



道路走行シミュレータに関する
共同研究報告書（その1）

平成3年7月

建設省土木研究所
財団法人日本自動車研究所

「 Copyright © (1991) 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。」

道路走行シミュレータに関する 共同研究報告書(その1)

建設省土木研究所

道路部 部長

道路交通総括研究官

道路研究室長

道路研究室研究員

道路研究室

〃

柴田 正雄

神崎 紘郎

松村 哲男

岡 邦彦

今長 信浩

宗広 一徳*

*現 企画部企画課

(財)日本自動車研究所

研究担当理事

第二研究部副主任研究員

〃 技術研究員

〃 副研究員

〃 副研究員

岩元 貞雄

平松 金雄

佐藤 健治

相馬 仁

宇野 宏

要 旨

本報告は、建設省土木研究所と(財)日本自動車研究所との共同研究として平成 2年度から平成 4年度までの予定で研究を進めている「道路走行シミュレータに関する研究」について、平成 2年度実施分の成果をとりまとめたものである。

本共同研究は、道路走行シミュレータの開発にあたって必要となる車両運動方程式等について検討を行うものである。そこで本報告書は平成 2年度実施分の研究成果として、エンジン、ブレーキ、ステアリングなど車両挙動を左右する自動車の特性に関する各種の基礎データおよび車両運動の再現方式、ならびに道路走行シミュレータを用いて道路幾何構造に関する実験を再現する場合に必要な道路の構造に関するデータ要素について検討結果をとりまとめたものである。

キーワード：シミュレータ、車両、運動、道路、構造、方程式、データ、走行

— 目 次 —

1. はじめに	1
1.1 共同研究の目的	1
1.2 共同研究の内容	1
2. 車両挙動に関する基礎データの収集	4
2.1 車両挙動運動方程式に関する検討	4
2.2 車両挙動に関する各種の特性	7
3. 車両運動方程式プログラムの開発	15
3.1 車両挙動の再現方式に関する検討	15
3.2 道路幾何構造のデータ要素に関する検討	17
3.3 車両運動方程式プログラムに関する検討	27
4. おわりに	57

参考文献

1. はじめに

1.1 共同研究の目的

近年、道路交通の増大及び運転者の高齢化や女性ドライバーの増加に伴って、道路に対するニーズも多様化してきており、中でも質的な安全性、快適性に優れた道路の整備が強く要求されている。また、都市化の進展により道路の構造が益々複雑化するなかで、より一層安全性、快適性に優れた道路整備の必要性が求められている。

このような社会的要請に対して、従来の実車を用いた現場走行実験や試験走路での実物大道路模型実験だけでは設定条件、被験者等に制約があり、特に高速走行時における各種多様な実験、高齢者・女性・身体障害者を被験者とした実験、人間工学的指標の評価に関する実験等においては被験者の安全性や実験条件の再現性に問題が多く、実施が困難なものとなっている。

そこで、実際走行によるデータ収集が困難な実験についても安全性と再現性を確保しながら広範囲の条件のもとで精度良く実験を行う手段として、道路走行シミュレータの開発が必要である。道路走行シミュレータにおいては、被験者が模擬運転席から見える道路状況に従って、ハンドルやブレーキなどの運転操作を行うが、そのときの道路状況は時々刻々における被験者の運転操作に従った車両の位置や走行速度をもとに計算されたものである必要がある。このようなことから、道路走行シミュレータの開発にあたっては、ハンドルやブレーキなどの運転操作に従った車両の位置や速度を計算するために必要な車両運動方程式等を検討することを目的として平成 2 年度に共同研究を開始した。

1.2 共同研究の内容

本共同研究では、車両の挙動に関する基礎資料をもとに、開発された車両運動方程式プログラムの再現範囲・再現レベル等に関してプログラムの妥当性を検討するとともに、道路走行シミュレータを具体的に開発する際に必要となる道路走行シミュレータにおけるハード機能とソフト機能に関する検討を行う。また、新しい車両特性（ABS、4WS、TCLなど）に関する車両運動模擬の可能性について検討を行う。なお、平成 2 年度～平成 4 年度の 3 年間にわたる共同研究の研究項目としては、表-1.1 に示すとおりである。また、共同研究の研究項目のフローは図-1.1 に示すとおりである。

表-1.1 研究項目および実施年度

研 究 項 目	実 施 年 度		
	2 年 度	3 年 度	4 年 度
(1)道路走行シミュレータにおける車両の挙動に関する検討	—		
(2)道路走行シミュレータにおけるハード機能に関する検討			
(3)道路走行シミュレータにおけるソフト機能に関する検討			
(4)新しい車両特性に関する車両運動模擬の可能性検討			

道路走行シミュレータに関する共同研究に関する研究フロー

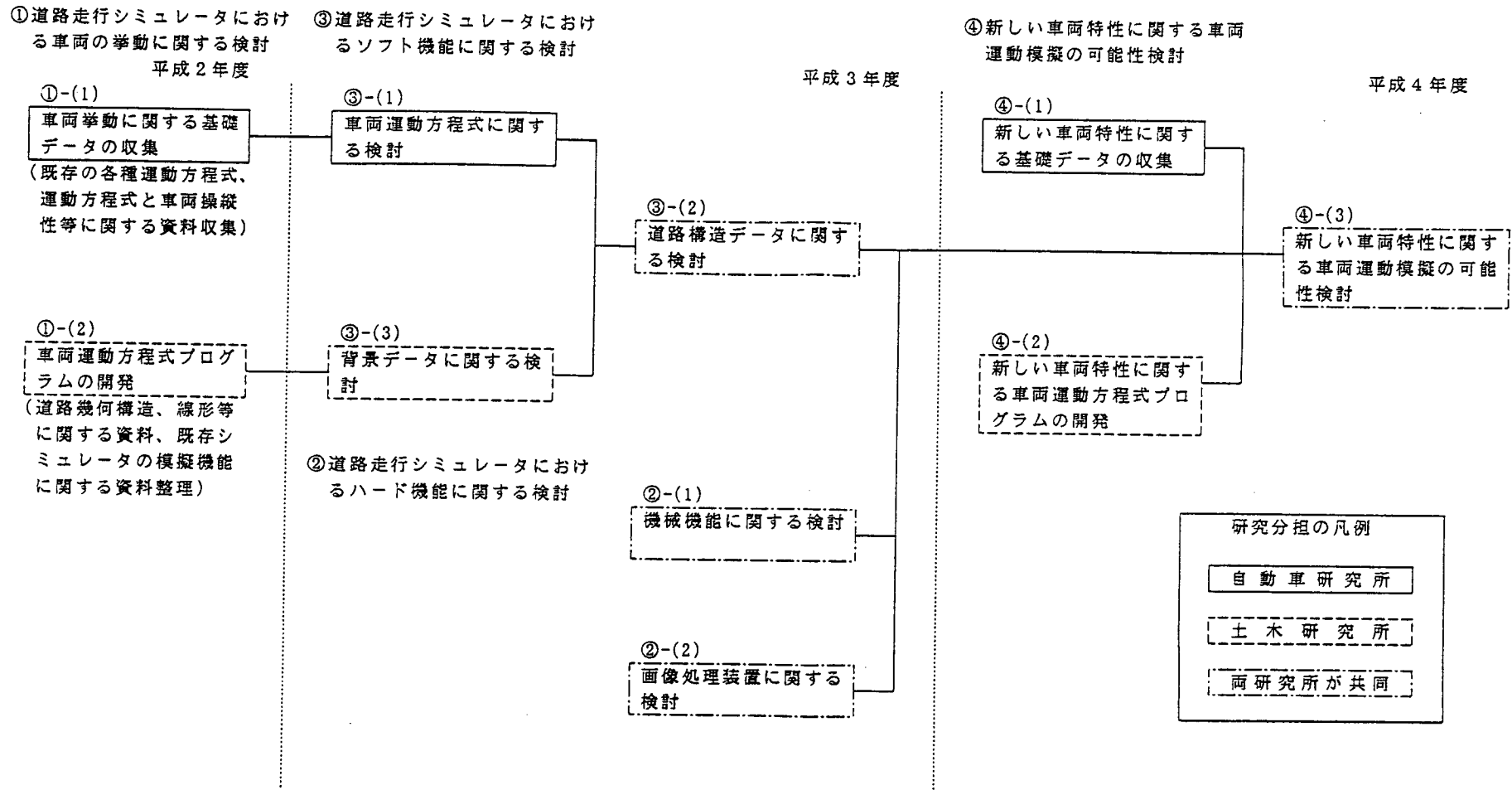


図-1.1 道路走行シミュレータに関する共同研究に関する研究フロー

平成 2年度においては、土木研究所と日本自動車研究所は表-1.2に示す研究項目及び研究分担をもとに研究を実施した。

表-1.2 平成 2年度の研究細目および研究分担

研 究 項 目	研 究 細 目	研究分担	
		PWRI	JARI
(1)道路走行シミュレータ における車両の挙動に 関する検討	1. 車両挙動に関する基礎データの収集		
	①車両挙動運動方程式に関する検討		○
	②車両挙動に関する各種の特性		○
	2. 車両運動方程式プログラムの開発		
	①車両挙動の再現方式に関する検討	○	
	②道路幾何構造のデータ要素に関する検討	○	
	③車両運動方程式プログラムに関する検討	○	

(注)PWRI:土木研究所、JARI:日本自動車研究所

2 車両挙動に関する基礎データの収集

2.1 車両挙動運動方程式に関する検討

車両挙動の計算に必要な運動方程式を立てるためには、運動を記述すべき自由度について検討する必要がある。車両挙動に関連する自由度には、図-2.1に示すような車体重心点（ばね上）に関する6自由度、タイヤ個々の運動に関する6自由度（4輪合計で24自由度）、ステアリング系に関する2～3自由度などがあり、以上の自由度だけでも合計で32～33自由度となる。車体の剛性や足まわりの詳細な機構を考慮すると自由度はいくらでも増える。自由度が増えるとその運動方程式を数値計算するのに時間がかかるばかりでなく、運動方程式の各定数を決定すること自体困難になってくる。したがって、自由度の検討にあたっては目的を熟考し、適切な大きさに設定することが大切である。

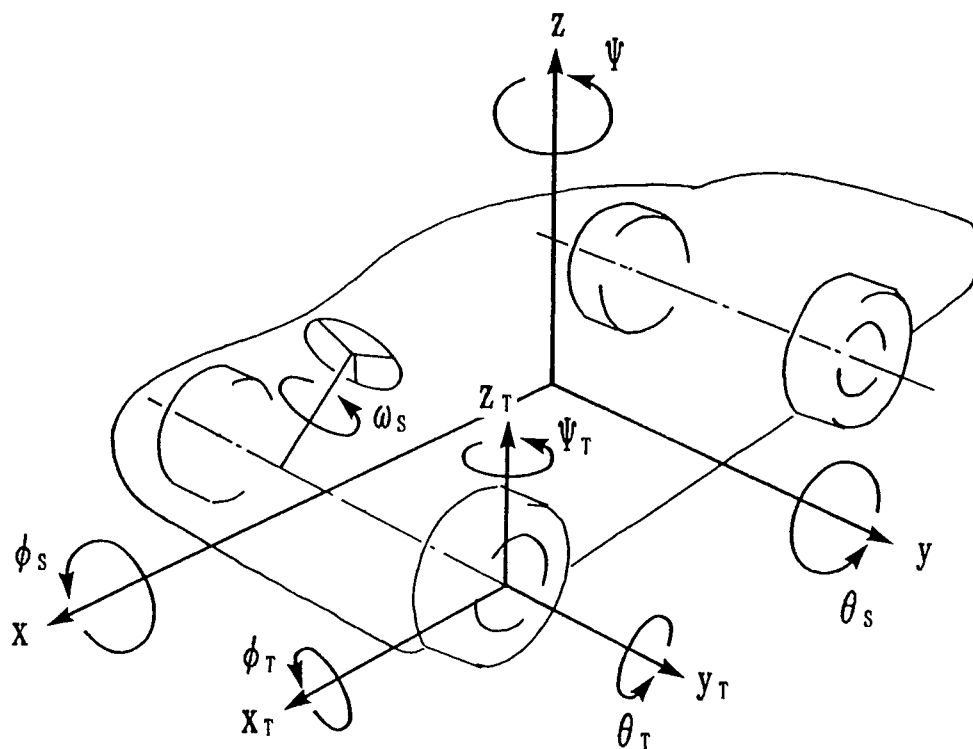


図-2.1 車両挙動に関連する自由度

参考のため、車両挙動の運動モデルが関連するこれまでの研究を概観してみると次のようになる。まず、ドライバーの運転動作の解明を目的とした研究では比較的小さい自由度の運動モデルが採用されている。たとえば、文献1)～3)では車体の横方向とヨー方向に関する2自由度の運動モデルが用いられており、文献4)、5)では車体の前後またはロール方向の自由度を加えた3または4自由度の運動モデルが用いられている。これらの研究はドライバーの運転動作をできるだけ単純化して理解しようと試みたものであり、車両挙動の運動モデルとしてはむしろ簡単なものほど利用価値があったと思われる。

このような研究に対し、車両挙動そのものの解明を目的としたものでは自由度も比較的大きくなっている。Okada ら⁶⁾は車体の横、上下、ピッチ、ロール、ヨーの5自由度とステアリング系2自由度を合わせた7自由度のモデルを用いて、定常円旋回、スラロームおよび直線走行（外乱入力）のシミュレーションを行っている。ただし、車速を一定としているため前後方向の自由度が省略されている。また、Jindra⁷⁾はばね上6自由度、タイヤの上下動と回転についてそれぞれ4自由度（4輪分）、ステアリング系3自由度の合計17自由度の運動モデルを用い、操縦安定性の解析を目的としたシミュレーションプログラムの開発を行っている。さらに、自由度の大きい運動モデルを採用している例として、荒井ら⁸⁾は車両の開発・設計を目的に、自動車の振動特性、操縦安定性、限界特性等を解析するための自由度32（ばね上6、タイヤ重心4輪×6、ステアリング系2）の運動モデルを利用している。なお、ここではサスペンション系等の拘束条件76、その他の釣り合い式4、の合計112の基本式とタイヤ、ラバーブッシュ、ばね、ダンパー、変換等に関する約300の補助式が運動方程式に関連して用いられており、かなり大規模なプログラムである。

次にドライビングシミュレータにおいて採用されている運動モデルの自由度について述べる。ドライバーの運転動作を研究するためのドライビングシミュレータとして、藤岡ら⁹⁾はパーソナルコンピュータで構成したビジュアルシステムだけの簡易なシミュレータにおいて、ばね上3自由度（前後、横、ヨー）の運動モデルを用いている。また、吉本¹⁰⁾は横、ヨーの2自由度にステアリング系の2自由度を加えた計4自由度の運動モデルを、モーションシステムを有するシミュレータに利用している。これらは比較的小規模のシミュレータであるが、車両の設計・開発や限界時のドライバー特性の解析など多目的な用途を意図したシミュレータとして、国内ではマツダのシステム¹¹⁾がある。ここでは、ばね上5自由度（前後、横、ヨー、ロール、ピッチ）、タイヤの回転4自由度（4輪分）、ステアリング系2自由度、エンジン回転1自由度の計12自由度の運動モデルが採用されている。国外では、VTI¹²⁾が8自由度（前後、横、ヨー、タイヤの回転4、エンジン1）、ベントツ¹³⁾が14自由度（ばね上6、タイヤ関係8）の運動モデルを採用している。

以上、運動モデルの自由度についてこれまでの研究例を述べた。整理した結果を表-2.1に示すが、ドライバーの運転動作の解析を目的としたものほど自由度は少なく、車両挙動の解析や設計・開発を目的としたものほど大きな自由度になっているようである。ただし、いずれにしても基本となる自由度はばね上に関するものである。シミュレータにおいて車両挙動を計算する第一の目的は、車両の道路空間における位置と向きを決定することにあるが、そのためには、車体重心点の前後、横、ヨーの3自由度が最低限必要になる。これに加え、ドライバーが見ている前方視野に影響を及ぼす上下、ロール、ピッチの3自由度が重要な要素と考えられる。したがって、基本的な車両挙動を模擬するには3～6自由度の運動について重視すればよいと考える。

表-2.1 運動モデルの自由度

文献	目 的	自由度	自 由 度 の 内 訳
1~3	ドライバーの運転動作の研究	2	横, ヨー
4	同 上	3	前後, 横, ヨー
5	同 上	4	前後, 横, ロール, ヨー
6	車両挙動のシミュレーション	7	横, 上下, ロール, ピッチ, ヨー ステアリング(2)
7	同 上	17	ばね上(6), タイヤ(8), ステア リング(3)
8	車両の設計・開発	32	ばね上(6), タイヤ(24), ステア リング(2)
9	ドライバーの運転動作の研究	3	前後, 横, ヨー
10	同 上	4	横, ヨー, ステアリング(2)
11	多 目 的	12	前後, 横, ロール, ピッチ, ヨー タイヤ(4), ステアリング(2), エ ンジン(1)
12	同 上	8	前後, 横, ヨー, タイヤ(4), エ ンジン(1)
13	同 上	14	ばね上(6), タイヤ(8)

2.2 車両挙動に関する各種の特性

2.2.1 エンジン特性

(1) トルク特性

エンジン回転数に対する軸トルクは、スロットル弁により流路が妨げられるため図-2.2のようなエンジン回転（吸入空気の流速）の上昇とともにトルクが減少する傾向となる。

(2) 機械損失特性

エンジンを構成する可動部品の摩擦損失・エンジンのポンプ仕事損失・補機類の駆動損失などの合計がエンジンの機械損失となり、エンジンプレーキ時には図-2.3のような損失トルクとなる。

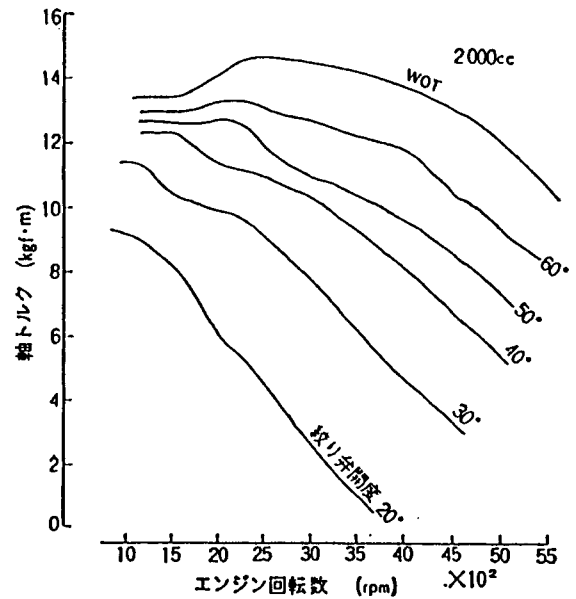


図-2.2 エンジンの軸トルク特性例¹⁾

2.2.2 自動変速機の特徴

(1) シフトレバーの機能

〔Pレンジ〕 駐車する場合に使用するレンジで、変速機の出軸が固定された状態となる。

〔Rレンジ〕 後退走行する場合に使用するレンジで、固定されたギヤ比で後退方向に動力が伝わる。

〔Nレンジ〕 停車時または惰行などの場合に使用するレンジで、エンジン側と出力軸側が分離された状態となる。

〔Dレンジ〕 前進走行する場合に使用するレンジで、走行状態に応じて1速から3速あるいは4速まで自動変速される。

〔2レンジ〕 エンジンプレーキが必要な時に使用するレンジで、2速に固定される

〔1レンジ〕 強力なエンジンプレーキが必要な時に使用するレンジで、1速に固定される。

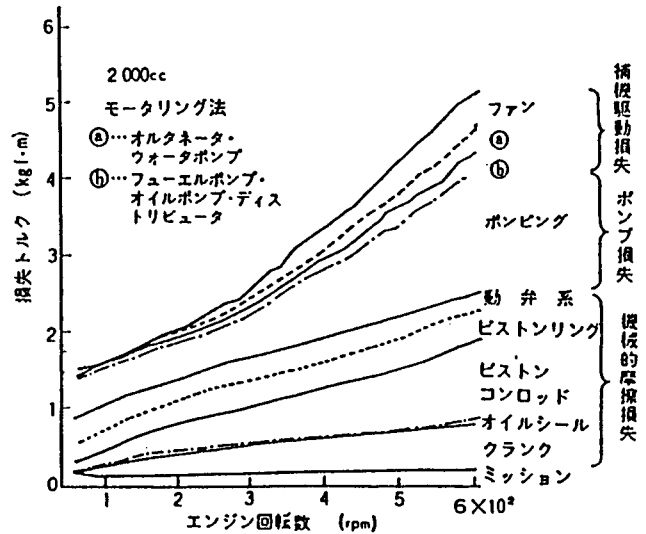


図-2.3 エンジンの機械損失特性例¹⁾

(2) 変速スケジュール

Dレンジで走行中、車速およびスロットル開度に応じて最適なギヤ位置に自動的に設定される。この特性を表したものが図-2.4に示すような変速スケジュールである。低負荷時には燃費や騒音などを考慮して低いエンジン回転で変速し、高負荷時にはエンジンの動力性能が有効に使えるように最大出力回転数付近で変速するのが一般的である。なお、同一スロットル開度におけるシフトアップ点よりシフトダウン点の車速が低いのは、変速ハンチングを抑えるためである。

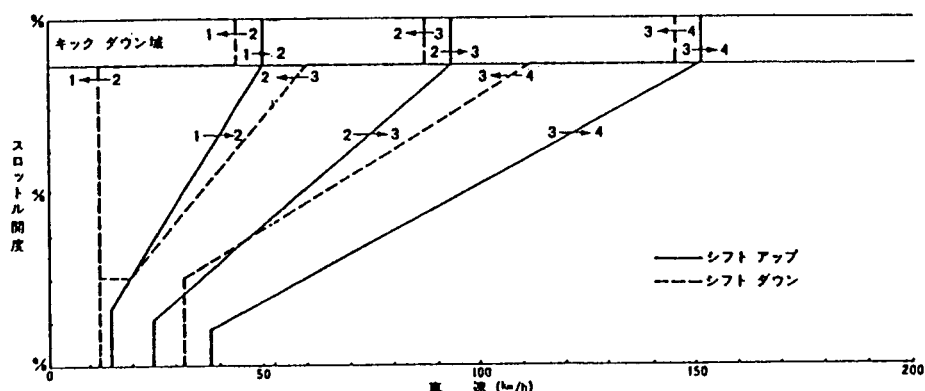


図-2.4 自動変速機の変速スケジュール例¹⁵⁾

2.2.3 走行抵抗特性

(1) ころがり抵抗

概略的にみれば、ころがり抵抗は車両重量に比例し、車速にはほとんど依存しないと考えることができる。市販車の多くは、0.015～0.021のころがり抵抗係数となる。

$$R_r = K_r \times W$$

R_r : ころがり抵抗(kgf)

K_r : ころがり抵抗係数

W : 車両重量(kgf)

(2) 空気抵抗

空気抵抗は車速の二乗に比例する。市販車の多くは、空気抵抗係数が0.0035～0.0044となる。なお、ここで扱う空気抵抗係数は、一般に流体力学で使われるものと異なり簡単化したものである。

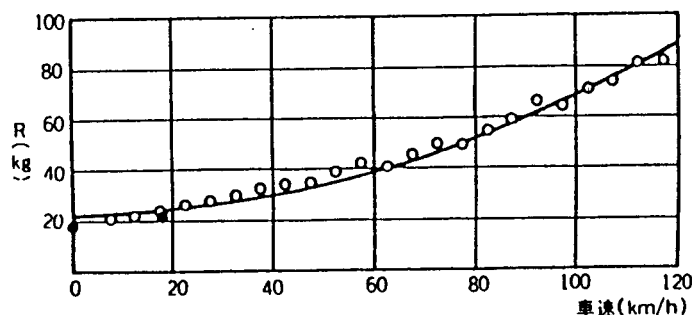


図-2.5 走行抵抗の測定例¹⁶⁾

$$R_a = K_a \times V \times V$$

R_a : 空気抵抗(kgf)

K_a : 空気抵抗係数

V : 車速(km/h)

(3) 勾配抵抗

勾配抵抗は車重の正弦成分となる。

$$R_s = W \times \sin(\theta)$$

R_s : 勾配抵抗(kgf)

θ : 路面縦断勾配

平坦路を惰行走行したときの走行抵抗（ころがり抵抗と空気抵抗の和）の測定例を図-2.5に示す。

スロットル開度全開時のエンジントルク特性、自動変速機の特（トルクコンバータ）および走行抵抗特性をまとめて表したものが、図-2.6に示す走行性能線図である。これにより、スロットル全開で走行した場合のエンジン回転および余裕駆動力などを知ることができる。図中で駆動力曲線が左上がりになっているのはトルクコンバータの働きによる。

2.2.4 ブレーキ性能

(1) ブレーキ効力

ブレーキペダルの踏力に対する車両の減速度を表す性能で、JASO C402-7 9では 0.6G の減速度を得るのに必要なペダル踏力を 90kgf以下であることと規定しているが、市販車の多くは、7~13kgf の踏力となっている。なお、踏力に対する減速度の特性は、図-2.7のような傾向となる。

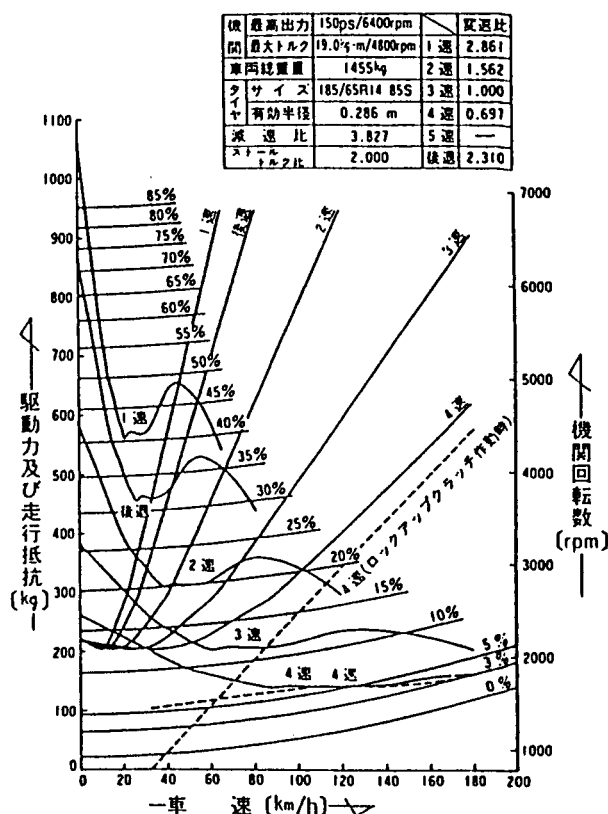


図-2.6 走行性能線図の例¹⁵⁾

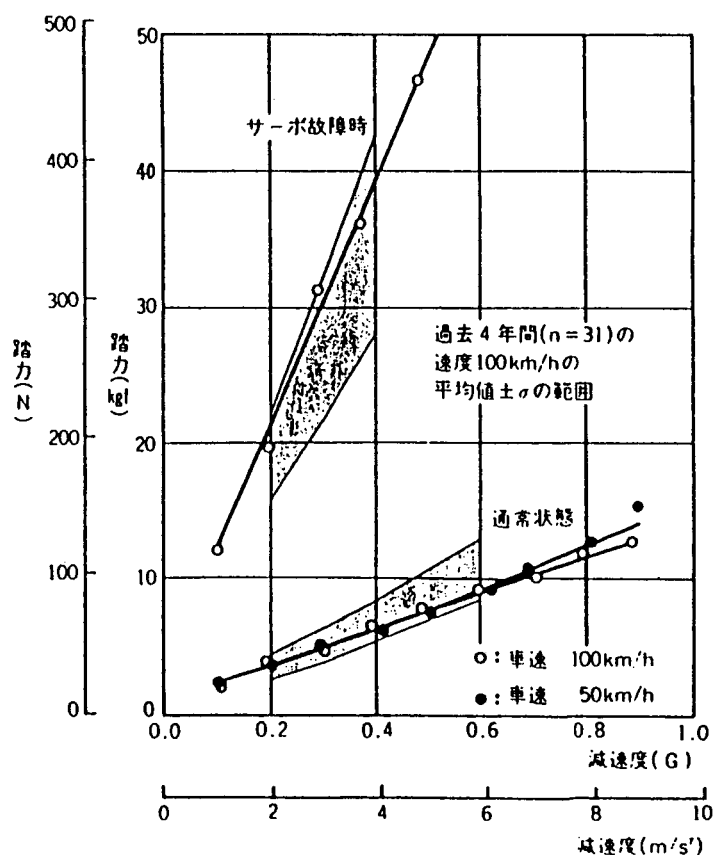


図-2.7 ブレーキ効力試験結果の例¹⁶⁾

(2) 駐車ブレーキ

JASO C402-79では 20%の勾配路面で停車するために必要な操作力を、手動式の場合で 40kgf以下、足動式の場合で 60kgf以下と規定しているが、市販車の多くは、30%の勾配路面でも以下の操作力で停止を維持する。

- ・手動式で上り勾配の場合 23～36kgf
- ・手動式で下り勾配の場合 21～35kgf
- ・足動式で上り勾配の場合 30～52kgf
- ・足動式で下り勾配の場合 29～45kgf

2.2.5 ステアリング系の特性

(1) 操舵角と前輪実舵角

ステアリングホイールを回したときの前左右輪の切れ角（実舵角）は図-2.8のようになる。市販車の多くは、操舵角と平均実舵角の比であるオーバーオールステアリングレシオ（操舵角を±300度の範囲に限定）が、15.7～19.4となる。

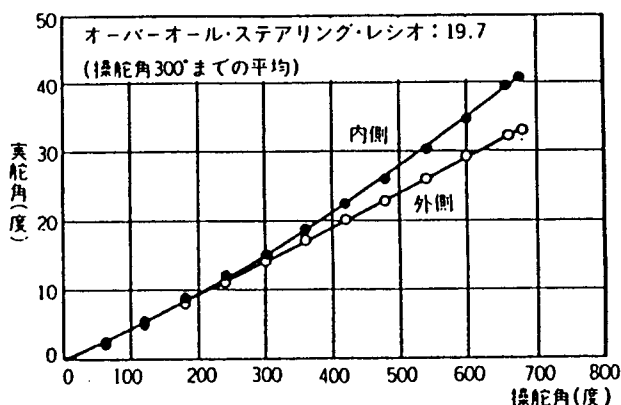


図-2.8 ステアリングレシオの測定例¹⁾

(2) すえ切り操舵力特性

停止状態でステアリングホイールを回したときの操舵力の大きさは図-2.9のような特性となる。

図-2.8の測定例はパワーステアリング装着車（PS車）であり、市販車の多くは、一定になった部分の操舵力が 1.9～3.3kgfとなる。

(3) 旋回走行時の保舵力特性

旋回走行中は、タイヤにセルフアライニングトルクが発生することによりステアリングホイールに復原力が作用する。操舵角を一定に保って旋回したときの復原力

（保舵力）特性は、図-2.10のようになる。

(4) スラローム走行時の操舵力特性

積極的に操舵した場合の操舵力は、ステアリング系の摩擦力や慣性力が加わるため旋回走行

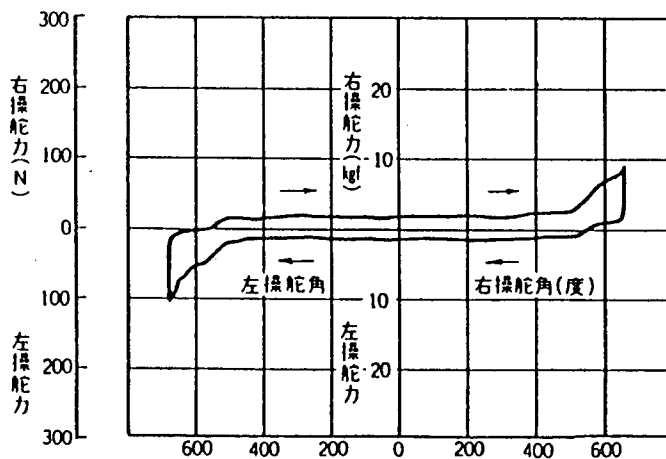


図-2.9 すえ切り操舵力の測定例¹⁾

中の保舵力よりも大きくなる。3秒周期でスラローム走行したときの最大操舵力は図-2.11 のようになる。

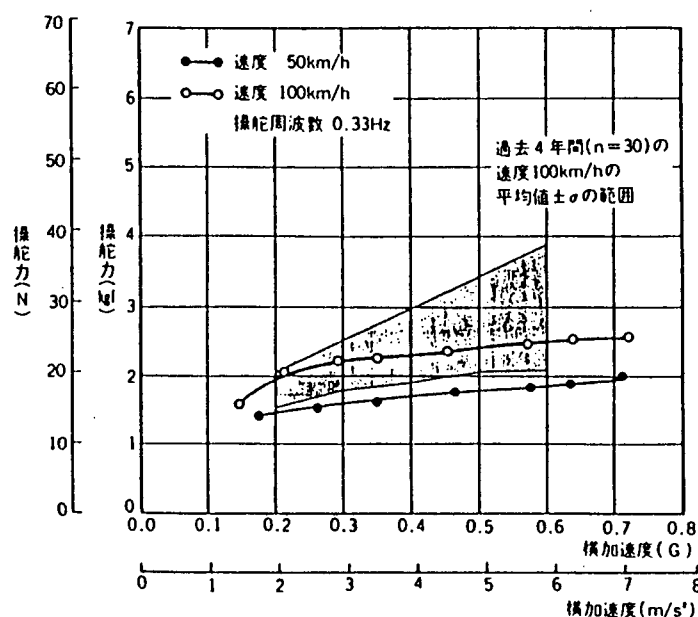


図-2.10 旋回時保舵力の測定例¹⁾

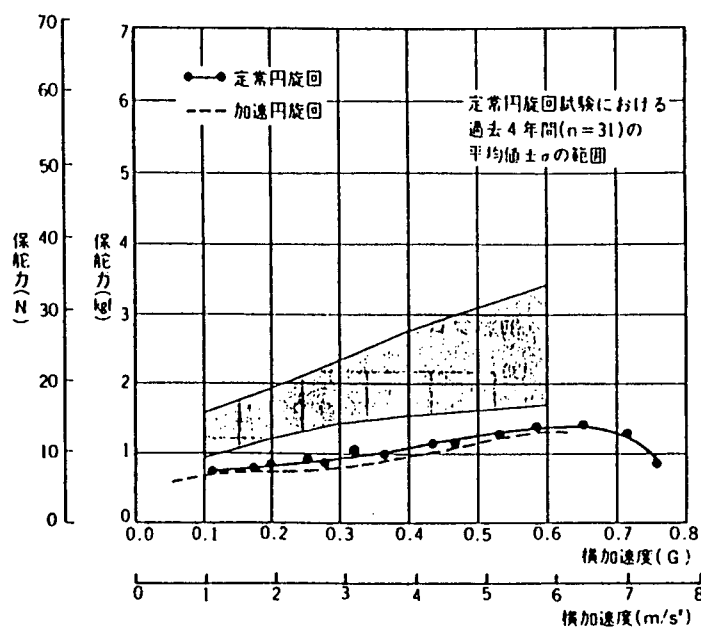


図-2.11 スラローム操舵力の測定例¹⁾

2.2.6 タイヤ特性

(1) 駆動制動特性

車両が加減速する際のタイヤの駆動制動特性は、一般に図-2.12 のようにスリップ率の関数として表される。図には制動特性のみを示しているが、駆動特性も概ね同様とみなすことができる。一般の舗装路では、スリップ率 10%~15% で最大の力が得られる。

(2) コーナリング特性

車両が旋回運動する際のタイヤのコーナリング特性は、一般に図-2.13 のようにスリップ角の関数として表される。図にはサイドフォースを示しているが、これはタイヤの向きに対して直角な力の成分である。これに対して速度の向きに直角な力の成分をコーナリングフォースと呼んで区別している。一方、旋回運動中にステアリングの復元力として作用するセルフアライニングトルクは、一般にスリップ角に対して図-2.14 のようになる。サイドフォース・セルフアライニングトルクとも図中に示した荷重の他に、タイヤの種類・タイヤサイズ・タイヤ空気圧によっても変化する。

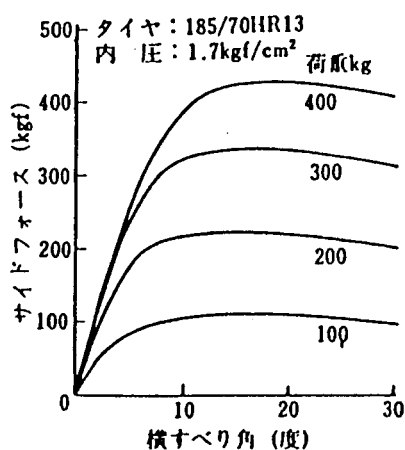


図-2.13 タイヤのサイドフォース特性例¹⁾

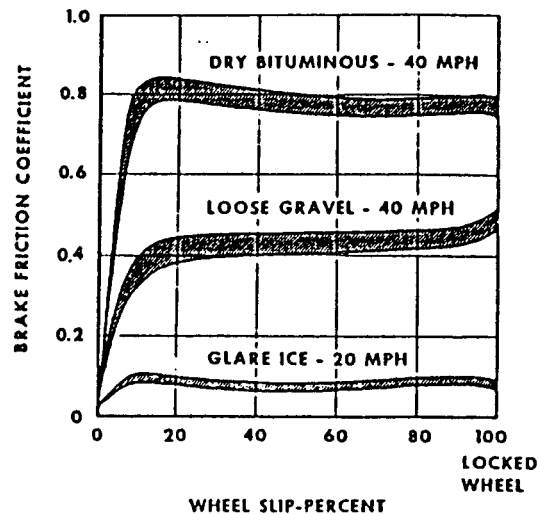


図-2.12 タイヤの制動特性の例¹⁾

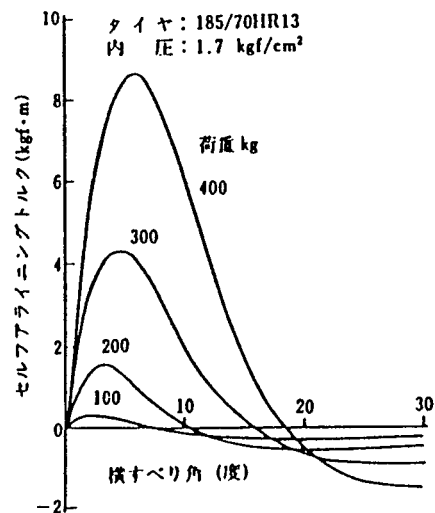


図-2.14 タイヤのセルフアライニングトルク特性例¹⁾

(3) 旋回走行中の駆動制動特性

旋回走行中に駆動や制動が加わったことを想定した場合のタイヤ特性は図-2.15' のようになる。図ではスリップ角が大きくなると半円状の傾向を示している。これは、タイヤと路面の摩擦限界が縦方向と横方向の合力（ベクトル和）によるということを示している。一般にタイヤと路面の摩擦限界は、

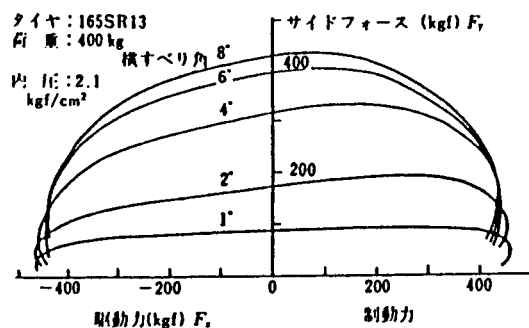


図-2.15 駆動力・制動力に対するサイドフォースの特性例¹⁾

図-2.16 に示すような摩擦円の概念で
考えることが多い。

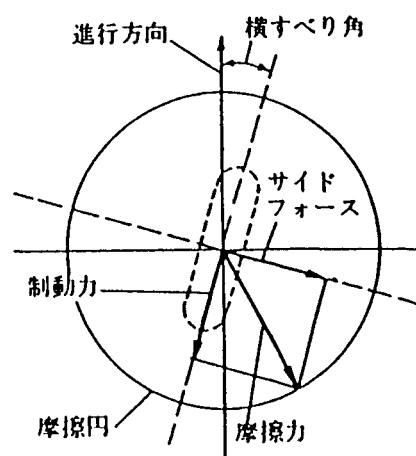


図-2.16 タイヤ摩擦円の概念¹⁴⁾

参考文献

- 1) Weir, D.H. and McRuer, D.T. : Measurement and Interpretation of Driver Steering Behavior and Performance, SAE Paper, No.730098, 1973
- 2) 佐野彰一, 古川 修, 小口泰平, 中谷弘能: 車両のヨー応答特性と横加速度応答特性が人間-自動車系の性能に及ぼす影響, 自動車技術会論文集, No. 26, 1983
- 3) 平松金雄, 相馬 仁: 車線変更時のドライバ挙動のモデル化——プログラム操舵モデルの有用性——, 自動車技術会論文集, No. 38, 1988
- 4) 相馬 仁, 平松金雄: 操舵と制動による障害物回避のシミュレーション, 自動車研究, 第12巻, 第3号, 1990
- 5) Reddy, R.N. and Ellis, J.R. : Contribution to the Simulation of Driver-Vehicle-Road System, SAE Paper, No.810513, 1981
- 6) Okada, T., Takiguchi, T., Nishioka, M., and Utsunomiya, G. : Evaluation of Vehicle Handling and Stability by Computer Simulation at the First Stage of Vehicle Planning, SAE Paper, No.730525, 1973
- 7) Jindra, F. : Mathematical Model of Four-Wheeled Vehicle for Hybrid Computer Vehicle Handling Program, DOT-HS-801800, 1976
- 8) 荒井芳一, 酒井重俊, 鷲頭正一: 自動車の運動性能解析シミュレーションモデル, 自動車技術会論文集, No. 15, 1978
- 9) 藤岡健彦, 鄭 東勲, 藤井 誠: 簡易型ドライビングシミュレータの制作, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 881, 1988
- 10) 吉本堅一: 体感を発生できる運転模擬装置の開発, 昭和58年度科学研究費補助金研究成果報告書, No. 57850071, 1984
- 11) 末富隆雅, 堀口明伯, 畑 秀二: 大振幅モーション・システムをもつドライビング・シミュレータ, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 902, 1990
- 12) Nordmark, S. : VTI Driving Simulator (Mathematical Model of a Four-wheeled Vehicle for Simulation in Real Time), VTI RAPPORT Nr 267A, 1984
- 13) Drosdol, J. and Panik, F. : The Daimler-Benz Driving Simulator A Tool for Vehicle Development, SAE Paper, No.850334, 1985
- 14) 五味 努監修: 自動車工学全書4 ガソリンエンジン, 山海堂, 1980
- 15) 日産自動車: 新型車解説書
- 16) モータファン, 三栄書房
- 17) Harned, J.L., Johnston, L.E., and Scharpf, G. : Measurement of Tire Brake Force Characteristics as Related to Wheel Slip (Antilock) Control System Design, SAE Paper, No.690214, 1969
- 18) 自動車技術会: 新編自動車工学便覧, 第2編, 1982

3. 車両運動方程式プログラムの開発

3.1 車両挙動の再現方式に関する検討

ドライビングシミュレータは、従来から自動車メーカーや自動車関係研究機関などで、車両開発のための車両運動のシミュレーション実験や人間-自動車系の基礎研究用として多く使用されている。表-3.1国内外の代表的なドライビングシミュレータの特徴を示す。

海外では、1972年にVW（フォルクスワーゲン）がジンバル式の3自由度（ローリング、ピッチング、ヨーイング）座席可動式ドライビングシミュレータを製作した。画像は電子回路方式のアナログ演算による線図をモノクロでTV表示し、視野は水平方向約50度、上下30度である。また、1983年にはスウェーデンのVTI（道路交通研究所）が慣性力を模擬できるジンバル式とレール式を併用した3自由度（ローリング、ピッチング、横方向）のシミュレータを作成した。画像はCGI (Computer Graphic Image)方式でカラー画像を発生し、3つのプロジェクターで水平方向180度、上下方向30度の広い視野が得られる。1984年春にはベンツが現在世界最大規模のシミュレータを製作し、世界各関係機関の深い関心を集めている。このシミュレータは、大型フライトシミュレータと同じく、6本の油圧シリンダーで6自由度の運動を発生し、最大1.5Gの加速度を模擬できる。画像は、高度のCGI方式と6本のプロジェクターにより水平方向180度、上下方向30度のワイドスクリーン上に、カラーで鮮明な画像を発生させることができる。

一方日本では、1978年に(株)豊田中央研究所が実車・ドラム式ドライビングシミュレータを製作した。画像にはレーンマーク用と道路風景用の2つの映像が合成されて表示する合成映写方式が採用され、アクセル操作、ブレーキ操作およびハンドル操作に対応して画像が変化するようにになっている。また、1985年には、東京大学工学部で共働支持式の4自由度（ローリング、ピッチング、ヨーイング、上下方向）のものが開発され、現在わが国で最も進んだ座席可動式ドライビングシミュレータである。画像は、CGI方式によるカラー画像であり、視野は水平36度、上下30度になっている。1989年には、警察庁が運転者の教習用として、座席固定式のシミュレータを開発しており、交通事故危険箇所におけるドライバーの運転特性の調査に用いられている。

表-3.1 諸外国におけるドライビングシミュレータ

機 関	Volks Wagen	道路交通研究所	Daimler Benz	豊田中央研究所	東 京 大 学	警 察 庁	建設省土木研究所
	西 ド イ ツ	スウェーデン	西 ド イ ツ	日 本	日 本	日 本	日 本
開 発 目 的	・人間と自動車系の研究	・車両開発 ・人間と自動車系の研究	・車両開発 ・人間と自動車及び道路環境系の研究	・人間と自動車系の研究	・人間と自動車系の研究	・ドライバー特性 (運転教習用)	・道路の構造に関する研究
開 発 年 次	1972年	1983年	1984年	1978年	1985年	1989年	1990年
画像発生方法	・TV表示 ・ブラウン管 ・視野角(水平50° 上下30°)	・CGI画像(カラー) ・プロジェクタ3台 ・視野角(水平180° 上下35°)	・CGI画像(カラー) ・プロジェクタ6台 ・視野角(水平180° 上下30°)	・合成映写方式 ・プロジェクタ2台 ・視野角(水平60° 上下26°)	・CGI画像(カラー) ・ブラウン管 ・視野角(水平36° 上下30°)	・CGI画像(カラー) ・ブラウン管 ・視野角(水平108° 上下30°)	・CGI画像(カラー) ・ブラウン管(予定) ・視野角(水平40° 上下30°)
道路環境条件	単純な道路風景の10km走行コース。	昼、夜、霧と幾つかの信号、凍結路面と乾燥路面。	アウトバーンなど18パターン of 道路条件。各々について明るさ、天候等を設定。	風景画とレーンマークを合成して表示。	単純な道路風景	5kmの走行コースに演習走行10場面及び注意走行3場面。	主として高速道路。昼、薄暮、夜間、晴、曇、雨、雪、霧等を想定。
模擬運転席	座席可動式 ジンバル式	実車式、ジンバル式 レール式	実車式 6軸油圧シリンダー	実車式 ドラム式	共働支持式 4軸油圧シリンダー	座席固定式	実車式 座席振動式
車両運動計算	簡単な3自由度モデル	簡単な3自由度モデル	厳密なモデル	簡単な3自由度モデル	代表的な簡略モデル	代表的な簡略モデル	標準的な6自由度モデル
動的模擬	3自由度 ①ローリング ②ピッチング ③ヨーイング	3自由度 ①左右 ②ローリング ③ピッチング	6自由度 ①前後 ②左右 ③上下 ④ローリング ⑤ピッチング ⑥ヨーイング	3自由度 ①左右 ②ピッチング ③ヨーイング	4自由度 ①上下 ②ローリング ③ピッチング ④ヨーイング	なし	座席振動のみ
音響システム	電子回路合成式 エンジン音 タイヤ音 風切音	電子回路合成式 エンジン音 パンク音 風切音	電子回路合成式 エンジン音 タイヤ音 風切音等	再生音式 エンジン音	再生音式 エンジン音	電子回路合成式 エンジン音 速度警告音 方向指示器音等	電子回路合成式 エンジン音 タイヤ音 風切音 方向指示器音等

3.2 道路幾何構造のデータ要素に関する検討

(1) 走行の前提条件

走行速度は、最高200 Km/hを目安とする。

道路の区分は、第1種（地方部）1・2級、第2種（都市部）1級を目安とする。

(2) データ要素の抽出

道路走行模擬装置により道路構造に関する実験を再現する場合、入力条件あるいは設定条件として必要となる、道路およびその付属施設のデータ要素の抽出を、道路構造令と道路技術基準等を勘案して行なった。抽出したデータ要素の一覧表を表-3.2に示す。

(3) 計算機の機能および性能を勘案する必要があるデータ要素の検討

道路構造例にもとづき設定したデータ要素に基づいて、計算機の機能および性能を勘案する必要があるデータ要素を表-3.3に示す。

表 -3.2 道路走行模擬装置による道路構造に関する実験のデータ要素

項目		デ　　タ　　要　　素	実験に関連するデータ要素				
			実験 1	実験 2	実験 3	実験 4	
1	横断面の構成	1) 車線数	○	○	○	○	
		2) 車線幅員	○	○	○	○	
		3)中央帯	① 中央分離帯の形式	○	○	○	○
			② 中央帯の幅員	○	○	○	○
			③ 側方余裕幅、側帯	○	○	○	○
4) 路肩の幅員	○	○	○	○			
2	線平面	1) ① 曲線半径	○	○	○	○	
			② 曲線部の片勾配	○	○	○	○
		2) ① 曲線長	○	○	○	○	
			② 緩和区間	○	○	○	○
	面	3) 片勾配のすりつけ	○	○	○	○	
		4) 車線数の増減の場合のすりつけ	○	○	○	○	
	縦断	5) 縦断勾配	○	○	○	○	
		6) 登坂車線	○	○	○	○	
		7) 縦断曲線	○	○	○	○	
	他	8) 横断勾配	○	○	○	○	
9) 合成勾配		○	○	○	○		
3	道路構造	1) 道路構造の形式	○	○	○	○	
		2) インターチェンジの形式		○			
		3) トンネル構造の断面形状			○		
4	道路の付属施設	1) トンネル照明施設			○		
		2) 連続照明施設	△	△	○	△	
		3) 局部照明			○		
		4) 区画線	○	○	○	○	
		5) 視線誘導標		○	○		
		6) 防護柵	○△	○△	○	○△	
		7) 植樹帯(環境施設帯)の植栽	○	○	○		
		8) 中央分離帯の植栽	○	○	○		
		9) 遮音壁形状	○		○		
		10) 道路標識	△	△	○	△	

注1) 実験 1 : 高速走行時の道路横断面構成と走行性に関する実験
 実験 2 : 高速走行時の道路線形の組み合わせと走行性に関する実験
 実験 3 : 高速道路の沿道施設が、運転者に及ぼす人間工学的な影響に関する実験
 実験 4 : 高速走行時の車線変更挙動に関する実験

注2) ○: データ変更可能もしくは、異なった数水準の区間設定を必要とする要素
 ○: 標準値等の一定水準に固定する要素
 無印: 必要としない要素または、実験範囲によっては必要とされる要素
 △: 再現性を高めるために必要な要素

注3) トンネル照明の各データ要素について、輝度、照明方式、配置を設定する

表 -3.3 道路走行模擬装置のデータ要素

項目	データ要素		データ範囲	標準値	計算機の機能、性能を要勘案
1 横断面の構成	1) 車線数		片側1車線以上、上下分離、非分離	片側2車線:上下分離	
	2) 車線幅員		3.25, 3.5, 3.75, 4.0 m以上、とその幅員の組合せ	3.75m	
	3) 中央帯	① 中央帯の形式	縁石を設けない中央帯		
		② 中央帯の幅員	施設帯なし1.75m以上、施設帯あり3.5m以上	施設帯あり4.5m	
		③ 側方余裕幅、側帯	0.75m以上、0.25m以上	1.25m、0.75m	
	4) 路肩の幅員		1.25m以上	2.50m	
2 線形	1) 平面	① 曲線半径	120 m以上		
		② 曲線部の片勾配	10%以下		
		2) ① 曲線長 ② 緩和区間	100m以上		
			50m以上、 $A \geq 100$		○
	3) 片勾配のすりつけ	すりつけ割合	1/125以上		
		すりつけ長	すりつけ割合から算出される長さ以上		
	4) 車線数の増減の場合のすりつけ		すりつけ率1/40以上、すりつけ長130m以上		
	5) 縦断	縦断勾配	8%以下		
		登坂車線	幅員3m、テーパ(始点側45m・終点側60m)、片勾配0~5%		
		縦断曲線	縦断曲線半径[m]:凸1,400以上凹1,000以上、縦断曲線長:50m以上		
3 道路構造	1) 道路構造の形式		平面構造、片側盛土・片側切土		
		2) インターチェンジの形式			
		3) トンネル構造(断面形状)			
	2) 道路の付属施設	1) トンネル照明施設	高さ4m以上、間隔10m以下		○
		2) 連続照明施設	高さ8m以上、間隔48m以下		○
		3) 局部照明			
	3) 道路の付属施設	4) 区画線	幅15cm、点線:長さ8m、間隔12m		○
		5) 視線誘導標	高さ:本線左側路側=120cm、その他の場所=90cm 間隔:50m以内		
		6) 防護柵	支柱間隔:路側用7.0、分離帯用6.0		○
	4) 道路の付属施設	7) 環境施設帯(植樹帯)の植栽	幅員20m(切土、盛土又は道路上の高架)、うち植樹帯幅員;規定なし		
		8) 中央分離帯の植栽	規定なし		
		9) 遮音壁形状	高さのピッチは、50cm単位		
		10) 道路標識	案内標識、規制標識		

3.2.1 データ要素の要件に関する検討

画像更新速度による逆進現象についての検討

1) 検討目的

道路走行模擬装置の画像更新は1/30秒で行うが、路側の街灯や防護柵、車線区画線などの等間隔配置物は、その間隔によっては車両が前進しているにもかかわらず画面奥の方へ移動し、あたかも車両が後進しているように見えてしまうことがある。

このような逆進錯視を生じない間隔を検討したものである。

2) 検討結果

200km/h走行の簡易なシミュレーション実験をPC-9801で行なったところ「最小間隔5mが望まれる」ことが分かった。画像更新時間(1/30秒)に車両が進行する距離の少なくとも2.7倍以上の間隔を設けないと錯視が生じ、前進感覚が損なわれる。

3) 理論的考察

街灯のように車両の進行方向に列を作っている物体では前方のもの程小さく見える(前方向間隔が小さくなる)。そのため、となりあった柱同志の間隔(画面上)は、遠方程狭くなるが、狭まる割合は比例関係ではないため、柱が近付くように見えるか遠去かるように見えるかは単純に定まらない。このため、PC-9801による簡易な実験を行った。

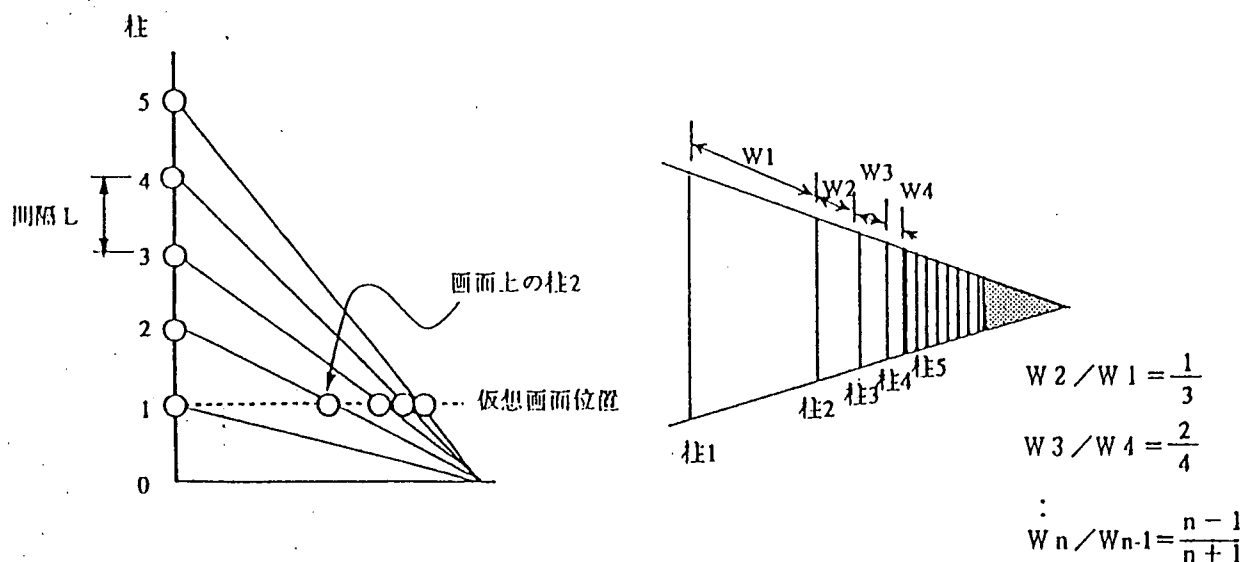


図3.1 等間隔柱の画像表示模式図(平面図)

4) 画像による実験結果

PC-9801による簡易な実験を行ったところ、以下のようであった。

条件

- 目の前方3 mに視野角水平40°、垂直30°（上方10°、下方20°）の画面を想定。
- 幅員10mの道路の両端に高さ2 mの柱を等間隔に設置
- 左端より5.25mに車線境界線（8 m+12m）を引く。
- 左端より3.5mの位置に目の位置がある状況（高さ1.2m）
- 柱の間隔と走行速度を変えて、どのように見えるか観察した。

表 3.4 観察結果データ

走行速度 (Km/h)	1/30秒 移動量 (m)	柱 の 間 隔						前進して見え はじめる単位 移動量係数 K
		2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	
210	1.94	逆	逆	チラ	△	○	○	2.7
200	1.85	逆	逆	チラ	○	○	○	
190	1.76	逆	逆	チラ	○	○	○	
180	1.67	逆	チラ	△	○	○	○	
170	1.57	逆	チラ	△	○	○	○	2.7
160	1.48	逆	チラ	○	○	○		
150	1.39	逆	チラ	○	○	○		
140	1.30	逆	チラ	○	○	○		
130	1.20	チラ	△	○	○	○		2.7
120	1.11	チラ	○	○	○	○		
110	1.02	チラ	○	○	○	○		
100	0.93	チラ	○	○	○	○		
90	0.83	△	○	○	○	○		

* 逆：逆進するように見える

チラ：前進したり後進したりちらついて見える

△：直近の柱の動きがいく分気になる

○：前進して見える

時速200Km/hを想定すると、1/30秒に1.85mを移動するが、柱の間隔が2 m、3 mでは、柱が遠方へ遠去かるように見える。4 m間隔では意識の持ち方で近付いたり遠去かったり、ちらついて見える。

実験結果より、柱の間隔を1/30秒の移動量で割ると単位移動量K=2.70が導かれる。

従って、走行速度200Km/hでは、間隔を5 m（単位移動量の2.7倍）にすると、正しく感じられる。

単位移動量の2.7倍以上の間隔があればおおむねどのような速度でも正しく感じることができる。

見え方は、走行位置、視角の設定、仮想画面位置等によって多少影響を受ける。又、車線境界

線（8 m + 12 m）は、200 km/h 程度では逆進しないためそれによって逆進感はいく分打ち消される。

インターレースを行わない場合、200 km/h 走行を実験するためには等間隔構造物類の間隔は 5 m 以上が必要である。

<参考>

回転する車輪を真横から見る場合、輻の移動量 d と輻の間隔 w の関係で以下のように見える。

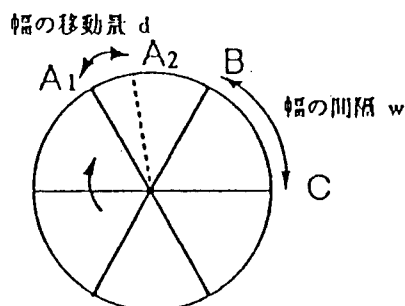


図3.2 回転する車輪の見え方

$d < w/2$: A1 が A2 に動いたと感じるので正転する。

$d = w/2$: A1 が A2 に動いたとも、B が A2 に動いたとも感じられるので意識の持ち方で正転したり逆転したり、左右にふれているように見えたりする。

$w > d > w/2$: B が A2 に動いたように見え、逆転して見える。

$d = w$: 静止して見える。

車輪を真横から見る場合は上記のように $d < w/2$ が正しく見える条件となる。

解像度と表示物の大きさについて

解像度3.3 分の意味

ドライバーが実走行時に、視角3.3 分以上で視認することとなる対象物については、画面表示において、1 画素以上が対応する。

視角3.3 分未満の対象物については、全く表示されないのではなく、表示位置によって、表示されたり、表示されなかったりする。

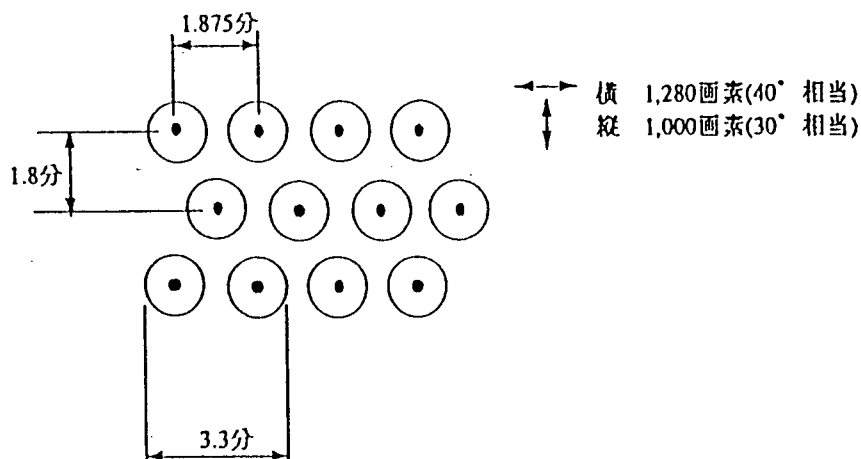


図3.3 1画素と視角3.3 分の関係

表3.5 水平方向3.3 分の視角となる大きさ（白線の幅など）

距離 (m)	3.3分となる 実寸 (mm)	実寸と視角				
		100mm	150mm	200mm	250mm	300mm
100	96	3.4分	5.2	6.9	8.6	10.3
150	144	2.3	3.4	4.6	5.7	6.9
200	192	1.7	2.6	3.4	4.3	5.2
250	240	1.4	2.1	2.8	3.4	4.1
300	288	1.1	1.7	2.3	2.9	3.4
350	336	1.0	1.5	2.0	2.5	2.9
400	384	0.9	1.3	1.7	2.1	2.6

• 300 m先の白線が確実に表示されるためには幅300mmを要す。

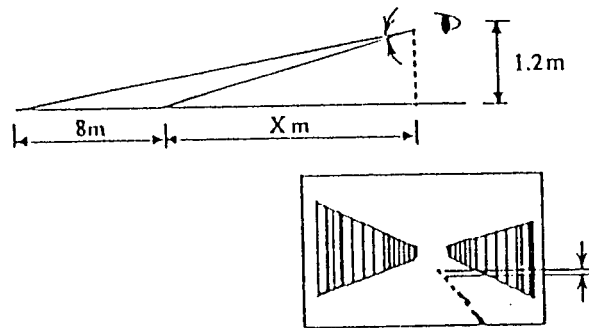


図3.4 路面上の表示物の垂直方向視角

x m先の8 mの白線の視角（目の高さ1.2m）

距離（m）	50	100	150	200	250	300
視角（分）	11.4	3.1	1.4	0.8	0.5	0.4

100m前方の8 m長の白線は垂直方向視角3.1となり、確実に画像表示されるとは言いがたい。

3.2.2 計算機の機能および性能を勘案する必要があるデータ要素について検討する。

(1) 視線誘導標等の設置間隔および防護柵等の支柱間隔

支柱間隔5m未満では時速170Kmで逆進現象がおこる。一般的には、時速160Kmまでの走行で逆進現象がおこらない支柱間隔4mでも良いと思われるが、データ設定に際しては、実験時の臨場感を低下させないためにも望ましくない。

従って、防護柵の支柱間隔は、路側用、分離帯用ともガードケーブルの支柱間隔を用いる。その他の防護柵では、最大支柱間隔が4[m]未満であるため、画像更新時間(1/30秒)では支柱の逆進現象が発生するためである。

逆進現象は、支柱間隔の長い連続照明施設を設置することにより軽減されると思われる。また、端支柱と中間支柱で形状、高さ、色等を変えることによって防ぐことは、可能であろう。

視線誘導標等の設置間隔においても全く同様である。

(2) 区画線

破線は前方で画面表示できなくなる。表示することができる限界距離は、幅15cmの白線に対し前方150mまで、長さ8mの車線境界線(白点線)に対し前方100mまでである。従って、幅を太くしても長手方向が表示できなくなるため同じであり、太くしても意味がない。

(3) 曲線部における制動停止視距の確保

曲線部において以下に示す視距を確保しなければならない。

ただし、切り土のり面、分離帯により視距が確保されない場合は、路肩や側帯を広げるなどして視距を確保する。

視距^{*}のデータ範囲 75m以上……………設計速度60Km/h

* 湿潤状態の制動停止距離を算出している。

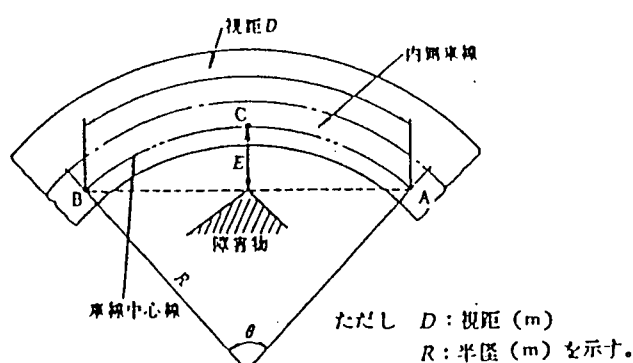


表3.6 湿潤状態の制動停止距離

(出典：道路構造令)

設計速度 [h/Km]	走行速度 [h/Km]	視距D [m]	基準値 [m]
60	54	72.2	7
80	68	105.8	11
100	85	153.7	16
120	102	212.0	21
140	112		
160	128		

図3.5 視距の確保

(出典：道路構造令)

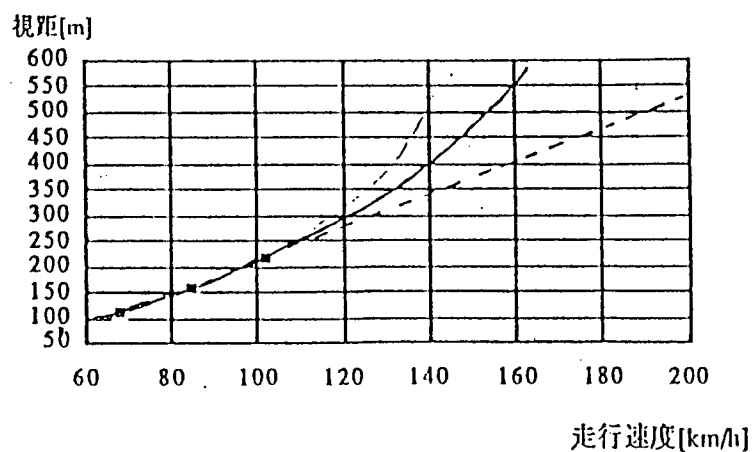


図3.6 湿潤状態の制動停止距離

画面上で視距が確保されていなければならないが、画面表示可能な実際の物体までの距離に限界があるため、計算機の機能および性能を勘案する必要がある。走行速度200km/において、制動停止視距は530m程度必要となる。4-2の検討結果より、実寸で少なくとも幅50cm以上ないと画面上で表示されない。道路構造としては視距が確保されていなければ、実験を行う意義がなくなるため、視距が確保されていることを確認する。

3. 3 車両運動方程式プログラムに関する検討

ここでは、道路走行模擬装置における以下の項目に関する車両運動方程式について検討を行った結果を示す。なお、結果は以下の様に構成されている。

1. 車両の運動方程式

- (1) 運動方程式の前提条件…………… (3. 3. 1項)
- (2) 自車データ計算 (X、Y、Z) …………… (3. 3. 2項)
 - ① 速度計算
 - ② 加速度計算
 - ③ 走行距離計
- (3) サスペンション特性計算 (車両の傾き) … (3. 3. 3項)

2. エンジン関係

- (1) 変速特性計算…………… (3. 3. 4項)
- (2) エンジン特性計算…………… (3. 3. 5項)

3. タイヤ、ブレーキ、ステアリング関係

- (1) ブレーキ特性計算…………… (3. 3. 6項)
- (2) タイヤ特性計算…………… (3. 3. 7項)
- (3) 走行抵抗計算…………… (3. 3. 8項)
- (4) ステアリング特性計算…………… (3. 3. 9項)

4. 資料：記号の説明

- (1) 変数
- (2) 定数

3. 3. 1 車両運動方程式プログラムの前提条件

- (1) 空気力は、抗力、横力を模擬する。抗力は、車体重心に対しX、Y軸方向の力とする。横力は、車体重心と横力作用点の違いによるヨーイングモーメントを模擬する。(揚力は模擬しない。)
- (2) タイヤに発生する力とモーメントは、ころがり抵抗、制動力、駆動力、コーナリングフォースのみ模擬し、キャンバラスト、セルフアライニングトルク、オーバーターニングモーメントは、模擬しない。なおコーナリングフォースは、各タイヤ毎計算し、それぞれ荷重移動を考慮する。
- (3) タイヤに加わる駆動力、制動力は、各タイヤ毎計算し、荷重移動を考慮する。ただし駆動力は、左右の荷重移動のみとする。
- (4) サイドブレーキ力は、左右同じとする。またサイドブレーキ力は、後輪のみ働くものとする。
- (5) 自車重心の高度(Z)は、常に自車重心下のデータベースとして持つ道路の高度とする。
- (6) 座標系の定義は、図2.1とする。

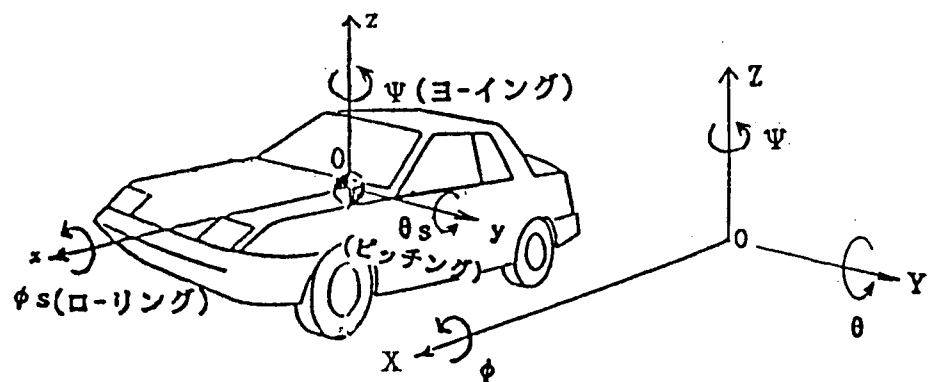


図 3. 7 座 標 軸

3. 3. 2 自車データ計算

ここでは、自車データ計算式を示す。なお車両運動シミュレーション系統図を図3. 8に示す。

(1) 自車データ計算

$$\dot{V}_y = \frac{-CF_1 \cos(\epsilon_1 + \delta_1) - CF_2 \cos(\epsilon_2 + \delta_2) - CF_3 \cos \epsilon_3 - CF_4 \cos \epsilon_4 + If_1 \sin \delta_1 + If_2 \sin \delta_2 - W \sin \phi_0 - F_y}{m} - \omega_z \cdot V_x$$

$$\dot{V}_x = \frac{CF_1 \sin(\epsilon_1 + \delta_1) + CF_2 \sin(\epsilon_2 + \delta_2) + CF_3 \sin \epsilon_3 + CF_4 \sin \epsilon_4 + If_1 \cos \delta_1 + If_2 \cos \delta_2 + Tr_1 + Tr_2 - R}{m} + \omega_z \cdot V_y$$



$$V_x = \int \dot{V}_x dt + V_{x_0}$$

注 $V_x < V_{xstop}$ のとき
 $V_x = 0$

$$V_y = \int \dot{V}_y dt + V_{y_0}$$

$V_y < V_{ystop}$ のとき
 $V_y = 0$



$$X = \int (V_x \cdot \cos \phi - V_y \cdot \sin \phi) dt + X_0$$

$$Y = \int (V_x \cdot \sin \phi + V_y \cdot \cos \phi) dt + Y_0$$

ここで、

$\dot{V}_x$	: 対地加速度の x 軸方向の成分	(m / s ²)
$\dot{V}_y$	: " y "	(")
V_x	: 対地速度の x 軸方向の成分	(m / s)
V_y	: " y "	(")
V_{x_0}	: 対地速度の x 軸方向の成分 (初期値)	(")
V_{y_0}	: " y " (")	(")
X	: X 軸方向の自車位置	(m)
Y	: Y " "	(m)
X_0	: X 軸方向の初期位置	(")
Y_0	: Y " "	(")
CF_1	: コーナリングフォース (前輪左)	(kg f)
CF_2	: " (" 右)	(")
CF_3	: " (後輪左)	(")
CF_4	: コーナリングフォース (" 右)	(")
V_{xstop}	: V_x を 0 にするための定数	(m / s)
V_{ystop}	: V_y " "	(m / s)
α_1	: 横すべり角 (前輪左)	(deg)

α_2	: 横すべり角 (" 右)	(deg)
α_3	: " (後輪左)	(deg)
α_4	: " (" 右)	(")
$T f_1$	: タイヤ回転方向の合力 (前輪左)	(kgf)
$T f_2$	: " (" 右)	(")
$T r_1$	: " (後輪左)	(")
$T r_2$	: " (" 右)	(")
δ_1	: 実舵角 (左側前輪)	(deg)
δ_2	: " (右 ")	(")
R	: 走行抵抗	(kg f)
F_y	: 空気力 (横力)	(")
ω_z	: Z軸まわりの角速度	(rad/s)
W	: 自動車総重量	(kg f)
ϕ_0	: 路面の傾斜	(deg)
ϕ	: ヨー角	(deg)
m	: 自動車の質量	(kgf·s ² /m)

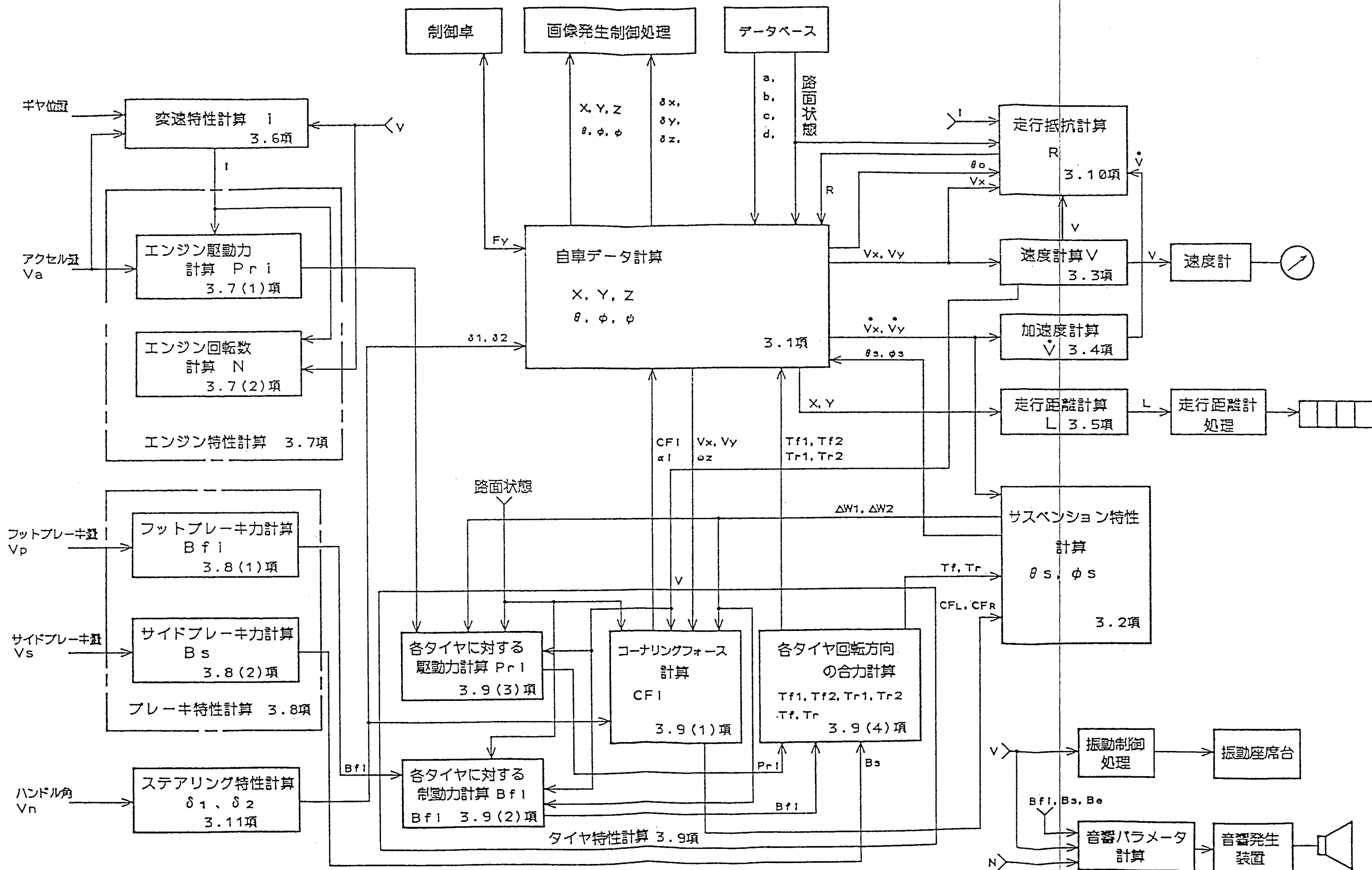


図 3. 8. 車両運動シミュレーション系統図

2) Z

X, Y 及びデータベース情報より Z を算出する。

$$Z = -\frac{aX + bY + d}{c} + l_h$$

ここで、Z : Z 軸方向の自転車位置 (m)

X : X " (")

Y : Y " (")

a, b, c, d ; 自転車重心下の平面係数

l_h : 路面から重心までの高さ (m)

3) θ , ϕ

$$\theta = \theta_0 + \theta s$$

$$\phi = \phi_0 + \phi s$$

θ_0 、 ϕ_0 は自転車重心下の下記データベース情報 (a, b, c, d) より算出する。

$$aX + bY + cZ + d = 0$$

また平面の切換え時 θ_0 、 ϕ_0 の急激な変化をさけるため、スムージング処理を行う。

ここで θ	: 回定軸 Y 軸まわりのピッチ角	(deg)
ϕ	: " X " "	(")
θ_0	: 路面の勾配	(")
ϕ_0	: " 傾斜	(")
θ_s	: 車体軸 y 軸まわりのピッチ角	(")
ϕ_s	: " x " ロール角	(")
X	: X 軸方向の自車位置	(m)
Y	: Y " "	(m)
Z	: Z " "	(m)

a, b, c, d : 自車重心下の平面係数

4) ϕ

$$\begin{aligned} \dot{\omega}_z = \frac{1}{I_z} \cdot & \left[-l_1 \cdot \{CF_1 \cos(\alpha_1 + \delta_1) + CF_2 \cos(\alpha_2 + \delta_2)\} \right. \\ & + l_2 (CF_3 \cos \alpha_3 + CF_4 \cos \alpha_4) \\ & - \frac{tr}{2} (Tf_1 \cos \delta_1 - Tf_2 \cos \delta_2 + Tr_1 - Tr_2) \\ & \left. + l_y \cdot F_y \right] \end{aligned}$$

$$\downarrow$$

$$\omega_z = \int \dot{\omega}_z dt + \omega_{z_0}$$

$$\downarrow$$

$$\phi = \int \omega_z dt + \phi_0$$

ここで、

ϕ	: ヨー角	(deg)
ϕ_0	: ヨー角初期値	(")
ω_z	: Z 軸まわりの角速度	(rad/s)
$\dot{\omega}_{z0}$	: " (初期値)	(")
$\ddot{\omega}_z$	: Z 軸まわりの角加速度	(rad/s ²)
CF_1	: コーナリングフォース (前輪左)	(kg f)
CF_2	: " (" 右)	(")
CF_3	: " (後輪左)	(")
CF_4	: コーナリングフォース (" 右)	(")
Tf_1	: タイヤ回転方向の合力 (前輪左)	(")
Tf_2	: " (" 右)	(")
Tr_1	: " (" 左)	(")
Tr_2	: " (" 右)	(")
α_1	: 横すべり角 (前輪左)	(deg)
α_2	: " (" 右)	(")
α_3	: 横すべり角 (前輪左)	(deg)
α_4	: " (" 右)	(")
δ_1	: 実舵角 (左側前輪)	(deg)
δ_2	: " (右 ")	(")
l_1	: 車重心位置—前輪中心までの距離	(m)
l_2	: " 後	(")
t_r	: トレッド	(")
I_z	: Z 軸まわりの慣性モーメント	(kgf·m/s ²)
l_y	: 車体重心と横力作用点との距離	(m)
F_y	: 空気力 (横力)	(kg f)

3. 3. 3 サスペンション特性計算

(1) θ_s

$$\dot{\omega}_y = \frac{(W_r - \Delta W_1) \cdot l_2 - (W_f + \Delta W_1) \cdot l_1 - (T_f + T_r) l_h - (F_{FL} + F_{FR}) \cdot l_1 + (F_{RL} + F_{RR}) \cdot l_2}{I_y}$$

$$\Delta W_1 = \frac{\dot{V}_z}{g} \cdot W \cdot \frac{l_h}{l_1 + l_2} \quad \dots\dots \text{後輪接地点まわりのモーメントのつり合い}$$

$$W_f = W \cdot \frac{l_2}{l_1 + l_2}$$

$$W_r = W \cdot \frac{l_1}{l_1 + l_2}$$

$$F_{FL} = Ks_1 x_1 + c_1 \dot{x}_1$$

$$x_1 = l_1 \tan \theta_s - \frac{tr}{2} \tan \phi_s$$

$$F_{FR} = Ks_2 x_2 + c_2 \dot{x}_2$$

$$x_2 = l_1 \tan \theta_s + \frac{tr}{2} \tan \phi_s$$

$$F_{RL} = Ks_3 x_3 + c_3 \dot{x}_3$$

$$x_3 = -l_1 \tan \theta_s - \frac{tr}{2} \tan \phi_s$$

$$F_{RR} = Ks_4 x_4 + c_4 \dot{x}_4$$

$$x_4 = -l_1 \tan \theta_s + \frac{tr}{2} \tan \phi_s$$

$$\omega_y = \int \dot{\omega}_y dt + \omega_{y0}$$

$$\theta_s = \int \omega_y dt + \theta_{s0}$$

アクセル踏み込み時

ブレーキ時

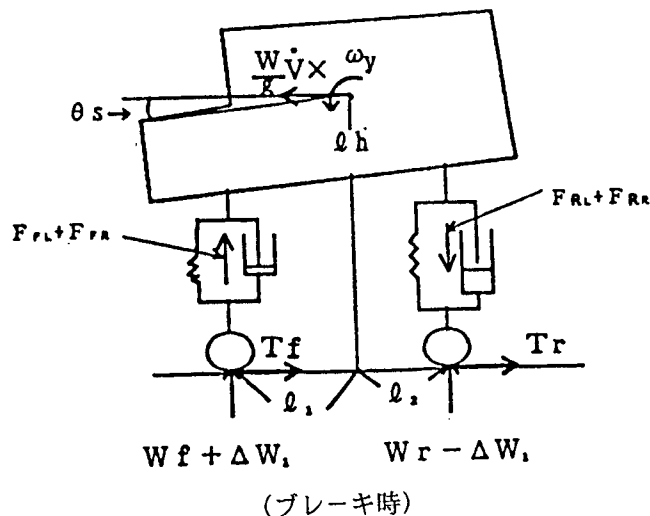
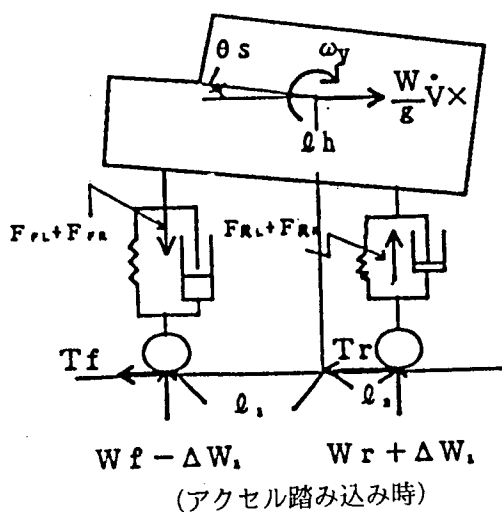


図3. 9 サスペンション特性

ここで、

θ_s	: 車体軸 y 軸まわりのピッチ角	(deg)
θ_{s_0}	: " (初期値)	(")
ω_y	: y 軸まわりの角速度	(rad/s)
ω_{y_0}	: " (初期値)	(")
$\dot{\omega}_y$	: y 軸まわりの角加速度	(rad/s ²)
W	: 自動車総重量	(kg f)
W_f	: 静止時の前輪荷重反力	(")
W_r	: 後 " "	(")
ΔW_1	: 前後輪荷重の変動量	(")
l_1	: 車重心位置—前輪中心までの距離	(m)
l_2	: " 後	(")
l_h	: 重心高さ	(")
T_f	: タイヤ回転方向の合力 (前輪左+右)	(kg f)
T_r	: タイヤ回転方向の合力 (後輪左+右)	(")
$\dot{V}_x$	: 対地加速度の x 軸方向の成分	(m/s ²)
g	: 重力加速度	(")
I_y	: y 軸まわりの慣性モーメント	(kgf·m·s ²)
a, b, c, d	: 自車重心下の平面係数	

ϕ_s	: 車体軸 x 軸まわりのロール角	(deg)
t_r	: トレッド	(m)
F_{FL}	: サスペンション特性によるバネ, ダンパ-の力 (左側前輪)	(kg f)
F_{FR}	: サスペンション特性によるバネ, ダンパ-の力 (右側前輪)	(kg f)
F_{RL}	: サスペンション特性によるバネ, ダンパ-の力 (左側後輪)	(kg f)
F_{RR}	: サスペンション特性によるバネ, ダンパ-の力 (右側後輪)	(kg f)
x_1	: バネの伸び縮み量 (左側前輪)	(cm)
x_2	: バネの伸び縮み量 (右側前輪)	(cm)
x_3	: バネの伸び縮み量 (左側後輪)	(cm)
x_4	: バネの伸び縮み量 (右側後輪)	(cm)
$\dot{x}_1$	: バネの伸び縮み速度 (左側前輪)	(cm/s)
$\dot{x}_2$	: バネの伸び縮み速度 (右側前輪)	(cm/s)
$\dot{x}_3$	: バネの伸び縮み速度 (左側後輪)	(cm/s)
$\dot{x}_4$	: バネの伸び縮み速度 (右側後輪)	(cm/s)
F_{s1}	: バネ定数 (左側前輪)	(kg f/cm)
F_{s2}	: バネ定数 (右側前輪)	(kg f/cm)
F_{s3}	: バネ定数 (左側後輪)	(kg f/cm)
F_{s4}	: バネ定数 (右側後輪)	(kg f/cm)
C_1	: ダンパー係数 (左側前輪)	(kg f·s/cm)
C_2	: ダンパー係数 (右側前輪)	(kg f·s/cm)
C_3	: ダンパー係数 (左側後輪)	(kg f·s/cm)
C_4	: ダンパー係数 (右側後輪)	(kg f·s/cm)

(2) ϕ_s

$$\dot{\omega}_x = \frac{(W_L - \Delta W_2) \cdot \frac{tr}{2} - (W_R + \Delta W_2) \cdot \frac{tr}{2} + (CF_L + CF_R) l_h + (F_{FL} + F_{RL}) \cdot \frac{tr}{2} - (F_{FR} + F_{RR}) \cdot \frac{tr}{2}}{I_x}$$

$$\Delta W_2 = \frac{\dot{V}_y}{g} \cdot W \cdot \frac{l_h}{t_r} \quad \dots\dots \text{左輪まわりのモーメントのつり合い}$$

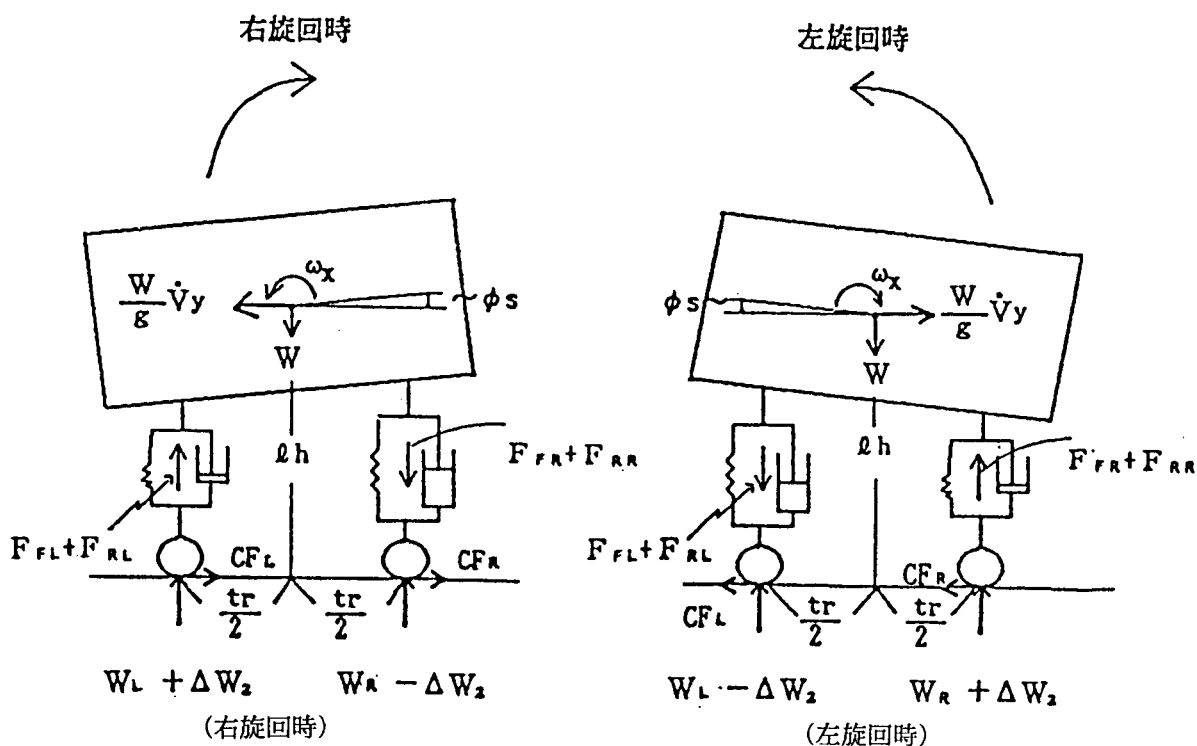
$$W_L = W_R = \frac{W}{2}$$

F_{FL} , F_{FR} , F_{RL} , F_{RR} の計算式は

3. 3. 3 (1) 項による。

$$\omega_x = \int \dot{\omega}_x dt + \omega_{x0}$$

$$\phi_s = \int \omega_x dt + \phi_{s0}$$



注 Rear View

図3. 10サスペンション特性

ここで

ϕ_s	: 車体軸 y 軸まわりのロール角	(deg)
ϕ_{s_0}	: " (初期値)	(")
ω_x	: x 軸まわりの角速度	(rad/s)
ω_{x_0}	: " (初期値)	(")
$\dot{\omega}_y$	: x 軸まわりの角加速度	(rad/s ²)
W	: 自動車総重量	(kg f)
W_L	: 静止時の左前後輪荷重反力	(")
W_R	: 右 "	(")
ΔW_z	: 左右輪荷重の変動量	(")
t_r	: トレッド	(m)
CF_L	: コーナリングフォース (左前後輪)	(kg f)
CF_R	: " (右 ")	(")
l_h	: 重心高さ	(m)
$\dot{V}_y$	: 対地加速度の y 軸方向の成分	(m / s ²)
g	: 重力加速度	(")
I_x	: x 軸まわりの慣性モーメント	(kgf·m/s ²)
a, b, c, d	: 自車重心下の平面係数	
F_{FL}	: サスペンション特性によるバネ, ダンパーの力 (左側前輪)	(kgf)
F_{FR}	: " (右側前輪)	(")
F_{RL}	: " (左側後輪)	(")
F_{RR}	: " (右側後輪)	(")

(2) 速度計算

$$V = \sqrt{(V_x)^2 + (V_y)^2}$$

ここで、

V	: 車速	(m/s)
V_x	: 対地速度の x 軸方向の成分	(")
V_y	: " y "	(")

(3) 加速度計算

$$\dot{V} = \sqrt{(\dot{V}_x)^2 + (\dot{V}_y)^2}$$

ここで、

$\dot{V}$	: 車の加速度	(m/s ²)
$\dot{V}_x$	: 対地加速度の x 軸方向の成分	(")
$\dot{V}_y$	: " y "	(")

(4) 走行距離計算

$$L = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

ここで、

L	: 走行距離	(m)
X	: x 軸方向の自車位置	(m)
Y	: Y "	(m)

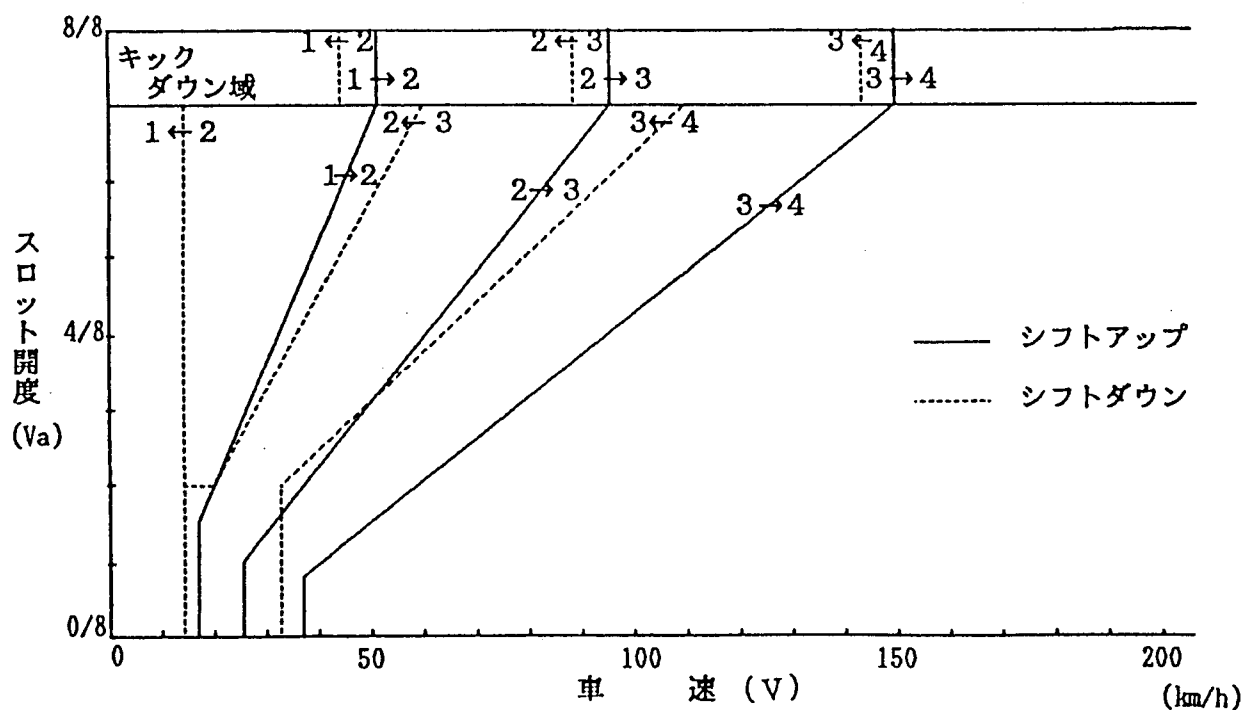
3. 3. 4 変速特性計算

ギヤ位置に応じた減速比 (i) を求める。

なお、D (ドライブ) は、下記関数により数段階に自動切換えを行なう。

$D_i = f(V, V_a)$ ……図3. 11による。

ギヤ位置	減速比 (i)
パーキング	
リバース	
ニュートラ	
1 速	
2 速	
ドライブ(1速)	
" (2速)	
" (3速)	
" (4速)	



参考資料：「乗用車を対象とした各種の特性例」の図3による。

図 3. 11 ドライブのギヤ特性(JARI資料より)

ここで、

i : ギヤの減速比

V : 車 速

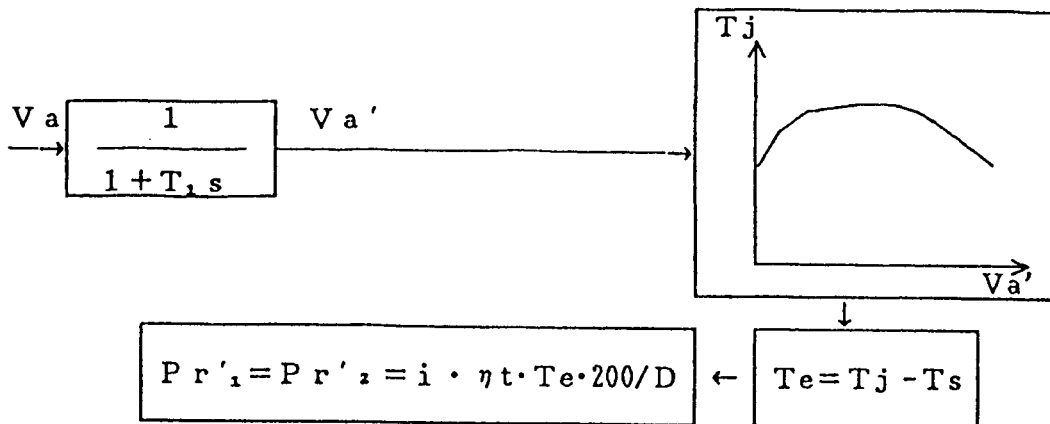
(m/s)

V_a : アクセル踏み量

(mm)

3. 3. 5 エンジン特性計算

(1) エンジン駆動力 (Pr_1' 、 Pr_2')



ここで T_s は図3. 12に示すJARI出典資料：エンジンの機械損失特性（例）より、
図3. 13に示す様に設定し算出することとした

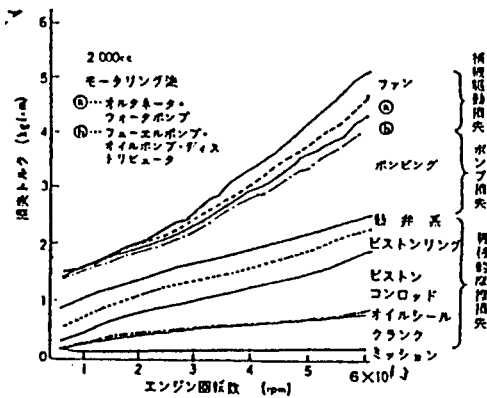


図3.12エンジンの機械損失特性（例）

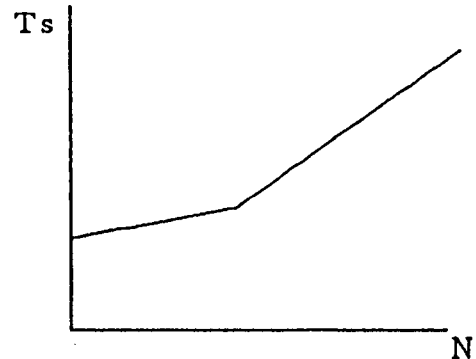


図3.13 T_s の設定

ここで、

V_a	: アクセル踏み量	(mm)
V_a'	: " (一時遅れ後)	(")
T_1	: 一時遅れ時定数	(秒)
S	: ラプラス演算子	
N	: エンジン回転数	(rpm)
T_j	: エンジンの軸トルク	(kgf·m)
T_s	: エンジンの損失トルク	(")
T_e	: エンジントルク	(")
Pr_1'	: 後輪の駆動力 (左)	(kgf)
Pr_2'	: " (右)	(")
i	: 総減速比	
η_t	: 動力伝達効率	
D	: タイヤの有効直径	(m)

(2) エンジン回転数

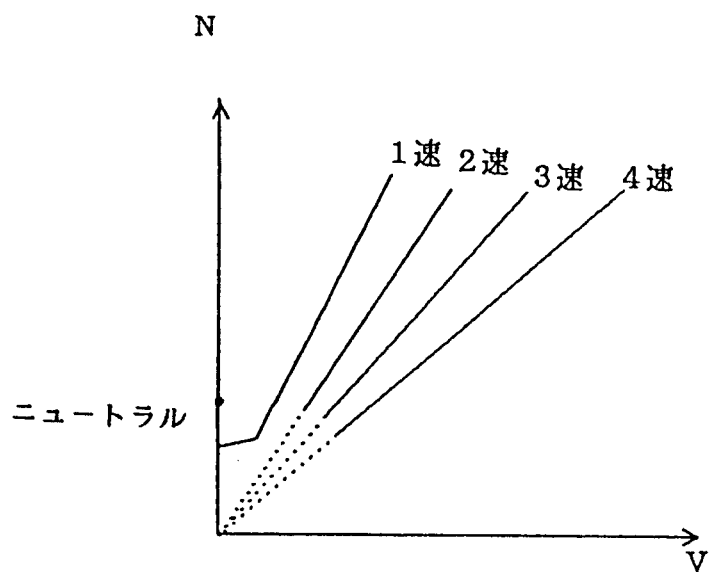


図3. 14 エンジンの回転数の設定

ここで

N : エンジン回転数

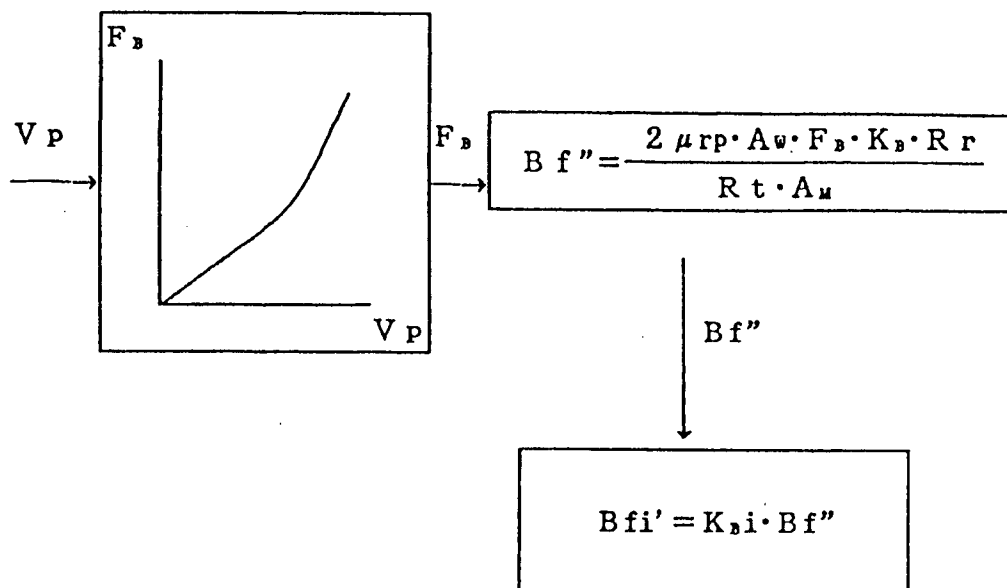
(rpm)

V : 車速

(m / s)

3. 3. 6 ブレーキ特性計算

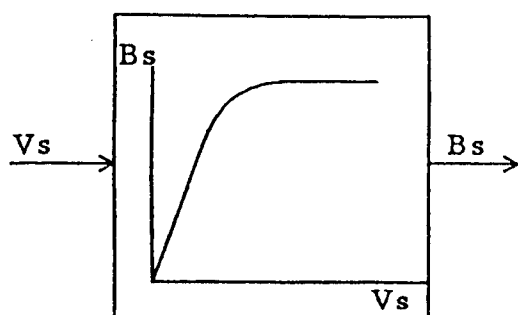
(1) フットブレーキ力 (Bfi')



ここで

V_p	: ブレーキペダルストローク	(mm)
F_b	: ブレーキ踏み力	(Kgf)
μ_{rp}	: ロータとパットの摩擦係数	
A_w	: ホイールシリンダ断面積	(cm^2)
K_b	: ブレーキペダル比	(m)
R_r	: ロータの有効半径	(m)
R_t	: タイヤの有効半径	(m)
A_m	: マスタシリンダの断面積	(cm^2)
B_{fi}''	: ブレーキ特性の一輪当りのブレーキ力	(kgf)
B_{fi}'	: 名タイヤに対するブレーキ力	(kgf)
K_{bi}	: ブレーキ力の各タイヤに対する配分係数	

(2) サイドブレーキ力 (Bs.)



注) ギヤ位置P (パーキング) 位置のとき
Bsmaxとする。

ここでVs : サイドブレーキ引き量 (mm)
Bs : サイドブレーキ力 (kgf)

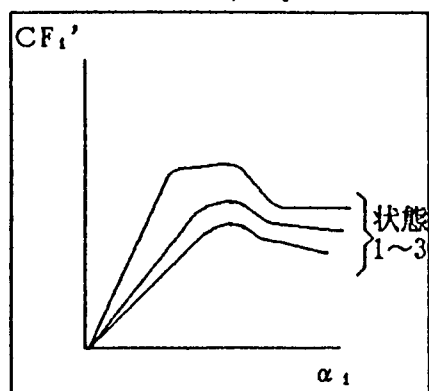
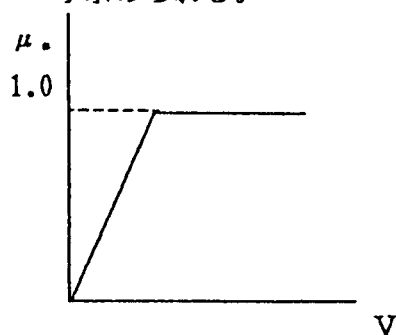
3. 3. 7 タイヤ特性計算

(1) コーナリングフォース計算 (CF_i)

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= (\beta + \tan^{-1} \frac{\omega z \cdot \ell_1}{V_x} - \delta_1) \mu_s \\ \alpha_2 &= (\beta + \tan^{-1} \frac{\omega z \cdot \ell_1}{V_x} - \delta_2) \mu_s \\ \alpha_3 &= \alpha_4 (\beta - \tan^{-1} \frac{\omega z \cdot \ell_1}{V_x}) \mu_s\end{aligned}$$

$$\beta = \tan^{-1} (V_y/V_x)$$

ここで μ_s は、下記により求められる。



注) i は 1~4

$$CF_i = Kcf_1 \cdot Kcf_2 \cdot CF_i'$$

$$CF_L = CF_1 + CF_3$$

$$CF_R = CF_2 + CF_4$$

ここで Kcf_1 , Kcf_2 は図3.15による。

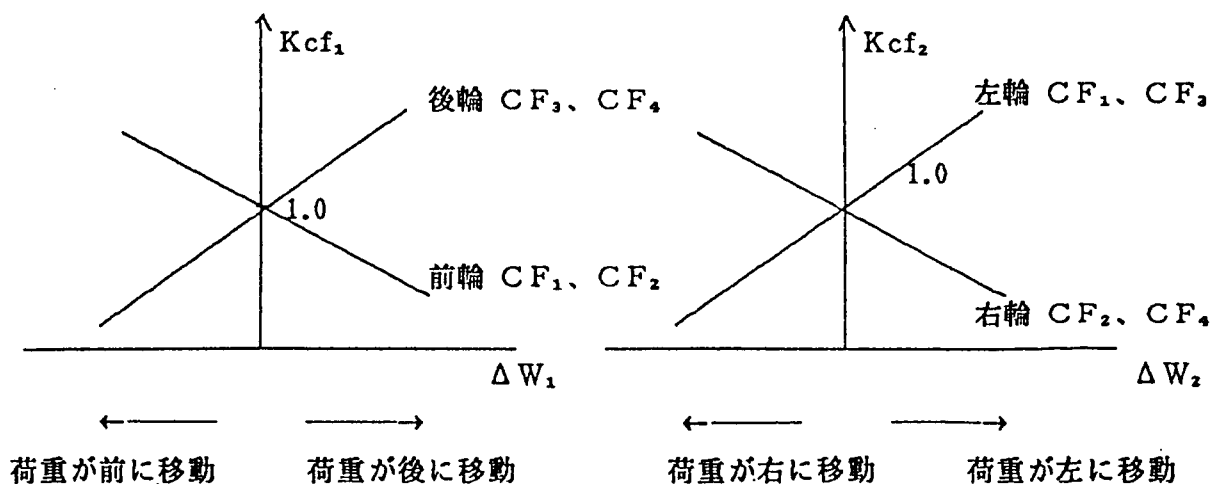


図3.15 Kcf_1 , Kcf_2 の設定

(2) 各タイヤに対する制動力計算

$$B_{fi} = K_{Bfi1} \cdot K_{Bfi2} \cdot K_{Bfi3} \cdot B_{fi}'$$

$$i = 1 \sim 4$$

ここで

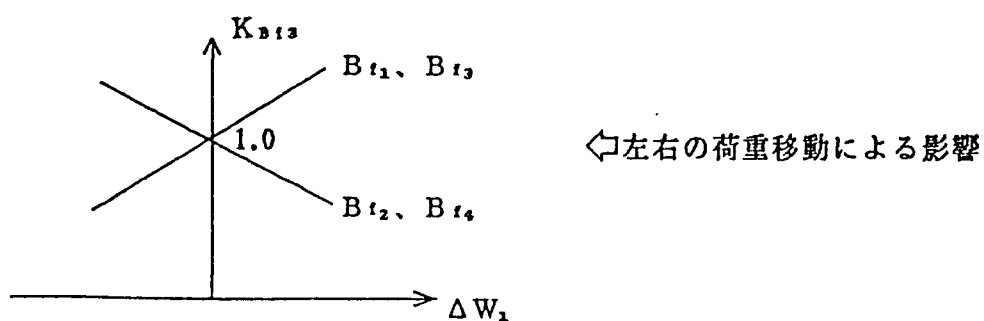
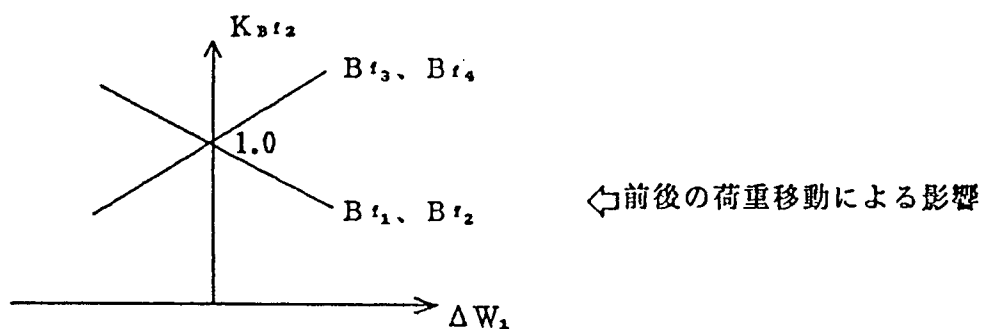
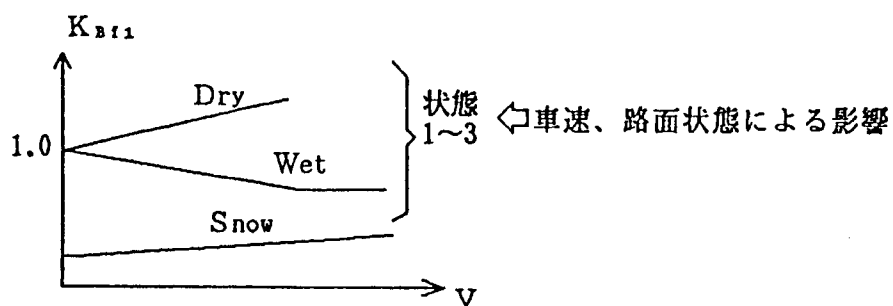


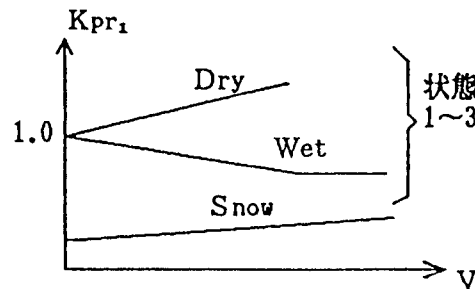
図3. 16 制動力の設定

(3) 各タイヤに対する駆動力計算

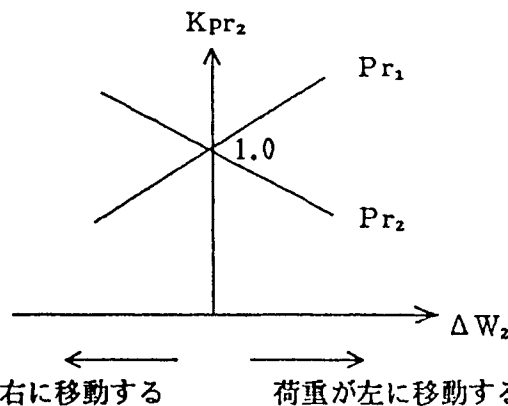
$$P_{ri} = K_{pri} \cdot K_{pr2} \cdot P_{ri}'$$

$i = 1 \sim 2$

ここで



⇐ 車速、路面状態による影響



⇐ 左右の荷重移動による影響

図3. 17 駆動力の設定

(4) タイヤ回転方向の合力計算

$$T_{f1} = -B_{f1}, \quad T_{f2} = -B_{f2}$$

$$T_{r1} = P_{r1} - (B_{f3} + B_s)$$

$$T_{r2} = P_{r2} - (B_{f4} + B_s)$$

$$T_f = T_{f1} + T_{f2}$$

$$T_r = T_{r1} + T_{r2}$$

ここで

T_{f1}	: タイヤ回転方向の合力 (前輪左)	(kgf)
T_{f2}	: " (" 右)	(")
T_{r1}	: " (後輪左)	(")
T_{r2}	: " (" 右)	(")
$B_{f1,2}$	: フットブレーキ力 (前輪左, 右)	(")
$B_{f3,4}$	: " (後輪左, 右)	(")
P_{r1}	: タイヤの駆動力 (後輪左)	(")
P_{r2}	: " (" 右)	(")

B_s	: サイドブレーキ力 (後輪左右共通)	(kgf)
CF_1	: コーナリングフォース (左輪左)	(")
CF_2	: " (" 右)	(")
CF_3	: " (後輪左)	(")
CF_4	: " (" 右)	(")
α_1	: 横すべり角 (前輪左)	(deg)
α_2	: " (" 右)	(")
α_3	: " (後輪左)	(")
α_4	: " (" 右)	(")
β	: 重心点横すべり角	(")
V_x	: 対地速度の x 軸方向の成分	(m / s)
V_y	: " y "	(m / s)
ω_z	: Z 軸まわりの角速度	(rad / s)
CF_L	: コーナリングフォース (左前後輪)	(kgf)
CF_R	: " (右 ")	(")
δ_1	: 実舵角 (左前輪)	(deg)
δ_2	: " (右 ")	(deg)
l_1	: 車重心位置一前輪中心までの距離	(m)
l_2	: " 後 "	(m)
μ_a	: 横すべり角に対する係数	
Cf_i'	: 荷重移動考慮前のコーナリングフォース	(kgf)
K_{o11}	: 前後方向の荷重移動による係数	
K_{o12}	: 左右方向の "	
ΔW_1	: 前後輪荷重の変動量	(kgf)
ΔW_2	: 左右 "	(kgf)
B_{fi}'	: ブレーキ特性によるフットブレーキ力	(m)
K_{bf1}	: フットブレーキ力に対し車速、路面状態による影響を与える係数	
K_{bf2}	: " 前後の荷重移動による影響を求める係数	
K_{bf3}	: " 左右 "	
V	: 車速	(m / s)
K_{pr1}	: エンジン駆動力に対し車速、路面状態による影響を与える係数	
K_{pr2}	: エンジン駆動力に対し左右の荷重移動による影響を与える係数	
P_{ri}'	: エンジン駆動力 (車速、路面状態、荷重移動を考慮する前)	(kgf)

3. 3. 8 走行抵抗計算

$$R = R_k + R_a + R_e + R_b$$

$$R_k = \mu_r \cdot W$$

$$R_a = C_x \frac{1}{2} \rho \cdot V_x^2 \cdot S$$

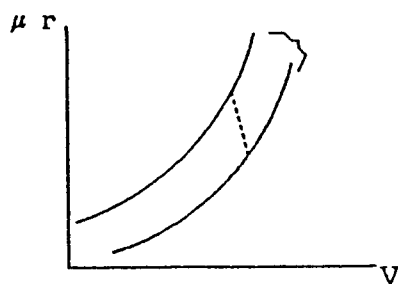
$$R_e = W \cdot \sin \theta_0$$

$$R_b = \frac{\phi_1 W_1 + W_2}{g} \cdot \dot{V}$$

$$W = W_1 + W_2$$

ここで μ_r, ψ_1 は下記により求める。

(1) μ_r



状態 1 ~ 3

(路面の状態により変化させる。)

(2) ϕ_1

ギヤ位置	ϕ_1
1 速	
2 速	
3 速	
4 速	

ここで

R : 走行抵抗 (kgf)

R_k : 自動車全体のころがり抵抗 (")

R_a : 空気抵抗 (抗力) (")

R_e : 勾配 " (")

R_b : 加速抵抗 (")

μ_r : ころがり抵抗係数

W : 自動車総重量 (kgf)

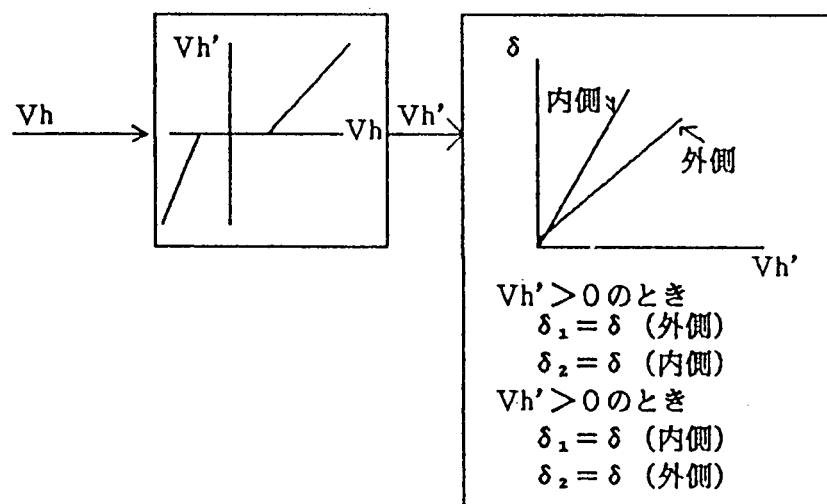
C_x : 抗力係数

ρ : 空気密度 (kgf · s² / m³)

V_x : 対地速度 x 軸の方向成分 (m / s)

S	: 自動車正面投影面積	(m^2)
θ_0	: 路面勾配	(deg)
ϕ_1	: 回転部分による見かけの重力増加係数	
W_1	: 空車重量	(kgf)
W_2	: 乗員及び積荷重量	(")
$\dot{V}$	: 車の加速度	(m/s^2)
g	: 重力加速度	(m/s^2)
V	: 車速	(m/s^2)

3. 3. 9 ステアリング特性



ここで

V_h	: ハンドル角	(deg)
V_h'	: ハンドルあそび考慮後のハンドル角	(")
δ_1	: 実舵角 (左側)	(")
δ_2	: " (右")	(")

4. 資料：記号の説明

(1) 変数

記 号	単 位	内 容
a	無次元	自車重心下の平面係数 (X の係数)
B_{fi}	kgf	フットブレーキ力 (車速、路面状態、荷重移動の考慮) $i = 1$ 左側前輪、 $i = 2$ 右側前輪、 $i = 3$ 左側後輪、 $i = 4$ 右側後輪
B_{fi}'	kgf	フットブレーキ特性による各タイヤのフットブレーキ力 $i = 1$ 左側前輪、 $i = 2$ 右側前輪、 $i = 3$ 左側後輪、 $i = 4$ 右側後輪
$B_{f\cdot}$	kgf	ブレーキ特性による一輪当りのフットブレーキ力
B_s	kgf	サイドブレーキ力
b	無次元	自車重心下の平面係数 (Y の係数)
CF_i	kgf	コーナリングフォース (荷重移動考慮後) $i = 1$ 左側前輪、 $i = 2$ 右側前輪、 $i = 3$ 左側後輪、 $i = 4$ 右側後輪
CF_i'	kgf	コーナリングフォース (荷重移動考慮前) $i = 1$ 左側前輪、 $i = 2$ 右側前輪、 $i = 3$ 左側後輪、 $i = 4$ 右側後輪
CF_L	kgf	コーナリングフォース (荷重移動考慮後) 右側前、後輪の合力
CF_R	kgf	コーナリングフォース (荷重移動考慮後) 右側前、後輪の合力
c	無次元	自車重心下の平面係数 (Z の係数)
d	無次元	同 上 (定数項)
F_B	kgf	ブレーキ踏み力
F_{FL}	kgf	サスペンション特性によるバネ、ダンパーの力 (左側前輪)
F_{FR}	kgf	同 上 (右側前輪)
F_{RL}	kgf	同 上 (左側後輪)
F_{RR}	kgf	同 上 (右側後輪)
F_y	kgf	空気力 (横力)
i	無次元	ギヤの減速比
K_{Bf1}	無次元	フットブレーキ力に対し車速、路面状態による影響を考慮するための係数
K_{Bf2}	無次元	フットブレーキ力に対し前後の荷重移動の影響を考慮するための係数
K_{Bf3}	無次元	フットブレーキ力に対し左右の荷重移動の影響を考慮するための係数
K_{cf1}	無次元	コーナリングフォースに対し前後の荷重移動の影響を考慮するための係数

記 号	単 位	内 容
K_{c12}	無次元	コーナリングフォースに対し左右の荷重移動の影響を考慮するための係数
K_{pr1}	無次元	エンジン駆動力に対し車速、路面状態による影響を考慮するための係数
K_{pr2}	無次元	エンジン駆動力に対し左右の荷重移動による影響を考慮するための係数
L	m	走行距離
N	rpm	車速によるエンジン回転数
$P_{ri'}$	kgf	エンジン駆動力(車速、路面状態、荷重移動を考慮) $i = 1$ 左側後輪、 $i = 2$ 右側後輪
$P_{ri'}$	kgf	エンジン駆動力(車速、路面状態、荷重移動を考慮する前)
R	kgf	走行抵抗
R_a	kgf	空気抵抗(抗力)
R_e	kgf	勾配抵抗
R_b	kgf	加速抵抗
R_k	kgf	自動車全体のころがり抵抗
S	—	ラプラス演算子
T_e	kgf・m	エンジントルク
T_f	kgf	タイヤ回転方向の合力(左右前輪の合力)
T_{f1}	kgf	" (左側前輪)
T_{f2}	kgf	" (右側 ")
T_j	kgf・m	エンジンの軸トルク
T_r	kgf	タイヤ回転方向の合力(左右後輪の合力)
T_{r1}	kgf	" (左側後輪)
T_{r2}	kgf	" (右側後輪)
T_s	kgf・m	エンジンの損失トルク
V	m/s	車速
$\dot{V}$	m/s ²	車の加速度
V_a	mm	アクセル踏み量
$V_{a'}$	mm	" (一次遅れ後)
V_b	deg	ハンドル角
$V_{b'}$	deg	ハンドルあそび考慮後のハンドル角
V_p	mm	ブレーキペダルストローク

記 号	単 位	内 容
V_s	mm	サイドブレーキ引き量
V_x	m/s	対地速度の x 軸方向の成分
V_{x_0}	m/s	同 上 (初期値)
$\dot{V}_x$	m/s ²	対地加速度の x 軸方向の成分
V_y	m/s	対地速度の y 軸方向の成分
V_{y_0}	m/s	同 上 (初期値)
$\dot{V}_y$	m/s ²	対地加速度の y 軸方向の成分
X	m	x 軸方向の自車位置
X_0	m	同 上 (初期値)
x_i	cm	バネの伸び縮み量 $i = 1$ 左側前輪、 $i = 2$ 右側前輪、 $i = 3$ 左側後輪、 $i = 4$ 右側後輪
$\dot{x}_i$	cm/s ²	バネの伸び縮み速度 $i = 1$ 左側前輪、 $i = 2$ 左側前輪、 $i = 3$ 左側後輪、 $i = 4$ 右側後輪
Y	m	y 軸方向の自車位置
Y_0	m	同 上 (初期値)
Z	m	z 軸方向の自車位置
α_i	deg	横すべり角 $i = 1$ 左側前輪、 $i = 2$ 右側前輪、 $i = 3$ 左側後輪、 $i = 4$ 右側後輪
β	deg	自車重心点の横すべり角
δ_1	deg	実舵角 (左前輪)
δ_2	deg	" (右 ")
θ	deg	Y 軸まわりのピッチ角
θ_0	deg	路面の勾配
θ_s	deg	y 軸まわりのピッチ角
θ_{s_0}	deg	同 上 (初期値)
μ_r	無次元	ころがり抵抗係数
μ_a	"	横すべり角に対する係数
ϕ	deg	X 軸まわりのロール角
ϕ_0	deg	路面の傾斜
ϕ_s	deg	x 軸まわりのロール角
ϕ_{s_0}	deg	同 上 (初期値)
ψ	deg	ヨー角
ψ_0	deg	同 上 (初期値)
ϕ_1	無次元	回転部分による見かけの重力増分係数
ω_x	rad/s	x 軸まわりの角速度
ω_{x_0}	rad/s	同 上 (初期値)

記 号	単 位	内 容
$\dot{\omega}_x$	rad/s ²	z 軸まわりの角加速度
ω_y	rad/s	y 軸まわりの角速度
ω_{y0}	rad/s	同 上 (初期値)
$\dot{\omega}_y$	rad/s ²	y 軸まわりの角加速度
ω_z	rad/s	z 軸まわりの角速度
ω_{z0}	rad/s	同 上 (初期値)
$\dot{\omega}_z$	rad/s ²	z 軸まわりの角加速度
ΔW_1	kgf	荷重の変動量 (前後方向)
ΔW_2	kgf	" (左右方向)

(2) 定数

記 号	単 位	値	内 容
A_M	cm^2		マスタシリンダ断面積
A_v	cm^2		ホイールシリンダ断面積
C_r	無次元		抗力係数
C_i	$\text{kgf} \cdot \text{s} / \text{cm}$ —		ダンパ係数 $i = 1$ 左側前輪、 $i = 2$ 右側後輪、 $i = 3$ 左側後輪、 $i = 4$ 右側後輪
D	m		タイヤの有効直径
g	m / s^2		重力加速度
I_x	$\text{kgf} \cdot \text{m} / \text{s}^2$		x 軸まわりの慣性モーメント
I_y	"		y 軸 "
I_z	"		z 軸 "
K_B	無次元		ブレーキペダル比
K_{B_i}	無次元		ブレーキ力の各タイヤに対する配分係数 $i = 1$ 左側前輪、 $i = 2$ 右側前輪、 $i = 3$ 左側後輪、 $i = 4$ 右側後輪
K_{s_i}	kgf / cm		バネ定数 $i = 1$ 左側前輪、 $i = 2$ 右側前輪、 $i = 3$ 左側後輪、 $i = 4$ 右側後輪
l_h	m		車の重心高さ
l_y	m		車体重心と横力作用点との距離
l_1	m		車重心位置と前輪中心までの距離
l_2	m		車重心位置と後輪中心までの距離
m	$\text{kgf} \cdot \text{s}^2 / \text{m}$		車の質量
R_r	m		ロータの有効半径
R_t	m		タイヤの有効半径
S	m^2		自動車正面投影面積
T_1	S		一時遅れ時定数
t_r	m		トレッド
$V_{x\text{stop}}$	m / s		対地速度の x 軸方向の成分を 0 に収束させるための速度定数
$V_{y\text{stop}}$	m / s		同 上 y 軸方向
W	kgf		自動車の総重量
W_f	kgf		静止時の前輪荷重反力
W_L	kgf		静止時の左前後輪荷重反力

記 号	単 位	値	内 容
W_R	kgf		静止時の右前後輪荷重反力
W_r	kgf		静止時の後輪荷重反力
W_1	kgf		空車重量
W_2	kgf		乗員及び積荷重量等
η_t	無次元		動力伝達効率
μ_{rp}	無次元		ロータとパットの摩擦係数
ρ	kgf・s ² /m ⁴		空気密度
δ_x	m		自車重心から運転者の目までの距離 (x 軸)
δ_y	m		(y 軸)
δ_z	m		(z 軸)

4. おわりに

本共同研究は、道路走行シミュレータの開発にあたり、ハンドルやブレーキなどの運転操作に従った車両の位置や速度を計算するために必要な車両運動方程式等を検討することを目的として平成2年度に開始した。平成2年度は、エンジン、ブレーキ、ステアリングなど車両挙動を左右する自動車の特性に関する基礎データおよび道路走行シミュレータを用いて道路幾何構造に関する実験を再現する場合に必要な道路の構造に関するデータ要素、ならびに車両運動の再現方式（車両運動方程式）について検討を行った。今年度の検討結果は道路走行シミュレータにおける具体的なプログラムを検討するための基礎資料として利用できるものと考えられる。

今後の予定としては、具体的な車両運動方程式プログラムの再現範囲・再現レベル等に関してプログラムの妥当性を検討するとともに、道路走行シミュレータとして開発する際に必要となるハード機能（機械機能、画像処理機能など）とソフト機能（データ構造など）に関する検討を行う予定である。また、新しい車両特性（ABS、4WS、TCLなど）に関する模擬の可能性について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 「自動車のドライビングシミュレータについて(その2 VWのシミュレータ)」
岩元貞雄、自動車研究 Vol.8 , No.10 , 1986年
- 2) 「自動車のドライビングシミュレータについて(その1 VTIのシミュレータ)」
岩元貞雄、自動車研究 Vol.8 , No.9 , 1986年
- 3) 「自動車のドライビングシミュレータについて(その3 Benzのシミュレータ)」
岩元貞雄、自動車研究 Vol.8 , No.11 , 1986年
- 4) 「車両運動シミュレータの動向」
林 靖享、自動車技術 Vol.36 , No.3 , 1982年
- 5) 「ドライビングシミュレータを利用した人間-自動車系の解析」
福井勝彦、林 靖享、自動車技術 Vol.42 , No.3, 1988年
- 6) 「ドライビングシミュレータの研究開発の動向」
末富隆雅、吉本堅一、自動車技術 Vol.40 , No.3, 1986年
- 7) 「交通安全世界会議展示会ガイドブック」
財団法人 全日本交通安全協会 , 1990年

ISSN 0386-5878
共同研究報告書 第62号
平成3年7月 (1991)

本報告は、建設省土木研究所と(財)日本自動車研究所との共同研究として平成2年度から平成4年度までの予定で研究を進めている「道路走行シミュレータに関する研究」について、平成2年度実施分の成果をとりまとめたものである。

キーワード：シミュレータ，車両，運動，道路，構造，方程式，データ，走行

305.

切手をはって
下さい

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
道路研究室
御中

No. 29

No. 29

配布先氏名

配布先住所

土木研究所共同研究報告書第62号

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

共同研究報告書第62号

道路走行シミュレータに関する共同研究報告書(その1)