.0mm　　撮像範囲　93.7m～400m

図表(4.1.1)2-326 白系統車両

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	95.9	15:22:41	15:24:41	120sec	15:22:40	15:24:48	128sec
200	208.8	15:25:06	15:27:06	120sec	15:25:05	15:27:10	125sec
300	334.8	15:27:34	15:29:34	120sec	15:27:31	15:29:42	131sec
400	494.0	15:30:04	15:32:04	120sec	15:29:59	15:32:09	130sec

図表(4.1.1)2-327 黒系統車両

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	95.1	15:33:25	15:35:25	120sec	15:33:22	15:35:35	133sec
200	208.8	15:35:57	15:37:57	120sec	15:35:53	15:38:06	133sec
300	334.8	15:38:29	15:40:29	120sec	15:38:23	15:40:41	138sec
400	494.0	15:41:03	15:43:03	120sec	15:40:58	15:43:13	135sec

＜夜間の計測実験結果＞

（１）パターン１　　焦点距離　48.0mm　　撮像範囲　93.7m～400m

図表(4.1.1)2-328　ブレーキランプ

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	100.1	17:47:51	17:49:51	120sec	17:47:50	17:49:57	127sec
200	210.9	17:50:22	17:52:22	120sec	17:50:20	17:52:30	130sec
300	345.3	17:52:55	17:54:55	120sec	17:52:52	17:55:01	129sec
400	500.8	17:55:25	17:57:25	120sec	17:55:21	17:57:43	138sec

図表(4.1.1)2-329　スモールランプ

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	95.4	18:02:59	18:04:59	120sec	18:02:55	18:05:10	135sec
200	210.9	18:05:33	18:07:33	120sec	18:05:32	18:07:40	128sec
300	345.3	18:08:07	18:10:07	120sec	18:08:06	18:10:15	129sec
400	500.8	18:10:40	18:12:40	120sec	18:10:35	18:12:49	134sec

（２）パターン２　　焦点距離　30.0mm　　撮像範囲　62.1m～400m

図表(4.1.1)2-330　ブレーキランプ

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	91.5	18:28:22	18:30:22	120sec	18:28:17	18:30:32	135sec
200	201.3	18:30:55	18:32:55	120sec	18:30:52	18:33:06	134sec
300	323.9	18:33:26	18:35:26	120sec	18:33:22	18:35:36	134sec
400	465.2	18:36:00	18:38:00	120sec	18:35:54	18:38:08	134sec

図表(4.1.1)2-331　スモールランプ

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	92.7	18:39:49	18:41:49	120sec	18:39:45	18:41:59	134sec
200	201.3	18:42:21	18:44:21	120sec	18:42:18	18:44:31	133sec
300	323.9	18:44:54	18:46:54	120sec	18:44:50	18:47:07	137sec
400	465.2	18:47:28	18:49:28	120sec	18:47:23	18:49:59	156sec

（３）パターン３　　焦点距離　15.0mm　　撮像範囲　32.7m～400m

図表(4.1.1)2-332　ブレーキランプ

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	93.7	19:15:25	19:17:25	120sec	19:15:23	19:17:34	131sec
200	217.8	19:18:00	19:20:00	120sec	19:17:56	19:20:07	131sec
300	366.6	19:20:31	19:22:31	120sec	19:20:27	19:22:44	137sec
400	578.6	19:23:09	19:25:09	120sec	19:23:03	19:25:19	136sec

図表(4.1.1)2-333　スモールランプ

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	96.3	19:26:47	19:28:47	120sec	19:26:51	19:28:54	123sec
200	224.9	19:29:21	19:31:21	120sec	19:29:21	19:31:33	132sec
300	386.9	19:31:53	19:33:53	120sec	19:31:51	19:34:07	136sec
400	630.7	19:34:28	19:36:28	120sec	19:34:27	19:36:20	113sec

（４）パターン４　　焦点距離　8.0mm　　撮像範囲　18.4m～400m

図表(4.1.1)2-334　ブレーキランプ

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	107.9	19:43:12	19:45:12	120sec	19:43:10	19:45:20	130sec
200	293.5	19:45:41	19:47:41	120sec	19:45:37	19:47:48	131sec
300	763.0	19:48:09	19:50:09	120sec	19:48:07	19:50:21	134sec
400	———	19:50:39	19:52:39	120sec	———	———	———

図表(4.1.1)2-335　スモールランプ

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
100	107.9	19:54:37	19:56:37	120sec	19:54:33	19:56:47	134sec
200	318.0	19:57:08	19:59:08	120sec	19:57:08	19:59:20	132sec
300	763.0	19:59:41	20:01:41	120sec	19:59:37	20:01:55	138sec
400	———	20:02:16	20:04:16	120sec	———	———	———

カバーエリアの追加評価

＜昼間の計測実験結果＞

パターン5　　焦点距離　48.0mm　　撮像範囲　100m～800m

図表(4.1.1)2-336　黒系統車両

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
500	570.0	15:58:18	16:00:18	120sec	15:58:00	15:58:39	39sec
600	———	16:02:28	16:04:28	120sec	———	———	———
700	———	16:05:20	16:07:20	120sec	———	———	———
800	———	16:08:08	16:10:08	120sec	———	———	———

＜夜間の計測実験結果＞

パターン5　　焦点距離　48.0mm　　撮像範囲　100m～800m

図表(4.1.1)2-337　ブレーキランプ

停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
500	570.9	17:30:59	17:32:59	120sec	17:30:53	17:33:11	138sec
600	795.4	17:33:40	17:35:40	120sec	17:33:36	17:35:53	137sec
700	1012.5	17:36:16	17:38:16	120sec	17:36:13	17:38:28	135sec
800	1237.6	17:38:54	17:40:54	120sec	17:38:55	17:40:58	123sec

図表(4.1.1)2-338　スモールランプ

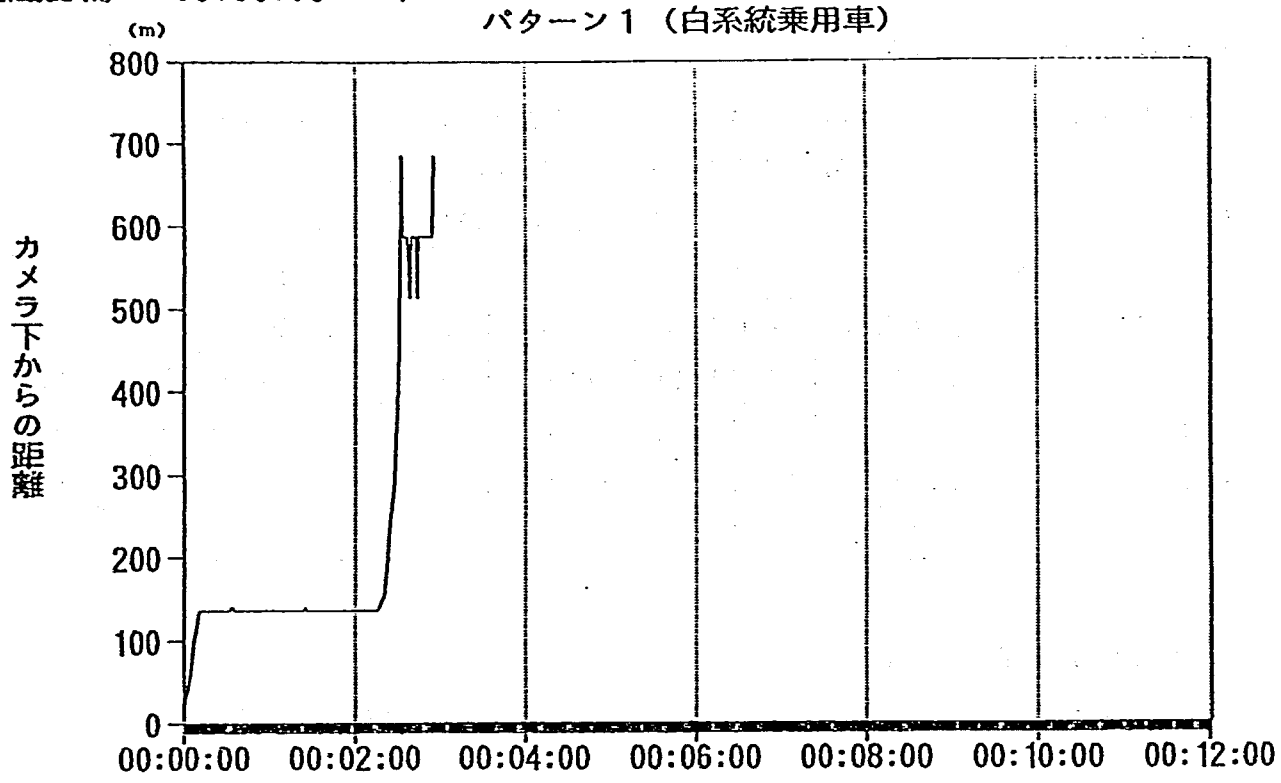
停止位置 [m]		停止時刻 (hh:mm:ss)					
真値	計測値	真値			計測値		
		開始時刻	終了時刻	時間	判定時刻	解除時刻	時間
500	494.7	20:12:12	20:14:12	120sec	20:12:11	20:14:29	138sec
600	654.9	20:14:57	20:16:57	120sec	20:14:54	20:17:12	138sec
700	768.0	20:17:33	20:19:33	120sec	20:17:28	20:19:45	137sec
800	———	20:20:10	20:22:10	120sec	———	———	———

図表(4.1.1)2-339

焦点距離　8.0mm
撮像範囲　18.4m～400m
計測開始時刻　13:16:10

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン1（白系統乗用車）

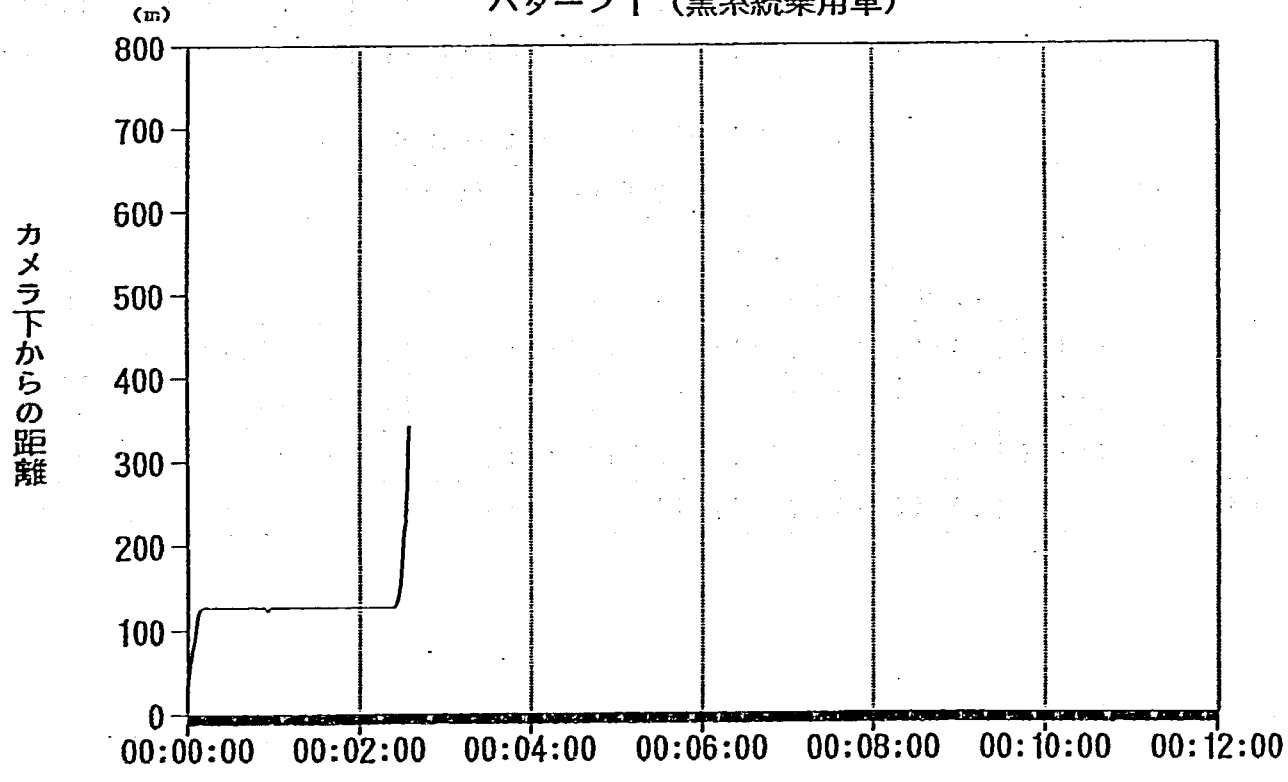


図表(4.1.1)2-340

焦点距離　8.0mm
撮像範囲　18.4m～400m
計測開始時刻　13:26:49

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン1（黒系統乗用車）

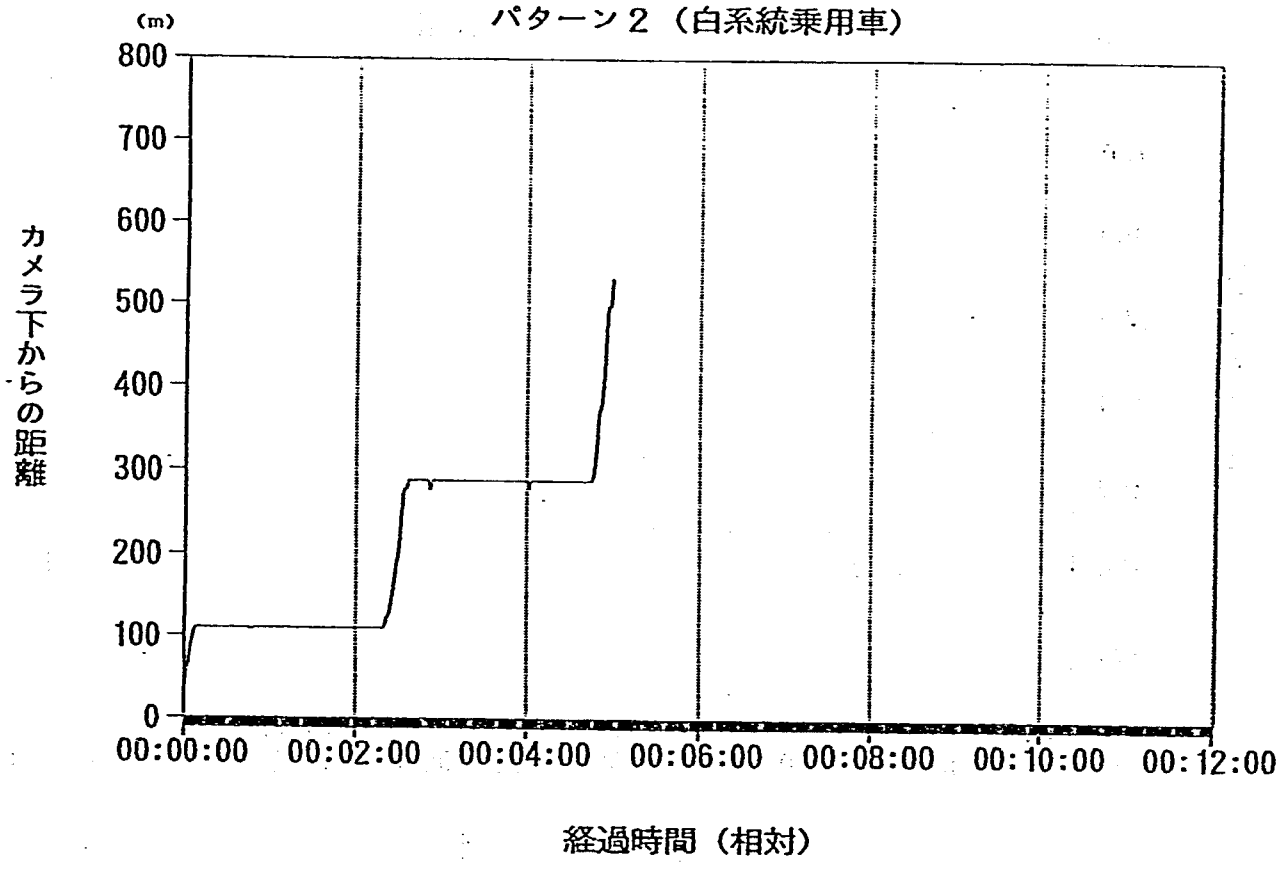


図表(4.1.1)2-341

焦点距離　15.0mm
撮像範囲　32.7m～400m
計測開始時刻　14:08:44

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン２（白系統乗用車）

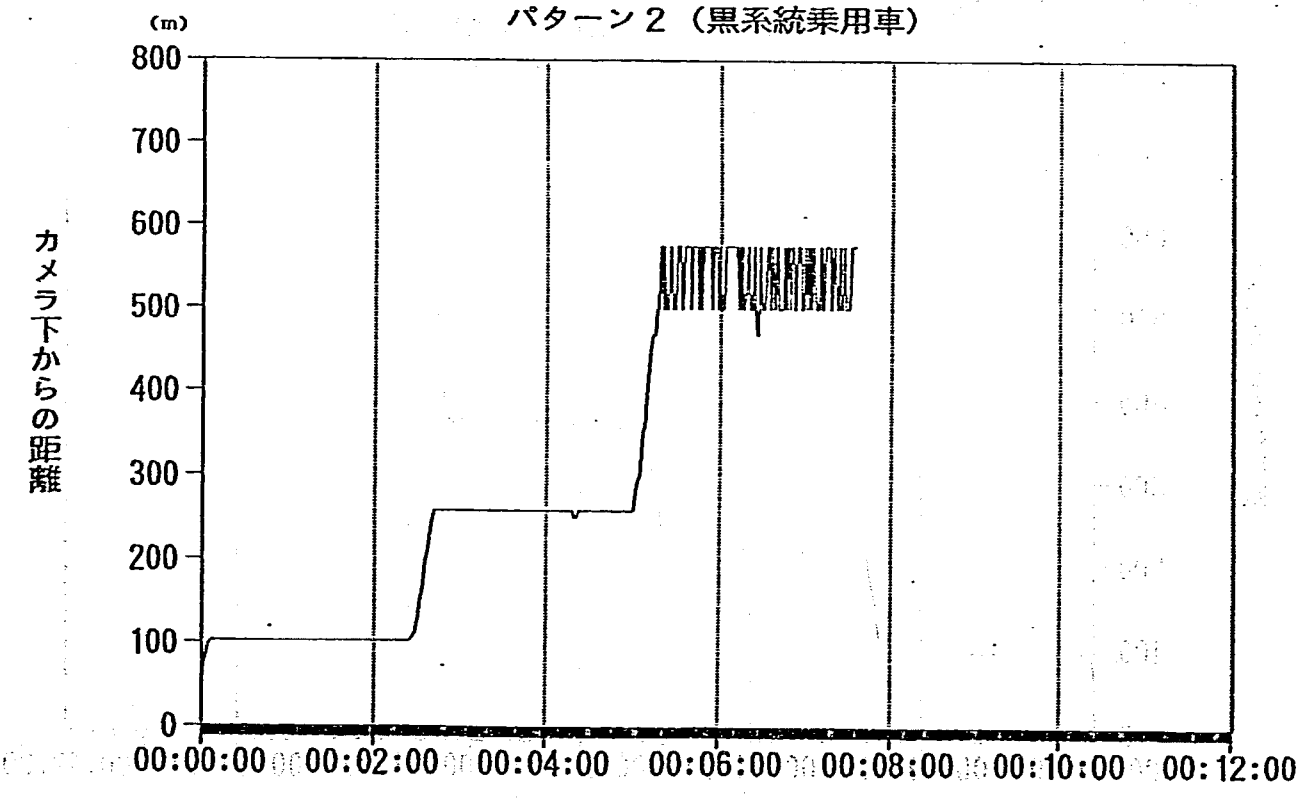


図表(4.1.1)2-342

焦点距離　15.0mm
撮像範囲　32.7m～400m
計測開始時刻　14:19:33

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン２（黒系統乗用車）

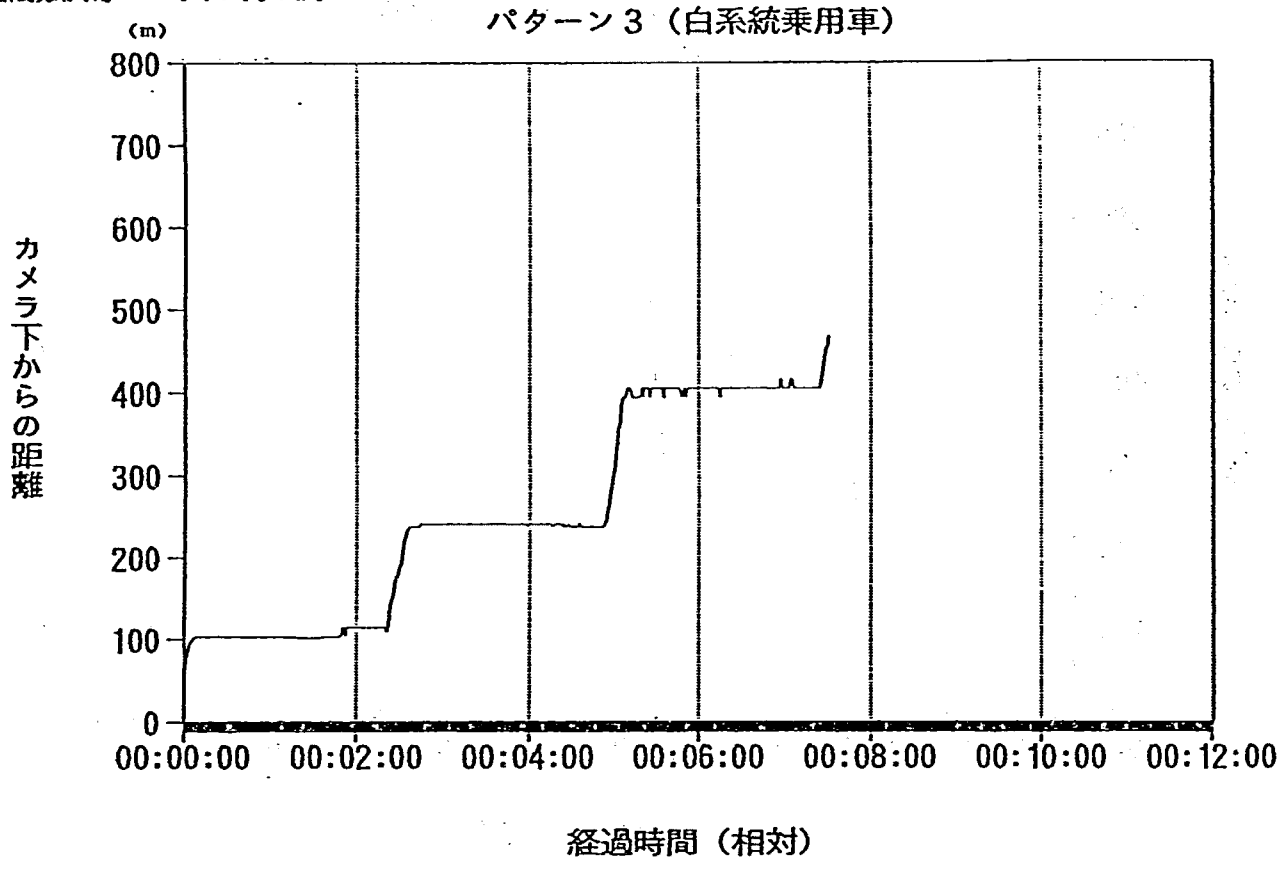


図表(4.1.1)2-343

焦点距離　30.0mm
撮像範囲　62.1m～400m
計測開始時刻　14:49:20

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン３（白系統乗用車）

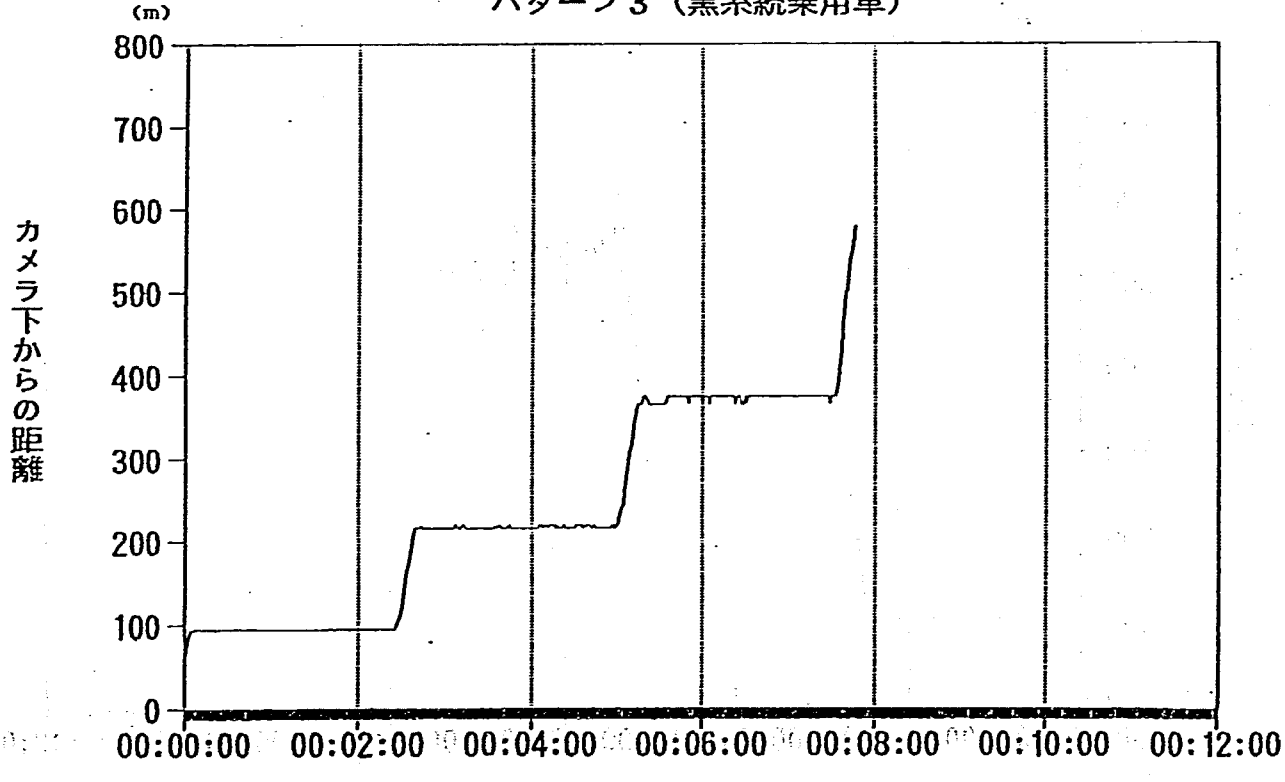


図表(4.1.1)2-344

焦点距離　30.0mm
撮像範囲　62.1m～400m
計測開始時刻　15:00:35

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン３（黒系統乗用車）

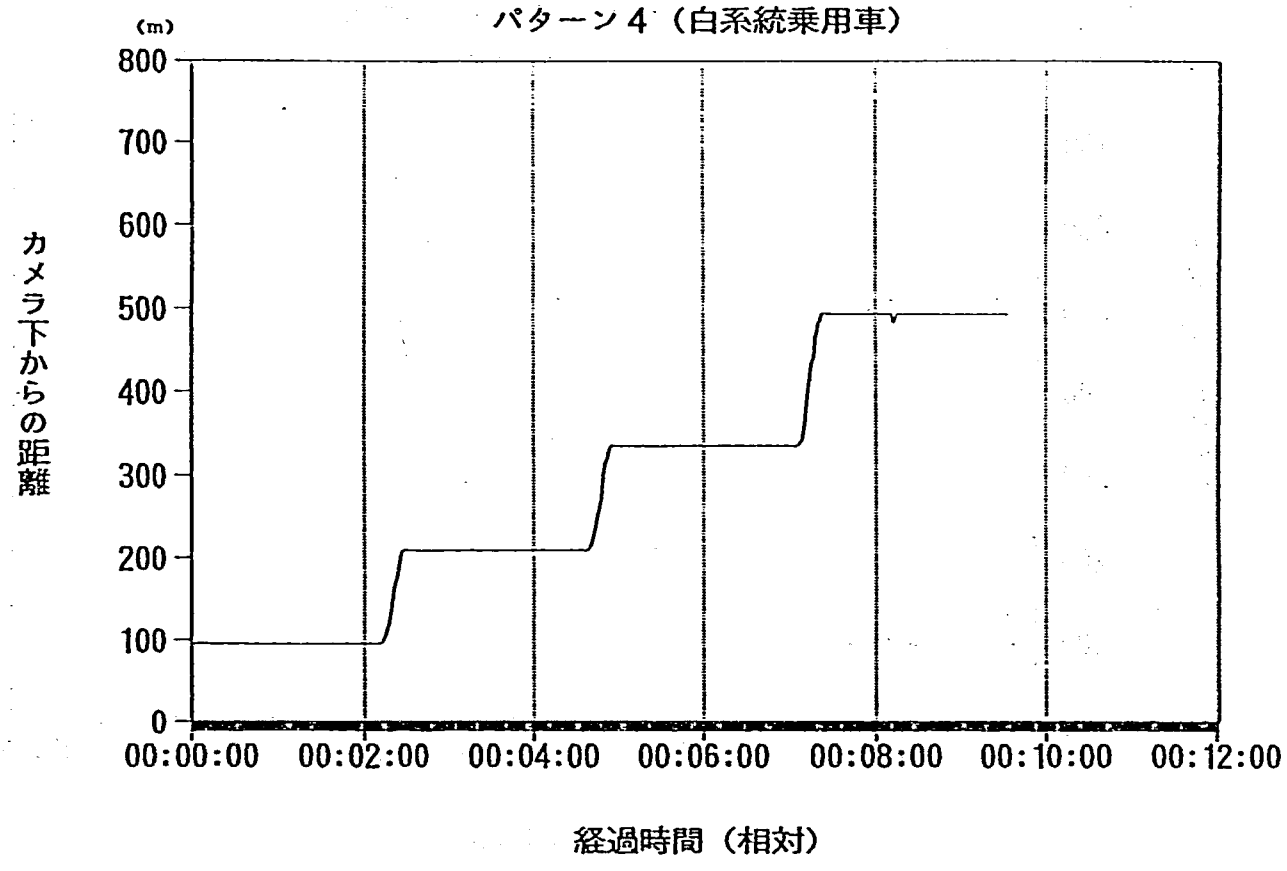


図表(4.1.1)2-345

焦点距離　48.0mm
撮影範囲　93.7m～400m
計測開始時刻　15:22:35

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン4（白系統乗用車）

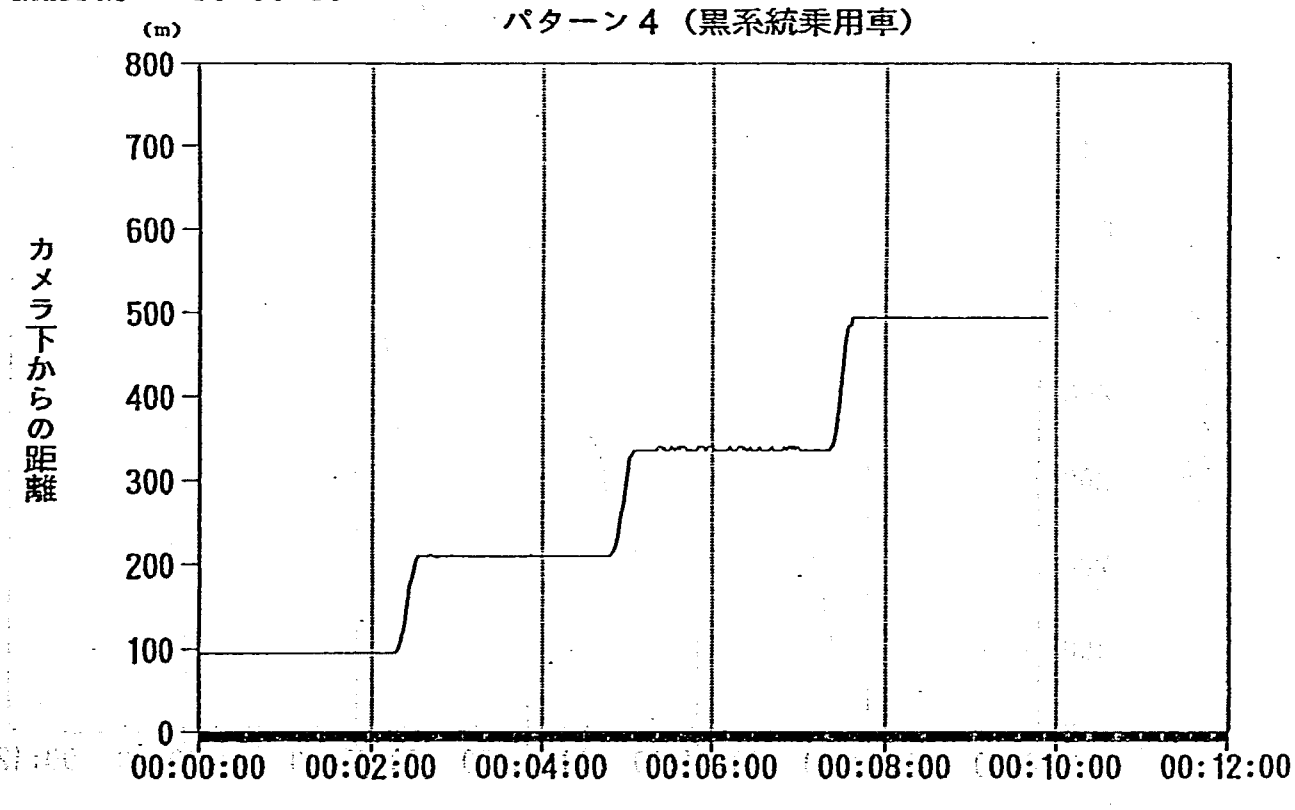


図表(4.1.1)2-346

焦点距離　48.0mm
撮影範囲　93.7m～400m
計測開始時刻　15:33:18

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン4（黒系統乗用車）

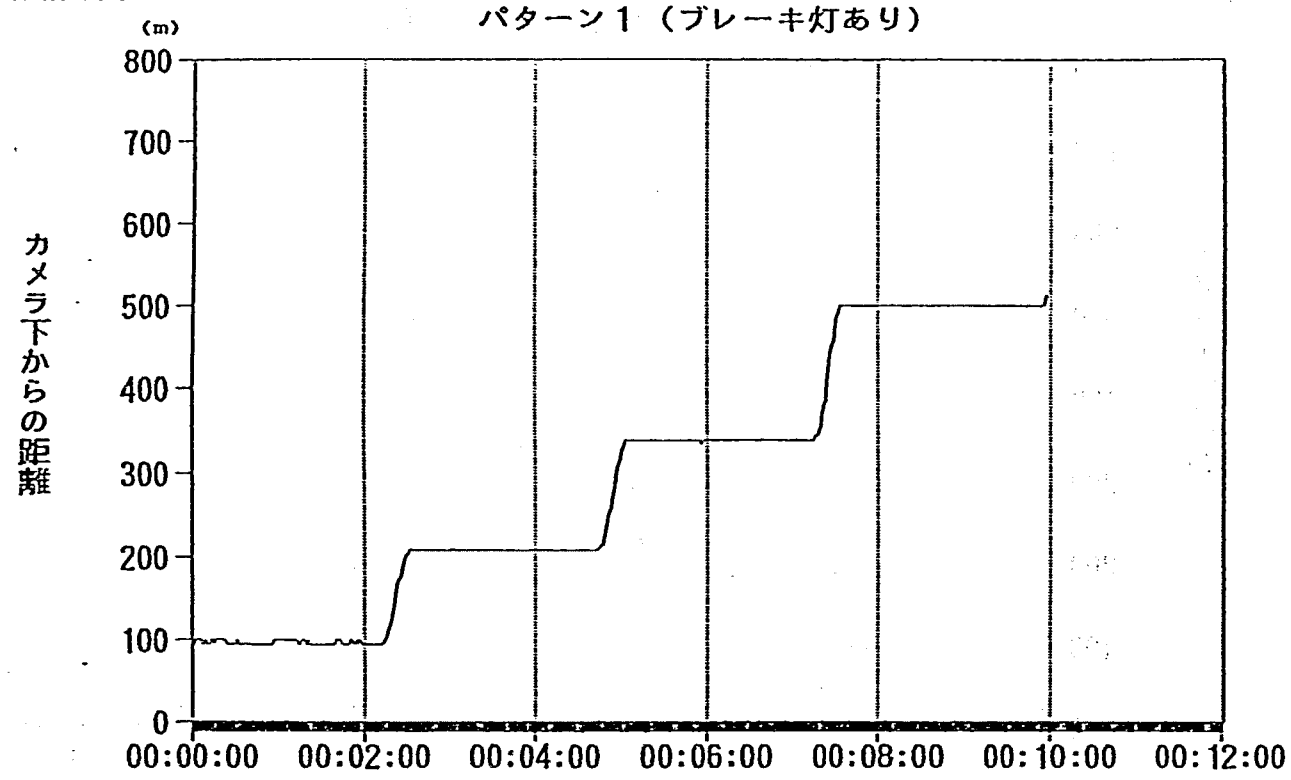


図表(4.1.1)2-347

焦点距離　48.0m
撮像範囲　93.7m～400m
計測開始時刻　17:47:45

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン1（ブレーキ灯あり）

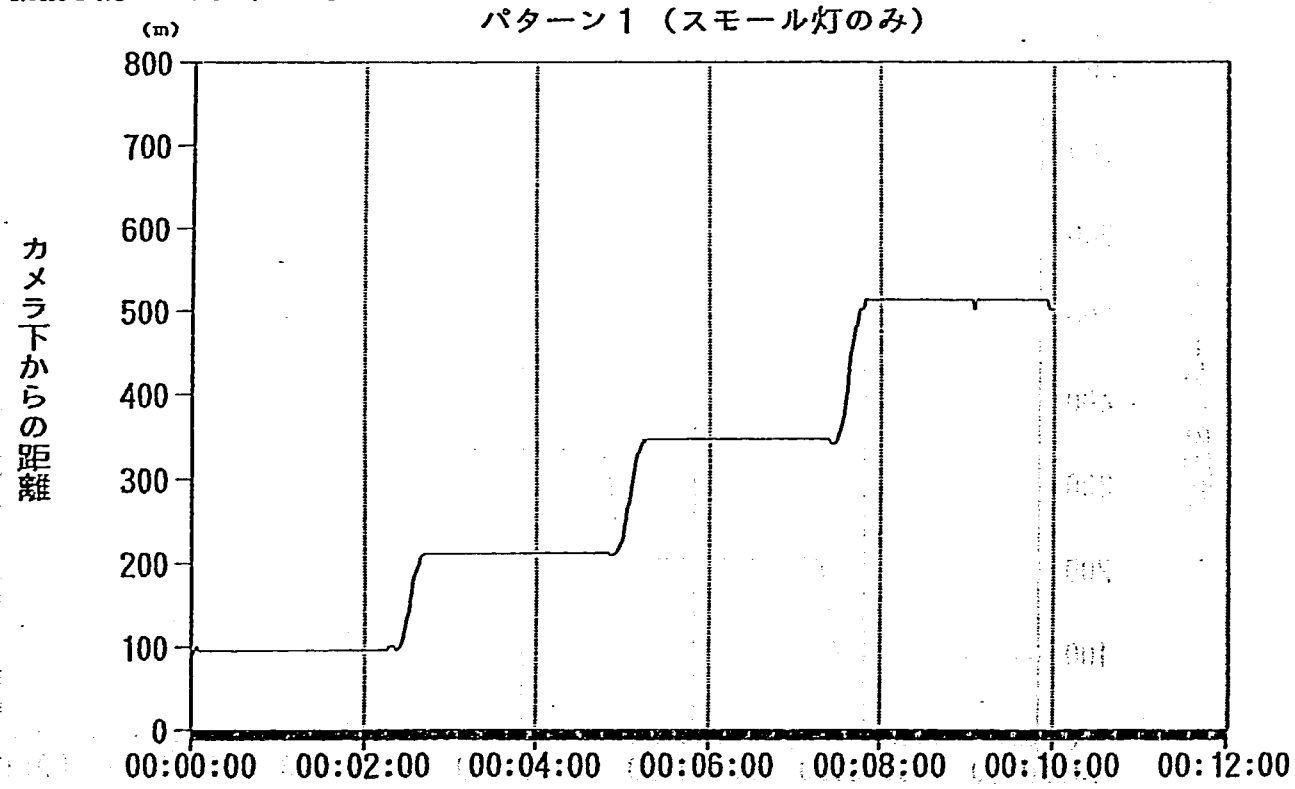


図表(4.1.1)2-348

焦点距離　48.0m
撮像範囲　93.7m～400m
計測開始時刻　18:02:48

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン1（スモール灯のみ）

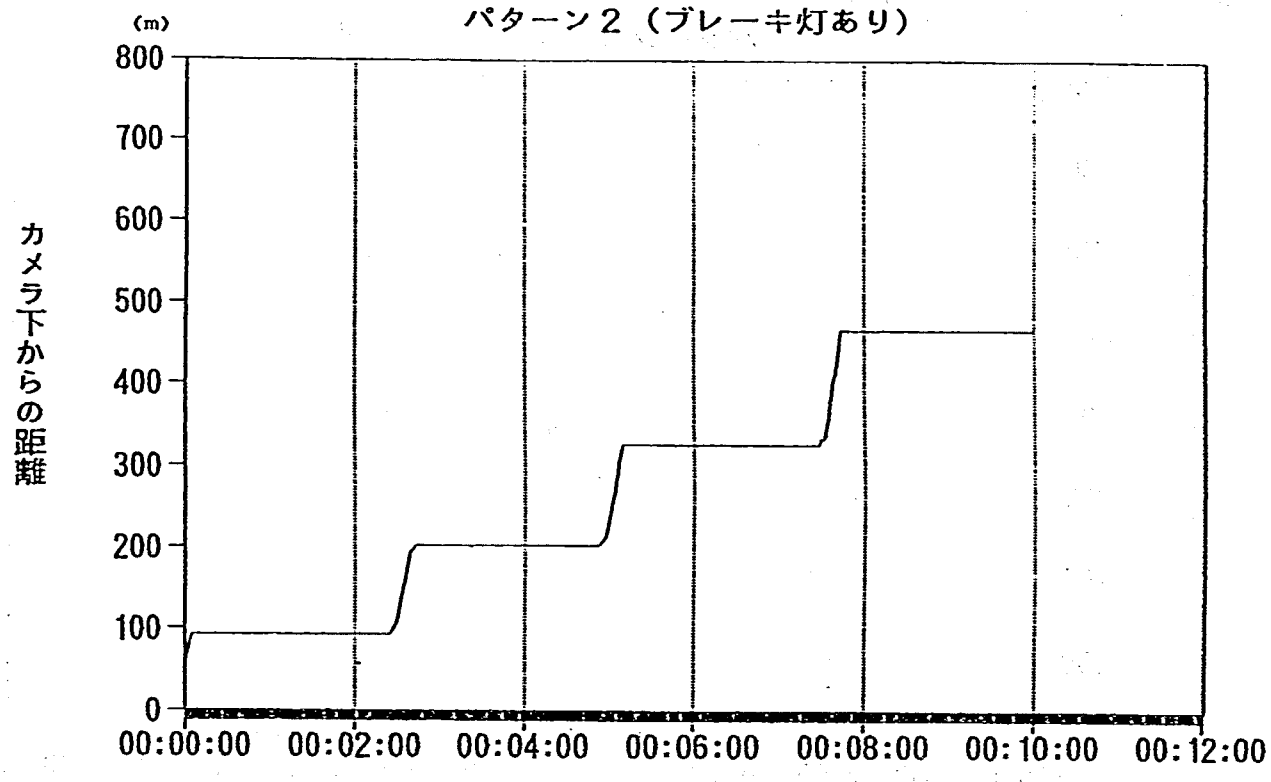


図表(4.1.1)2-349

焦点距離　30.0mm
撮像範囲　62.1m～400m
計測開始時刻　18:28:08

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン２（ブレーキ灯あり）

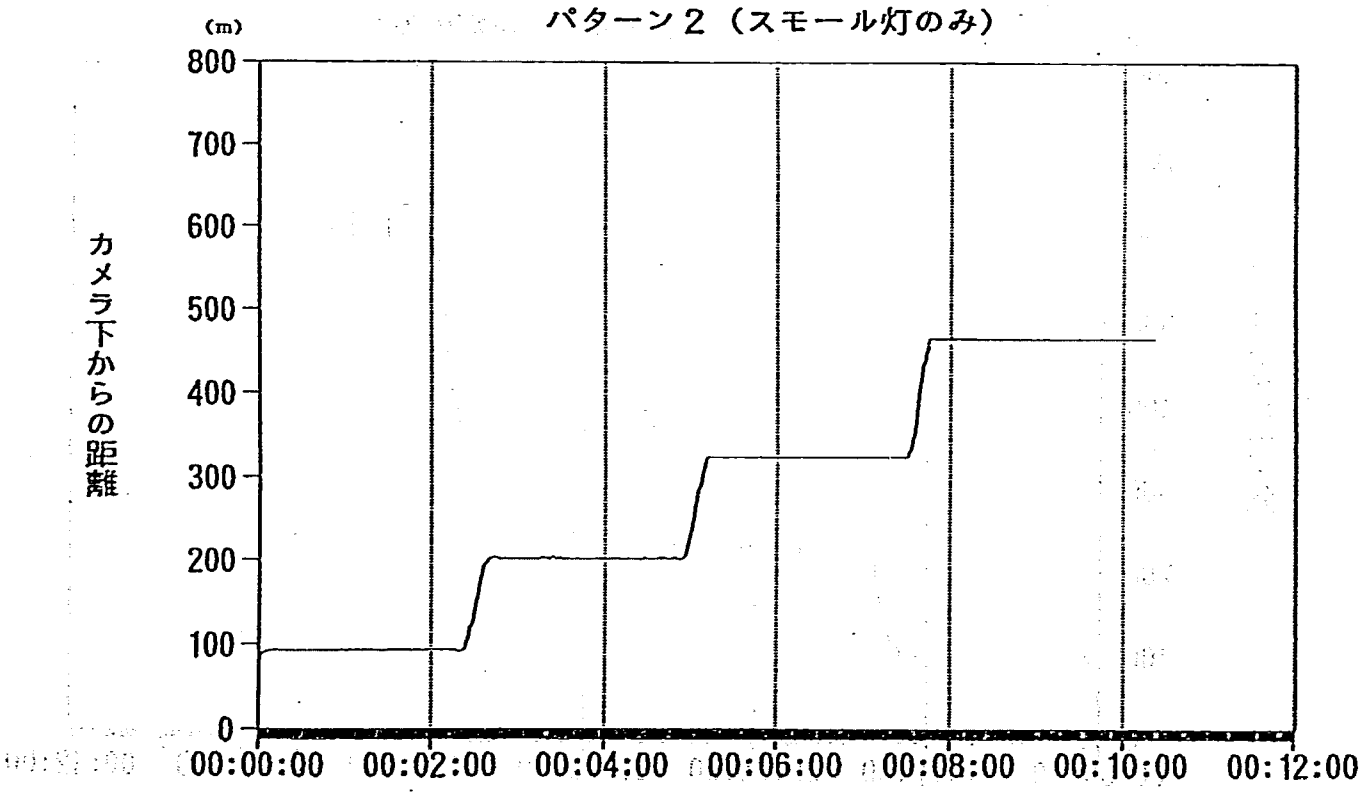


図表(4.1.1)2-350

焦点距離　30.0mm
撮像範囲　62.1m～400m
計測開始時刻　18:39:36

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン２（スモール灯のみ）

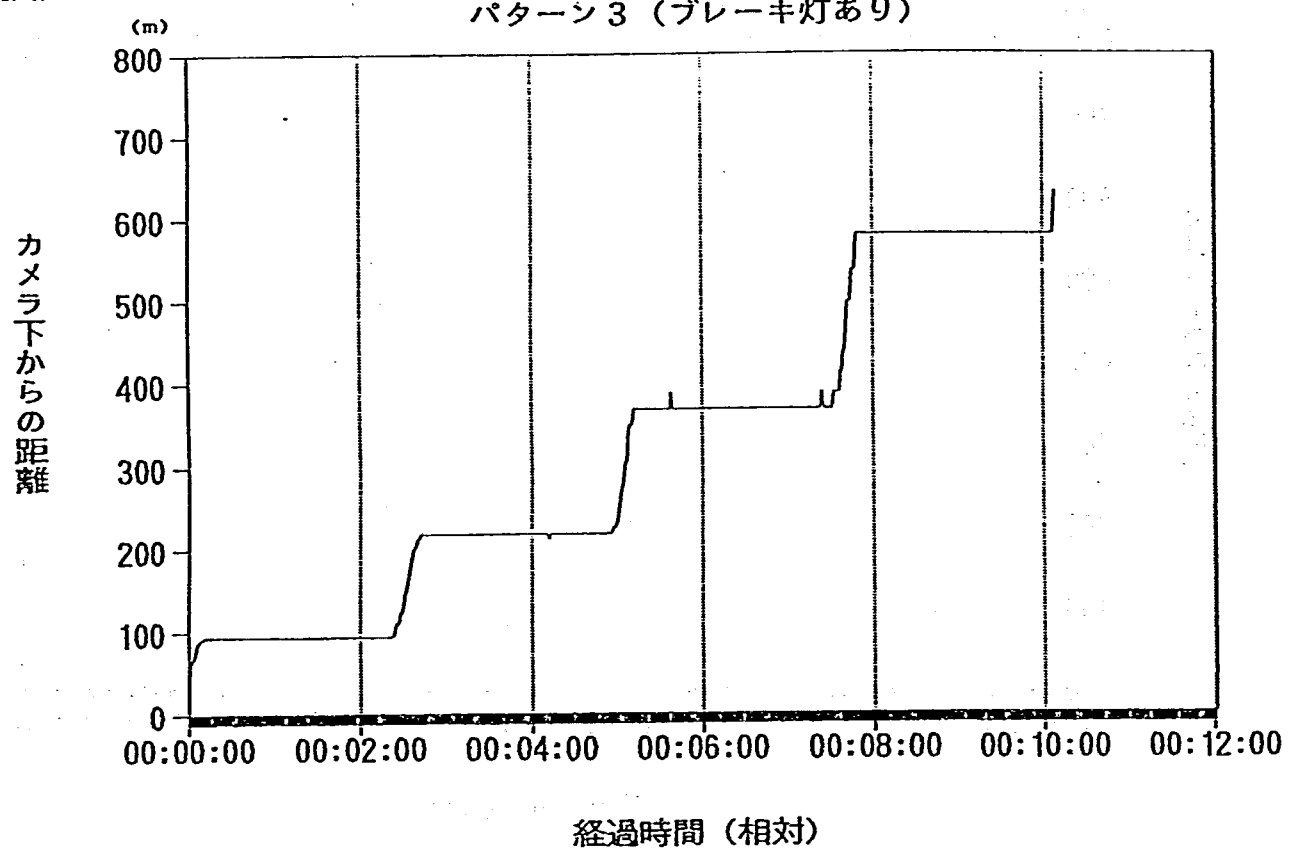


図表(4.1.1)2-351

焦点距離　15.0mm
撮像範囲　32.7m～400m
計測開始時刻　19:15:12

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン３（ブレーキ灯あり）

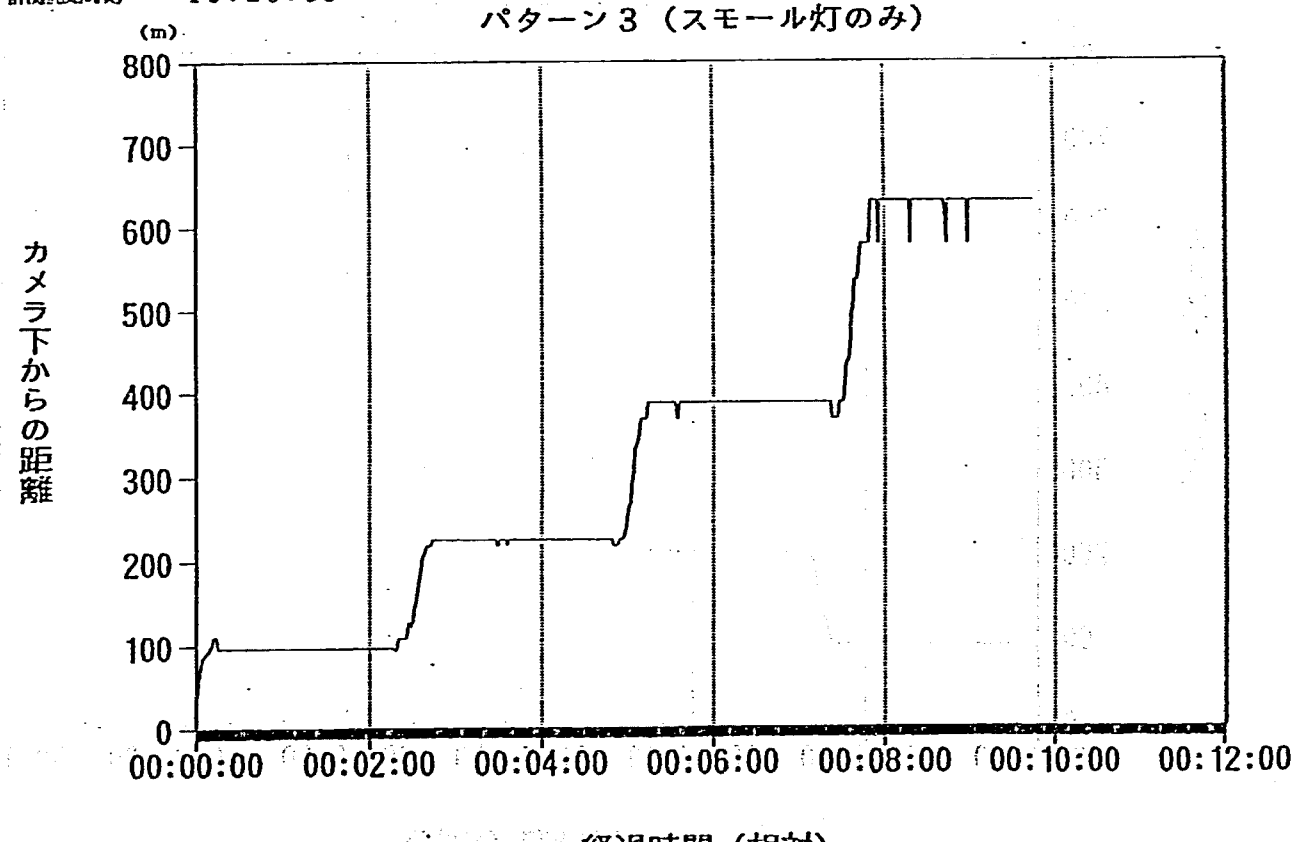


図表(4.1.1)2-352

焦点距離　15.0mm
撮像範囲　32.7m～400m
計測開始時刻　19:26:35

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン３（スモール灯のみ）

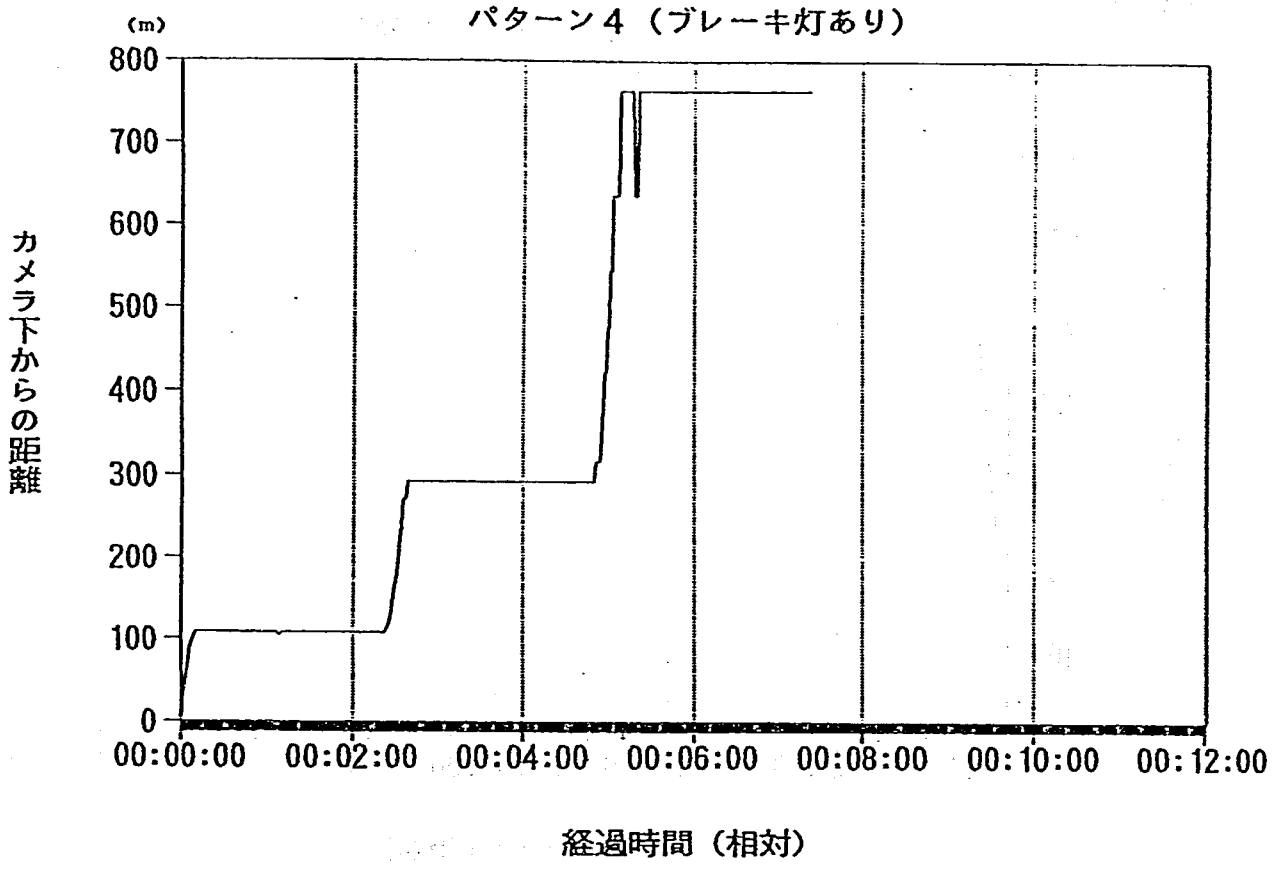


図表(4.1.1)2-353

焦点距離　8.0mm
撮像範囲　18.4m～400m
計測開始時刻　19:42:57

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン４（ブレーキ灯あり）

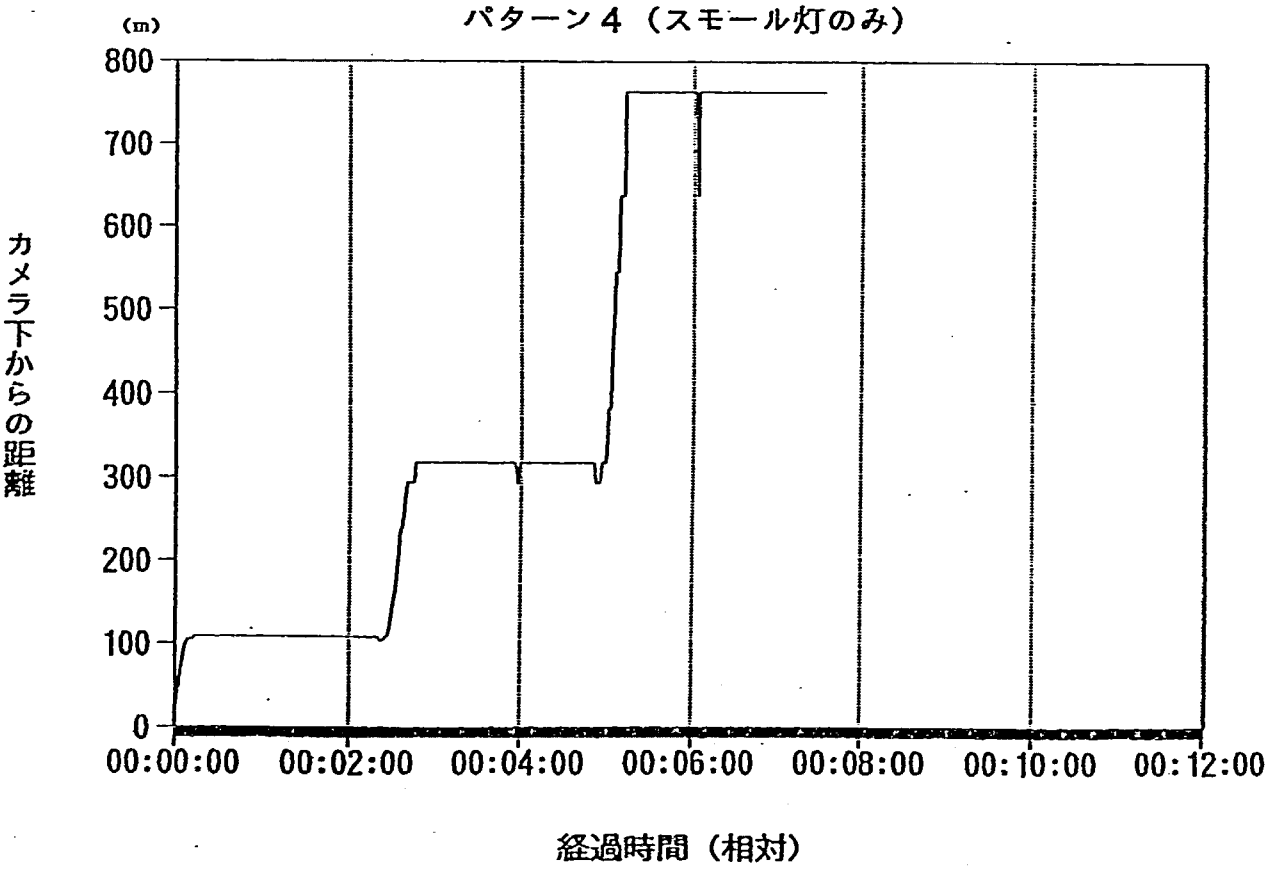


図表(4.1.1)2-354

焦点距離　8.0mm
撮像範囲　18.4m～400m
計測開始時刻　19:54:20

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

パターン４（スモール灯のみ）

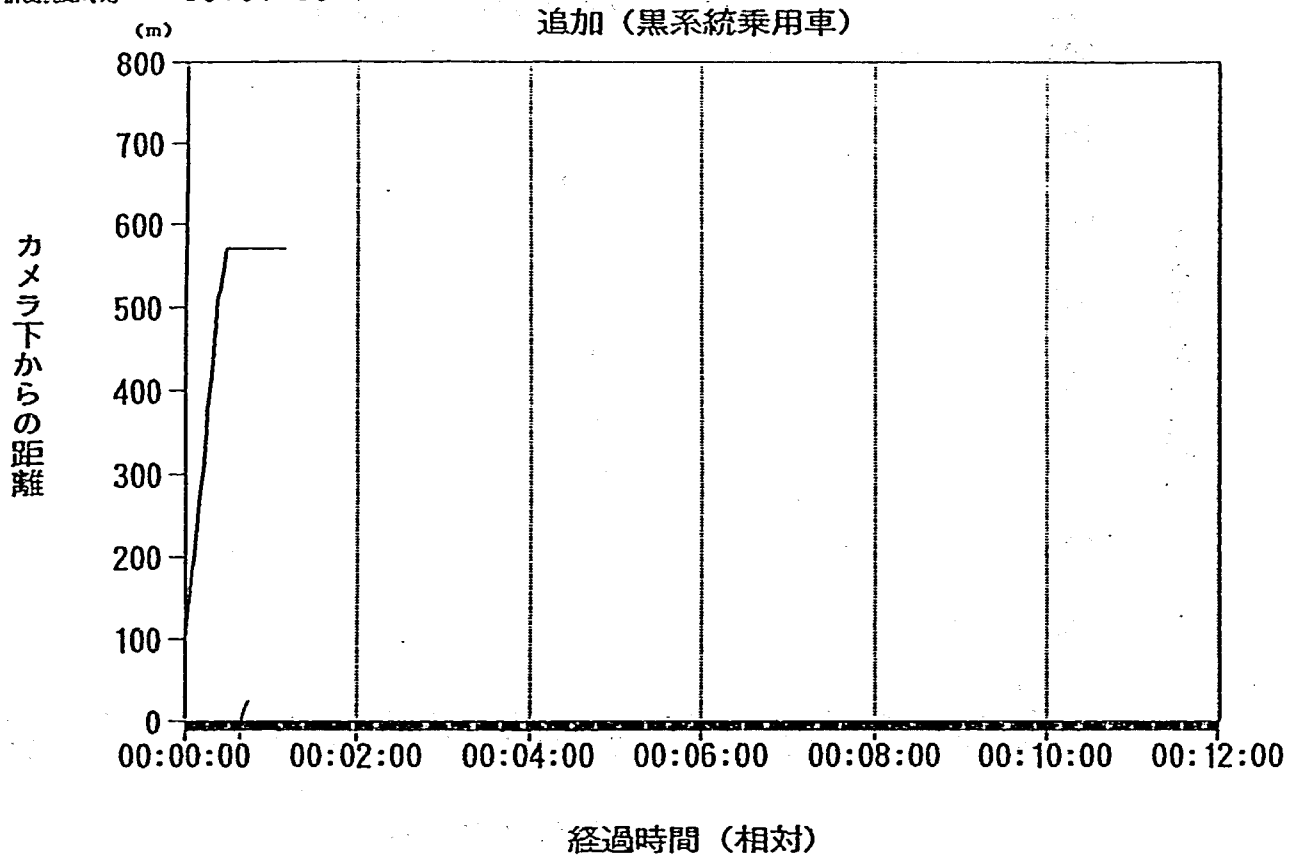


図表(4.1.1)2-355

焦点距離　48.0mm
撮影範囲　100m～800m
計測開始時刻　15:57:29

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

追加（黒系統乗用車）

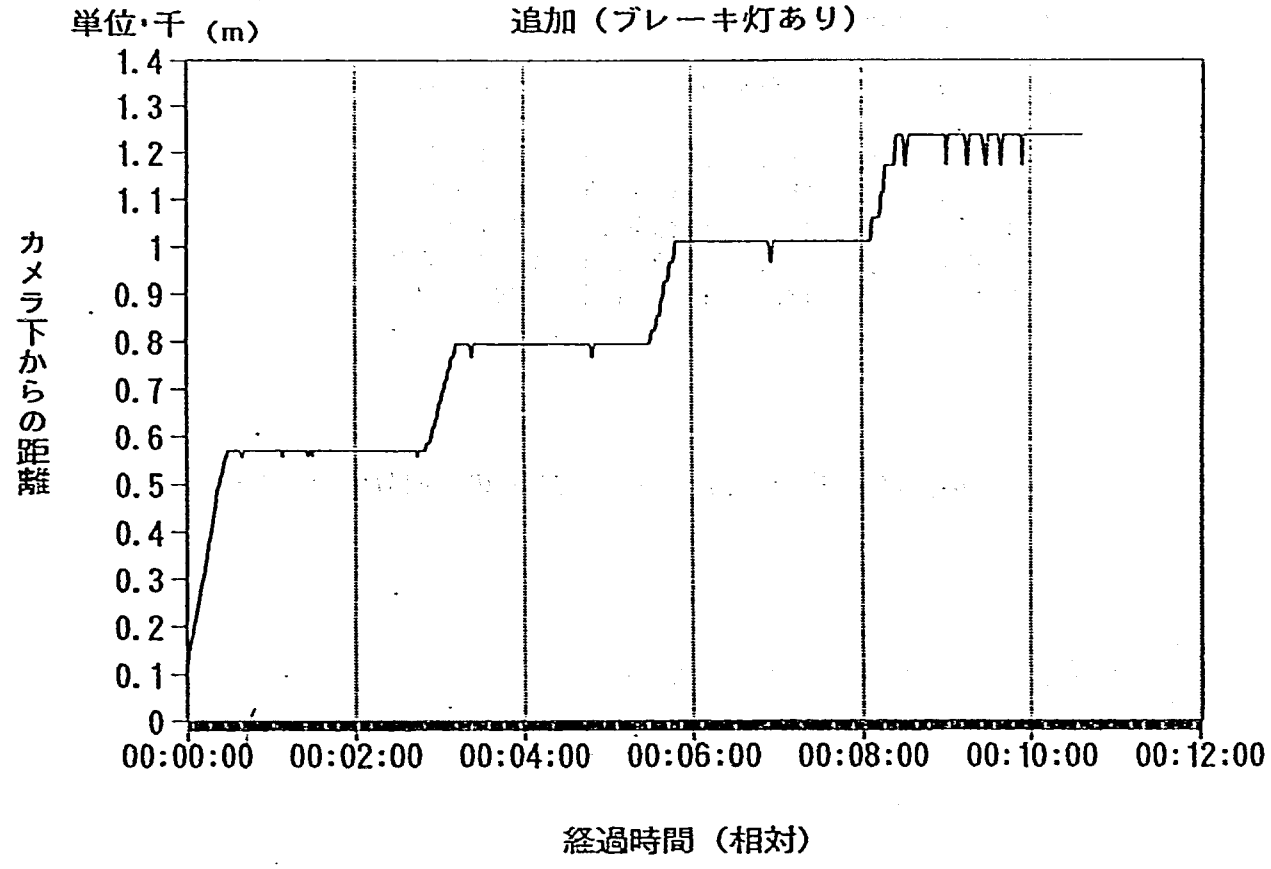


図表(4.1.1)2-356

焦点距離　48.0mm
撮像範囲　100m～800m
計測開始時刻　17:30:21

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

追加（ブレーキ灯あり）

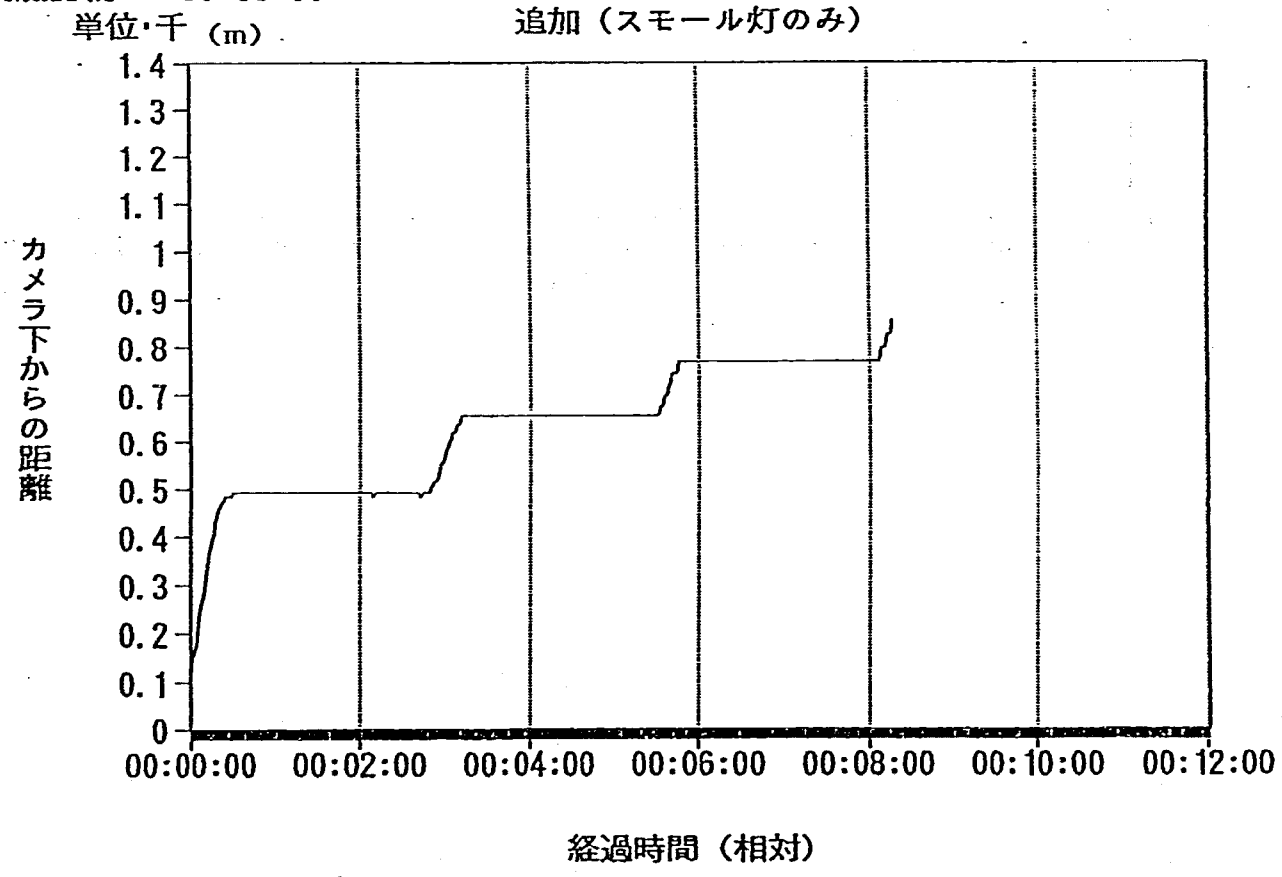


図表(4.1.1) 2-357

焦点距離　48.0mm
撮像範囲　100m～800m
計測開始時刻　20:11:39

経過時間と車両までの距離の関係グラフ

追加（スモール灯のみ）

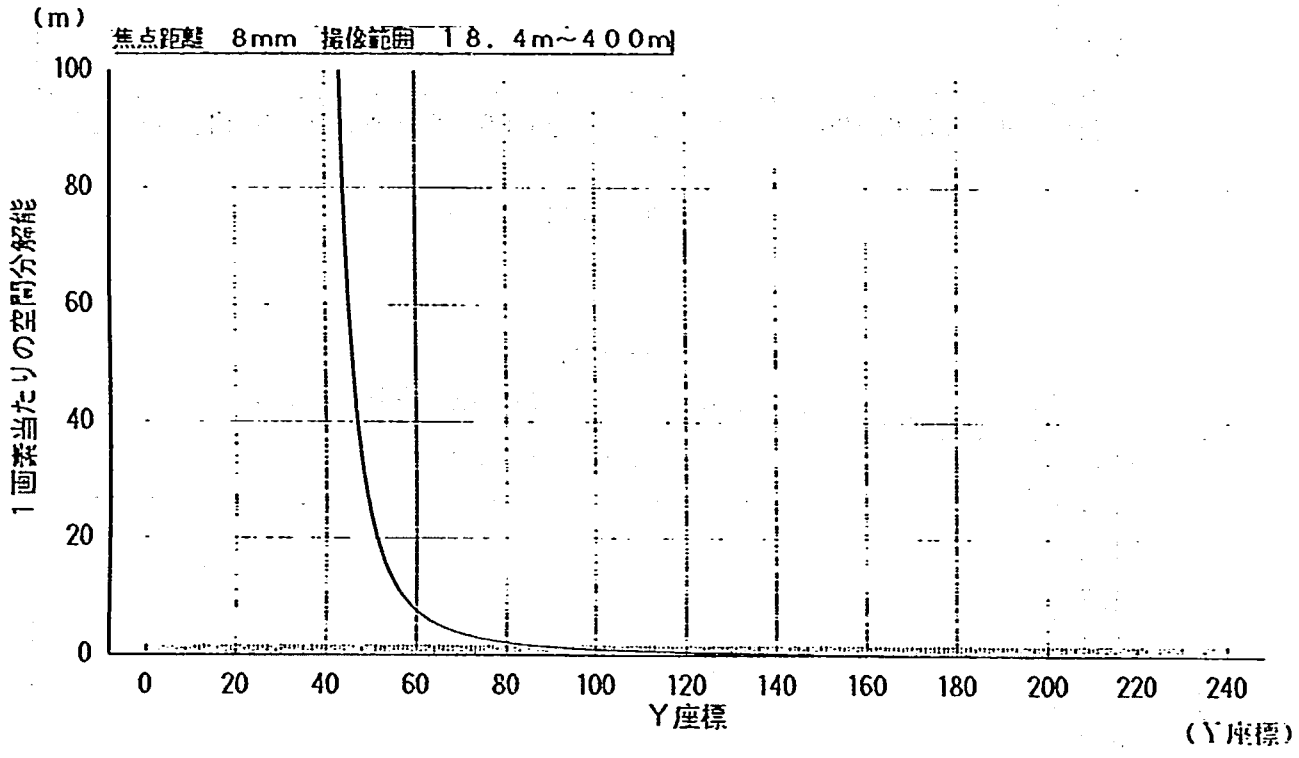


1．2　各パターンの分解能グラフ

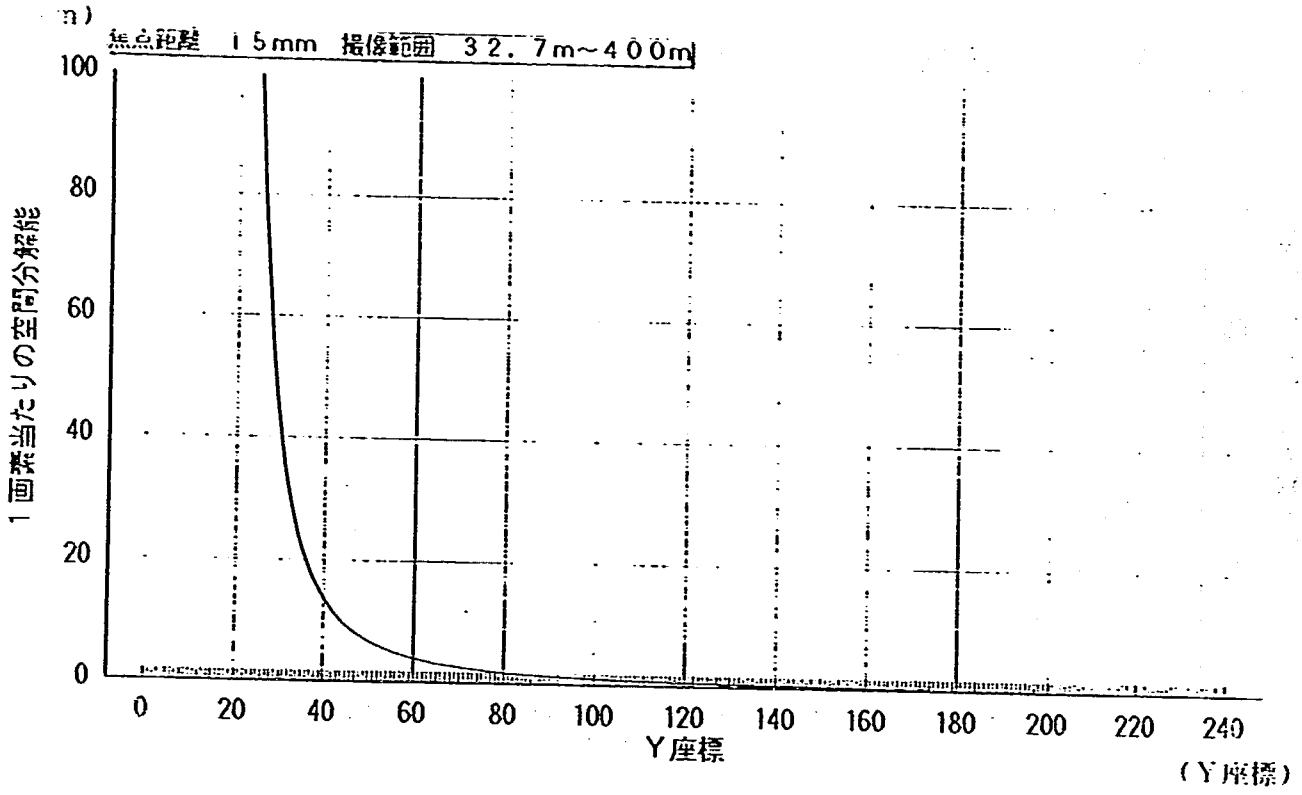
下記について作成した分解能グラフを以下に示す。

1)焦点距離　8mm　撮像範囲　18.4～400m
2)焦点距離　15mm　撮像範囲　32.7～400m
3)焦点距離　30mm　撮像範囲　62.1～400m
4)焦点距離　48mm　撮像範囲　93.7～400m
5)焦点距離　48mm　撮像範囲　100 ～800m

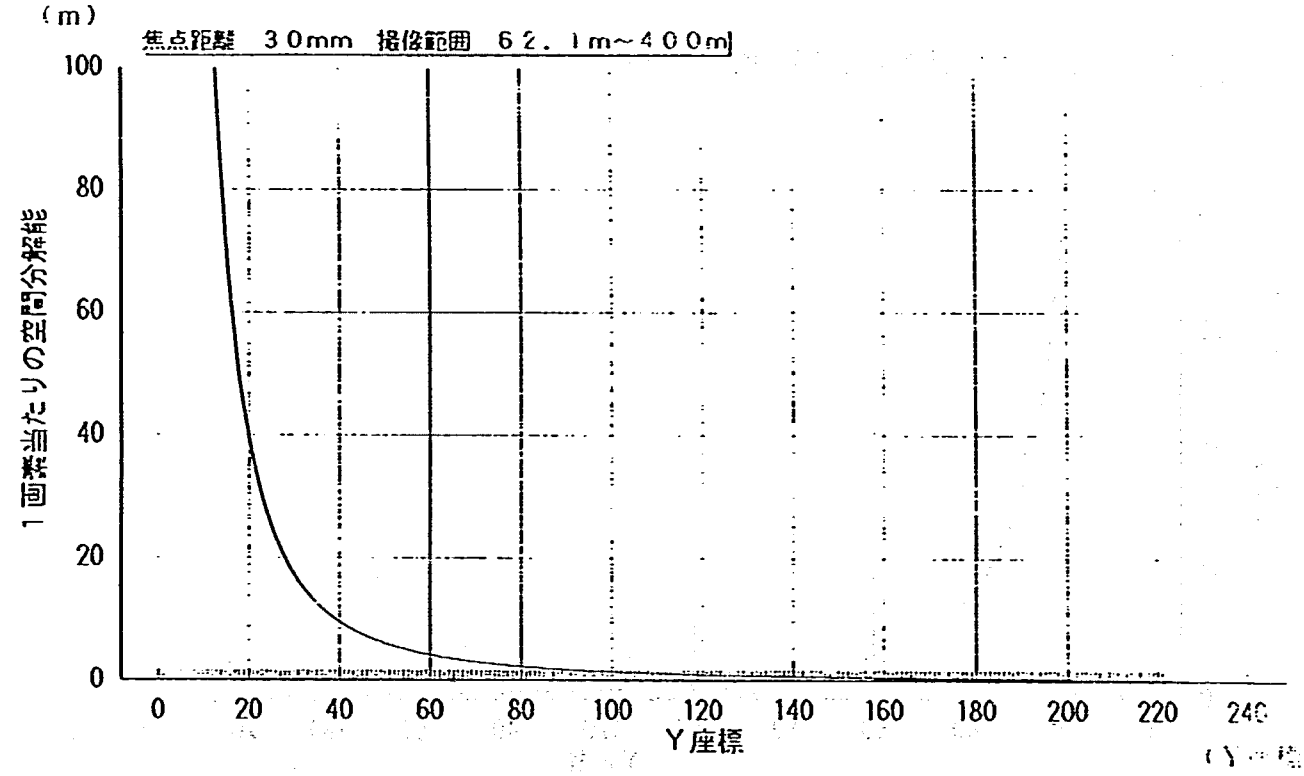
図表(4.1.1) 2-358　1画素当たりの空間分解能（1）



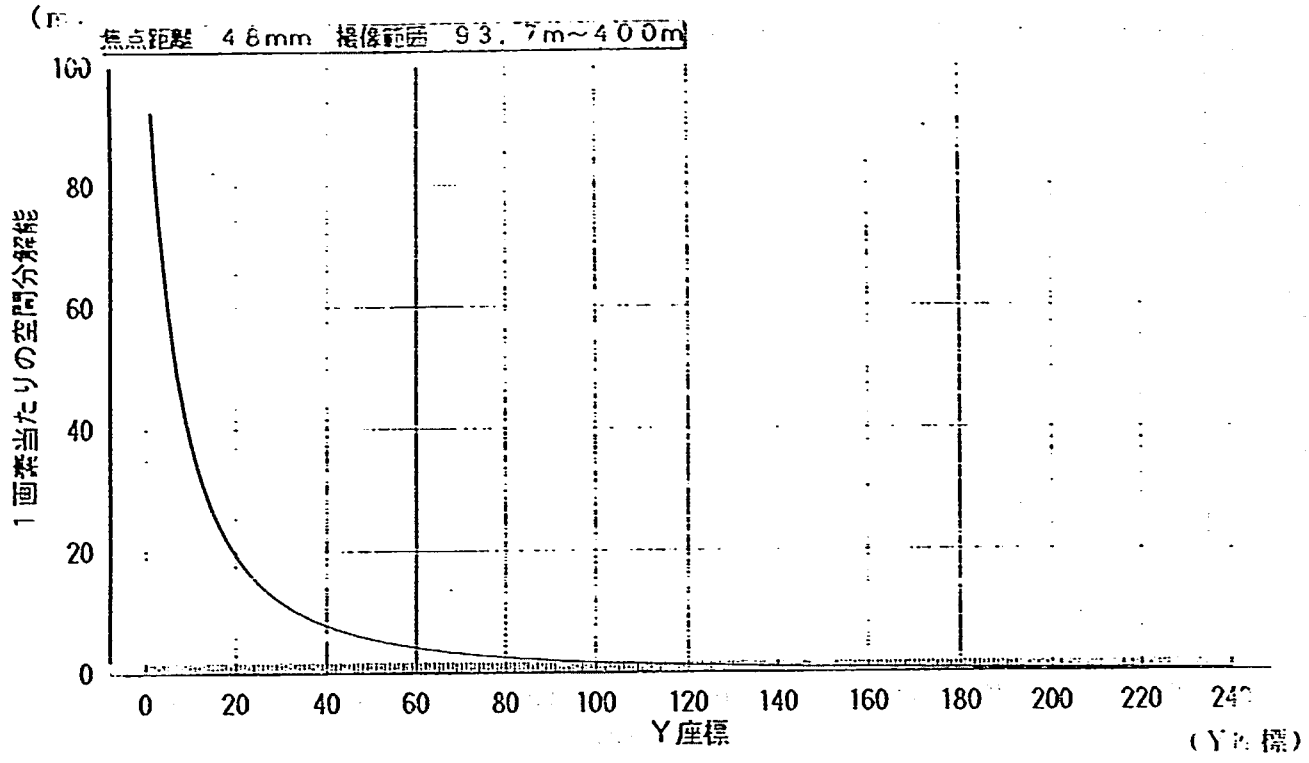
図表(4.1.1) 2-359　1画素当たりの空間分解能（2）



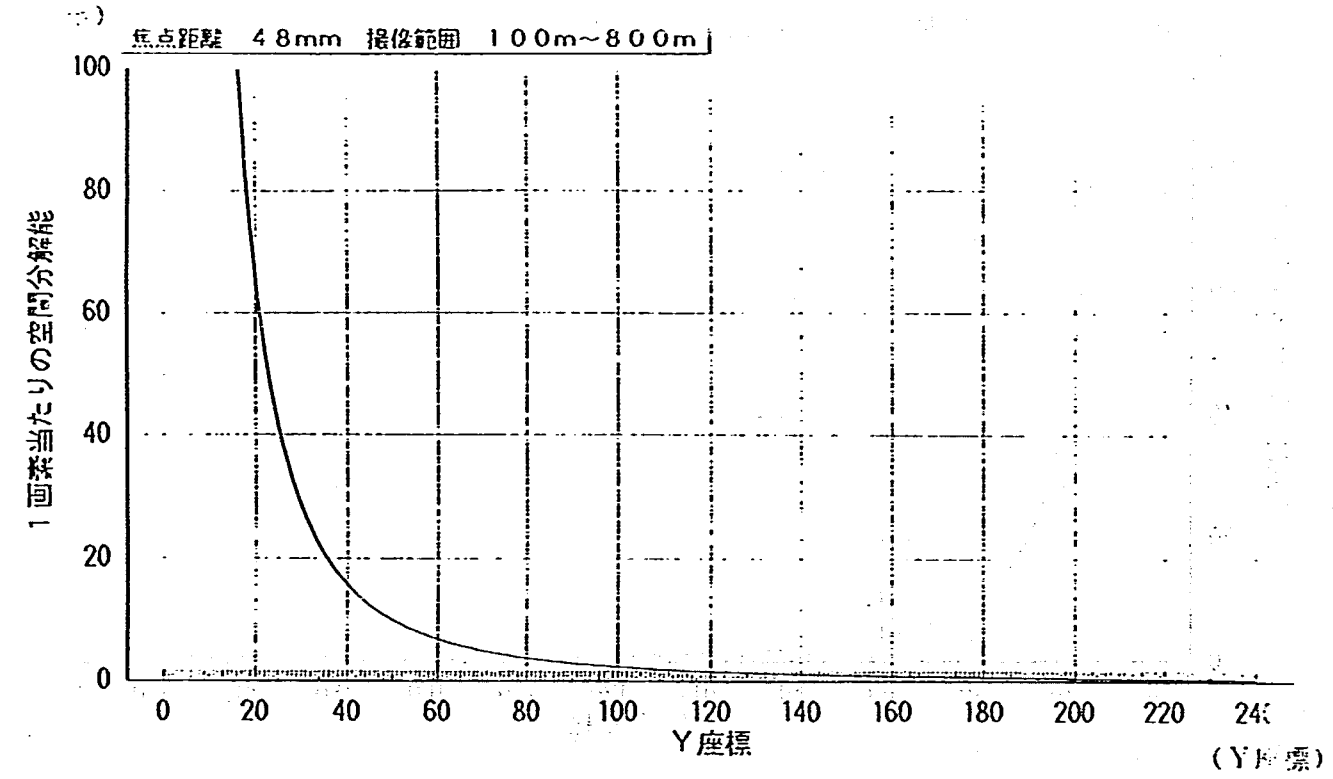
図表(4.1.1) 2-360　1画素当たりの空間分解能（3）



図表(4.1.1) 2-3611画素当たりの空間分解能（4）



図表(4.1.1) 2-362 1画素当たりの空間分解能（5）



2　車両停止の細分化判断

評価対象：全30種類のデータについて評価した。

・焦点距離、撮像範囲　　2種類

1)パターン1：焦点距離　8mm　撮像範囲　11.7～ 52m

2)パターン2：焦点距離　15mm　撮像範囲　26.5～110m

・時間帯、車種　　3種類

1)時間帯：昼　　車種：白系統

2)時間帯：昼　　車種：黒系統

3)時間帯：夜　　車種：黒系統

・事象　　5種類

1)停止・急停止

2)蛇行

3)本船からの逸脱

4)横向き

2．1　停止・急停止

<グラフ>

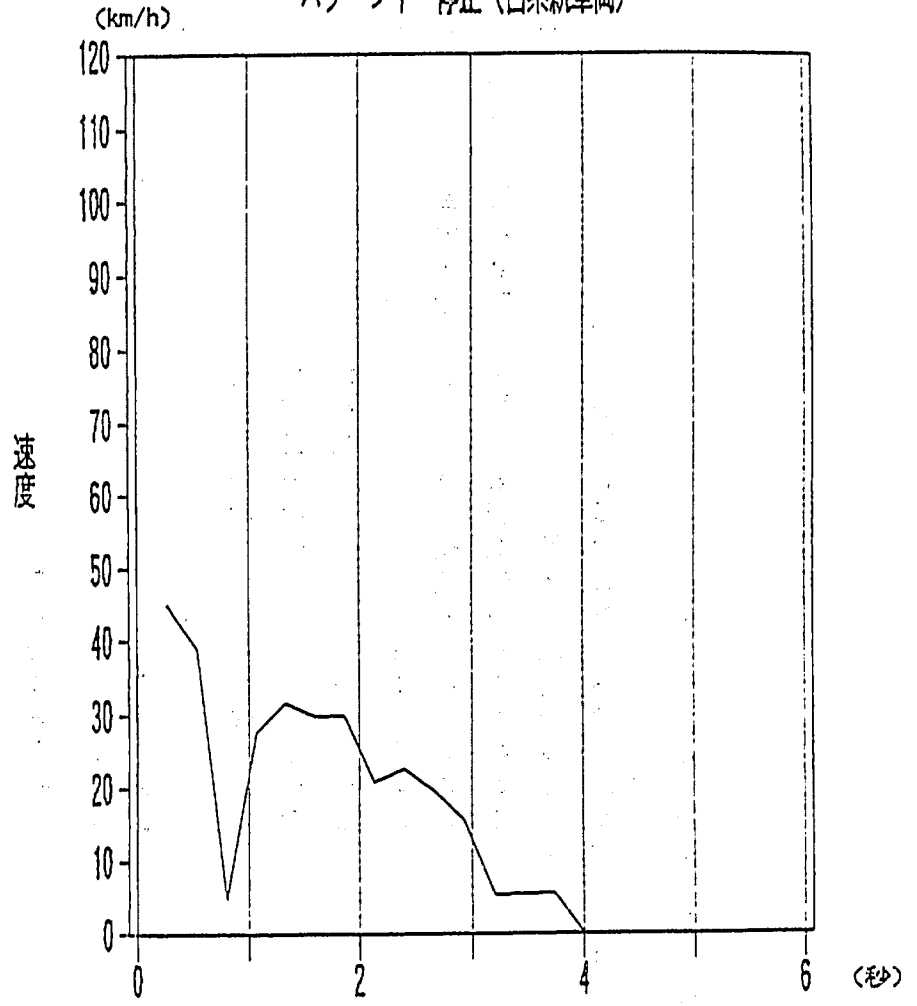
次頁参照。

図表（4.1.1）2-363

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離　8.0mm
撮影範囲　11.7m ～ 52m

パターン1　停止（白系統車両）



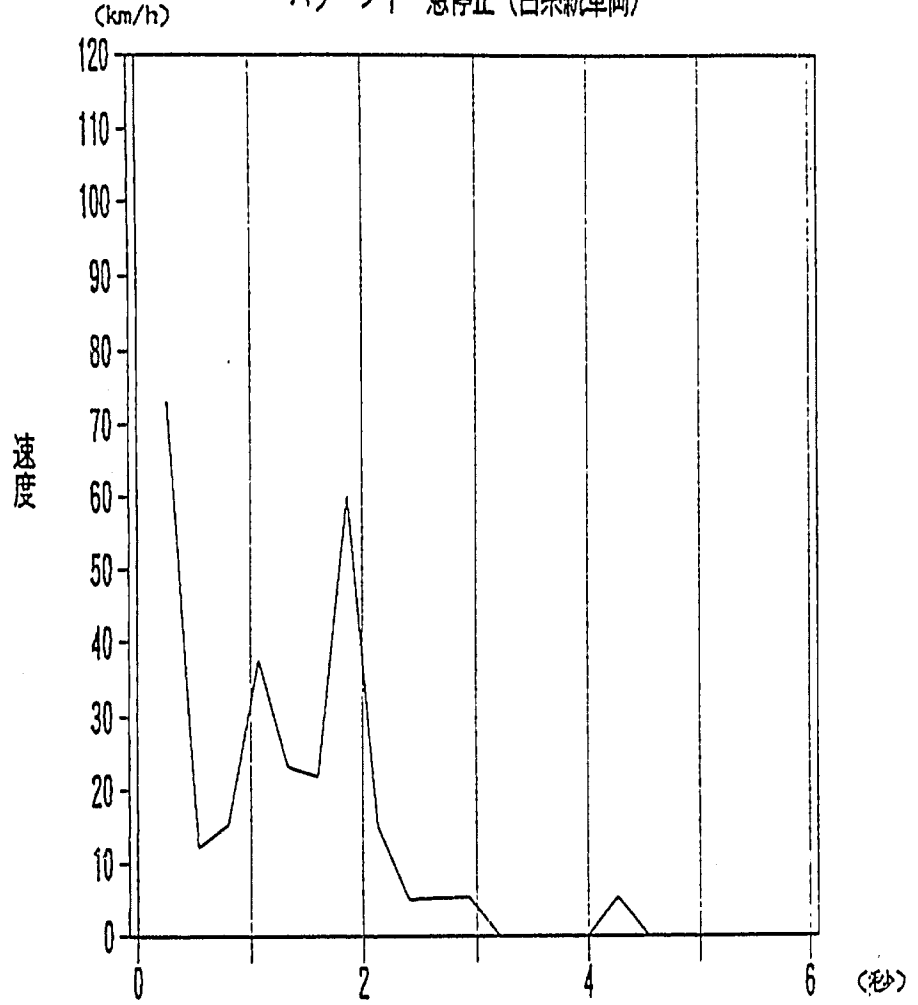
経過時間（相対）

図表（4.1.1）2-364

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離　8.0mm
撮影範囲　11.7m ～ 52m

パターン1　急停止（白系統車両）



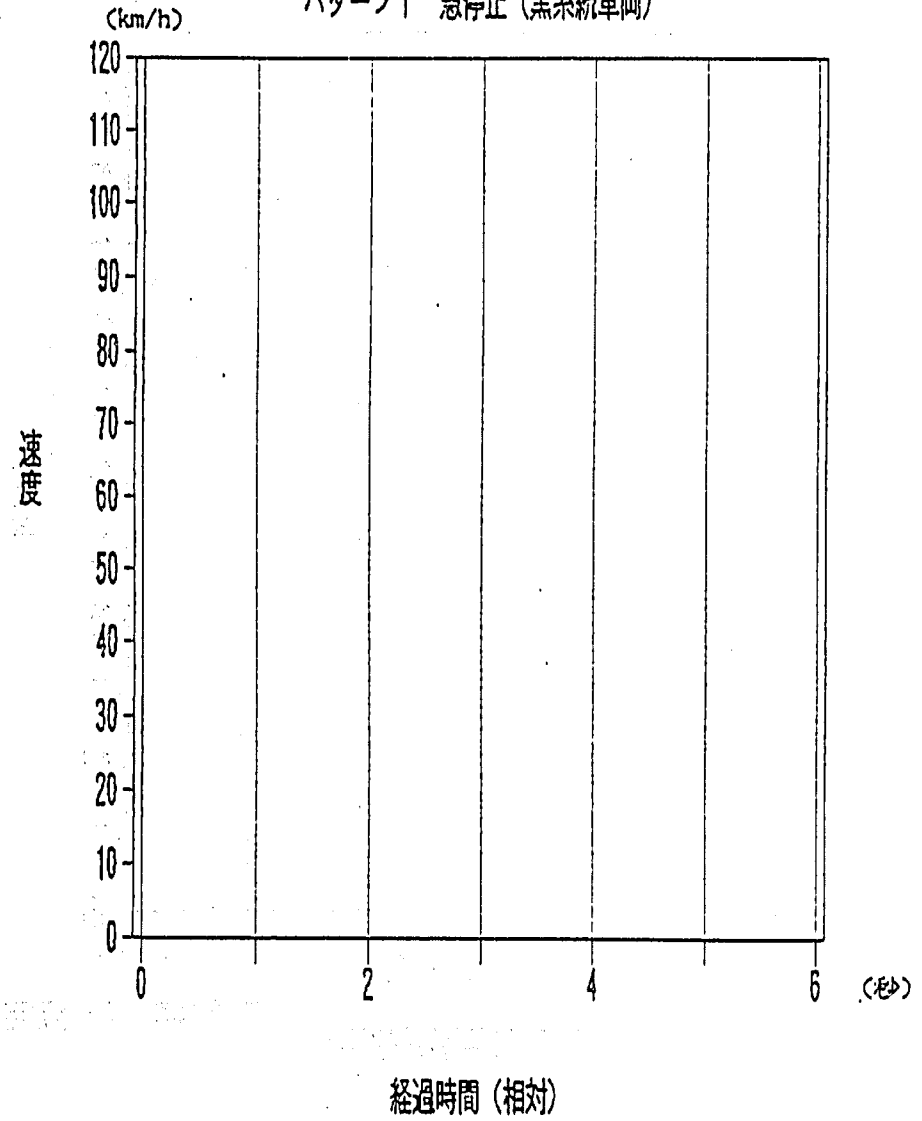
経過時間（相対）

図表(4.1.1) 2-366

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 8.0mm
撮影範囲 11.7m ～ 52m

パターン1　急停止（黒系統車両）

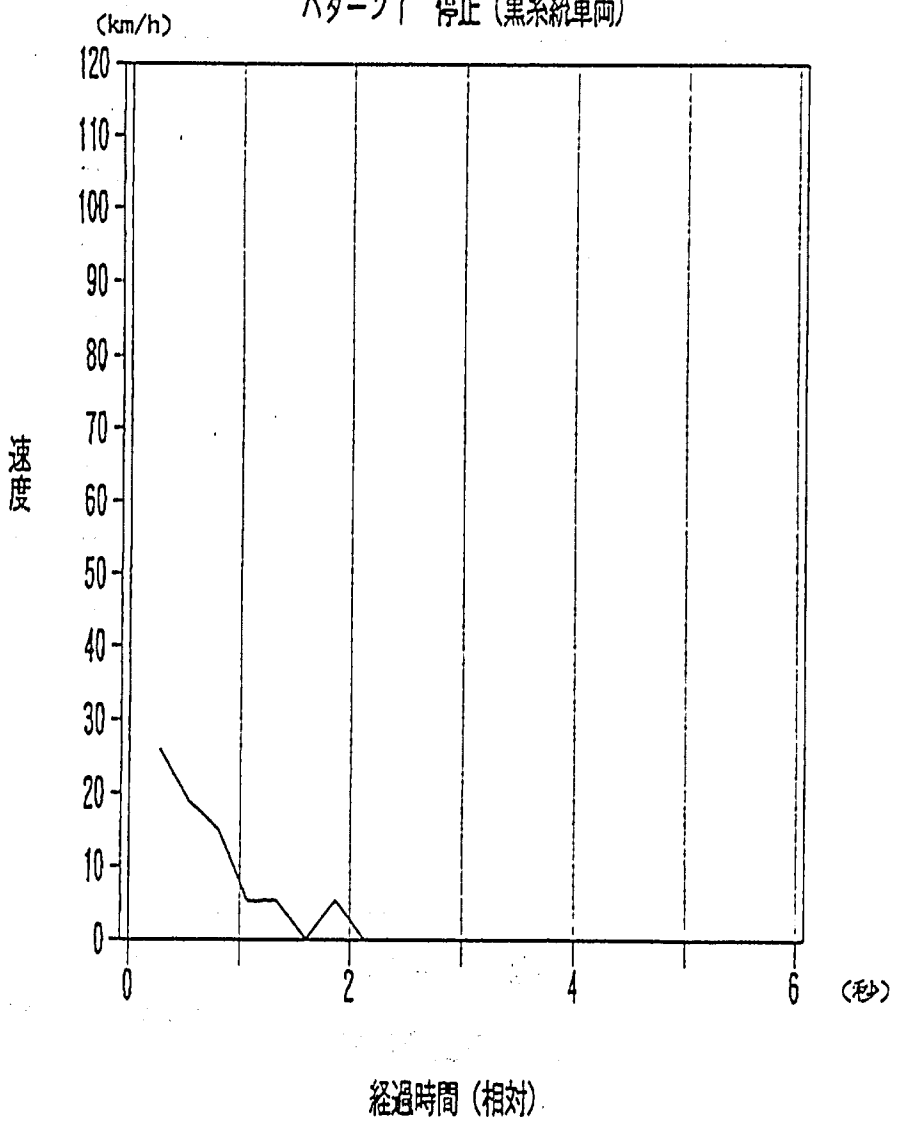


図表(4.1.1) 2-365

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 8.0m
撮影範囲 11.7m ～ 52m

パターン1　停止（黒系統車両）

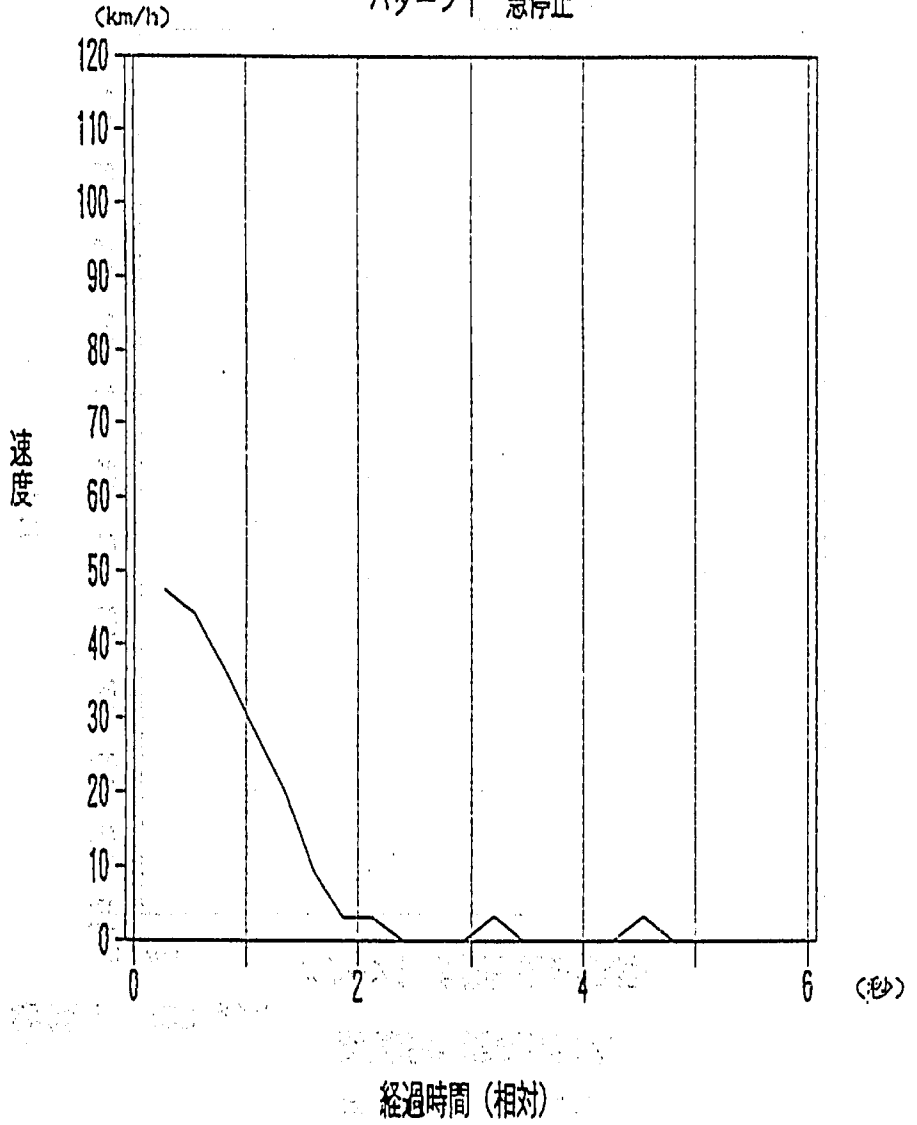


図表（4.1.1） 2-368

停止細分化判定の評価（夜）

焦点距離 8.0mm
撮影範囲 11.7m ～ 52m

パターン1　急停止

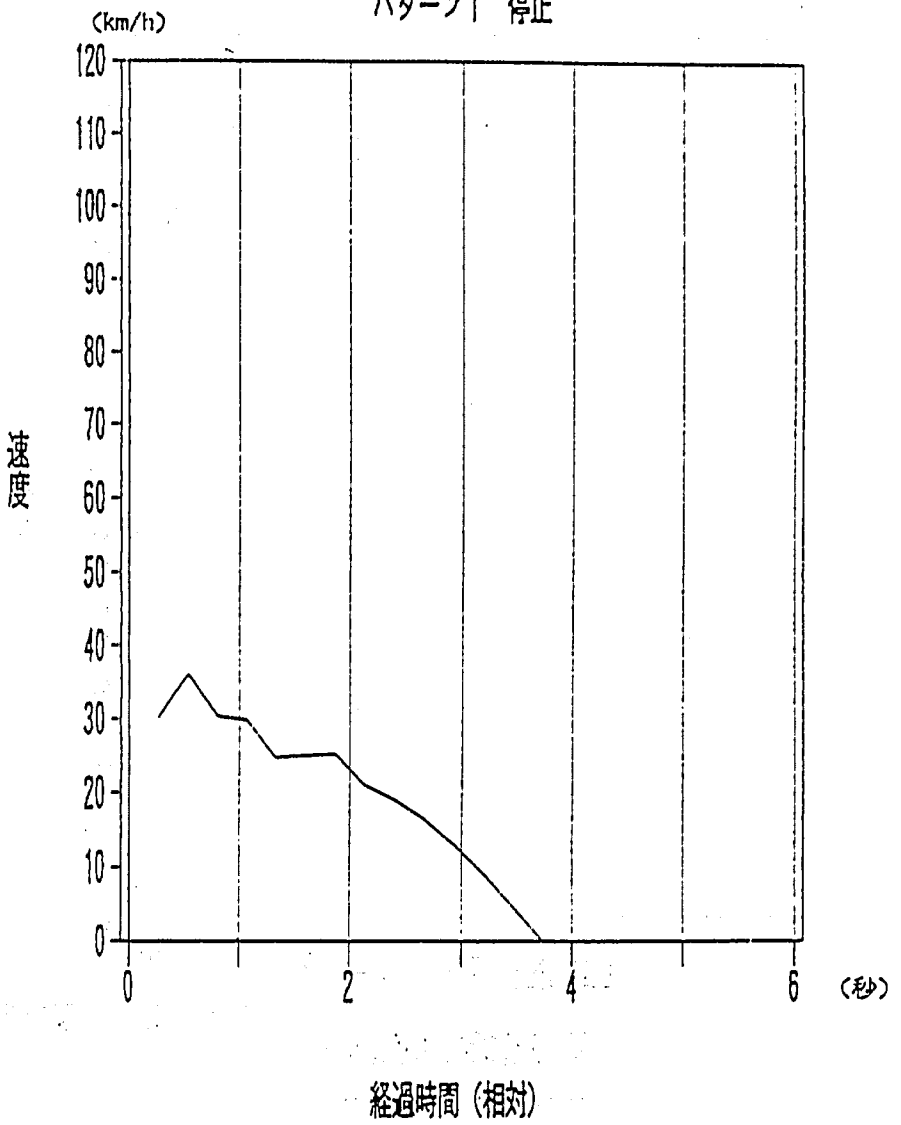


図表（4.1.1） 2-367

停止細分化判定の評価（夜）

焦点距離 8.0mm
撮影範囲 11.7m ～ 52m

パターン1　停止

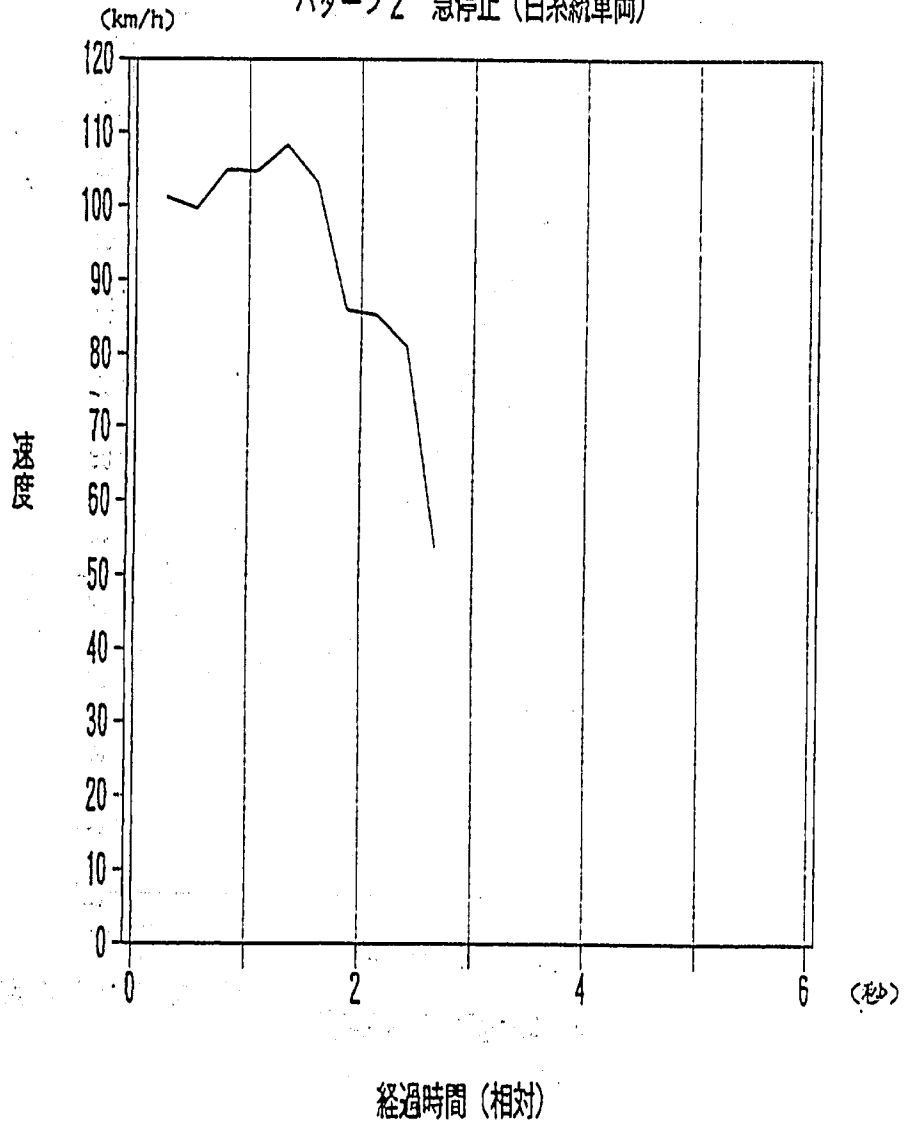


図表（4.1.1） 2-370

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 15.0mm
撮影範囲 26.5m ～ 110m

パターン2　急停止（白系統車両）

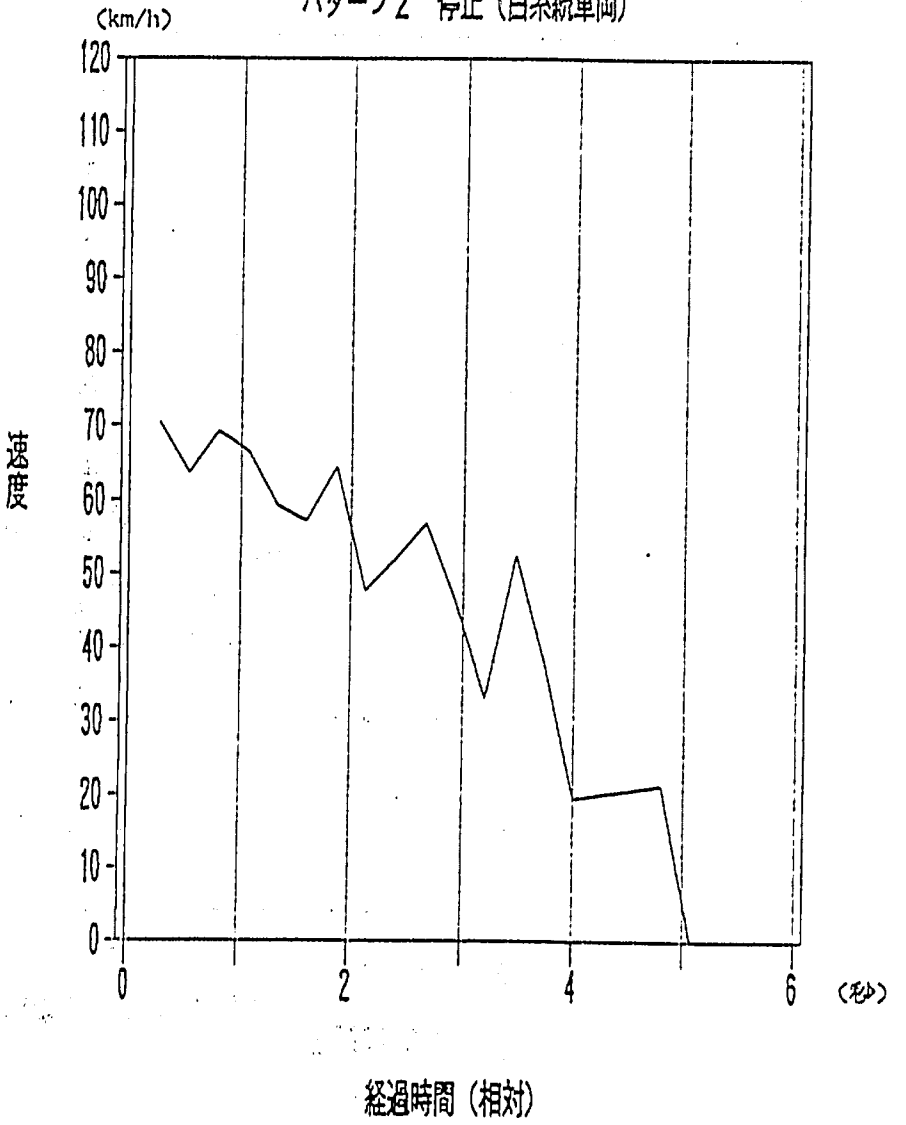


図表（4.1.1） 2-369

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 15.0mm
撮影範囲 26.5m ～ 110m

パターン2　停止（白系統車両）

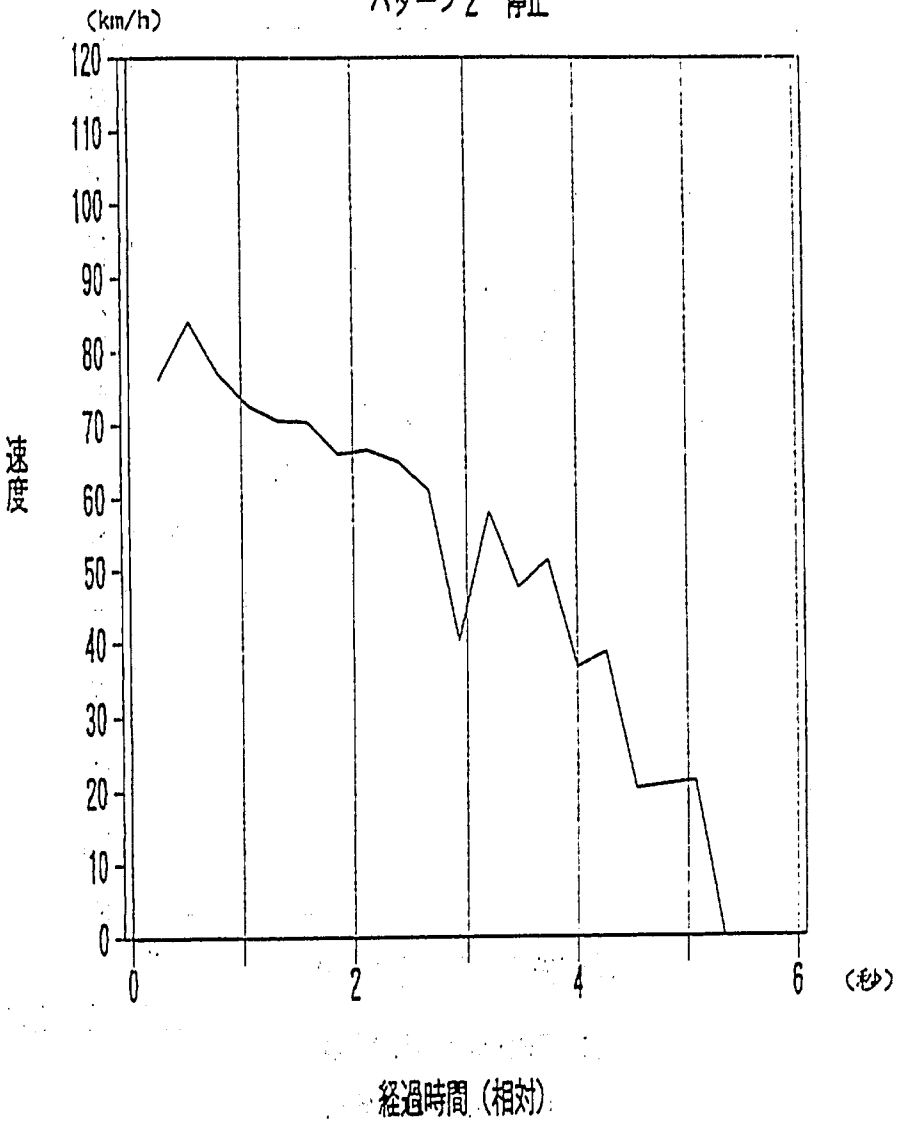


図表（4.1.1）2-373

停止細分化判定の評価（夜）

焦点距離 15.0mm
撮影範囲 26.5m ～ 110m

パターン2　停止

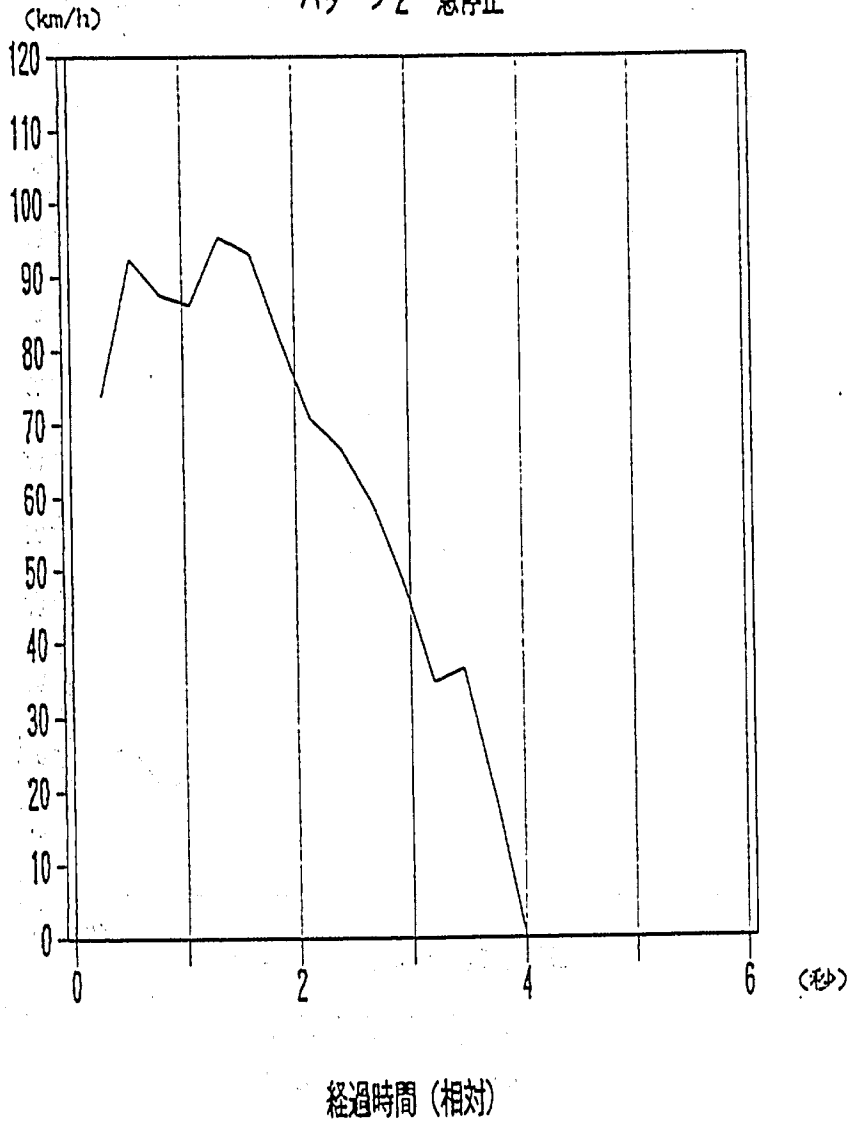


図表（4.1.1）2-374

停止細分化判定の評価（夜）

焦点距離 15.0mm
撮影範囲 26.5m ～ 110m

パターン2　急停止

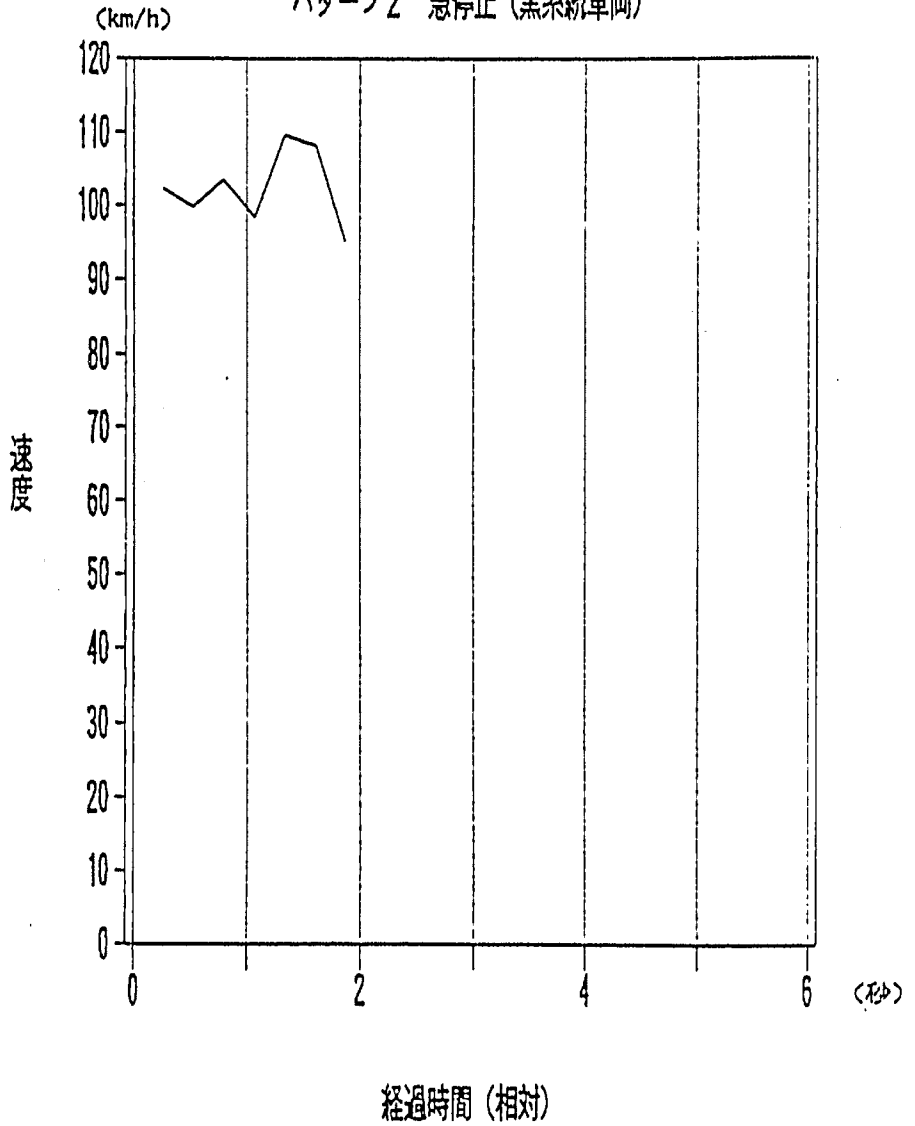


図表（4.1.1）2-372

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 15.0mm
撮影範囲 26.5m ～ 110m

パターン2　急停止（黒系統車両）

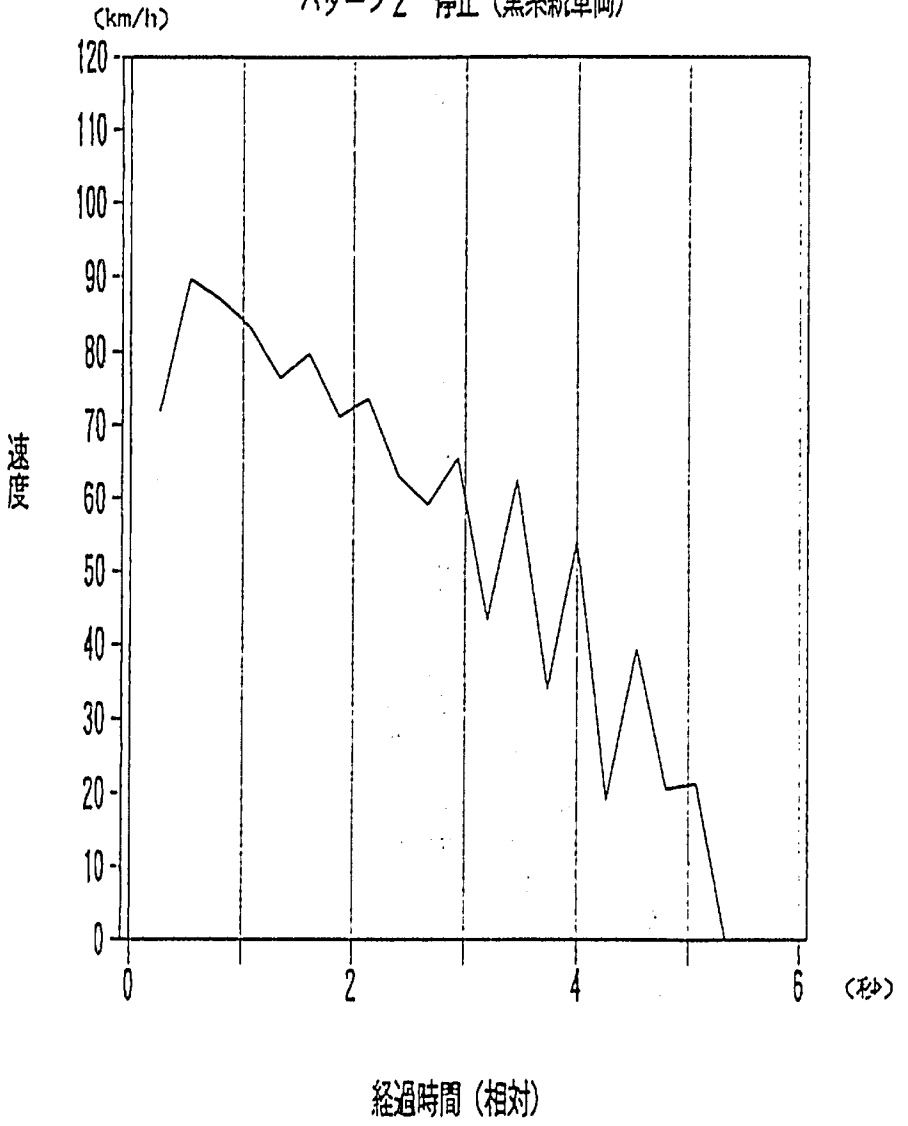


図表（4.1.1）2-371

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 15.0mm
撮影範囲 26.5m ～ 110m

パターン2　停止（黒系統車両）



2．2　蛇行

＜グラフ＞
次頁参照。

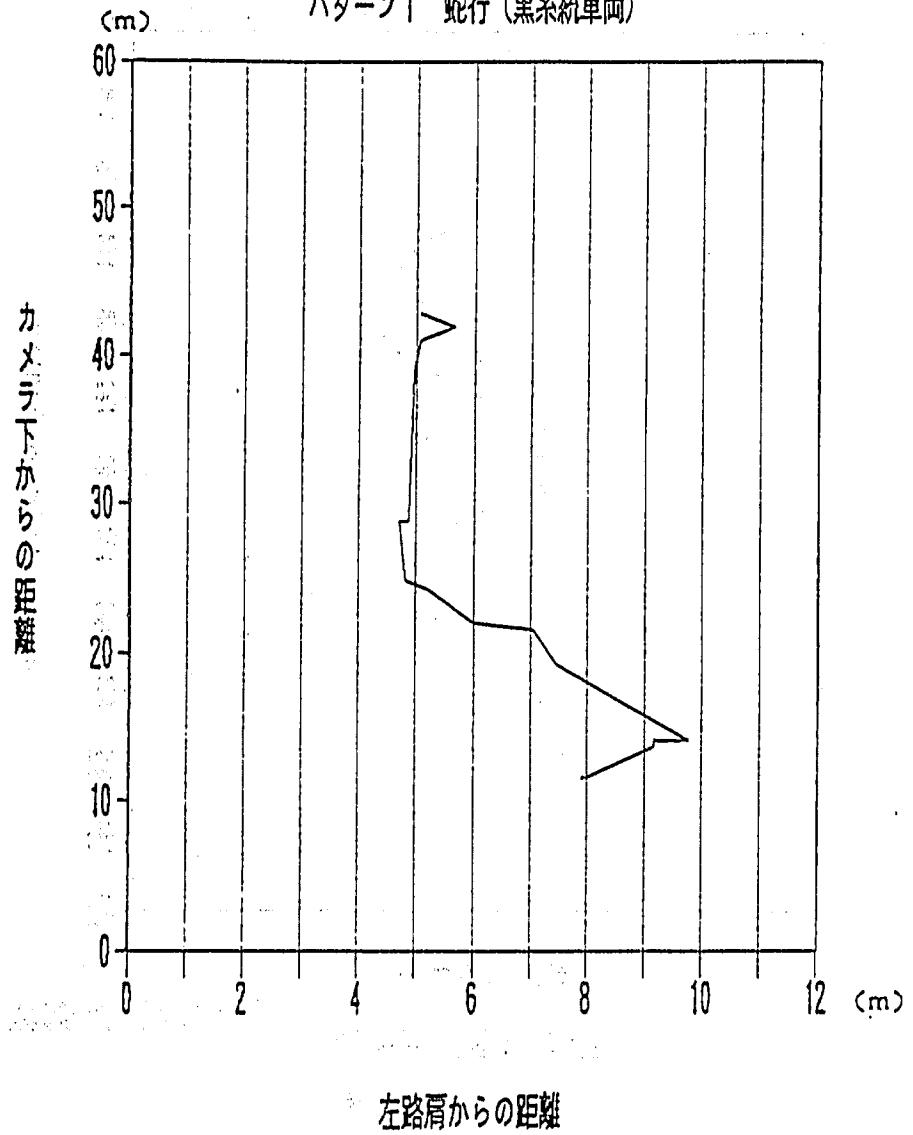
今回は車両の左側を特徴点として計測した為、グラフでは計測結果がいずれも左寄りとなっている。

図表(4.1.1) 2-376

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 8.0mm
撮影範囲 11.7m ～ 52m

パターン1　蛇行（黒系統車両）

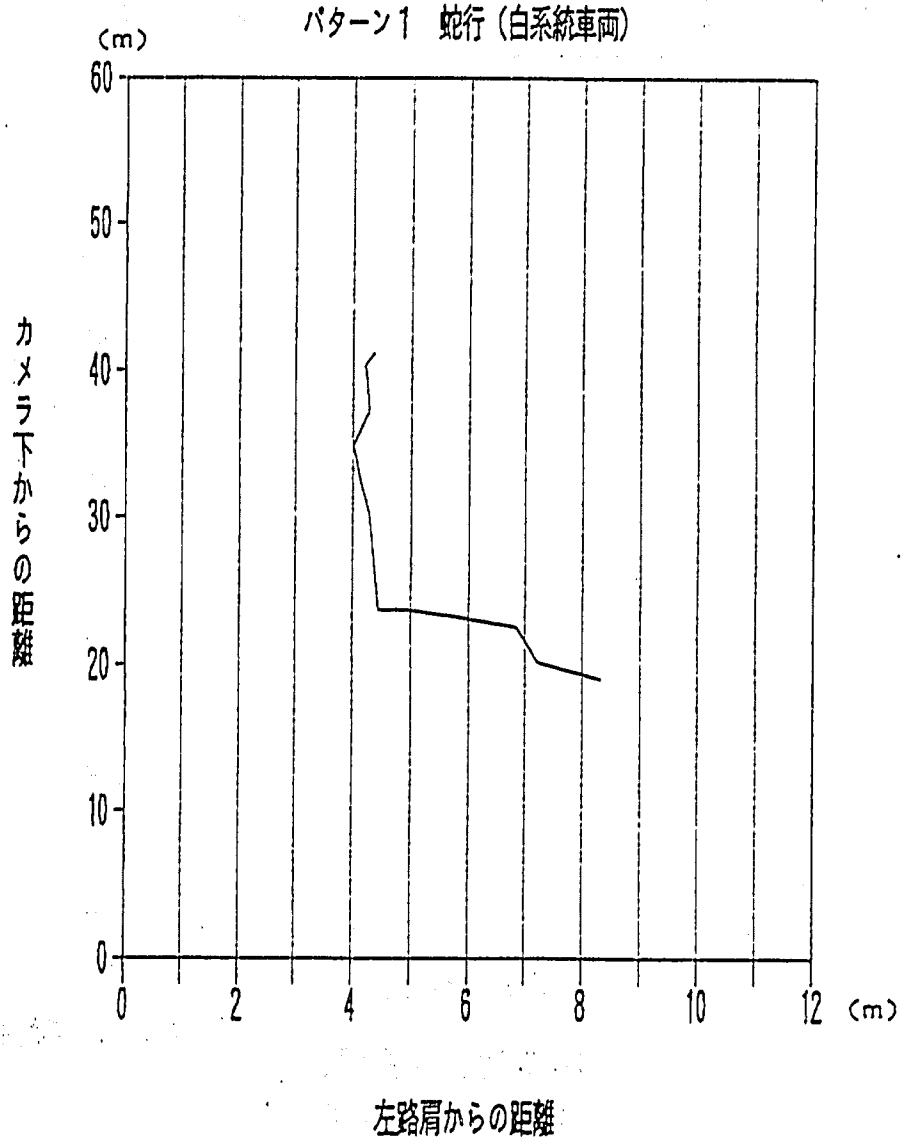


図表(4.1.1) 2-375

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 8.0mm
撮影範囲 11.7m ～ 52m

パターン1　蛇行（白系統車両）

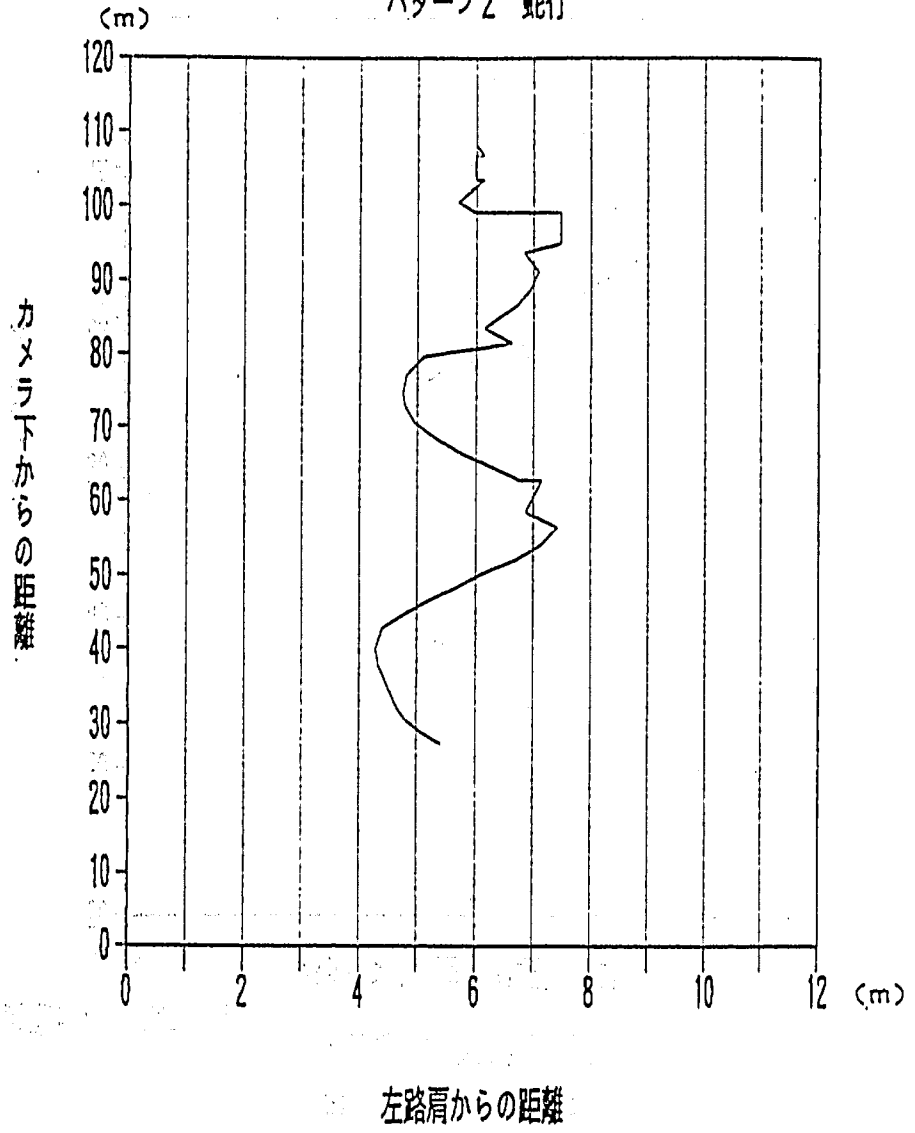


図表（4.1.1）2-378

停止細分化判定の評価（夜）

注点間隔 15.0mm
撮影範囲 26.5m ～ 110m

パターン2　蛇行

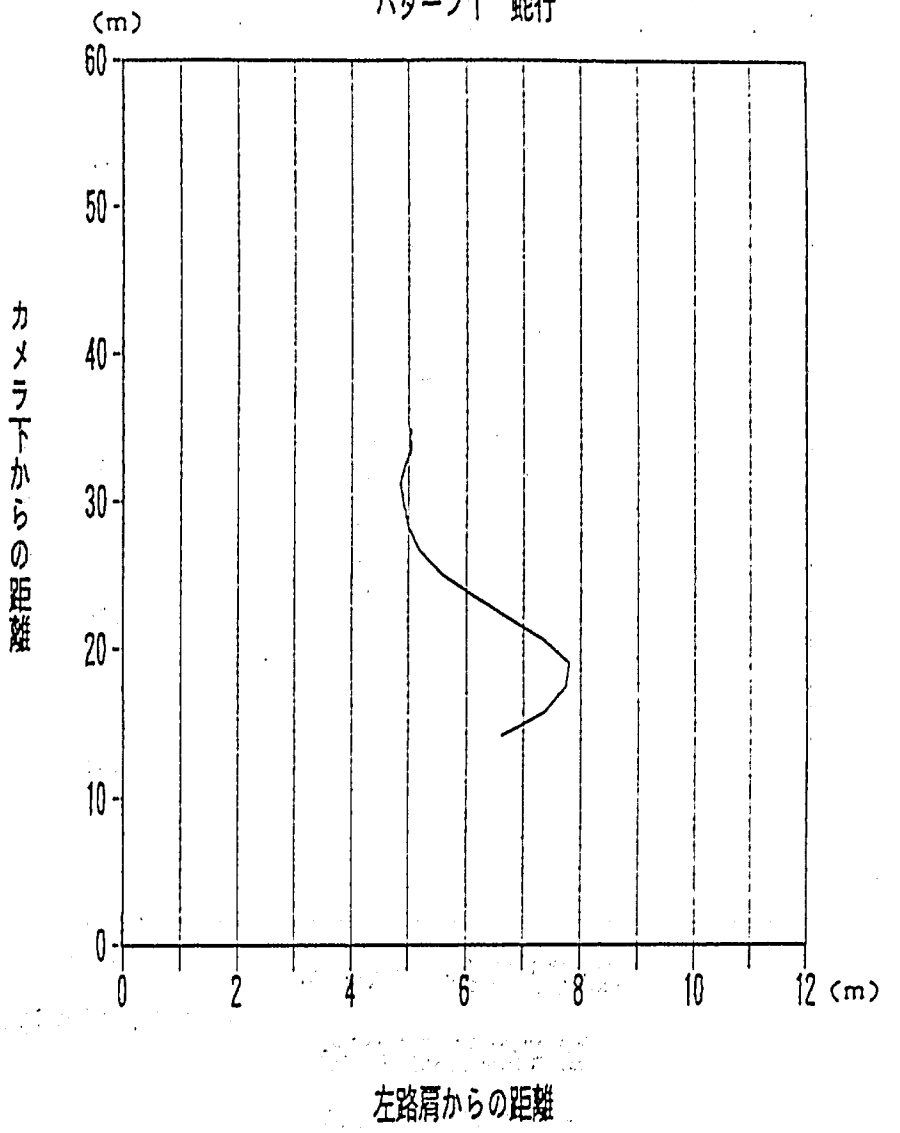


図表（4.1.1）2-377

停止細分化判定の評価（夜）

注点間隔 8.0mm
撮影範囲 11.7m ～ 52m

パターン1　蛇行

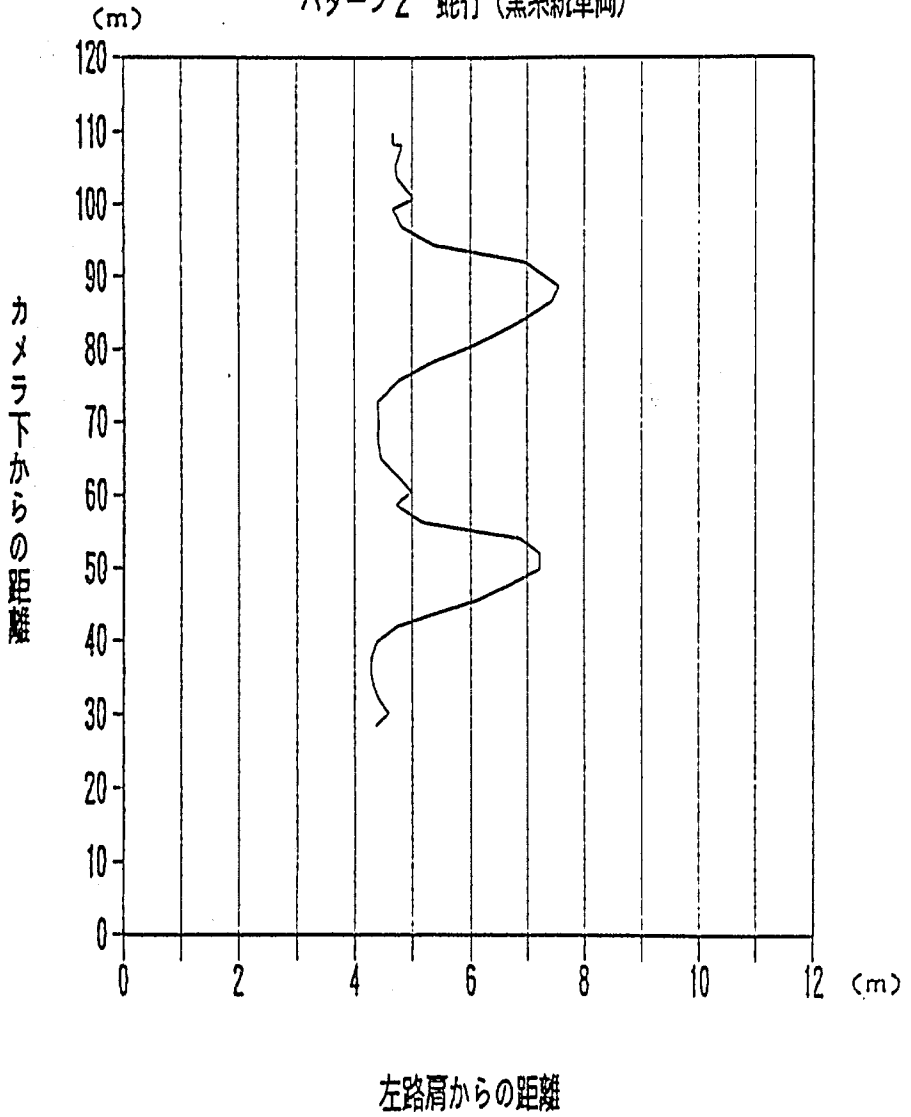


図表(4.1.1) 2-380

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 15.0mm
撮影範囲 26.5m ～ 110m

パターン2　蛇行（黒系統車両）

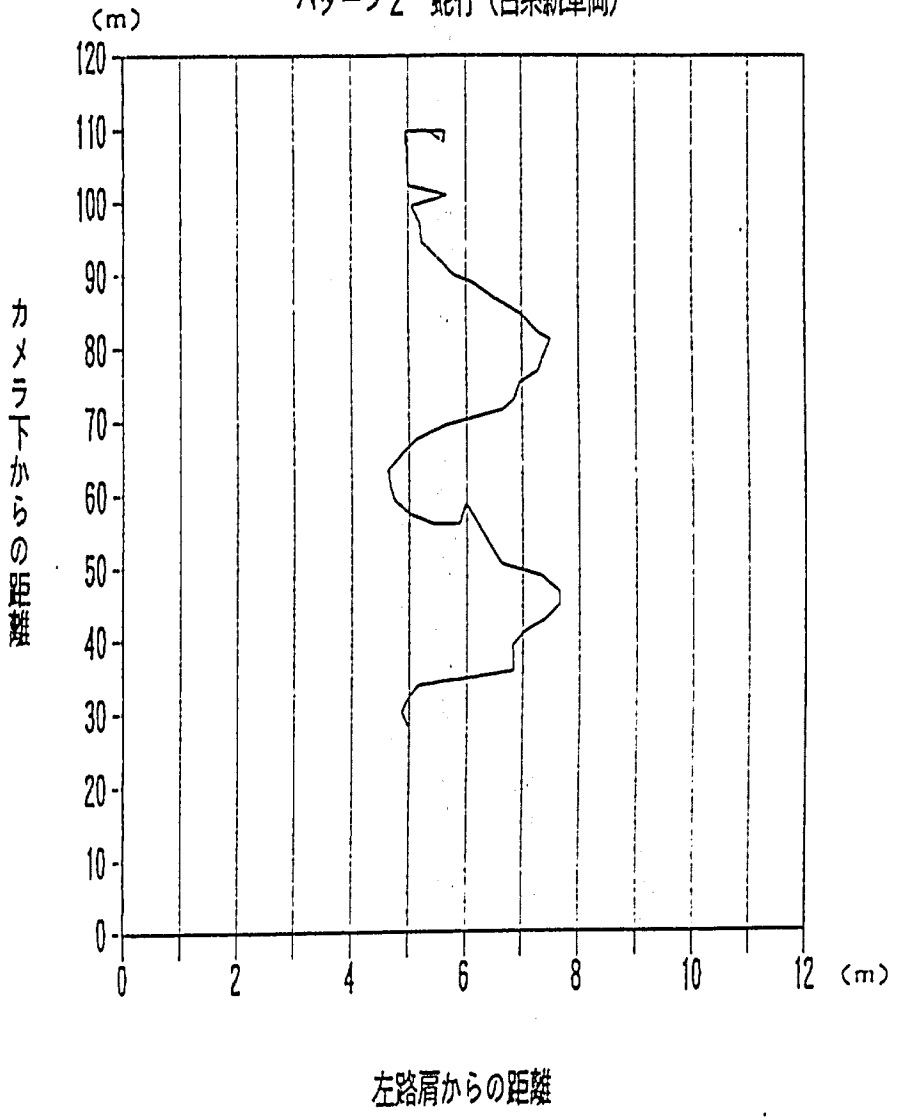


図表(4.1.1) 2-379

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 15.0mm
撮影範囲 26.5m ～ 110m

パターン2　蛇行（白系統車両）



2．3　本線からの逸脱

＜グラフ＞
次頁参照。

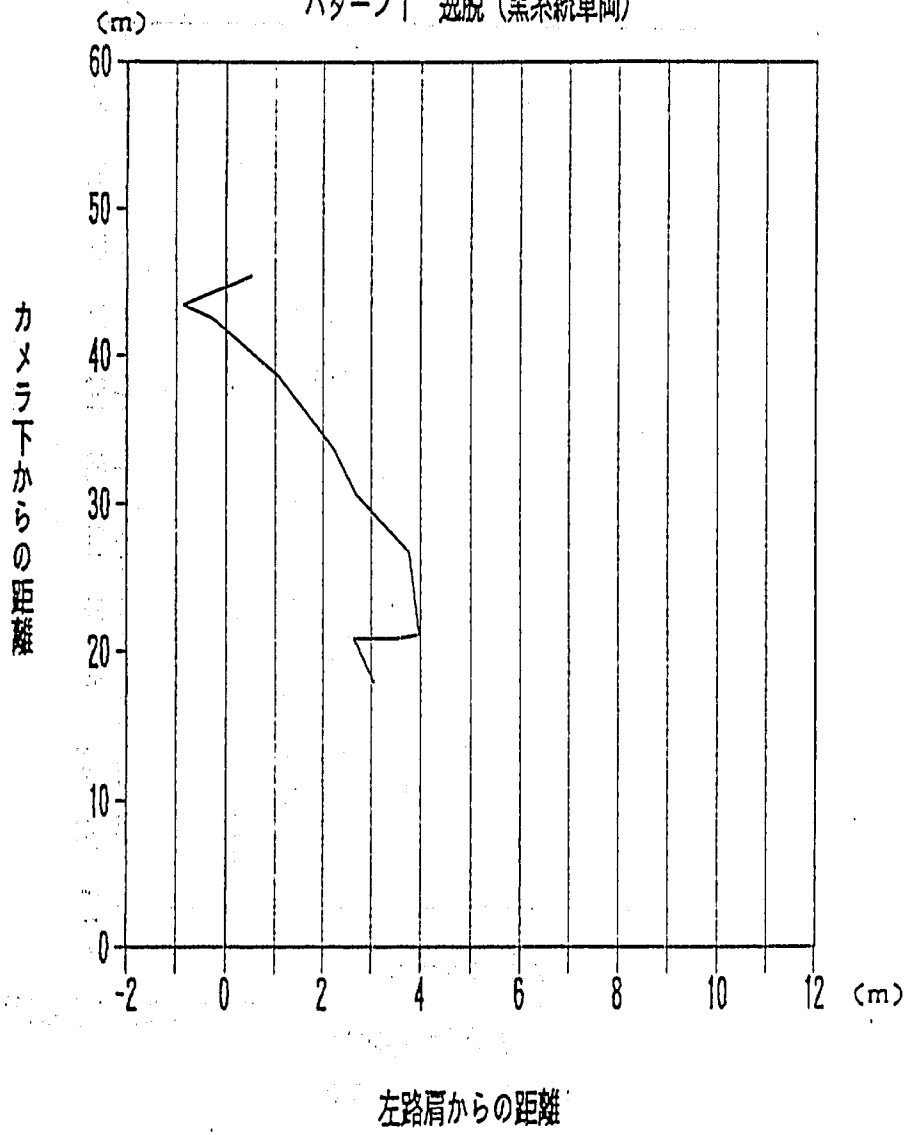
今回は車両の左側を特徴点として計測した為、グラフでは計測結果がいずれも左寄りとなっている。

図表（4.1.1）2-382

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 8.0mm
撮影範囲 11.7m ～ 52m

パターン1　逸脱（黒系統車両）

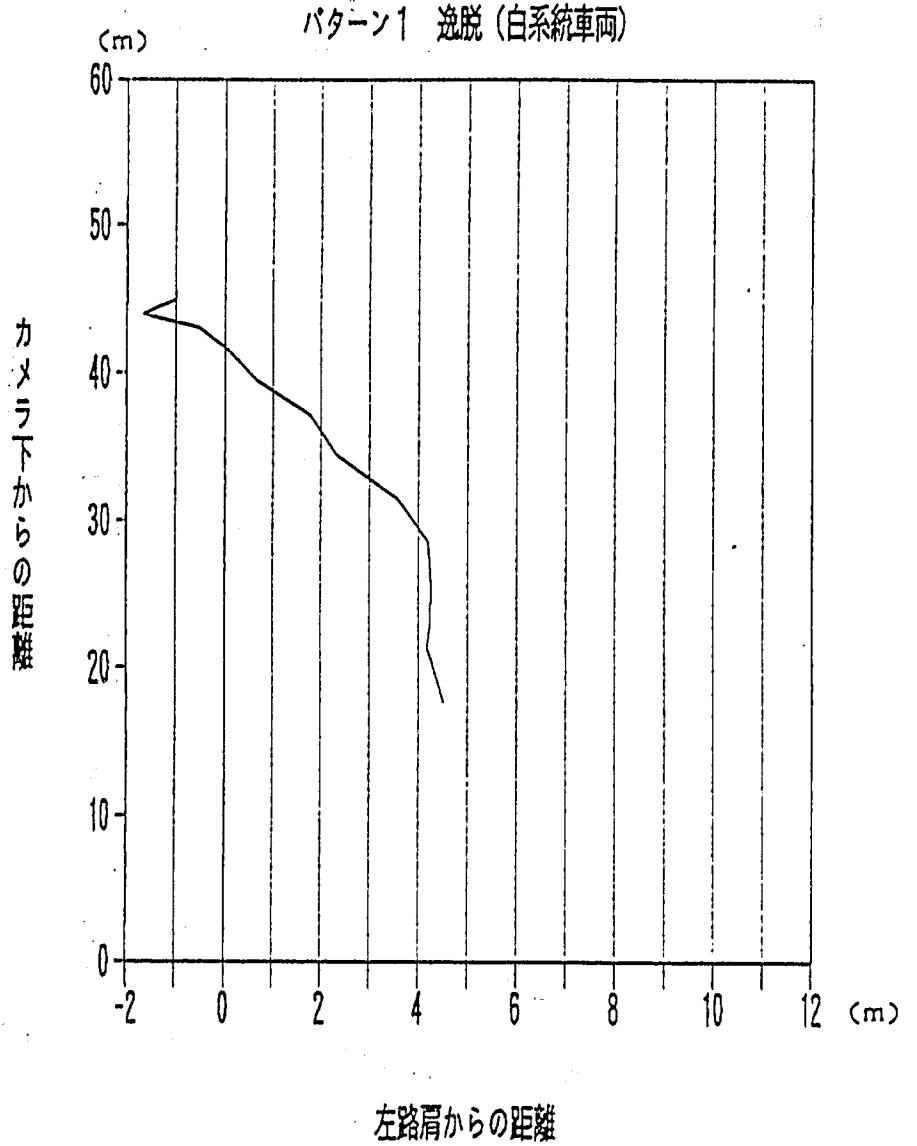


図表（4.1.1）2-381

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 8.0mm
撮影範囲 11.7m ～ 52m

パターン1　逸脱（白系統車両）

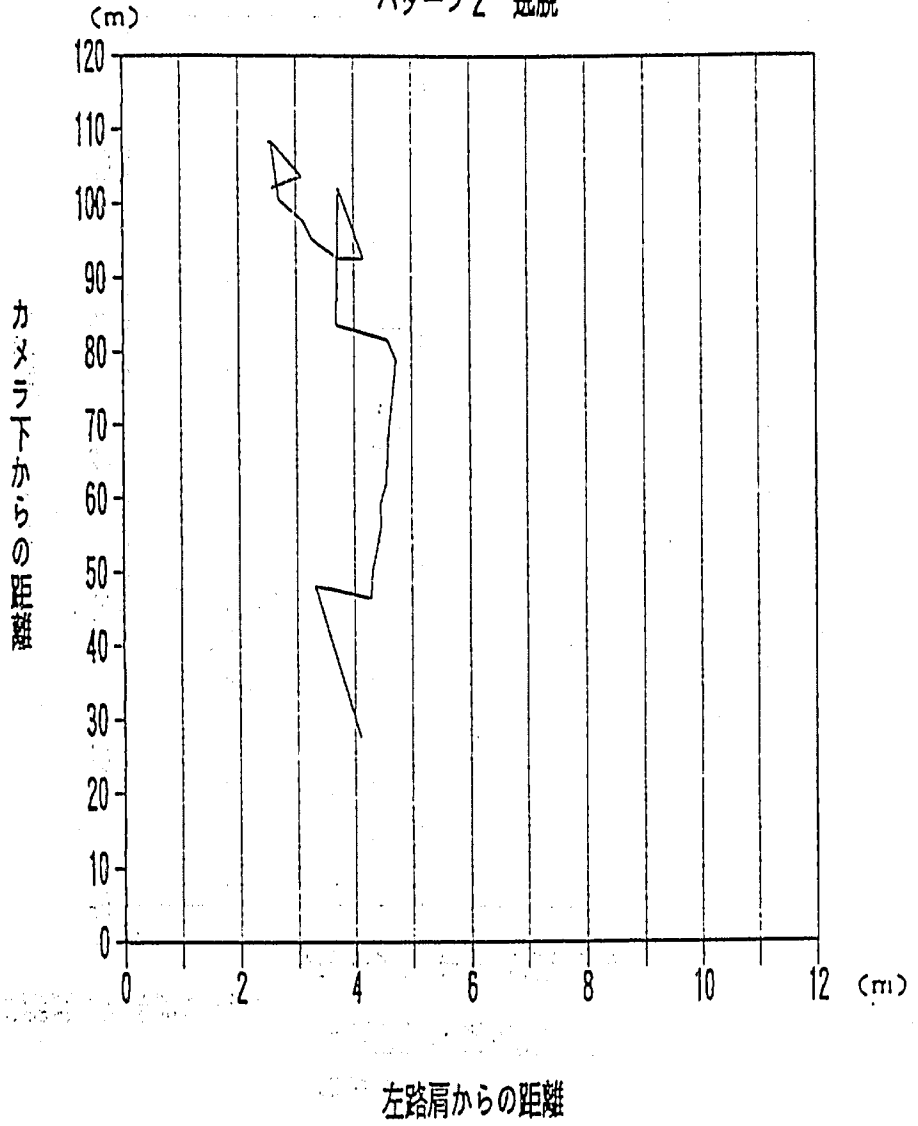


図表(4.1.1) 2-384

停止細分化判定の評価（夜）

焦点距離 15.0mm
撮影範囲 26.5m ～ 110m

パターン2　逸脱

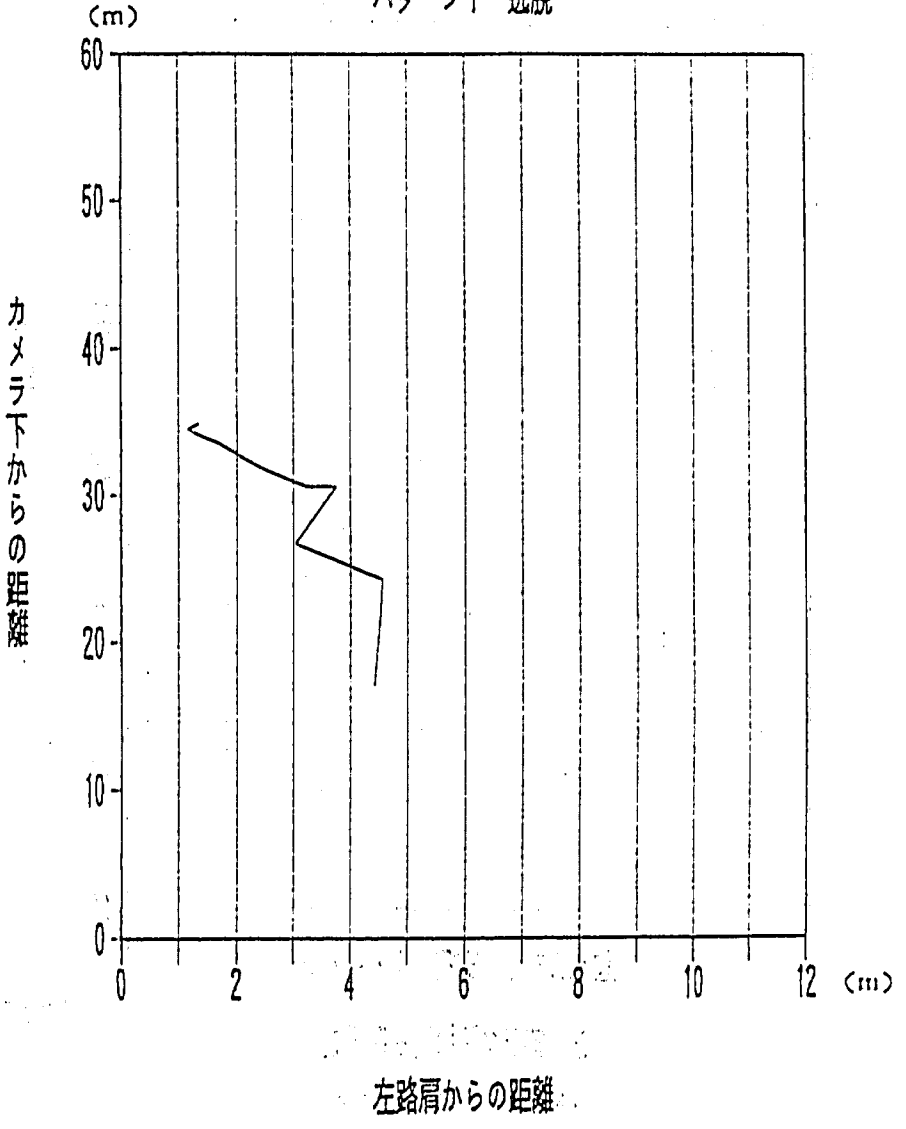


図表(4.1.1) 2-383

停止細分化判定の評価（夜）

焦点距離 8.0mm
撮影範囲 11.7m ～ 52m

パターン1　逸脱

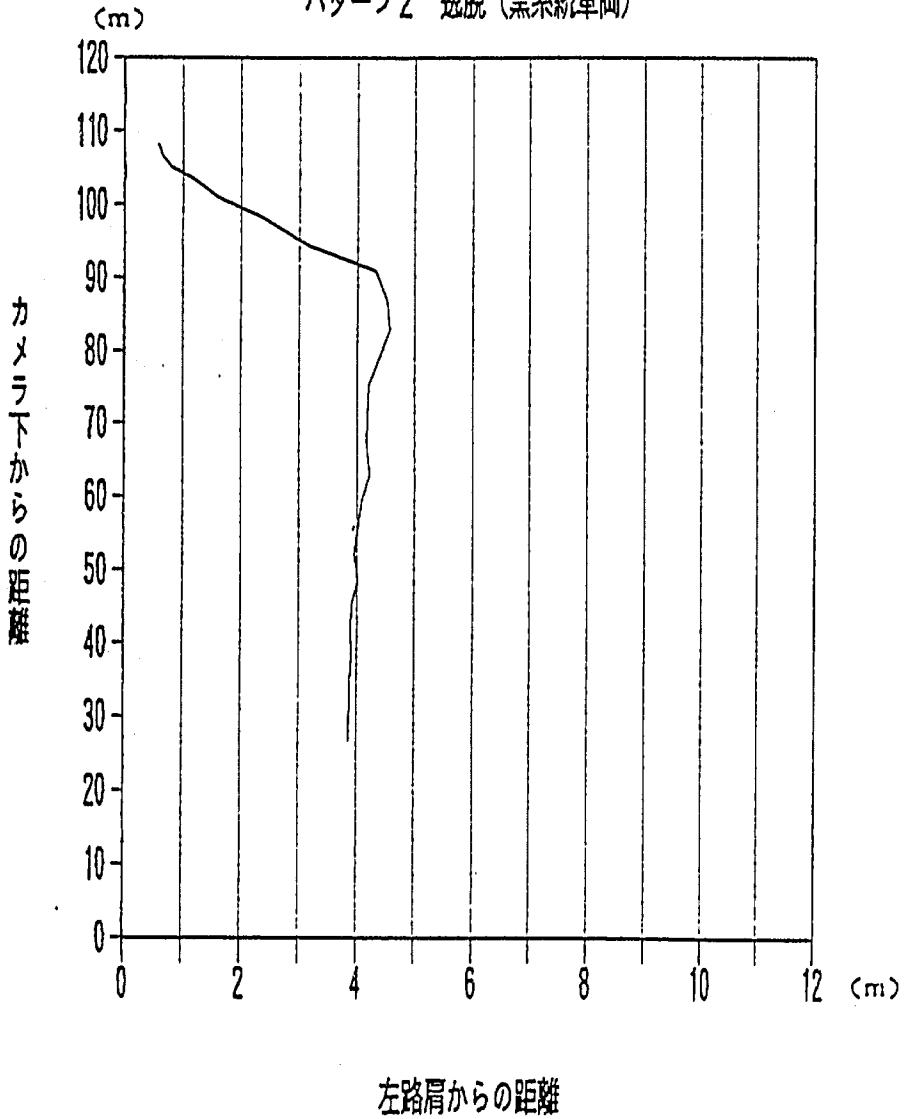


図表(4.1.1) 2-386

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 15.0mm
撮影範囲 26.5m ～ 110m

パターン2　逸脱（黒系統車両）

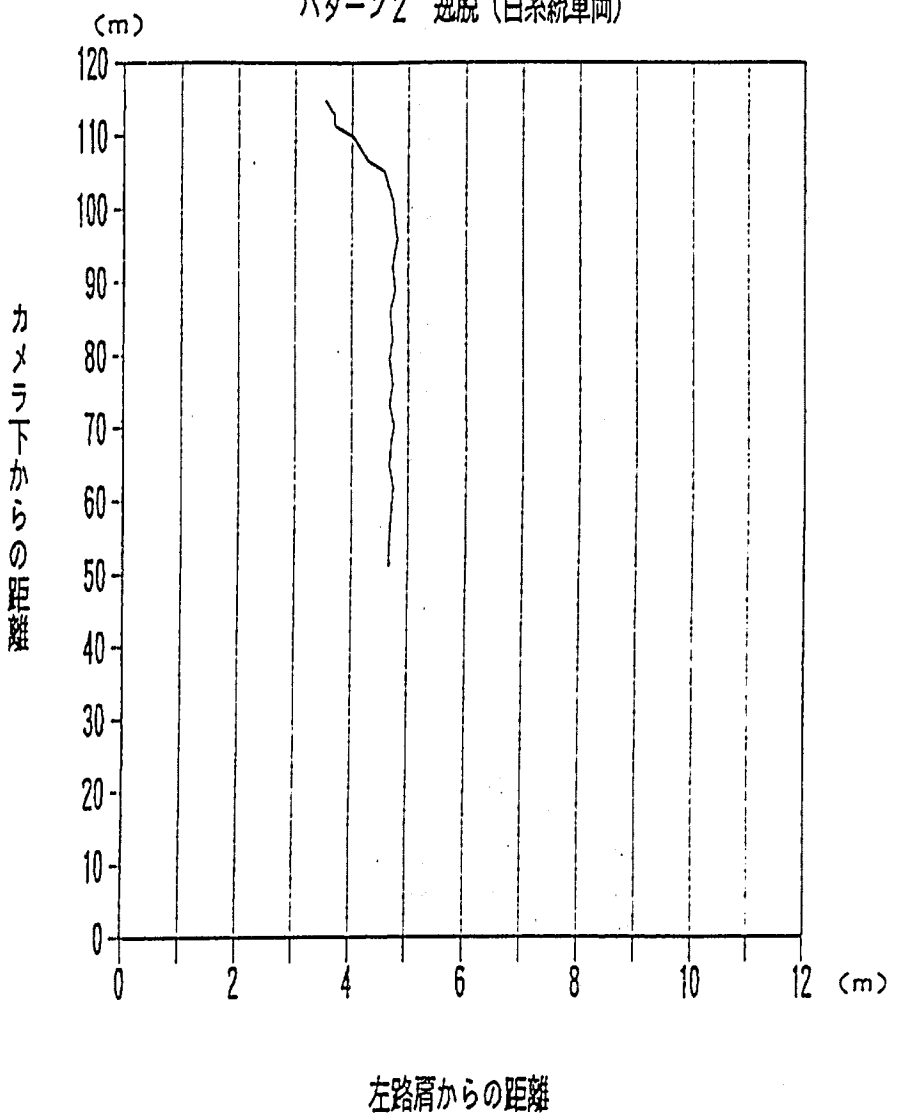


図表(4.1.1) 2-385

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 15.0mm
撮影範囲 26.5m ～ 110m

パターン2　逸脱（白系統車両）



2．4　横向き

＜グラフ＞
次頁参照。

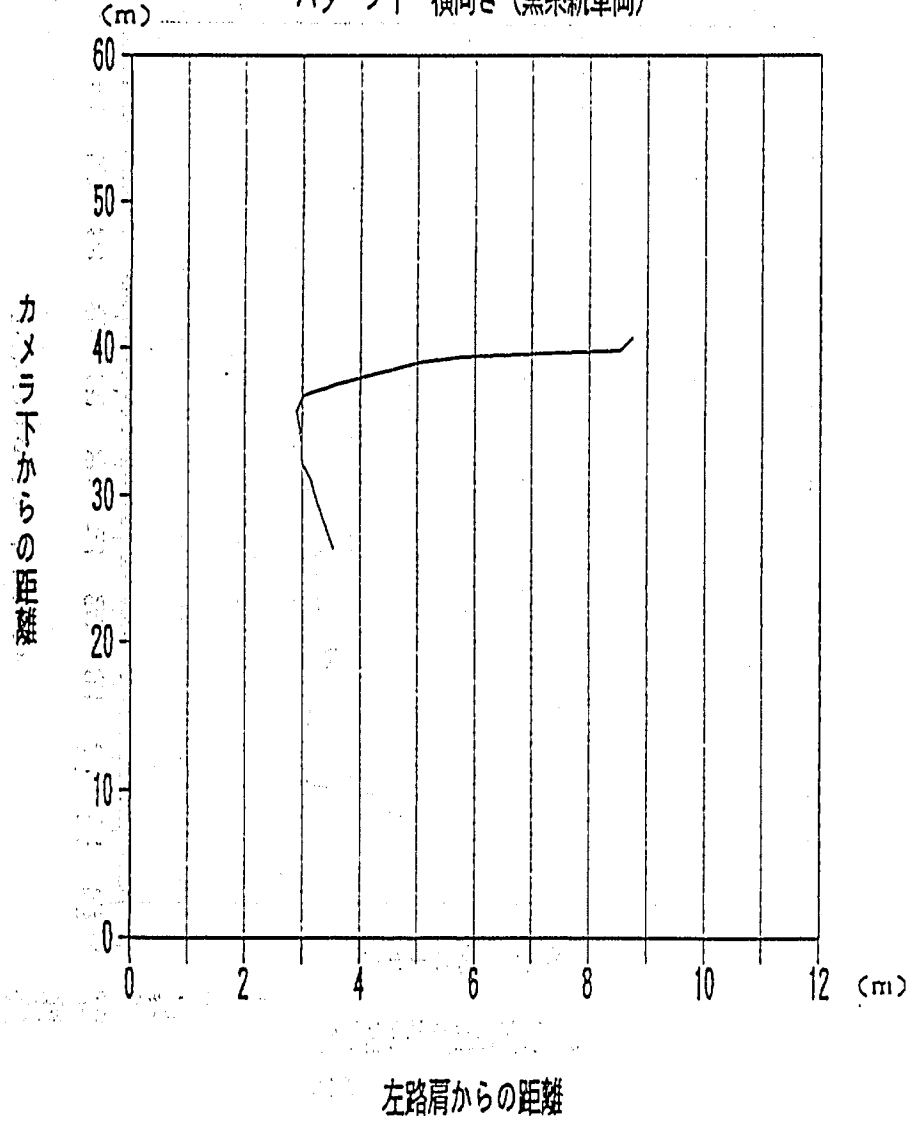
今回は車両の左側を特徴点として計測した為、グラフでは計測結果がいずれも左寄りとなっている。

図表(4.1.1) 2-388

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 8.0mm
撮影範囲 11.7m ～ 52m

パターン1　横向き（黒系統車両）

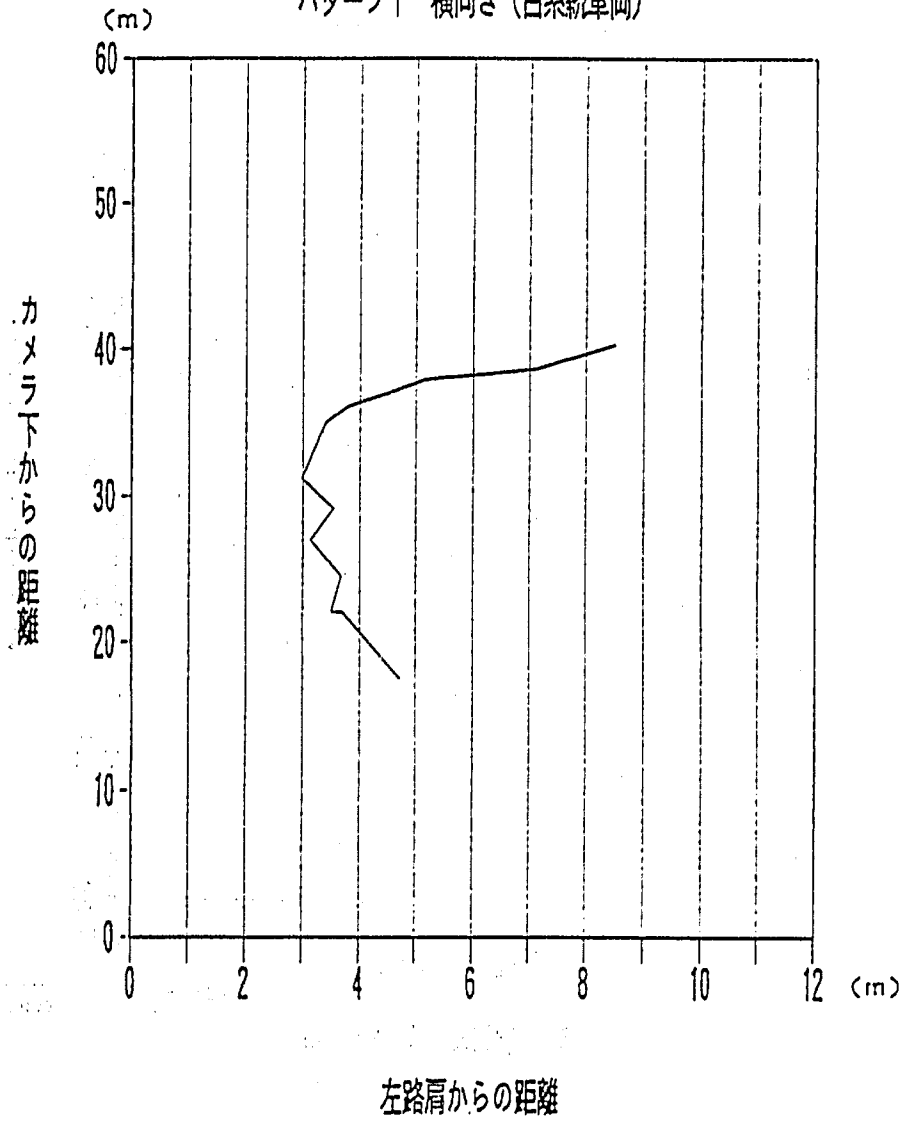


図表(4.1.1) 2-387

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 8.0mm
撮影範囲 11.7m ～ 52m

パターン1　横向き（白系統車両）

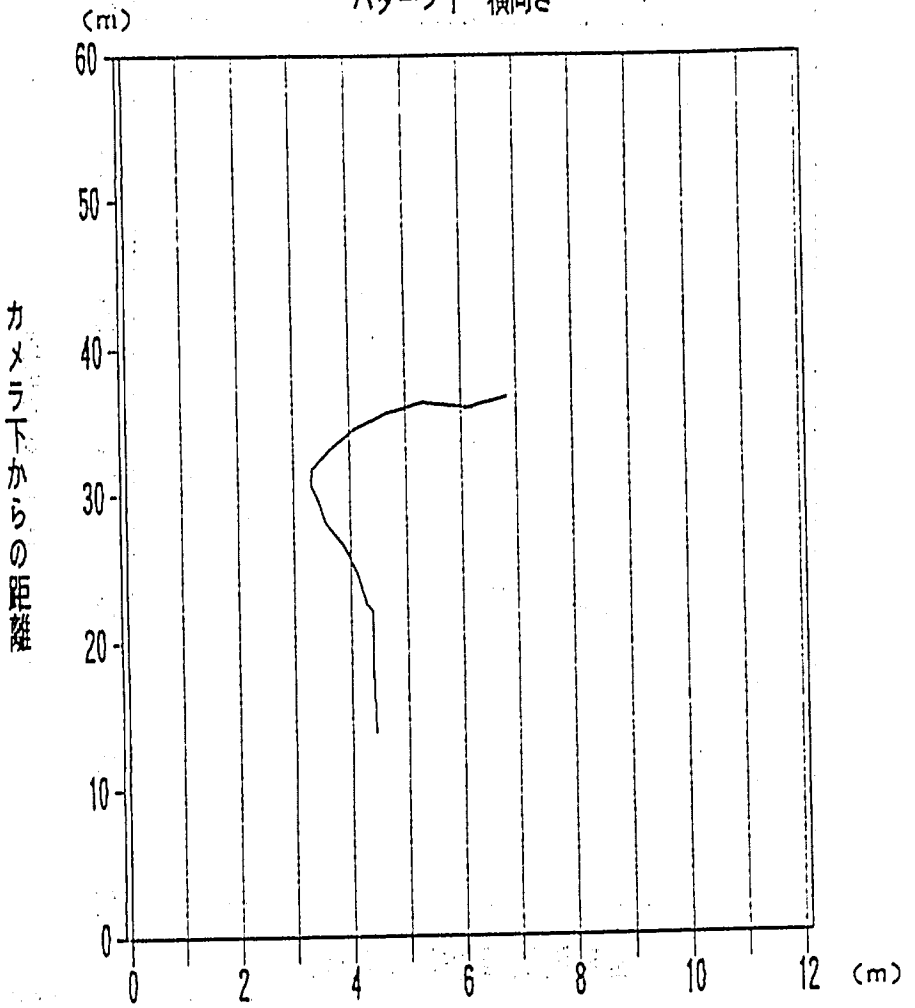


図表（4.1.1）2-389

停止細分化判定の評価（夜）

焦点距離　8.0mm
撮影範囲　11.7m ～ 52m

パターン1　横向き

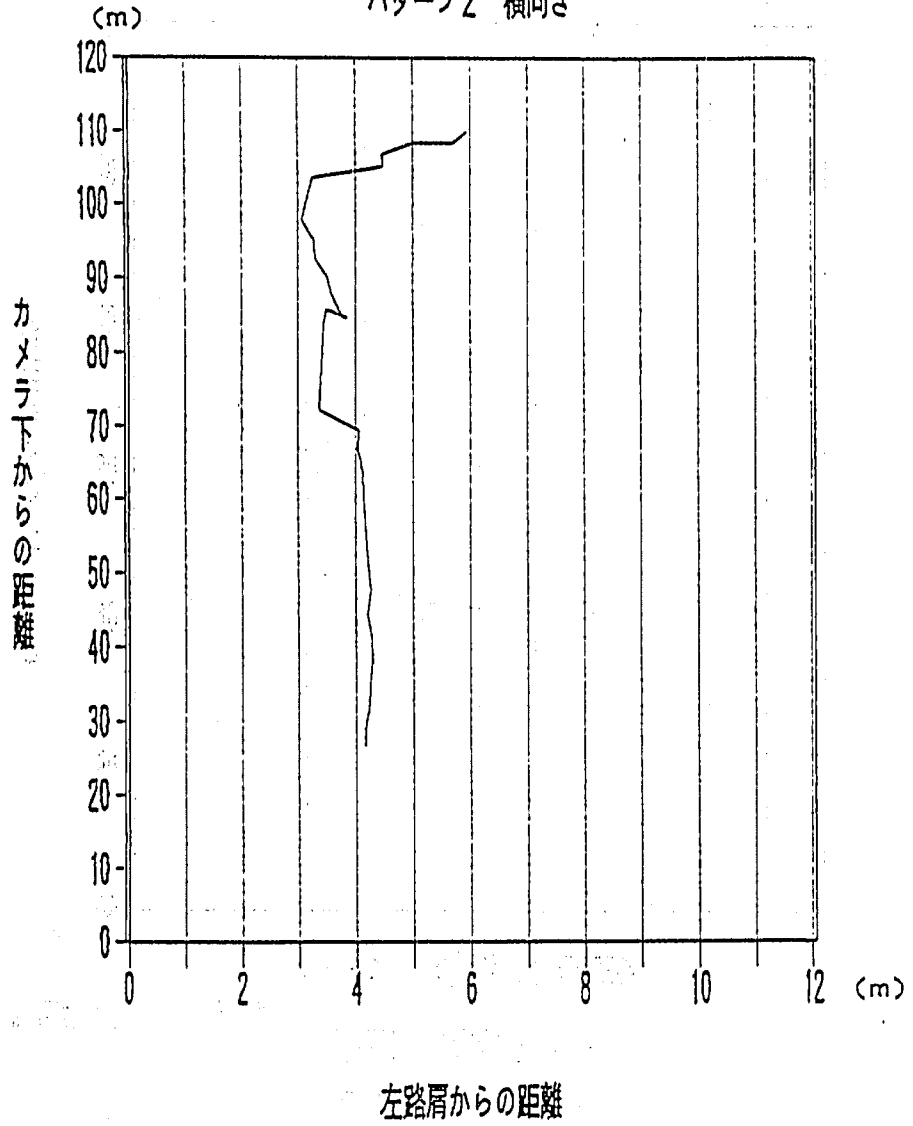


図表（4.1.1）2-390

停止細分化判定の評価（夜）

焦点距離　15.0mm
撮影範囲　26.5m ～ 110m

パターン2　横向き

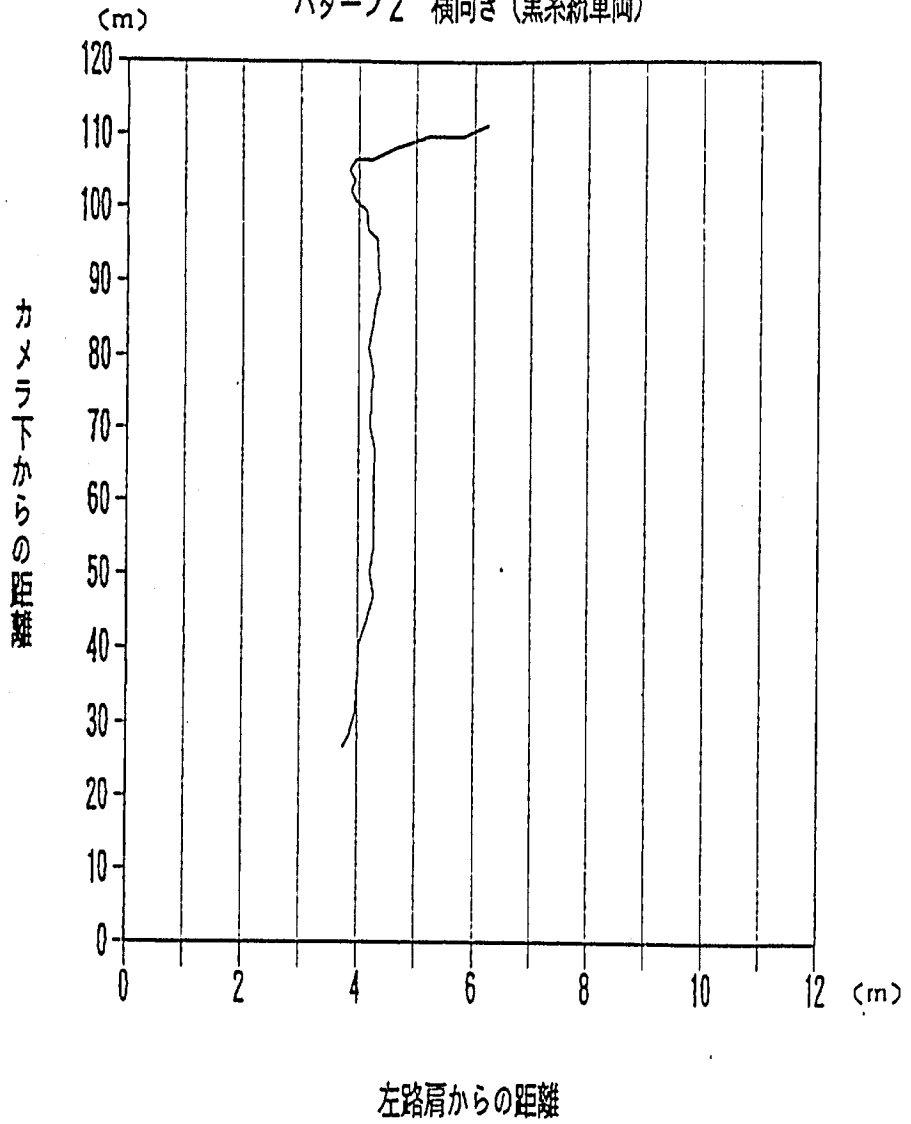


図表(4.1.1) 2-392

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 15.0mm
撮影範囲 26.5m ～ 110m

パターン2　横向き（黒系統車両）

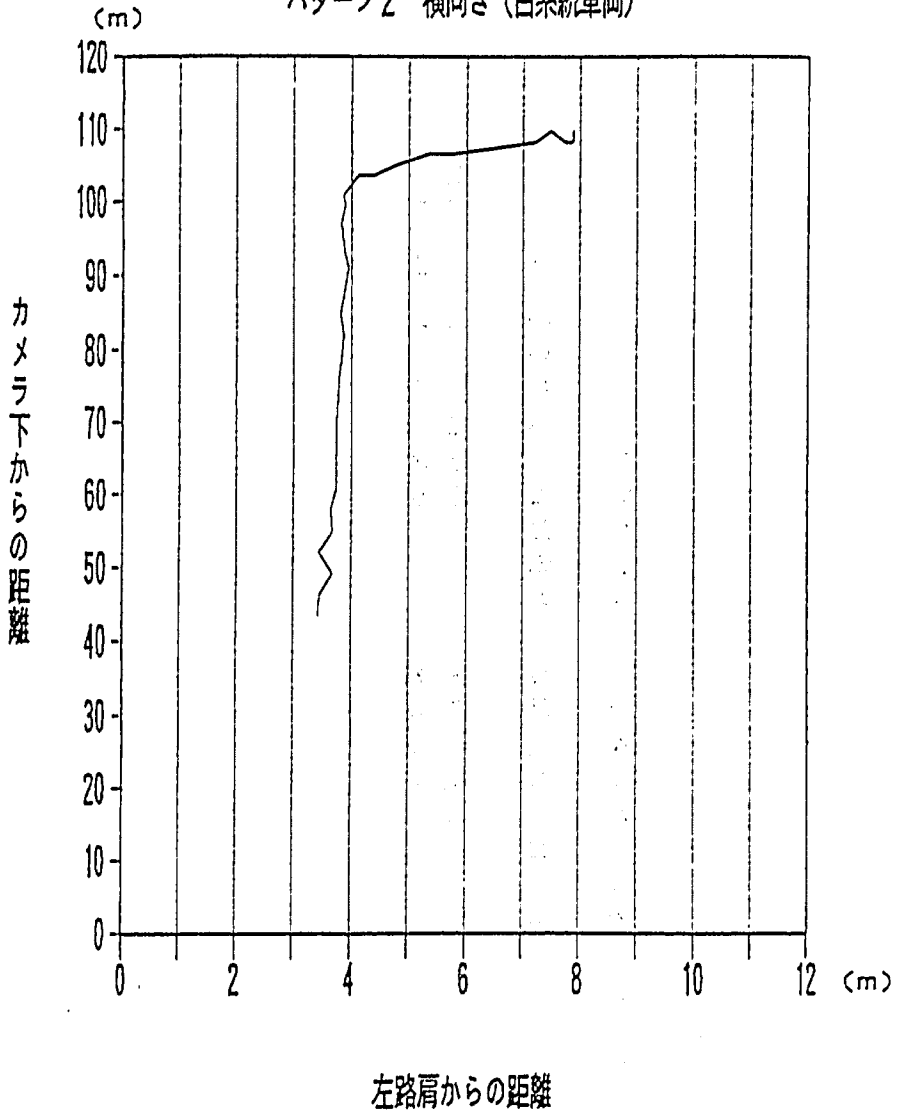


図表(4.1.1) 2-391

停止細分化判定の評価（昼）

焦点距離 15.0mm
撮影範囲 26.5m ～ 110m

パターン2　横向き（白系統車両）

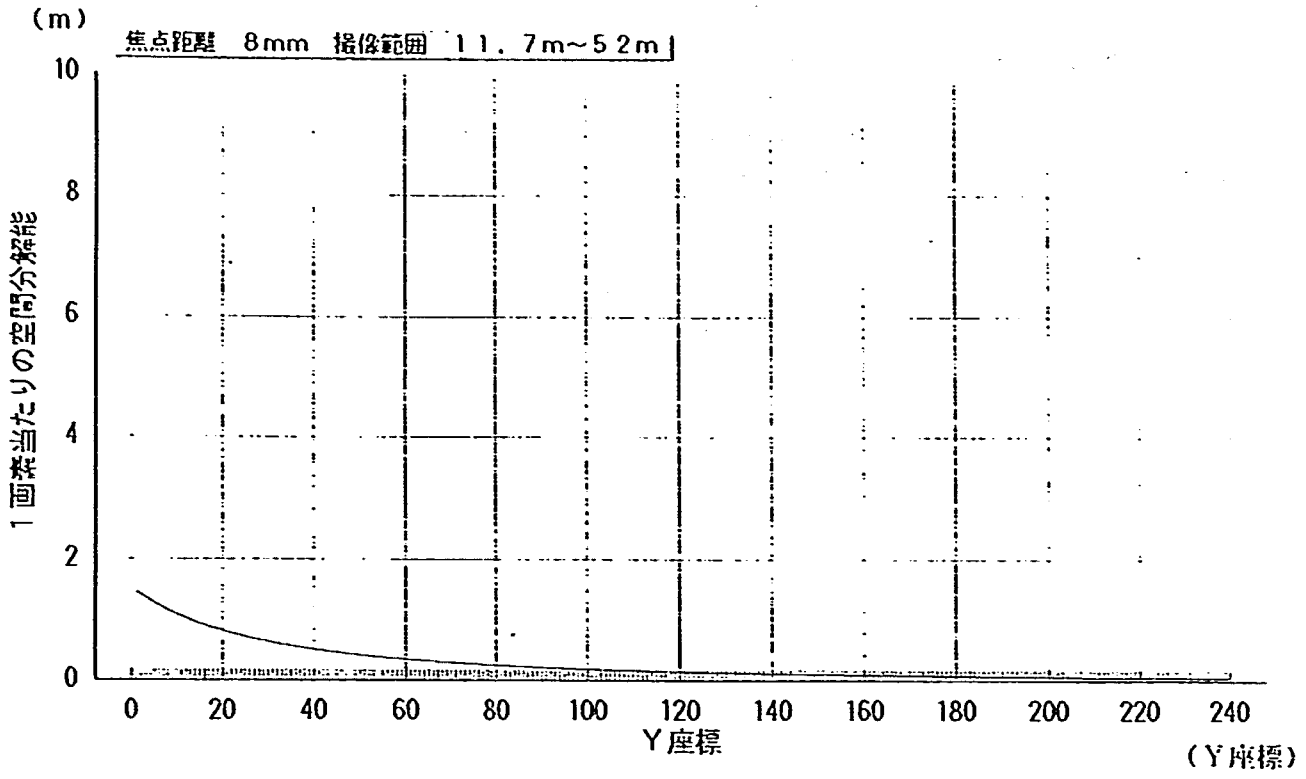


2．5　各レンズにおける分解能グラフ

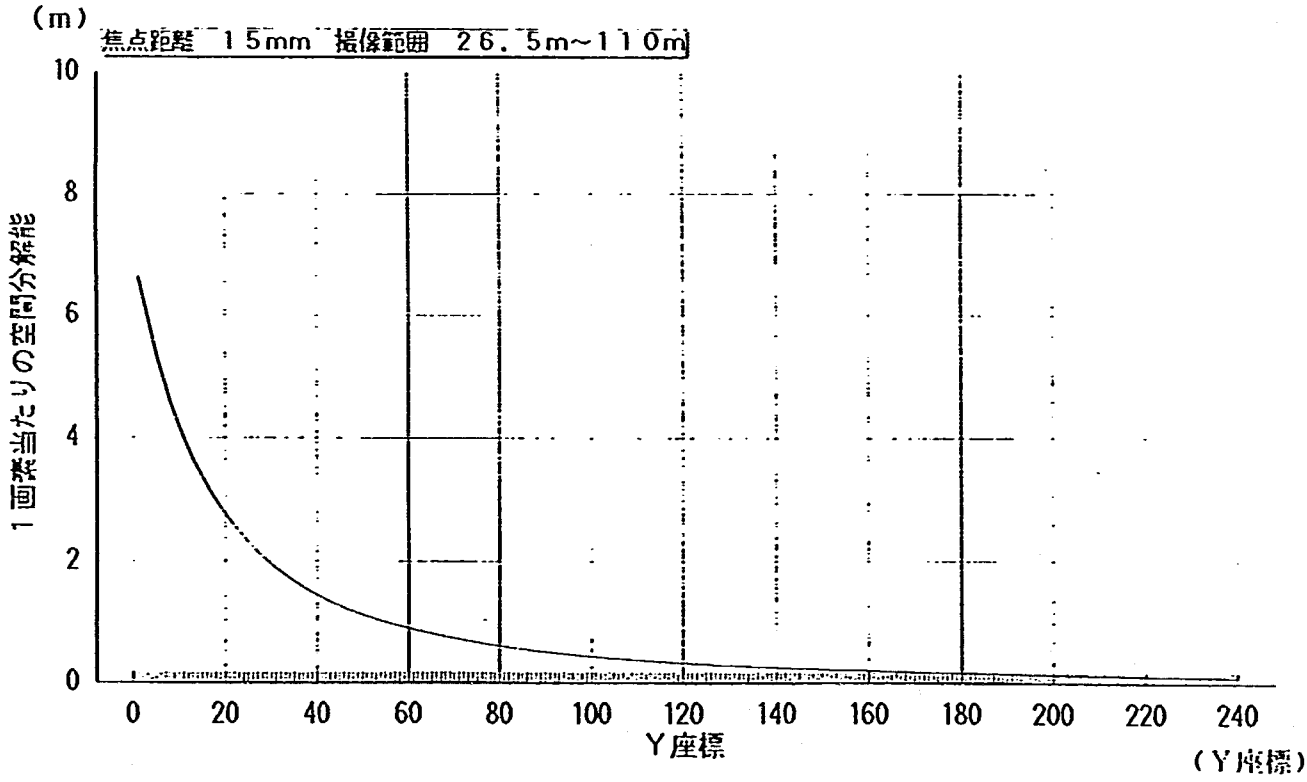
下記について作成した分解能グラフを示す。

1)焦点距離　8㎜　撮像範囲　11.7～ 52㎜
2)焦点距離　15㎜　撮像範囲　26.5～110㎜

図表(4.1.1) 2-393　1画素当たりの空間分解能（1）



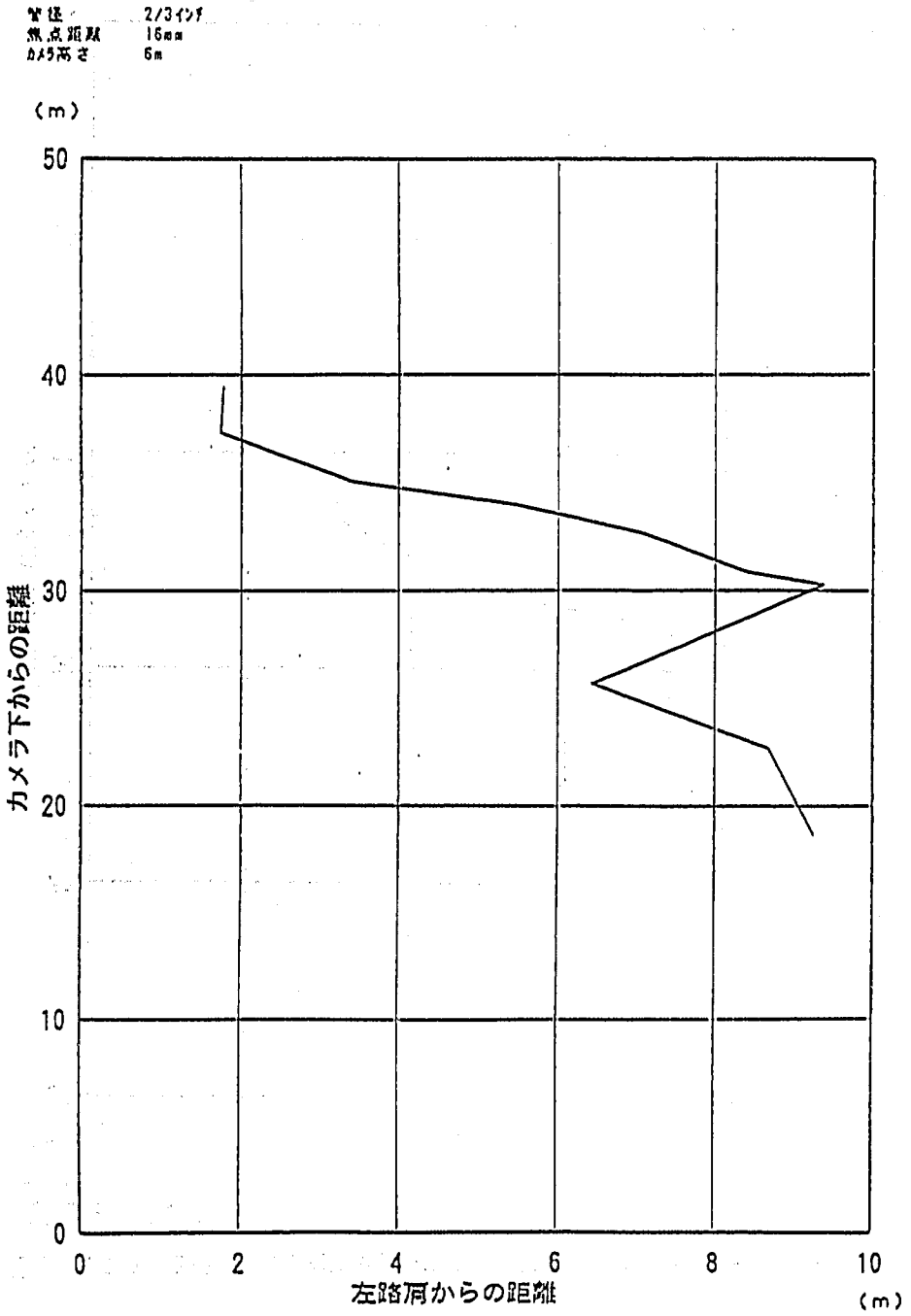
図表(4.1.1) 2-394　1画素当たりの空間分解能（2）



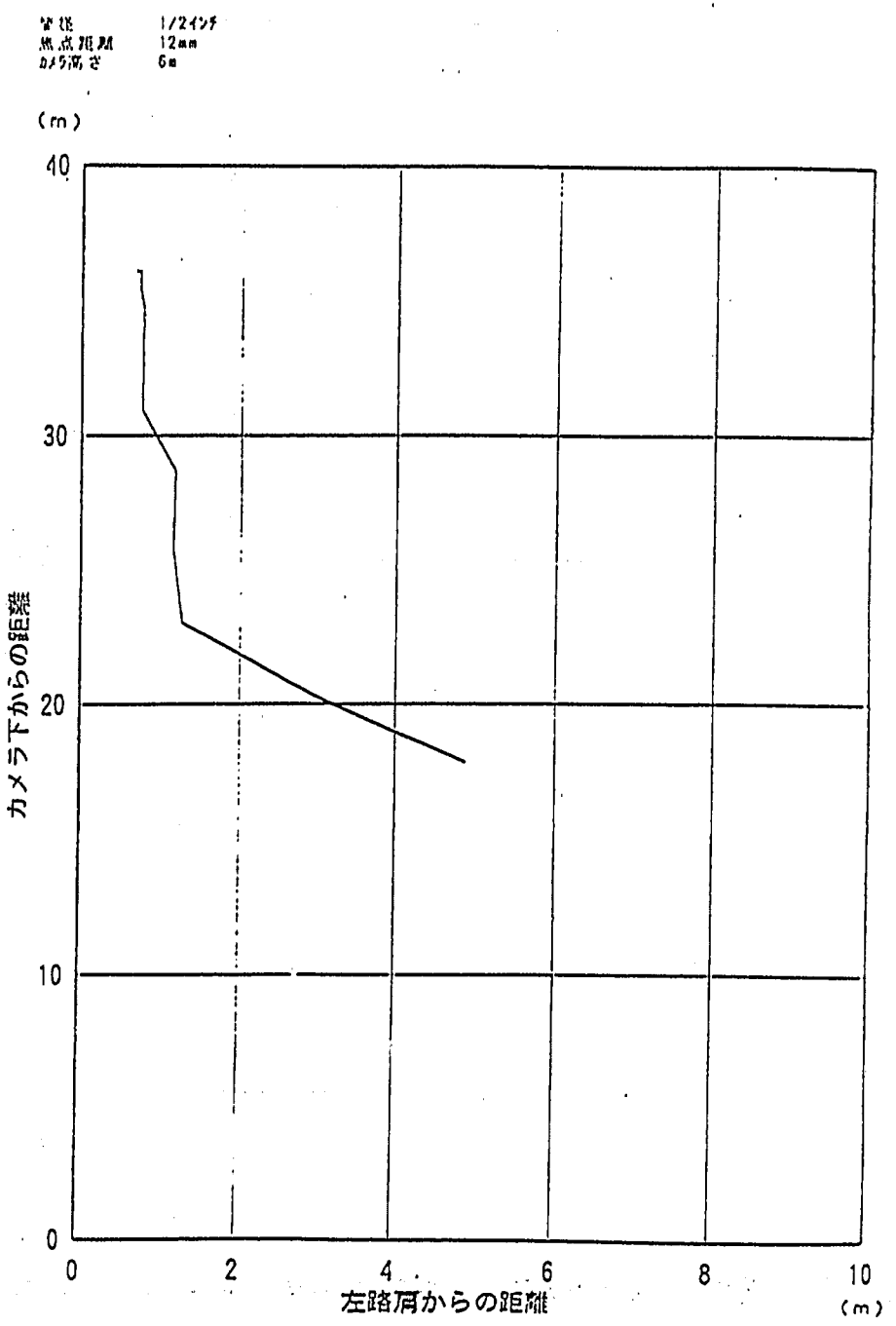
3　実際の事故映像の評価（新宿カーブ）

新宿カーブでの事故映像（２カメラ、２事象）を評価したグラフと各カメラの分解能グラフを次ページ以降に示す。

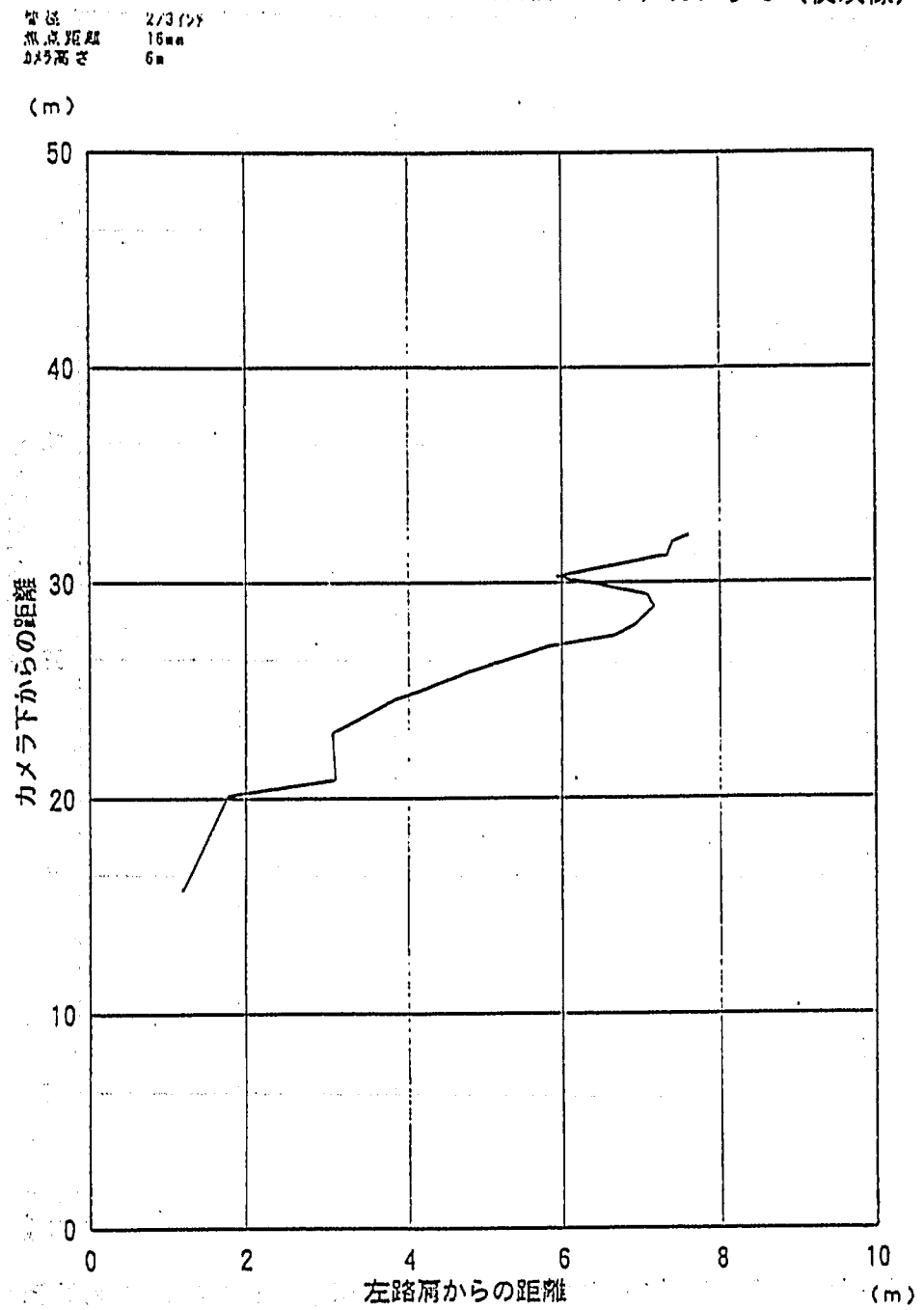
図表(4.1.1) 2-396　事故映像の評価（新宿カーブ）カメラC（昼映像）



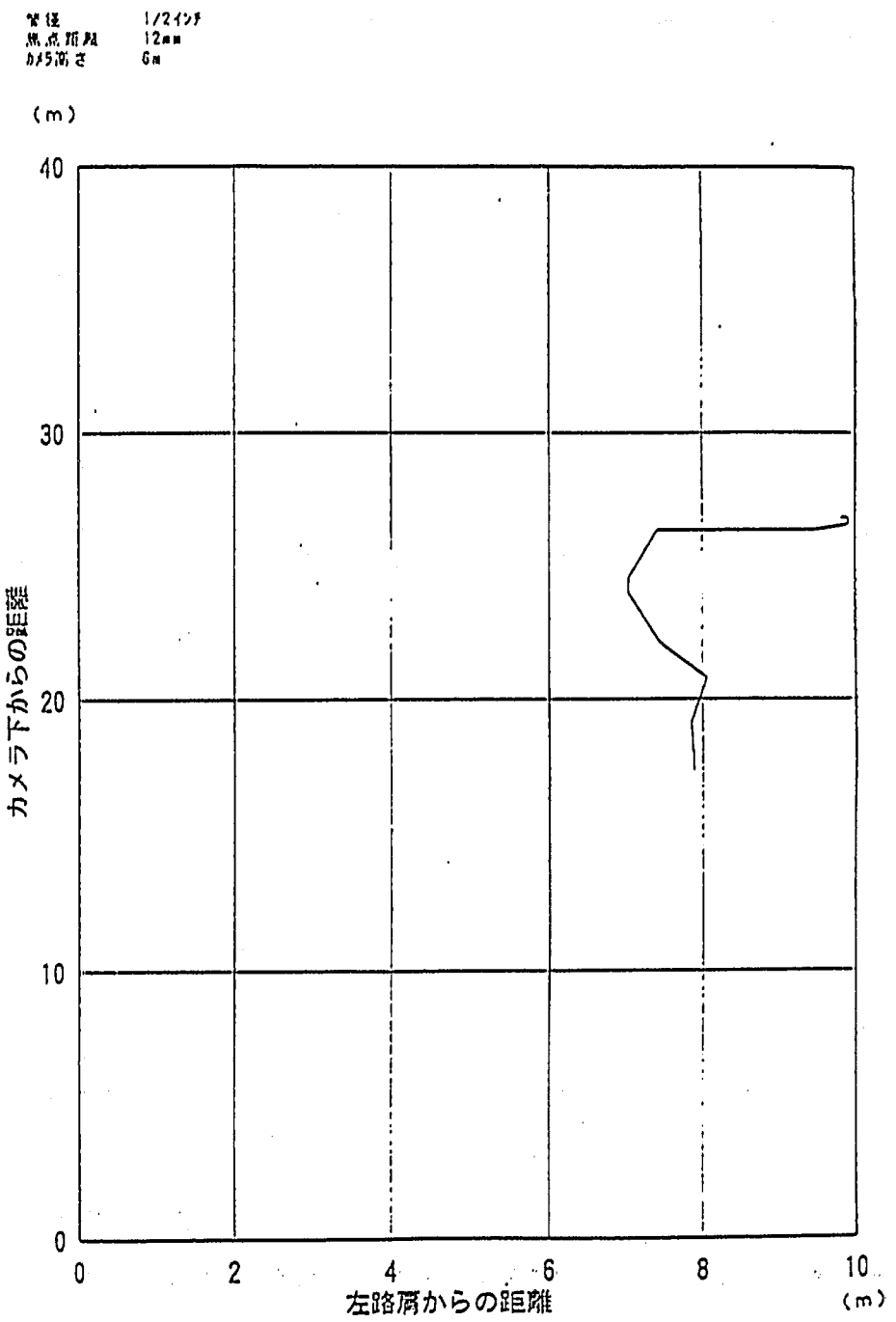
図表(4.1.1) 2-395　事故映像の評価（新宿カーブ）カメラB（昼映像）



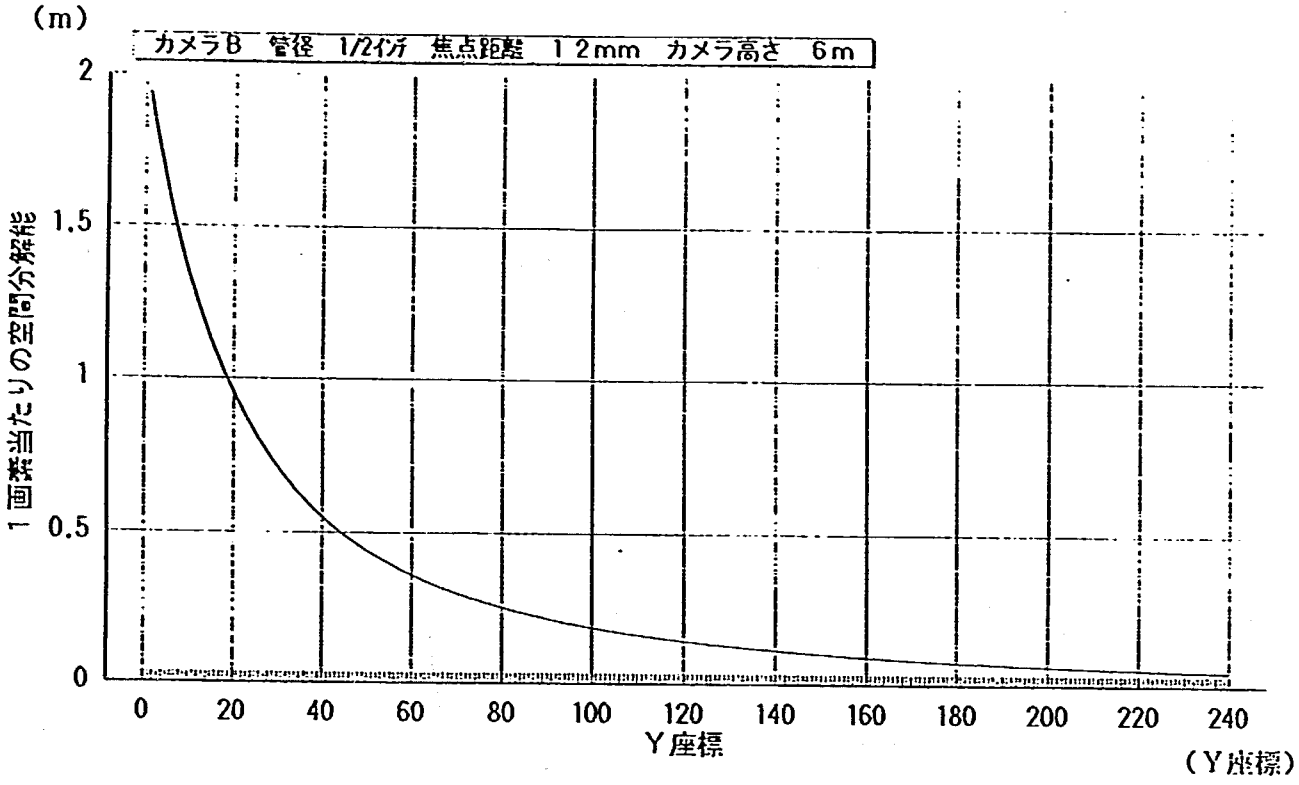
図表(4.1.1) 2-398　事故映像の評価（新宿カーブ）カメラC（夜映像）



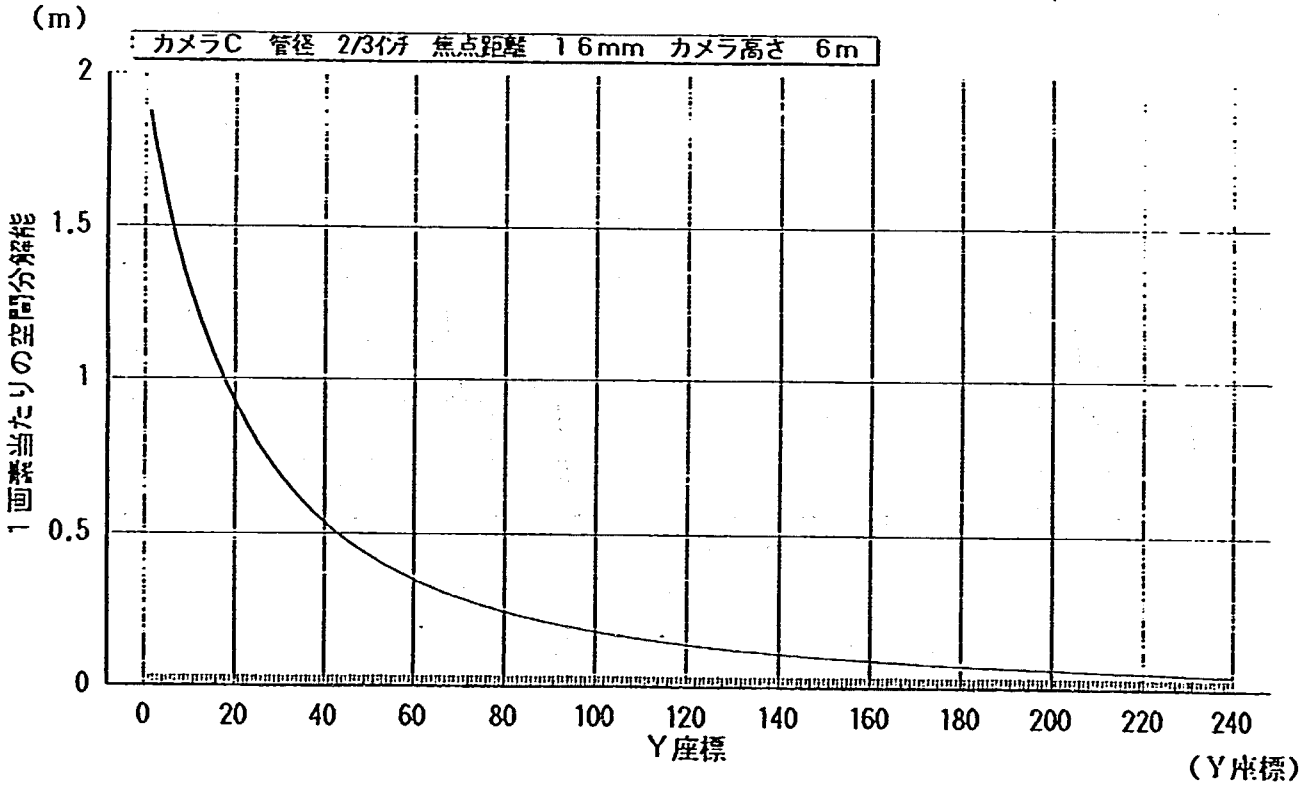
図表(4.1.1) 2-397　事故映像の評価（新宿カーブ）カメラB（夜映像）



図表(4.1.1) 2-399　1画素当たりの空間分解能（1）



図表(4.1.1) 2-400　1画素当たりの空間分解能（2）

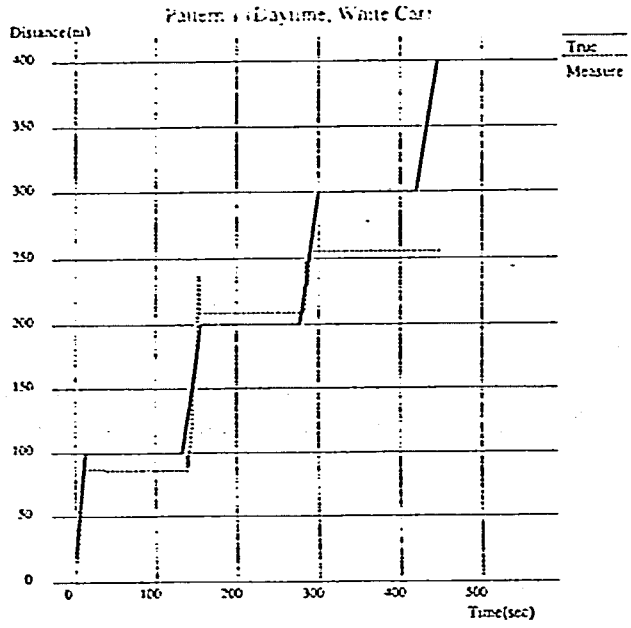


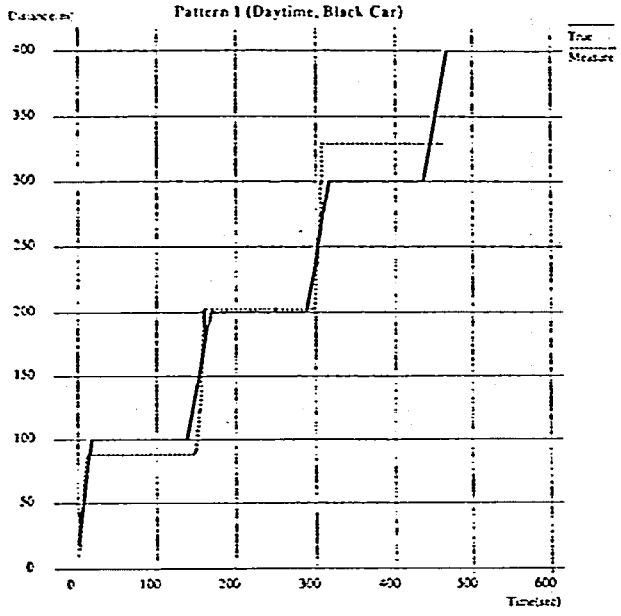
D 手 法

1 カバーエリアの評価

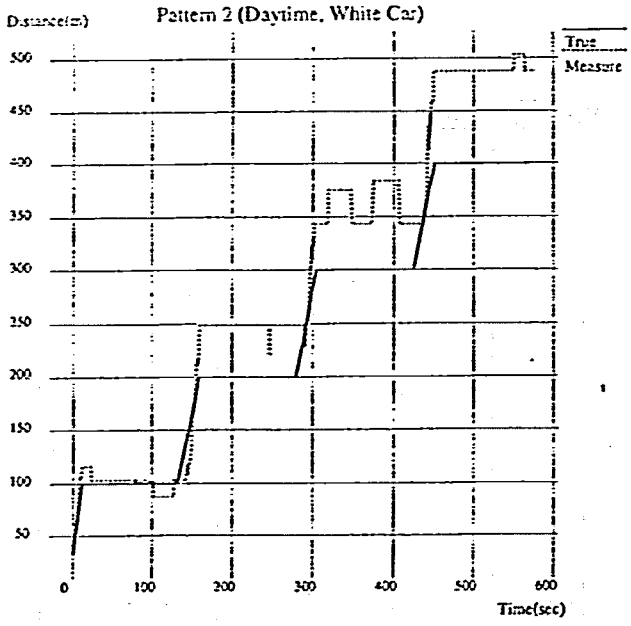
1.1 昼間の実験

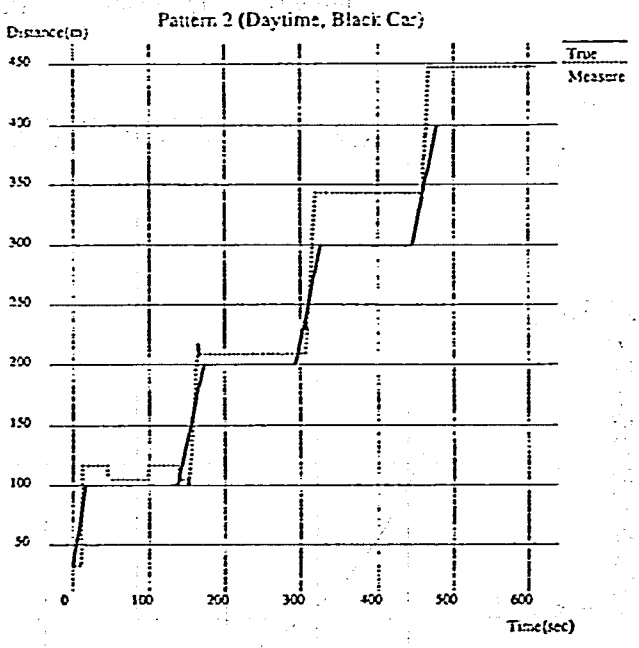
図表(4. 1. 1) 2-401 パターン1 (焦点距離8. 0mm、映像範囲18. 4～400. 0m)



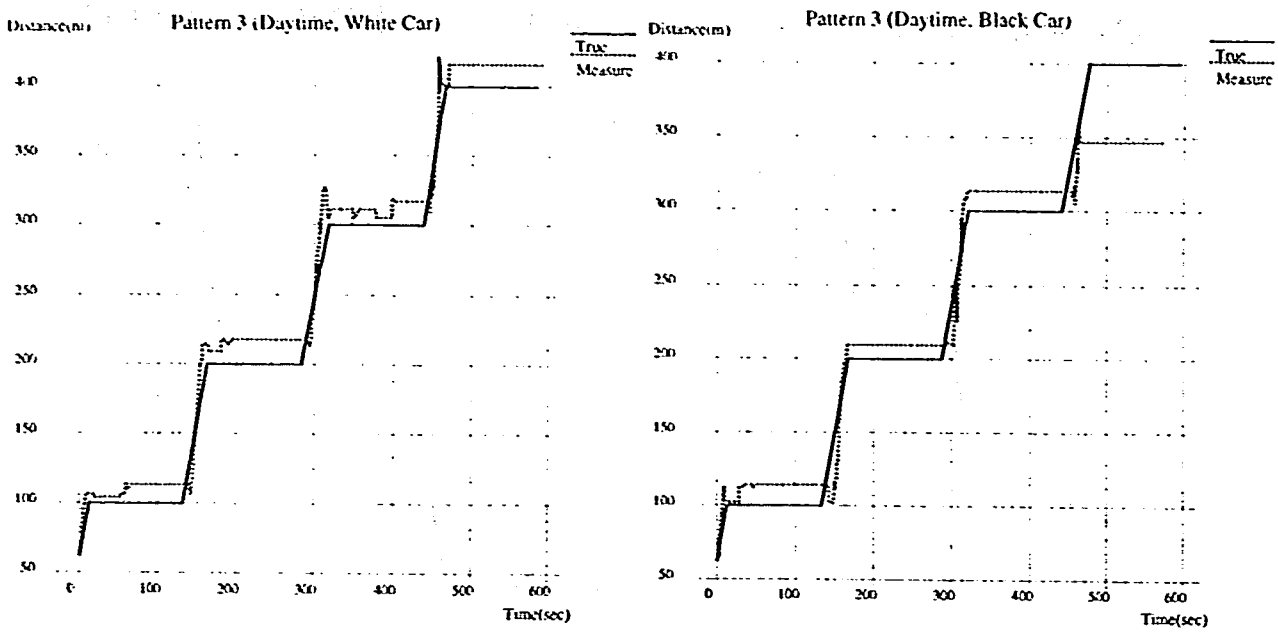


図表(4. 1. 1) 2-402 パターン2 (焦点距離15. 0mm、映像範囲32. 7～400. 0m)

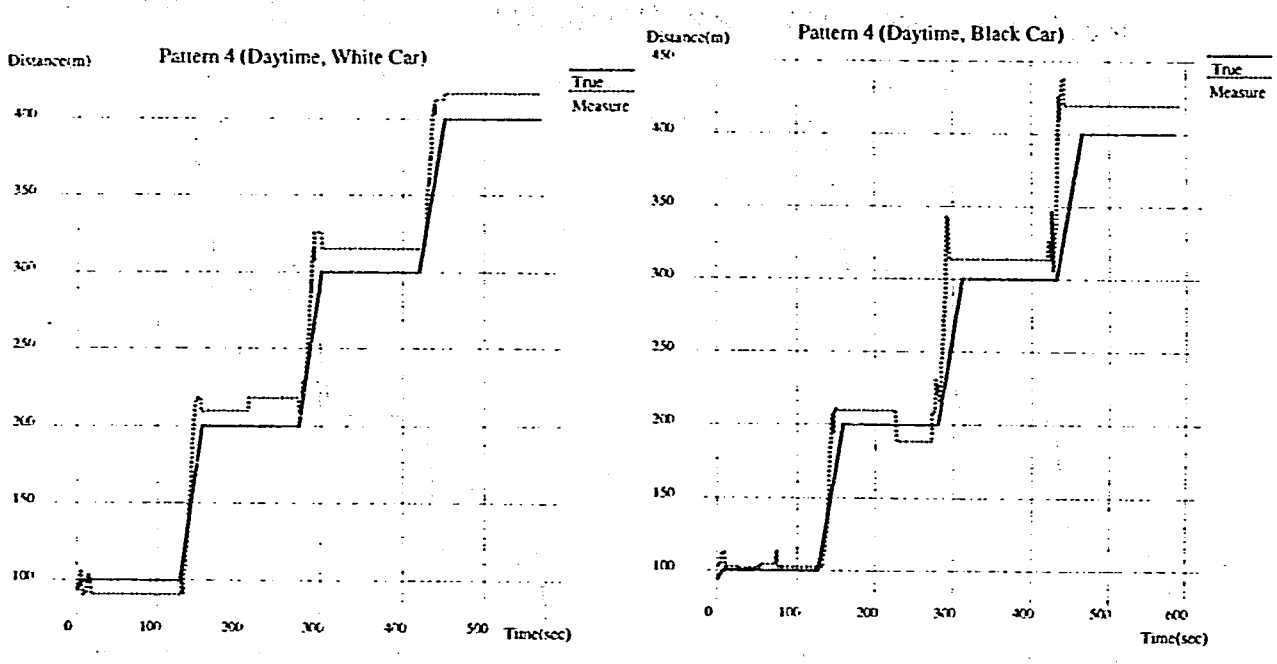




図表(4.1.1) 2-403　パターン3 (焦点距離30.0mm、映像範囲62.1～400.0m)

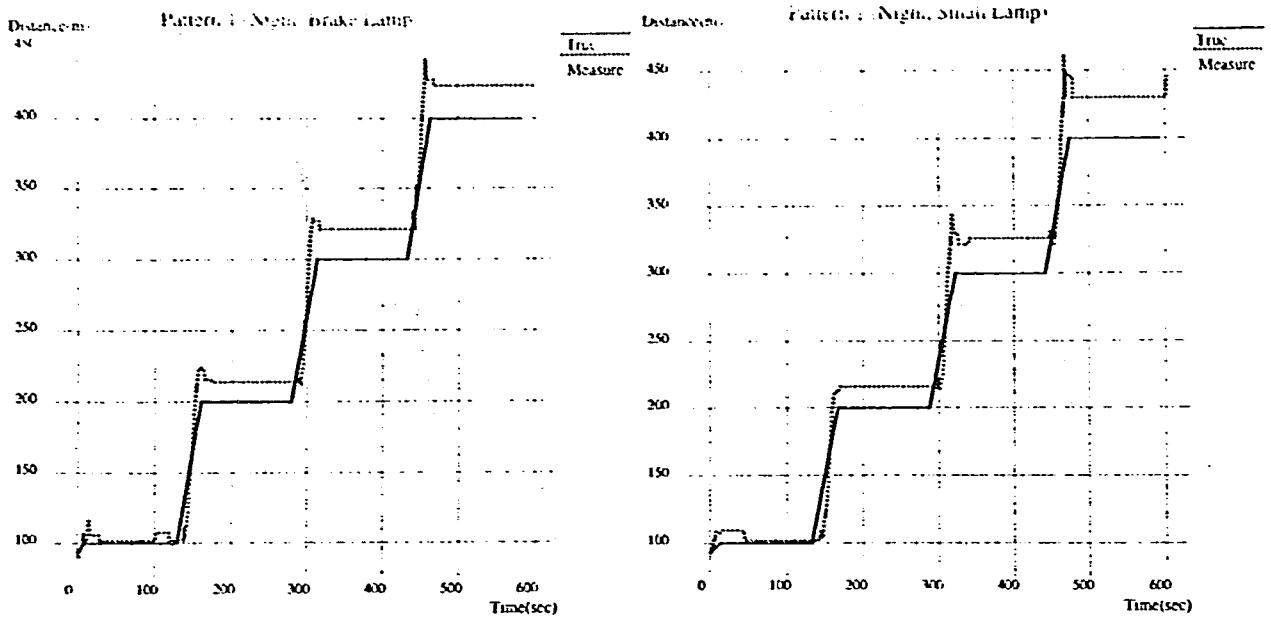


図表(4.1.1) 2-404　パターン4 (焦点距離48.0mm、映像範囲93.7～400.0m)

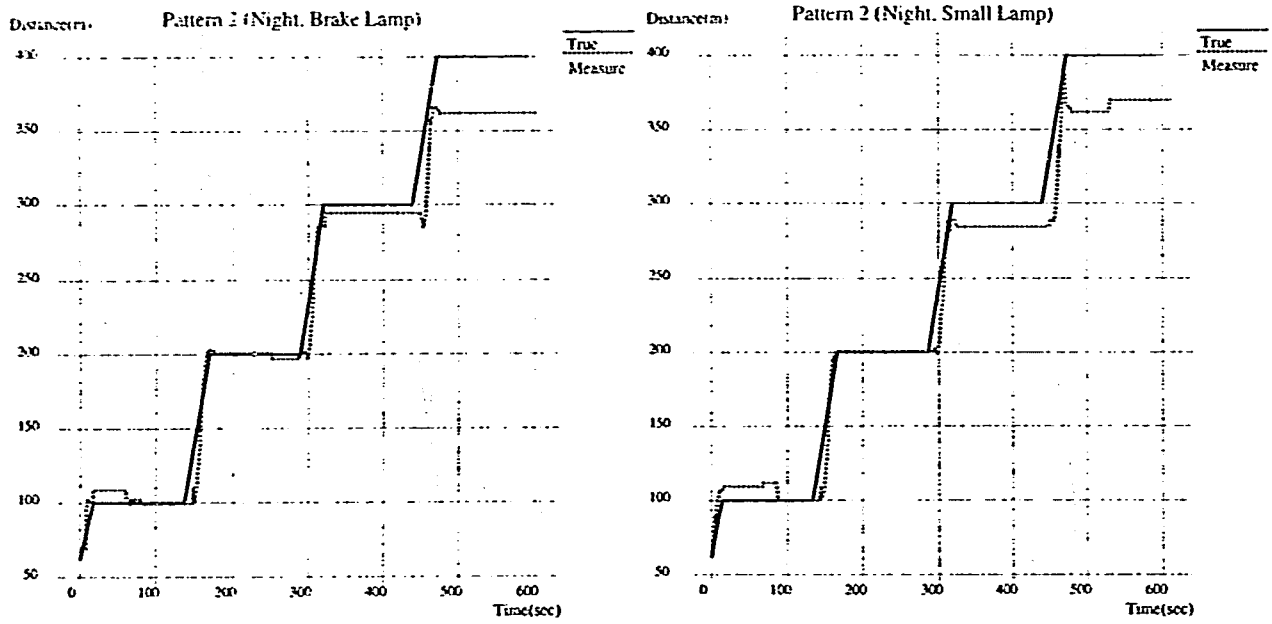


1.2 夜間の実験

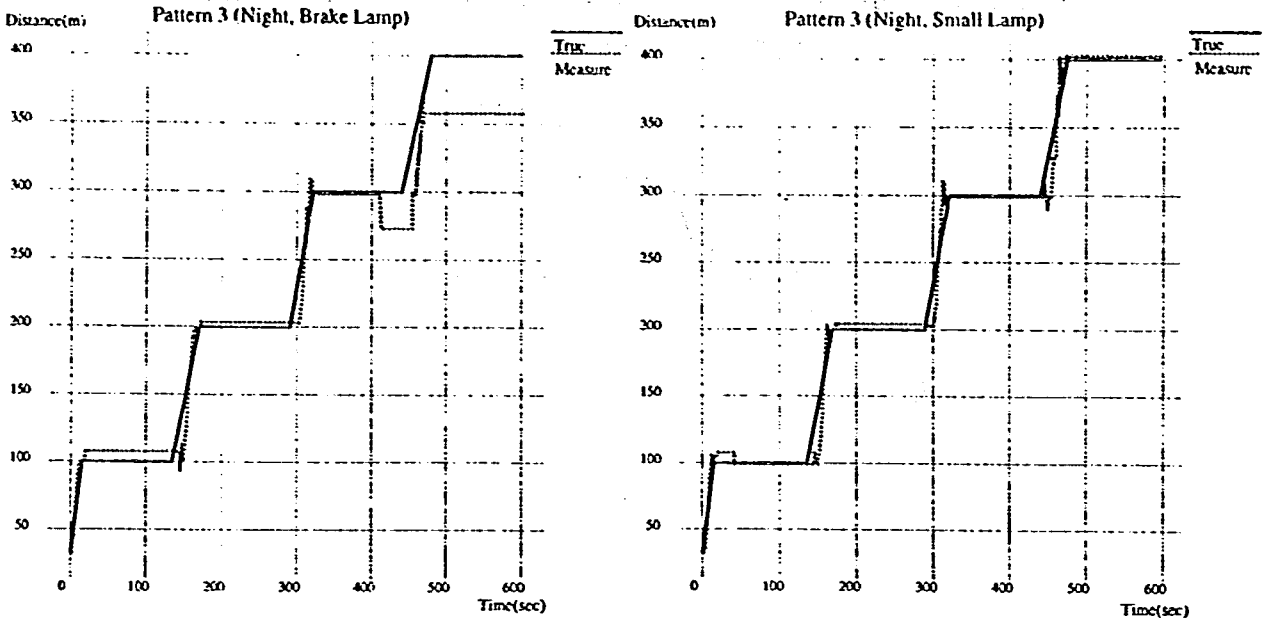
図表(4.1.1) 2-405 パターン1 (焦点距離48.0mm、映像範囲93.7～400.0m)



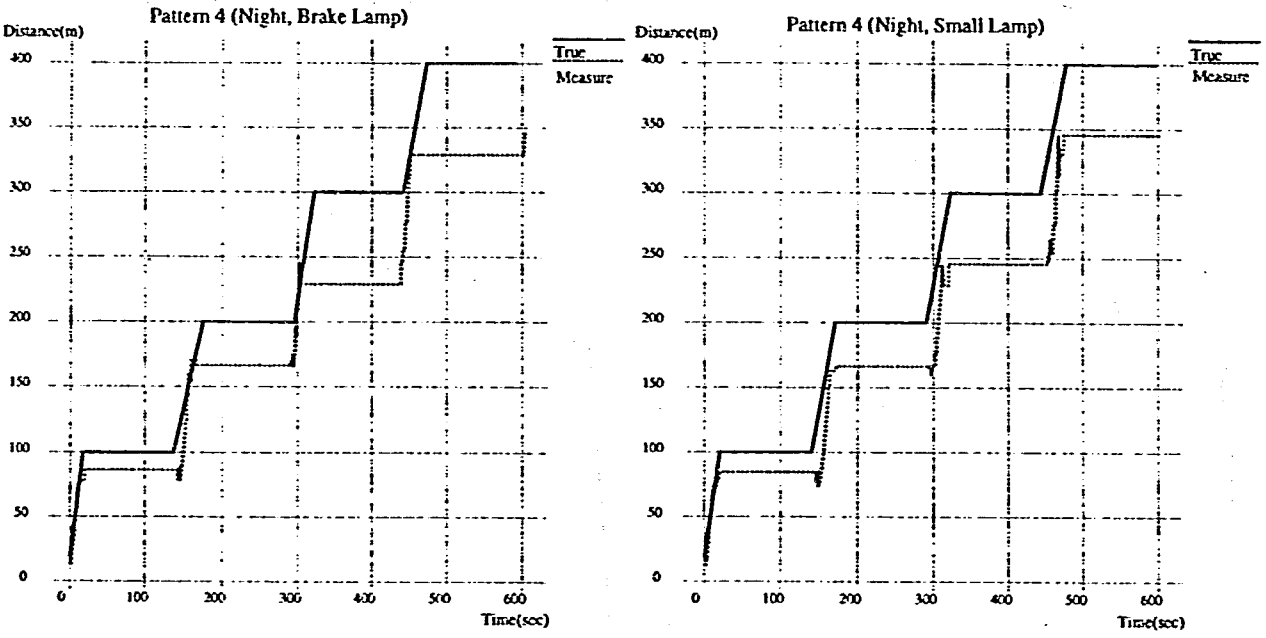
図表(4.1.1) 2-406 パターン2 (焦点距離30.0mm、映像範囲62.1～400.0m)



図表(4.1.1) 2-407 パターン3 (焦点距離15.0㎜、映像範囲32.7～400.0m)

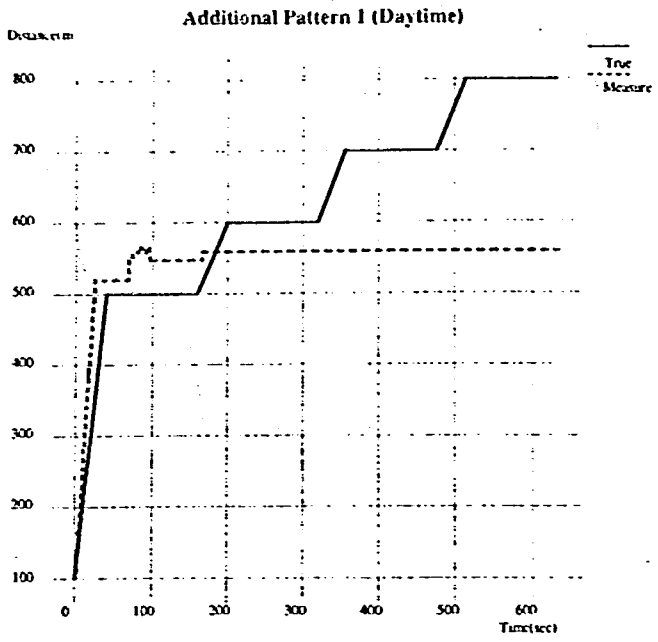


図表(4.1.1) 2-408 パターン4 (焦点距離8.0㎜、映像範囲18.4～400.0m)

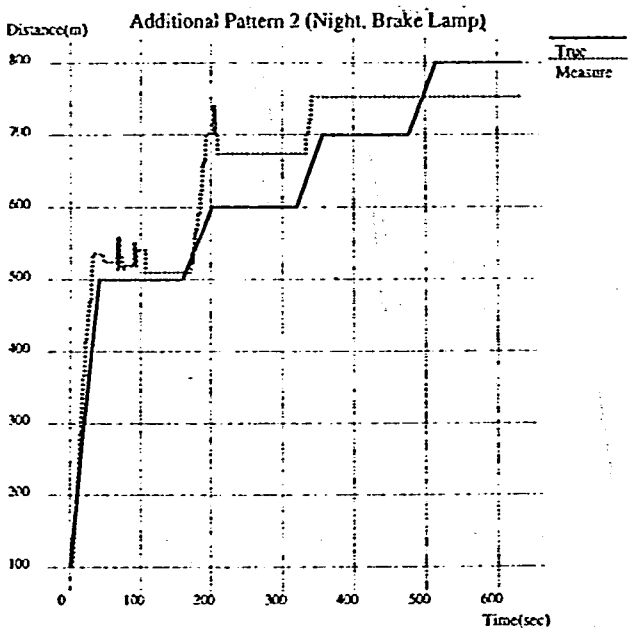


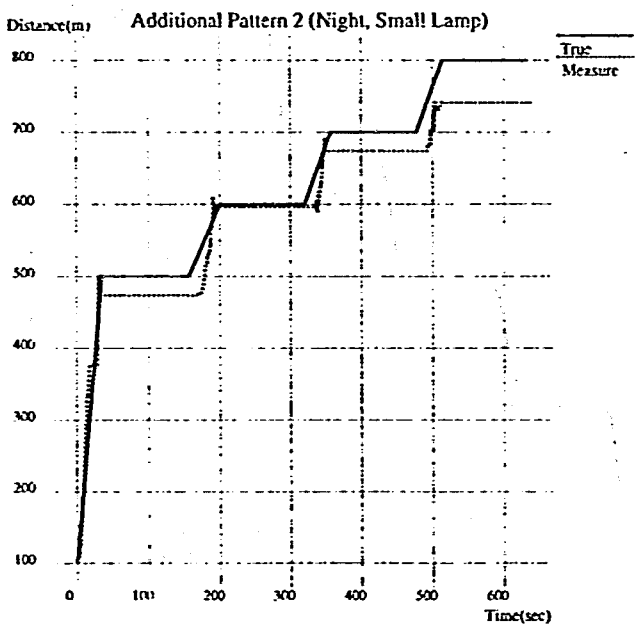
1.3 追加データ

図表(4. 1. 1) 2-409 追加データ（焦点距離48. 0mm、映像範囲100. 0～800. 0m）



図表(4. 1. 1) 2-410 パターン1 （焦点距離48. 0mm、映像範囲100. 0～800. 0m）





1.4 停止検出時間に関する評価

各パターン毎に停止開始時刻、停止終了時刻の真値と画像処理により求めた計測値を示す。なお、表に記載の時刻は計測開始時刻からの経過時間（単位：秒）を示している。

図表（4. 1. 1） 2-411

パターン 1 （昼間、白系統車両、計測開始時刻：13:16:09）

停止位置 (m)	真値 (sec)		計測値 (sec)	
	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	13:16:23	13:18:23	13:16:22	13:18:27
200	13:18:45	13:20:45	13:18:43	13:20:51
300	13:21:08	13:23:08	13:20:58	—
400	13:23:35	13:25:35	—	—

図表（4. 1. 1） 2-412

パターン 1 （昼間、黒系統車両、計測開始時刻：13:26:45）

停止位置 (m)	真値 (sec)		計測値 (sec)	
	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	13:27:03	13:29:03	13:26:58	13:29:13
200	13:29:33	13:31:33	13:29:26	13:31:44
300	13:32:02	13:34:02	13:31:53	—
400	13:34:32	13:36:32	—	—

図表（4. 1. 1） 2-413

パターン 2 （昼間、白系統車両、計測開始時刻：14:08:43）

停止位置 (m)	真値 (sec)		計測値 (sec)	
	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	14:08:55	14:10:55	14:08:53	14:11:05
200	14:11:22	14:13:22	14:11:22	14:13:31
300	14:13:47	14:15:47	14:13:45	14:16:00
400	14:16:14	14:18:14	14:16:13	—

図表（4. 1. 1） 2-414

パターン 2 （昼間、黒系統車両、計測開始時刻：14:19:29）

停止位置 (m)	真値 (sec)		計測値 (sec)	
	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	14:19:47	14:21:47	14:19:42	14:22:00
200	14:22:22	14:24:22	14:22:16	14:24:34
300	14:24:55	14:26:55	14:24:48	—
400	14:27:28	14:29:28	—	—

図表 (4. 1. 1) 2-415

パターン 3 (昼間、白系統車両、計測開始時刻：14:49:18)

停止位置 (m)	真値 (sec)		計測値 (sec)	
	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	14:49:30	14:51:30	14:49:26	14:51:38
200	14:52:00	14:54:00	14:51:54	14:54:10
300	14:54:36	14:56:36	14:54:37	14:56:43
400	14:57:03	14:59:03	14:56:57	—

図表 (4. 1. 1) 2-416

パターン 3 (昼間、黒系統車両、計測開始時刻：15:00:33)

停止位置 (m)	真値 (sec)		計測値 (sec)	
	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	15:00:46	15:02:46	15:00:48	15:03:01
200	15:03:21	15:05:21	15:03:19	15:05:35
300	15:05:55	15:07:55	15:05:53	15:08:09
400	15:08:29	15:10:29	15:08:16	—

図表 (4. 1. 1) 2-417

パターン 4 (昼間、白系統車両、計測開始時刻：15:22:33)

停止位置 (m)	真値 (sec)		計測値 (sec)	
	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	15:22:41	15:24:41	15:22:30	15:24:45
200	15:25:06	15:27:06	15:24:59	15:27:08
300	15:27:34	15:29:34	15:27:25	15:29:38
400	15:30:04	15:32:04	15:29:52	—

図表 (4. 1. 1) 2-418

パターン 4 (昼間、黒系統車両、計測開始時刻：15:33:17)

停止位置 (m)	真値 (sec)		計測値 (sec)	
	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	15:33:25	15:35:25	15:33:23	15:35:28
200	15:35:57	15:37:57	15:35:48	15:37:53
300	15:38:29	15:40:29	15:38:12	15:40:22
400	15:41:03	15:43:03	15:40:39	—

図表 (4. 1. 1) 2-419

パターン 1 (夜間、ブレーキ灯、計測開始時刻：17:47:42)

停止位置 (m)	真値 (sec)		計測値 (sec)	
	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	17:47:51	17:49:51	17:47:50	17:49:58
200	17:50:22	17:52:22	17:50:19	17:52:30
300	17:52:55	17:54:55	17:52:49	17:55:02
400	17:55:25	17:57:25	17:55:20	—

図表 (4. 1. 1) 2-420

パターン 1 (夜間、スモール灯、計測開始時刻：18:02:45)

停止位置 (m)	真値 (sec)		計測値 (sec)	
	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	18:02:59	18:04:59	18:02:54	18:05:10
200	18:05:33	18:07:33	18:05:36	18:07:43
300	18:08:07	18:10:07	18:08:04	18:10:17
400	18:10:40	18:12:40	18:10:37	—

図表 (4. 1. 1) 2-421

パターン 2 (夜間、ブレーキ灯、計測開始時刻：18:28:06)

停止位置 (m)	真値 (sec)		計測値 (sec)	
	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	18:28:22	18:30:22	18:28:16	18:30:33
200	18:30:55	18:32:55	18:30:52	18:33:03
300	18:33:26	18:35:26	18:33:20	18:35:39
400	18:36:00	18:38:00	18:35:53	—

図表 (4. 1. 1) 2-422

パターン 2 (夜間、スモール灯、計測開始時刻：18:39:35)

停止位置 (m)	真値 (sec)		計測値 (sec)	
	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	18:39:49	18:41:49	18:39:45	18:41:56
200	18:42:21	18:44:21	18:42:20	18:44:33
300	18:44:54	18:46:54	18:44:53	18:47:09
400	18:47:28	18:49:28	18:47:27	—

図表 (4. 1. 1) 2-423

パターン 3 (夜間、ブレーキ灯、計測開始時刻：19:15:10)

停止位置 (m)	真値 (sec)		計測値 (sec)	
	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	19:15:25	19:17:25	19:15:21	19:17:34
200	19:18:00	19:20:00	19:17:53	19:20:11
300	19:20:31	19:22:31	19:20:30	19:22:48
400	19:23:09	19:25:09	19:22:59	—

図表 (4. 1. 1) 2-424

パターン 3 (夜間、スモール灯、計測開始時刻：19:26:32)

停止位置 (m)	真値 (sec)		計測値 (sec)	
	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	19:26:47	19:28:47	19:26:46	19:29:00
200	19:29:21	19:31:21	19:29:17	19:31:32
300	19:31:53	19:33:53	19:31:48	19:34:05
400	19:34:28	19:36:28	19:34:23	—

図表 (4. 1. 1) 2-425

パターン 4 (夜間、ブレーキ灯、計測開始時刻： 19:42:56)

停止位置	真値 (sec)		計測値 (sec)	
(m)	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	19:43:12	19:45:12	19:43:07	19:45:18
200	19:45:41	19:47:41	19:45:36	19:47:47
300	19:48:09	19:50:09	19:48:00	—
400	19:50:39	19:52:39	—	—

図表 (4. 1. 1) 2-426

パターン 4 (夜間、スモール灯、計測開始時刻： 19:54:17)

停止位置	真値 (sec)		計測値 (sec)	
(m)	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
100	19:54:37	19:56:37	19:54:36	19:56:42
200	19:57:08	19:59:08	19:57:01	19:59:20
300	19:59:41	20:01:41	19:59:31	—
400	20:02:16	20:04:16	—	—

図表 (4. 1. 1) 2-427

追加パターン 1 (昼間、黒系統車両、計測開始時刻： 15:57:28)

停止位置	真値 (sec)		計測値 (sec)	
(m)	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
500	15:58:18	16:00:18	15:57:54	—
600	16:02:28	16:04:28	—	—
700	16:05:20	16:07:20	—	—
800	16:08:08	16:08:08	—	—

図表 (4. 1. 1) 2-428

追加パターン 2 (夜間、ブレーキ灯、計測開始時刻： 17:30:19)

停止位置	真値 (sec)		計測値 (sec)	
(m)	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
500	17:30:59	17:32:59	17:30:49	17:33:10
600	17:33:40	17:35:40	17:33:30	—
700	17:36:16	17:38:16	—	—
800	17:38:54	17:40:54	—	—

図表 (4. 1. 1) 2-429

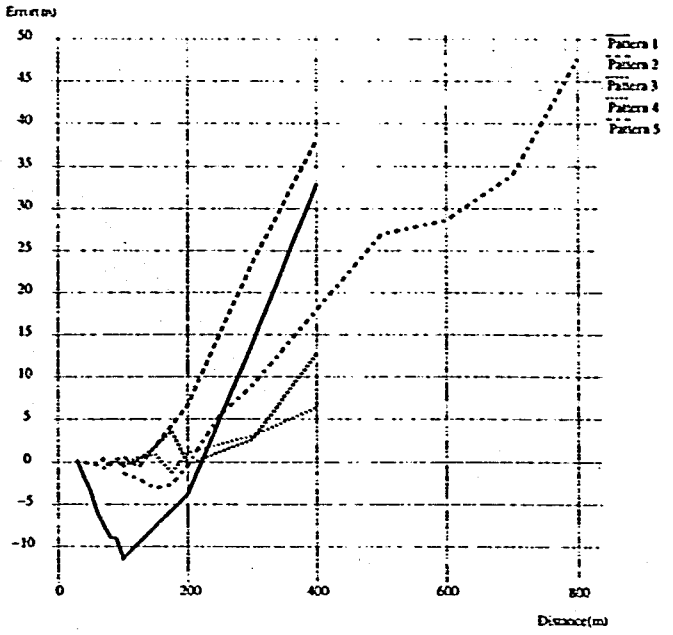
追加パターン 2 (夜間、スモール灯、計測開始時刻： 20:11:37)

停止位置	真値 (sec)		計測値 (sec)	
(m)	停止開始時刻	停止終了時刻	停止開始時刻	停止終了時刻
500	20:12:12	20:14:12	20:11:54	20:14:28
600	20:14:57	20:16:57	20:14:49	20:17:16
700	20:17:33	20:19:33	20:17:25	20:19:56
800	20:20:10	20:22:10	20:20:01	—

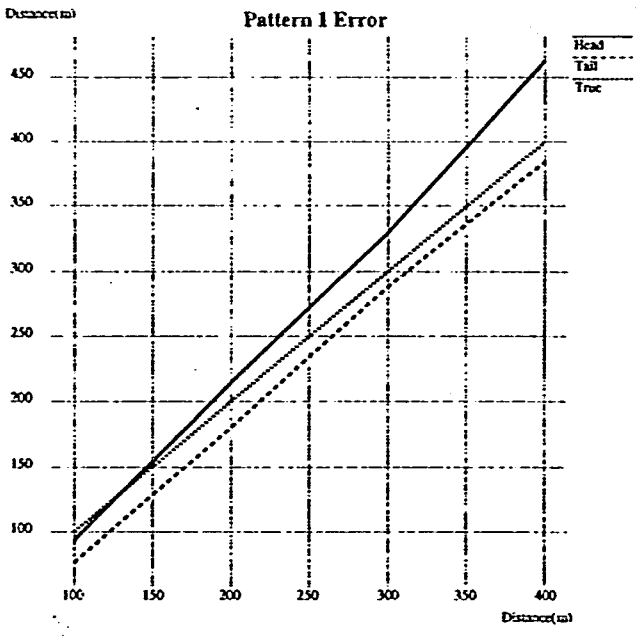
1.5　停止検出位置に関する評価

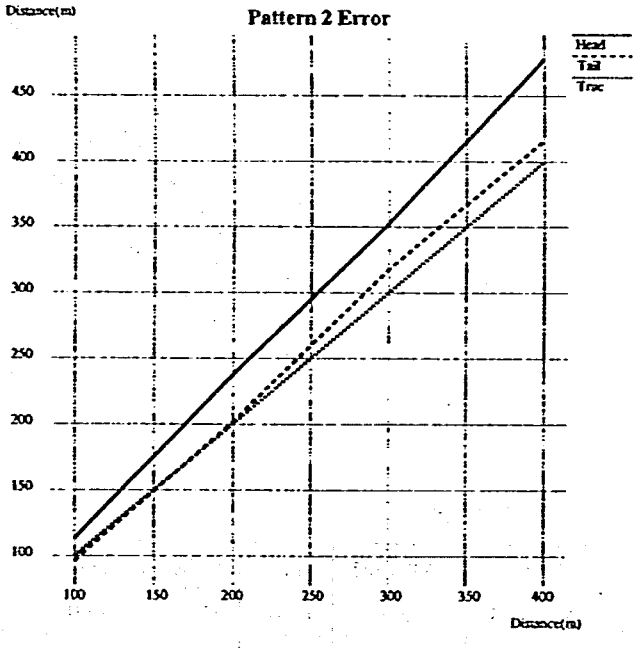
各パターン毎に停止検出位置の真値と画像処理により求めた計測値（画面上の座標値）から実際の位置に換算した場合の値を比較し、真値と計測値の誤差を表すグラフを示す。また、車両の先端部分を抽出した場合と、後尾部分を抽出した場合の誤差グラフを示す。

図表(4. 1. 1) 2-430　真値と座標値から換算した距離との誤差

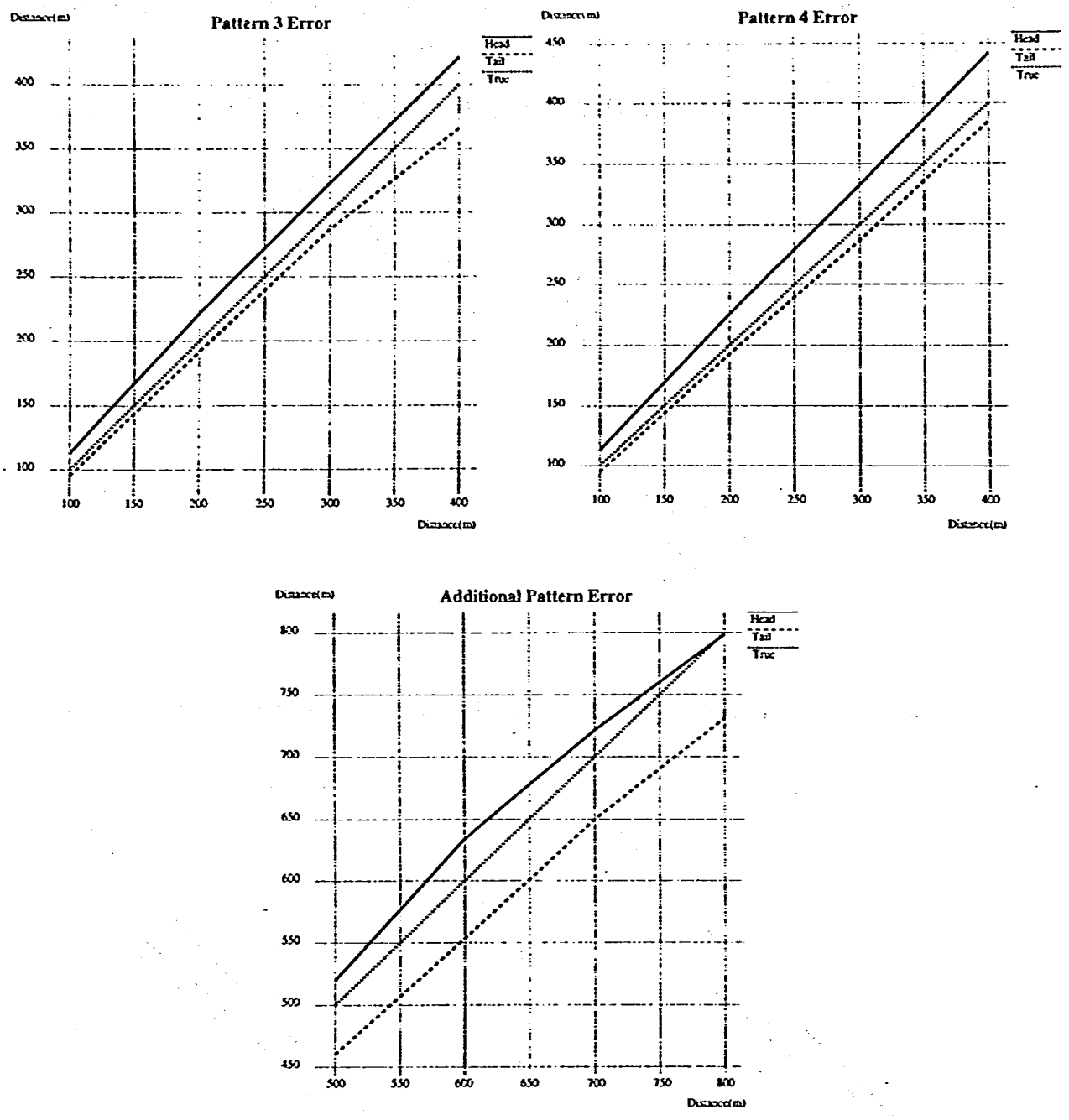


図表(4. 1. 1) 2-431　車両の検出場所（車頭・後尾）による検出位置の変化





図表(4. 1. 1) 2-432　車両の検出場所（車頭・後尾）による検出位置の変化



1.6　監視可能範囲

パターン	焦点距離	俯角	監視可能範囲
パターン1	8mm	19.6°	13.6 — 200.0m*
パターン2	15mm	12.0°	25.9 — 200.0m**
パターン3	30mm	6.5°	51.1 — 300.0m
パターン4	48mm	4.3°	79.7 — 400.0m

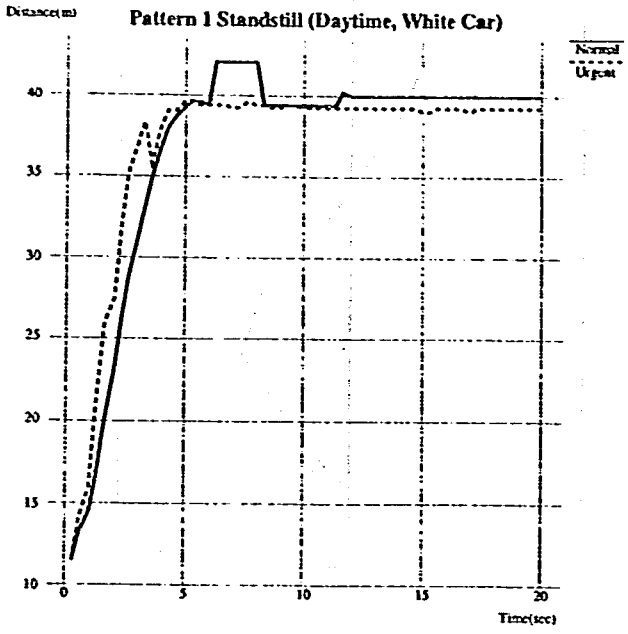
* ･･･ 1.1図1では300mまで停止検出可能と思われるが、200m以降は車両とノイズの区別が困難であり、信頼性に欠ける。

** ･･･ 1.1図2では300mまで停止検出可能と思われるが、200m以降は車両とノイズの区別が困難であり、信頼性に欠ける。

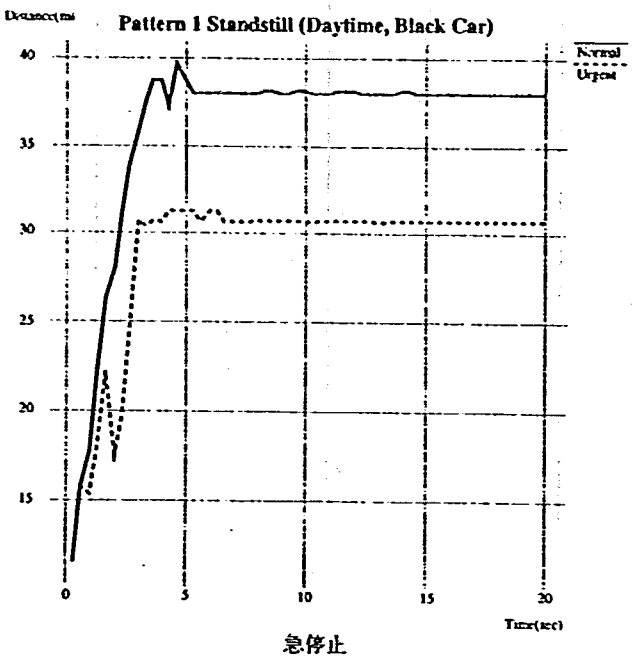
2　車両停止の細分化判定の評価

2.1　昼間の実験

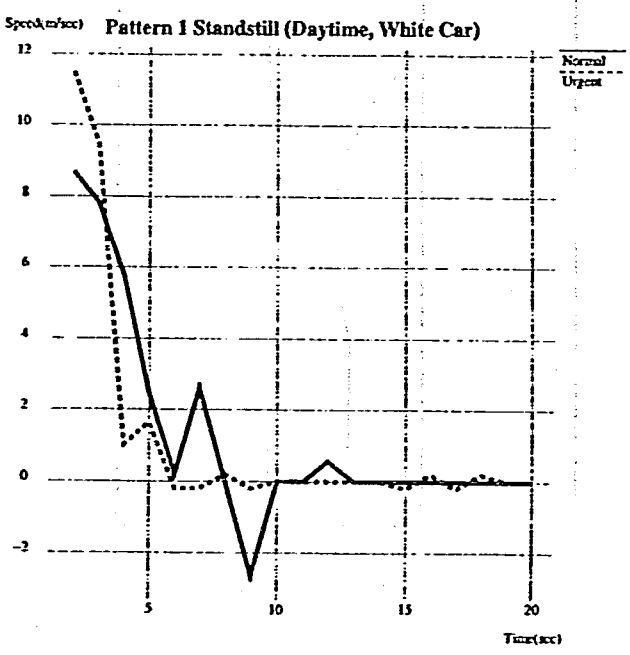
図表(4.1.1) 2-433　パターン1 (焦点距離8.0mm、映像範囲11.7～52.0m)



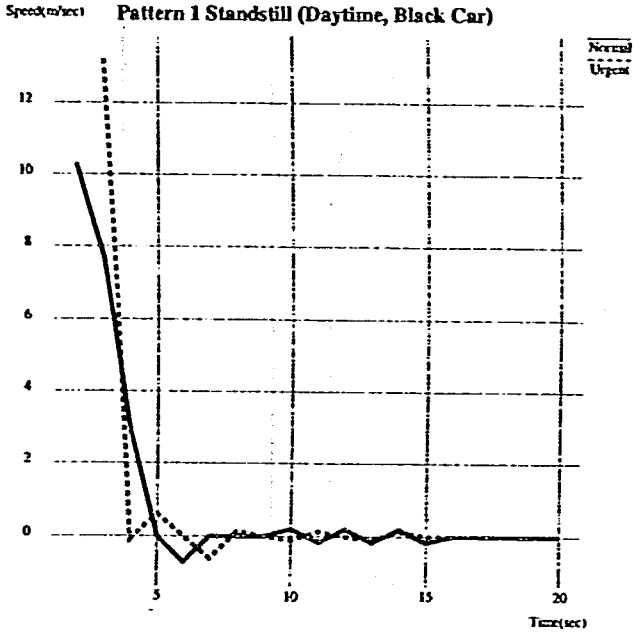
急停止



急停止

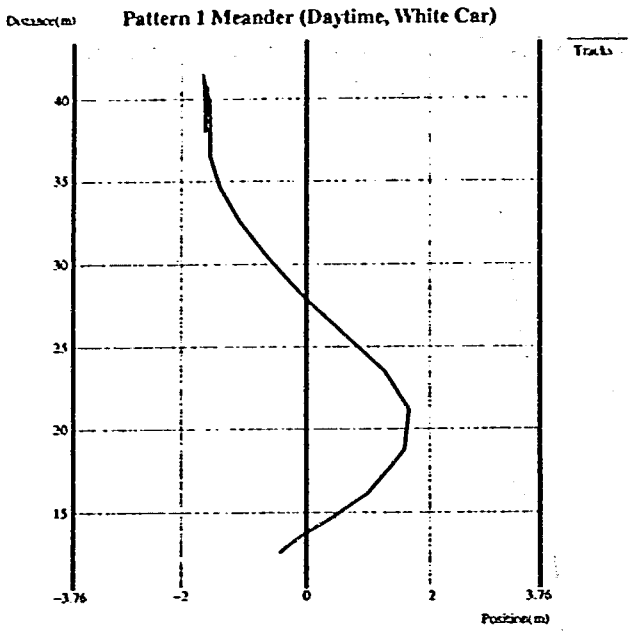


急停止

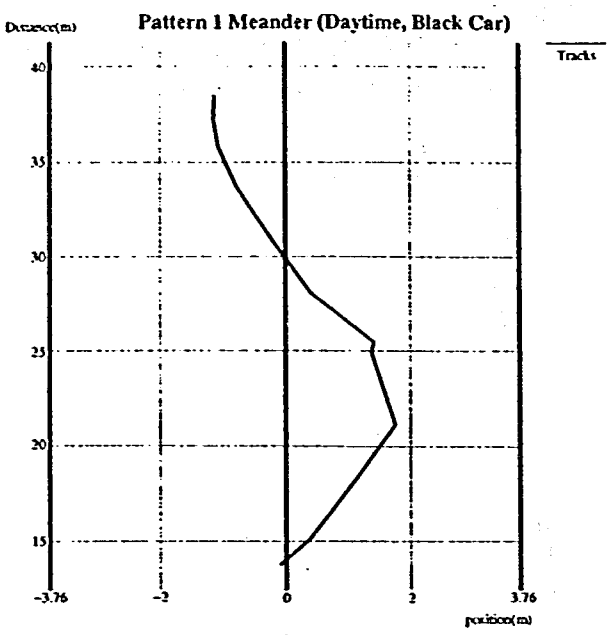


急停止

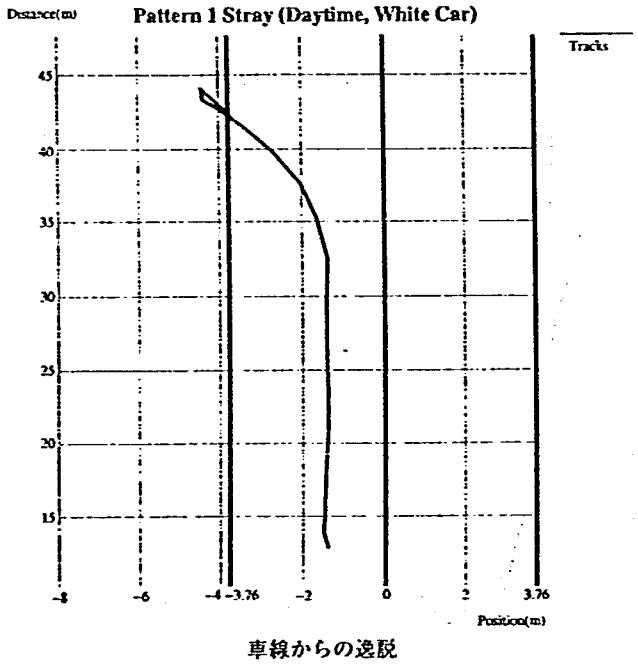
図表(4.1.1) 2-434 パターン1 (焦点距離8.0mm、映像範囲11.7～52.0m)



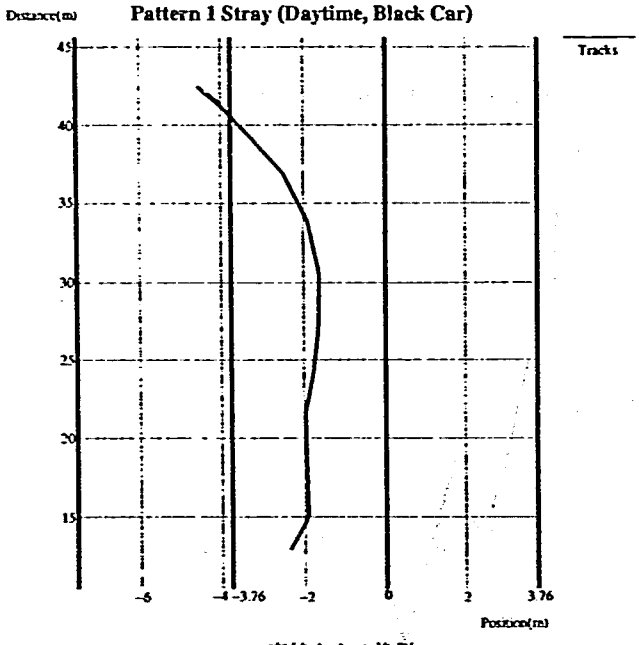
蛇行



蛇行

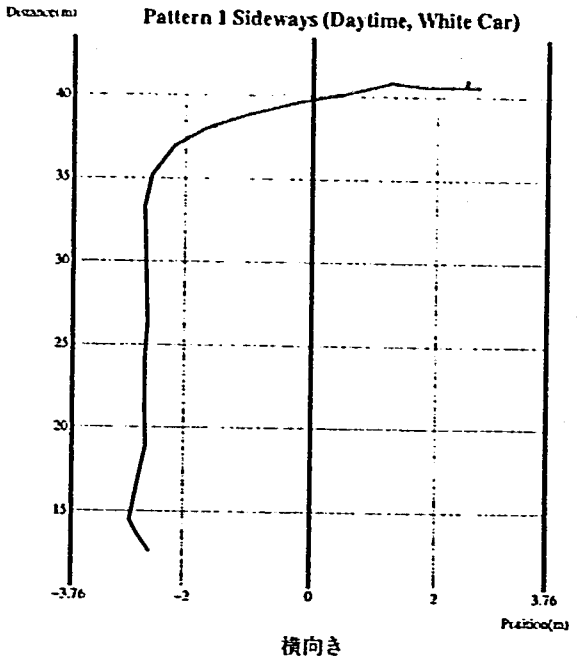


車線からの逸脱

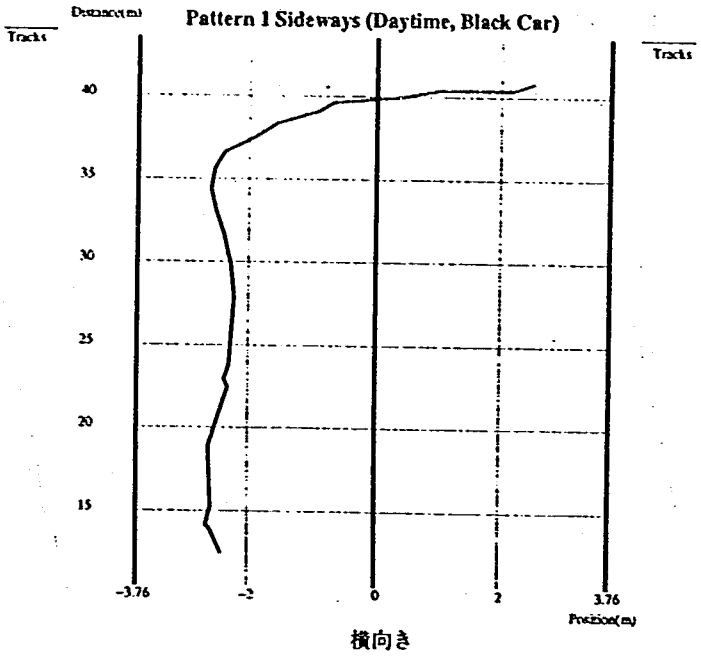


車線からの逸脱

図表(4.1.1) 2-435 パターン1 (焦点距離8.0mm、映像範囲11.7～52.0m)

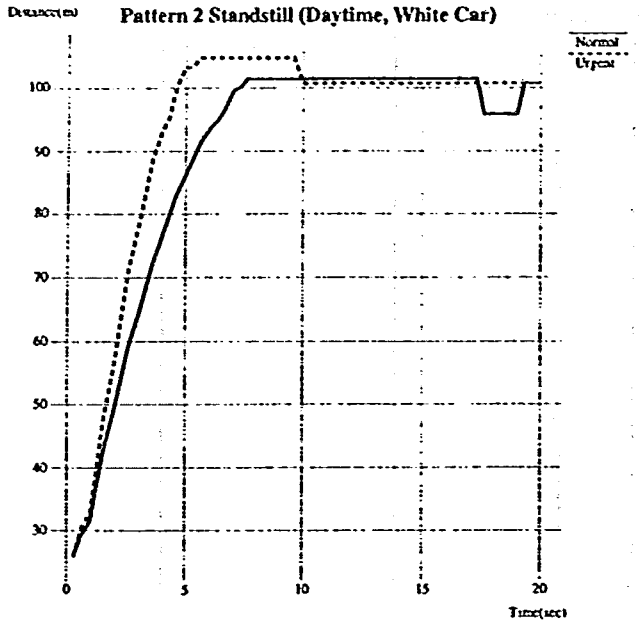


横向き

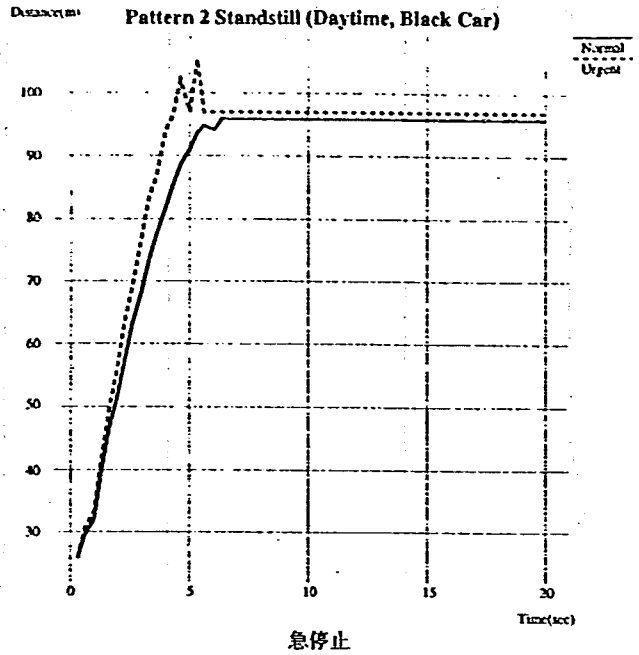


横向き

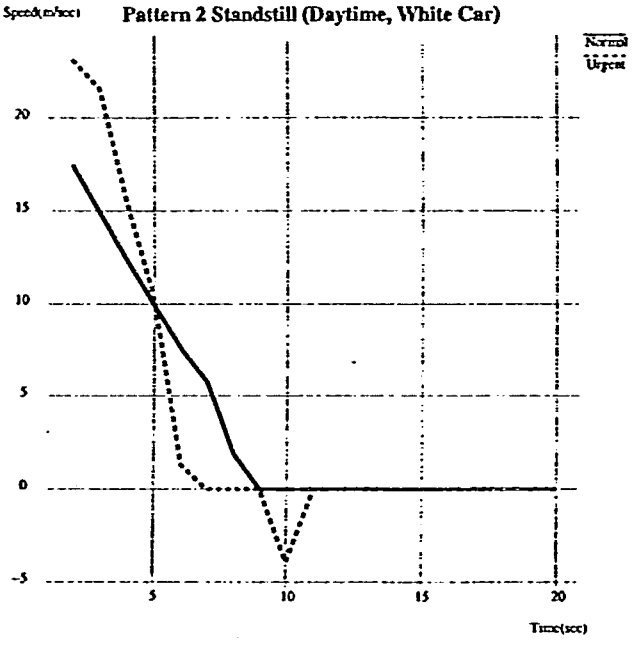
図表(4.1.1) 2-436　パターン2（焦点距離15.0mm、映像範囲26.5～110.0m）



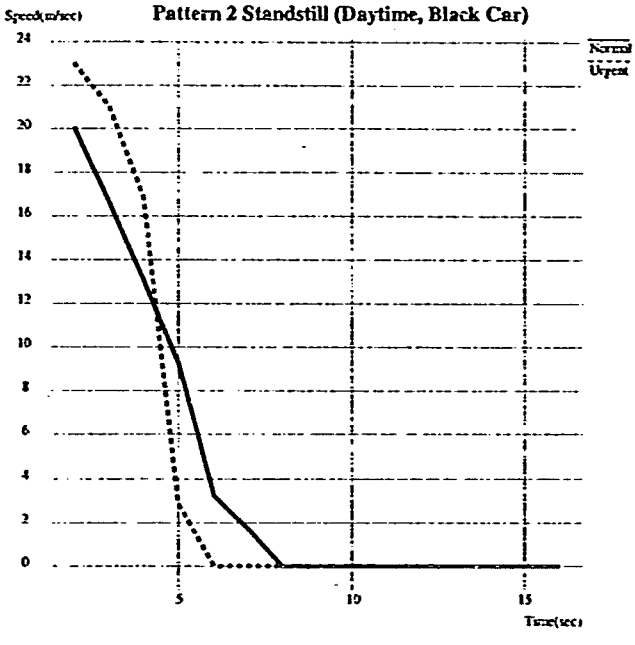
急停止



急停止

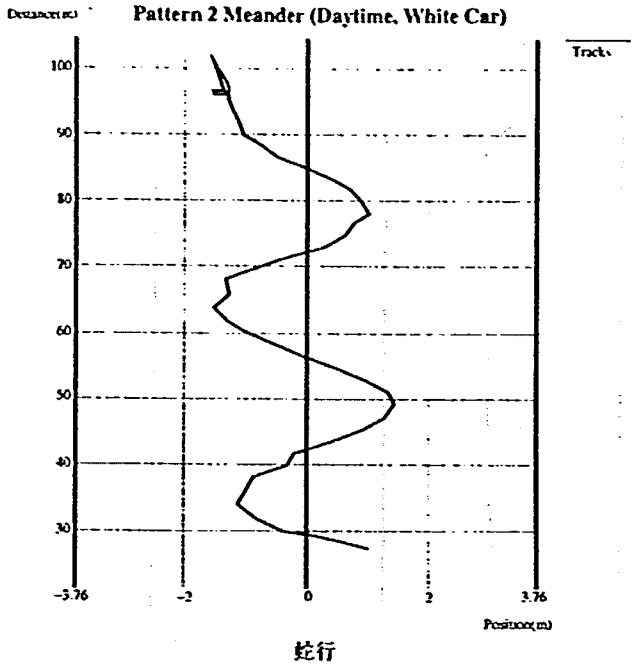


急停止

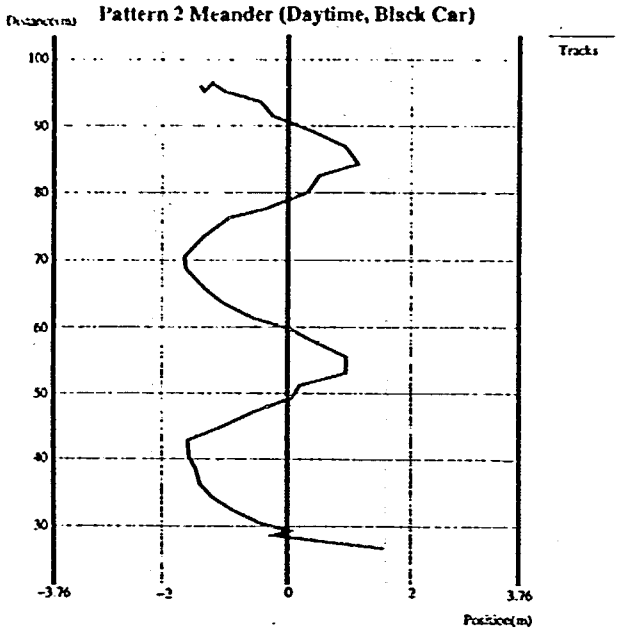


急停止

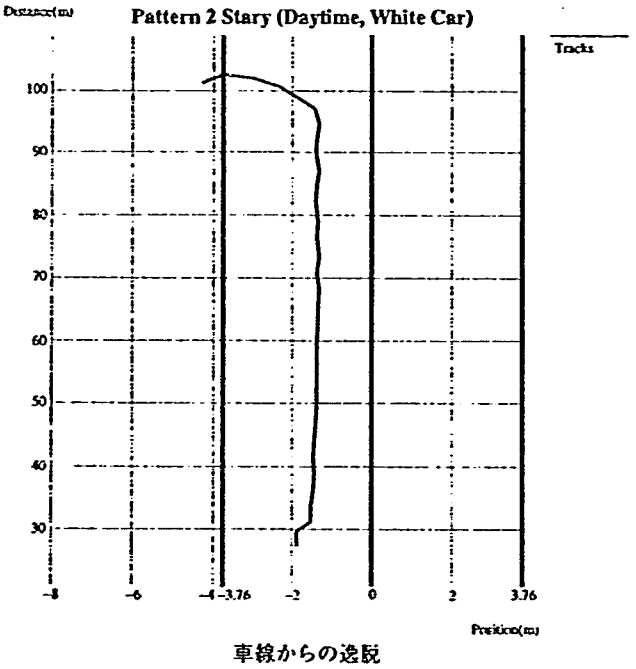
図表(4.1.1) 2-437 パターン2 (焦点距離15.0㎜、映像範囲26.5～110.0m)



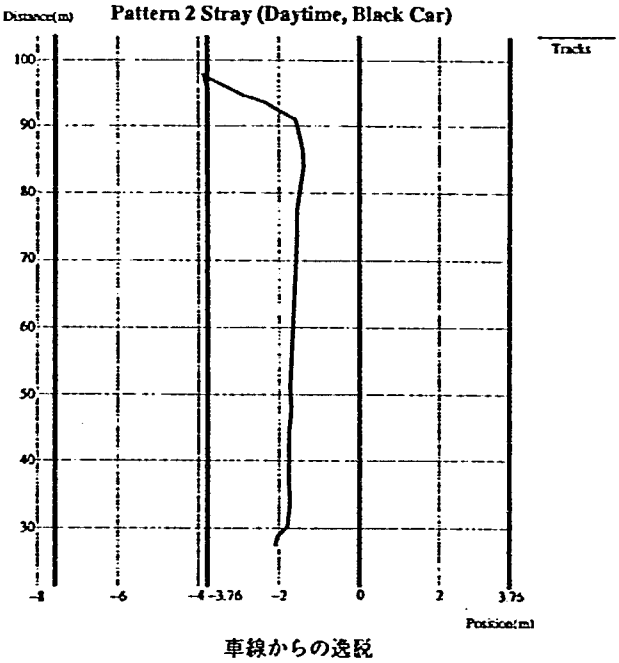
蛇行



蛇行

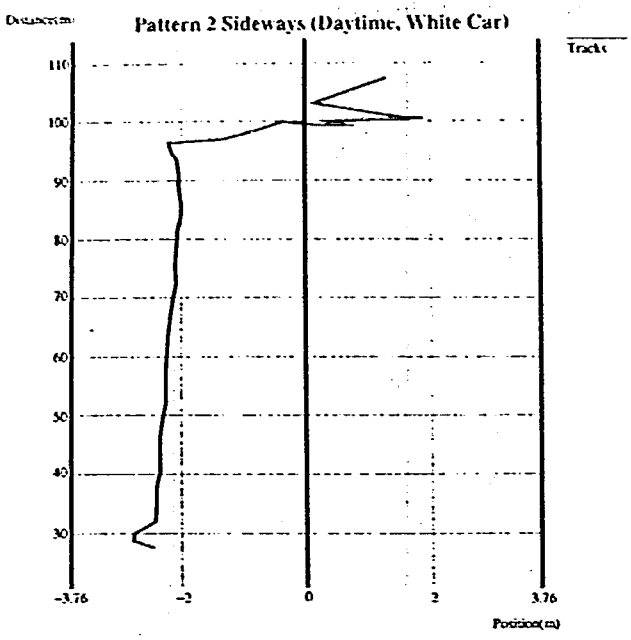


車線からの逸脱

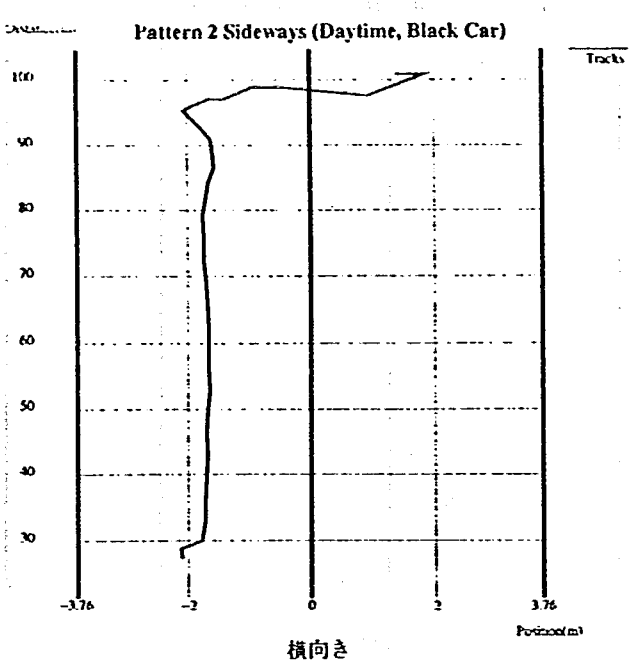


車線からの逸脱

図表(4.1.1) 2-438 パターン2 (焦点距離15.0mm、映像範囲26.5～110.0m)



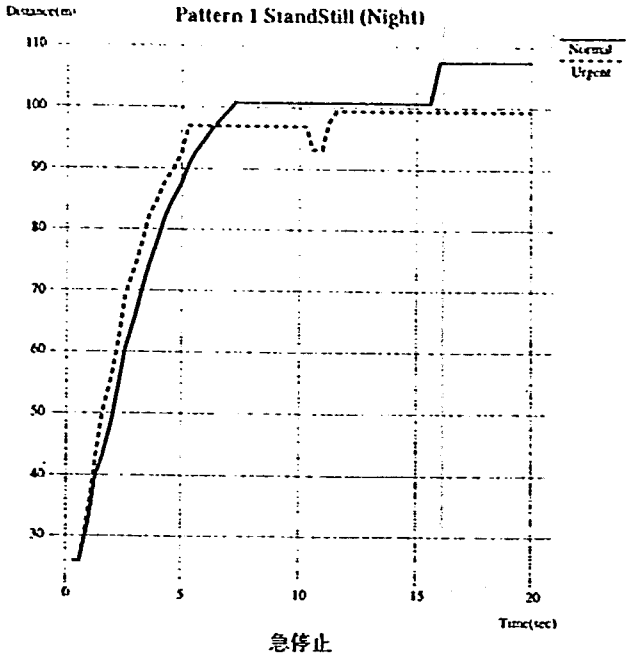
横向き



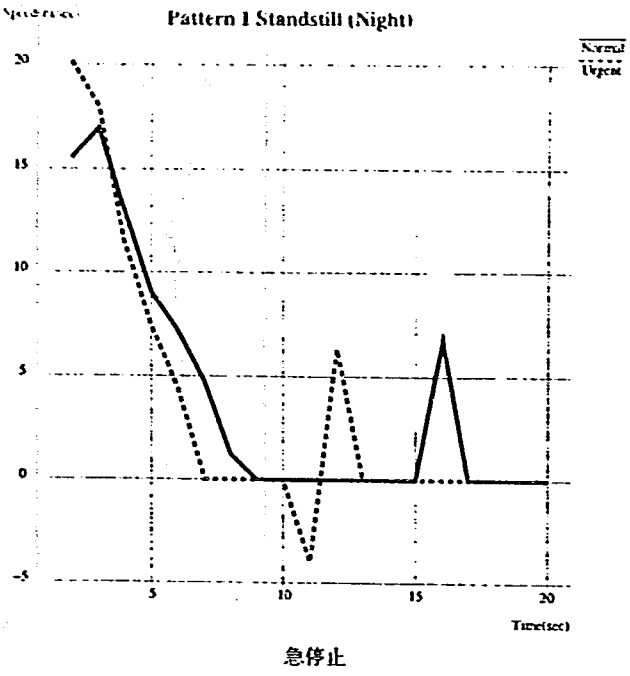
横向き

2.2 夜間の実験

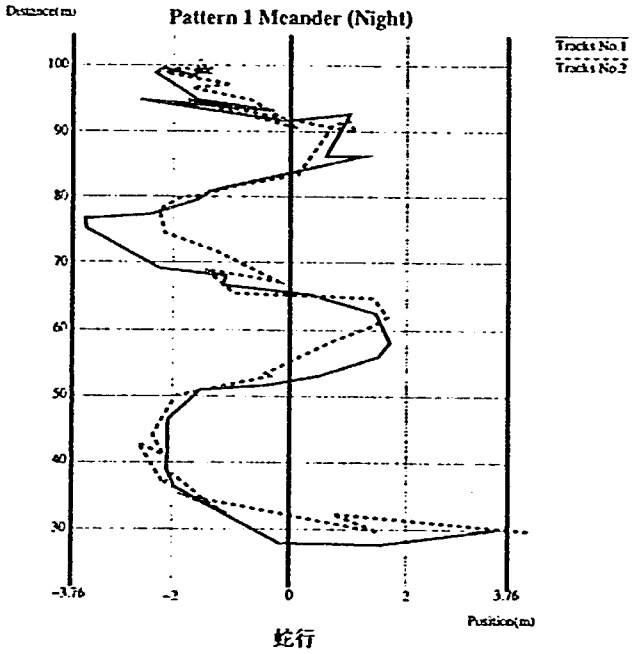
図表(4.1.1) 2-439 パターン1 (焦点距離15.0mm、映像範囲26.5～110.0m)



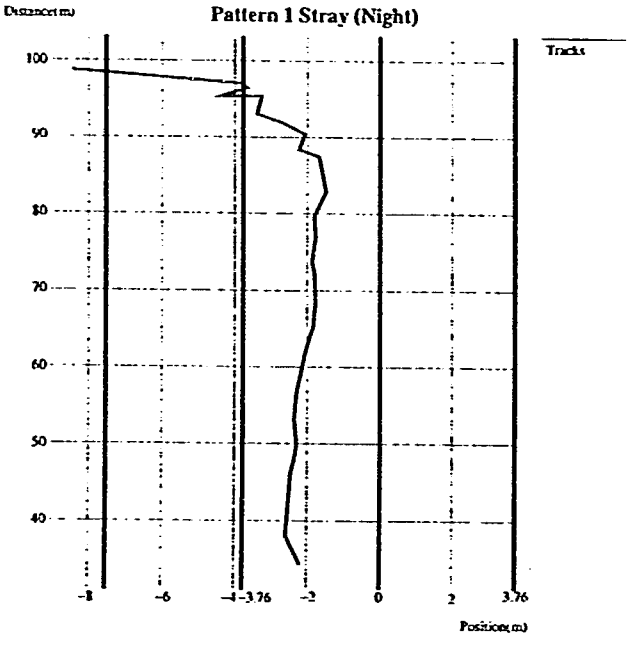
急停止



急停止

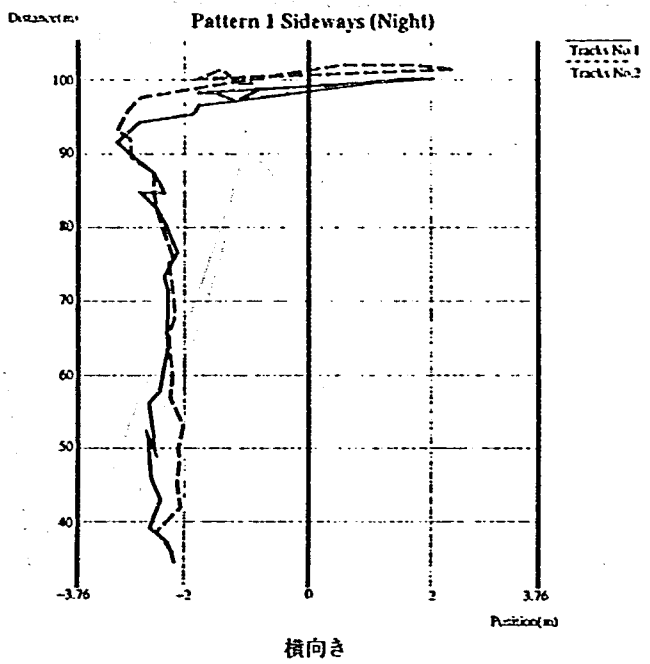


蛇行



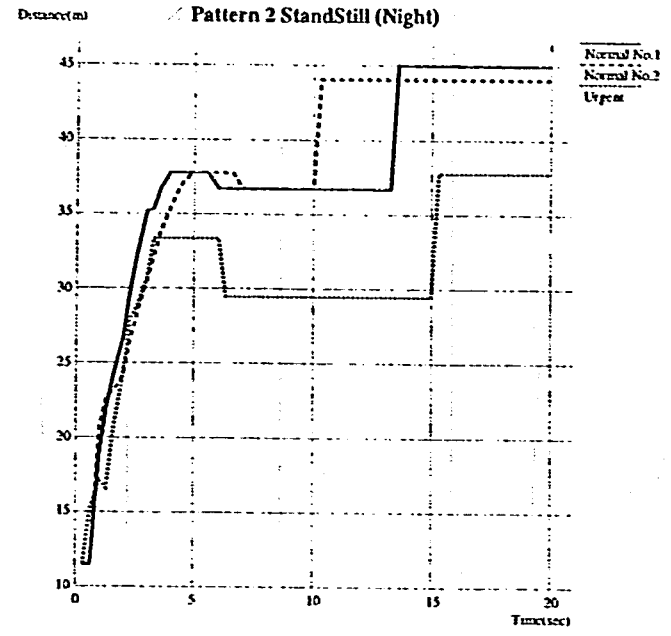
車線からの逸脱

図表(4.1.1) 2-440　パターン1 （焦点距離15.0㎜、映像範囲26.5～110.0m）

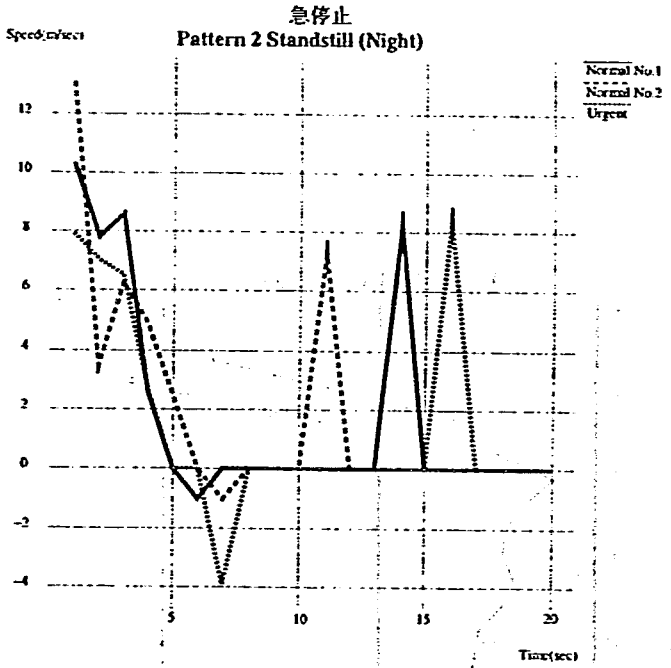


横向き

図表(4.1.1) 2-441 パターン2 (焦点距離8.0mm、映像範囲11.7～52.0m)

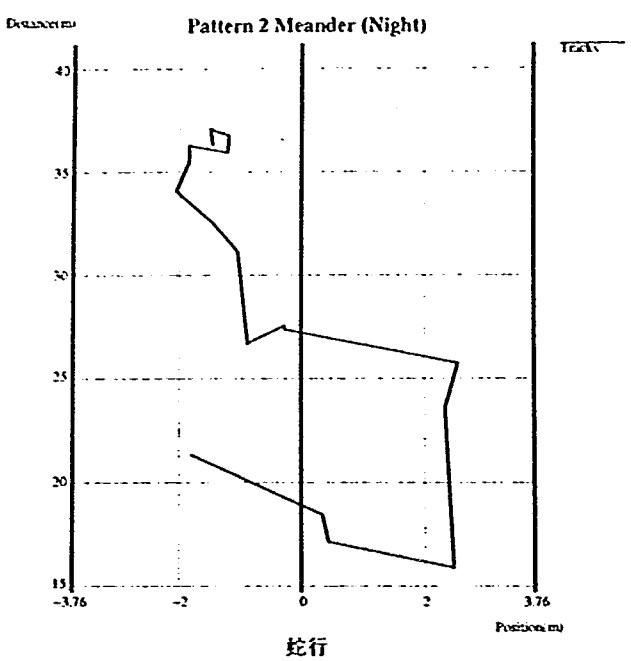


急停止

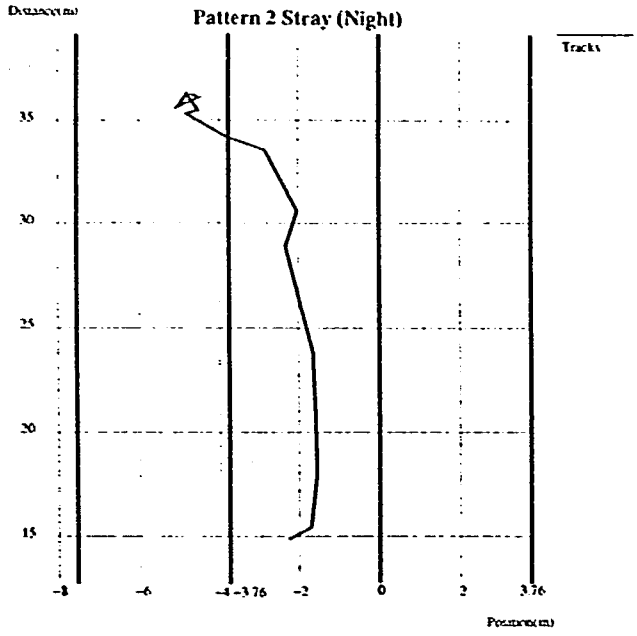


急停止

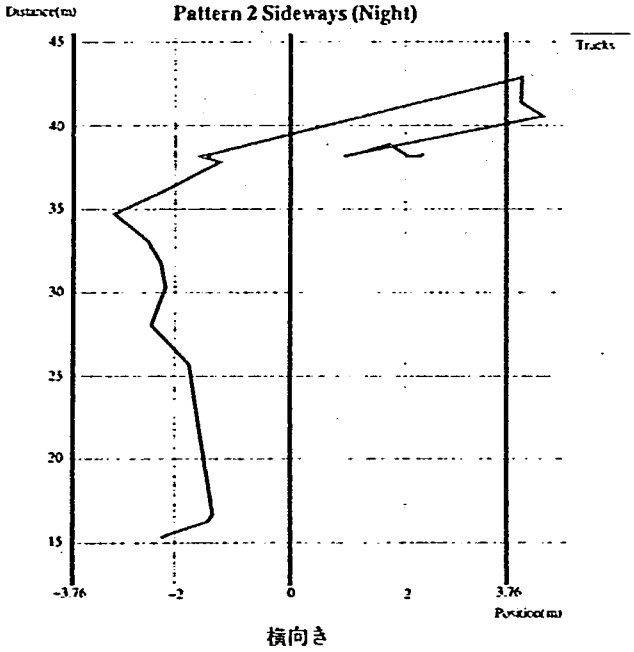
図表(4.1.1) 2-44: パターン2 (焦点距離8.0mm、映像範囲11.7～52.0m)



蛇行



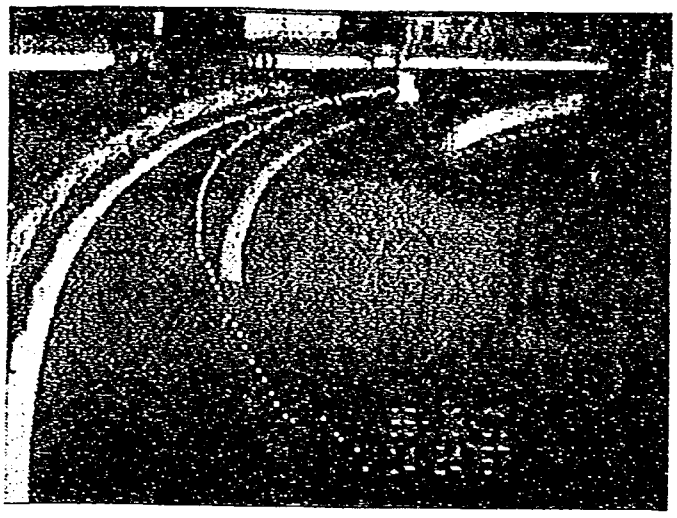
直線からの逸脱



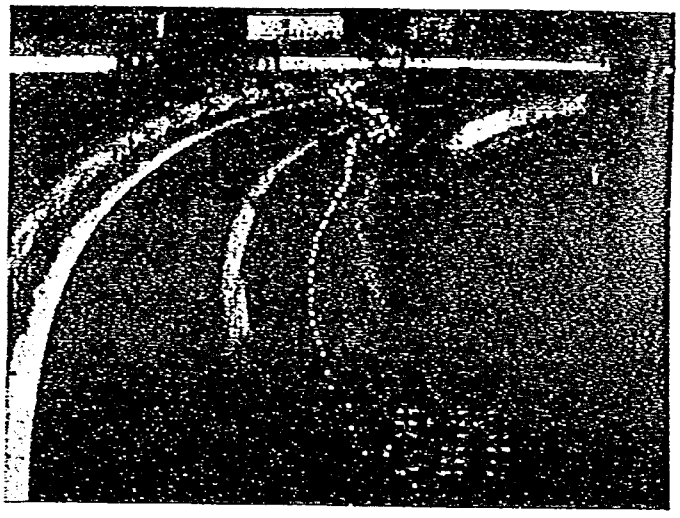
横向き

3　事故映像の評価

図表(4. 1. 1) 2-443　事故映像



通常走行車両軌跡



事故車両軌跡

4．1．2　画像センサによる事象検知の基礎実験

1）路面湿潤検知［実験１／３］

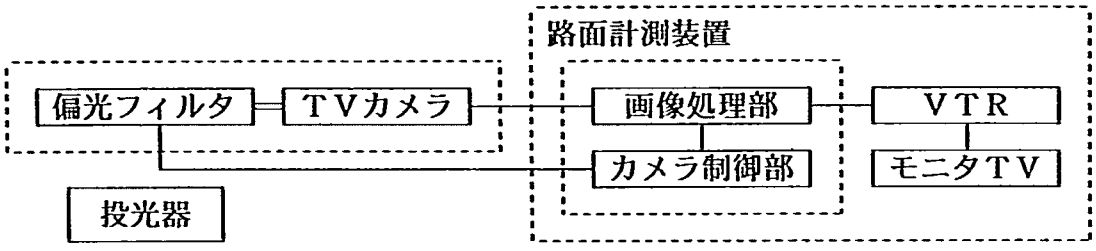
（1）実験目的

ＴＶカメラと画像処理装置により、スポット的な観測ではなく、マクロ的に把握することを特徴とする路面湿潤状況検出センサを開発することを目的とする。このために、建設省土木研究所の高速すべり実車挙動実験施設を借用し、試験設置した機器を用いて、基本的な路面の濡れ、乾燥状態の検出機能を確認する。すなわち、路面の湿潤状況の判定並びにデータ収集実験を行い、現状の路面状況判定手法の有効性を検証し、判定アルゴリズムを検討する。

（2）実験概要（試験設置概要）

①機器構成

図表(4.1.2) 1-1　機器構成



②試験設置機器

図表(4.1.2) 1-2　試験設置機器

機　　器	数量	消費電力	備　　考
ＴＶカメラ	２式	最大100VA/1台	偏光フィルタ付
投光器	２台	500W/1台	
カメラ支柱（点検台付）	２本		パンザーマスト
路面計測装置	１式	最大1500VA	筐体２台
ＶＴＲ	１台		
モニタＴＶ（白黒）	１台		

③設置方法

・中央分離帯及び路側帯にカメラ用支柱を各々１本建て、各々にカメラ及び投光器を１台設置した。（図表(4.1.2) 1-3、図表(4.1.2) 1-6参照）

・路面計測装置は高速すべり実験棟２Ｆに設置した。

（図表(4.1.2) 1-4、図表(4.1.2) 1-7参照）

・電源は高速すべり実験棟１Ｆから供給した。

・配電盤の予備　　：ＡＣ100Ｖ、20Ａ　１回路

・１Ｆコンセント　：ＡＣ100Ｖ、20Ａ

④試験設置期間

平成８年１月～

⑤試験設置場所

土木研究所構内の高速すべり実車挙動実験施設

⑥実験条件

路面湿潤、乾燥状態の検出機能を下記の条件により評価する。

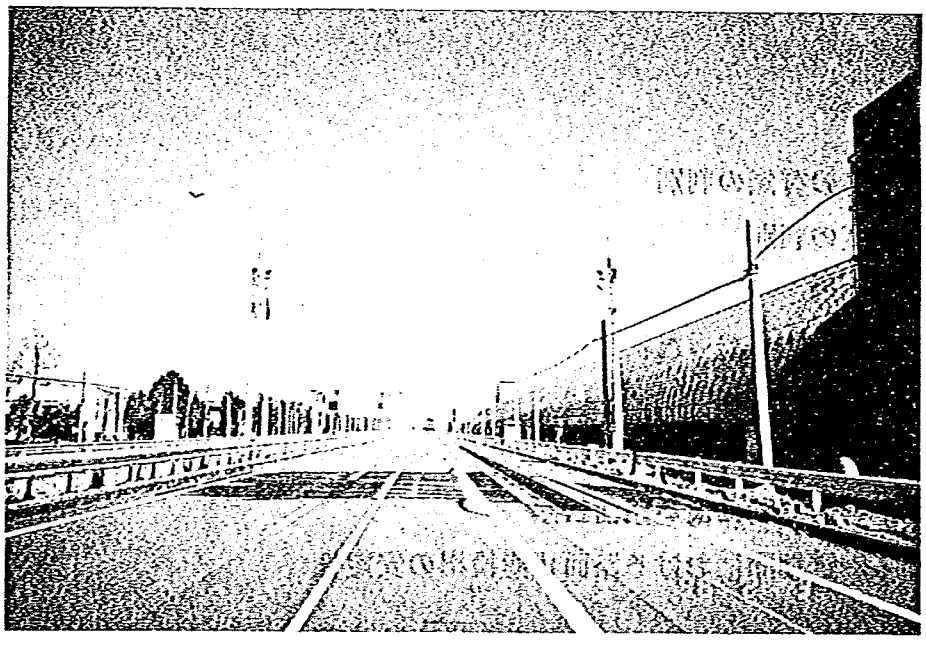
・カメラ高さ：約８ｍ

・時間帯　　：昼間、夜間

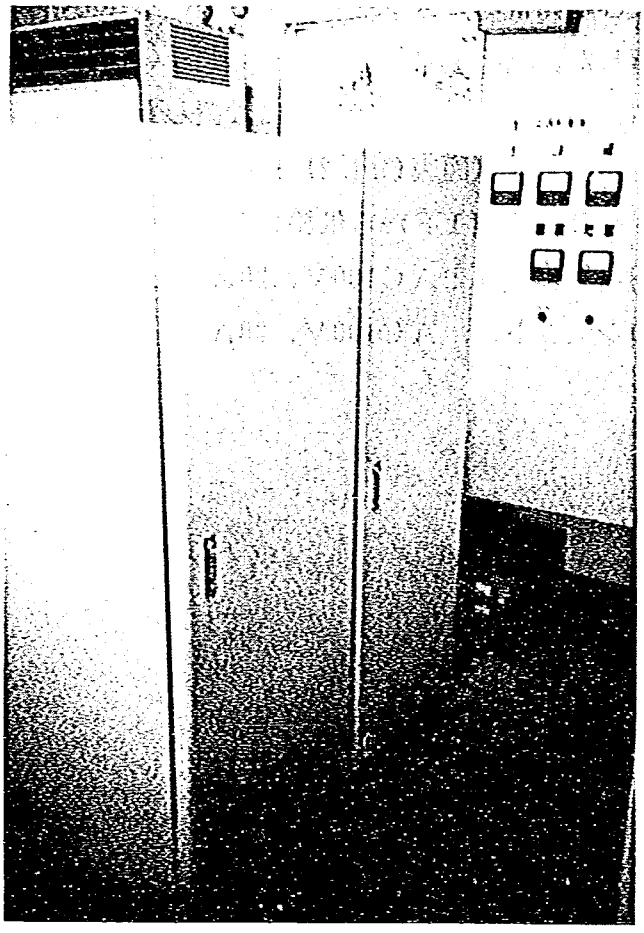
・天候　　：晴、曇または雨（人工的な散水状態も含む）

・検出範囲　：約10m（道路横断方向）×約10m（道路縦断方向）

図表(4.1.2) 1-3　カメラ及び投光器設置状況（全体）



図表(4. 1. 2) 1-4　路面計測装置設置状況



⑦評価項目

・路面湿潤の有無の判別

・湿潤程度の判別

　・乾燥

　・うっすら湿った状態

　・濡れた状態

　・冠水状態

　・自然降雨による路面状態

　・一定期間における路面状態検出の安定性

⑧実験及びデータ収集

a)実験日程

・本実験（散水設備を使用）　　平成８年３月４日～３月８日

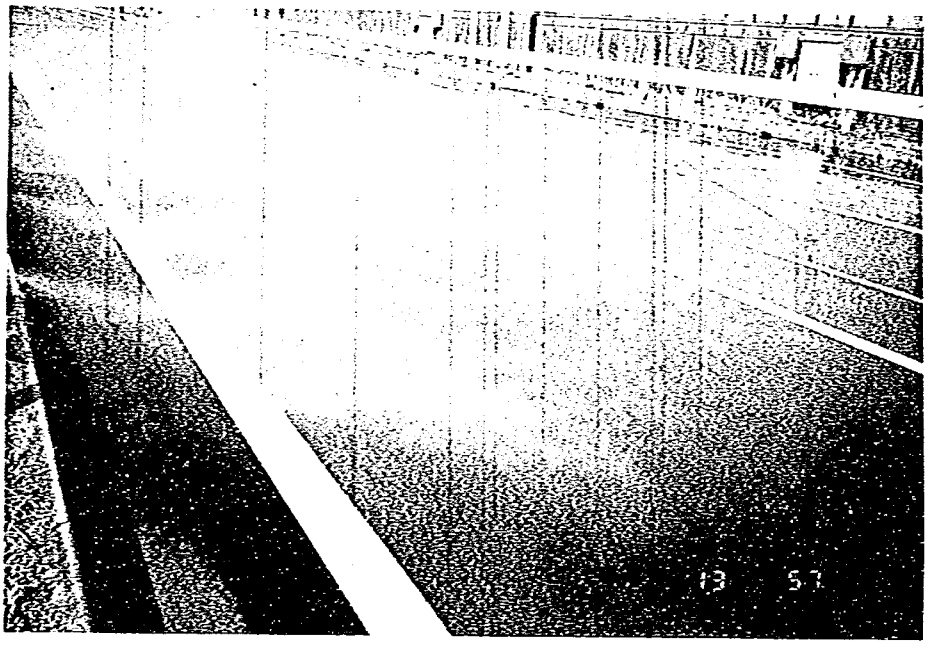
・自動データ収集　　平成８年２月３日～

b)実験場所

建設省土木研究所の高速すべり実車挙動実験施設

c)実験状況

図表(4.1.2) 1-5　実験状況



図表(4.1.2) 1-6　路面湿潤センサ設置平面図

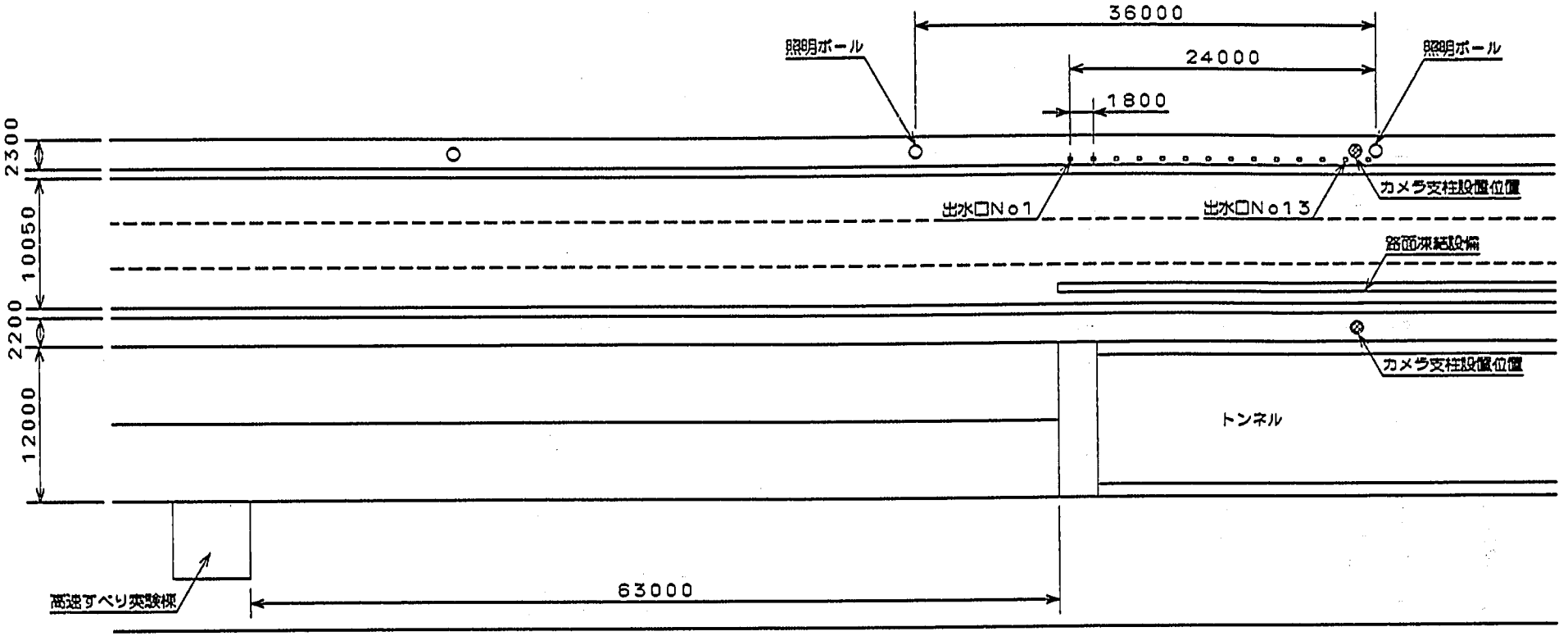
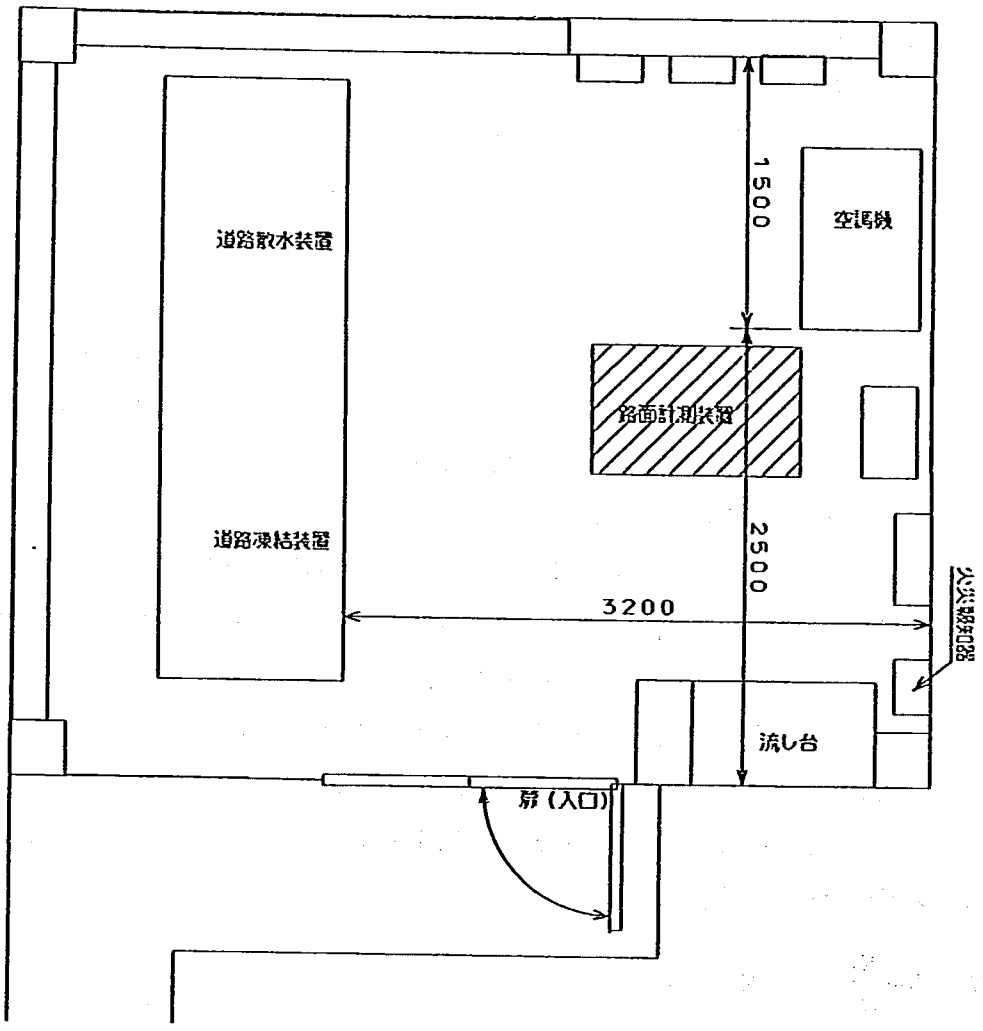


図1　路面湿潤センサ設置平面図

図表(4.1.2) 1-7　路面計測装置設置平面図



（3）検出原理[1]

本手法は、粗面である路面が湿潤するに従い鏡面状態に移行するために生じる反射光の偏光成分比の増加に着目することにより、路面の状態を検出する。今、路面に入射する光強度をI、垂直偏光成分、水平偏光成分それぞれのエネルギー反射率をR_S、R_Pとすると反射光の偏光成分I_S、I_Pは以下のように表せる。

$$I_S = R_S \cdot I$$
$$I_P = R_P \cdot I \qquad (1)$$

この式（1）から明らかなように、各偏光成分の強度は入射光強度に依存した形となる。そこで、この両偏光成分の比Hを求めることとする。

$$H = \frac{I_S}{I_P} = \frac{R_S}{R_P} \qquad (2)$$

この式（2）において、入射角がブリュースタ角であり、この境界面が鏡面の場合、反射率の性質から、偏光成分比Hは理想的には無限大となり、境界面が粗面の場合では$H=1$となる。結局、この偏光成分比Hをパラメータとして扱うことで、粗面の状態は入射光強度に依存しない形で表される。

なお、各画素に対してこの除算を行うに当たっては、演算時間が膨大になることが予想されるため、演算時間の高速化を考慮しつつ、ハードウェア化をもあわせて検討し、本方式では式（2）における各偏光成分に対して対数変換を行った後、その対数画素間の差分を行うことで同じ効果を達成するようにした。この演算は、テーブル変換と差分演算という最も高速演算の可能な形に置き換わり、ハードウェア化も容易となる。結局、本方式のアルゴリズムによる偏光成分画像間の各画素の比H'は式（3）のようになる。

$$\log H = \log\frac{R_S}{R_P} = \log R_S - \log R_P$$
$$H' = \log H \times G \qquad (3)$$

ただし、この式（3）におけるGは湿潤度合（パラメータ）を画像の輝度として扱うためのゲイン補正量（定数）である。

以上のように、得られた検出画像上において、路面が乾燥している状態では垂直偏光画像R_Sと水平偏光画像R_Pはほぼ等しくなることから、湿潤度検出画像H'は輝度値の低い（暗い）画像となる。また、路面が濡れている場合においては、垂直偏光画像R_Sは水平偏光画像R_Pより大きく（理想的には$R_P=0$）湿潤度検出画像H'は輝度値の高い（明るい）画像が得られる。

（4）実験データに対する評価

図表(4.1.2) 1-8から図表(4.1.2) 1-11に今回の3月6日のデータ収集で得られた画像を示す。各図の（a）は垂直偏光画像、（b）は水平偏光画像、（c）は湿潤検出処理画像、（d）は処理画像に引かれた白線上のプロファイルである。図表(4.1.2) 1-8は11:00、図表(4.1.2) 1-9は11:30、図表(4.1.2) 1-10は12:00、図表(4.1.2) 1-11は12:30の路面であり、徐々に乾燥していく状態である。また、図表(4.1.2) 1-12には路面全体の変動を評価するため、処理画像の平均輝度変化を示した。

図表(4.1.2) 1-8の湿潤の度合が高い場合、処理画像において高輝度で検出されているものが、図表(4.1.2) 1-9では部分的に乾燥しており、この場合、処理画像においても乾燥した部分が低輝度になっていることがわかる。更に、図表(4.1.2) 1-10では白線の右側部分に溜まった水が処理画像において輝度が高く現れているものの、ほとんど乾燥しているため、処理画像の大部分が低輝度となっている。図表(4.1.2) 1-11に至っては路面全体が乾燥したため、処理画像全体が低輝度になっている。このように湿潤の分布状態についても処理画像から十分に判断できる。また、図表(4.1.2) 1-12の処理画像の平均輝度変化を示すグラフに於いても、路面が乾燥するに従い、平均輝度が下がっていることがわかる。このように湿潤の分布状態と合わせて水分の量の検出に対する可能性も得ることができている。

更に観点を変えて評価してみると、図表(4.1.2) 1-8に於いて最も湿潤度合の高い右側車線が、処理画像でも3車線中最も高輝度で検出されているのがわかる。次に図表(4.1.2) 1-9を見ると右側車線はほとんど乾燥し、中央車線及び左側車線の湿潤度合が高くなっていることが分かる。この状況も処理画像で右側車線が低輝度となっているのに対して、中央車線及び左側車線は高輝度となっている。このように本手法による路面湿潤センサは、画像を用いているため車線単位のような局所的な路面状況の判別も可能としており、従来センサのような部分的状況から発生する誤検出の防止効果を持つと考えられる。

最後に、今回のデータ収集の前の予備実験時に得られた実際の雨による湿潤状態から乾燥状態に変化していく過程での、処理画像の平均輝度の変化を図表(4.1.2) 1-13に示す。データは2月26日の8:00から10:00のものである。水戸地方気象台のアメダスによると、2月25日の19:00より26日の3:00の間に筑波地方で20ミリの降水量が確認されており、本装置のビデオでも26日の8:00過ぎから10:00にかけて前日降った雨による湿潤路面が乾燥していく状態を確認している。このデータではビデオの関係により、実際の降雨時の収集を逃したものの、本手法による路面湿潤センサは実際の湿潤路面に対しても湿潤状況を検出できており、実フィールドでの有効性も十分あると推察される。

（５）降雨時のデータに対する評価

図表(4.1.2) 1-14から図表(4.1.2) 1-19に今回の４月16日のデータ収集で得られた画像を示す。水戸地方気象台のアメダスによるとこの日は、7:00から9:00にかけて１時間あたり１㎜、9:00から10:00にかけては３㎜の降水量が確認されている。図表(4.1.2) 1-14は雨が降り出す前の7:00の乾燥した路面、図表(4.1.2) 1-15は7:30の雨が降り出した直後のやや湿った状態の路面の画像である。図表(4.1.2) 1-16から図表(4.1.2) 1-19は8:00、8:30、9:00、9:30の路面であり、徐々に湿潤していく状態である。各図の（ａ）は垂直偏光画像、（ｂ）は水平偏光画像、（ｃ）は湿潤検出処理画像、（ｄ）は処理画像に引かれた白線上のプロファイルである。また、図表(4.1.2) 1-20には路面全体の変動を評価するため、7:00から10:00までの処理画像の平均輝度変化を示した。

図表(4.1.2) 1-14のような乾燥路面の場合、処理画像において低輝度で検出されているものが、図表(4.1.2) 1-15では路面が少し湿っている為、処理画像においても乾燥路面に比べやや高輝度になっていることがわかる。図表(4.1.2) 1-16では湿潤の度合が進んだ為、処理画像全体が更に高輝度になっている。更に降雨が進むに従い、図表(4.1.2) 1-17から図表(4.1.2) 1-19へと処理画像の輝度が高くなっていくことがわかる。このように水分の量の検出に対する可能性も得ることができている。

また、図表(4.1.2) 1-14及び図表(4.1.2) 1-15の垂直偏光画像及び水平偏光画像に見られる路面上の横縞の汚れが、処理画像に表れていない。このことより、本手法では路面の汚れやアスファルトの粒子の模様による影響を受けずに路面の湿潤状況のみを検出することが可能であることがわかる。

（６）夕暮れにおける評価

夕暮れにおける路面湿潤状況の検出状況を評価する上で、アスファルト路面領域の１プロファイルについて検討を行った。図表(4.1.2) 1-21に今回検討したプロファイル位置を示す。今回の検討には３月７日の画像を用いた。当日の天候は曇りであり、太陽による直接光の影響はない。17:00に散水を行い、日が沈むまでの湿潤状態を３分間隔でサンプリングした。図表(4.1.2) 1-22に17:45から18:09までのプロファイルの推移を示す。実験場所には赤外線投光器が設置してあり、17:48の時点で点灯していた。

図表(4.1.2) 1-22より17:45の時点で、垂直偏光画像の輝度は水平偏光画像の輝度の約２倍あったが、17:51、17:54のデータを見ると、投光器が点灯しているにもかかわらず垂直・水平偏光画像の輝度の差が小さくなっていき、18:00を過ぎるあたりからはほとんど差がなくなっていることが分かる。これは光の絶対量が小さく

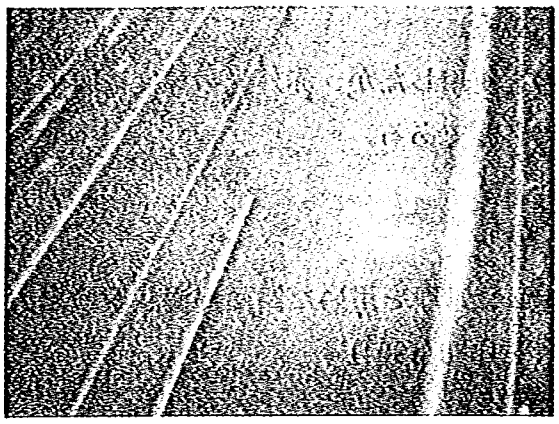
なった為でありこの状態での検出には問題がある。

今回の実験では、照明として赤外線投光器を使用したが、赤外光の輝度に関する測定等を行っておらず、光量に対する検討が必要である。

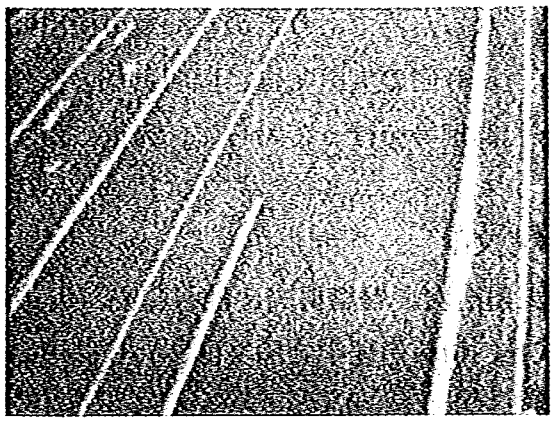
参考文献

[1]上田浩次、堀場勇夫、池谷和夫、大井史倫、「画像処理を用いた路面湿潤状況検出方式」、情報処理学会論文誌、Vol. 35, No. 6, pp. 1072-1080 (1994)

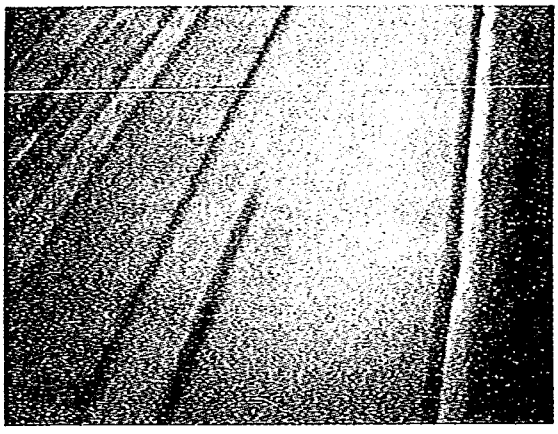
図表(4.1.2) 1-8 11:00



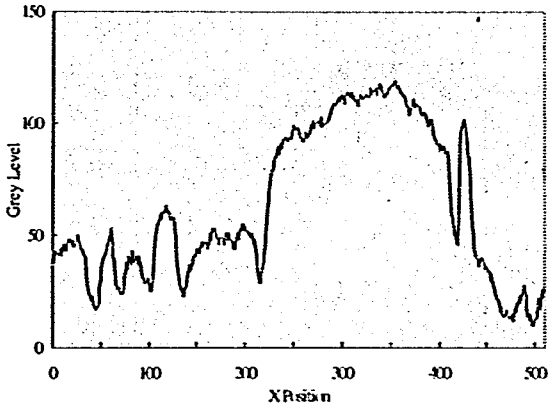
(a) 垂直偏光画像



(b) 水平偏光画像

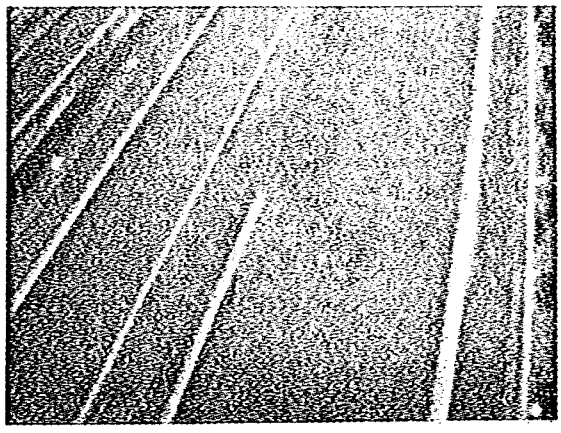


(c) 処理画像

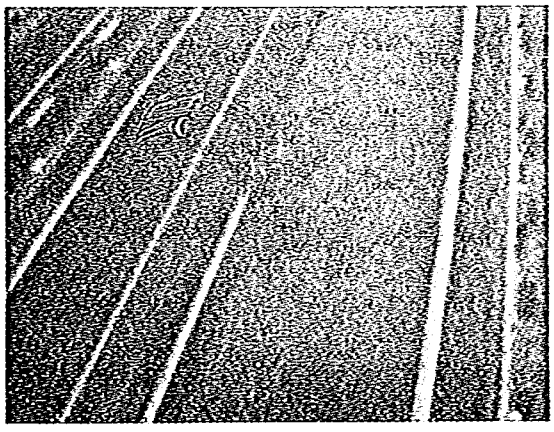


(d) 白線上のプロファイル

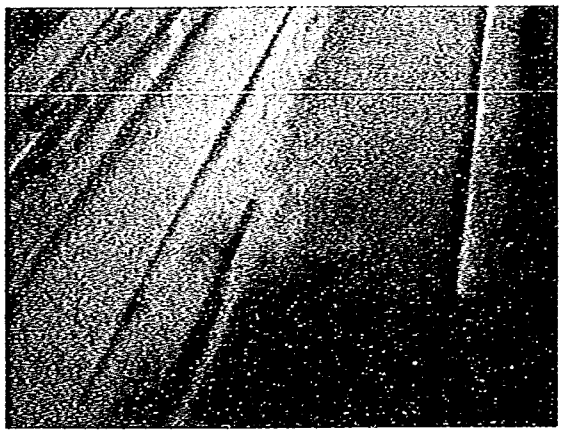
図表(4.1.2) 1-9 11:30



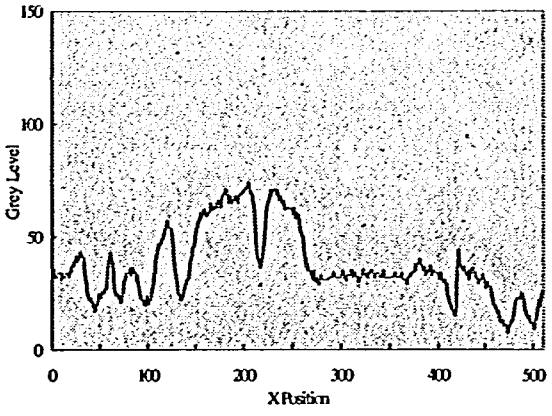
(a) 垂直偏光画像



(b) 水平偏光画像

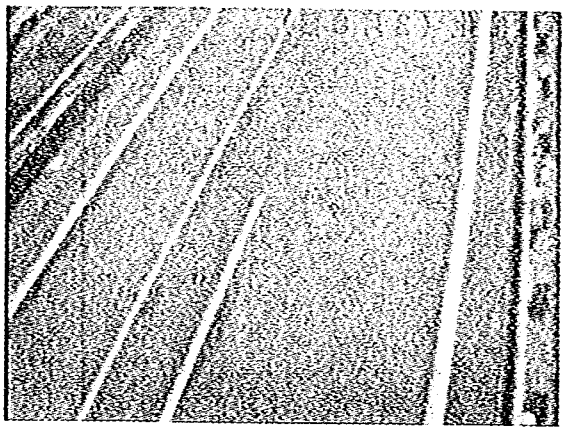


(c) 処理画像

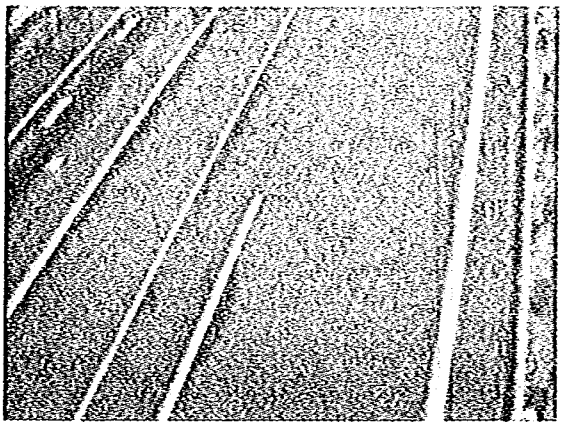


(d) 白線上のプロファイル

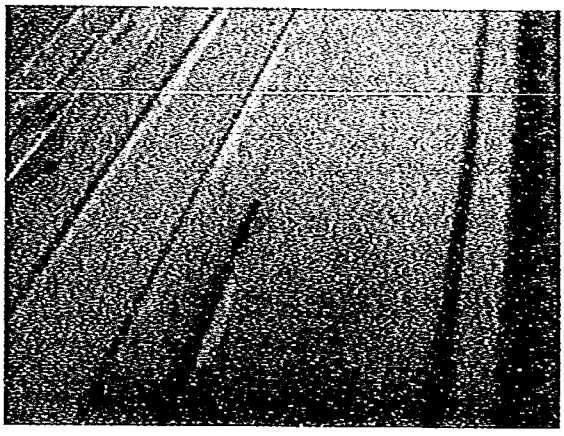
図表(4.1.2) 1-10 12:00



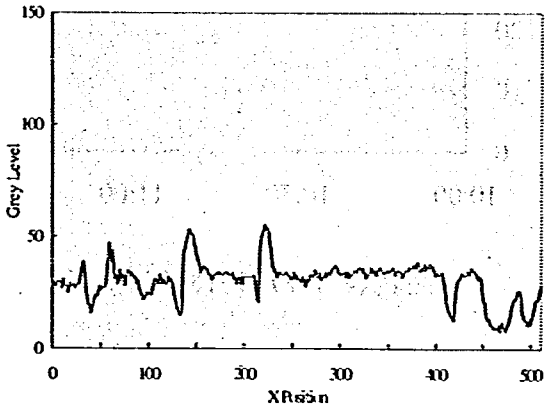
(a) 垂直偏光画像



(b) 水平偏光画像

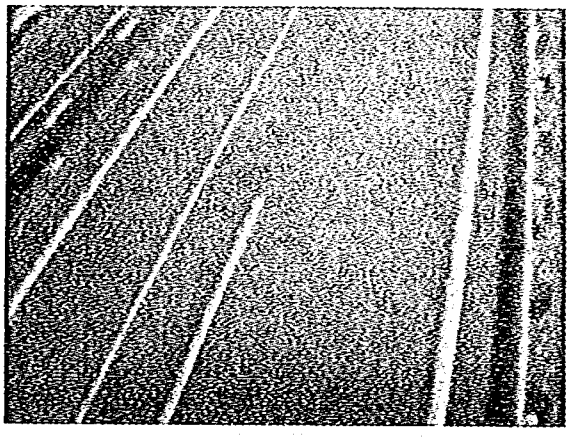


(c) 処理画像

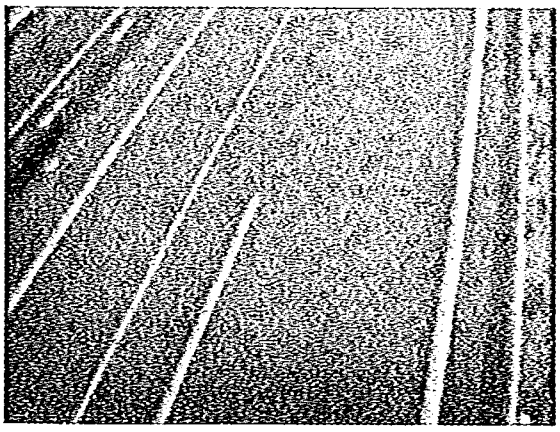


(d) 白線上のプロファイル

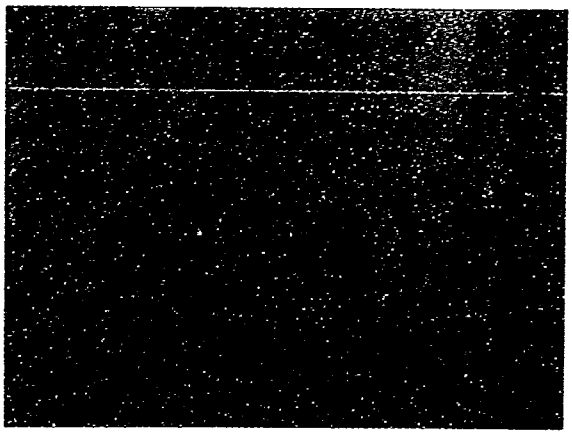
図表(4.1.2) 1-11 12:30



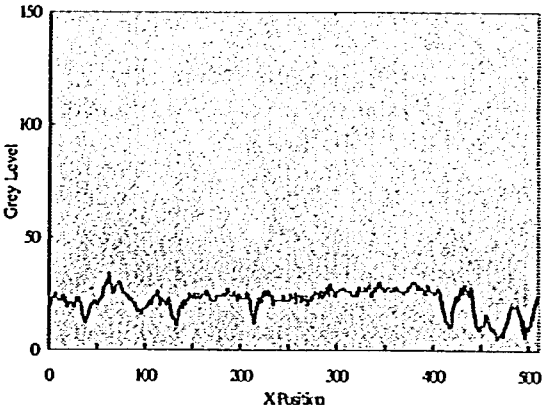
(a) 垂直偏光画像



(b) 水平偏光画像

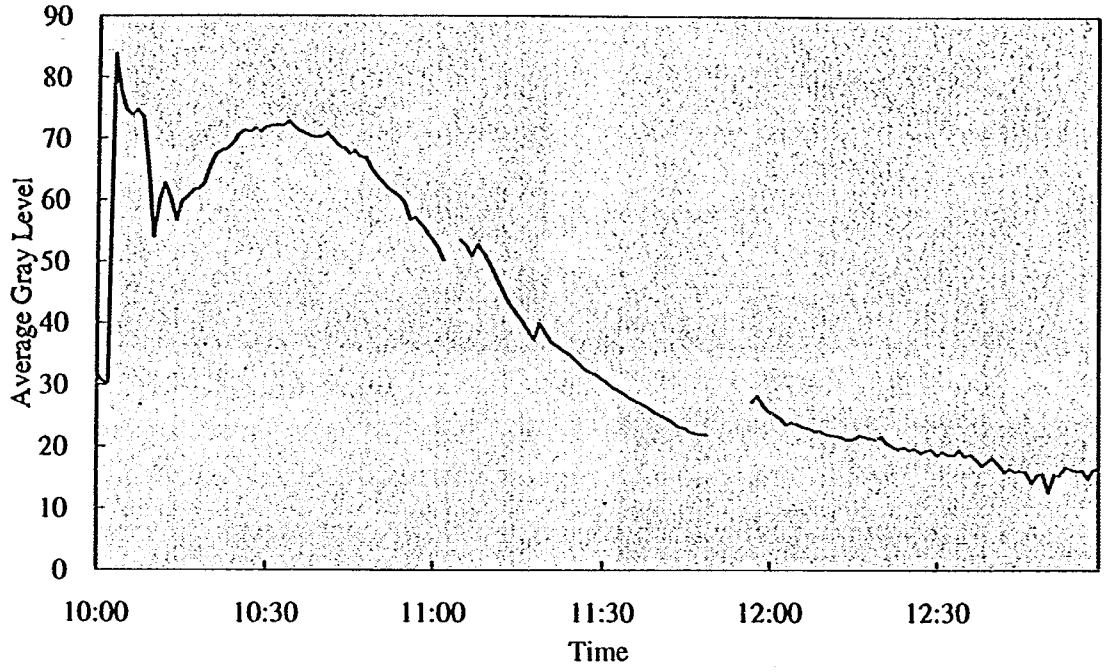


(c) 処理画像

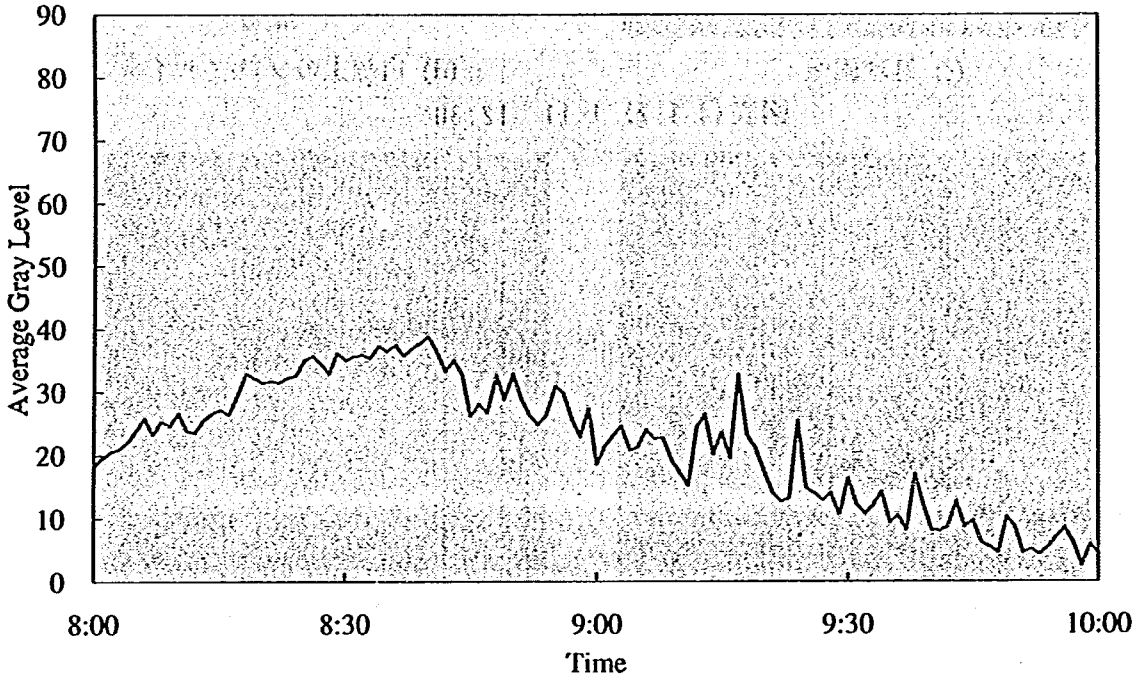


(d) 白線上のプロファイル

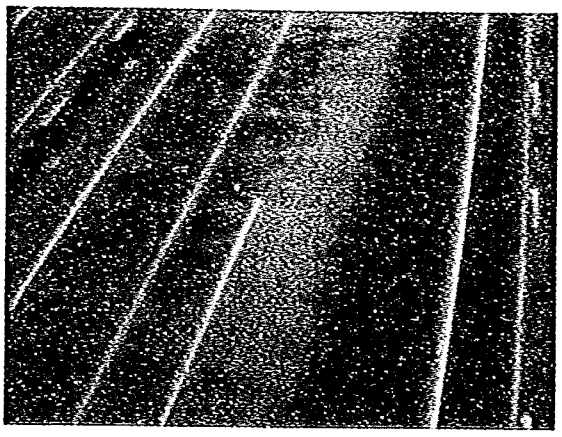
図表(4. 1. 2) 1-12　平均輝度変化（３月６日）



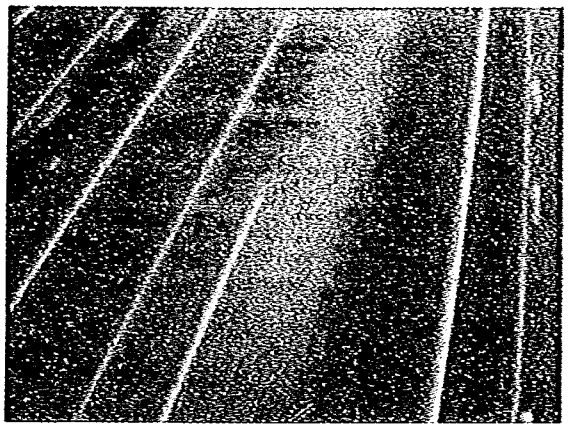
図表(4. 1. 2) 1-13　雨上がり後の路面の平均輝度変化（２月26日）



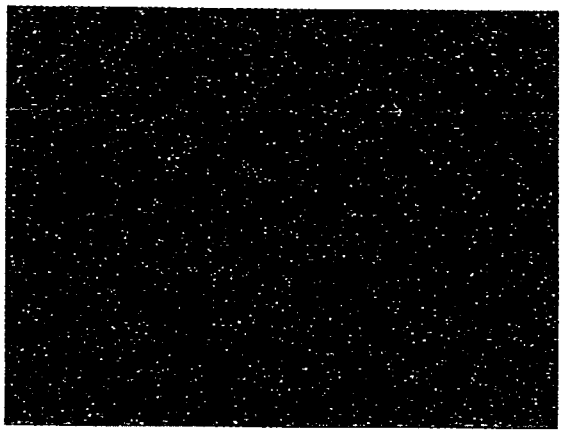
図表(4.1.2) 1-14 7:00



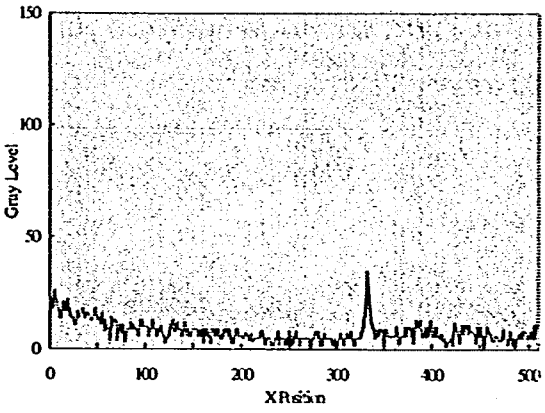
(a) 垂直偏光画像



(b) 水平偏光画像

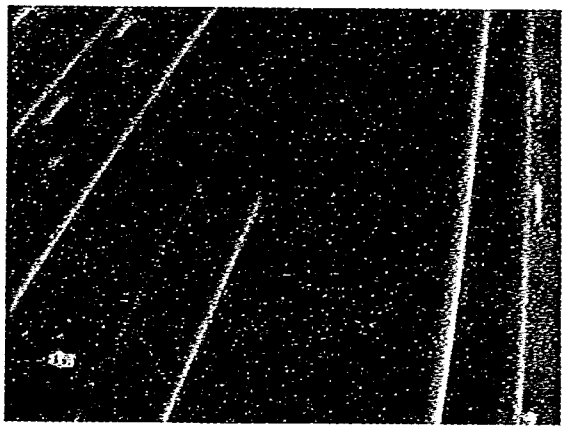


(c) 処理画像

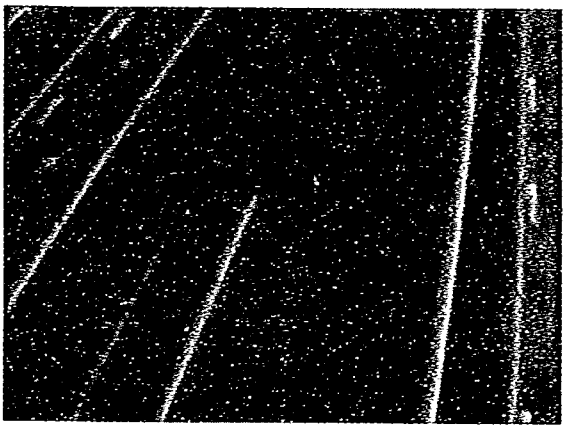


(d) 白線上のプロファイル

図表(4.1.2) 1-15 7:30



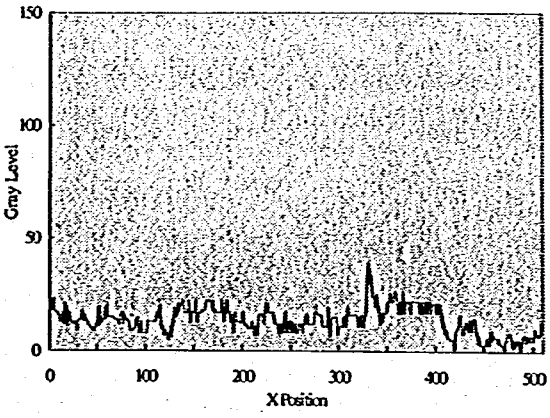
(a) 垂直偏光画像



(b) 水平偏光画像

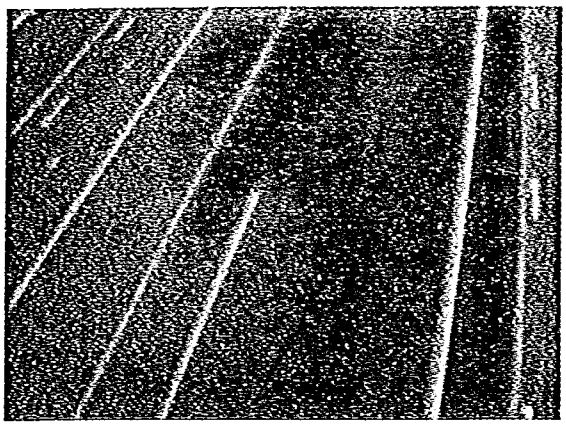


(c) 処理画像

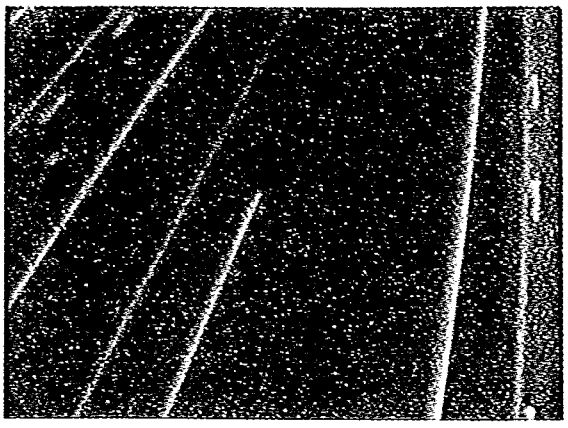


(d) 白線上のプロファイル

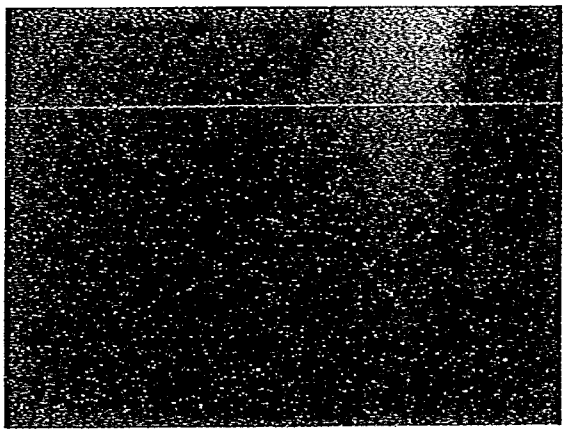
図表(4. 1. 2) 1-16　8:00



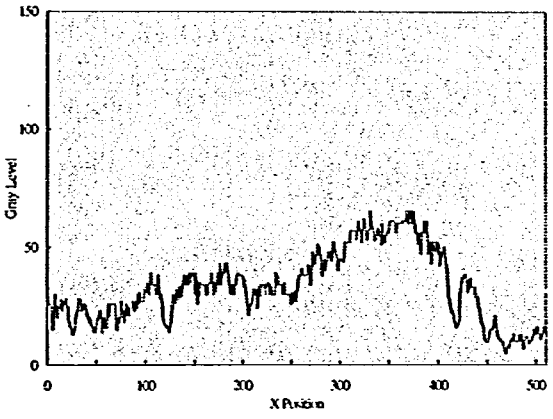
(a) 垂直偏光画像



(b) 水平偏光画像

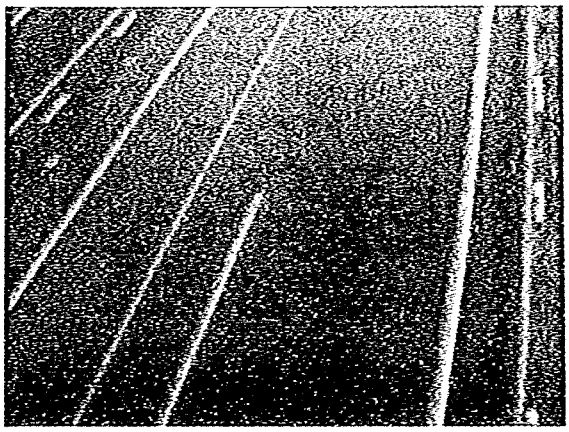


(c) 処理画像

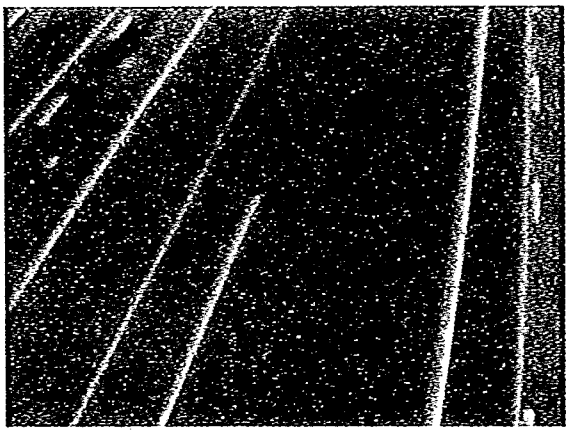


(d) 白線上のプロファイル

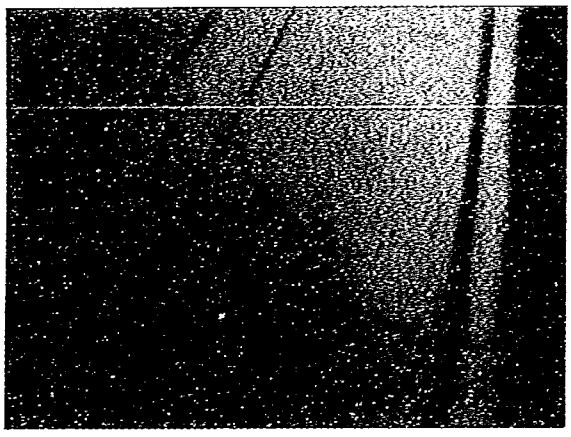
図表(4. 1. 2) 1-17　8:30



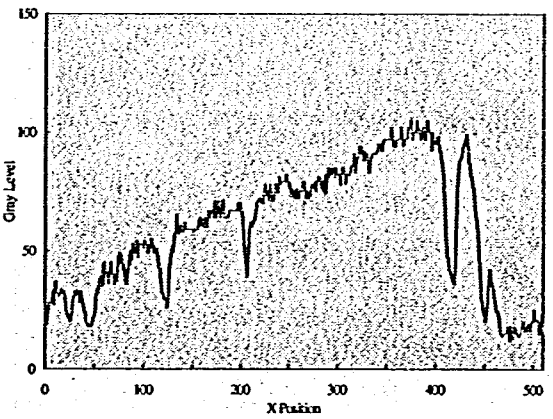
(a) 垂直偏光画像



(b) 水平偏光画像

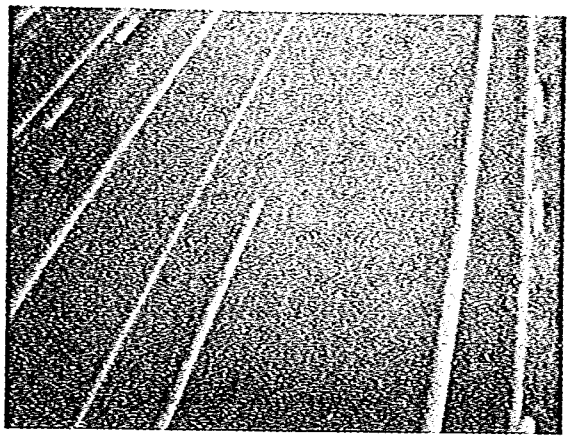


(c) 処理画像

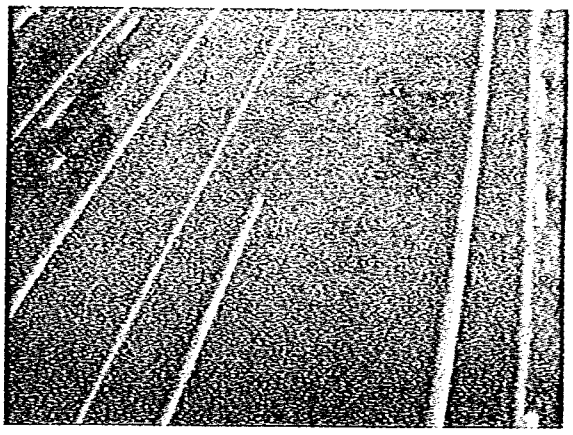


(d) 白線上のプロファイル

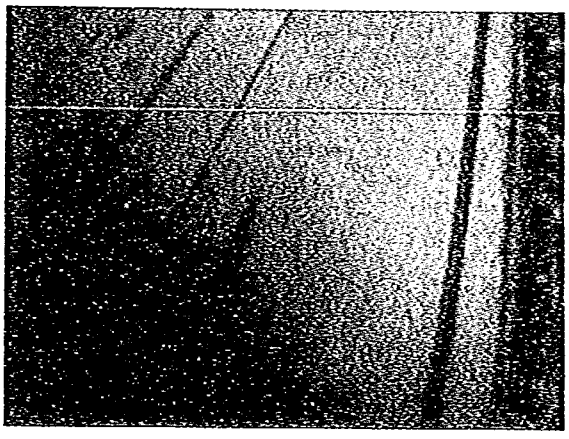
図表(4.1.2) 1-18 9:00



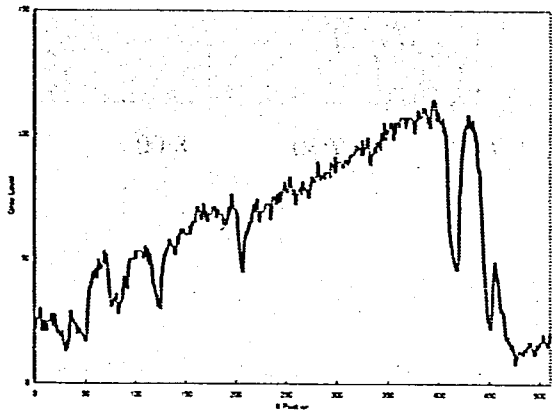
(a) 垂直偏光画像



(b) 水平偏光画像

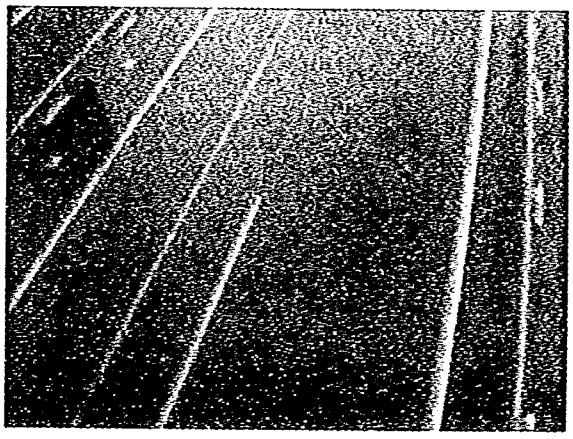


(c) 処理画像

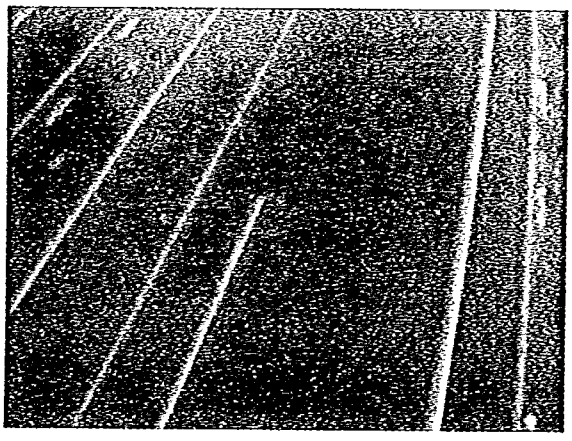


(d) 白線上のプロファイル

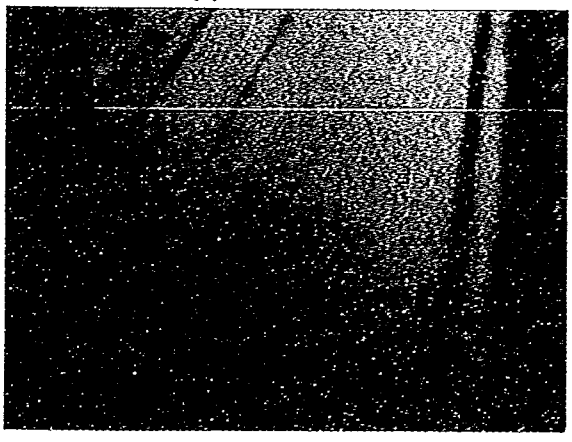
図表(4.1.2) 1-19 9:30



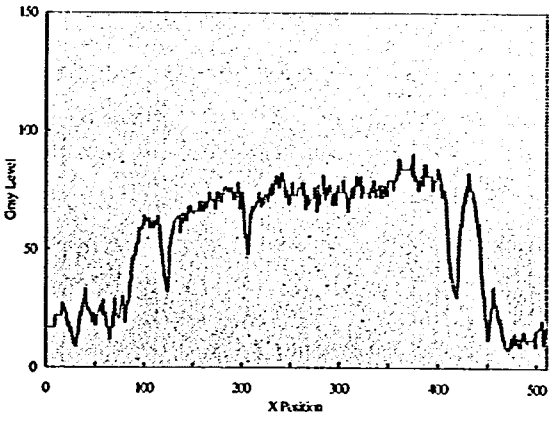
(a) 垂直偏光画像



(b) 水平偏光画像

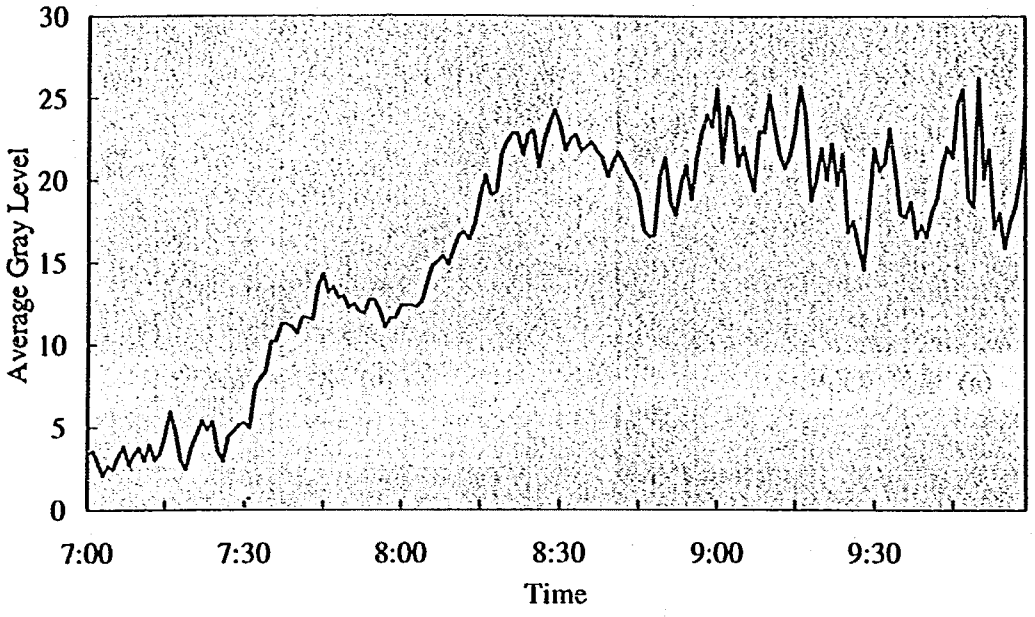


(c) 処理画像

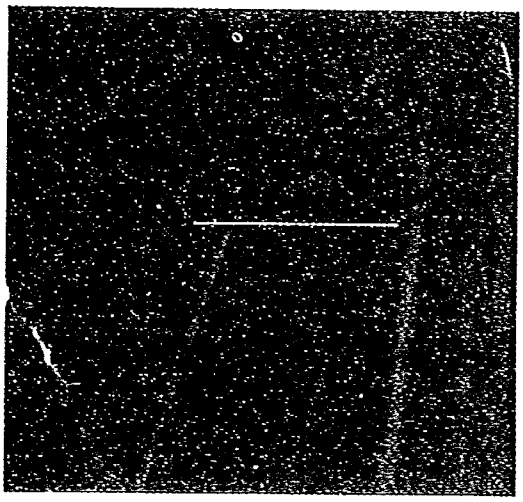


(d) 白線上のプロファイル

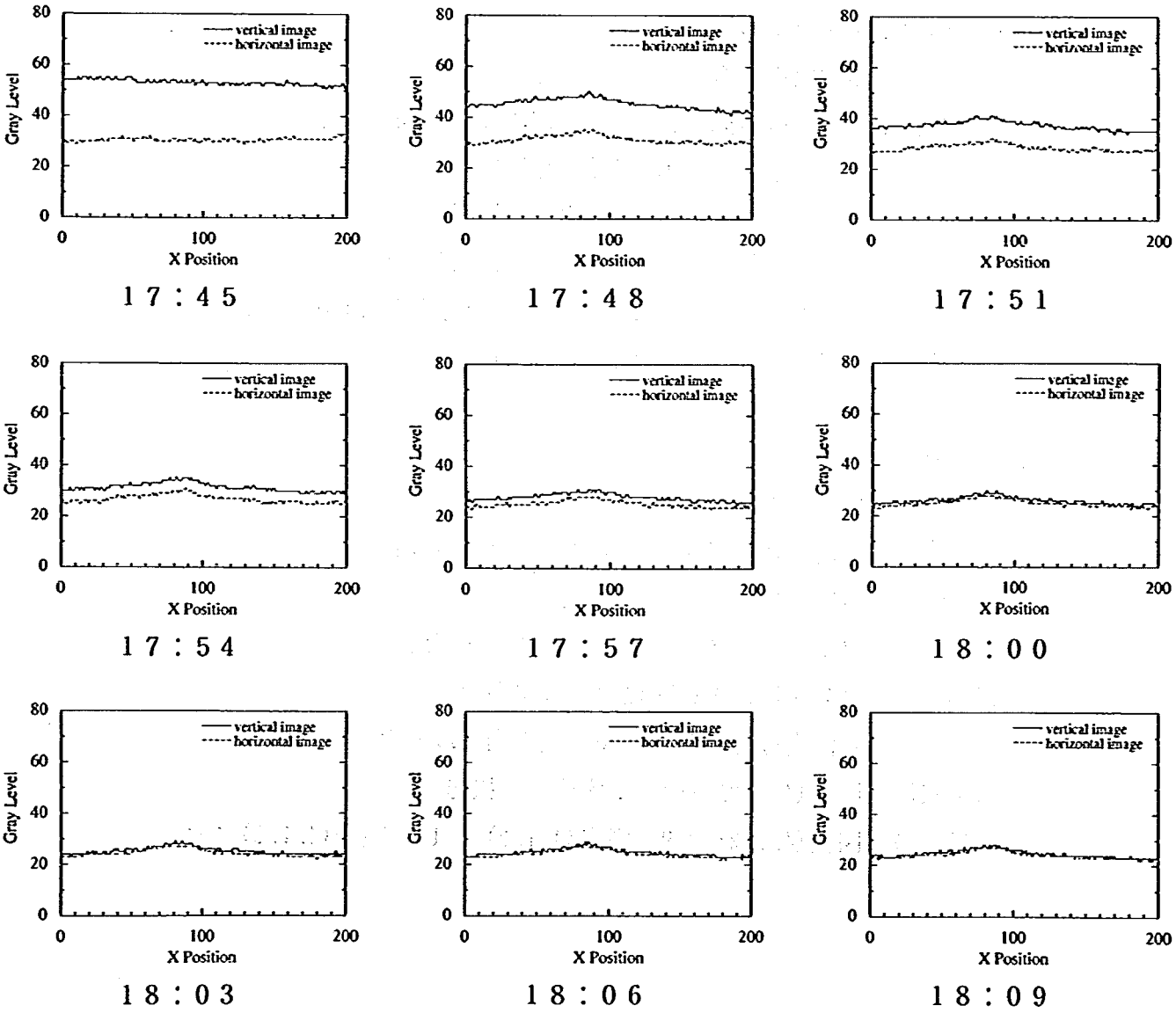
図表(4. 1. 2) 1-20　平均輝度変化（４月16日）



図表(4. 1. 2) 1-21　プロファイル検討位置



図表(4. 1. 2) 1-22　プロファイルの推移



2）路面湿潤検知［実験２／３］

（１）実験目的

路面を撮影した画像から、路面状況（圧雪／乾燥路面等）を識別、把握する技術の開発を行うことを目的とする。

（２）画像収集状況

解析に用いる画像を以下のように２つの条件で収集した。

①検討用画像データ

日時　　：1996年１月18,19日、３月14日
場所　　：新潟県妙高高原町付近
使用機材：８㎜ビデオカメラ（CCD-TR900, SONY製）
撮影内容：アスファルト路面(乾燥路面)
　　積雪路面（全面、一部(縞)、除雪後）
撮影条件：車両進行方向が、画像の横方向になるように撮影
　　近距離と遠距離の２条件で撮影
撮影状況：図表(4.1.2) 2-1に示す位置で撮影
　　近距離画像は、10倍ｽﾞｰﾑ(焦点距離62㎜)。
　　遠距離画像は、ｽﾞｰﾑしない状態で撮影(焦点距離6.2㎜)
画像ﾃﾞｰﾀ：図表(4.1.2) 2-4、図表(4.1.2) 2-7

②時系列データ

日時　　：1996年１月23～27日
場所　　：国道１８号（建設省･妙高除雪ｽﾃｰｼｮﾝ前）
使用機材：白黒ＴＶカメラ（固定、固定焦点）
　　タイムラプスＶＴＲ（AG-6760, 松下製）
撮影条件：２分毎に、１秒間隔で５コマ撮影
　　車両進行方向が、画像の横方向になるように撮影
撮影状況：図表(4.1.2) 2-2に示す位置で撮影
画像ﾃﾞｰﾀ：図表(4.1.2) 2-9、図表(4.1.2) 2-14～図表(4.1.2) 2-17

（3）解析手法

① テクスチャー解析手法

路面状況識別の手法として、テクスチャー解析手法を用いた。ここでは、その中でも空間濃度レベル依存法[1]と呼ばれる手法を用いた。以下に、この手法の概要を説明する。

この手法は、２次元結合密度関数を用いる。この関数f(i, j|d, θ)は、輝度値iを持った画素からθ方向にdだけ離れた画素が、輝度値jをもつ確率を表す。この関数を用いた１４種類の特徴量が定義されている。ここでは、このうちの以下の６種の特徴量を用いた。

- Contrast(ｺﾝﾄﾗｽﾄ)
- Correlation(相関)
- Variance(分散)
- Sum Average(以下,和の平均と呼ぶ)
- Sum Variance(以下,和の分散と呼ぶ)
- Difference Variance(以下,差の分散と呼ぶ)

以下の解析では、これら６種の特徴量をd=８(画素)、θ=０,９０(度)の場合について計算した。

② 解析装置

画像解析装置装置構成を図表(4.1.2) 2-3に示す。まず、ＶＴＲの画像を画像処理装置を用いてワークステーションに転送し、ハードディスクに記録した。画像処理は、ワークステーション上で行った。解析に用いた画像は、512×480画素,256階調である。

（4）解析結果

① 検討用画像データを用いた路面状況解析

画像撮影状況(a)に示した条件で撮影した画像の解析を行った。

a)遠距離画像の解析

解析に使用した画像を図表(4.1.2) 2-4に示す。解析した画像は、図表(4.1.2) 2-4(a)アスファルトの路面、図表(4.1.2) 2-4(b)除雪後の積雪路面、図表(4.1.2) 2-4(c)横方向に縞模様が生じた積雪路面及び図表(4.1.2) 2-4(d)全面積雪路面である。以下、それぞれの画像をこの図に示したように呼ぶ。テクスチャー特徴量の計算は、図表(4.1.2) 2-5(a)に示すように画像を８×８の領域に分

割し、そのうち画像の周辺部分を除いた図表(4.1.2) 2-5(b)に斜線で示す部分について行った。

テクスチャー特徴量の計算結果を図表(4.1.2) 2-6に示す。ここで、横方向がθ＝0(度)、縦方向がθ＝90(度)である。この結果から以下のことが明らかとなった。

・積雪(全面)は、コントラスト、分散、和の分散及び差の分散で小さな値をとる。和の平均は、大きな値をとる。相関は、比較的大きな値をとる。
・積雪(除雪後)及び積雪(横しま)は、画像に横方向の縞模様があるため、同じような特徴を示す。縦方向のコントラストが大きく、かつ、横方向のコントラストとの差が大きい。相関、分散及び和の分散で、アスファルト及び積雪(全面)より大きな値をとる。和の平均は、積雪(全面)よりも小さい。差の分散は、積雪(全面)より大きな値をとる。
・積雪(横しま)は、積雪(除雪後)と比較して、縦方向のコントラストと横方向のコントラストの差が大きい。また、和の分散が大きい。
・アスファルトは、積雪路面と比較して、相関の値が小さい。コントラストは、大きな値をとるが、縦方向のコントラストと横方向のコントラストの差が小さい。分散及び和の分散は、小さな値をとる。和の分散は、積雪(全面)より小さな値をとる。差の分散は、比較的大きな値をとる。

b)近距離画像の解析

解析に使用した画像を図表(4.1.2) 2-7に示す。解析した画像は、遠距離の場合と同じ特徴をもつ画像を使用した。テクスチャー特徴量の計算は、遠距離の場合と同じように図表(4.1.2) 2-5(b)に斜線で示す部分について行った。

テクスチャー特徴量の計算結果を図表(4.1.2) 2-8に示す。この結果から以下のことが明らかとなった。(1)の遠距離の場合と比較して、特徴量の違いが少ない。

・積雪(全面)は、コントラスト、分散、和の分散及び差の分散で小さな値をとる。和の平均は、大きな値をとる。
・積雪(除雪後)は、コントラスト、分散、和の分散及び差の分散で大きな値をとる。横方向の相関が大きい。和の平均は、積雪(全面)より小さな値をとる。
・積雪(横しま)は、横方向の相関が大きい。
・アスファルトは、積雪(除雪後)及び積雪(横しま)と比較して、相関の値が小さい。コントラストは、縦方向のコントラストと横方向のコントラストの差が小さい。和の分散は、積雪(全面)より小さな値をとる。

② 時系列データを用いた路面状況解析

建設省・妙高除雪ステーションに設置されているＴＶカメラの画像の解析を行った。収集した画像は、２分毎の画像であるが、ここでは、その画像を間引きし、約１時間毎の画像にして画像解析を行った。また、夜間の画像は、暗いため使用せず、昼間の画像のみをあつかった。解析した画像の一例として、１月23日の画像を図表(4.1.2) 2-9に示す。また、１月24日から27日の画像を図表(4.1.2) 2-14から図表(4.1.2) 2-17に示す。テクスチャー特徴量の計算は、図表(4.1.2) 2-10(a)に示すように画像を８×８の領域に分割し、そのうち画像の周辺部分を除いた図表(4.1.2) 2-10(b)に斜線で示す部分について行った。

テクスチャー特徴量の計算結果を図表(4.1.2) 2-12及び図表(4.1.2) 2-13に示す。ここで、図表(4.1.2) 2-12には、コントラスト、相関及び差の分散の、縦方向と横方向とのそれぞれの特徴量の比を示した。また、図表(4.1.2) 2-11に、路面画像から主観的に判断した積雪状態を示す。これらを比較すると、コントラストの比の値が、約0.8以下の場合に概ね積雪ありになっていることがわかる。しかし、１月26日の７時、８時及び10時のデータでは、積雪"あり"にも関わらず、コントラストの比の値が0.9程度と大きい。これは、路面が全面積雪に覆われたため、横方向の縞模様が現れなくなったためである。このとき、図表(4.1.2) 2-13(c)から和の平均値が、大きいことが確認できる。

（５）まとめ

今回検討に用いた遠距離の画像では、積雪路面とアスファルト(乾燥路面)とを識別できた。ただし、近距離の画像では、アスファルトと積雪(横しま)の画像の特徴量の差が比較的小さいことが確認された。

時系列データを用いた解析では、コントラストの縦方向と横方向の比によって、ある程度路面の積雪を認識できることが確認できた。これは、比較的交通量が多く、通行車両により路面に縞模様ができることが条件となる。

次に、路面の湿潤/乾燥の識別について考察する。路面が湿潤状態である場合と乾燥状態である場合では、撮影される画像には多少の色の違いがみられると考えられるが、どちらの場合であってもアスファルトの模様が撮影されることとなる。したがって、どちらの場合であっても、アスファルトのテクスチャー特徴量を求めることとなる。そのため、これら２つの状態では、テクスチャー特徴量に差がでないこととなり、テクスチャー解析処理のみで、それらを識別することは困難であると考えられる。

（6）課題

他のセンサ情報と組み合わせた路面状況の識別手法の検討。

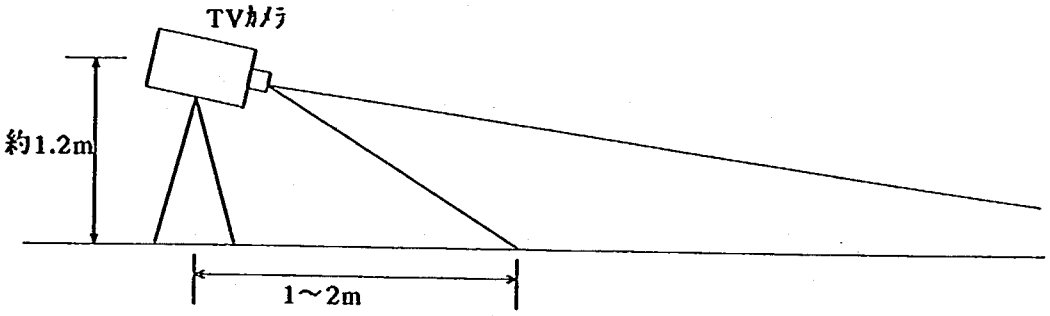
参考文献

[1]R. M. Haralick, et al.、「Textural features for image classification」、IEEE Trans. Syst., Man Cybern.、Vol. SMC-3、pp610-621、Nov. 1973.

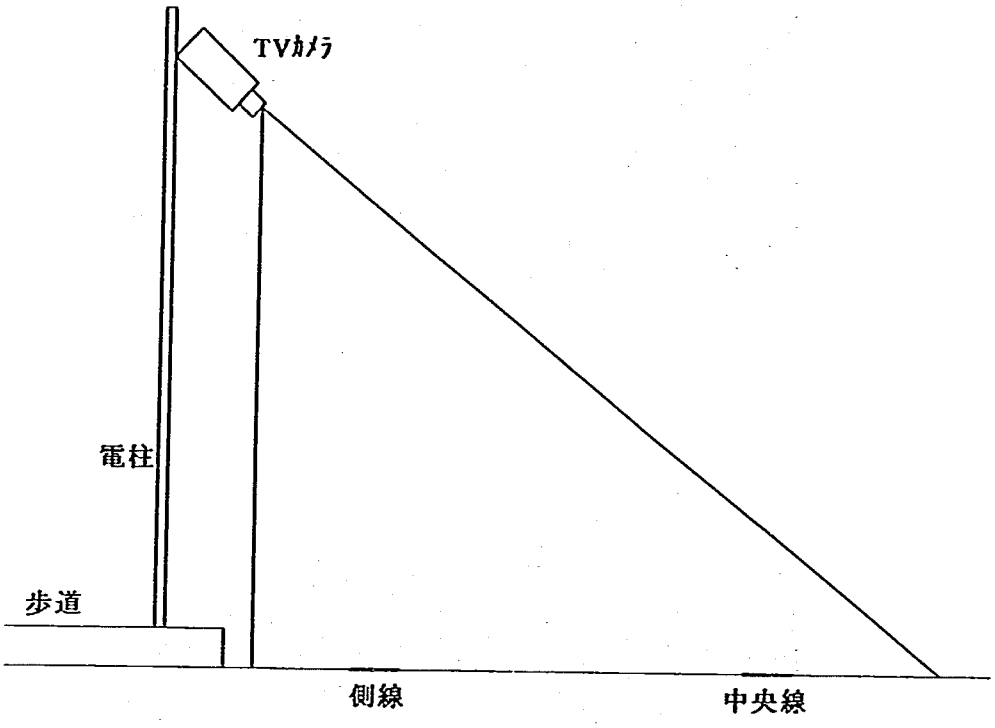
付録

図表(4.1.2) 2-14から図表(4.1.2) 2-17に妙高除雪ステーションに設置された固定カメラの画像を示す。

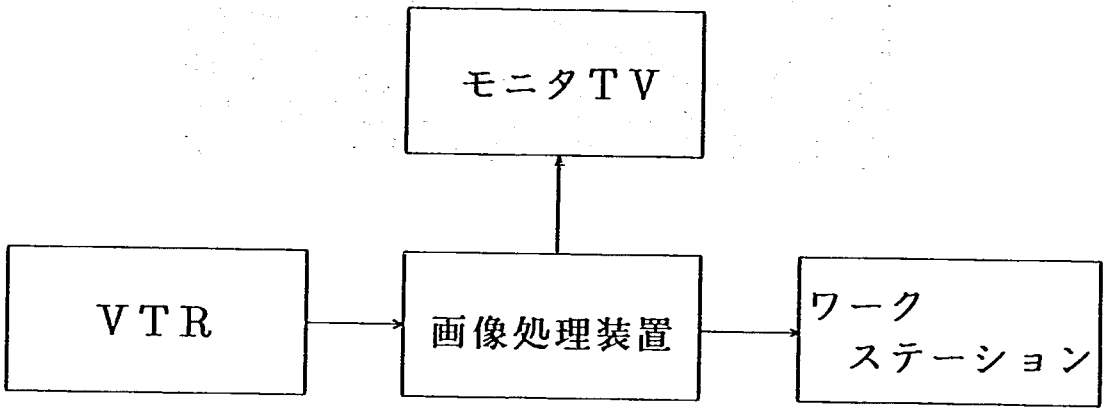
図表(4.1.2) 2-1　検討用画像データの撮影状況



図表(4.1.2) 2-2　時系列画像データの撮影状況



図表(4.1.2) 2-3　画像解析実験装置構成

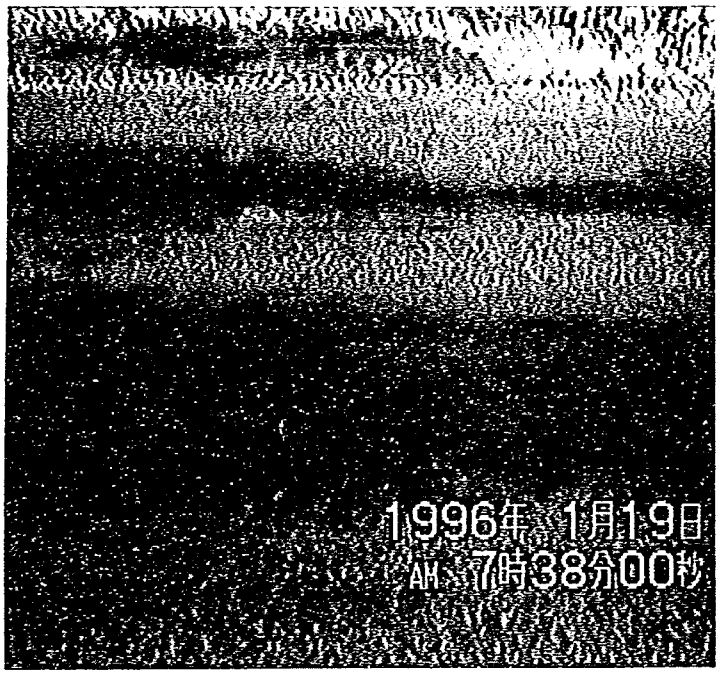


図表(4. 1. 2) 2-4　路面状況（遠距離）

a）アスファルトの路面

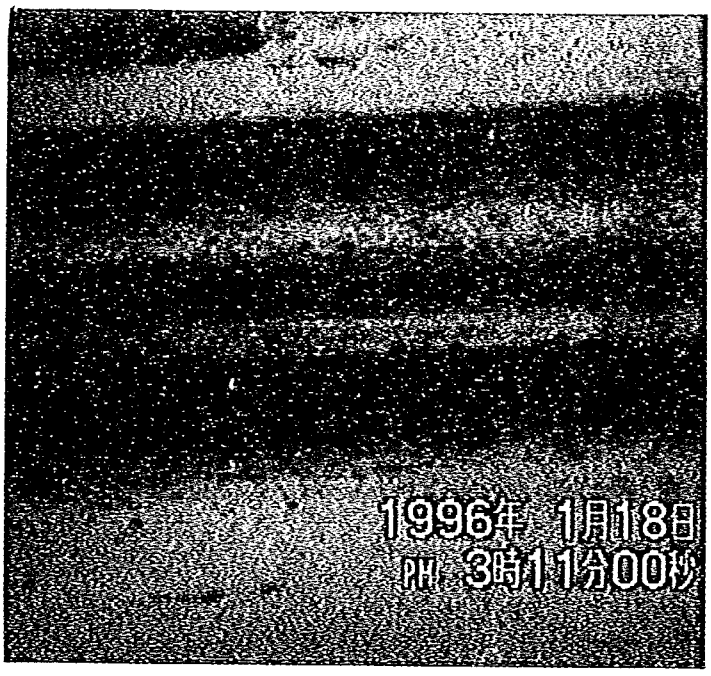


b）積雪（除雪後）

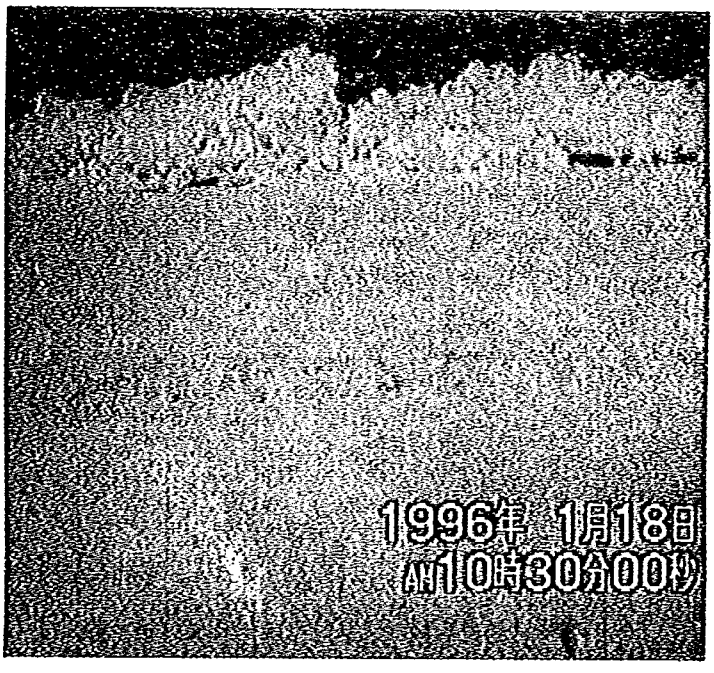


図表(4. 1. 2) 2-4　路面状況（遠距離）

c）積雪（横じま）

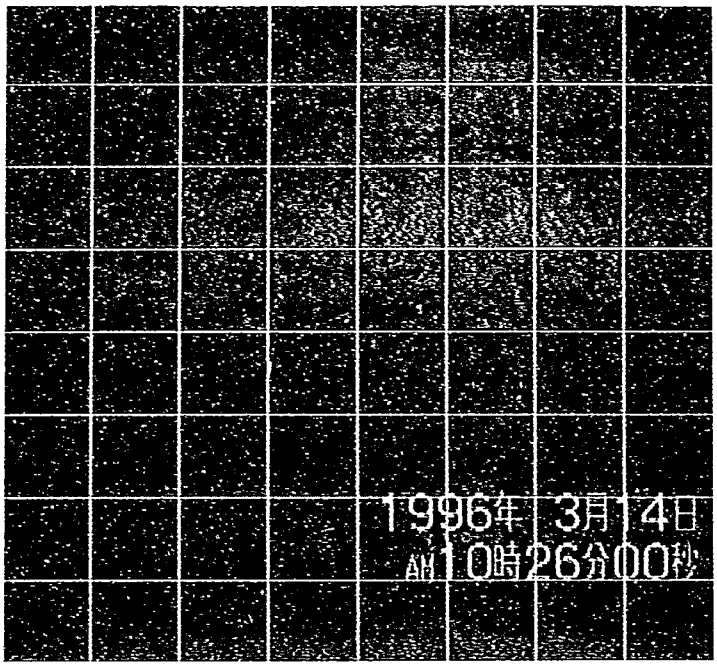


d）積雪（全面）

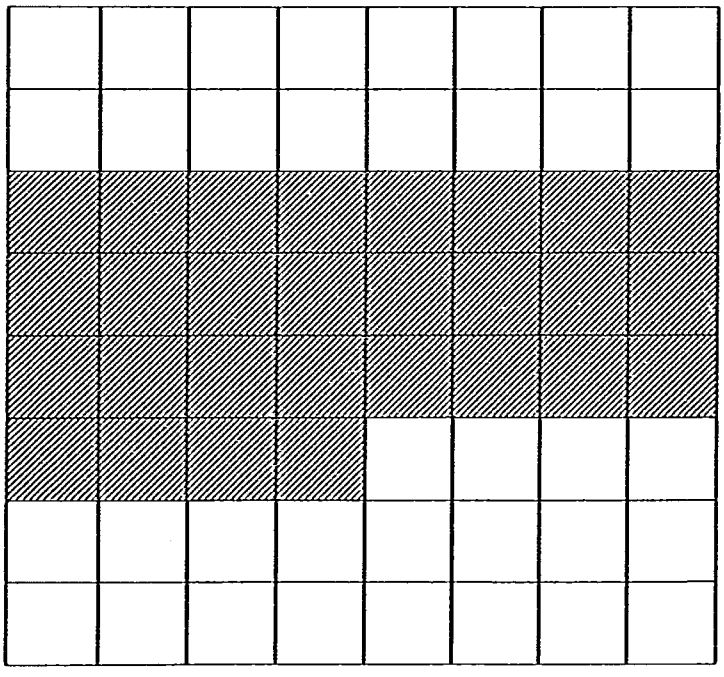


図表(4.1.2) 2-5　テクスチャー特徴量計算に使用した画像部分

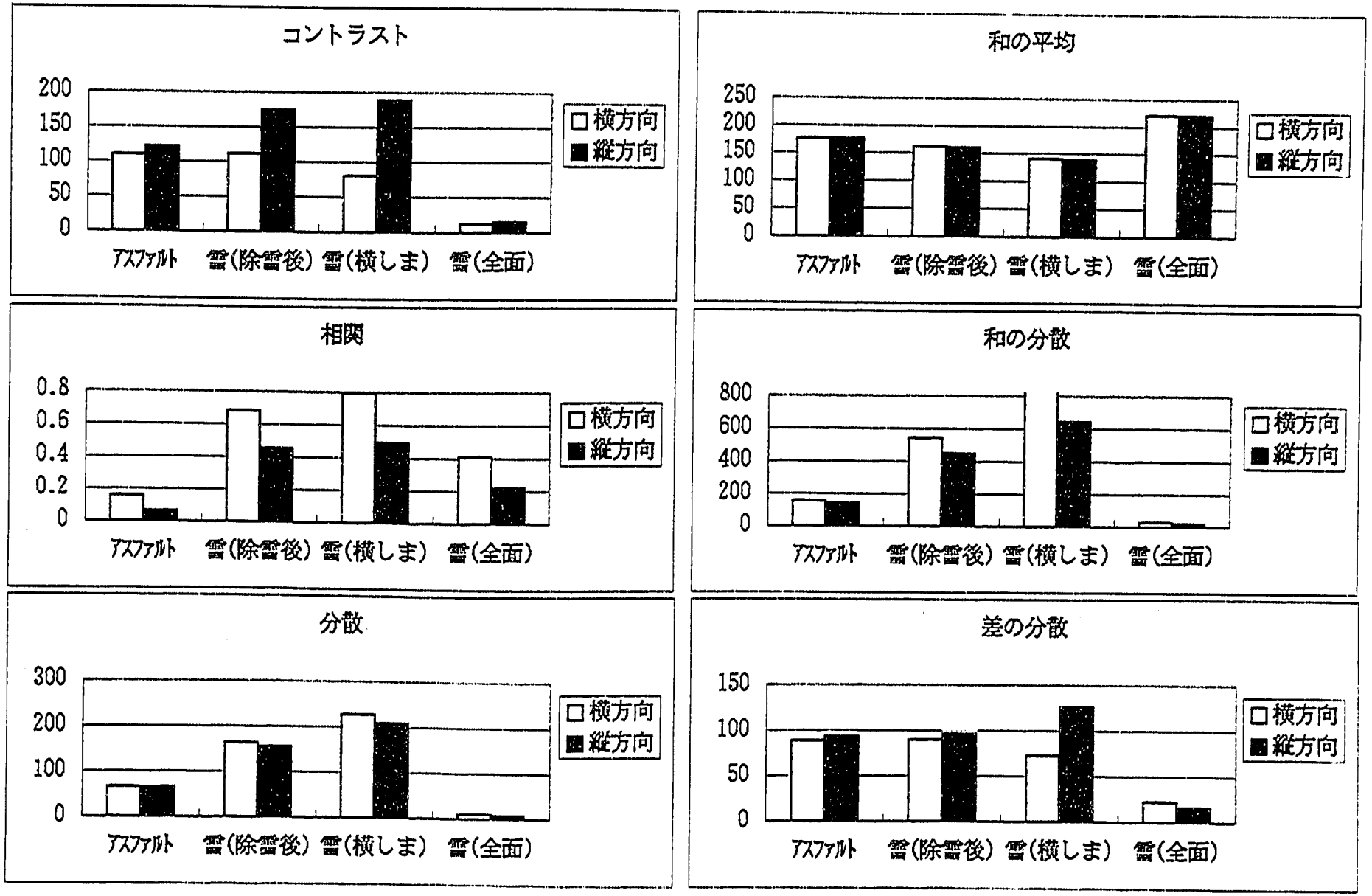
a）画像の分割



b）使用した部分（斜線部）

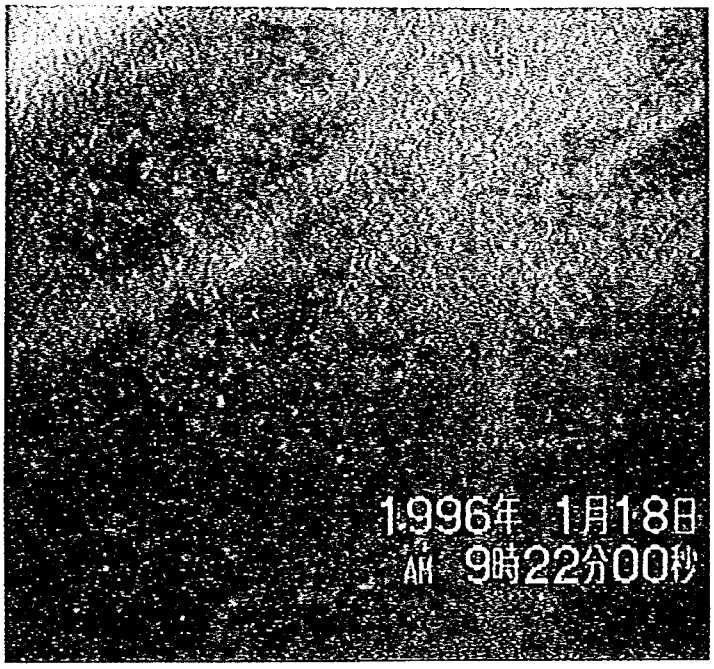


図表(4.1.2) 2-6　テクスチャー特徴量（遠距離画像）

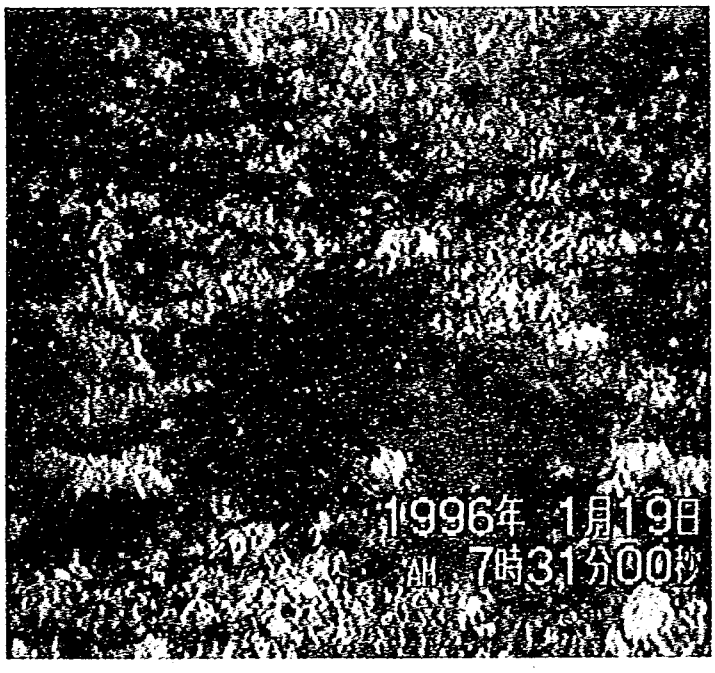


図表(4. 1. 2) 2-7　路面状況（近距離）

a）アスファルトの路面

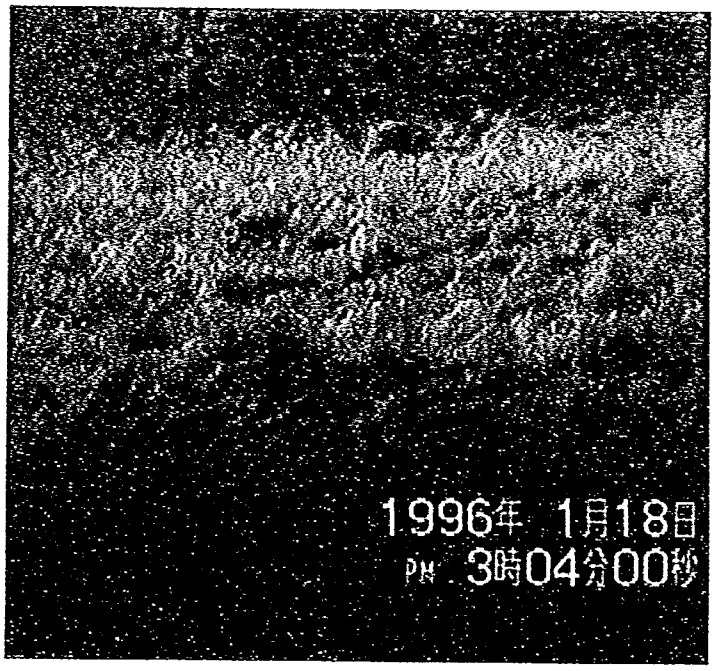


b）積雪（除雪後）

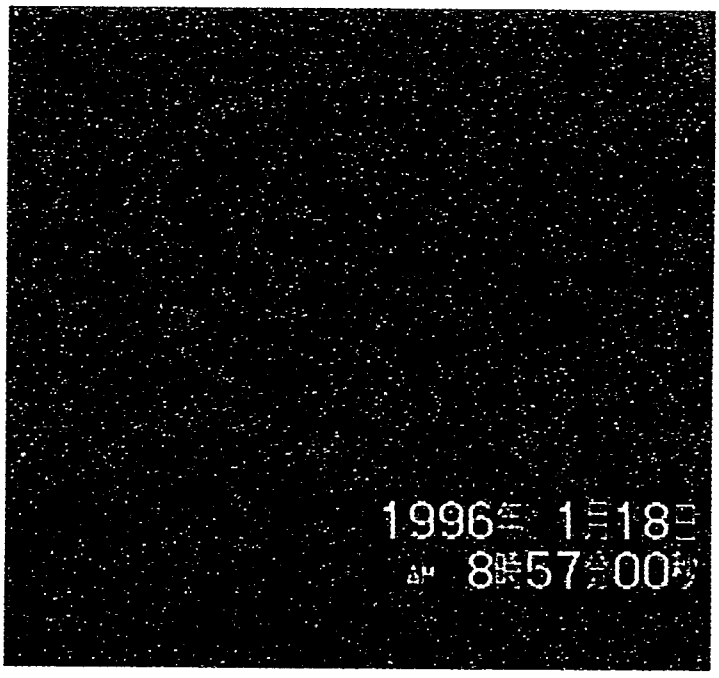


図表(4.1.2) 2-7　路面状況（近距離）

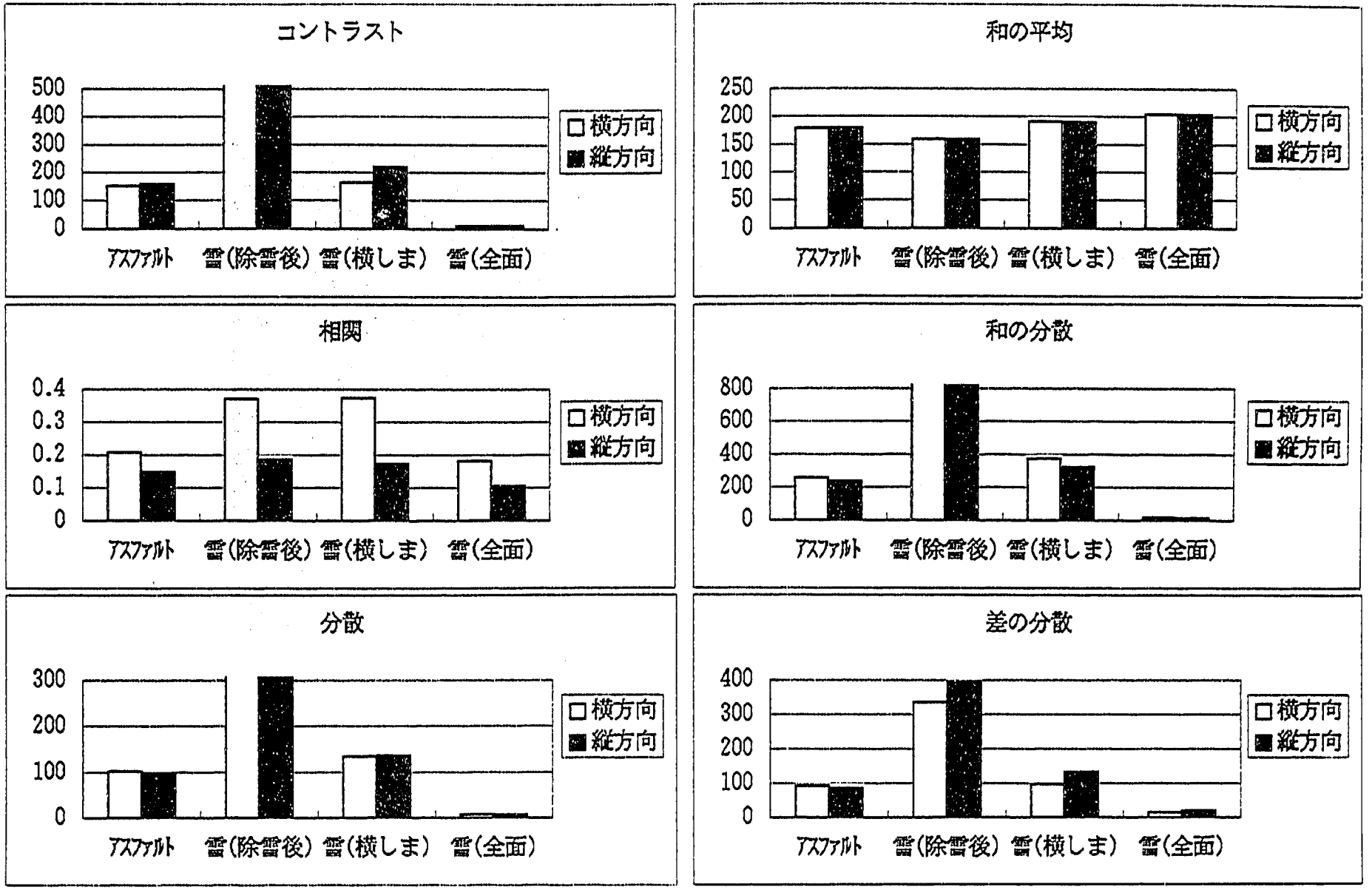
c）積雪（横じま）



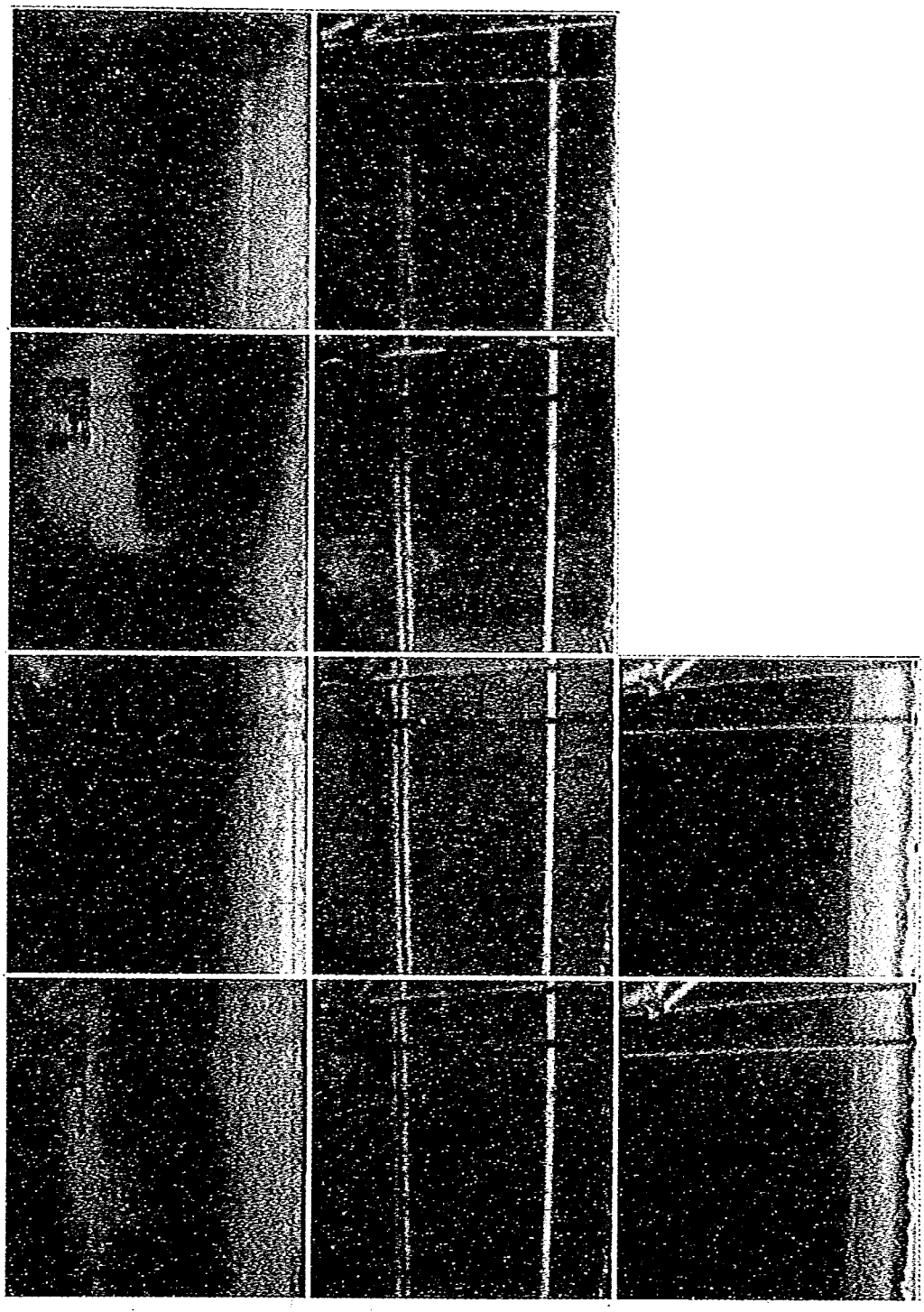
d）積雪（全面）



図表(4.1.2) 2-8　テクスチャー特徴量（近距離画像）

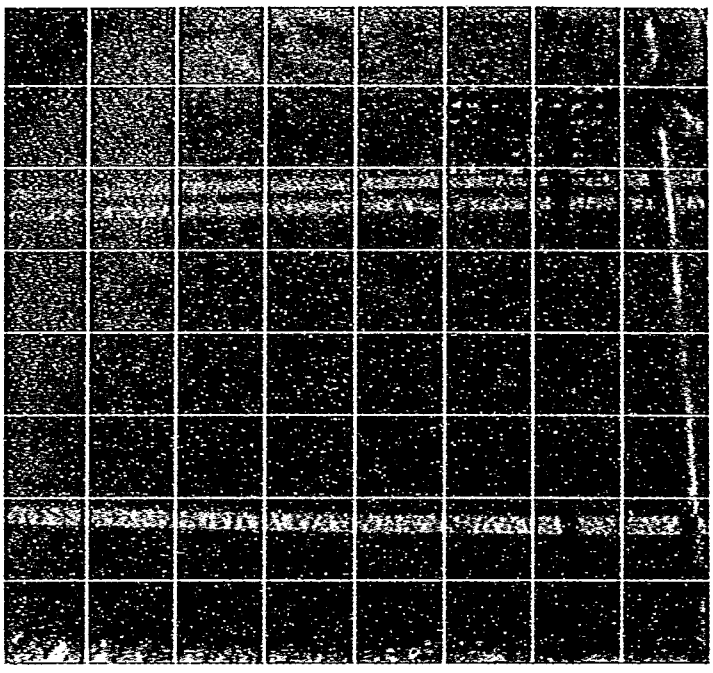


図表(4.1.2) 2-9　妙高除雪ステーションに設置された固定カメラの画像
(1996年1月23日7時～16時)

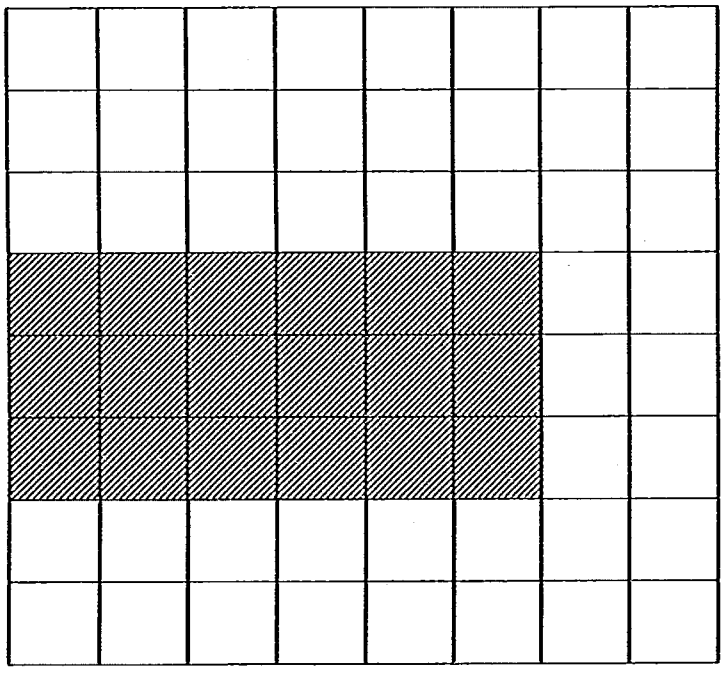


図表(4. 1. 2) 2-10　テクスチャー特徴量計算に使用した画像部分

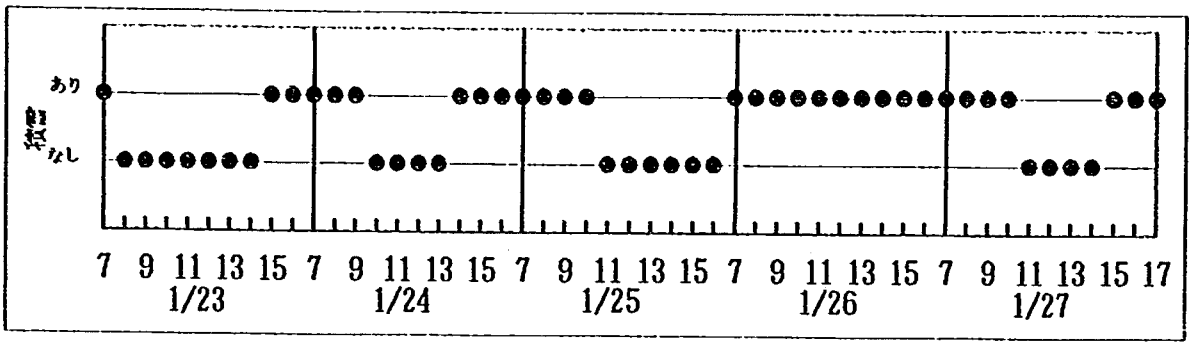
a）画像の分割



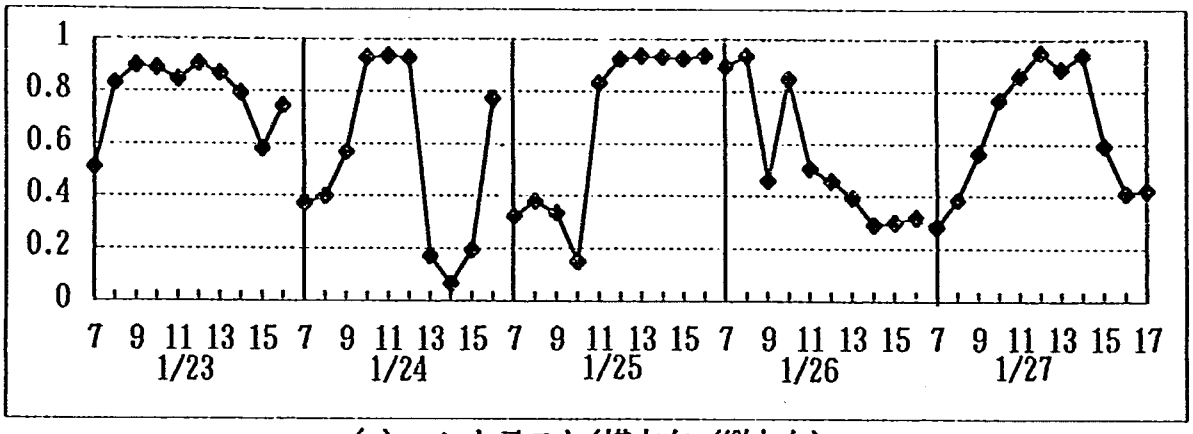
b）使用した部分（斜線部）



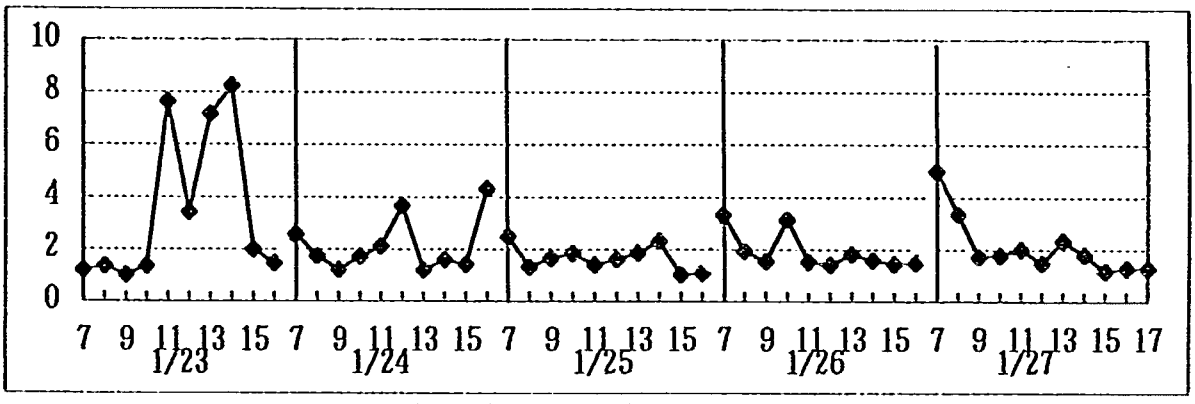
図表(4. 1. 2) 2-11　路面撮影画像から主観的に判断した積雪状態



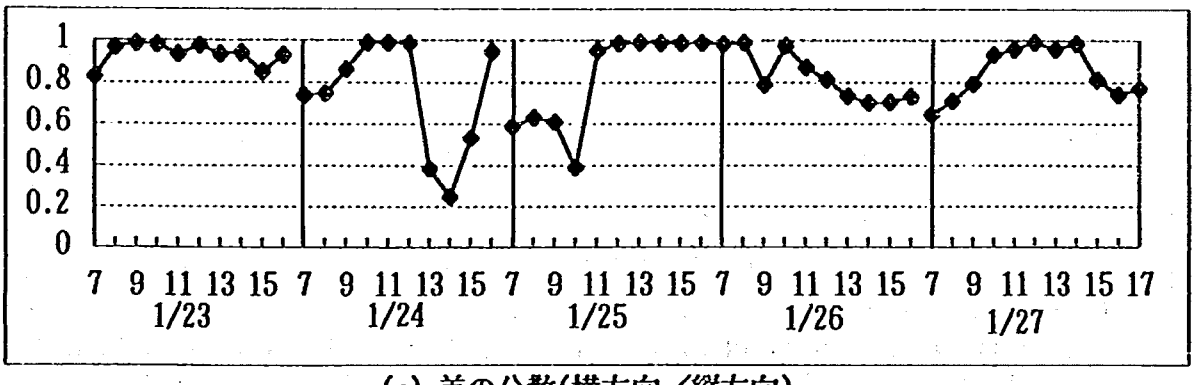
図表(4. 1. 2) 2-12　テクスチャー特徴量（その１）



(a) コントラスト(横方向／縦方向)

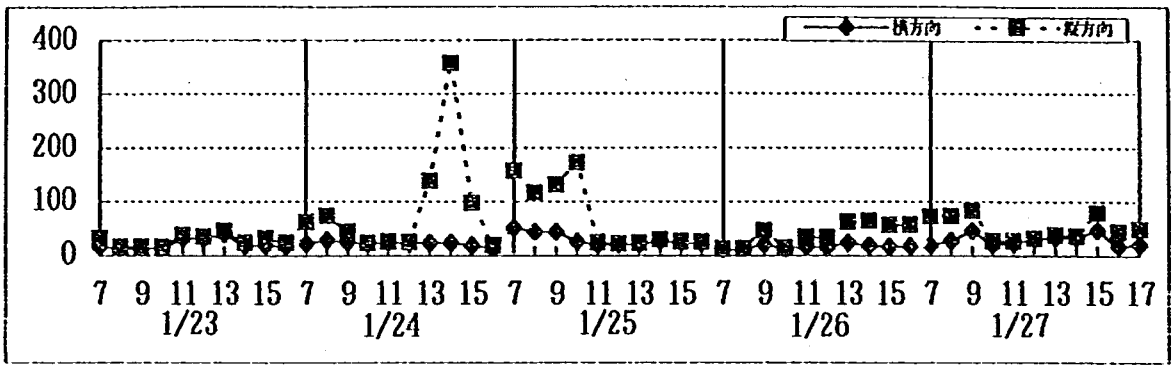


(b) 相関(横方向／縦方向)

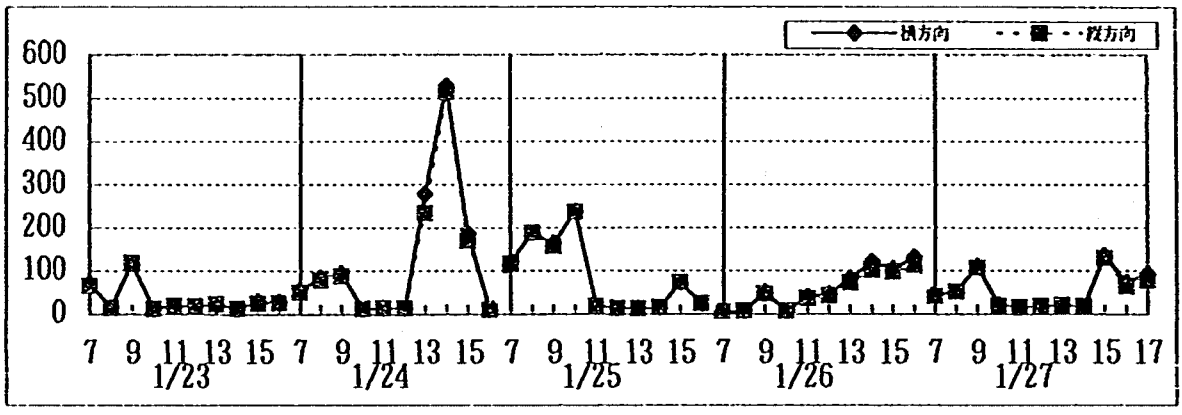


(c) 差の分散(横方向／縦方向)

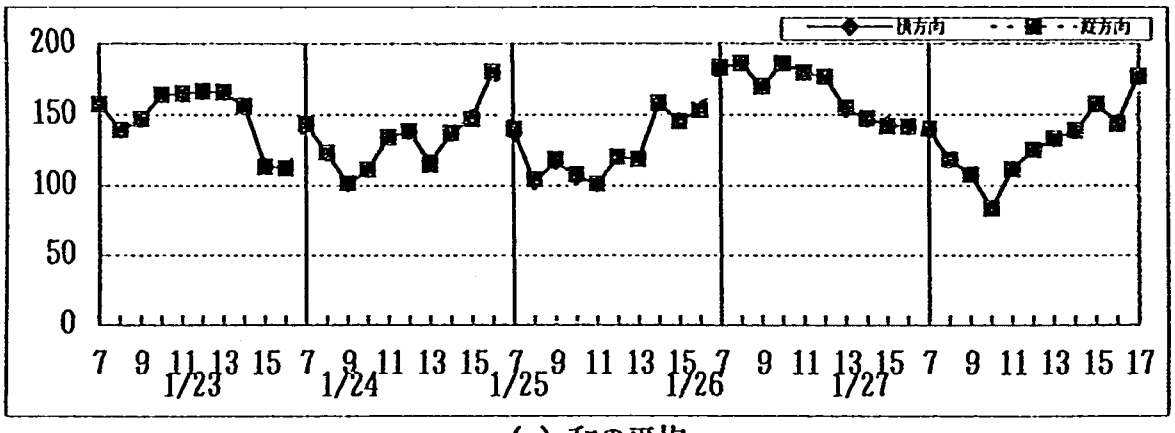
図表(4.1.2) 2-13　テクスチャー特徴量（その2）



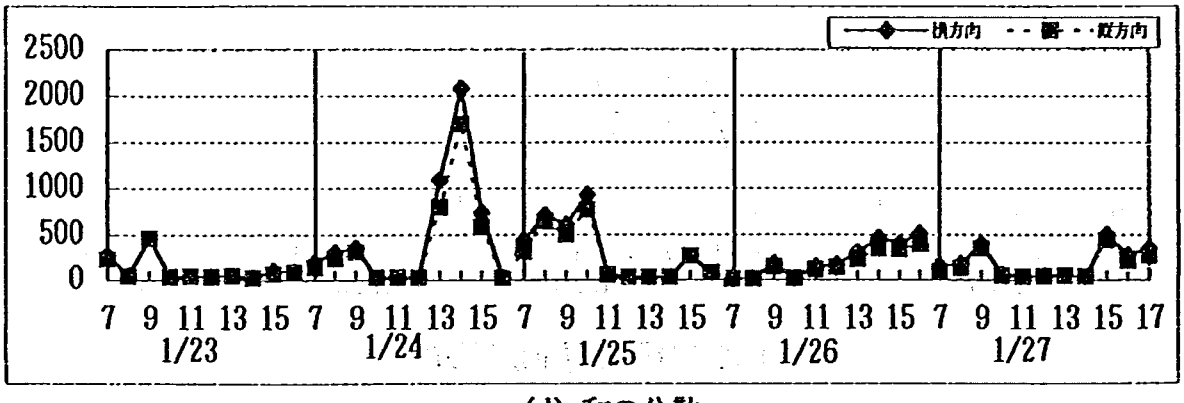
(a) コントラスト



(b) 分散

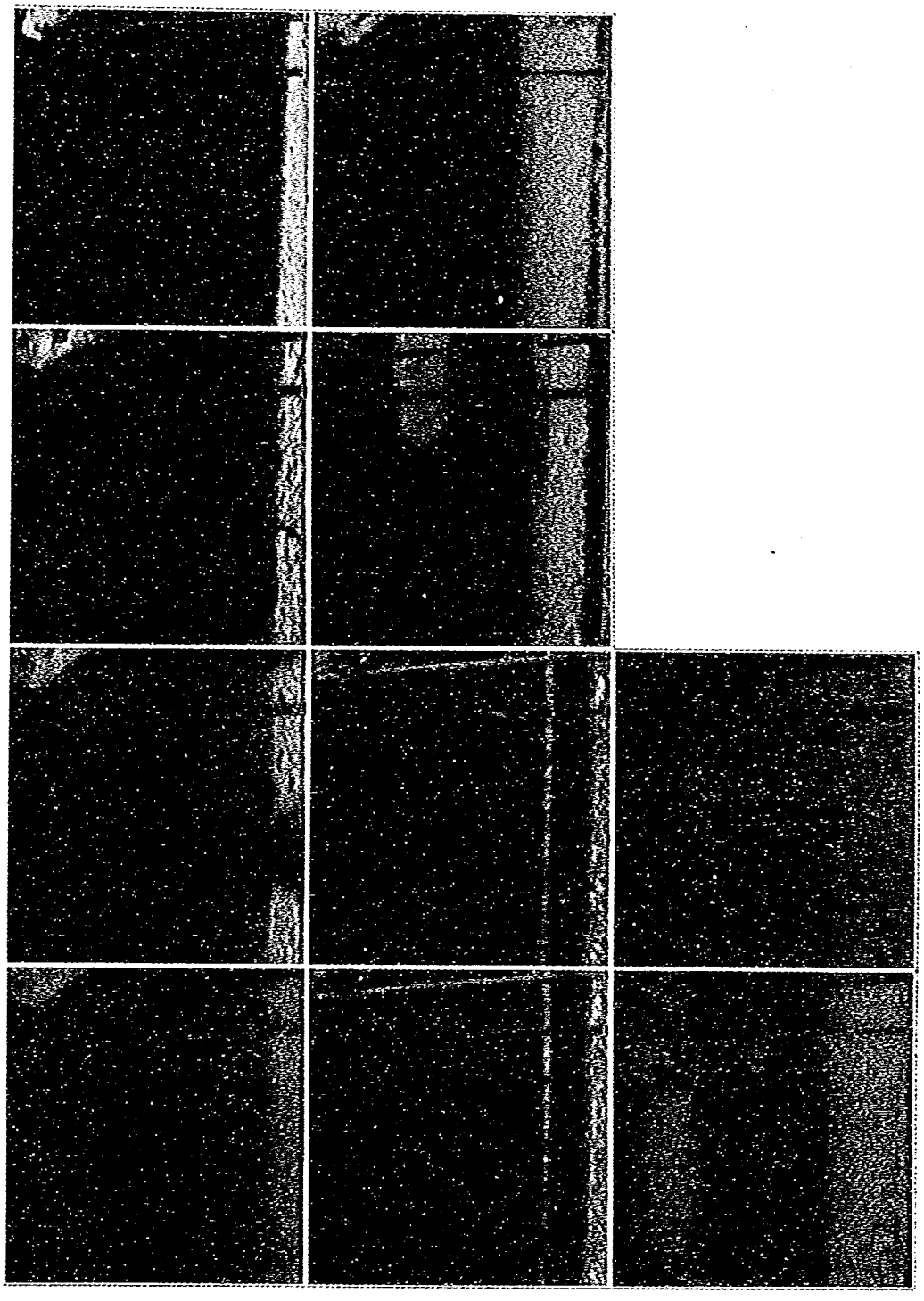


(c) 和の平均

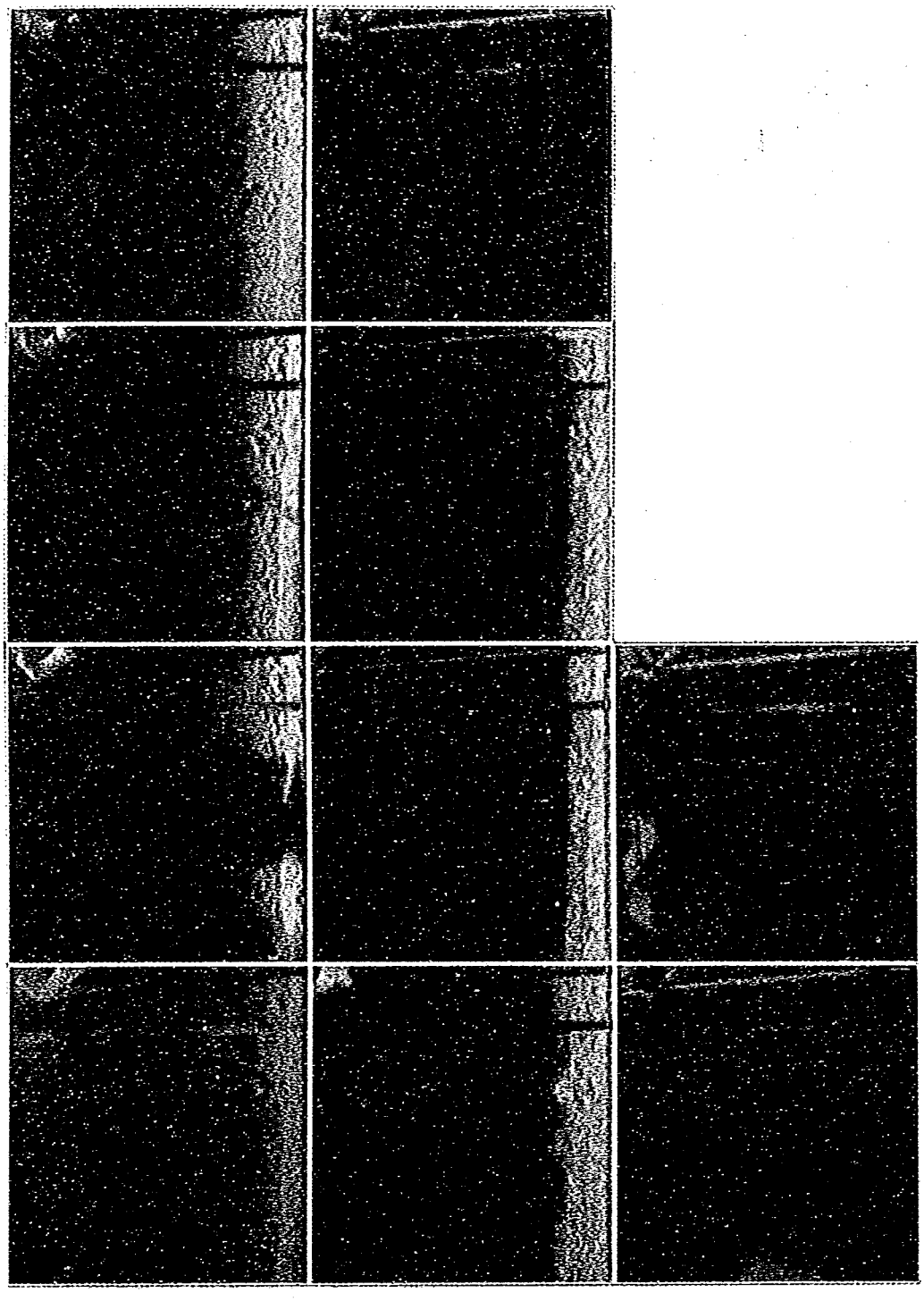


(d) 和の分散

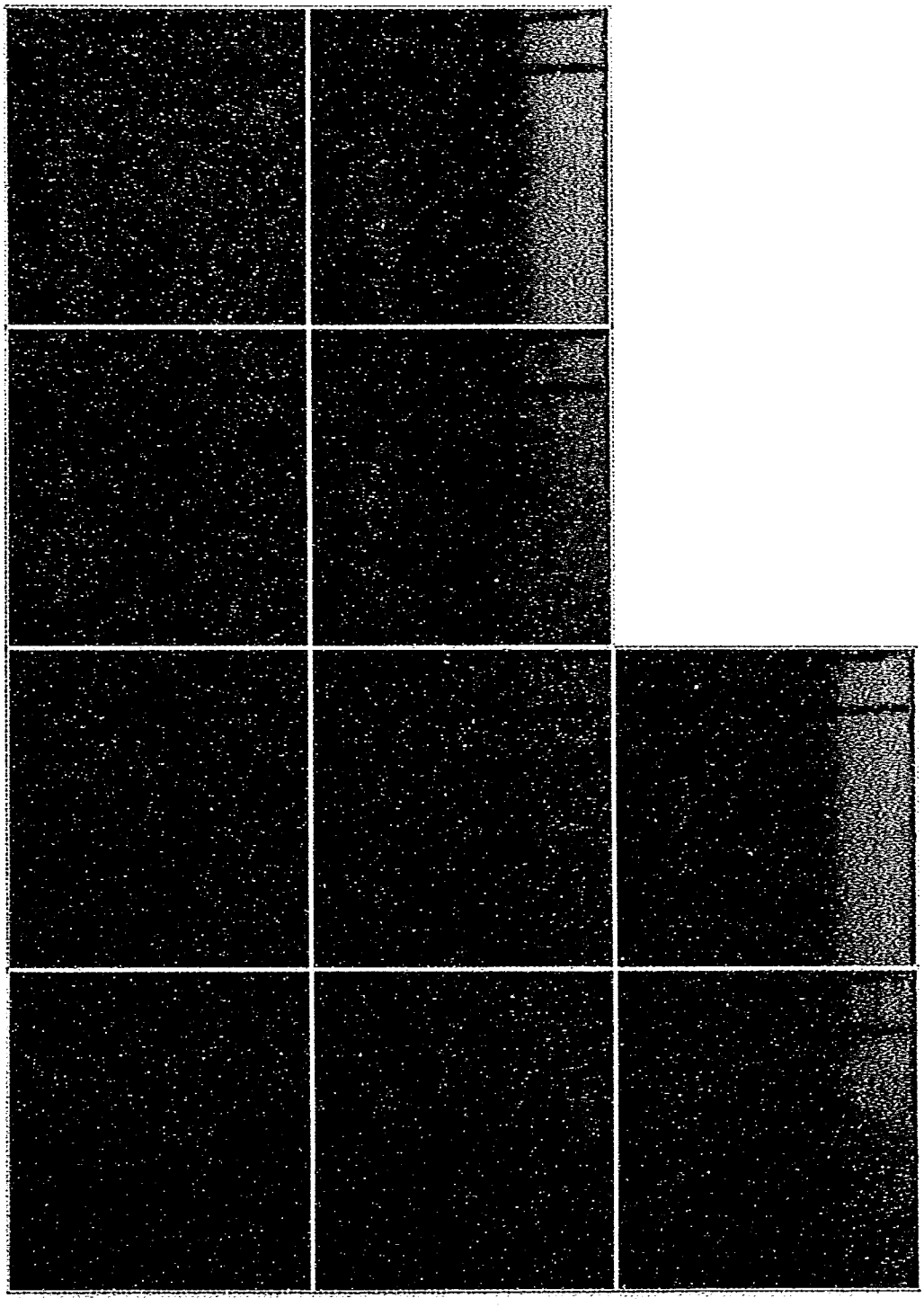
図表(4.1.2) 2-14　妙高除雪ステーションに設置された固定カメラの画像
(1996年1月24日7時～16時)



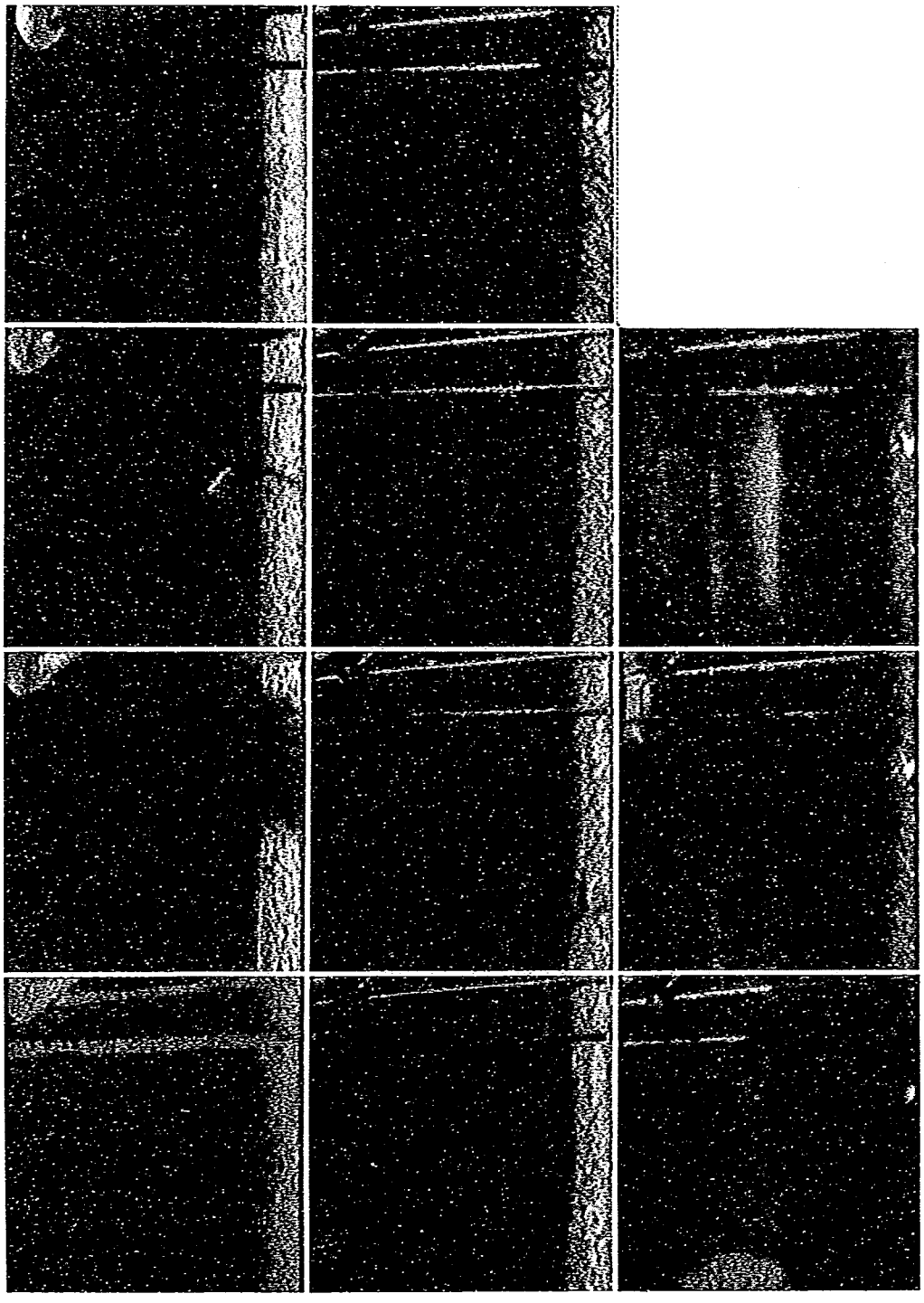
図表(4.1.2) 2-15　妙高除雪ステーションに設置された固定カメラの画像
(1996年1月25日7時～16時)



図表(4.1.2) 2-16　妙高除雪ステーションに設置された固定カメラの画像
(1996年1月26日7時～16時)



図表(4. 1. 2) 2-17　妙高除雪ステーションに設置された固定カメラの画像
(1996年１月27日７時～17時)



3）路面湿潤検知［実験３／３］

（１）概要

インフラセンサとして路面湿潤センサの開発を行い、今後、凍結検知センサに発展させようとするものである。平成７年度は、基礎データを収集するため建設省土木研究所構内と小糸工業本社内において実験を実施し、解析を行った。その結果、路面の乾燥状態と湿潤状態の判別、冠水状態から乾燥状態までの水分量の度合い判別を行うことが可能であることが確認できた。その報告を以下に示す。

（２）目的

既存の路面水分計や凍結検知器等は、観測する領域が点に近い場合がほとんどである。そのため、広範囲な観測を行うためには、 装置を多数設置する必要がある。そこで、ＣＣＤカメラを用い、画像処理によって路面の乾燥と湿潤状態の判別及び湿潤状態における水分の度合いの判別を行い、観測領域の拡大を試みる。

（３）原理

ＣＣＤカメラの映像を用いて水分量の予測を行うため、光の偏向特性に着目した。そこで、光の反射特性、屈折率及び偏光特性について述べる。

異なった媒質の境界面に光が入射した場合、屈折し、境界通過後に光の進行向が変わる。屈折は、反射とともに最も重要な現象であり、次の二つの条件を満足する。

・屈折は、その境界面の法線と入射光線を含む面内で起こる。

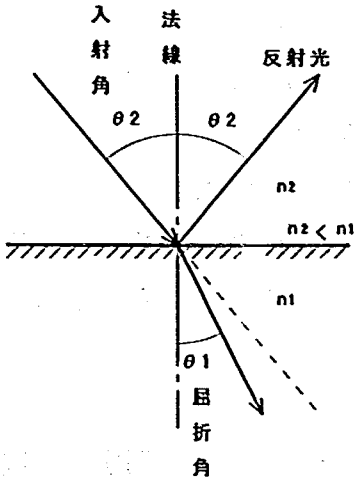
・ほとんどなしの屈折率をn_2、入射角をθ_2、また、屈折後の媒質の屈折率をn_1、屈折角をθ_1とするとスネルの法則より式(3-1)を満足する。

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \qquad (3\text{-}1)$$

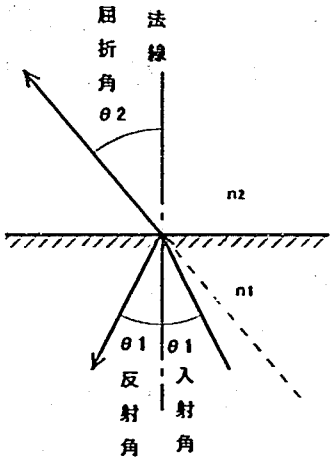
この関係を図表(4.1.2) 3-1に示す。

光が伝搬する両媒質中での伝搬速度が異なるため、屈折の現象は、その境界面での波の連続条件より導くことができる。一般に媒質中では光の伝搬は、可逆性であるので図表(4.1.2) 3-2のように矢印を反対にすることができる。

図表(4.1.2) 3-1　屈折現象を示すスネルの法則



図表(4.1.2) 3-2　臨界角と全反射現象

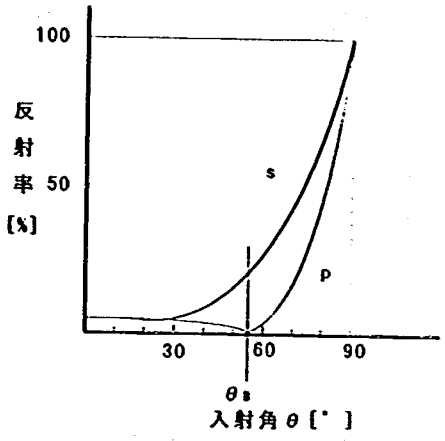


図表(4.1.2) 3-2より入射角θ_1を徐々に大きくした場合、スネルの法則により $n_1>n_2$の条件では$\theta_1<\theta_2$という関係があるためθ_1の角度を漸次増大させるとθ_2が90度となる角度が存在する。この時のθ_1は、$\sin\theta_1=n_2/n_1$となる。この角度が臨界角であり、その角より大きな入射角θ_1では、入射光のエネルギーが全て境界面で反射する全反射がおこる。

水に太陽光などの光が照射されている場合、水面は、その光が反射し、水の内部の状況をみることができない。しかし、偏光フィルタを用いて水面を見た場合、境界面からの反射光が減少され、水の内部の状況がわかる。本開発では、この光の性質に着目し、水分量の予測を行う。

図表(4.1.2) 3-3に空気中からn=1.5のガラスに入射する光の入射角に対する偏光成分の反射率の違いを示す。θが0に近い場合の反射率Rは、

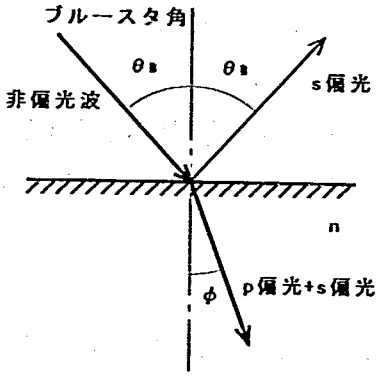
図表(4.1.2) 3-3　空気からガラスへ入射する光の偏光特性



$$R=\{(n_1-n_2)/(n_1+n_2)\}^2 \qquad (3\text{-}2)$$

となり、この値がフレネルの反射損失である。入射面に垂直な偏光(S偏向)、平な偏光(P偏光)のそれぞれの反射率をγ_s、γ_pとすと、ある入射角θ_Bでは、γ_pが0となる。すなわち自然光がこの角度で入射すると反射光はS偏光のみとなる。したがって、偏光フィルタの向きをP偏光のみを通すように構成した場合は、ガラスや水面などの境界面からの反射光が減少する。

図表(4.1.2) 3-4　ガラスへ入射する光の反射光と屈折光

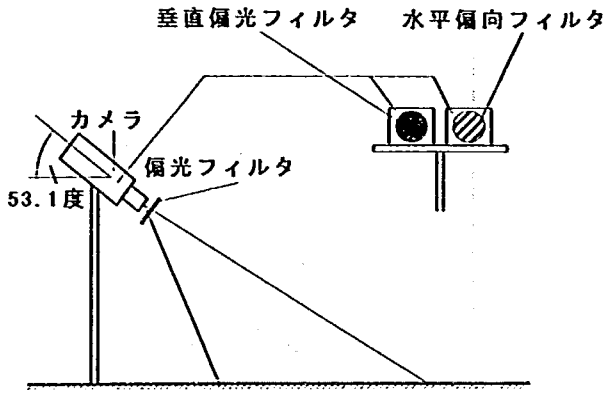


図表(4.1.2) 3-4に示されるように水面から水中への屈折角をφとした場合 、$\theta_B+\phi$=90度となる法則がブリュースタの法則である。また、屈折率nの物質の空気との境界におけるブリュースタ角θ_Bは、

$$\tan\theta_B=n \qquad (3\text{-}3)$$

として表される。 水の屈折率は、 約1.33であるのでブリュースタ角は約53.1度となる。つまり、俯角約53.1度で水平偏向成分のみを通す偏光フィルタを用いて水面を見た場合は、水の内部、または、水底が見えることになる。

図表(4.1.2) 3-5 本手法の原理図



以上の性質を路面湿潤センサに応用した場合、図表(4.1.2) 3-5に示すように水平偏光フィルタを設置したカメラと垂直偏光フィルタを設置したカメラの２台のカメラを用い、俯角を約53.1度として路面を撮影する。この手法を用いて２つのカメラからの映像の解析を行った場合、水平偏光画像は、水平偏光フィルタにより、水面の反射エネルギが減衰され、水底である路面が見える。また、垂直偏光画像は、垂直偏光フィルタにより水面の反射が強く、水底である路面は見えない。

したがって、路面のざらつきに着目すると、その度合いは、湿潤時には、垂直偏光画像より水平偏光画像の方が高く、乾燥時は、同等の値となることが予想される。つまり、路面のざらつきの度合いの差を用いることで路面の水分量の時間的変化を推測することが可能であると考えられる。

そこで、路面のざらつきの度合いを定量的に扱うため、カメラの映像を画像処理を用いて微分し、分散値を求め、その傾向から判別する。

（４）実験方法

路面湿潤センサの開発にあたり、路面の乾燥状態と湿潤状態の判別、及び、路面の水分量の時間的変化を予測するため、基礎実験を行った。実験方法を以下に示す。

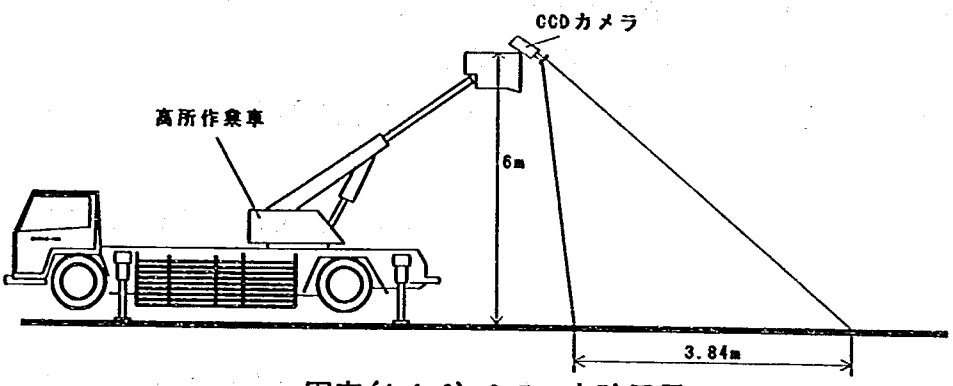
①路面の乾燥状態及び湿潤状態を判別させるための基礎実験

日時：平成８年３月５日（火）、６日（水）

場所：建設省土木研究所内高速すべり実車挙動実験施設

高所作業車を用いて図4-1及び写真4-1に示すように高所からの撮影を行った。カメラをバケットに取り付け、その高さは、地上から６mとし、カメラの俯角は、水のブリュースタ角である約53.1度とした。画角は、縦約４m横約５mである。撮影方法を、以下に示す。

図表(4.1.2) 3-6　高所作業車による実験



図表(4.1.2) 3-7　実験風景



a)冠水状態

・垂直偏光フィルタと水平偏光フィルタを設置した２台のカメラを用いて路面湿潤状態をビデオで５秒間撮影を行った。

・前項の作業を午前10時30分から12時まで、午後２時から５時まで繰り返し、録画を行った。

・前頁のそれぞれの時間帯において一定のシャッタスピードで実験を行った。

b)乾燥状態

・垂直偏光フィルタと水平偏光フィルタを設置した２台のカメラを用いて路面の乾燥状態をビデオで５秒間撮影を行った。

・前項の作業を午前９時から10時まで、録画を繰り返し行った。

・前項の時間帯において一定のシャッタスピードで実験を行った。

②時間的に変化する路面水分量を判別するための基礎実験

場所：小糸工業（株）本社敷地内

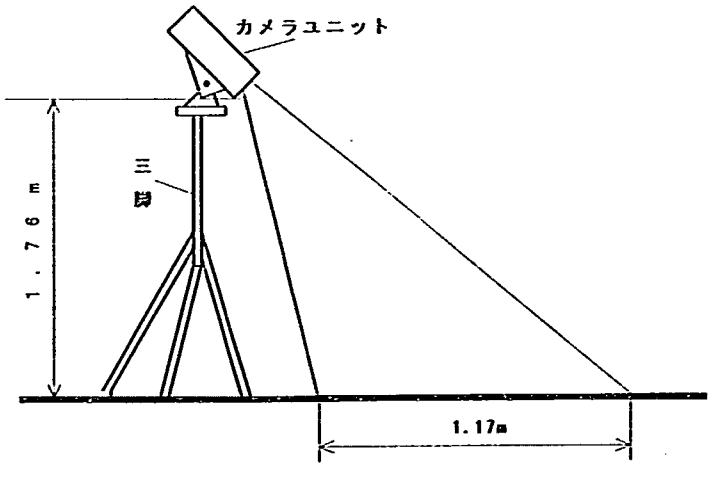
図表(4.1.2) 3-8に示すように三脚にカメラユニットを設置し、高さ約1.8mから撮影を行った。カメラの俯角は、①と同様の約53.1度である。また、画角は、縦約１m横約1.5mである。撮影方法を以下に示す。

・垂直偏光フィルタと水平偏向フィルタを設置したカメラの映像を５秒間づつ交互に録画を行った。

・前項について冠水状態から乾燥状態まで連続的に録画を行った。また、一定のシャッタスピードで実験を行った。

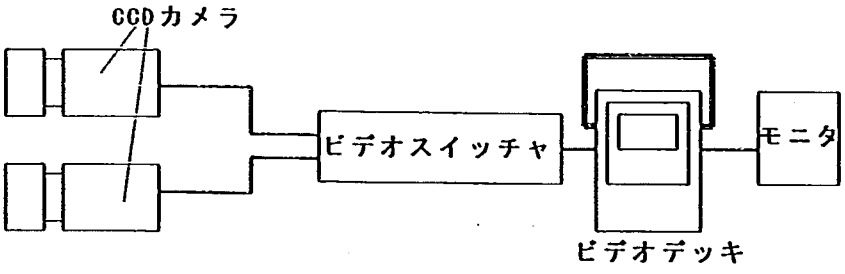
・前々項とと前項を午前と午後に分けて実験を行った。

図表(4.1.2) 3-8　三脚を用いた実験



実験①、②における実験構成図を図表(4.1.2) 3-9に示す。

図表(4.1.2) 3-9　実験構成図



（5）実験器具

土木研究所及び本社内で行った実験の器具を図表(4.1.2) 3-10に示す。

図表(4.1.2) 3-10　実験器具

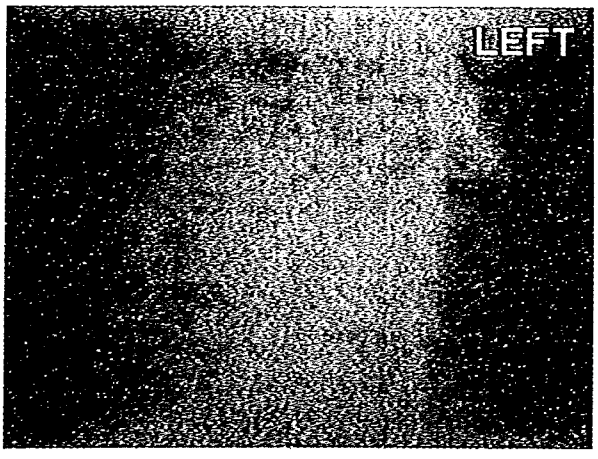
品名	定格	型番	メーカ
ビデオスイッチャ	100v 10w	JK-S44C	東芝
ビデオデッキ	12v 19w	BR-S405	ビクター
モニタ	100v 26w	PVM-96J	ソニー

（6）解析結果

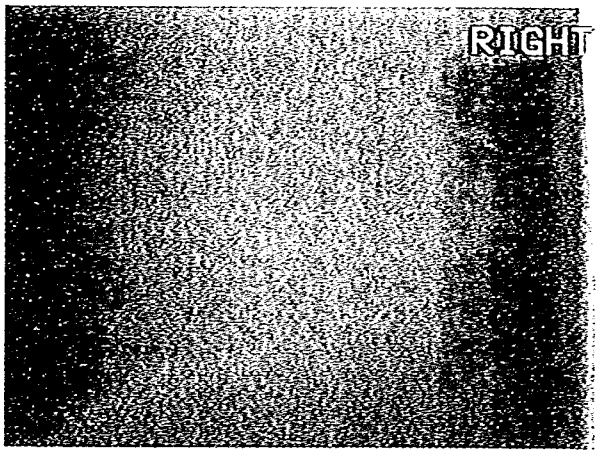
①建設省土木研究所構内で行った実験の解析結果を以下に示す。

a)乾燥路面における左右のカメラの映像を図表(4.1.2) 3-11, 図表(4.1.2) 3-12に示す。

図表(4.1.2) 3-11　左カメラの映像

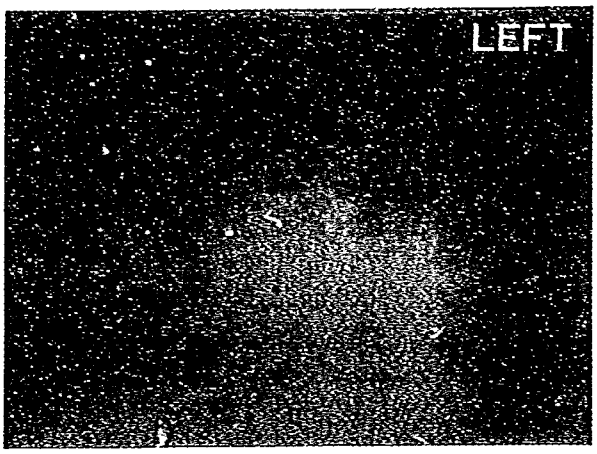


図表(4.1.2) 3-12　右カメラの映像

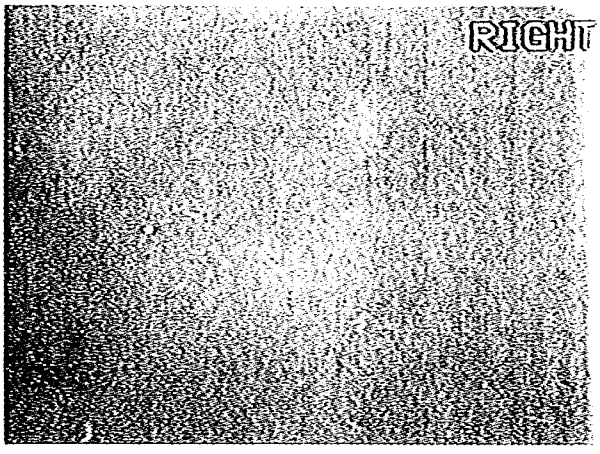


b)湿潤路面における左右のカメラの映像を図表(4.1.2) 3-13, 図表(4.1.2) 3-14に示す。

図表(4.1.2) 3-13　左カメラの映像

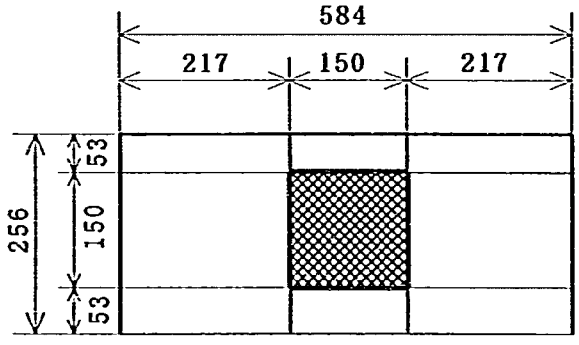


図表(4.1.2) 3-14　右カメラの映像



c)録画を行った乾燥路面及び湿潤路面においてに示す図表(4.1.2) 3-15縦150・横150ドットの範囲で画像処理を行った。処理方法は、図表(4.1.2) 3-17に示すSobelのy方向フィルタを用いて微分し、その分散値を求めた。

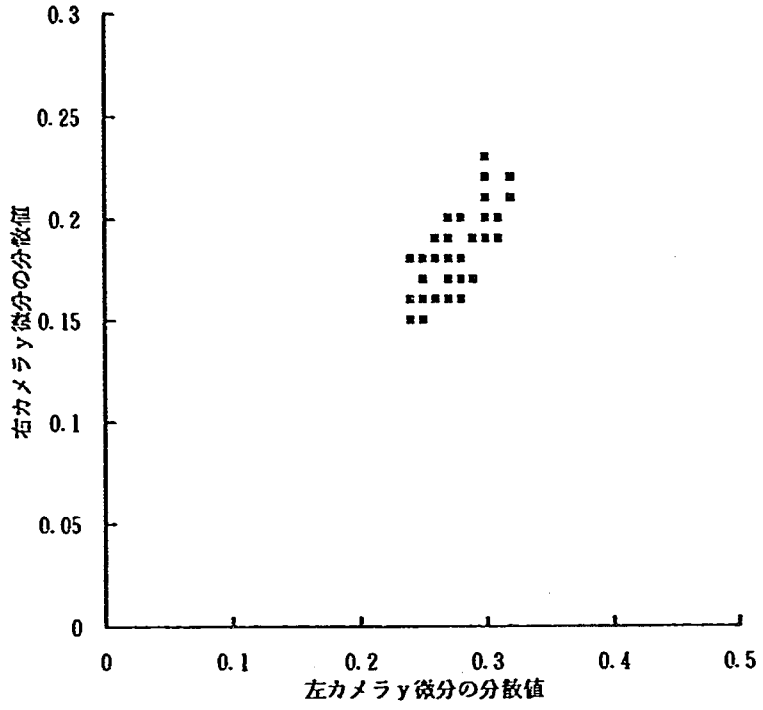
図表(4.1.2) 3-15　画像処理範囲



図表(4.1.2) 3-16　Sobelのｙ方向フィルタ

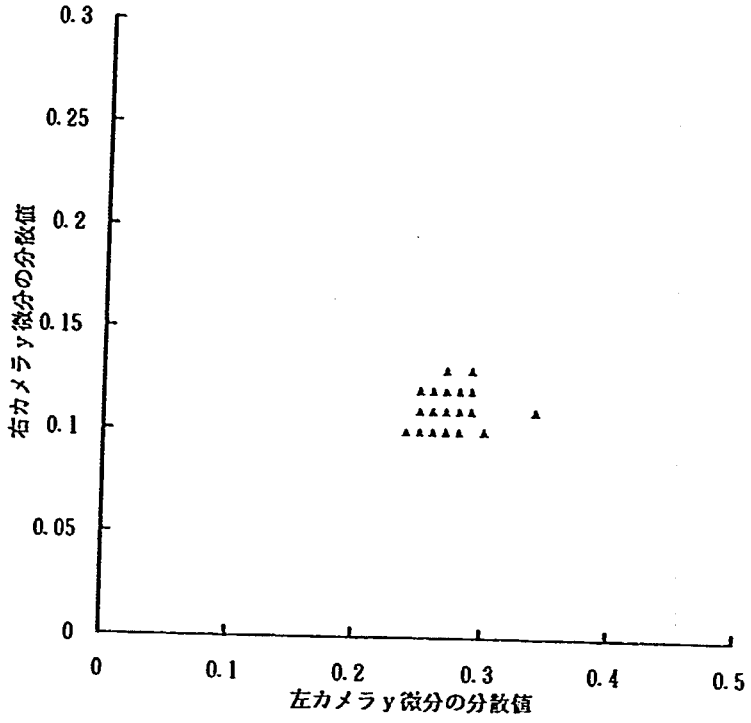
− 5	−10	− 5
0	0	0
5	10	5

図表(4.1.2) 3-17　乾燥状態の分布状態

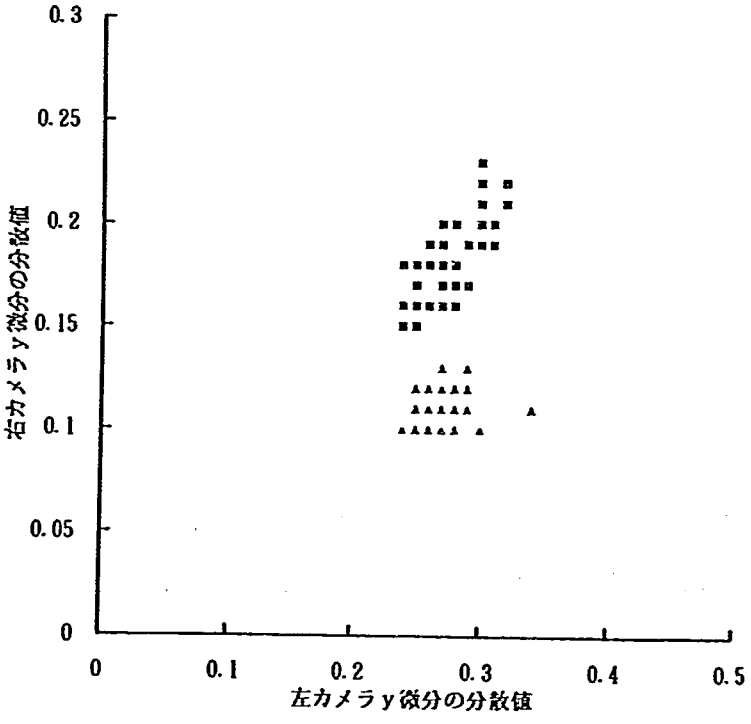


乾燥路面の分布状態を図表(4.1.2) 3-17に示し、冠水路面の分布状態を図表(4.1.2) 3-18、また、合成した分布状態を図表(4.1.2) 3-19に示す。

図表(4.1.2) 3-18　冠水状態の分布状態



図表(4.1.2) 3-19　乾燥・冠水の分布状態



図表(4.1.2) 3-19に示す■は、乾燥路面の分散値、▲は、冠水路面の分散値である。

図表(4.1.2) 3-19の分布図から、乾燥及び湿潤状態の判別は可能である。

②小糸工業本社内で行った実験の解析結果を以下に示す。

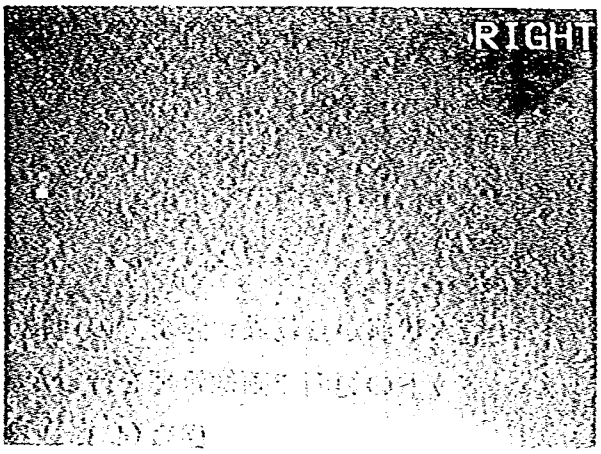
a)カメラの視野領域が完全に影で覆われている時の実験解析結果は以下の通りである。

・冠水路面における左右のカメラの映像を図表(4.1.2) 3-20, 図表(4.1.2) 3-21に示す。

図表(4.1.2) 3-20　左カメラの映像

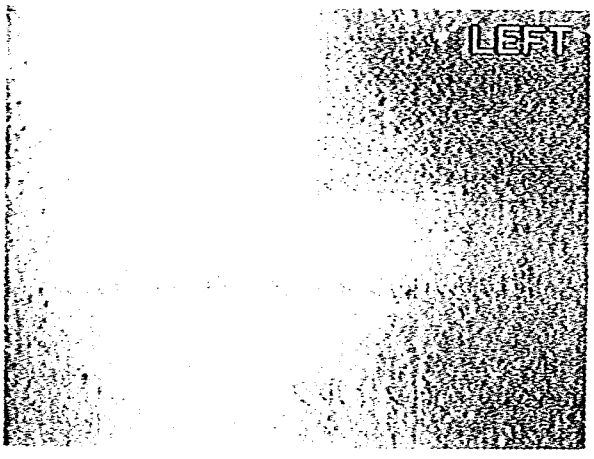


図表(4.1.2) 3-21　右カメラの映像

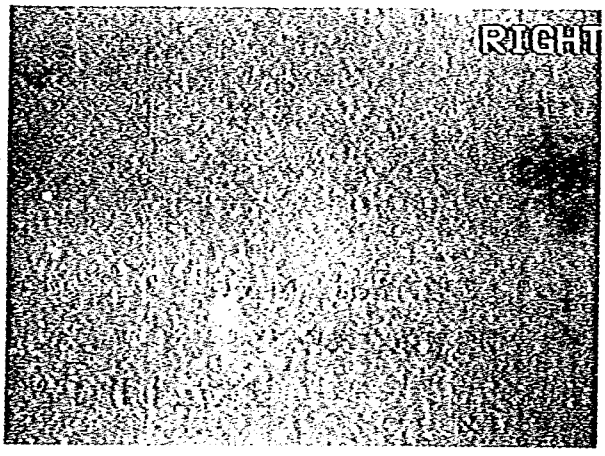


・48分(2880秒)後の左右のカメラの映像を図表(4.1.2) 3-22, 図表(4.1.2) 3-23に示す。

図表(4.1.2) 3-22　左カメラの映像

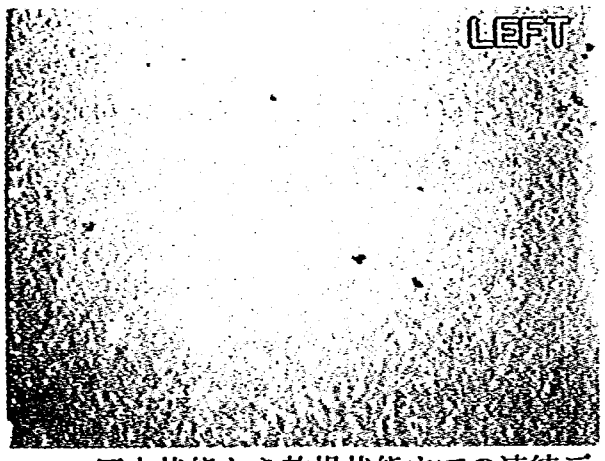


図表(4.1.2) 3-23　右カメラの映像

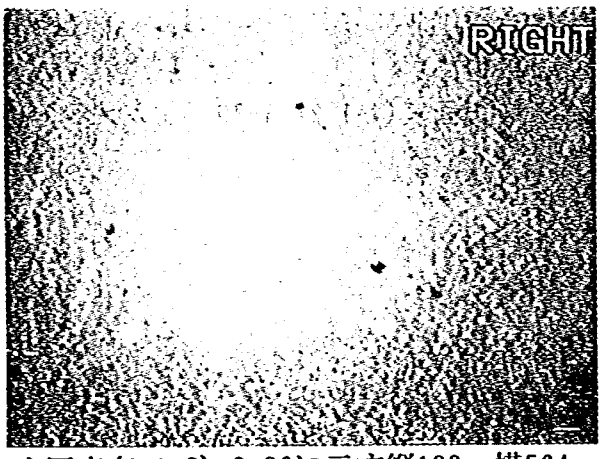


・97分(5820秒)後の左右のカメラの映像を図表(4.1.2) 3-24, 図表(4.1.2) 3-25に示す。

図表(4.1.2) 3-24　左カメラの映像

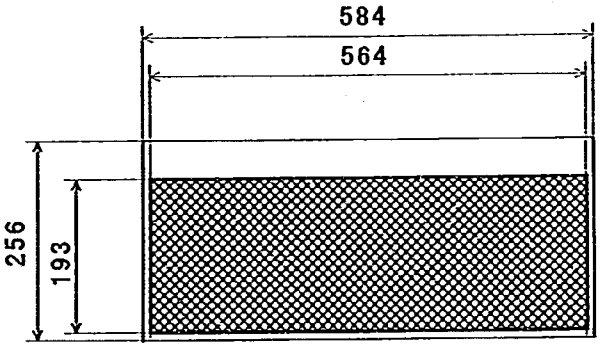


図表(4.1.2) 3-25　右カメラの映像



・冠水状態から乾燥状態までの連続データを図表(4.1.2) 3-26に示す縦193・横564ドットの範囲で画像処理を行った。

図表(4.1.2) 3-26　画像処理範囲



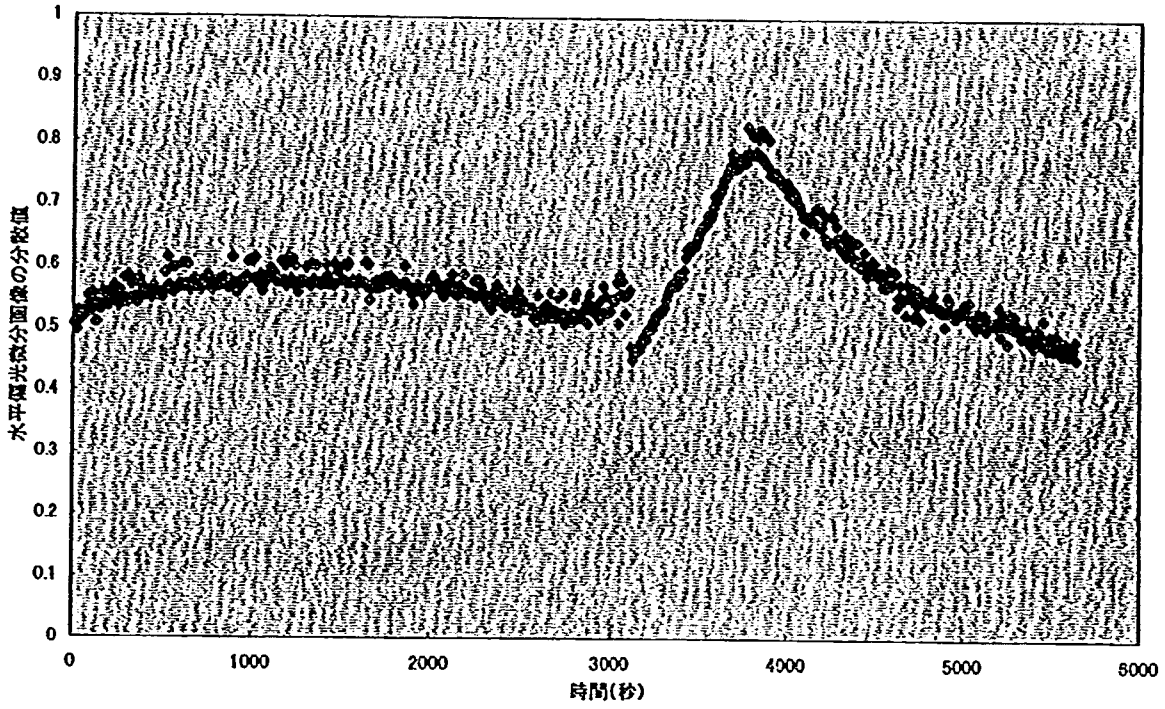
処理方法は、図表(4.1.2) 3-27に示すSobelのy方向フィルタを用いて微分し、その分散値を求めた。

図表(4.1.2) 3-27　Sobelのｙ方向フィルタ

− 5	−10	− 5
0	0	0
5	10	5

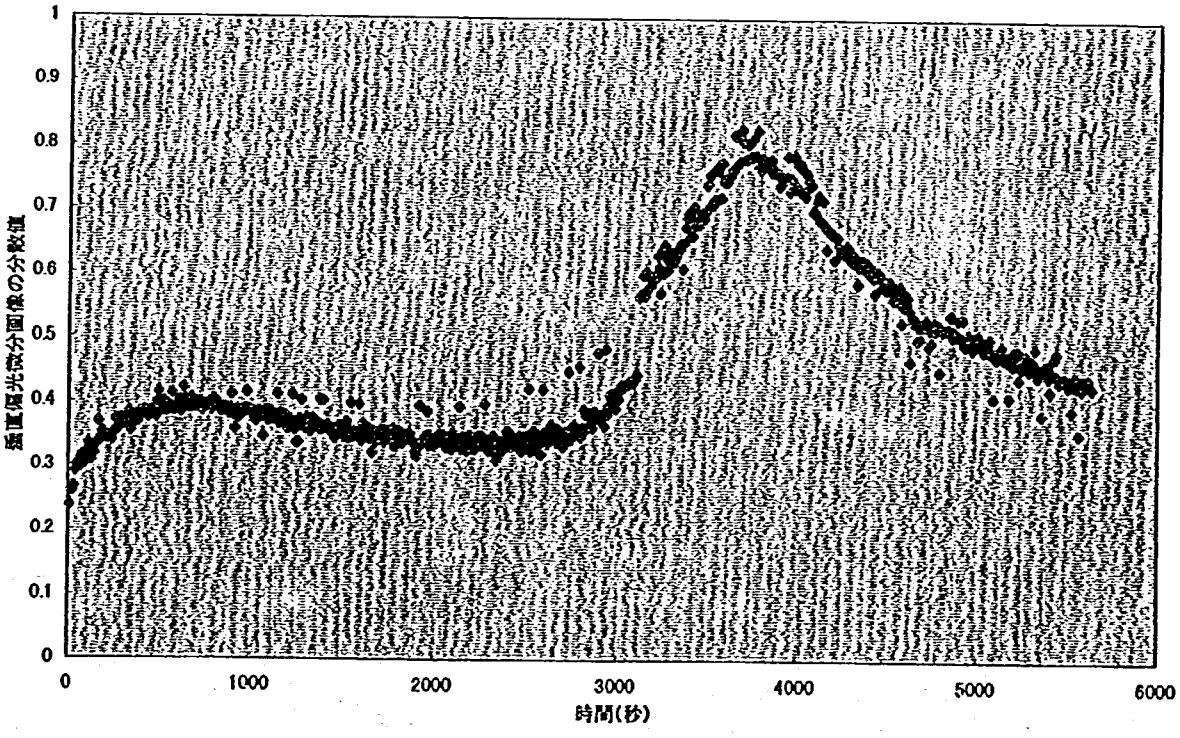
時間における水平偏光微分画像の分散値のグラフを図表(4.1.2) 3-28に示す。

図表(4.1.2) 3-28　水平偏光微分画像の分散値の時間的変化

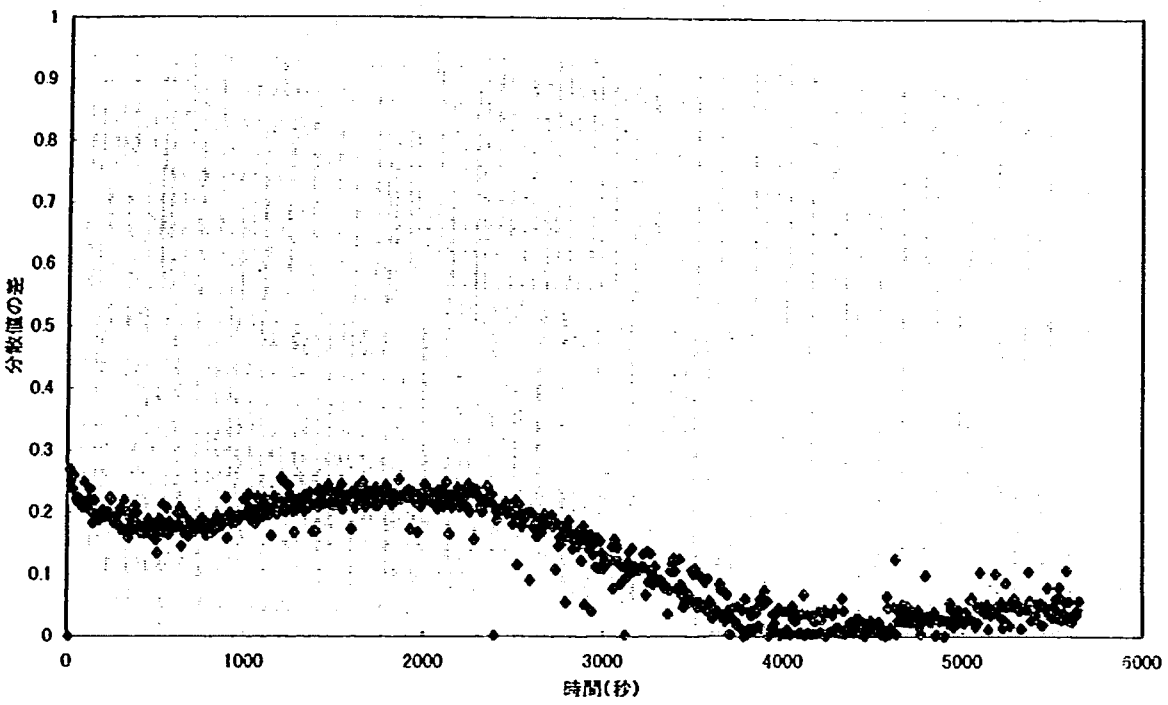


時間における垂直偏光微分画像の分散値のグラフを図表(4.1.2) 3-29に示す。

図表(4.1.2) 3-29　垂直偏光微分画像の分散値の時間的変化



図表(4.1.2) 3-30　分散値の差の時間的変化



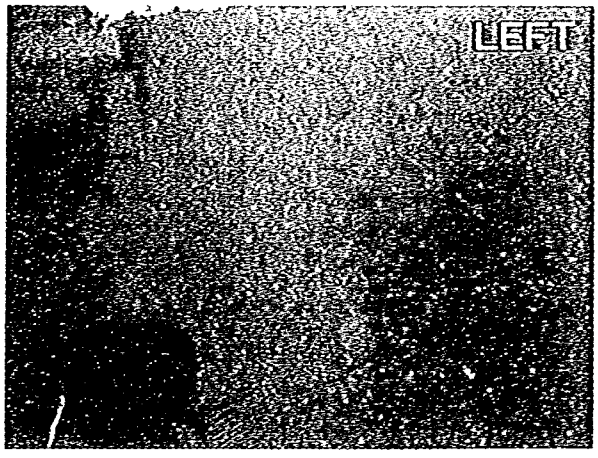
時間における水平偏光画像、垂直偏光画像の微分画像の分散値の差を図表(4.1.2) 3-30に示す。

図表(4.1.2) 3-30に示すグラフから、冠水状態から乾燥状態までの路面水分の時間的変化を予測できる。

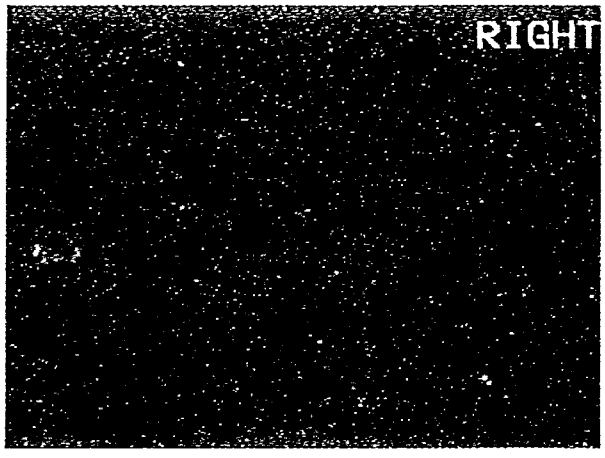
b)カメラ後方に太陽が存在する時の実験解析結果を以下に示す。

・冠水路面における左右のカメラの映像を図表(4.1.2) 3-31, 図表(4.1.2) 3-32に示す。

図表(4.1.2) 3-31　左カメラの映像

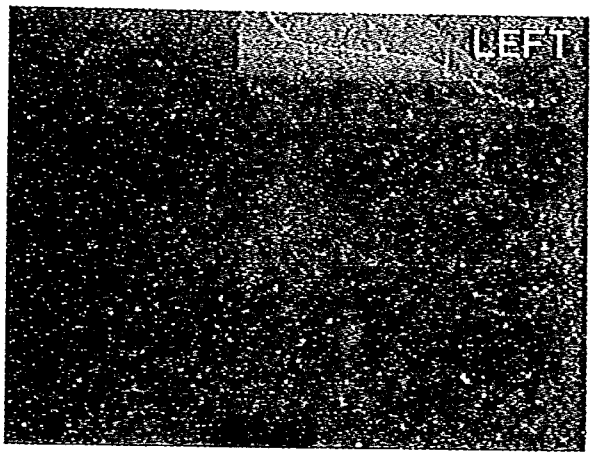


図表(4.1.2) 3-32　右カメラの映像

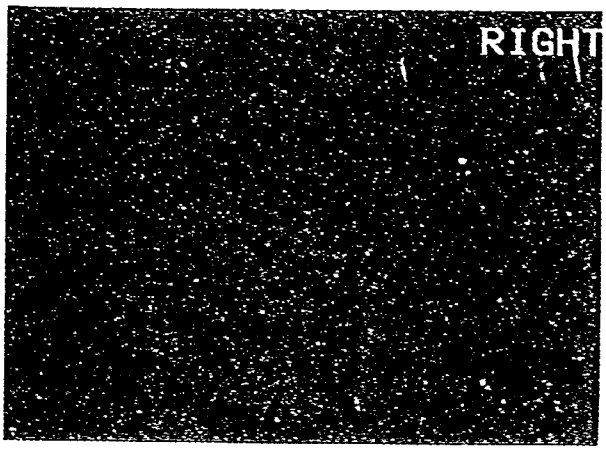


・30分(1800秒)後の左右のカメラの映像を図表(4.1.2) 3-33, 図表(4.1.2) 3-34に示す。

図表(4.1.2) 3-33　左カメラの映像

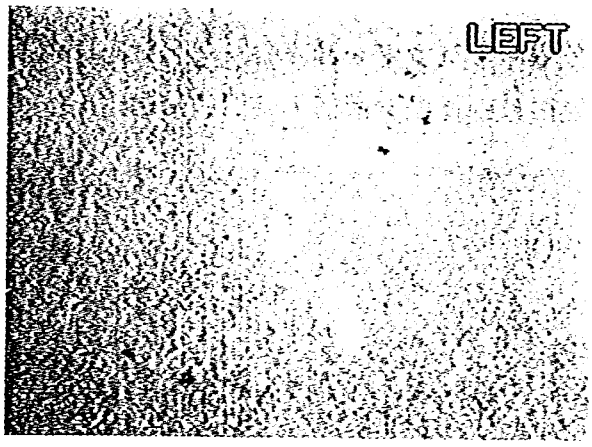


図表(4.1.2) 3-34　右カメラの映像

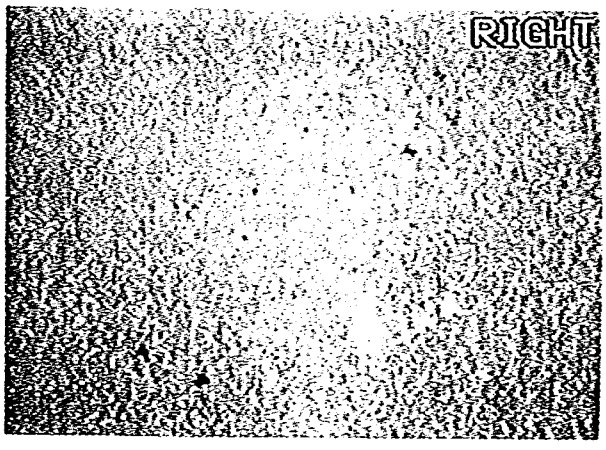


・65分(3900秒)後の左右のカメラの映像を図表(4.1.2) 3-35, 図表(4.1.2) 3-36に示す。

図表(4.1.2) 3-35　左カメラの映像

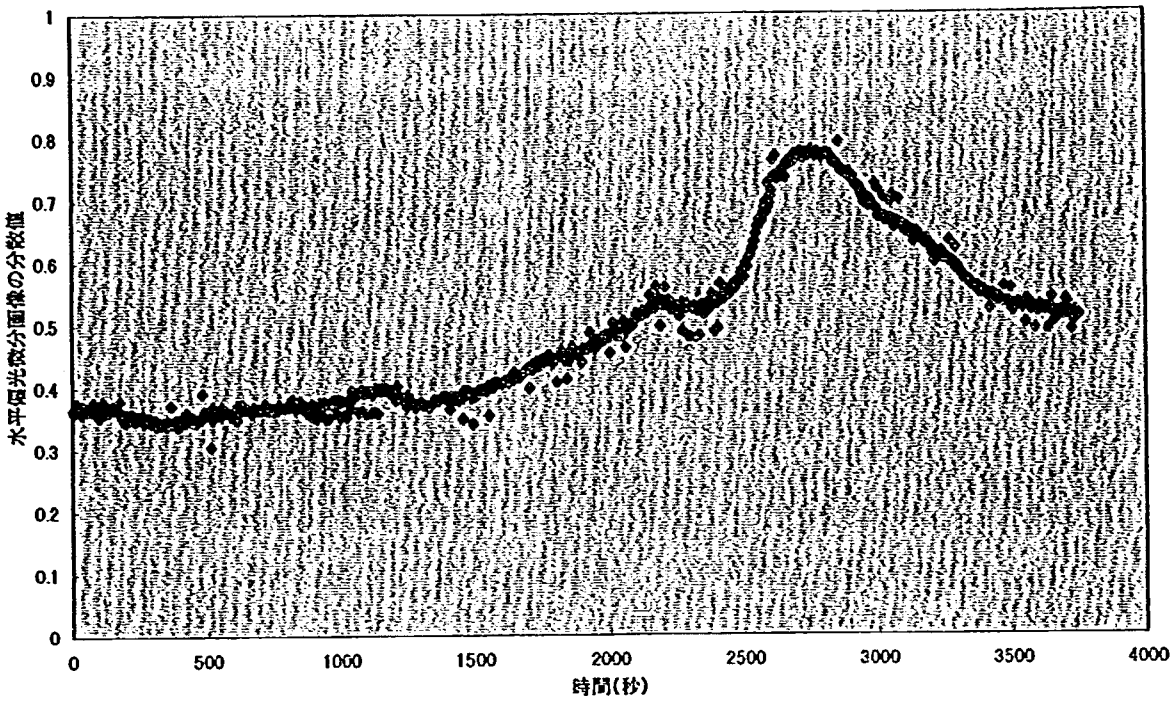


図表(4.1.2) 3-36　右カメラの映像



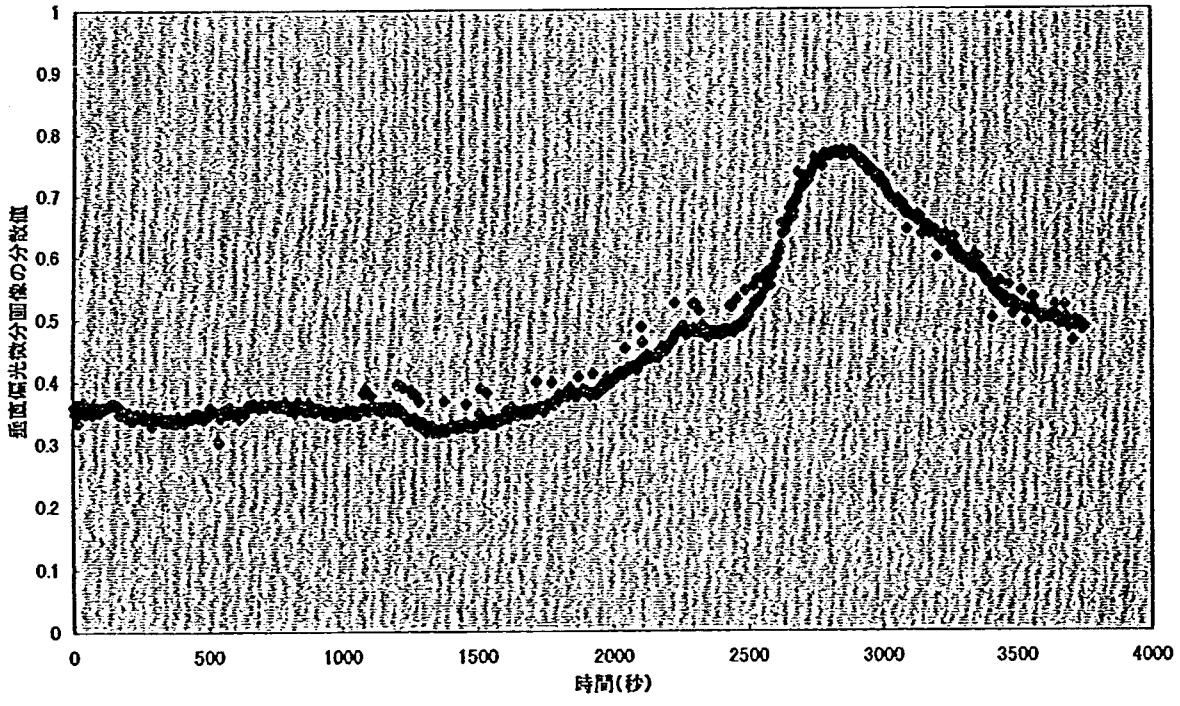
・冠水状態から乾燥状態までの連続データを6-2-1項 の図表(4.1.2) 3-26に示す縦193・横564の範囲で画像処理を行った。処理方法は、図表(4.1.2) 3-27に示すSobelのy方向フィルタを用いて微分し、その分散値を求めた。時間における水平偏光微分画像の分散値のグラフを図表(4.1.2) 3-37に示す。

図表(4.1.2) 3-37　水平偏光微分画像の分散値の時間的変化



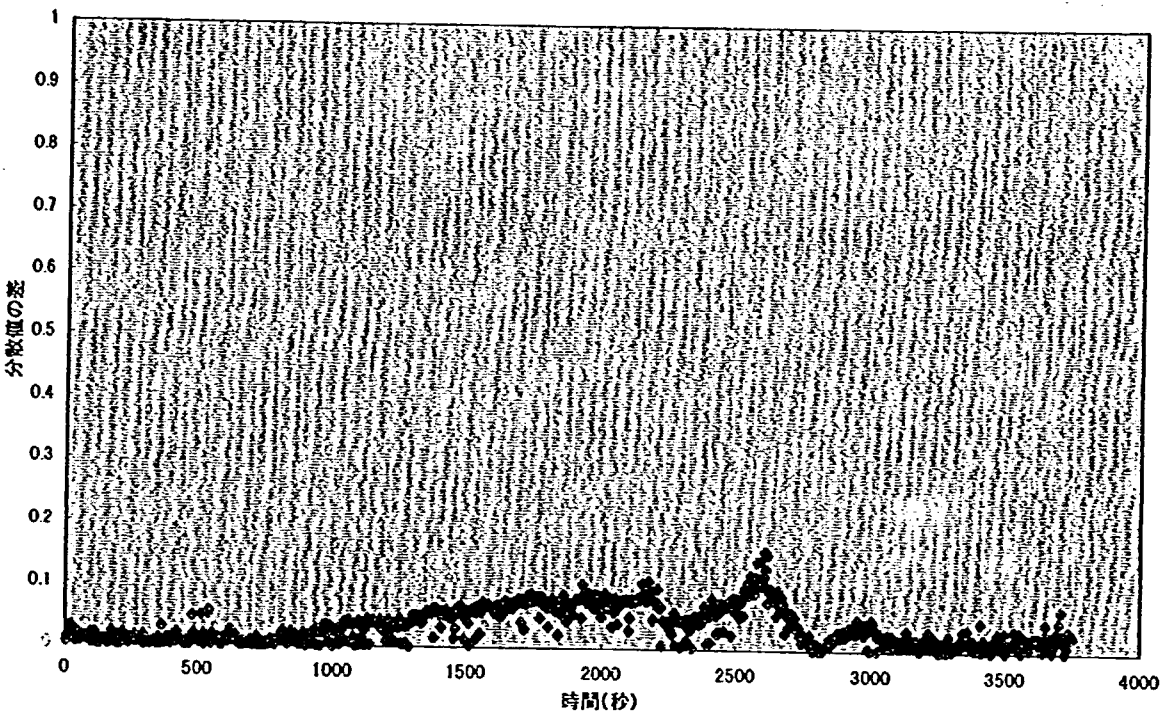
時間における垂直偏光微分画像の分散値のグラフを図表(4.1.2) 3-38に示す。

図表(4.1.2) 3-38　垂直偏光微分画像の分散値の時間的変化



時間における水平・ 垂直偏光微分画像の分散値の差を図表(4.1.2) 3-39に示す。

図表(4.1.2) 3-39　分散値の差の時間的変化



図表(4.1.2) 3-39のグラフから、太陽がカメラ後方と正面に存在する時とでは、グラフの傾向が逆であるが、冠水状態から乾燥状態まで時間的変化が見られる。つまり、判別手段のなかに太陽の方角や時刻の要素を取り入れることで水分の予測が可能である。

（7）検討・考察

①解析結果（6）－①の土木研究所構内の実験結果より、冠水状態と乾燥状態の判別が可能であった。カメラの設置位置は、南向きとしており、カメラに対して正面に太陽が存在する状態である。この状態は、最も好条件であり、水平偏光画像と垂直偏光画像の違いが顕著に現れる。

②解析結果（6）－②の実験解析結果より、図表(4.1.2) 3-30に示されているように分散値の差が時間的に変化している。このことから冠水状態から乾燥状態まで、また、乾燥状態から冠水状態までの水分量の予測が可能であると考えられる。
カメラの視野領域が陰で覆われた場合でも、図表(4.1.2) 3-30に示す結果となったことは、陰で覆われている部分は、太陽光の光が拡散光になっている曇天時と同様の状態となっているからであると考えられる。

③解析結果（6）－②に示すようにカメラ後方に太陽が存在する時の実験結果から、

図表(4.1.2) 3-39のグラフの傾向が、図表(4.1.2) 3-30に示されている傾向と逆の結果となっており、今後、判別手段についてさらに検討する必要がある。

4）路面凍結検知

（1）はじめに

光ファイバ温度分布測定装置（以下ＦＴＲと略す）は、光ファイバそのものがセンサとなり、光ファイバに沿った温度分布を連続的に測定できる特長を有する。そこで、光ファイバケーブルを道路に埋設して、道路の長手方向に沿った路面温度をＦＴＲで測定することにより、道路の凍結を検知するシステムを開発することとした。

本報告では、路面凍結検知用光ファイバセンサの基礎実験、建設省新潟試験場構内及び実道路（国道18号）における凍結検知実験の結果について示す。

（2）路面凍結検知用光ファイバセンサに関する基礎実験

①実験目的

路面凍結検知用に用いる光ファイバセンサの構造を選定し、路面への埋設方法を検討し、センサケーブルの信頼性を確認する。

②光ファイバセンサケーブルの構造選定

光ファイバセンサにより路面の温度計測を行うためには光ファイバセンサを走行車線の表面近くに埋設することが望ましい。しかしながら車両通行に伴う路面の磨耗、振動、その他の環境条件から光ファイバを保護するためにはセンサケーブル構造及び路面埋設に伴う諸条件を満足する必要がある。

光ファイバセンサケーブル構造に伴う条件としては、

・細径、及び軽量であること
・側圧に強いこと
・長期耐久可能な構造であること

等が、挙げられる。

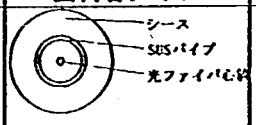
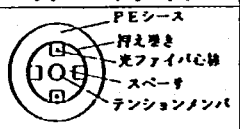
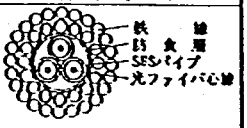
一方、路面埋設の条件としては、

・光ファイバセンサケーブルの埋設しやすい位置・手法であること
・道路交通の振動による耐久性が優れていること

等が、要求される。

今回、上記条件を満足する光ファイバセンサケーブルの構造案を考えた。考案した光ファイバセンサケーブル構造案を図表(4.1.2) 4-1に示す。

図表(4.1.2) 4-1　光ファイバセンサケーブル構造案

NO.	1	2	3	4
ケーブル名	金属管タイプ	スペーサタイプ	HACTOSタイプ	鉄線外装タイプ
構造				
外径	約 5mm	約 9mm	約 10mm	約 7mm
質量	約 22kg/km	約 50kg/km	約 50kg/km	約 180kg/km
許容張力	30kgf(294N)	50kgf(441N)	7kgf(68N)	200kgf(1960N)
許容曲げ半径	300mm	120mm	200mm	140mm
外径	◎	○	△	○
質量	◎	○	○	×
曲げ	△	○	△	○
側圧	◎	△	×	◎

各光ファイバセンサケーブルについて、外径・質量・曲げ・側圧の４つの項目を比較した結果、表中の金属管タイプのケーブル（No.1）が最適と判断し、以下、金属管タイプのケーブルの光ケーブルについて埋設方法の検討及び耐久性を確認していくこととした。

光ファイバセンサケーブル構造仕様を図表(4.1.2) 4-2に、光ファイバケーブル特性を図表(4.1.2) 4-3に示す。

図表(4.1.2) 4-2　光ファイバセンサケーブル構造仕様表

項目		仕様
光ファイバ心線	心線数	1心
	型式	GI－50／125
	コア径	50±3μm
	クラッド径	125±3μm
	被覆	テフロン樹脂
	外径	約 0.7mm
SUSパイプ	材料	SUS304（ステンレス）
	内径	1.4±0.1mm
	外径	1.8±0.1mm
シース	材量	ポリエチレン
	厚さ	約 1.5mm
ケーブル外径		約 5mm
ケーブル質量		約 25kg／km

図表(4.1.2) 4-3　光ファイバセンサケーブル特性

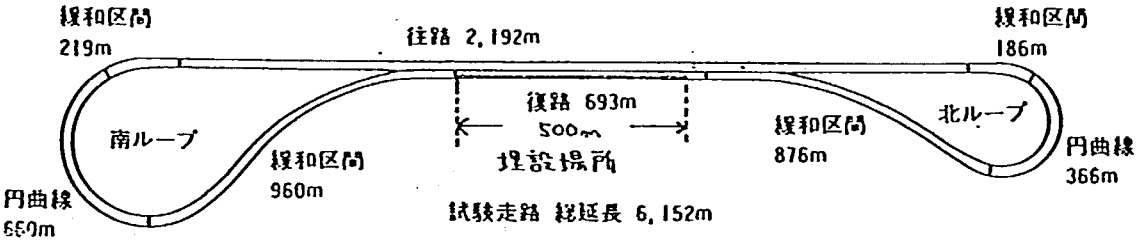
項目		仕様
光ファイバケーブル	伝送損失（λ＝0.85μm）	3dB／km以下
	伝送帯域（λ＝0.85μm）	200MHz・km以上
ケーブル機械特性	許容張力	290N（30kgf）
	最小曲げ半径	300mmR

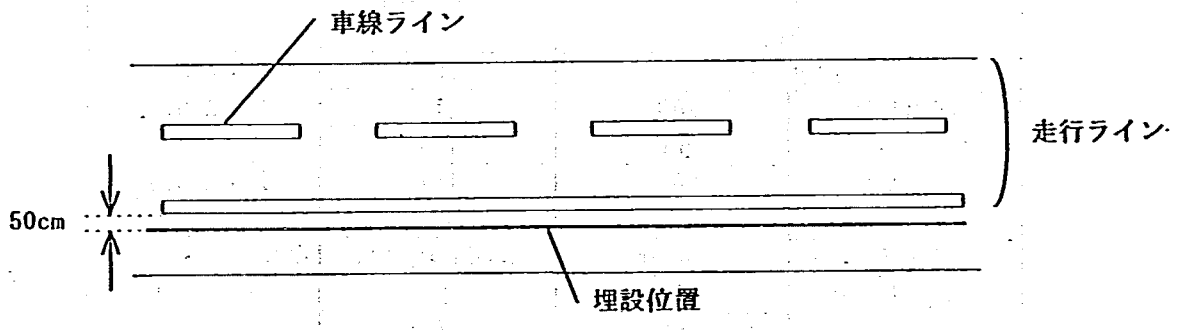
③光ファイバセンサの埋設方法の検討と伝送損失の測定

a)光ファイバセンサの埋設方法の検討

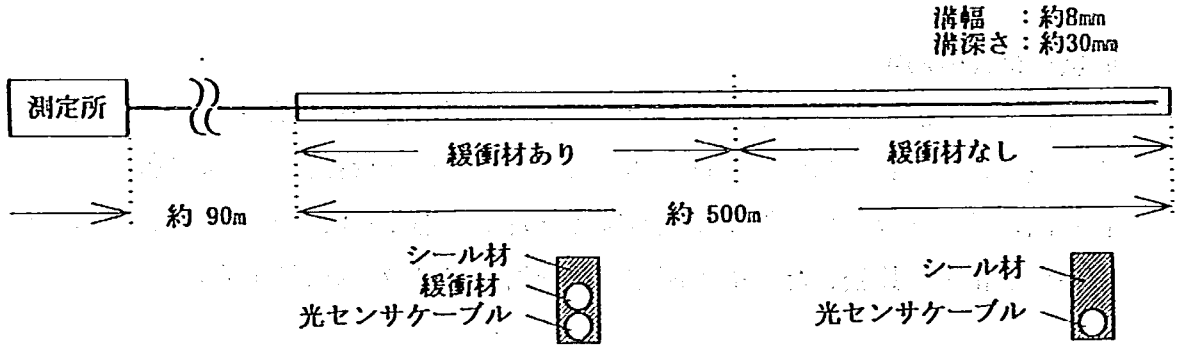
建設省土木研究所敷地内にある、実道と同等の環境の試験走路（テストコース）において、長尺埋設による光ファイバセンサケーブルの長期信頼性の確認を行った。テストコースの埋設場所を図表(4.1.2) 4-4に示す。また、光ファイバセンサケーブルの埋設概略を図表(4.1.2) 4-5に示す。

図表(4.1.2) 4-4　テストコース概略及び埋設位置





図表(4.1.2) 4-5　光ファイバセンサケーブル埋設概略



光ファイバセンサケーブルの道路への埋設手順を以下に示す。

ｱ)路面にロードカッターを用いて幅８㎜×深さ30㎜の溝を切り込む。

ｲ)コンプレッサーを用いて水分を取り除き、溝部分を乾かす。

ｳ)乾いた溝に光ファイバセンサケーブルを挿入する。

ｴ)ケーブルを挿入した溝部分の隙間にシール材を流し込み、固定する。

今回用いたシール材は防水下地処理、伸縮目地の補修などに使われる防水処理用である。シール材の仕様を図表(4.1.2) 4-6に示す。

図表(4.1.2) 4-6　シール材の特徴

品　　名：オートンクイックシーランド

製造会社：オート科学工業株式会社

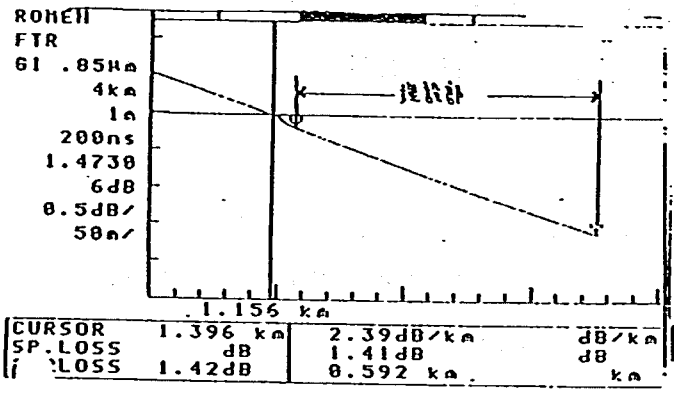
項目		性状･特性	備考
外観		着色ペースト状	
色調		グレー	
加熱減量		10%	JIS A 5758
押出し性	20℃	4秒	JIS A 5758
	5℃	7秒	
スランプ	20℃	1㎜	JIS A 5758
	5℃	0㎜	
耐候性	500hr	表面異状なし	ウエザーメーター
硬度/ShoreA	20℃	40	JIS K 6301
内部硬化	20℃ 60% 6hr	2.0㎜	
	24hr	5.0㎜	
	48hr	7.5㎜	

b)伝送損失の測定

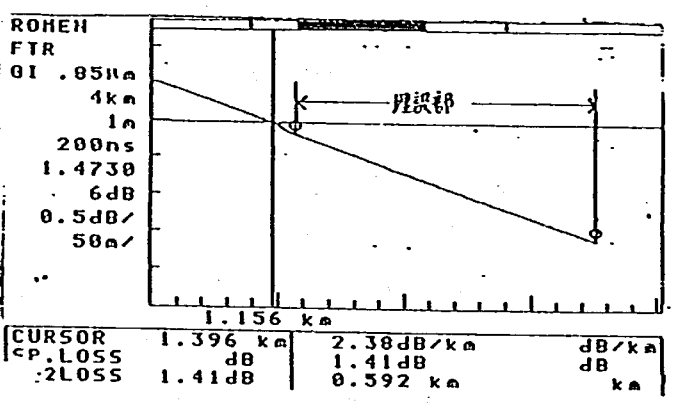
道路埋設による光ファイバセンサケーブルの影響を調べるために、埋設前後の伝送損失をＯＴＤＲ*(Optical Time Domain Refrectometry)測定により行った。ＯＴＤＲ測定は、埋設した直後及び埋設後１ヶ月半経過した時点で測定し、両者の伝送損失の変化量を比較した。その測定結果を図表(4.1.2) 4-7に示す。

ＯＴＤＲ*：光ファイバケーブルに光パルスを入射し、接続点やファイバ遠端などで反射して戻ってくる反射光パルス信号（フレネル反射と呼ぶ）を受信し、光パルスの往復の伝搬時間から、ファイバ長・伝送損失・接続損失などを計測する方法。

図表(4.1.2) 4-7　光ファイバセンサケーブルのＯＴＤＲ測定結果



埋設時の測定結果



１ヶ月半後の測定結果

本結果から、伝送損失の変動はほぼ見られず、埋設による光ファイバセンサケーブルの伝送特性に関して、１ヶ月半経過時点で、特に影響は生じていない。

④繰り返し荷重試験によるケーブルの耐久性確認

土木研究所の所有する繰り返し荷重装置を用いて、光ファイバセンサケーブルが埋設している箇所に繰り返し荷重をかけて、埋設された光ファイバセンサケーブルの耐久性を確認した。なお、実験は平成７年２月16日～21日で実施した。

a)繰り返し荷重試験の条件

繰り返し荷重試験の条件は、土木研の基準に基づき、次のとおり決定した。

・交通量区分　：Ｂ交通（Ｂ交通とは、大型車交通量の範囲が250以上1,000未満（台／日・方向）の交通量区分である。）

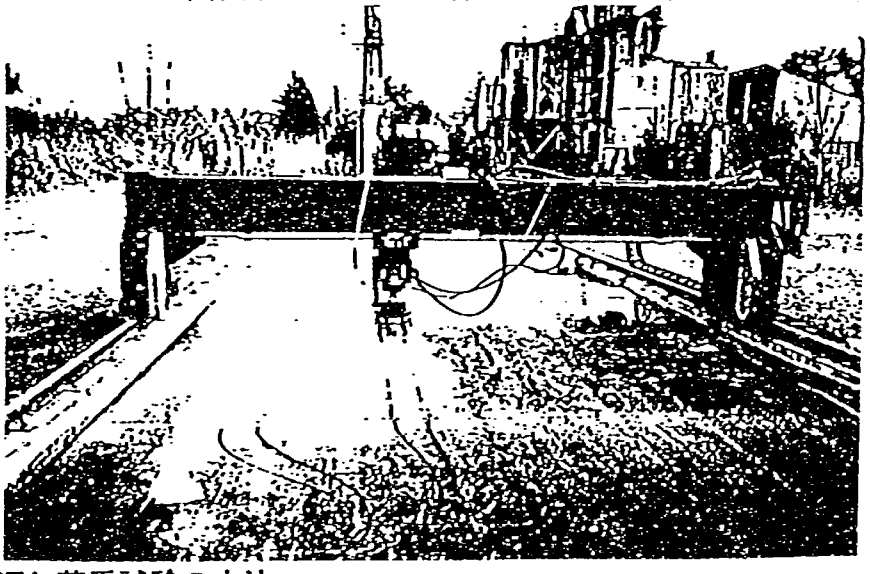
・設計期間　　：10年

・荷重の重さ　：５トン

・荷重の回数　：100万回（5Hz）

繰り返し荷重装置の写真を図表(4.1.2) 4-8に示す。

図表(4.1.2) 4-8　繰り返し荷重装置



b)繰り返し荷重試験の方法

繰り返し荷重試験方法を図表(4.1.2) 4-9、図表(4.1.2) 4-10に示す。

試験は、図のように光ファイバセンサケーブルを道路面下３cm及び５cmに、長さ約５m埋設し、前記した条件にて荷重試験を行った。この際、図表(4.1.2) 4-1に示したスペーサタイプケーブル（No.2）も同じく埋設し、比較した。

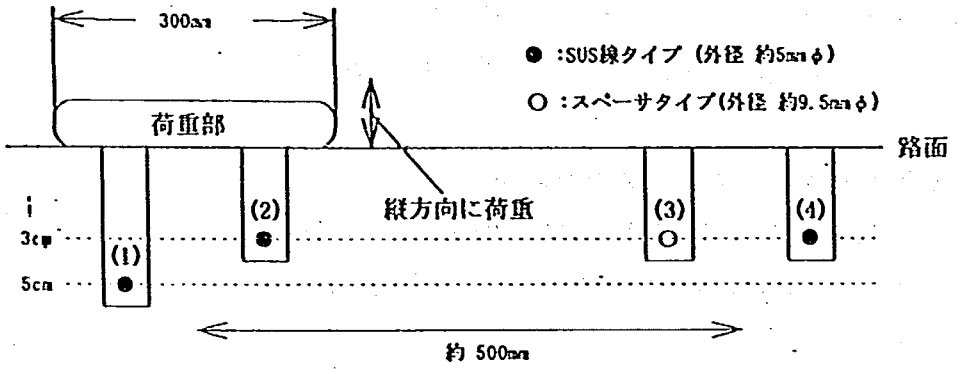
確認事項は、以下の通りである。

ｱ)光ファイバセンサの断線チェック

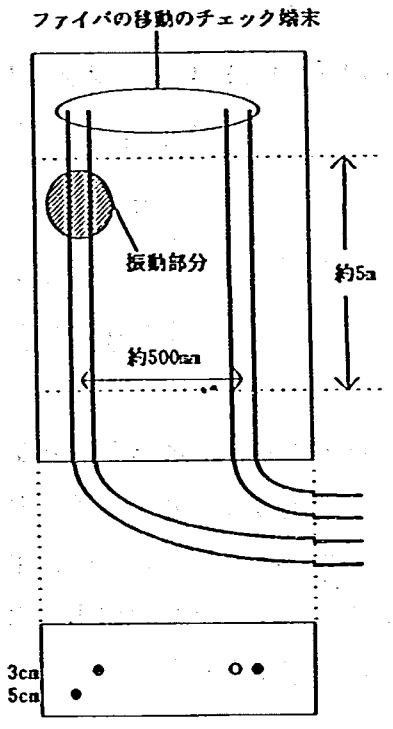
ｲ)光ファイバセンサケーブルの移動量

ｳ)耐側圧、耐振動に対する光ファイバセンサケーブルの形状変化

図表(4.1.2) 4-9　繰り返し荷重試験埋設断面図



図表(4.1.2) 4-10　繰り返し荷重試験埋設図



c)試験結果

ア)光ファイバセンサの断線チェック

He-Neレーザを用いて各ファイバ心線の断線チェックを行った。その結果、いずれの光ファイバセンサも断線はなく問題はなかった。

イ)光ファイバセンサケーブルの移動

振動試験後におけるケーブル内のファイバの移動量を計測した。結果を図表(4.1.2) 4-11に示す。この中で、＋方向は、ケーブルからファイバが飛び出した状態をいう。

この結果、振動直下部分の金属管ケーブルのファイバについては約20㎜の移動がみられたが、振動部分から約500㎜離れた部分ではほとんどファイバの移動はなかった。

したがって、実道路に光センサケーブルを埋設する場合には車両走行部から500㎜離れた場所であれば、振動の影響はほとんど無いと考えられる。

図表(4.1.2) 4-11　ファイバの移動結果

ケーブルNO		ケーブルタイプ	ファイバの移動(㎜)
(1)		金属管タイプ	±7.5
(2)		金属管タイプ	±23
(3)	青(ファイバ色)	スペーサタイプ	-3
	黄(ファイバ色)		-2
(4)		金属管タイプ	±2

ウ)耐側圧、耐振動に対する光ファイバセンサケーブルの形状変化

繰り返し荷重試験後、埋設した光ファイバセンサケーブルを掘り出し、振動直下部分のケーブルの形状を確認をした。その結果を図表(4.1.2) 4-12に示す。

この結果より、試験後のケーブルの偏平などによる変化は見られず、ファイバへのダメージもないことが確認された。

図表(4.1.2) 4-12　振動直下部分の光センサケーブルのダメージ

ケーブルNo.	(1)	(2)
埋設深さ	5cm	3cm
シース外観	異常なし	異常なし
ケーブルの偏平	なし(4.8㎜×4.8㎜)*	なし(4.8㎜×4.8㎜)*
金属管の偏平	なし(1.8㎜×1.8㎜)*	なし(1.8㎜×1.8㎜)*
光ファイバの外観	異常なし	異常なし

*：短径×長径

⑤実験結果のまとめ

ＦＴＲ用光ファイバセンサケーブルの構造及び路面埋設方法の評価を行った結果、以下のことが分かった。

a)路面埋設に適する光ファイバセンサケーブルの構造選定を行い、金属管被覆の光ファイバセンサを選択した。

b)光ファイバセンサケーブルの道路への埋設方法を検討した。次に、実際に、建設省土木研究所テストコース上に埋設し、埋設直後と１ヶ月半経過時点において、伝送損失の変化が無いことを確認した。

c)埋設した光ファイバセンサケーブルに対し、繰り返し荷重試験を実施した結果、光ファイバへのダメージは特に見られなかった。

なお、今後の課題としては、光ファイバセンサの長期信頼性の確認が挙げられる。すなわち、光ファイバセンサは、平成６年度布設分（建設省土木研究所内テストコース）と平成７年度布設分（国道18号）があり、現在長期信頼性を継続測定中である。第３章に示す、国道18号での計測では、除雪作業等によるファイバの断線や伝送損失の増加は見られなかったが、路面はかなり痛んでいるのが中間の点検で確認されている。また、夏場は路面内部温度が、かなり高温となることが予想されるため、今後、継続調査を実施していく予定である。

（３）建設省新潟試験場構内における凍結検知実験

①目的

本実験は、センサ部として光ファイバケーブルを道路に埋設して、道路の長手方向に沿った道路内部温度をＦＴＲで測定することにより、道路の凍結を検出するシステムを開発するための研究のうち、路面状況と道路内部温度の相関関係を解析することを目的とする。

②実験方法

光ファイバセンサを路面下１cm、３cm，５cmに埋設し、道路(アスファルト)内部温度の計測を行った。参考データとして、路面状況、道路表面（以下、単に路面と表す）温度データの取得も実施した。

a)実施場所：建設省土木研究所　新潟試験場　構内駐車場(アスファルト)

b)測定期間：平成７年１月27日～２月９日（14日間）

c)測定項目(センサ)：道路(アスファルト)内部温度(ＦＴＲ)
路面状況(非接触式路面凍結検知装置)
路面温度(熱電対)

d)測定インターバル：ＦＴＲデータは30分毎、路面温度及び路面状況は１時間毎

e)光ファイバセンサ布設条件等

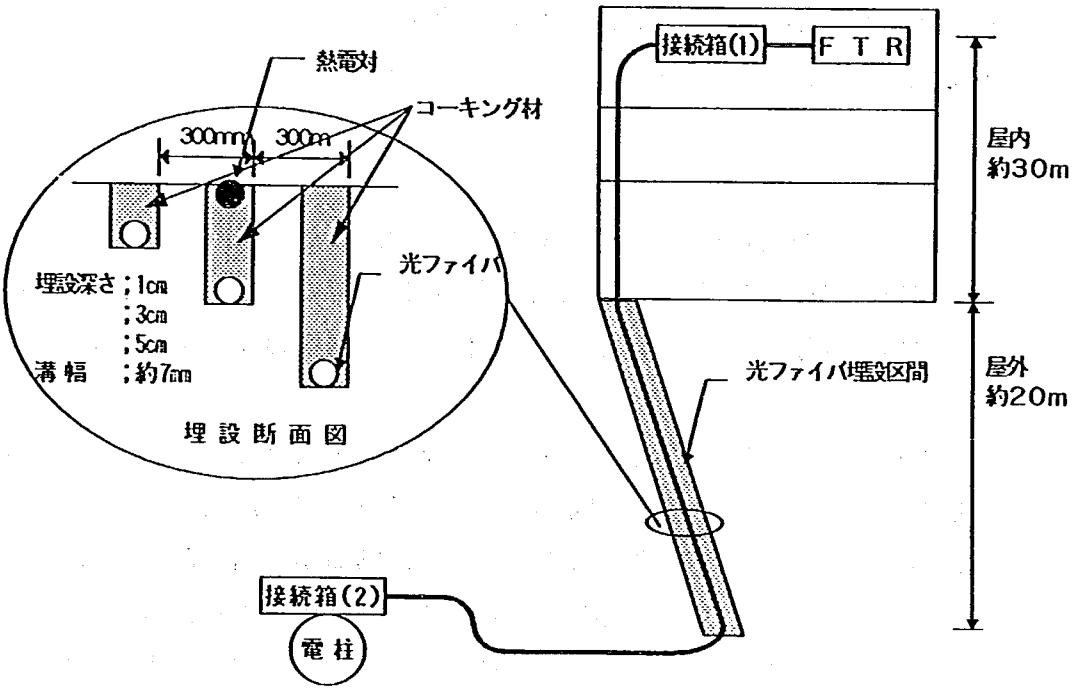
・布設方法：ｱ)アスファルトにロードカッターで路面に約７mm幅の溝を
１、３、５cmの３種類の深さで溝を形成する。
ｲ)溝内部を清掃、乾燥させ、光ファイバセンサを埋める。
ｳ)最後に、ポリウレタン系のコーキング剤で固定する。

・光ファイバセンサ種類：金属管収納タイプ

実験概要を図表(4.1.2) 4-13に示す。

また、実験に使用したＦＴＲ装置の仕様を図表(4.1.2) 4-14に示す。

図表(4.1.2) 4-13　実験概要(建設省土木研究所新潟試験場構内)



図表(4.1.2) 4-14　光ファイバ温度分布測定装置（ＦＴＲ）の仕様

装置型式	FTR030
測定距離	MAX　2.0km
距離分解能	1m
温度精度	±1℃
温度分解能	0.1℃
測定温度範囲	−20〜150℃

③実験結果

測定した結果を図表(4.1.2) 4-15～図表(4.1.2) 4-19に示す。これらの内で、路面が凍結状態である場合について、時間軸を拡大して表示したものを付録図１～付録図７に示す。また、これらの結果から求めた、凍結が発生した時点における各部の温度、及び凍結が長時間持続した場合の各部の温度変化を図表(4.1.2) 4-20、図表(4.1.2) 4-21にそれぞれ示す。これらのデータより、以下のことがらが分かった。

a)道路内部に埋設した光ファイバセンサで計測した道路内部温度は、積雪がある場合 (1/27午後～2/1午前)には、ほぼ0℃付近で安定しているが、積雪のない場合(2/4早朝～2/9)には、外気温度の変化とほぼ同様の変化を示している。

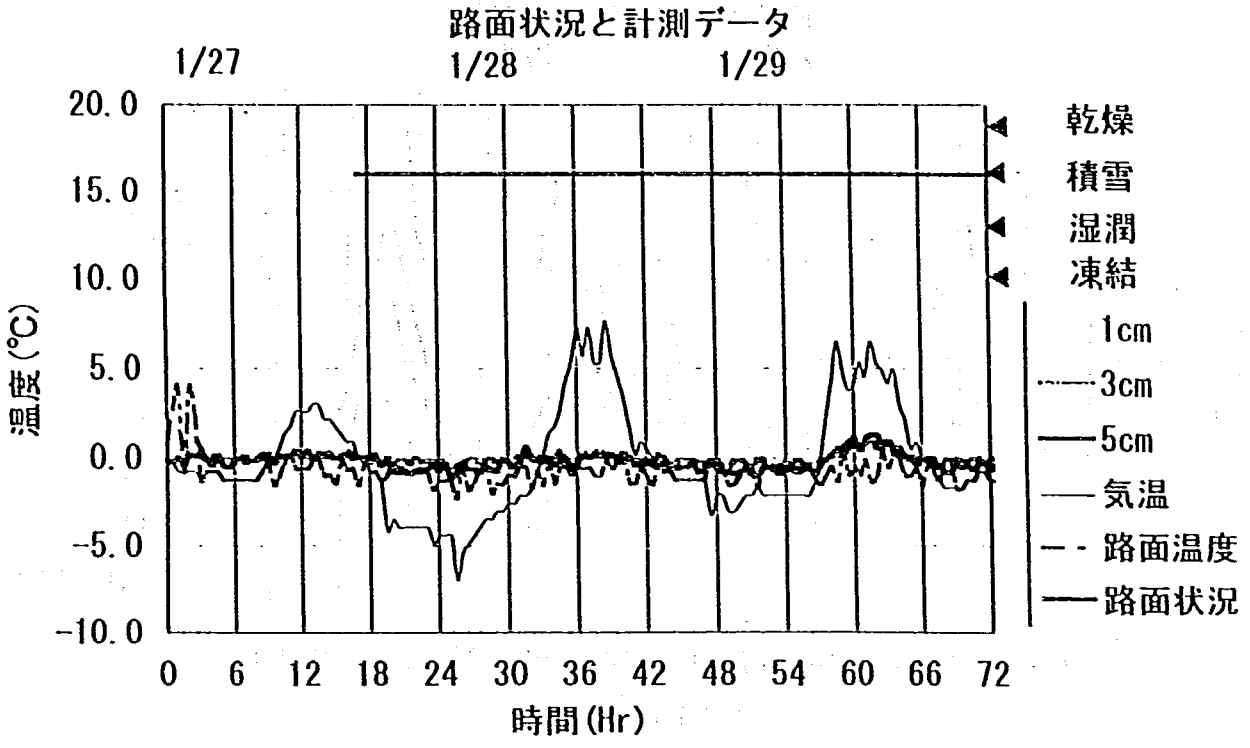
b)図表(4.1.2) 4-16, 図表(4.1.2) 4-17及び図表(4.1.2) 4-20より、2/1午前～午後(試験開始からの時間で示すと130, 135, 138時間)、2/2午後～2/3午前(154, 164, 168時間)では、断続的に降る雪により、路面が凍結した。このとき、凍結の持続時間がいずれも３時間以内と短く、路面温度は－１℃程度までしか低下していない。一方、この場合の道路内部温度は最低で０℃程度と氷点下には至っていない。

c)また、図表(4.1.2) 4-17から図表(4.1.2) 4-19及び図表(4.1.2) 4-21より、2/4早朝～午前(186～204時間)、2/6早朝(228～246時間)、2/7夜間～2/8午前(282～300時間)に見られるように、凍結が６時間以上と長時間持続している場合には路面温度は－２℃以下まで低下している。こ間、道路内部温度も０～－４℃程度と氷点以下となっている。

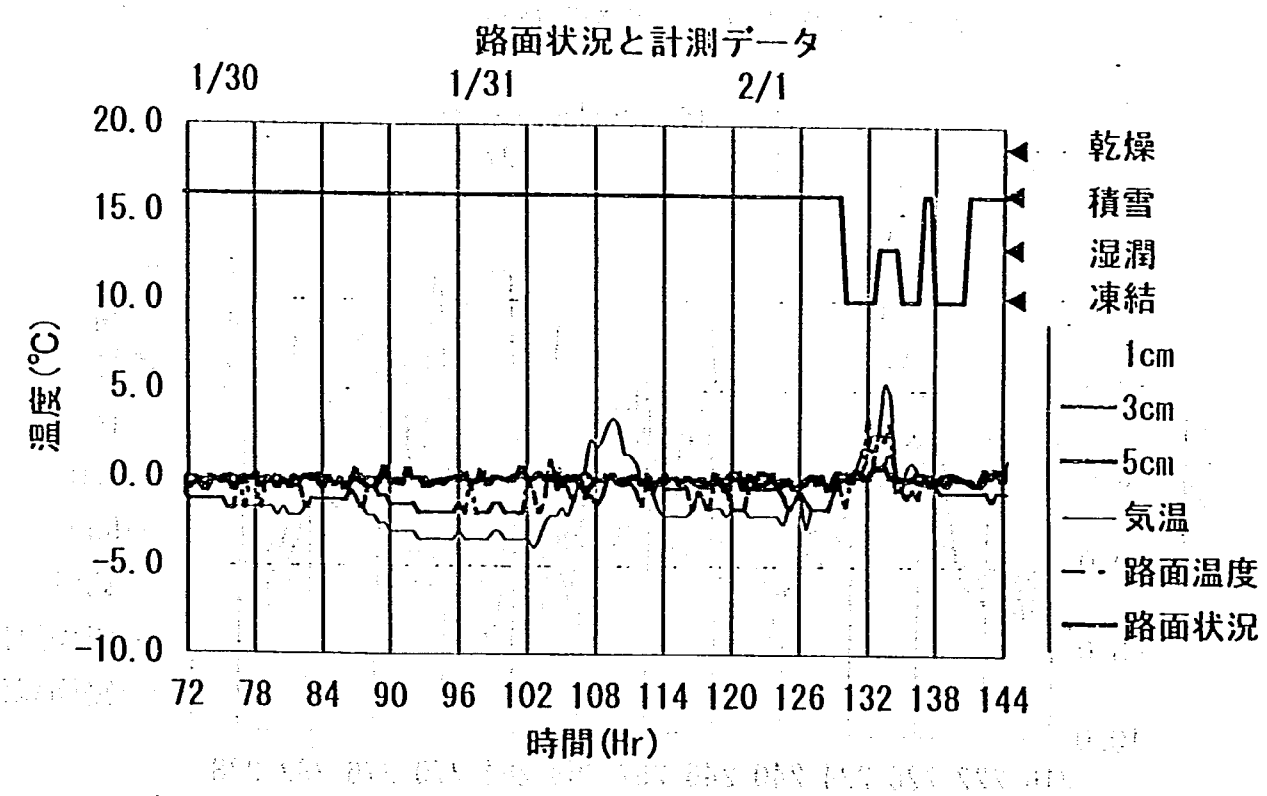
d)上記a), b)から 、道路内部温度を測定することにより、凍結状態の多くが検知できる。ただし、短時間内に凍結が解除されたり、あるいは凍結が開始する時点においては、道路内部温度が明確には氷点以下とならない可能性があり、検知は困難であると思われる。

凍結検知をより正確に行うためには、路面温度を正確に求めることが必要である。

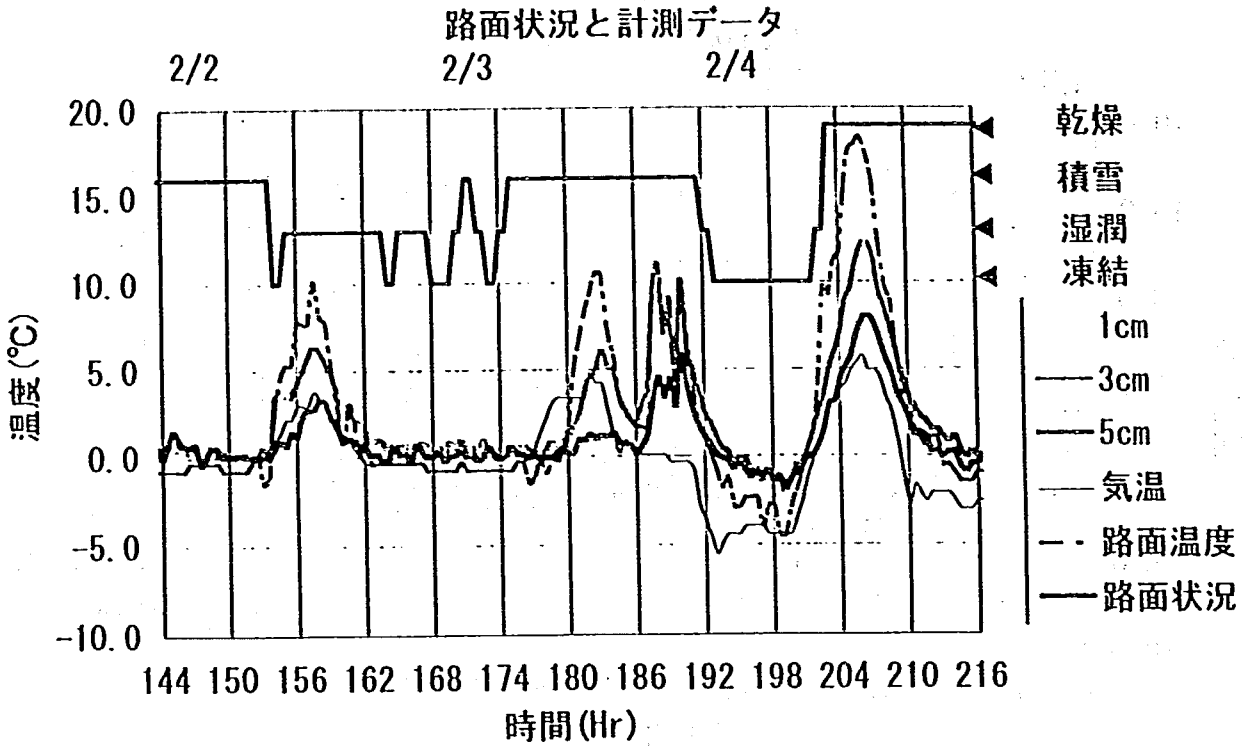
図表(4.1.2) 4-15　測定結果 (1/27、1/28、1/29)



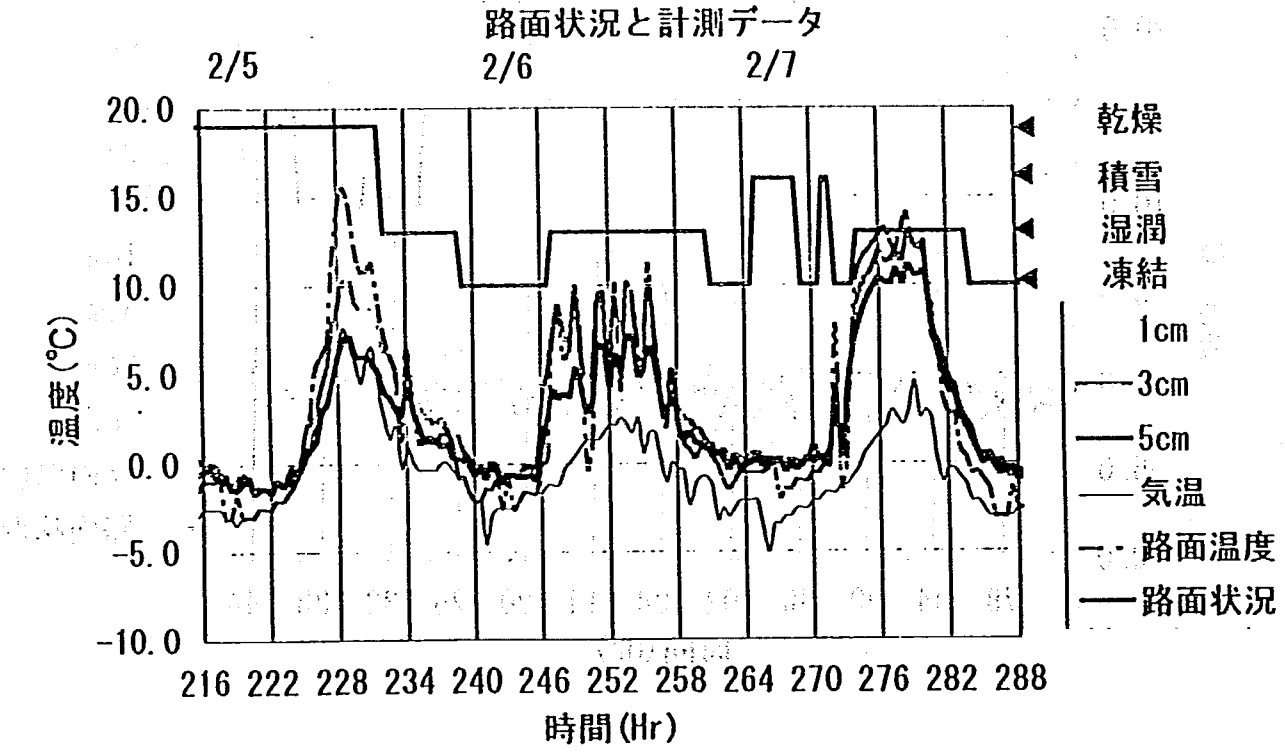
図表(4.1.2) 4-16　測定結果 (1/30、1/31、2/1)



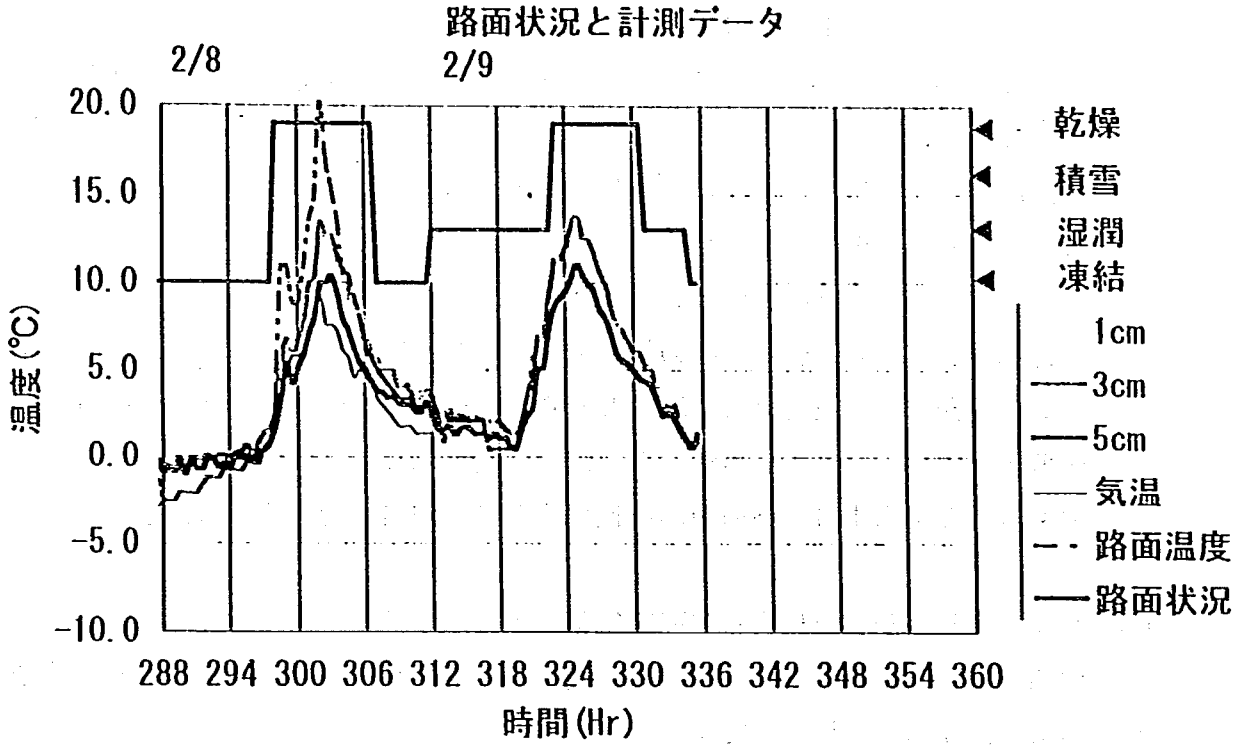
図表(4.1.2) 4-17 測定結果 (2/2、2/3、2/4)



図表(4.1.2) 4-18 測定結果 (2/5、2/6、2/7)



図表(4. 1. 2) 4-19　測定結果 (2/8、2/9)



図表(4. 1. 2) 4-20　凍結発生時における各部の温度

計測時間	130hr	135hr	138hr	168hr	193hr	238hr	261hr	281hr	307hr
外気温度	-1.5℃	-0.6℃	-0.3℃	-0.8℃	-5.5℃	-0.8℃	-1.2℃	-2.1℃	3.4℃
路面温度	0.0℃	-0.6℃	-0.3℃	-0.8℃	-0.8℃	-0.8℃	0.3℃	-0.5℃	5.0℃
埋設 1cm	0.2℃	0.6℃	0.3℃	1.6℃	1.0℃	0.8℃	1.3℃	1.4℃	4.5℃
埋設 3cm	0.4℃	0.2℃	0.0℃	0.0℃	1.1℃	0.7℃	1.0℃	1.9℃	5.6℃
埋設 5cm	0.0℃	0.0℃	-0.3℃	0.0℃	0.1℃	0.2℃	0.7℃	1.3℃	3.8℃

図表(4. 1. 2) 4-21　路面凍結が長時間持続した場合の温度変化

凍結時間	時間	外気温度	路面温度	埋設 1cm	埋設 3cm	埋設 5cm	備考
193～202hr	190hr	-0.3℃	9.1℃	9.6℃	10.1℃	5.8℃	凍結前
	193hr	-5.5℃	-0.8℃	1.0℃	1.1℃	0.1℃	凍結時
	194hr	-4.4℃	-4.4℃	-1.4℃	-2.0℃	-1.7℃	凍結後
239～247hr	236hr	-0.3℃	1.2℃	2.4℃	2.5℃	1.5℃	凍結前
	238hr	-0.8℃	-0.8℃	0.8℃	0.8℃	0.7℃	凍結時
	242hr	-2.6℃	-2.6℃	-0.7℃	-0.6℃	-1.1℃	凍結後
281～288hr	281hr	6.5℃	0.2℃	6.2℃	7.2℃	6.4℃	凍結前
	284hr	-2.1℃	-0.5℃	1.4℃	1.9℃	1.3℃	凍結時
	290hr	-2.1℃	-2.1℃	-0.8℃	-0.6℃	-1.0℃	凍結後

e)光ファイバセンサの埋設位置と測定した温度との関係は、積雪がある場合には、ほぼ一定であり差は見られないが、積雪が無い状態では、概ね

埋設１cm＞埋設３cm＞埋設５cm

となっている。この結果から、埋設１mの温度は、路面表面温度との温度差が埋設３cm、５cmと比べて最も小さいことから、この部分（埋設１cm）を監視して路面凍結を検出することが望ましいと考えられる。しかし、埋設の施工性としては、本実験の施工工事結果より、施工性の良さは

埋設３cm＞埋設５cm＞埋設１cm

と評価されており、特に１cmの施工では溝幅７mmに管理して施工することが難しいことが確認されている。埋設３cm及び５cmの温度変化は１cmに比べると若干低下するが、ほぼ１cmのデータと同じ挙動を示しており、埋設３cm及び５cmの温度計測でも十分に路面凍結を検出することが可能であると考えられる。

④簡易シミュレーションによる路面凍結予測の可能性検討

今回測定した道路内部温度を用いて、簡易なシミュレーションを行い、路面凍結を事前に予測する手法について検討した。

a)予測手法

予測手法として、道路内部に埋設した光ファイバセンサ温度データ（埋設深さ３cm）の時間的な推移から、道路内部温度を推定するシミュレーションを用いた。

なお、路面凍結の対策として散布する凍結防止剤の散布タイミングの準備には、最低でも２～３時間が必要であると考えられるので、予測時間として今回は、２時間と決定した。

シミュレーションは下記の３手法で行った。

推定Ａ；現在温度T(n)と30分前の温度T(n-1)を比較し、温度差ΔTから２時間先の予測温度を計算する推定手法。

推定温度A＝Tn+(ΔT×4)

ΔT=T(n)-T(n-1)

推定Ｂ；過去１時間の30分毎の温度差の平均値ΔT(ave)から２時間先の予測温度を計算する推定手法。

推定温度B＝Tn+ΔT(ave)×4

ΔT(ave)=[{T(n-1)-T(n)}+{T(n-2)-T(n-1)}+{T(n-3)-T(n-2)}+{T(n-4)-T(n-3)}]/4

推定Ｃ；過去1.5時間の30分毎の温度差の平均値ΔT(ave)から２時間先の予測温度を計算する推定手法。

推定温度B＝Tn+ΔT(ave)×4

$$\Delta T(ave)=[\{T(n-1)-T(n)\}+\{T(n-2)-\cdots\cdots\cdots\cdots)-T(n-3)\}+\{T(n-5)-T(n-4)\}]/5$$

b)シミュレーション結果

シミュレーション結果を図表(4.1.2) 4-22～図表(4.1.2) 4-25に示す。時間軸を拡大したものを付録図８～付録図12に示す。また、埋設深さ５cmでのシミュレーション結果を図表(4.1.2) 4-26～図表(4.1.2) 4-29に、時間軸を拡大したものを付録図13～付録図16に示す。これらの結果から求めた、予測温度が氷点下になる時間を図表(4.1.2) 4-30に示す。

これらの結果から、以下のことがらが分かった。

ｱ)積雪により道路内部温度が０℃付近で安定し、気温変動も小さい状態

(図表(4.1.2) 4-22の141～153時間)では、予測温度も０℃付近となっており、路面凍結を正確に判断することは難しいと考えられる。

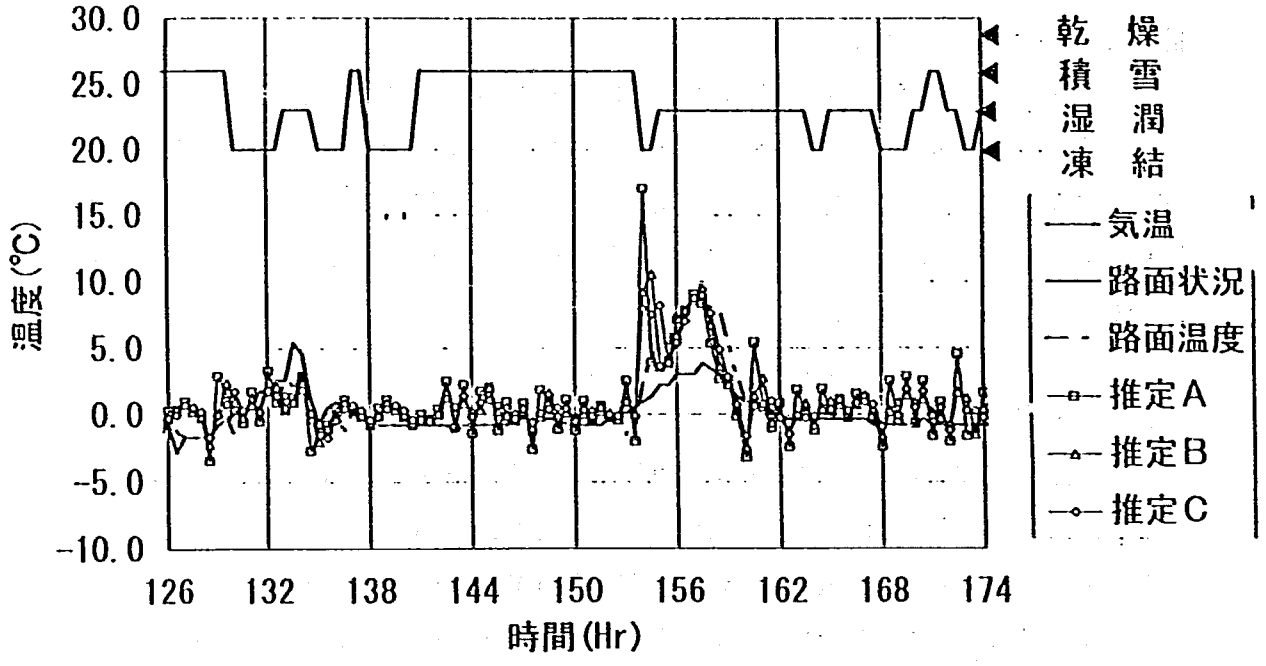
ｲ)しかし積雪がなく、気温の降下に伴い路面温度が降下する場合

(図表(4.1.2) 4-23の192～202時間、図表(4.1.2) 4-24の238～246時間)には、予測温度が路面凍結前に氷点下を示している。

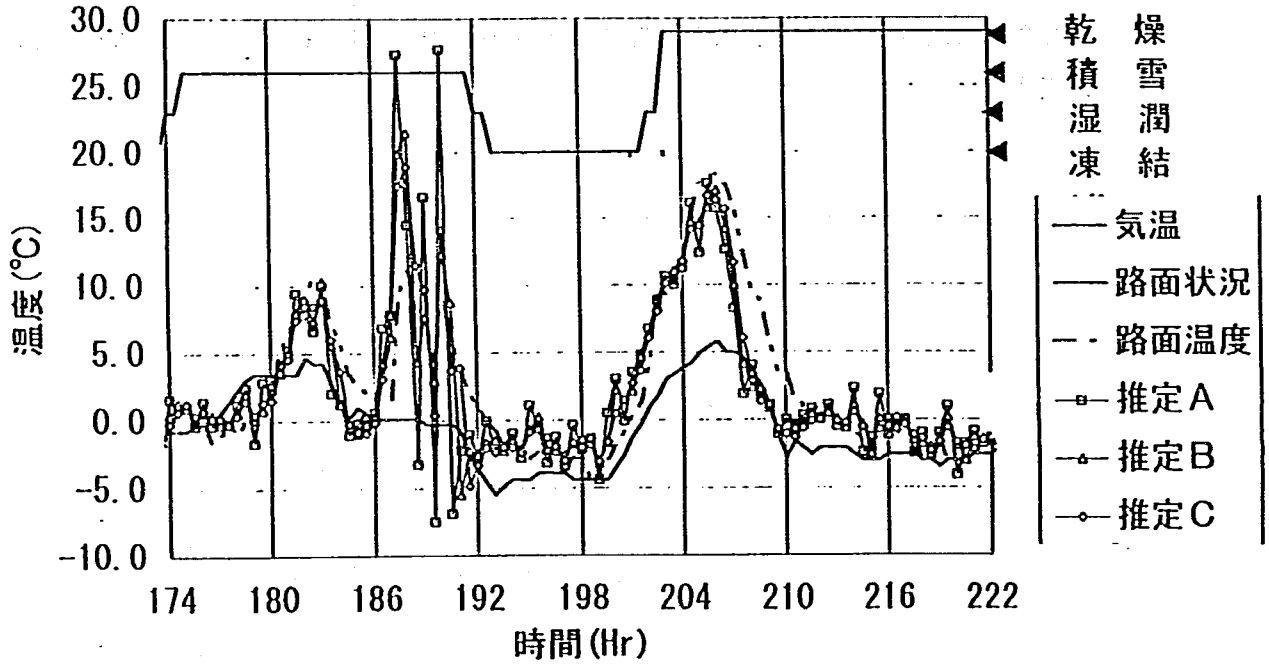
ｳ)図表(4.1.2) 4-30より、予測温度が氷点下を示す時間の多くは、凍結を検出した時点から約２時間前であり、本シミュレーションにより、事前に凍結予測することが可能であると考えられる。しかし、推定Ａでは、条件によっては温度変動が激しくなる傾向があり、誤判定の可能性が大きいと考えられる

(図表(4.1.2) 4-24の187～190時間, 図表(4.1.2) 4-24の249～258時間等)。また、推定Ｃでは凍結と予測できる時間が他の手法に比べ１hr程度遅い場合も受けられることから、今回検討した３つの手法の中では、推定Ｂでの予測手法が妥当と考えられる。

図表(4.1.2) 4-22　シミュレーション結果（埋設深さ３cm／NO. 1）

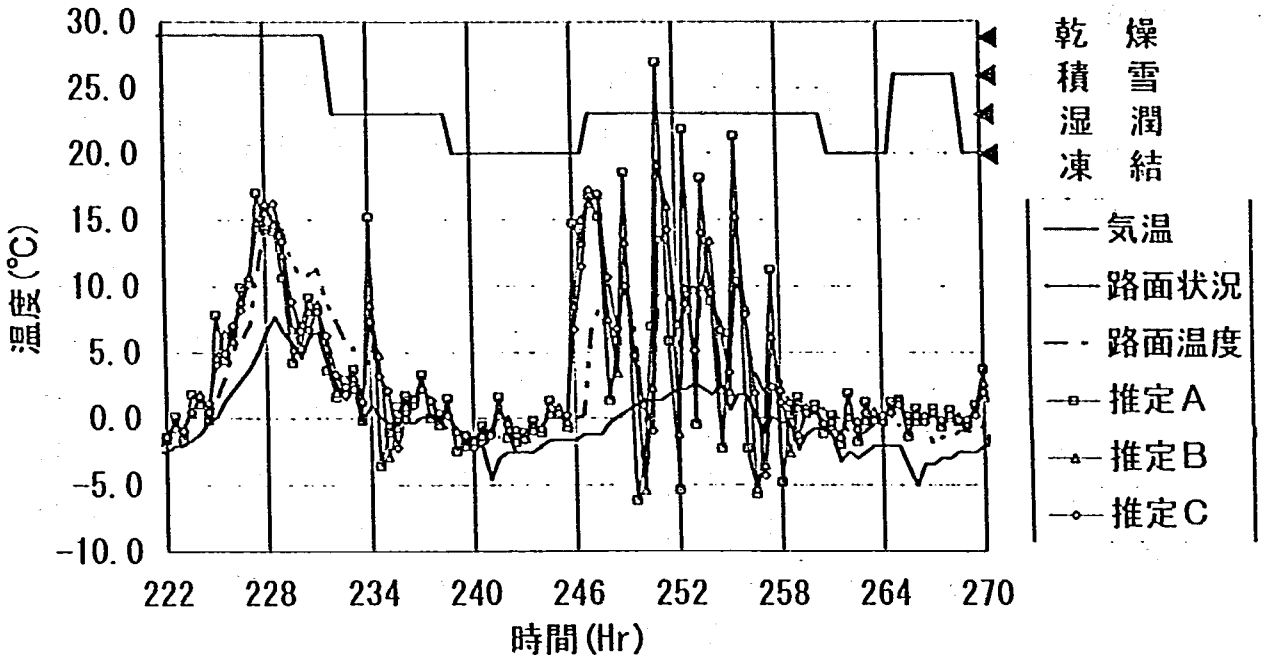


図表(4.1.2) 4-23　シミュレーション結果（埋設深さ３cm／NO. 2）



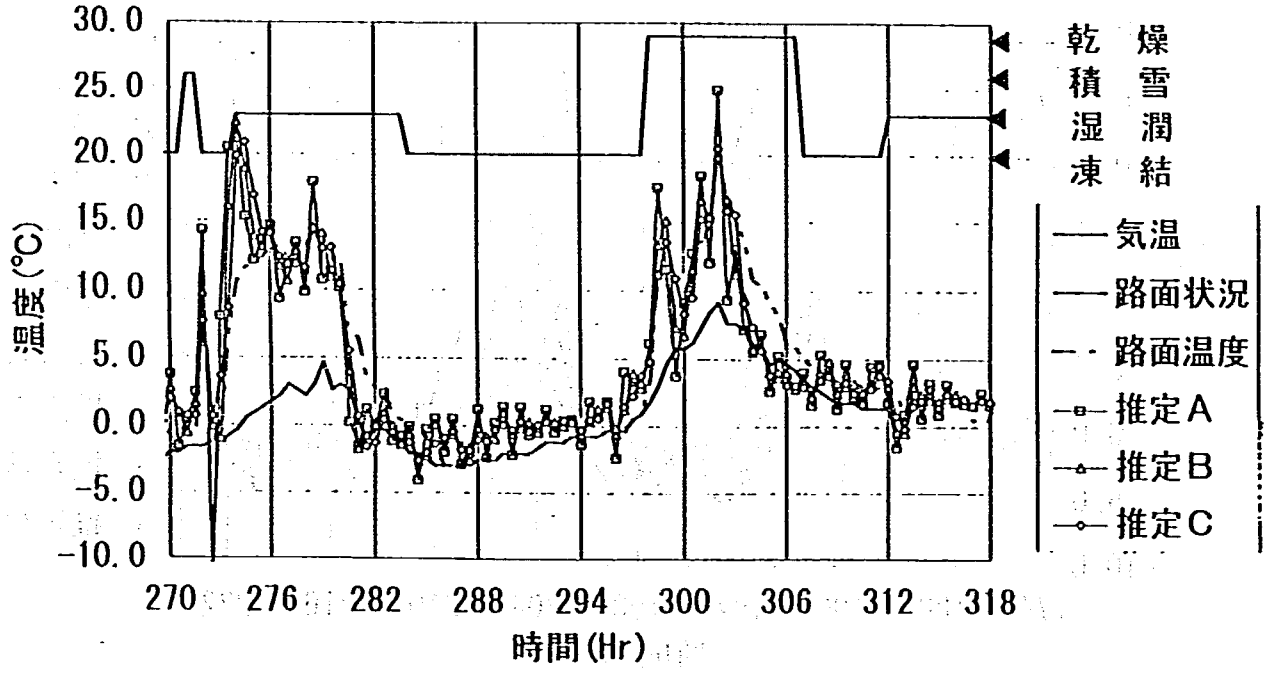
図表(4.1.2) 4-24　シミュレーション結果（埋設深さ３cm／NO. ４）

推定結果と実測路面状況

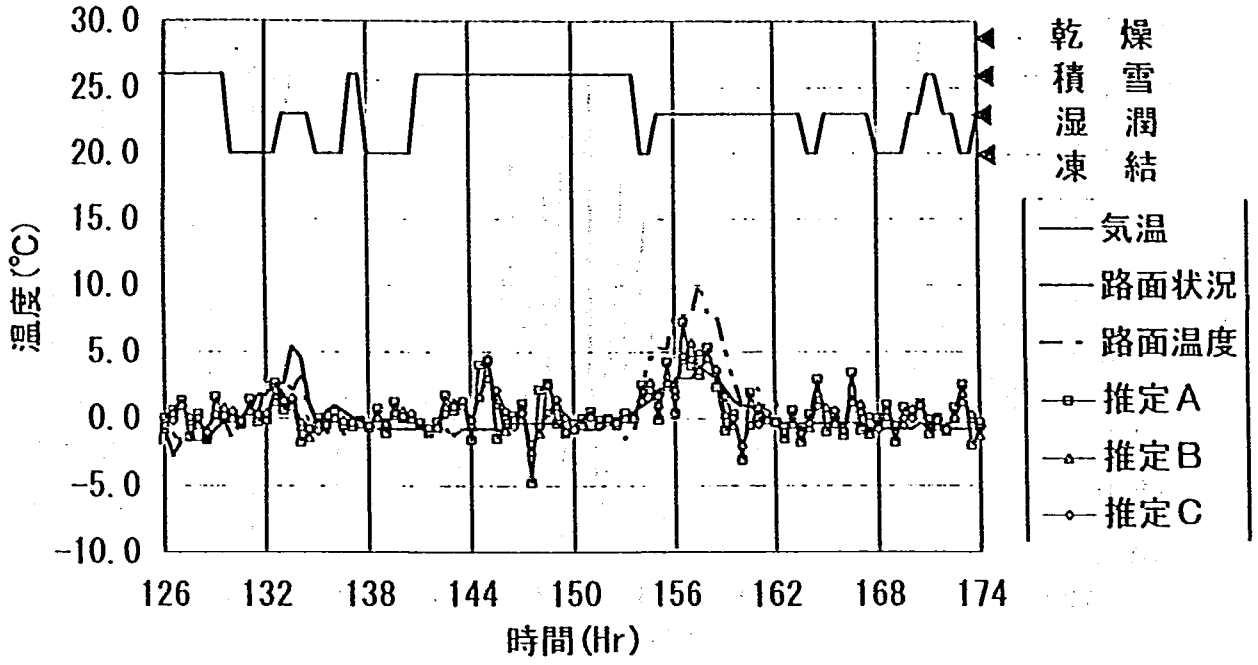


図表(4.1.2) 4-25　シミュレーション結果（埋設深さ３cm／NO. ３）

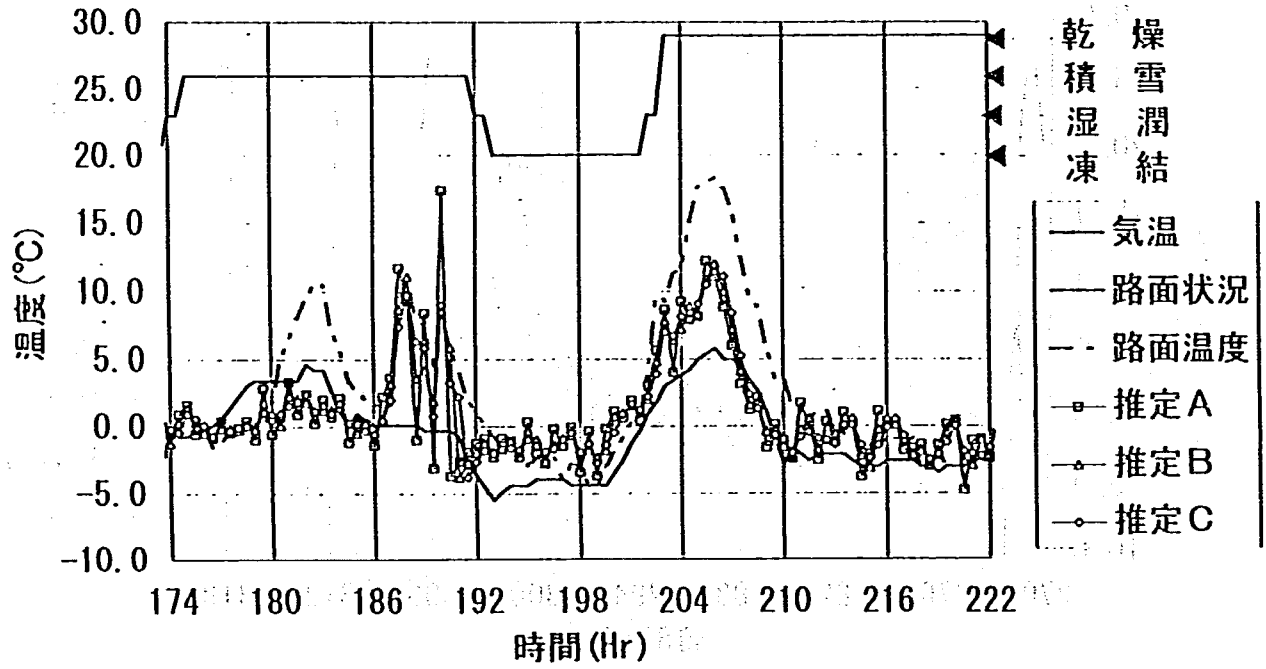
推定結果と実測路面状況



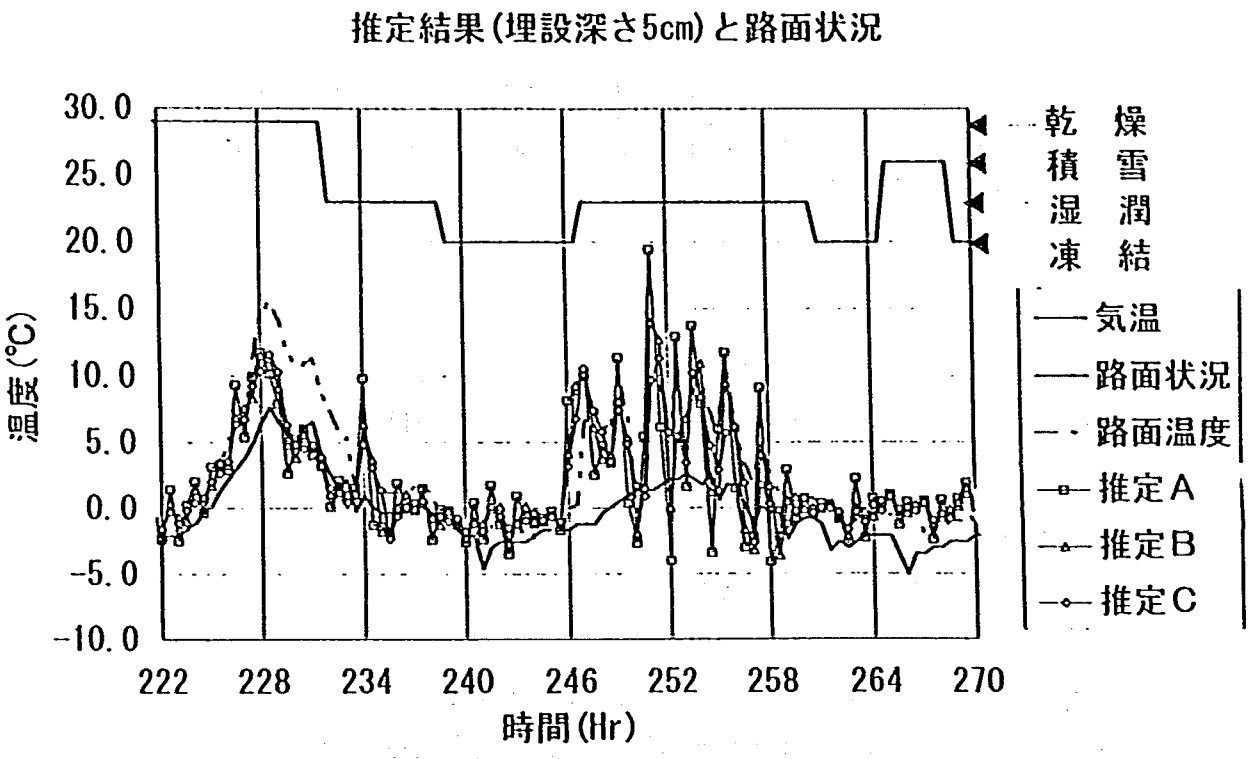
図表(4.1.2) 4-26　シミュレーション結果（埋設深さ５cm／NO. 1）



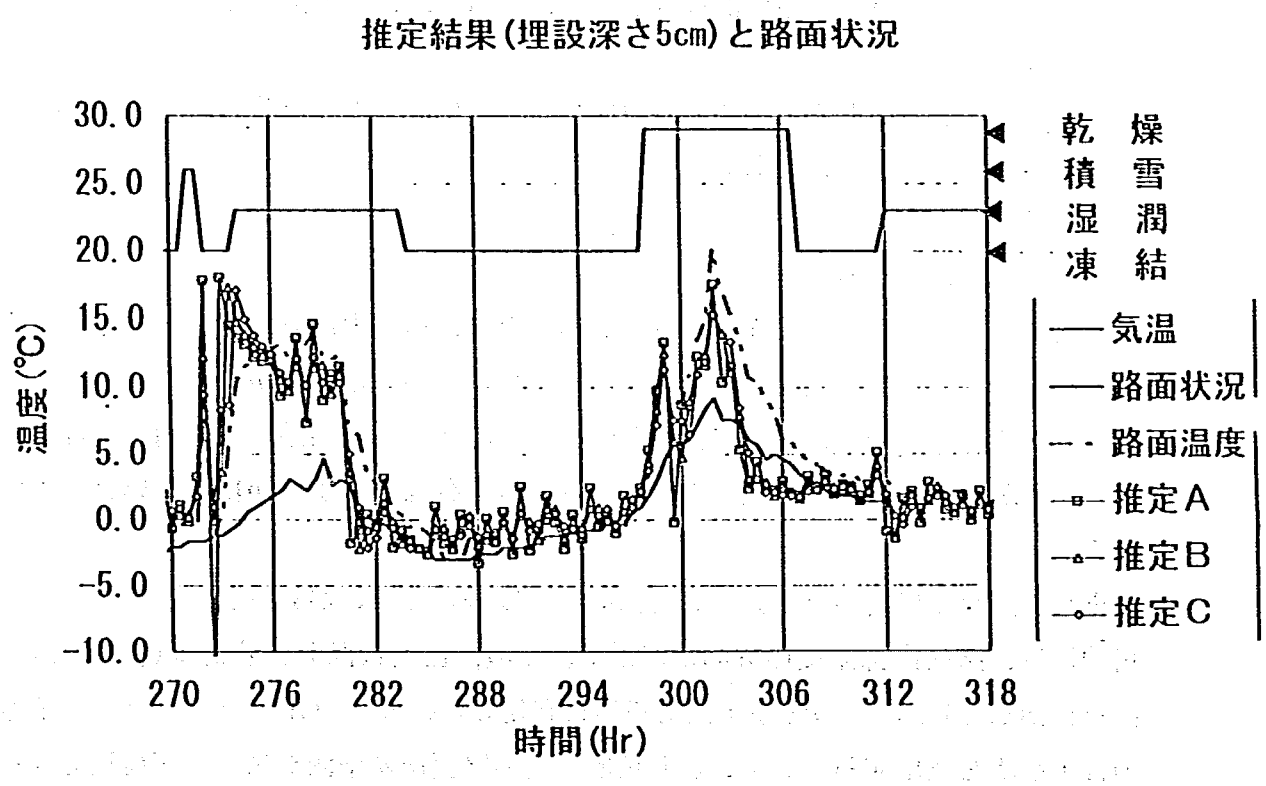
図表(4.1.2) 4-27　シミュレーション結果（埋設深さ５cm／NO. 2）



図表(4.1.2) 4-28　シミュレーション結果（埋設深さ５cm／NO. ３）



図表(4.1.2) 4-29　シミュレーション結果（埋設深さ５cm／NO. ４）



図表(4.1.2) 4-30 路面凍結と予測できる時間

	推定A		推定B		推定C		
時間	埋設3cm	埋設5cm	埋設3cm	埋設5cm	埋設3cm	埋設5cm	備考
186~198hr	2.5h	2.5h	2.0h	2.0h	1.5h	1.5h	図17,22
282~294hr	4.5h	4.5h	4.0h	4.0h	3.5h	3.5h	図19,23
282~354hr	3.0h	3.0h	2.5h	2.5h	2.0h	2.0h	図20,24
300~312hr	判	定	で	き	ず		図21,25

エ)なお、今回のデータでは埋設深さ3cmと5cmで各推定手法での温度のばらつきは、5cmの方が小さくなる傾向はある、大きな差は見られなかった。

⑤本実験結果のまとめ

今回の実験結果をまとめて以下に示す。

a)道路内部温度の測定による路面凍結検知の可能性

路面が、ある程度の時間以上凍結状態にある場合には、道路内部温度は氷点以下となるため、凍結検知が可能である。ただし、凍結が短い場合または凍結開始直後の場合には、外気温度，路面温度は氷点下になるが、道路内部温度は0℃付近であり、検知は困難である。

よって、正確かつ迅速に、凍結検知を行うためには、より道路表面に近い位置の温度を求めることが必要である。

b)凍結予測システムの可能性

今回検討した簡易なシミュレーション結果より、道路内部温度をＦＴＲにより計測することで、事前に凍結を予測できる可能性が高いことが分かった。しかし、誤判定となる場合や条件によっては予測時間と実際に凍結が開始した時間とが若干ずれケースがあり、道路内部温度の計測だけでは十分な凍結予測が出来ないと考えられる。

また、路面に積雪が有り／無しで路面の温度分布に違いが見られることから、実用的には、路面内部温度の計測に加えて、気温，路面状況センサ情報(特に路面の濡れ検知など)や種々の気象予測情報等を利用したニューラルネットやファジイ等のＡＩ手法を適用することで、より精度の高い路面凍結予測システムが構築できるものと考えられる。

（4）実道路（国道18号）における凍結検知実験

①実験目的

本実験では、昨年度の実験結果を踏まえ、より実際に近い環境において凍結検知実験を行うことにより、実道路での凍結検知性能を評価すると共に、凍結予測手法の検討などの実適用へ向けてのデータ収集，課題摘出を行う。

②実験方法

実道路に光ファイバセンサを路面下に埋設し、ＦＴＲで道路内部温度を測定した。
参考データとして、路面表面をＩＴＶカメラで撮影し、路面状況を調べた。

a)実験場所：国道18号　建設省　妙高高原除雪ステーション付近

b)実験期間：平成８年１月20日～２月３日（15日間）

c)測定項目：外気温度および道路内部温度（ＦＴＲ）
路面状況（ＩＴＶカメラ）

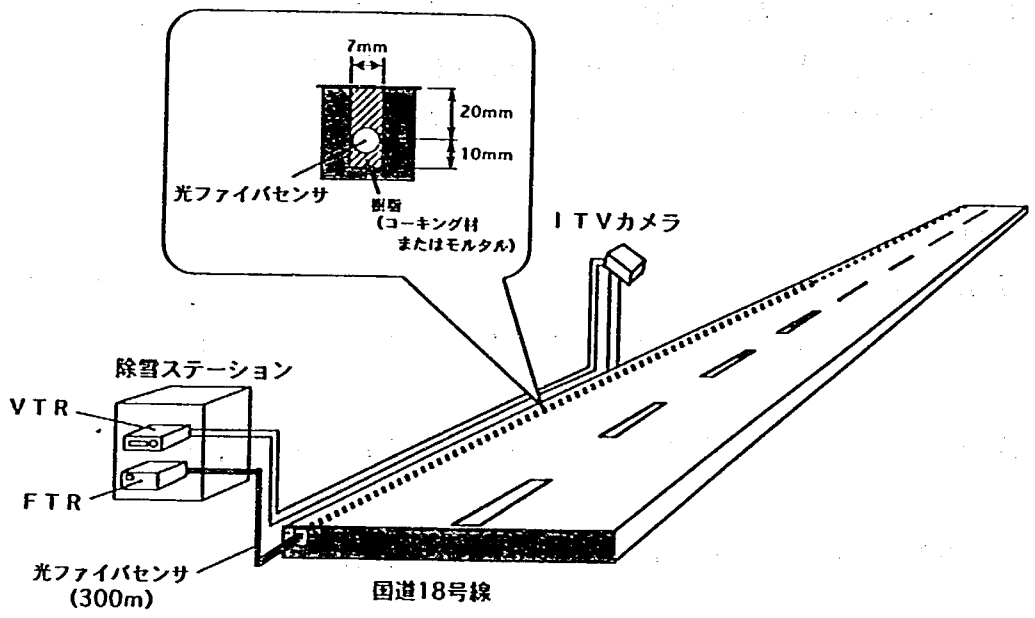
d)測定インターバル：ＦＴＲは10分間毎、ＩＴＶカメラは２分間毎

e)光ファイバセンサ布設条件等

・布設場所：道路の路側帯（白線より約２cm車道側に布設）
・布設方法：昨年度に実施した実験時と同様である。
ｱ)路側帯アスファルトにロードカッターで溝（幅７mm、深さ30mm）を形成する。
ｲ)内部を清掃、乾燥させた後、光ファイバセンサを埋め込む。
ｳ)最後に、樹脂を注入して固定する。
・光ファイバセンサ種類：金属管収納タイプ
・使用した樹脂：強度や劣化などの長期信頼性を比較，評価するためコーキング材およびモルタル（２種類）を用いた。

今回の実験システムを図表(4.1.2) 4-31に示す。

図表(4.1.2) 4-31　凍結検知実験システム（国道18号妙高除雪ステーション付近）



③実験結果

試験結果を図表(4.1.2) 4-32～図表(4.1.2) 4-36に示す。本結果には、ＦＴＲで測定した道路内部温度と外気温の他に、参考として、下記に示す路面状況(乾燥、湿潤、圧雪、凍結、不明の５つに分類)と気象情報(日照量と雨雪判別)を合わせて示した。

なお、路面状況についてはＩＴＶカメラで撮影した画像をもとに、以下の５つに分類して示した。どちらとも分類できない場合にはその両方を示した。

路面状況の分類１）：

a)圧雪…主に雪の降り始めや雪解け時に多く、白く見える。滑りにくい通常の圧雪。

b)凍結…つるつる圧雪,アイスバーンやブラックアイス,こぶ氷等,滑りやすい面。

・つるつる圧雪…表面が凍って鏡面化しているつるつる圧雪。白く光って見える。滑りやすい。

・アイスバーンやブラックアイス…透明または黒,灰色に見える。滑りやすい。

・こぶ氷…道路表面にこぶ状の凹凸ができたもの。滑りやすい。

c)湿潤…表面が濃い黒に見える。湿った、または濡れた路面。

d)乾燥…やや黒、灰色に見える。

e)不明…夜間の照明切れやカメラ焦点のずれ等により、画像が不鮮明でいずれとも判断できないもの。

また、気象データとしては日本気象協会から提供されるアメダス(AMeDAS)ポイントデータ(関山観測点における日照値)及びマイコス(MICOS)広域メッシュデータ(妙高試験場を含む約5kmメッシュ降水量、雨雪判定)を追加した。追加したデータを以下に示す。

気象データ:

○アメダスポイントデータ

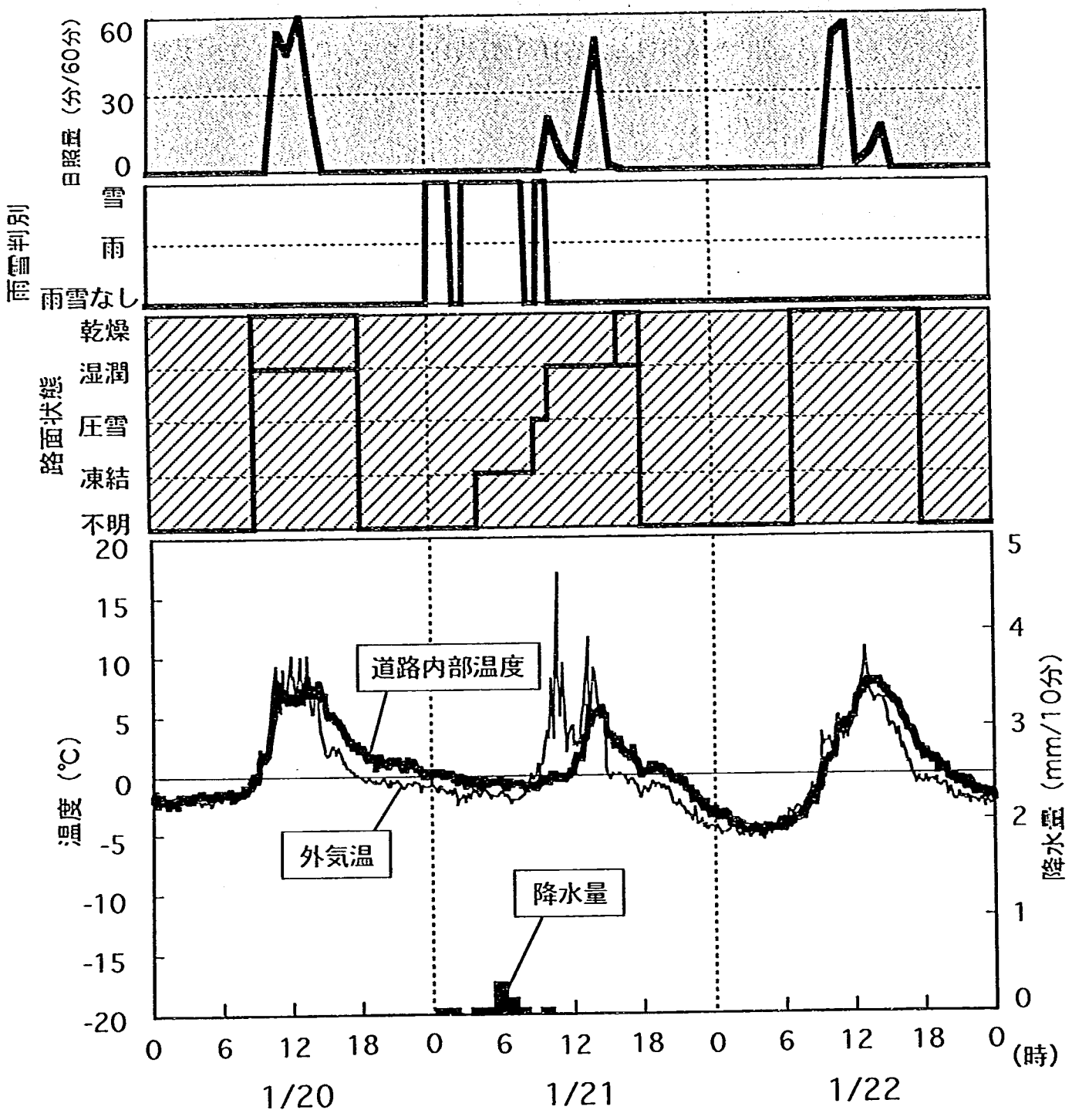
・日照量(ある値以上の日射量を越えた割合を1分単位で計測したもの)

○マイコス広域メッシュデータ

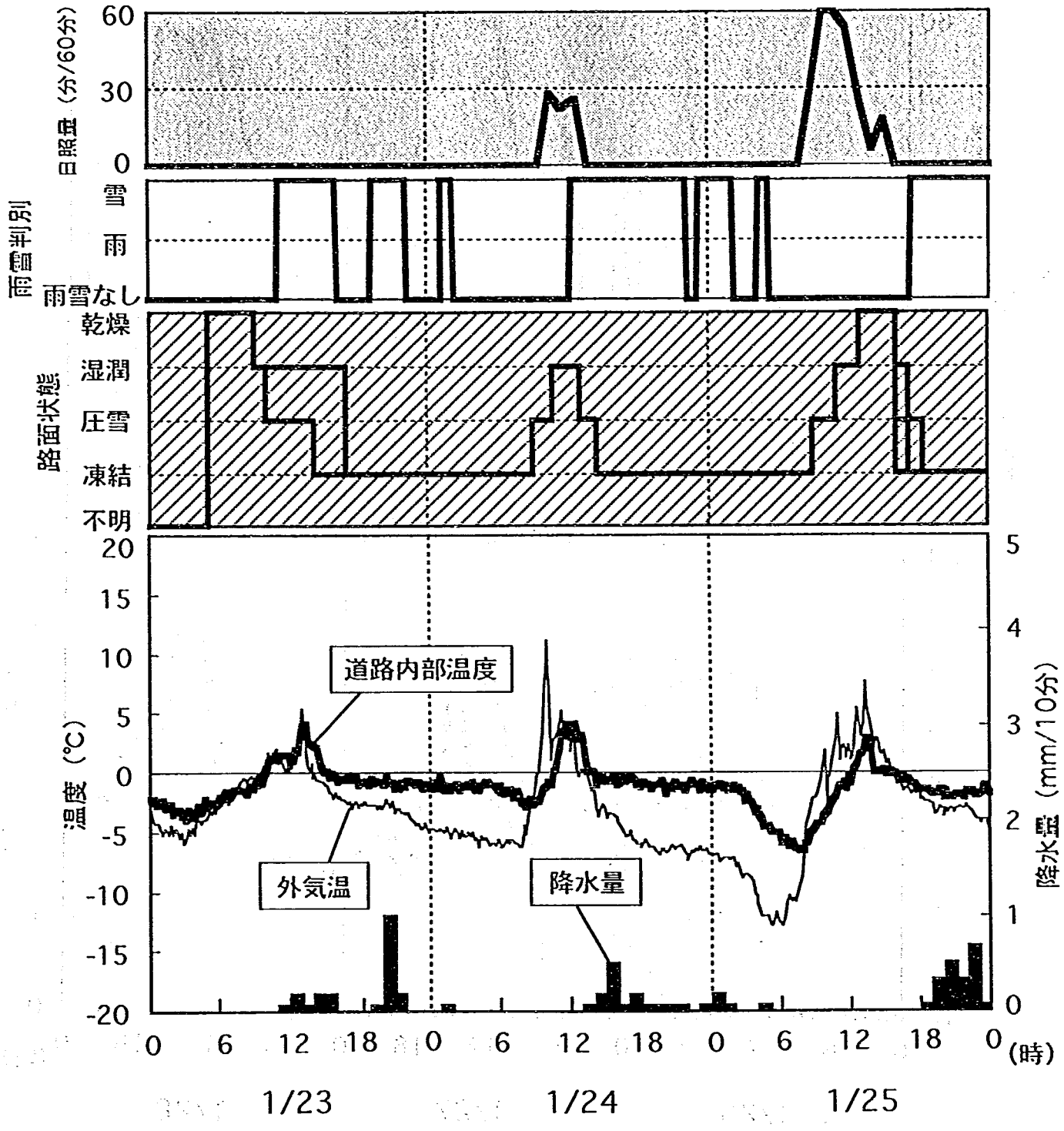
・降水量(10分間隔の雨雪量。単位はmm/10分間)

・雨雪判定(降水量として記録されたものが雨か雪かを判定したもの)

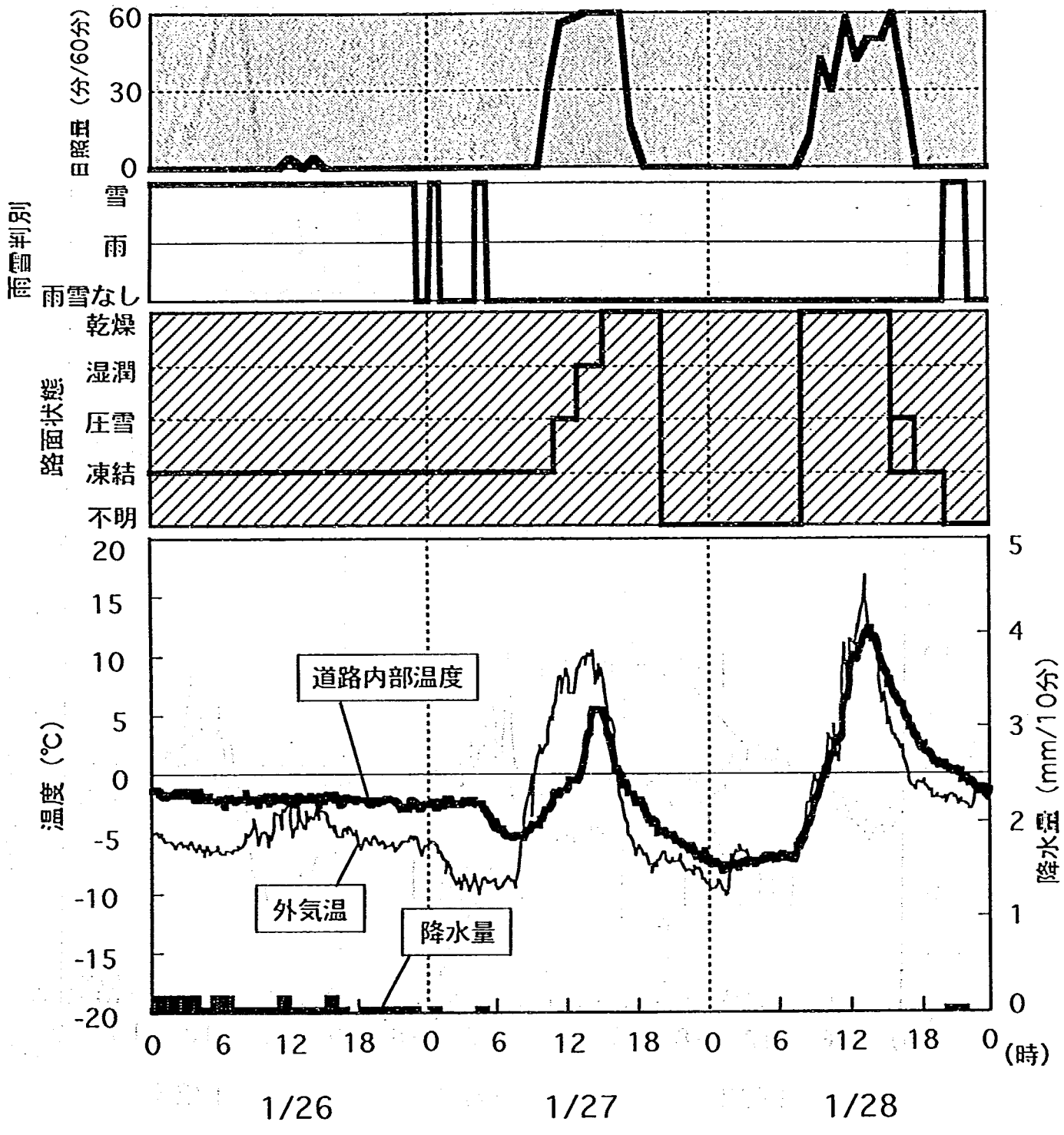
図表(4.1.2) 4-32　実験結果（国道18号　H8/1/20～H8/1/22)



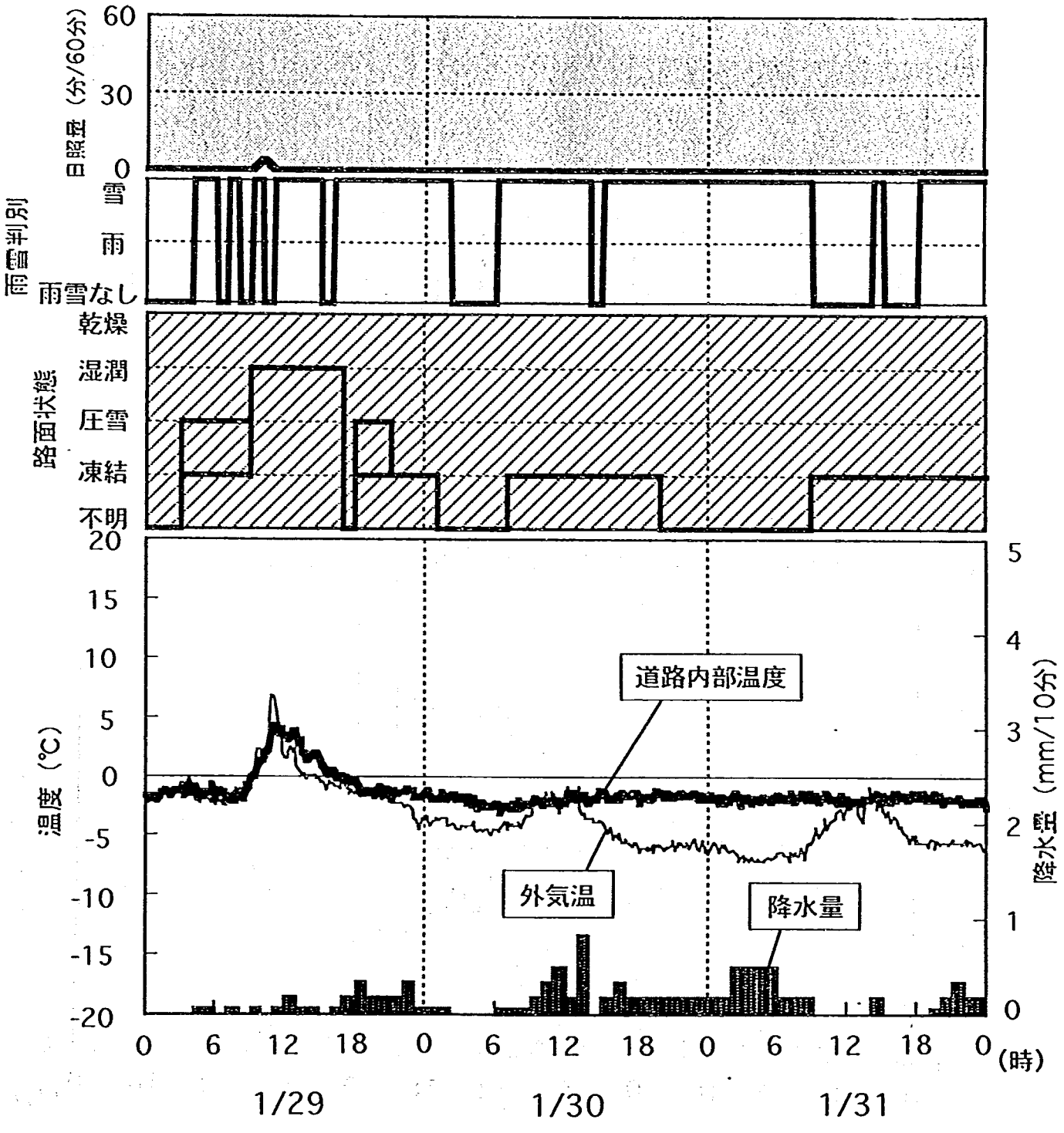
図表(4.1.2) 4-33　実験結果（国道18号　H8/1/23～H8/1/25)



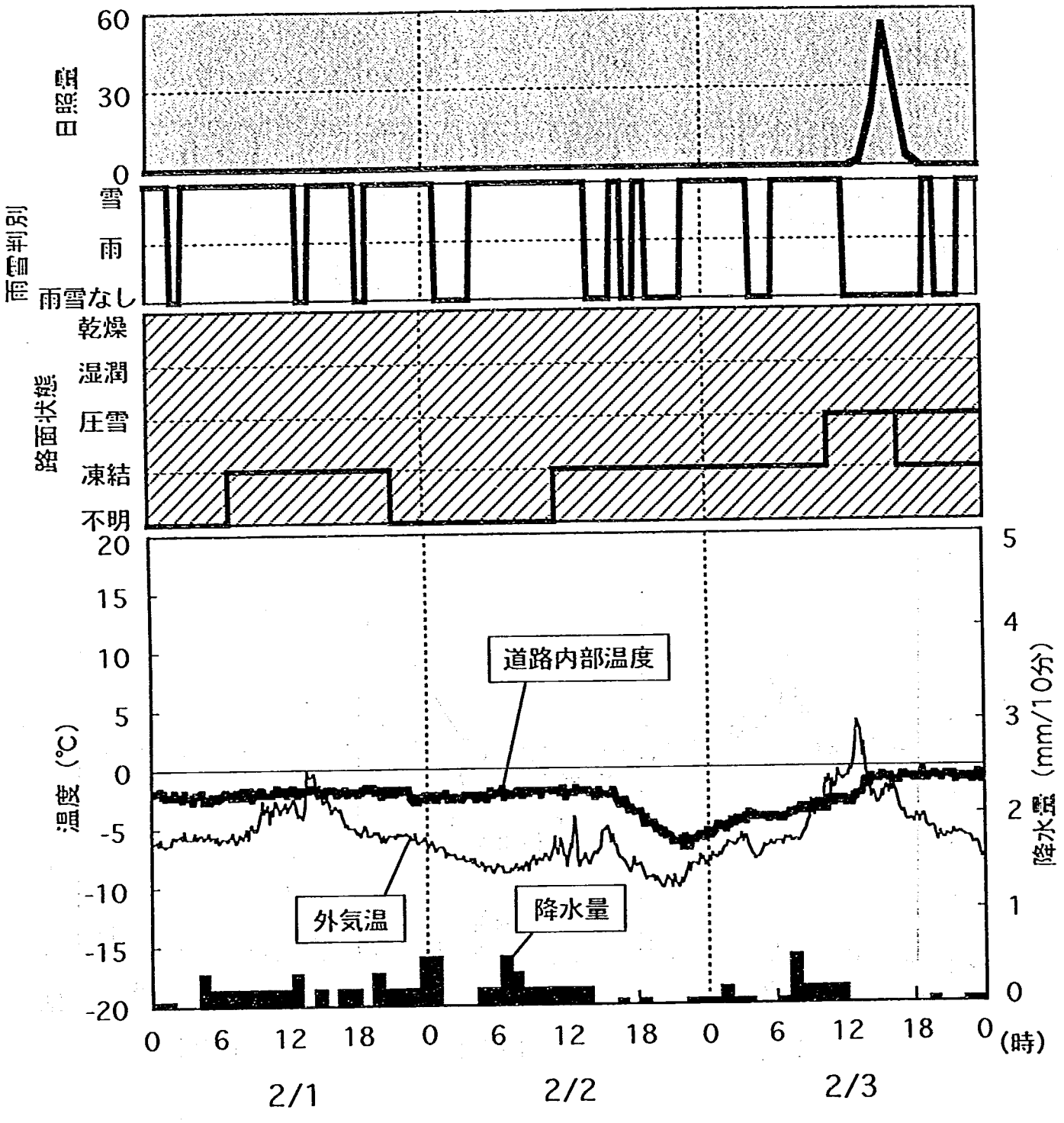
図表(4.1.2) 4-34　実験結果（国道18号　H8/1/26～H8/1/28)



図表(4.1.2) 4-35　実験結果（国道18号　H7/1/29～H8/1/31）



図表(4.1.2) 4-36　実験結果（国道18号　H8/2/1～H8/2/3)



この結果から、以下のことがらが分った。

ｱ)路面が凍結するケースの多くが(例えば1/21の３時～８時，1/23の16時～1/24の９時，1/24の15時～1/25の８時，1/25の15時～など)、外気温が氷点以下となる前に、断続的に降る雪や気温上昇に伴う融雪などの影響により路面が湿潤または圧雪状態である場合に起こっている。

このときの道路内部温度は、いずれも氷点以下となっており、実道路においても、道路内部温度を測定することで、ある程度、凍結状態を把握できることが確認された。

ｲ)積雪がない場合(1/20，1/22など)には、道路内部温度は外気温とほぼ同様の変化傾向を示すが、降雪が頻繁で積雪が多くある場合(1/26，1/30～2/1)には、外気温が変化しても０℃～-２℃とほぼ一定となっている。よって、両者の温度変化を比較することにより、路面状態の積雪の有無を検知できる。

ｳ)ただし、発生する頻度は少ないが、道路内部温度が氷点以上であっても凍結状態になる場合もある(例えば1/28の18～19時)。これは、気温が急激に低下する時に生じ、道路表面より道路内部が遅れて温度低下するためと考えられる。このような場合にも、より正確に凍結検知を行うためには、道路表面温度を求めることが必要である。

ｴ)光ファイバセンサ固定用の樹脂については、２種類の材料ともに今回の試験では、劣化などの現象は見られなかった。

④凍結予測システムの検討

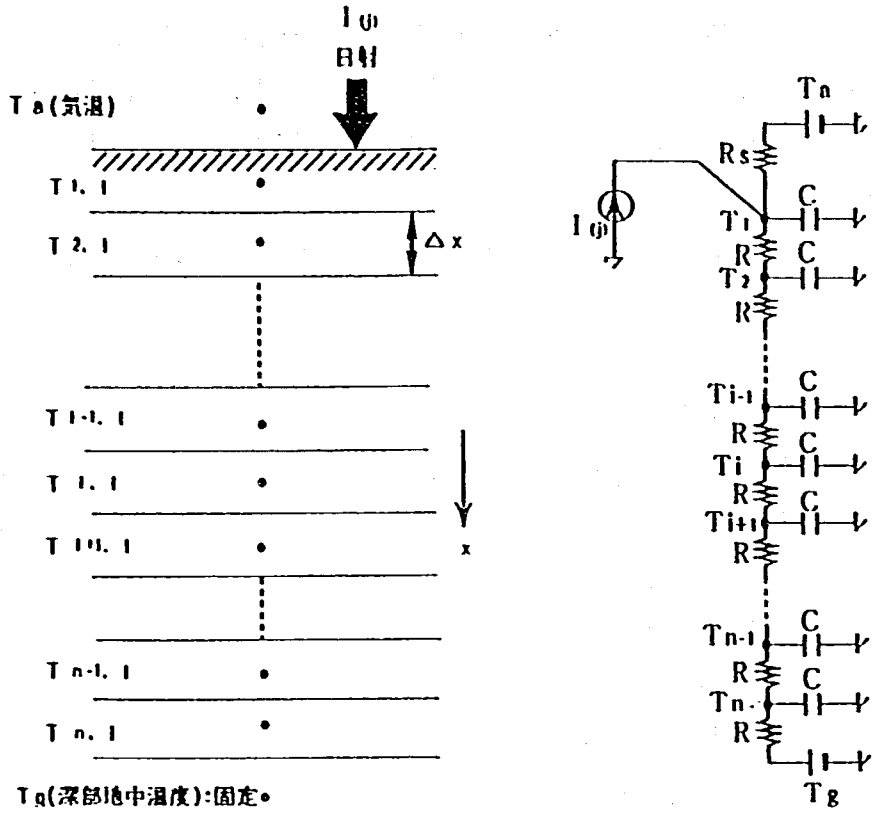
a)道路表面温度の計算

光ファイバセンサは、機械的強度上、路面に直接布設することはできない。したがって、路面凍結をより確実に検知するためには、道路内部に埋設した光ファイバセンサの測定温度から、道路表面温度を推定することが必要となる。

この道路表面温度を推定する手法の一つとして、外気と路面との熱伝達及び道路内部の熱伝導を考慮した比較的単純な計算モデルを設定し、前章で示した新潟試験場での実験結果を用いて、本モデルの妥当性を評価した。

今回の熱計算モデルを図表(4.1.2) 4-37に示す。

図表(4 1 2) 4-37　熱計算モデル



(a)熱計算モデル　　(b)等価回路

本モデルでは、道路内部の温度Tは深さ方向に均等に分割した面で代表し、その温度は水平方向に一様であるとした。また、各部における熱の伝達は、道路表面では外気（空気）と道路表面との熱伝達を、内部では各分割要素間の熱伝導を考慮し、さらに、太陽光から道路表面への日射も考慮した。

このとき、熱伝導方程式は以下のように表せる。

［1］道路内部の場合

$$\frac{T_{i+1}-T_i}{R}-\frac{T_i-T_{i-1}}{R}-C\frac{dTi}{dt}=0$$

$$R=\frac{\Delta x}{\lambda}\ ,\ C=\Delta x\cdot\gamma\cdot Cp\ ,\ Rs=\frac{1}{\alpha}$$

ここで、R：熱抵抗、C：熱容量、Rs：道路表面と外気との熱抵抗

λ：道路内部の熱伝導率、γ：密度、Cp：比熱、

α：道路表面の熱伝達率、Δx：道路内部の分割要素の長さ

これを離散時間で表すと、Δt時間経過した温度変化ΔTiは、

$$\Delta T_i=\frac{\Delta t}{\Delta x^2}\cdot\frac{\lambda}{\gamma\cdot Cp}\left(T_{i+1}-2T_i+T_{i-1}\right)$$

ここで、時刻ｔをｔ＝ｔ0＋ｊ・△ｔ（ｊ＝0，1，2･･･）と表し、その時刻における温度をＴi，j、△ＴiをΔＴi，jと表すと、△ｔ時間後の温度Ｔi，j+1は、

$$T_{i,j+1} = T_{i,j} + \Delta T_{i,j}$$

$$\Delta T_{i,j} = \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \cdot \frac{\lambda}{\gamma \cdot Cp}\left(T_{i+1,j} - 2T_{i,j} + T_{i-1,j}\right)$$

［2］道路表面の場合

$$T_{1,j+1} = T_{1,j} + \Delta T_{1,j}$$

$$\Delta T_{1,j} = \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \cdot \frac{\lambda}{\gamma \cdot Cp}\left(T_{2,j} - T_{1,j}\right) + \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot \frac{\alpha}{\gamma \cdot Cp}\left(T_{a,j} - T_{1,j}\right) + \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot \frac{1}{\gamma \cdot Cp} \cdot I(j)$$

ここで、Ｉ（ｊ）：太陽光から受ける日射量、Ｔａ：外気温

［3］地中深部の場合

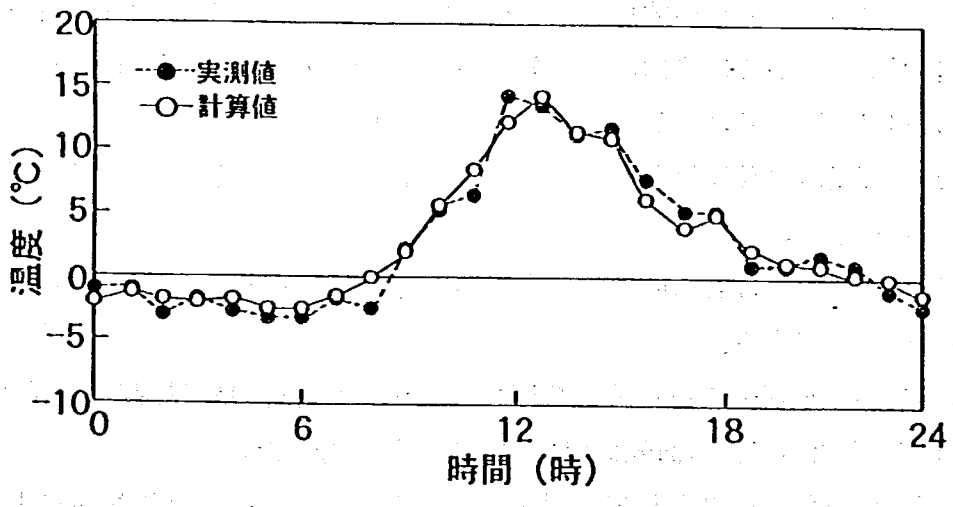
$$T_{n,j+1} = T_{n,j} + \Delta T_{n,j}$$

$$\Delta T_{n,j} = \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \cdot \frac{\lambda}{\gamma \cdot Cp}\left(Tg - 2T_{n,j} + T_{n-1,j}\right)$$

ここで、Ｔｇ：深部地中温度

これらの微分方程式を計算すると任意時刻の道路内部温度分布が求まる。今回の対象では、光ファイバセンサの温度が分かっているので、図表(4.1.2) 4-37の全てを計算する必要はなく、光ファイバセンサ埋設位置から地表面までを計算すればよい。求めた道路表面温度の計算結果の一例を図表(4.1.2) 4-38に示す。

図表(4.1.2) 4-38　道路表面温度の計算値と実測値の比較例



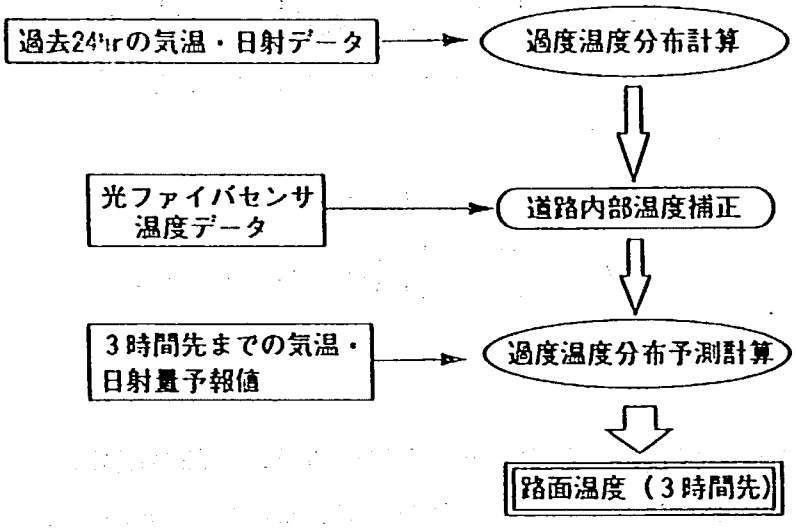
道路表面温度の計算値（図中の白丸印）は、実測値（図中の黒丸印）とが概ね一致しており、本手法が妥当であることが分かる。

b)凍結予測の検討

前節の検討により、道路内部に埋設した光ファイバセンサの実測値、ならびに気温・日射データから道路表面温度を計算できることが判明したので、次に、数時間先の道路表面温度を予測する手法を検討した。

予測手法としては、外気・道路表面・道路内部などの道路環境をモデル化した熱計算モデルによる方法を用いた。今回用いた予測手法を図表(4.1.2) 4-39に示し、次に説明する。

図表(4.1.2) 4-39　道路表面温度予測計算法



なお、予測時間は、路面凍結の対策として散布する凍結防止剤の散布タイミングの準備を考慮して、3時間先と決定した。

ア)対象とする道路の平均的な熱定数を用い、予測する時点までに得られた過去の気温・日射データから道路内部温度分布の経時変化（過渡温度分布）を
図表(4.1.2) 4-37に示した熱計算モデルを用いて計算する。

イ)道路内部温度の計算値と測定値（光ファイバセンサで測定）とを比較し、そのずれ分を補正する。

ウ)補正後、気温・日射量の予報値を用いて過渡温度分布を計算し、道路表面温度の経時変化を予測する。

本予測手法を評価するため、今回の試験データ(国道18号妙高高原除雪ステーション付近)を用いて、路面表面温度の予測計算を行った。

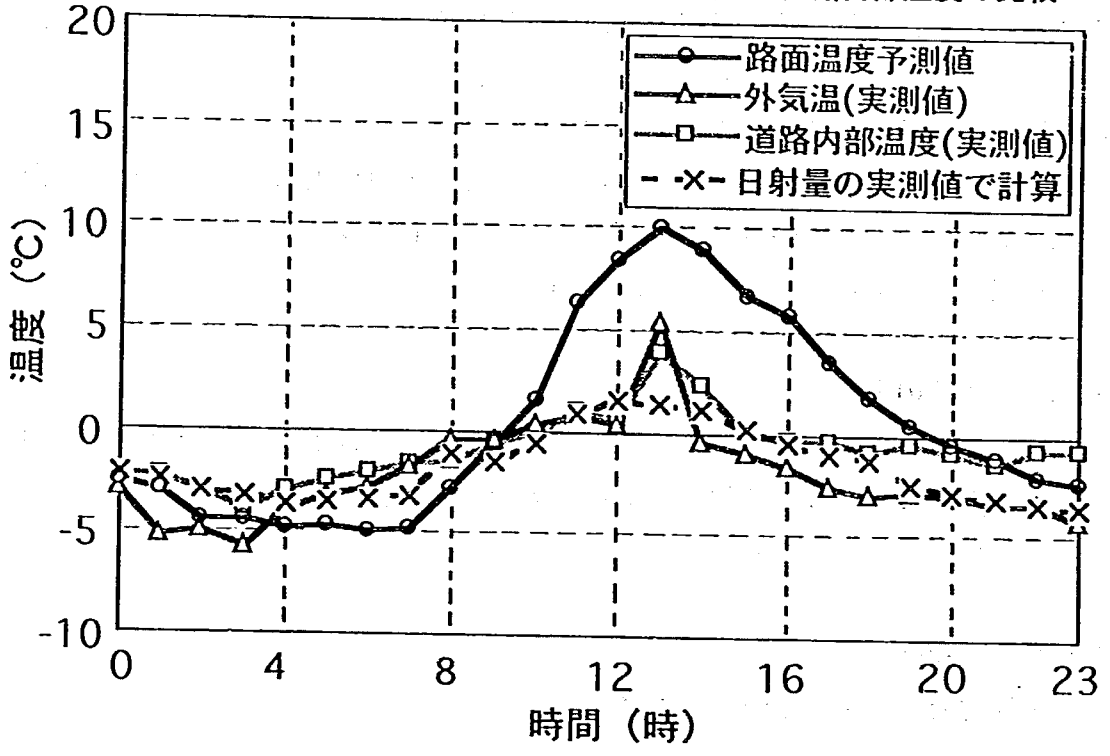
計算に用いたデータとして、過去のデータについては、試験場所における外気温、路面内部温度(いずれも実測値) 及び気象協会が提供する高田観測所における日射量(実測値)とした。

また予測データとして、外気温は試験場所の実測値と大きな差があったため、実測

値を３時間先の予測値と置き換えたものを用いた。日射量そのものは、予報値としては提供されていないため、気象協会から配信されるマイコスデータ(天気予測)を用いることにした。すなわち、この天気予測データは関東中部地域を約５km毎のメッシュに区切って提供される文字通りの天気予報であり、天気の種類(快晴、晴れ、薄曇り、曇り、雨、雪など)の11種類で区分したものである。今回は、この天気種別に対応させて、日射量を求めた。

計算結果の一例として、平成８年１月23日の予測結果を図表(4.1.2) 4-40に示す。

図表(4.1.2) 4-40　路面表面温度の予測値と外気温、道路内部温度の比較



この結果から、以下のことがらが分かった。

ｱ)求めた路面温度の予測値の変化傾向は、外気温及び光ファイバセンサで計測した道路内部温度と同じ傾向を示している。

ｲ)一方、絶対値については、早朝から午前10時まで、及び、19時以降は外気温の実測値とほぼ一致した値となったが、10時以降は最大で７℃程度の差が生じている。また、夕暮れ時、路面温度の予測値は外気温及び道路内部温度より、やや遅れて氷点以下になった。この原因として、天気予測データの予測結果の違いや天気種別毎に設定した日射量の大きさの違い等が考えられる。

ｳ)高田観測所で実測した日射量を用いて計算した場合には、外気温とほぼ同じ結果が得られている。よって、予測計算においては、日射量が重要なパラメータとなる。

以上の結果より、天気予測から日射量を求めるという非常に粗い手法ではあるものの、３時間先の路面表面温度の予測値は、その後に光ファイバセンサで計測した道路内部温度及び外気温に近い傾向を示すことが分かった。すなわち本手法により、

凍結発生の予知が可能であることが確認できた。
また、より正確な日射量をデータとして用いることで、予測精度が向上することも確認できた。

c)実験結果のまとめ

ア)凍結検知実験のまとめ

光ファイバセンサで計測した道路内部温度は、凍結時には氷点以下となっており、実道路においても、道路内部温度を測定することで、凍結状態を把握できることが確認された。ただし、外気温が急激に低下して凍結するような場合には、道路内部温度が氷点以下になる前に発生する。よって、さらに正確に凍結検知を行うためには、道路表面温度を求めることが必要である。
今回、道路表面温度を推定する方法として、外気と路面との熱伝達及び道路内部の熱伝導を考慮した比較的単純な計算モデルを設定し、フィールド実験データで計算した結果、本モデルが妥当であることを確認できた。

イ)凍結予測手法のまとめ

光ファイバセンサで測定した道路内部温度と外気・路面あるいは道路内部の熱伝導を考慮した計算モデルを用いて、３時間先の道路表面温度を計算し、路面凍結予測手法に適用できる見通しを得た。

（５）今後の課題

今後の課題として主なものを以下に示す。

①簡易な路面濡れセンサの検討

より確実に路面凍結検知を行うためには、路面温度の計測と共に、凍結以前の路面濡れ状況（濡れの有無）を把握する必要がある。低価格かつ簡単な機構で実現できる路面濡れセンサの開発が課題となる。

②凍結予測手法の高精度化検討

精度の高い凍結予測を行うためには、予測計算に必要な日射量をより正確に求める手法の検討、ならびに、対象とする道路に対応した気象予報データを求める手法の開発等が必要である。

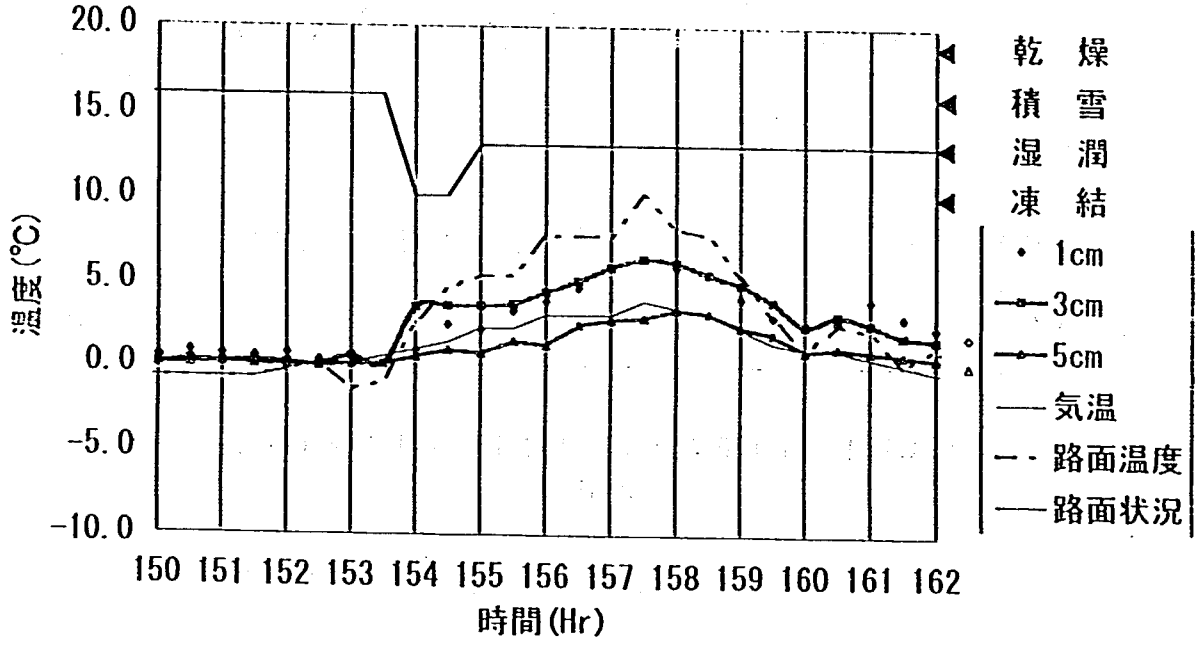
参考文献：

1)松沢他，“全道冬期路面状況調査”，寒地技術シンポジウム(1994)
2)舟田，“道路凍結と降雪の予測”，地学雑誌(1992)

（6）付録

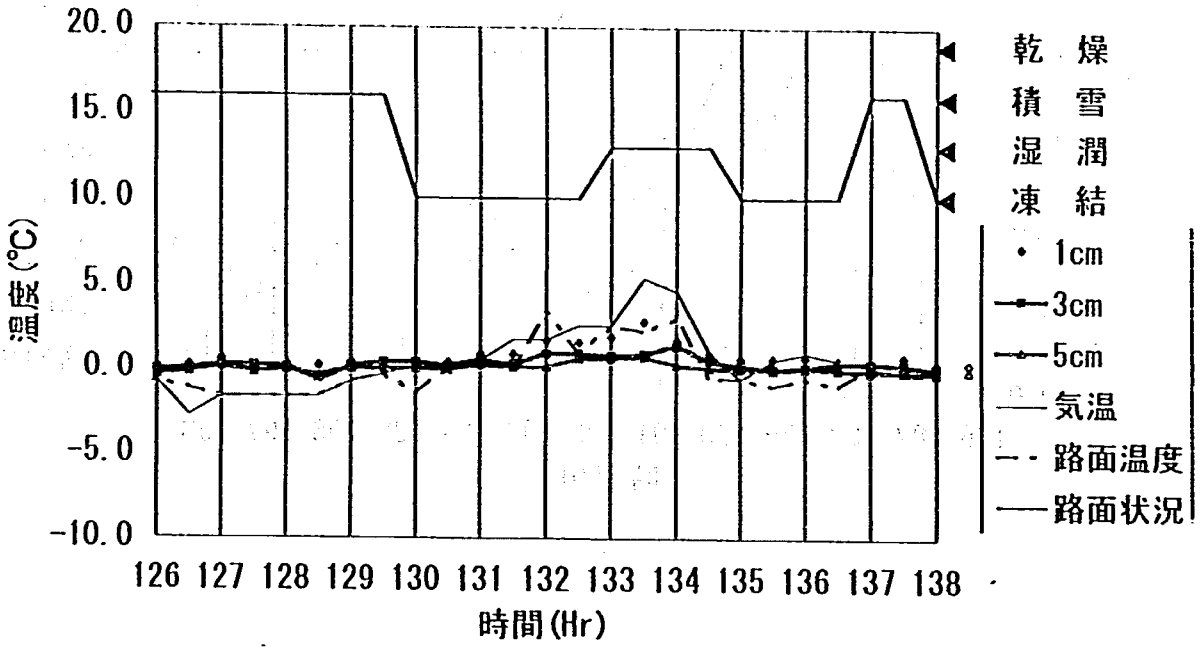
①実験結果拡大図

図表(4.1.2) 4-41　路面状況と実測データ（拡大図）

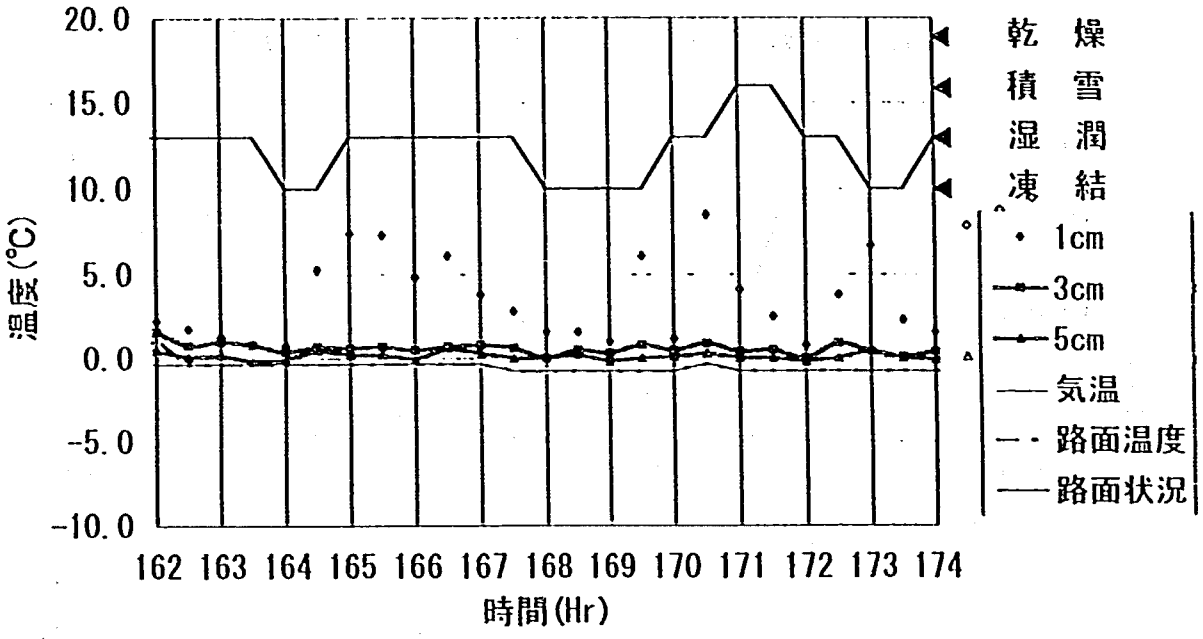


図表(4.1.2) 4-42　路面状況と実測データ（拡大図）

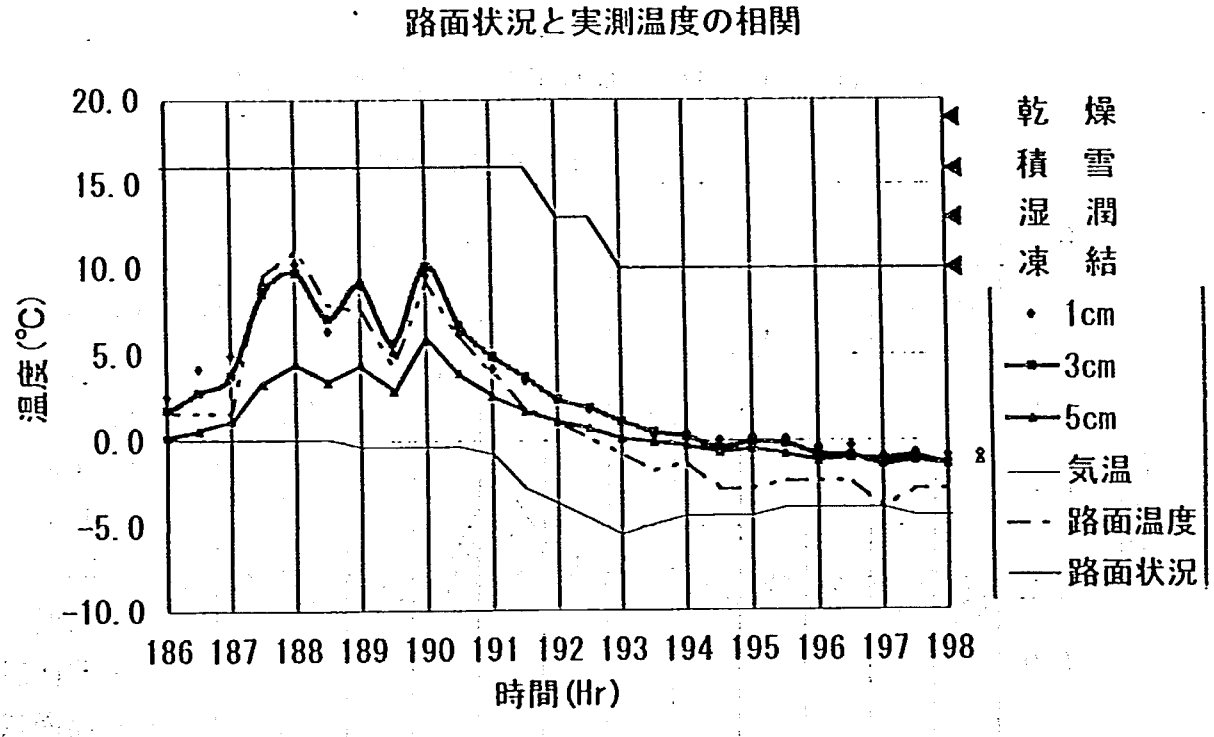
路面状況と実測温度の相関



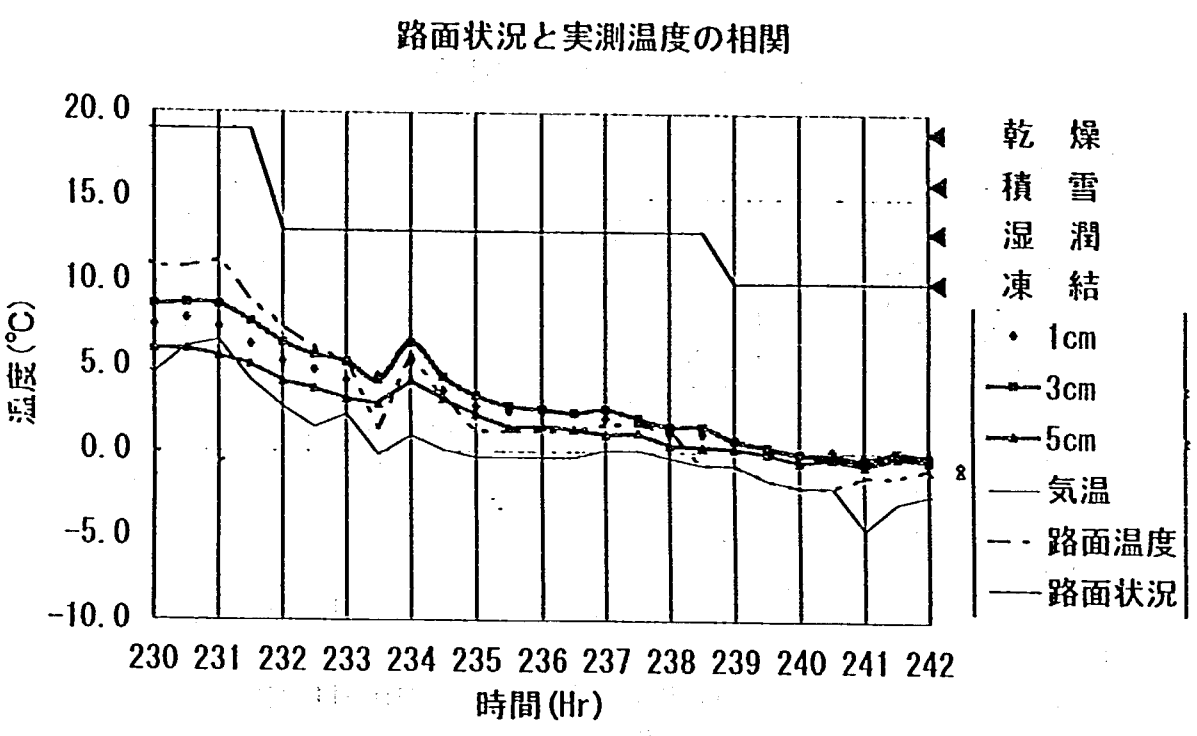
図表(4.1.2) 4-43　路面状況と実測データ（拡大図）



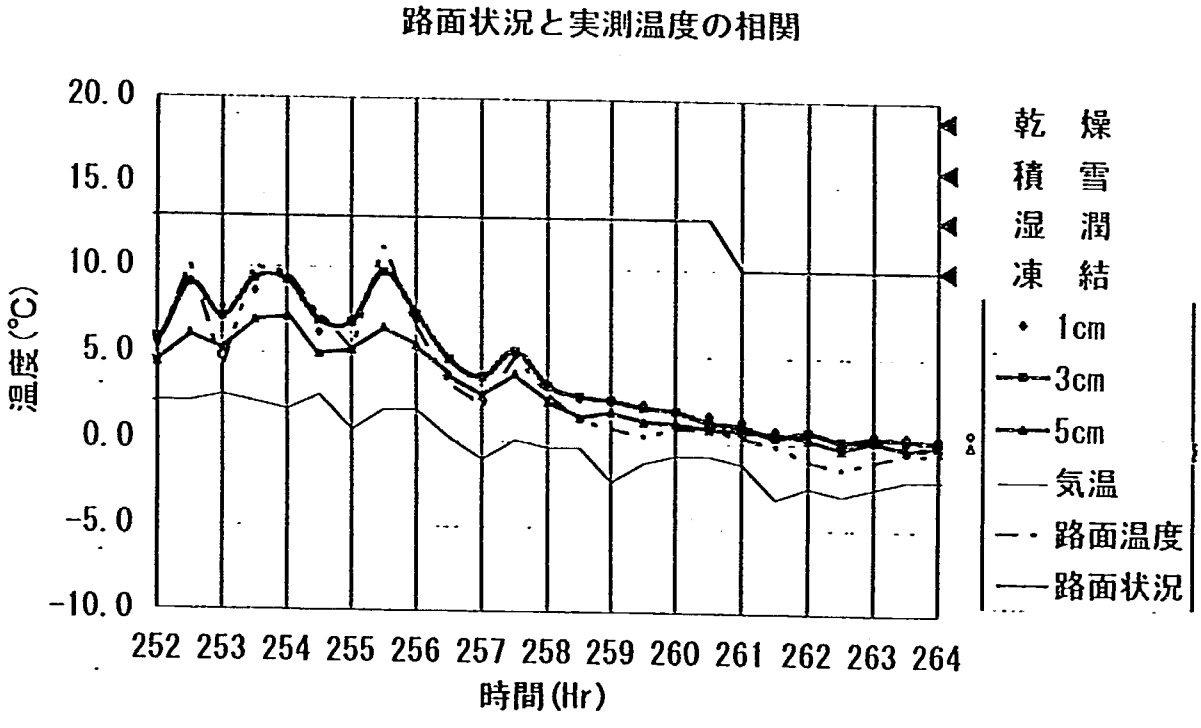
図表(4.1.2) 4-44　路面状況と実測データ（拡大図）



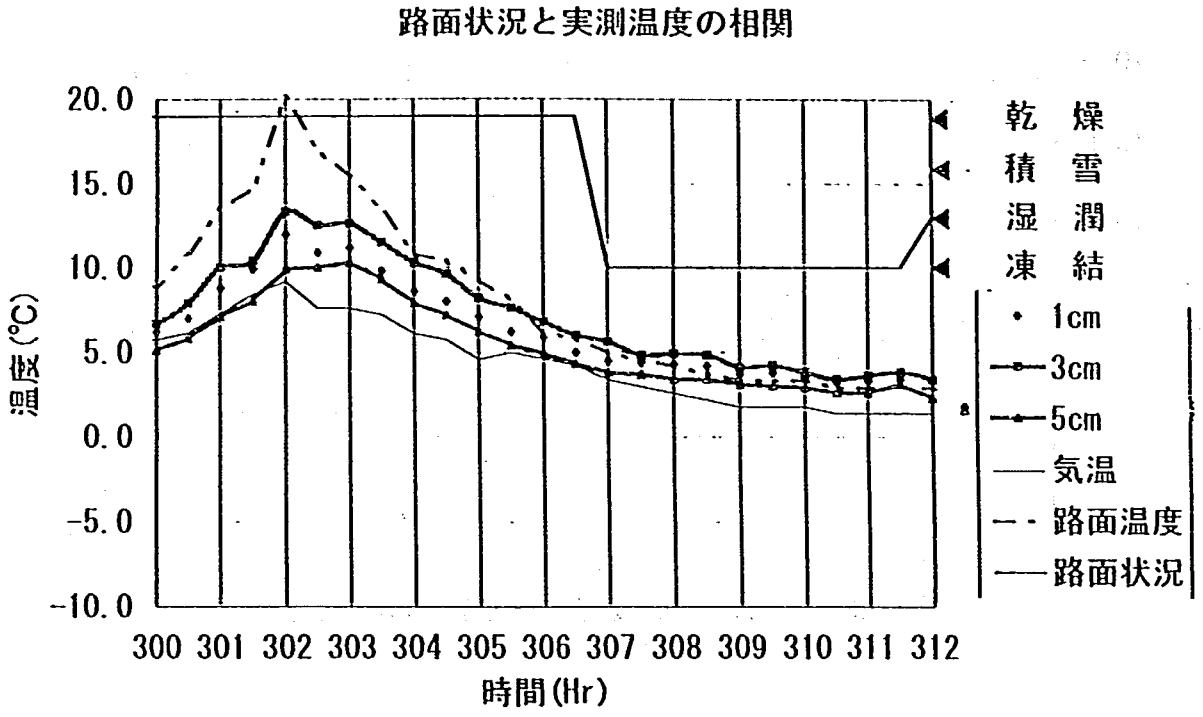
図表(4.1.2) 4-45　路面状況と実測データ（拡大図）



図表(4.1.2) 4-46　路面状況と実測データ（拡大図）

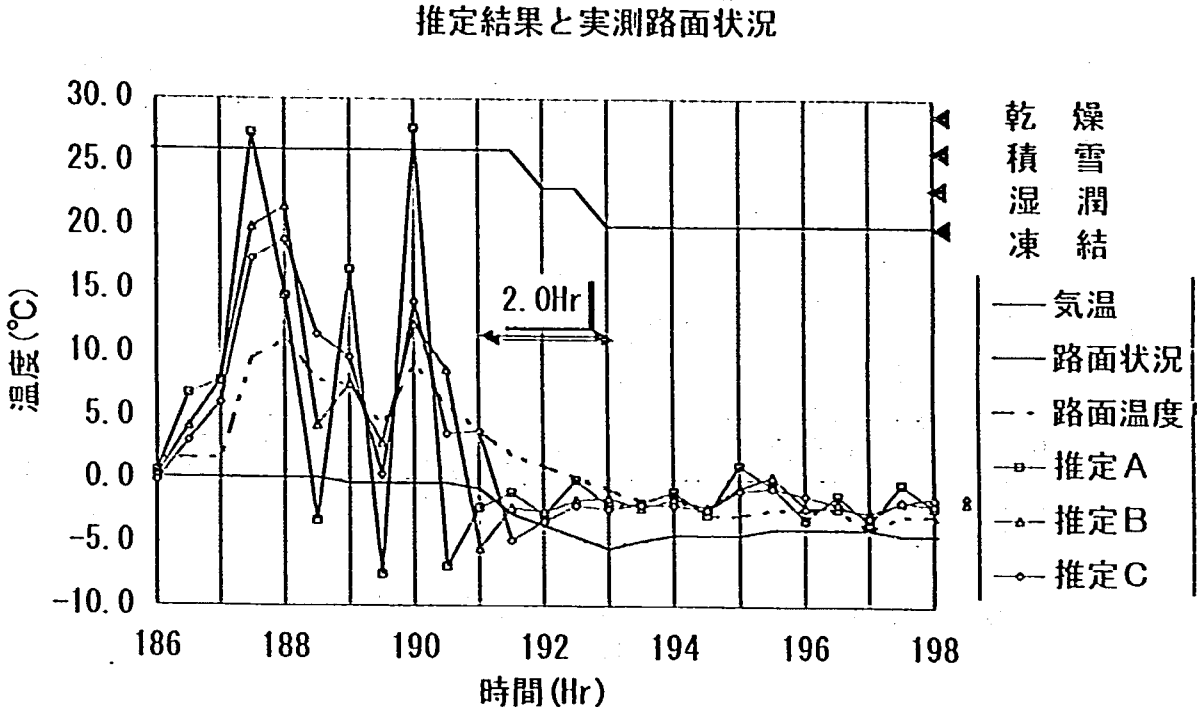


図表(4.1.2) 4-47　路面状況と実測データ（拡大図）

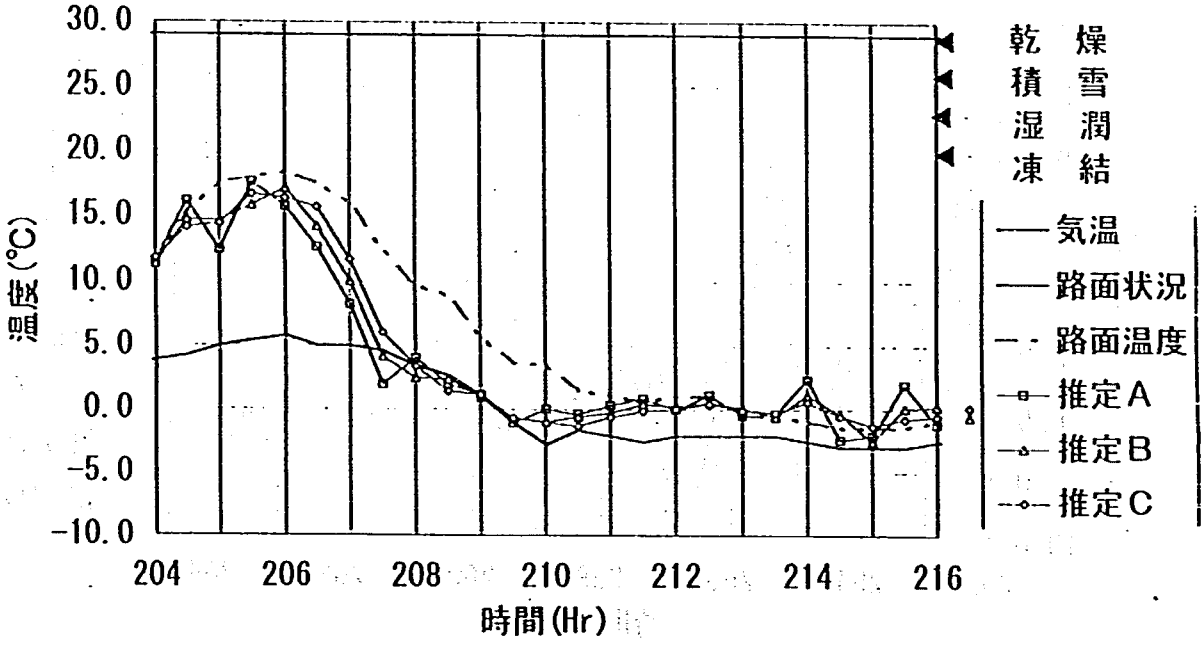


②簡易シミュレーション結果拡大図

図表(4.1.2) 4-48　シミュレーション結果（埋設深さ5cm：拡大図）

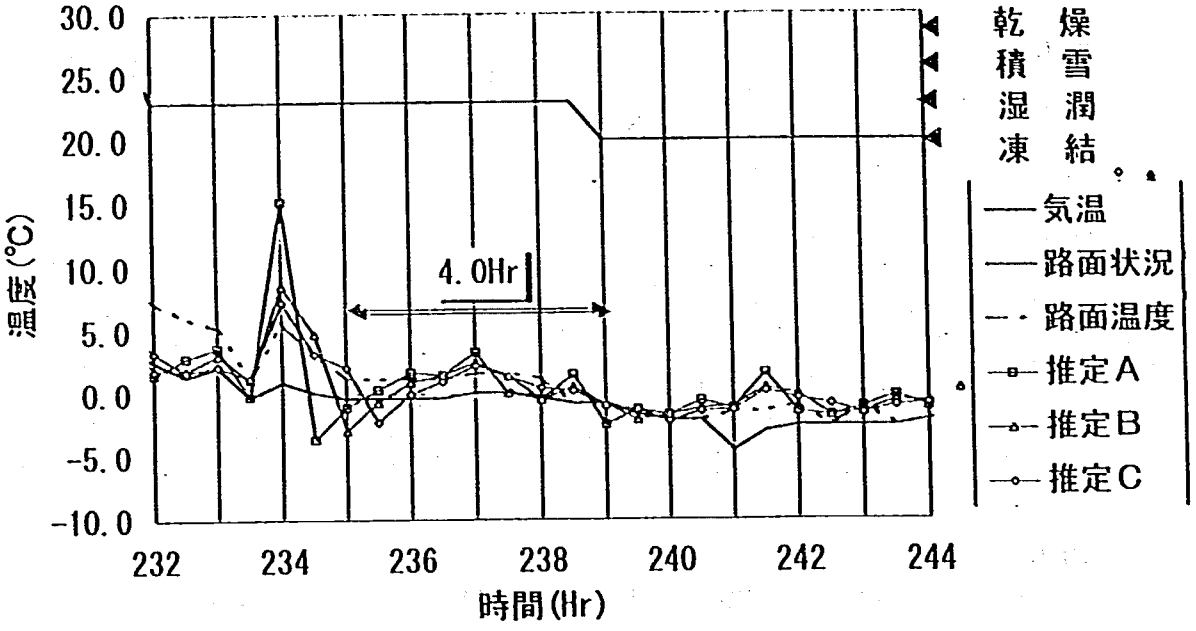


図表(4.1.2) 4-49　シミュレーション結果（埋設深さ3cm：拡大図）



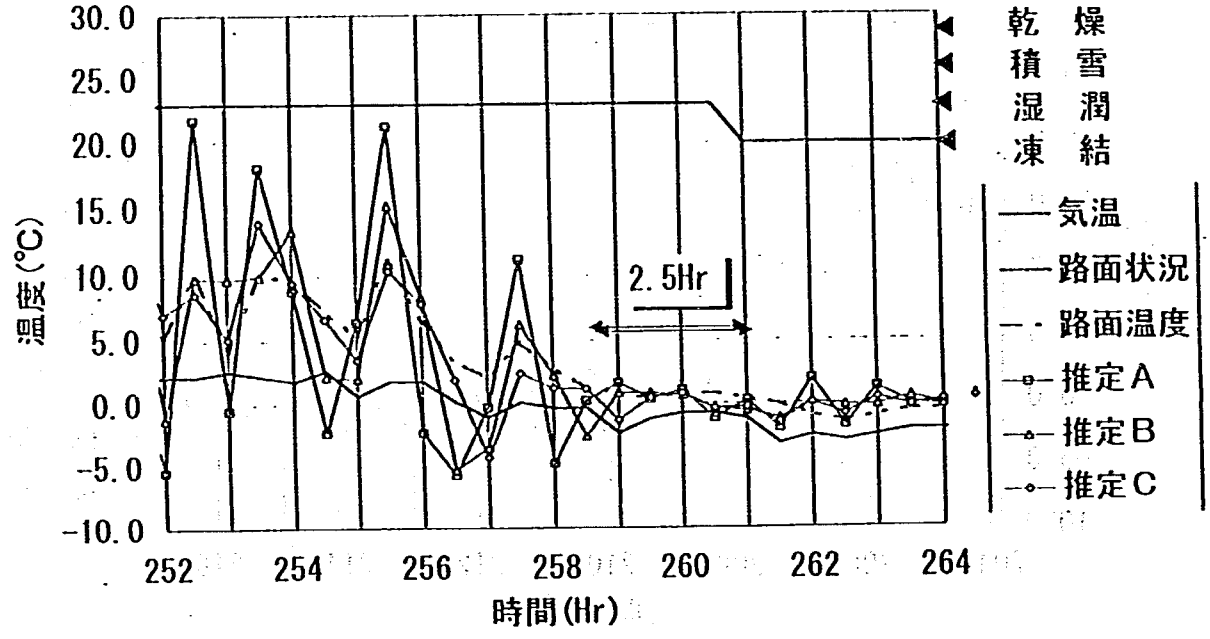
図表(4.1.2) 4-50　シミュレーション結果（埋設深さ3cm：拡大図）

推定結果と実測路面状況

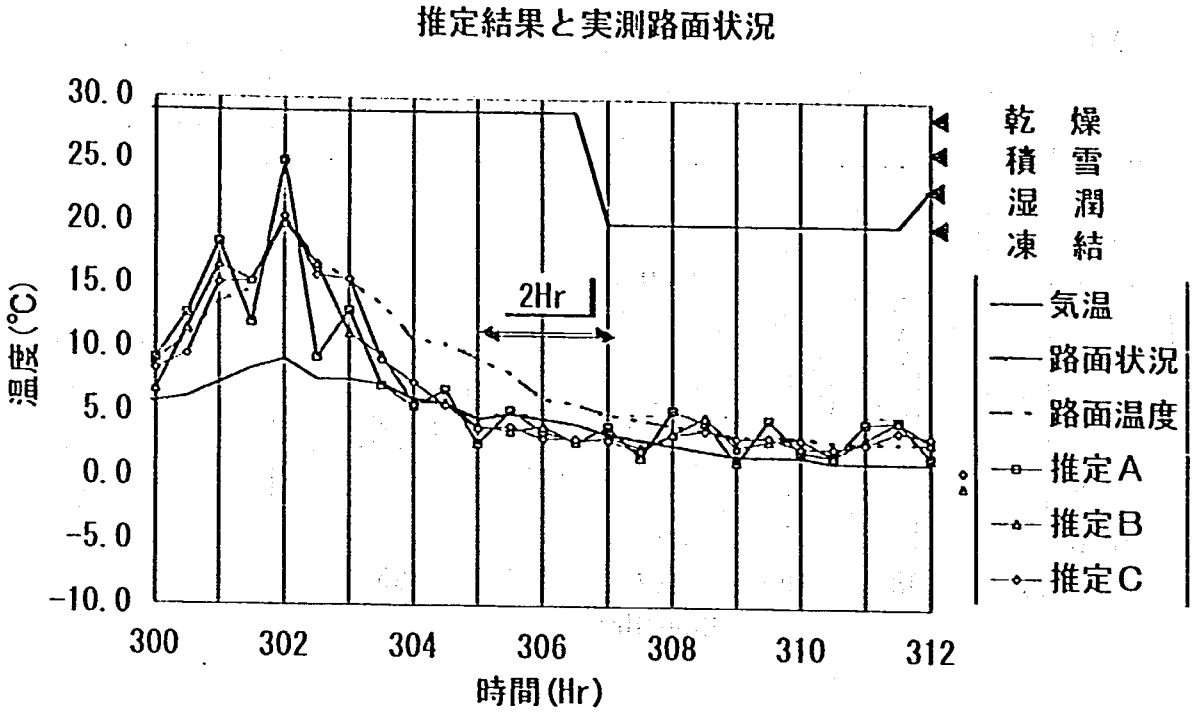


図表(4.1.2) 4-51　シミュレーション結果（埋設深さ3cm：拡大図）

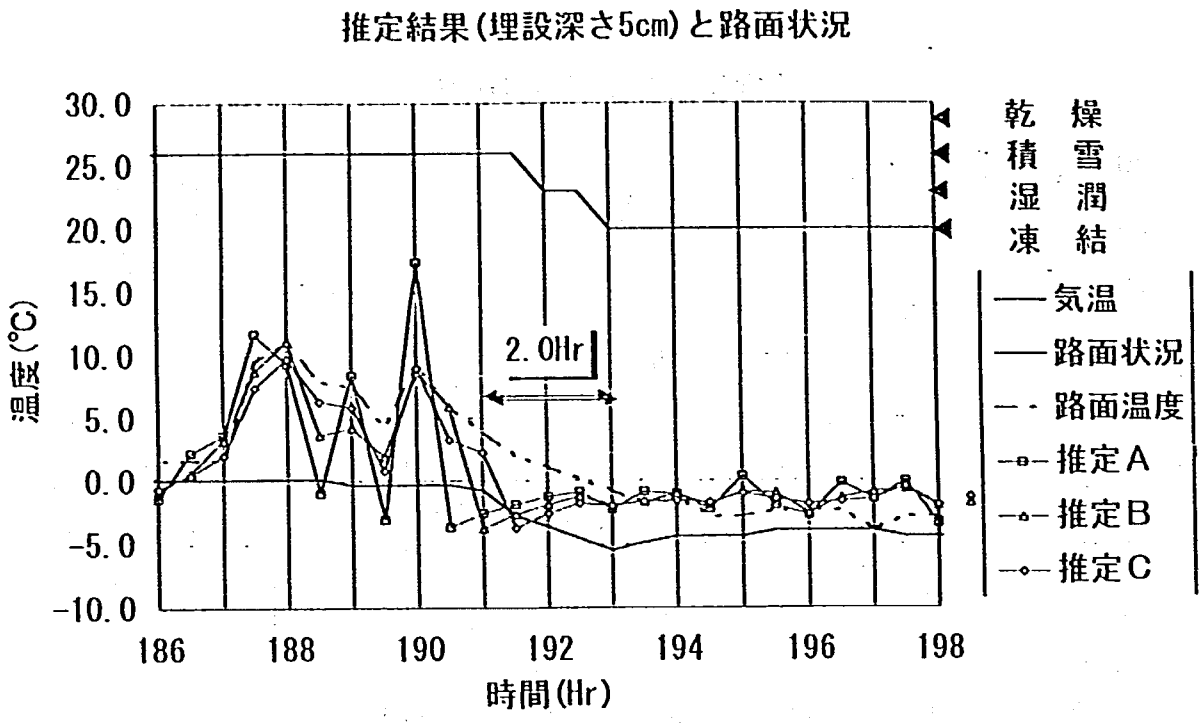
推定結果と実測路面状況



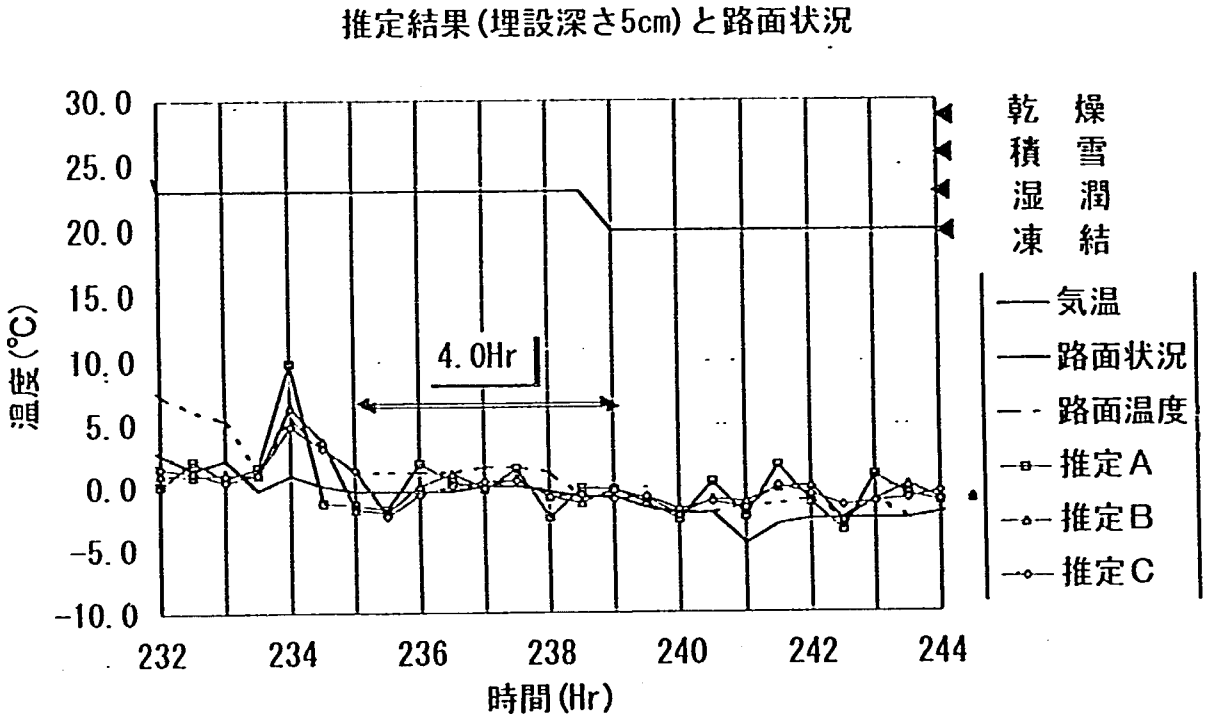
図表(4.1.2) 4-52　シミュレーション結果（埋設深さ3cm：拡大図）



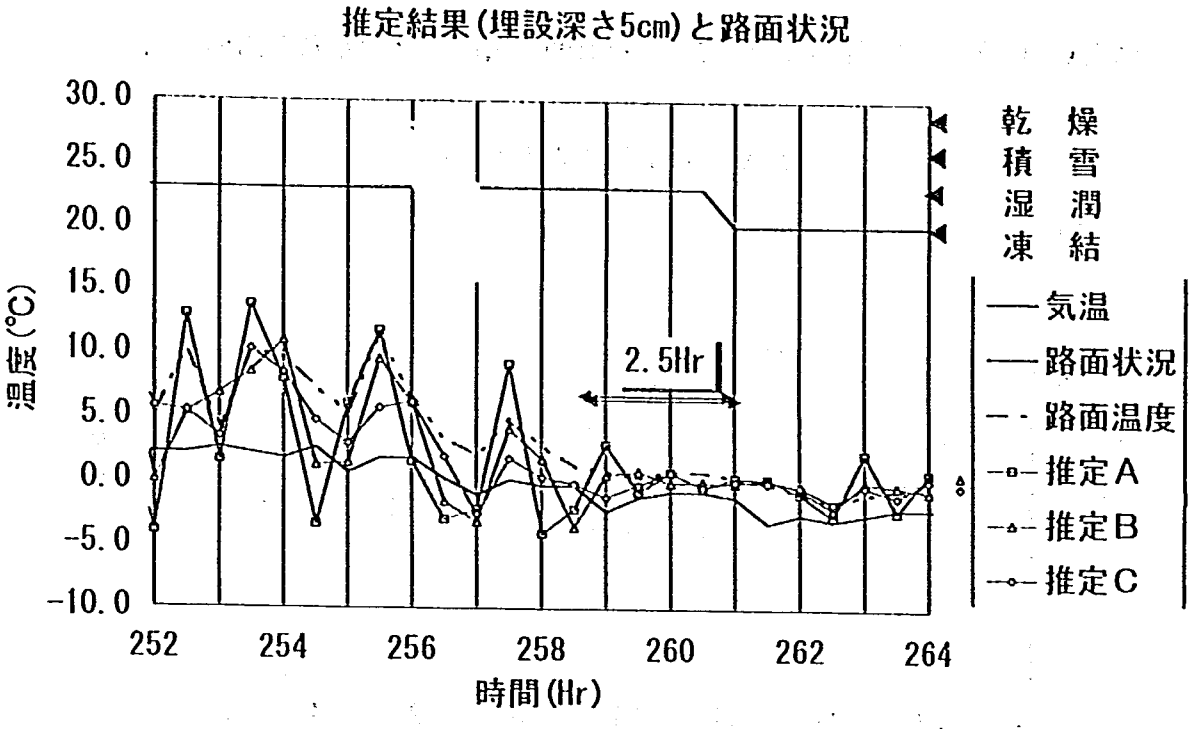
図表(4.1.2) 4-53　シミュレーション結果（埋設深さ3cm：拡大図）



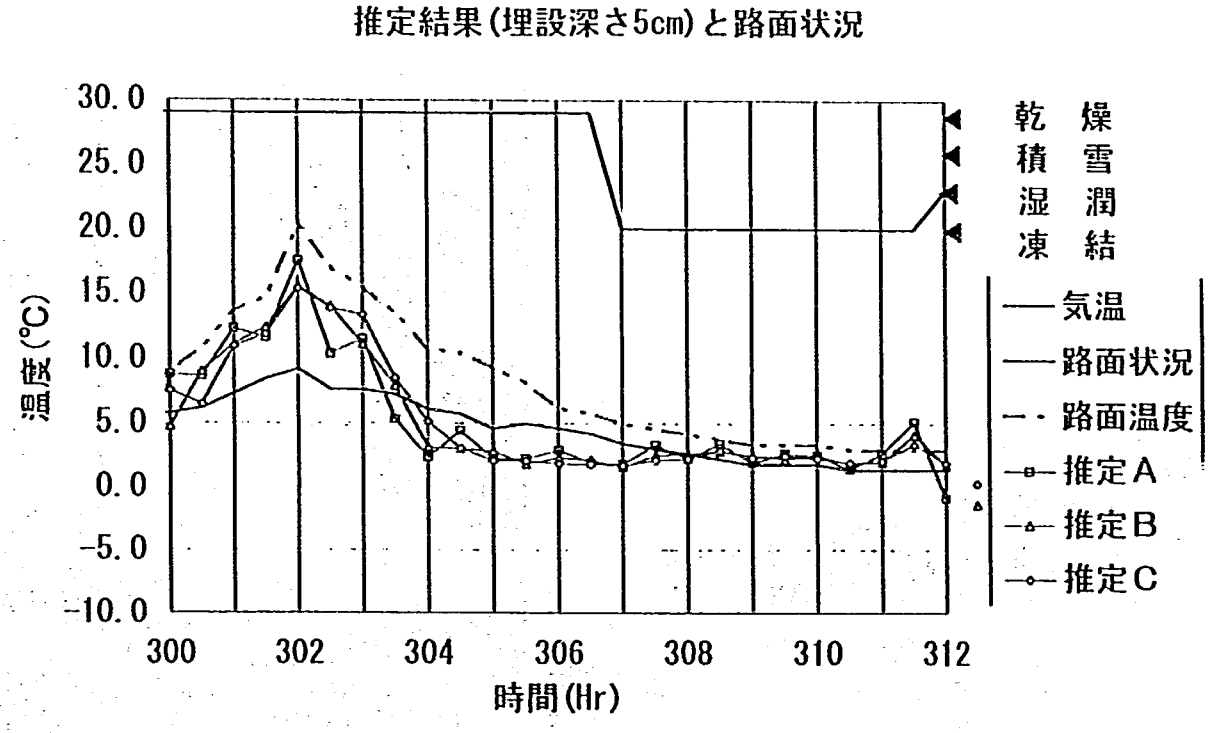
図表(4.1.2) 4-54　シミュレーション結果（埋設深さ5cm：拡大図）



図表(4.1.2) 4-55　シミュレーション結果（埋設深さ5cm：拡大図）

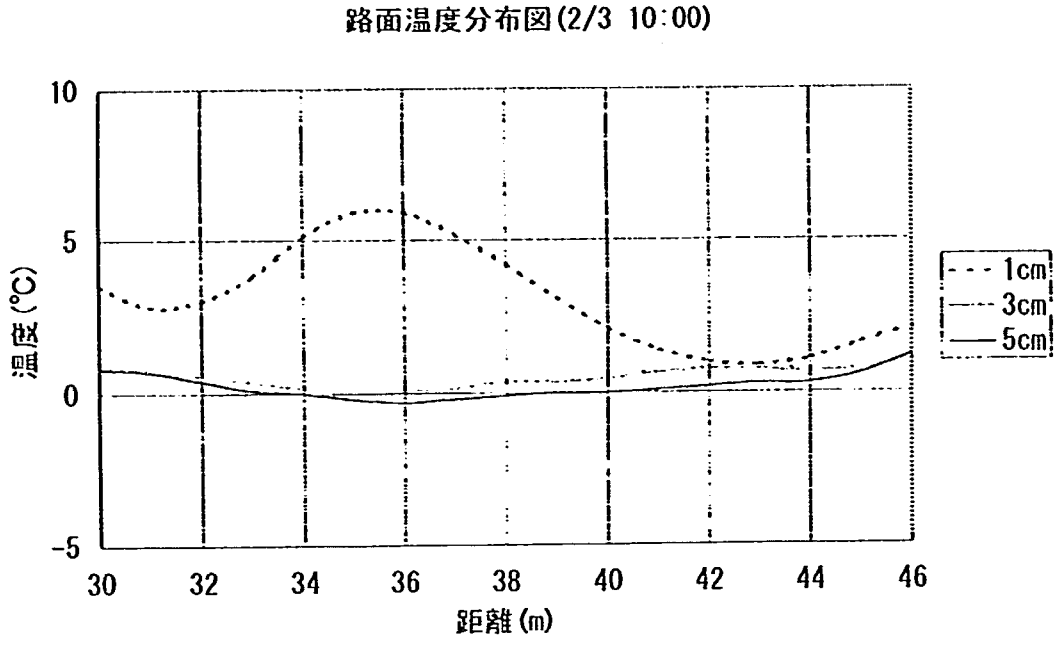


図表(4.1.2) 4-56　シミュレーション結果（埋設深さ5cm：拡大図）

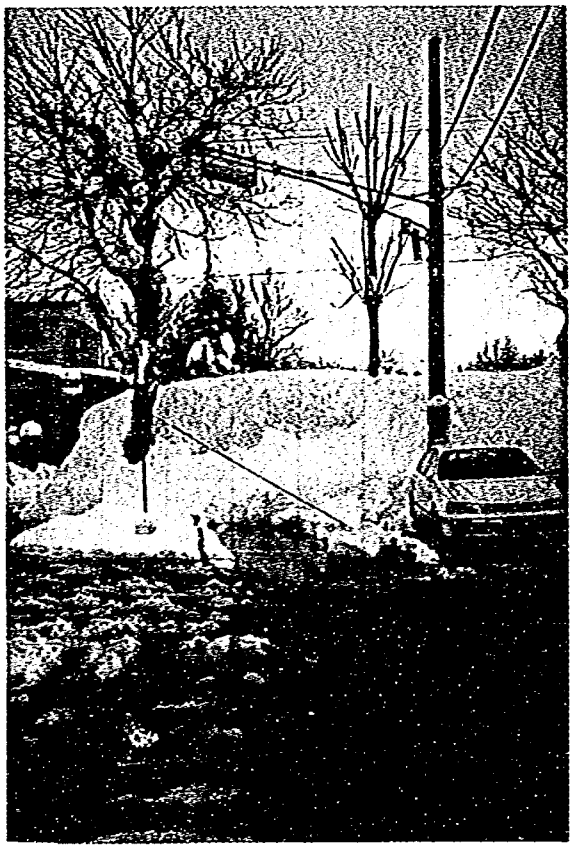


③新潟試験場構内における凍結検知実験状況

図表(4.1.2) 4-57　平成７年２月３日10:00　路面温度分布及び路面状況

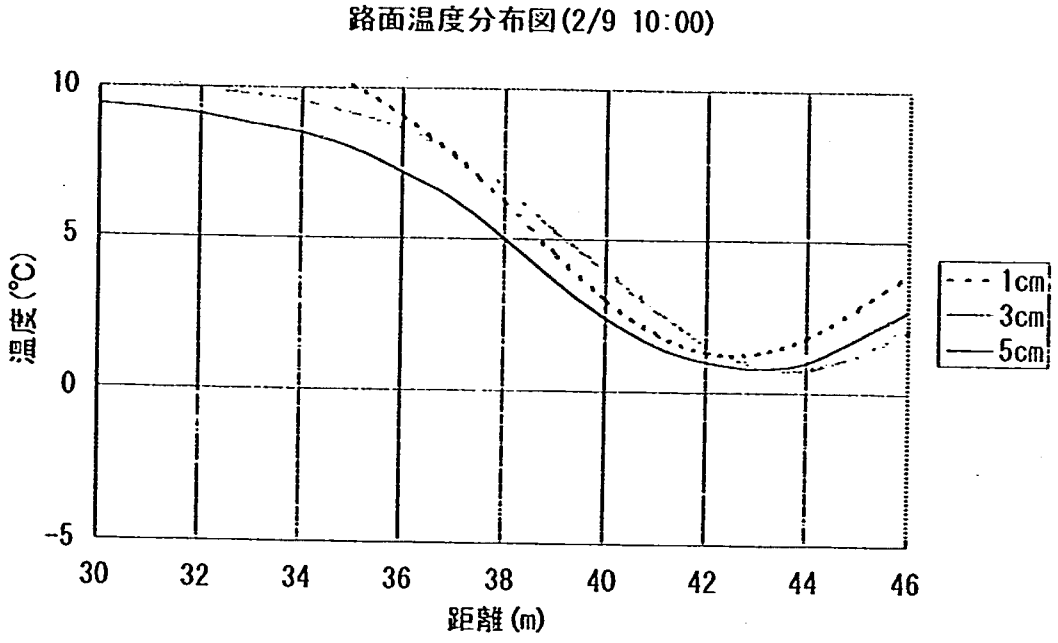






埋設１ｃｍ部は積雪無し、３ｃｍ、５ｃｍは積雪またはシャーベット状の雪有り

図表(4.1.2) 4-58　平成７年２月９日10:00　路面温度分布および路面状況

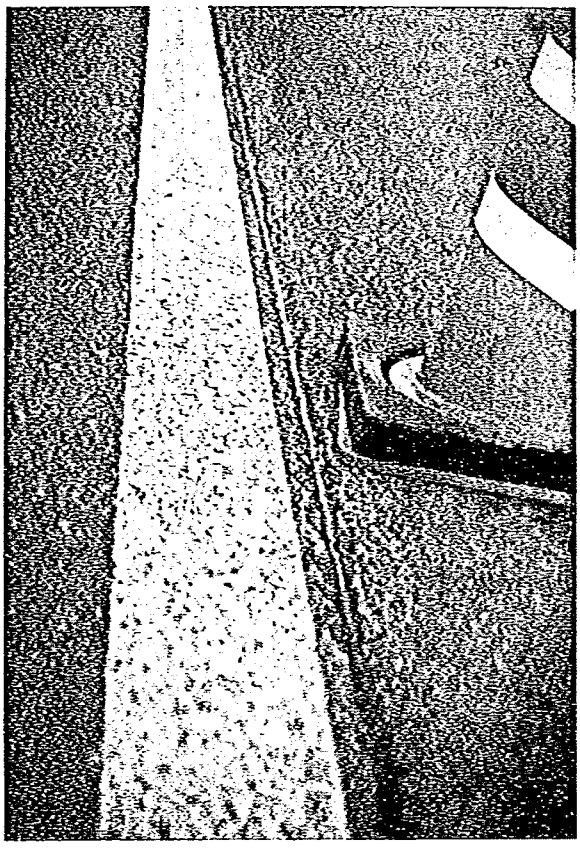


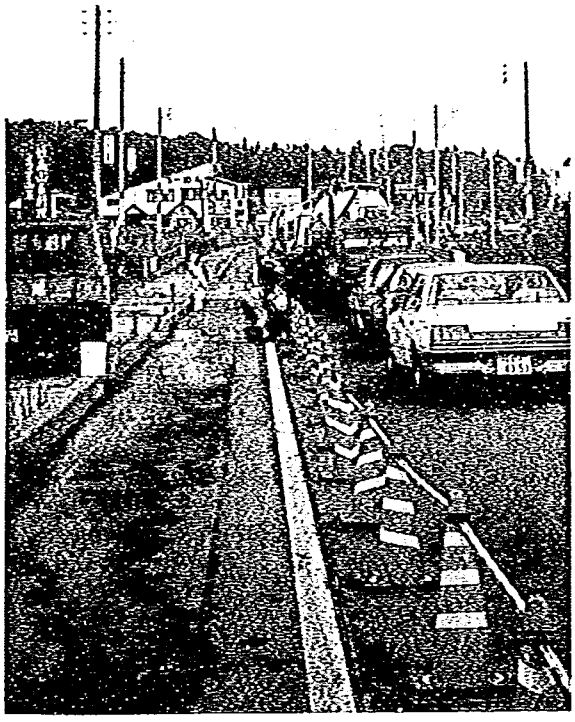


全面的に乾燥状態

④実道路における凍結検知実験状況（光ファイバセンサ埋設状況）

図表(4.1.2) 4-59　光ファイバセンサ埋設状況　図表(4.1.2) 4-60　光ファイバセンサ埋設状況（拡大図）





5）霧検知

（1）実験の目的

本実験は建設省土木研究所の施設において収集した映像を用い、ＩＴＶカメラによって霧の発生を検知する霧監視システムの可能性を検証し、カメラの種別、目標物、検出パラメータ、検知アルゴリズムを検討することを目的とする。

（2）実験場所

①映像データ収集

a)収集場所　　建設省土木研究所内　標識屋内実験施設
（茨城県つくば市）

b)実施日　　平成７年９月26日

②評価解析

a)解析場所　　参画メーカの各工場

b)実施日　　平成７年10月１日～平成８年３月20日

（3）実験方法

①実験項目

霧を模擬する実験設備を用いて霧の中の目標物をＶＴＲに録画し、そのＶＴＲを映像処理し、検出パラメータの定義を行う。

②実験方法

a)カメラ設置条件

図表(4.1.2) 5-1　カメラ設置条件

カメラ仕様 / 項目	カラー可視	モノクロ可視	赤外
カメラ高さ	５ｍ	５ｍ	５ｍ
焦点距離	８㎜	８㎜	１２．５㎜
撮影距離	２５ｍ	２５ｍ	２５ｍ

b)撮影条件

・目標物　：　①表示板

②コーン　12ヶ

③車両（白系統乗用車(２台)、黒系統乗用車(１台)）

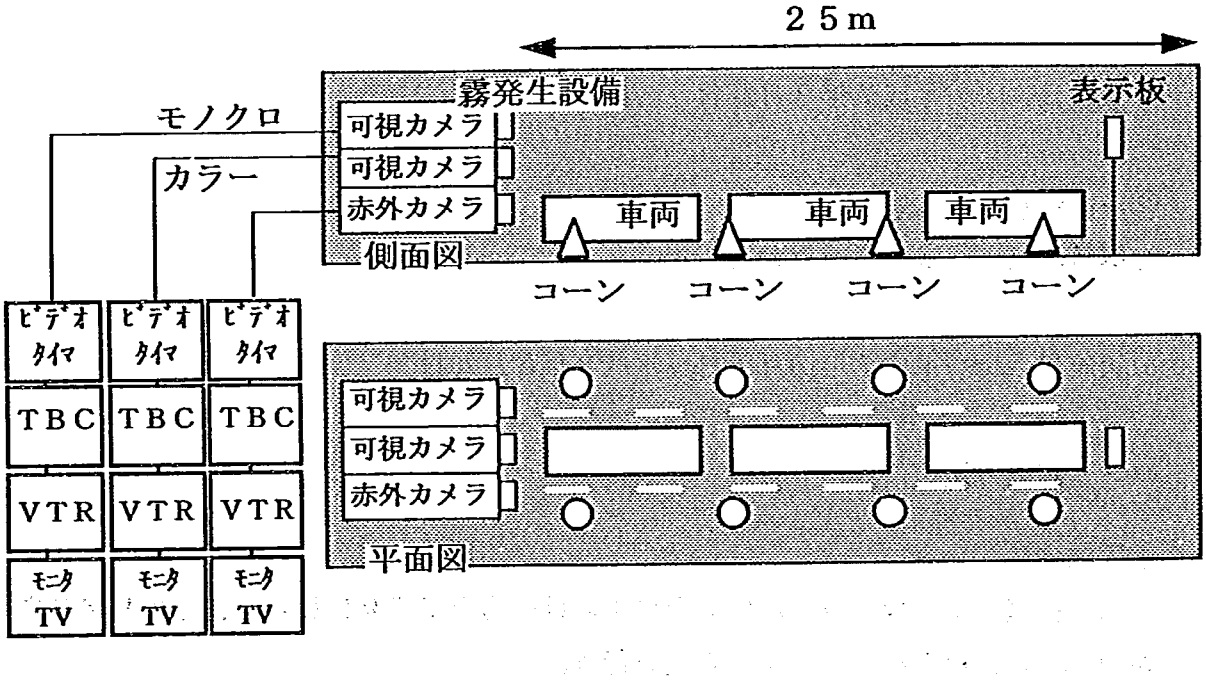
④道路線形（白線）

・霧濃度　：　０～100％に自然解消

※霧発生前を基準（透過率100％）とする。

③実験機器の構成

図表(4.1.2) 5-2　実験機器構成



④実験内容

実験１日目（'95.9.25 Mon.　13:00～17:00）

・映像収集物（目標物）の設置、及び映像収集機材の設置、動作確認

a)目標物の設置（目標物配置図参照）

・表示板の位置調整

カメラから25mの地点に表示板を設置。

・道路線形、白線引き

・コーンの配置

反射シールの取付られたコーンを、白線の外側に２m間隔と５m間隔に設置。

b)映像収集機材の設置、動作確認

各社、映像収集機材の設置、動作確認。

実験２日目（'95.9.26 Tue.　9:00～18:00）

照度、車の配置、台数を変更して６ケースの映像データを収集した。

実験３日目（'95.9.27 Wed.　9:00～12:00）

c)映像収集物（目標物）、及び映像収集機材の撤去

・目標物、及び映像収集機材の撤去を行い、設備を元の通りに戻す。（清掃）

（４）評価解析結果

図表(4.1.2) 5-3　カメラ種別ごとの検知可能性

カメラ種別 / 検出項目	可視カメラ		赤外カメラ
	カラー	モノクロ	
霧の直接検知	・ｴｯｼﾞ抽出、背景差分、ﾊﾟﾀｰﾝﾏｯﾁﾝｸﾞ手法等により霧の直接検知が可能。		・熱源を計測する為、可視カメラに比べ霧の影響を受けにくく、直接検知が困難。
目標物等の検知	・霧発生時（濃度が濃い）、目標物等の検知が困難		・熱源の有る目標物は、可視カメラに比べ検出しやすい。

①可視カラーカメラによる評価

a)評価項目

土木研究所内実験設備を用いて収集した映像を画像処理し、検出パラメータ、検知アルゴリズムの評価を行う。

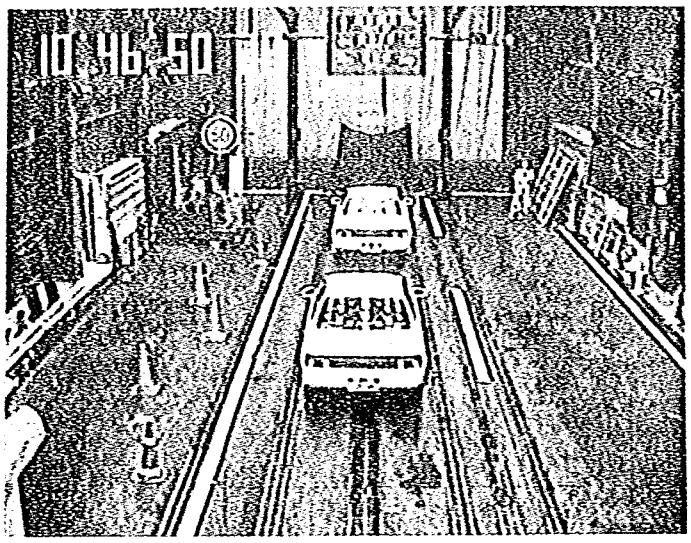
b)評価方法

下記の条件で撮影した映像を画像処理し、ＶＩ計の計測値と比較検証する。

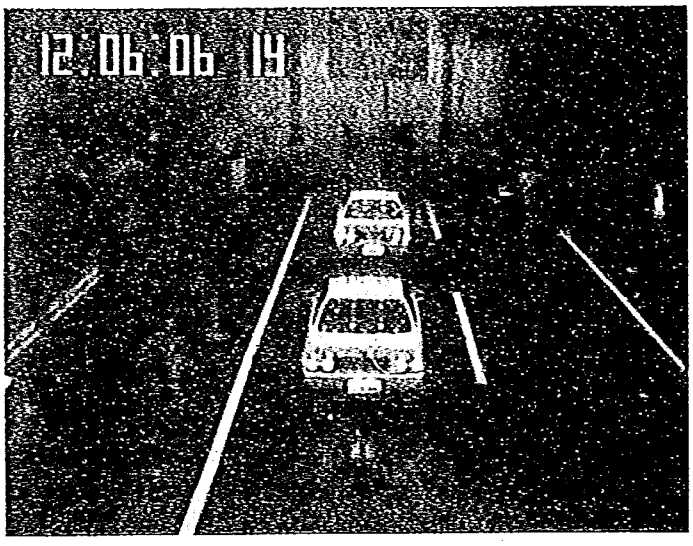
・昼相当の車両縦列テールランプ側の映像

・夜相当の車両縦列テールランプ側の映像

図表(4.1.2) 5-4　映像



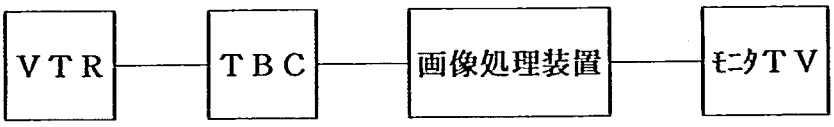
昼相当の映像



夜相当の映像

c)評価機器構成

図表(4.1.2) 5-5　評価機器の構成



d)処理方式

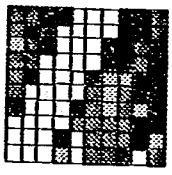
目標物を白線とし、画像処理領域をカメラからの距離10、15、20m地点の２m程度とする。霧なしの状態で画像処理領域内の濃淡パターンを登録、霧が発生している時の濃淡パターンと比較して登録パターンとの類似度をもとに、透過率を算出する。

・濃淡パターン登録

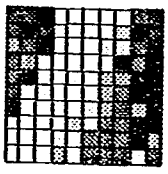
霧が発生していないときの濃淡パターンを登録。

一例を挙げると下図の様なパターンの登録が行われる。

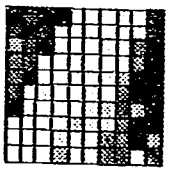
図表(4.1.2) 5-6　パターン登録例



２０m地点



１５m地点

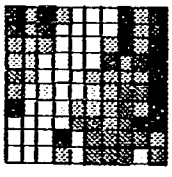


１０m地点

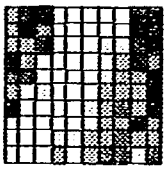
・類似度（相関値）

霧が発生してくると濃淡パターンに変化が起きる。霧が発生していない時の濃淡パターンと比較し類似度（相関値）を0.00～1.00の値で表わす。登録パターンと一致していれば1.00、全く一致していなければ0.00といった値が求まる。霧が発生してくると下図の様に濃淡パターンが変化する。

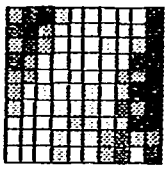
図表(4.1.2) 5-7　濃淡パターンの変化



２０m地点



１５m地点



１０m地点

e)評価結果

昼相当の評価結果

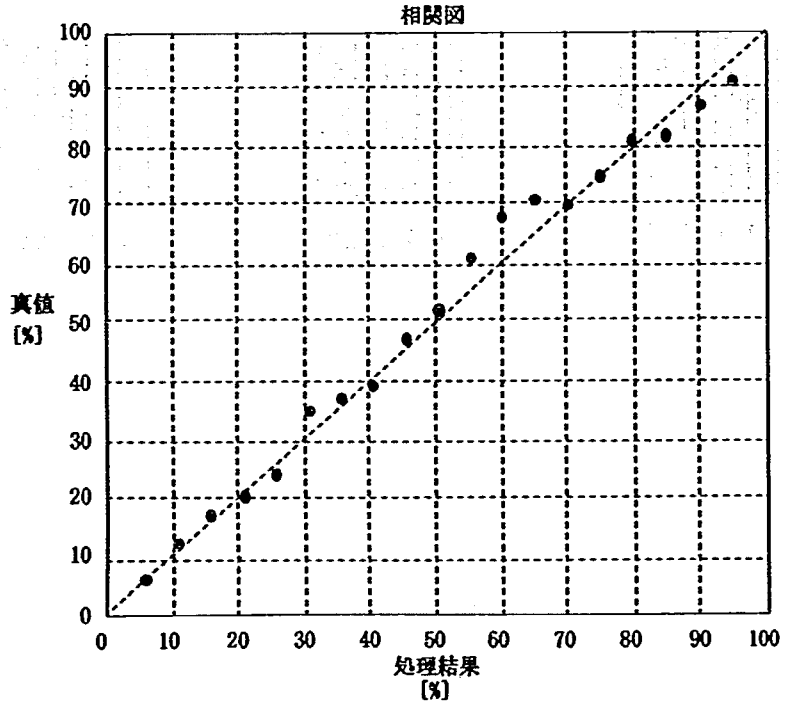
車の配置：車両縦列テールランプ側

照明条件：2400Lux

図表(4.1.2) 5-8　昼相当の評価結果

時刻	真値[%]	処理結果[%]	誤差	誤差率	備考
10時15分00秒	5	6	1	20.0	
10時17分20秒	10	12	2	20.0	
10時18分40秒	15	17	2	13.3	
10時19分25秒	20	20	0	0.0	
10時20分00秒	25	24	1	4.0	
10時20分57秒	30	35	5	16.7	
10時21分40秒	35	37	2	5.7	
10時22分15秒	40	39	1	2.5	
10時23分00秒	45	47	2	4.4	
10時23分42秒	50	52	2	4.0	
10時24分00秒	55	61	6	10.9	
10時24分30秒	60	68	8	13.3	
10時24分48秒	65	71	6	9.2	
10時25分06秒	70	70	0	0.0	
10時25分22秒	75	75	0	0.0	
10時25分43秒	80	81	1	1.3	
10時26分17秒	85	82	3	3.5	
10時29分55秒	90	87	3	3.3	
10時46分50秒	95	91	4	4.2	
平均			2.6	7.2	
標準偏差			2.3	6.6	
相関係数		0.993667			

図表(4.1.2) 5-9　昼相当の評価に関する相関図



夜相当の実験結果

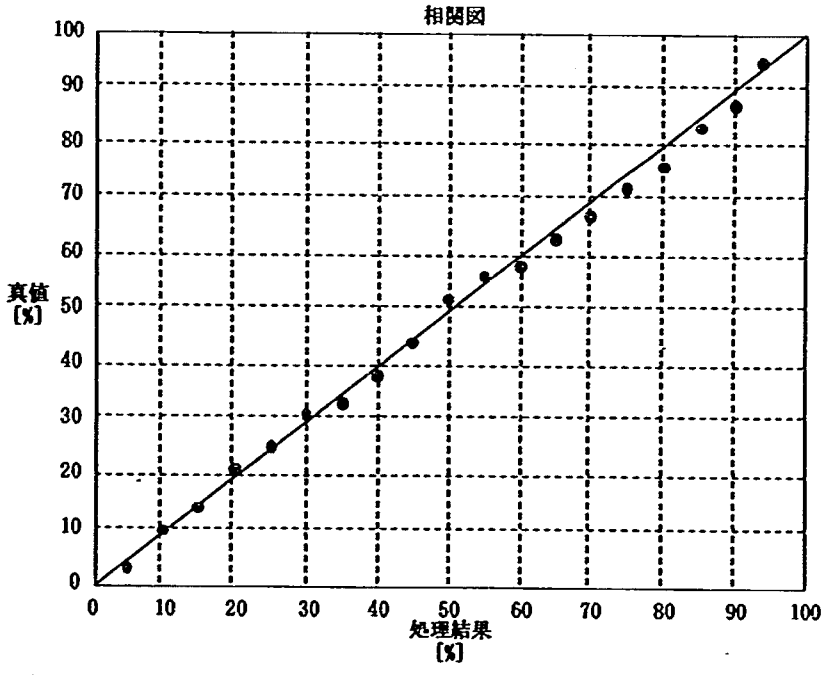
車の配置：車両縦列テールランプ側

照明条件：14Lux

図表(4.1.2) 5-10　夜相当の評価結果

時刻	真値[%]	処理結果[%]	誤差	誤差率	備考
11時19分38秒	5	4	1	20.0	
11時25分55秒	10	11	1	10.0	
11時27分17秒	15	15	0	0.0	
11時28分40秒	20	22	2	10.0	
11時29分57秒	25	26	1	4.0	
11時30分20秒	30	32	2	6.7	
11時32分40秒	35	34	1	2.9	
11時33分14秒	40	39	1	2.5	
11時33分53秒	45	45	0	0.0	
11時34分50秒	50	53	3	6.0	
11時35分02秒	55	57	2	3.6	
11時35分06秒	60	59	1	1.7	
11時35分23秒	65	64	1	1.5	
11時35分44秒	70	68	2	2.9	
11時36分00秒	75	73	2	2.7	
11時36分32秒	80	77	3	3.8	
11時39分17秒	85	84	1	1.2	
11時43分40秒	90	88	2	2.2	
12時06分06秒	94	96	2	2.1	
平均			1.5	4.4	
標準偏差			0.8	4.7	
相関係数		0.99828			

図表(4.1.2) 5-11　夜相当の評価に関す相関図



f)今後の課題

今回は、外乱の少ない実験設備での映像を画像処理し、透過率を計測する画像処理方式評価解析を行った。しかし、フィールドでは、影、車両他による目標物の隠蔽等外乱が発生するため、フィールドで長期間の評価解析を行い、目標物の選定、霧監視システムの出力項目等を検討する必要があると考える。

②可視白黒カメラによる評価

a)カメラ条件

・焦点距離８ミリ

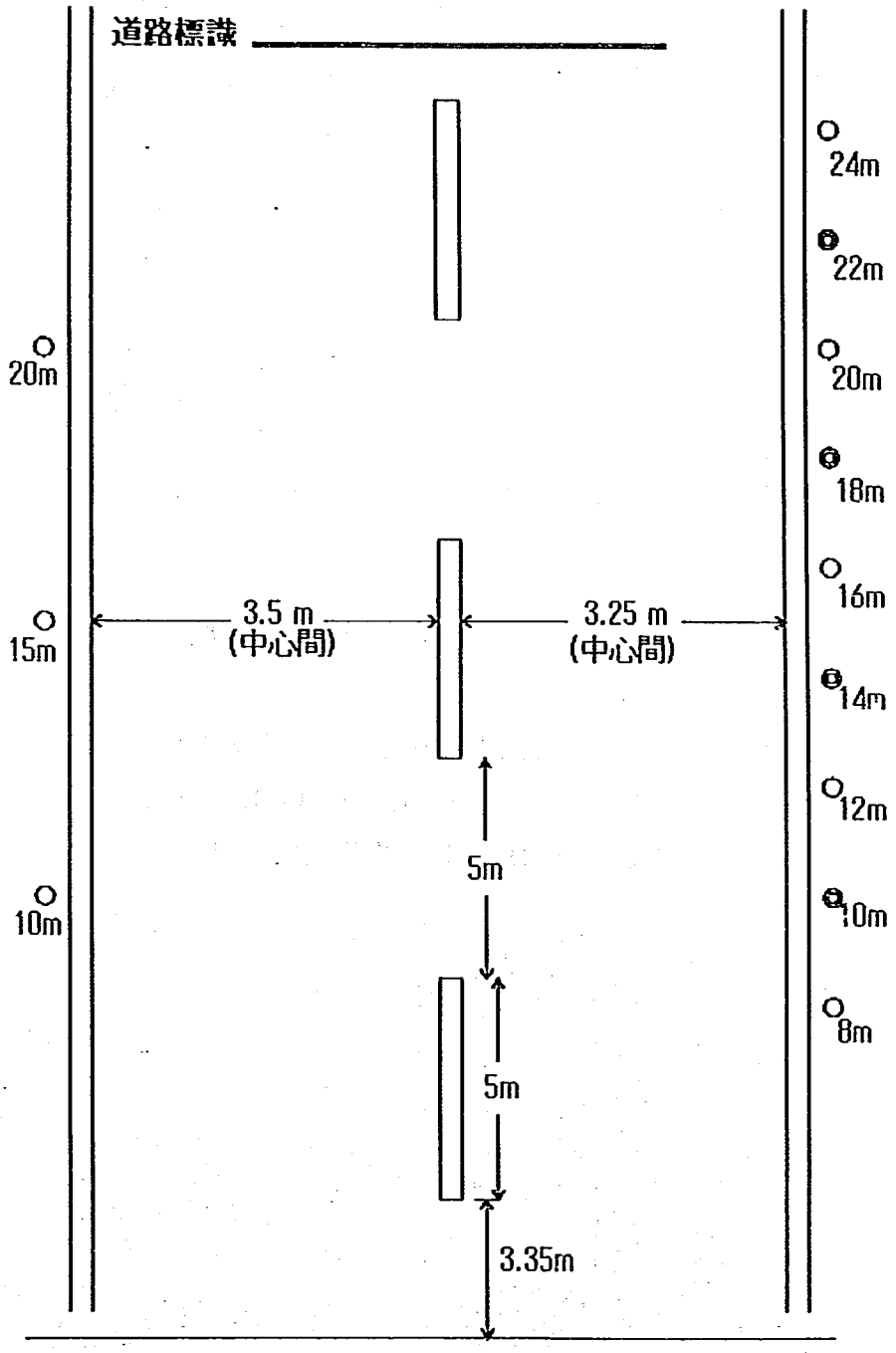
・1/2インチＣＣＤモノクロカメラ

・左側車線上高さ５mに設置

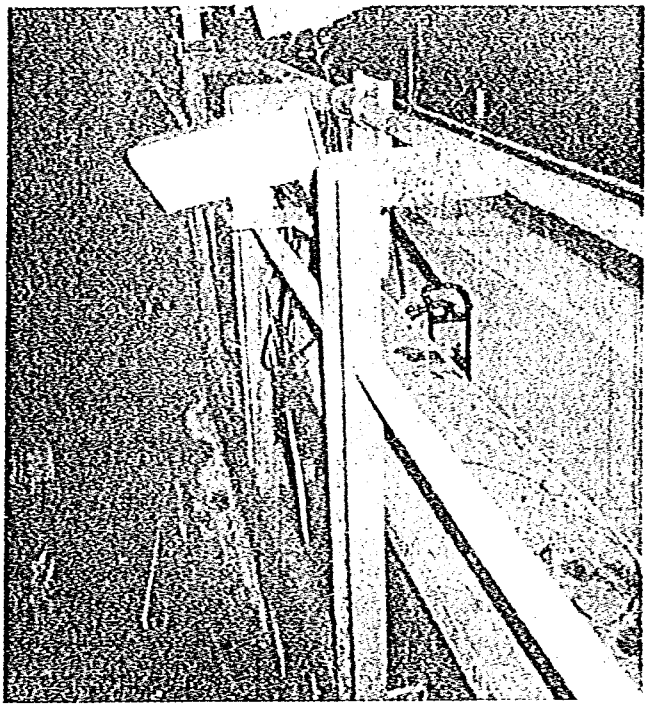
b)カメラ設置状況

目標物の位置関係やカメラの設置状況を、図表(4.1.2) 5-12、図表(4.1.2) 5-13、図表(4.1.2) 5-14に示す。

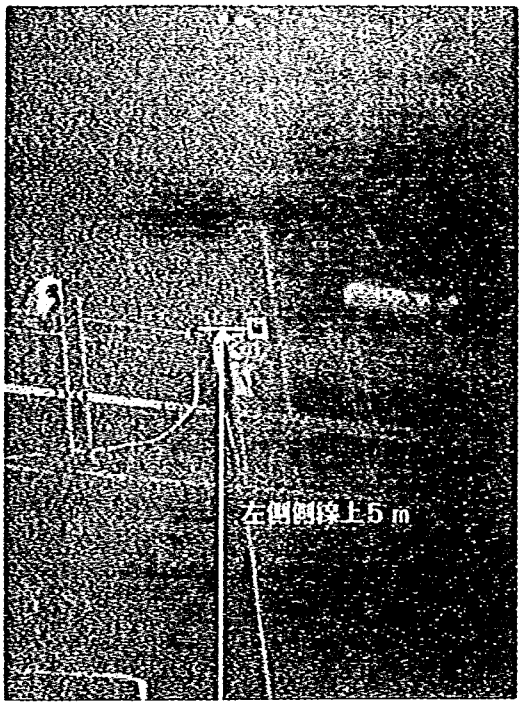
図表(4.1.2) 5-12　設置物等位置関係



図表(4.1.2) 5-13　カメラ設置状況(1)



図表(4.1.2) 5-14　カメラ設置状況(2)



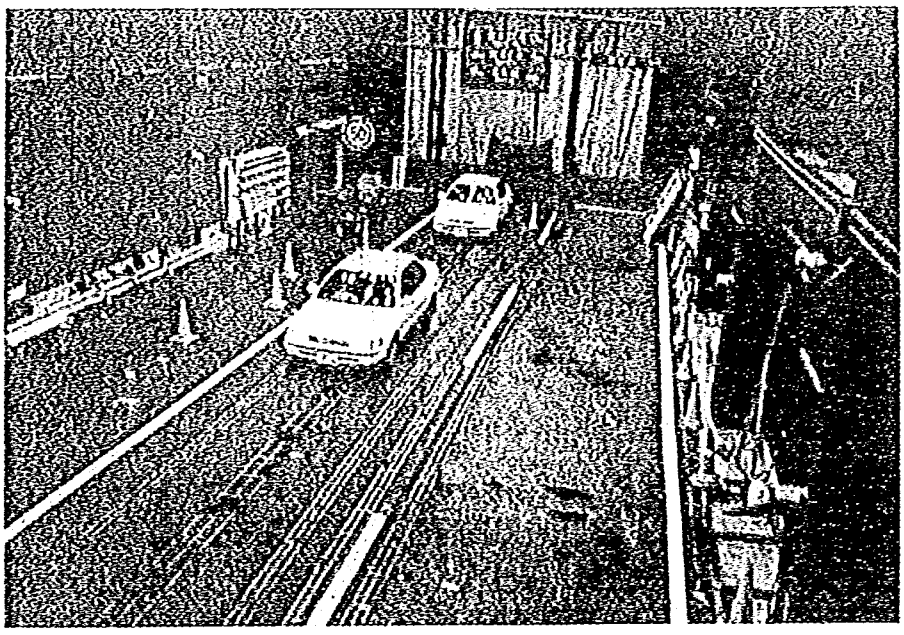
c)評価データ

計測アルゴリズムの検討にあたっては、主として昼間相当のデータ（霧の無い状態で2400Lux）を用いて実施した。

このデータにおける、経過時間と透過率データとの関係を添付資料－Ⅰに示す。

また撮像実験状況を図表(4.1.2) 5-15、図表(4.1.2) 5-16に示す。

図表(4.1.2) 5-15　撮像実験状況(1)



図表(4.1.2) 5-16　撮像実験状況(2)



d)画像処理の基礎検討

基礎検討を以下のステップで実施した。

・目視による検討

・計測手法の検討

ア)目視による検討

ＶＴＲを目視確認し、以下の条件に着目して処理目標物を選定した。

・霧発生による輝度変化が比較的顕著な地点。

・目標物とその背景が安定したコントラストを持っている目標物。

－通常時のコントラストが安定していれば、コントラストが低下した場合その変化がつかみやすい。

イ)計測手法の検討

・有効な目標物や場所をある程度絞り込むため、断面輝度やヒストグラムのデータを採取する。

・ある程度の効果が予測されそうな場面のサンプル映像を対象に、幾つかの基礎的処理手法によって処理を施し、その結果が有効であるかの検証を実施する。

これらのサンプルを処理した結果より、検証実験では「エッジの検出量」と「背景差分」の処理手法を用いて霧検知を試みた。

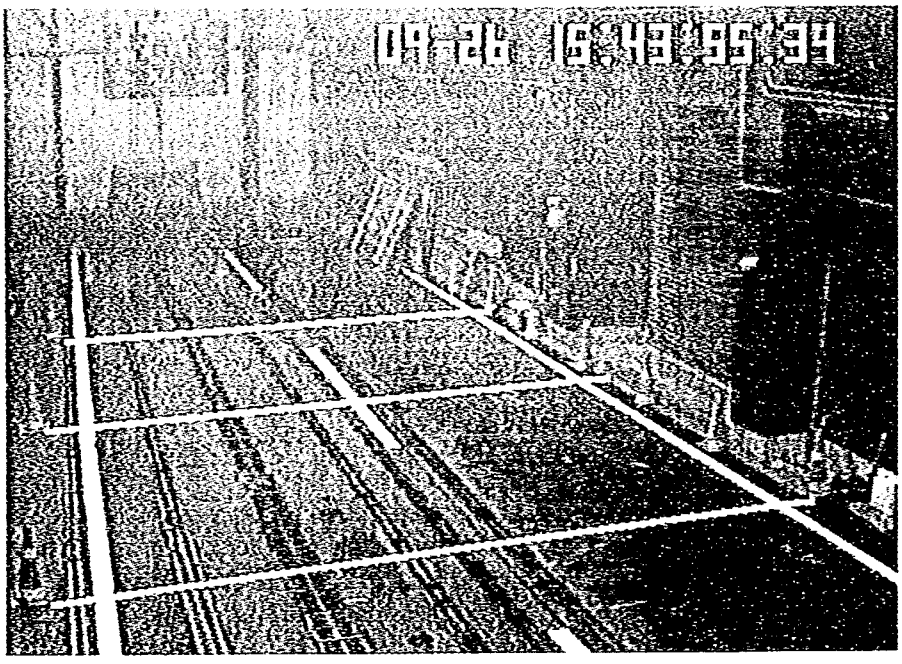
e)計測方式検討結果

7)基礎検討結果

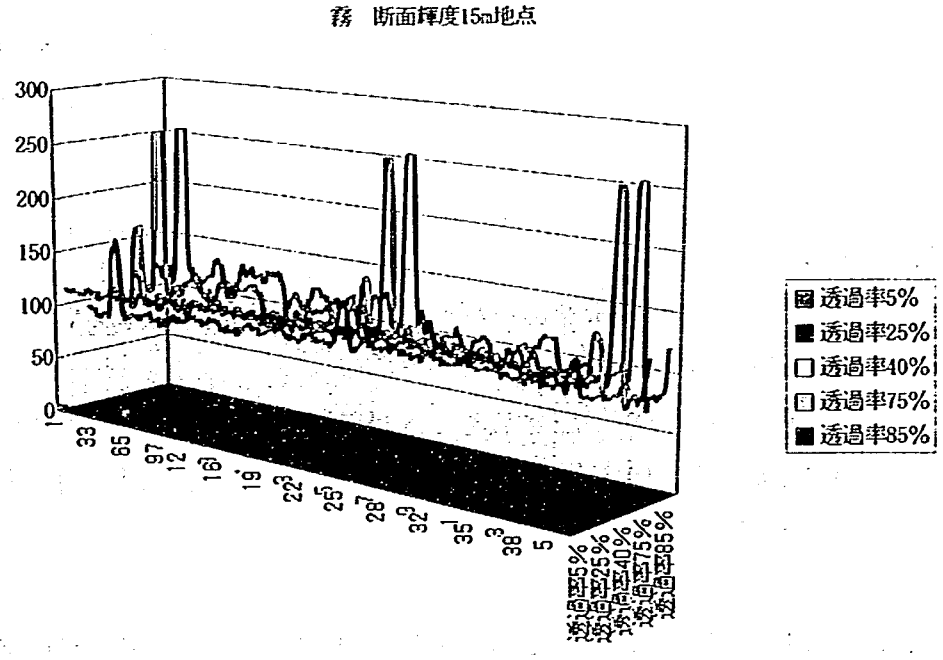
・カメラより、10m, 15m, 20m地点ラインの断面輝度値（図表(4.1.2) 5-17）のヒストグラムを透過率５％毎に求めた。

（図表(4.1.2) 5-18は15mのもの）

図表(4.1.2) 5-17　輝度値計測断面



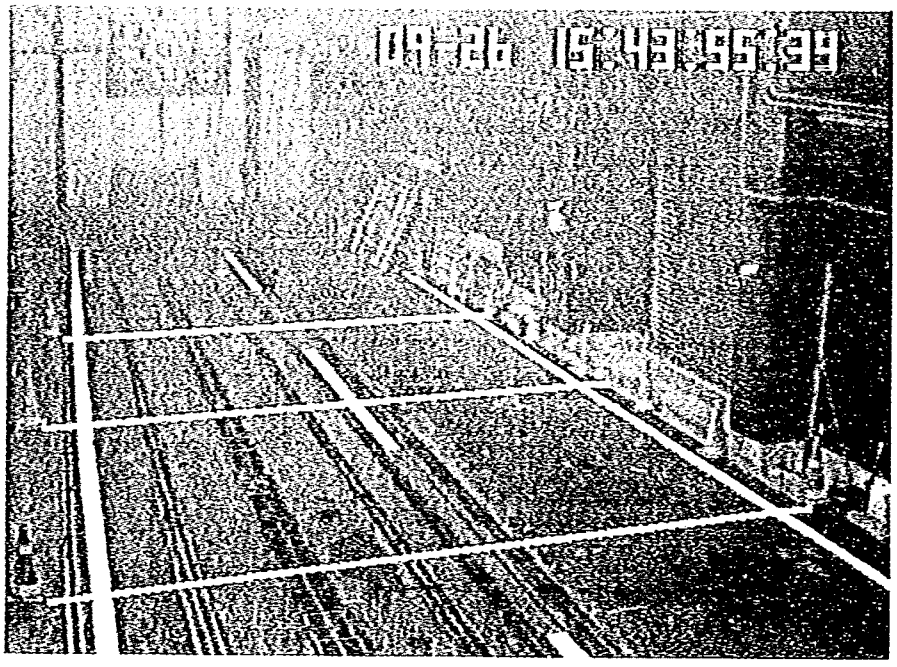
図表(4.1.2) 5-18　断面輝度値ヒストグラム



・10m, 15m, 20m地点の左側の側線を適当な範囲（図表(4.1.2) 5-19）で区切り、その範囲内の輝度値のヒストグラムを透過率毎に求めた。

（図表(4.1.2) 5-20は15mのもの）

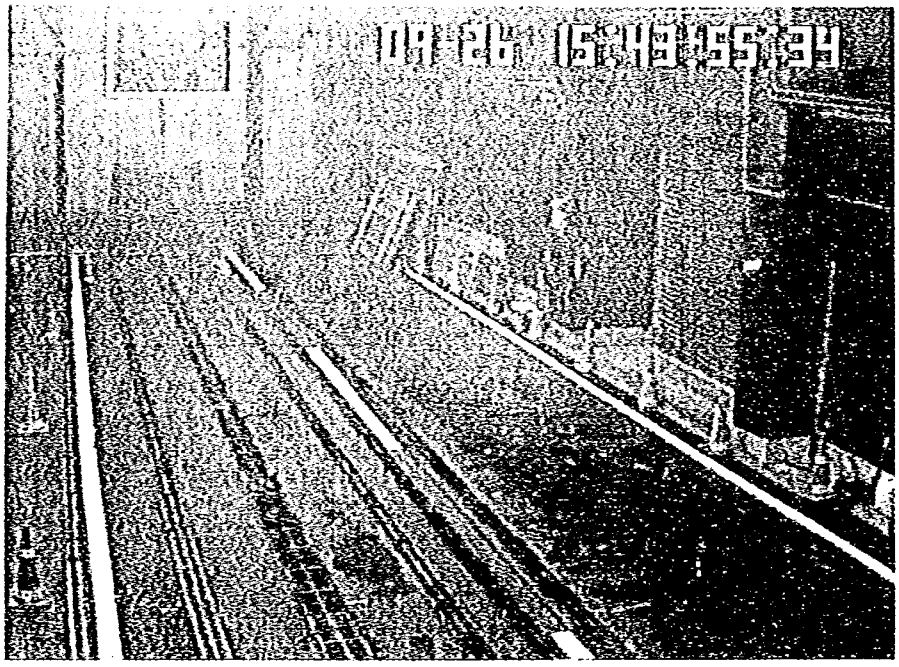
図表(4.1.2) 5-19　側線の輝度計測範囲



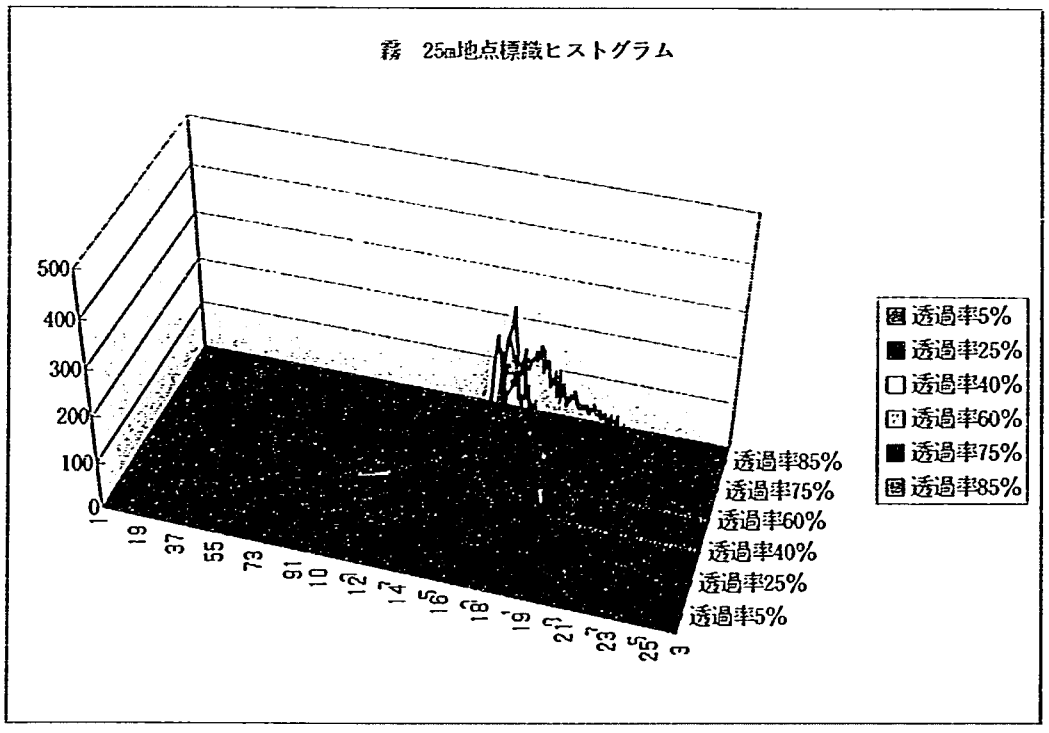
図表(4.1.2) 5-20　側線部分の輝度値

・25m地点にある道路標識（図表(4.1.2) 5-21）を囲った範囲の輝度値のヒストグラムを求めた。（図表(4.1.2) 5-22）

図表(4.1.2) 5-21　輝度値を計測した標識



図表(4.1.2) 5-22　標識部分の輝度値



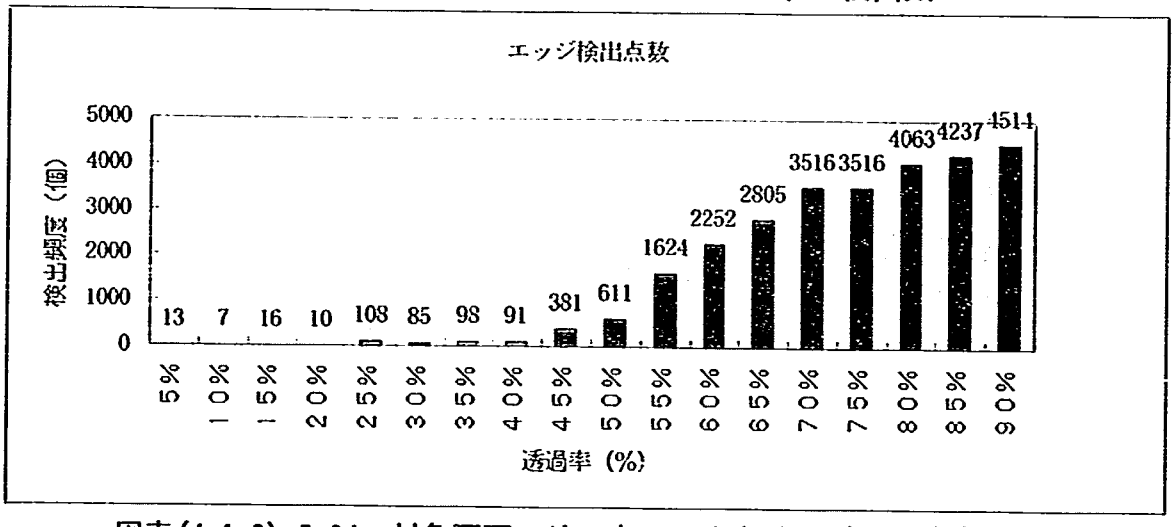
イ)各種処理手法による試行結果

・エッジ検出による計測

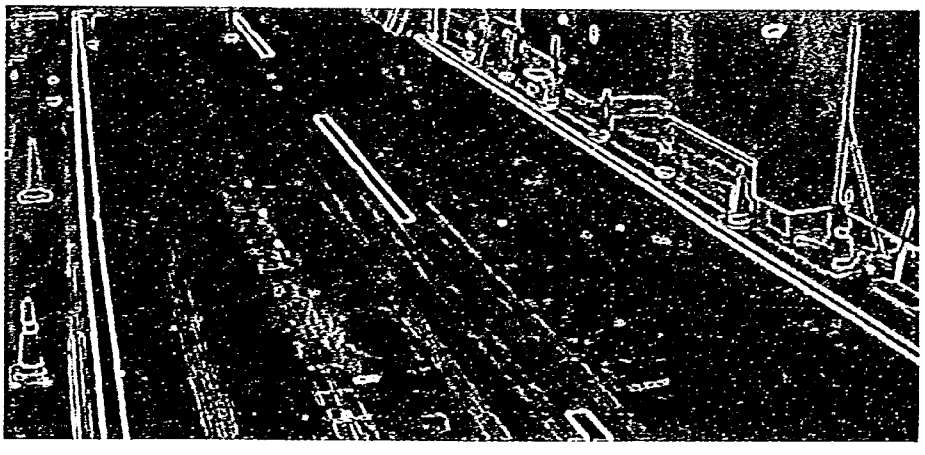
カメラから目標物（地点）までの大気の混濁によりコントラストが低下し、そのためエッジ（輝度の変化点）が減少することが予想された。実際に、ほぼ予想通りの結果が得られ、透過率の低下と正の相関関係があることが分かった。

エッジを抽出する際、透過率がある程度低下すると、エッジを検出することが出来なくなる。これらのことから、エッジ検出できなくなる透過率（目標物や閾値などの条件によって変わる）までこの手法は有効である。（図表(4.1.2) 5-23、図表(4.1.2) 5-24）

図表(4.1.2) 5-23　対象画面エリアのエッジ検出数



図表(4.1.2) 5-24　対象画面エリアをフィルタリングした映像の例



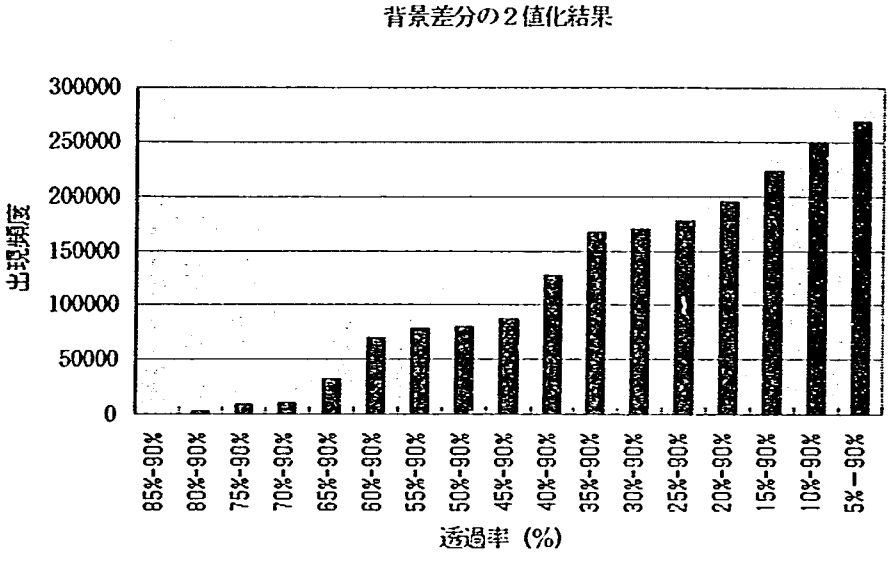
・背景差分による処理

基準となる画面と、他の画面との差分をとることにより霧による変化を抽出し、適当な閾値で２値化して抽出した変化量の増減によってばい煙の有無が判断できると予想した。

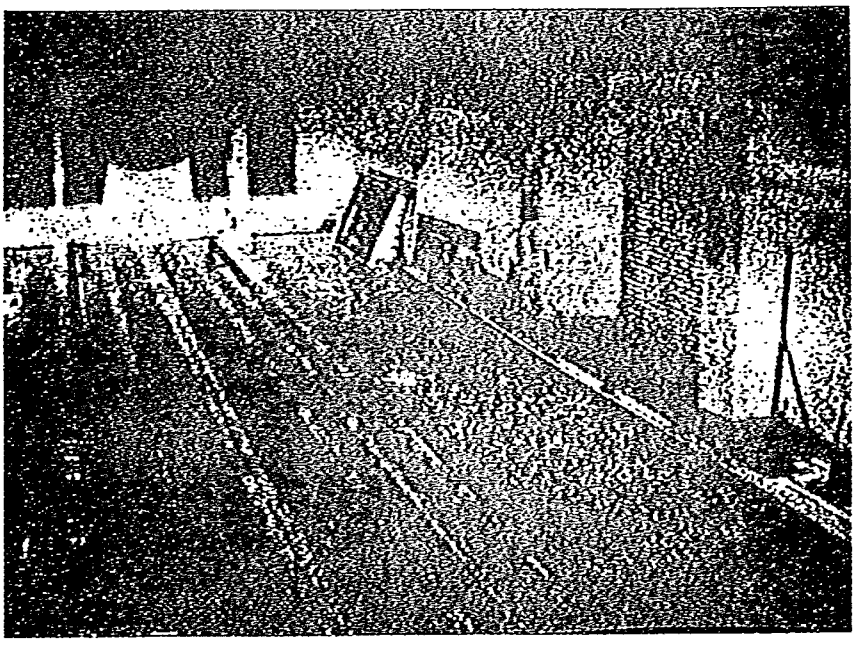
今回の検証では、透過率95％の映像を基準とし、その他の90％～５％までの画像との間で差分をとった。

結果、透過率の減少に伴って差分量も一様ではないが、増加する傾向がみられた。（図表(4.1.2) 5-25、図表(4.1.2) 5-26）

図表(4.1.2) 5-25　差分後２値化した結果



図表(4.1.2) 5-26　差分後２値化した映像



f)考　察

ア)エッジ検出量による処理

今回のデータの範囲では、エッジ検出量と透過率との間には正の相関関係の傾向があった。そこで透過率と目標物の検出エッジの相関関係を事前に解析し、適当な閾値を決定すれば、霧を検知することは可能であると考えられる。そのための前提条件として、以下２点の課題を別途検討する必要がある。

・環境の変化に追従するアルゴリズムの開発が必要である。

・定量評価の行いやすい条件の目標物を設定する必要がある。

イ)背景差分による霧検出

今回の実験の条件では、霧発生している画面から基準画面の差分を求めれることによって、霧の発生状況を大まかに知ることは可能であった。但し、今後以下のような課題の検討が別途必要である。

・基準となる映像をどの様なものにするか

・霧による変化と、その他の計測環境の変動による変化の分離

・２値化する閾値の決定方法

g)今後の方針

前述の通り、エッジ検出量による処理がリアルタイム処理に適していると考え、この方式を実処理できるようにする。

この機能を用いて次年度は実映像で画像処理する計画である。

③赤外線ｶﾒﾗによる評価

a)実験方法

ア)実験項目

・カラー及びモノクロカメラに対して、赤外線カメラの優位性を検討する為に、以下の実験を行った。

・可視カメラ（カラー／モノクロ）、赤外線カメラ、以上３台のカメラで撮影を行った。

・可視カメラ（カラー／モノクロ）、赤外線カメラ、以上３台の録画映像の比較を行った。

・可視カメラ（カラー／モノクロ）、赤外線カメラ、以上３台の微分画像(*1)の比較を行った。

・比較の為の対象物として、映像中の車と人及び側線を選択した。

*1. 一般的な空間微分処理

イ)実験内容

・カメラ設置条件

高さ…左側.側線上５ｍに設置
仕様…赤外線カメラ（ＩＲ－300)
視野角…水平：28°、垂直：22°（１／２インチ、ｆ：12.5㎜相当）

・撮影条件

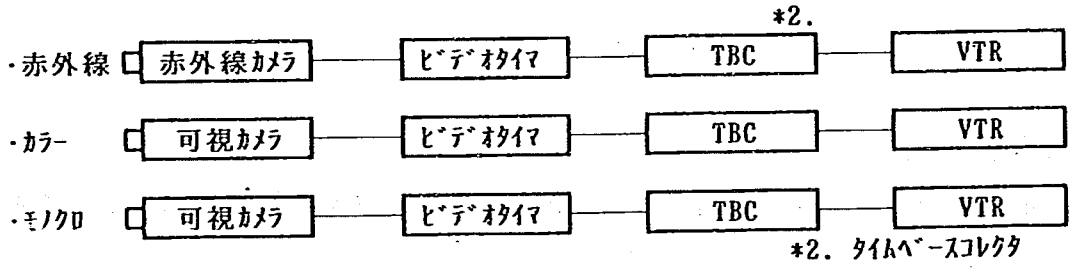
目標物　・道路線形(白線)
・カラーコーン(反射シール取付けのカラーコーンを白線の外側へ
左：５ｍ間隔、　右：２ｍ間隔で設置。)
・車両…乗用車２台（白系統）、１台（灰色系統）
・表示板（カメラ位置から25m地点）
・人間（ライト保持）

濃度　・０～100％（透過率）迄自然解消
※霧発生前を基準（透過率100％）とする。

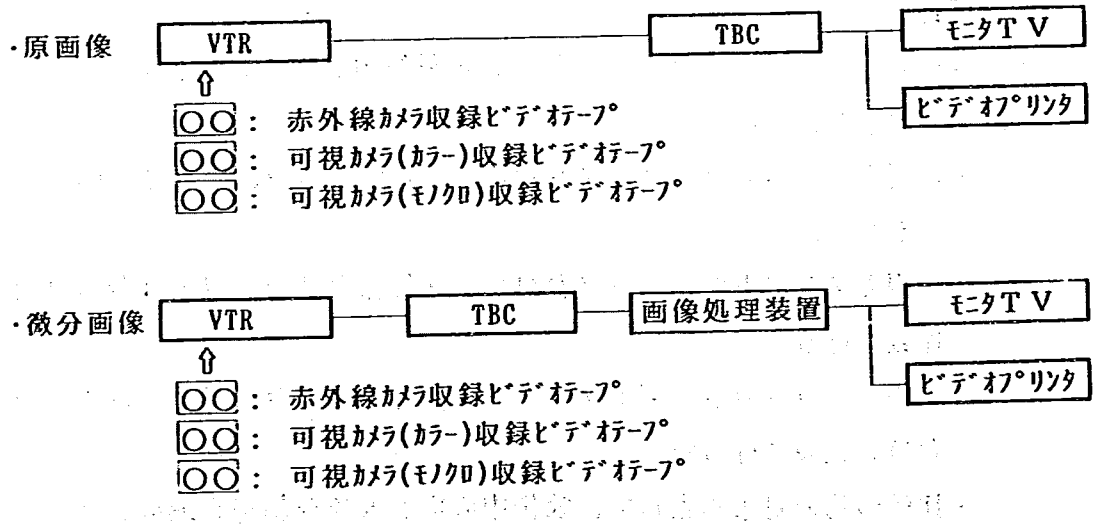
・実験機器の構成

図表(4.1.2) 5-27　実験機器の構成

映像収録時

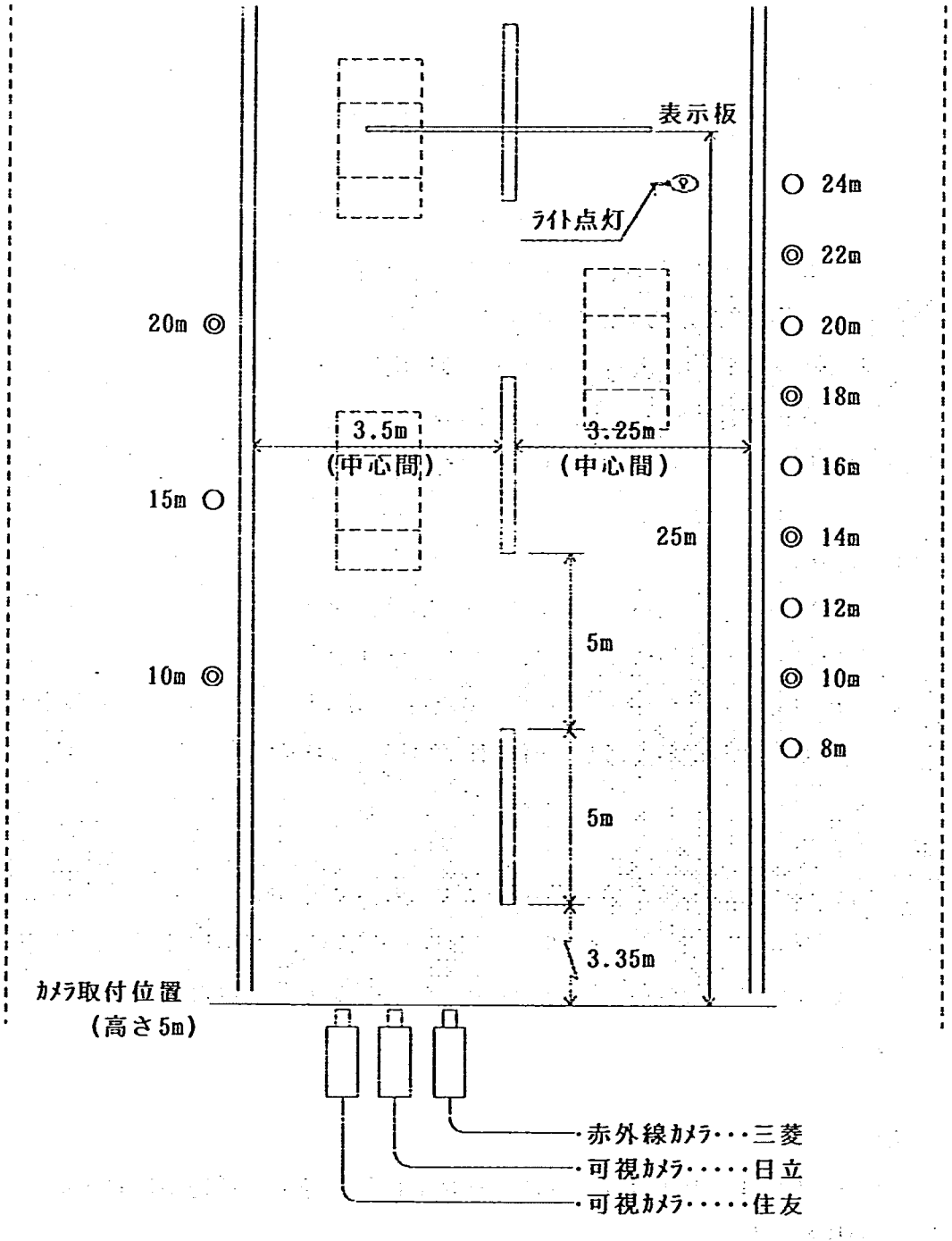


評価解析時

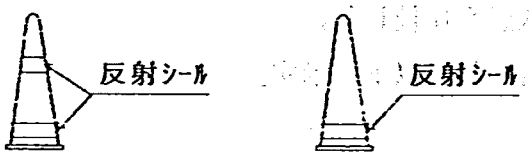


・目標物の配置

図表(4.1.2) 5-28　目標物の配置状況



◎:カラーコーン　　○:カラーコーン



b)実験結果

ア)結　果

・霧の検出

・優位性がみられない。

・霧の中での白線などの目標物の見え方が、透過率が上がる過程で突然現れ、透過率との相関が低い。

・車両の検出

・赤外線カメラによる暗い状態(14Lux)での検出は、車両の配色に影響を受けず、またヘッドライト等の輝度によるノイズの影響も無く、車両前方(ヘッドライト点灯)からの映像の方がより高い優位性がある。

・可視カメラ映像による暗い状態での検出は、車両後方(スモール点灯)の映像の方が優位性を持っている。

・明るい状態で、車両前方からの赤外線ｶﾒﾗ映像は、路面ノイズを多く拾いやすい。

・人間の検出

・赤外線カメラによる暗い状態での検出は、明るい状態の条件下より早い段階で現れ、暗く且つ濃い霧の状態での優位性がある。

・可視カメラ映像の暗い状態での検出は、明るい状態の状況より悪く、100%の透過率でも希薄であり、暗く且つ濃い霧の状態での検出がかなり困難である。

・白線の検出

・暗い状態での条件下で、赤外線カメラの優位性がある。

・可視カメラ(カラー・モノクロ)、赤外線カメラ共、明るい状態での原画像は、はっきり判定出来るが、処理画像では透過率が上がるほどノイズも多くなる傾向にある。

イ)詳　細

カラー、モノクロ、赤外線カメラにより収集した映像で、透過率に対する原画像と処理画像の比較をした。

・実験条件

・照明による明暗、車両の配置・配色、車両本体のランプ点灯、人間の配置等の環境設定条件を変化させ、霧発生設備を用いて、透過率が０％～95％迄変化する間の状態を比較した。

・比較条件項目として以下に示す。

・実験＃1.…明るい状態(2400Lux). 車２台(白色)直列配置
後方撮影(テールランプ・スモール点灯). 25m地点に人
・実験＃2.…暗い状態(14Lux). 車2台(白色)直列配置
後方撮影(テールランプ・スモール点灯). 25m地点に人
・実験＃3.…明るい状態(2400Lux). 車２台(白色)直列配置
前方撮影(ヘッドランプ点灯)
・実験＃4.…暗い状態(14Lux). 車２台(白色)直列配置
前方撮影(ヘッドランプ点灯). 右車線中間に車(灰色)配置
・実験＃5.…明るい状態(2400Lux). 車両なし
・実験＃6.…明るい状態(2400Lux). 車２台(白・灰色各１台)並列配置
前方撮影(ヘッドランプ・スモール点灯)
・実験＃7.…暗い状態(14Lux). 車両なし

・詳細

特徴的なデータとして下記に示す。(但し、車両の無い状態の実験＃5. ＃7.は、特にコメントは記していない。)

・車両の検出

・実験＃1. 車両(スモール点灯)後方からの明るい状態(2400Lux)。
(実験＃1-10%)
・原画像の透過率10%から、カラーカメラ収録画像、モノクロカメラ収録画像、赤外線ｶﾒﾗ収録画像の順位で車両輪郭が現れ、透過率の比率が上がる程徐々に見やすくなる。
・処理画像も同じ様な傾向で検出され、透過率の比率が上がる程、路面ﾉｲｽﾞを多く拾い車両の判定が難しくなる。

・実験＃2. 車両(スモール点灯)後方からの暗い状態(14Lux)。
(実験＃2-10%)
・原画像の透過率10%から、モノクロカメラ収録画像、カラーカメラ収録画像、赤外線カメラ収録画像の順位で車両輪郭が現れ、透過率の比率が上がる程徐々に見やすくなる。
・処理画像は路面ノイズが少なく、同じ様な傾向で透過率の比率が上がる程、徐々に検出される。

・実験＃3. 車両(ヘッドライト点灯)前方からの明るい状態(2400Lux)。
(実験＃3-40%)
・原画像の透過率10%から、カラーカメラ収録画像、モノクロカメラ収録画像、赤外線カメラ収録 画像の順位で車両輪郭が現れ、透過率の比率が上がる程　徐々に見やすくなる。
・処理画像も同じ様な傾向で検出されるが、赤外線カメラの収録画像は透過率が上がる程、カラー・モノクロ収録画像に較べ路面ノイズを多く拾い、車両の検出・判定が難くなる。

・実験＃4. 車両(ヘッドライト点灯)前方からの暗い状態(14Lux)。
(実験＃4-40％)
・原画像・処理画像の透過率０％の時点で、モノクロカメラ収録画像、カラーカメラ収録画像共車両のヘッドライトの明りが現れている。
・原画像の透過率10％から、モノクロカメラ収録画像、カラーカメラ収録画像の順位で現れ、車両のヘッドライト照明により、透過率の比率が上がる程、車両輪郭がはっきりせず見ずらくなる。さらに、車両の配色(実験車両は灰色)が濃くなるるほど、この影響が出る。
・処理画像も同じ様な傾向で検出され、透過率の比率が上がる程、ヘッドライトによる路面ノイズが多く現れ、車両の検出・判定が非常に難しくなる。
・赤外線カメラ収録画像の原画像・処理画像は、透過率５～10％でヘッドライトの明り及び車両輪郭が現れ、透過率が上がる程、徐々に見やすくなる。原画像・処理画像共ヘッドライト照明による影響は無く、また車両の配色による影響も無い。
・実験＃6. 車両(スモール点灯)前方からの明るい状態(2400Lux)。
(実験＃6-40％)
・原画像の透過率10％から、赤外線カメラ収録画像、モノクロカメラ収録画像、カラーカメラ収録画像の順位で車両輪郭が現れ、透過率が上がる程、徐々に見やすくなる。この時、配色が濃い車両の検出は、モノクロカメラ収録画像、カラーカメラ収録像共、透過率が90％にならないと車両輪郭がはっきりしい。赤外線ｶﾒﾗ収録画像では、車両の配色による影響はまったく出ない。
・処理画像も同じ様な傾向で検出され、透過率の比率が上がる程、路面ノイズを多く拾い、車両の判定が難しくなる。モノクロカメラ収録画像、カラーカメラ収録画像は、路面ノイズの量が赤外線カメラ収録画像の約半分程である。
・人間の検出
・実験＃1. 車両(スモール点灯)後方からの明るい状態(2400Lux)。
(実験＃1-40％)
・原画像の透過率0～20％迄、赤外線ｶﾒﾗ収録画像、カラーカメラ収録画像、モノクロカメラ収録画像共、人間の検出は皆無である。
・透過率40％で突如、赤外線カメラ収録画像、カラーカメラ収録画像、モノクロカメラ収録画像の順位で現れ、透過率が上がる程、徐々に見やすくなる。カラ・モノクロカメラ収録画像は、かすかに全体像が現れているが、透過率60％を越えないと、背景と人間の識別をするのが困難である。
・処理画像も同じ様な傾向で検出され、透過率30％で突如、赤外線ｶﾒﾗ収

録画像に、透過率40%でカラーカメラ収録画像、モノクロカメラ収録画像の順位で現れる。透過率の比率が上がる程、背景のノイズを多く拾い人間の判定が難しくなる。

・実験＃2. 車両(スモール点灯)後方からの暗い状態(14Lux)。

(実験＃2-40%)

・原画像の透過率0～10%迄、赤外線カメラ収録画像、カラーカメラ収録画像、モノクロカメラ収録画像共、人間の検出は皆無である。

・赤外線カメラ収録画像は透過率20%で、人間の輪郭と判断出来るものがかすかに現れ、透過率40%以降からは、背景その他の影響をほとんど受けることなく人間の判定が出来る。

・カラーカメラ収録画像、モノクロカメラ収録画像は透過率40%で、かすかに現れるが、人間としての判定は出来ない。この状態は透過率の比率が上がっても変わらない。

・処理画像も同じ様な傾向で検出され、赤外線カメラ収録画像は、透過率40%から検出出来る。カラーカメラ収録画像、モノクロカメラ収録画像は、透過率の比率が上がっても検出・判定するのが非常に困難である。

・白線の検出

・実験＃1. 車両(スモール点灯)後方からの明るい状態(2400Lux)。

(実験＃1-10%)

・原画像の透過率10%から、カラーカメラ収録画像、モノクロカメラ収録画像の順位で現れ、透過率が上がる程、徐々に見やすくなる。赤外線カメラ収録画像は、透過率95%で白線の認識が出来る。

・処理画像も同じ様な傾向で検出され、透過率30%から、赤外線カメラ収録画像に、透過率40%から、カラーカメラ収録画像、モノクロカメラ収録画像に、路面ノイズが検出され、透過率の比率が上がる程、路面ノイズを多く拾い、白線の判定は難しくなる。

・実験＃2. 車両(スモール点灯)後方からの暗い状態(14Lux)。

(実験＃2-10%)

・原画像の透過率10%から、モノクロカメラ収録画像、カラーカメラ収録画像の順位で現れ、透過率が上がる程、徐々に見やすくなる。赤外線カメラ収録画像は、透過率40%から白線の認識が出来るが、透過率94%でも鮮明さは無い。

・処理画像の路面ノイズは少ない傾向で、透過率10%から、カラーカメラ収録画像、モノクロカメラ収録画像の順位で現れ、透過率の比率が上がる程、徐々に検出される。赤外線カメラ収録画像は、透過率40%から白線の認識が出来る。

図表(4.1.2) 5-29　原画像と処理画像（実験＃１、透過率10%）

1.1-1 実験＃１（透過率１０%）

以下の条件における各カメラの
映像を右に示す。

照明　　：２４００Lux
車両配置：縦列テールランプ側
透過率　：１０%

（原画像）

写真1.1-1.1
可視カメラ（カラー）

写真1.1-1.2
可視カメラ（モノクロ）





写真1.1-1.3
赤外線カメラ

（処理画像）

１・１－２　実験＃１（透過率１０%）

以下の条件におけるカメラの
映像を右に示す。

照明　　：２４００Lux
車両配置：縦列テールランプ側
透過率　：１０%

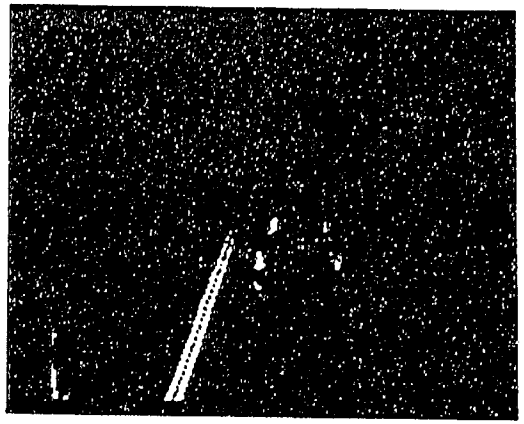


写真１・１－２・１
可視カメラ（カラー）

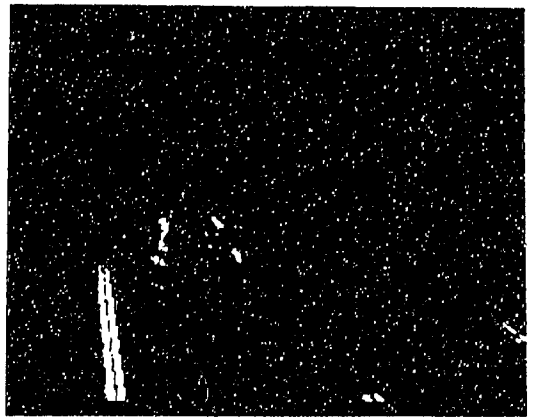


写真１・１－２・２
可視カメラ（モノクロ）

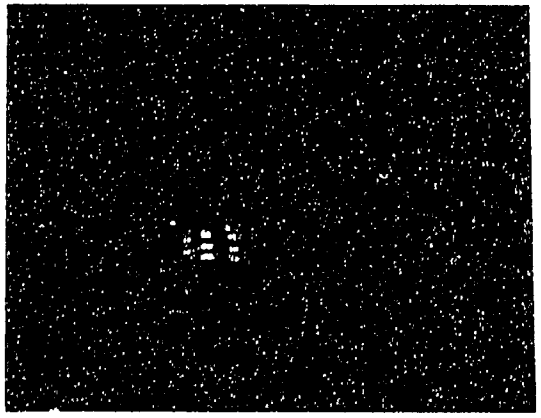


写真１・１－２・３
赤外線カメラ

図表(4.1.2) 5-30　原画像と処理画像（実験＃１、透過率40%）

（原画像）

1.3 実験＃１（透過率４０%）

以下の条件における各カメラの
映像を右に示す。

照明　　：２４００Lux
車両配置：縦列テールランプ側
透過率　：４０%

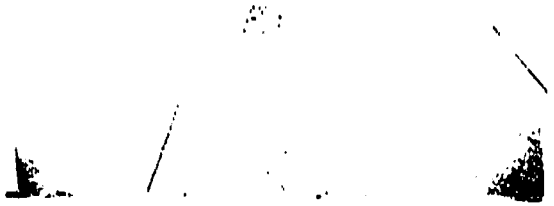


写真1.3.1
可視カメラ（カラー）



写真1.3.2
可視カメラ（モノクロ）

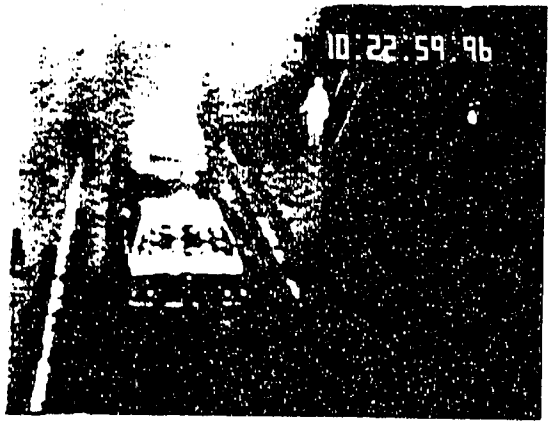


写真1.3.3
赤外線カメラ

（処理画像）

1・4　実験＃１（透過率４０%）

以下の条件におけるカメラの
映像を右に示す。

照明　　：２４００Lux
車両配置：縦列テールランプ側
透過率　：４０%

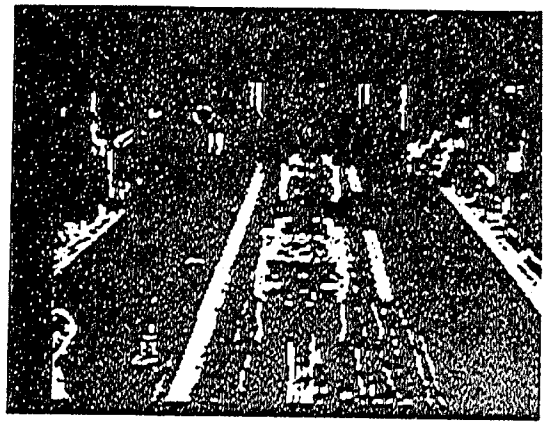


写真１・４・１
可視カメラ（カラー）

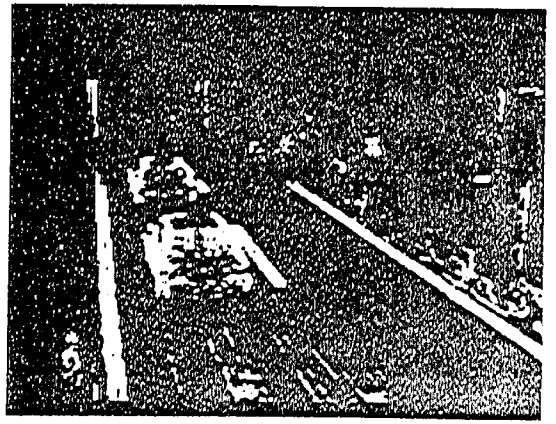


写真１・４・２
可視カメラ（モノクロ）

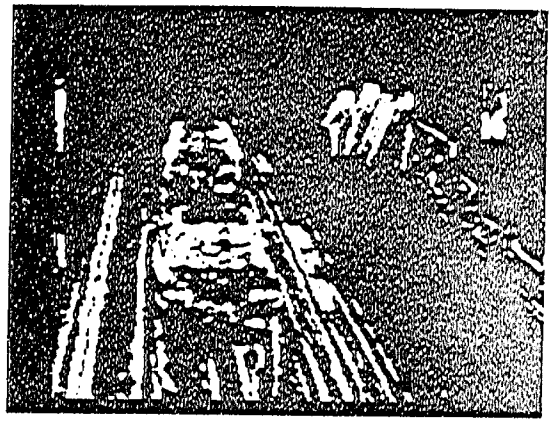


写真１・４・３
赤外線カメラ

図表(4.1.2) 5-31　原画像と処理画像（実験＃２、透過率10%）

（原画像）

2.1-1 実験＃２（透過率１０%）

以下の条件における各カメラの
映像を右に示す。

照明　　：１４Lux
車両配置：縦列テールランプ側
透過率　：１０%

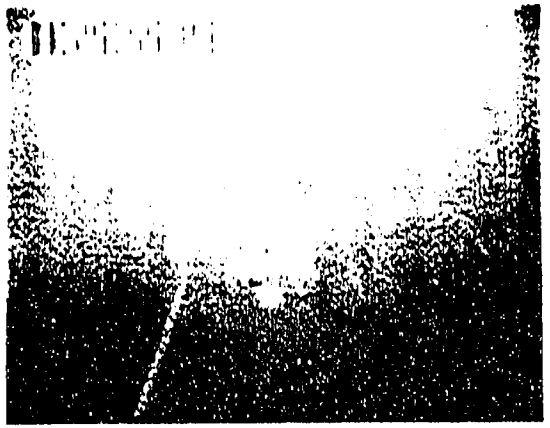


写真2.1-1.1
可視カメラ（カラー）

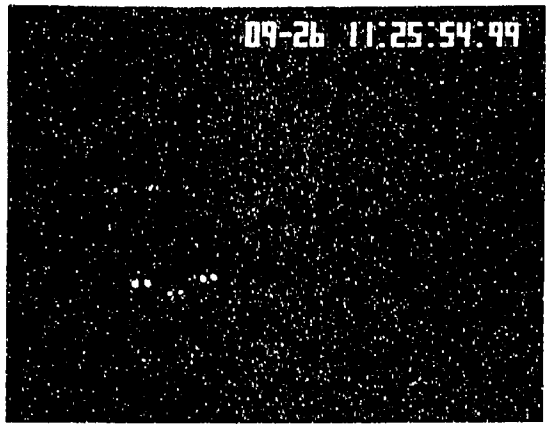


写真2.1-1.2
可視カメラ（モノクロ）

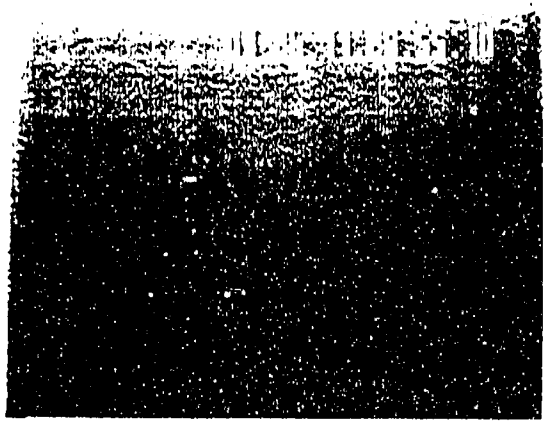


写真2.1-1.3
赤外線カメラ

（処理画像）

2.1-2 実験＃２（透過率１０%）

以下の条件における各カメラの
映像を右に示す。

照明　　：１４Lux
車両配置：縦列テールランプ側
透過率　：１０%

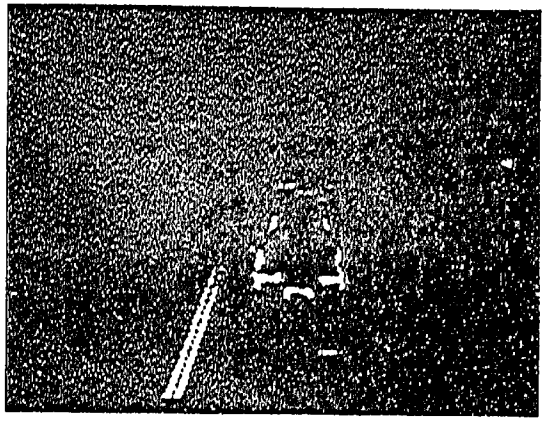


写真2.1-2.1
可視カメラ（カラー）

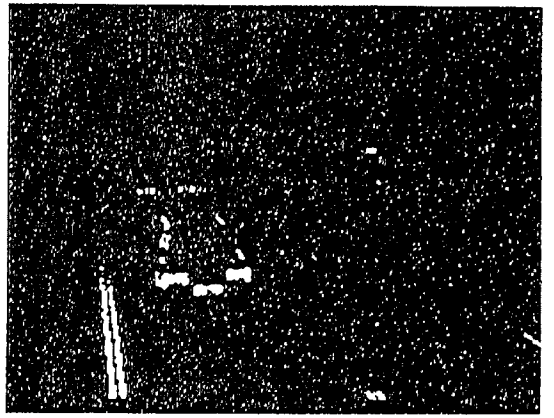


写真2.1-2.2
可視カメラ（モノクロ）

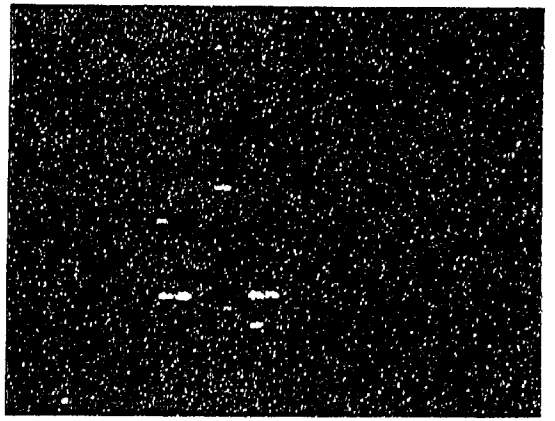


写真2.1-2.3
赤外線カメラ

図表(4.1.2) 5-32　原画像と処理画像（実験＃２、透過率40%）

（原画像）

2.3 実験＃2（透過率４０%）

以下の条件における各カメラの映像を右に示す。

照明　　：１４Lux
車両配置：縦列テールランプ側
透過率　：４０%

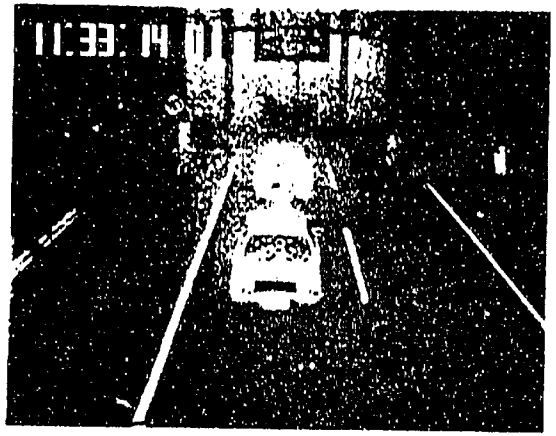


写真2.3.1
可視カメラ（カラー）

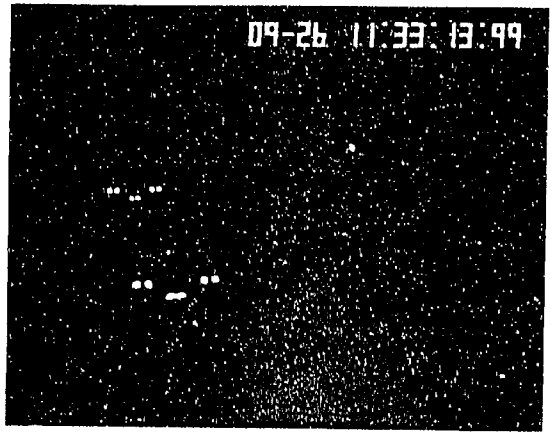


写真2.3.2
可視カメラ（モノクロ）

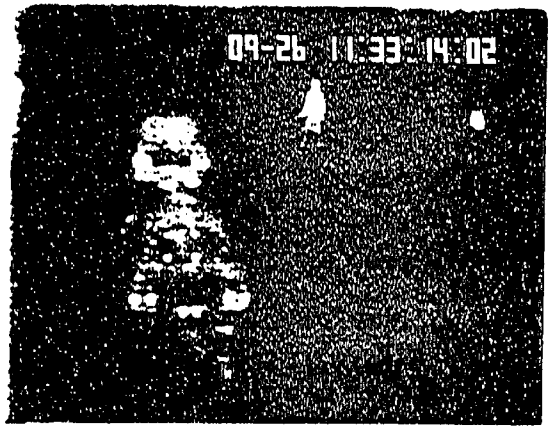


写真2.3.3
赤外線カメラ

（処理画像）

2.4 実験＃2（透過率４０%）

以下の条件における各カメラの映像を右に示す。

照明　　：１４Lux
車両配置：縦列テールランプ側
透過率　：４０%

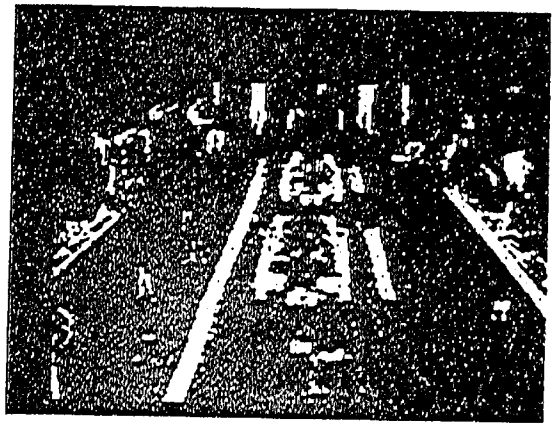


写真2.4.1
可視カメラ（カラー）

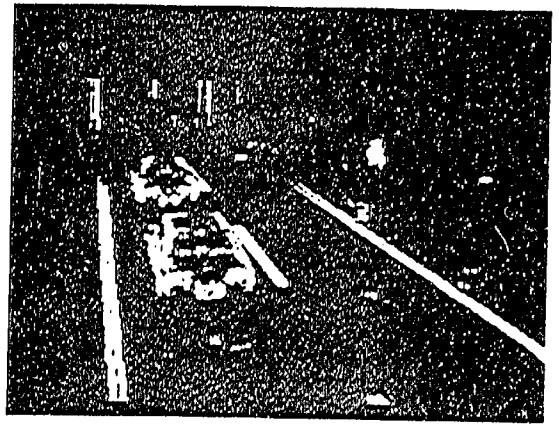


写真2.4.2
可視カメラ（モノクロ）

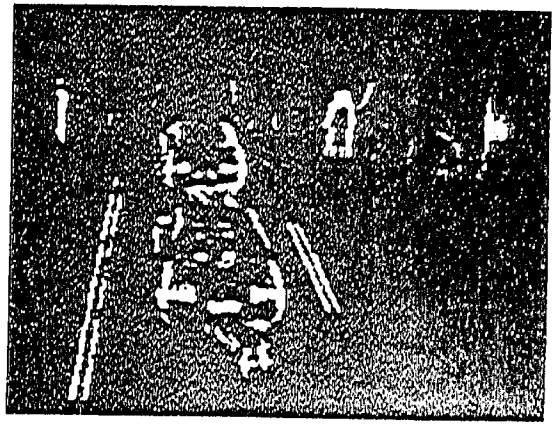


写真2.4.3
赤外線カメラ

図表(4.1.2) 5-33　原画像と処理画像（実験＃３、透過率40%）

（原画像）　　（処理画像）

3.3 実験＃3（透過率４０%）

以下の条件における各カメラの
映像を右に示す。

照明　　：２４００lux
車両配置：縦列ヘッドランプ側
透過率　：４０%

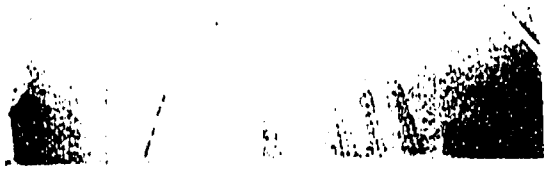


写真3.3.1
可視カメラ（カラー）

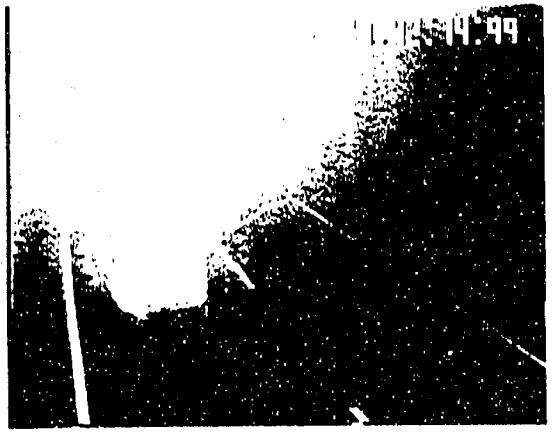


写真3.3.2
可視カメラ（モノクロ）

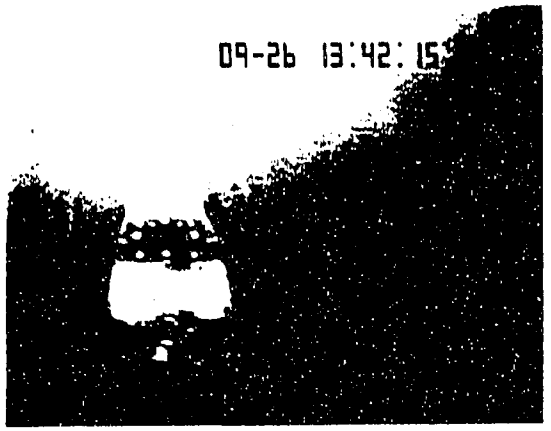


写真3.3.3
赤外線カメラ

3・4　実験＃3（透過率４０%）

以下の条件におけるカメラの
映像を右に示す。

照明　　：２１００Lux
車両配置：縦列ヘッドランプ側
透過率　：４０%

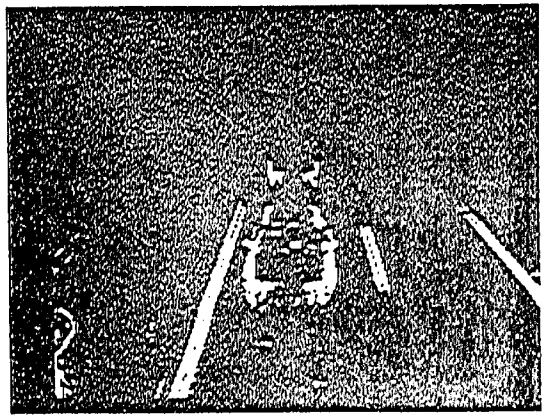


写真３・４・１
可視カメラ（カラー）

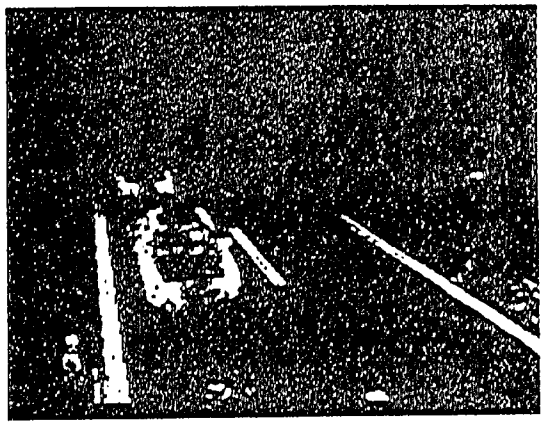


写真３・４・２
可視カメラ（モノクロ）

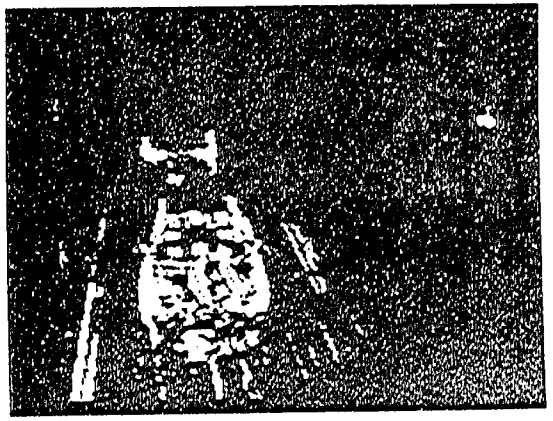


写真３・４・３
赤外線カメラ

図表(4.1.2) 5-34　原画像と処理画像（実験＃４、透過率40%）

（原画像）

4.3 実験＃4（透過率４０%）

以下の条件における各カメラの映像を右に示す。

照明　　：１４Lux
車両配置：縦列ヘッドランプ側
透過率　：４０%



写真4.3.1
可視カメラ（カラー）

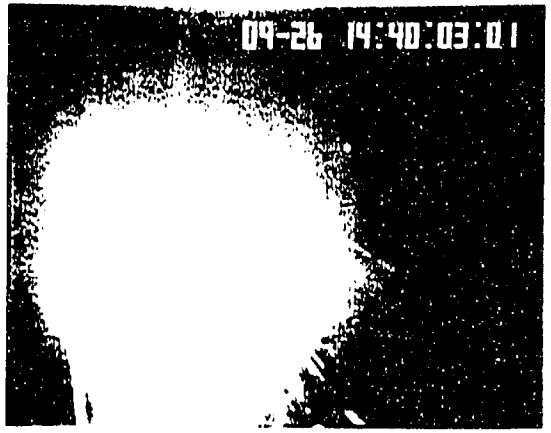


写真4.3.2
可視カメラ（モノクロ）

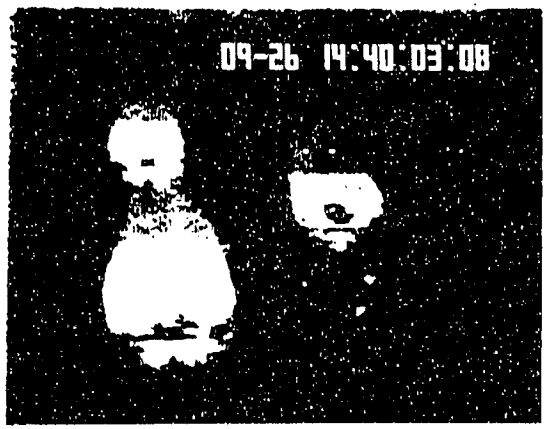


写真4.3.3
赤外線カメラ

（処理画像）

4.4 実験＃4（透過率４０%）

以下の条件における各カメラの映像を右に示す。

照明　　：１４Lux
車両配置：縦列ヘッドランプ側
透過率　：４０%

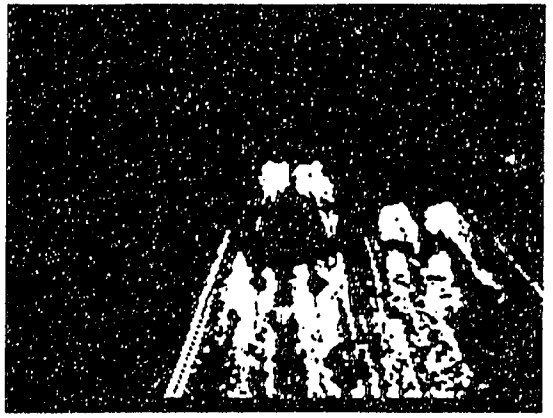


写真4.4.1
可視カメラ（カラー）

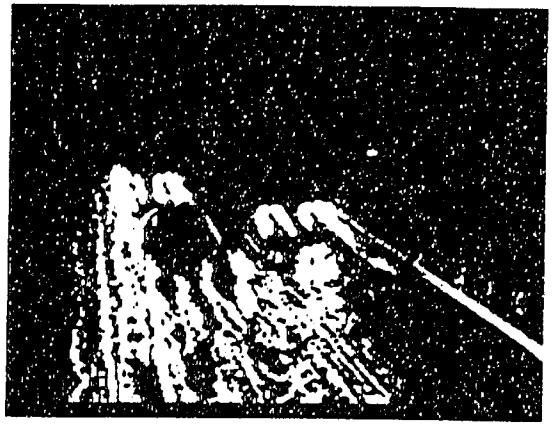


写真4.4.2
可視カメラ（モノクロ）

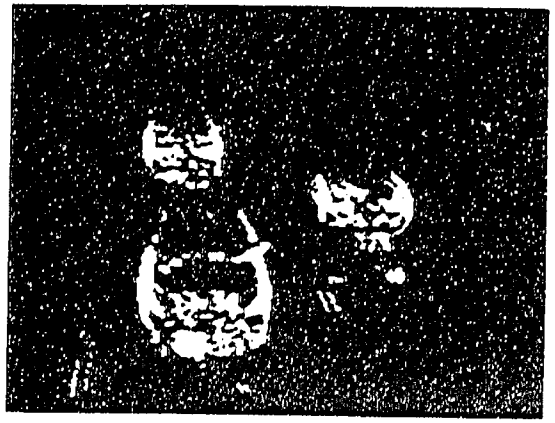


写真4.4.3
赤外線カメラ

図表(4.1.2) 5-35　原画像と処理画像（実験＃６、透過率40%）

（原画像）

6.3 実験＃６（透過率４０％）

以下の条件における各カメラの
映像を右に示す。

照明　　：２４００Lux
車両配置：横列ヘッドランプ側
透過率　：４０％

写真6.3.1
可視カメラ（カラー）



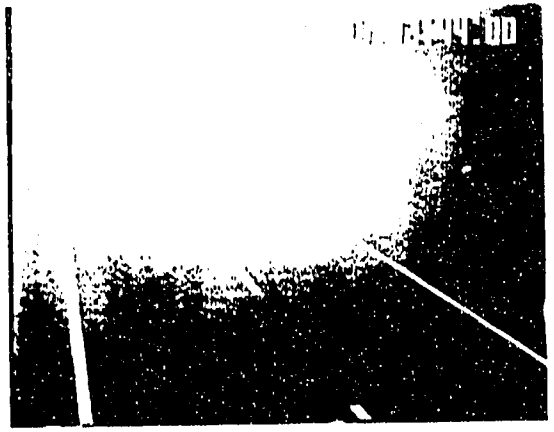


写真6.3.2
可視カメラ（モノクロ）



写真6.3.3
赤外線カメラ

（処理画像）

6.4 実験＃６（透過率４０％）

以下の条件における各カメラの
映像を右に示す。

照明　　：２４００Lux
車両配置：横列ヘッドランプ側
透過率　：４０％

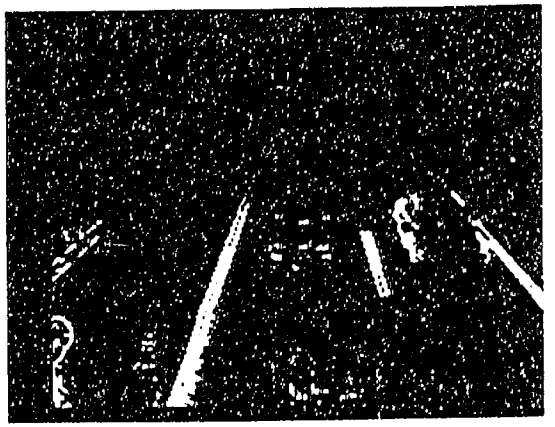


写真6.4.1
可視カメラ（カラー）

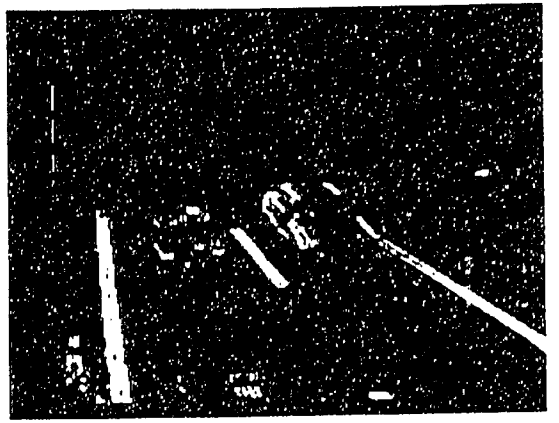


写真6.4.2
可視カメラ（モノクロ）

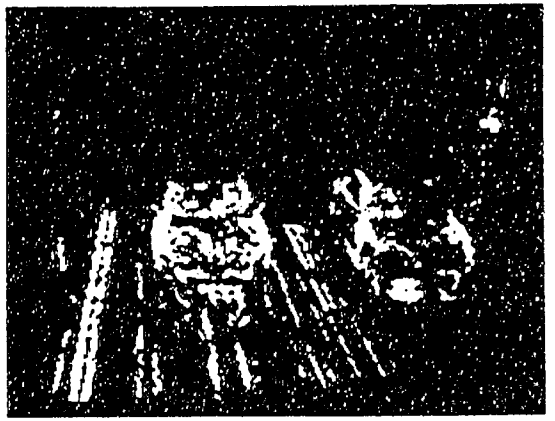


写真6.4.3
赤外線カメラ

c)考察

・霧監視の用途としては、赤外線カメラは可視カメラに対して優位性が無い。

・霧の中での目標物の検出については、優位性を持つものがある。

・特に、人・車などの熱源があるものについては、赤外線カメラは可視カメラに較べ検出能力が高い。

d)今後の検討課題

・ターゲットとして熱源が必要であり、熱源をターゲットとした計測システムの検討が必要である。

・明るい状態では、対象物以外のノイズが多く、エッジ検出が困難である為、環境の良・否による影響の無いアルゴリズムの開発が必要である。

6）トンネル内煤煙

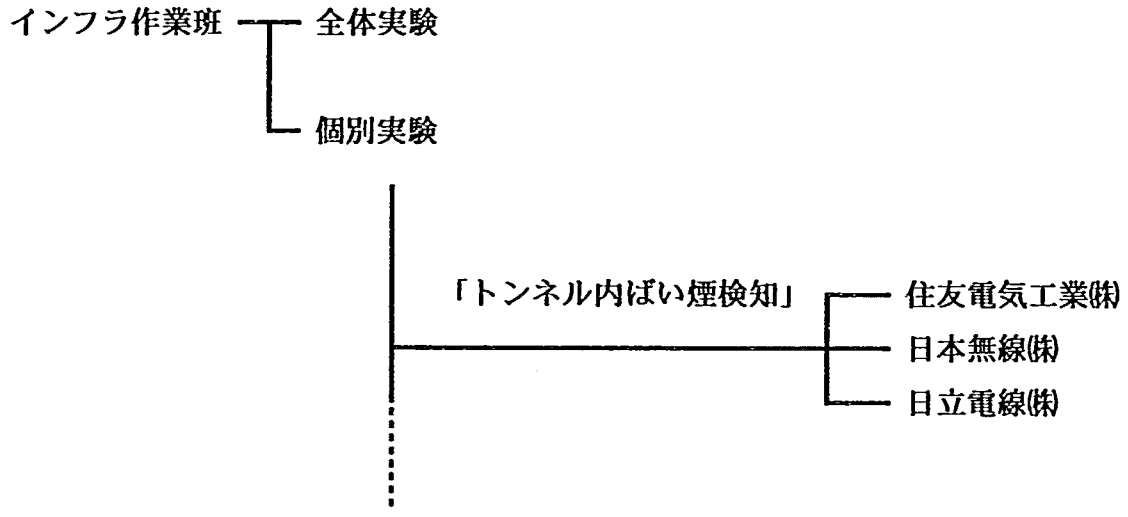
（1）実験の目的

本実験は、トンネル内での車両の排気、あるいは火災等により発生したばい煙を、ＩＴＶカメラを用いて画像処理により検知する手法を検討することを目的とする。

（2）実験の方法

実験参加メーカー共同で、実験用映像を収録し、各社でそれぞれの手順によりこの映像を解析して実験を行う。

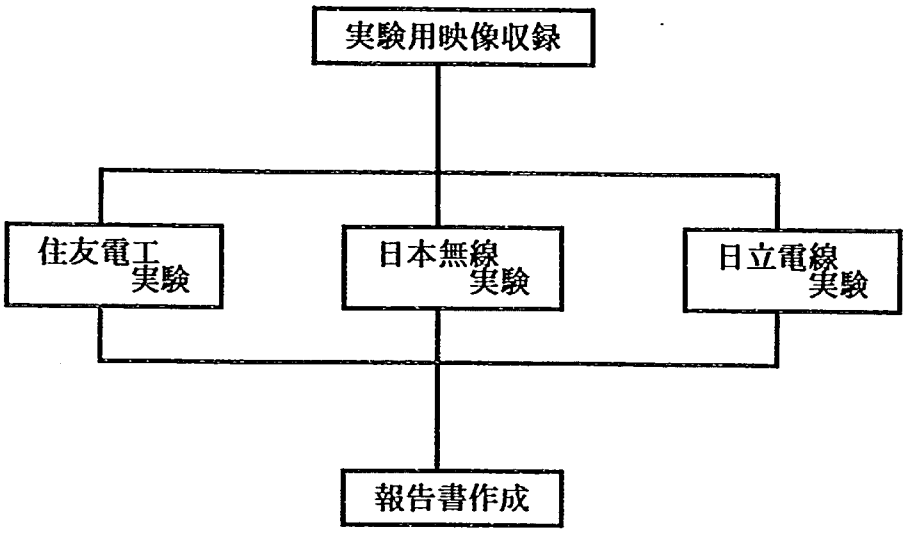
（3）実験の体制



（4）実験の手順

本実験の手順は次のとおりである。

図表(4.1.2) 6-1　実験手順



（5）実験報告の概要

本報告は、以下の構成から成っている。

・基礎実験Ⅰ　　(映像収録)

・基礎実験Ⅱ－1　　(住友電工実験結果)
　基礎実験Ⅱ－2　　(日本無線実験結果)
　基礎実験Ⅱ－3　　(日立電線実験結果)

基礎実験－Ⅰ

（映像収録）

（１）映像収録

①概要

映像収録実験の諸条件は以下の通りである。

・収録日　　平成７年10月31日、11月２日

・収録場所　　建設省土木研究所内トンネル実験施設（図表(4.1.2) 6-2)

・撮像状況　　ディーゼルエンジンの黒煙をトンネル実験施設内に引き込み、徐々に透過率を下げ(97%→40%)、その後自然解消させた。

(図表(4.1.2) 6-3)

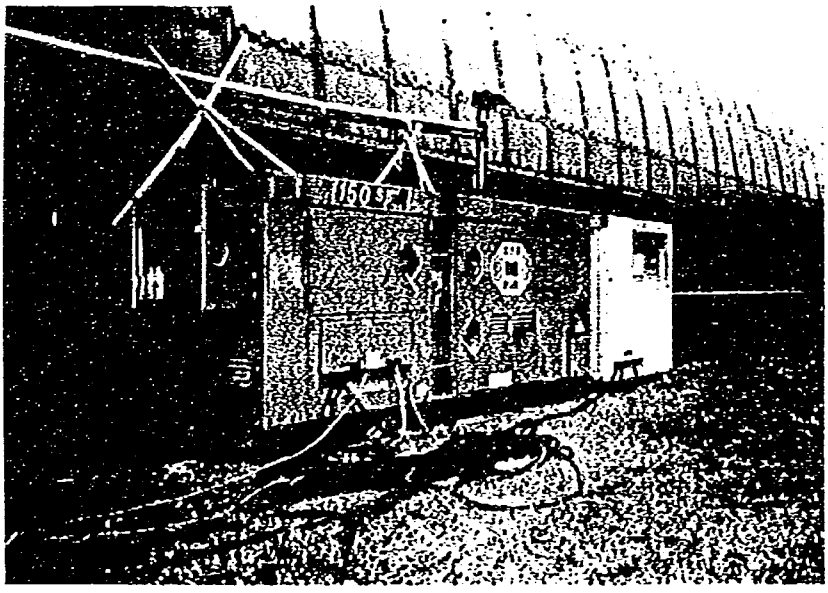
この様子を、トンネル内側壁に設置したカメラで撮像し、トンネル外の実験用車両内に設置したＶＴＲにて収録した。

(図表(4.1.2) 6-4)

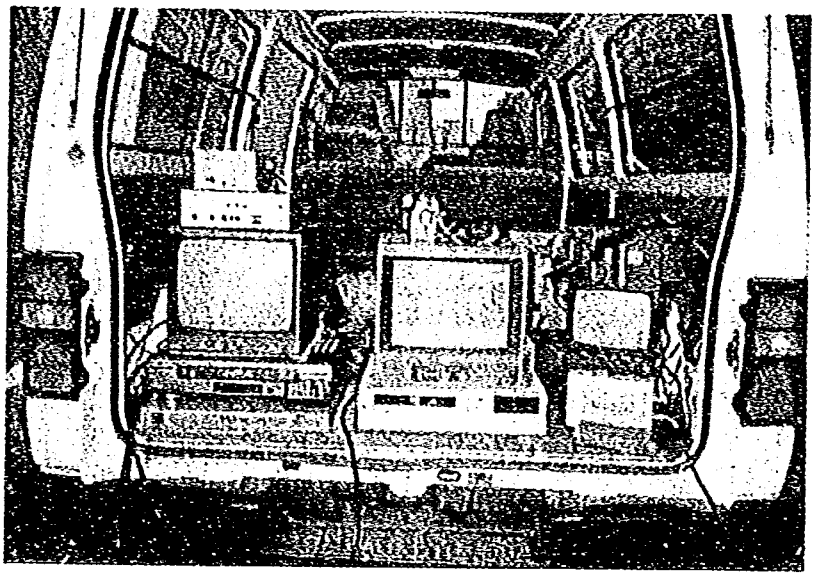
図表(4.1.2) 6-2　トンネル実験施設



図表(4.1.2) 6-3　ばい煙発生に用いたディーゼルエンジン



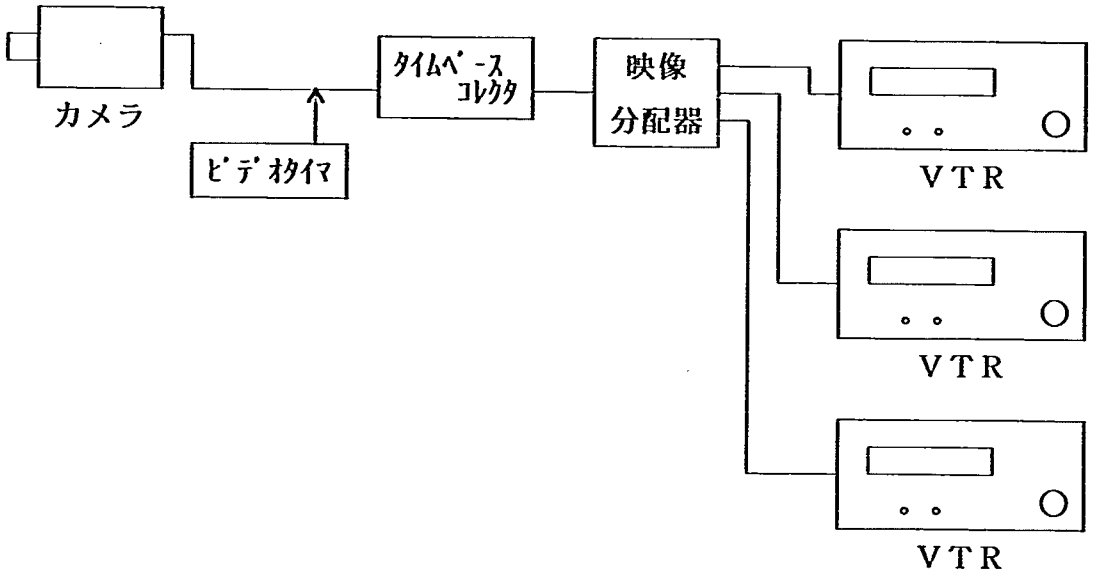
図表(4.1.2) 6-4　収録機器の設置状況



②実験用機器の構成

実験に使用した機器の構成を図表(4.1.2) 6-5に示す。

図表(4.1.2) 6-5　映像収録時の機器構成



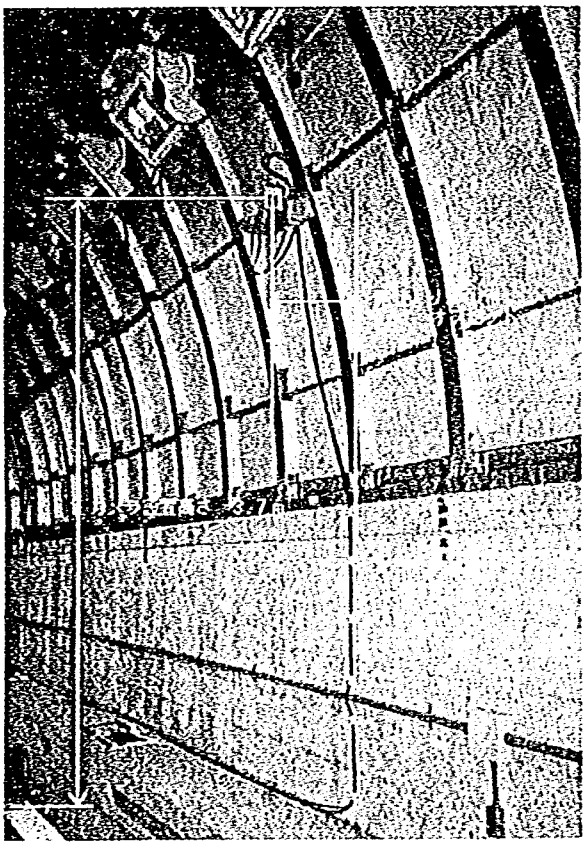
③カメラ設置条件

カメラ設置条件は以下のとおりである。

・使用カメラ　　1/2ｲﾝﾁＣＣＤモノクロカメラ、レンズ焦点距離25㎜
・カメラ設置位置　　トンネル内側壁高さ3.7m地点に設置
・カメラ死角　　カメラ設置個所より約20m先の地点までが死角になる（実測）

カメラの設置状況を図表(4.1.2) 6-6に示す。

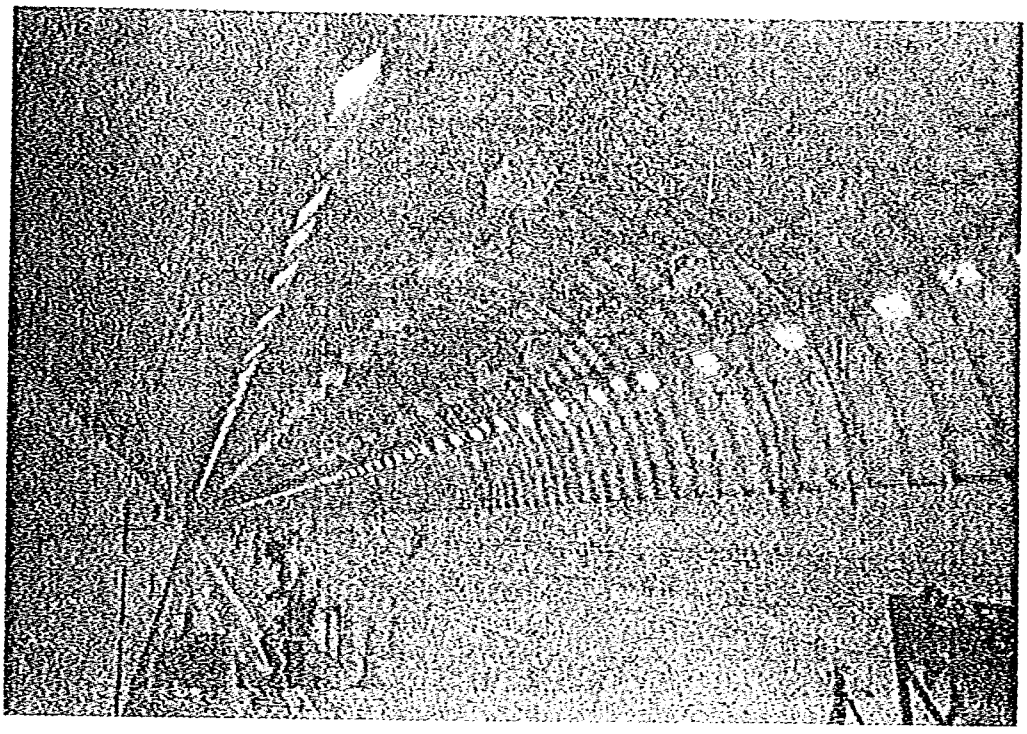
図表(4.1.2) 6-6　カメラ設置状況



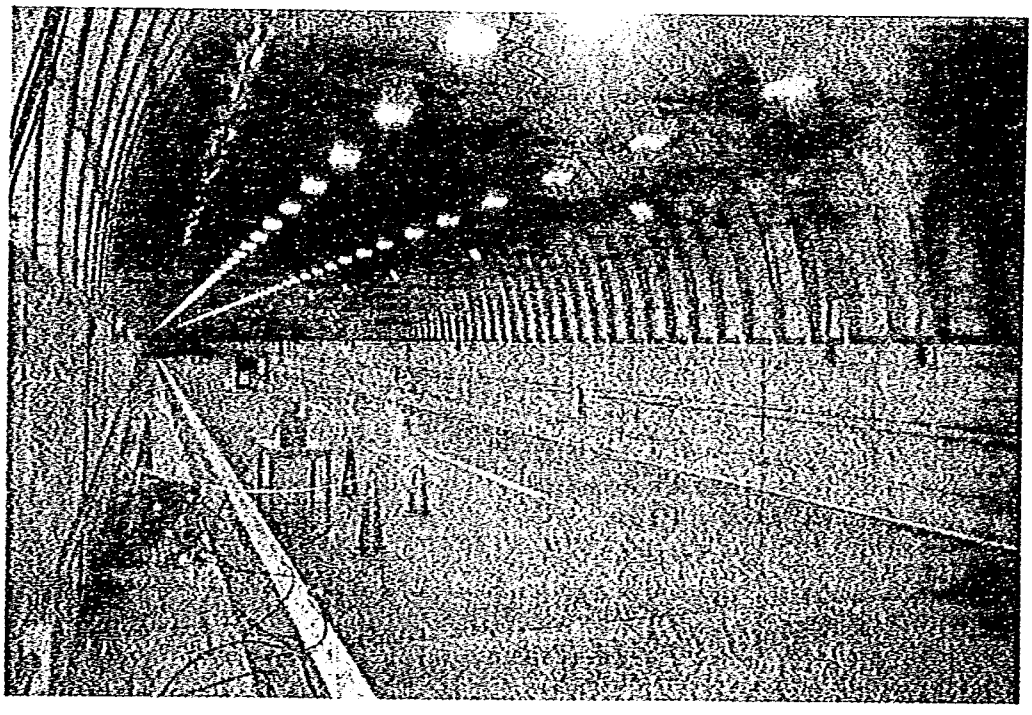
④照明種類

トンネル内照明は、通常照明とカウンタービーム照明の２種類とした。それぞれの点灯状態を図表(4.1.2) 6-7および図表(4.1.2) 6-8に示す。

図表(4.1.2) 6-7　通常照明



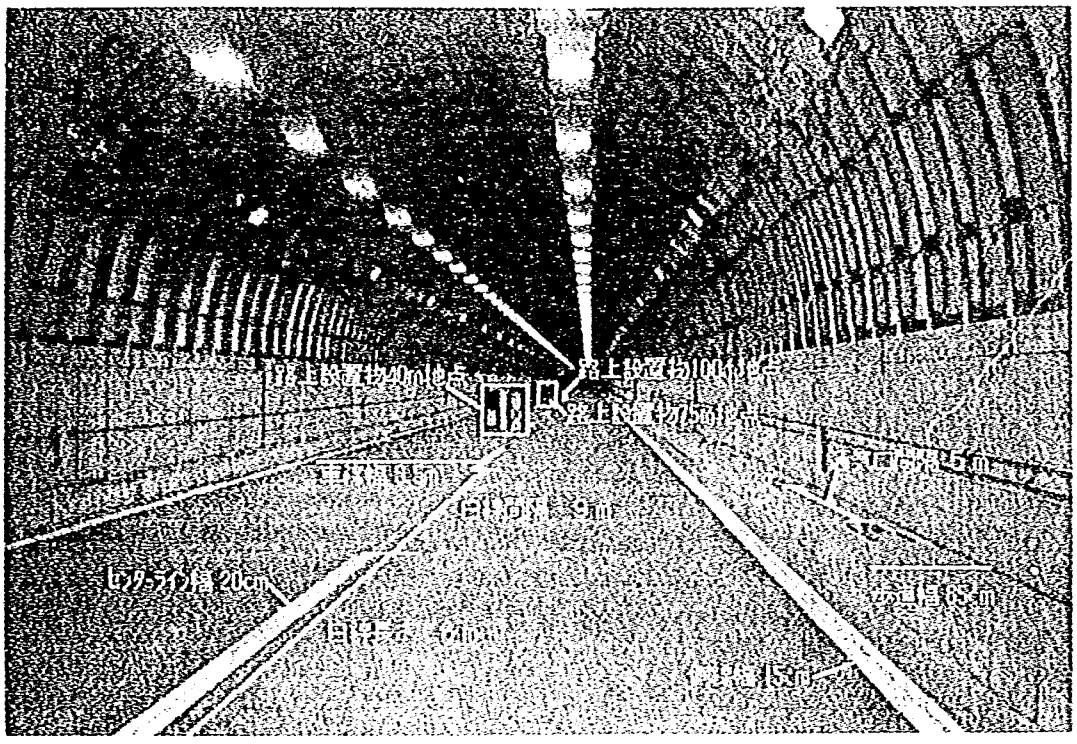
図表(4.1.2) 6-8　カウンタービーム照明



⑤目標物等の設置状況

トンネル内に設置した目標物等の位置関係を図表(4.1.2) 6-9に示す。

図表(4.1.2) 6-9　設置物等位置関係



⑥透過率

映像収録時の透過率実測値を図表(4.1.2) 6-10と図表(4.1.2) 6-11に示す。

図表(4.1.2) 6-10　通常照明時透過率

照明条件 ——— 通常照明	
時刻 (ﾋﾞﾃﾞｵﾀｲﾏｰ)	透過率
9：50	72%
11：15	75%
12：58	54%
13：48	46%
14：30	41%
15：29	84%
15：33	80%
15：40	91%

図表(4.1.2) 6-11　ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明時透過率

照明条件 ——— ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明	
時刻 (ﾋﾞﾃﾞｵﾀｲﾏｰ)	透過率
7：00	97%
9：15	75%
11：20	60%
11：55	65%
12：45	53%
13：28	44%
13：38	40%

（2）フィールド映像の検討

①概　要

本検討は前項映像収録実験で得られた映像データとは別に、実際の供用中の道路に設置された監視カメラの映像を用いて評価実験を実施することを想定して、適当な地点を選定するための参考データを得ることを目的とする。

首都高・交通管制部殿の御協力を得て、交通管制室におけるモニタ監視映像の分配映像を目視した。また、その場で首都高内の各トンネルの特徴についても聞いた。

②日　時

平成７年９月18日　午後

③検討方法

３社で首都高交通管制部殿を訪問し、管制室より分配されてくる各路線のカメラ映像を、トンネル映像を中心に検討し、概要についての御説明を受けた。

また首都高内における各トンネルの特徴を示す資料として、図表(4.1.2) 6-12～図表(4.1.2) 6-13の諸元データを得た。

図表(4.1.2) 6-12　トンネル諸元(1)

管理部	東京第一管理部								
ﾄﾝﾈﾙ名	千代田	霞が関	八重洲	北の丸	飯倉	汐留	羽田	赤坂	信濃町
延長(m)	1,900	780	1,400	160	106	270	300	520	110
交通量(台/日)	168,900	114,500	17,700	115,500	97,900	100,800	116,900	95,700	91,600
調査期日(曜)	39.8	39.9	48.2	39.8	42.7	37.12	39.8	39.8	39.8
ITVカメラ	44	28	27	－	－	－	－	18	－
換気設備	有	有	有	－	－	有	有	(開口部)有	－

図表(4.1.2) 6-13　トンネル諸元(2)

管理部	東京第二管理部	神奈川管理部					
ﾄﾝﾈﾙ名	東京港	三ッ沢	南軽井沢	桜木町	花園	花園橋	永田
延長(m)	1,325	358	138	339	206	470	187
交通量(台/日)	132,100	47,700	57,300	61,700	61,700	61,700	47,500
調査期日(曜)	51.8	53.3	53.3	53.3	53.3	59.2	平成2.3
ITVカメラ	26	12	2	14	2	21	6
換気設備	有	有	－	有	－	有	－



基礎実験－Ⅱ

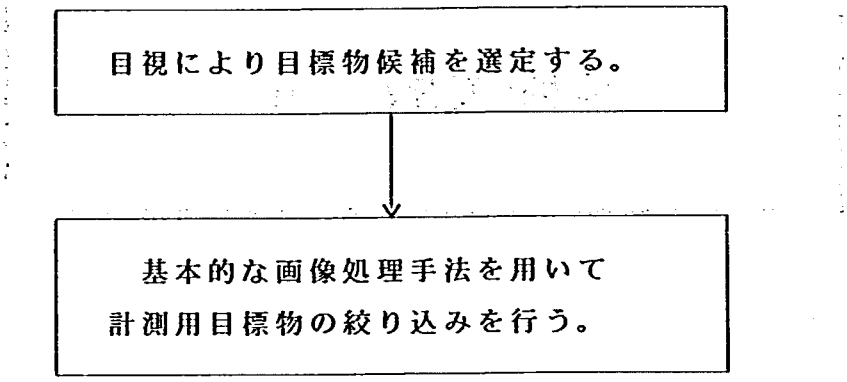
基礎実験Ⅱ－1

（１）画像処理手法の検討

①基礎検討

基礎検討を以下の手順で行った。

図表(4.1.2) 6-14 基礎検討手順



a)目視による目標物候補の選定

ＶＴＲを目視確認し、以下の条件に着目して処理目標物候補を選定した。

・ばい煙の発生前後で、目標物付近の映像上の変化が顕著に表れること。

・ばい煙が発生していない時、目標物とその背景に安定したコントラストの差があること。

b)目標物候補の絞り込み

目視検討により選び出した目標物（または目標地点）に対して基本的な画像処理手法を施し、得られた結果から目標物（地点）の絞り込みを行った。

基礎検討に用いた手法は次の３種類である。

・輝度値の分散による計測

・背景差分による計測

・エッジ検出による計測

②基礎検討の結果

以下に、各手法による検討結果を示す。

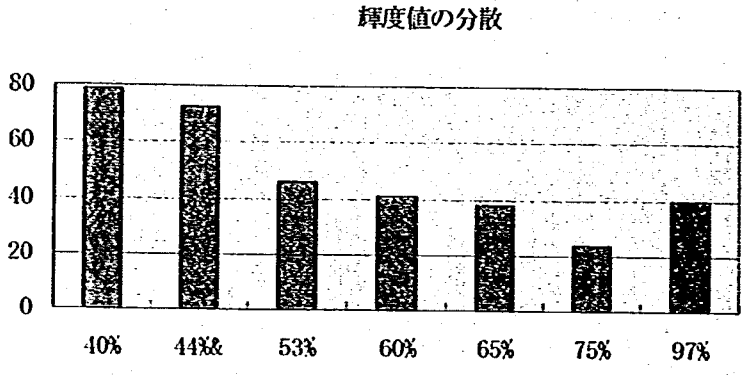
a)輝度値の分散による計測

トンネル内の透過率の低下とともに画像のコントラストが低下し、ある特定の範囲の輝度の出現頻度が増加し、したがってその画面内の輝度の平均値からのばらつきが小さくなる傾向があるのではないか、と予想した。

しかし実際には図表(4.1.2) 6-15が示すように、透過率の変化と輝度値の分散の

間には、強い相関関係は認められなかった。

図表(4.1.2) 6-15　通常照明　100m付近路上目標物のデータ



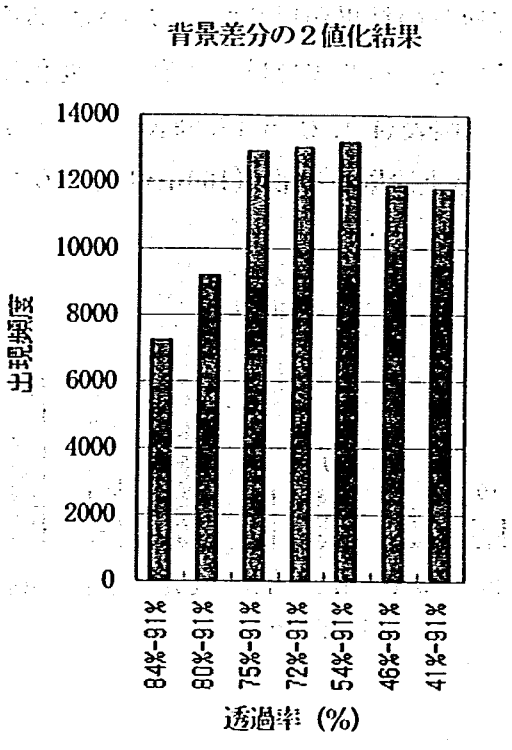
b)背景差分による計測

ばい煙濃度が比較的低く透過率が高い状態の画像を基準画像とし、この画像との差分演算を行った結果を適当な閾値で２値化して、ばい煙による変化部分を抽出した。またこの変化量とばい煙濃度との関連を調査した。

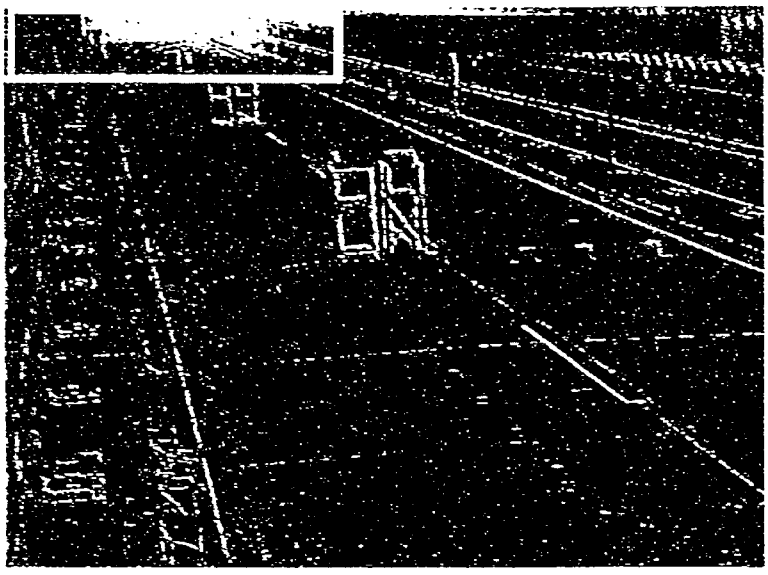
今回の検証では、透過率91％の映像を基準画像とし、その他の84％～41％の画像との間で差分をとった。また画面全体を処理対象とするのではなく、特にばい煙による変化が顕著な遠方（画面の奥）の部分について処理を行った。

この実験の結果、透過率が50～70％付近で大きな差分が得られたが、さらに透過率が低くなると、むしろ差分量が緩やかに減少する結果となった。(図表(4.1.2) 6-16、図表(4.1.2) 6-17)

図表(4.1.2) 6-16　差分後２値化した結果



図表(4. 1. 2) 6-17　差分後２値化した映像



(※画面左上方の部分を計測対象とした)

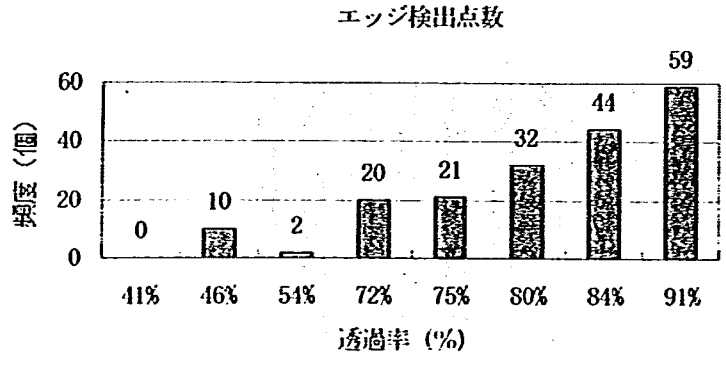
c)エッジ検出による計測

カメラから目標物（地点）までの大気の汚損により、目標物の映像上のコントラストが低下する。ここではこれに着目して、エッジ（輝度の変化点）の強度を画素毎に算出して、これらを適当なしきい値で２値化することにより、エッジ部分であると判定した画素数（エッジ検出点数）を算出した。このエッジ検出点数と透過率の間の関係を評価した。

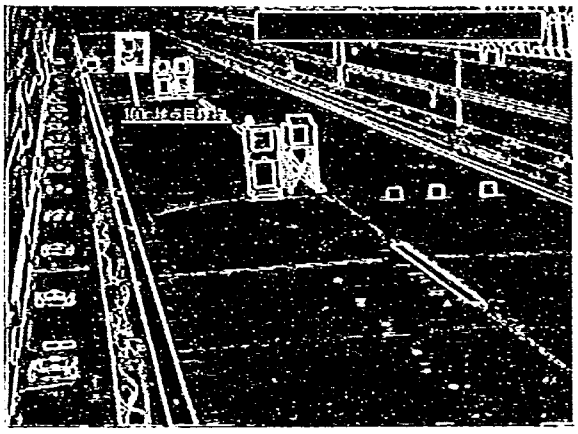
なお、画面全体を処理対象とするのではなく、特にばい煙による変化が顕著な遠方（画面の左上部）に設置した目標物を対象として処理を行った。

実験の結果、ほぼ予想通りの結果が得られ、透過率がある程度低下してエッジを検出することができなくなるレベルまでは、透過率の変化にエッジ検出点数の値が追従する結果となった。（図表(4. 1. 2) 6-18、図表(4. 1. 2) 6-19、図表(4. 1. 2) 6-20）

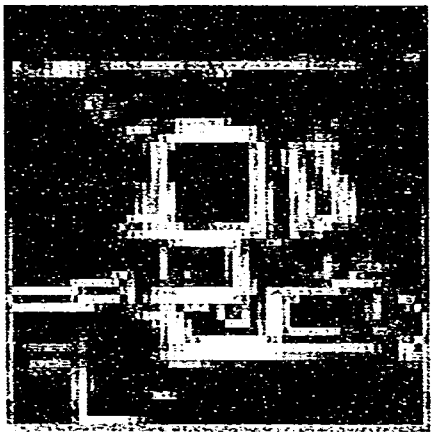
図表(4. 1. 2) 6-18　路上設置目標物（100m付近）のエッジ検出数



図表(4.1.2) 6-19　フィルタリングした映像の例



図表(4.1.2) 6-20　フィルタリングした目標物付近



③検討のまとめ

各方式の基礎検討結果から、エッジ検出による計測が有効と考える。

（2）エッジ検出による試行

①概要

前項までの検討結果から、ばい煙濃度を比較的よく表す指標として、目標物のエッジ検出結果があげられる。

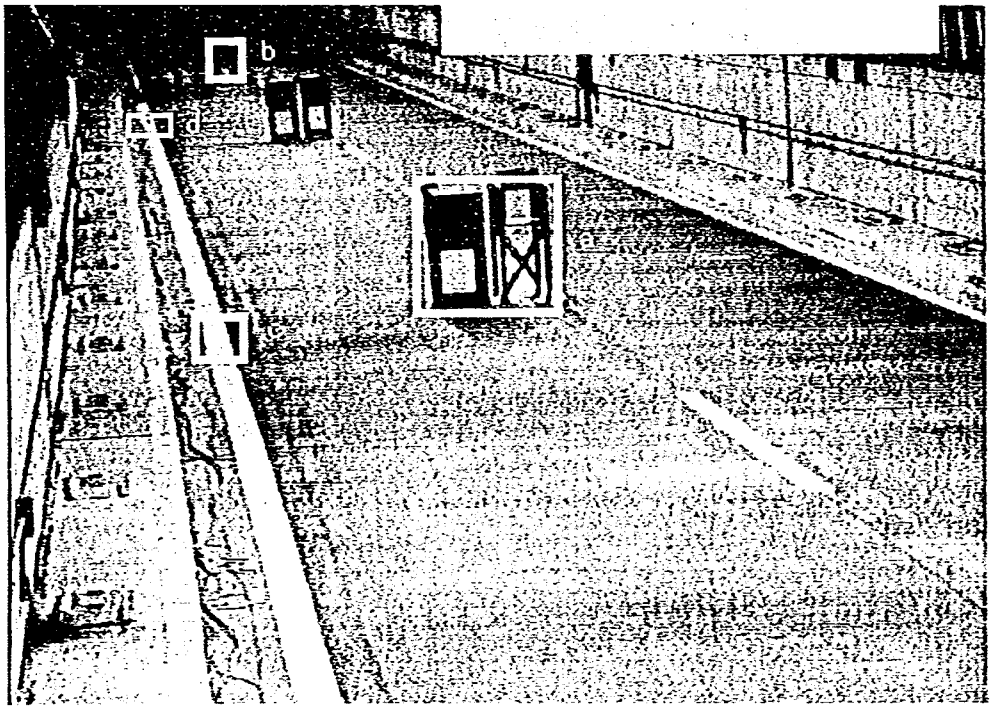
そこでこの処理を用いて、実験映像内の複数の目標物およびトンネル照明条件について評価を行った。

評価項目を図表(4.1.2) 6-21に示す。また目標物の設置状況を図表(4.1.2) 6-22に示す。

図表(4.1.2) 6-21　評価対象目標物

	照明条件	目　標　物	ｶﾒﾗ～目標物間距離	備　考
(1)	通常照明	走行車線左側の側線	40m	(図表(4.1.2) 6-22 c)
(2)			85m	(図表(4.1.2) 6-22 d)
(3)		センターライン付近の設置目標物	100m	(図表(4.1.2) 6-22 b)
(4)			40m	(図表(4.1.2) 6-22 a)
(5)	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明	走行車線左側の側線	40m	(図表(4.1.2) 6-22 c)
(6)			85m	(図表(4.1.2) 6-22 d)
(7)		センターライン付近の設置目標物	100m	(図表(4.1.2) 6-22 a)
(8)			40m	(図表(4.1.2) 6-22 b)

図表(4.1.2) 6-22　エッジ検出処理における目標物の位置



②試行結果

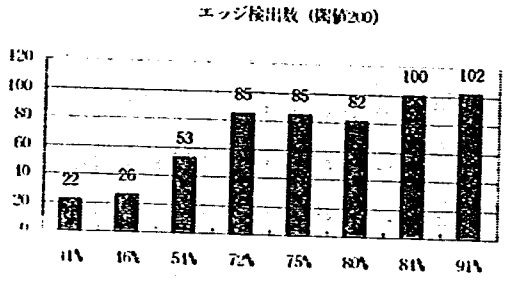
a)通常照明　40m地点側線

・透過率が91%→72%に至るまでは透過率が低下しても、検出されるエッジの数との間には顕著な相関が見られない。

・透過率が54%時点では、91%時点におけるエッジの検出量の約半分のエッジが検出される。また、透過率46%では54%時点の更に半分の検出量になる。

このことより、この条件下では透過率が72→54%の間に透過率とエッジ検出数の相関が現れ始めるポイントがあると考えられる。(図表(4.1.2) 6-23)

図表(4.1.2) 6-23



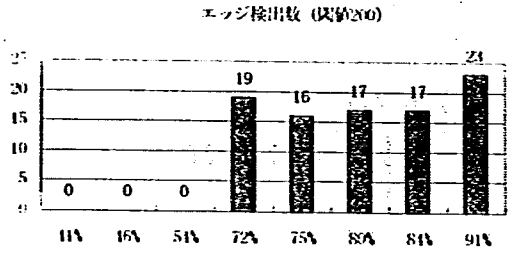
b)通常照明　85m地点エリア

・透過率の低下とエッジの検出数には相関が見られない。

・透過率が72%→54%になる時点でエッジを検出することができなくなる。

このことより、この間にエッジ検出が出来なくなるような変化のポイントがあると考えられる。(図表(4.1.2) 6-24)

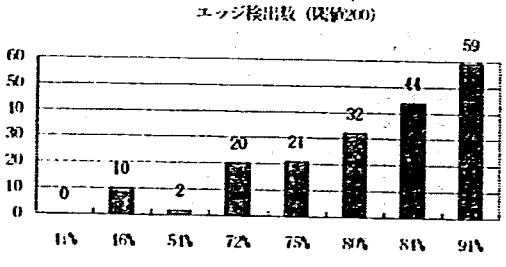
図表(4.1.2) 6-24



c)通常照明　100m地点路上設置物

・透過率が91%→72%まで低下する際、検出されるエッジの量との間には正の相関がある。また、72%→54%に透過率が低下すると、エッジの検出数の減少が著しくなる。したがって、実験の時のように条件が一定であれば、この減少が著しくなる辺りを境にしてばい煙の有無を検知することが可能である。(図表(4.1.2) 6-25)

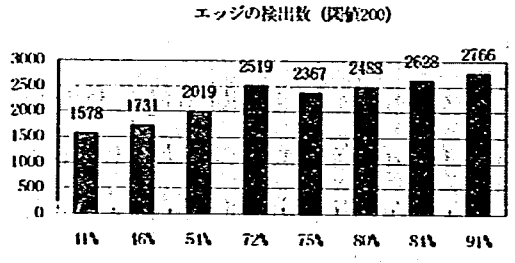
図表(4.1.2) 6-25



d)通常照明　40m地点路上設置物

・透過率が91%→41%に低下するのに比例してエッジの検出数も低下する。したがって正の相関関係があると言える。しかしエッジ検出数の低下が透過率の低下に対して緩やかに低下しており、ばい煙によるコントラストの低下の影響は顕著ではない。このことより、相当透過率が低下しない限り、ばい煙を検知することができないと考えられる。（図表(4.1.2) 6-26）

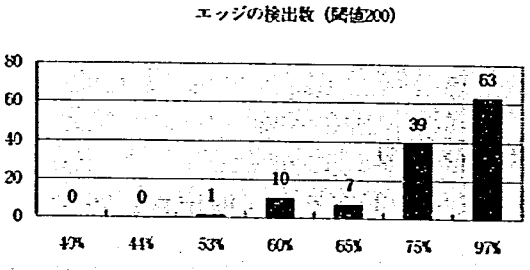
図表(4.1.2) 6-26



e)カウンタービーム照明　40m地点側線

・透過率が75%→65%以下に低下する辺りで検出されるエッジの数が急激に減少する。（図表(4.1.2) 6-27）

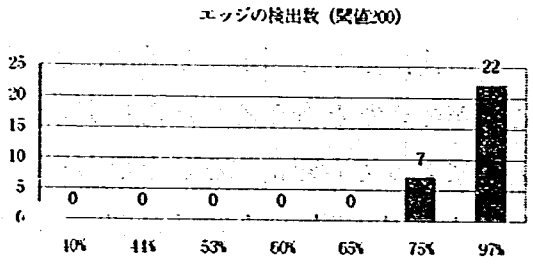
図表(4.1.2) 6-27



f)カウンタービーム照明　85m地点側線

・透過率が高い（97%）間はエッジが検出できるが、75%より低い値になると、全くエッジを検出することができなくなる。このようにエッジ検出数の変化が極端であると、ばい煙の有無は判定できても、濃度までは判定が困難であると考えられる。（図表(4.1.2) 6-28）

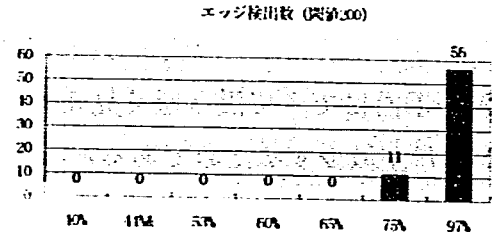
図表(4.1.2) 6-28



g)カウンタービーム照明　100m地点路上設置物

・透過率が高い（97%）間はエッジが検出できるが、75%より低い値になると、全くエッジを検出することが出来なくなる。このようにエッジ検出数の変化が極端であると、ばい煙の有無は判定できても、濃度までは濃度は判定が困難であると考えられる。（図表(4.1.2) 6-29)

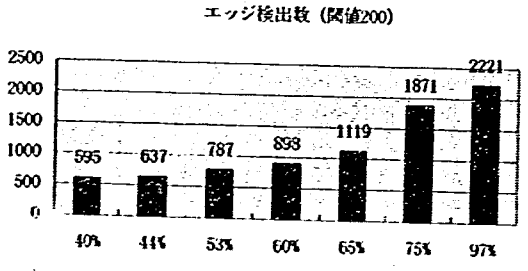
図表(4.1.2) 6-29



h)カウンタービーム照明　40m地点路上設置物

・透過率とエッジの検出数には正の相関関係がある。今回のの環境条件の範囲では、ばい煙の検知及びおおよその濃度の計測が可能と考えられる結果となった。特に、75%→65%の透過率の低下に伴う検出エッジの減少は、他の透過率の低下部分よりも顕著にあらわれている。（図表(4.1.2) 6-30)

図表(4.1.2) 6-30



（3）考察とまとめ

①画像処理手法に関して

今回の実験では、エッジの検出量から判定する手法による結果が、ばい煙の発生状態を比較的よく表すことができたと考える。ただし実際のトンネル内の環境については、ばい煙以外の要因によっても変化することがあると考えられる。

このことを考慮すると、単一の計測手法のみでは弱い面があると考えられ、今後は他の方式による補完処理も含めて検討する必要があると考える。

以上を含め、今後以下の点に留意して処理アルゴリズムの開発を継続する。

・ばい煙以外の要因による環境の変化に追従するアルゴリズムの開発
・定量評価の行いやすい条件の目標物の選定
・指標の時間的変化も考慮した判定方式の開発

②照明種別による差異

通常照明とカウンタービーム照明を比較すると、同じ目標物については通常照明の方が若干良好な結果となった。

今回の実験のように、カメラが交通流の上流側から撮像している場合、カウンタービーム方式では物体の影が手前にできて黒っぽく見えることになる。このため、その物体が本来持つエッジの量が減少するためであると考えられる。

（4）今後の方針

トンネル内実験施設で得られた模擬的な実験映像を用いて、ばい煙検知のための基礎的な検討を進めることができた。

今後はフィールドで得られた映像を用いて、実際のトンネル交通流の中でばい煙検知を行う上での諸問題点を抽出し、これに対する対策を検討してゆく。

基礎実験Ⅱ－2

（1）概要

本実験は、トンネル内に発生するばい煙を、画像処理技術を利用して検知することを目的とする。実験に際しては、平成７年10月30日及び11月２日に、トンネル研究室殿で実施された、トンネル内ばい煙発生実験の際収録したビデオテープについて、解析評価作業を進めてきた。

本年度の成果について、ここに報告する。

（2）評価に使用した指標

ばい煙検出を行うための指標数値化のために、２種類の特徴抽出処理を収録ビデオテープの画像に対し施した。

①濃度抽出処理による指標数値化

画像内の路面及び壁面の濃度変化に着目し、指標の数値化を行った。

②コントラスト抽出処理による指標数値化

画像内の特定物標に着目し、そのコントラストによる指標の数値化を行った。

（3）評価結果

①濃度抽出処理による評価結果

画像内に４箇所の監視領域を設けた上で、さらに領域内を11個のブロックに分割し、各ブロック内の濃度抽出を行った。処理の結果、左歩道及び左車線の監視領域内のブロック１にて、煙濃度の変化に追従した結果が得られた。（図表(4.1.2) 6-32参照。）

②コントラスト抽出処理による評価結果

画像内に２箇所のコントラスト監視領域を設け、指標の数値化を行った。本手法についても、煙濃度の変化に追従した結果が得られた。（図表(4.1.2) 6-33参照。）

③真値との相関について

上記①および②で得られた指標と、実際の透過率との関係を図表(4.1.2) 6-34、図表(4.1.2) 6-35に示す。

尚、以下に透過率の実測データを示す。

図表(4.1.2) 6-31

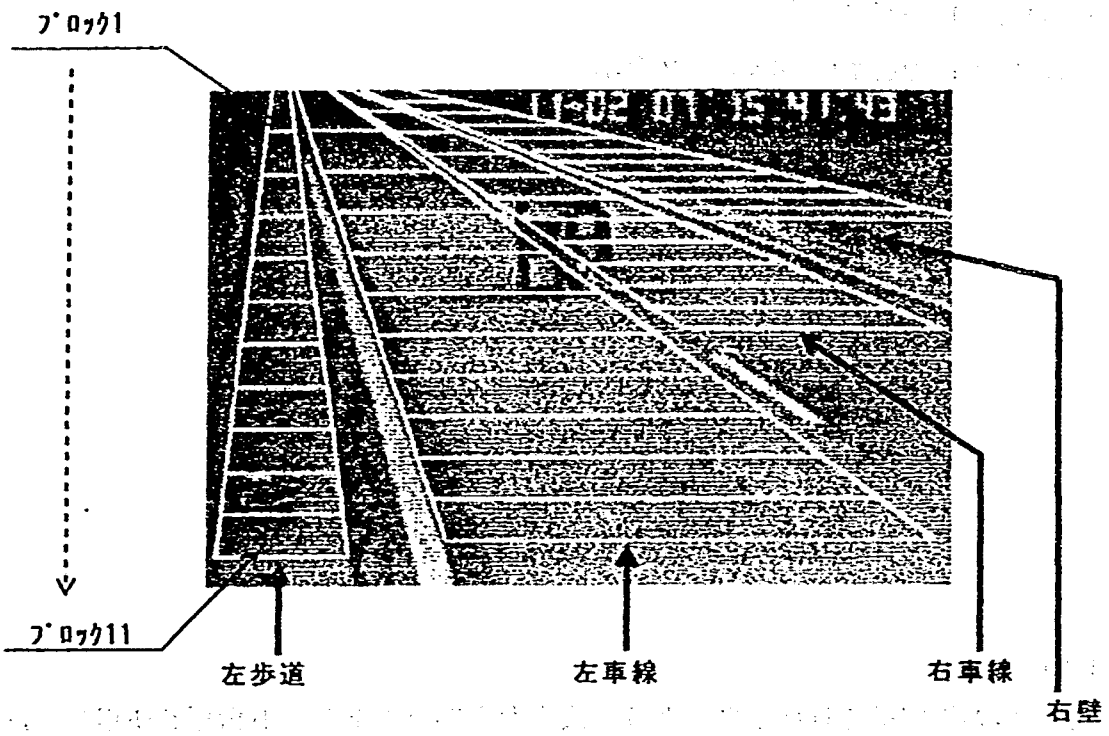
経過時間	透過率（%）
0時間00分	97
2時間15分	75
4時間20分	60
5時間45分	53
6時間30分	44
6時間45分	40

（4）考察

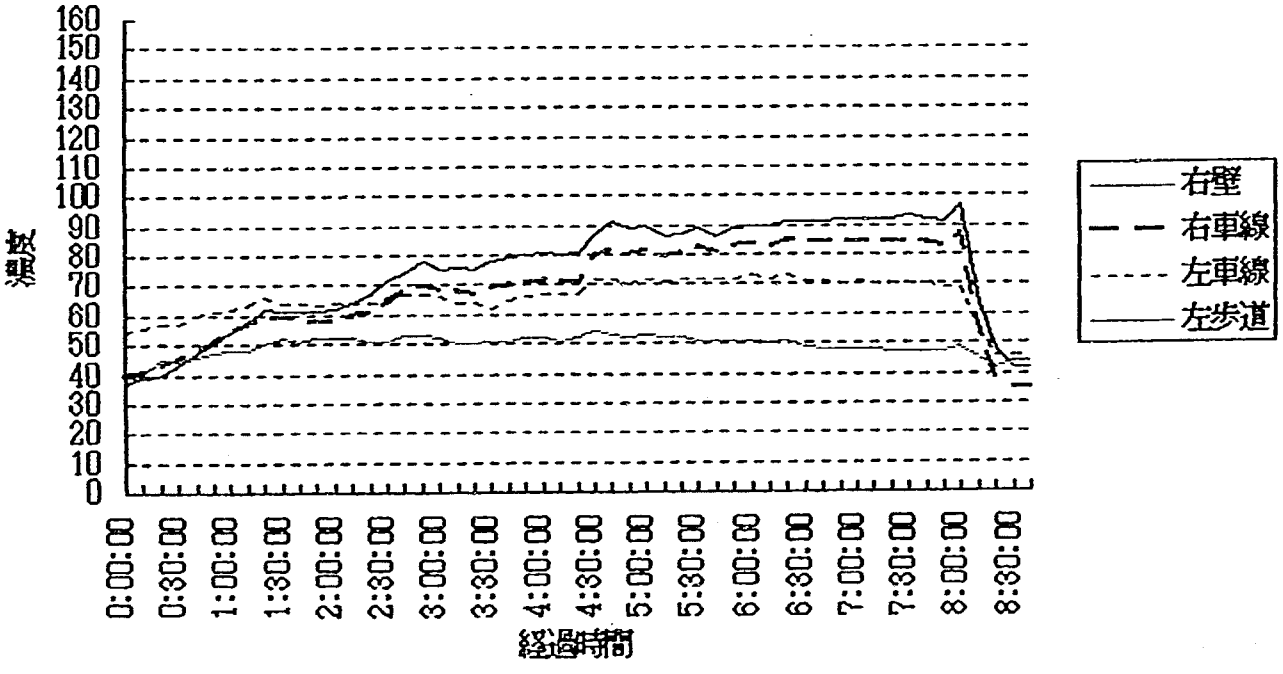
以上の評価で得られた結果により、濃度およびコントラスト指標を使用し、透過率を画像処理的に測定出来るものと考えられる。

今後さらに、測定精度という観点から、フィールドでデータを収集し、指標およびアルゴリズムの検討を進める必要がある。

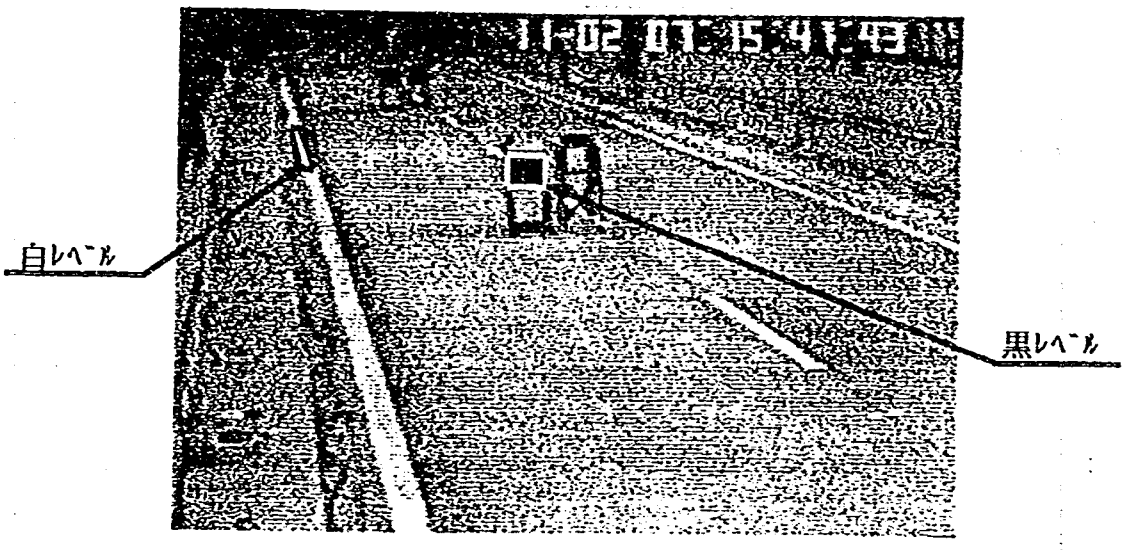
図表(4.1.2) 6-32　濃度抽出処理による評価結果

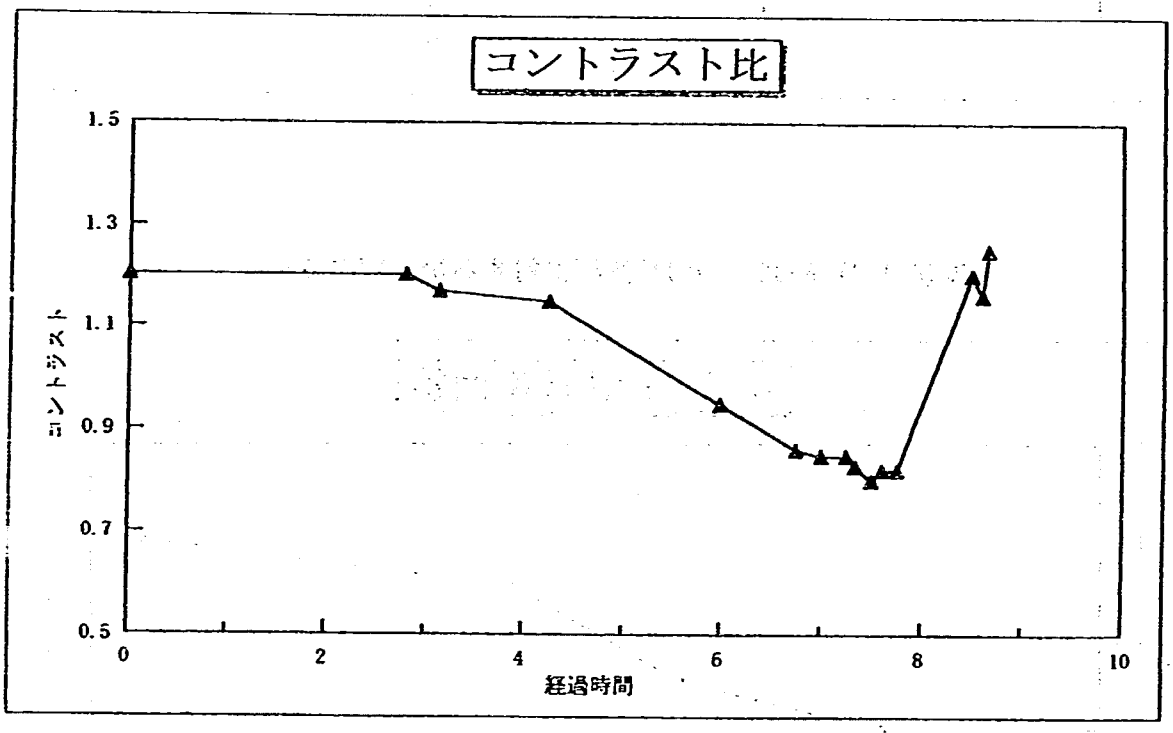


煙検知システム　濃度グラフ（ブロック１のみ　１０分間隔）

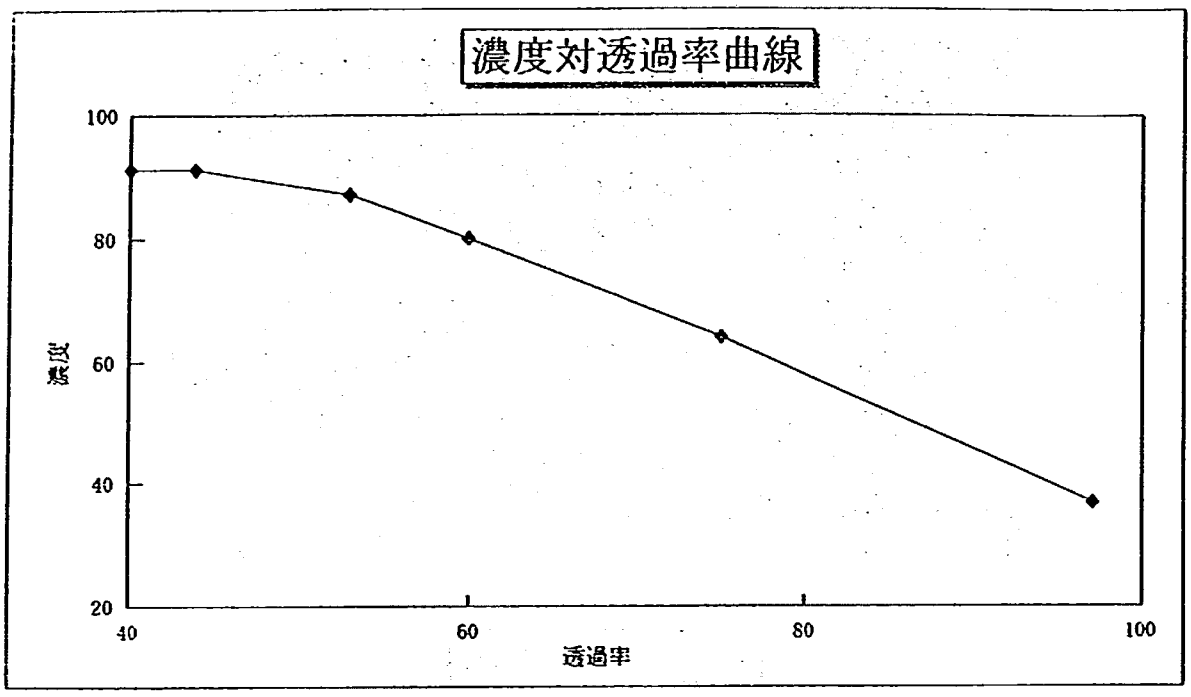


図表(4.1.2) 6-33 ｺﾝﾄﾗｽﾄ抽出処理による評価結果

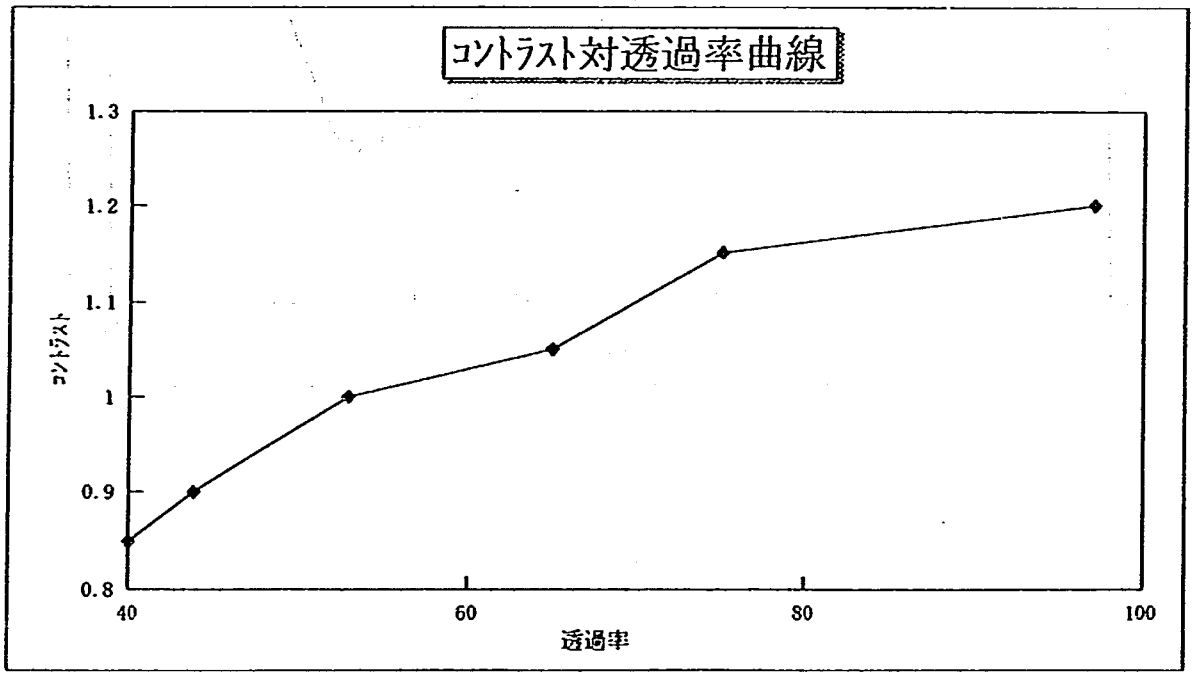




図表(4. 1. 2) 6-34　濃度指標に対する透過率の変化



図表(4. 1. 2) 6-35　ｺﾝﾄﾗｽﾄ指標に対する透過率の変化



基礎実験Ⅱ－3

（1）概要

トンネル内の空気が排ガスやばい煙等で汚損されると、空気の透過率が落ちるため画面全体にもやがかかったような状態となり、物と物との境界がはっきりしなくなる。この境界のぼやけ方を数値的に検出してトンネル内の汚損度を判定することが有効であると考え、画像処理手法の一つであるエッジ検出手法の適用を検討した。

エッジ検出手法は、ある対象物のエッジ近傍における輝度の1階微分値をエッジ出力値として検出する方法である。鮮明な画像ほどエッジがシャープであるためエッジ出力値は大きく、ぼやけた画像ほどエッジがはっきりしないためエッジ出力値は小さくなる。このエッジ出力値を検出することでトンネル内汚損度の判定が可能となる。

ここではエッジ検出手法の検討結果について報告する。

（2）検討方法

トンネル内実験室殿で実施された映像収録実験の画像データを用い、図表(4.1.2) 6-36に示した諸条件により以下の検討を行った。

・空気の透過率とエッジ出力値の相関性

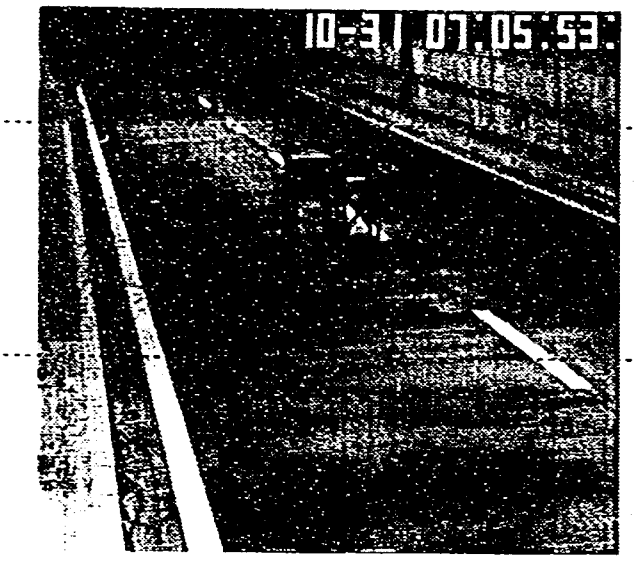
・エッジ出力値による空気透過率の推定

処理対象となる画像の例を図表(4.1.2) 6-37に示す。図表(4.1.2) 6-37に示した検出位置によりエッジ出力を求めた。

図表(4.1.2) 6-36　エッジ検出手法検討の諸条件

項　目	内　容
照明	(1) 通常照明 (2) カウンタービーム照明
処理対象	(1) カメラ位置より約75mの側線 (2) カメラ位置より約75mの中央線 (3) カメラ位置より約30mの側線 (4) カメラ位置より約30mの中央線
処理内容	1階微分型フィルターによるエッジ出力値(エッジ近傍における輝度の1階微分値) の検出

図表(4.1.2) 6-37　処理対象画像



（3）検討結果

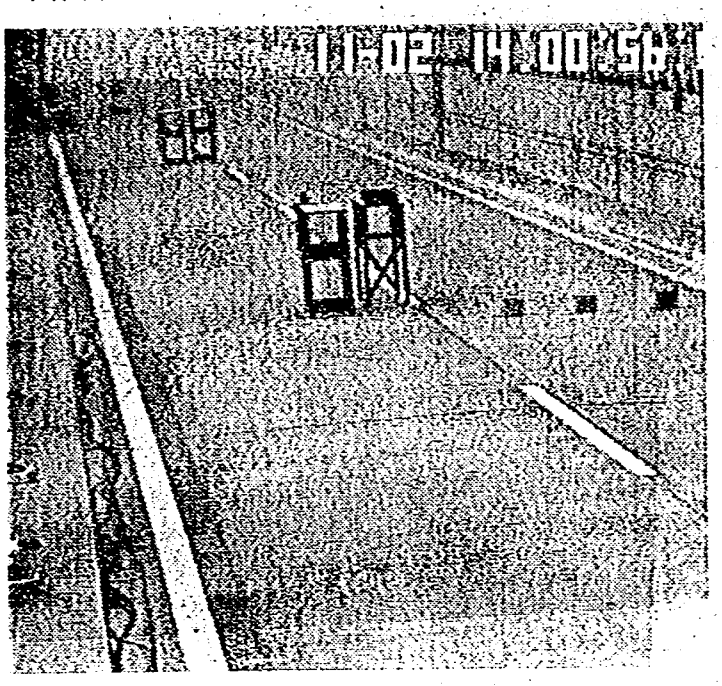
①空気の透過率とエッジ出力値の相関性

透過率が約41%（図表(4.1.2) 6-38参照）、54%、72%、97%（図表(4.1.2) 6-39参照）の場合の画像を用いて、エッジ出力値を求めた。通常光の場合のエッジ出力結果を図表(4.1.2) 6-40に、カウンタービーム光の場合のエッジ出力結果を図表(4.1.2) 6-41に示す。各図とも縦軸は透過率41%におけるエッジ出力値に対する、エッジ出力の比を表している。これらの図より以下のことを確認できた。

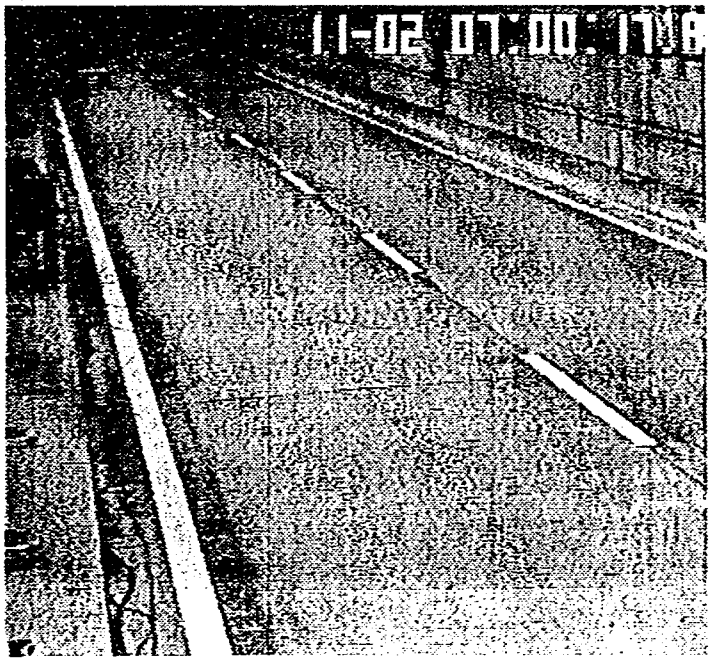
・透過率が高くなるに従い、出力比は大きくなる。
・近傍の対象に比べ、遠方の方が出力比が大きい。
・カウンタービーム光の方が通常光よりも出力比が大きく、透過率と直線的な関係となっている。

以上の結果より、透過率とエッジ出力値には強い相関性があることが分かった。従って、エッジ出力値を検出することにより、透過率を判定することが可能と考えられる。

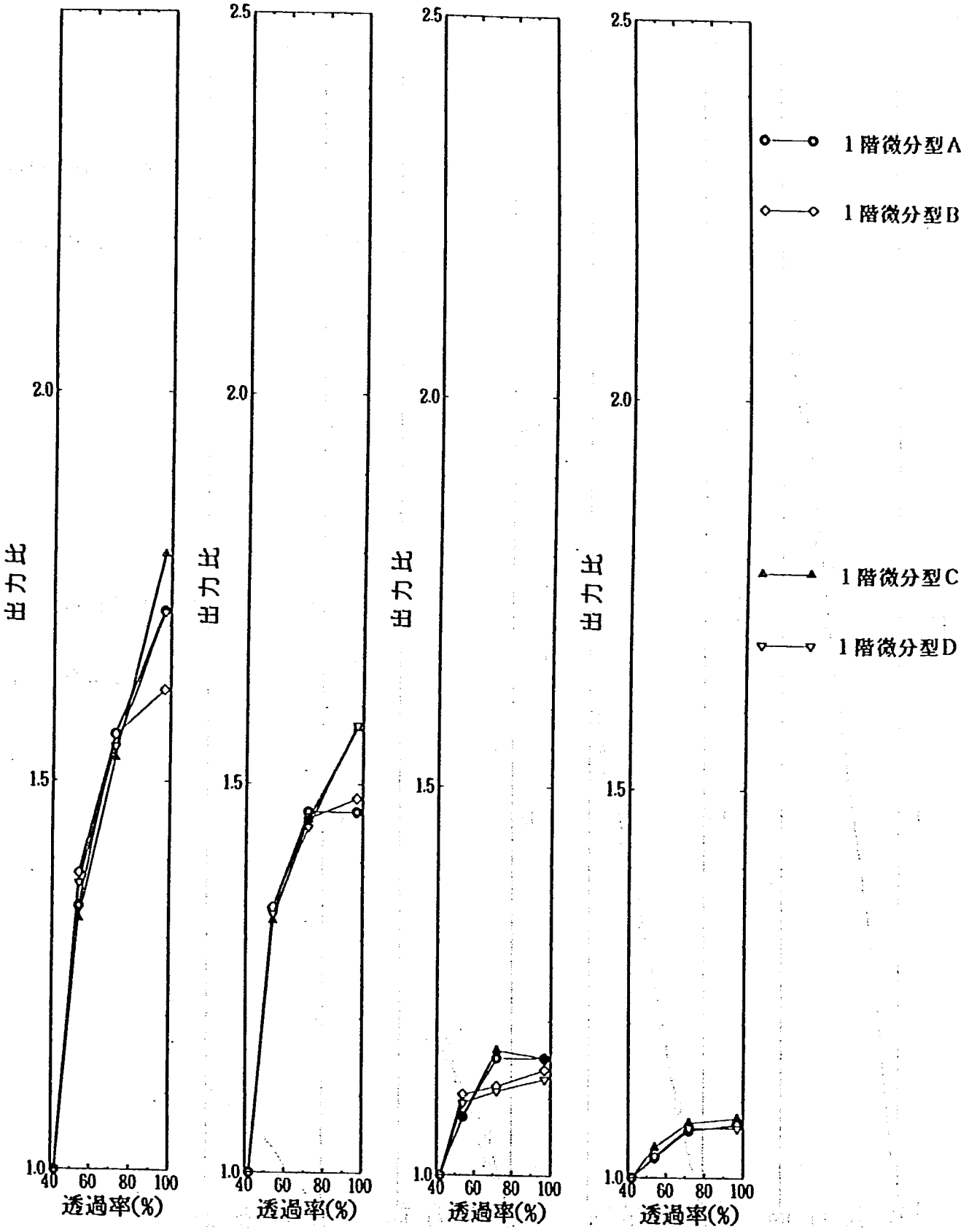
図表(4.1.2) 6-38　透過率41%画像例（通常光）



図表(4.1.2) 6-39　透過率97%画像例（通常光）

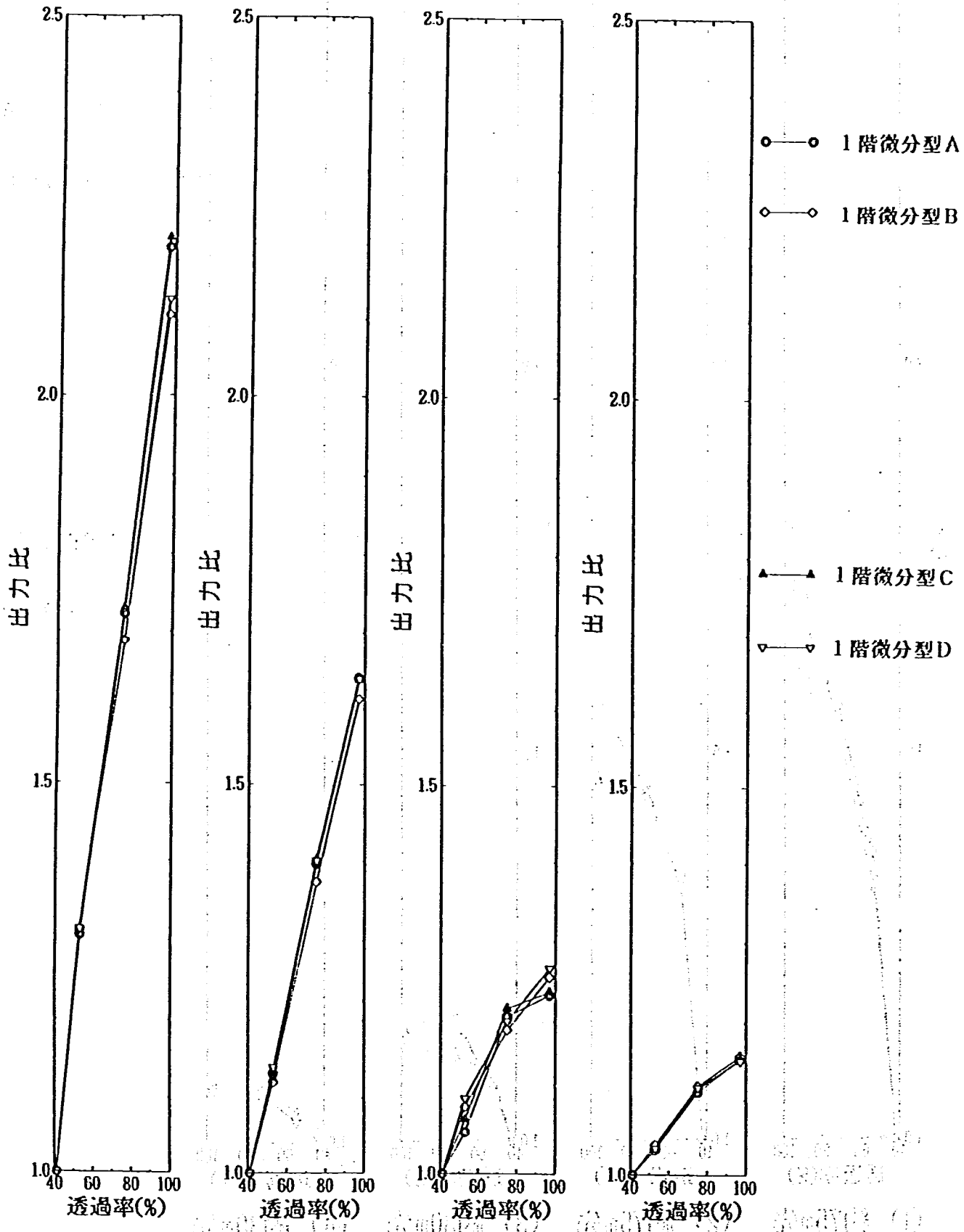


図表(4.1.2) 6-40　エッジ出力結果（照明：通常光）



(1) 約75m先 側線　(2) 約75m先 中央線　(3) 約30m先 側線　(4) 約30m先 中央線

図表(4. 1. 2) 6-41　エッジ出力結果（照明：カウンタービーム光）



(1) 約75m先 側線　(2) 約75m先 中央線　(3) 約30m先 側線　(4) 約30m先 中央線

②エッジ出力値による透過率の推定

前節では、透過率とエッジ出力値の間に強い相関があることを確認できた。ここでは、さらにエッジ出力値による透過率の推定について検討を行った。

まず透過率の推定には、透過率推定式の導出が必要である。透過率実測値とそのときのエッジ出力値にはほぼ直線的な関係があるため、透過率をエッジ出力値に対してプロットし、一次式で近似した近似直線を透過率推定式とした。通常光の近似直線とカウンタービーム光の近似直線をそれぞれ 図表(4.1.2) 6-42、図表(4.1.2) 6-44に示す。

次に、得られた透過率推定式に各時間のエッジ出力値を代入し、透過率の推定値を求めた。通常光とカウンタービーム光についての透過率推定値の経時変化をそれぞれ図表(4.1.2) 6-43、図表(4.1.2) 6-45に示す。図中、透過率が急激に変化している箇所は、測定エリアに入った作業者のエッジ出力を計算したためである。これらより以下のことが分かった。

・透過率の推定値はほぼ実測値と一致している。

・透過率推定値の変動は、75m遠方と30m遠方の図を比較すると、75mの方が小さい。したがって、より遠くのもので算出した方がよいと考えられる。

・カウンタービーム光の方が通常光に比較して透過率推定値の変動は小さい。

以上の結果、今回検討したエッジ検出方法による透過率推定の可能性を確認した。

（4）考察

今回の検討では、75m遠方による推定値の方が30m遠方の推定値に比べ、変動が小さいことが分かった。これは、エッジ出力値の変動が近似直線の傾きに比例して透過率推定値に反映されるためである。したがって、図表(4.1.2) 6-42あるいは図表(4.1.2) 6-44に示されているように、近似直線の傾きが小さい75m遠方の方が透過率推定値の変動が小さくなる。ただし、透過率の推定可能な最大距離、あるいは、透過率推定値の変動が最も少ない最適距離等については、今後検討していく必要がある。

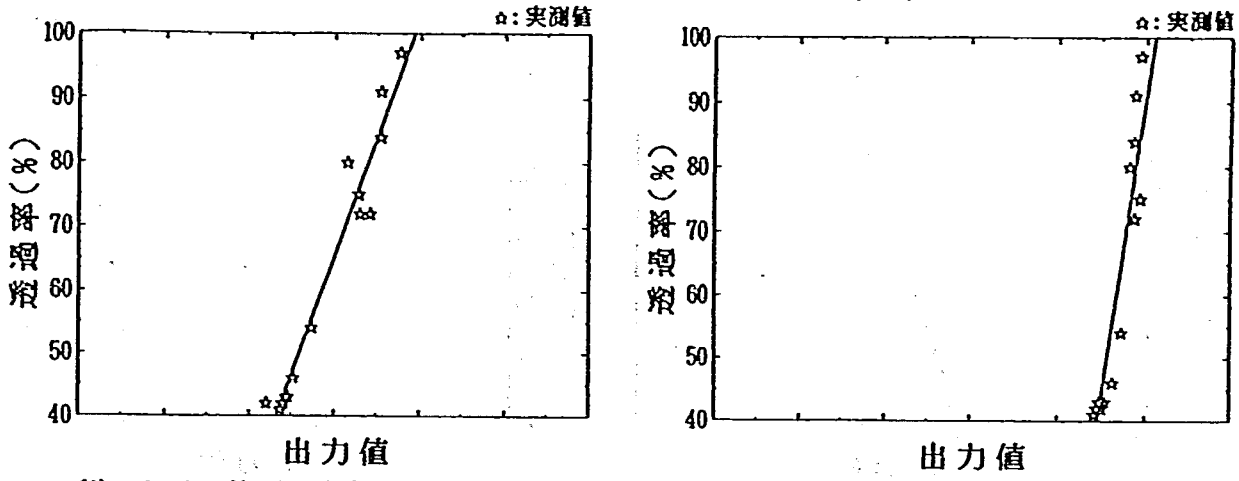
カウンタービーム光と通常光の透過率推定値を比較すると、カウンタービーム光による推定値の方が変動が少ないことが分かった。これは次の理由によるものと考えられる。

図表(4.1.2) 6-46の測定方法で実施された輝度測定の結果である図表(4.1.2) 6-47から分かるように、通常光の画像はカウンタービーム光の画像より明るい。このため、エッジ出力値およびその変動はカウンタービーム光より通常光の方が大きくなる。その大きさの違いは、透過率によらずある一定値の実数倍であると考えられる。したがって、本来ならば通常光の方が近似直線の傾きは小さく

ならなければならない。このような場合には透過率推定値の変動は、両者ともほぼ同程度になる。ところが、図表(4.1.2) 6-42、図表(4.1.2) 6-44にあるように近似直線の傾きはほぼ同じであり、通常光の近似曲線の傾きはカウンタービーム光より小さくなっていない。このため、透過率推定値の変動は、エッジ出力値の変動が大きい通常光の方が大きくなると考えられる。今後、この点に関してもさらに詳細に検討していく必要がある。

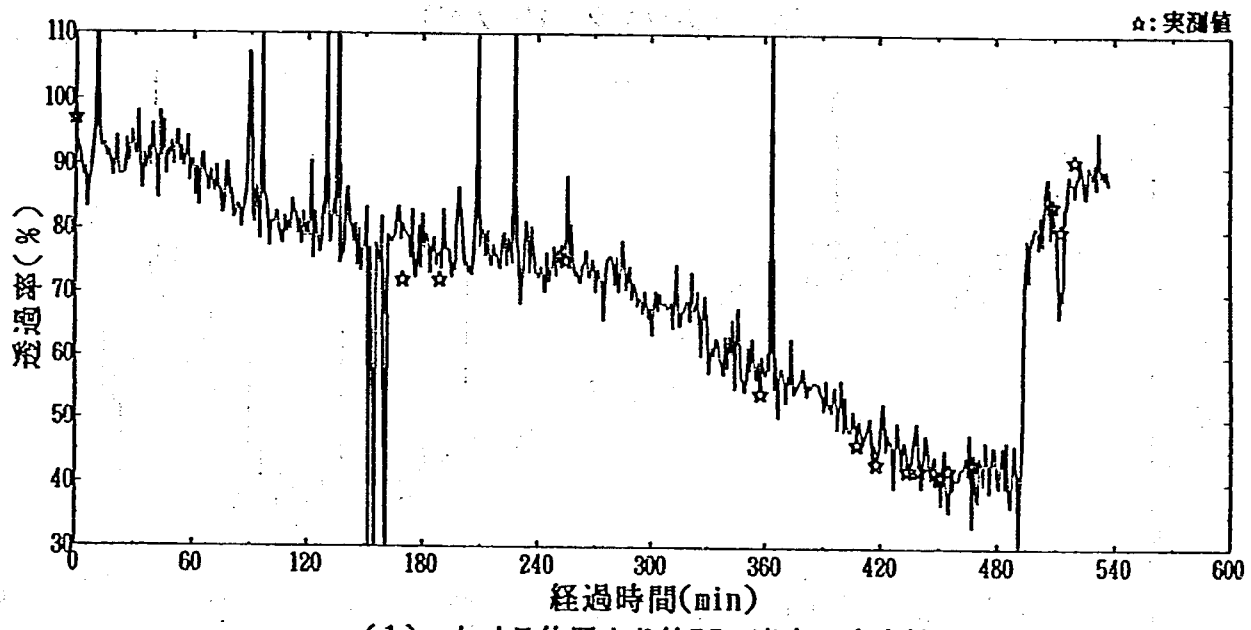
今回の実験ＶＴＲでは、カメラから遠方にあり、コントラスト比の得られる唯一の目標物としてライトを選択した。本実験は既設ＩＴＶ映像を用いたため壁面のライトを使用したが、専門のターゲットを用いることも考えられる。

図表(4.1.2) 6-42近似曲線（照明：通常光）

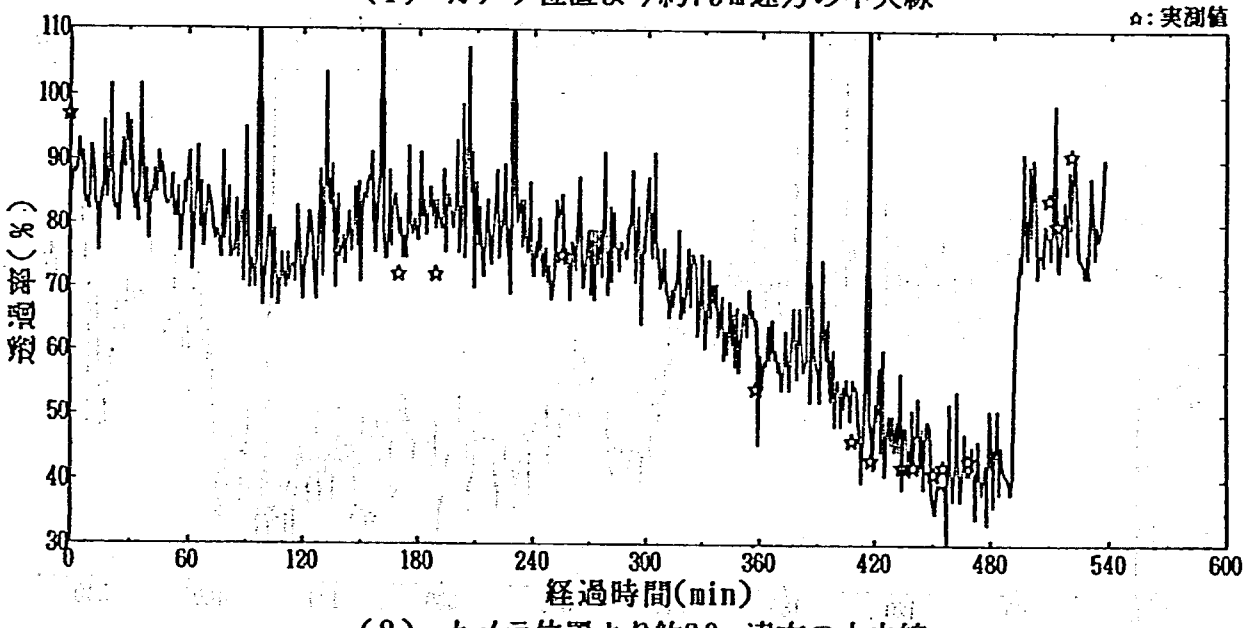


(1) カメラ位置より約75遠方の中央線　　(2) カメラ位置より約30遠方の中央線

図表(4.1.2) 6-43　エッジ出力値からの透過率の時間変化（照明：通常光）

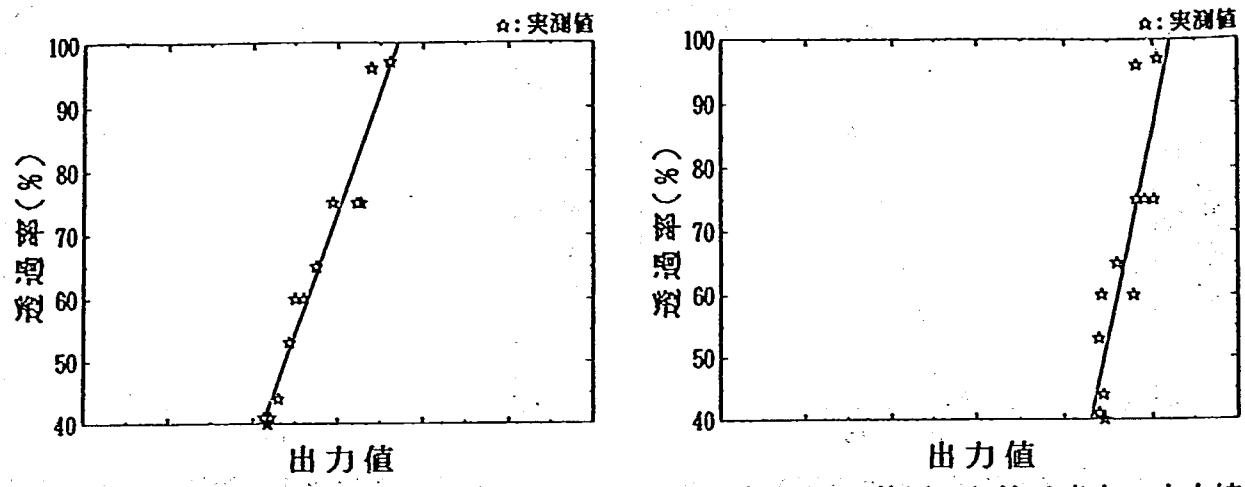


（1） カメラ位置より約75m遠方の中央線



（2） カメラ位置より約30m遠方の中央線

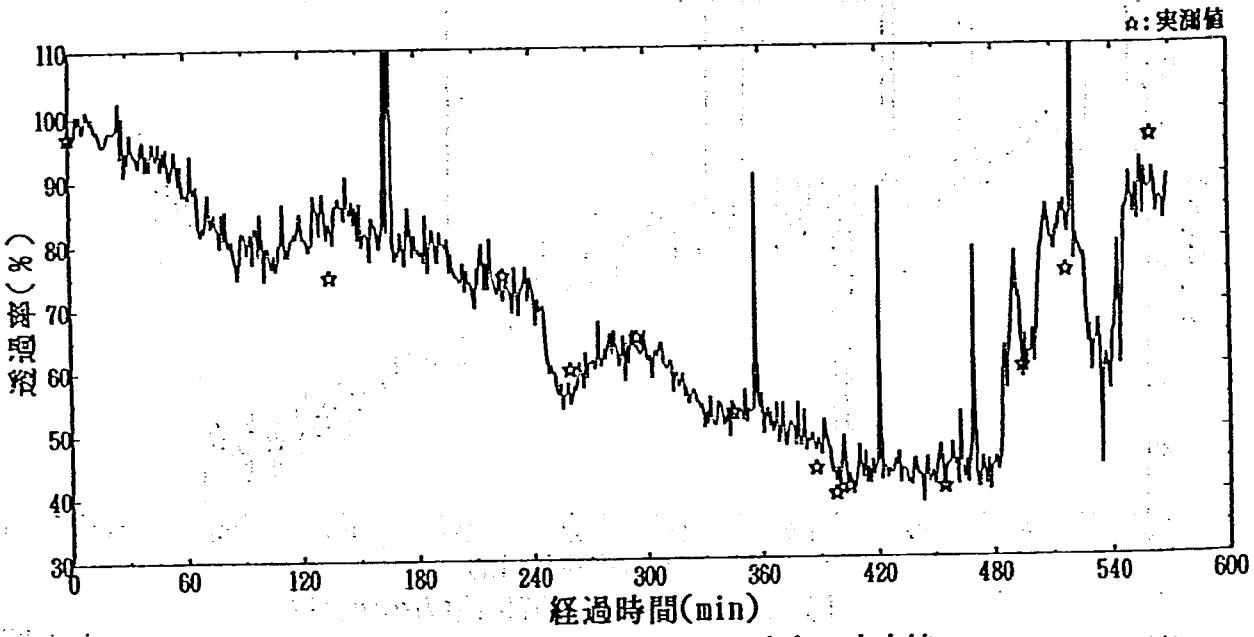
図表(4.1.2) 6-44近似曲線（照明：カウンタービーム光）



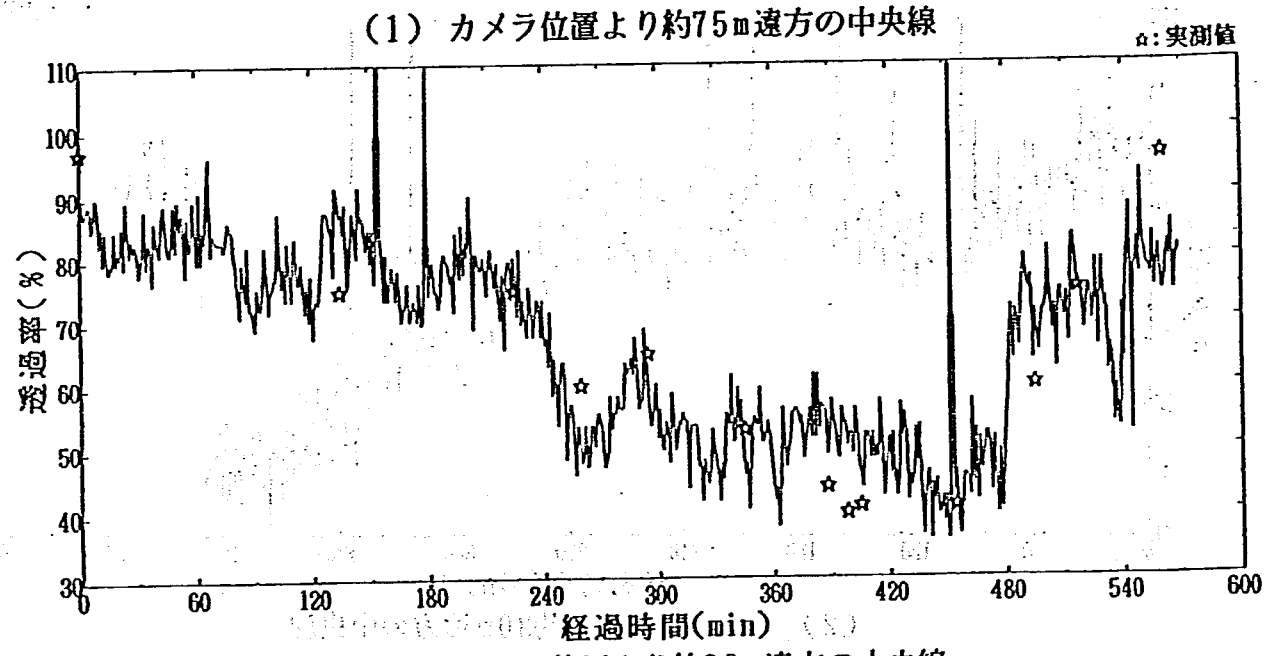
(1) カメラ位置より約75遠方の中央線　　(2) カメラ位置より約30遠方の中央線

図表(4.1.2) 6-45　エッジ出力値からの透過率の時間変化

（照明：カウンタービーム光）

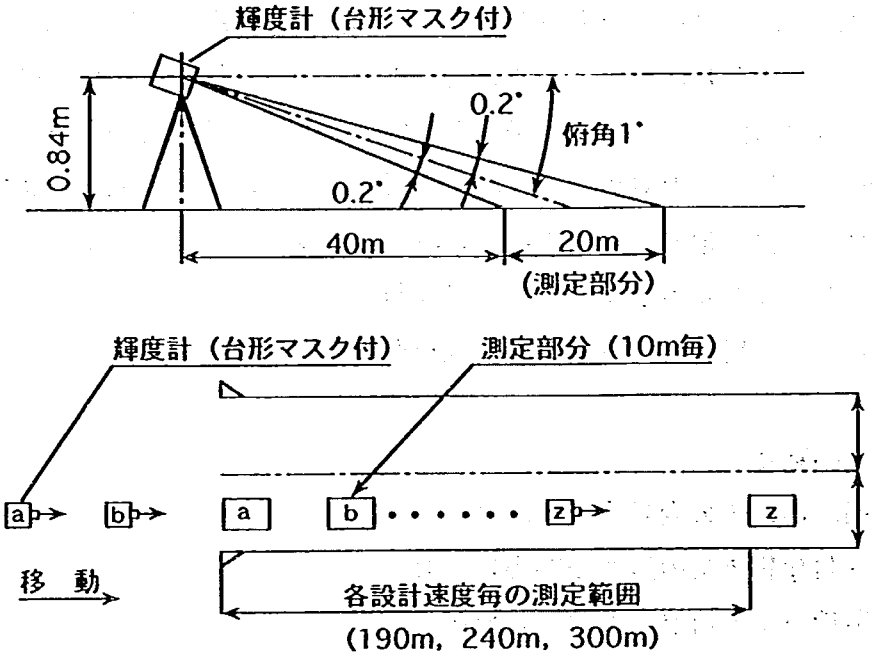


（1） カメラ位置より約75m遠方の中央線



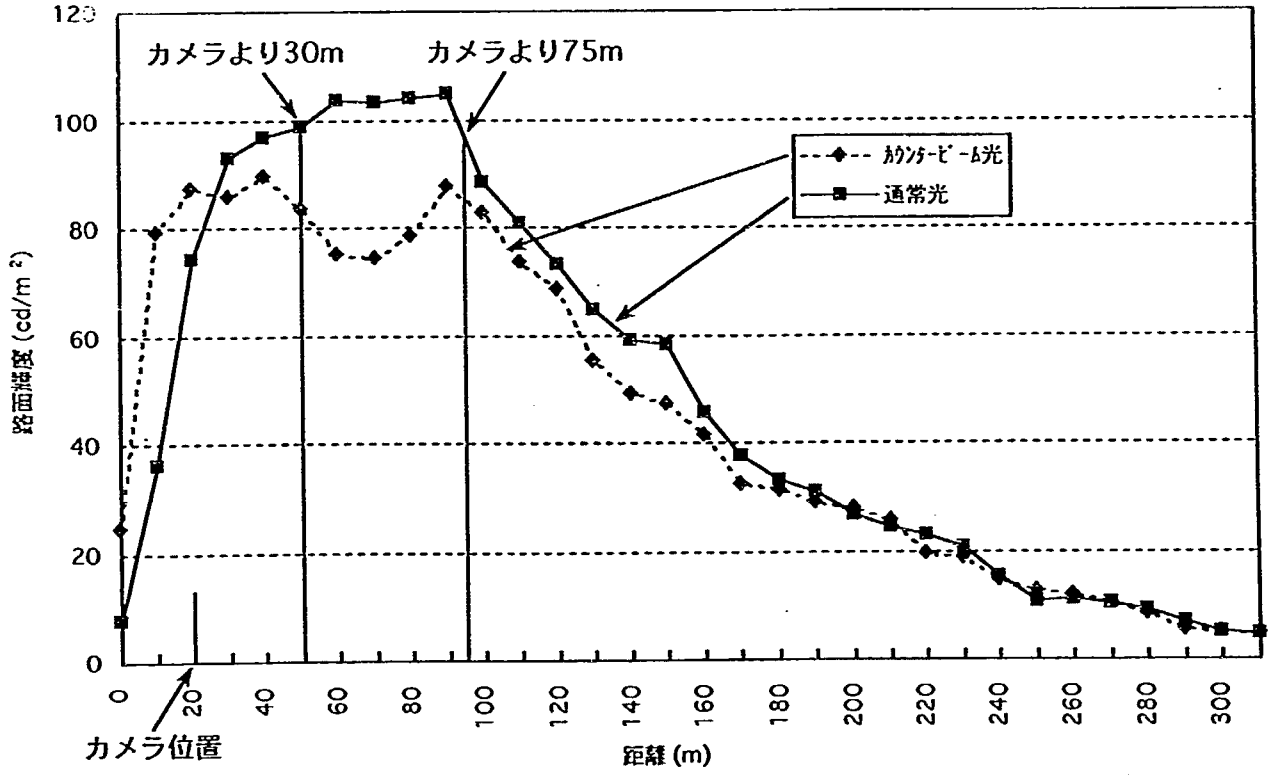
（2） カメラ位置より約30m遠方の中央線

図表(4.1.2) 6-46　路面輝度測定方法



＊俯角を1°に保ち、車線中央部で10m毎に測定

図表(4.1.2) 6-47　路面輝度実測値



（5）まとめ

今回の検討では、エッジ出力値から求めた透過率の推定値が実測値とほぼ一致し、エッジ検出手法の有効性を確認することができた。エッジ検出手法ではあらかじめ求められた透過率推定式により透過率を求めている。この透過率推定式は、実環境下では照明の光量、処理対象物の状態、路面等の状態によって大きく変化することが予想される。実用化するためには、これらのパラメータをどのように透過率推定式にフィードバックするかが大きな検討課題となる。

今後、さらに実用化に向けた開発研究を進めて行きたい。

（6）今後の課題

・透過率推定値の変動原因の調査
・処理対象物までの最適距離等の検討
・実環境下での透過率推定式の検討

7）越波

（1）実験概要

日本海沿岸で冬期間において、沿岸が荒れると海岸道路では越波により道路があらわれ、車両の通行に支障をきたすことがある。道路管理者は、24時間この状況を監視し、道路規制等の作業に追われることとなる。

越波を捉えるためには、海岸付近に設置した各種センサにより監視する手法もあり、すでにいくつかのセンサが設置されている。

ここでは、海岸付近に設置したＣＣＴＶの映像より越波を自動的に検出することを目的として、実験を行った。

（2）実験の概要

①実験映像

土木研究所より提供された新潟県能生の映像を実験映像として解析した。

映像は、昼間の時間帯のものであり、図表(4.1.2) 7-1に示すように、画面左半分に海岸が映っており、中央部には道路があり、左側に消波用としてテトラポットが設置されている。

②実験概要

a)映像状況

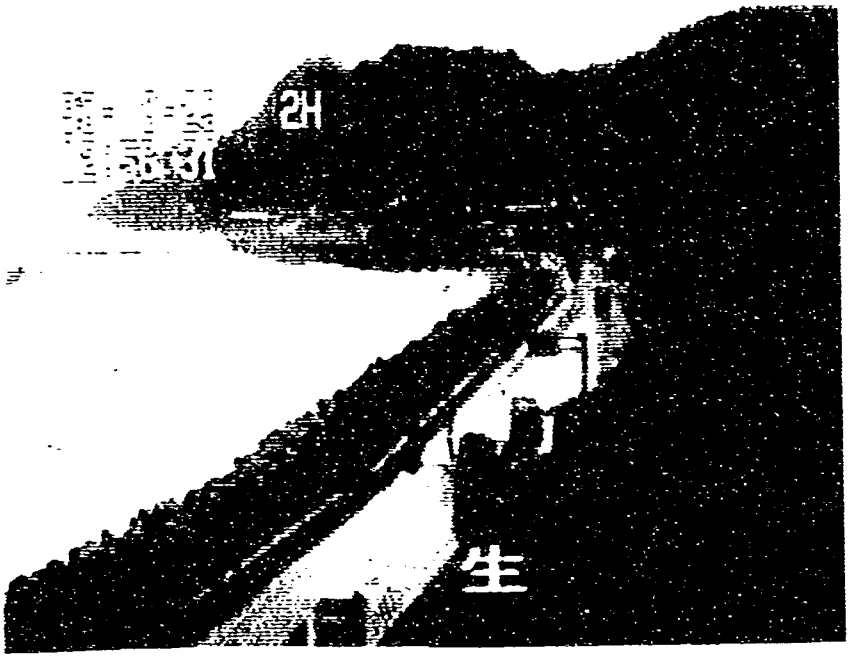
図表(4.1.2) 7-1～図表(4.1.2) 7-3に能生の越波の状況を示す。

図表(4.1.2) 7-1は、波が海岸側に引けた状態で、波は穏やかな状態である。

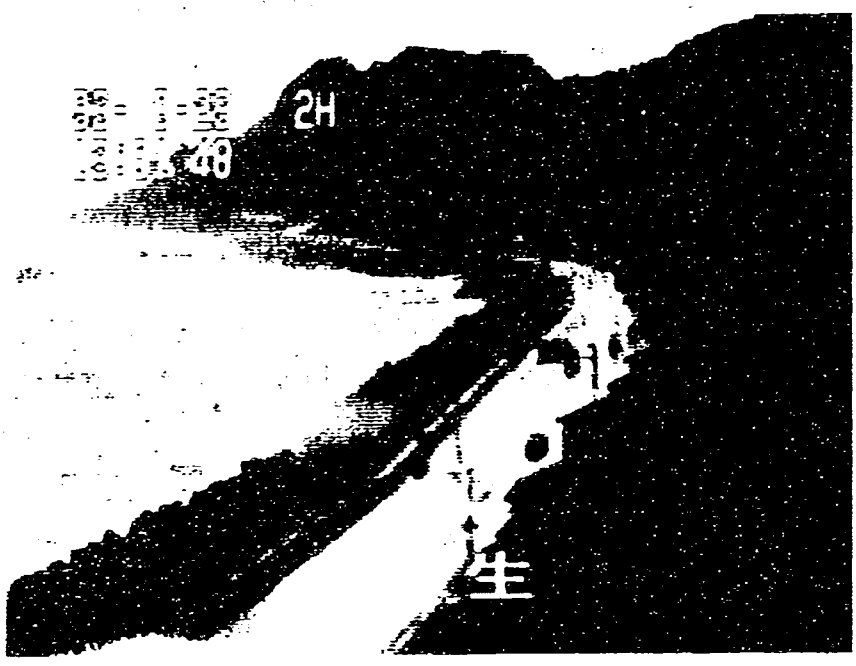
図表(4.1.2) 7-2は、小さな波がテトラポットにあたり、テトラポットに波しぶきがかかる様子である。

図表(4.1.2) 7-3は、大きな波がテトラポットにあたり、砕けた波がテトラポットを越えて、道路まで届いた状態である。

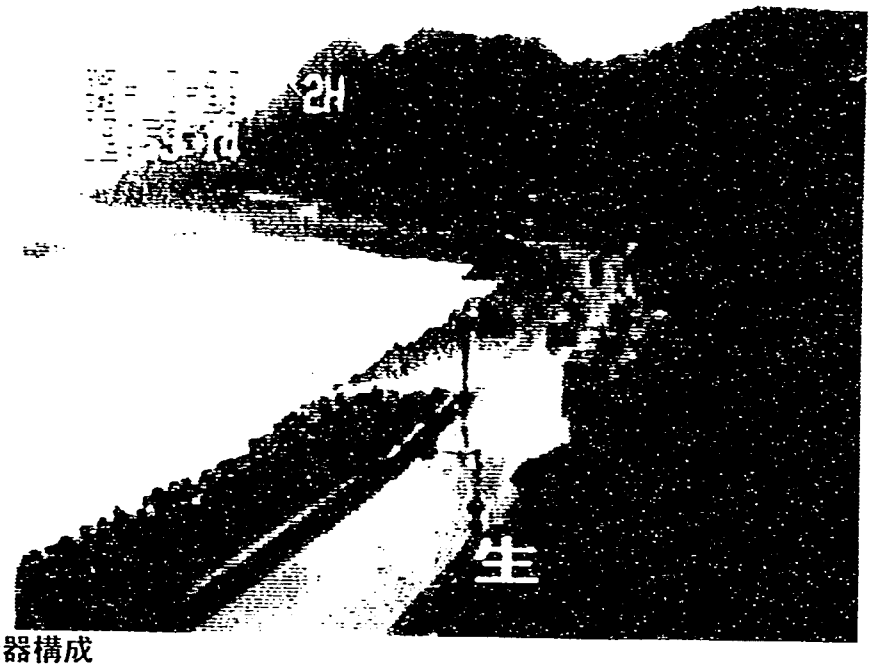
図表(4.1.2) 7-1　能生の越波の状況（平常時）



図表(4.1.2) 7-2　能生の越波の状況（テトラポットに波が被る）



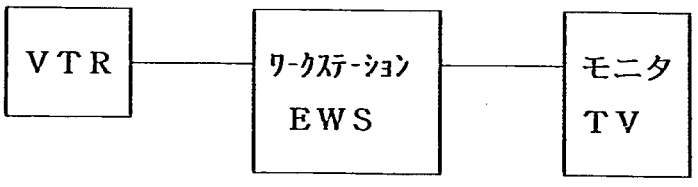
図表(4.1.2) 7-3　能生の越波の状況（道路まで波が被る）



b)実験機器構成

解析は下記のような機器構成で行った。

図表(4.1.2) 7-4　実験機器構成



解析データはテキストファイルとして、作成しＰＣにて出力する構成とした。

c)評価方法

評価は目視にて、テトラポットに波が被る状況及びテトラポットを越えて道路まで波が被る状況とした。

レベル１：（平常時）波がテトラポットに被らない状況

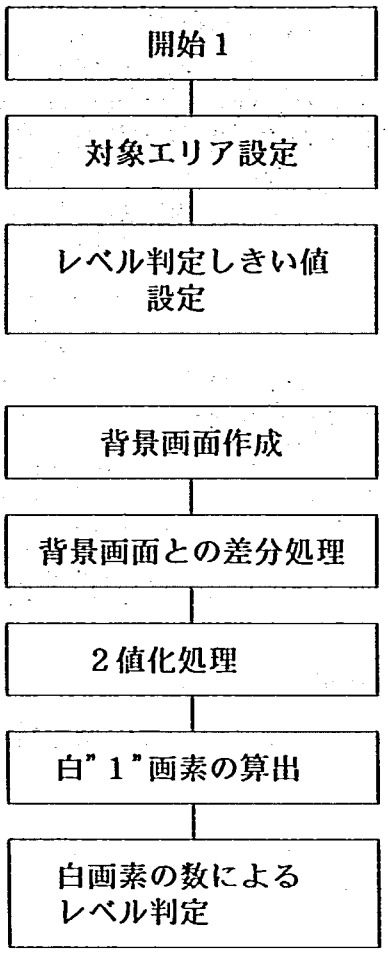
レベル２：（注意時）テトラポットまで波が被る状況

レベル３：（危険時）道路まで波が被る状況

d)解析方法

テトラポット付近は写真に示すように黒部（映像信号のレベルが低い）となっており、このテトラポット付近を中心に解析エリアを設定する。この設定したエリアにおいて差分処理を行い、設定したエリアに対する白部の占有面積の比として解析した。（図表(4.1.2) 7-5)

図表(4.1.2) 7-5　解析方法

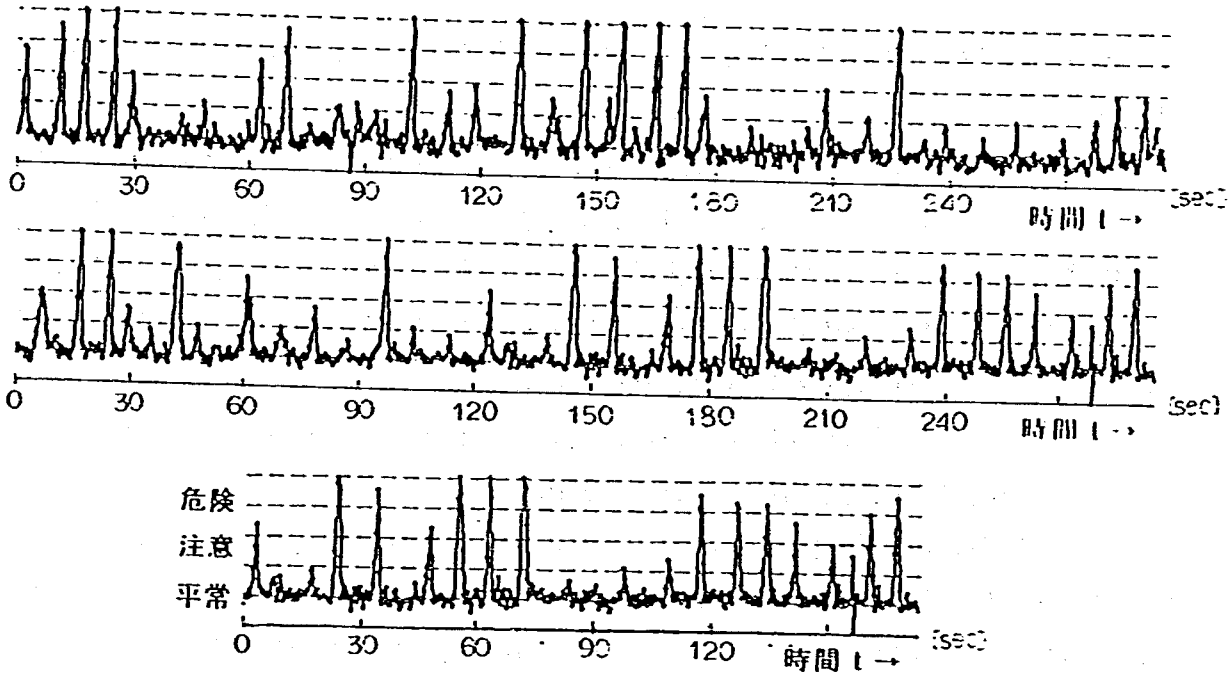


e)解析結果

図表(4.1.2) 7-6に解析結果を示す。横軸は画像のサンプリング間隔で1秒間隔である。縦軸は、エリアに対する白画素（白波）の占有率である。

適当なしきい値で"平常"、"注意"、"危険"等のレベルに分類可能なことがわかる。

図表(4.1.2) 7-6　解析結果（テトラポット部分への波の掛かる割合で表現）



（3）まとめと課題

①まとめ

土木研究所より提供いただいた、越波の映像を処理し、越波の状況をいくつかのレベルとして判断可能なことが判った。

②課題

a)今回、解析対象とした映像では道路手前側にテトラポットが設置され、処理をする上において比較するものがあり、比較的簡単な処理により越波の状況を検出することができたが、必ずしもこのような環境にあるとは考えられず、一層の検討が必要と考えられる。

b)昼間の映像を対象に処理したが、夜間時は特徴抽出すべき特徴が考えられず、補助照明灯等を検討する必要がある。

c)最終判断は道路管理者が行うため、この処理結果が直ちに活用できるものとは考えにくく、道路管理者の現行の運用基準と照らし合わせ、出力を決めていく必要がある。

8）飛砂センサ

路面の摩擦抵抗を低下させる要素は、水分や凍結あるいは飛砂などの影響によるものが多い。

飛砂とは、風の影響により砂が道路に吹き上げられる現象をいう。路上への砂の堆積は、スリップ事故の原因となり道路の安全を管理する上で飛砂対策が必要となる。

現状は、道路パトロール等で道路状態を確認し、状況を情報板等に表示してドライバに注意を促したり、砂の除去作業を行っている。今回、交通障害を引き起こす原因となる砂を検出する目的で音響式センサを検討した。

具体的には、金属製パイプに圧電型加速度センサを装着し、飛来物が金属製パイプに衝突した振動音を圧電型加速度センサで検出する。

これまでにおこなった実験から、事象ごとに相異なる周波数特性を有する事、　風や雨や雪など自然現象の検出レベルや車の直通等などの外来ノイズの検出レベルと飛砂の検出レベルに違いがある事から飛砂の検出が可能であるとの見通しを得た。

（1）目的

海浜道路では、飛砂によって路面に砂が堆積し、スリップ事故を引き起こすことが問題となっている。現在は、道路パトロールによって路面を監視し、危険が予想される場合には道路情報板等でドライバに注意を促している。しかし、パトロールによる方法では24時間連続して監視することが困難であるため、飛砂を連続監視することが可能なセンサが要望されている。

そこで、飛砂発生初期段階からの検出を目的として音響式センサの検討を行った。

（2）理論

①飛砂

飛砂とは、季節風の影響を受け砂浜の砂が舞う現象をいう。そして、その一部が道路に達し堆積すると交通の障害を引き起こすこともある。飛砂の発生時期は、主に冬期であると言われている。

飛砂現象が、頻繁に発生する地域を以下に示す。

・鳥取砂丘
・能登半島
・湘南海岸
・静岡県浜松市米津浜海岸
・茨城県鹿島海岸

以下の図表(4.1.2) 8-1に、上記５地域の砂粒子について示す。

図表(4.1.2) 8-1　地域別砂の粒径

地　域	砂の粒径
能登半島の海岸	0．2　㎜ 程度
湘南海岸	0．5　㎜ 程度
静岡県浜松市米津浜海岸	0．3　㎜ 程度
茨城県鹿島海岸	0．47㎜ 程度

注）上記5地域は、文献調査、耳にした地域を列挙した物である。

鳥取砂丘の砂粒については、調査出来なかったため記載せず。

飛砂は、風を営力とする砂の移動であって、一般的には、地表近くでの移動量が飛びぬけて多い[3]。飛砂は海岸地形や構造物（堆砂垣など）の影響を受け、場所特有の変化を示す。垂直方向の飛砂量は飛砂発生源では低い位置ほど多く垂直方向には指数関数的に急激に減少する。しかし、飛砂発生源に構造物がある場合には、飛砂が吹き上げられる[5]。

飛砂における砂の移動形態の一つにsaltationがある。saltationの特徴は、床面から跳躍した砂粒がsaltation軌道を描いた後に床面に衝突し、再び跳躍するという運動を繰り返すことである。特に砂と流体の密度比が大きな飛砂においては、砂粒の慣性力が大きいためsplashと呼ばれる新たな砂粒の初期移動も起きる。

splash：床面に入射してきた砂粒の衝突によって床面を構成している砂粒が数個跳び出す現象[4]。

湿砂面上における飛砂量は、蒸発能の影響を強く受ける。含水比が小さい場合に生じている飛砂量は乾燥砂面における飛砂量とほぼ同じである。しかし、ある含水比に達すると飛砂量は急激に減少する。風速が小さい場合には、湿砂面上における飛砂量は少ない。しかし、強風である場合には、砂層含水比が数％であっても、乾燥砂面における飛砂量に匹敵する量の飛砂が生じる[6]。

図表(4.1.2) 8-2に、参考資料とし、構成粒子の径と砕セツ岩を示す。

②開発目標

(1)海浜での使用環境に耐える

(2)設置場所、設置方法、経済性を考慮

(3)瞬間的なわずかな飛砂を検出

(4)連続した大量の飛砂を発生開始から検出

図表(4.1.2) 8-2　砂の粒径

粒径（mm）	粒　子	
256	レキ	巨レキ
64		大レキ
4		中レキ
2		小レキ
1	砂粒	極粗粒砂粒
1/2		粗粒砂粒
1/4		中粒砂粒
1/8		細小粒砂粒
1/16		微粒砂粒
1/256	泥粒子	シルト粒子
		粘土粒子

飛砂多発地帯の粒径はこの付近

③センサの検討

センサを開発するにあたり、飛砂が交通事故につながる事から、瞬間的に発生するわずかな飛砂の検出、連続した大量の飛砂を発生開始から検出可能なセンサを目標とした。また、設置場所が海浜道路であるため塩害など環境対策をすることとした。

これらの条件を考慮し、画像処理と補助センサにおける飛砂検出について検討をおこなった。

画像処理は処理時間がかかるため、飛砂の即時検出が困難である。即ち、開発目標(4)に掲げた飛砂の発生開始時の検出には問題がある。

次に、飛砂となる砂粒は、図表(4.1.2) 8-1・図表(4.1.2) 8-2より中粒砂粒～微粒砂粒であり、粒径が数㎜程度である。このため、画像処理で砂粒を判別するにはレンズ焦点が短くなり、車両センサなどとの共用は困難となる。飛砂が霧状（霧と同様に透過率を下げる幕のように）となって発生するような場合、飛砂と霧などの区別をつける手段が未だ得られていない。即ち、ＴＶカメラで砂粒から砂と認識することは困難といえる。

以上の理由から、画像処理における空間飛砂の検出は難しい。そこで、空間飛砂の検出は、画像処理では困難であると判断し、音響センサを補助センサとし、空間飛砂を検出することとした。

参考文献

[1) 2)] 堀川清司・堀田新太郎・久保田進・香取完和：強風下における飛砂についての実験的研究，第30回海洋工学講演会文集，pp. 297-301, 1983

[3)] 遠藤治郎・小出正明：砂地飛砂量の高度分布－場所の違いと施工による変化－，新大演報25、pp. 127-133, 1992

[4)] 三島豊秋・秋山誠司：飛砂における砂粒の反発機構の数値計算，海洋工学論文集，pp. 271-275, 1992

[5)] 鈴木清：湘南海岸の飛砂の特性について，神林試研報告20，pp. 45-61, 1994

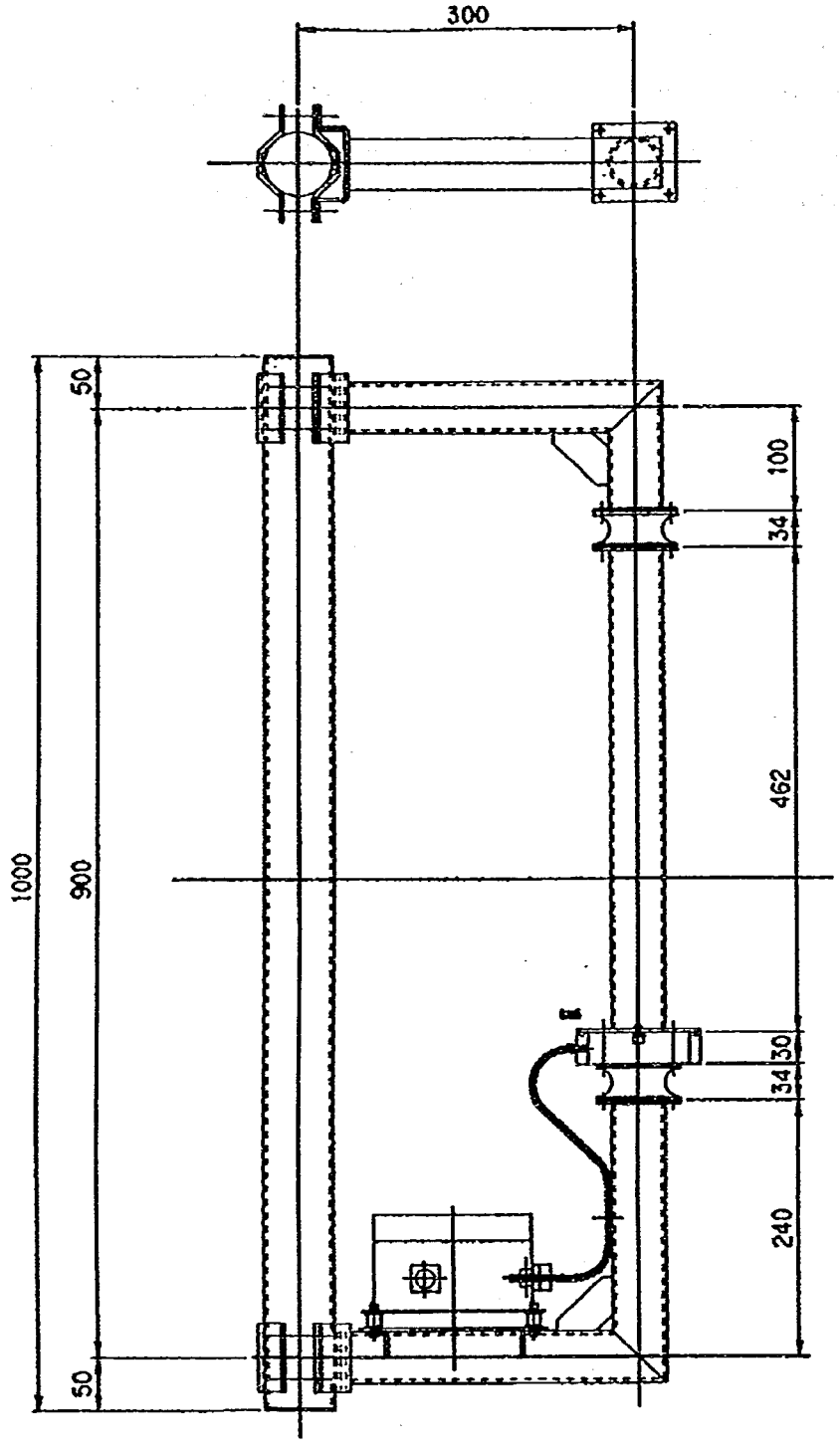
[6)] 堀川清司・堀田新太郎・久保田進・香取完和：湿砂面上における飛砂についての研究，第31回海洋工学講演会文集，pp. 391-395, 1984

（3）補助センサ

①音響式センサ外形図

以下に、音響式センサ外形図を図表(4.1.3) 8-3に示す。

図表(4.1.3) 8-3　音響式センサ外形図



音響式センサの構成を以下に示す。

・金属製パイプ（飛来物衝突部）

・全方向からの衝突を考慮し、円筒状のパイプを使用。

・設置場所が海に隣接されているため錆対策とし耐塩性に優れているステンレスを使用。

・エアーダンパー

・外来振動（外来雑音）が金属製パイプに伝わることを防ぐ。

・防振対策は、従来使用されている防振ゴム・金属スプリングがあるが、エアーダンパーは、これに比べ非常に早い振動減衰が可能（約１秒）。
注）②項参照

・保護管

・圧電型加速度センサを塩害、雨から保護するもの。
素材：アルミ

・圧電型加速度センサの設置場所は、パイプ内部・上部・下部等感度に変化がなかったため設置容易な下部に決定。

②圧電型加速度センサ

a） 原理

圧電型加速度センサは、圧電効果を持つＰＺＴ、水晶などを円板状に加工した圧電素子、重り及びそれらを支える基台から構成されている。

加速度αが加わると、質量mの重りには$F=m\alpha$なる力が発生する。この力Ｆによって圧電素子に電荷が発生し、結果的に加速度に比例した電気信号を得ることができる。圧電型加速度センサには圧縮型とせん断型がある。圧縮型は加速度による力は圧電素子の厚さ方向に作用する。機械的強度が大きく、大加速度の計測に向いている。

せん断型は環状あるいは板状の圧電素子の一方の電極を重りに、もう一方の電極を支柱に接続させる構造である。

③特徴

・小型、軽量

・高感度

・周波数範囲が広い（数Hz～十Hz）

④周波数特性

以下の図表(4.1.3) 8-4に、今回使用した圧電型加速度センサの特性を示す。

図表(4.1.3) 8-4 圧電型加速度センサ特性

電荷感度	３ｐＣ／Ｇ　２０％
横感度（ｍａｘ）	５％
静電容量	１，０００ｐＦ　２０％
動作温度範囲	－２０～８０℃
共振周波数	約６０ＫＨｚ
使用最大加速度	１０，０００Ｇ
耐衝撃性（ｐｅａｋ）	２０，０００Ｇ

（4）フィールド実験

①実験目的

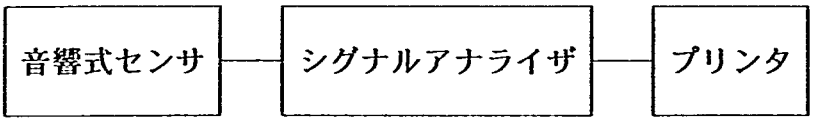
音響式センサで飛砂が検出可能であるかを調査するために、各事象のデータ収集をおこなう。

データ収集の対象は、飛砂・雨・雪・あられ・みぞれ・霧等である。

②実験方法

以下に、実験機器接続図を示す。

図表(4.1.4) 8-5　実験機器接続図



飛来物が、金属性パイプに衝突した際の周波数特性をシグナルアナライザにて計測する。

③実験結果

収集したデータを次ページ以降に示す。このデータから、各事象の周波数特性に違いがあることが解った。

・飛砂　風速15m/s以下・風速15m/s以上

高周波になるにつれてレベルが高くなる。風速が違うと全体的にレベルは変わるが、検出波形は同じ傾向となる。

・雨

周波数が低い部分も高い部分もレベルが同程度である。

・あられ・みぞれ

（注）あられ、みぞれについては、目視での判断は困難なため同データとした。

高周波になるにつれてレベルが低くなる。

・外来ノイズ

・チェーン
・車がセンサの横を走行
・オートバイがセンサの横を通過
・取付金具を叩く

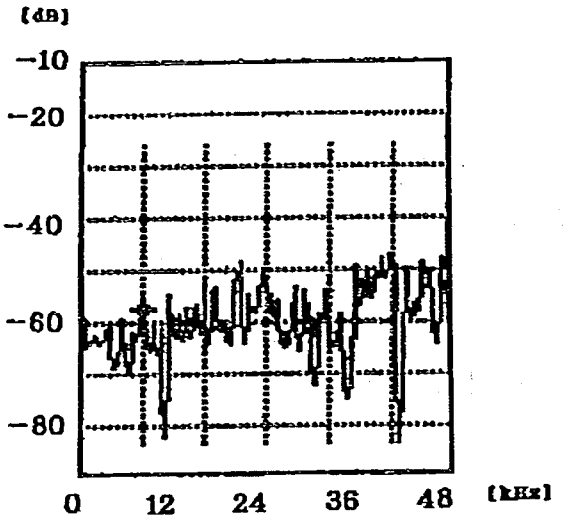
各事象とも、低周波にピークが出ている。

今回得られたデータの中では各事象毎に異なる特徴を持ち、飛砂と類似する特性をもつものはなかった。即ち、音響式センサによって飛砂検知が可能であるといえる。

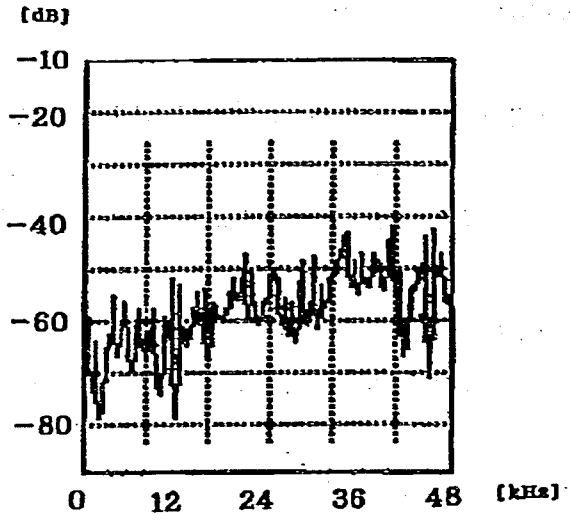
④考察

自然が相手なので、思うように自然現象のデータ収集をおこなうことが困難である。また、本研究で得たデータは一例であり、飛砂と類似した周波数特性を持つ事象が存在することが予想される。さらに、風速や飛砂の粒径によって周波数特性が異なるかどうか検討を行っていく必要がある。

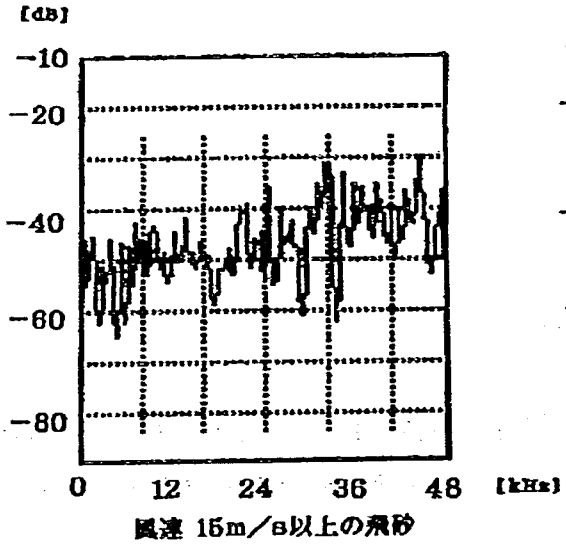
図表(4.1.2) 8-6　周波数特性（飛砂）



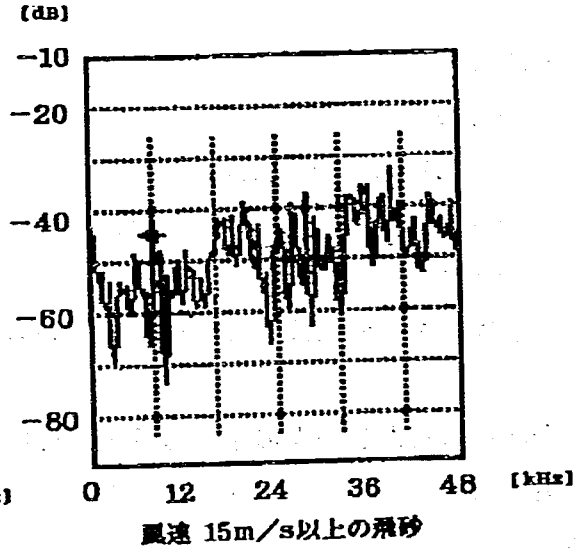
風速 15m／s以下の飛砂



風速 15m／s以下の飛砂

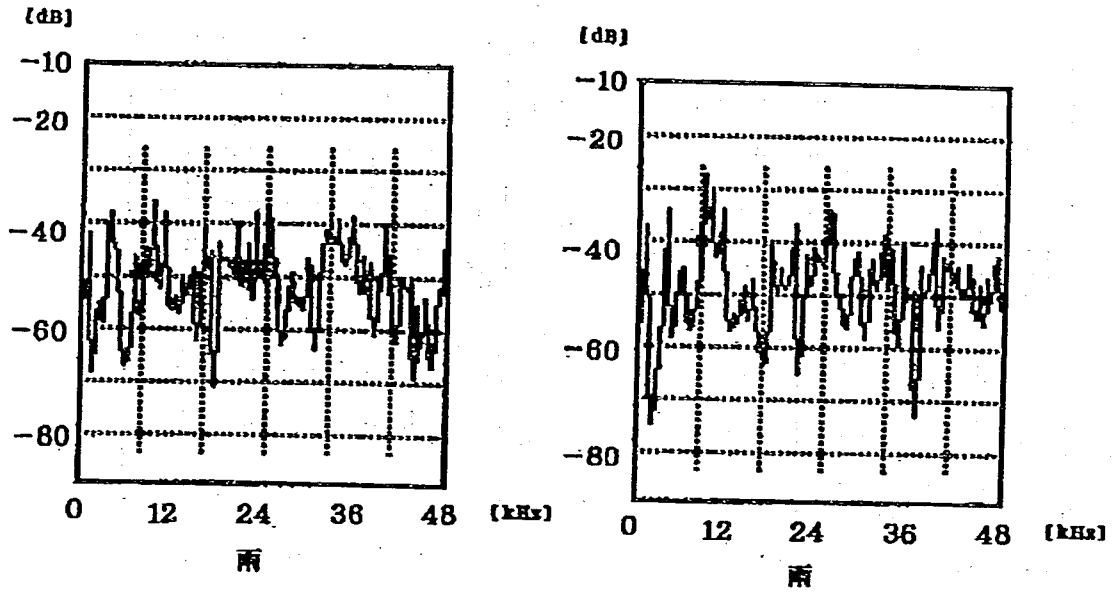


風速 15m／s以上の飛砂

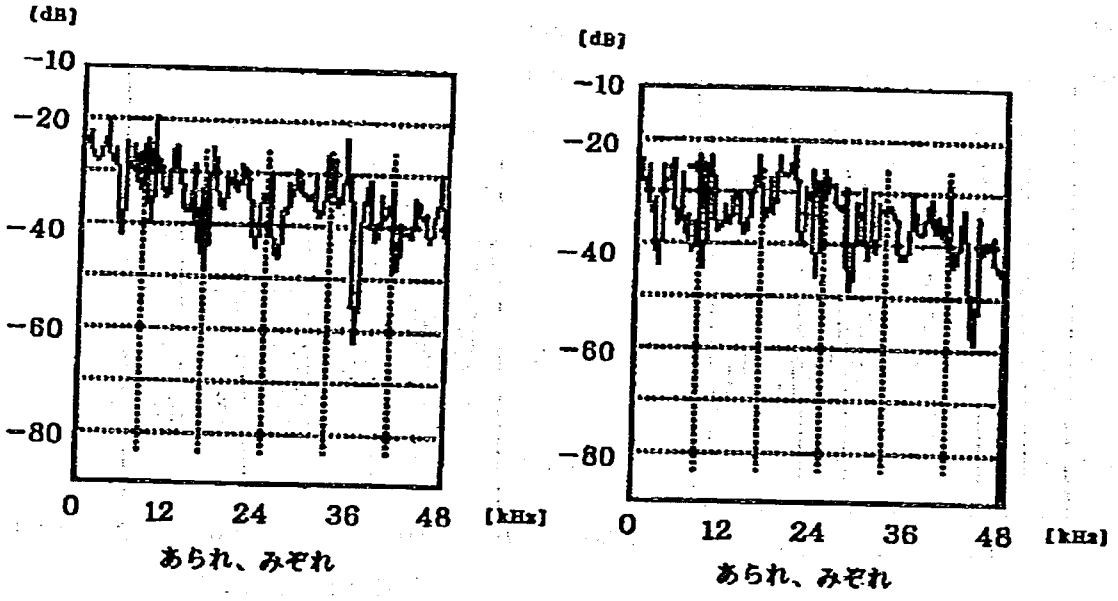


風速 15m／s以上の飛砂

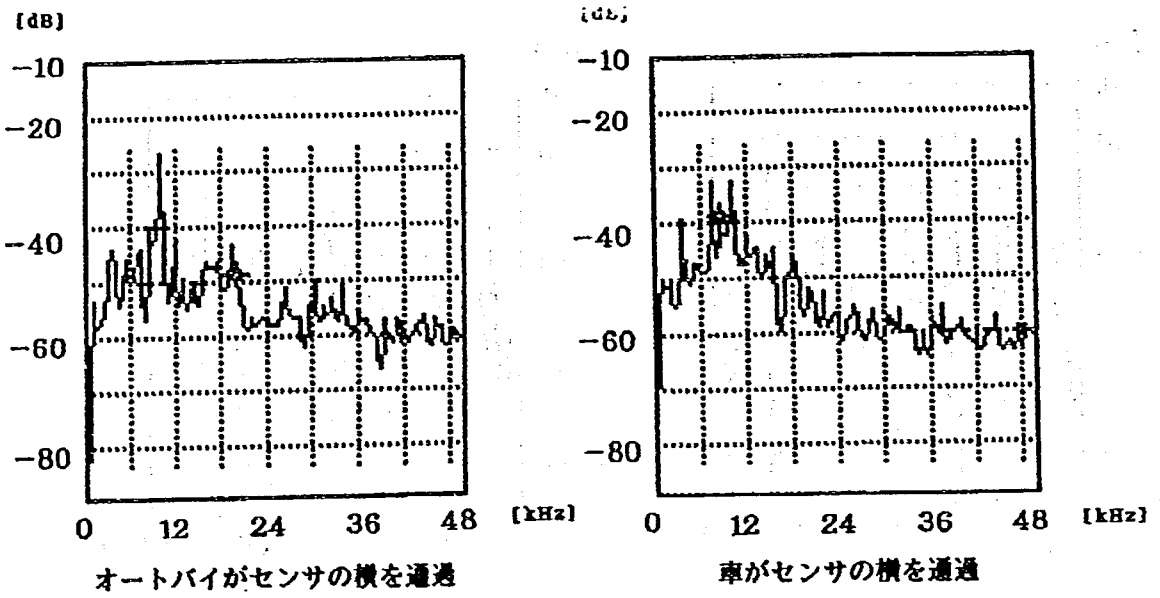
図表(4.1.2) 8-7　周波数特性（雨）

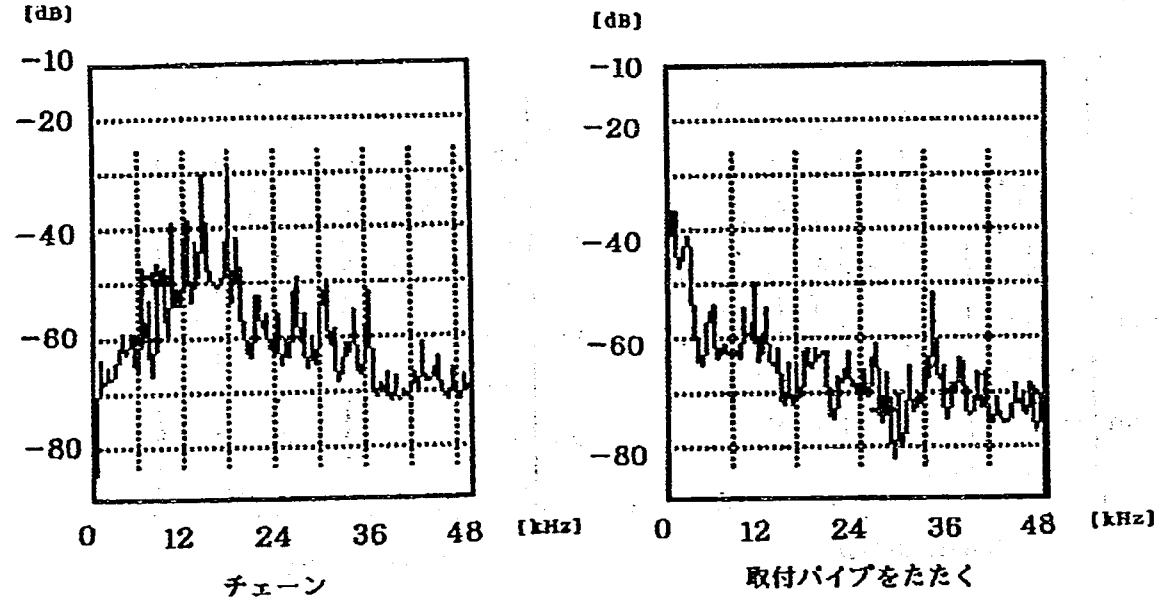


図表(4.1.2) 8-8　周波数特性（あられ、みぞれ）



図表(4.1.2) 8-9　周波数特性（外来ノイズ）





4．1．3　画像センサ以外のセンサによる事象検知の基礎検討

1）音による交通状況検知

交通状況を把握するため、数々の画像処理技術を用いた視覚センサの開発が進められているが、夜間や濃霧時のセンシング、視覚障害物の有無、保守などにおいて問題点が残る。そこで、その問題点を補うものとして道路上に存在する音に着目し、音による交通状況把握の可能性について研究を行うこととした。

音によるセンシングでは、次のような利点が考えられる。

- 対象物が見えない場所、状況でも、音が聞こえる場所であればセンシング可能。
- カメラを用いないので、塵や汚れに強い。
- 画像処理システムより簡易で低価格なシステムになる可能性がある。
- 可搬式センサとしての可能性がある。
- 対象物の有無だけでなく、その種類を判別できる可能性がある。

（1）研究目的

道路上に存在する音情報より、どのような事象をどのような方法で検知できるのか、可能性について検討する。

本報告書では、まず、道路上に存在する音の特徴を知るため、検討１として、道路上から得られるいくつかの音の音圧レベルの時間変化、及び周波数特性を調べた。検討２では車両通過音に着目して、それを捉える方法、通過車両検知機としての可能性について調べた。

（2）検討1:車両から発生する音の音圧レベルの時間変化と周波数分布の特性評価

①実験目的

道路上で発生する音の特徴を知るため、発生した音を個別に、その周波数成分、音圧レベルの時間変化を調べてみた。

②実験状況

機材

入力部：　シャープ製　液晶ビューカム内蔵マイク
（図４～19で使用）
ＲＩＯＮ製　騒音計（NA-20）
（図20～24で使用）

分析器：　ＲＩＯＮ製　1/3ｵｸﾀｰﾌﾞ実時間分析器（SA-27）

録画録音：　シャープ製　液晶ビューカム（VL-HL2）

再生：　ＳＯＮＹ製　ビデオウォークマン（GV-500）

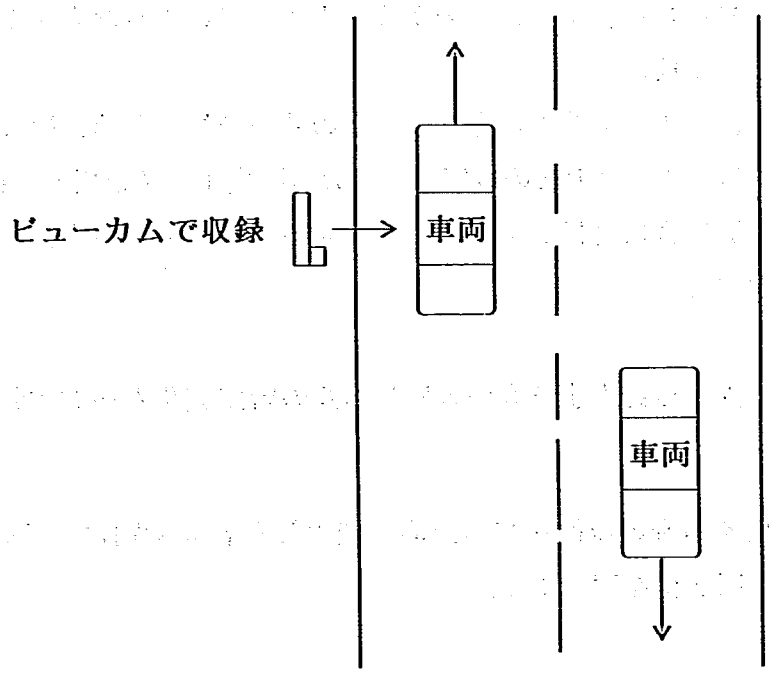
パソコン：　ＮＥＣ製　ＰＣ－Ｈ９８modelＵ９０

解析ｿﾌﾄ：　ＲＩＯＮ製　SA-27用三次元表示ソフト

状況

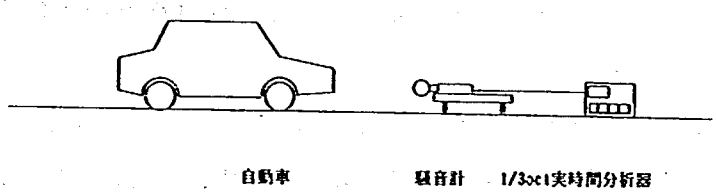
Ａ．一般道路にて液晶ビューカムを使用して、ビデオテープに収録する（図表(4.1.3) 1-1）。

図表(4.1.3) 1-1 収録状況Ａ



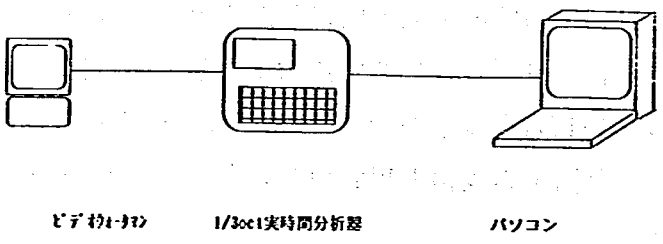
B．自動車をアイドリング状態にしておき、騒音計からの出力を直接分析器に入力し、分析器のメモリに記録する（図表(4.1.3) 1-2）。

図表(4.1.3) 1-2　収録状況Ｂ



上記Ａ、Ｂで収録されたデータを、実験室で分析器、パソコンを用いて解析した（図表(4.1.3) 1-3）。

図表(4.1.3) 1-3　解析装置



③解析手法

分析器及びパソコンにより、周波数－時間－音圧レベルの３次元解析、周波数－音圧レベルの２次元解析を行う。

④解析結果

a)データの解析

図表(4.1.3) 1-4～24に道路上で車両から発生する音の３次元及び２次元波形を示す。３次元波形は奥から手前にかけて時間が流れ、横軸が周波数（Hz）、波形の高さが音圧レベルを表す。２次元波形は横軸が周波数（Hz）、縦軸が音圧レベルである。３次元、２次元とも音圧レベルは10dB間隔で目盛ってある。

図表(4.1.3) 1-20～24は状況Ｂ、それ以外は全て状況Ａで収録した。

図表(4.1.3) 1-4は20秒間に３台の車両が通過した場合である。

道路に通過車両がある場合には、このような音圧レベルの山ができる。はじめの２台は普通車、最後がワンボックス車である。周波数帯により通過車両がある場合とない場合の音圧レベルの差が異なる。速度は60km程と思われる。

図表(4.1.3) 1-5は20秒間に10台の車両が通過した場合である。

車両の間隔が狭いので、図表(4.1.3) 1-4の場合より個々の車両の区別がつきにくい。速度は60kmぐらいと思われる。

図表(4.1.3) 1-6、8、10、12はダンプカーが信号で止まる寸前にブレーキから発する”キー”という金属音の３次元波形である。図表(4.1.3) 1-8は10秒間、他はすべて５秒間のデータである。

これらの３次元波形を、時間軸のある瞬間で切った断面の２次元波形が図表(4.1.3) 1-7、9、11、13である。４～５kHz辺りとその倍音成分にピークを持つ傾向が現れている。

図表(4.1.3) 1-14は普通車が通常走行中に急ブレーキをかけた時のものである。５秒間のデータである。急ブレーキを踏んだ瞬間を時間軸上に矢印で示す。ほとんどがタイヤと路面の摩擦音と思われる。路面は乾いていた。

ブレーキを踏んだ瞬間の周波数－音圧レベル波形を図表(4.1.3) 1-15に示す。１～1.25kHz付近にピークを持つ。

図表(4.1.3) 1-16～19は道路上で収録した様々なクラクションの音である。２秒間のデータである。それぞれの音を擬声語で表現すると図表(4.1.3) 1-16は”ビッ”、図表(4.1.3) 1-17は”ファファファファ（４連発）”、図表(4.1.3) 1-18は”ブッペッ（トラック同士の挨拶と思われる）”、図表(4.1.3) 1-19は”ペイ（尻上がり）”である。

クラクションの音は多種多様で、それぞれに特徴を持つ。

図表(4.1.3) 1-20～22はガソリン車（1300cc、４気筒）、図表(4.1.3) 1-23～24はディーゼル車（2200cc、４気筒）のアイドリング時の周波数分布である。低域でそれぞれに見られる突出した部分は、エンジン回転数から計算される燃料爆発回数とよく合致する。これより、燃料爆発音そのものでなく、爆発回数を周波数成分に持つ音が、アイドリング時に車体から発する音に多く含まれていることが分かる。

b)考察

上記の解析結果より、車両から発生する音にはそれぞれの特徴があることが分かった。ダンプカーのブレーキ音のように、どの場合でもだいたい同じパターンが得られるものもあれば、クラクション音のように、様々なパターンを持つものもある。このことはクラクション音を全て検知する難しさがある反面、特定のクラクション音だけを検知できる可能性を持つ（クラクション音の判別ができる）ということでもある。同様にして、事故時においても発生する音に様々な特徴があると思われる。事故のパターンによる音の特徴の違いを見出すことができれば、事故の検知だけでなく、事故の種類も判別できる可能性がある。

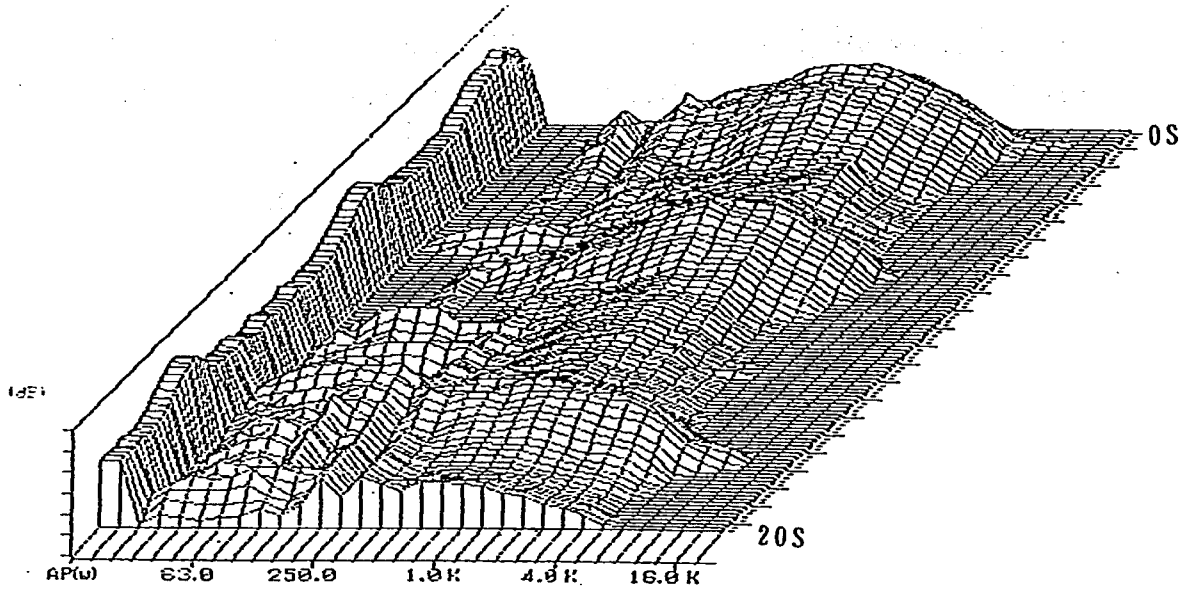
このように、音の中にはたくさんの情報が含まれており、必要な情報だけをうまく抽出できれば、発生したかどうかだけでなく、その状態や種類まで判別することができる。

⑤今後の検討課題

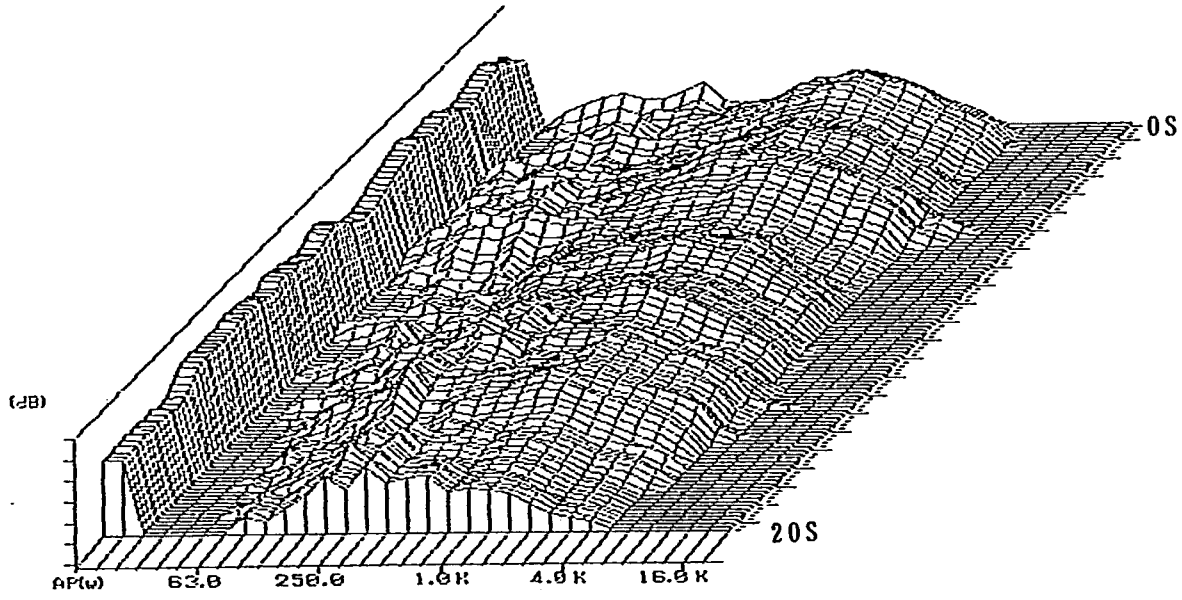
もっと多量のデータを統計的に解析して、ある事象に対してどのようなパターンや傾向を持つのか検証する必要がある。また、先のクラクション音のように、一つのパターンで表せないようなものについては、多種のデータについて解析し、それぞれの特徴を検証していく必要がある。

また、車両から発生する音だけでなく、環境音（雨、雷etc）についても検証していく必要がある。

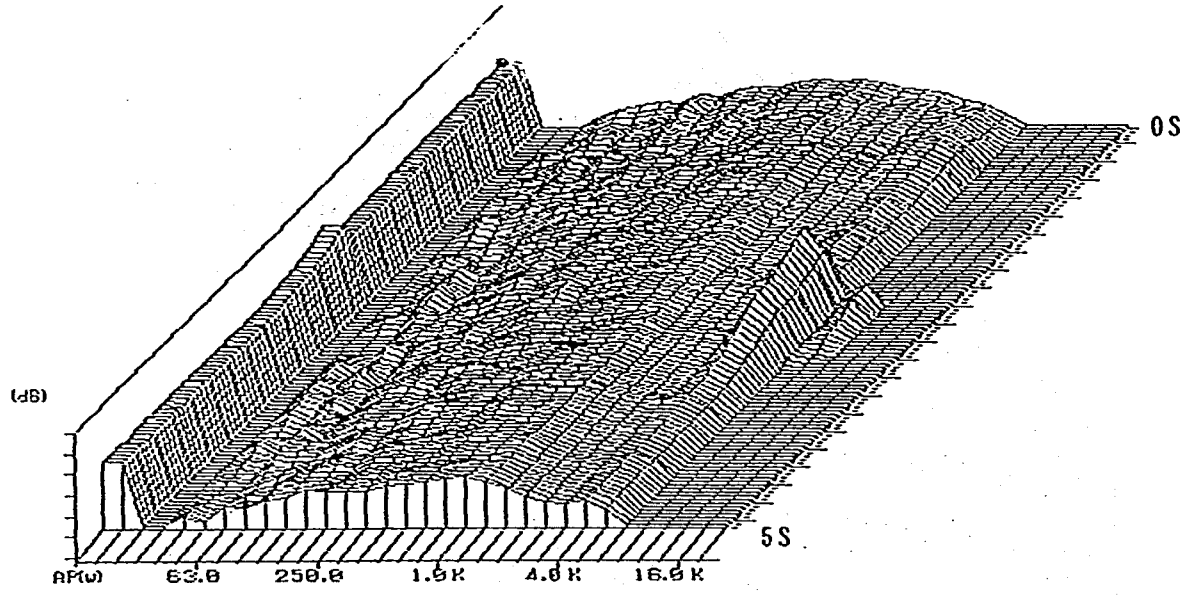
図表(4.1.3) 1-4　3台の車両通過（20秒間）



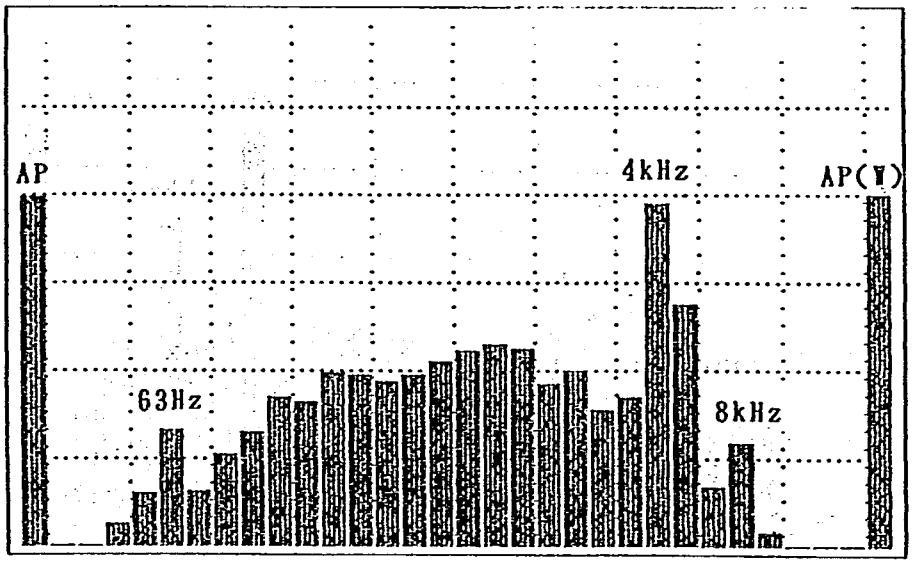
図表(4.1.3) 1-5　10台の車両通過（20秒間）



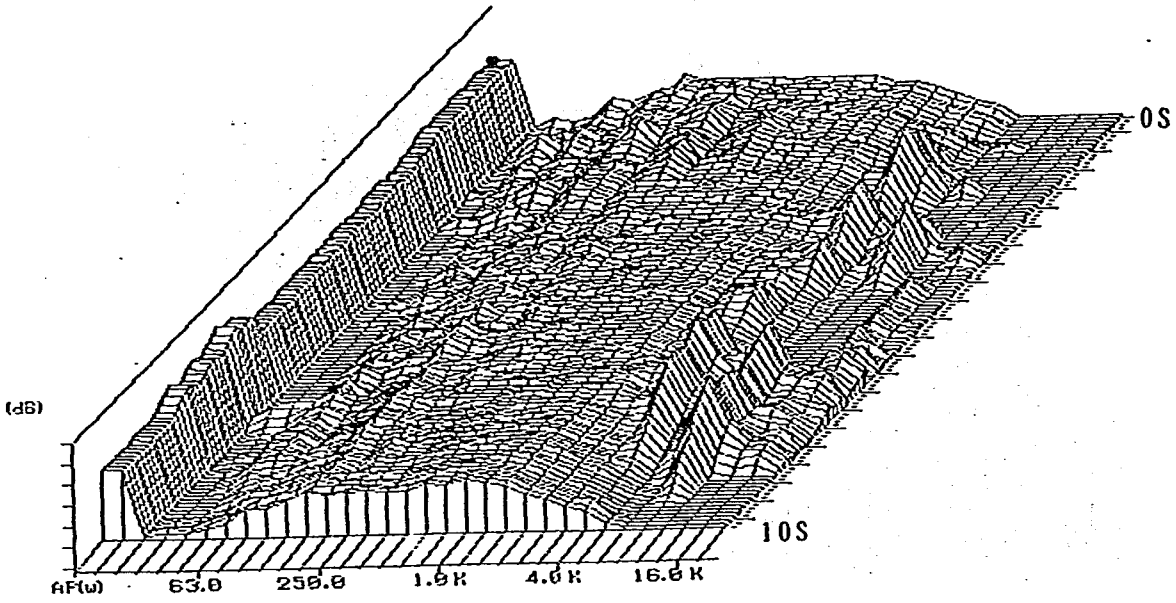
図表(4.1.3) 1-6　ブレーキA（3次元）



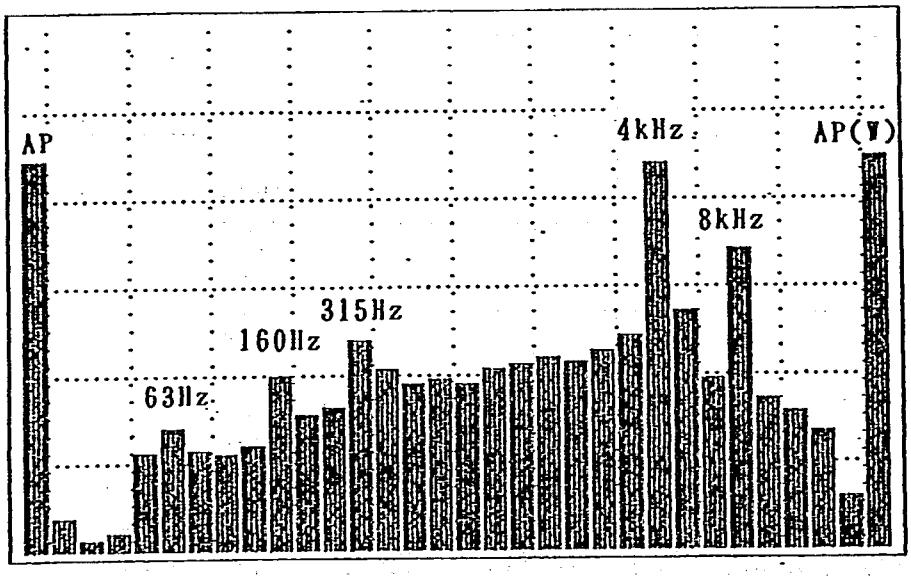
図表(4.1.3) 1-7　ブレーキA（2次元）



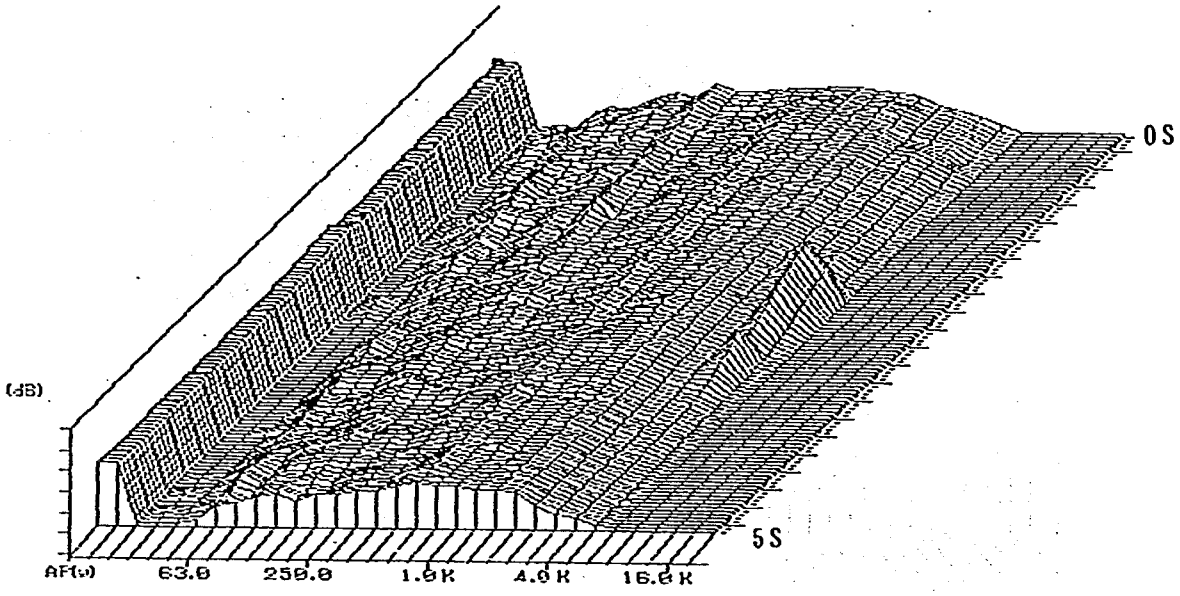
図表(4.1.3) 1-8 ブレーキB (3次元)



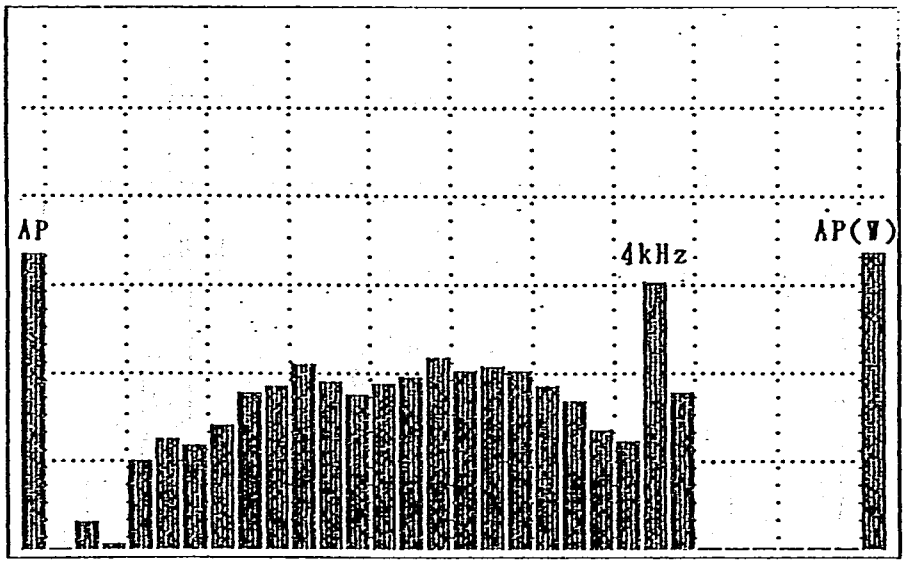
図表(4.1.3) 1-9 ブレーキB (2次元)



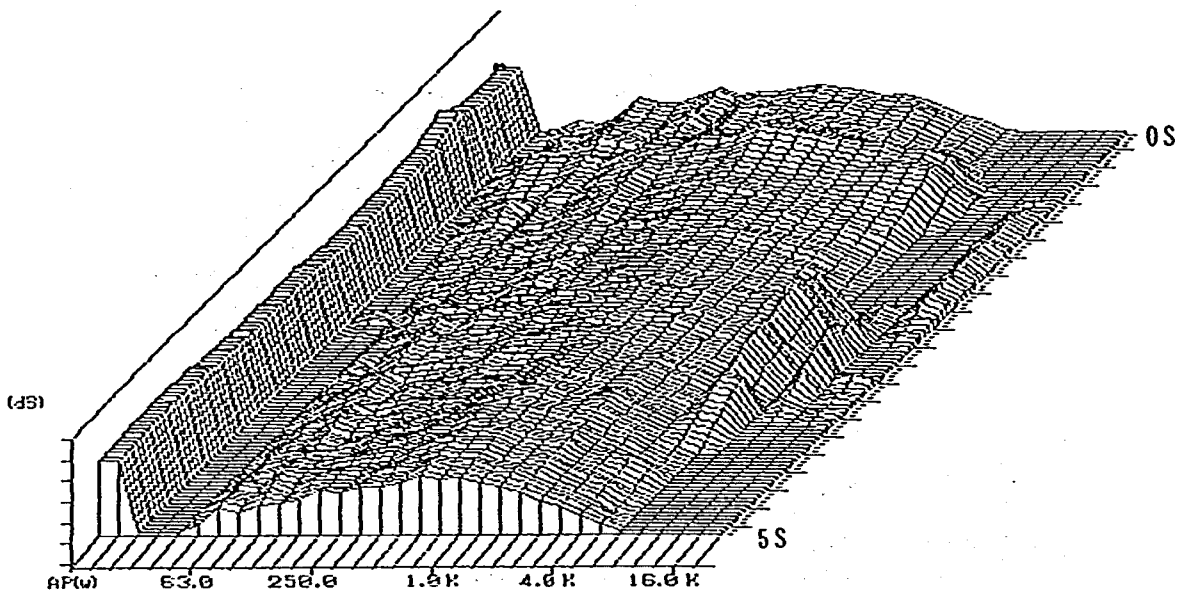
図表(4.1.3) 1-10　ブレーキC（3次元）



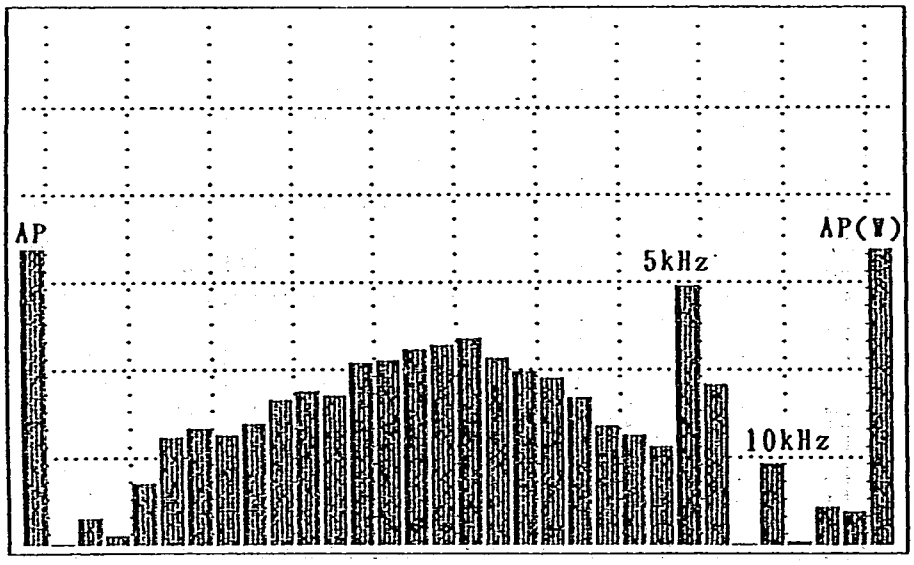
図表(4.1.3) 1-11　ブレーキC（2次元）



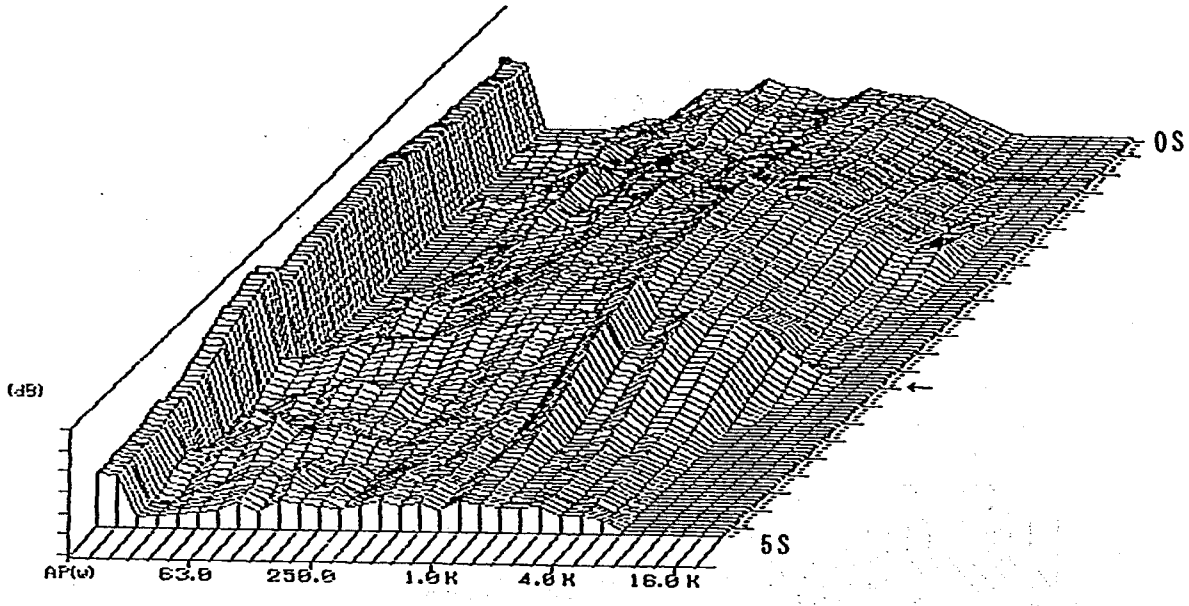
図表(4.1.3) 1-12　ブレーキD（3次元）



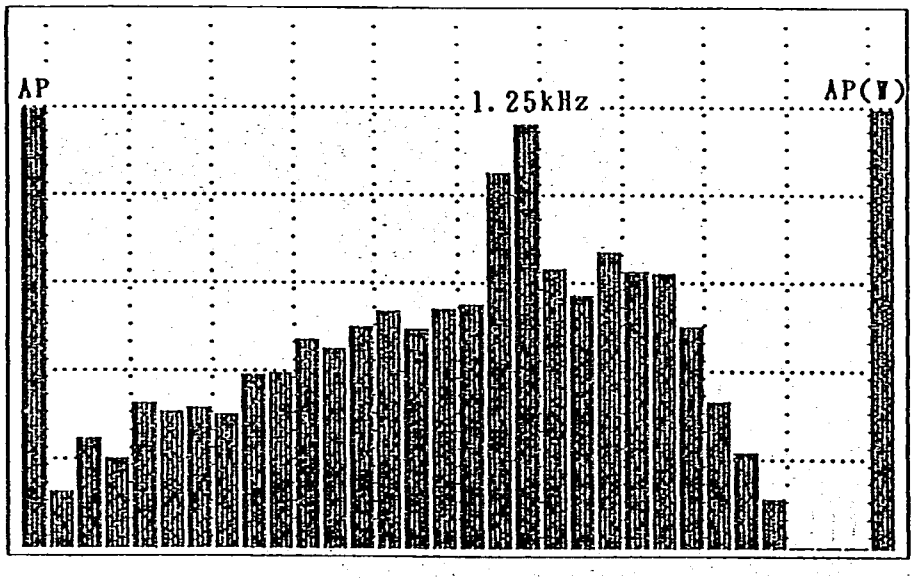
図表(4.1.3) 1-13　ブレーキD（2次元）



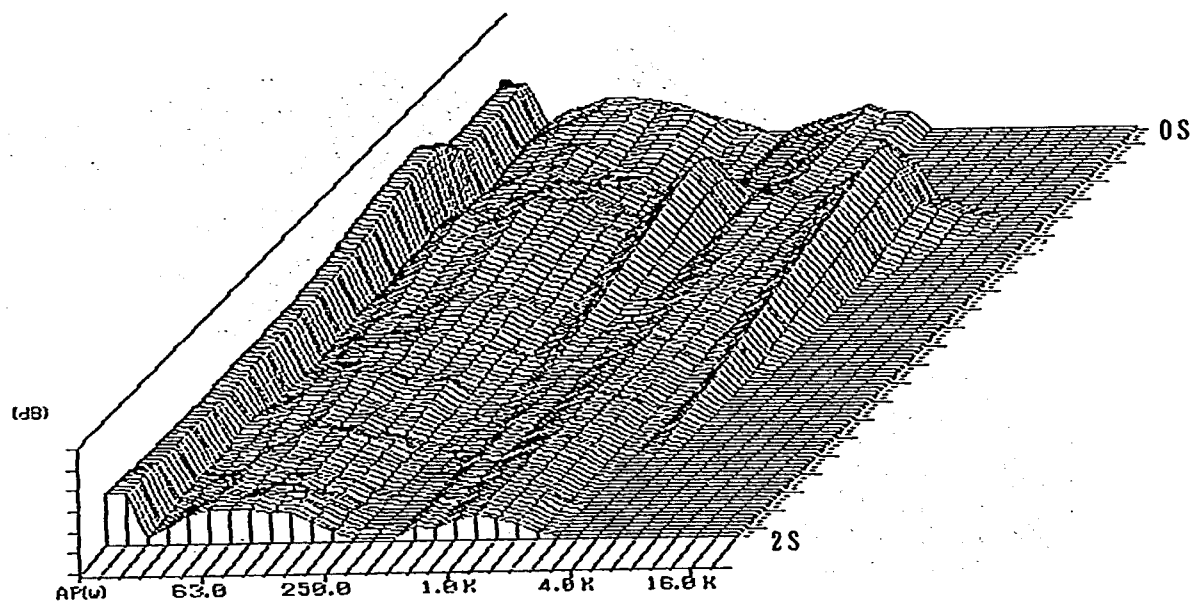
図表(4.1.3) 1-14 急ブレーキ（3次元）



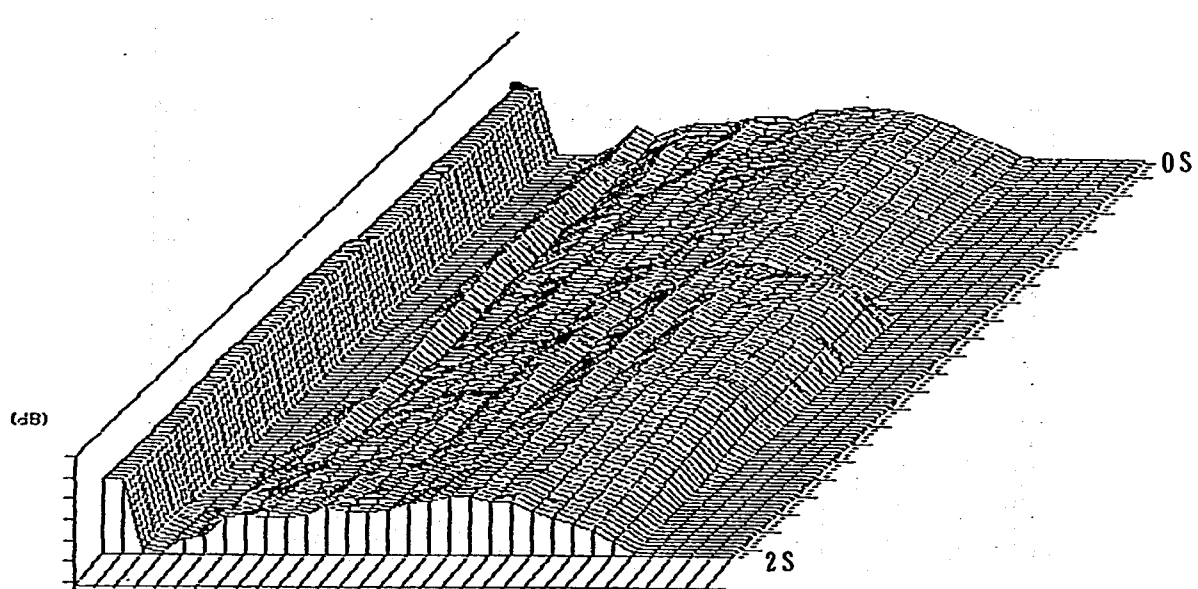
図表(4.1.3) 1-15 急ブレーキ（2次元）



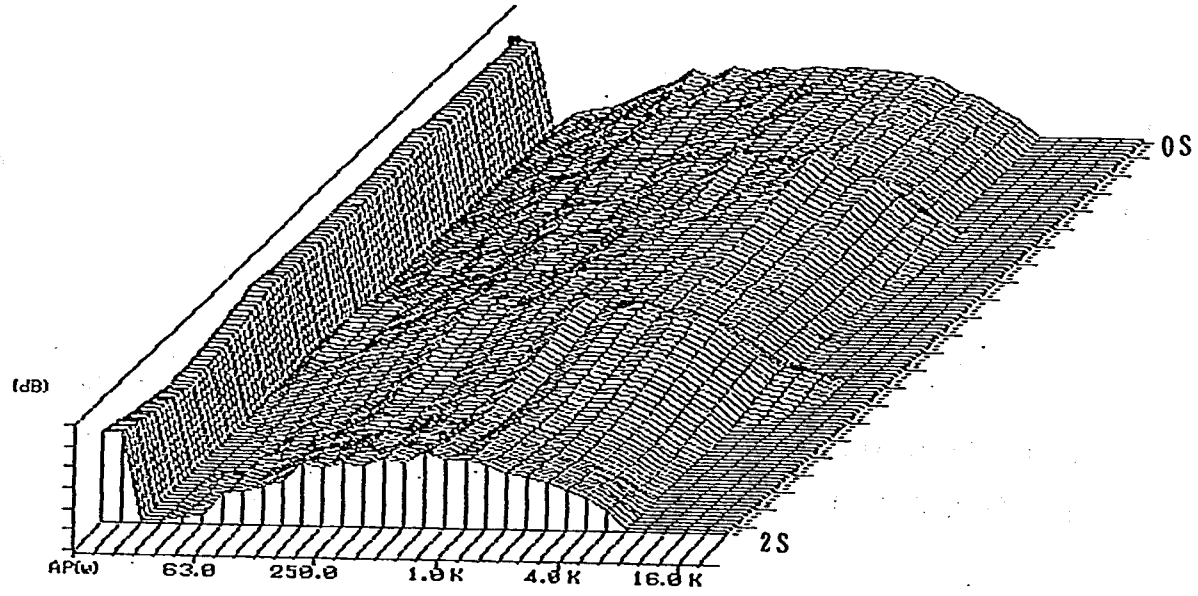
図表(4.1.3) 1-16 クラクション " ピッ"



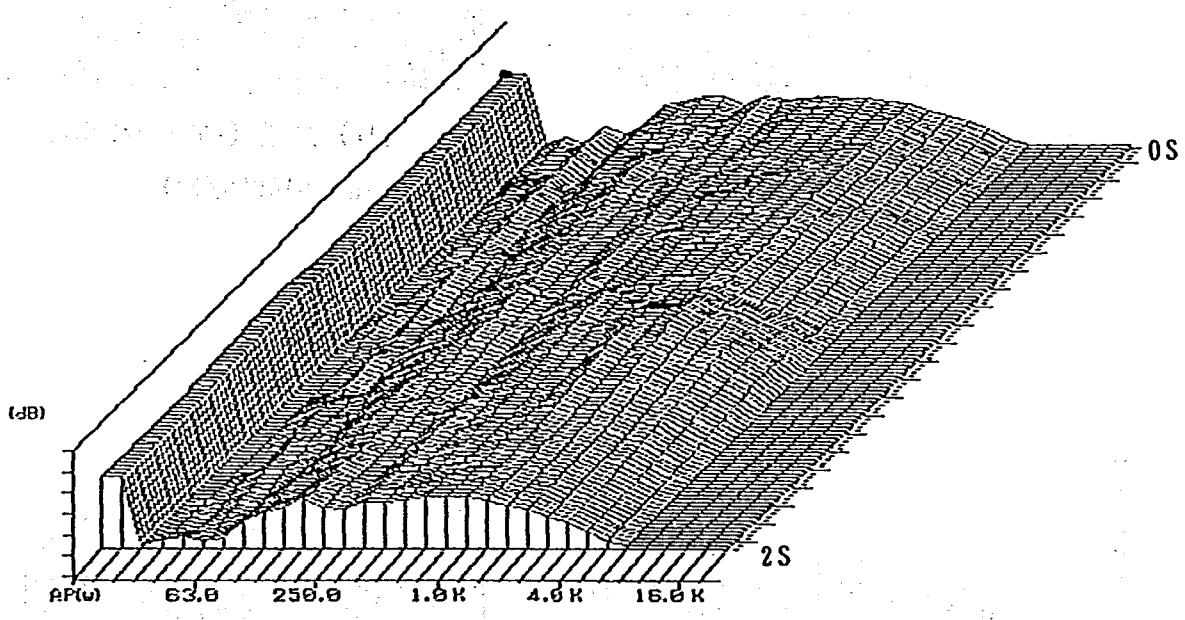
図表(4.1.3) 1-17 クラクション " ファファファファ"



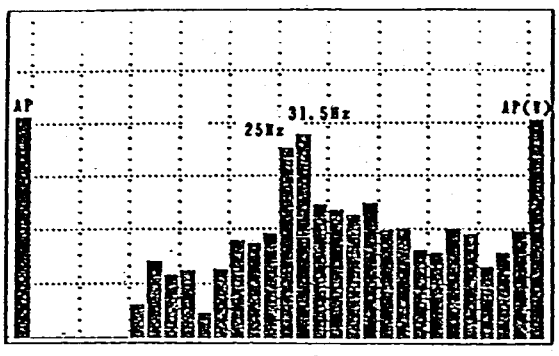
図表(4. 1. 3) 1-18　クラクション " ブッペッ"



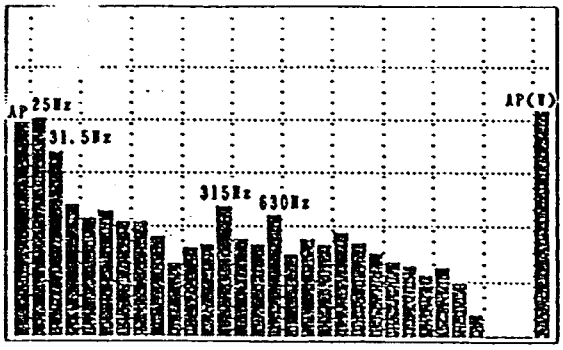
図表(4. 1. 3) 1-19　クラクション " ベイ"



図表(4.1.3) 1-20　ガソリン車　800rpm（燃料爆発回数計算値=26.67回/秒）

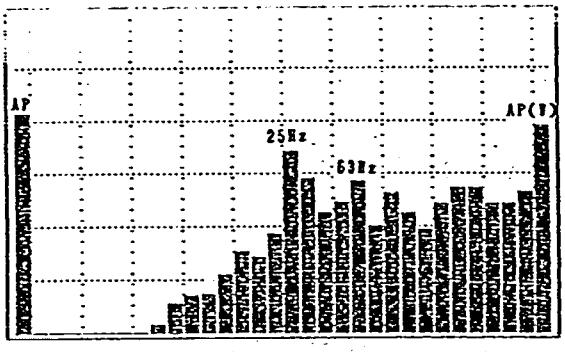


（a）低域（0.8Hz～630Hz）

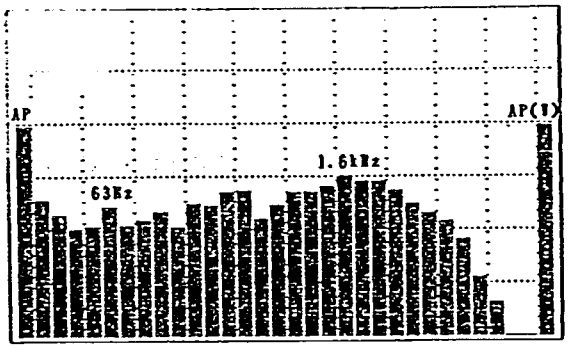


（b）高域（25Hz～20kHz）

図表(4.1.3) 1-21　ガソリン車 2000rpm（燃料爆発回数計算値=66.67回/秒）

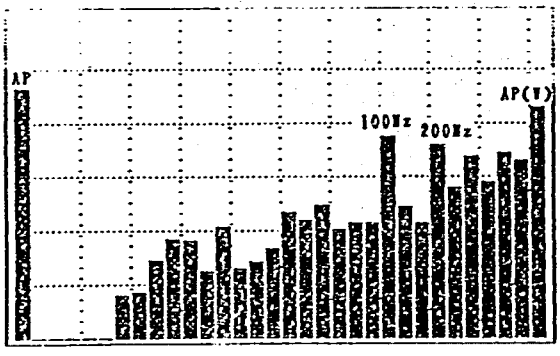


（a）低域（0.8Hz～630Hz）

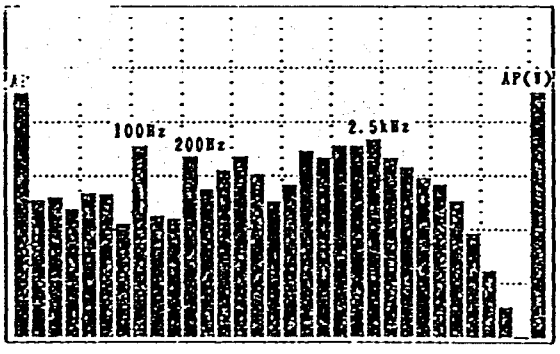


（b）高域（25Hz～20kHz）

図表(4.1.3) 1-22　ガソリン車 3000rpm（燃料爆発回数計算値=100回/秒）

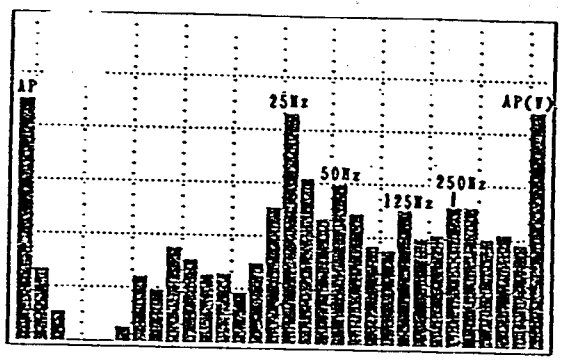


（a）低域（0.8Hz～630Hz）

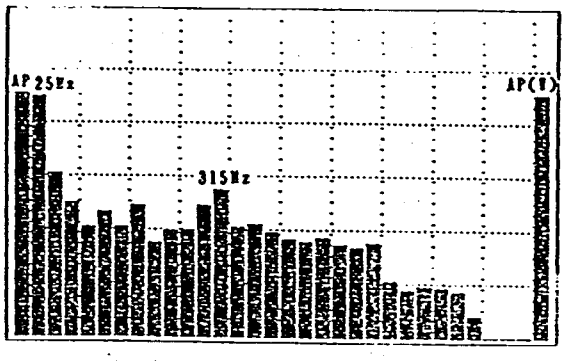


（b）高域（25Hz～20kHz）

図表(4.1.3) 1-23　ディーゼル車　850rpm（燃料噴射回数計算値=28.33回/秒）

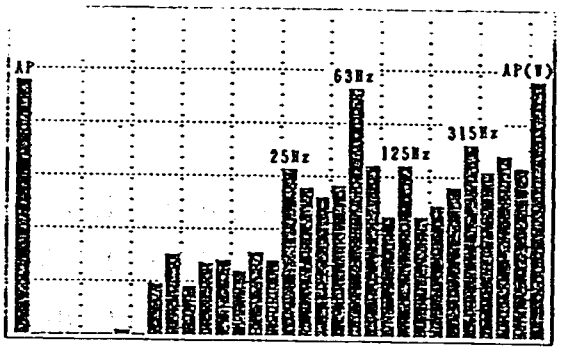


（a）低域（0.8Hz～630Hz）

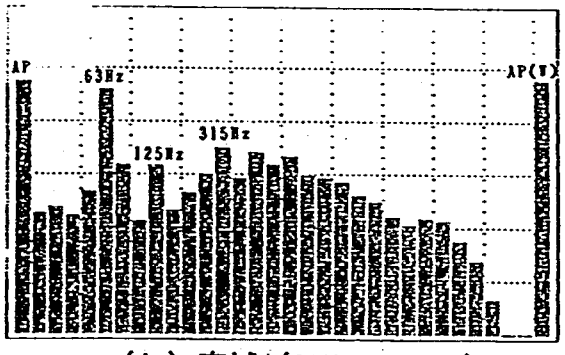


（b）高域（25Hz～20kHz）

図表(4.1.3) 1-24　ディーゼル車 2000rpm（燃料噴射回数計算値=66.67回/秒）



（a）低域（0.8Hz～630Hz）



（b）高域（25Hz～20kHz）

（３）検討2:音による通過車両検知

①実験目的

車両通過時に発生する音より通過車両を検知する場合、どれぐらいの精度で検知できるか、またどのような利点や問題点があるかを検討する。

②実験状況

機材

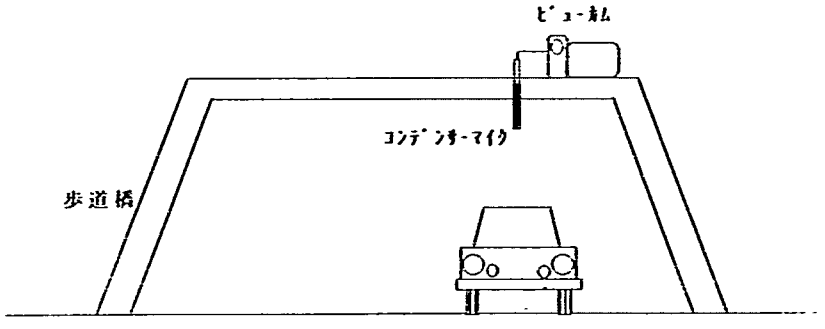
入力部：　ＳＯＮＹ製　ｴﾚｸﾄﾚｯﾄｺﾝﾃﾞﾝｻｰﾏｲｸﾛﾌｫﾝ（ECM-G7M）
分析器：　ＲＩＯＮ製　1/3ｵｸﾀｰﾌﾞ実時間分析器（SA-27）
録画録音：　シャープ製　液晶ビューカム（VL-HL2）
再生：　ＳＯＮＹ製　ビデオウォークマン（GV-500）
パソコン：　ＮＥＣ製　ＰＣ－Ｈ９８modelＵ９０
解析ｿﾌﾄ：　ＲＩＯＮ製　SA-27用三次元表示ソフト
　　Ｌｏｔｕｓ製　1-2-3 R2.3J

状況

収録 1995年９月（晴れ、昼～夕刻）

片側１車線の２車線道路で、歩道橋の上から一方の車線に鉛直向きにマイクを向けて設置し、ビューカムでデータを収録する（図表(4.1.3) 1-25）。実験室にてデータを分析器、パソコンを利用して解析する。なお、マイクは指向性の鋭いものを使用した。

図表(4.1.3) 1-25　収録状況



今回の収録方法ではどちらの車線を通過した場合でも音圧レベルに大差はなかった。よって図表(4.1.3) 1-26～29では車線の区別はしていない。

③解析手法

車両の通過をマイクが捉えると、マイクと通過車両が最短距離になった時点で最大となる山状の音圧レベルの変化が得られる。

ここで、車両がある程度の車間距離をおいて通過し、なおかつ反対車線の車両と交差せず、目立った雑音もない場合を車両通過の理想状態とすると、この場合、通過車両１台１台について比較的音圧レベルの山がはっきり現れるので検知し易い（図表(4.1.3) 1-26上段）。図の縦軸は音圧レベルで10dBの等間隔で目盛ってある。横軸は時間で50秒間のデータである。

実際に車両の通過を検知するために、以下の処理を施し、パソコン上でシミュレーションした。

・ノイズ成分を減らす、マイクの指向性を高めるなどのために、適当なバンドパスフィルターを通す（図表(4.1.3) 1-26下段）。
・音圧レベル波形のノイズ成分を取り除くために平均化処理を施し、波形をなめらかにする。
・あるレベル以下の信号をカットする（敷居値を設ける）
（図表(4.1.3) 1-27上段）。
・波形の傾きの極性変化を検出するため、微分波形を作り出す（図表(4.1.3) 1-27中段）。
・傾きが正となる部分を取り出し、カウントする（図表(4.1.3) 1-27下段）。

④解析結果

a)データの解析

図表(4.1.3) 1-26、27のように理想的な車両の通過の場合は、比較的容易に検知することができる。

次に、理想状態とはいえない通過を含んだデータに対して、上記の処理を施したものを図表(4.1.3) 1-28、図表(4.1.3) 1-29に示す。このデータは50秒間に19台の車両が通過したものであるが、実際に上記の処理で検知できたのは16台であり、３台の取りこぼしがある。８、９台目及び14、15台目の反対車線と交差した場合と、12、13台目の車間距離が短い連続通過の場合である。また最後のスクーターの通過では微分波形が汚く、２台分カウントしている。

この他にも検知できない場合としては、大型車の音でマスクされる場合などがある。

b)考察

理想状態においては、上記の解析手法で通過車両の検知が可能といえる。しかし、

道路上には様々な音が混在しており、また、通過車両の車間距離が短い場合、他の車線を通過する車両との交差などが頻繁に起こり、実際に通過車両検知を実施するには非理想状態でも検知できる対策が必要となる。

いくつか上げると、

1. 微分波形に適当な敷居値を設ける。
2. 平均化の時間幅を短くして微分波形が細かい波形変化まで捕えられるようにする。
3. 周波数帯によって波形が異なってくるので、検知可能な周波数帯を探す。
4. マイクの指向性、設置場所などの収音方法に工夫をこらす。

などが考えられる。

⑤今後の検討課題

非理想状態において、通過車両の検知を行うための対策として上記1. ～4. をあげたが、以下の検討事項が必要となる。

1. に対して：

図表(4. 1. 3) 1-29を見て分かるように、微分波形に一定の敷居値を設けても、それによって検出できる車両と、検出できない車両が出てくるので、検知車両を限定する、何かの条件で敷居値を変動させるなどの対策が必要。

2. に対して：

平均化の間隔を短くすればするほど微妙な波形変化を捉えられるが、ノイズ成分まで現われてしまうので、それらをふまえた上で最適な平均化の幅を見つけ出すことが必要。

3. に対して：

どの場合（車種、通過状態など）にも最適となる周波数帯を発見する、あるいはいくつかの周波数帯を統合した判断、処理が必要。

検知確立を高めるためには1. ～3. の調整と4. の収音方法を総合的に検証していく必要があり、今後の検討課題として上げておく。また、今回は車線の区別には着眼しなかったが、実際には車線を区別する必要があり、これも大きな課題の一つである。

（4）総論

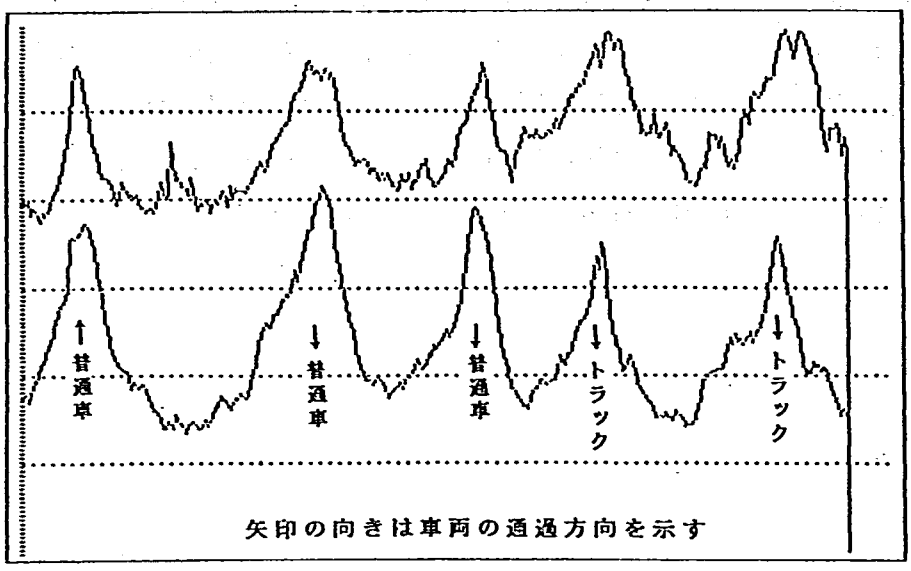
手探り状態の中、まず、道路上に存在する音情報からどのようなものが検出できるのか、その可能性について探ってみた。また、その中から車両通過音について着目し、通過車両検知器の可能性について検討した。道路上には様々な音が混在しているため、その中から必要な情報だけを抽出することは簡単にはできない。しかし、

ある程度理想的な環境の中であれば、ある種の傾向や特徴を捉えることができたし、通過車両を検出することもできた。ブレーキ音やクラクション音のような、ある固有の周波数帯に大きな特徴を持った音であれば、その周波数帯を監視することによって、それを検知できる可能性があることも分かった。同様に、事故などの突発事象や車両の違いによっても特異な周波数成分が現れると思われる。

いずれにせよ、音による目的音検知においては、様々な音が混在する中から検知対象音をいかにして抽出するか、これが大きな課題といえる。

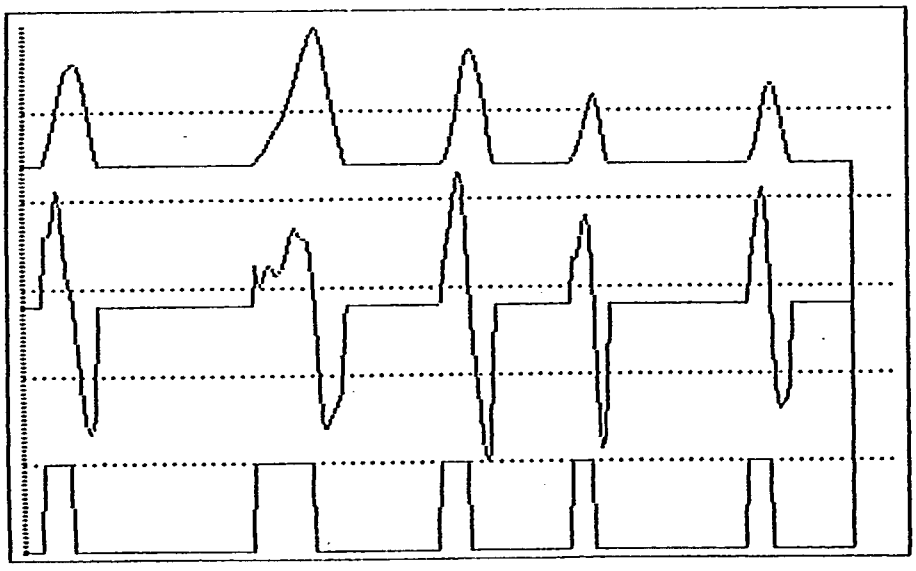
図表(4.1.3) 1-26　理想的な車両の通過

(上段：ＡＰ (オールパス) 波形　下段：ＢＰＦ通過後の波形)



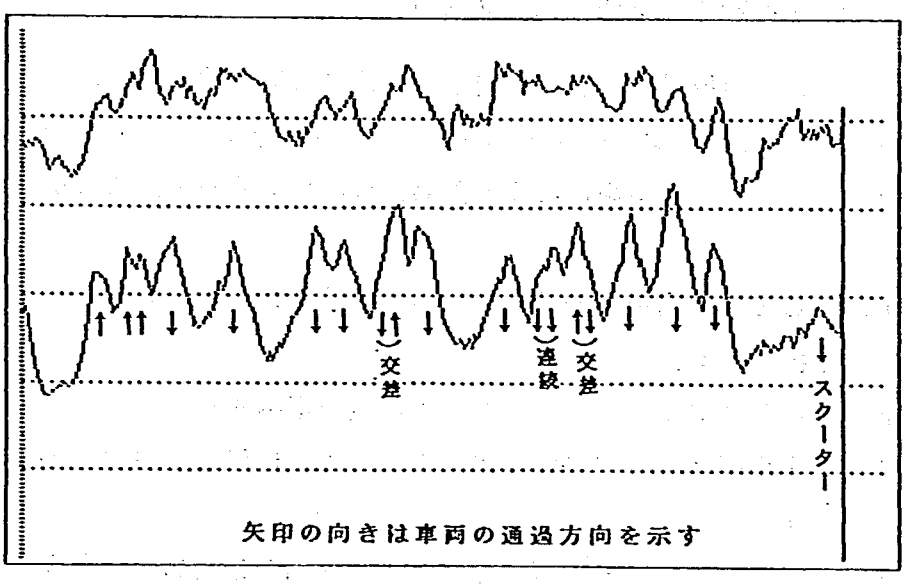
図表(4.1.3) 1-27　理想的な車両の通過

(上段：平均化～敷居値設定後の波形　中段：微分波形　下段：２値化後の波形)



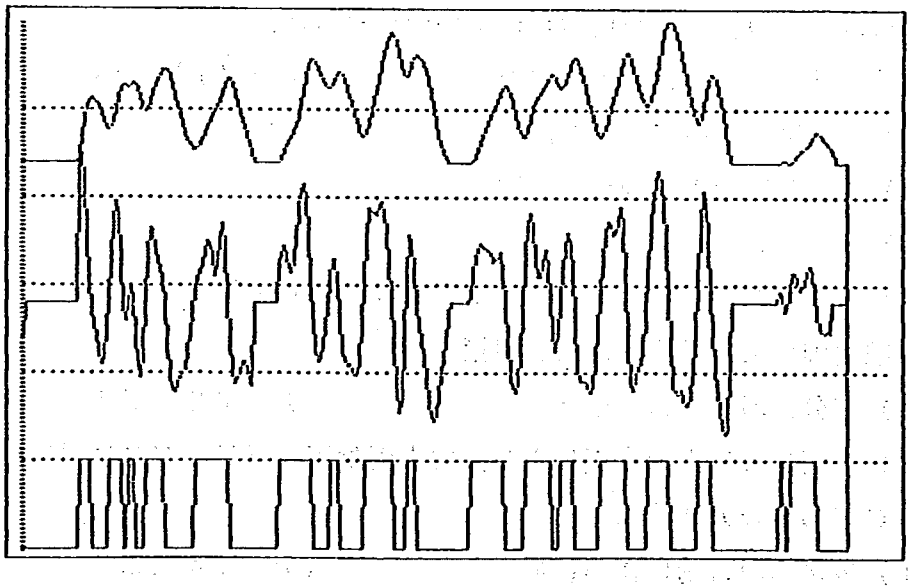
図表(4. 1. 3) 1-28　理想的でない通過を含んだ場合

(上段：ＡＰ (オールパス) 波形　下段：ＢＰＦ通過後の波形)



図表(4. 1. 3) 1-29　理想的でない通過を含んだ場合

(上段：平均化～敷居値設定後の波形　中段：微分波形　下段：２値化後の波形)



4．2　通信システムにおける基礎実験

4．2．1　ＬＣＸの各種通信特性の検討

ＬＣＸをＡＨＳの通信媒体として利用するために通信実験を土木研究所のテストコースにおいて行ってきた。現在、ＬＣＸの設置に関わる特性が明らかになりつつあり、提起された課題に対する対策を把握するため、今回の実験を下記の５テーマに対して実施した。

テーマ１．ＬＣＸの区間境界部分における電界強度の低下と誤り発生に対する対策を把握する。

テーマ２．ＬＣＸに対する塩害や汚れの影響度を把握する。

テーマ３．障害車両による電界強度の低下と、それに伴う誤り発生の低減対策を把握する。

テーマ４．防音壁等ＬＣＸの近傍に存在する金属物が輻射特性に与える影響と対策を把握する。

テーマ５．ＬＣＸを地上低く設置する場合の保護材料の材質による影響度を把握する。

今回の実験を開始するに当たり、ＬＣＸの電波の輻射方向が接続区間の電界低下、誤り発生に関係すると想定し、従来の輻射方向－20°のＬＣＸを変更し、ＬＣＸの軸方向に対して極力垂直に電波が輻射されるＬＣＸを製作して実験した。

実験項目は上記のテーマを勘案し以下の通りとした。

１）電波干渉と最適設置間隔の検討　（テーマ１に対応）

（１）同一区間の最適設置間隔

（２）異なる区間の最適設置間隔

（３）接続区間の最適設置間隔

（４）車載アンテナの変更による干渉エリアの変化

２）外部要因による電波の乱れと対策

（１）塩分、汚れの影響把握　（テーマ２に対応）

（２）車両アンテナの変更による障害車両対策　（テーマ３に対応）

３）ＬＣＸの布設方法検討

（１）近傍の障害物による影響　（テーマ４に対応）

（２）トラフ内布設　（テーマ５に対応）

実験機器の共通諸元は以下の通りである。

送信周波数　：2598MHz（ＬＣＸから送信し測定車両で受信）
送信出力　　：１Ｗ（必要に応じて低減）
変調方式　　：ＧＭＳＫ
伝送速度　　：512Kbps
受信アンテナ：平面アンテナ（利得：７dBi）

１）電波干渉と最適設置間隔の検討

ＬＣＸの接続部分で受信電界の低下や乱れを生じ、同時に伝送誤りを生じる現象が見られたため、ＬＣＸの設置位置を最適にすることによりその現象を最小にする手法を把握するために実験を行った。ＬＣＸの接続部分とは区間中央の給電部、区間端部の境界部、区間途中のＬＣＸ接続部に分類される。これら３カ所の条件で実験した。これらの実験において（１）、（２）の実験は図表(4.2.1) 1-1に示す試料Ａ・Ｂ・Ｃを使用して行った。（３）、（４）の実験は試料Ｃで行った。

図表(4.2.1) 1-1　ＬＣＸの特性例

	A	B	C
形状	４２Ｄ	４２Ｄ	４２Ｄ
結合損失（ｄＢ）	５５	６４	６０
伝送損失（dB/100m）	１２．５	１０	１０
輻射角度（°）	－１	－３	－５

（１）同一区間の最適設置間隔（区間中央の給電部）

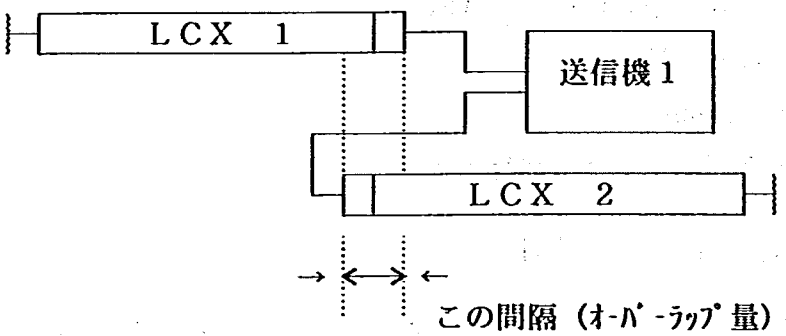
①実験の目的

この実験はＬＣＸの給電部において電界の低下と誤りを生じる現象について、ＬＣＸの電波輻射方向と設置間隔を適切に設定することにより誤り発生区間を最小にする手法を見つけだすことを目的とする。

②実験の方法

２本のＬＣＸを設置し、その間隔を変化させたときに境界部における電界分布と誤り発生の状況を測定した。２本のＬＣＸを端部が50cm離れている状態から200cmオーバーラップさせた位置まで10cm毎に位置を変化させ、そのときの電界分布と誤りの発生状況を測定した。また別の２種に試料では100cmオーバーラップさせた状態から200mまで10cm毎に測定した。

図表(4.2.1) 1-2　同一区間の最適設置間隔実験図



③実験結果

実験結果を図表(4.2.1) 1-3、図表(4.2.1) 1-4に示す。また代表例を図表(4.2.1) 1-5に示す。図表に示す結果は３種類のＬＣＸに関するものであるがオーバーラップ量と誤り発生の明確な関連は認められず、散発的にわずかな誤りが発生する。また、輻射方向との関連についても、輻射角０°～－10°程度の範囲では明確な違いは認められなかった。

この結果からＬＣＸの設置時において同一区間部分（給電点）のＬＣＸオーバーラップ量を考慮する必要はないと考えられる。

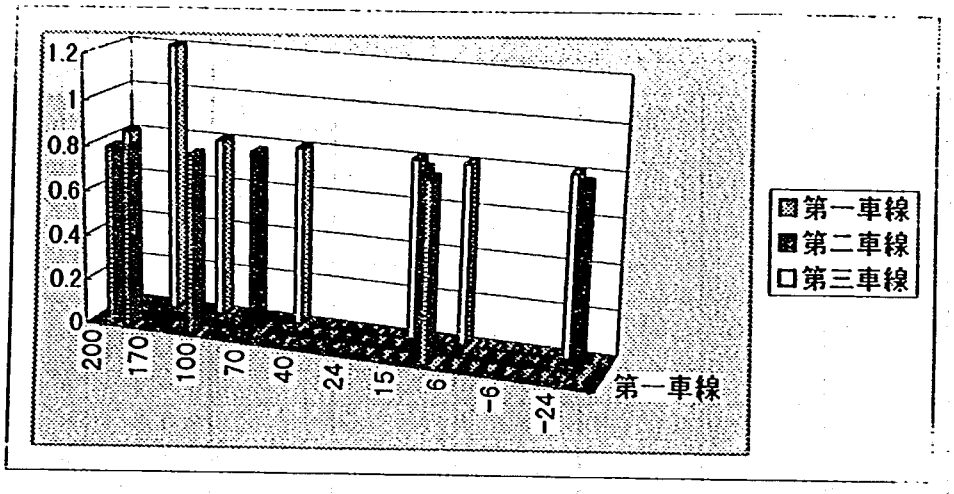
図表(4.2.1) 1-3　同一区間の干渉実験結果

単位：m

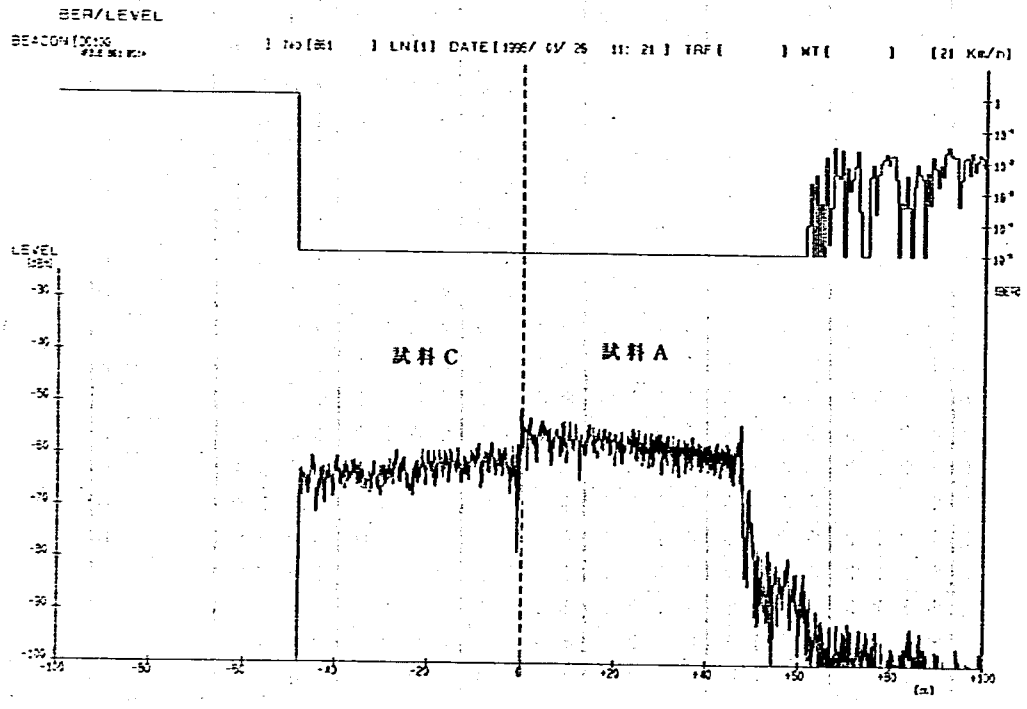
オーバラップ量	試料A			試料B			試料C		
(cm)	第一車線	第二車線	第三車線	第一車線	第二車線	第三車線	第一車線	第二車線	第三車線
200	0	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0.8
190	0	0	0.8	0	0.8	0	0.8	0	0
180	0	0	0.8	0.8	0	0	0.8	0	0
170	0.8	0	0	0	0	0	0	0	1.2
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	0.8	0.8	0	0.8	0	0	****	****	****
130	0	0	0	0	0	0	****	****	****
120	0	0	0	0	0	0	****	****	****
110	0	0	0	0	0	0	****	****	****
100	0	0	0	0	0.8	0	0.8	0	0.8
90	****	****	****	****	****	****	0	0	0
80	****	****	****	****	****	****	0	0	0
70	****	****	****	****	****	****	0	0.8	0
60	****	****	****	****	****	****	0	0	0
50	****	****	****	****	****	****	0	0	0.8
40	****	****	****	****	****	****	0	0	0
30	****	****	****	****	****	****	0	0	0
27	****	****	****	****	****	****	0	0	0
24	****	****	****	****	****	****	0	0	0
21	****	****	****	****	****	****	0	0	0
18	****	****	****	****	****	****	0	0	0
15	****	****	****	****	****	****	0	0	0.8
12	****	****	****	****	****	****	0	0.8	0
9	****	****	****	****	****	****	0.8	0	0
6	****	****	****	****	****	****	0	0	0.8
3	****	****	****	****	****	****	0	0	0
0	****	****	****	****	****	****	0	0	0
-6	****	****	****	****	****	****	0	0	0
-12	****	****	****	****	****	****	0	0	0
-18	****	****	****	****	****	****	0	0	0
-24	****	****	****	****	****	****	0	0	0.8
-30	****	****	****	****	****	****	0	0.8	0
-50	****	****	****	****	****	****	0	0	0

＊印は未実施

図表(4. 2. 1) 1-4　試料Cの各車線毎のオーバーラップ量と誤り区間



図表(4. 2. 1) 1-5　同一区間の電界共同とビットエラーの実験代表例



（２）異なる区間の最適設置間隔（区間端部の境界部）

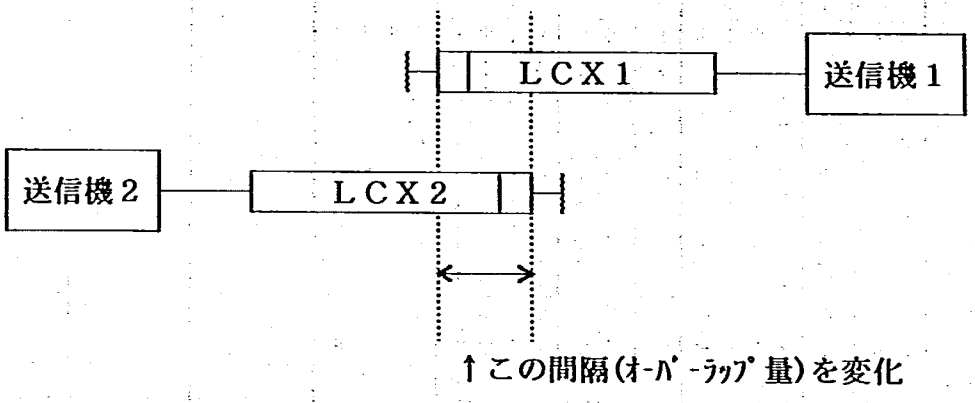
①実験の目的

ＬＣＸの区間境界部において電界の低下と誤りを生じる現象について、ＬＣＸの電波輻射方向と設置間隔を最適に設定することにより誤りの発生区間を最小にする手法を実験的に把握する事を目的とする。

②実験の方法

２本のＬＣＸを設置し、その間隔を変化させたときに境界部における電界分布と誤り発生の状況を測定した。２本のＬＣＸを端部が50cm離れている状態から200cmオーバーラップさせた位置まで10cm毎に位置を変化させ、そのときの電化分布と誤り発生状況を測定した。また、別の二種類の試料（試料Ａ、Ｂ）では100cmオーバーラップさせた状態から200cmまで10cm毎に測定した。

図表(4.2.1) 1-6　異なる区間の最適設置間隔実験図



③実験結果

実験結果を図表(4.2.1) 1-7～図表(4.2.1) 1-9に示す。また代表例を図表(4.2.1) 1-10に示す。

実験から以下のことが言える。

・誤り区間長はＬＣＸと車線（車両）間の距離に比例する。

・各車線毎に比較するとオーバーラップ長100cm程度が最も良好である。

今後の工事の指針として、異なる区間の境界ではＬＣＸのオーバーラップ長を100cm程度（±20cm）に設定するのが適当と考えられる。

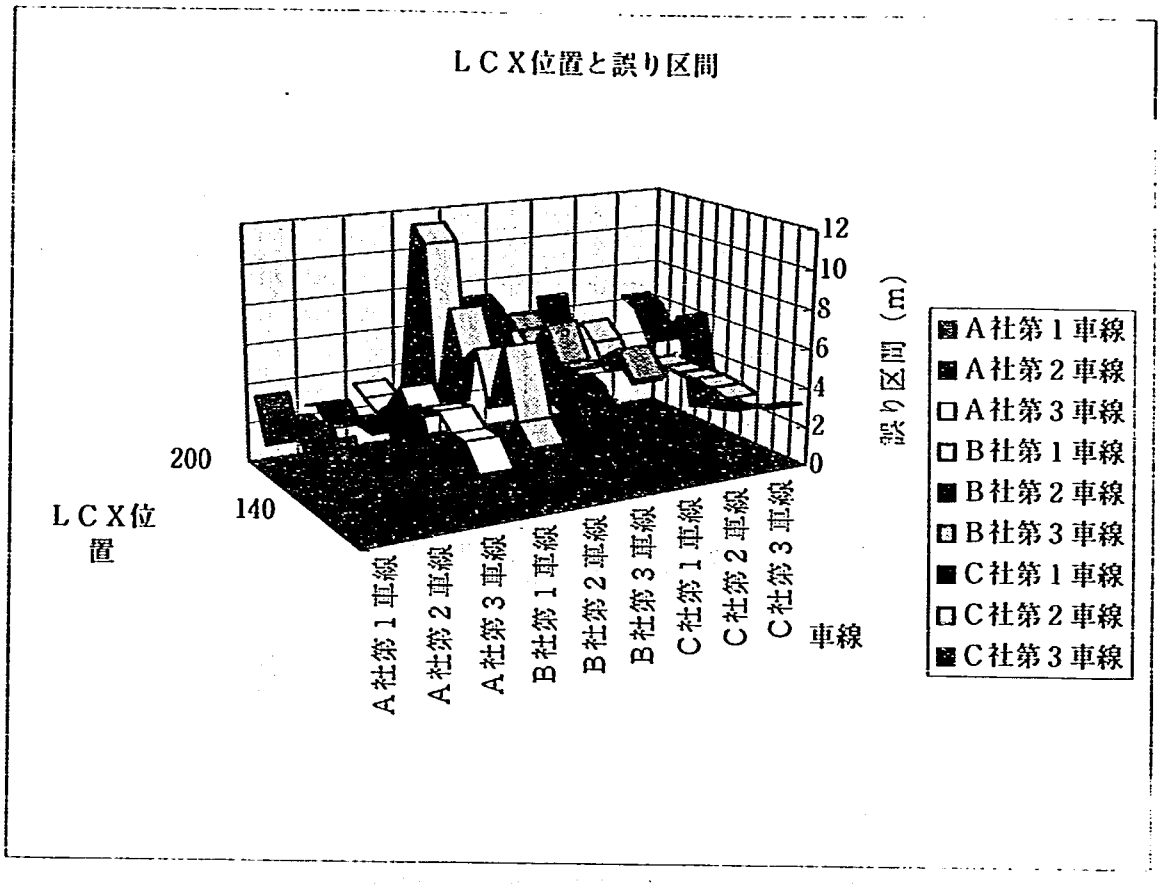
図表(4.2.1) 1-7 異なる区間の干渉実験結果

単位：m

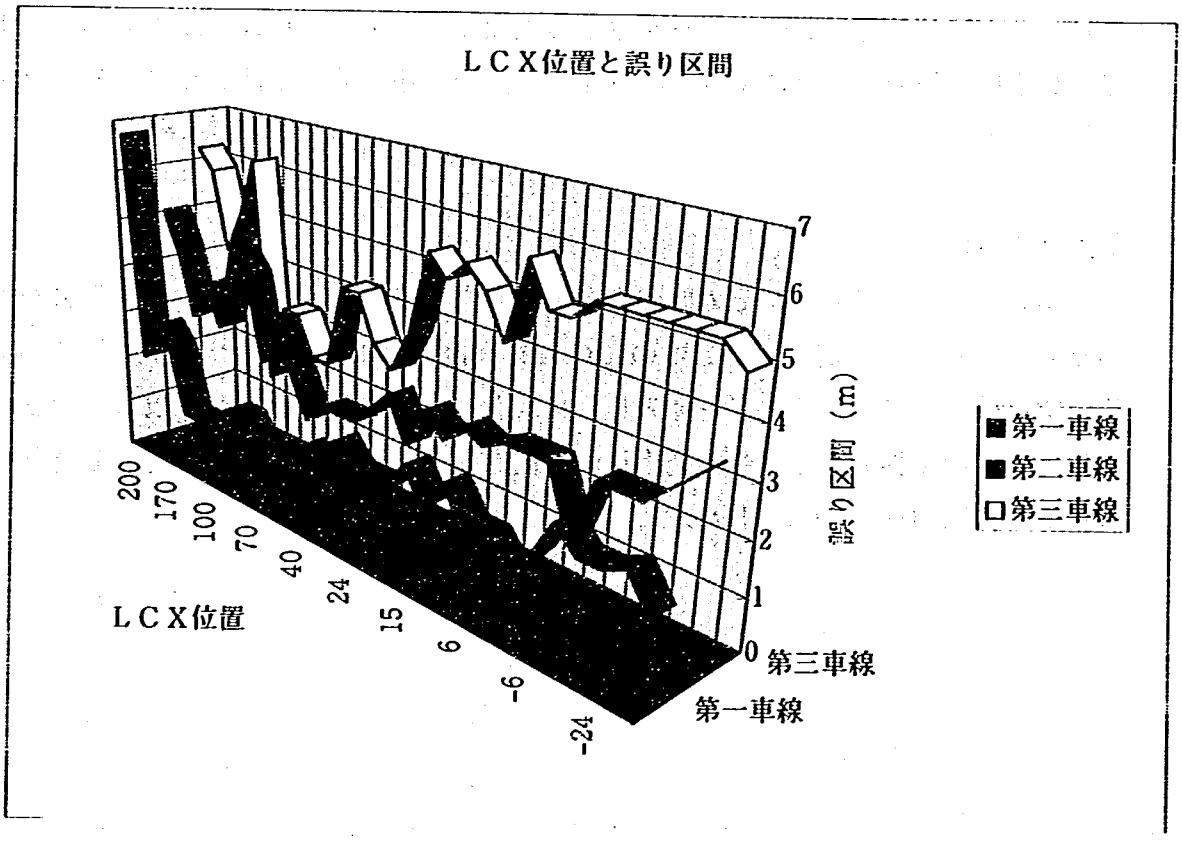
オーバラップ量	試料A			試料B			試料C		
(cm)	第一車線	第二車線	第三車線	第一車線	第二車線	第三車線	第一車線	第二車線	第三車線
200	3.3	2.5	3.3	2.5	5	5	6.7	5.0	6.2
190	1.2	2.9	2.9	11.5	7.5	6.3	2.1	4.2	5.8
180	2.9	2.3	2.5	10.8	7	5.8	2.9	2.9	4.2
170	2.9	2.5	3.2	2.9	5	5	2.5	3.7	5.0
160	3.3	3.3	4.5	8.1	4.3	6.7	1.2	2.9	6.2
150	1.7	3.3	3.3	5.8	5.8	5	1.2	4.6	1.7
140	3.3	3.3	4.2	6.7	5	5	****	****	****
130	1.2	4.8	4.4	4.2	5.5	5.5	****	****	****
120	1.7	2.5	3.7	7.5	4.3	6.3	****	****	****
110	0.8	3.3	3.7	4.2	4.2	7	****	****	****
100	1.7	3.2	2.5	3.3	5	5.8	1.2	4.2	3.3
90	****	****	****	****	****	****	1.7	2.5	3.3
80	****	****	****	****	****	****	1.7	3.3	2.5
70	****	****	****	****	****	****	1.2	2.5	2.5
60	****	****	****	****	****	****	0.8	1.7	4.2
50	****	****	****	****	****	****	1.2	2.1	4.2
40	****	****	****	****	****	****	1.7	2.1	3.3
30	****	****	****	****	****	****	1.2	2.1	2.9
27	****	****	****	****	****	****	2.1	2.5	3.7
24	****	****	****	****	****	****	1.7	2.9	5.4
21	****	****	****	****	****	****	1.7	2.1	5.0
18	****	****	****	****	****	****	1.7	2.9	5.4
15	****	****	****	****	****	****	2.3	2.5	5.0
12	****	****	****	****	****	****	1.7	2.9	4.2
9	****	****	****	****	****	****	2.3	2.7	5.8
6	****	****	****	****	****	****	1.7	2.9	5.0
3	****	****	****	****	****	****	1.7	2.9	5.0
0	****	****	****	****	****	****	1.2	2.9	5.4
-6	****	****	****	****	****	****	1.7	1.7	5.4
-12	****	****	****	****	****	****	2.5	2.9	5.4
-18	****	****	****	****	****	****	2.1	2.9	5.4
-24	****	****	****	****	****	****	2.1	2.9	5.4
-30	****	****	****	****	****	****	2.3	3.3	5.4
-50	****	****	****	****	****	****	1.7	3.7	5.0

＊印は未実施

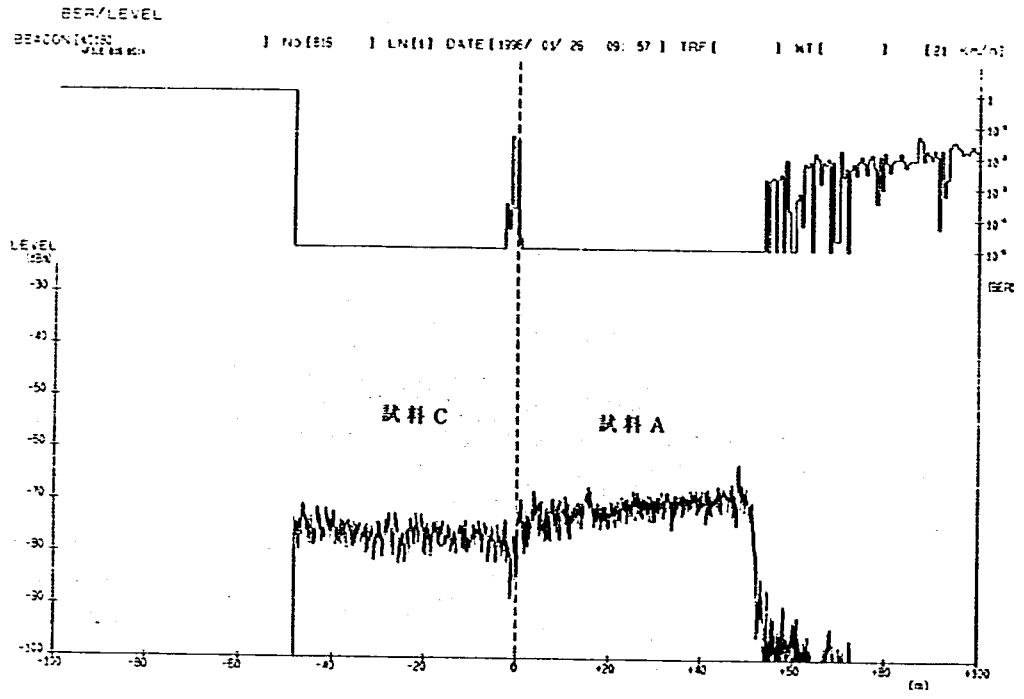
図表(4.2.1) 1-8 各社ｹｰﾌﾞﾙの各車線毎のＬＣＸｵｰﾊﾞｰﾗｯﾌﾟ量と誤り区間



図表(4.2.1) 1-9 Ｃ社の各車線毎のＬＣＸｵｰﾊﾞｰﾗｯﾌﾟ量と誤り区間



図表(4.2.1) 1-10　異なる区間の電界強度とビットエラーの実験代表例



（3）接続区間の最適設置間隔（区間途中のＬＣＸ接続部）

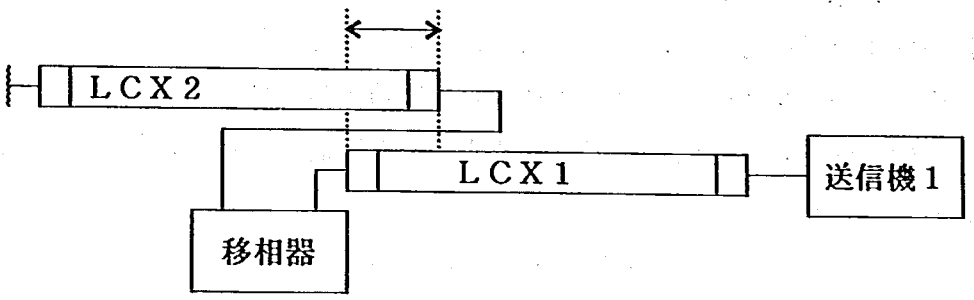
①実験の目的

ＬＣＸの接続部分において誤りを生じる現象について、ＬＣＸの設置間隔と給電線長を適切に決めることにより、誤り発生区間を最小にする手法を見つけることを目的とする。

②実験の方法

二本のＬＣＸを設置し、その間隔を変化させたときに境界部における電界分布と誤り発生の状況を測定した。二本のＬＣＸを端部が180cmオーバーラップしている状態で接続ケーブルに移相器を挿入し、接続ケーブル長を変化させたと等価な状態にしたときの電界分布と誤りの発生状況を測定した。また端部をつきあわせた状態（ｵｰﾊﾞｰﾗｯﾌﾟ長０cm）でも測定した。

図表(4.2.1) 1-11　接続区間の最適設置間隔実験図
↓オーバーラップ量180cmと0cm



③実験結果

移相器で位相を変化させても接続区間の誤りの変化を確認することが出来なかった。オーバーラップ長が180cmの時は電界の低下もほとんどなく、位相による変化も明確ではない。突き合わせ状態ではわずかな電界の低下が認められたが、これはオーバーラップ長によるもの、または各ケーブルの輻射角の若干のずれによるものと考えられ、位相の変化による明確な差は認められない。

接続部分では適当なオーバーラップ長を確保して接続すれば、接続用ケーブルの長さにはこだわる必要がないと考えられる。オーバーラップ長は明確ではないが、異なる区間の実験結果を参考にすれば100cm程度で良いと考えられる。

（４）車載アンテナの変更による干渉エリアの変化

①実験の目的

車載アンテナの指向特性を、より鋭いものにしたときに生ずる誤り区間の幅の変化、また車載アンテナの方向を変化させたときに生ずる誤り区間の位置の変化を把握することを目的としている。

②実験の方法

異なる区間の実験において指向性の異なる３種類の車載ｱﾝﾃﾅを使用して誤り区間を測定した。そのときアンテナの水平方向及び垂直方向（仰角）を変化させて誤り区間長や位置の変化を見た。

この実験は設置済みのＬＣＸを使用して実験したため二本のＬＣＸの離隔距離は約30cmであった。（オーバーラップしていない状態）またＬＣＸは試料Ｃであり、輻射角度は－５°である。

車載アンテナは従来の実験で使用した半値幅60°のアンテナの他に半値幅30°及び21°のアンテナを製作して使用した。

③実験結果

・アンテナの水平角度は０°、すなわちＬＣＸに正対している状態が最も良く、進行方向または後方に向ける効果はどのアンテナでも認められない。アンテナの指向方向を変化させたときの誤り区間が移動する現象は認められず、アンテナの指向方向切り替えによって誤り区間発生を回避できる可能性はほとんどないと考えられる。

・水平方向を±30°にすると劣化が大きく、実用的ではない。

・指向特性の鋭いアンテナ使用する程、誤り区間の幅を減少できる。

・指向性の鋭いアンテナを使用すると周囲の反射物の影響を減少することができ、指向方向がＬＣＸの方向と一致している場合は安定した受信特性を得ることができる。

・従来のＬＣＸ（輻射角度－20°）は第３車線で10～15m程度の誤り区間があったが、実験に使用した新ＬＣＸでは５～６ｍに改善することができた。）さらに、指向性の鋭いアンテナを使用した場合は2.5～３ｍにする事ができた。

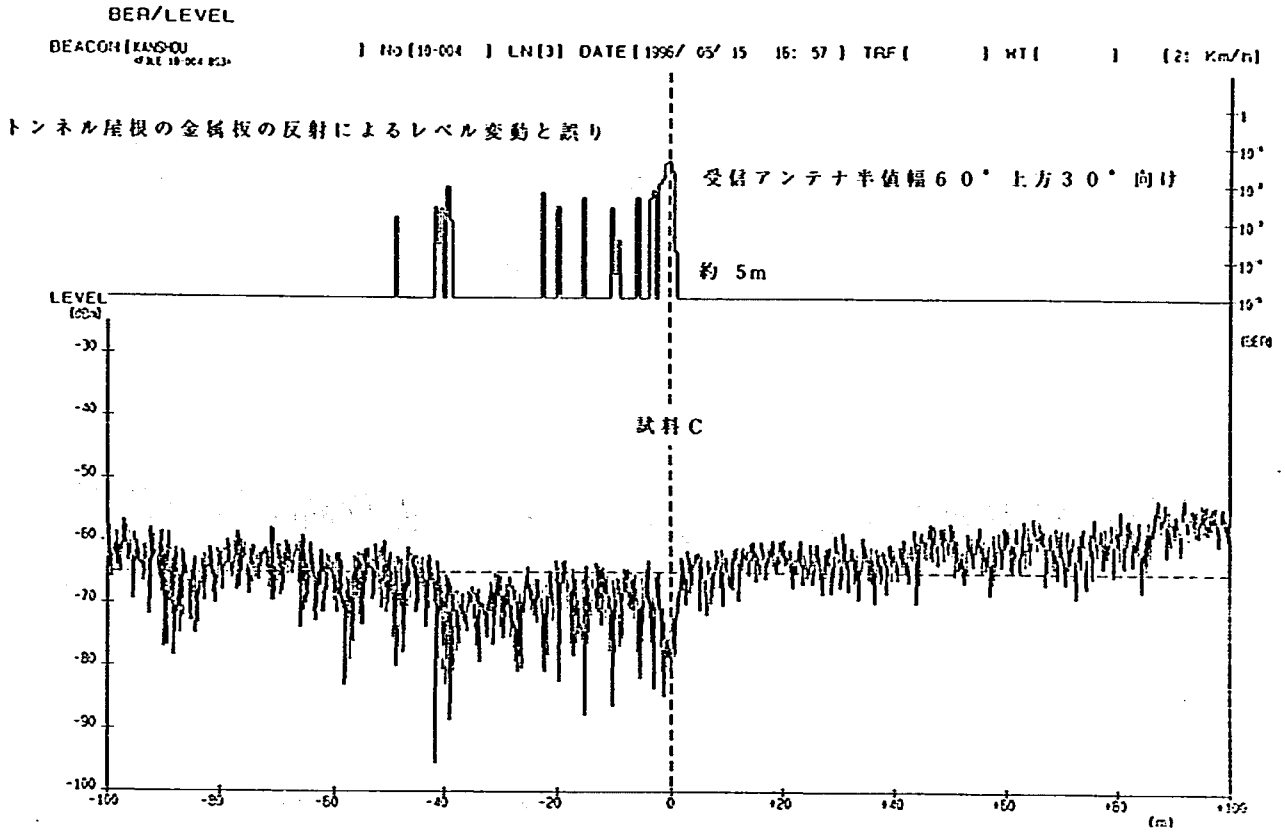
図表(4.2.1) 1-12はアンテナをＬＣＸに正対させ仰角を変えたときの状況である。

図表(4.2.1) 1-12　アンテナの種類と誤り区間の幅

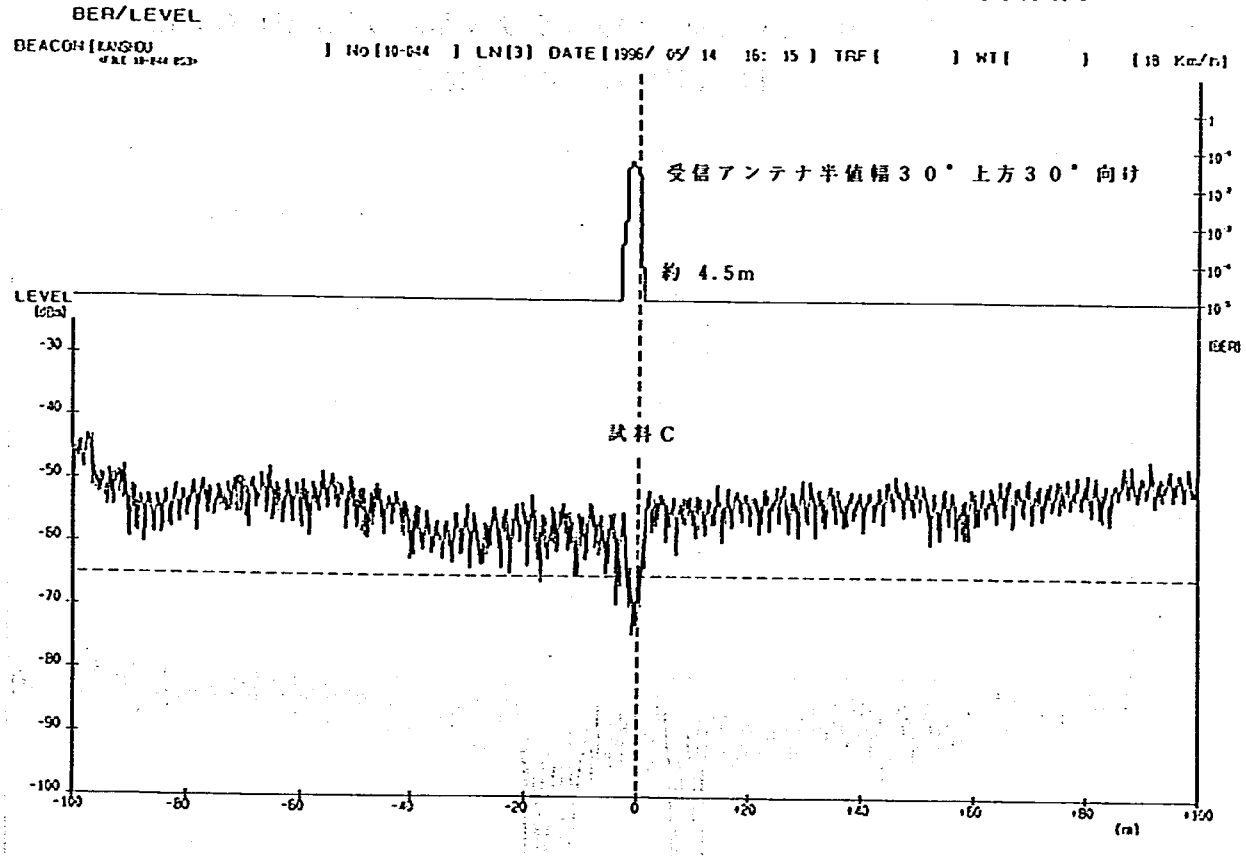
アンテナ種類	第３車線の誤り区間の幅
半値幅60° (従来の車載ｱﾝﾃﾅ)	仰角を変化させも顕著な差はない ５～６ｍ　　図表(4.2.1) 1-13
半値幅30°	仰角10°以上で ４．５ｍ～５ｍ　　図表(4.2.1) 1-14
半値幅21°	仰角20°以上で ２．５ｍ～３ｍ　　図表(4.2.1) 1-15

データ例を図表(4.2.1) 1-13～図表(4.2.1) 1-15に示す。図表(4.2.1) 1-16は従来のＬＣＸを使用している区間２と３の間で測定した誤り区間を示す。従来のＬＣＸは電波の輻射角度が－20°、離隔距離は約30cmである。

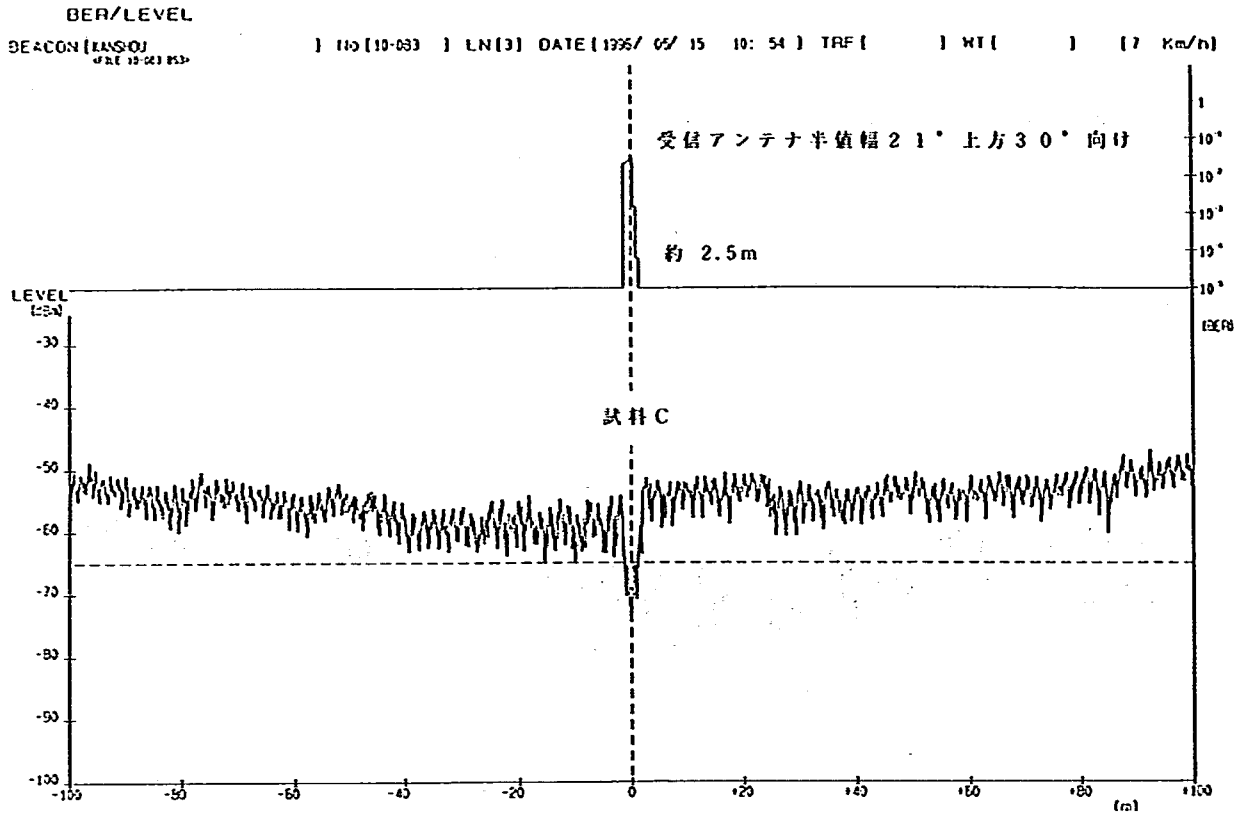
図表(4.2.1) 1-13　半値幅60°のアンテナ使用時の境界部分の電界分布代表例



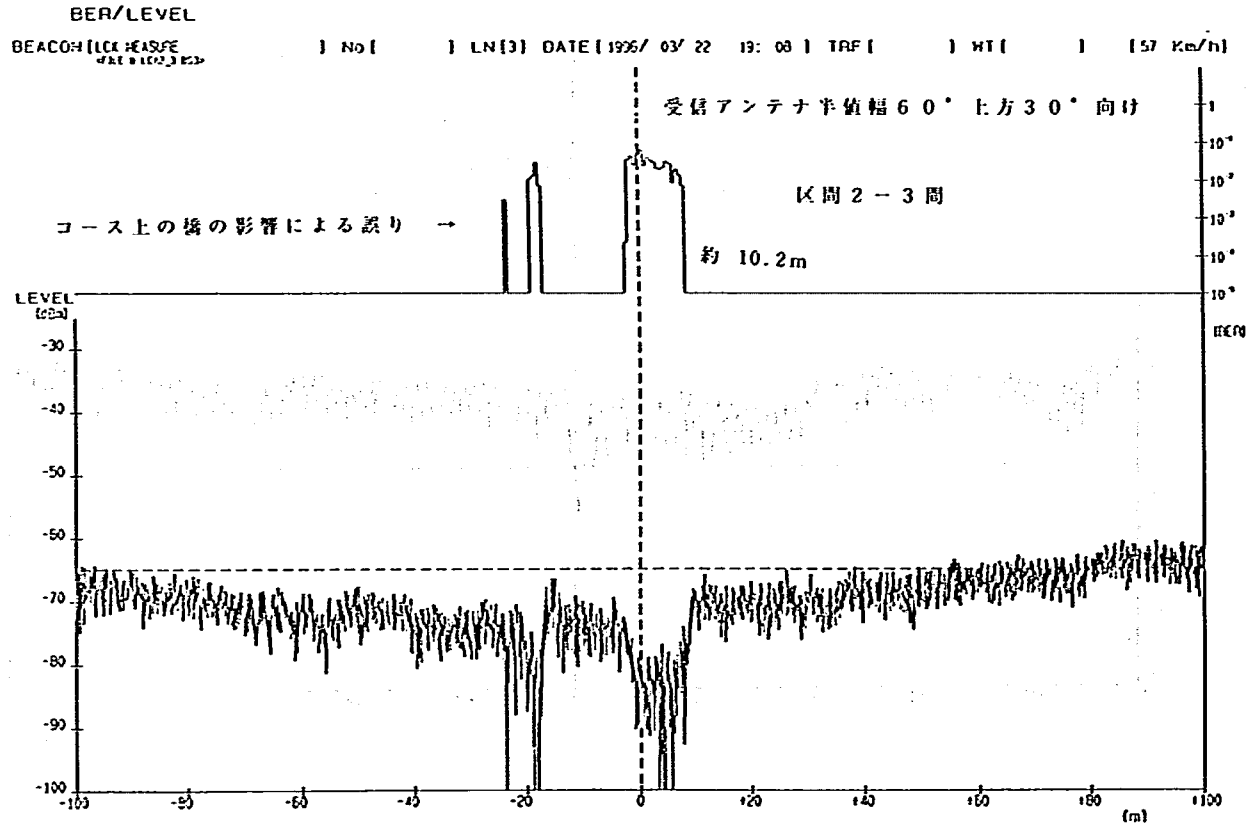
図表(4.2.1) 1-14　半値幅30°のアンテナ使用時の境界部分の電界分布代表例



図表(4.2.1) 1-15　半値幅21°のアンテナ使用時の境界部分の電界分布代表例



図表(4.2.1) 1-16　半値幅60°のアンテナ使用時の従来型ＬＣＸによる
接続部分の電界分布代表例



2）外部要因による電波の乱れと対策

（1）塩分、汚れの影響把握

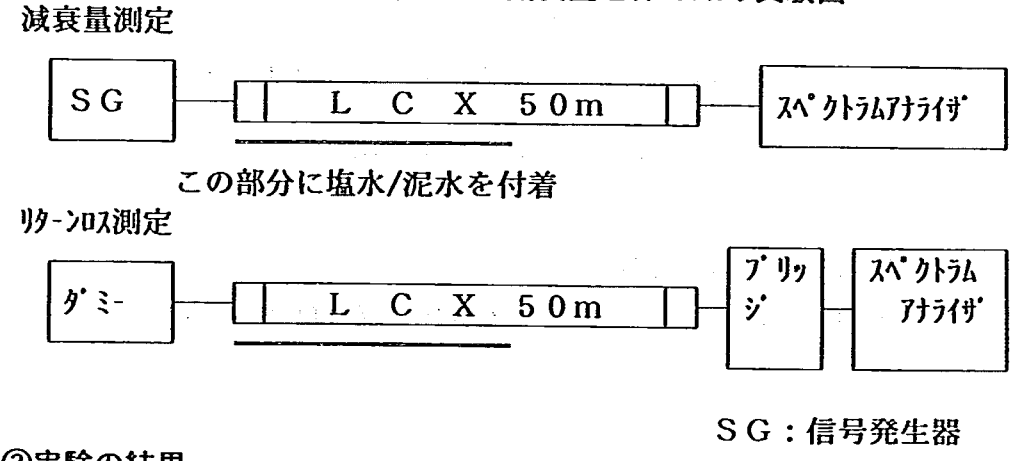
①実験の目的

ＬＣＸ表面の汚損が、ＬＣＸの電気的特性並びに誤り率にどのような影響を及ぼすか確認する。

②実験の方法

架空布設されたＬＣＸ50mに綿テープを巻き付け、塩水、泥水を含浸させたときの伝送損失、反射減衰量、電界分布、誤り率を測定する。

図表(4.2.1) 2-1　減衰量とﾘﾀｰﾝﾛｽの実験図



ＳＧ：信号発生器

③実験の結果

（伝送損失への影響）

・塩水、または泥水を含浸させると伝送損失が増加する。

・伝送損失への影響は、塩水の方が大きい。

・水分が蒸発すれば、初期の状態へ復帰する。

（反射減衰量）

・塩水、泥水の付着による反射減衰量の影響はほとんどない。

（電界分布）

・伝送損失が増加するため、これに応じて電界強度も低下する。

・電界変動幅への影響はほとんどない。

（誤り率）

・塩水、泥水による、誤り率への影響は見られない。

図表(4.2.1) 2-2　実験結果

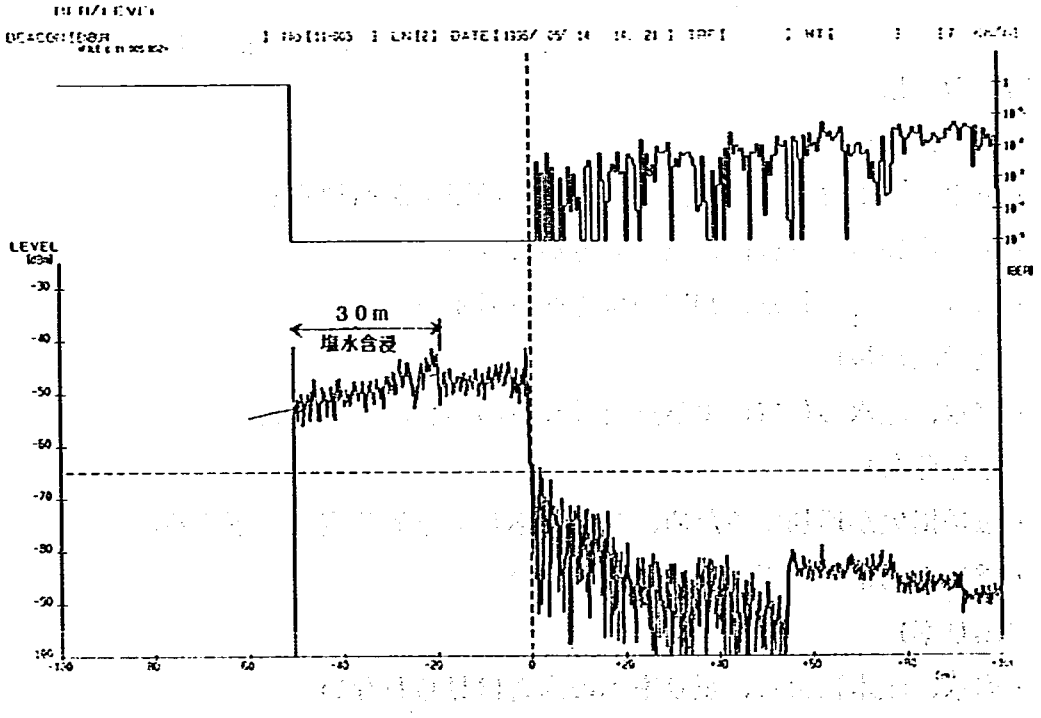
単位　：dB

	状　態	伝送損失	反射減衰量
初期状態	― ― ―	１１．５	１９．３
塩水（１回目）	直後	１６．９	２０．７
	乾燥後	１１．６	２１．２
塩水（２回目）	直後	１７．２	２０．０
	乾燥後	１１．４	２２．５
泥水	直後	１４．３	１９．９
	乾燥後	１２．１	２１．３

備考）減衰量は、既設ＬＣＸ＋既設同軸ケーブル＋測定用同軸ケーブルの総和である。（周波数：２．６ＧＨｚ）

代表例を図表(4.2.1) 2-3に示す。

図表(4.2.1) 2-3　塩水含浸によるケーブルロスの増加



（２）車両アンテナの変更による障害車両対策

この実験では図表(4.2.1) 1-1の試料ＣのＬＣＸを使用した。

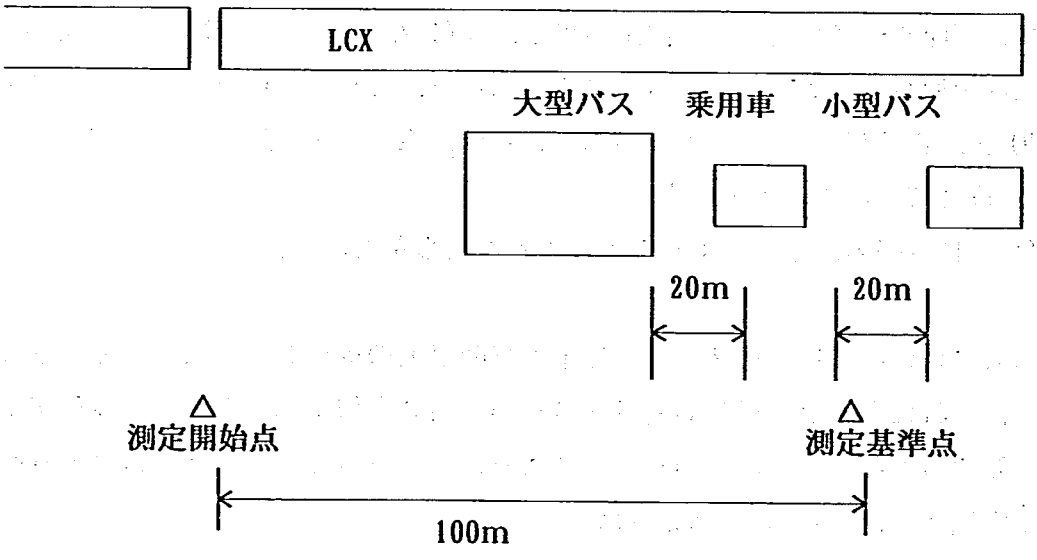
①実験の目的

車両アンテナの種類(指向性)を変え、さらにアンテナの方向(水平角度)と仰角(垂直角度)を変えた時の障害物の陰の影響の変化を調べることを目的とする。

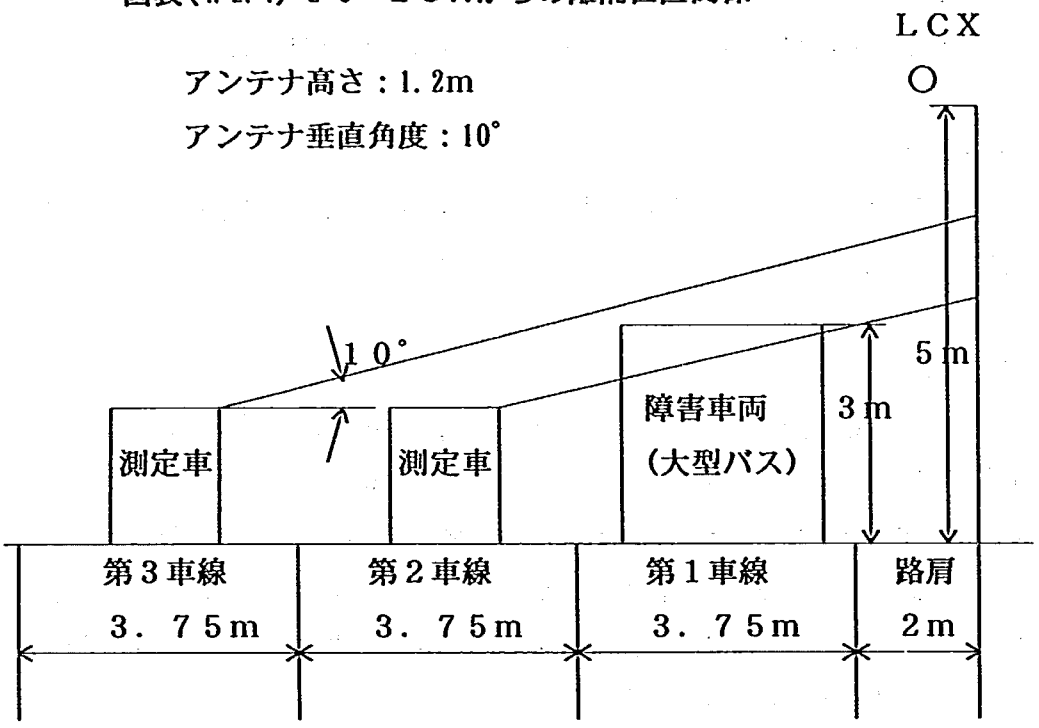
②実験の方法

障害車両として大型バス、乗用車、小型バスを20m間隔で第一車線に固定配置する。ＬＣＸからの離隔位置関係を図表(4.2.1) 2-4に示す。測定車両は第２、３車線を約20km/hで走行し、受信電界と誤り率を測定する。アンテナの指向性、水平角度、垂直角度を変化させて障害物の陰の影響変化を測定する。アンテナの指向性は半値幅60°、30°、21°の３種類とし、水平角度は±20°、垂直角度は30°迄とした。ＬＣＸの輻射角度は－５°である。

図表(4.2.1) 2-4　障害車両配置図
区間７（区間８寄り）



図表(4.2.1) 2-5　ＬＣＸからの離隔位置関係



③実験結果

大型バス側面を通過したときの測定結果を図表(4.2.1) 2-6にとりまとめて示す。ここでLmは大型バス位置付近の受信レベル(dBm) を、ΔＬは同位置での受信レベル低下(dB)を、ＢＥは誤り発生の程度(○：無し、△：少し有、×：有)を示す。図表(4.2.1) 2-7には代表例を示す。

図表(4.2.1) 2-6の測定結果より以下のことが明らかとなった。

a)大型バスの陰の影響は、第２車線では殆ど15dB以上の受信レベル落ち込みとなっており、それにともなう誤りも避けられない。第３車線では、ＬＣＸと受信アンテナが見通しとなることとまわり込みにより、受信レベルの落ち込みは３～６dB程度に軽減され、誤りも殆ど問題ない。

b)乗用車と小型バスの陰の影響による受信レベルの落ち込みがわずかに認められるが、誤りの発生は全くない。

c)アンテナの指向性を上げると、ＬＣＸの輻射角度と一致する方向では受信レベルが上るが、ＬＣＸの輻射角度から外れると受信レベル低下をきたし、極端な場合は誤りが発生する。

d)アンテナの指向性を鋭くしても大型バスの影響を軽減することはできない。したがって大型アンテナにより大型車の電波遮蔽を軽減できる可能性は少ない。アンテナの水平方向を変化させても電界が低下する位置は変化無く、角度ダイバシティの実現可能性も少ない。

e)水平角度は、当然ＬＣＸの輻射角度にほぼ対向する０°と＋10°が最も受信レベルが高くなる。

f)垂直角度は、ＬＣＸ布設高さと受信アンテナの相対的位置関係から＋20°が受信レベル最大となった。

図表(4.2.1) 2-6 大型バス側面通過時の測定結果

車両アンテナ1（半値幅60°）

	第2車線									第3車線								
垂直角度（°）	10			20			30			10			20			30		
水平角度（°）	Lm	ΔL	BE	Lm	ΔL	BE	Lm	ΔL	BE	Lm	ΔL	BE	Lm	ΔL	BE	Lm	ΔL	BE
+20	-52.5	14	×	-52.5	15	×	-55	14	×	-52.5	4.5	○	-52	4	○	-55	5	○
+10	-53	13	×	-53	17	×	-55	15	×	-52.5	3.5	○	-52	4.5	○	-55.5	4.5	○
0	-53	14.5	×	-52.5	16.5	×	-51	15.5	×	-52.5	3.5	○	-51	5.5	○	-51	5	○
−10	-54	15	×	-52.5	14	×	-49.5	17	×	-53.5	4	○	-53	4.5	○	-51	6	○
−20	-55	15	×	-51	16.5	×	-51	15	×	-54	5	○	-51	5.5	○	-52	4	○

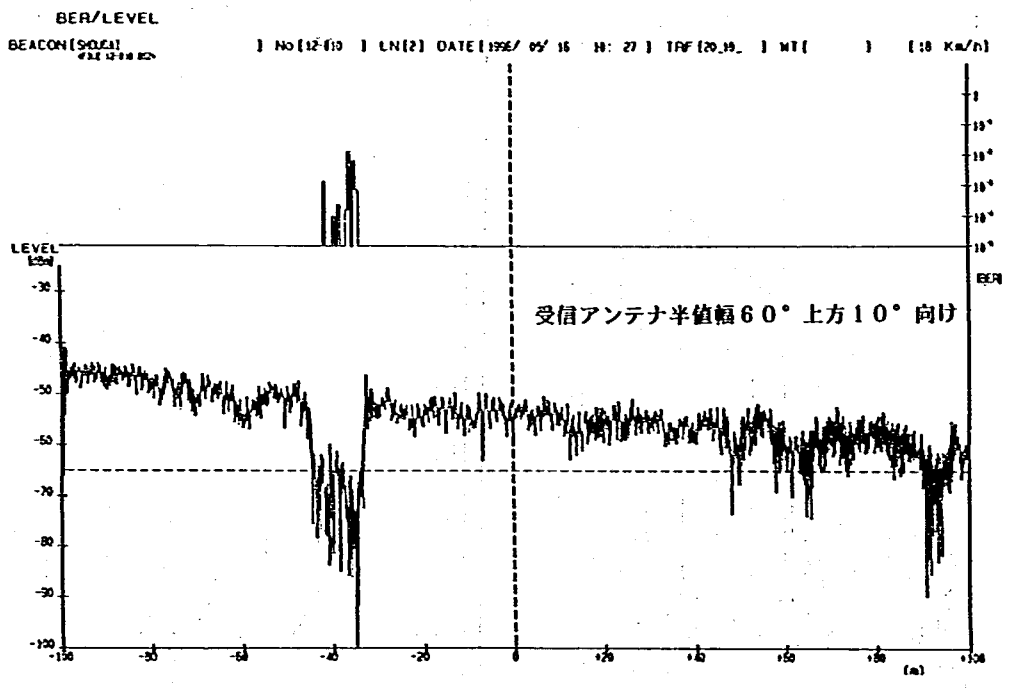
車両アンテナ2（半値幅30°）

	第2車線									第3車線								
垂直角度（°）	10			20			30			10			20			30		
水平角度（°）	Lm	ΔL	BE	Lm	ΔL	BE	Lm	ΔL	BE	Lm	ΔL	BE	Lm	ΔL	BE	Lm	ΔL	BE
+20	-55	14	×	-52.5	18.5	×	-52	20	×	-52.5	4	○	-52.5	4	○	-54	3.5	○
+10	-54	14	○	-52	18	×	-51	21	×	-51	4	○	-51.5	4.5	○	-53	3.5	○
0	-53.5	15.5	×	-52.5	20	×	-50	20	×	-50.5	6	○	-51	5	○	-52.5	4	○
−10	-57	14	×	-54	18.5	×	-52.5	16	Δ	-53	3.5	○	-54	5	○	-55	4	○
−20	-59	13.5	×	-58	15.5	×	-57	15	×	-57	5	○	-57.5	5.5	○	-58.5	3.5	○

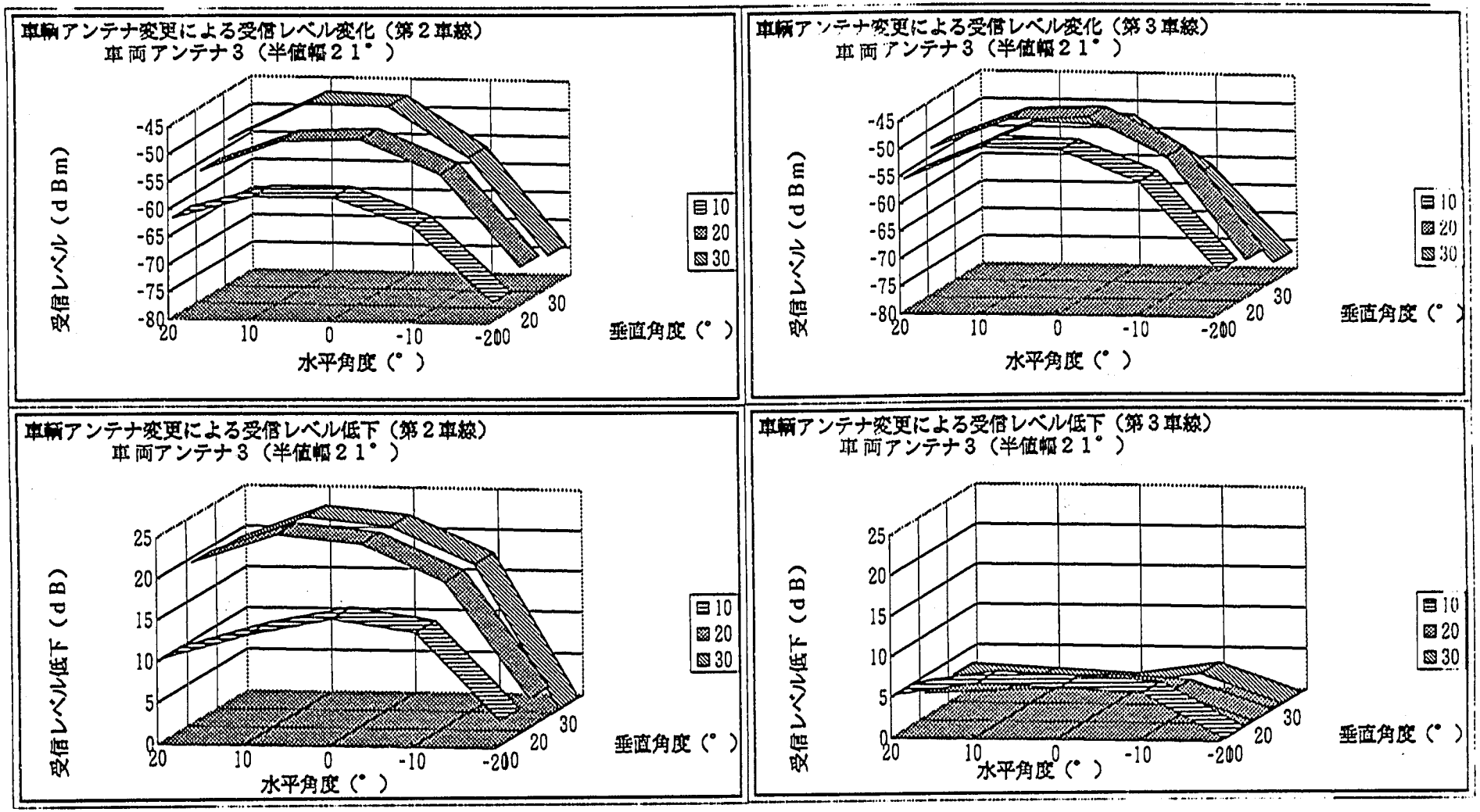
車両アンテナ3（半値幅21°）

	第2車線									第3車線								
垂直角度（°）	10			20			30			10			20			30		
水平角度（°）	Lm	ΔL	BE	Lm	ΔL	BE	Lm	ΔL	BE	Lm	ΔL	BE	Lm	ΔL	BE	Lm	ΔL	BE
+20	-62	10	×	-56.5	19.5	×	-54	19	×	-56	5	○	-53.5	3	○	-58	3	○
+10	-58	13	×	-51	23	×	-47	23	×	-50	6.5	○	-48	3.5	○	-51.5	2.5	○
0	-58	15	×	-50.5	22	×	-47.5	22	×	-50.5	6	○	-47.5	4	○	-52	2	○
−10	-63	13.5	×	-56.5	17.5	×	-56.5	17.5	×	-55	5.5	Δ	-54.5	3.5	○	-61	3.5	○
−20	-76.5	13	×	-73	3.5	×	-74	0	×	-72	0	×	-73	0	×	-76.5	0	×

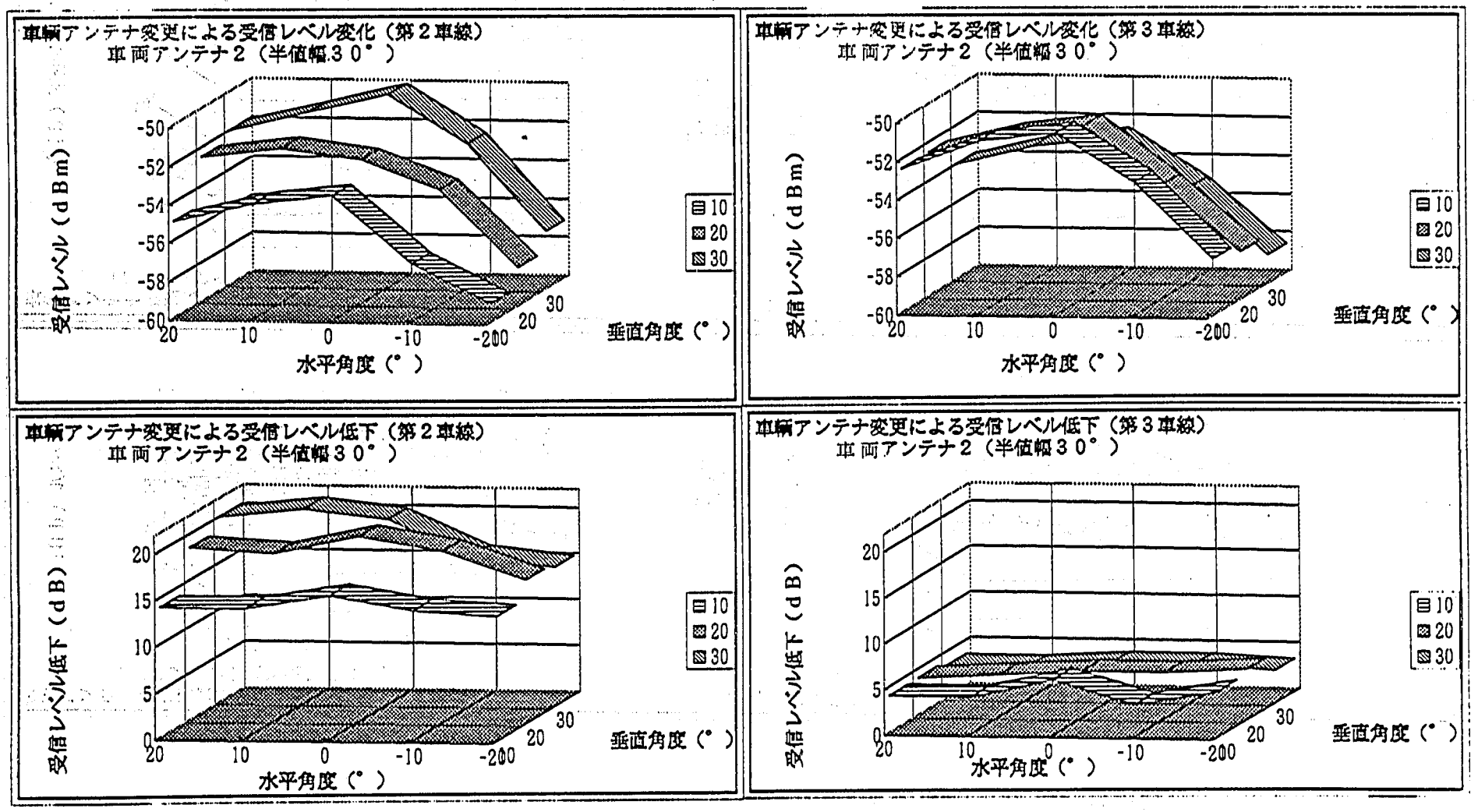
図表(4.2.1) 2-7　大型バス側面通過時の電界分布代表例



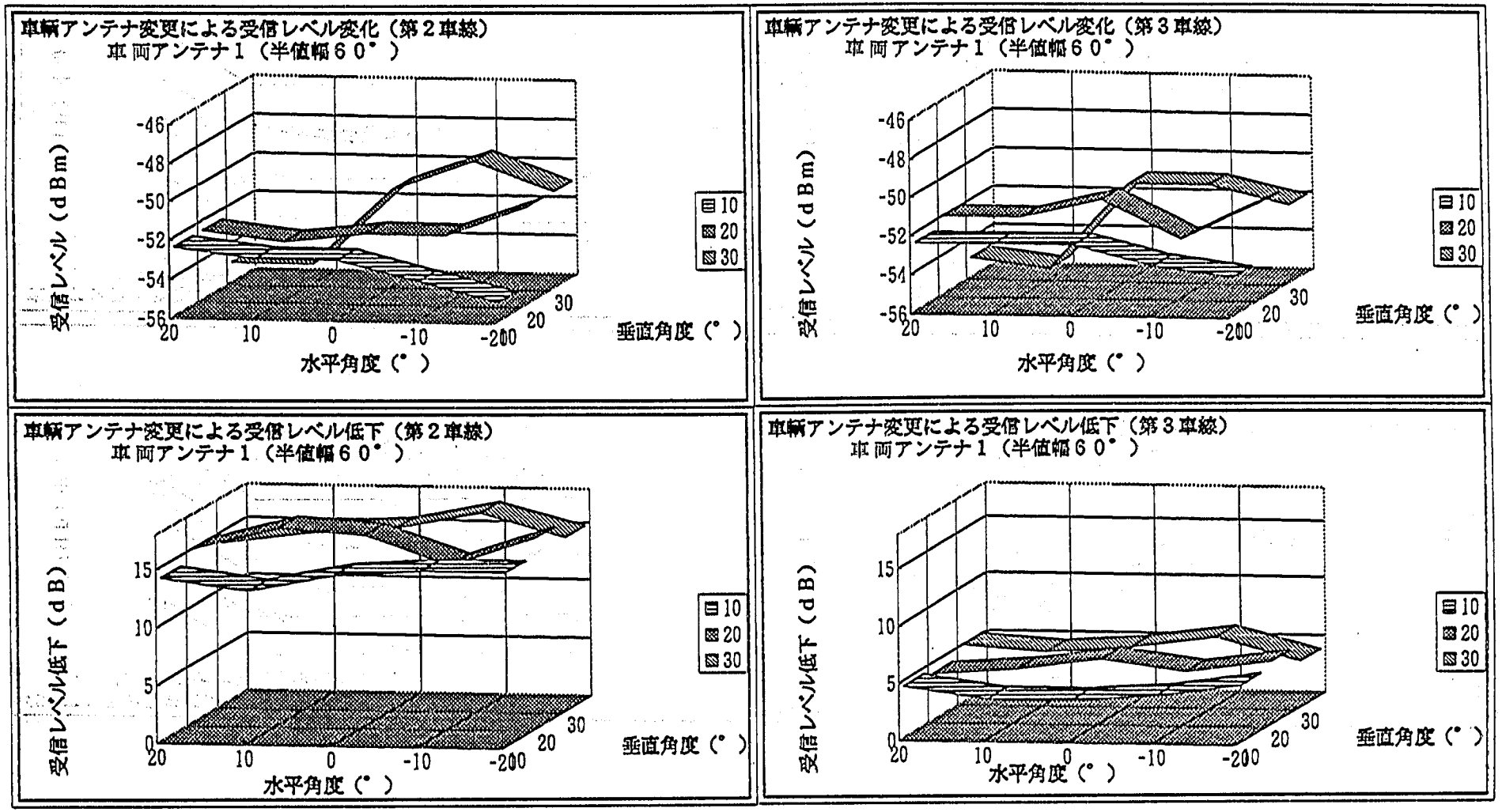
図表(4.2.1) 2-8　車両アンテナ変更による受信レベル変化及び低下（半値幅21°）



図表(4.2.1) 2-9　車輌アンテナ変更による受信レベル変化および低下（半値幅30°）



図表(4.2.1) 2-10　車輌アンテナ変更による受信レベル変化および低下（半値幅60°）



3）ＬＣＸの布設方法検討

（1）近傍の障害物による影響

①実験の目的

金属物の近傍にＬＣＸを布設すると、この影響により電界の乱れや信号誤りが発生する事実は以前から確認されていた。この影響の度合いを把握することを実験の目的とする。

②実験の方法

電波暗室で、ＬＣＸ近傍においた金属物によるＬＣＸの指向性への影響について測定した。実験は以下の項目について行った。

a)ＬＣＸ単体の指向性測定

b)周囲金属物の影響測定

ＬＣＸ周囲に種類の異なった金属物として A)メッセンジャワイヤ B)金属板 C)他のＬＣＸ D)通信ケーブル E)電源ケーブルをそれぞれＬＣＸと平行に設置し、離隔距離による影響を測定した。

実験においては送信アンテナとして電磁ホーンを使用した。供試ＬＣＸは垂直偏波ＬＣＸを５種類(５社)、水平偏波ＬＣＸを１種類（１社）、それぞれ長さ1.2mを試作し、回転台に垂直に設置して測定した。（実験の時期が早いため、表１のＬＣＸとは異なる試料を使用した。）

周囲金属物の影響測定では、ＬＣＸは固定し金属物をＬＣＸの周囲で360°回転させて測定した。

③実験結果

単体指向性は試料全数で測定し、金属の影響については垂直偏波と水平偏波の代表的な各１種類で測定した。

a)単体指向性

ＦＢ比は垂直偏波では５本の試料の内、最大は9.3dB、最小は2.3dBであり、水平偏波では18dBを得た。データ例を図表(4.2.1) 3-1、図表(4.2.1) 3-2に示す。

b)メッセンジャワイヤの影響

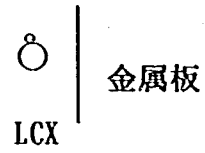
垂直偏波、水平偏波ともＬＣＸ側面でも背面でもほとんど影響はない。

c)金属板の影響

ア)金属板をＬＣＸ側面に設置したとき

・垂直偏波では影響は緩やか。250㎜程度離せば、影響は少ない。（図表(4.2.1) 3-3）

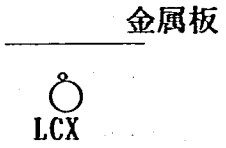
・水平偏波では影響が大きい。（図表(4.2.1) 3-4）隔離距離、半波長毎に落ち込みが発生する。（図表(4.2.1) 3-9）金属板は300㎜×1000㎜である。



イ)金属板をＬＣＸ背面に設置したとき

・垂直偏波では影響は緩やか。ＬＣＸ側面に設置した場合に比較して若干改善されるが大差ない。

・水平偏波ではＦＢ比がとれているためか正面方向への金属板の影響は少ない。ＬＣＸ側面に設置した場合の特性に比較して大幅に改善される。



以上の結果から垂直偏波ＬＣＸでは側面の金属板（例えば遮音壁や落下物防止の金属網）との離隔距離を250㎜以上確保することが望ましい。

水平偏波用ＬＣＸ側面の金属物とは500㎜以上の離隔距離を確保した方がよい。

d)周囲金属物の影響

ア)ＬＣＸを干渉用に使用したとき。

・垂直偏波ではゆっくりとした変化で100㎜離隔時に８dB程度変動する。離隔距離を大きくすると変動幅は減少する。離隔距離500㎜で５dB。試供ＬＣＸと送信アンテナ間に干渉ＬＣＸが入ってもレベル低下はない。（図表(4.2.1) 3-5）

・水平偏波では離隔距離300㎜で10dB程度の変動。それ以下の離隔距離では20dB程度の急激な落ち込みが発生することがある。離隔500㎜で６dBの変動。試供ＬＣＸとアンテナ間に干渉ＬＣＸが入ってもレベル低下はない。（図表(4.2.1) 3-6）

以上の結果から、垂直偏波ＬＣＸ及び水直偏波ＬＣＸでは他のＬＣＸとの離隔を500㎜以上確保した方がよい。

ｲ)通信用ケーブルを干渉用に使用したとき

・通信用ｹｰﾌﾞﾙ（20ペア）、電源ｹｰﾌﾞﾙ（5.5sq×３）ＩＶ線（38sq）では顕著な差はなかった。

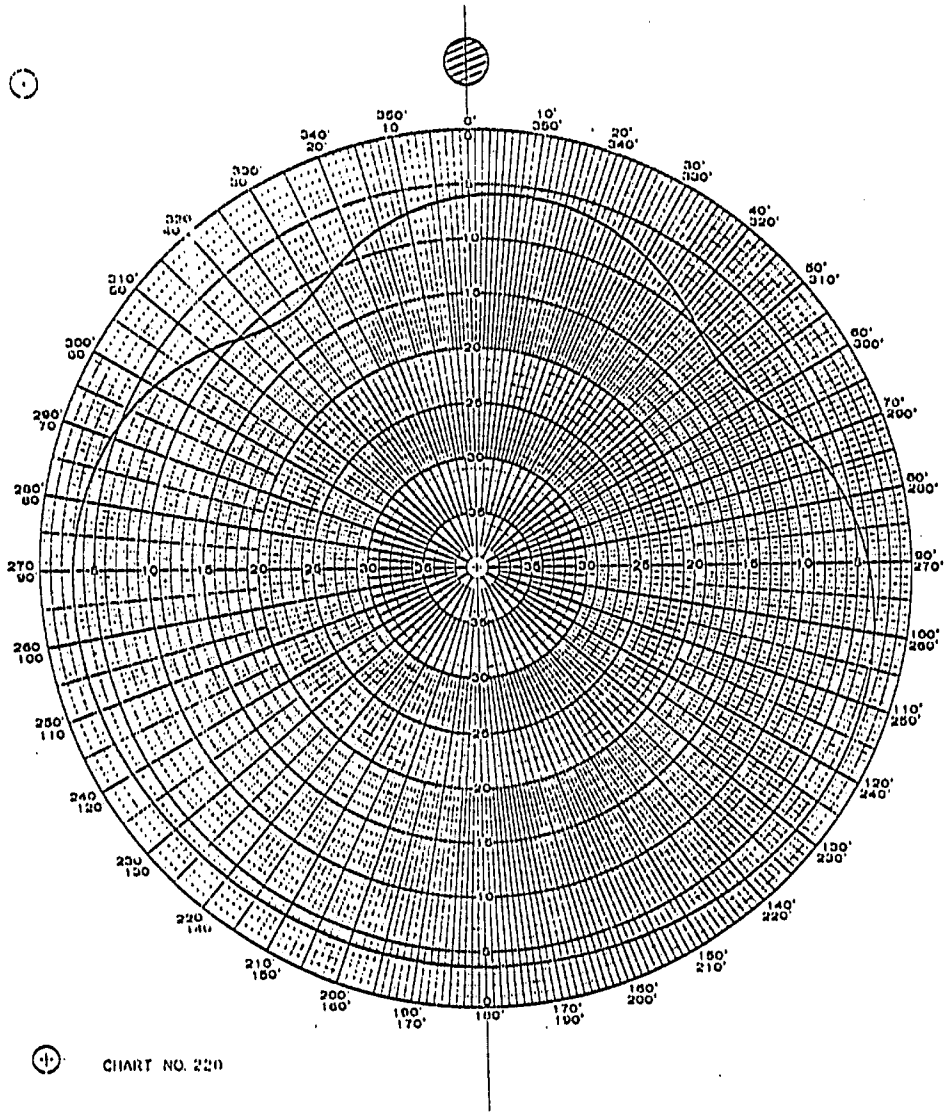
・垂直偏波では離隔距離に関わらず３dB程度のゆったりした変動がある。（図表(4.2.1) 3-7)

・水平偏波では最大６dBの程度のゆったりした変動がある。（図表(4.2.1) 3-8)

・両偏波とも大きな干渉を受けることはない。

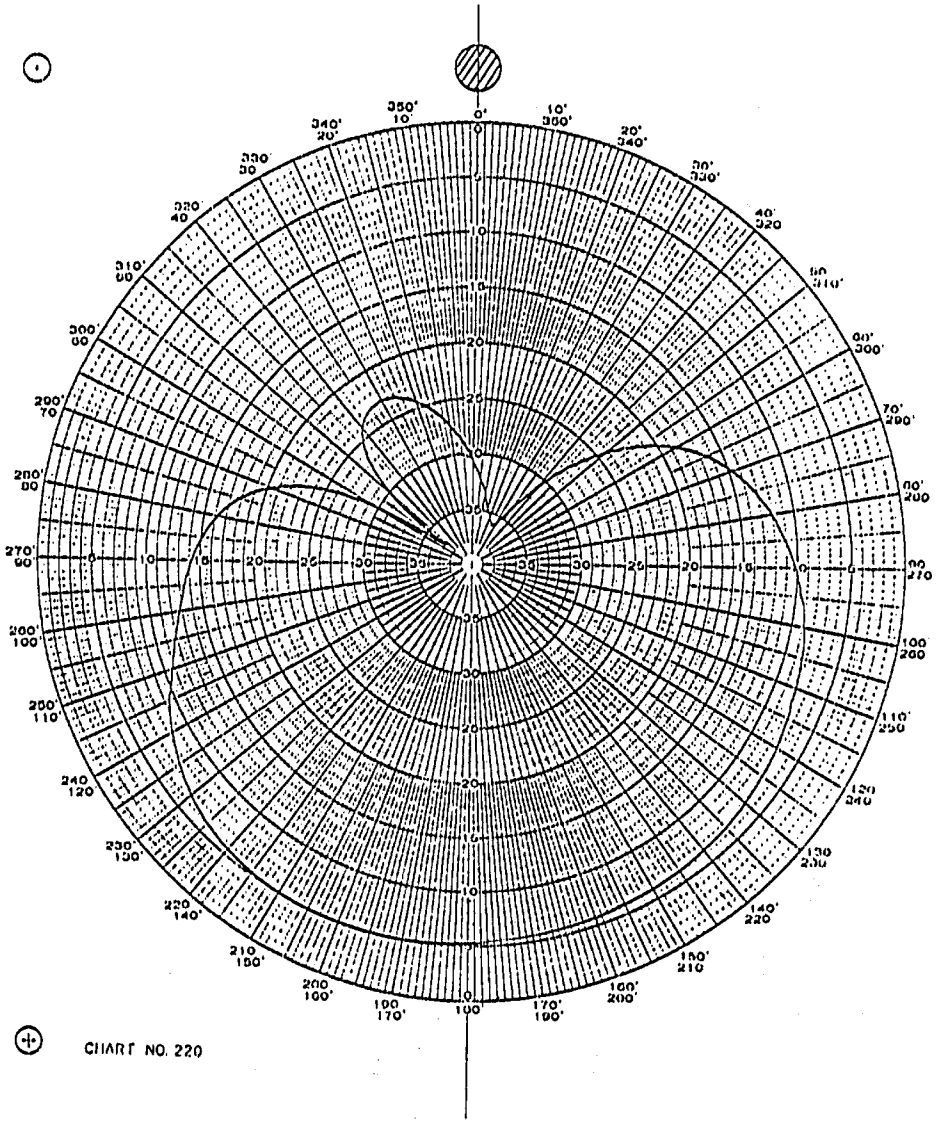
以上の結果から、ＬＣＸと平行する電線類はＬＣＸとできるだけ離して設置すように心がければよい。

図表(4.2.1) 3-1　垂直偏派ＬＣＸの単体指向性



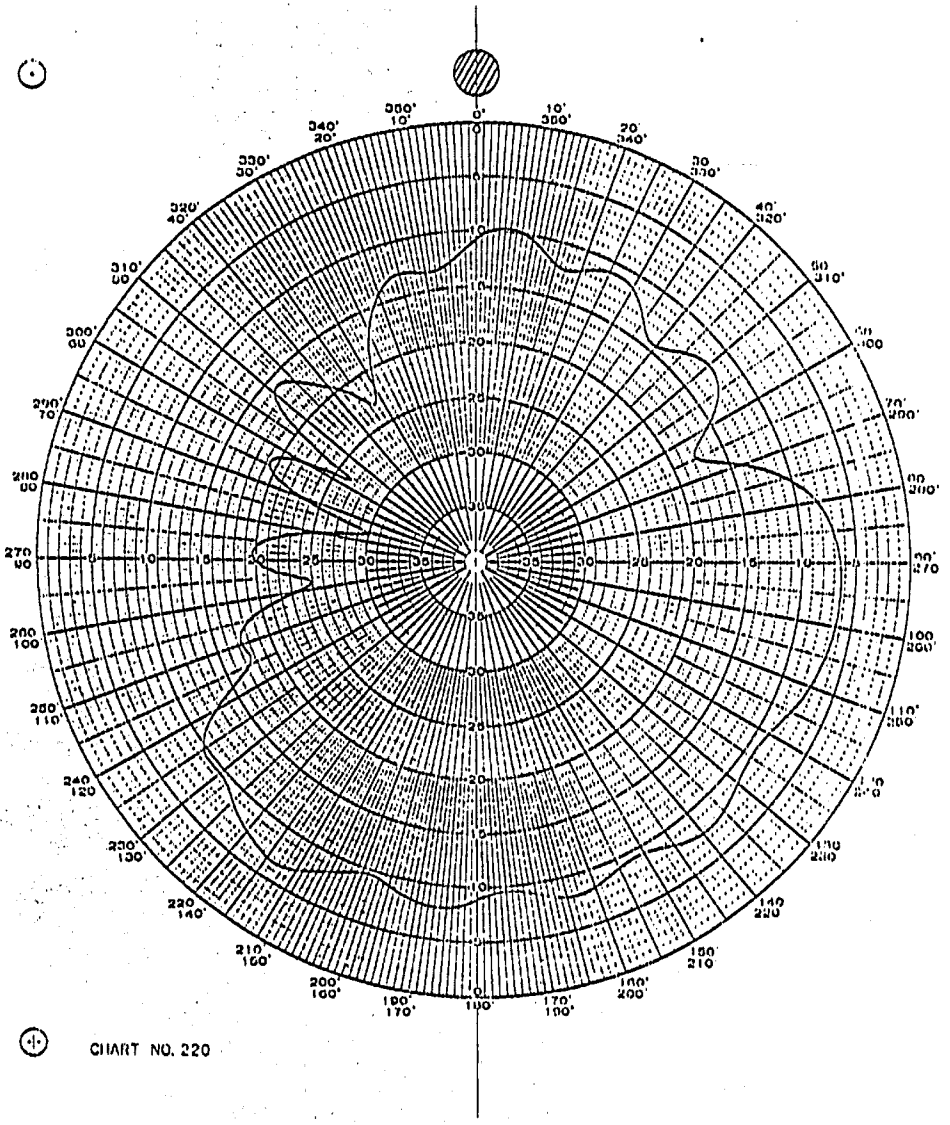
データ名：Ａ－１
実験周波数：２５９８ＭＨｚ
実験項目：単体指向性測定
偏波：垂直偏波
○：メッセンジャワイヤを示す。
備考：メッセンジャワイヤ方向０°

図表(4.2.1) 3-2　水平偏派ＬＣＸの単体指向性



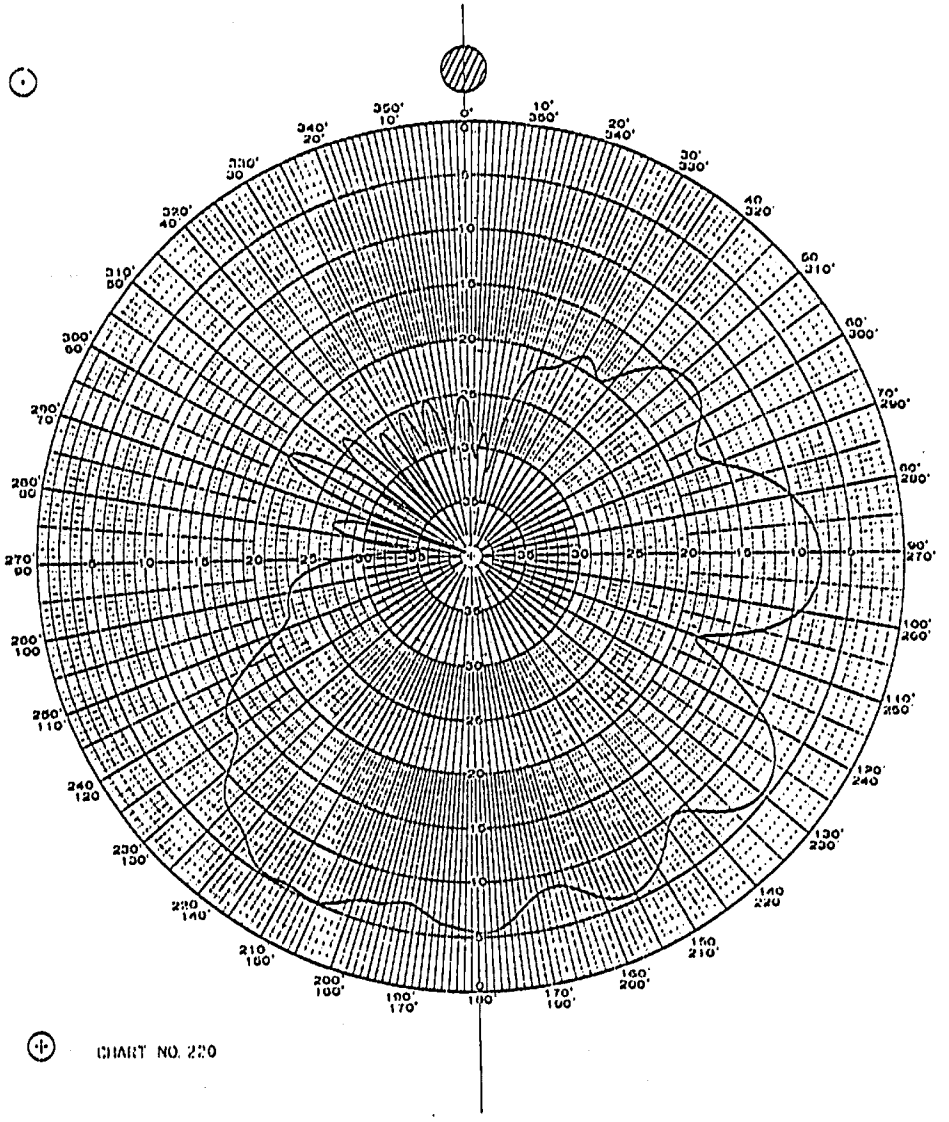
データ名：Ａ－６
実験周波数：２５９８ＭＨｚ
実験項目：単体指向性測定
偏波：水平偏波
○：メッセンジャワイヤを示す。
備考：メッセンジャワイヤ方向０°

図表(4.2.1) 3-3　側面に金属板を設置した垂直偏波ＬＣＸの特性



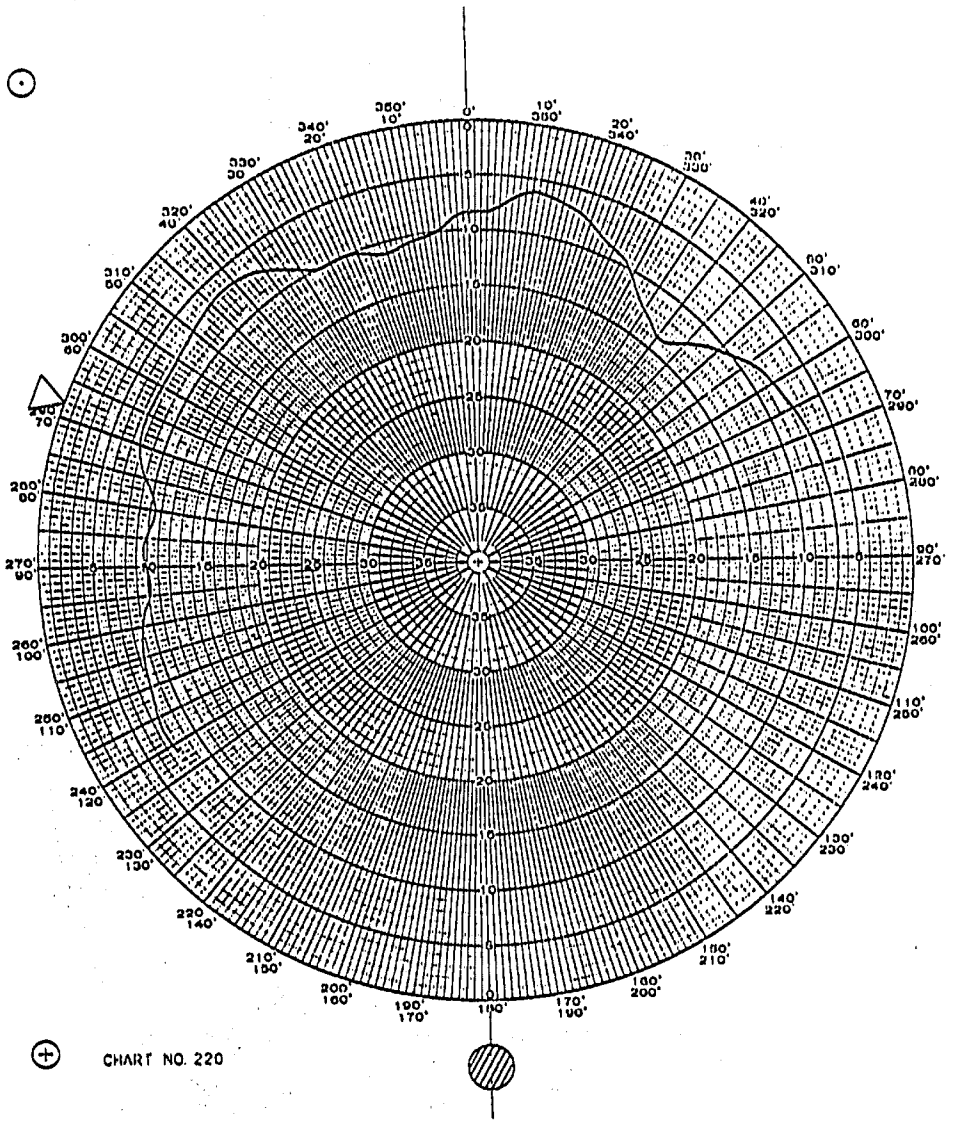
データ名：Ｂ－６
実験周波数：２５９８ＭＨｚ
実験項目：金属板の影響
偏波：垂直偏波
○：メッセンジャワイヤを示す。
備考：メッセンジャワイヤ方向０°
　　金属板方向２７０°
　　金属板との距離１＝２５０ｍｍ

図表(4.2.1) 3-4　側面に金属板を設置した水平偏波ＬＣＸの特性



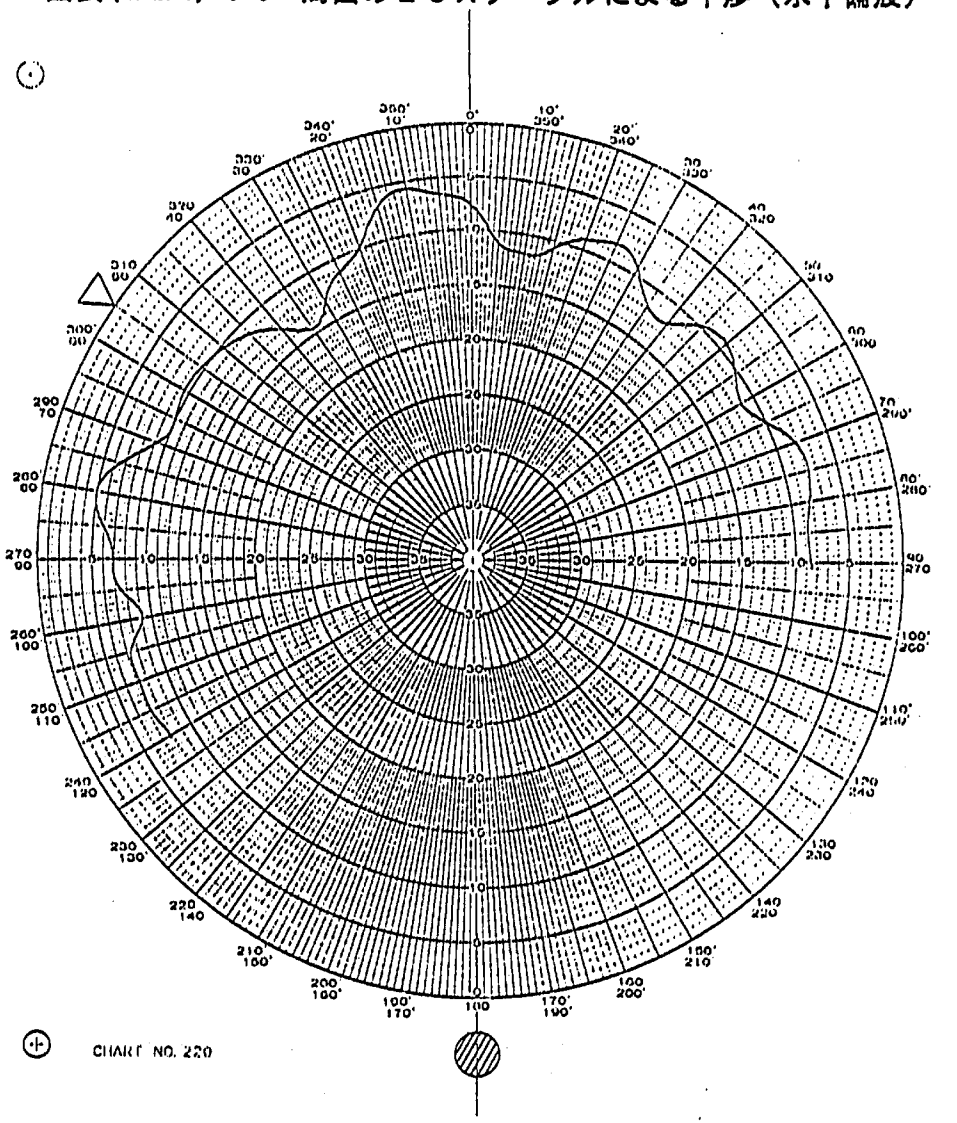
データ名：Ｂ－１４
実験周波数：２５９８ＭＨｚ
実験項目：金属板の影響
偏波：水平偏波
○：メッセンジャワイヤを示す。
備考：メッセンジャワイヤ方向０°
　　金属板方向２７０°
　　金属板との距離１＝２５０ｍｍ

図表(4.2.1) 3-5　周囲のＬＣＸケーブルによる干渉（垂直偏波）



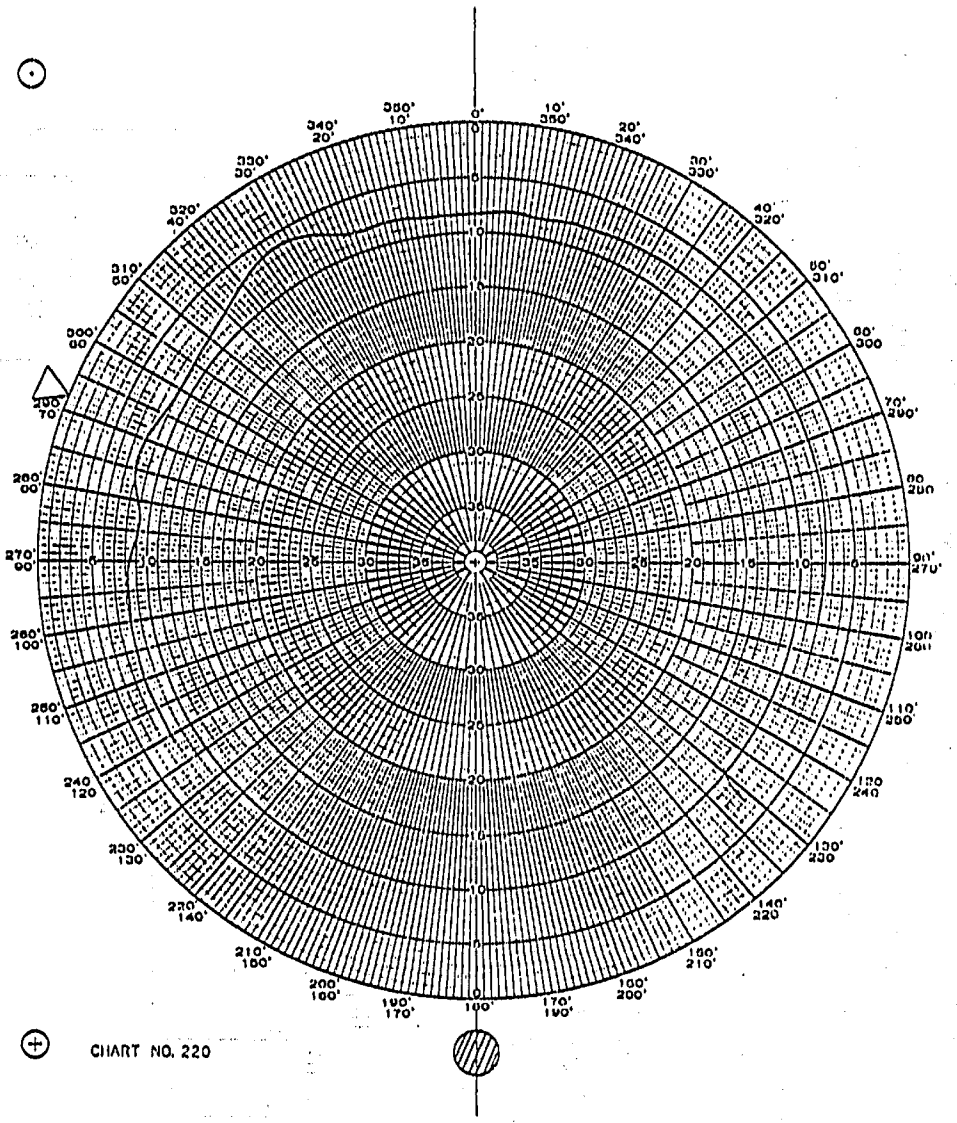
データ名：Ｃ－１
実験周波数：２５９８ＭＨｚ
実験項目：周囲金属物の影響
干渉用ケーブル：ＬＣＸ（４２Ｄ）
偏波：垂直偏波
○：メッセンジャワイヤを示す。
△：車載アンテナを示す。
備考：メッセンジャワイヤ方向１８０°
　　車載アンテナ方向２９２°
　　周囲金属物との距離１＝１００ｍｍ

図表(4.2.1) 3-6　周囲のＬＣＸケーブルによる干渉（水平偏波）



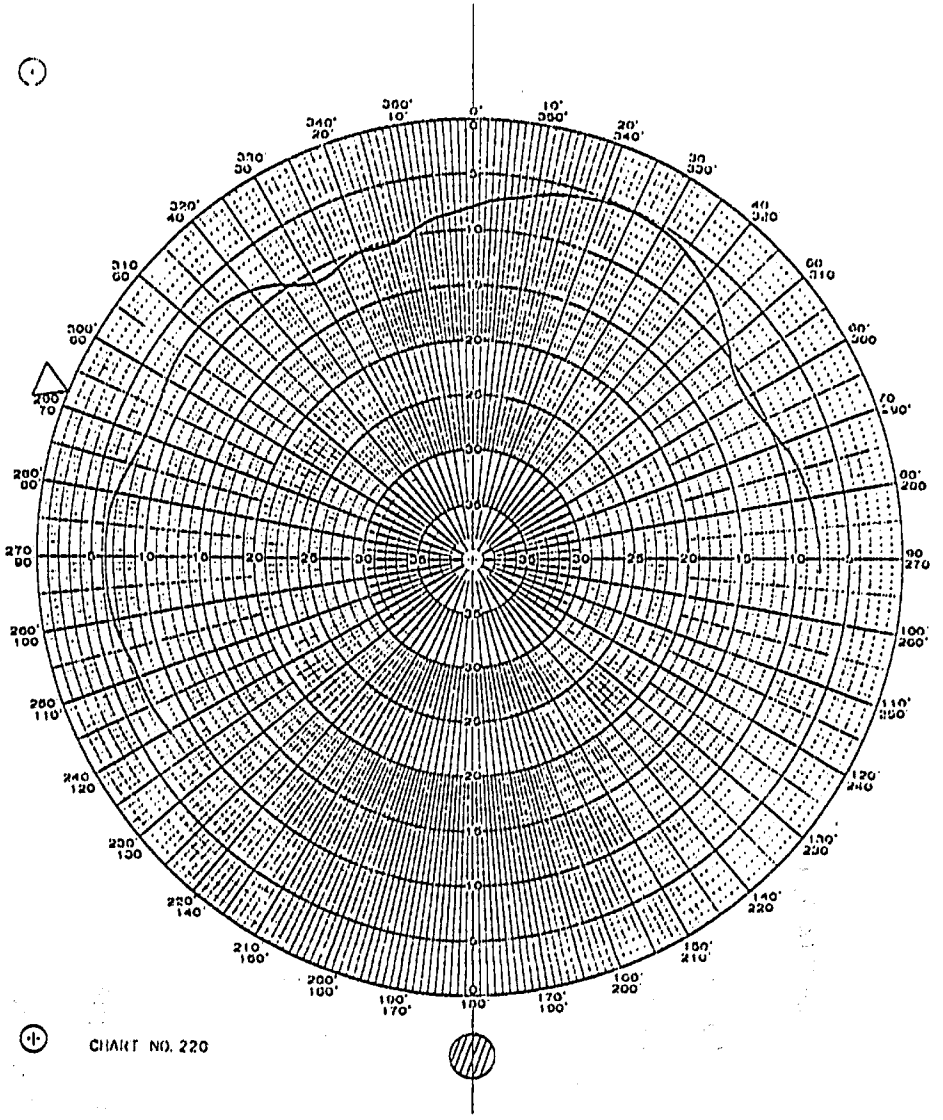
データ名：Ｃ－３４
実験周波数：２５９８ＭＨｚ
実験項目：周囲金属物の影響
干渉用ケーブル：ＬＣＸ（４２Ｄ）
偏波：水平偏波
○：メッセンジャワイヤを示す。
△：車載アンテナを示す。
備考：メッセンジャワイヤ方向１８０°
　　車載アンテナ方向３０５°
　　周囲金属物との距離１＝３００ｍｍ

図表(4. 2. 1) 3-7　周囲の電線による干渉（垂直偏波）



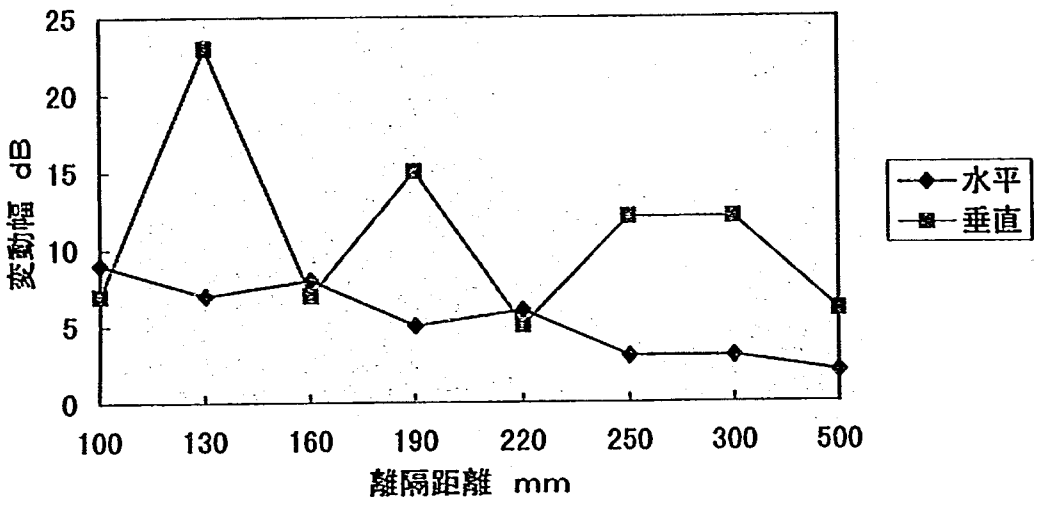
データ名：Ｄ－１
実験周波数：２５９８ＭＨｚ
実験項目：周囲金属物の影響
干渉用ケーブル：電源ケーブル（５．５ｓｑ×３Ｃ）
偏波：垂直偏波
○：メッセンジャワイヤを示す。
△：車載アンテナを示す。
備考：メッセンジャワイヤ方向１８０°
　　車載アンテナ方向２９２°
　　周囲金属物との距離１＝１００ｍｍ

図表(4. 2. 1) 3-8　周囲の電線による干渉（水平偏波）



データ名：Ｄ－１０
実験周波数：２５９８ＭＨｚ
実験項目：周囲金属物の影響
干渉用ケーブル：電源ケーブル（５．５ｓｑ×３Ｃ）
偏波：水平偏波
○：メッセンジャワイヤを示す。
△：車載アンテナを示す。
備考：メッセンジャワイヤ方向１８０°
　　車載アンテナ方向２９２°
　　周囲金属物との距離１＝１００ｍｍ

図表(4.2.1) 3-10　偏波面による金属板の影響の違い



（2）トラフ内布設

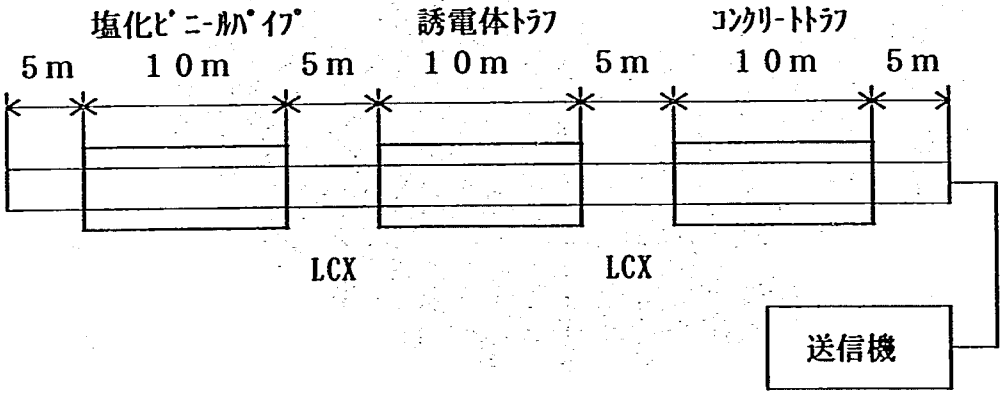
①実験の目的

ＬＣＸを地表付近に設置することは美観に対する要求から継続的に検討すべきテーマである。その場合にＬＣＸを適当な手段で保護する必要がある。また、見た目にもより美しい保護材料が要求される。ケーブルの保護材料として一般的に利用されるコンクリートトラフ、誘電体トラフ、可とう型の塩化ビニールパイプによるＬＣＸの輻射特性への影響を把握するために実験を行った。

②実験の方法

地上０ｍに50m長のＬＣＸを張り、図表(4.2.1) 3-11に示すようにコンクリートトラフ、誘電体トラフ、塩化ビニールパイプ各10mで保護したときの電界強度分布を、受信アンテナの種類、取り付け高さを変化させながら測定した。

図表(4.2.1) 3-11　トラフの影響の実験図



なお、受信アンテナの種類、取り付け高さは次の通り。

・アンテナの種類

半値角60°　30°　21°の３種類

・アンテナ高さ

0.5m　0.7m　1.0m　1.5m　2.0m

また、実験に使用したケーブル保護材の諸元は以下の通り。

・コンクリートトラフ

寸法：幅150㎜×高さ：100㎜

肉厚　20㎜

・誘電体トラフ

材質：ＦＲＰ

寸法：幅130㎜×高さ160㎜

・可とう型塩化ビニールパイプ

材質：塩化ビニール　厚さ：３㎜

寸法：直径150㎜（断面）

③実験結果

a)保護材特性

図表(4.2.1) 3-12に測定データの代表例を、また、図表(4.2.1) 3-13にはその解析データを示す。これらから、以下のことがいえる。

・ＬＣＸを地上０mに設置した場合、保護材を使用しない状態で電界強度のレベル変動が最大30dB程度と非常に大きな変動が生じる。

・コンクリートトラフを使用した場合には、保護材を使用しない場合に比べ３～４dBの減衰が生じ、電界強度の変動は15～25dB程度である。

・誘電体トラフを保護材として使用した場合、減衰量が０～１dBと保護材を使用しない場合との変化が少ない。

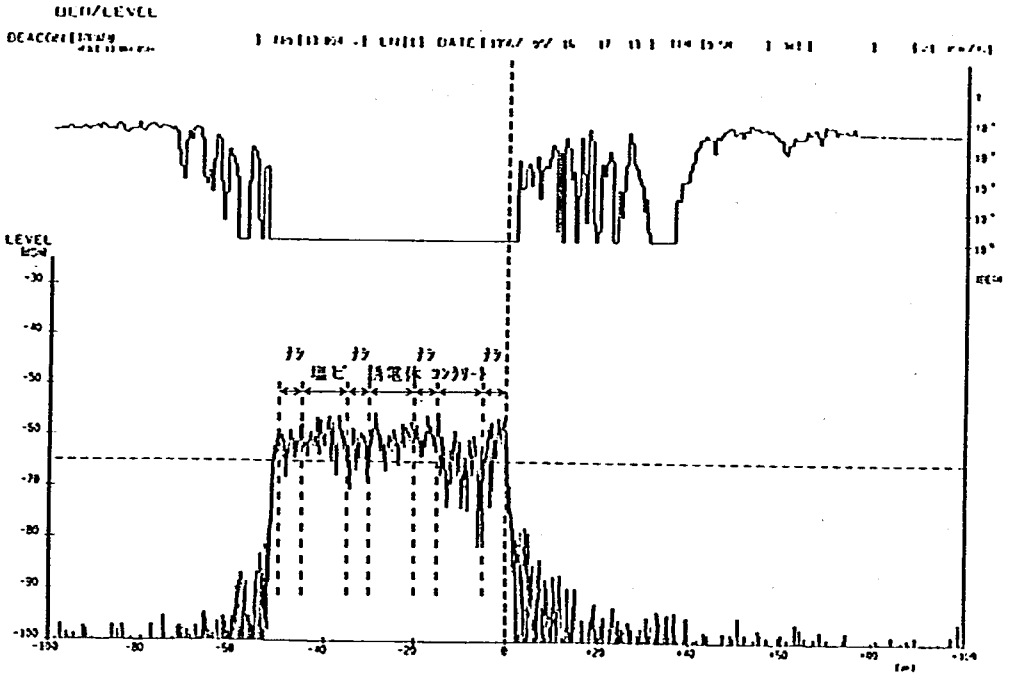
また、電界強度の変動も、第１車線走行時に12dB程度、第３車線走行時でも20dB程度と、保護材を使用しない場合と比べ、電界強度の変動が少ない。

・塩化ビニールパイプでも誘電体トラフと同様、減衰量が０～１dB程度と減衰が20dB少ない。また、電界強度の変動は第１車線走行時には12dB程度である。しかし、第３車線走行時には電界強度の変動が35dB程度と、走行車線がＬＣＸから離れるにしたがって劣化する。

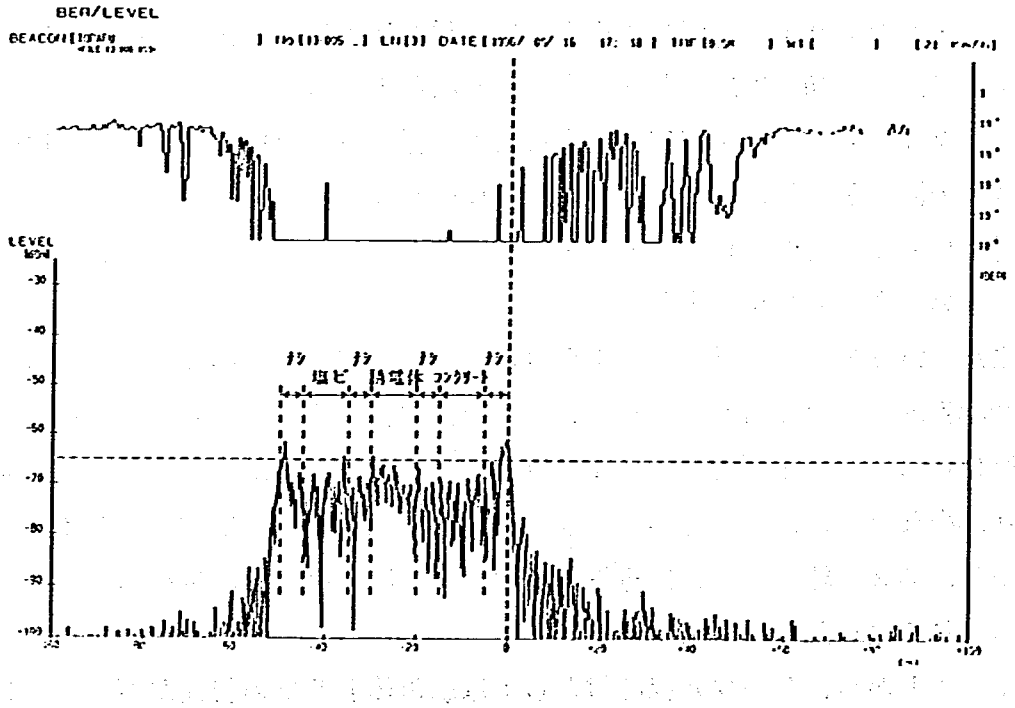
以上のことから、ケーブル保護材としては誘電体トラフの特性が優れている結果となった。

図表(4.2.1) 3-12　保護材特性

（第１車線）

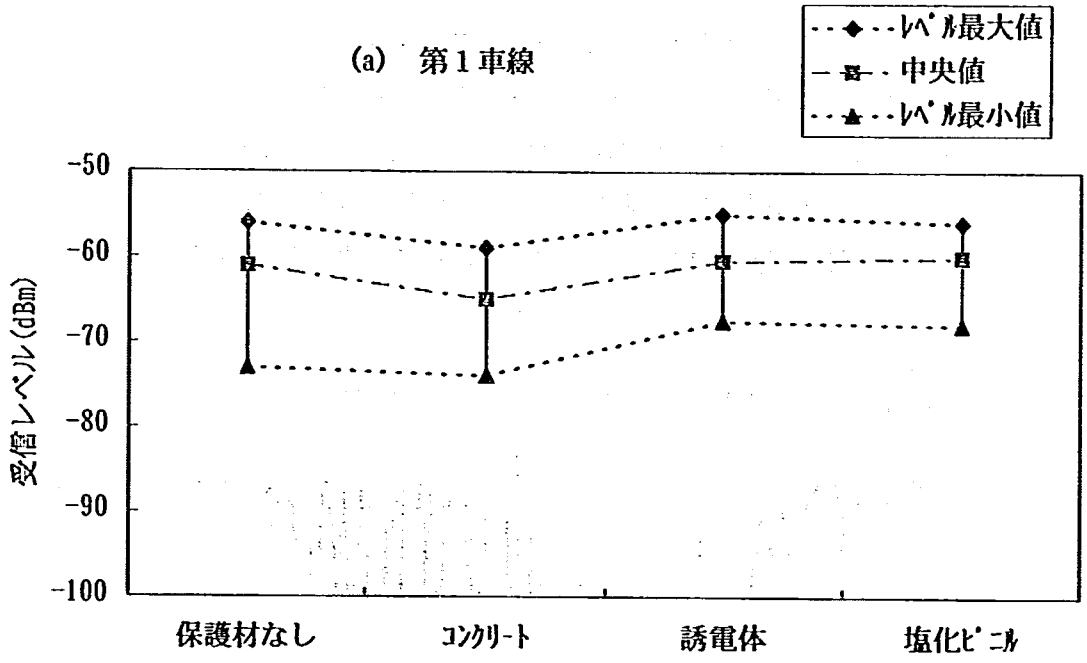


（第３車線）

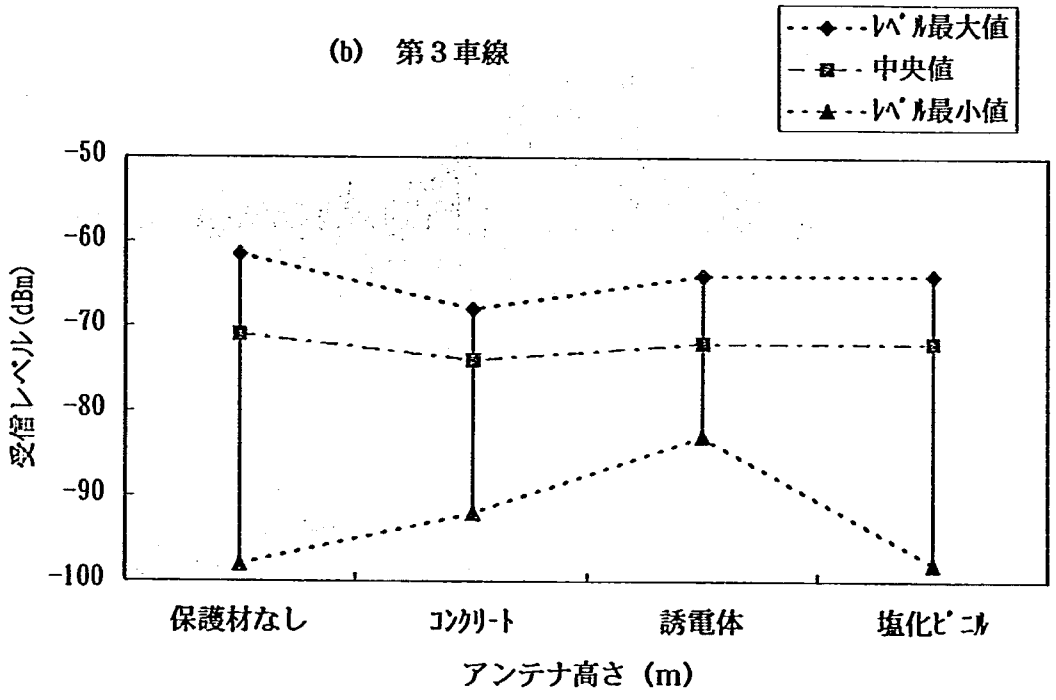


図表(4.2.1) 3-13　保護材特性解析結果

(a)　第1車線



(b)　第3車線



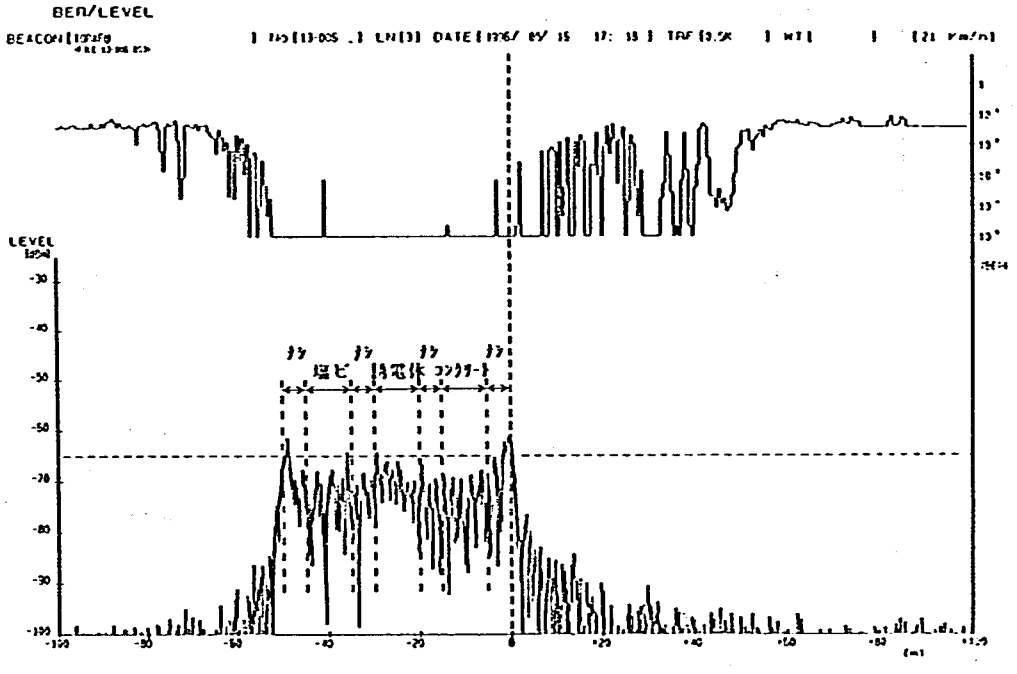
b)受信アンテナ高さによる受信特性変化

受信アンテナ高さによる受信特性変化としてここでは第３車線走行時データをに図表(4.2.1) 3-14～図表(4.2.1) 3-16に、解析結果を図表(4.2.1) 3-17に示す。

・地上０m設置では、地上５mに設置した場合に比べ電界強度の変動が大きくなる。このとき、車両側のアンテナを高くするに従い安定受信できるようになる。受信アンテナ高さによる受信レベルの変動は、高さ0.5mでは35dB程度に対して高さを1.5～２mとすることによって約25dBに改善される。

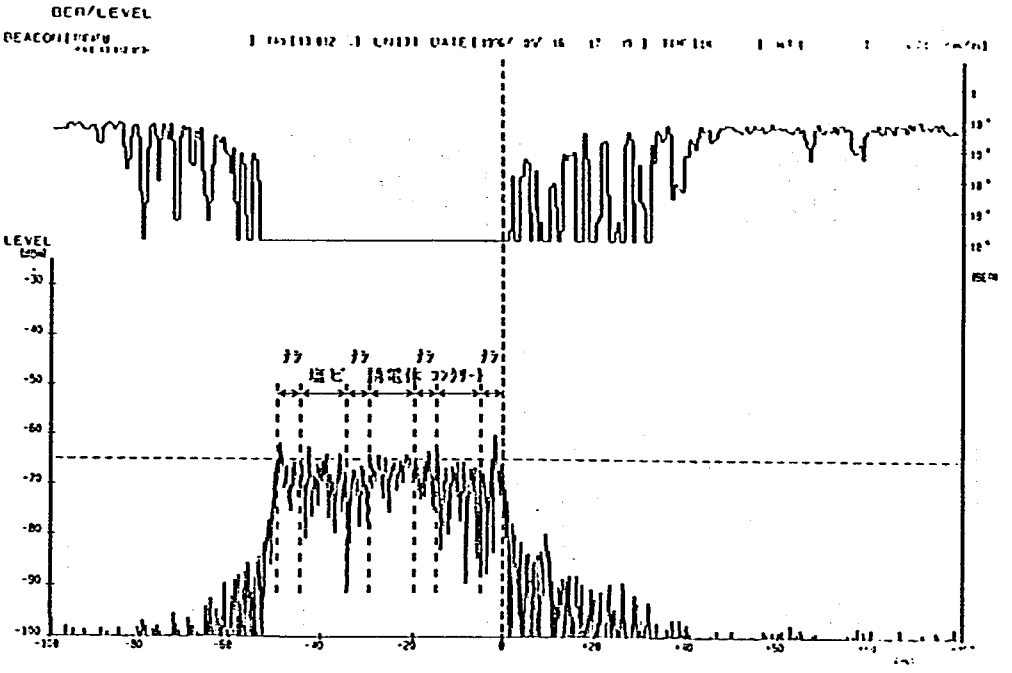
図表(4.2.1) 3-14　受信アンテナ高さによる受信特性

(高さ0.5m)

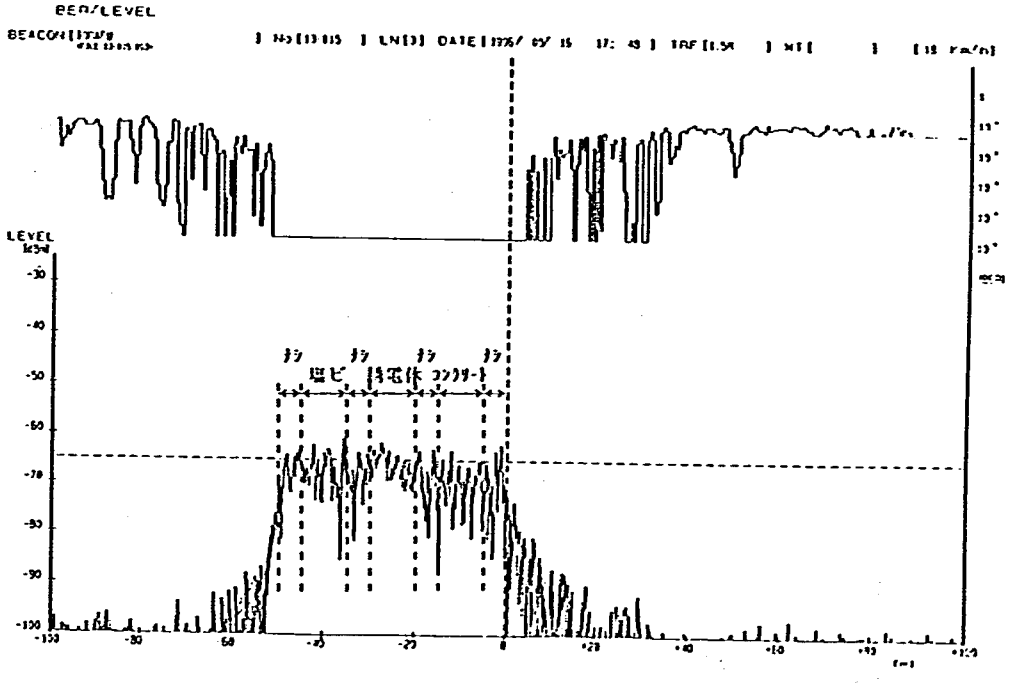


図表(4.2.1) 3-15　受信アンテナ高さによる受信特性（続き）

（高さ１ｍ）

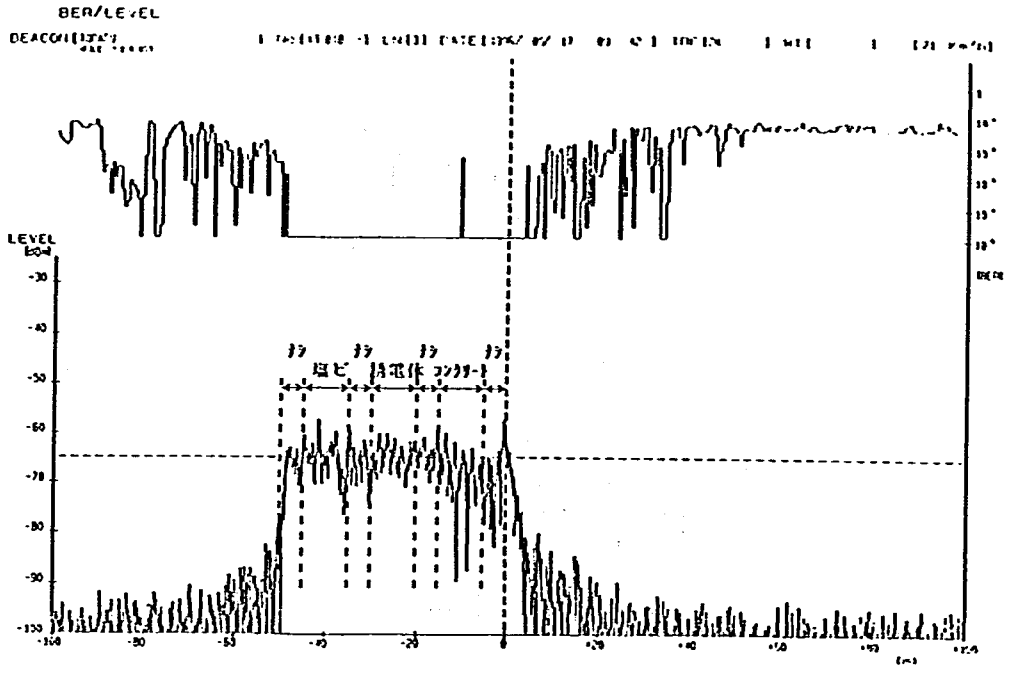


（高さ1.5m）

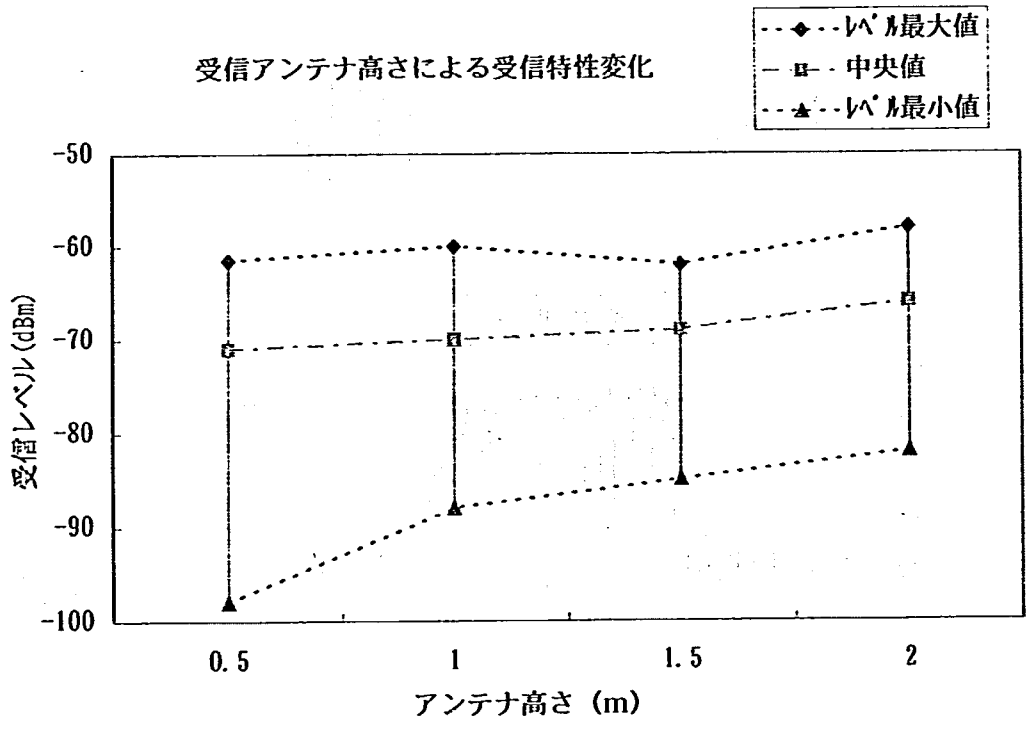


図表(4.2.1) 3-16 受信アンテナ高さによる受信特性（続き）

（高さ２ｍ）



図表(4.2.1) 3-17　受信アンテナ高さによる受信特性変化解析結果

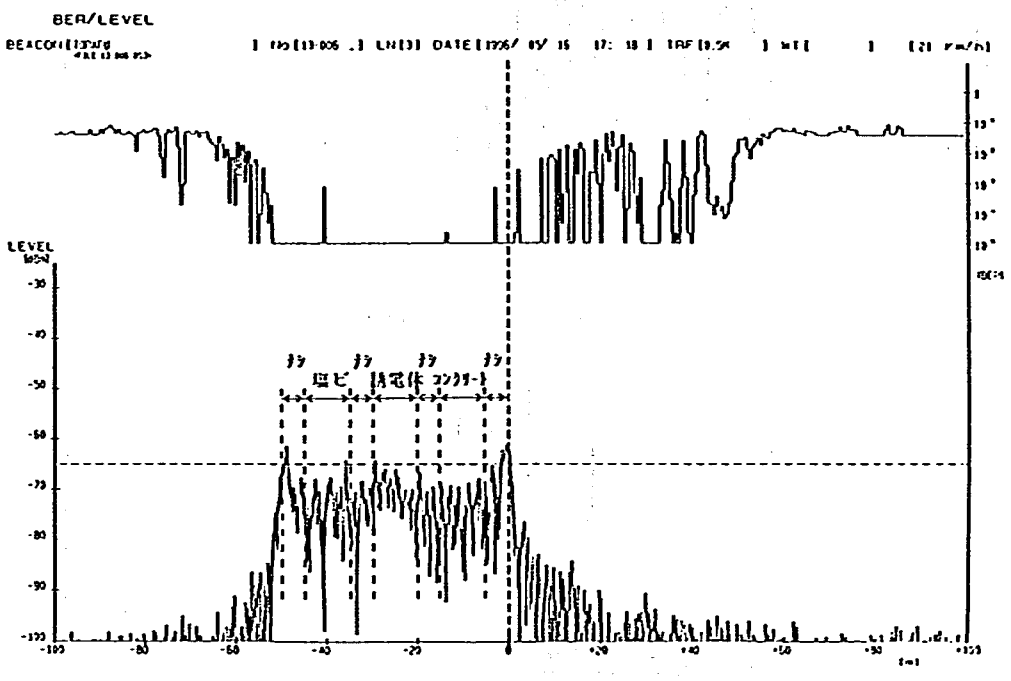


c)受信アンテナ指向性による受信特性変化

受信アンテナ指向性による受信特性変化として代表的に第３車線走行時データを図表(4.2.1) 3-18～図表(4.2.1) 3-19に、解析結果を図表(4.2.1) 3-20に示す。

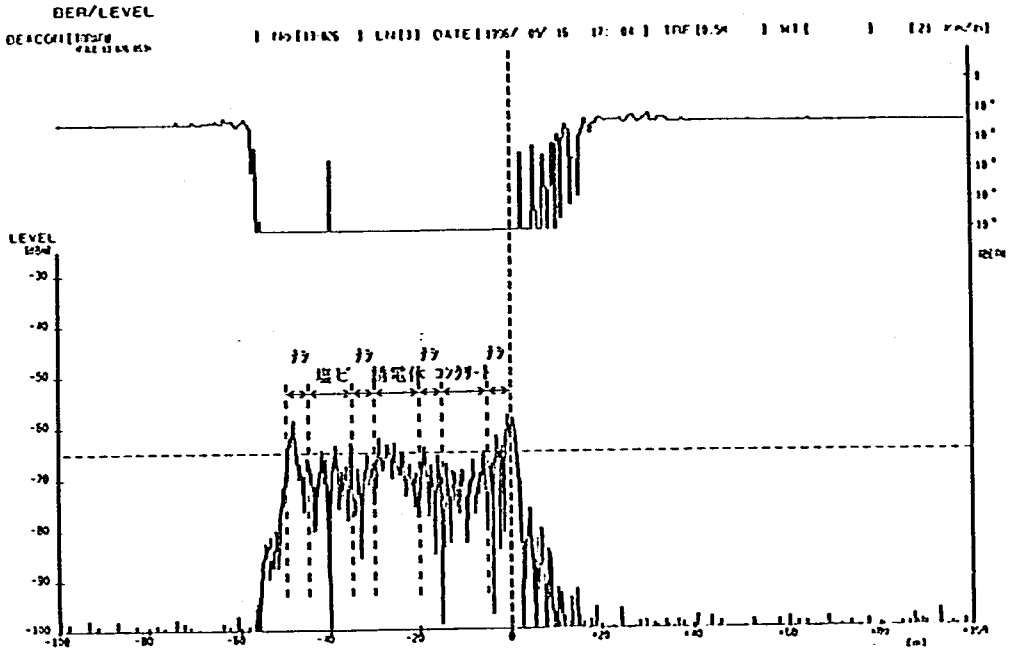
・電界強度の変動はアンテナ１（半値角60°）で約35dB、アンテナ２（半値角30°）で約40dB、アンテナ３（半値角21°）で約30dBである。０m設置では指向性の鋭いアンテナを使用しても大きなレベル低下が生じることがあり、必ずしも安定な通信ができるわけではない。

図表(4.2.1) 3-18　受信アンテナ指向性による受信特性
（アンテナ１）

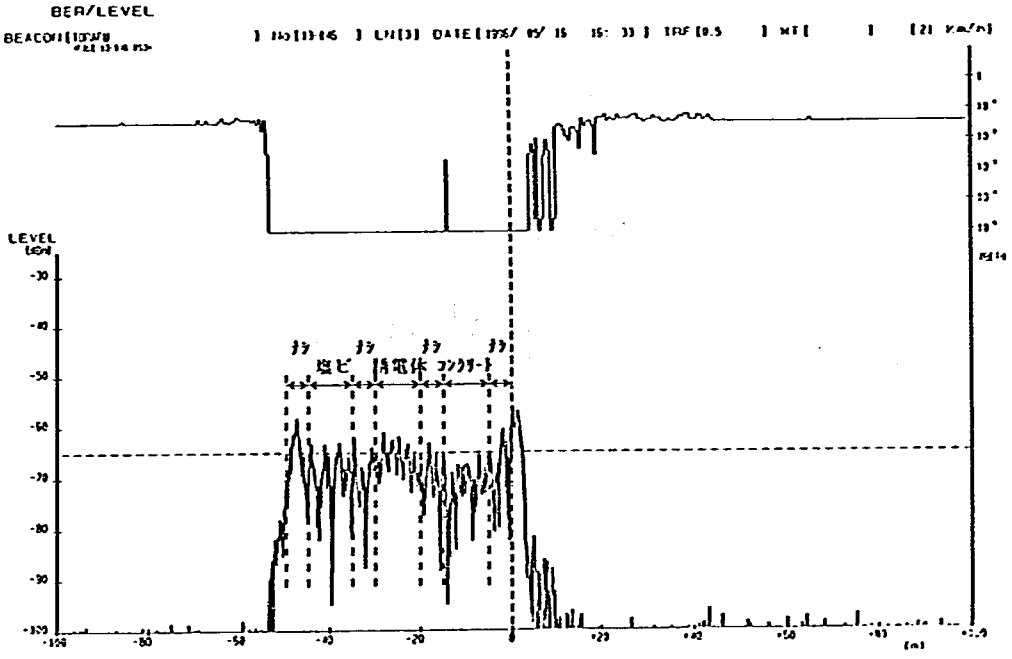


図表(4.2.1) 3-19　受信アンテナ指向性による受信特性

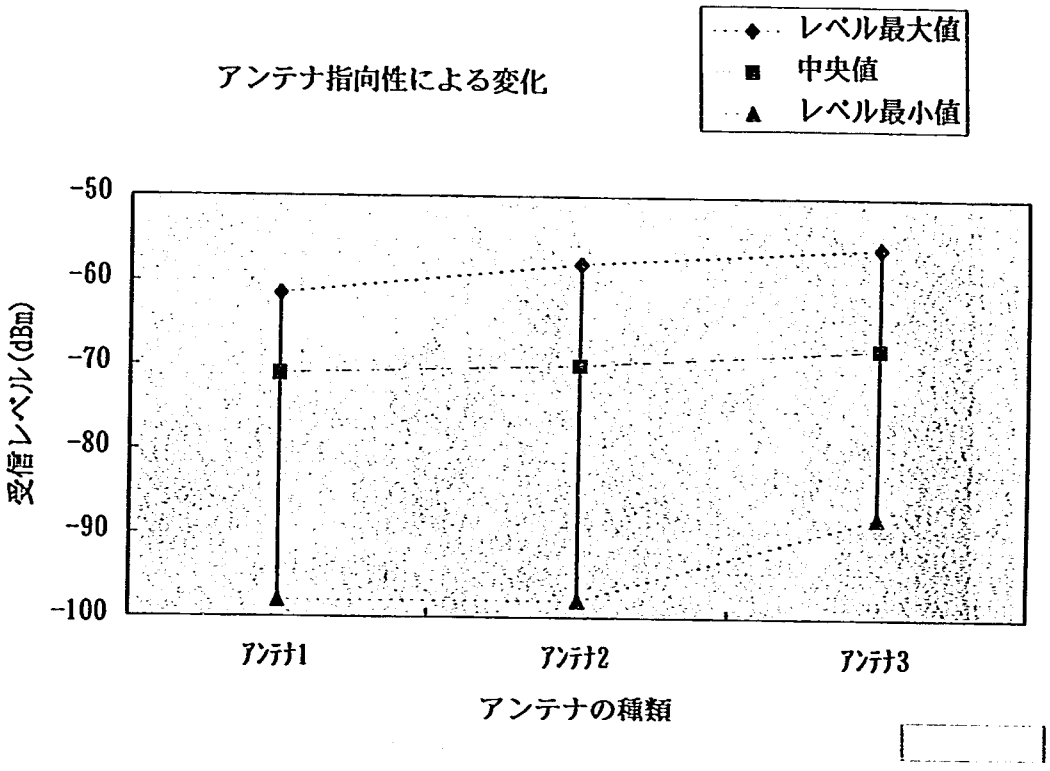
(アンテナ2)



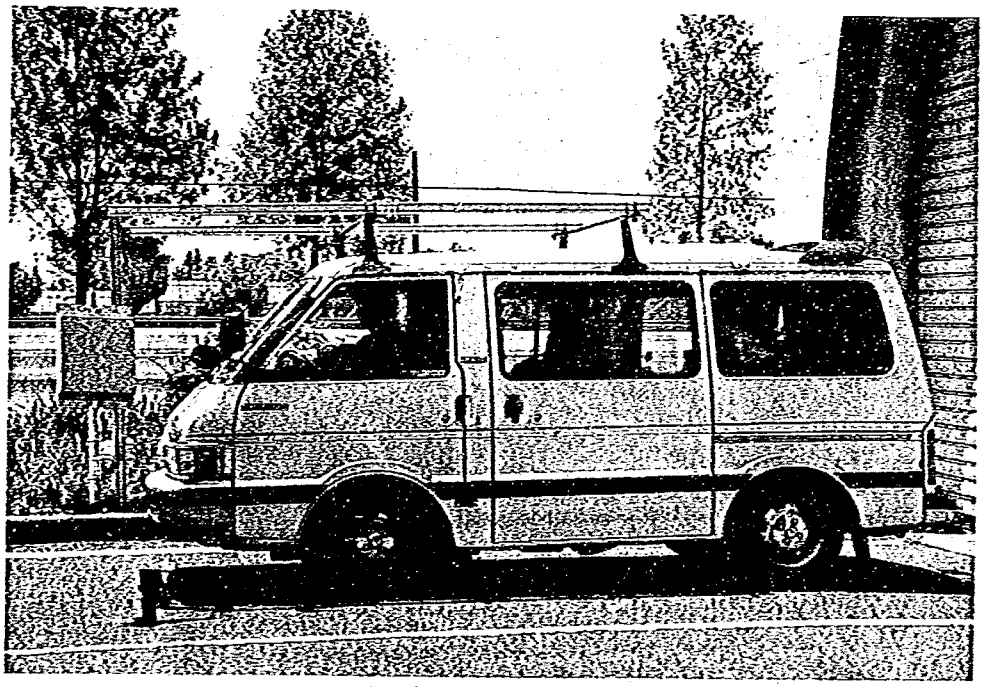
(アンテナ3)



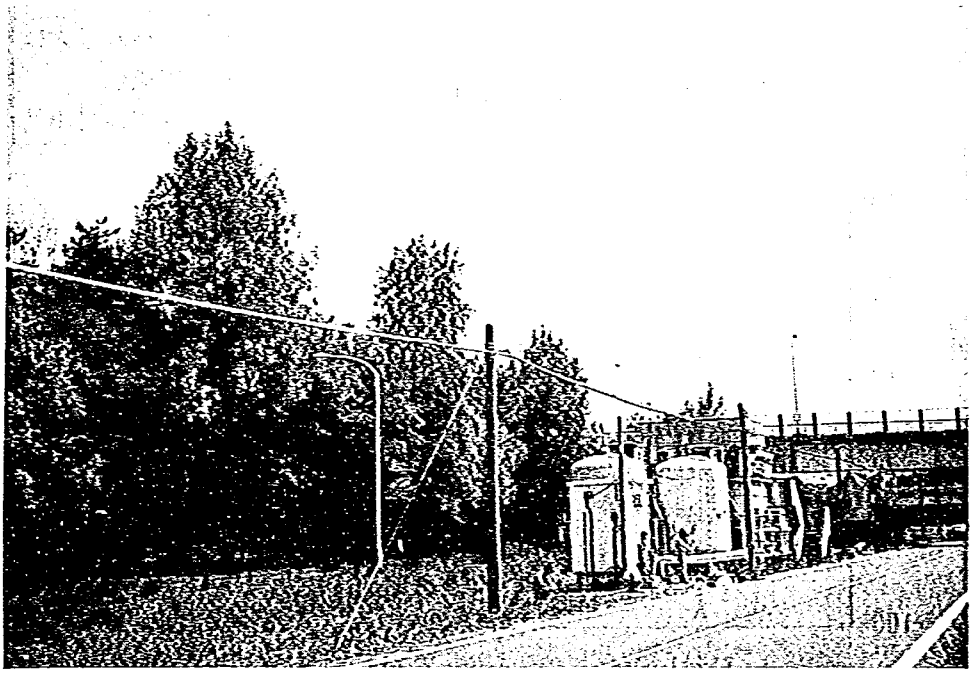
図表(4. 2. 1) 3-20　受信アンテナ指向性による受信特性変化解析結果



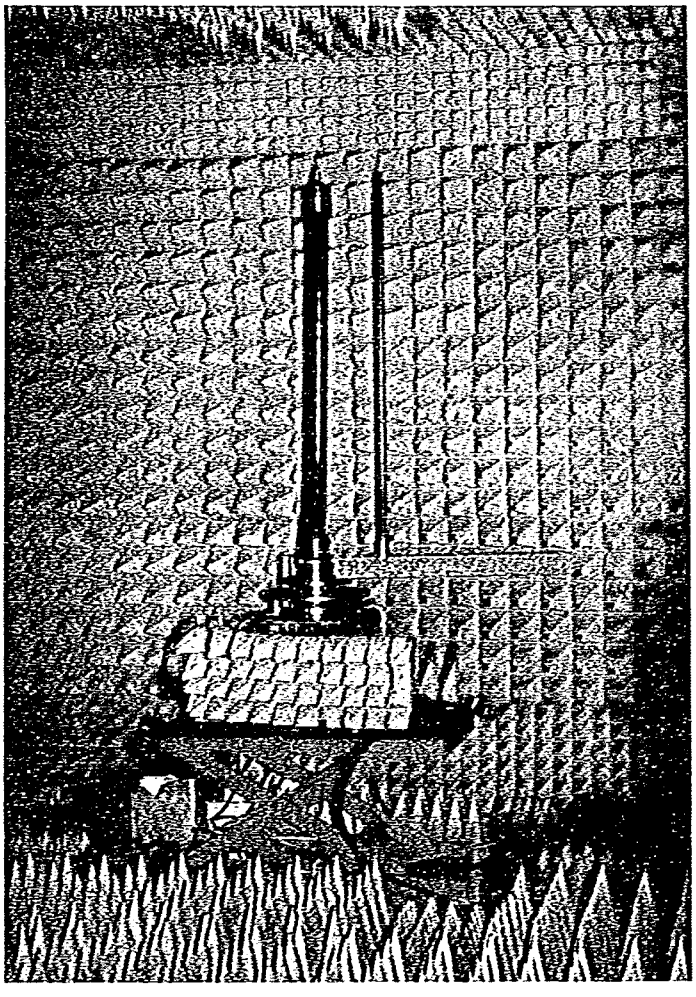
図表(4. 2. 1) 3-21　実験車両と半値幅21°のアンテナの取り付け



図表(4.2.1) 3-22　塩分・汚れの影響把握実験時の綿テープを巻いたＬＣＸ



図表(4.2.1) 3-23　電波暗室における近傍の障害物の影響実験



４．２．２　ＬＣＸの指向性検討（指向性付加，広帯域化）

１）指向性ＬＣＸの検討

車間側方コントロールシステムにおいて道路際に布設される漏洩同軸ケーブル(ＬＣＸ)の円周方向指向性を付加させることにより、側壁等からの反射波の影響を少なくすることと、エリア外への電波輻射を極力押えることを目的としている。

（１）2.6GHz帯供試ＬＣＸの特性

2.6GHz帯用ＬＣＸの円周方向指向性等について調査した結果を以下に示す。
なお、水平偏波形ＬＣＸについての調査結果も合わせて示す。

①構　　造

構造を図表(4.2.2) 1-1に示す。構造寸法は、いずれもほとんど同じであるが、外部導体に設けられている漏洩スロットはメーカーにより異なる。

②円周方向指向性の測定

a)実験方法

以下の各測定実験は、2598MHzで行った。尚、円周方向指向性のほか結合損失と伝送損失及び輻射角度についても測定した。

ｱ)円周方向指向性の測定方法

以下のいずれかの方法により測定した。

・長さ数mの直線状ＬＣＸを回転台上に水平または垂直に置いて、ＬＣＸの軸を中心に回転させて測定した。
・コンクリート床面上に適当な長さのＬＣＸを直線上に置き、ＬＣＸの軸を中心に回転させて測定した。

ｲ)結合損失の測定方法

コンクリート床面上に長さ約30～50mのＬＣＸを直線状に引き延ばし、対向するアンテナをＬＣＸの中心から高さ1.5mの直上に設定して、ＬＣＸの長さ方向に移動しつつ測定した。

ｳ)伝送損失の測定方法

コンクリート床面上に長さ約30～50mのＬＣＸを直線状に引き延ばして伝送損失

を測定し、単位長当たりに換算した。

I)輻射角度の測定方法

以下のいずれかの方法により測定した。

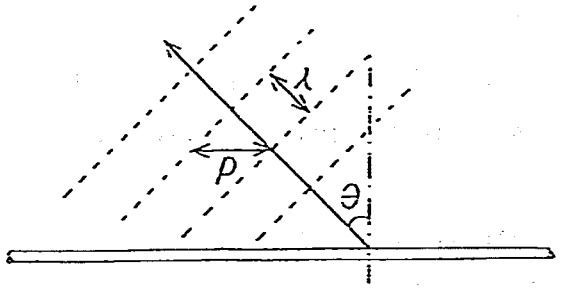
・円周方向指向性の測定に準じて軸方向の指向性を測定して輻射角度を求める。

・ＬＣＸのスロットピッチＰと波長短縮率Ｋを測定し、伝送周波数の波長λとの以下の関係式を用いて計算により求める。

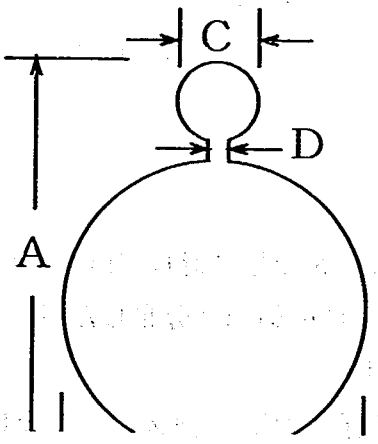
$$\theta = \cos^{-1}(1/K - \lambda/p)$$

・下図における等位相面の反転ピッチｐを測定し、輻射角θ、伝送周波数の波長λとの以下の関係式を用いて計算により求める。

$$\theta = \sin^{-1}(\lambda/p)$$



図表(4.2.2) 1-1　供試ＬＣＸの構造

項目		構造	項目	寸法
ケーブル本体	内部導体	銅パイプ	外径（㎜）	１７．３
	絶縁体	ポリエチレン紐らせん巻き ＋ポリエチレンパイプ	外径（㎜）	４３．０
	外部導体	波付ラミネートテープ （漏洩スロット付）縦添え	標準厚（㎜）	１．０
	防食層	黒色ポリエチレン	厚さ（㎜）	２．５～２．６
支持線	支持線	亜鉛メッキ鋼撚線	構成（本/㎜）	７／２．６
	防食層	ケーブル本体と支持線を平行に黒色ポリエチレンで共通被覆する	厚さ（㎜）	２．５
			首部寸法（㎜） 高さ×幅	(3～4)×(3～3.5)
仕上外径			A （㎜）	６６～６８
			B （㎜）	５０～５１
			C （㎜）	１３
			D （㎜）	３～３．５
概算質量		－	（ｋｇ／ｍ）	１．７～１．８

b)実験結果及び考察

各項目について測定実験した結果を図表(4.2.2) 1-2に示す。

図表(4.2.2) 1-2　供試ＬＣＸの基本特性測定結果

ＬＣＸの種類	円周方向指向性		結合損失		伝送損失	軸方向輻射角度	
	F/B比 (dB)	データ	測定値(dB)	データ	(dB/km)	測定値(度)	データ
垂直偏波形	4～10	図1*	50～63	図 3	86～120	-11～-25	図 5
水平偏波形	約14	図2*	66	図 4	137	+2	図 6

＊4．2．1　3）（1）の単体指向性のデータ(A－1，A－6)に同じ。

ア)円周方向指向性について

円周方向指向性では、供試ＬＣＸ毎でばらつきがあるが、いずれも漏洩スロット方向の電界強度が反対方向に比べて約４～10dB強い結果が得られている。

水平偏波のＬＣＸでは、その比率がさらに大きい(約14dB)。

ＬＣＸの支持線は、通常、漏洩スロットの反対側に設けられている。一部のサンプル について、この支持線の影響を調査したところ、図７，８に示すとおり、ほとんど影響が認められない結果を得た。

イ)輻射角度について

水平偏波のＬＣＸは、ほぼ０度(ＬＣＸの軸に対して直角の面)の結果を得たが、その他のケーブルでは－11度から－25度の範囲に分布した(「－」の符合は、ＬＣＸ内の信号伝搬方向と反対の方向を示す)。

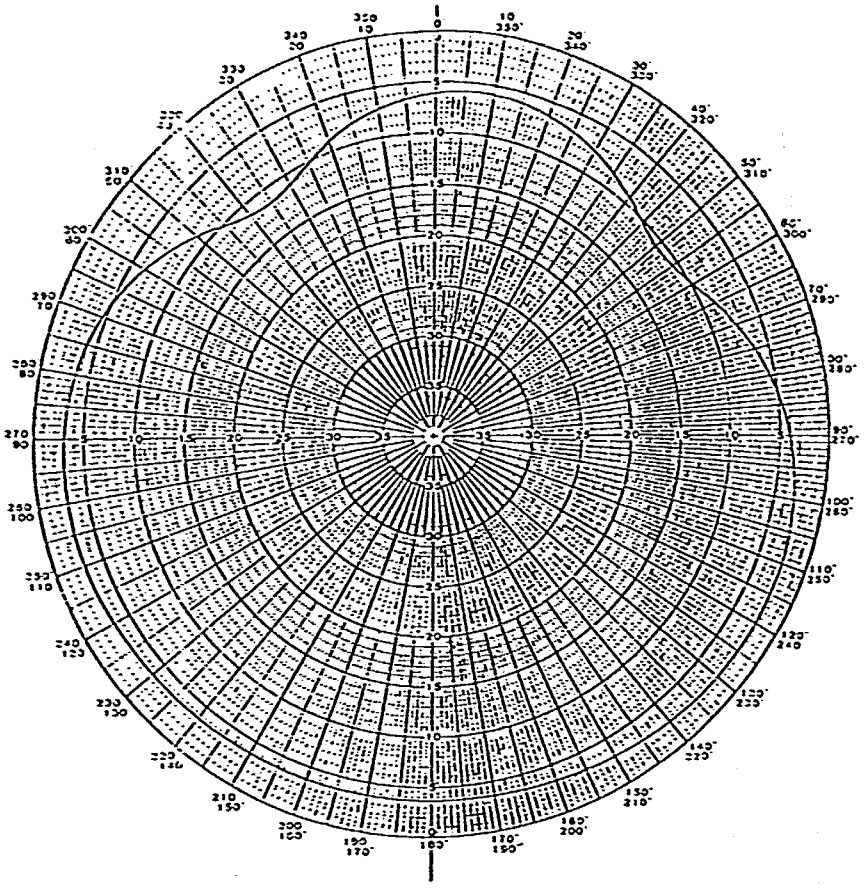
この軸方向輻射角度は、偏波には依存せず、漏洩スロットのピッチＰを変更することにより輻射角度を所望の値にすることは可能である。

ウ)結合損失と伝送損失について

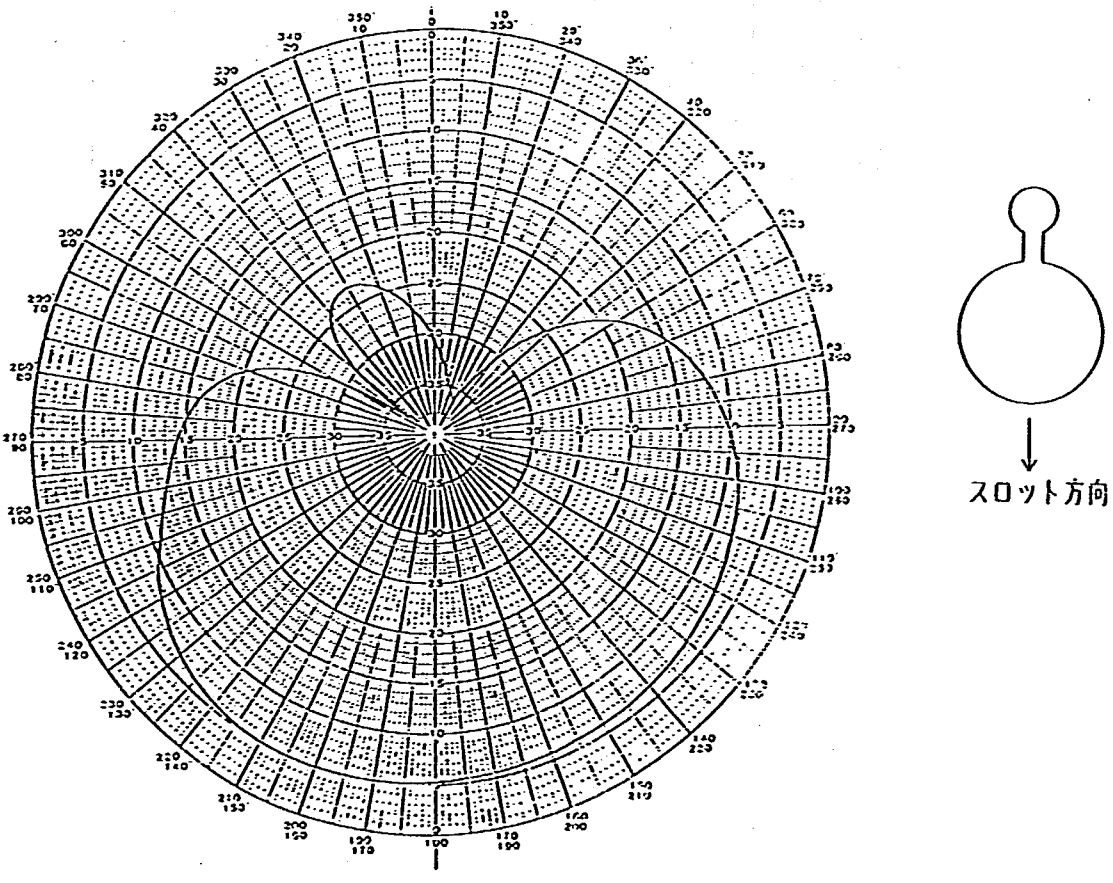
結合損失は55～66dB、伝送損失は86～137dB/Kmに分布している。一般に、結合損失が小さいと伝送損失は大きくなるので、概ねその傾向は出ているが、ややばらつきが大きい。車間側方コントロールシステムでは、伝送損失を120dB/km程度以下とする必要があるため、今回の実験結果からして結合損失の目標値は60dBとするのが妥当と考える。

水平偏波ＬＣＸは結合損失が大きいにもかかわらず伝送損失がやや大きいのは、別途測定したデータから推察すると、高次モードも輻射していることが原因と思われる。

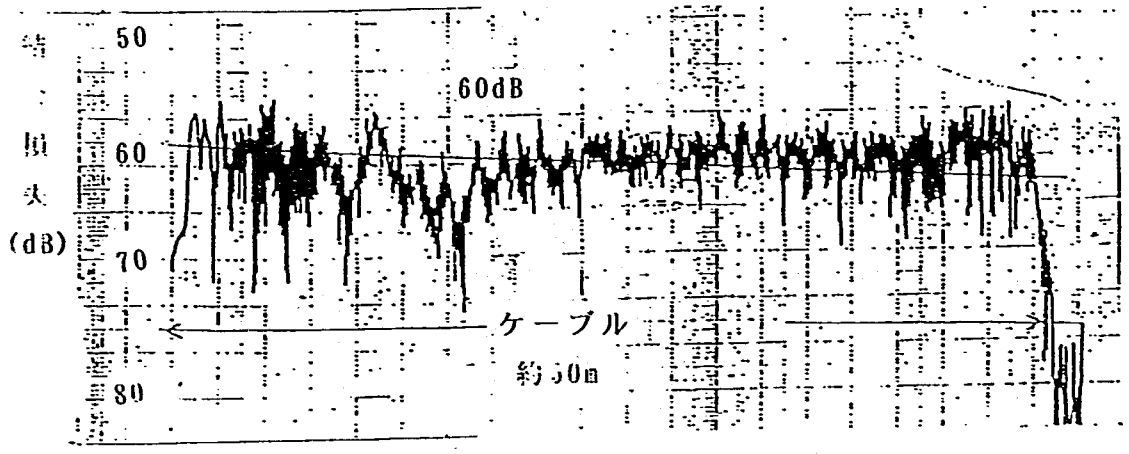
図表(4.2.2) 1-3　円周方向指向性測定結果例（垂直偏波形）



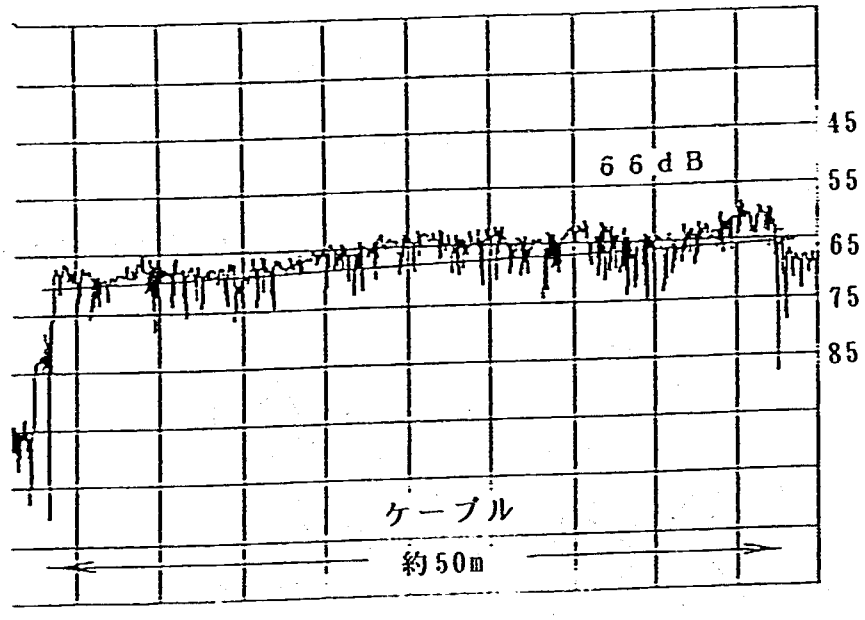
図表(4.2.2) 1-4　円周方向指向性測定結果例（水平偏波形）



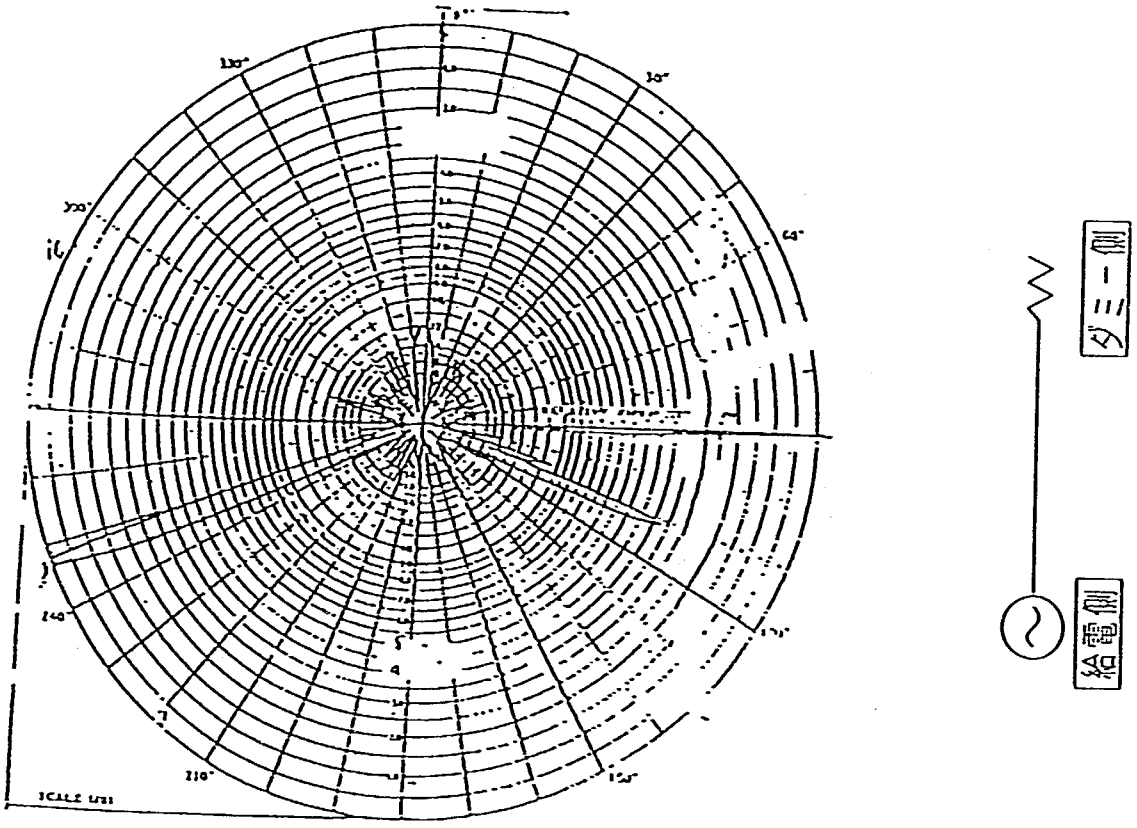
図表(4.2.2) 1-5　結合損失測定結果例（垂直偏波形）



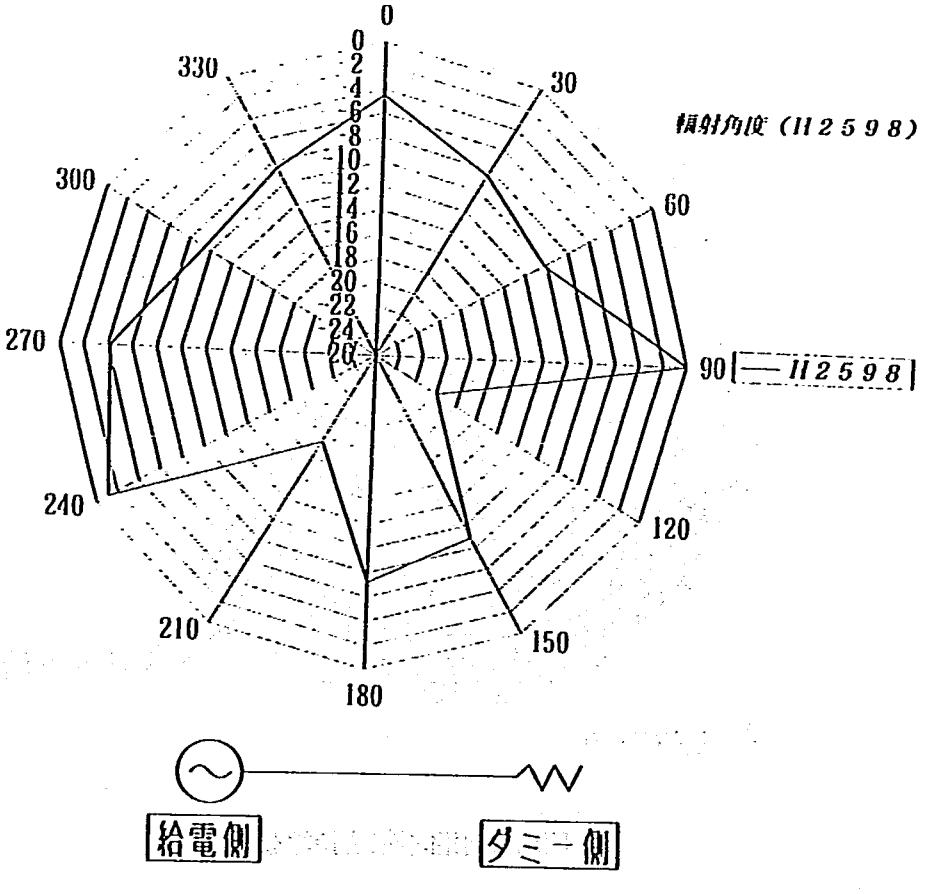
図表(4.2.2) 1-6　結合損失測定結果例（水平偏波形）



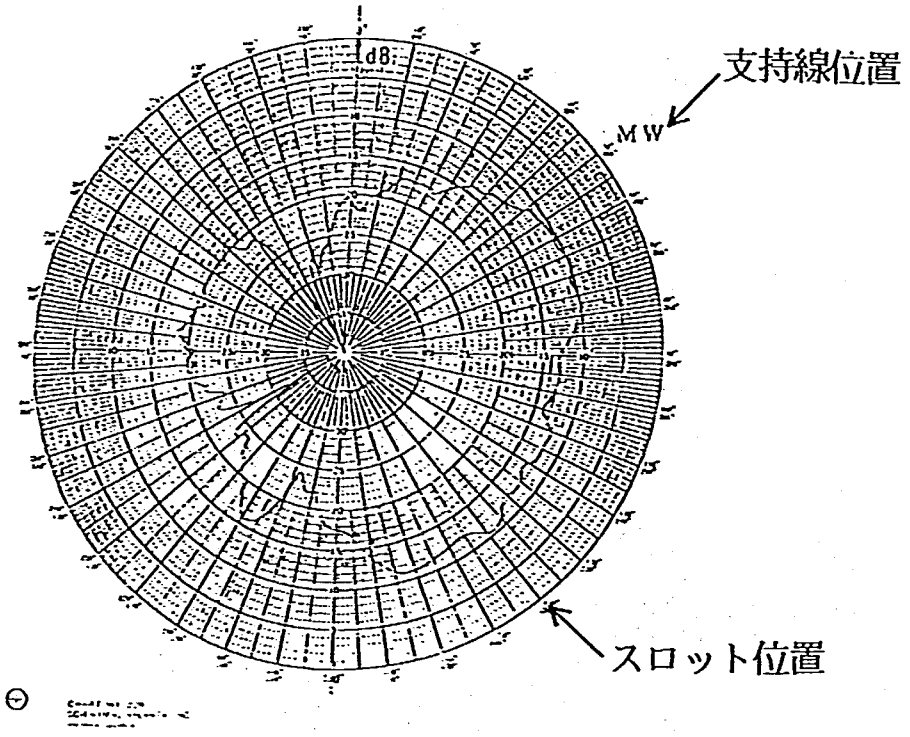
図表(4.2.2) 1-7　軸方向輻射角度測定結果例（垂直偏波形）



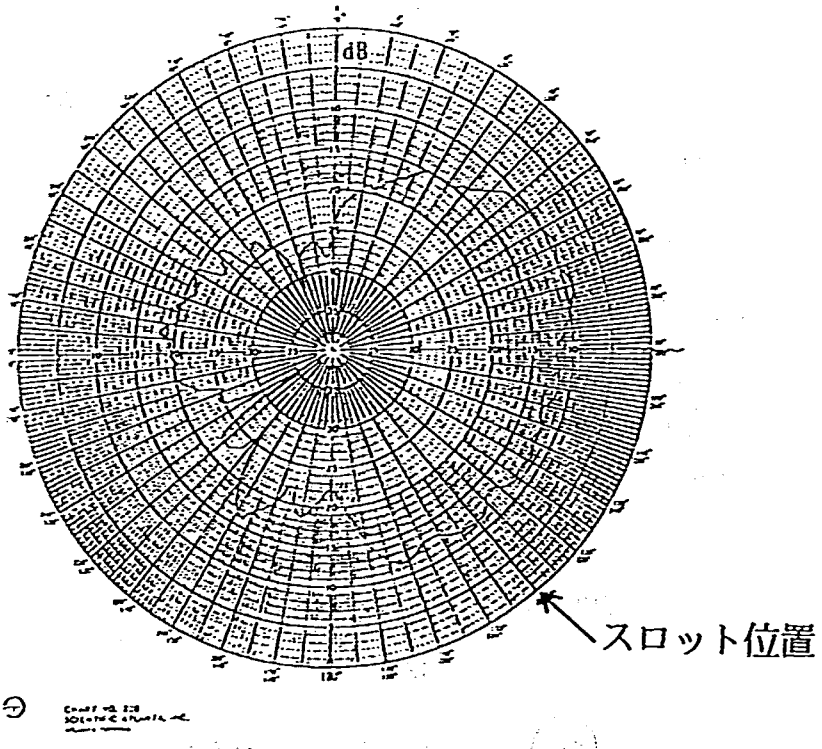
図表(4.2.2) 1-8　軸方向輻射角度測定結果例（水平偏波形）



図表(4.2.2) 1-9　円周方向指向性（漏洩スロットと支持線の位置関係　９０度）



図表(4.2.2) 1-10　円周方向指向性（支持線なし）



円周方向指向性(支持線なし)

（2）指向性付加ＬＣＸの検討

2.6GHz帯供試ＬＣＸの特性確認”で明らかなように垂直偏波形ＬＣＸは約４～10dBの、水平偏波形ＬＣＸは約14dBのＦ／Ｂ比が認められた。

指向性傾向のみられない垂直偏波形ＬＣＸについては電波吸収体貼り付けによる実効的な指向性の付加を、指向性のみられる水平偏波形ＬＣＸについては特性の改善をすることにした。

①電波吸収体貼り付け形ＬＣＸ

電波吸収体をＬＣＸのスロット側と反対側長さ方向に連続して貼り付けることにより、背面へ輻射する電波を吸収し、実効的にＬＣＸに指向性を付加する方法について検討した。

a)電波吸収体の材料

電波吸収体としては

・誘電損失を利用する素材

・オーム損失を利用する素材

・磁気損失を利用する素材

に分類されるが、比較的材料入手が容易な磁気損失利用のゴムフェライトについて検討した。

b)電波吸収体貼り付けによる指向性への影響確認実験

ア)実験方法

2598MHz用垂直偏波形ＬＣＸを使い測定した。なお、伝送損失への影響についても測定した。

・ 円周方向指向性への影響についての実験方法

約１ｍのメッセンジャーワイヤを除去した供試ＬＣＸのスロット側と反対側の全長に渡り、ＬＣＸ被覆上に電波吸収体を貼り付ける方法により、電波吸収体が有る場合と無い場合の円周方向指向性を測定する。

電波吸収体の寸法・特性については次の通りである。

・材　質　：ゴムフェライト（シーアイ化成（株）製）

・厚　さ　：6.6mm（0.55mm×12層）

・幅　　：約40mm

・反射減衰量：約７dB（2.6GHz予想値）

・伝送損失への影響についての実験方法

円周方向指向性用と同じ約１ｍの試料により、電波吸収体が有る場合と無い場合の伝送損失をネットワークアナライザーにより測定する。

ｲ)実験結果及び考察

・ 円周方向指向性への影響

電波吸収体が有る場合と無い場合の2.6GHzでの円周方向指向性測定結果を図表(4.2.2) 1-12に示す。

スロットの背面方向の輻射電波が４～７dB抑制されることが確認された。

・伝送損失への影響

電波吸収体の無い場合(オリジナル)と、電波吸収体を貼り付けた時の伝送損失周波数特性(100～2900MHz)を図表(4.2.2) 1-13に示す。電波吸収体は約40㎜幅(ＬＣＸ本体外周の約1/4)と約80㎜幅(同外周の約1/2)について測定した。

電波吸収体貼り付けによる伝送損失の増加傾向は認められないが、試料長が約１ｍと短いことにより、伝送損失の絶対値が2.6GHzにおいても約0.145dBと小さいため、誤差の大きいものとなっていると思われるので、フィールドでの実験用として試作中の50m以上の長尺品を測定することにより確認する予定である。

②水平偏波形ＬＣＸ

ＬＣＸの長さ方向と直角にスロットを設けることにより、水平偏波電界成分を輻射させるもので、伝送損失の改善を主として検討した。尚、スロットを直角にすることに伴う振動疲労特性への影響がないかどうかについても実験により確認した。

a)伝送損失改善についての検討結果

伝送損失が大きいことについては、軸方向への電波輻射が大きいことに起因していると思われるので、高次モードの発生が起こりにくい設計としたものを試作し、評価した結果を図表(4.2.2) 1-11に示す。余分な輻射は少なくなり、垂直偏波ＬＣＸと同じぐらいまで伝送損失の改善が見られた。

図表(4.2.2) 1-11　水平偏波ＬＣＸの改善試作結果

項　　目	測　定　結　果	備　考（データ）
(1)伝　送　損　失	８８．４ｄＢ／ｋｍ （２５９８ＭＨｚ）	図表(4.2.2) 1-14 （周波数特性）
(2)結　合　損　失	約６３ｄＢ	図表(4.2.2) 1-15
(3)円周方向指向性	約１４ｄＢ(F/B比)	図表(4.2.2) 1-14
(4)輻　射　角　度	約－５°	図表(4.2.2) 1-17
(5)Ｖ　Ｓ　Ｗ　Ｒ	１．７ （２５８５ＭＨｚ）	図表(4.2.2) 1-18 (周波数特性)

b)振動疲労実験結果

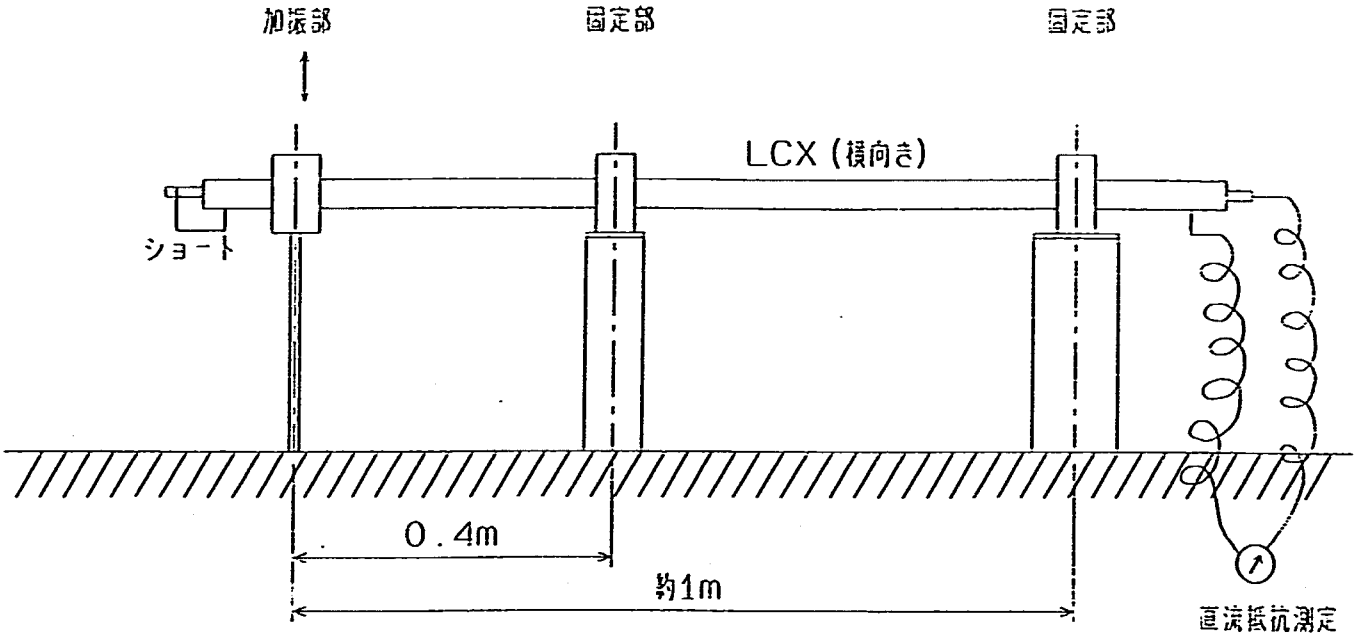
7)実験方法

下図のようにＬＣＸを振動試験機に取り付け、振動回数100万回後の外部導体の損傷（疲労）状況を確認する。その他の条件は以下の通りである。尚、比較のため垂直偏波形ＬＣＸについても合わせて実験した。

試　料　長：約1.5m

加振周波数：　6Hz

振　　幅：±10mm（最大歪み 約1000μst)



ｲ)実験結果

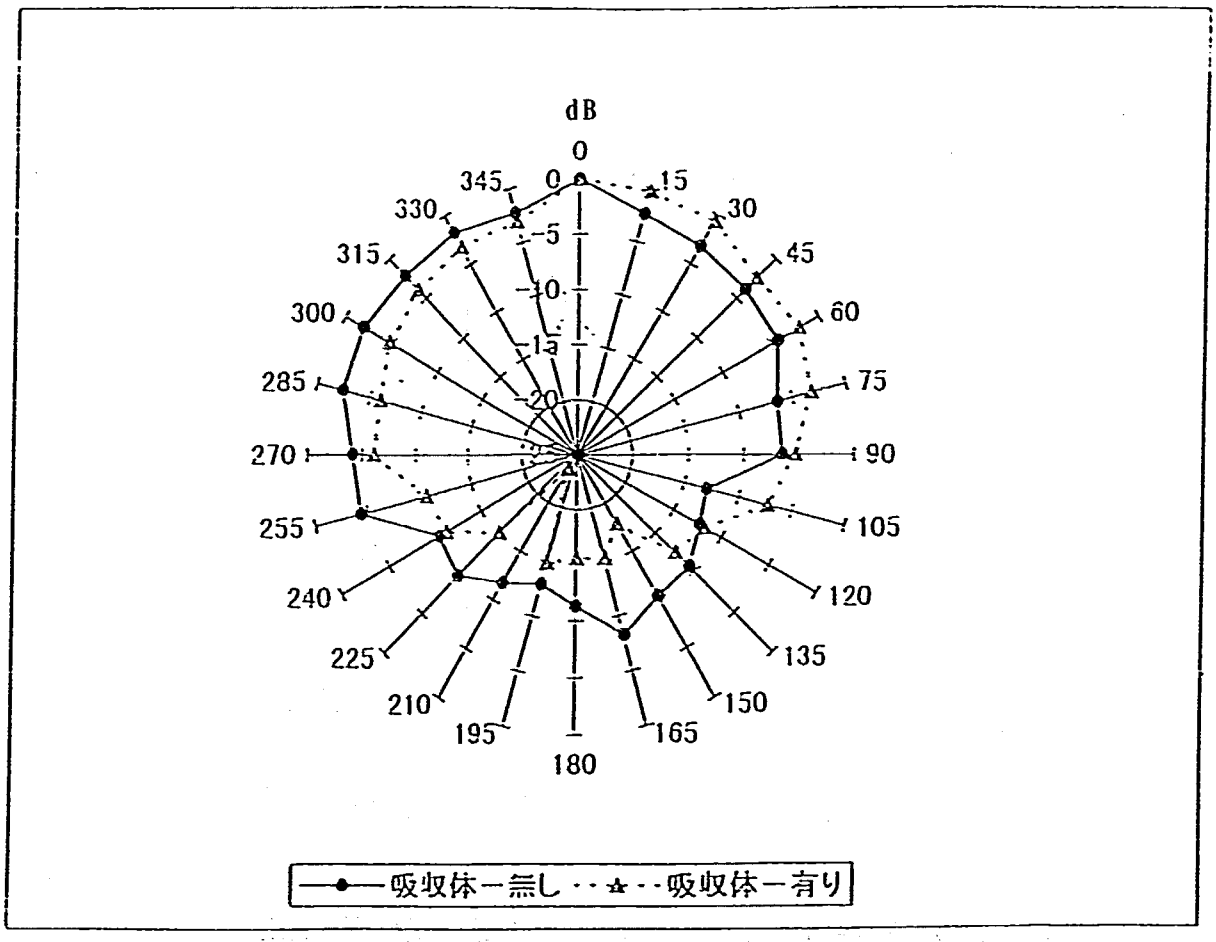
		水平偏波形	垂直偏波形
損傷状況		損傷は認められない	同左
直流抵抗 (ｼｮｰﾄ部を含むﾙｰﾌﾟ) (mΩ)	初期値	2．4	2．3
	100万回後	2．4	2．3

水平偏波形と垂直偏波形の差異は認められなかった。2600MHz帯用のスロット長は、水平偏波形，垂直偏波形とも20㎜以下と短く、影響が少ないためと思われる。

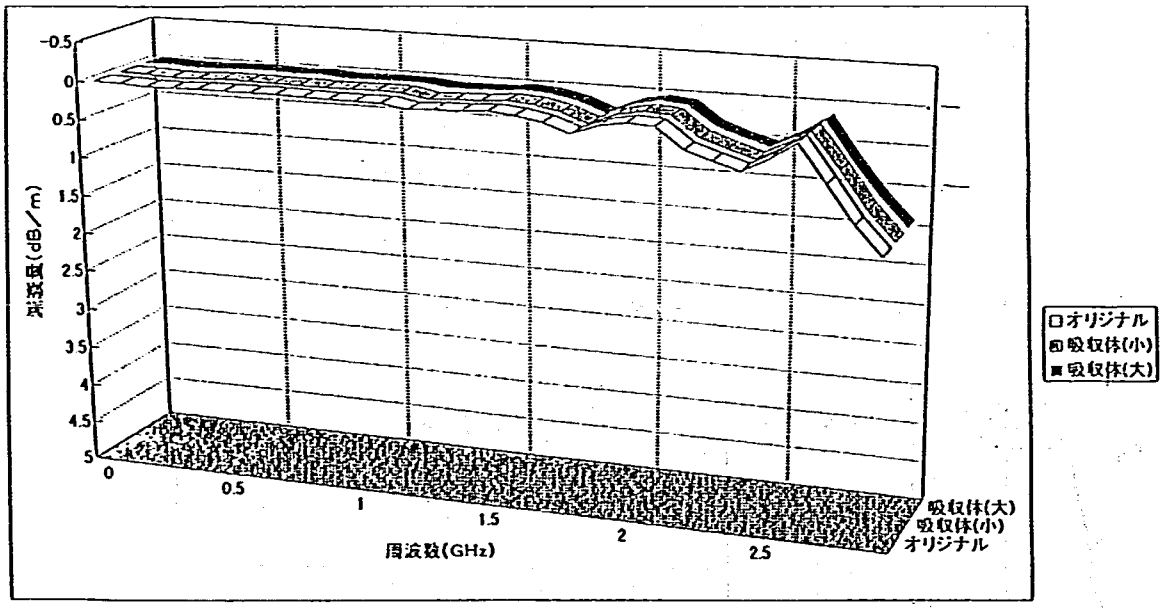
③指向性付加ＬＣＸの今後の課題

指向性付加ＬＣＸが実使用されたとき、どの程度電界変動や符号誤りの改善に寄与できるのか、また、電波吸収体貼り付け形ＬＣＸでは、長尺化による減衰量への影響、水平偏波形ＬＣＸでは、従来より移動体通信には殆ど採用されていない水平偏波を利用した時、どのようなデメリット（あるいはメリット）を生じるのか、フィールドでの実験による確認が必要と思われる。

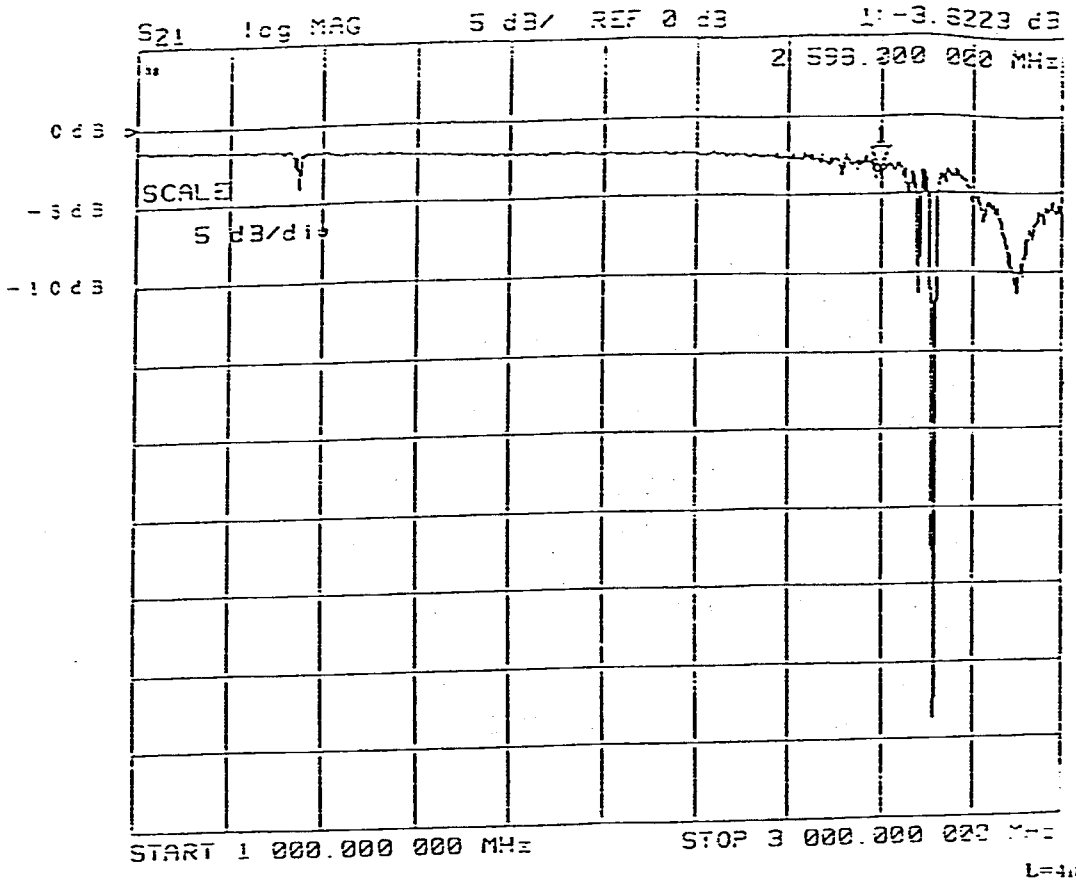
図表(4. 2. 2) 1-12　電波吸収体の有無による指向性の比較



図表(4. 2. 2) 1-13　電波吸収体の有無による指向性の比較



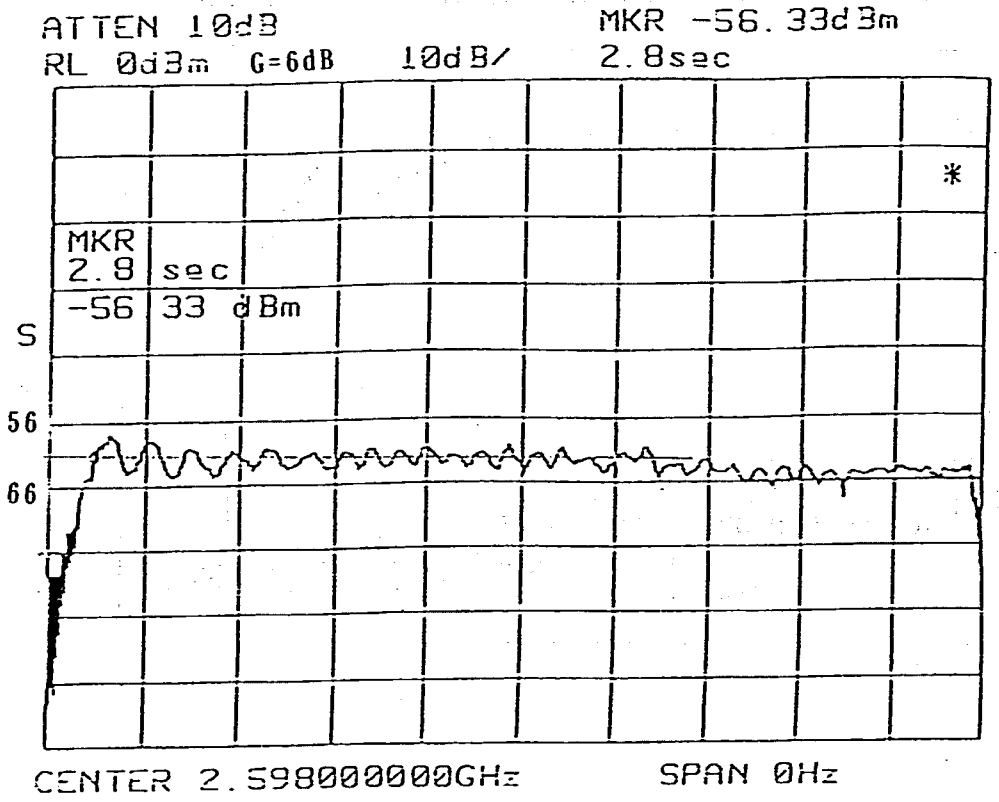
図表(4.2.2) 1-14 水平偏波形ＬＣＸの減衰量－周波数特性測定結果



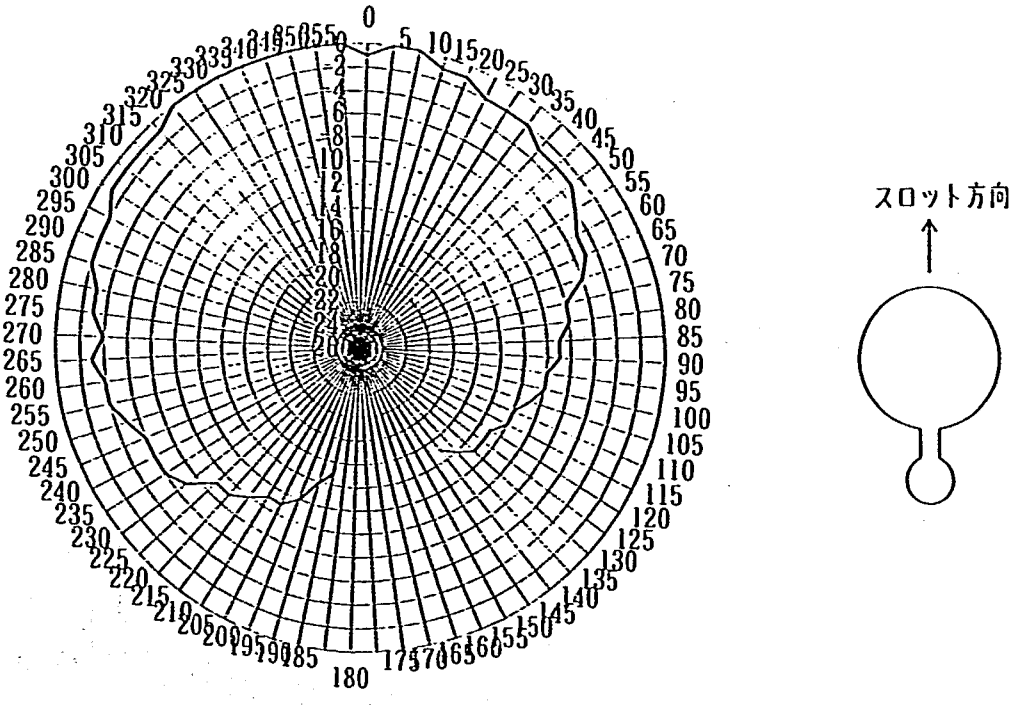
L=4m

α=86.35dB/km(2598MHz)

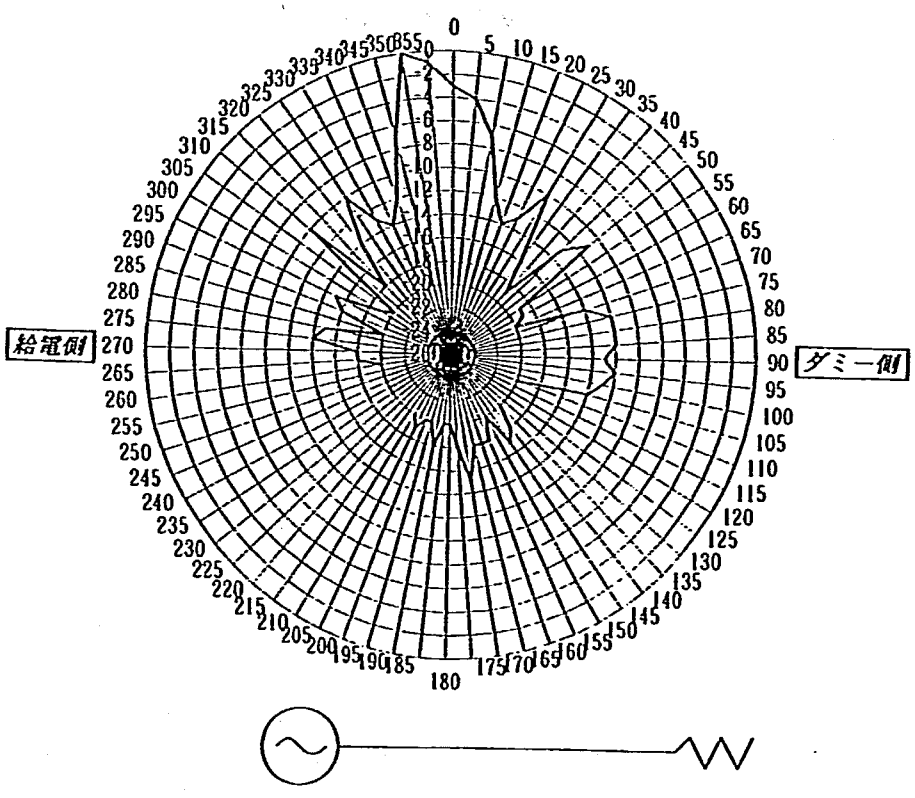
図表(4.2.2) 1-15 水平偏波形ＬＣＸの結合損失測定結果



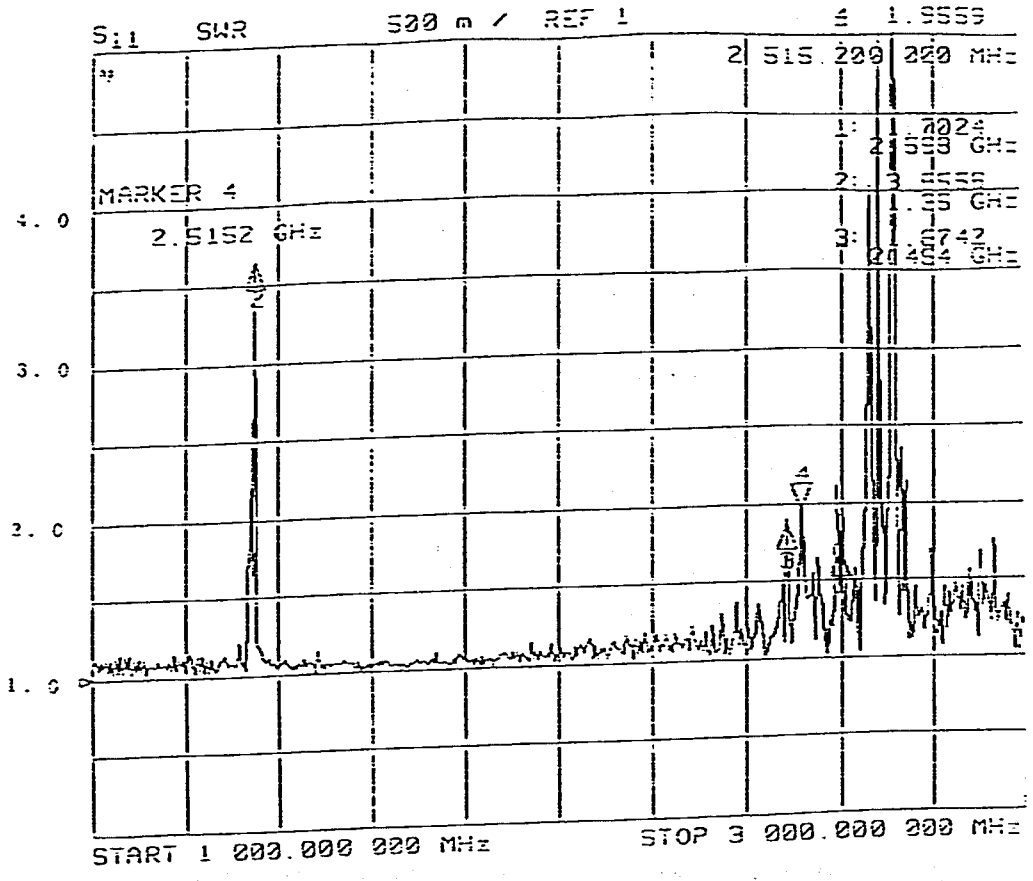
図表(4.2.2) 1-16　水平偏波ＬＣＸの円周方向指向性測定結果



図表(4.2.2) 1-17　水平偏波形ＬＣＸの輻射角度の測定結果



図表(4.2.2) 1-18　水平偏波形ＬＣＸのＶＳＷＲ－周波数特性測定結果



f=2.598GHz
VSWR=1.7024

（3）改善効果確認のためのフィールド実験結果

～指向性を有するＬＣＸ使用による誤り率等の改善効果確認～

①実験の目的

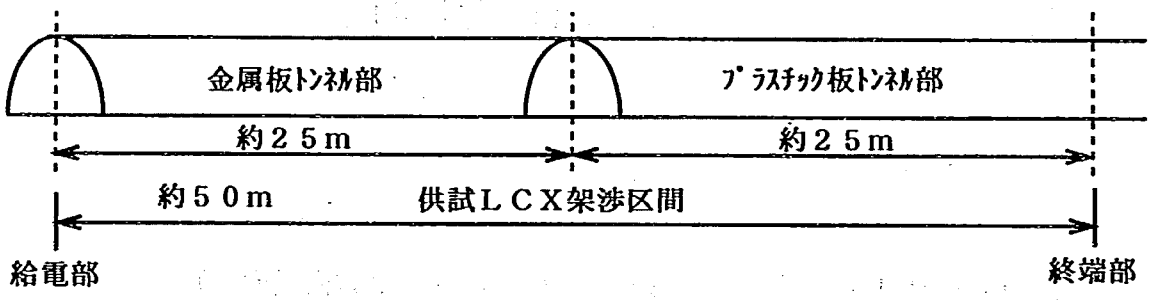
指向性を有するＬＣＸを使ったとき、既存ＬＣＸと同程度の特性が得られるか、道路を走る車線と反対側に存在する側壁等からの反射波の影響をどの程度押さえられるか、また道路の外への電波の輻射がどの程度押さえられるかについて確認するため実施した。

②実験条件

a)電界強度及び誤り率（側壁模擬）

土木研究所区間７と区間８の境界部分。（トンネルの外とし、金属板トンネル部に25mかかるようにした。）

図表(4.2.2) 1-19　ＬＣＸの架渉環境



b)エリア外輻射

区間12の側道のある部分。（局舎12から区間１方向へ50mの区間，局舎12部から給電）

③試料

a)水平偏波形ＬＣＸ輻射方向下向き　　約50m

　　・・・・図表(4.2.2) 1-20参照

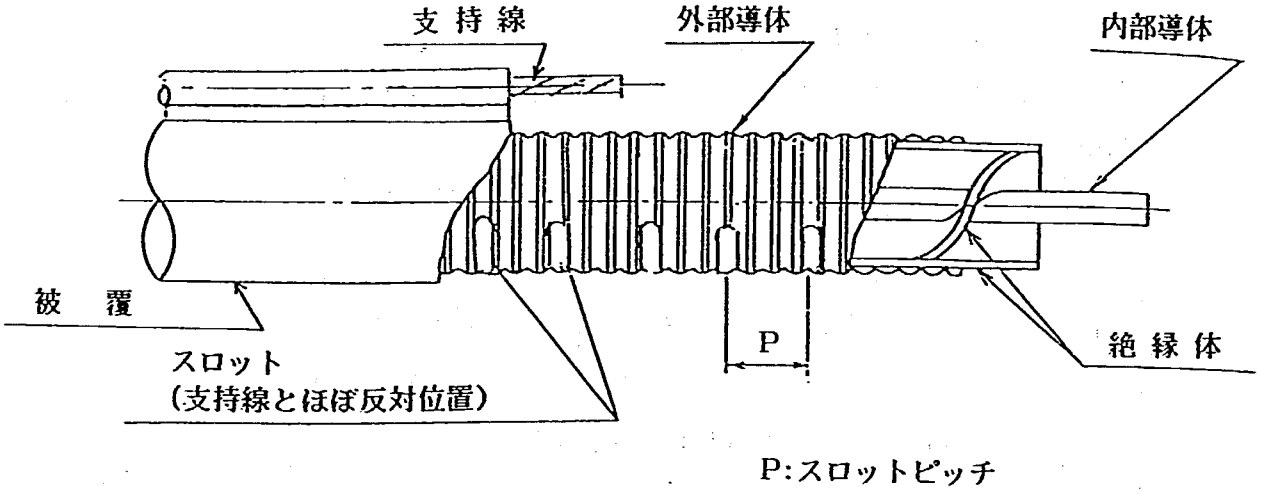
〃　　約50m

　　・・・・図表(4.2.2) 1-21参照

b)電波吸収体貼り付け形ＬＣＸ輻射方向横向き　約50m

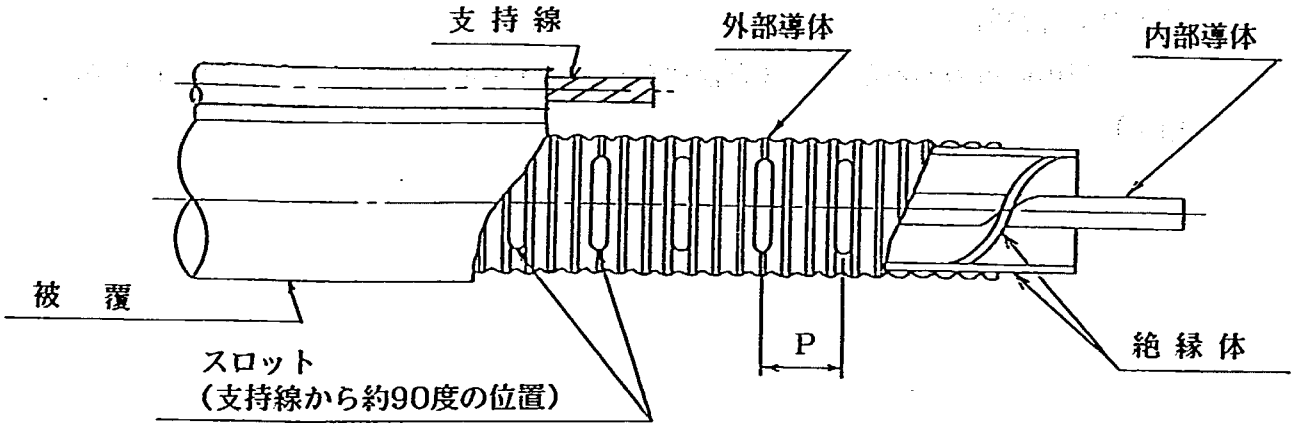
　　・・・・図表(4.2.2) 1-22参照

図表(4.2.2) 1-20　水平偏波形ＬＣＸの構造（輻射方向下向き）



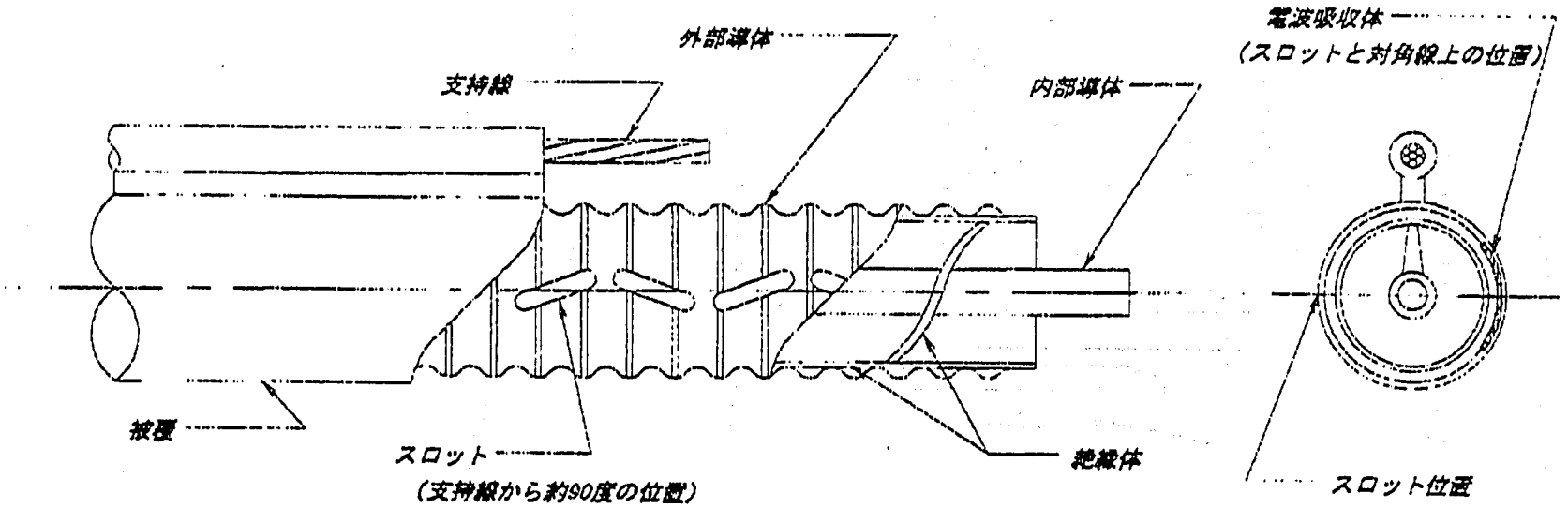
P:スロットピッチ

図表(4.2.2) 1-21　水平偏波形ＬＣＸの構造（輻射方向横向き）



P:スロットピッチ

図表(4.2.2) 1-22　電波吸収体貼り付け形ＬＣＸ輻射方向横向き



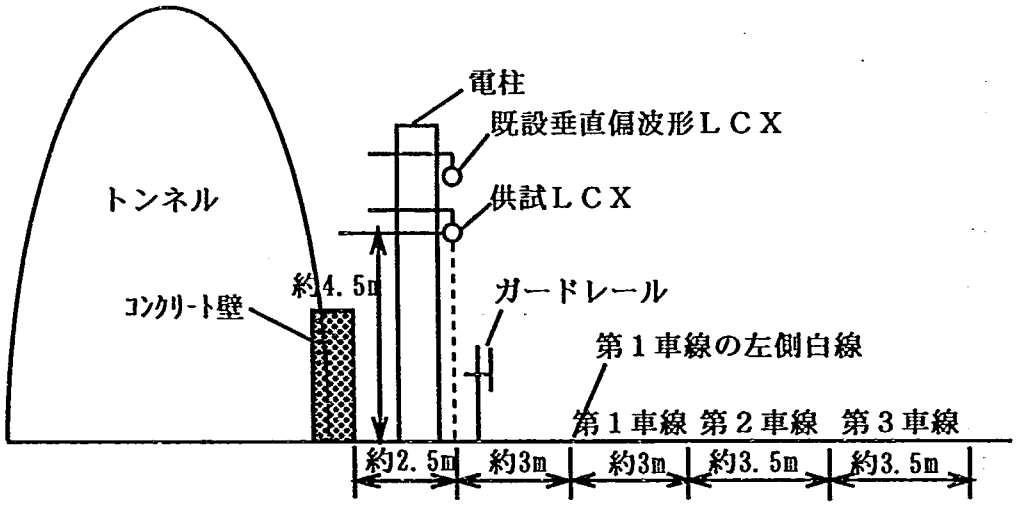
④実験方法

a)電界強度及び誤り率

ア)架　　渉

供試ＬＣＸを高さ約4.5mに電柱懸架する。位置は現在布設されている垂直偏波形ＬＣＸの下側とした。

図表(4.2.2) 1-23　ＬＣＸ架渉位置



イ)測定

測定周波数は2598MHzとし、受信アンテナ(半値幅60°,水平角度０°,垂直角度10°)高さ1.2mとした。測定車の走行速度は50km/hとした。

・電界強度

第１，第２，第３車線それぞれについて50mを連続測定した。

・誤 り 率

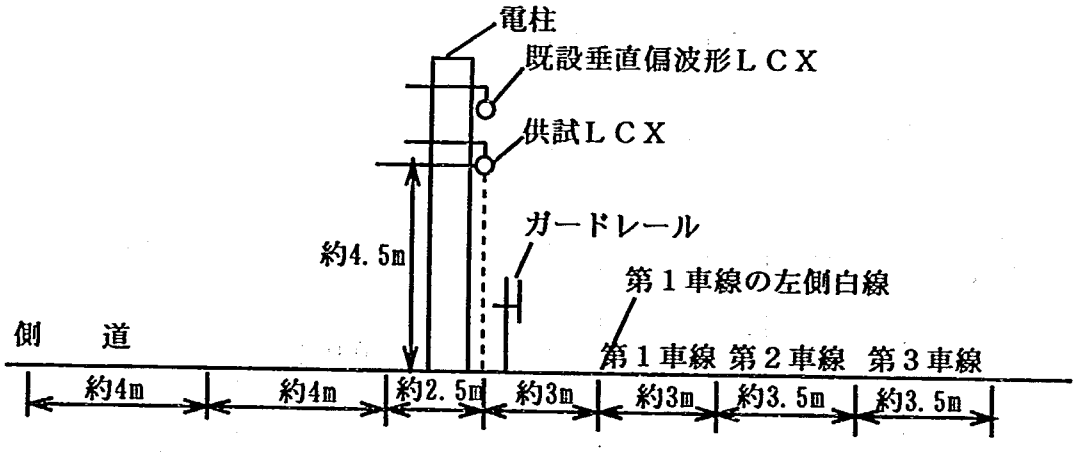
同上について同時測定した。

b)エリア外輻射

ア)架　　渉

供試ＬＣＸを高さ約4.5mに電柱懸架する。位置は現在布設されている垂直偏波形ＬＣＸの下側とした。

図表(4.2.2) 1-24　ＬＣＸ架渉位置



イ)測定

サービスエリア側と反対方向の側道と第１，第２，第３車線それぞれについて50mの電界強度（誤り率も測定）を連続測定する。尚、測定周波数，受信アンテナ条件測定車の走行速度は、a)、イ)項に同じとした。

c)実験パラメータ

図表(4.2.2) 1-25の通りとした。

図表(4.2.2) 1-25　実験パラメータ

項目		水平偏波形ＬＣＸ		電波吸収体	通常ＬＣＸ
		輻射方向下	輻射方向横	貼付形ＬＣＸ	(既設)
電界強度	第１車線	００１	００４	００７	－(*)
	第２車線	００２	００５	００８	－(*)
	第３車線	００３	００６	００９	－(*)
エリア外輻射	第１車線	０１０	０１４	０１８	０２２
	第２車線	０１１	０１５	０１９	０２３
	第３車線	０１２	０１６	０２０	０２４
	側　道	０１３	０１７	０２１	０２５

(*) 前回の実験データを流用。

⑤実験結果

a)電界強度及び誤り率

測定結果を図表(4.2.2) 1-26に、グラフ化した電界強度変動幅読取値を図表(4.2.2) 1-27に示す。水平偏波形ＬＣＸ、電波吸収体貼付形ＬＣＸとも金属トンネルからの反射の影響による誤りの発生は殆どなかった。また、指向性付与にともなう特別な異常も認められず、既存ＬＣＸと同程度の特性が得られた。

b)エリア外輻射

測定結果を図表(4.2.2) 1-32に、グラフ化したエリア外輻射電界強度測定結果を図表(4.2.2) 1-33に示す。

輻射方向下向きの水平偏波形ＬＣＸの場合は、同じ条件となる第１車線と側道ではほぼ同じ電界強度となり、指向性を有するＬＣＸは輻射方向をエリア方向に向けないと効果がないことが確認された。

輻射方向下向きの水平偏波形ＬＣＸと電波吸収体貼付形ＬＣＸについては、第１車線に対し側道では電界強度がそれぞれ約-18dBと約-13dBとなることが確認され、予想通りの抑制効果が認められたが、完全にエリア外への輻射を押さえることはできないことも確認された。

図表(4.2.2) 1-26　電界強度及び誤り率測定結果（側壁模擬）

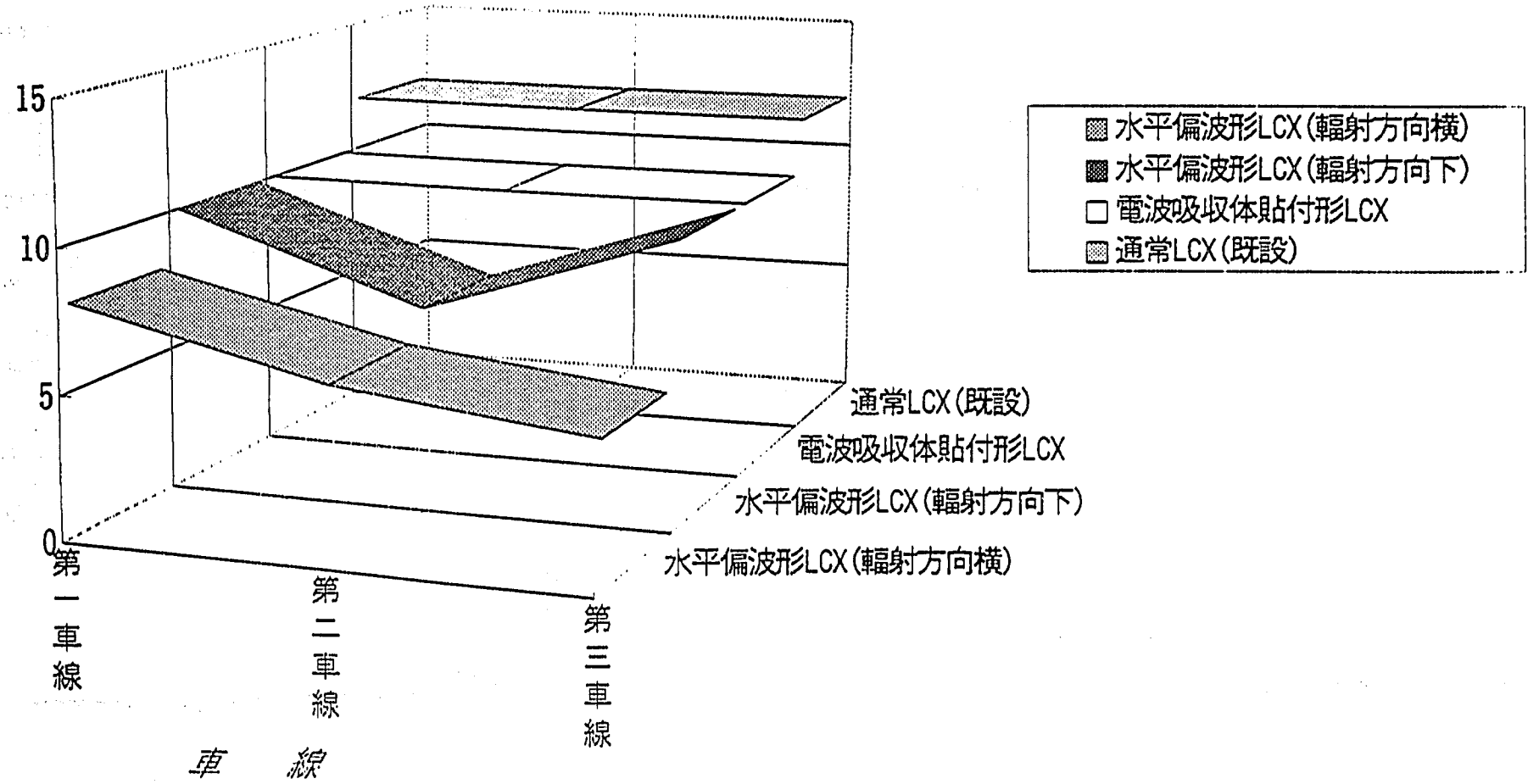
項目			水平偏波形ＬＣＸ		電波吸収体	通常ＬＣＸ
			輻射方向下	輻射方向横	貼付形ＬＣＸ	(既設)
第1車線	電界強度	平均値 (dBm)	－５７	－５６	－５７	－６０
		変動幅 (dB)	１０	８	１０	１２
		落ち込み (dB)	２５	１３	２０	１０
	誤りの有(×)無(○)		○	○	×(*)	×(*)
	データ例		－	－	－	－
第2車線	電界強度	平均値 (dBm)	－５７	－５６	－５７	－６０
		変動幅 (dB)	７	８	１０	１２
		落ち込み (dB)	１５	１３	２０	１０
	誤りの有(×)無(○)		○	○	×(*)	×(*)
	データ例		図表(4.2.2) 1-28	図表(4.2.2) 1-29	図表(4.2.2) 1-30	図表(4.2.2) 1-31
第3車線	電界強度	平均値 (dBm)	－５８	－５４	－５７	－６２
		変動幅 (dB)	１０	５	１０	１２
		落ち込み (dB)	２５	１０	１４	１０
	誤りの有(×)無(○)		○	○	○	×(*)
	データ例		－	－	－	－

(*) ＢＥＲ＝10^{-2}程度の誤りを－６５～－５５ｄＢ程度の受信電界で発生している。

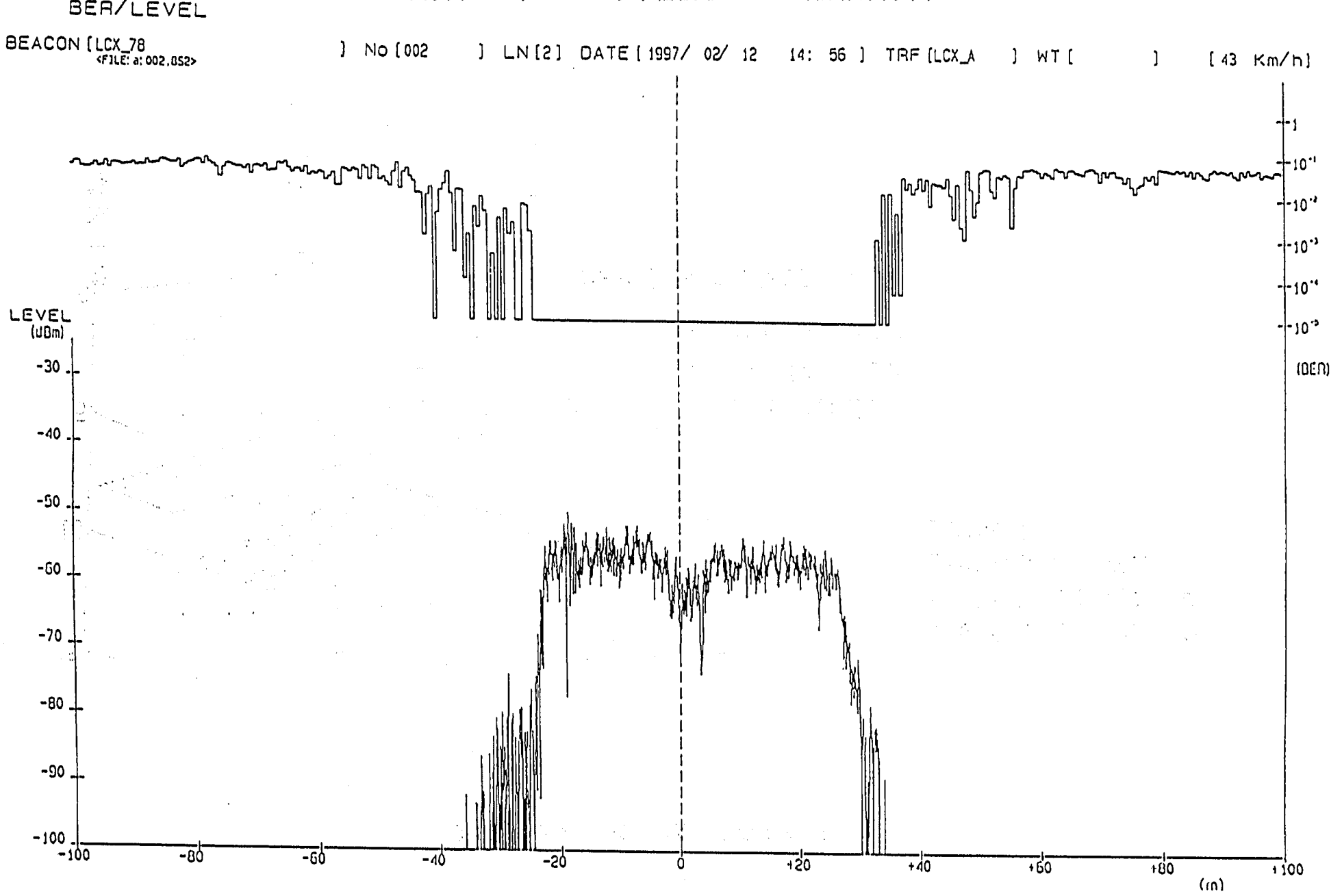
直接輻射波と間接反射波を同時に受けた時は、－６５～－５５ｄＢｍ程度の受信電界レベルでも誤りを発生する。

（車載アンテナの指向性利得をあげて間接反射波を避け、誤りを回避する対策については、４．２．１　１）(４)項を参照。）

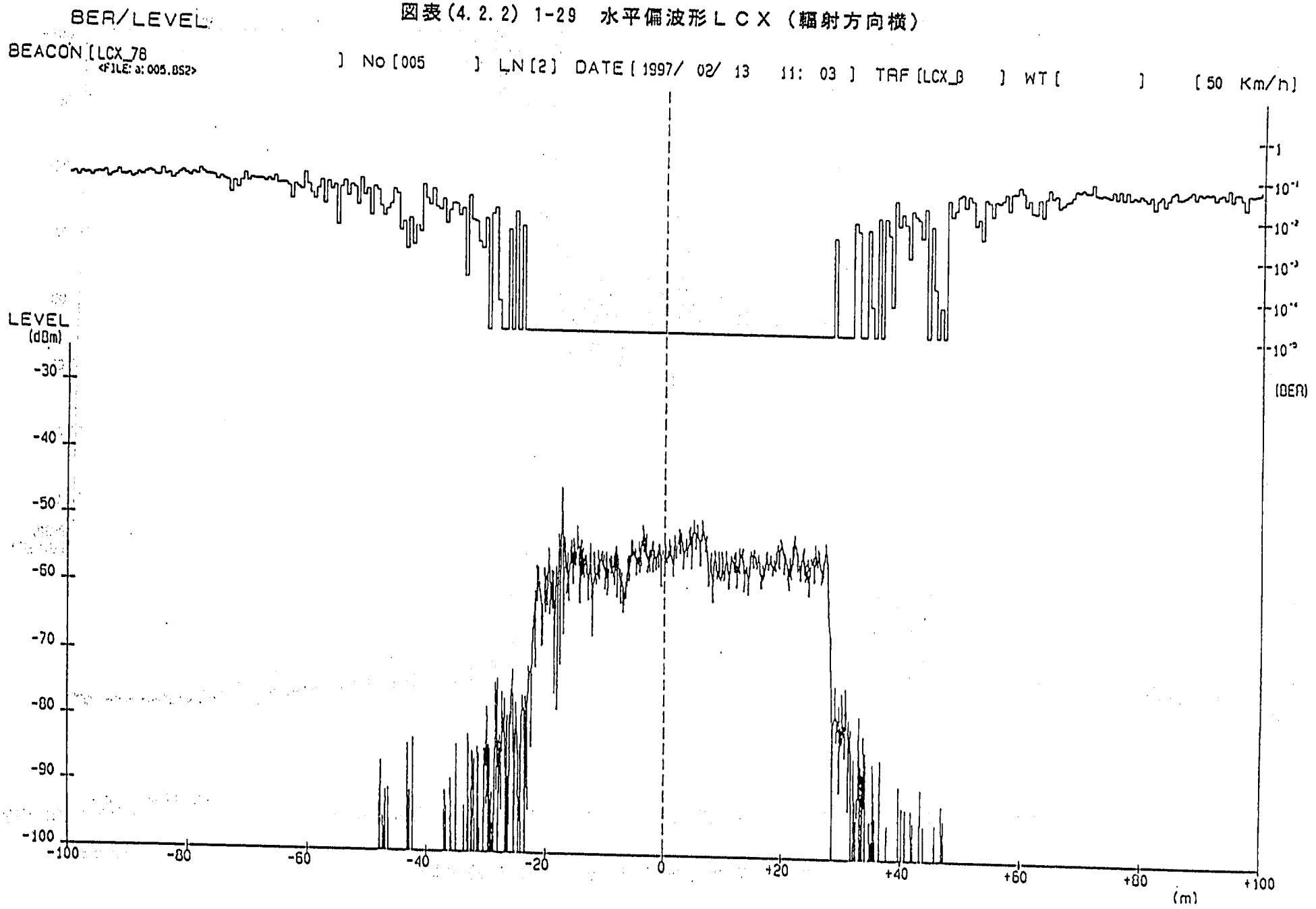
図表(4.2.2) 1-27　電界強度変動幅



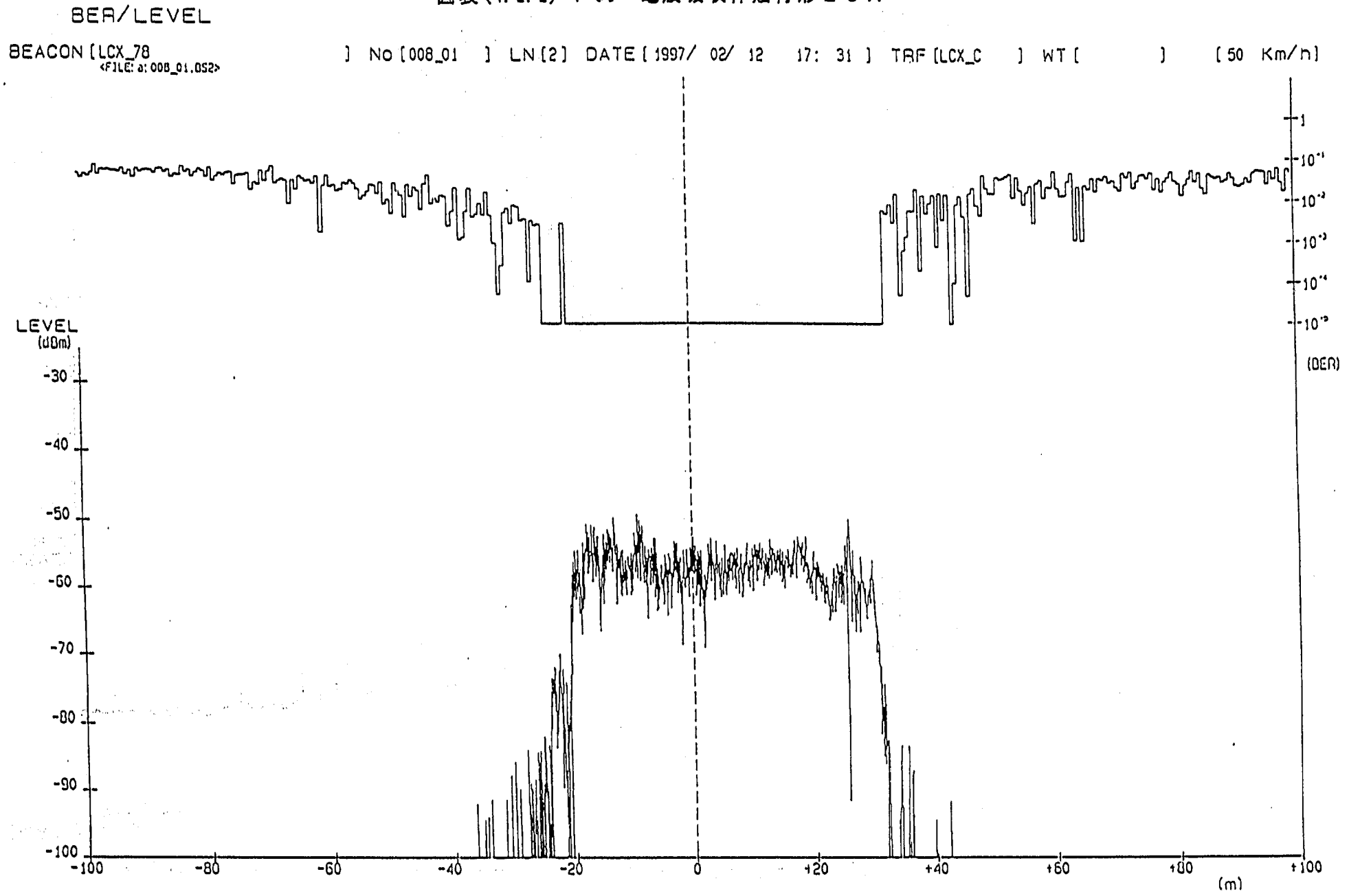
図表(4.2.2) 1-28 水平偏波形ＬＣＸ（輻射方向下）



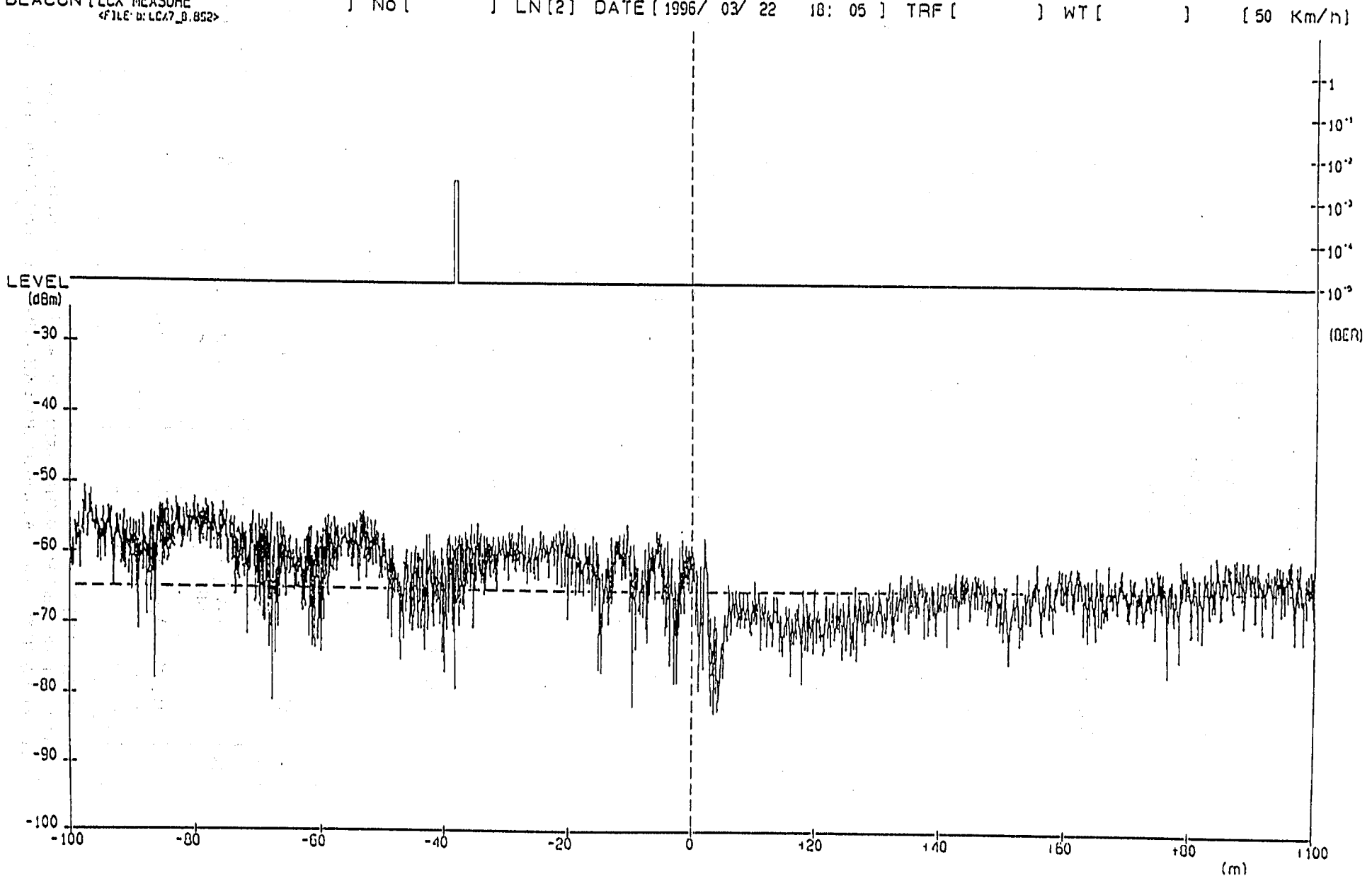
図表(4.2.2) 1-29　水平偏波形ＬＣＸ（輻射方向横）



図表(4.2.2) 1-30 電波吸収体貼付形ＬＣＸ



図表(4.2.2) 1-31 通常ＬＣＸ



図表(4.2.2) 1-32　エリア外輻射測定結果

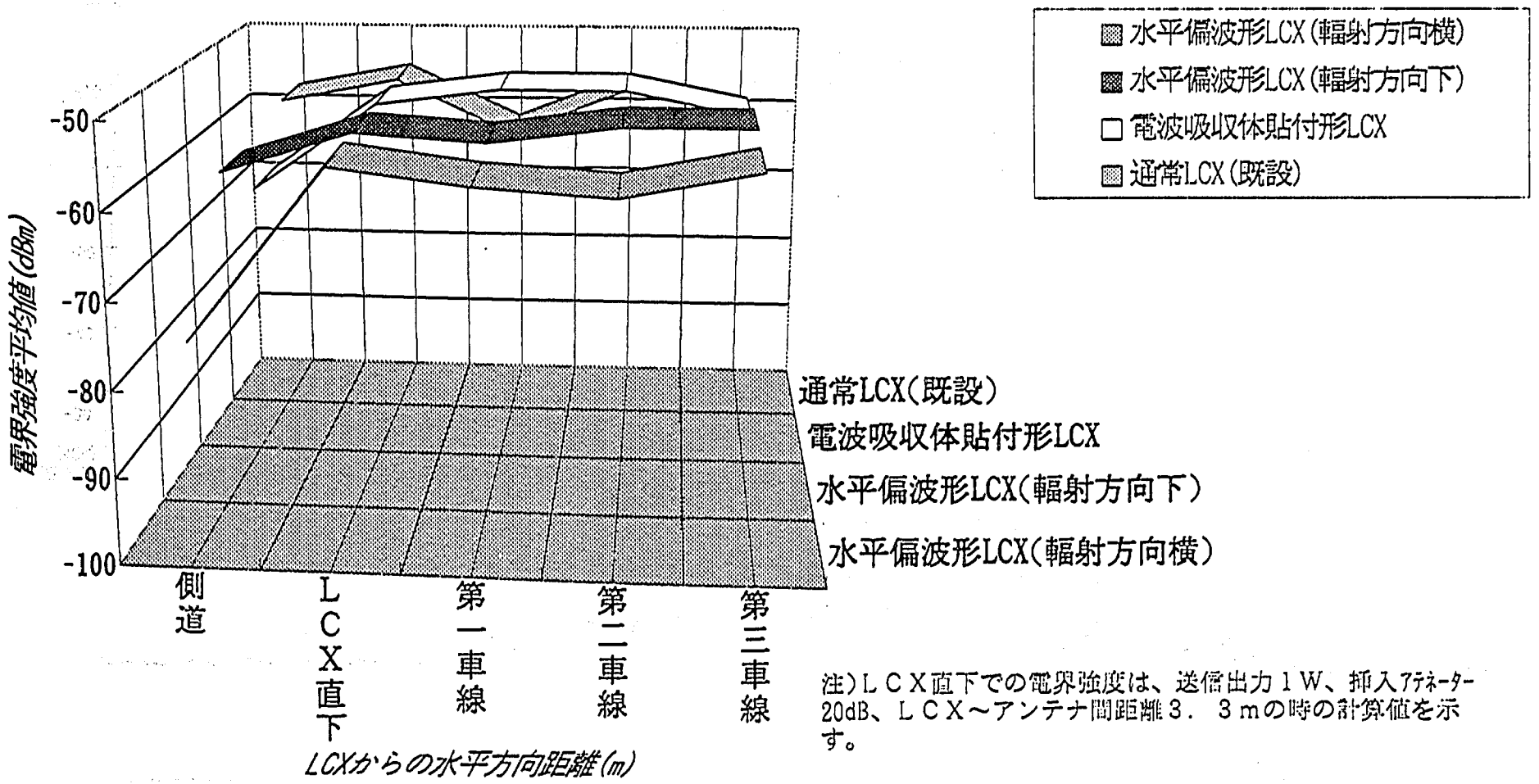
項目			水平偏波形ＬＣＸ		電波吸収体	通常ＬＣＸ
			反射方向下	輻射方向横	貼付形ＬＣＸ	(既設)
側道	電界強度	平均値 (dBm)	－６０	－７５	－６６	－５８
		変動幅 (dB)	１５	＞３０	２０	７
		落ち込み (dB)	４０(*)	＞３０	＞３０	＞３０
	誤りの有(×)無(○)		×(*)	×	×	○(**)
	データ例		－	図表(4.2.2) 1-34	図表(4.2.2) 1-36	－
第1車線	電界強度	平均値 (dBm)	－５６	－５７	－５３	－６２
		変動幅 (dB)	７	７	７	７
		落ち込み (dB)	１０	５	３	７
	誤りの有(×)無(○)		○	○	○	○
	データ例		－	図表(4.2.2) 1-35	図表(4.2.2) 1-37	－
第2車線	電界強度	平均値 (dBm)	－５４	－５８	－５３	－５６
		変動幅 (dB)	７	７	７	７
		落ち込み (dB)	１２	５	３	５
	誤りの有(×)無(○)		○	○	○	○
	データ例		－	－	－	－
第3車線	電界強度	平均値 (dBm)	－５４	－５５	－５６	－５９
		変動幅 (dB)	７	６	８	８
		落ち込み (dB)	７	３０	３	１０
	誤りの有(×)無(○)		○	×(***)	○	○
	データ例		－	－	－	－

(*) 局舎１２の影響

(**) －１００ｄＢｍを下回る局部的(１ｍ未満)な電界の落ち込みがあるが、誤りは発生していない。

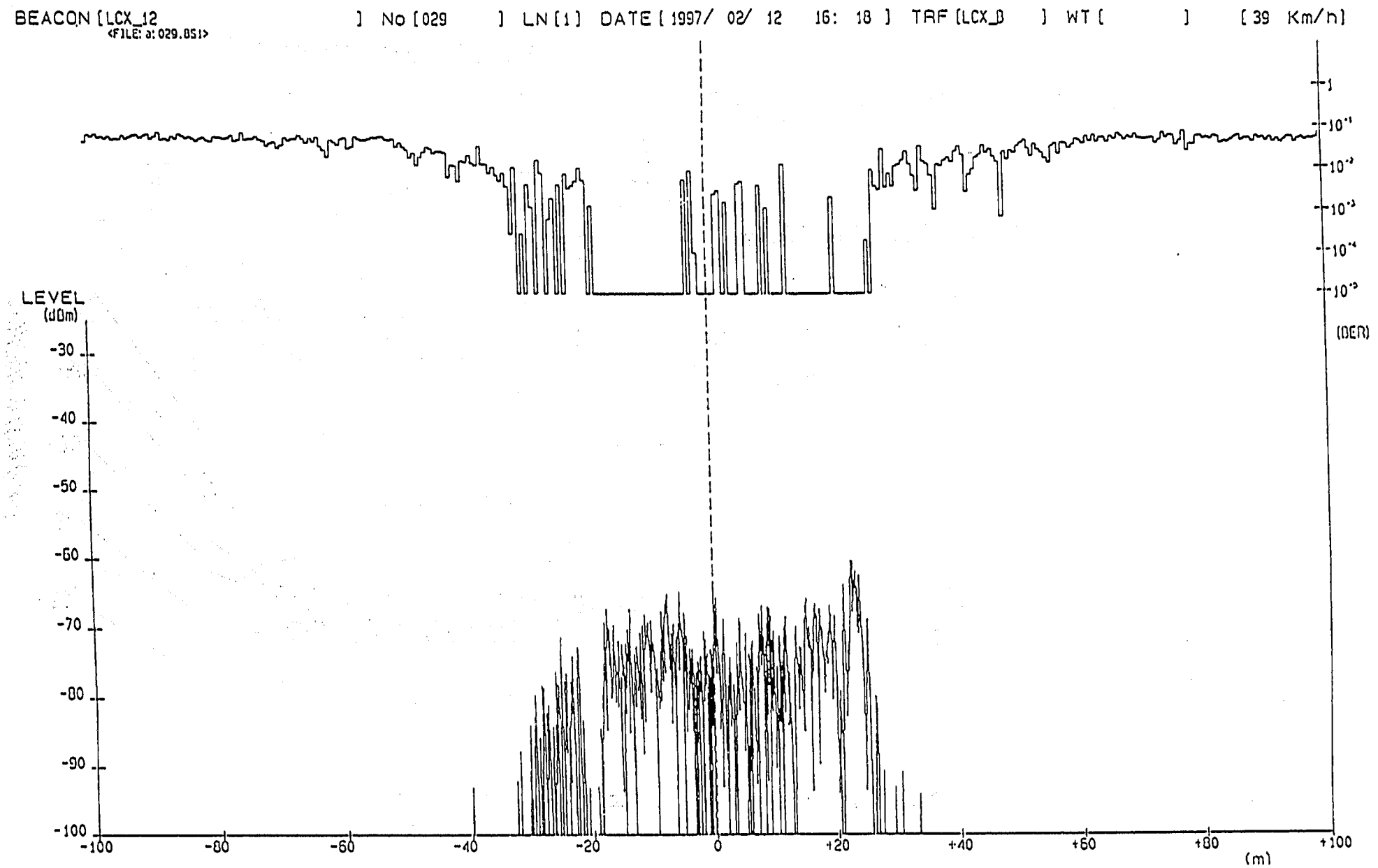
(***) 入力端付近に－８０～－６５ｄＢｍ程度に到る電界落ち込みがあり、１ｍ未満の誤りが発生している。

図表(4.2.2) 1-33　エリア外輻射電界強度測定結果

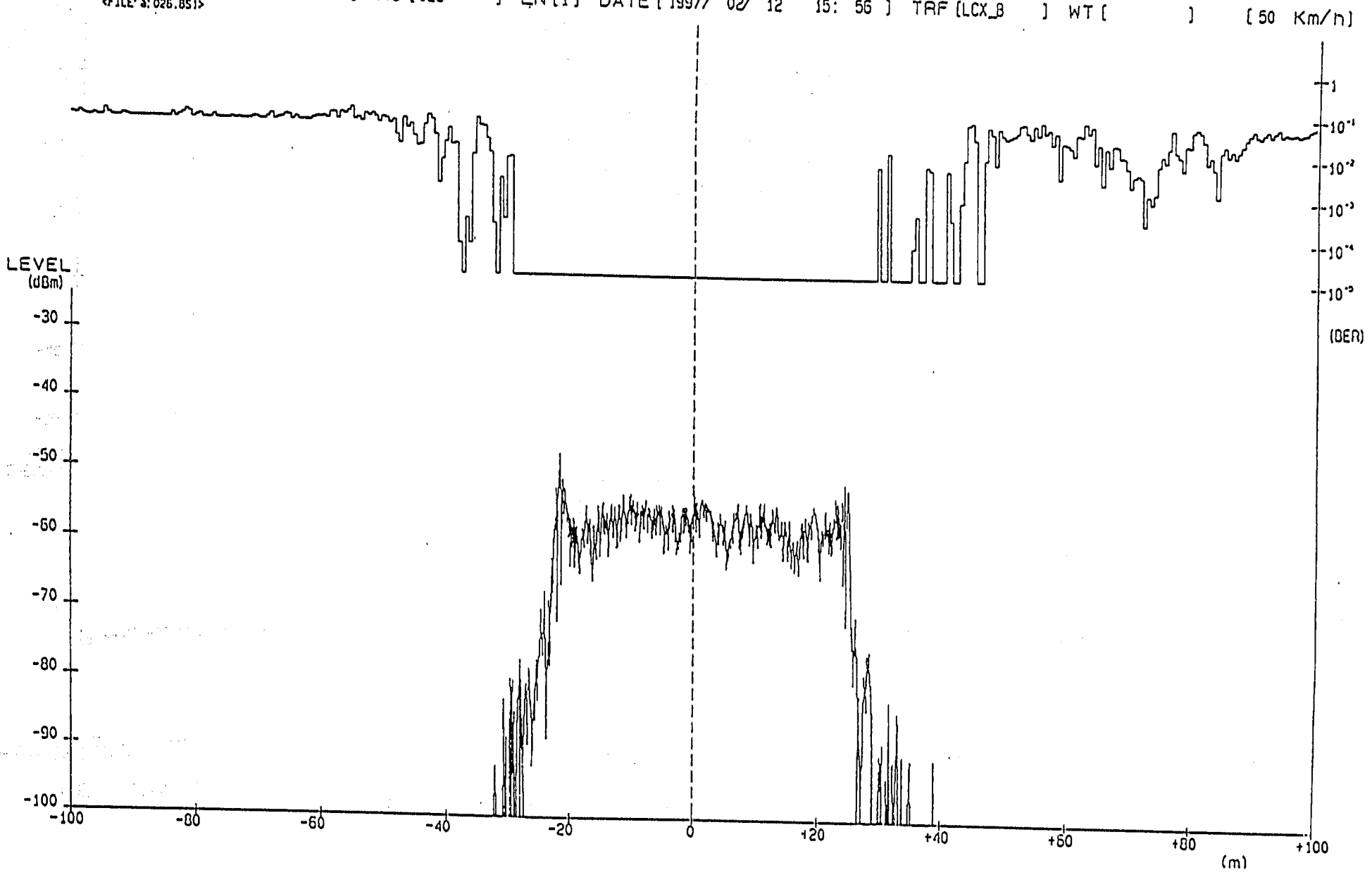


注)ＬＣＸ直下での電界強度は、送信出力１Ｗ、挿入ｱﾃﾈｰﾀｰ20dB、ＬＣＸ～アンテナ間距離３．３ｍの時の計算値を示す。

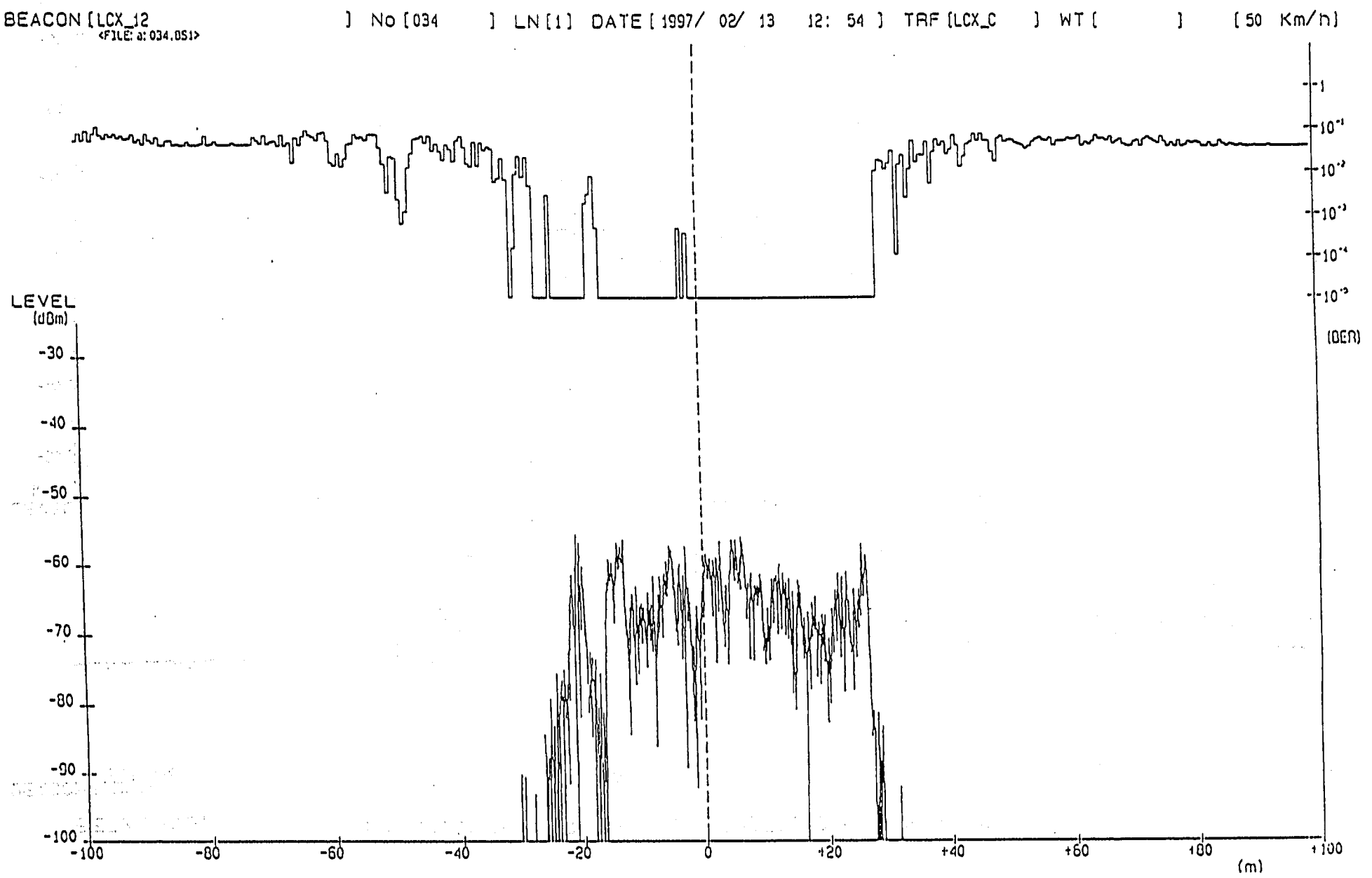
図表(4.2.2) 1-34　側路：水平偏波形ＬＣＸ（輻射方向横）



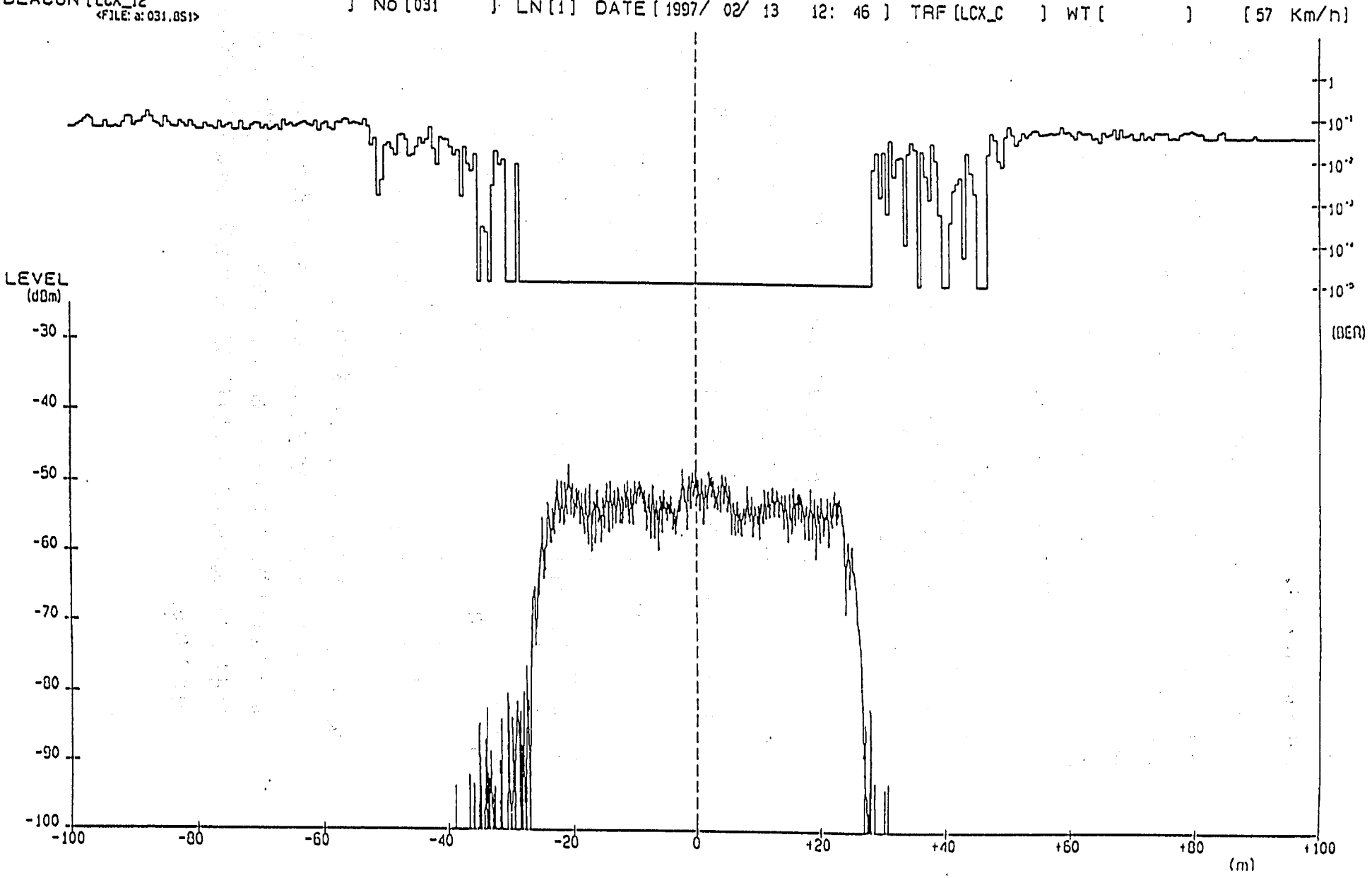
図表(4.2.2) 1-35　第1車線：水平偏波形ＬＣＸ（輻射方向横）



図表(4.2.2) 1-36　側路：電波吸収体貼付形ＬＣＸ



図表(4.2.2) 1-37　第1車線：電波吸収体貼付形ＬＣＸ



2）広帯域ＬＣＸの検討

ＦＭ放送再送信(80MHz帯)からＡＨＳまでのサービスをする場合、一般的には最低２種類(２条)のＬＣＸを使う必要があるが、その時のＬＣＸの特性はどのようになるか調査・検討することを目的としている。１種類(１条)とする場合についても合わせて検討した。

なお、このテーマは指向性ＬＣＸの検討の過程で出てきた指向性とは直接関係ないテーマであるので、開発現状の確認と問題の提起のみにとどめた。

(1) 各社の検討状況のとりまとめ

図表(4.2.2) 2-1にＳＧ２構成各社の検討結果(実測値を含む設計標準値)をとりまとめて示す。なお、サイズはいずれも43Dである。

図表(4.2.2) 2-1　２条とする場合の広帯域ＬＣＸの特性値

種別	80～900MHz用				1500～2600MHz用			
周波数 (MHz) / 電気特性	80	150	280	400	900	1500	1900	2600
	FM	防災	ﾎﾟｹﾍﾞﾙ	防災	携帯電話	携帯電話	PHS	AHS
伝送損失 (dB/km)	6.5～10	9～13	13～20	16～25	27～53	42～60	56～71	90～125
結合損失 (dB)	71～80	65～80	65～77	60～75	60～72	70	65	55～62
輻射角 (°)	-71～-44	1～9	33～37	46～50	72～75	-70～-55	-30～-24	-5～-1

図表(4.2.2) 1-11より次のことが確認される。

- 一般的には80MHz帯～900MHz帯と1500MHz帯～2600MHz帯用に分けられる。
- 広帯域化により、上下限周波数帯での輻射角度がＬＣＸ軸と直角方向から大幅に外れ、軸方向に近くなることがあるため、電界変動が大きくなる等の問題が懸念される。

（２）１条で80MHz帯～2600MHz帯までカバーする広帯域ＬＣＸの検討

試作結果としてＳＧ２構成の１社より紹介された特性を表４に示す。低帯域での結合損失の改善が今後の課題である。

図表(4.2.2) 2-2　１条で80～2600MHzまでカバーする広帯域ＬＣＸの特性値例

周波数 (MHz) / 電気特性	0	150	280	400	900	1500	1900	2600
伝送損失 (dB/km)	10	12	19	22	40	70	90	120
結合損失 (dB)	90	90	85	84	83	77	68	60
輻射角 (°)	-44	9	37	50	75	-55	-24	-1

●研究担当者一覧

インフラ班連絡先（1/2）

テーマ 報告書対応番号			会社名	部署名	担当者	連絡先 TEL	連絡先 FAX
4．1．1 1）	渋滞		オムロン㈱	社会システム統括事業部 道路管理システム事業部 システム技術課	佐藤 政美	03-3436-7167	03-3436-7192
			名古屋電機工業㈱	技術本部 システム開発部 システム開発課	長屋 保視	052-443-3981	052-443-1770
				技術本部 システム開発部 画像処理開発課	谷岩 徹也	〃	〃
			日本電気㈱	無線事業本部 放送映像事業部 映像システム部	石川 昭夫	0423-33-1135	0423-33-1759
			㈱日立製作所	ＩＴＳ推進本部 システム開発グループ	原田 昭雄	03-5295-5976	03-3258-8793
			（とりまとめ）	大みか工場 社会システム開発センタ	佐藤 良幸	0294-52-7266	0294-53-9601
			富士通㈱	複合情報通信ビジネス本部 第二ネットワークシステム統括部 社会システム部	春山 浩	044-814-9012	044-814-9013
			松下通信工業㈱	情報システム事業部 開発技術部	生井 遠朗	045-544-3442	045-544-3444
			三菱電機㈱	鎌倉製作所 電子応用システム部 交通システム課	山本 貴幸	0467-41-6353	0467-41-6938
4．1．1 2）	停止車両		沖電気工業㈱	ＴＳＥセンタ	中潟 紀雄	03-3454-2111	03-3789-8082
				研究開発本部 関西総合研究所	天本 直弘	06-949-5103	06-949-5108
			小糸工業㈱	開発本部 研究開発第１グループ	若林 義道	045-826-6720	045-826-6722
					戸村雄一郎	〃	〃
			住友電気工業㈱	システム事業部 第一技術部 機器開発課	徳留 秀樹	06-466-6542	06-466-5727
			（とりまとめ）	システム事業部 第二技術部 東京システム技術課	井藤 義行	03-5273-7570	03-5273-7574
			㈱東芝	通信システム技術部 情報通信システム技術第一担当	大渕 廣行	03-3457-3141	03-5444-9328
					柴田 恭央	〃	〃
4．1．2 1）	個別実験	路面湿潤1/3	名古屋電機工業㈱	技術本部 システム開発部 システム開発課	長屋 保視	052-443-3981	052-443-1770
				技術本部 システム開発部 画像処理開発課	石川 敏光	〃	〃
2）		路面湿潤2/3	日立電線㈱	オプトロシステム研究所 第３部	金田 正久	0294-25-3835	0294-43-8355
3）		路面湿潤3/3	小糸工業㈱	開発本部研究開発第１グループ	若林 義道	045-826-6720	045-826-6722
					石原 成浩	045-826-6720	045-826-6722
4）		路面凍結	日立電線㈱	オプトロシステム研究所 第３部	宮田 康弘	0294-25-3835	0294-43-8355
5）		霧	住友電気工業㈱	システム事業部 第二技術部 東京システム技術課	根岸 孝男	03-5273-7570	03-5273-7574
			㈱日立製作所	ＩＴＳ推進本部 システム開発グループ	原田 昭雄	03-5295-5796	03-5258-8793
				大みか工場 社会システム開発センタ	佐藤 良幸	0294-52-7266	0294-53-9601
			三菱電機㈱	鎌倉製作所 電子応用システム部 交通システム技術第二課	山本 貴幸	0467-41-6353	0467-41-6938
6）		トンネル煤煙 実験1	住友電気工業㈱	システム事業部 第二技術部 東京システム技術課	根岸 孝男	03-5273-7570	03-5273-7574
		2	日本無線㈱	システム機器事業部 情報システム技術部 道路情報課	西上 秀之	0422-45-9348	0422-45-9366
		3	日立電線㈱	オプトロシステム研究所 第３部	大友 克也	0294-25-3835	0294-43-8355

インフラ班連絡先（2/2）

テーマ 報告書対応番号		会社名	部署名	担当者	連絡先 TEL	連絡先 FAX
7）	越波	松下通信工業㈱	情報システム事業部　開発技術部	生井　遠朗 堀江　竜司	045-544-3442 〃	045-544-3444 〃
8）	飛砂	小糸工業㈱	開発本部 研究開発第１ｸﾞﾙｰﾌﾟ	若林　義道 高岡　直実	045-826-6720 〃	045-826-6722 〃
4．1．3	音センサ	星和電機㈱	第１事業部 技術部 営業技術部 技術第１課 営業技術部 技術第３課	中島賛太郎 中西　智之 村山　光弘	0774-55-8181 〃 〃	0774-58-2034 〃 〃

通信制御班連絡先　(1/2)

テーマ 報告書対応番号		会社名	部　署　名	担当者	連絡先 TEL	 FAX
3．2．1 3．2．2 3．2．3 3．2．4 4．2．1	通信形態 ＬＣＸ基礎実験 通信システムの構成・機能 通信システムの実験結果 ＬＣＸの各種通信特性	沖電気工業㈱	社会基盤システム事業部 ITS事業推進本部	山田　登 野本　和則 佐藤　慎治 有住　正人	03-3454-2111 （内 3439） （内 3615） （内 3951）	03-3798-7645 〃 〃 03-3798-7040
4．2．1	ＬＣＸの各種通信特性	オムロン㈱	社会システム統括事業部 開発センター第２開発課	藤本　卓也	075-957-9838	075-953-7604
4．2．1 4．2．2　1）	ＬＣＸの各種通信特性 指向性ＬＣＸ	昭和電線電纜㈱	光・通信技術部　通信技術第二課 ネットワークシステム開発室	滝水　修 成田　敏浩 松元　信太 大橋　省吾	0224-52-6120 〃 〃 0427-74-8230	0224-52-2041 〃 〃 0427-74-8262
3．2．4 4．2．1 4．2．2　2）	通信システムの実験結果 ＬＣＸの各種通信特性 広帯域ＬＣＸ	住友電気工業㈱	信事業部　技術部　技術課	坂部　至 角田　樹哉	045-853-7220 〃	045-851-9855 〃
4．2．1	ＬＣＸの各種通信特性	㈱デンソー	ＩＴＳﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ部	井上　五郎	0566-25-9908	0566-25-4588
3．2．4	通信システムの実験結果	㈱東芝	官公情報システム技術第一部 通信システム技術部　情報通信システム技術第一担当 日野工場　通信システム技術第二部	島田　亜人 柴田　康弘 鈴木　勝宜 大渕　庶行 柴田　恭央 吉村　雅緒 百瀬　卒	03-3457-2601 〃 〃 03-3457-3141 〃 0425-85-3375 0425-85-3358	03-5444-9289 〃 〃 03-5444-9328 〃 0425-85-3697 0425-85-3697
3．2．4	通信システムの実験結果	日本電気㈱	第１官庁システム事業部　第三システム部	石井　賢二	03-3456-8483	03-3456-6388
3．2．4	通信システムの実験結果	日本無線㈱	システム機器事業部 技術第三部 複合通信課	古瀬　雅之	0422-45-9298	0422-45-9298
4．2．1	ＬＣＸの各種通信特性	㈱日立製作所	自動車機器事業部 第２制御システム設計部	堀井　史朗	029-276-9032	029-275-6015
4．2．1 4．2．2　1）	ＬＣＸの各種通信特性 指向性ＬＣＸ	日立電線㈱	電線事業部 日高工場 通信設計部	土方　久雄 日下　真二	03-5252-3358 0294-43-7405	03-5252-5998 0294-43-3544
4．2．1 4．2．2　1）	ＬＣＸの各種通信特性 指向性ＬＣＸ	㈱フジクラ	情報伝送事業部　情報技術部　技術課	小川　幸三	03-5606-1205	03-5606-1535

通信制御班連絡先　(2/2)

テーマ 報告書対応番号		会社名	部　署　名	担当者	連絡先	
					TEL	FAX
		富士通 (株)	第２ネットワークシステム統括部　Gプロジェクト推進室	安徳　文則	044-754-3295	044-754-3606
4．2．1 4．2．2　1）	ＬＣＸの各種通信特性 指向性ＬＣＸ	古河電気工業(株)	光伝送事業部　技術部	庄子　民雄	03-3286-3491	03-3286-3190
3．2．4	通信システムの実験結果	松下通信工業(株)	情報システム事業部　開発技術部　第２設計室	錦木　耕司	045-544-3432	045-544-3444
3．2．4	通信システムの実験結果	三菱電機(株)	公共システム技術部　第１グループ	今井　直治	03-3218-2522	03-3218-2569
4．2．2　1）	指向性ＬＣＸ	三菱電線工業(株)	自動車部品事業部 電子制御システム開発室 情報通信事業部 通信技術部 高周波技術課	猪俣　輝久 橋本　長 松田　信義 渡辺　圀生	0556-97-3222 〃 0776-85-1286 〃	0556-97-3251 〃 0776-85-1287 〃

車両班連絡先

テーマ		会社名	部署名	担当者	連絡先	
前方道路危険警告機能実験車	自動運転基礎実験車				TEL	FAX
○	○	住友電気工業(株)	ＩＴＳ研究所	溝水　修	06-466-5793	06-465-0596
		(株)デンソー	開発１部	永縄　浩	0566-25-6952	0566-25-4552
○	○	トヨタ自動車(株)	東富士研究所　第１ＦＰ部	橘　彰英	0559-97-7559	0559-97-7884
○	○	日産自動車(株)	総合研究所　車両研究所 総合研究所　電子情報研究所	井上　秀明 佐藤　宏	0468-67-5155 0468-67-5182	0468-65-5699 0468-65-4183
		日本無線(株)	海上機器事業部　技術第２部	山田　耕司	0422-45-9276	0422-45-9922
		日立製作所(株)	自動車機器事業部	高野　和朗	029-276-6710	029-275-6015
○		古河電気工業(株)	研究開発本部　自動車技術開発ｾﾝﾀｰ	橋本　恭介	045-311-1217	045-311-6511
○	○	(株)本田技術研究所	栃木研究所　第８研究ﾌﾞﾛｯｸ　ＩＶ研究	山下　誠一 古川　修	028-677-6597 028-677-7264	028-677-7820 〃
○		マツダ(株)	技術研究所	香川八州男	045-461-1269	045-461-1221
○	○	三菱自動車工業(株)	乗用車開発本部　電子技術部	伊藤　政義	0564-32-5215	0564-33-1218
○	○	三菱電機(株)	自動車機器開発ｾﾝﾀｰ　ＩＴＳ開発部	鈴木　孝善	0792-98-9882	0792-96-1992