

建設工事における接触防止技術 の開発に関する共同研究報告書

平成 7 年 12 月

建設省土木研究所 材料施工部機械研究室
社団法人 日本建設機械化協会
株式会社 加藤製作所
株式会社 神戸製鋼所
株式会社 小松製作所
新キヤタピラー三菱株式会社
住友建機株式会社
株式会社 トキメックス
日立建機株式会社

Copyright © (1995) 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、本報告書の全文又は一部の転載、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。

建設工事における接触防止技術 の開発に関する共同研究報告書

建設省土木研究所材料施工部機械研究室
社団法人日本建設機械化協会
株式会社加藤製作所
株式会社神戸製鋼所
株式会社小松製作所
新キャタピラー三菱株式会社
住友建機株式会社
株式会社トキメック
日立建機株式会社

要 旨

本研究では、建設業における災害を防止するうえで、建設機械等に関わる安全性向上技術として、人と建設機械の接触防止について検討を行った。

人と建設機械の接触防止技術は、具体的なシステムを提案検討し、性能試験、現場への適用性調査により安全性、作業性について確認を行い、接触防止技術の開発提案を行った。

キーワード：安全性，接触事故，接触事故防止，人と建設機械，油圧ショベル，接触防止技術，超音波トランスポンダ方式，警報区域，減速区域，停止区域，旋回領域，走行領域，作業装置領域，ヘルメットセンサ

まえがき

我が国は、今や世界でも有数の経済大国となり、一人当たりの国民所得は、世界の最高水準に達しているが、欧米諸国と比べ経済規模に応じた豊かさを国民が実感できるレベルには未だ達していない。来るべき高齢社会を活力あるものとし、国民一人ひとりが豊かさとゆとりを実感できる社会を構築していくには、限られた期間に十分に良質かつ大量の住宅、社会資本の整備を行う必要がある。

一方、年間90兆円に迫る建設生産を担う建設業は、全産業就業人口の約1割程度を抱え、国民生活と産業活動の基盤となる建設生産物を供給する基幹産業であるが、労働生産性の向上、中長期的な労働者不足への対応、重大事故等を含む労働災害の発生の低減などの課題を抱えている。特に、建設工事に関わる労働災害による死傷者数は年間約6万人にのぼり、このうち死亡者数は1千人近い。これは死傷者数で全産業の約3割に相当し、死亡者数は4割以上を占めている。

来るべき21世紀に向けてますます高度化、多様化する建設需要に的確に応え、健全で魅力ある建設業として発展していくには、これらの課題を克服していくための建設技術の積極的な開発と普及が不可欠である。

建設省では労働生産性の向上、省人化、安全性の向上という課題に対応した技術開発を進めるために、総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発（平成2～6年度）」に取り組んできた。

本共同研究は、その取り組みの中で平成5～6年度に「建設事業における安全性向上技術の開発」の一環として、人と建設機械との接触事故を防止するための技術について研究・開発を進めたものである。

本研究の成果が建設工事に活用され、今後の建設労働災害の減少に貢献することができるよう願うものである。

平成7年12月

土木研究所 吉 田 正

共同研究報告書

目次

1. はじめに	1
2. 研究方針	3
2.1 対象建設機械	3
2.2 研究の目的	3
2.3 開発の考え方	4
3. 現状の建設作業の安全に関する実態	5
4. 現在の安全対策技術	7
4.1 現状の技術	7
4.2 現状技術の課題	7
5. 現場での実態調査（ヒヤリ・ハット）	9
5.1 現場での実態	9
5.1.1 油圧ショベル事故災害分析	9
5.1.2 アンケートによる聞き取り調査	10
5.1.3 現場での実態調査まとめ	17
5.2 聞き取りによる現場での実態	18
5.2.1 旋回半径内及び死角への人の進入による危険	19
5.2.2 建設機械の操作ミスによる危険	20
5.2.3 油断や不注意による危険	20
5.2.4 ブームによる右横の死角による危険	21
5.2.5 建設機械と作業員の共同作業による危険	21
5.2.6 旋回半径の長さによる危険	22
5.2.7 建設機械操作技術の個人差による危険	22
5.2.8 夜間工事の照明不足による危険	23
5.2.9 建設機械の操作性の問題による危険	23
5.2.10 まとめ	23

6. 開発目標	25
6.1 接触防止保護対象者	25
6.2 対象作業形態および工種	25
6.3 接触回避対象操作	25
6.4 検知領域	26
6.5 警報	26
6.6 経済性	26
7. センサ技術	27
7.1 接触防止用センサの適合要件	27
7.2 センサの種類及び適合性の検討	27
7.3 超音波トランスポンダ方式	31
7.3.1 動作原理	31
7.3.2 超音波トランスポンダ方式の特長	32
7.4 今回採用した超音波センサシステム	32
7.4.1 基本性能	33
7.4.2 システムの構成	35
7.5 超音波センサシステムの耐環境・耐久性能	36
7.5.1 耐環境性能試験	36
7.5.2 超音波センサの耐久・耐環境性能試験結果	37
7.6 超音波センサシステムの現場適用に際しての留意点	42
8. システムの構築	47
8.1 システムの考え方	47
8.1.1 安全性と作業性確保の検討	47
8.1.2 その他の性能の検討	50
8.2 具体的なシステムの試設計	51
8.2.1 超音波センサ検知仕様	51
8.2.2 操作レバーによる検知領域の切換方法	55
8.2.3 接触防止型油圧ショベル各部の写真	56

9. 実験	61
9.1 基本特性試験方法	61
9.1.1 静的特性試験	61
9.1.2 動的特性試験	62
9.1.3 使用機器類	63
9.2 基本特性試験結果	64
9.2.1 静的特性試験結果	64
9.2.2 動的性能試験結果	68
9.3 実現場適用性試験	70
9.3.1 目的	70
9.3.2 工事現場	70
9.3.3 調査方法	70
9.4 現場試験結果	71
9.4.1 接触防止装置の動作結果	71
9.4.2 聞き取り調査結果	79
9.4.3 接触防止装置の評価結果	82
10. 接触防止技術の動向	83
10.1 ドイツでの建設機械用超音波警報装置の研究	83
10.1.1 ドイツにおける事故分析	83
10.1.2 各種システムの絞り込み	84
10.1.3 油圧ショベル用超音波警報装置	84
10.1.4 その他の建設機械への展開	85
10.2 ISOでの動向	85
10.2.1 今迄の経過	85
10.2.2 ISO/TR 9953 「土工機械-低速車両用警報装置- 超音波システム」(案)の概要	86
10.3 今後の展望	88

11. P L問題に関する取扱い	89
11.1 外国の代表的な事例	89
11.2 本システムのP L法上の配慮	92
11.2.1 P L法と現行制度の違い	93
11.2.2 P L法の特徴	94
11.2.3 P L法施行に向けての対応	94
11.2.4 P L法に関わる官民共同研究の課題	96
11.2.5 共同研究としてのP L法に関わる諸提言	96
12. 今後の方針	101
12.1 まとめ（普及に向けた）	101
12.2 今後の課題	102
12.3 改善案	102

あとがき

1. はじめに

本研究は、建設省の総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」の一環として、平成5年度から平成6年度にかけて建設省と（社）日本建設機械化協会及び株式会社加藤製作所、株式会社神戸製鋼所、株式会社小松製作所、新キャタピラー三菱株式会社、住友建機株式会社、株式会社トキメック、日立建機株式会社の9者で共同研究を行ったものである。

2. 研究方針

2. 研究方針

2.1 対象建設機械

本研究の対象となる建設機械には、国内での建設機械保有台数（約990,000台、平成6年度調べ）の半数以上（約640,000台）を占る油圧ショベルを選定し、油圧ショベルと作業員との接触事故防止技術に関する研究を行った。

油圧ショベルは走行、旋回の他に作業装置の作業範囲が大小に変化する特徴を持った機械であり、これを対象として開発される接触防止技術は、他の多くの建設機械に広く応用できる見通しである。

2.2 研究の目的

本研究は、建設機械と人との接触事故の低減を図るための技術開発を目的とし、建設機械が人をセンサにより検知し適切な危険回避行動を行う技術について共同研究を行った。

図-2・2・1に共同研究における作業フローを示す。

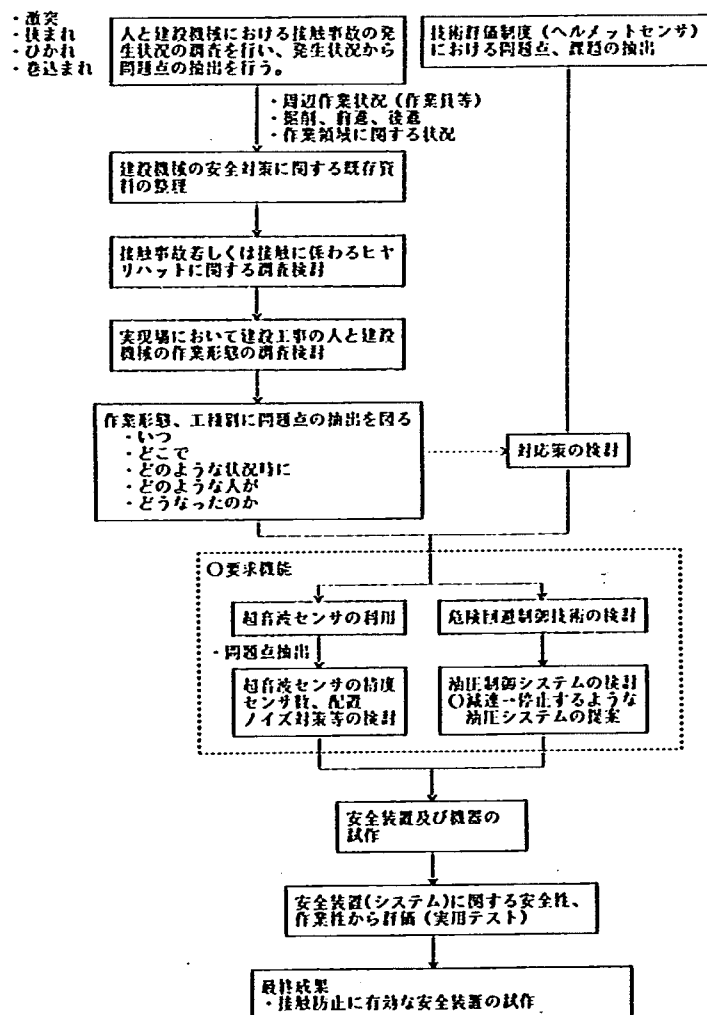


図-2・2・1 研究フロー図

2.3 開発の考え方

実用化のためには、作業効率と安全性の両立が必要であり、本研究は、以下に示すような考え方に基づき開発を進めた。

- ① 作業員検知は、オペレータの死角のみをカバーする。
- ② 作業の必要上、建設機械の近傍に作業員がいても出来るだけ作業を妨げない。
- ③ 建設機械の緊急停止に必要な至近距離を停止区域とし、その外側に減速区域、さらに外側に警戒区域を設ける3段階方式とする。
- ④ 警報区域における作業員検知は、エンジン回転中なら常時作動し、減速区域及び停止区域における作業員への警報及び機械の自動減速及び停止動作は、それぞれ走行・旋回・作業機レバーを操作したときのみ、その方向の動作が機能する方式とする。

注) 作業員とは、ヘルメットセンサを装着した作業員、現場監督者、誘導員等を云う。

3. 現状の建設作業の安全に関する実態

3. 現状の建設作業の安全に関する実態

建設業安全衛生年鑑によると建設機械による事故は、大きく分けて墜落、転落、飛来、落下、接触（激突、挟まれ、巻込れ）が挙げられる。

「平成6年度建設業安全衛生年鑑」（表-3・1）によると、平成5年の人と建設機械の接触事故による死亡者数は、道路工事における接触事故数が最も多く、機械別では油圧ショベルが58.6%、次いでローラ等が11.1%となっている。

表-3・1 人と建設機械の接触事故による死亡者数

工事種類 災害種類	土 木 工 事												建築 工事	設備 工事	合 計
	水 力 ダ ム	ト ン ネ ル	地 下 鉄	鉄 道	橋 梁	道 路	河 川	砂 防	土 地 整 理	上 下 水 道	港 湾	そ の 他			
①ヘルメット等	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
②ヘルメット、ト等	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
③ヘルメット等	0	0	0	0	0	1	0	0	6	1	0	2	1	0	11
④油圧ショベル等	0	2	0	0	1	23	7	5	14	7	0	17	12	1	89
⑤杭打拔機	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	4
⑥ローラ等	0	0	0	0	0	11	1	0	3	1	0	0	0	1	17
①～⑥以外の 車両系建設機械	0	1	0	0	0	1	1	0	3	0	0	2	7	3	18
その他	1	1	1	0	0	2	0	0	0	0	1	1	3	1	11
計	1	4	1	0	1	38	10	5	26	10	2	23	24	7	152

建設業労働災害防止協会「平成6年版建設業安全衛生年鑑」

4. 現在の安全対策技術

4. 現在の安全対策技術

4.1 現状の技術

接触事故を予防する一つの手段として、超音波警報装置がすでに開発されており、広く普及には至っていないが、図-4・1・1に示すようにロードローラに装着して人物検知（警報のみ）を行っているものが全国で300台程度（ロードローラ、タイヤローラ等）使用されている。

しかし、前後方向のみの人物検知（超音波センサ）を行い警報を与える装置であるため、本研究開発にて対象となっている油圧ショベル等の旋回型には適用できない。

また、現在のところ、図-4・1・2に示すような旋回型建設機械（油圧ショベル系）に対応した安全装置も開発されている。これは、建設省の技術評価制度により各メーカーが開発した油圧ショベルにおける超音波センサの検知範囲を示しており、領域に人が侵入した場合、作業員を検知して自動停止（急停止）するものとなっている。

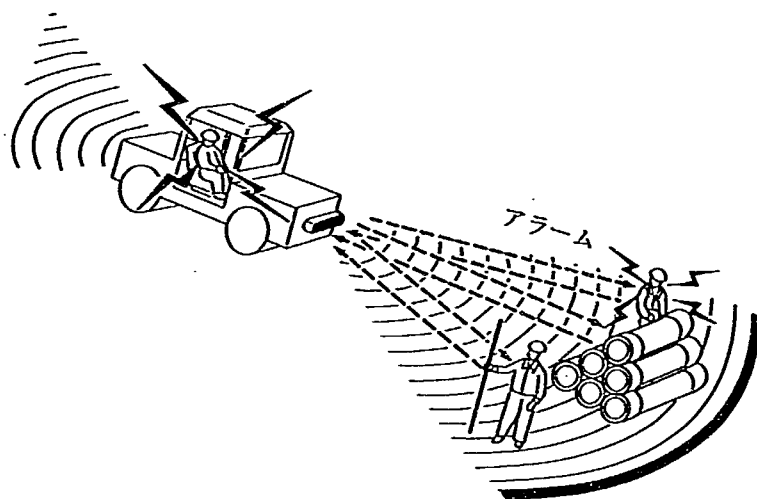


図-4・1・1 市販の接触防止装置（例）

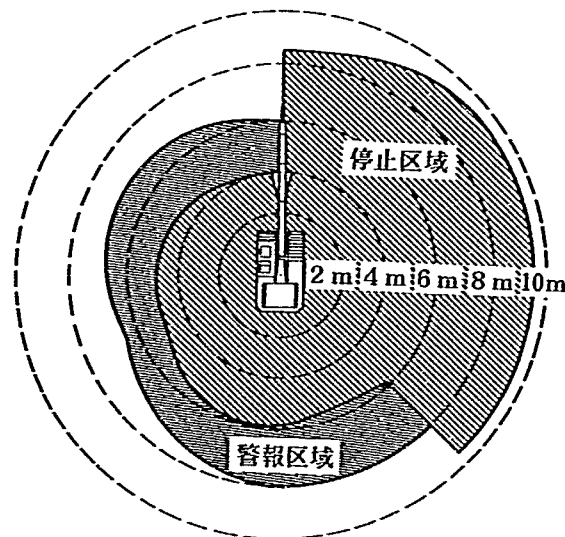


図-4・1・2 市販の検知範囲（例）

4.2 現状技術の課題

現状の技術においては、“検知精度及び範囲が建設作業の実態にそぐわず広すぎる”、“危険回避制御技術は停止のみであり、土砂等をバケット一杯にして旋回した際に急停止すると、それによる災害が生ずる恐れがある”等の問題があることから、作業効率の低下、急停止による新たな2次的災害の恐れなどがあり普及していない。

また、現在道路工事等で普及しつつある超音波警報装置についても、表-4・2・1に示すような評価を現場から受けており、安全装置がある程度有効であるが、今後検討の余地も多く残されていることがわかる。

表-4・2・1 安全装置の有効性

評 価 項 目	調査者数	構成比率
ローラの接触事故防止には効果がある。	17人	39%
現場作業者の安全に対する動機づけになる。	14人	32%
取り扱いの手間と費用から見て効果が少ない。	8人	18%
取り扱いが煩雑で、当社の現場にはなじまない。	5人	11%

出典：A社社内データ

5. 現場での実態調査（ヒヤリ・ハット）

5. 現場での実態調査（ヒヤリ・ハット）

油圧ショベルと作業員との接触防止技術を研究するに当たり、油圧ショベルを用いた作業のどこに問題があるかを調査した。

5.1 現場での実態

5.1.1 油圧ショベル事故災害分析

表-5・1・1は平成元年～平成4年迄の油圧ショベルにおける死亡災害の実態を、建設業安全衛生年鑑より抜き出しまとめたものである。表-5・1・2は上記災害のうち、作業員に被災の多い4つの事故形態につき、機械のどの部分で被災したか、またその時の機械の動きがどうであったかについて、まとめたものである。これらの表の分析結果から次の事がいえる。

- 1) 被災者はオペレータ122(40%)、作業員167(55%)がほとんどである。オペレータは転落・横転で災害にあう形態が多く、作業員は、はさまれ・激突・ひかれ・荷の落下で被災する形態が多い。
- 2) 旋回した時、バケットと作業員がはさまれたり激突する災害が最も多い。
- 3) 後進走行した時、下部走行体に作業員がひかれる災害が次いで多い。
- 4) 旋回した時、上部旋回体に作業員がはさまれる災害が3位である。

表-5・1・1 油圧ショベル死亡災害被災者数（平成元年～平成4年）

	事故形態	はさまれ	激 突	ひかれ	転 落	横 転	荷の 落下	その他	計 (%)
被災者数	オペレータ	12	4	1	57	38	3	7	122(40)
	作業員	57	40	27	4	7	23	9	167(55)
	不明・他	4	0	0	2	1	7	2	16(5)
	計 (%)	73 (24)	44 (14)	28 (9)	63 (21)	46 (15)	33 (11)	18 (6)	305(100)

注1) データは建設業安全衛生年鑑（建設業労働災害防止協会発行）による。

表-5・1・2 4つの事故形態に関する分析

事故形態	被災者 (人)	被災した機械部分				被災時の機械の動き				
		フット	フット	フット	不明・他	旋回	走行	フット	吊り	不明・他
はさまれ	73	35	16	0	22	32	6	7	2	26
激突	44	28	1	0	15	17	1	4	4	18
ひかれ	28	0	0	26	2	0	26	0	0	2
荷の落下	33	1	1	0	31	9	1	1	12	10
計 (%)	178 (100)	64 (36)	18 (10)	26 (15)	70 (39)	58 (33)	34 (19)	12 (7)	18 (10)	56 (31)

注1) フットは作業装置、フットは上部旋回体、フットは下部走行体の略である。

2) 作業装置による被災のほとんどはバケットによるものである。

3) 走行26件中、22件は後進走行である。

5.1.2 アンケートによる聞き取り調査

作業現場の油圧ショベルオペレータ、作業員、監督者の方々に、ヒヤリ・ハットの経験、その時の油圧ショベルの状態、および危険防止対策などについてヒアリングし、本共同研究の開発目標の絞り込みに用いるため、アンケート調査を実施した。

1) アンケート対象

多くの情報を収集するため、対象は(株)日本建設機械化協会の建設業部会幹事会社36社とし各社に5現場を選んでもらい、オペレータ2名、作業員1～2名、監督者1名に回答いただいた。

表-5・1・3 アンケート全回答件数

元請け数	オペレータ	作業員	監督者	合計
36社	434	263	230	927

表-5・1・4 工事種類別回答件数

工事内容	一般土工	基礎工	道路工	トンネル工	管埋設工	ダム工	解体工	その他	合計
回答数	296	188	153	86	82	55	13	54	927
構成比 %	32.0	20.3	16.5	9.3	8.8	5.9	1.4	5.8	100.0

表-5・1・5は回答者数を工事種類別、主に稼働していると答えた油圧ショベルの大きさ (ton) 別に表したものである。本表より次の事柄を読み取ることができる。

- (1) 工事全体では、10～22tonが最も広く稼働している。
- (2) 道路工では、10～22tonよりも、6 ton以下の使用比率が高い。
- (3) ダム工では、10～22tonに次いで、25ton以上の使用比率が高い。

表-5・1・5 工事種類別の主な稼働油圧ショベル

工事内容		一般 土工	基礎工	道路工	トンネ ル工	管埋設 工	ダム工	解体工	その他	合計
主 稼 働 シ ョ ベ ル	～6 ton (%)	1 2 (8.9)	1 3 (15.3)	4 1 (55.4)	2 (5.2)	5 (17.2)	0 (0.0)	1 (11.1)	0 (0.0)	7 4 (18.1)
	10～22 (%)	1 0 5 (77.8)	7 1 (83.5)	3 0 (40.5)	3 4 (87.1)	2 2 (75.9)	1 9 (65.5)	8 (88.9)	7 (87.5)	2 9 6 (72.6)
	25～ (%)	1 8 (13.3)	1 (1.2)	3 (4.1)	3 (7.7)	2 (6.9)	1 0 (34.5)	0 (0.0)	1 (12.5)	3 8 (9.3)
計 (%)		1 3 5 (100.)	8 5 (100.)	7 4 (100.)	3 9 (100.)	2 9 (100.)	2 9 (100.)	9 (100.)	8 (100.)	4 0 8 (100.)

2) ヒヤリ・ハット経験事例

表-5・1・6はヒヤリ・ハットを経験したオペレータに、どういう状態のときに経験したかを聞き、その人数を表したものである。本表より次の事柄を読み取ることができる。

- (1) 合計人数の工事別構成比を、表-5・1・4の工事構成比と比較すると、道路工（工事構成比16.5%、ヒヤリ・ハット構成比22.0%）以外は、両構成比がほぼ一致しており、道路工が、他の工事よりヒヤリ・ハット頻度が高いことが読み取れる。
- (2) 事例の中では、「気づかずに操作してヒヤリ」が48.3%で、「注意していたが」の30.9%より多い。ただ道路工ではこの関係が逆転しており、道路工では注意していてもヒヤリとする比率が高い。
- (3) 「誤ってレバーを操作してヒヤリ」の比率は全体で11.1%であり、低くはない。また道路工やトンネル工では約18%とその比率が高い。

表-5・1・6 オペレータのヒヤリ・ハット経験（どういとき、ヒヤリ・ハットしたか）

工事内容		一般 土工	基礎工	道路工	トンネ ル工	管埋設 工	ダム工	解体工	その他	合計
ど う い う と き ヒ ヤ リ	気づかず 操作して	8 6 (54.1)	4 7 (48.9)	3 9 (35.8)	2 0 (45.4)	2 0 (47.6)	1 7 (58.6)	4 (44.5)	6 (85.7)	2 3 9 (48.3)
	注意して いたが	4 5 (28.3)	3 3 (34.4)	4 0 (36.7)	1 1 (25.0)	1 2 (28.6)	8 (27.6)	3 (33.3)	1 (14.3)	1 5 3 (30.9)
	誤ってレ バー操作	1 1 (6.9)	1 0 (10.4)	2 0 (18.3)	8 (18.2)	5 (11.9)	0 (0.0)	1 (11.1)	0 (0.0)	5 5 (11.1)
	誘導ミス	1 7 (10.7)	6 (6.3)	1 0 (9.2)	5 (11.4)	5 (11.9)	4 (13.8)	1 (11.1)	0 (0.0)	4 8 (9.3)
計 (%)		1 5 9 (32.0)	9 6 (19.0)	1 0 9 (22.0)	4 4 (8.9)	4 2 (8.5)	2 9 (5.9)	9 (1.8)	7 (1.4)	4 9 5 (100.)

表-5・1・7はヒヤリ・ハットを経験したオペレータに、機械のどの部位で経験したか、その時どういう操作をしていたかを聞いたものである。部位は、図-5・1・1に示す記号A、B、---、Tの中から選んで回答してもらった。図-5・1・2及び図-5・1・3は表-5・1・7を見易く表示したものである。また表-5・1・8は主要なヒヤリ・ハット部位の工事別の構成比をまとめたものである。これらの表より次の事柄が読み取れる。

- (1) 部位ではバケット回り（A, B, C合計）が40.2%、旋回体後部（G, J, K, L, S合計）が41.8%であり、この2カ所でのヒヤリ・ハットが非常に多い。
- (2) 旋回体後部では、左側（L, I合計8.9%）より右側（G, J合計19.6%）でのヒヤリ・ハットが多い。右後部は、左右走行姿勢（記号S 8.7%）でのヒヤリ・ハットも多い。
- (3) ヒヤリ・ハット時の操作は、旋回が73.0%と圧倒的に多く、次いで走行の15.3%、作業装置の8.8%である。部位でみると旋回はほとんどの部分で多いが、走行は旋回体後部（記号S, K等）、作業装置はバケット回り（記号A, B, C）に多い。
- (4) 工事別にみると、一般土工やトンネル工では他の工種より旋回体後部でのヒヤリ・ハットが多く、道路工や管埋設工では他の工種よりバケット回りでのヒヤリ・ハットが多い。

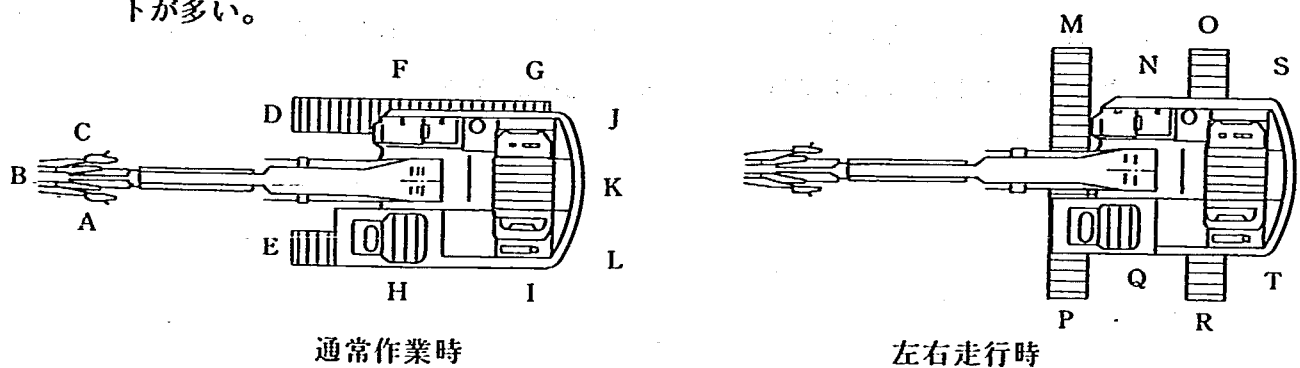


図-5・1・1 ヒヤリ・ハット部位

表-5・1・7 オペレータのヒヤリ・ハット経験部位とその時の操作

ヒヤリハット 部位	計 人 (%)	ヒヤリ・ハット時の機械操作					
		旋回	フロント	走行	旋回+走行	旋回+フロント	計
C	132 (18.8)	108 (87.9)	11 (8.9)	1	1	2	123
A	102 (14.6)	78 (80.5)	14 (14.4)	1	0	4	97
J	73 (10.4)	51 (82.2)	0	8	3	0	62
G	64 (9.2)	54 (91.5)	2	2	1	0	59
S	61 (8.7)	25 (48.2)	2	23 (44.4)	2	0	52
K	57 (8.2)	30 (58.7)	1	18 (35.3)	1	1	51
B	47 (6.7)	19 (43.2)	18 (40.9)	7	0	0	44
L	37 (5.3)	25 (78.2)	1	5	1	0	32
T	25 (3.6)	12 (54.6)	0	9	1	0	22
F	25 (3.6)	19 (86.5)	1	1	0	1	22
I	25 (3.6)	21 (91.4)	0	1	1	0	23
O	23 (3.3)	6	3	12 (57.1)	0	0	21
その他	28 (4.0)	13	2	11	0	0	26
計	699 (100.)	472 (73.0)	57 (8.8)	99 (15.3)	11 (1.7)	8 (1.2)	647

注1) フロントは作業装置の略である。

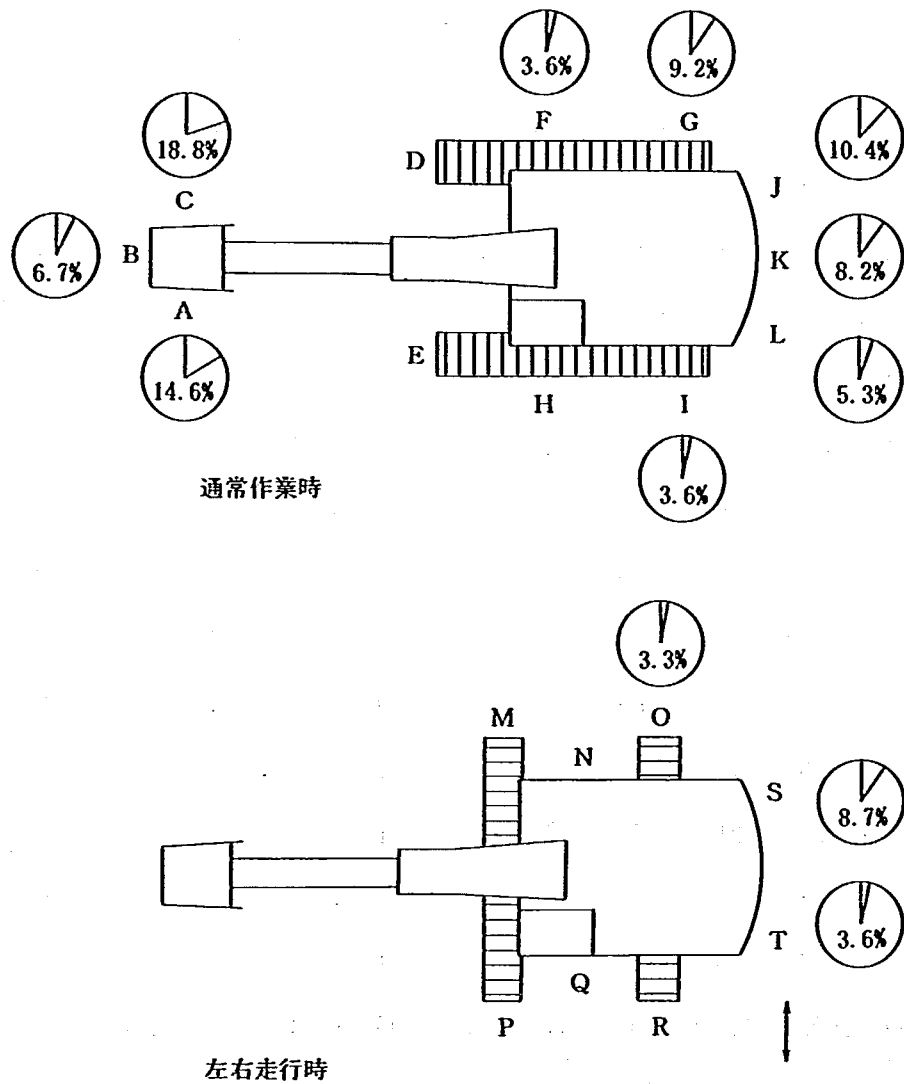


図-5・1・2 オペレータがヒヤリ・ハットした時の油圧ショベルの部位

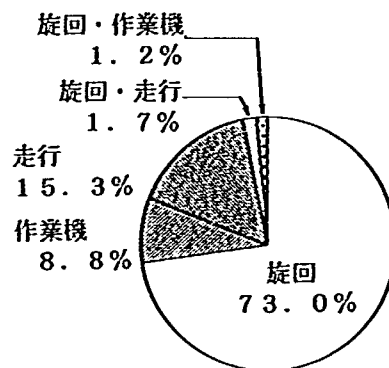


図-5・1・3 オペレータがヒヤリ・ハットした時の油圧ショベルの操作

表5・1・8 ヒヤリ・ハット部位の工事別構成比

ヒヤリハット 部位	構成比 %	一般 土工	基礎工	道路工	トンネ ル 工	管 埋 設 工	ダム工	解体工
C	18.8	16.2	22.8	21.3	16.7	19.4	16.3	18.2
A	14.6	12.4	15.4	18.4	12.5	24.3	2.7	18.2
J	10.4	13.2	11.8	5.9	12.5	4.8	13.5	0.0
G	9.2	9.9	7.4	8.8	8.3	8.1	13.5	9.1
S	8.7	10.7	10.3	6.6	6.9	9.7	5.4	0.0
K	8.2	8.2	5.9	9.6	11.1	4.8	8.1	18.1
B	6.7	4.3	7.4	10.3	4.2	8.1	10.8	9.1
L	5.3	7.3	4.4	2.2	8.3	3.2	8.1	0.0
計(人)	699	233	136	136	72	62	37	11

注1) 網掛け は、工事別構成比が全体構成比より2%以上高いものを示す。

表-5・1・9はヒヤリ・ハットを経験したオペレータに、ヒヤリ・ハットを経験した時の機械と作業員との距離について聞いたものである。また表-5・1・10はヒヤリ・ハットを経験したオペレータおよび作業員に、その時の機械の動作速度がどうであったかについて聞いたものである。これらの表より次の事柄を読み取ることができる。

- (1) ヒヤリ・ハット時の機械と作業員との距離は2m未満が87.3%であり、機械とかなり近ずいた所でのヒヤリ・ハットが多い。
- (2) ヒヤリ・ハット時の機械速度は、オペレータ、作業員、各々76%、82%が中速度以下と答えており、比較的ゆっくり操作でのヒヤリ・ハットが多い。

表-5・1・9 ヒヤリ・ハット時の機械と作業員との距離

距離 m	～1	1～2	2～	合計
計(人)	215	360	84	659
構成比 %	32.7	54.6	12.7	100.0

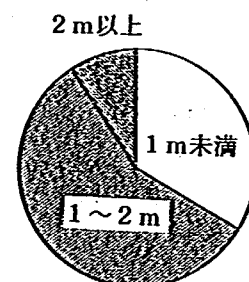


表5・1・10 ヒヤリ・ハット時の機械の動作速度

動作速度	常に微速	中速度あり	高速度あり	中速・高速	合計
オペレータの感じた速度	145人 (35.3%)	169 (41.1)	35 (8.5)	62 (15.1)	411 (100.0)
作業員の感じた速度	83 (39.3)	90 (42.7)	11 (5.2)	27 (12.8)	211 (100.0)

3) 危険回避システムについて

表-5・1・11は機械と作業員が危険なほど近づいた時、機械が自動的に危険回避策をとるとしたら、どの段階までが適当かについて、オペレータ、作業員、監督者に聞いたものである。また、表-5・1・12は作業員検出の為のセンサを作業員に取り付けるとしたら、どの部位がよいかについて聞いたものである。これらの表より次の事柄を読み取ることができる。

- (1) 危険回避システムでは、約半数の人が「警報のみが良い」と答えているが、残りの人は更なる回避策が必要としている。更なる回避策としては、「減速まで」という意見よりも「停止まで」という意見の方が多く、自動停止までを折り込んだシステムとする必要がある。
- (2) センサの取付位置では、ヘルメットが良いと言う意見が多いが、ベストが良いという意見も約20%あり、両方に取付られるよう考えて進めるのが良いであろう。

表-5・1・11 適当な危険回避システム

適当と思う危険回避策	危険域及びその周辺で警報を出す	左記に加え動作速度を減速する	左記に加え危険域では自動停止させる	合計(人)
オペレータ意見	231人 (54.6%)	87 (20.6)	105 (24.8)	423
作業員意見	121 (50.4)	49 (20.4)	70 (29.2)	240
監督者意見	103 (46.7)	58 (26.2)	60 (27.1)	221

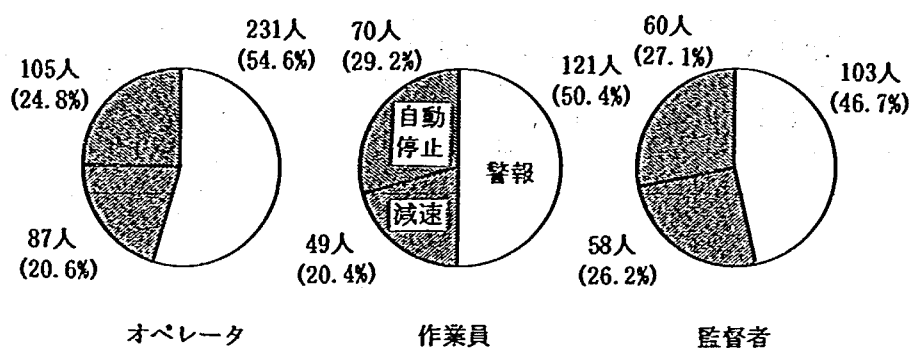


表-5・1・12 適当なセンサ取付位置

センサ位置	ヘルメット	ベスト	その他	合計
計（人）	679	178	48	905
構成比（％）	75.0	19.7	5.3	100.0

表-5・1・13は作業員以外の一般通行人等が危険域に入る頻度を聞いたものである。工事別傾向は通行人が少ないと思われる一般土工と、多いと思われる管理設工を抜き出して見てみた。本表より次の事柄を読み取ることができる。

- (1) 一般通行人等が危険域に「ときどきある」現場は25～30%もあり、これに対する安全にも配慮する必要であることを表している。管理設工では、「ほとんどない」が全体平均より約6%アップし「よくある」が4%下がっており、これは誘導員等を配置して安全を確保している効果がでているものではないかと思われる。

表-5・1・13 作業員以外の一般通行人等が危険域に入る頻度

頻度	ほとんどない	ときどきある	よくある	合計（人）
工事全体	622人 (69.9%)	232 (26.1)	36 (4.0)	890
一般土工	199 (70.4)	74 (26.1)	10 (3.5)	283
管理設工	60 (75.9)	19 (24.1)	0 (0.0)	79

5.1.3 現場での実態調査まとめ

以下に油圧ショベル事故災害分析の結果およびアンケートによる聞き取り調査の結果をまとめる。

1) 油圧ショベル事故災害分析の結果

- (1) 作業員は、はさまれ、激突、ひかれ、荷の落下で被災する形態が多いが、これらの中では、旋回した時バケットと作業員がぶつかる、走行後進した時下部走行体に作業員がひかれる、旋回した時上部旋回体と作業員がぶつかる災害が多く、これらを減らすことが必要である。

2) アンケートによる聞き取り調査の結果

- (1) 安全化の対象とする機械は、最も広く稼働している10～22tonクラスか、他の工種よりヒヤリ・ハット頻度が高い道路工での稼働が多い6ton以下とするのが良い。
- (2) ヒヤリ・ハットは、気づかずに操作して起こったり、注意して操作していても起

こったり誤ってレバーに触れて起こったりしている。

- (3) 部位ではバケット回り、旋回体後部でのヒヤリ・ハットが非常に多い。旋回体後部では、左側より右側でのヒヤリ・ハットが多い。右後部は、左右走行姿勢でのヒヤリ・ハットも多い。
- (4) ヒヤリ・ハット時の操作は、旋回が圧倒的に多く、次いで走行、作業装置の順である。部位でみると旋回はほとんどの部分で多いが走行は旋回体後部、作業装置はバケット回りに多い。
- (5) 工事別にみると、一般土工やトンネル工では他の工種より旋回体後部でのヒヤリ・ハットが多く、道路工や管埋設工では他の工種よりバケット回りでのヒヤリ・ハットが多い。
- (6) ヒヤリ・ハット時の機械と作業員との距離は2m未満がほとんどであり、機械とかなり近ずいた所でのヒヤリ・ハットが多い。ヒヤリ・ハット時の機械速度は、比較的ゆっくりな操作である。
- (7) 危険回避システムでは、約半数の人が「警報のみが良い」と答えているが、残りの人は更なる回避策が必要としている。更なる回避策としては、「減速まで」という意見よりも「停止まで」という意見の方が多く、研究目標としては、自動停止までを折り込んだシステムとする必要がある。
- (8) 作業員用センサの取付位置では、ヘルメットが良いと言う意見が多いが、ベストが良いという意見もあり、両方に取付られるよう考えて進めるのが良いであろう。
- (9) 一般通行人等が危険域にときどき以上はいる現場は25～30%もあるが、一般通行人等が危険となる現場では、誘導員等を配置して安全を確保していることを考えると、接触防止の対象は作業員および誘導員として、よいと思われる。

5.2 聞き取りによる現場での実態

土木研究所にて、今後の作業の安全性向上に寄与することを目的として、平成6年度に建設機械と作業員との作業形態について、安全性の面から現場での実態調査を行なっている。

その中のヒヤリング結果として、油圧ショベル関連のヒヤリ・ハット事例が報告されている。

方法は、監督者、オペレータ（大型油圧ショベル）、合図者・一般作業員、トラック運転手に ①事故またはヒヤリ・ハット事例 ②建設機械に接触する場面について聞き取りを行なっている。

ヒヤリング結果を、建設機械と作業員との作業に関する危険箇所とその改善案をまとめると、以下の通りである。建設機械と作業員の接触事故は、建設機械と作業員との共同作業が根本的な要因である。

極力建設機械でできる作業を増やし、人手作業を減らして、作業員が建設機械の作業範囲に入っている共同作業の必要性をなくするのが安全性向上につながる。また挟まれ事故には誘導員のミスによるダンプ後退時のショベルとの挟まれ事故もある。これは誘導員の不慣れも問題であり、誘導員への安全教育も重要である。

5.2.1 旋回半径内及び死角への人の進入による危険

危険箇所	改善案
1) 施工効率を考慮すると、人手作業を極力減らし、油圧ショベルが作業員や物に目いっぱい近づいても、出来るだけ多くの作業をこなすことが必要となり、実際そのようなケースが多いのが現状である。	1-1) 油圧ショベルの旋回半径内に人が入るとセンサが感知して停止するような機能は、能率が上がらないので使えないという認識が強い。できる限り小さな停止範囲とする必要がある。 1-2) 周辺作業員に対して作業説明・指示等をできるような、オプション装置の拡声マイクの普及を図る。
2) 油圧ショベルでの一番多い事故が、旋回や後進時に後ろの死角に人がいて挟まれるケースであり、挟まれるほどではないが、ぶつかった程度のヒヤリ・ハットは少なくない。	2) 旋回半径内に人が入ったり、人や物が接近した場合には警報音で知らせ、至近距離の場合には減速し、接触直前で非常停止するような機能を開発する。
3) 通常は合図者がいるが、油圧ショベルの移動時には合図者がいないため、知らないうちに人や物に近づいていることも多い。	3-1) 走行時、特に後進や右横走行時のオペレータからの視界がききづらい範囲はセンサでカバーする。 3-2) 油圧ショベルの移動時（特に後進時）には警報音で周りに知らせることができるオプション装置を取り付ける。

4) 掘削中、作業員が油圧ショベル近くにある物（道具、資材等）を取るために近づくことがあり、旋回したら作業員がいてハットすることがある。油圧ショベルから作業員へより作業員が油圧ショベルに近づいていく方が多い。	4) オペレータや作業員が旋回半径を常に意識するよう、本体の周囲に旋回半径を示すバーを取り付ける方法も考えられる。
--	---

5.2.2 建設機械の操作ミスによる危険

危険箇所	改善案
1) メーカー毎に操作方法が異なるため、慣れない機械での誤操作により、バケットと構造物の間に人が挟まれた。ただし、すでにメーカーの規格統一が実施されている。	1) 建設省関係の工事では、JIS操作レバー方式の機械を使用することになっているが、実情は必ずしもそうになっていない場合がある。今後、JIS操作レバー方式への統一化に向けて、段階的に押し進める必要がある。

5.2.3 油断や不注意による危険

危険箇所	改善案
1) どんなに注意しているつもりでも、油断や不注意によって事故は起こり得る。周りに物が置いてあるような現場での作業中には、うっかり物が置いてあることを忘れてしまうこともある。	1) 建設機械のハード面の改良により油断や不注意による事故を防止することはもちろんの事、油断や不注意をなくするための安全教育方法の研究とその実践を始め、作業員の精神的な面から安全対策を行っていくことも不可欠である。

2) 慣れによる不注意はベテランにもある。 ベテランは安全教育を行っても、そんなことは分かっていると言って聞いていないことが多い。	2) 慣れにより危険意識が低くなってくる熟練作業員に対して、効果的な安全教育が望まれる。
3) 油圧ショベルの旋回半径内に入ると危険であると常に言われているが、安全確保のためには掘削土砂が飛び作業者に当たる事のないように旋回半径よりもさらに2～3m以上離れている必要がある。	3) 超音波センサにより作業員から2～3mの検知を行ない警報を出す等の検討が必要である。

5.2.4 ブームによる右横の死角による危険

危険箇所	改善案
1) ブームが立ち上がった時には、オペレータ席から右側がかなり見にくくなる。	1-1) 右前方を見るミラーを取付ける。 1-2) 旋回時に働くセンサを取り付ける方法もある。

5.2.5 建設機械と作業員の共同作業による危険

危険箇所	改善案
1) 矢板土落としの人手作業は、小型油圧ショベルによる細かい矢板土落としが可能であれば、人手作業を軽減することが可能である。	1) 容易に取り外しできる矢板土落とし用のバケット爪をメーカーのオプション装備とする。
2) 道路工事の際には、路面を痛めないようにバケットに平爪を付けて作業をしているが平爪は現場が任意に取り付けたもの。	2) 道路工事用のバケットの平爪は、オプション装備としてメーカーに用意されているのでそれを使用する。

5.2.6 旋回半径の長さによる危険

危険箇所	改善案
1) 対面2車線の道路の一方を通行規制して行っている工事の場合、反対車線を通る車と油圧ショベルが接触する恐れがある。実際の作業時には、旋回半径の寸法上どうしても機体の一部が反対車線に出てしまうことがある。	1) 使用する油圧ショベルを道路幅以内に収まる様に選定する。又、超小旋回型油圧ショベルを使用する。
2) 狭所では不注意により架線を切断することがある。	2) ショートブームにスライドアームをつける等、工事の環境に応じた機械仕様の工夫が必要である。

5.2.7 建設機械操作技術の個人差による危険

危険箇所	改善案
1) 油圧ショベルの運転操作は、上手下手がはっきりしている。新米オペレータの操作時には危なくて近づけない。	1) 新米オペレータでも実現場で危ない操作が起きない様に、シュミレータ等を利用して運転指導を充実させる。
2) 新米オペレータはトラックへの指示も下手なため、トラックがバックしすぎて油圧ショベルにぶつかることがある。	2) 警報装置での指示だけでなく、拡声機を使って適切な指示がだせる様、オプション装置を取り付けるのも一案である。

5.2.8 夜間工事の照明不足による危険

危険箇所	改善案
1) 夜間工事では、照明があっても全面を照らすことが出来ず、暗くて見通しがきかない場合が多い。そのため、近くに人がいても暗くて分からない時がある。	1) 機械周辺の危険領域の人物をセンサで検知し、安全性を確保する。
2) 現在、油圧ショベルのブームには1カ所だけ照明が付いているのみであり、ブーム立ち上げ時などには照明が上向きになり、ほとんどその機能を果たさない。	2) 新型の油圧ショベルでは、前照灯を増やしてきているが、現場に合わせ、オプションの増設ライトを設置する。

5.2.9 建設機械の操作性の問題による危険

危険箇所	改善案
1) 油圧ショベルから降りる時に、作業服のポケットが操作レバーに触れて、誤動作することがある。	1-1) 油圧ショベルのオペレータシートへの乗り降りする場所には安全ロックレバーが有り、ロック側にすると操作レバーを動かしても作業機が動かない様になっている。作業中断時や、オペレータシートから離れる時はロック側に操作することを確実に言う様に指導する。 1-2) 作業服が触れても作動しないような技術の開発が望ましい。

5.2.10 まとめ

聞き取り調査による現場での実態は、建設機械と作業者の同時作業による接触事故が多い。しかし、施工効率を考えると人手作業をはずせないのが現状である。対策案としては、フロント部での同時作業を除き、運転者が知らないうちに機械の死角に作業員が

近づいての旋回操作や走行操作による挟まれ事故の防止を図ることにより、接触事故を低減させることができると考えられる。

尚、改善方法の中で、実際に標準装備やオプション設定として商品化されているにもかかわらず、なかったり、使用していない場合が見受けられるので、下記に参考として示す。

○拡声マイク	-----	5.2.1	改善案	1-2)
○走行連動のバックアップブザー	-----	5.2.1	改善案	3-2)
○JIS操作レバー方式	-----	5.2.2	改善案	1)
○道路工事用の平爪	-----	5.2.5	改善案	2)
○超小旋回型ショベル	-----	5.2.6	改善案	1)
○操作レバーの安全ロックレバーがキャブ入口に 設置されている。	-----	5.2.9	改善案	1-1)

6. 開発目標

6. 開発目標

開発目標は作業効率の低下を極力抑えつつ、事故災害を防止できるよう次のように設定した。

6.1 接触防止保護対象者

油圧ショベルによる死亡災害分析（表-5・1参照）によると、被災者全体のうちで作業員が最も多く55%、オペレータは40%を占めている。作業員の死亡のうち「はさまれ、激突、ひかれ」といった人と建設機械との接触事故は74%を占めている。そこで、本研究では人と建設機械との接触事故防止を目的とし、接触防止対象者は工事現場指定のセンサを装着した作業員（現場監督者、誘導員を含む）とする。

6.2 対象作業形態および工種

作業員の死亡災害時の工種は明らかではないが、ヒヤリ・ハット調査（表-5・6参照）によれば一般土工、基礎工、道路工など多岐にわたっている。そこで、本研究の接触防止対象作業形態は、建設機械とその周辺の作業員が近距離で混在している場所での作業現場を想定し、工種は特に限定しない。

6.3 接触回避対象操作

被災時の建設機械の動きとしては、死亡災害時統計で、旋回33%、走行19%、フロント7%（表-5・1・2参照）、ヒヤリ・ハット調査統計で、旋回73%、走行15%、フロント8.8%（表-5・1・7参照）である。そこで、各操作モード使用時の接触回避形態を次のように想定する。

1) 走行操作

後進走行や右横走行時、旋回体後方および右側面における「はさまれ、ひかれ」等を回避できること。この回避は作業員が検知領域内にいる場合および検知領域外から中へ進入してくる場合に対して可能であること。

注：ここでは上部旋回体と走行体を直角にして走行する場合のことを「右横走行」ということにする。一般にはカニ走行ということもある。

2) 旋回操作

旋回体後部右側面および左側面における「はさまれ」等を回避できること。

作業員が検知領域内にいる場合および検知領域外から中へ進入してくる場合に対して接触回避できること。

3) 作業装置操作

作業開始時、作業装置検知領域内にいる作業員とバケットとの「激突」等を回避できること。ただし、作業員がやむを得ず作業装置近傍にいる場合は、接触防止機能を解除して作業できること。なお、作業員が検知領域外から検知領域内に急に進入してくる場合は保護対象としない。

6.4 検知領域

検知領域は警報だけを行う警報区域、建設機械の動きを減速させる減速区域、建設機械の動きを停止させる停止区域に分類し、接触回避に最も適しかつ作業効率を大きく損なわないよう各区域を設定すること。

6.5 警報

1) オペレータに対する警報

エンジンスイッチオン後、検知領域内における作業員の有無を常時光と音で知らせる表示をすること。また、減速、停止区域での警報は音と光にて行い、区域により警報の種類を変えること。

2) 作業員に対する警報

減速、停止区域での警報を音で行うこと。

6.6 経済性

装置取付に際し、本体価格に対して著しく高価にならないこと。

7. センサ技術

7. センサ技術

7.1 接触防止用センサの適合要件

開発目標を実現するために必要なセンサ技術を選択する上で、まず基本的な要件として次の項目をあげて検討した。

- ① 油圧ショベルに必要な検知領域が容易に形成でき、その中にいる作業員を確実に検知できること。
- ② 検知領域の中は適当に距離設定ができ、作業員の位置が遅滞なく確認できること。
- ③ システムの構成が簡単でコストが安く、装備や取扱いが容易なこと。
- ④ 作業環境の影響が少なく、またその変化に耐えること。
- ⑤ 環境問題や法的な制約がないこと。

7.2 センサの種類及び適合性の検討

先に述べた適合要件に基づいて現在実用化され、各分野に普及している代表的なセンサ方式を抽出して検討を行った。

原理的には超音波式、電波（マイクロ波、UHF等）式、赤外線式、画像（CCDカメラ等）視認式等があげられ、さらに手法の違いによりこれを8つの方式に分類した。

次に適合性の内容を10項目に分け、各項目ごとに適合性の程度に応じて4段階の評価記号（◎、○、△、×）を付与し、これをもとに総合的な評価を行った。この結果を表-7.2.1「接触防止用センサの適合性評価表」にまとめた。概要は次の通りである。

1) 作業員を特定できるか

超音波トランスポンダ方式、マイクロ波トランスポンダ方式、電波データ通信方式、及び画像視認方式は、作業員を特定できる。しかし、画像視認方式以外は、作業員に何らかの応答装置を持たせることが必要である。赤外線感温検知方式は、周囲と温度差のある作業員などの検知は出来るが、作業員以外の物も検知する可能性がある。

2) 検知距離はどうか

10m位を最大検知距離と考えると、超音波トランスポンダ方式、マイクロ波ドプラ方式、赤外線感温方式、画像視認方式、電波データ通信方式が可能である。マイクロ波トランスポンダ方式も最大検知距離は大きいが至近距離の検知は困難と判断される。

3) 作業員までの距離が測定できるか

超音波トランスポンダ方式、超音波反射エコー方式、マイクロ波ドプラレーダ方式、マイクロ波トランスポンダ方式、赤外線変調光反射方式及び画像視認方式は、何らかの方法で距離の測定が可能である。特に、開発目標で定めた、「検知領域内を危険度

に応じて距離方向に3分割する」点に関しては、超音波トランスポンダ方式が最も適しているといえる。

4) 遅滞なく作業員が検知出来るか(応答性)

0.1秒以下を基準にすると電波や赤外線を使った方式が優れている。超音波式は0.3~0.5秒程度の遅れがある。画像視認式は現状では確認に時間がかかると判断された。

5) 検知領域は容易に形成できるか?

超音波トランスポンダ方式と赤外線式が優れている。対象物からの反射を検出する方式のものは地面や構造物の反射が障害になる。電波を使用したものは構造物からの再輻射があるため検知領域の形成は周囲の条件により複雑になる。

6) 環境条件の影響はどうか

雨、風、雪、温度、湿度、粉塵、振動、衝撃、雑音等を総合して考えると、電波を利用したものが最も耐環境性に優れ、次いで超音波式、赤外線式の順になる。いずれにせよ使用環境条件の設定が必要である。赤外線式は屋外での使用には場所により誤動作が多く、現状無理があると考えられている。

7) 装備・保守性が良いか

形状、寸法、質量、構成がシンプルで、かつ調整、整備が簡単なことが必要である。画像視認式はカメラを装備する場所に制約が予想され、また電波式は検知領域の設定に熟練を要すると思われる。

したがって、超音波式・赤外線式が適していると判断される。

8) コストは安いのか

超音波式及び赤外線式がデバイスに汎用性があり比較的安価である。

9) 対象(作業員など)にも警報が伝えられるか?

作業員などに直接警報を与えられるのは、トランスポンダ方式の場合だけで、対象者には何らかの応答装置を持たせる必要がある。この警報は、安全の確保がオペレータと作業員双方の注意によるものとの認識から、有効なものと判断される。

10) 環境問題・法規制の問題はどうか?

電波式の場合の電波法以外特に問題はない。

表-7.2.1から、各方式の評価内容を総合してみると、①超音波トランスポンダ方式、②電波データ通信方式、③マイクロ波トランスポンダ方式、の順となった。さらにこれを適合要件と照合して考察した結果、第2位の電波データ通信方式は、本装置に必要な距離の測定と区分が出来ないこと、第3位のマイクロ波トランスポンダ方式は、接触の危険が大きい至近距離領域の検知に困難があることから、接触防止用センサとしては現状超音波パルストランスポンダ方式がもっとも適していると判定した。

表-7・2・1 接触防止用センサの適合性評価表

評価項目 方式		①人物を特定できる	②監視距離	③距離測定ができる	④応答性が良い ≤0.1Sec	⑤エリアの形成容易	⑥環境条件に強い 雨、風、温度 粉塵、雑音	⑦装飾性が良い 形状、寸法 重量、数量	⑧コストが安い 360°全域を 監視する	⑨対象に警報がだせる	⑩使用上の規制 環境問題、 法規制等
1	超音波パルス トランスミッタ方式	◎ 応答装置が必要	○ 使用周波数 ≤30KHz	◎	△ 0.3~0.5 Sec	○	△	○	○	○ 応答装置が必要	○
2	超音波パルス 反射エコー式	×	△ 5m位が限度	◎	○ 0.1Sec可能	△ 地表、構造物反射に難	△	○	○ 全域監視は困難	×	○
3	マイクロ波 ドプラレーダ方式	×	○ 対人検知10 mが限度か	○ 2つの周波 数を用いる	○	△ 構造物の再 輻射で困難	○	△	×	×	×
4	マイクロ波パルス トランスミッタ式	◎ 応答装置が必要	×	○	○	△	○	△	×	○ 応答装置が必要	×
5	赤外線 感温検知式	×	○ 対人検知10 mが限度	×	△	○	△ 屋内使用が 常識的	○	○	×	○
6	赤外線 変調光反射式	×	△ エリアは比較 的小さい	○	○	○	△	○	○	×	○
7	CCDカメラ ステレオビジョン	○	○	○	×	△	×	△ 場所によっ ては厳しい	×	×	○
8	電波(マイクロ波、UHF) データ通信方式	○ 応答装置が必要	○	×	○	△マイクロ波 ×UHF	◎	△	△	○ 応答装置が必要	×

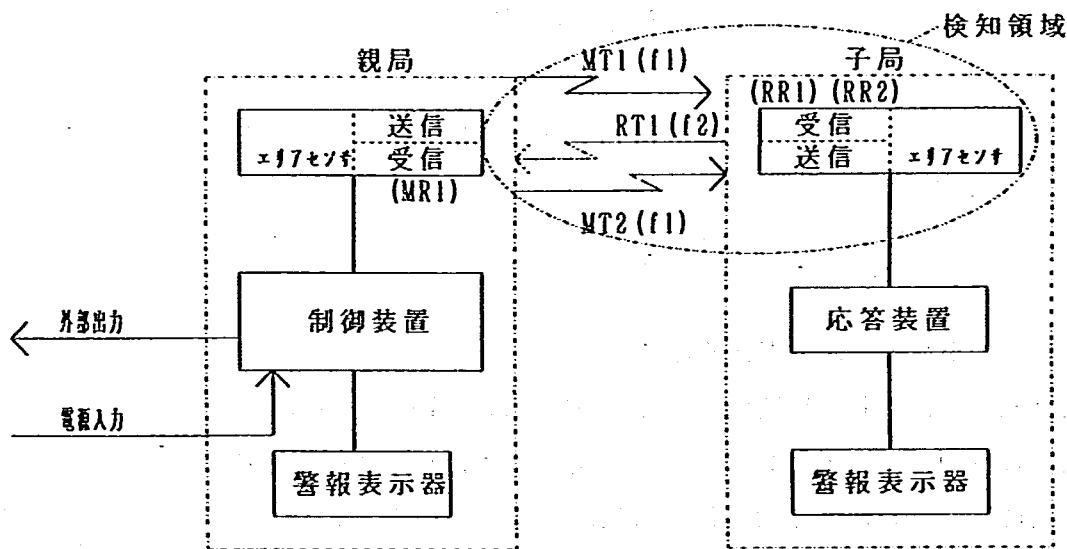
◎最適、○適、△要検討、×不適

7.3 超音波トランスポンダ方式

トランスポンダ方式はすでに海難探索用レーダトランスポンダその他に使用され、一台の親局に対して複数の子局との間の情報交換や位置の確認などに実績のある方式である。

7.3.1 動作原理

図-7.3.1に本方式の機能ブロック図を示す。以下この図をもとに基本動作原理を説明する。



MT1: 親局の第1次発信。周波数 $f1$
RT1: 子局の応答発信。周波数 $f2$
MT2: 親局の第2次発信。周波数 $f1$

図-7.3.1 超音波トランスポンダ方式機能ブロック図

- 1) まず親局から周波数 $f1$ なる超音波パルス信号を送信周期 T で発信する。この基本発信モードを親局の第一次発信とし、記号MT1で表す。
- 2) 親局の第一次発信信号MT1は親局と子局の距離に比例した伝ぱん時間だけ遅れて子局で受信される。この信号を子局の第一次受信信号とし、記号RR1で表す。
- 3) 信号RR1を受信した子局は一定の信号処理時間を経た後周波数 $f2$ のパルス信号を親局に返送する。

この信号を子局の第一次発信信号とし記号RT1で表す。この間、親局は継続して信号MT1の発信を行い、子局は通常受信スタンバイの状態、信号MT1を受信したときのみこれに同期した応答信号RT1を親局に対して発信する。

- 4) 信号RT1は超音波の伝ぱん時間だけ遅れて親局で受信される。この信号を親局の第一次受信信号とし、記号MR1で表す。信号MR1を受信した親局は、基本発信モードにおける信号MT1からMR1を受信するまでの時間をもとに子局までの距離を演算し、この距

離があらかじめ設定した範囲内にあるとき子局を検出したことを示す出力信号を送出する。

- 5) 子局の返信信号MR1を確認した親局は、同時にこれを起点として一定の処理時間の後再び周波数f1なるパルス信号を子局に対して発信する。この信号を親局の第二次発信信号とし、記号MT2で表す。
- 6) 信号MT2は再び子局で受信される。この信号を子局の第二次受信信号とし記号RR2で表す。この信号RR2は子局が親局によって検知されていることを意味しており、親局と同時に子局でも親局の得た検知情報を受け取ることができる。
- 7) 以上の動作を一周期分として、この動作を継続して行う。

このようにして接触防止型油圧ショベルでは車両を親局、作業員を子局として構成することにより、オペレータと周辺作業員の双方が車両の検知領域内における危険な状況を同時に認識できるようになっている。

7.3.2 超音波トランスポンダ方式の特長

- 1) 車両（親局）に対して複数の作業員（子局）の構成ができる。
- 2) 車両側には距離の一番近い（接触の危険度の高い）作業員の信号が優先して検知され、同時に作業員にも車両の検知領域にいることを直接本人に報知することができる。
- 3) 距離の計測が容易であり、車両の大きさと危険度に応じた検知領域を車両側で簡単に設定できる。
- 4) 発信及び受信の周波数を変えることにより、周辺構造物などからの反射波と作業員からの応答信号が区別でき、雑音に強いセンサシステムとすることができる。
- 5) 車両やその近くの構造物、地面などにとらわれることなく、必要な場所や方向に確実に検知領域が形成できる。
- 6) エコー式（超音波、マイクロ波など）にみられる至近距離の不感域が解消できる。
- 7) 精度が高い割に電子回路のデバイスは汎用品で構成でき、低価格のシステムが実現できる。

7.4 今回採用した超音波センサシステム

以上の検討結果から、今回製作したシステムの基本性能及び構成を次のように決定した。

7.4.1 基本性能

1) 基本性能仕様

本センサシステムの主要性能を表-7・4・1に示す。

表-7・4・1 超音波センサシステムの基本性能

○使用周波数	親局・・・送信 28kHz ± 0.3kHz 受信 21kHz ± 0.3kHz 子局・・・送信 21kHz ± 0.3kHz 受信 28kHz ± 0.3kHz
○送信周期	0.22 秒
○検出時間	0.3～0.5 秒 （親子局間の距離が2mのとき）
○検知領域	1) 走行用検知領域 ・・・1チャンネル 2) 旋回用検知領域 ・・・1チャンネル 3) 作業装置用検知領域 ・・・1チャンネル 以上3つの領域はそれぞれ独自の検知機能を有する。
○監視区域	各検知領域内は次の3つの区域に分割できること。 1) 停止区域（車両の停止作動範囲）・・・0.5～6mまで0.5m間隔で距離設定可 1) 減速区域（車両の減速作動範囲）・・・0.5～6mまで0.5m間隔で距離設定可 1) 警報区域（車両制御なし） ・・・2～6mまで1m間隔で距離の設定可
○距離精度	±10%または±0.5mのいずれか小さい方（気温 20℃）
○外部出力信号	3つの検知領域の停止、減速、警報区域、に各1回路、合計9回路
○警報表示	各検知領域の各区域に対してブザーによる警報音を発音し、ランプ表示を行う
○作業装置解除機能	バケットの制御機能をスイッチ操作により解除できる。
○電源	10.5～32V.DC. 10W 以下

2) 超音波センサ

超音波センサは電気信号を超音波信号に、また超音波信号を電気信号に変換するもので、今回使用した超音波センサはバイモルフ型のセラミック振動子である。車両側のセンサは送受信とも音圧対周波特性は単峰（モノピーク）性であるが、作業員側のセンサは双峰特性（ダブルピーク）になっている。

これは作業員が装着するセンサの数をなるべく減らすことによって煩雑さを軽減するためである。

作業員用センサの代表的な音圧対周波数特性を図-7.4.1に、指向特性を図-7.4.2に示した。

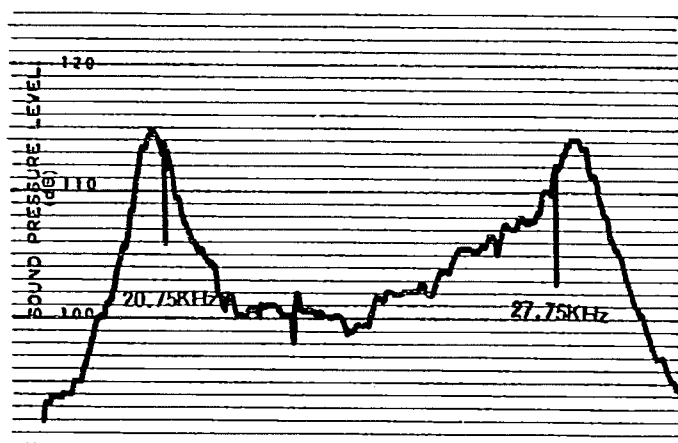


図-7.4.1 超音波センサの音圧特性の一例

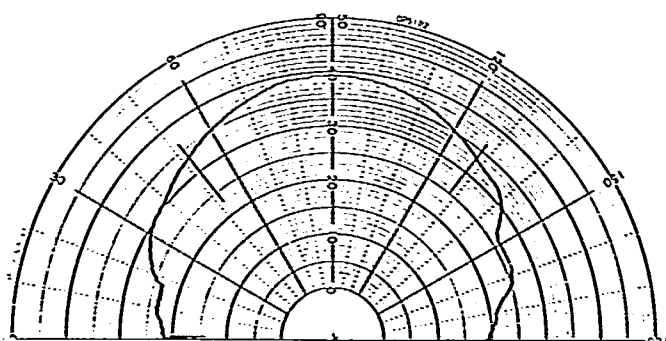


図-7.4.2 超音波センサの指向特性の一例

3) 超音波センサ1台の検知領域

車両側のセンサ1台で形成できる領域を図-7.4.3に示す。

センサを中心とした横の広がり（中心角）は距離によって異なり、距離10mのときは60°、2mでは約140°である。これより広い領域を監視する必要があるときはセンサの数を増設してカバーする。

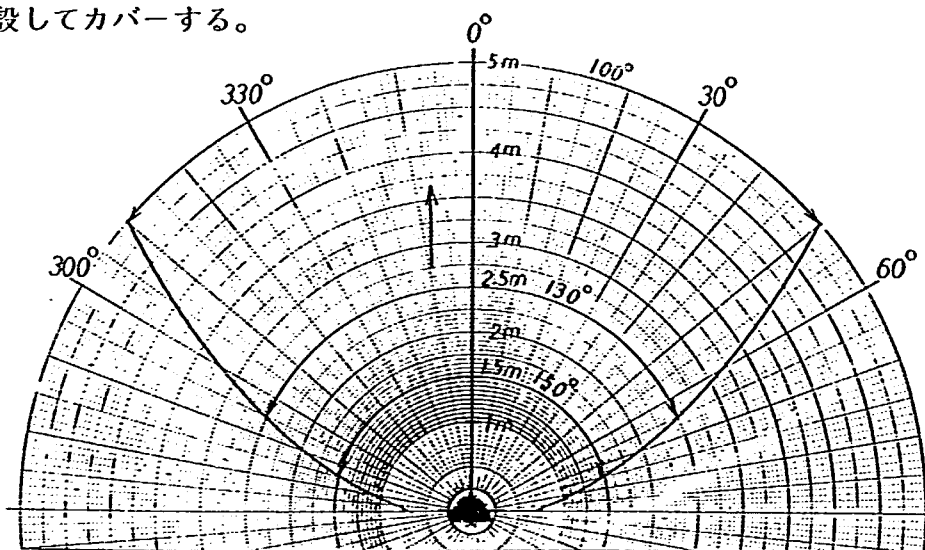


図-7.4.3 超音波センサ1台の検知領域

7.4.2 システムの構成

今回製作した超音波センサシステムの構成を表-7・4・2に、外観を写真-7・4・1(イ)、(ロ)に示す。この構成は10tonクラスの油圧ショベルに対応したものである。車両の大きさなどにより死角の広さが異なるときはセンサの配置や数を変更してそれに対応する。

表-7・4・2 基本構成表

ユニット名	数量	備考
センサ制御器	1 式	3チャンネル内蔵
警報表示器	1 式	ブザー音及び77°表示
超音波センサ 走行用 旋回用 作業装置用	4 個 2 個 2 個	
センサケーブル	1 式	
電源ケーブル	1 式	
外部出力ケーブル	1 式	
応答器	n 個	作業員数

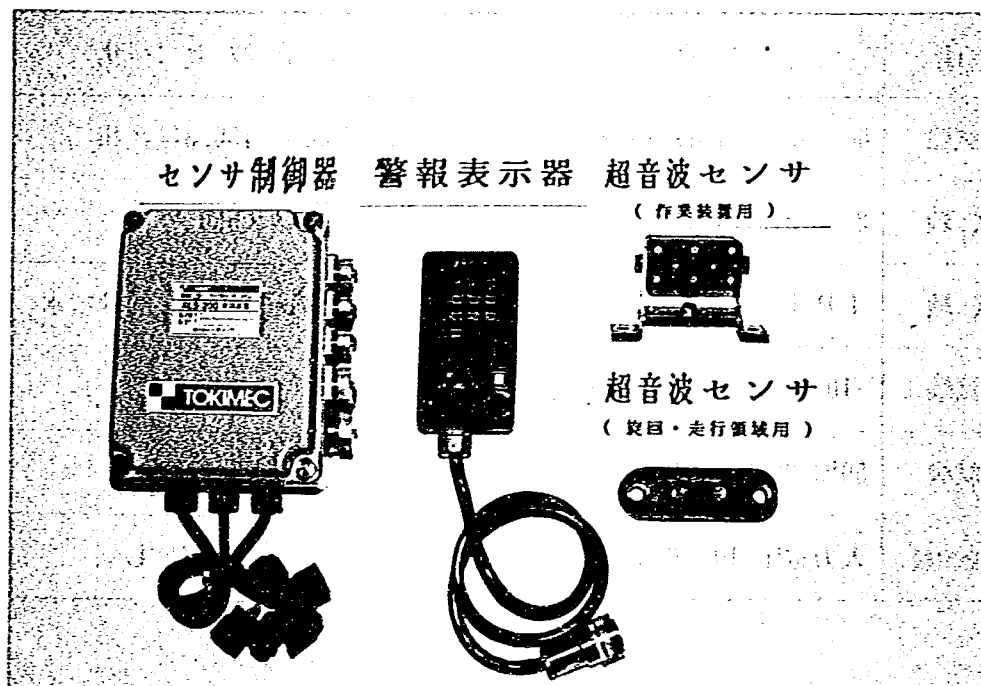


写真-7・4・1(イ) 車両側ユニット外観

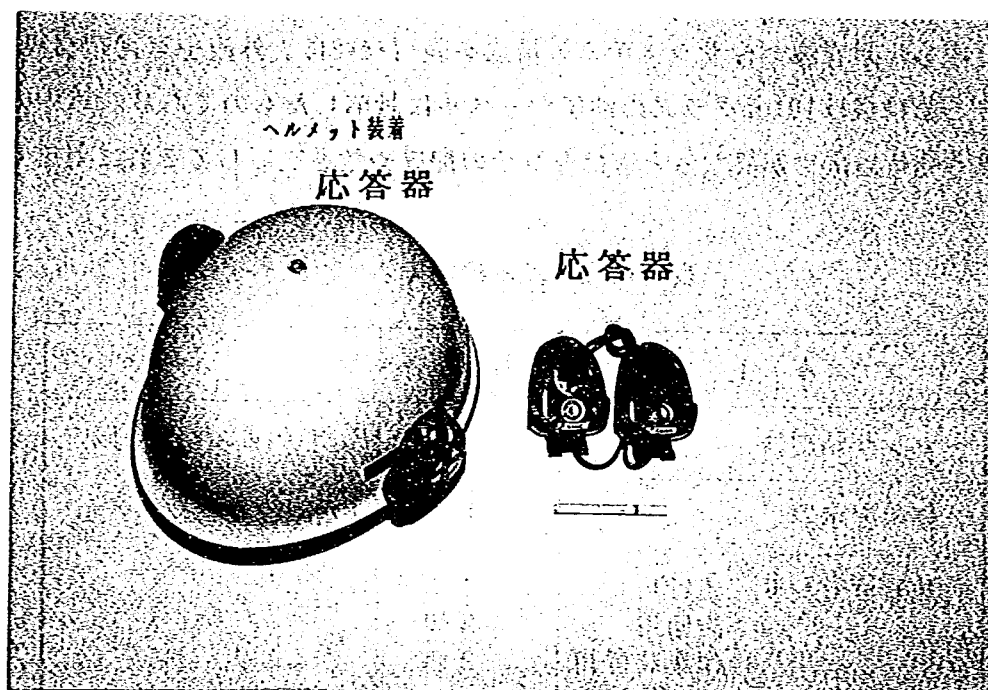


写真-7・4・1(ロ) 作業員側ユニット外観

7.5 超音波センサシステムの耐環境・耐久性能

7.5.1 耐環境性能試験

システムの耐環境・耐久性能試験項目及び試験結果は表-7・5・1の通りである。

表-7・5・1 耐環境性能試験項目

項 目	センサ制御機器	超音波センサ	判 定
振動耐久試験	5~100Hz. 4.4G. 3軸×4h	5~200Hz. 15G. 3軸×4h	合 格
衝撃試験	30G. 3軸×5回	100G. 3軸×5回	合 格
耐水試験	IP65	7.5kgf/cm ² . 水柱. 30秒噴水	合 格
温度試験	-10±55℃. 3時間 -30±55℃. 1時間	同 左	合 格
湿度試験	50℃. 95%RH. 48時間	同 左	合 格
電源電圧変動試験	入力電圧 10~32V, DC	規 定 な し	合 格

7.5.2 超音波センサの耐久・耐環境性能試験結果

試験結果の概要は次のとおりである。

1) 振動耐久試験

- (1) 試験規格 JIS D 1601.3類Dに準じる。
- (2) 試験日 1994年7月8～12日
- (3) 場所 (株) トキメック環境試験室
- (4) 試験器 振動試験器 G-0130 振研製
記録計 LR8100 横河電機製
- (5) 試験方法 ○振動試験器に超音波センサを取り付ける。
○振動周波数5～27Hz:振幅±5mm. 振動周波数27～200Hz:加速度147m/S²(15G). 周期20minにて12サイクルで掃引振動耐久試験を行う。
これを3方向、合計12時間。
○試験中、ユニットが正常に動作することを確認する。
○試験後、外観等に異常がないことを確認する。
- (6) 試験の様子を写真-7・5・1に、試験データの一部を図-7・5・1に示す。
- (7) 試験結果 異常なし。

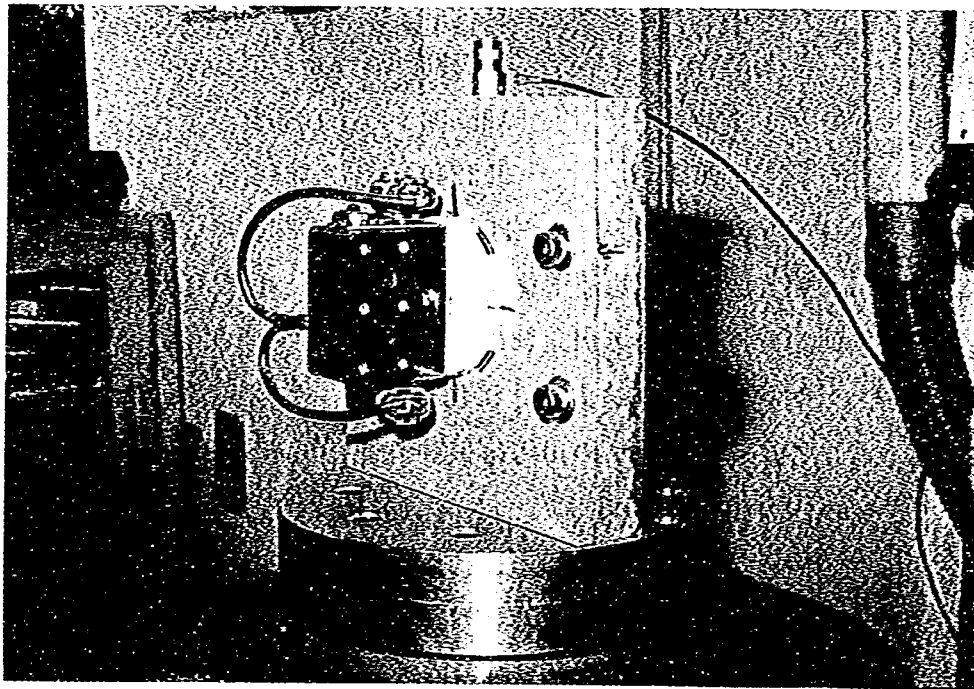


写真-7・5・1 振動耐久試験の様子

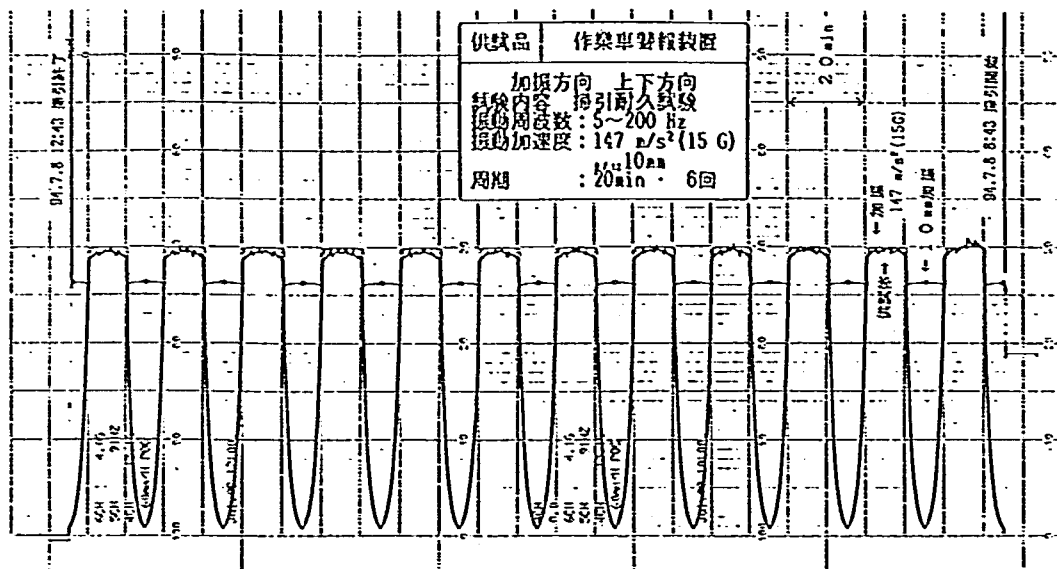


図-7.5.1 振動耐久試験データの一部

2) 衝撃試験

(1) 試験日 1994年 9 月 9 日

(2) 場所 (株) コマツ 建機研究所 (平塚市)

(3) 試験器 PC100型油圧ショベル (コマツ製) に超音波センサを装着

加速度ピックアップ VP-90B リオン製

振動計 VM-80 リオン製

データレコーダ XR5000 TEAC製

デジタルオシロ DL2240 YEW製

パソコン PC9801 NEC製

(4) 試験方法 ○超音波センサを油圧ショベルのアーム部に取り付ける。

○超音波センサの固定部に 3 軸加速度ピックアップ 1 組と、超音波センサの振動方向向きに加速度ピックアップ 1 個を取り付ける。
各ピックアップの出力は振動計を経てそれぞれデータレコーダに入力する。

○油圧ショベルのアームに衝撃を与える。衝撃はバケットのシリンダエンドの突き当たり衝撃及びバケットのコンクリート床面打撃により与える。100Gで試験回数 5 回以上。

○衝撃の大きさを測定する。試験中は超音波センサシステムの誤動作がないことを確認する。試験後は外観その他に異常がないことを確認する。

(5) 試験の様子を写真-7.5.2に、試験データの一部を図-7.5.2に示す。

(6) 試験結果 100G以上の衝撃を繰り返して試験した結果、異常なし。



写真-7・5・2 衝撃試験の様子

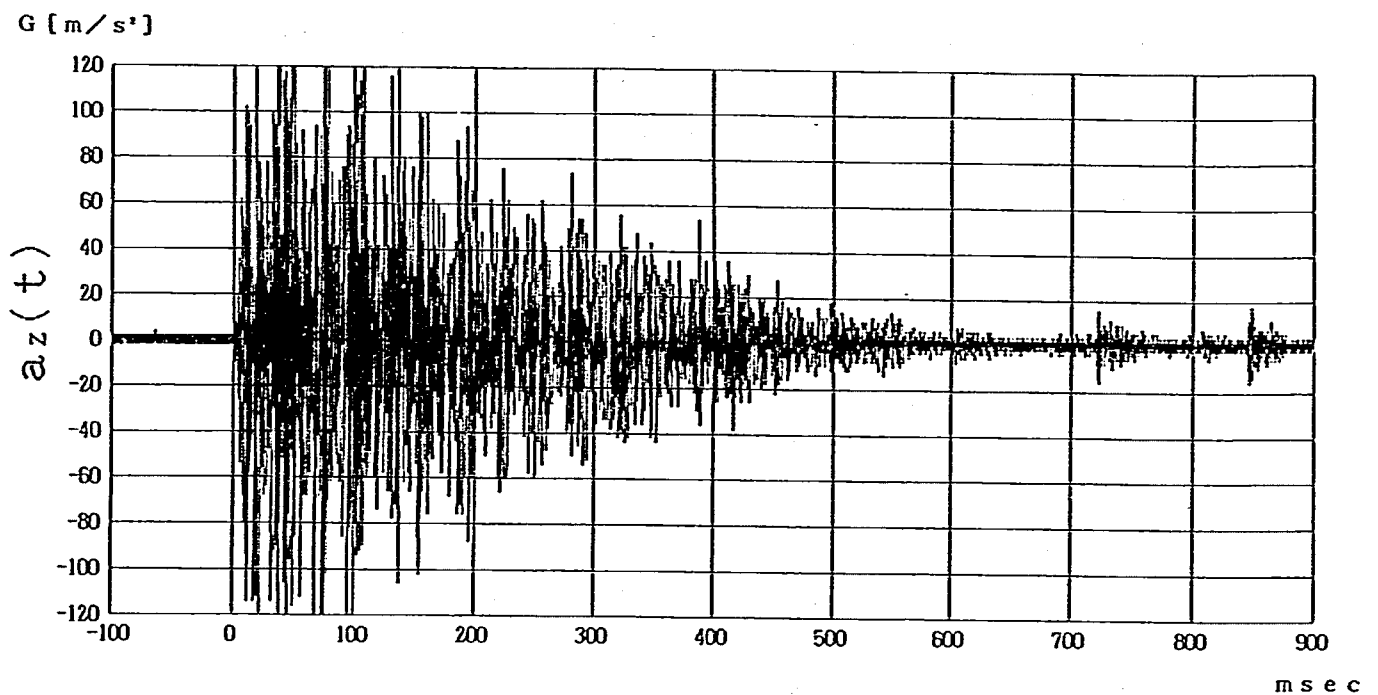


図-7・5・2 衝撃試験のデータ

3) 耐水試験（噴水試験）

(1) 試験規格 JIS D 0203

噴水試験S2（強い受水状態について部品の機能を調べる試験）に準じ、洗車（カーウォッシャー）の類別に相当する。

(2) 試験日 1994年10月12日

(3) 場所 東京都大田区荻中・公園脇

- (4) 試験器 消防用放水ポンプ
- (5) 供試品数 超音波センサ 2 台
- (6) 試験概要 ○圧力7.5kg f/cm². ノズル口径φ15mm. 流速約40m/秒の噴水を距離約2mの位置から超音波センサの開口部に向けて直接放水を行う。
- 放水時間は30秒間。
- 試験前及び試験後に超音波センサの共振／反共振周波数及びインピーダンスを測定し比較する。
- システムの検知機能を確認する。
- (7) 試験の様子を写真-7・5・3に、試験データの一例を図-7・5・3および図-7・5・4に示す。
- (8) 試験結果 異常なし。

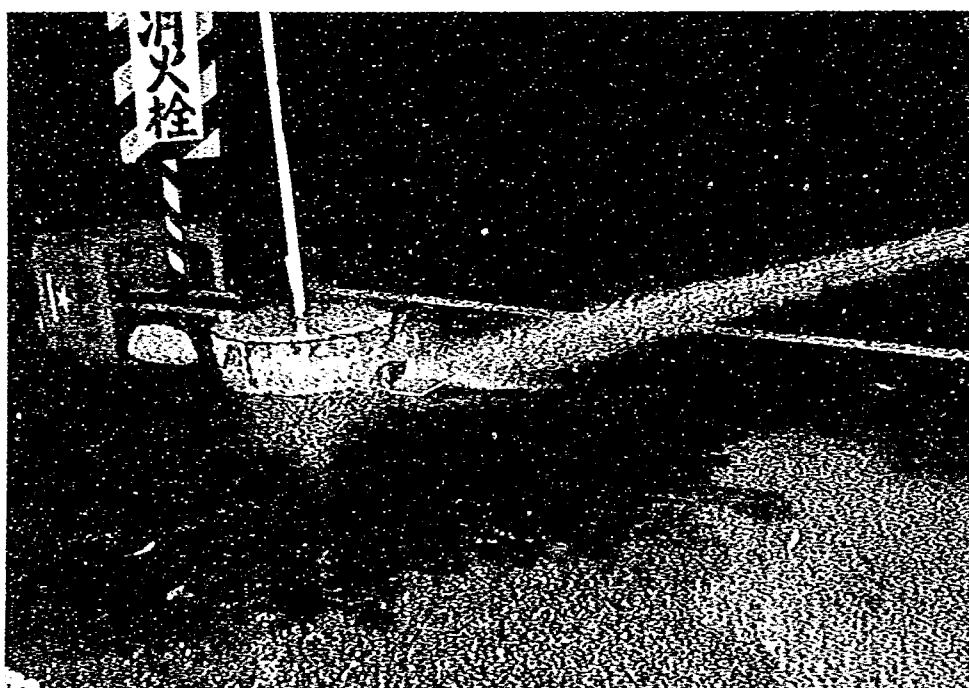


写真-7・5・3 噴水試験の様子

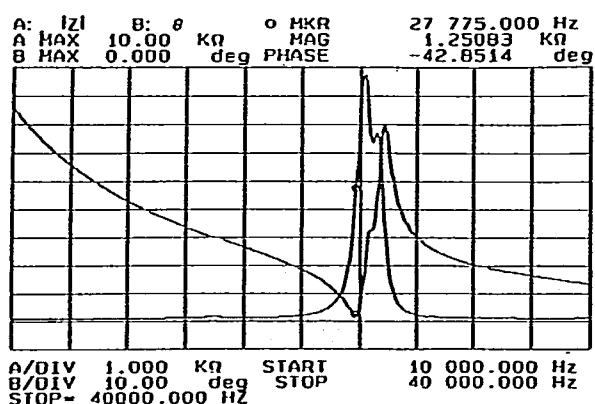


図-7・5・3 送信用センサのインピーダンス特性 (試験前)

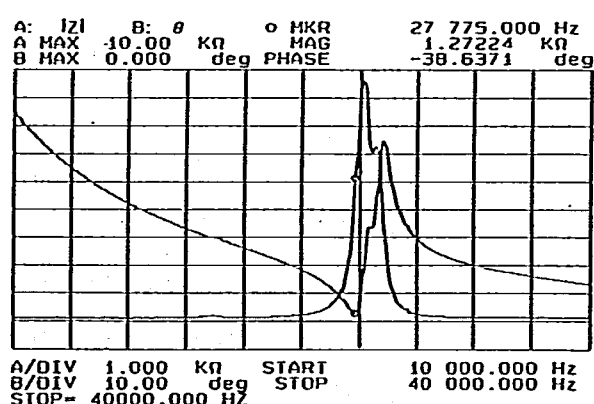


図-7・5・4 送信用センサのインピーダンス特性 (試験後)

4) 温度サイクル試験

(1) 実施内容

- ① 制御器、車両センサ、応答装置を恒温槽内に設置し、通電状態とする。
- ② 恒温槽を図-7・5・5の制御パターンで温度制御を行う。
- ③ 計測器等により、機器の動作点検及び警報出力動作の確認を行う。

(2) 試験結果の判定

制御パターンの各チェックポイント(T1~T5)において機器動作の確認を行い、正常と判定し合格とする。

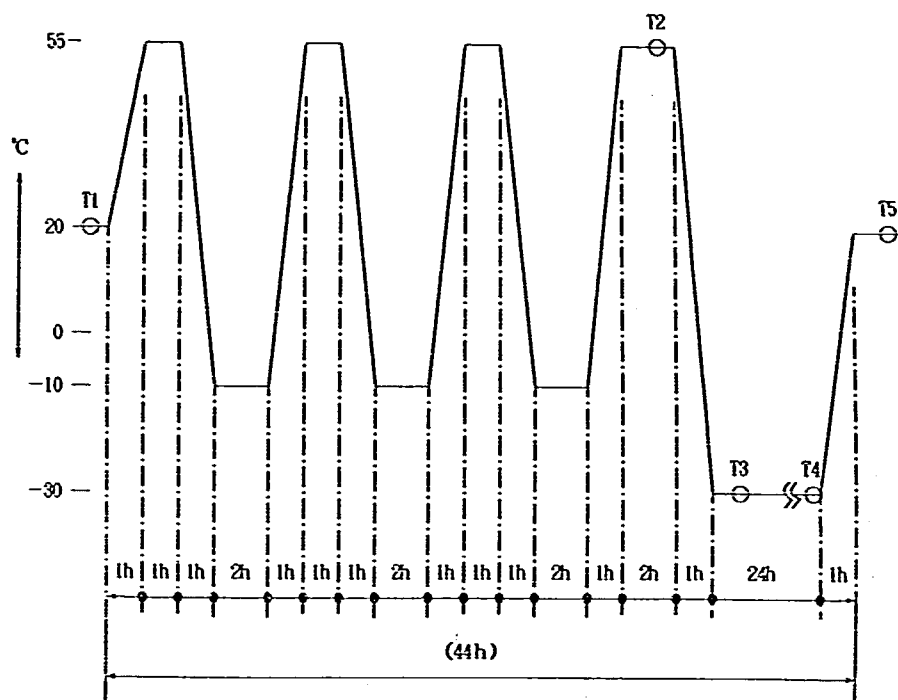


図-7・5・5 温度試験制御パターン図

5) 湿度サイクル試験

(1) 実施内容

- ① 制御器、車両センサ、応答装置を恒温湿槽内に設置し、通電状態とする。
- ② 恒温湿度槽を温度50°C、相対湿度を95%とし48時間放置する。
- ③ 上記時間中、機器の動作確認を行う。

(2) 試験結果の判定

正常と判定し合格とする。

6) 電源電圧変動試験

(1) 実施内容

- ① 制御器 ——— 電源装置からの供給電圧を10v~32vまで変化させ、機器が正常に動作することを確認する。

- ② 応答装置 —— 電源装置からの供給電圧を2.2v~3.5vまで変化させ、機器が正常に動作することを確認する。

(2) 判定結果

異常なし。

7.6 超音波センサシステムの現場適用に際しての留意点

空中超音波センサを利用した機器は屋内用に留まらず、最近では道路の交通量管制システムの車両検知センサなど屋外でも多く利用され、その応用範囲は広がっている。

重機用の危険領域監視装置としてはすでに反射エコー式の物があるが、トランスポンダ方式のものも一部ロードローラやモーターグレーダなどで実用化が行われ、人物検知センサとして普及されつつある。

今回、本共同研究で開発・試作したセンサシステムはこのトランスポンダ方式の技術的成果を取り入れながら作り上げてきたものである。

しかし、現実的には超音波の持つ性質から、いろいろな問題点があり、現場での使用に際してはこれらをよく理解しておくことが必要である。

以下、主な項目について報告する。

1) 雨や雪の影響について

超音波が空気中を伝はんする際には周波数に依存した一定の減衰を受ける。またこの減衰量は湿度によって変化する。この様子を*1図-7・6・1に示す。本試作機で使用している周波数は湿度40%の時1mあたり0.6~0.7dB(約-7%)程度の減衰を受ける。さらに雨や雪の状態の時はこれに加えて水滴の反射や散乱による減衰が加わるので、検知領域の大きさにも影響が出てくる。本機は小雨程度では問題なく使用できるよう設計されているが、雨量が増すに従って減衰量は増大し、豪雨になると超音波が極端に減衰してついに使用不能になることもありうる。

また雨や雪がセンサの表面に水の膜を作ったり覆ったりしたときも超音波は空中に放射されず機能が低下するので注意が必要である。

*1 出典 : L. B. Evans, H. E. Bass, L. C. Sutherland: Atmospheric absorption of sound, theoretical predictions Jour Aconst Soc Amer Vol. 51, No. 5 (Part 2) p 1574(1972)

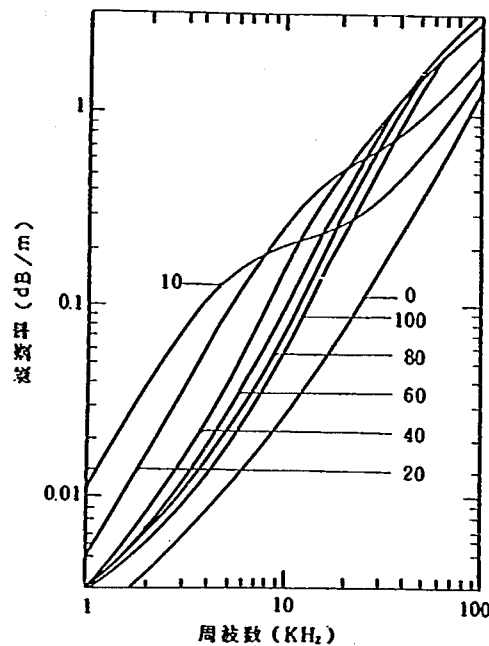


図-7・6・1 空中超音波の伝ばん減衰特性（図中の数字は相対湿度RH%を示す）

2) 風の影響について

空気を媒体として伝ばんする超音波では、音波の広がりや方向に関して、風の流れや揺らぎの影響を避けることは出来ない。(株)トキメックが風洞実験室で行った実験の結果によれば、超音波の伝ばん方向に対し真横から風速10m/secの風を当てたとき、センサからの距離7mの位置で約20.1cm（流された角度1.6°）、風速20m/secの時は約42cm（角度3.4°）超音波が横方向に流されたと報告されている。

これは今回走行及び旋回時の減速区域とした距離2mで考えると、風速20m/secで12cm程度検知領域が横方向に流れることになり使用にあたって留意しておかなければならない。

一方、超音波の伝わる向きと同じ向きの風については、超音波が往復路をとるために風の影響はキャンセルされ、誤差は1%未満と推定される。

3) 温度の影響について

周知のように、超音波が空中を伝ばんする速度は温度によって変化する。変化量は1°Cあたり約0.18%（湿度45%の時）で、使用温度範囲を-20~40°Cとすると10.8%となり無視できなくなる。これは検知領域の設定距離に影響があるので考慮する必要がある。

4) 外来雑音の影響について

本システムは、付近に同じ周波数帯(21kHz±3kHz、28kHz±3kHz)の超音波の雑音があると干渉を受け、場合によっては誤動作の可能性がある。

トランスポンダ方式の特長は先にも述べたが、反射エコー方式などの場合は反射物

体の性質^{*2}（反射能及び反射強度で定義される）によって信号のレベルが大きく変動するのに対して、本方式では信号の往復が対向した一組の超音波センサの間で行われるために安定した通信が行えることである。そしてこの超音波信号を、現場等で発生する雑音の性質と異なった特徴を持たせることで識別を容易にし、システムの雑音除去能力を大きく改善することができる。

このようにして、本システムでは、重機が発生するエンジン音、クローラ走行音、またはトンネル内の排気ダクト音、削岩音などの雑音にも誤動作することなく、作業員の確実な検知が行われている。しかし現場によっては除去の困難な雑音の発生源が考えられ、実際にハツリ作業などで誤動作が発生したとの報告もあるので、一層の改善をはかるべきであろう。

外来の音響雑音とは性質は異なるが、重機の強い機械的な衝撃を受けた超音波センサが固有の電気信号を発信させ、あたかも外来雑音を受けたのと同じ振る舞いで誤動作を起こさせることがある。

今回、油圧ショベルのアーム部に取り付けた超音波センサの機械的衝撃に対する動作に問題があることがわかり、衝撃値100G以上でも誤動作しないように超音波センサホルダの材質や取付方法の改善を行った。

音響雑音は現場によって異なるため、具体的な事例に対し1つ1つ説明を行い対処していく必要がある。

5) 干渉波の影響について

超音波信号が送信用センサから受信用センサに伝ばんするときに、フィールドでは直接センサからセンサに到達する信号の他に、例えば地面などで一度反射されてから受信センサに到達してくる信号などがあり、両波の干渉による影響が生じる。

図-7.6.2において、送信センサと受信センサ間の地面が平坦で、その反射波の通路に障害物がないと考えると、直接波と間接波（反射波）を重ね合わせた受信点の信号レベルは、2つの超音波が到達してくる距離の差によって生じる位相差のために振幅の変動を受ける。（マイクロ波の場合も同じ）

^{*2}参考文献：I. N. Ermolov: The reflectin of Ultrasonic waves from targets of simple geometry, Non-Destructive Testing Vol. 5, No. 2, pp87~91(1972)

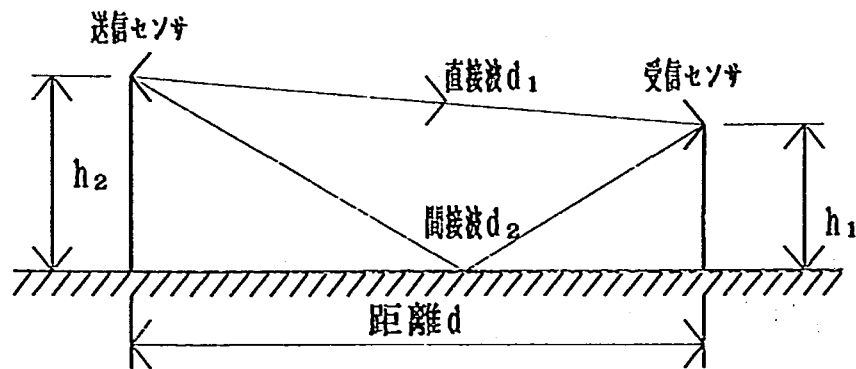


図-7.6.2 干渉波生成のモデル図

図において、直接波と間接波の伝ぱん路の差は

$$d_2 - d_1 = \sqrt{d^2 + (h_2 + h_1)^2} - \sqrt{d^2 + (h_2 - h_1)^2} \quad \dots \text{式-7.1}$$

であり、ここで $h_2, h_1 \ll d$ の場合には

$$d_2 - d_1 = \frac{2 h_1 h_2}{d} \quad \dots \text{式-7.2}$$

となる。従って地面の反射係数を1とすると、重ね合わせたベクトル値 E は

$$E = 2 \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{h_1 h_2}{d} \quad \dots \text{式-7.3}$$

で変化する。

この合成ベクトル値に、距離による大気中の伝ぱん減衰値を加えた受信電圧対距離特性は図-7.6.3のようになる。

この図は、式-7.3に h_1 の高さ100cm、 h_2 の高さ2cm、送信信号の波長 $\lambda = 1.66\text{cm}$ として距離 d を変えたときのもので、油圧ショベルのアームに装備したセンサと作業員のセンサの関係をシミュレートしたものである。

式-7.3から $2h_1 h_2 / \lambda d = n/2$ とすると n が奇数の時に $E=2$ で極大値を示し、 n が偶数ならば $E=0$ となり極小値（理論的には0）を示す。

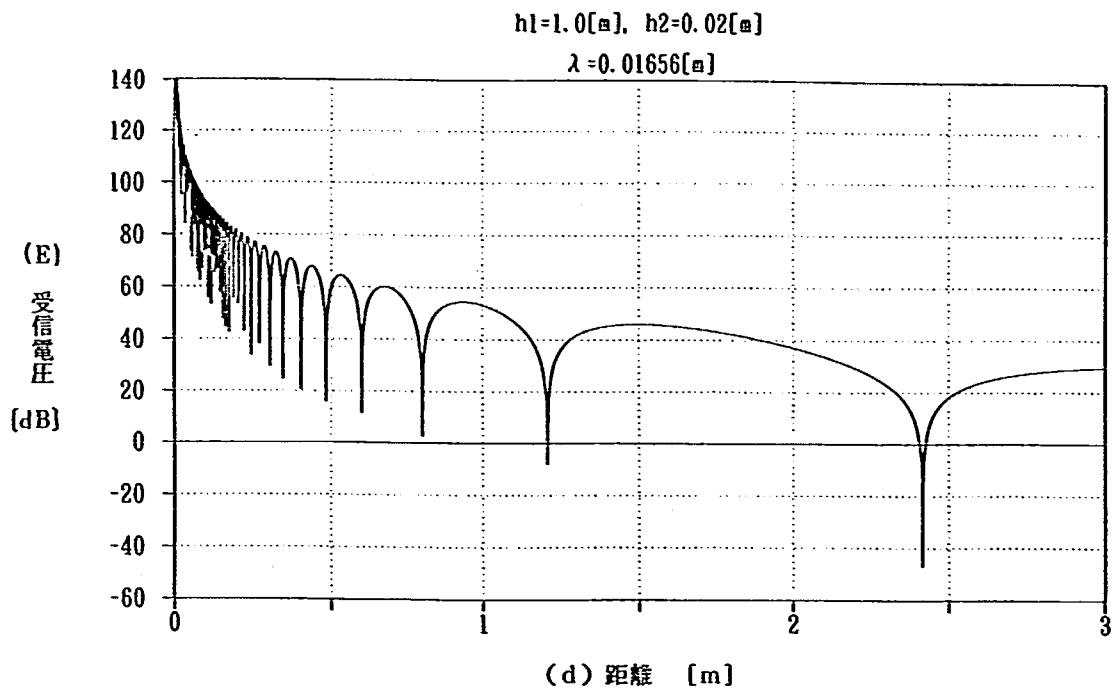


図-7・6・3 干渉波があるときの合成波の例

図を見ると、距離 d が 1m までは多くの極小点が存在するが、 $1\text{m} \sim 3\text{m}$ になると極小点が2カ所になる。このように距離が遠くなるに従って極小点の発生する間隔は長くなり、同時に受信電圧が 0dB を下回る不感部分の幅は広くなる。例えば距離約 2.4m 付近の極小点を見ると不感帯の幅は 2.2cm となっている。以上はセンサ間の距離 d のみを変化させたときのパターンであるが、同様に式-3からセンサの高さ（作業員のバケットからの位置）を変えても極大・極小点は発生する。こうして検知領域内には多くの極小点（不感域）が存在することになる。しかし、この不感域のほとんどは微小なポイントであって、油圧ショベルのアームや検知される作業員が絶えず動いている状況では、この微小な不感域内に留まることはないので検知機能には大きな支障はないものと考えられる。

8. システムの構築

8. システムの構築

今までの検討結果を踏まえ、検討対象としてきた建設機械（油圧ショベル）に対して具体的なシステムの構築を行った。システムの構築については、次の理由により油圧ショベルの10tから22tのクラスを対象にとり挙げた。また、接触防止用センサについては、検討結果より超音波パルストランスポンダ方式とした。

- 1) 油圧ショベルは都市土木に代表され、作業員と建設機械が混在し作業するケースが多い建設機械である。
- 2) 今日までの統計上においても、油圧ショベルの接触事故件数が他の建設機械に比べ圧倒的に多い。
- 3) 建設機械としての普及台数として油圧ショベルが最も多く、また、油圧ショベルは工事全体での使用比率も10tから22tクラスが高い。

接触防止システムの確立を行い、その後、この研究の成果を別クラスの油圧ショベルやクレーン、ホイールローダなど、他の建設機械に展開していくこととする。

8.1 システムの考え方

8.1.1 安全性と作業性確保の検討

1) 接触防止保護対象者

接触防止保護対象者は超音波センサ付きヘルメット、または超音波センサ付きベストを着用した作業員（現場監督、誘導員を含む）とした。ただし、作業員が車体の下にいる場合は超音波の送受信ができないので除外する。

2) 検知領域

検知領域は5章の調査結果（表-5・1・2、表-5・1・7、表-5・1・10等）を参考に、次の基本的な考え方に基づいて設定した。

(1) 検知領域の大きさは最小必要限度にとどめ、作業効率の低下を極力防止する。

- ① オペレータが目で確認できる領域は検知領域とせず、死角のみをカバーする。
- ② 作業中における機械の走行速度・旋回速度は通常使用する速度とし、最大速度は考慮しない。

(2) 検知領域は警報区域、減速区域、停止区域に分類し接触回避に最も適した区域を設定する。

- ① 検知領域内では停止する前に減速する。
- ② 作業装置モードではバケット周辺が深い穴等で見えない場合があるので停止区域を設定する。

- (3) 停止までの距離または旋回角度は、油圧ショベルおよび超音波センサの特性、歩行作業員侵入の有無に対し、どれくらいの距離を保てば安全を確保できるかによって設定する。この値は作業中における車体と作業員の各速度に対してどのような考え方をするかによって検知領域が変わってくるので、慎重に検討することが重要である。

図-8・1・1は後進走行時、車体方向に向かって歩いている作業員を車体から2.5mの位置で検出してから停止するまでの状況を計算した例である。図-8・1・2は旋回中に停止するときの状況を計算した例である。なお、ここに示した2つの例は計算条件が本研究とは必ずしも一致していないことを付記しておく。

以上のことを考慮して設定した検知領域を図-8・2・1～図-8・2・3に示す。

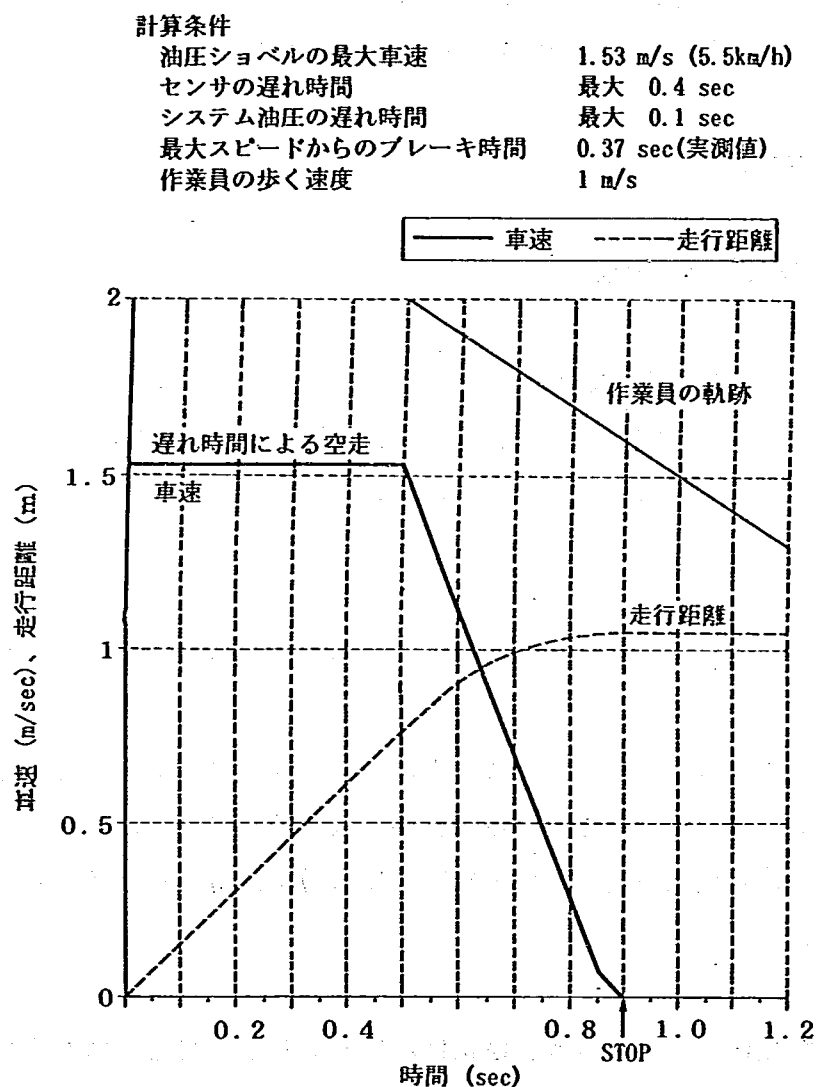


図-8・1・1 後進走行時の停止距離計算例

計算条件

油圧ショベルの最大旋回速度	72度/sec (12rpm)
センサの遅れ時間	最大 0.4 sec
システム油圧の遅れ時間	最大 0.2 sec
最大スピードからのブレーキ時間	2.0 sec アーム垂直・積み荷

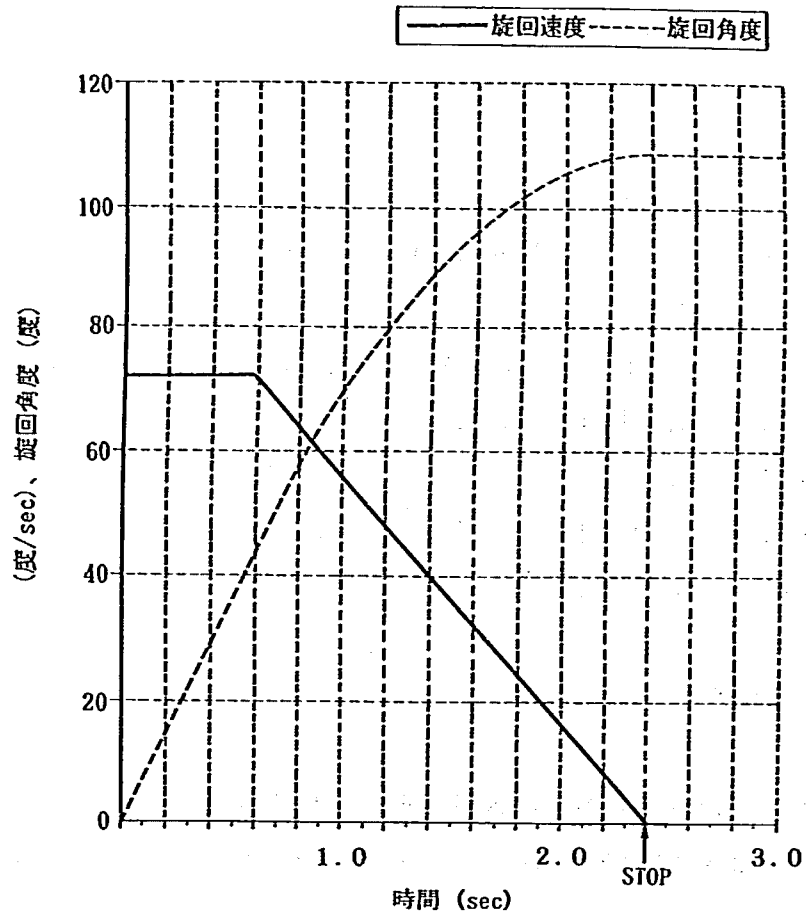


図-8・1・2 旋回時の停止角度計算例

3) 機械の停止および復帰

- ① 走行・旋回・作業装置の各レバーに操作検知スイッチを設け、各操作により検知範囲を切り替えることにより不必要な停止を防止した。
- ② 停止した場合は安全性とコストを考慮し全操作ができないようにした。
- ③ 停止後の復帰は各検知区域に超音波センサの信号が無くなった時自動的に行った。
- ④ 作業員がやむを得ずバケット近傍にいて作業する場合を考慮して、作業装置操作モードでは停止機能を解除する解除スイッチを設けた。

4) 警報機能

- ① オペレータに対する警報
 - ・エンジンスイッチオン後、検知領域内における作業員の有無を常時光で知らせる表示器を設けた。
 - ・警報区域では光のみによる警報、減速、停止区域では音と光による警報を行い、区域により警報音の種類を変えた。
- ② 作業員に対する警報
 - ・減速、停止区域での警報をヘルメットまたはベスト装着のブザーと、車体に付けた色違いのランプで行った。

8.1.2 その他の性能の検討

1) 経済性

接触防止装置の費用はより多くの機械に取り付けられるよう安くする必要がある。ここでは開発費を除き20tonクラス油圧ショベル本体価格の10%以下になることを目標に開発を進めた。

2) 保守管理

接触防止装置の保守管理はできるだけ容易にした。例えば、ヘルメットセンサの電源は1日8時間の使用で1ヶ月間使えるようにした。

8.2 具体的なシステムの試設計

8.2.1 超音波センサ検知仕様

表-8.2.1は横軸に監視すべき領域を表示し、縦軸にはそれぞれの領域に対して作動条件を示している。

例として旋回領域においては、

- 1) 2m～4m間は警報区域であり、運転席のモニタでランプが点滅する。
- 2) 1.5m～2m間は減速区域であり、運転席のモニタでランプが点滅しさらにブザーが鳴る。
- 3) 0m～1.5m間は停止区域であり、運転席のモニタでランプが点滅しさらにブザーが鳴る。
- 4) 使用センサの個数は旋回の場合、2個である。（図中の黒丸がセンサの位置を表している）
- 5) 強制停止解除スイッチは旋回領域では上記の減速・停止動作を解除できないようになっている。
- 6) 運転席における警報は減速・停止の両方の領域で音色を変えて行う。
（但し、強制停止解除しても警報音は停止しない）

表-8.2.1 超音波センサ探知仕様

機 能 \ 検知領域	走行領域 (図-8.2.1参照) 後方・右横 (横走行)	旋回領域 (図-8.2.2参照) 右横・左横	作業装置領域 (図-8.2.3参照) バケット周囲
警報区域 (モニタで光表示)	4 m	4 m	なし
減速区域 (モニタで光と音警報)	なし	2 m	なし
停止区域 (モニタで光と音警報)	2 m	1.5 m	3 m
使用センサ個数	4	2	2
強制停止 解除スイッチ	なし	なし	あり (電源投入時は常に 強制停止の状態)

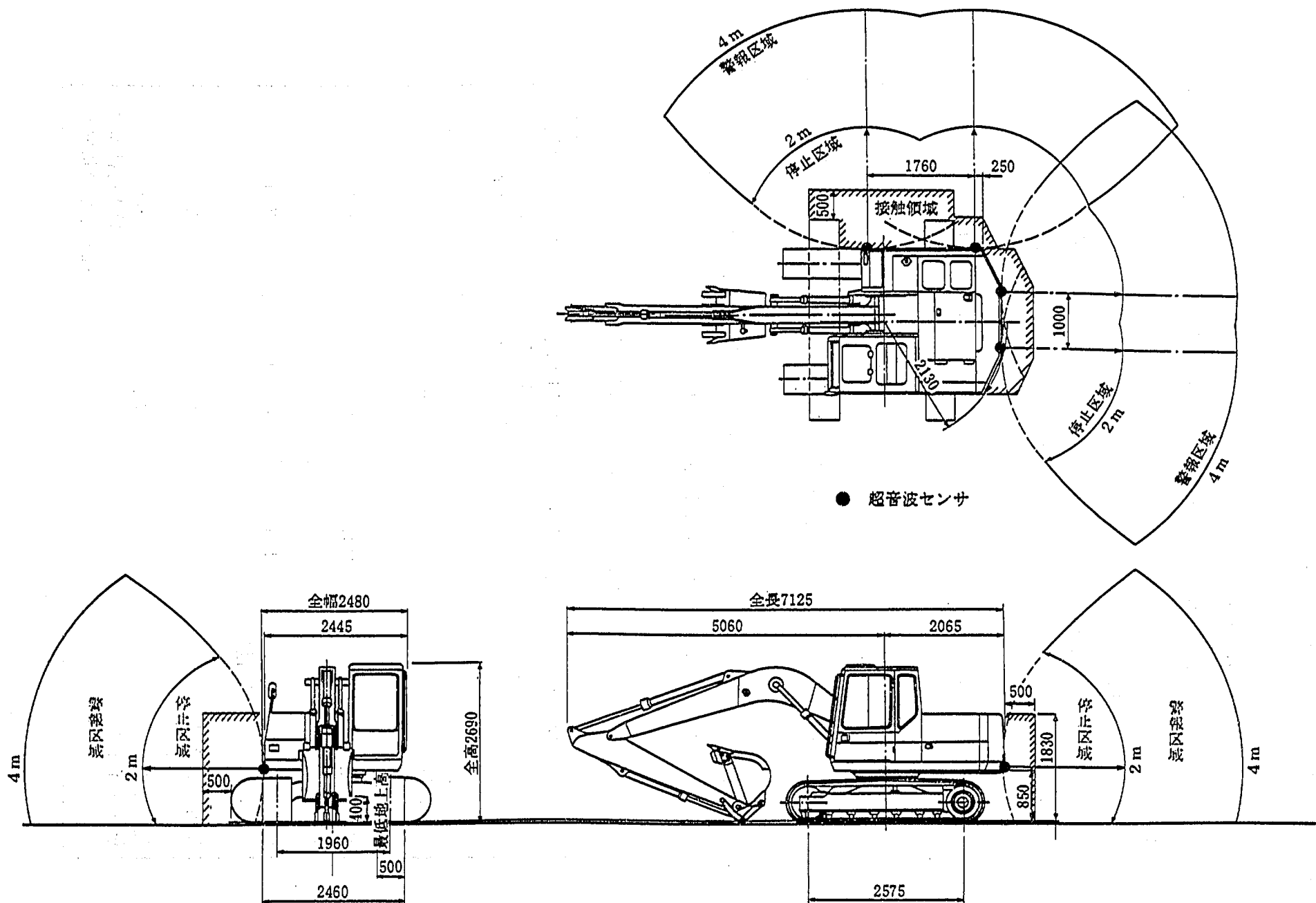


図-8.2.1 走行領域

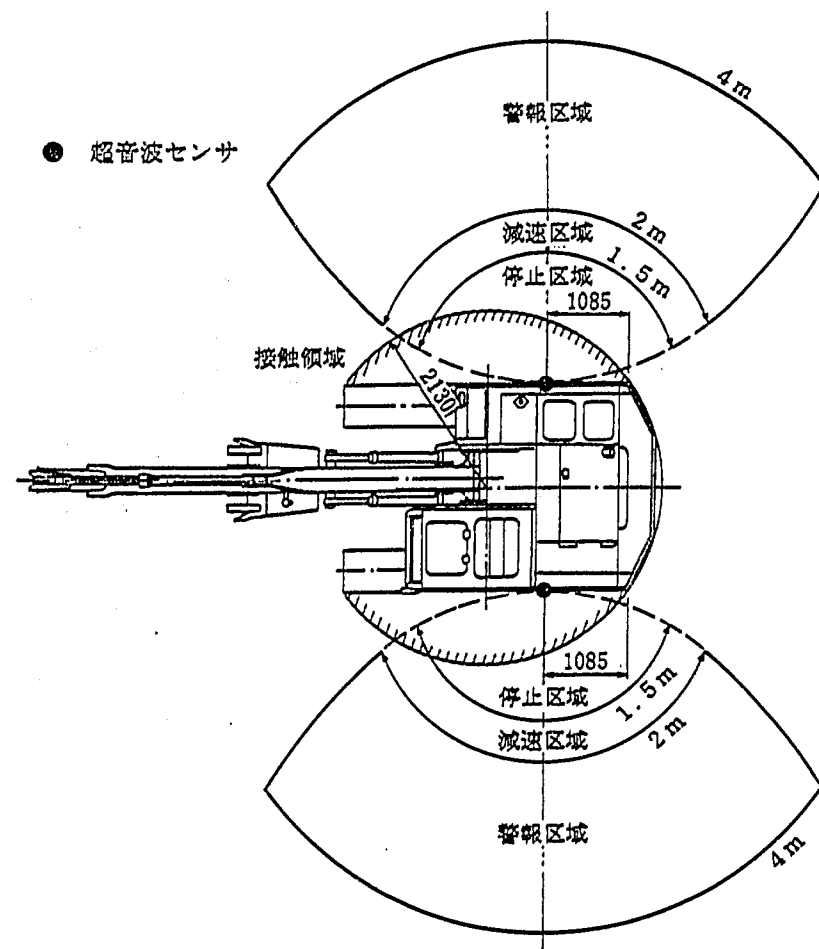
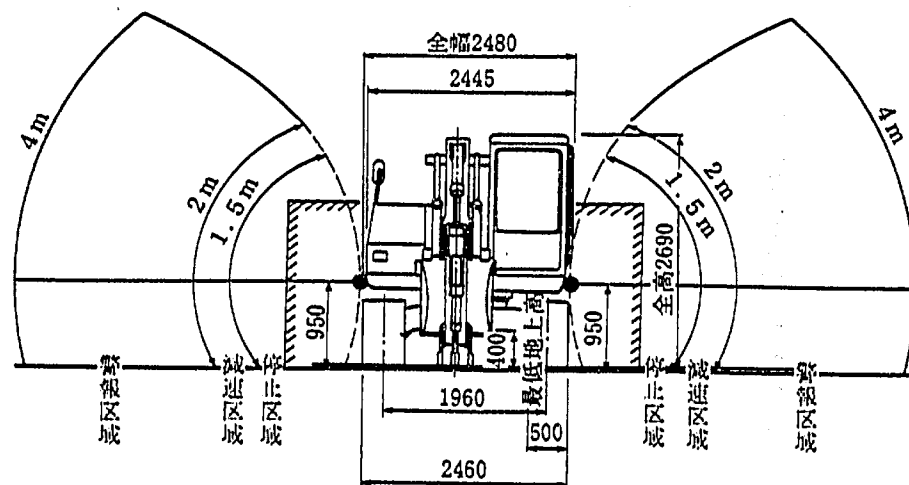


図-8.2.2 旋回領域

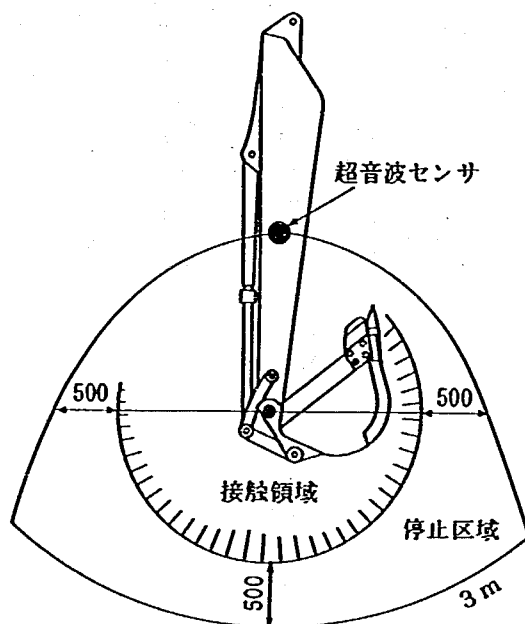


図-8.2.3 作業装置領域

8.2.2 操作レバーによる検知領域の切替方法

表-8.2.2は横軸に監視すべき領域を表示し、縦軸は車体の操作レバーの状態を検出する油圧センサからの入力である。車体コントローラ内で各入力をこの表に従い、停止・減速を行うかの判断をしている。全体システム図は8.2.4-2)項を参照のこと。

(○印は停止・減速を行う ×印は通常の作業ができる状態)

一番上の行を例にとると、

- 1) 走行領域に人がいて走行レバーを操作すると車体は停止する。
- 2) 旋回領域に人がいて走行レバーを操作しても停止せずに走行ができる。
- 3) 作業装置領域(バケット周囲)に人がいて走行レバーを操作しても停止せずに走行ができる。

表-8.2.2 操作レバーによる検知領域の切換

検知領域 操 作	走行領域	旋回領域	作業装置領域
走行レバー	○	×	×
旋回レバー	×	○	○
作業機レバー	×	×	○
走行レバー + 旋回レバー	○	○	○
走行レバー + 作業機レバー	○	×	○
旋回レバー + 作業機レバー	×	○	○
走行レバー + 旋回レバー + 作業機レバー	○	○	○

注) 作業機レバー：ブーム、アーム、バケットを動かす操作レバーの総称

8.2.3 接触防止型油圧ショベル各部の写真（その1）



写真-8・2・1 接触防止型油圧ショベルの全体外観

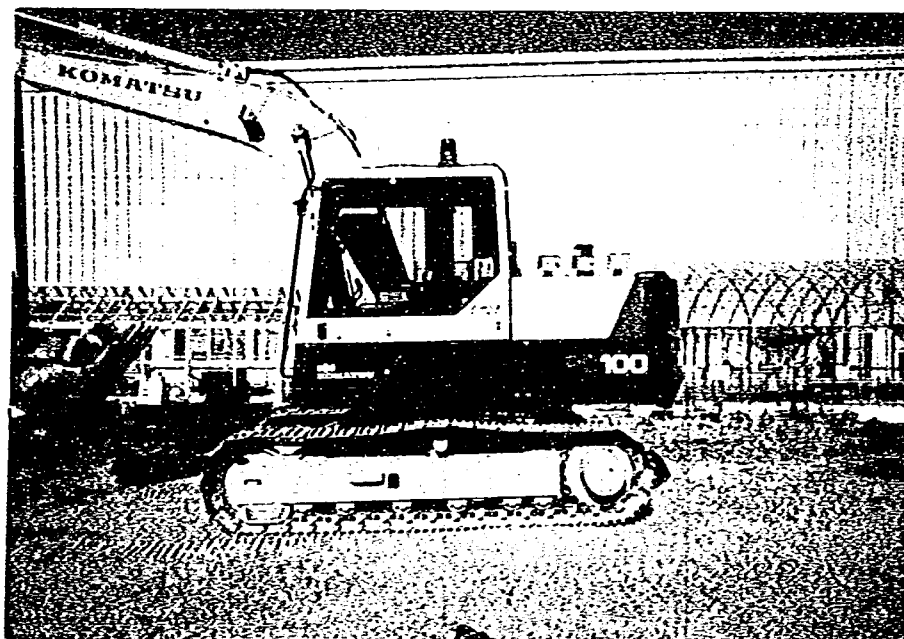


写真-8・2・2 運転席側から見た外観

中央右のスカート部にあるセンサは旋回用。

運転席上部には停止検出時点灯する回転灯が見える。

接触防止型油圧ショベル各部の写真（その2）

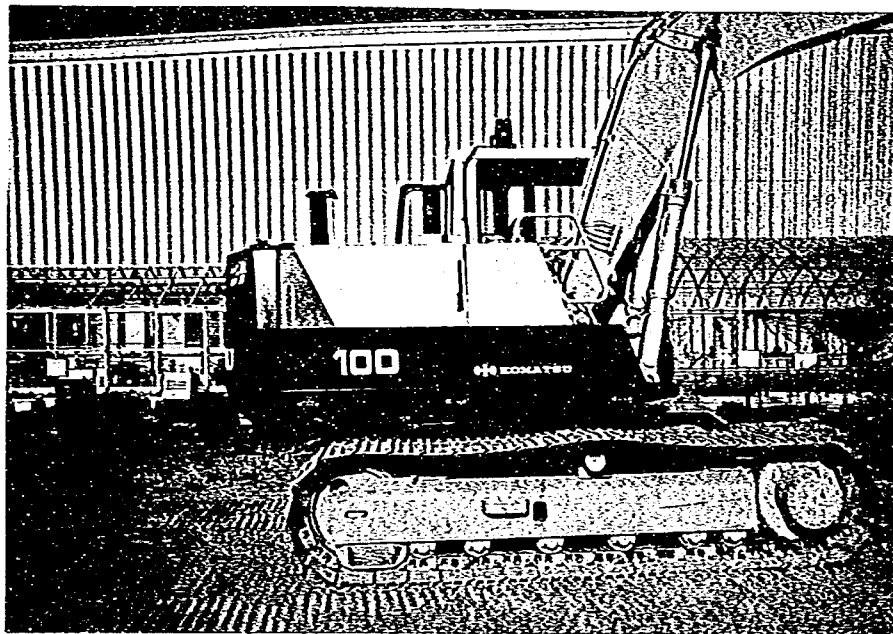


写真-8・2・3 運転席の反対側から見た外観

スカート部の左から走行、旋回、走行の順でセンサが配置されている。
運転席上部には警報時点灯する回転灯が見える。

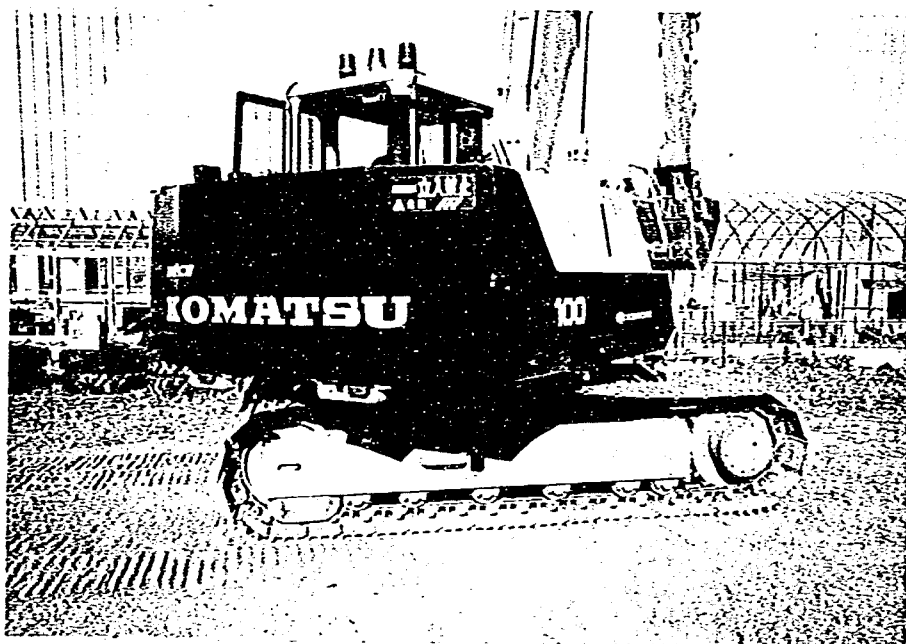


写真-8・2・4 車体右後方から見たセンサ取付状態

左から2個のセンサは後方監視用。

左から3番目と5番目のセンサは横走行監視用。

左から4番目のセンサは旋回用。

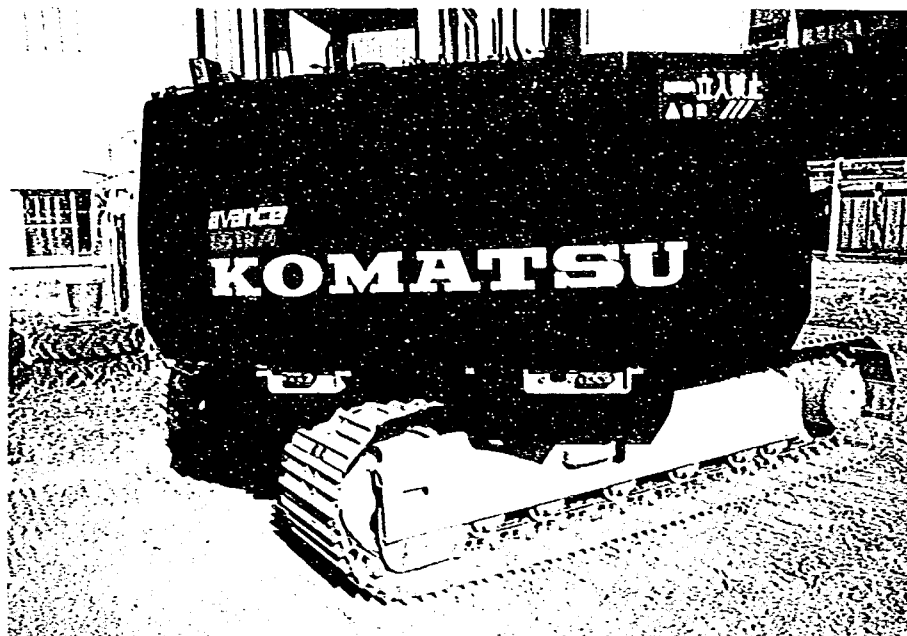


写真-8・2・5 車体後方から見た後方監視用センサ

スカート部はカウンタウエイトのため追加工できない
のでセンサカバーにより、保護している。



写真-8・2・6 車体右後方から見たセンサの取付状態

左側は横走行監視用センサ。

右側は旋回用センサ。

車体スカート部にセンサを埋め込み型にした。

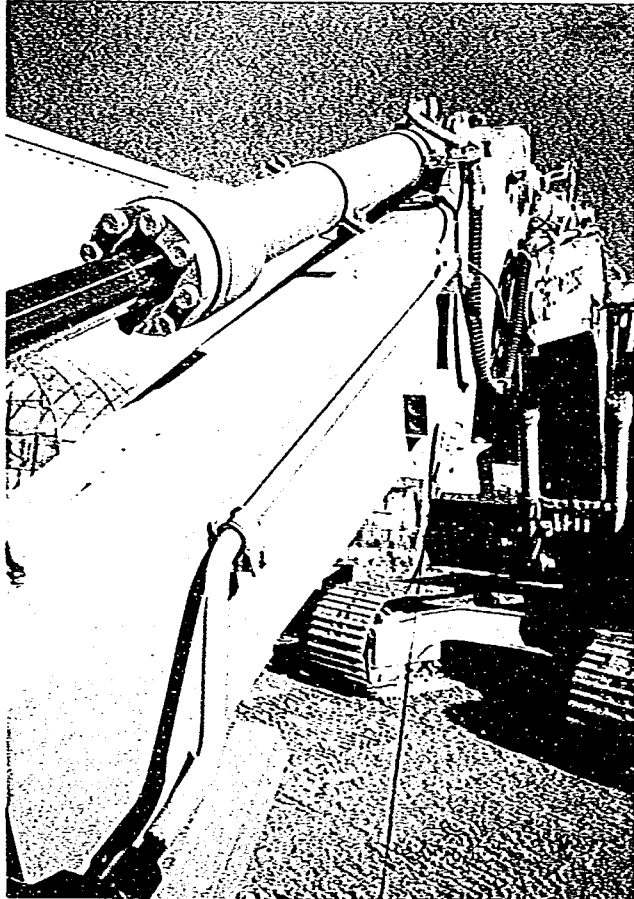


写真-8・2・7 作業機用センサの取付状態

アームの反対側にも同様に取り付けてある。
取付位置はバケットピンから1420mmの位置。
センサカバーはアームに溶接している。
センサ単体は取り外しができる。

9. 実 験

9. 実 験

開発した超音波式接触防止装置を装着した安全対策型油圧ショベルについて、開発目標で定めた各接触防止機能を信頼性、安全性および実用性の面から評価した。

9.1 基本特性試験方法

実施場所：建設省土木研究所（茨城県つくば市）

株式会社小松製作所（神奈川県平塚市）

9.1.1 静的特性試験

1) 目的

車体に超音波センサを取り付けた状態で静的な検知範囲を測定する。

2) 試験方法

(1) 走行モード

実験条件

- ・油圧ショベル : 水平面上停止状態
- ・車体超音波センサ : 走行用
- ・ヘルメットセンサ高さ : 立姿勢(165cm)、座姿勢(84cm)
- ・ヘルメットセンサ向き : ショベル側センサに対しほぼ正面

測定方法

- ・旋回軸を中心に15度間隔で警報、停止の各区域を測定する。
測定は旋回中心とヘルメットセンサ間の水平距離を測定する。このとき、旋回および作業装置用超音波センサの影響はない状態とする。
- ・スイッチオン時、警報区域以内に置いたヘルメットセンサの検知性能を運転席で確認する。

(2) 旋回モード

実験条件

- ・油圧ショベル : 水平面上停止状態
- ・車体超音波センサ : 旋回用
- ・ヘルメットセンサ高さ : 立姿勢(165cm)、座姿勢(84cm)
- ・ヘルメットセンサ向き : ショベル側センサに対しほぼ正面

測定方法

- ・旋回軸を中心に15度間隔で、警報、減速、停止の各区域を測定する。
測定は旋回中心とヘルメットセンサ間の水平距離を測定する。このとき使用しない

超音波センサの影響はない状態とする。

- ・スイッチオン時、警報区域以内に置いたヘルメットセンサの検知性能を運転席で確認する。

(3) 作業装置モード

実験条件

- ・油圧ショベル : 水平面上停止状態
- ・フロント形態 : アーム垂直、バケット水平
- ・車体超音波センサ : 作業装置用
- ・車体超音波センサ高さ : 地上3.0m
- ・ヘルメットセンサ高さ : 立姿勢(165cm)、座姿勢(84cm)

測定方法

- ・検知領域を、アームを中心に15度間隔で測定する。
このとき、走行および旋回用超音波センサの影響はない状態とする。
- ・スイッチオン時、警報区域以内に置いたヘルメットセンサの検知性能を運転席で確認する。

9.1.2 動的特性試験

1) 目的

各操作モードにおいて、超音波式接触防止装置の動的な停止性能を測定する。

2) 試験方法

(1) 走行モード

実験条件

- ・走行形態 : 後進走行、右横走行、斜め45度走行（上部旋回体右回転45度）
- ・走行速度 : 高速(Hi:5.5km/h)、中速(Lo:3.7km/h)、低速アイドル(1 km/h以下)
- ・ヘルメットセンサ高さ : 165cm、または84cm
- ・ヘルメットセンサ向き : ショベル側センサに対しほぼ正面

測定方法・・・各5回測定

- ・ヘルメットセンサをスタンドに固定し、ヘルメットセンサ・運転席間距離約7mの位置からヘルメット方向へ油圧ショベルを走行させ、接触防止装置により油圧ショベルが停止するまで走行する。

停止後、車体（上部旋回体）・ヘルメットセンサ間の距離を測定する。

- ・その他の測定 : メモリハイコードによる各レバー操作状況

ビデオ撮影

(2) 旋回モード

実験条件

- ・旋回形態：右旋回、左旋回
- ・旋回速度：エンジンHi、エンジンLo
- ・フロント形態：最大リーチ、アーム垂直
- ・ヘルメットセンサ位置：方位角-45°（右旋回）、方位角45°（左旋回）

旋回中心距離2m

注意：方位角は上部旋回体が正面（標準位置）にあるとき、旋回中心とフロント部を結ぶ直線を基線に時計回り方向を正にとる。

- ・ヘルメットセンサ高さ：立姿勢(165cm)、座姿勢(84cm)
- ・ヘルメットセンサ向き：ショベル側センサに対しほぼ正面

測定方法・・・各5回測定

- ・右旋回の場合はヘルメットを方位角-45度、旋回中心距離2mに固定し、旋回開始から停止までの車体回転角度を測定する。
- ・左旋回の場合はヘルメットを方位角45度、旋回中心距離2mに固定し、旋回開始から停止までの車体回転角度を測定する。

9.1.3 使用機器類

- | | | | |
|----------------|-----|------------|-----|
| ・コマツPC100 本体 | 1 台 | ・メモリハイコーダ | 1 台 |
| ・超音波式接触防止装置 | 1 式 | ・8ミリビデオカメラ | 2 台 |
| ・超音波センサ付きヘルメット | 1 式 | | |

9.2 基本特性試験結果

9.2.1 静的特性試験結果

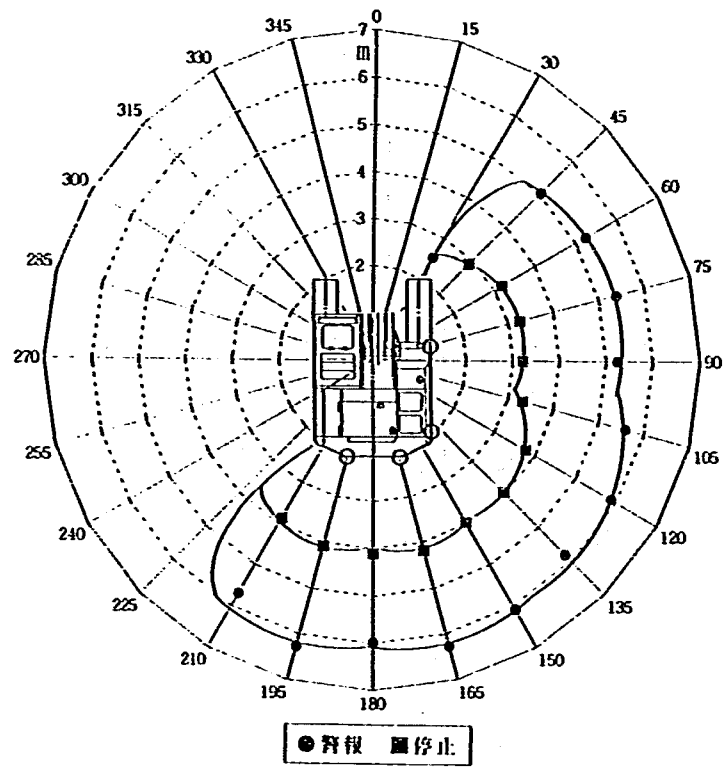
各操作モードにおいて、静的な状態で試験した検知領域の測定結果を図-9・2・1～図-9・2・3に示す。各図に対応した数値データを表9・2・1～表9・2・3に示す。ここに示す距離は旋回中心とヘルメットセンサ間の水平距離を示したものである。超音波センサ高さが84cmの方が165cmよりも10%前後大きくなっているのは車体側の超音波センサ高さ(95cm)がヘルメットセンサ高さに近く、かつ超音波は球面状に伝わることに起因したものである。

走行モード、旋回モードでは当初定めた設計仕様(8.2.2項では超音波センサからの距離で定義しているのに対し、ここで示している測定結果は油圧ショベルの旋回中心を基点とした距離で示している)にほぼ一致する検知領域に設定することができた。

作業装置モードではバケットの回転可動範囲から外側へ0.5m以内は停止区域となるよう超音波センサの位置を設定したのであるが、方位角195度の部分を除いてはほぼ設計通りの検知領域を設定することができた。方位角195度では超音波の検知感度が非常に低くセンサ高さ84cmでは検知できなかった。また、方位角345度でも検知感度の低下が認められた。この原因はアームに取り付けた超音波センサから発信した超音波をヘルメットセンサが受ける際、ちょうどバケットリンクの影になるために検知感度が低下したと思われる。特に、ヘルメットセンサ高さが84cmの場合はバケット上面よりも下に位置するため、バケットにも遮られたものである。

なお、超音波センサが検知しなければならない検知領域内で点のように極めて狭い範囲であるが検知しない点が複数箇所認められた。これは7.6の5)項で述べた超音波の干渉によって生じたものである。これが接触防止の機能に及ぼす影響については次の動的性能試験で述べる。

センサ高さ 84 cm



センサ高さ 165 cm

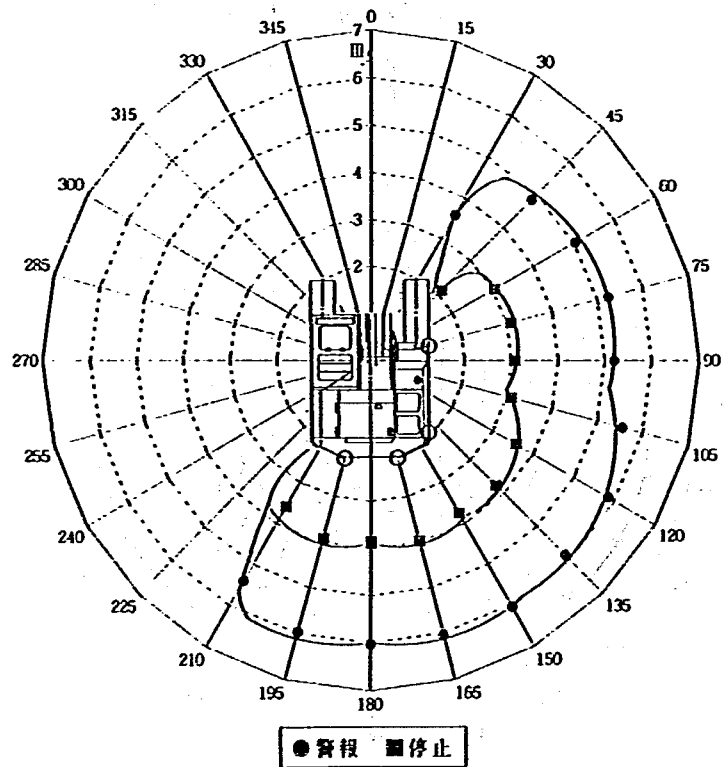
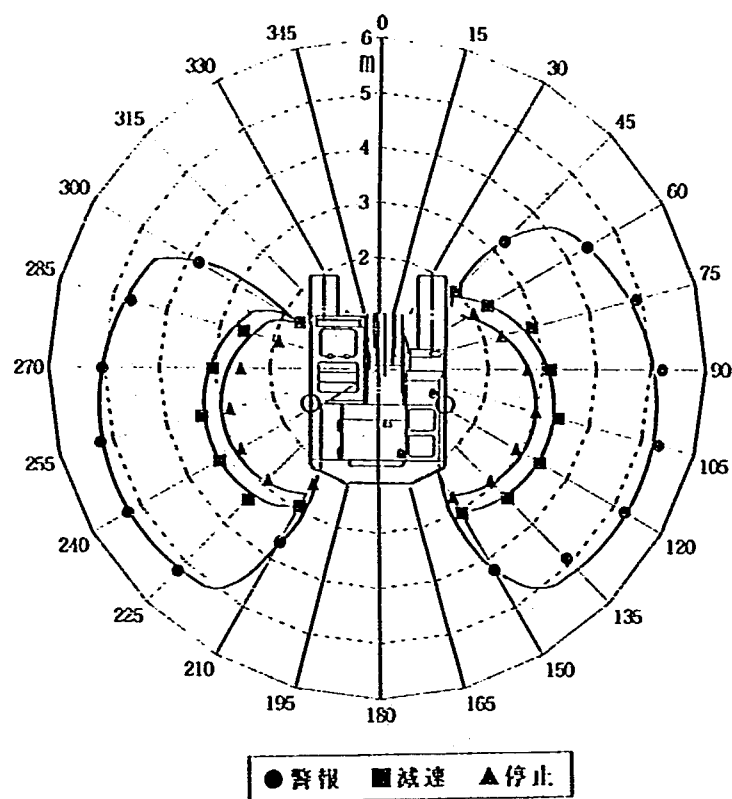


図-9・2・1 検知領域測定結果

(走行モード)

センサ高さ 84 cm



センサ高さ 165 cm

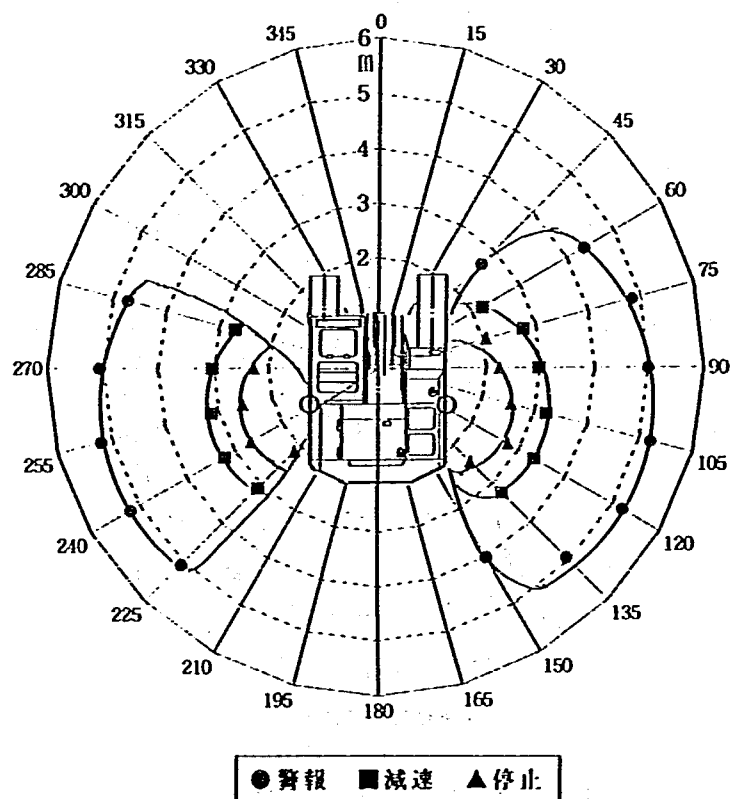


図-9・2・2 検知領域測定結果
(旋回モード)

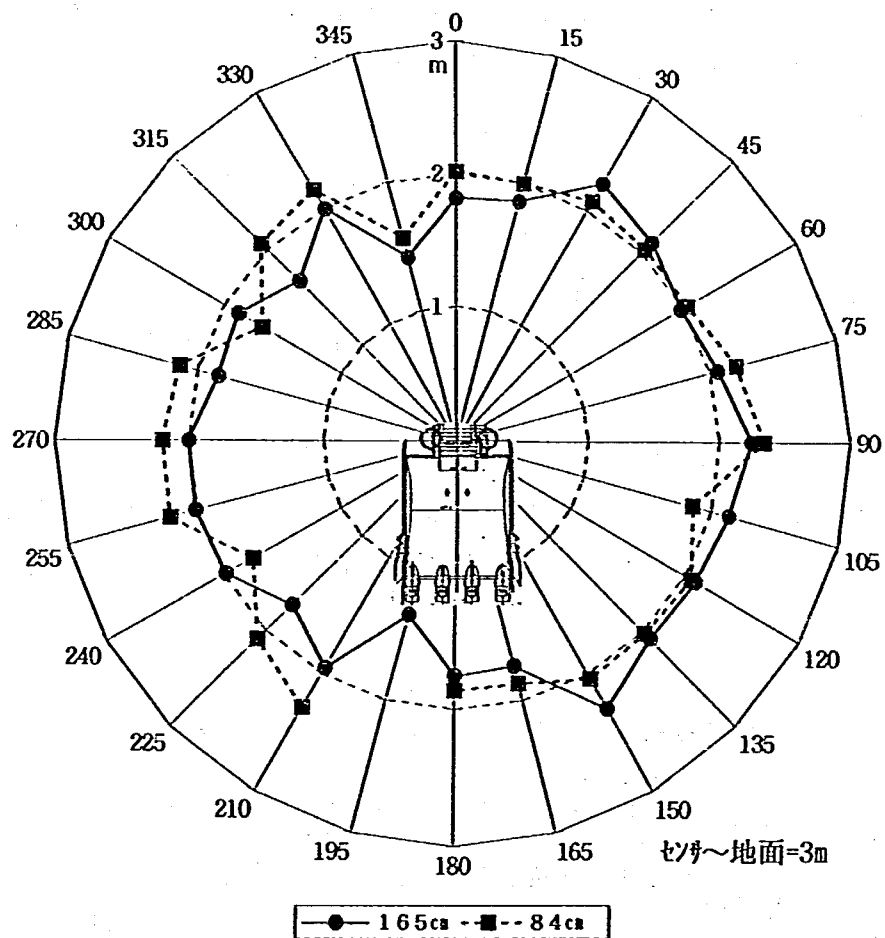


図-9・2・3 検知領域測定結果
(作業装置モード)

9.2.2 動的性能試験結果

検知領域の設定にあたっては油圧ショベルの走行速度・旋回速度は最高速度を考えないとしたが、動的性能試験では接触防止装置の特性を明らかにするため、最高速度でも試験した。

1) 走行モード

走行モードで試験した動的性能試験結果を表-9・2・4に示す。後進走行、右横走行ではいずれの条件でもそれぞれほぼ等しい停止距離が得られ十分な安全距離を保って停止した。これは後進走行および右横走行を想定した設計通りの結果である。しかし、斜め45度走行では測定値のばらつきが大きくなり、さらに車体とヘルメット間で測定した停止距離が短くなった。ばらつきが大きくなったのは超音波センサの指向角の特性から、中心ビームより離れ感度的にやや不安定な部分で受信しているためである。また、停止距離が短くなっているのは検知方式が超音波センサ間の距離で設定しているためであって、車体とヘルメットセンサ間ではないことによる。

ばらつきの大きかった斜め45度走行で、速度がLoおよびHi(最高速)のとき危険を感じる短い停止距離が測定された。最高速は除外して考えてもよいのであるが、ばらつきの割には測定点数が少なく信頼性確保と特性の把握の観点から今後検討を要するところである。

表-9・2・4 停止距離測定結果（走行モード）

（停止距離の単位はm）

ヘルメットセンサに向かって走行後、停止したときの、センサ～車体間の距離

テスト 番号	後進走行			右横走行			斜め45度走行		
	低速711°	Lo	Hi	低速711°	Lo	Hi	低速711°	Lo	Hi
センサ高さ84cm									
1	1.77	1.51	1.32	1.92	1.46	1.37	1.60	0.66	0.33
2	1.81	1.36	1.61	1.80	1.41	1.40	1.57	1.07	0.40
3	1.81	1.46	1.35	1.86	1.40	1.32	1.24	0.33	0.07
4	---	---	---	---	---	---	---	---	1.23
5	---	---	---	---	---	---	---	---	0.50
センサ高さ165cm									
1	1.64	1.32	0.90	1.76	1.33	1.24	1.38	0.85	1.17
2	1.65	1.25	1.30	1.65	1.20	0.89	1.29	1.16	1.10
3	1.64	1.33	1.37	1.75	1.24	0.89	1.40	0.85	0.97
4	1.69	---	---	---	---	---	1.35	---	0.90
5	---	---	---	---	---	---	---	---	0.93

Hi=5.5km/h

94-12-9テスト

Lo=3.7km/h

低速711°=1km/h以下

2) 旋回モード

旋回モードで測定した動的性能試験結果を表-9・2・5に示す。停止角度は静止状態から旋回を始め超音波センサが検知して停止するまでの角度をいう。いろいろある作業条件の中で安全な停止角度は何度とはいえないが、停止角度で40度を越えた場合が4割近くあった。これは急停止をしたとしてもこれだけの回転をしてしまうということであるから、旋回操作は特に注意して行わなければならないことがわかる。

停止角度は最大リーチの方がアーム垂直の場合より大きい傾向であるのは慣性モーメントの関係からいってごく普通の結果である。しかし、アーム垂直でも122度という大きな停止角度が測定された。これは9.2.1で述べた超音波干渉によって生じた不感点があることによるものである。すなわち、旋回停止の信号で一旦は停止しようとするのであるが、停止しようとするときヘルメットセンサのある位置を不感点が通過するために停止信号がリセットされ再び旋回を始めるが停止区域内にヘルメットセンサがあるために再び停止信号を受信して停止するためである。この点は復帰方法を変更するなどして今後改良する必要がある。

表-9・2・5 停止角度測定結果（旋回モード）

（単位は角度）

停止角度=0度からスタートし停止した時の角度

テスト 番号	最大リーチ	Hi アーム垂直	最大リーチ	Lo アーム垂直
右旋回 センサ高184cm				
1	51	15	35	29
2	42	39	22	29
3	55	37	32	26
4	34	49	27	30
5	46	29	28	25
左旋回 センサ高184cm				
1	34	18	22	11
2	37	22	35	11
3	17	12	26	15
4	40	18	36	10
5	39	12	37	36
左旋回 センサ高1165cm				
1	52	20	31	---
2	43	31	42	---
3	42	44	38	---
4	50	37	43	---
5	35	42	44	---
右旋回 センサ高1165cm				
1	60	49	48	---
2	49	61	47	---
3	65	70	51	---
4	71	59	71	---
5	62	122	49	---

94/11/29

9.3 実現場適用性試験

9.3.1 目的

接触防止装置付き油圧ショベルを実際の工事現場に投入し、接触防止機能、作業効率への影響、信頼性について評価する。

9.3.2 工事現場

1) 福島県いわき市

管轄 : 建設省東北地方建設局

工事の種類: 排水溝工事

2) 静岡県湖西市

管轄 : 建設省中部地方建設局

工事の種類: 排水溝工事

3) 茨城県美野里町

管轄 : 建設省関東地方建設局

工事の種類: 道路舗装修繕工事

9.3.3 調査方法

1) 接触防止装置の動作状況

現場での使用にあたっては接触防止装置に頼ることなく、できるだけ通常の作業形態で使用するようにした。また、作業装置モードにおける停止機能の解除スイッチは使用しないで試験した。このような条件のもとで、油圧ショベルの使われ方、接触防止装置の動作、作業員の状況をビデオ撮影等により調査した。

2) 聞き取り調査

作業終了後、接触防止装置の評価、誤作動の有無、作業効率への影響、使い勝手等について、オペレータと作業員（現場監督、誘導員を含む）に聞き取り調査を行った。

9.4 現場試験結果

9.4.1 接触防止装置の動作結果

各現場において接触防止装置がどのように動作したかについてビデオ撮影等により調査した。調査は各現場2日間行い、その日の作業開始から作業終了まで油圧ショベルの使用時はすべて調査した。

1) いわき市

現場での使用状況を写真-9・4・1に示す。ここは道路側の交通量がかなり多く、車道と工事区域との間に歩道が設けられている現場である。作業中における接触防止装置の動作結果を表-9・4・1に示す。表には赤（停止）、黄（減速）のランプが点灯した場合についてまとめた。この現場では工事区域に付属した歩道の通行量もかなり多く、工事中は誘導員がついて安全の確保をしていた。

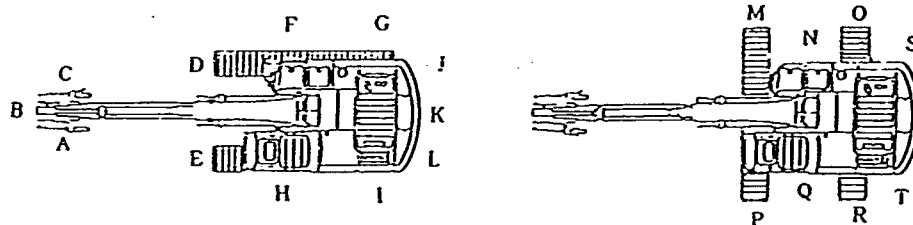


写真-9・4・1 現場の状況

表-9・4・1 現場調査結果（いわき市）

調査日	No.	時刻	点灯状況	接近者	接近位置	作業員動作	備考
1 日目	1	9:10	赤	作業員2人	A	左旋回	
	2	10:02	黄	作業員2人	F, G		作業中断して安全確認
	3	10:10	赤	作業員	A		
	4	10:11	赤	作業員	G	掘削	歩行中
	5	10:15	黄	作業員	H, I		作業中断して安全確認
	6	10:57	赤	作業員	H	右旋回	ハ*は作業員に気付かず
	7	11:04	赤	誘導員	G	左旋回	周囲の安全確認
	8	11:11	赤	作業員	B		
	9	11:20	赤	作業員	B	掘削	
	10	11:22	赤	作業員	H		ハ*と打ち合わせ直後
	11	13:15	赤	作業員	B		ハ*と打ち合わせ直後
	12	13:17	赤	作業員	B	右旋回	打ち合わせ中旋回
	13	15:07	赤	作業員	I	前進	
	14	15:35	黄	作業員	H	掘削	
	15	15:51	黄、赤	誘導員	F, G		ハ*と打ち合わせ直後
	16	16:12	赤	作業員	C		
	17	16:24	赤	誘導員	F	前進	
	18	16:24	赤	作業員	F	前進	
	19	16:24	赤	作業員	F	前進	
2 日目	1	9:06	黄、赤	作業員	J, K, L	右旋回	
	2	9:07	赤	誘導員	F	掘り込み	
	3	9:07	赤	作業員	F, G		
	4	9:10	黄、赤	作業員	F, G	鉄板移動	
	5	9:10	赤	作業員	F, G	鉄板移動	
	6	9:11	赤	作業員2人	A		溝板撤去作業中
	7	9:13	黄、赤	誘導員	S, T	掘り込み	
	8	9:13	赤	誘導員	F	掘り込み	
	9	9:14	赤	誘導員	F, G		ハ*と打ち合わせ直後
	10	9:14	黄	誘導員	G, F	右旋回	
	11	9:21	黄	誘導員	G, F	掘削	
	12	9:23	赤	作業員	C	右旋回	
	13	9:24	赤	誘導員	F, G	後進	
	14	9:26	赤	作業員	A	鉄板移動	
	15	9:26	赤	作業員	A, B		
	16	9:30	赤	作業員	A	左旋回	
	17	9:30	赤	作業員	F	右旋回	
	18	9:31	黄	作業員	S	左旋回	
	19	9:31	黄	作業員	F, G	左旋回	
	20	9:34	黄	作業員	F, G	掘削	
	21	11:22	赤	作業員	B	静止	
	22	11:52	赤	作業員	F, G	左旋回	
	23	13:51	赤	作業員	B	前進	
	24	13:51	赤	作業員	B	70°伸	
	25	13:55	赤	作業員3人	F, G, I	前進	
	26	13:55	赤	作業員3人	F, G, I	前進	
	27	13:55	赤	作業員3人	F, G, I	前進	
	28	13:57	赤	作業員	H, I		
	29	14:16	赤	作業員	B	前進・旋回	
	30	14:57	赤	作業員	A	左旋回	
	31	15:35	赤	誘導員	K	前進	
	32	15:38	赤	作業員	A		
	33	15:39	赤	作業員	A	地均し	
	34	15:39	赤	作業員	A	地均し	
	35	15:55		作業員2人	G		センサ未着用作業員
	36	15:55		作業員2人	G		センサ未着用作業員

注 赤：停止、黄：減速



接近位置記号

2) 湖西市

調査日における作業状況とビデオ撮影位置を図-9・4・1、図-9・4・2に示す。また図-9・4・2の現場における使用状況を写真-9・4・2に示す。この現場は工事関係者以外の人はいない場所であるため、接近者はすべて作業員である。作業中における接触防止装置の動作結果を前と同様に表-9・4・2に示す。

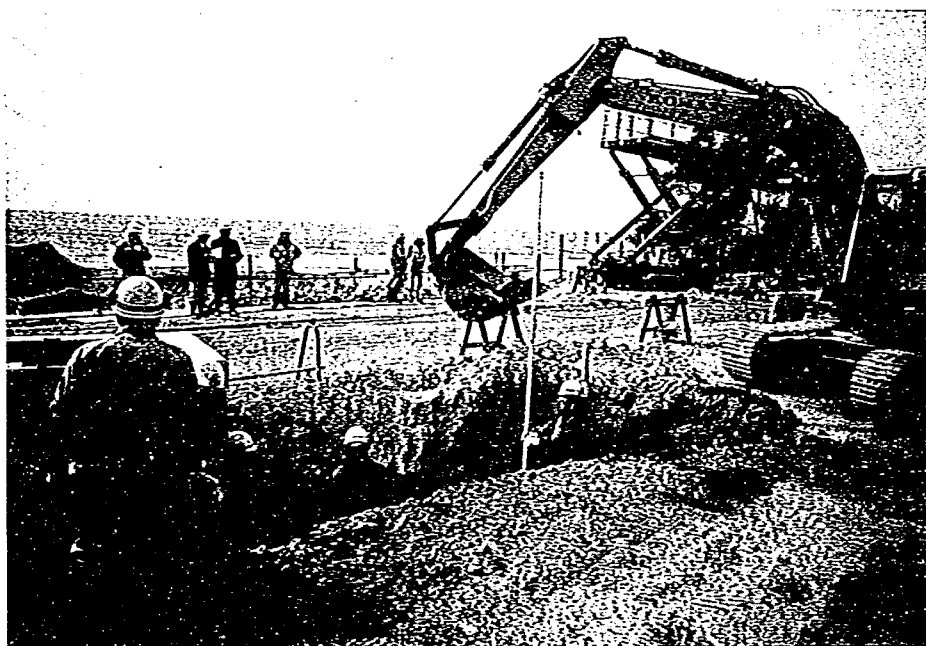


写真-9・4・2 現場の状況

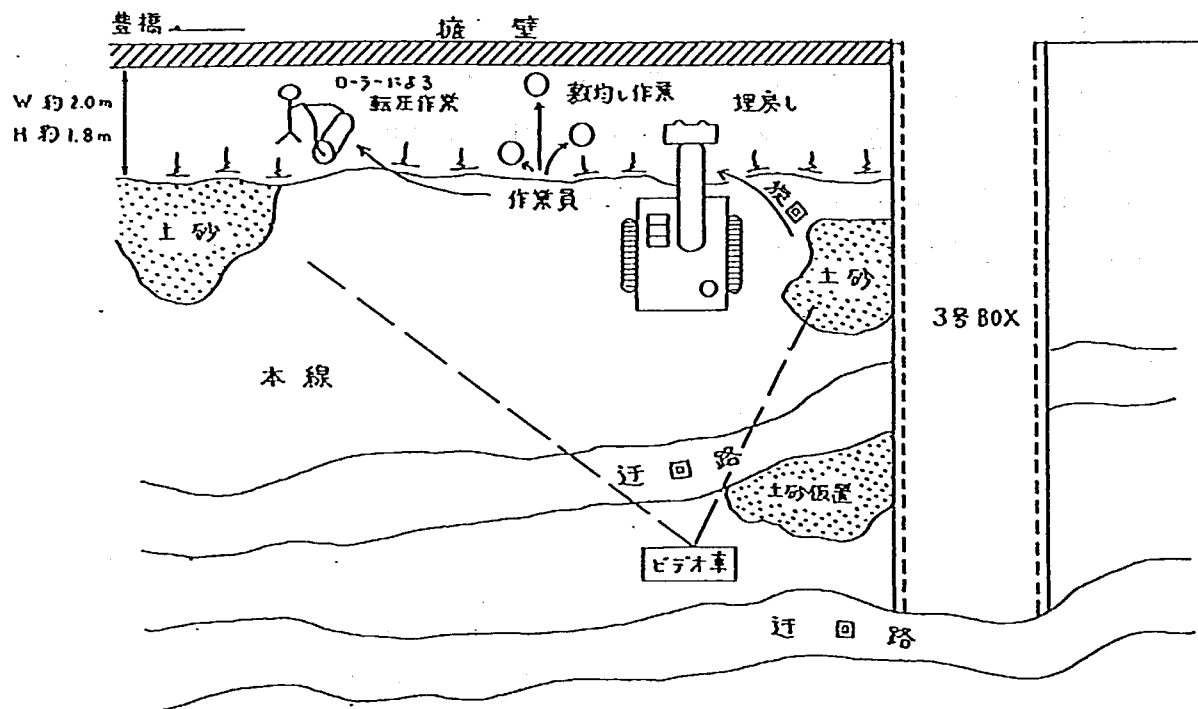


図-9・4・1 作業状況とビデオ撮影位置

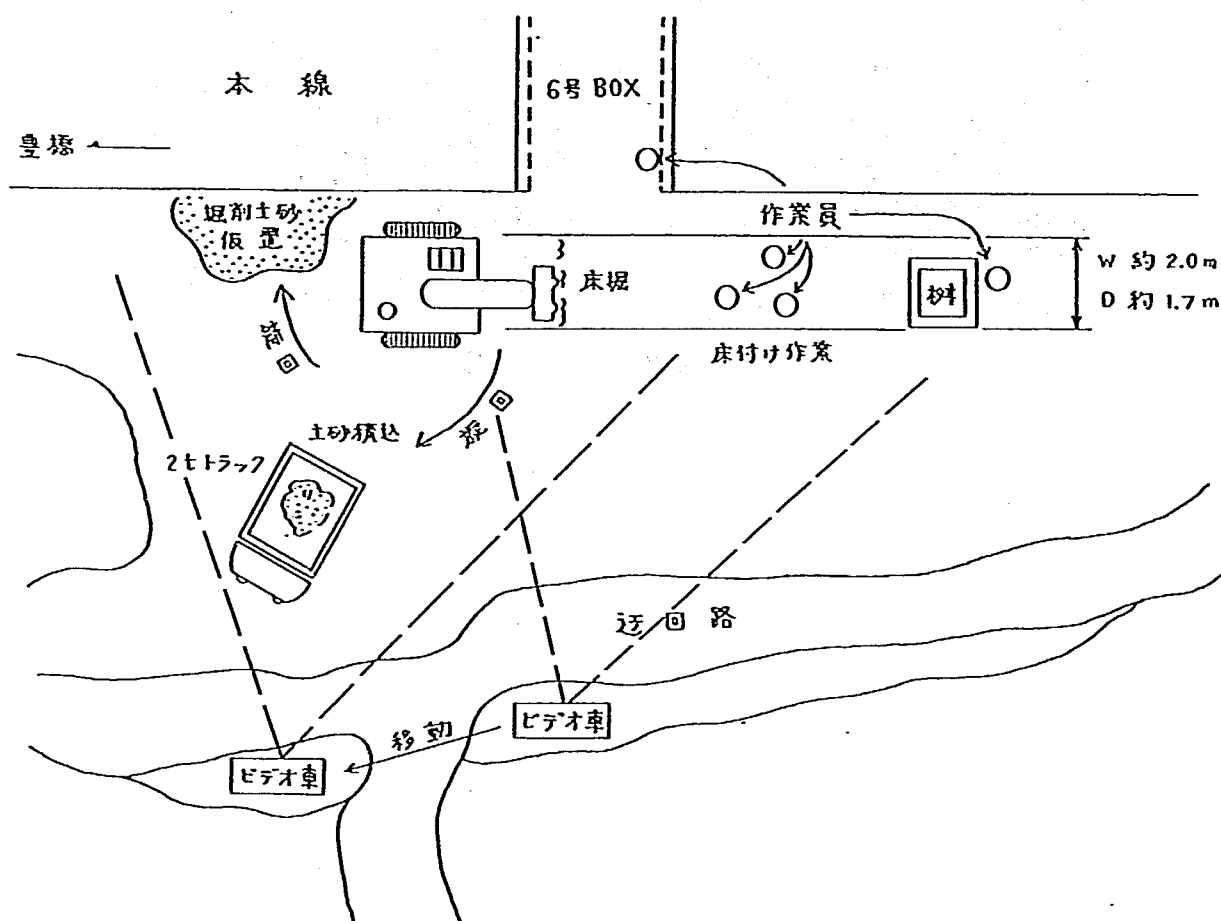
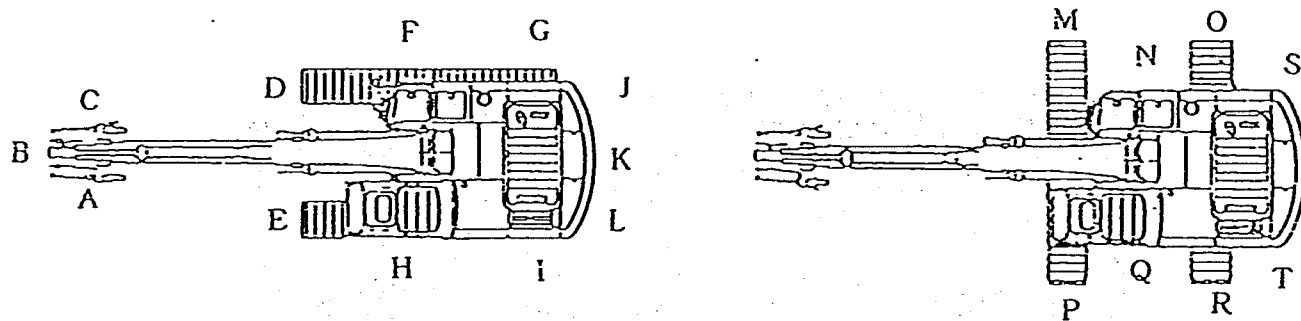


図-9・4・2 作業状況とビデオ撮影位置

表-9・4・2 現場調査結果（湖西市）

調査日	No.	時刻	点灯ランプ	接近者	接近位置	ジョブ動作	備 考
1 日 目	1	9:50	赤	作業員	A	左旋回	
	2	9:58	赤	作業員	A	左旋回	
	3	10:15	黄	作業員	T, S	吊り作業	
	4	10:15	赤	作業員	A	吊り作業	
	5	10:16	赤	作業員	A	吊り作業	
	6	11:30	赤	作業員	A	左旋回	
	7	13:07	赤	作業員	A	左旋回	
	8	13:14	赤	作業員	G	右旋回	
	9	13:25	赤	作業員	A	左旋回	
	10	13:26	赤	作業員	A	左旋回	
	11	13:46	赤	作業員	A	左旋回	
	12	14:27	赤	作業員	C	右旋回	
	13	14:32	赤	作業員	A	右旋回	
	14	14:47	赤	作業員	A	左旋回	
2 日 目	1	10:26	赤	作業員	A	床堀	
	2	10:27	赤	作業員	B	右旋回	
	3	10:37	赤	作業員	B	右旋回	
	4	13:16	赤	作業員	A	静止	廃材撤去のため接近
	5	13:23	赤	作業員	B	静止	廃材撤去のため接近
	6	13:24	赤	作業員	H, G	左旋回	
	7	13:27	赤	作業員	H	右旋回	
	8	13:35	赤	作業員	H	静止	
	9	14:15	赤	作業員	K	静止	
	10	14:27	黄	作業員	H	静止	廃材撤去のため接近
	11	14:34	赤	作業員	B	静止	掘削高測定中
	12	15:56	黄	作業員	Q	静止	床付け作業中

注 赤：停止、黄：減速



接近位置記号

3) 美野里町

現場の工事箇所とビデオ撮影位置を図-9・4・3に示す。また工事中の状況を写真-9・4・3に示す。この工事現場では片側通行にして道路の半分を工事している場所である。昼間の交通量が非常に多いため夜間に工事は行われた。作業中における接触防止装置の動作結果を前と同様に表-9・4・3に示す。接近者はいずれも作業員である。

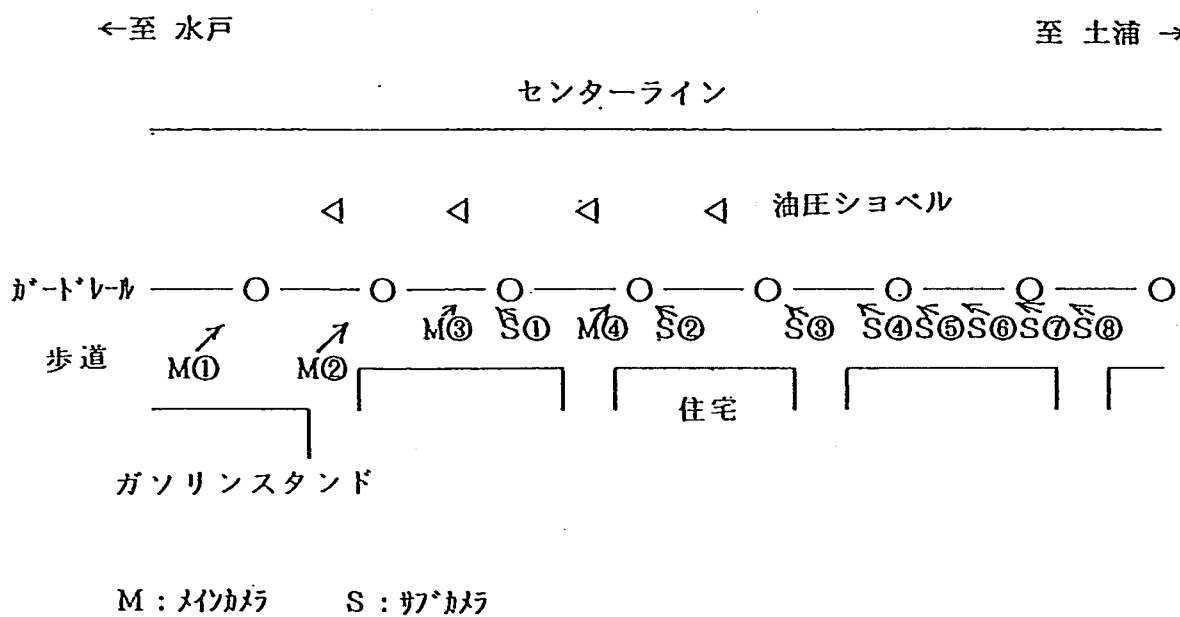


図-9・4・3 工事現場とビデオ撮影位置

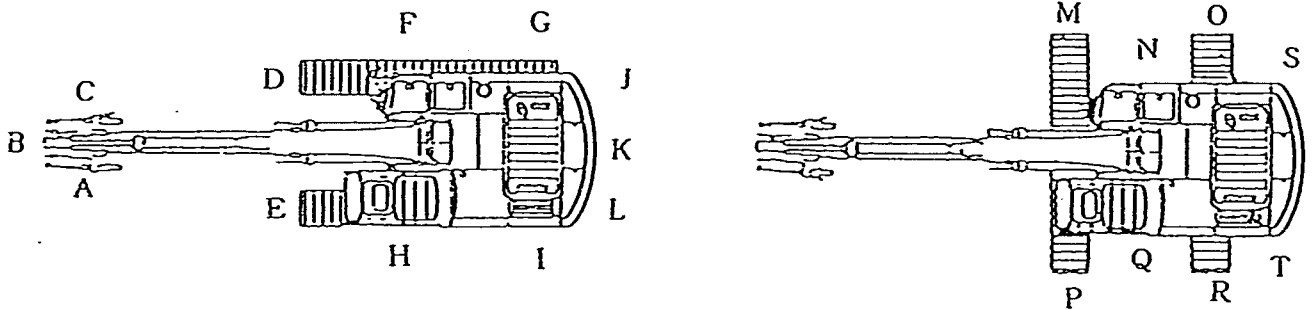


写真-9・4・3 現場の状況

表-9・4・3 現場調査結果（美野里町）

調査日	No.	時刻	点灯ラッパ	接近者	接近位置	シヤベル動作	備考
1 日目	1	21:15	赤	作業員	A		
	2	21:38	赤	作業員	A		整地
	3	21:41	赤	作業員	E		ハ°への指示
	4	21:41	黄	作業員	E		ハ°への指示
	5	22:11	赤	作業員	B		
	6	22:15	黄	作業員	B		
	7	22:18	赤	作業員	C		
	8	22:29	赤	作業員	E		
	9	22:34	赤	作業員	J, K		
	10	22:35	黄	作業員	J, K		
	11	22:38	赤	作業員	E	静止	
	12	22:40	赤	作業員	H		
	13	23:16	赤	作業員	A, C	静止	スコップでバケツに積込
2 日目	1	21:28	赤	作業員	C		
	2	21:29	赤	作業員	C		
	3	21:36	赤	作業員	A, C		清掃
	4	21:42	赤	作業員	C		
	5	21:44	赤	作業員	A		
	6	21:46	赤	作業員	A, C		清掃
	7	22:15	黄	作業員	H, I		
	8	22:28	赤	作業員	A, C		清掃
	9	22:37	赤	作業員	H		ハ°に接近
	10	22:47	黄	作業員	A, C	静止	スコップでバケツに積込

注 赤：停止、黄：減速



接近位置記号

4) まとめ

以上3現場の結果をまとめて表-9・4・4、表-9・4・5に示す。表には緑のランプが点灯した回数も掲載したが、いわき市の場合は測定データがないため空欄となっている。

(1) 赤の点灯（停止）

油圧ショベルが停止する赤ランプの平均点灯回数は14.3回／日であった。特に、いわき市では最も点灯回数が多かった。この理由は現場が狭いために道路と工事場所との間に歩道が設けられるなど、超音波の検知領域内を通過せざるを得なかったこと、工事の打ち合わせ、作業補助等のために建設機械の周辺に作業者等がいる必要のある工事であったことによると考えられる。このことはランプ点灯時の接近位置が機械周辺全体にわたっていることからわかる(表-9・4・5参照)。赤ランプの点灯回数が多いほど作業効率は低下するのであるが、実際には測定された回数以上の作業効率低下要因があることに注意する必要がある。つまり、工事関係者には普段と同様に作業をするようお願いはしたが、油圧ショベルが頻繁に停止したのでは仕事にならないので、やむを得ず停止しないよう近づかないようにしていることがあるためである。

(2) 黄の点灯（減速）

点灯回数が赤の回数と比較して少なすぎるといえる。この原因には次のことが考えられる。

- ① 検知区域幅が0.5mと狭く応答する前に停止区域に入ることによる。
- ② 作業機械モードおよび走行モードでは減速区域がないことによる。

したがって、減速区域の効果を出すためには応答時間も考慮した区域の大きさにすることが必要であると考えられる。

(3) 点灯せず

人が接近したのに点灯しないと判断する原因には次のような場合が考えられる。

- ① 接触防止装置に何らかの問題がある。
- ② 超音波センサを着用していない。
- ③ 点灯区域にいる時間がシステムの応答時間よりも短かった。
- ④ ビデオ撮影の位置から見て検知領域内にいると思われたが、実際にはそうではなかった。

ビデオ撮影による調査からは②④は認められたが、①③は認められなかった。

表-9・4・4 現場での接触防止装置動作結果

		単位：回数			
場 所	調査日	緑（警報）	黄（減速）	赤（停止）	点灯せず
いわき市	1 日目	—	4	16	0
	2 日目	—	8	29	2
湖西市	1 日目	25	1	13	0
	2 日目	43	2	10	0
美野里町	1 日目	18	3	10	0
	2 日目	28	2	8	0
合 計		114	20	86	2

注：「点灯せず」はいずれも超音波センサ未着用によるものである

表-9・4・5 赤、黄ランプ点灯時の接近位置

		単位：回数		
接近位置	70°外部 (A, B, C)	側面 (F, G, H, I)	後部 (J, K, L, S, T)	合計
いわき市	20	31	4	55
湖西市	18	5	2	25
美野里町	14	3	2	19
合 計	52	39	8	99

9.4.2 聞き取り調査結果

現場で接触防止装置付き油圧ショベルを使った印象について工事関係者の聞き取り調査を実施した。その結果を表-9・4・6に示す。なおこの表は付録1の資料をまとめたものである。現場からの意見のうち、ここでは接触防止装置の基本機能評価、作業効率への影響および装置の信頼性の観点からまとめた。

1) 基本機能評価

基本機能評価では検知停止復帰機能に対して意見が集中し、特に作業装置モードに対してはオペレータからよく見える範囲であるから、センサは無くしてほしいとの声が強かった。このことは3現場すべてに共通していた。警報機能では超音波装置改良（表-9・4・6 注1参照）後の美野里町の現場で、警報音が複数箇所から鳴り誰が問題なのかかわからないと報告された。警報音の音量はヘルメットセンサごとに調節できるので、これは少なくとも自分に対する警報だと思った人が同時に何人もいたという現象である。この原因は複数の作業員が働いている場合、誰か一人が停止区域（または減速区域）に入り込むと、油圧ショベル側から作業員側へ警報音を鳴らす信号が出され、その信号を当該作業員だけでなく同じ検知領域内、またはその近傍にいる他の作業員も受信してしまうためだと思われる。

接触防止装置の設定内容に関してはいわき市および美野里町の現場からもっと現場に合わせてほしいとの意見があった。これらはいずれも国道沿いで交通が激しく狭いスペース内での工事現場である。油圧ショベルのすぐ近くを行き来する機会が多いた

め現場に合わせて検知領域を狭くしたいという意見である。作業員が油圧ショベルの近くを走って通り過ぎたとき急に停まって急に動き出したと報告しているがこれは安全性の点から今後改善する必要がある。

2) 作業効率への影響

作業効率への影響は現場における作業内容によっても異なるが、工事関係者の評価ではいわき市と湖西市の現場で明らかに効率は低下したとの回答であった。低下度合いの評価は人によっても異なるが、いわき市の工事現場では2～4割低下した。この結果はランプの点灯状況(表-9・4・4、表-9・4・5参照)からも推察できる。美野里町の現場では破碎した舗装片のダンプへの積み込み作業であったため、作業員との共同作業が少なく作業効率への影響は小さかったものと思われる。

3) 誤警報

誤警報については試験中に検知領域外にいるにもかかわらず作業員側の警報が鳴る問題が発生した。しかしこれは原因がわかり、超音波装置のロジック回路改良により対策した。また、湖西市の現場で大型ダンプが通過したとき警報音が鳴ったと報告されたが、この原因にはダンプから使用周波数の超音波が発生していたことが考えられる。

表-9・4・6 聞き取り調査結果

発言者 (監): 現場監督、(オ): オペレータ、(作): 作業員、(誘): 誘導員

項目	いわき市	湖西市	美野里町
検知停止 復帰機能	走行	・右横走行時右前はオペが見えるので 無くてもよい(オ)	・後ろは有効である(オ)
	旋回	・旋回停止をもっとスムーズに(オ)	・側方は多少感度を鈍く調整できても よいのでは(作)
	作業装置	・バケット周りの急停止を改良してほ しい(監、オ) ・今回の工事なら作業装置のセンサは 無くてもよかった(オ)	・バケット部は必ず直視しているの であまり必要ではない(オ)
	共通	・停止した方がよいが現状技術では 煩わしい(オ) ・現場に合わせた装置のセッティング ができてよいのでは(作、誘) ・センサを持たない第三者に対する 保護装置が欲しい(誘) ・作業員が走って通り過ぎたとき急に 停まって急に動き出した 復帰はレ バー中立の位置で行う方が安全と 思う(オ) ・人が近くににいるのは分かっているの に機械が動かないのは使いにくい (オ)	・第三者にも有効であればよい(オ)
警報機能	・もっと神経に障る音に(オ) ・警報、減速、停止の区域による音の 区別を(オ) ・自分の音と他人の音との区別がつか ない(誘)*1	・危険が近づいたとき、音が変わると よい(作) ・自分が停止させたのか他人が停止さ せたのか分からない場合がある (作)	・複数のヘルメットセンサから同時に 音が出るために誰が問題かが不明 (作) ・警報音は夢中で作業している場合に は聞こえない(作)
表示機能	・表示器の位置がフロントガラス下部 であれば見る(オ) ・停止したときどこにいる人を検知し たかが不明(オ) ・作業員の位置をオペ側から確認でき るとよい(監)	・よく見えた(オ) ・音が鳴ったときどこが鳴ったかが分 かる(オ)	・表示が小さくどこで検知したかが認 知しにくい(オ) ・表示器の位置がよくない(オ)
作業効率	・2割低下した(監) ・4割低下した(オ) ・作業中ショベルに近づけない(作)	・2割低下した(オ) ・バケット周りに近づいて作業ができ ない(作)	・掘削作業では人が接近する作業が多 く効率上問題になる(作)
超音波センサ	・重くはないが配線が邪魔(オ) ・ヘルメットでもベストでも構わない (誘)	・センサカバーの耐久性を検討して欲 しい(作) ・重さは気にならない(作) ・狭いところでの仕事にはもっと小さ い方がよい(作)	・センサはヘルメットに簡単に取り付 けられるものがよい(作) ・コンパクト化軽量化を図る必要があ る(作) ・ヘルメットよりベストがよい(作)
慣れ	・安全装置にはかなり慣れが必要であ る(監) ・一日乗ればだいたい慣れる(オ)	・一日でショベルに慣れた(オ) ・接触防止機能が付いているショベル に慣れると付いていないショベルに 乗ったとき怖い気がする(オ)	
誤警報	・ショベルより5m離れて2名が接近 していたとき警報が鳴った(オ) *2	・走行中大型ダンプが通過したとき音 が鳴ったが停止はしなかった(オ) ・ショベルより離れていても警報が鳴 りっぱなしだった(作)*2	
その他	・レバー操作量はフルの1/3~1/2 ・この現場では機械が大きかった ・安全装置は必要である	・この装置によって安全に対する意識 が高まった ・この現場には機械が小さかった	・使用して安心感がある ・オペから指示が出せるスピーカがあ ってもよいのでは

注 *1: 音量調節ができることを知らなかったことによる

注 *2: これは超音波装置の改良により対策した

9.4.3 接触防止装置の評価結果

現場適用性試験の結果をもとに、本研究で開発した接触防止装置の評価を行った。その結果、検知、停止、復帰等の基本的な各機能はいずれも設計通りに作動することが確かめられ、接触防止装置は有効であることが分かった。設計にあたって装置の仕様は作業効率への影響を考慮し、検知領域を必要な範囲に限定する等の工夫をしたが、現場からは安全性の向上は認めるものの、作業効率が低下するとの声があった。これは停止区域を設定し、危険を検出した場合には停止する機能を持たせたことが大きな原因となっている。特に、作業員との共同作業が必要な作業装置モードの停止機能が主な原因となっている（表-9・4・5参照）。今回の現場試験では作業装置モードの停止機能解除スイッチを使わなかったが、この効果の検討も含め安全性と作業効率の両立のためにはさらに接触防止装置の改善が必要である。接触防止機能、安全性、信頼性に関し試験で明らかになった接触防止装置の主な課題を次に示す。

- 1) 停止機能と作業効率との両立
- 2) 現場に合わせた装置の条件設定
- 3) 停止後の安全な復帰方法
- 4) 減速機能の効果的な利用

10. 接触防止技術の動向

10. 接触防止技術の動向

建設機械の後退時など作業者等との接触事故を防止するため、警音や警告灯で機械側から周囲に一方的に知らせる方法は古くからあり、現在でも商用に供されている。しかし、この方法は、相手側からの反応はなく機械側では何も分からないこと、及び、音がうるさい或いは作業員が音に慣れてしまう等問題を抱えており、余り普及していないのが実情である。

より安全で実用性の高い方法として、超音波を使いオペレータの死角をカバーして、機械側にも接触を回避させる手段をとらせようとする研究が、現在ドイツ、アメリカ、日本で進められている。

ドイツ及びアメリカの方法は、機械の後退時に後方の障害物（作業者だけでなく物体も）を検知してオペレータに知らせるだけのシステムなのに対し、日本のシステムは、後方だけでなく旋回、バケット周りも検知し、オペレータと作業者の双方に警報を発し、更には機械の自動停止迄行うところが画期的である。

ただ、ドイツは長年かつ広い範囲に渡り研究実績を有しており、それをベースに低速車両における超音波を用いた警報装置のISO国際規格を作ろうとする動きがある。

以下にドイツの研究内容とISOの動き及び今後の展望について述べる。

10.1 ドイツでの建設機械用超音波警報装置の研究

以下の内容は、ドイツTBG（Tiefbau-Berufsgenossenschaft Gesetzliche）のMr. W. Schmidtの論文を要約したものである。

10.1.1 ドイツにおける事故分析

1982年（昭和57年）に発生した労働災害191件の分析結果、機種別には油圧ショベル（ホイール式＋クローラ式）が全体の46%を占め、次いでホイールロードが36%を占めており、いずれもオペレータの視界不良が主因である。（図-10・1）

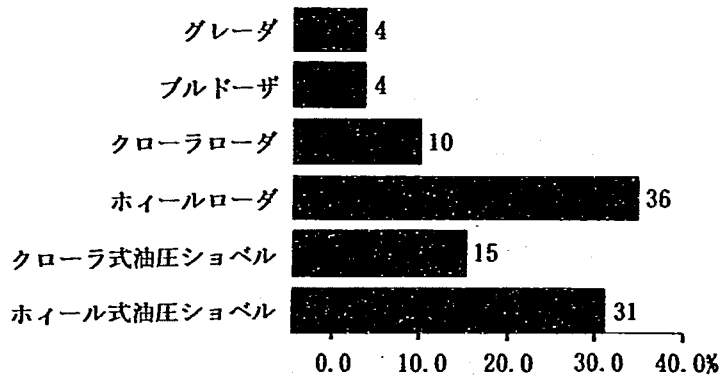


図-10・1 機種別労働災害の発生割合

この傾向は、1989年（平成元年）

秋に実施した過去12ヶ月の事故調査結果でも裏付けられたとしている。

このうち油圧ショベルだけについて分析すると、全事故の51%は視界不良によるものであり、その部位別発生割合は、機械後方が50%、右前方が45%である（図-10・2）。右前方の死角は、ホイール式油圧ショベルの走行姿勢時におけるブームの影響によるものである。

以上の結果から、T B Gは建設機械におけるオペレータの死角をカバーすることが最も重要であると認識し、本研究に着手している。

(注) ドイツでは、日本程油圧ショベルの普及が他機種に比べて圧倒的に多くはなく、かつ、その油圧ショベルもホイール式が約半分近くを占めているので、機種別事故発生状況や、油圧ショベルの事故発生部位は日本と大いに異なる。
(第3章及び第5章参照)

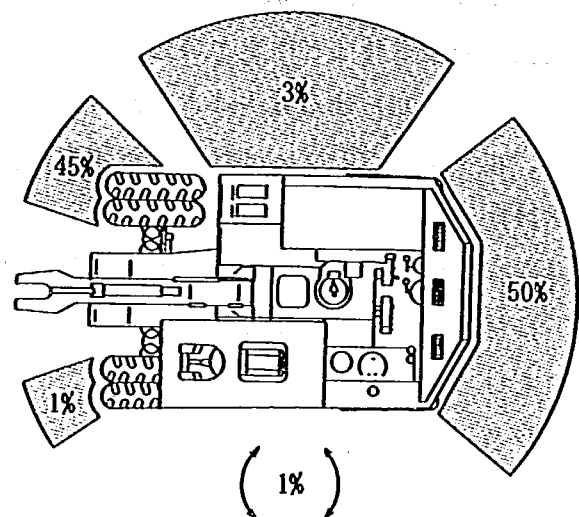


図-10・2 ホイール式油圧ショベルの
部位別労働災害発生状況

10.1.2 各種システムの絞り込み

ベルリン工科大学と共同で、各種の方法が検討された。ミラー、TVモニタ、無線通話、バックアップアラーム等の視界補助手段は、危険を減少させることは出来るが大幅に排除することは無理であり、一方、マイクロ波、光スキャナ、赤外線等を用いたシステムは、現場の過酷な条件に合わないか、ないしはコストが高い等の理由により、最終的に超音波システムを選択している。

10.1.3 油圧ショベル用超音波警報装置

周波数帯域20～80kHzの超音波エコー方式を採用しており、センサーの配置と検知範囲を図-10・3)のようにしている。そして検知された距離に応じて、音とランプにより表-10・1のようにオペレータへ警報を発している。

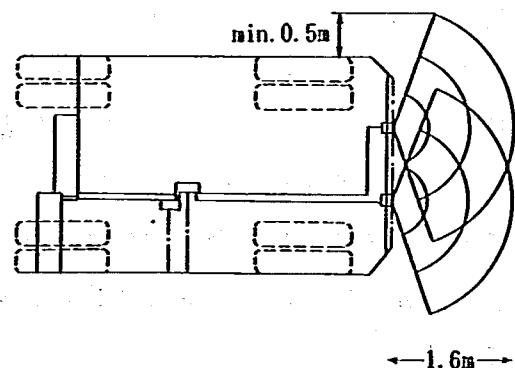
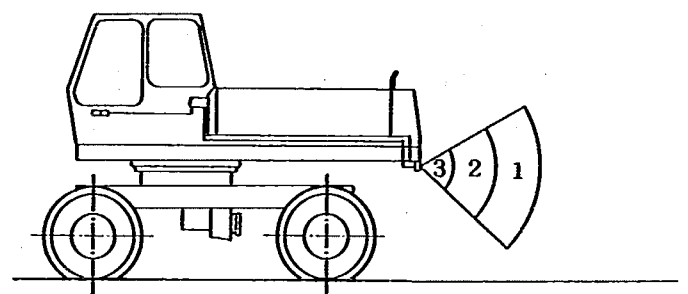


表-10・1 距離による警報の区分

距離	警告音	ランプ
1.6m以上	-----	緑色
1.6～1.0m	長い間隔音	黄色
1.0～0.5m	短い間隔音	〃
0.5以下	連続音	赤色

図-10・3 機械後方検知範囲

一方、機械の右前方の死角に対し同様に図-10・4超音波センサーを設け、機械外側より1.0m以内を検知して障害物があると赤ランプと連続音でオペレータに警報を与えている。

(注) このシステムでは、衝突を避けるのは警報を受けたオペレータの反応如何にかかっており、作業者には何の警報も与えられていない。

機械が微速ないしごく低速で走行している場合のみ有効であろうと思われる。

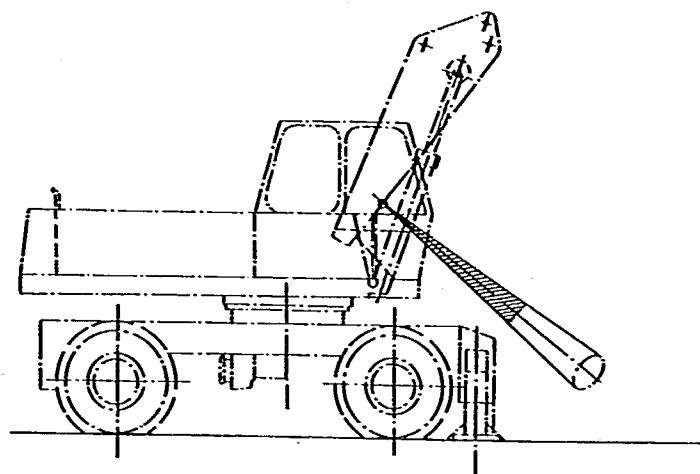


図-10・4 機械右前方検知範囲

10.1.4 その他の建設機械への展開

- ・油圧ショベルに次いで事故の多いホイールローダに適用して、実験が行われた。

80kHz帯域の超音波を使い6m後方迄検知しており、機械の大きさによってセンサーを3～6ヶ装着している。警報は、後方6.0～2.0mの範囲が黄色ランプと短い間隔音、2.0m以内が赤色と連続音としている。

1988年（昭和63年）2月から1989年（平成元年）2月にかけて5社7機種10台について装着し、大規模造園、道路工事、砂利採取、石炭大量積替え、採石場などで実験し、稼働時間321hrから最高2,305hrをあげている。

- ・他に大型ダンプトラック、コンパクタ、建築工事用クレーン、ガントリクレーン、ゴミ蒐集車両、掃除機など民生用特殊車両等にも展開し、実験を行っている。

(注) 最近日本でも似たようなシステムとして、乗用車、トラック等にオプションで取付けられる後退用超音波警報装置が実用化されている。

10.2 ISOでの動向

10.2.1 今迄の経過

- ・1988年（昭和63年）10月 米国ワレンデルでのISO/TC127国際会議において、ドイツより前述の研究結果の紹介があり、「土工機械－低速車両用警報装置－超音波システム」の国際規格を作ろうと云う最初の提案があった。

- ・ 1989年（平成元年）4月 ISO/TC127/SC2国際会議で第二次案が示された。
- ・ 1990年（平成2年）4月 神戸での国際会議において、第三次案が示された。
- ・ 1992年（平成4年）6月 スウェーデンのユッカスヤルビでのISO/TC127国際会議において、日本から建設省技術評価制度で接触防止型油圧ショベルの研究をやっていること、及び、米国から鉱山でダンプトラック等に類似のシステムを装着して研究していることの紹介があった。
- ・ 1993年（平成5年）10月 米国エステスパークにおけるISO/TC127国際会議において、日本より接触防止型油圧ショベルの研究内容を詳細報告し、超音波システムには信頼性等重要な点で未だ問題が残されていることを指摘した。米国も同意見であった。
 討議の結果、ドイツ案をISO規格にするのは時期早尚であるとの結論に達した。
- ・ 1994年（平成6年）10月 イタリアのトリメZZでのISO/TC127国際会議において、ドイツより本件を技術レポートとする案が出され、それが了承された。

10.2.2 ISO/TR 9953「土工機械－低速車両用警報装置－超音波システム」 （案）の概要

本技術レポート（案）は、後進速度5 km/h以下の低速車両に装着する超音波警報装置を対象とし、その監視システムの性能、機械後方の監視範囲、オペレータへの光学的・音響学的警報、及びシステムの自己チェック機能を評価する方法について述べたものである。

本技術レポート（案）は、タイプ2として提案されており、従って発行後2年以内に更に2年延長するか、ISO規格に切替えるか、或いは廃止するか、いずれかの措置をとるよう問われる。

1) システムの内容

- ・ 超音波センサーは、機械後方2m地点で機械全幅をカバーするように配置され（図-10・5、図-10・6参照）、音及びランプによる警報は、表-10・2の通り設定される。

又、システムは、自己チェック機能を持ち、異常がなければ緑色のランプが点灯することとしている。

表-10・2 距離による警報の区分

領 域	警 告 音	ラ イ ト
予備警報区域 (2.0~1.0m)	2 H z 間 隔	黄 色 点 滅
主 警 報 区 域 (1.0~0.5m)	4 H z 間 隔	黄 色
衝 突 区 域 (0.5m以内)	連 続 音	赤 色

- ・本システムは、機械が停止している間は作動しないこと、及び、簡単にスイッチを切ることができないことを求めている。

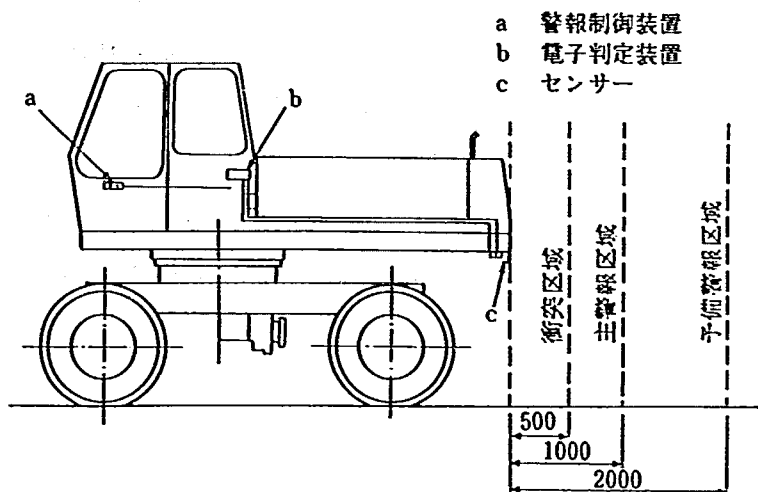


図-10・5 ISO/TR9953(案)の後方検知範囲

2) 試験方法と性能要求

- ・超音波による距離の測定時間は、200msを越えないこと、及び、後進レバーを入れて本システムが始動してから、遅くとも600ms以内に監視領域の物体の最初の表示が出ること。
- ・予備警報区域、主警報区域、衝突区域の各境界の前後各100mm（予備警報区域のみ前100mm）の位置で、横方向に300mm間隔の垂直線と（図-10・6参照）、高さ800mm、1,100mm、1,500mm、1,700mmの水平線との交点において試験し、各点が確実に検知され確認出来ること。
- ・試験するときの環境は、風速（最大）5.4m/s、温度 $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $60 \pm 25\%$ としており、更に低温試験として -20°C 、高温試験として $+60^{\circ}\text{C}$ でも行うことを規定している。
- ・本システムの構成部品への要求条件として、耐振動、耐気候、静荷重、耐塩水、電磁波障害試験等を要求している。

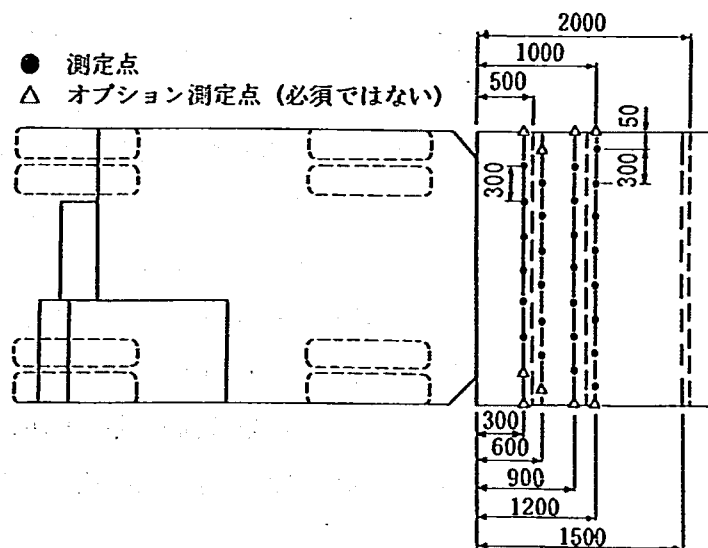


図-10・6 試験部位

10.3 今後の展望

1995年（平成7年）4月にドイツのミュンヘン市において開催されたバウマ建設機械見本市において、超音波センサーを装着した大型のホイールローダが2社から出品された。やはり安全に気を使うユーザから要求があるようである。

EUの安全規格に端を発し、それを世界共通のISO規格にしようとの動きがあり、今色々な観点から安全が注目されている。こういう情勢の中にあって、ドイツ、アメリカの警報のみのシステムは、自動車用とも合わせて多年の実績を有し、上述のように使用条件の厳しい建設機械の分野においても実用の段階に入ったと見て良い。日本においても、前述のように道路機械を中心に使用され出している。ただこのシステムは、あくまで人間に回避動作をとらせるものであり、その点安全装置としてはまだ途中段階のものである。

一方、今回のシステムは、回避動作を機械の自動停止によって行うより安全なシステムである。しかも作業性との両立を求め、実験の結果すでに述べたように一步実用化に近づくことができたと考えている。

とは言え、前章で述べているようにまだ解決すべき課題も少なからず残っているが、それらの多くは今後各種の作業で出来るだけ多く実験することにより、早期に解決出来ると考えている。最後に超音波故の宿命による本システムの使用不適当な作業環境は残るが、それはごく限られた特殊なものと考えられ、かつ超音波に替わるより優れたセンシング方式が新たに開発されない限り、やむを得ないことである。適切な使用方法の教育指導によりカバーする以外にない。この点も今後の実験で明らかになっていくであろう。本システムの真の実用化までには、上述の如く今少し時間がかかる。

尚、本システムの技術は海外でも十分に応用が効き、実用性が証明された暁には広く世界にも波及する可能性を秘めている。ただ、そのためには同じ超音波システムとして、ISO規格と共通に出来る部分は同じ試験方法と性能要求とし、調和を図ることが必要となろう。今後、今回の官民共同研究の成果をISO/TR9953の国際規格化に反映させることが求められる。

11. P L 問題に関する取扱い

11. PL問題に関する取扱い

PL（製造物責任）とは、Product Liabilityの略語で製品の欠陥によって消費者が身体生命に被害を受けた場合、その製品のメーカーが過失責任として被害者に対して賠償責任を負うというものである。

現行の民法では、製品による被害の全てについてメーカー側が賠償するのではなく、メーカー側に何らかの「過失」が有った場合に第三者の損害に対しての賠償行為が発生するという「過失責任」の原則が存在しており、被害者が賠償責任を問う場合は、加害者に過失が有ったことの証明が要求される。

この様な「過失責任」は、日本のみならず諸外国に於いて種々の事故に対する賠償問題の基本原則となって来たが、1960年代にアメリカで「過失責任という考え方では消費者が十分に保護されていない。」という主張が表面化し始めた。

ここで登場したのが、「無過失責任」という“厳格責任”であり、被害者が原因となったメーカーの「過失」を証明することは不可能であり、したがって社会全体が被害者を救済すべきであるという考え方である。

アメリカで1960年代に「PL法」が制定される一方、ヨーロッパでは1985年成立した「PL法に関するEC指令」によってイギリス、イタリア、ドイツ、フランスその他主要各国に於いてPL法制定の作業が進められ、1987年から1989年に掛けてPL法が制定されている。

11.1 外国の代表的な事例

諸外国に多くの事例がある中で本節は、アメリカでのPL法による建設機械に係る評決7例を表-11・1・1に記述する。

PL訴訟の場合、これまで殆ど訴えられた企業側が不利な立場にあるかの如くに報道されているが、要するにメーカーとしては考えられる限りの危険を予想して極力それを取り除く努力を行なうと同時にそれでも除き切れない危険については警告・表示等を行なって、それを記録として保管する必要がある。

表-11・1・1 建設機械に関する評決例

事 故 内 容	原 告	被 告	評 決 内 容
① 原子力プロジェクトの建設現場でホイールローダが資材を積載、坂道を走行中にバランスを失って暴走、作業員である原告を轢いた。	被害者である作業員	製造者である機械メーカー	同社製造の他の機種には緊急用ブレーキが装備されていたが、暴走事故を発生した機種に限って採用されておらず機械メーカーの賠償責任を認めた。
② ブルドーザの後部に装備されたフック付ワイヤケーブルで鋼材を牽引したところ、フックが外れてケーブルが切れた。フックとケーブルが被害者の背中に当たり死亡した。	リース会社専属オペレータ（被害者）の妻	製造者である機械メーカー	PL訴訟では、事故発生地の法律が適用される。ジョージア州法の下では、防御用の囲い（ガード）が装着されていないことは設計上および製造上の欠陥とはならない。
③ 道路締固機械で工事時の高速道路の路肩の盛り土を締め固める作業をしていたところ、機械が路肩を乗り越えて転倒、負傷した。	被害者であるオペレータ	製造者である機械メーカー	アメリカの訴訟法上の考え方として、危険であると知りつつ成した行為に関しては被告責任を問えない。 原告は路肩に近づき過ぎるなど「誤用」しており、原告にも責任がある。

事 故 内 容	原 告	被 告	評 決 内 容
④ アスファルト散布機の前輪の前に立って機械前部に装着された材料収納ホッパを掃除していたところ機械が突然に動き出して原告の足を踏いた。	被害者であるオペレータ	機械のリース業者	PLは、欠陥（この場合、たまたまバンパガード未装着）製品を市場に出して利益を得た者は、その者が販売会社か貸し主であるかを問わず適用される。 また被告は、数年前の本件と同様の事故で十分に事故発生が予見出来た筈である。
⑤ 前日の降雨によって油圧ショベルの履帯の周辺には泥土が積もっていた。被害者が運転席に登ろうとして誤って転倒、背中を負傷した。 被害者は両手で左側の把っ手を握り、地面から直接履帯の上に登ろうとしたらしい。	被害者であるオペレータ	製造者である機械メーカー及びリース会社	事故機には昇降に際して次の様なインストラクションが行なわれていた。 1) 2本の把っ手を使用し、3ヶ所のステップを順に踏んで昇降すること。 2) 両手を使い、機械に体面して昇降すること。 3) 機械が稼働中には、昇降してはならない。 製造者であるメーカーは、製品に付随する取り除きようのない危険については、警告・表示を行なっておく必要がある。

事 故 内 容	原 告	被 告	評 決 内 容
⑥ 油圧ショベルのバケット上方にある油圧ホース点検時、被害者がバケットの下に頭を差し入れ、屈み込んだところアームが下がって来て、被害者に当たり重傷を負った。	修理中の作業員	メーカー/リース会社及び販売会社	被害者の「危険が明白な行為」や「異常な使用」等の場合には、製造者の責任が否定されることが多い。 しかしながら、製造者は考えられる限り多くの対象、場面を想定し、警告・表示を行なっておく必要がある。
⑦ 油圧ショベルの後方に居た作業員が、バックして来たショベルの履帯で足を轢かれた。 事故機を点検したところ、バック時に鳴る筈のエア・ホーンの配管が外れており、つなぎ直すと正常に作動した。	油圧ショベル後方に居た作業員	製造者である機械メーカー	事故機はメーカーの手を離れる際にエア・ホーンが装備されていた保存文書の証拠書類が残されていた。 流通途中で何者かによってエア配管が取り外されたものと考えられ、事故機には欠陥は無かった。

11.2 本システムのPL法上の配慮

我が国に於いては1975年（昭和50年）初めて法律学者等による「過失責任」を骨子としたPL法の要綱試案が発表されたことで俄かにPL法論議が始まった。

内閣総理大臣の諮問機関である国民生活審議会でも1976年（昭和51年）及び1981年（昭和56年）に検討報告を取り纏め、「高度の消費社会に於いては、消費者被害は避けられないものであり、十分なる救済手段が整備されるべきである。」との趣旨の提言がなされている。

また、「現行民法の関連規定は、製造物による被害の多発を念頭に置いて設けられたものではない為に被害の救済に長時間を要し、消費者に過大の負担を掛けること、PLに

対する立法的な解決への努力が必要である。」との指摘がなされている。

しかしながら1988年（昭和63年）に経済企画庁によって公表された「製品の安全性等に係わる規制のあり方に関する総合調査」では、“企業に於いては製品の安全性確保に積極的な対応はしているが、PL責任の立法化については、殆どの企業が反対または必要性を認めていない”という報告がなされている。

ところでここ数年、PL法論議のタタキ台となる試案が続々と登場、国民生活審議会に於いてもPL制度導入の最終論議が行なわれた結果、1994年（平成6年）の通常国会に於いてPL法案が可決・成立したものである。

11.2.1 PL法と現行制度の違い

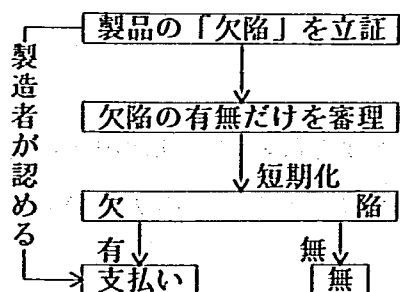
PL法は、ある製品が原因で消費者に怪我などの被害が出た場合に、メーカー責任を問う法律であるが、現行制度との大きな違いは、「メーカーは製品の製造過程に於いて過失が無くても賠償責任を負う。」という点にある。

現行制度では、消費者が損害賠償を求めるにはメーカーの製造過程に過失があったことを証明しなければならないが、消費者が企業の過失を証明することは、ほぼ不可能に等しい。

これに対し、PL法で登場したのが、「無過失責任」と言われるもので製品に関係する者の「過失」に代えて製品の「欠陥」を責任発生の要件とする考え方であり、製品の欠陥を証明すれば消費者の救済が得られるというものである。

PL法

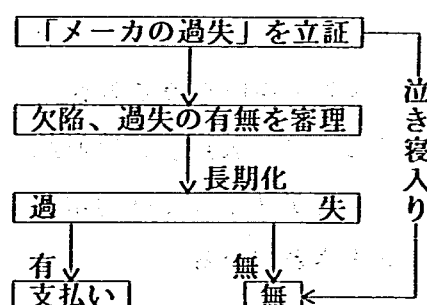
- ・消費者は、「商品の欠陥」を立証する必要がある。メーカーが欠陥を認めれば別である。
- ・裁判所は、消費者の訴えに基づいて「欠陥の有無」だけを審理することになる。
- ・裁判は、現行制度に比べて短縮化が図られるが、メーカーとしての欠陥が認められれば損害賠償の支払い義務が発生する。



消費者
裁判
損害賠償

現行制度

- ・消費者は、「メーカーの過失」を立証する必要がある。もし立証できなければ泣き寝入りと同じである。
- ・裁判所は、消費者側の訴えに基づいて欠陥、過失の有無を審理する。
- ・裁判の長期化が予想されるが、メーカーとしての過失が認められれば損害賠償に至る。



11.2.2 PL法の特徴

1) PL法は、全6箇条の短いものである。

- (1) 製造物責任法全文は、別紙のとおりである。
- (2) 全体を貫いている条文は抽象的かつ包括的である。
- (3) 裁判上の判例で自ずから解釈が確定していくものと思われる。

2) 施行日は平成7年7月1日とし、同日以降に引き渡す製品から適用を受けることになるが、現在開発中の製品についても対象となる。

3) 「欠陥の定義」は、「製品（製造物）は、次に示す要件を考慮した上で当然期待される安全性を提供しない場合には欠陥が有ったと判断する。」としているが、その要件とは取り纏めれば次のとおりである。

(1) 製造物の特性

- 例) ① 医薬品や化粧品では、副作用や皮膚のトラブルは避けられない。
- ② 食品は、時間の経過による老化を避けることができない。

(2) 通常、予見される形態

- 例) ① ナイフでロープを切断しようとして誤って手を切ってしまった。
- ② 資格を有しない者が、建設機械を運転して事故を起こした。

(3) 製品（製造物）を引き渡した時期

- 例) ① 現時点に於いては乗用車には、エアバック装備が義務づけられていない。
- ② 乗用車は、販売してから既に11年経過している。

11.2.3 PL法施行に向けての対応

1) 製品の欠陥による消費者の被害について損害賠償を求める責任要件として、相手方である企業の「過失」を問うのではなく、「無過失責任」を原則とすることがPL法の骨格をなすものであり各国共通のものである。

要するに過失責任を問うことが難しいが故にPL法が制定されたのであり、製品に欠陥が有ったのか否かが相手方の責任を問う要件となる。

「欠陥」というのは、製品が壊れたとか故障したとかという事ではなく、使用によって災害を被った、事故になったという被害を発生させた原因として存在した「欠陥」をいうのである。

そこで“「欠陥」とは何か”ということが極めて重要となるが、PL法導入の先進国であるアメリカでは通常、設計上の欠陥／製造上の欠陥／警告上の欠陥の3ツが問題とされている。

(1) 設計上の欠陥

設計のミスが有るとそれに基づいて製造された製品は、全て欠陥を持つことになる。

- ① 安全設計の不充分
- ② 安全装置の不備、重要保安部品の耐久性不足
- ③ 最新技術水準との不合致

(2) 製造上の欠陥

製造過程で発生した欠陥で設計や仕様に合わない製品が一部に有ったという類である。

- ① 製造の品質管理不良による安全装置のトラブル
- ② 検査不十分による材質欠陥・組み立て不良部分の見過ごし
- ③ 原材料受け入れ検査の不充分

以上の(1)、(2)は製品自体に関する欠陥である。

(3) 警告上の欠陥

製品本体の設計・製造には欠陥は無いが、製品の取扱説明書や製品に貼付けされる注意ラベル等の表示が適切さを欠いている。

- ① 警告ラベル
 - a) 読み難い場所に貼付けてある
 - b) 文章が難解で危険回避に繋らない
 - c) 警告事項が不備または不充分である
- ② 宣伝、広告、販売員の説明
 - a) 製品の性能が誇張され、誤使用を生む様な表現がある
 - b) 明示事項に保証違反がある
- ③ 取扱説明書
 - a) 誤使用を生むような文章がある
 - b) 警告事項が不備または不充分である
 - c) 明示事項に保証違反がある

以上の(3)は、製品に付随する欠陥である。

2) 免責事由

メーカーが、当該製品の開発時期に予測できなかった危険も考えられるが、そういった場合の「欠陥」による被害についての免責、これを「開発危険の抗弁」と称しメーカーに対する賠償の責めに任じないとされているが、開発当初に科学・技術水準でそうした危険が予測できなかったことをメーカー側にて明らかにする必要がある。

11.2.4 PL法に関わる官民共同研究の課題

建設省、建設機械化協会および企業7社は、共同研究に於いて既存の安全対策技術に関する要素技術の抽出及び整理を行ない、人と建設機械の接触事故を未然に防止するための接触防止手法の開発を行なうことを目的として期間中、現場作業の実態調査、センサ技術の開発、システムの構築、試設計・製作、土木研究所での性能試験さらに実現場（3ヶ所）での適用性試験など一連の作業を実施して来た。

1) PL問題についての共同研究会の確認事項

- (1) 設計上の問題とマニュアル的なものに絞る。
- (2) 研究成果の普及を考慮すると、「安全対策型」という名称では、建設機械に人が接近した場合、確実に機械が停止する期待を与えるので外国の例をとればPL問題に引っかかる。
- (3) 今回開発の装置に対し、PL責任問題をどの様に考慮すべきか、今後検討を進める。

2) 将来、実用化を図る上での考慮すべき案件としては次の3ツがある。

- (1) 接触防止装置の名称
- (2) 免責事由を考慮した上での危険を取り除く設計と製造
- (3) (2)で解決できない危険についての警告・表示等

11.2.5 共同研究会としてのPL法に関わる諸提言

1) 接触防止装置の名称として考えられるもの

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| (1) 接近検知付油圧ショベル | (7) 接近検知機能付OR周囲検知機能付油圧ショベル |
| (2) 近接検知付油圧ショベル | |
| (3) 接触検知付油圧ショベル | (8) 人物検知油圧ショベル |
| (4) 作業者検知付油圧ショベル | (9) 人物認知油圧ショベル |
| (5) 周辺監視機能付or周辺監視型油圧ショベル | (10) 人接近検知型油圧ショベル |
| (6) 周囲監視機能付or周囲監視型油圧ショベル | (11) 接触警戒型油圧ショベル |

尚、提案された11件の名称の中でPL法及び装置の構造、機能に照らして実用的なものとしては、次の4ツが考えられる。

- (1) 接近検知付油圧ショベル
- (7) 接近検知機能付油圧ショベル
- (10) 人接近検知型油圧ショベル
- (11) 接触警戒型油圧ショベル

2) PL法第四条（免責事由）について

現時点に於ける科学又は技術に関する知見としては 7.6 超音波センサシステムの現場適用における留意点が参考となる。

- ① 雨や雪の影響について
- ② 風の影響について
- ③ 温度の影響について
- ④ 外来雑音の影響について

3) 本システム全体について

作業員の安全を守ることと機械の停止範囲を極力少なくして作業効率を上げることという命題の間には相反するものがある。

“作業員が油圧ショベルと接触することを未然に防止する。”という技術を開発して安全作業に資するという見地から考えられたシステムであるが設計上および製造上の欠陥は無いが警告上の欠陥を補完するものとして取り扱い上の注意事項として少なくとも以下の項目を明示する必要がある。

(1) オペレータ使用上の注意事項

- ① 別途に定める始業点検、確認作業は必ず実施して下さい。
- ② ヘルメットセンサに装着されている超音波発信機を検出するものであり、人間自体を検出するものではありません。

したがってヘルメットセンサを装着していない時や、超音波発信機の電源スイッチを入れなかったり故障している時は、作動しません。

- ③ 自動停止する時は、ある程度のショックが有り、また急傾斜地の様に不安定な場所では車体の安定性を損なう可能性が有ります。
- ④ 車体に装着のセンサの開口部に泥などが詰まると作動しないので十分に注意して下さい。
- ⑤ ヘルメットセンサには過大の振動や衝撃を与えないで下さい。故障の原因となります。
- ⑥ 降雨、強風などの時は、作動しない場合が多いので使用しないで下さい。
- ⑦ ノイズによる誤作動や故障などによりオーバーラン等が発生することがあります。安全確認はオペレータの責任に於いて確実に履行して下さい。
- ⑧ センサの取り外しや分解修理等が必要な時は、必ず御連絡下さい。
- ⑨ センサをぶついたり外傷を発見した時など異常がある時は必ず点検、修理を依頼下さい。
- ⑩ 超音波を使って検出しているので何らかの障害によって停止することがあります。もし、停止した時は、周囲の安全を十分に確認して下さい。

- ⑪ アーム部分の左右に超音波装置が装着されていますので障害物に当たらないように作業して下さい。
- ⑫ 自動停止しても、荷こぼれなどが起きないように常に安定した状態で作業をして下さい。
- ⑬ 補助装置として御使用いただき、本装置に頼って安全確認を怠るような操作は絶対にしないで下さい。

(2) 作業員への注意事項

- ① 別途に定める始業点検、確認作業は必ず実施して下さい。
- ② ヘルメットセンサの音量調整は、必要最小限に行なって下さい。
- ③ ヘルメットセンサは乱暴に扱うと故障の原因となるので丁寧に取り扱いして下さい。
- ④ ヘルメットセンサは、電池により作動しており、電池が無くなれば作動しません。

(3) 警告ラベルについて

予想される危険の度合いによって、図-11・2・5・1のごとく3種類に分かれた警告ラベルを必要に応じて使い分けることが望ましい。

種 類	警 告 内 容
危 険	死亡もしくは重傷となる切迫した危険な状況を示す。
警 告	死亡もしくは重傷となる可能性の高い危険な状況を示す。
注 意	軽傷もしくは中程度の障害、または機械の重大な損傷となる危険な状況を示す。

図-11・2・5・1 3種類の警告ラベル

取扱説明書の説明と注意事項をよく読み、本システムを理解するまではこの機械を運転したり、作業しないで下さい。説明に従わない場合や警告を無視した場合は、重大なけがや死亡事故のおそれがあります。正しい取扱いは、お客様の責任です。

例① オペレータ用ラベル

油圧ショベルの検知領域に立ち入る場合は、必ずヘルメットセンサ取扱説明書の説明と注意事項をよく読み、ヘルメットセンサの作動を確認してください。

例② 作業員用ラベル

製造物責任法全文

第一条（目的）

この法律は、製造物の欠陥により人の生命、身体又は財産に係る被害が生じた場合における製造業者等の損害賠償の責任について定めることにより、被害者の保護を図り、もって国民生活の安定向上と国民経済の健全な発展に寄与することを目的とする。

第二条（定義）

この法律において「製造物」とは、製造又は加工された動産をいう。

2. この法律において「欠陥」とは、当該製造物の特性、その通常予見される使用形態、その製造業者等が当該製造物を引き渡した時期その他の当該製造物に係る事情を考慮して、当該製造物が通常有すべき安全性を欠いていることをいう。

3. この法律において「製造業者等」とは、次のいずれかに該当する者をいう。

- 一 当該製造物を業として製造、加工又は輸入した者（以下単に「製造業者」という。）
- 二 自ら当該製造物の製造業者として当該製造物にその氏名、商号、商標その他の表示（以下「氏名等の表示」という。）をした者又は当該製造物にその製造業者と誤認させるような氏名等の表示をした者
- 三 前号に掲げる者のほか、当該製造物の製造、加工、輸入又は販売に係る形態その他の事情から見て、当該製造物にその実質的な製造業者と認めることができる氏名等の表示をした者

第三条（製造物責任）

製造業者等は、その製造、加工、輸入又は前条第三項第二号若しくは第三号の氏名等の表示をした製造物であって、その引き渡したものの欠陥により他人の生命、身体又は財産を侵害したときはこれによって生じた損害を賠償する責めに任ずる。ただし、その損害が当該製造物についてのみ生じたときは、この限りでない。

第四条（免責事由）

前条の場合において、製造業者等は、次の各号に掲げる事項を証明したときは、同条に規定する賠償の責めに任じない。

- 一 当該製造物をその製造業者等が引き渡した時における科学又は技術に関する知見によっては、当該製造物にその欠陥があることを認識することができなかったこと。
- 二 当該製造物が他の製造物の部品又は原材料として使用された場合において、その欠陥が専ら当該他の製造物の製造業者が行った設計に関する指示に従ったことにより生じ、かつ、その欠陥が生じたことにつき過失がないこと。

第五条（期間の制限）

第三条に規定する損害賠償の請求権は、被害者又はその法定代理人が損害及び賠償義務者を知った時から三年間行わないときは、時効によって消滅する。その製造業者等が当該製造物を引き渡した時から十年を経過したときも、同様とする。

2. 前項後段の期間は、身体に蓄積した場合に人の健康を害することとなる物質による損害又は一定の潜伏期間が経過した後に症状が現れる損害については、その損害が生じた時から起算する。

第六条（民法の適用）

製造物の欠陥による製造業者等の損害賠償の責任については、この法律の規定によるほか、民法（明治二十九年法律第八十九号）の規定による。

付則

（施行期日等）

- 1 この法律は、公布の日から起算して一年を経過した日から施行し、この法律の施行後にその製造業者等が引き渡した製造物について適用する。

（原子力損害の賠償に関する法律の一部改正）（略）

12. 今後の方針

12. 今後の方針

12.1 まとめ

本研究開発では、建設機械と作業員の接触事故を未然に防止、危険回避を促すシステムを開発した。

開発を進めるにあたり、現場での実態の把握、現場での作業形態等について調査を行い、現場で必要と思われる安全対策項目の抽出を行った。その結果、接触事故の原因としてオペレータの死角に焦点を絞り、それをカバーするシステム開発を進めることとした。

具体的なシステム開発については、油圧ショベルを対象建設機械とし、走行、旋回、作業機に動作領域に超音波センサ（トランスポンダ式）を設けたシステムの開発を進めた。

システムは、図に示すような動作領域内に警報、減速、停止区域の設定を行い、システムの基本特性試験および現場への適用性試験を実施した。

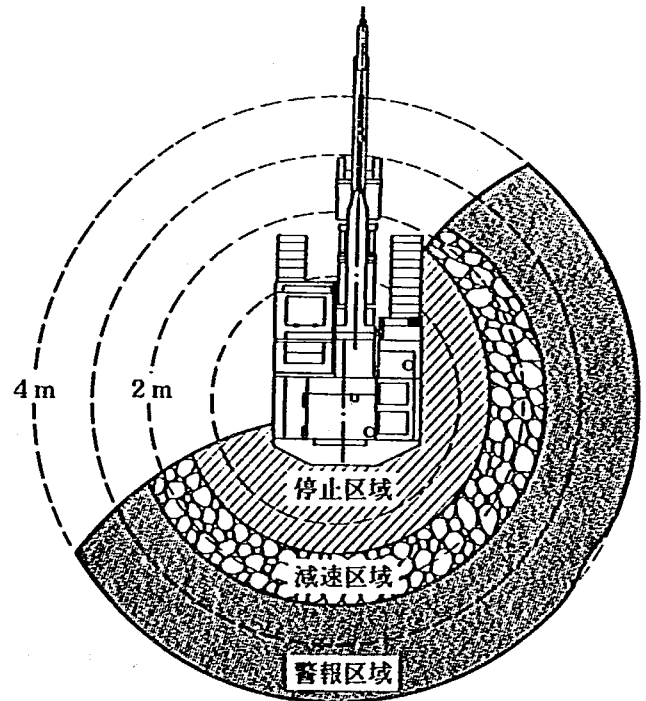


図-12.1 検知範囲

その結果、研究開発した接触防止型油圧ショベルは、基本特性試験によって机上検討により設定したスペック（検知範囲、検知性能等）の確認を行い、設定したものとほぼ同等であることが分かった。

また、基本特性試験によって確認された接触防止型油圧ショベルを現場で試験的に2週間程度使用した結果、作業効率が若干低下すること（特に作業機周辺での作業時）、超音波センサの取扱に慣れが必要、停止時の操作レバーの取扱（停止した際の操作に戸惑ってしまう）等の課題が抽出された。

しかし、今回開発されたシステムは、幾つかの課題が抽出されたが現場適用性試験の結果、作業上多少の支障があったものの、今後更に改良等を加えることによって現場への適用は可能といえる。

経済性については、本研究開発段階では、20tクラス油圧ショベル本体価格の10%以下

になることを目標としてきたが、今後量産することによって、コストは低減されるものと思われる。

12.2 今後の課題

接触防止型油圧ショベルを今後現場へ適用させるにあたり課題となる項目を以下に挙げる。

- (1) 作業装置領域の作業効率低下（安全との両立）
- (2) ヘルメットセンサ（作業員側）の距離認識→位置の認識
- (3) 現場に合わせた装置の設定値調整
- (4) 減速区域の改良（減速されているかどうか分からなかった。）

12.3 改善案

今後現場へ適用させる際の改善を以下に挙げる。

- (1) 作業装置領域の作業効率低下（安全との両立）
 - ・作業装置領域における超音波センサの廃止
 - ・超音波センサの検知範囲の再検討（検知範囲を小さくする）
 - ・警報－減速若しくは警報のみとし、停止機能を廃止する。
- (2) ヘルメットセンサ（作業員側）の距離認識→位置の認識
 - ・ヘルメットセンサの一部改良。
 - ・建設機械側と同じ構造とし、距離の認識を行わせる。
- (3) 現場に合わせた装置の設定値調整
 - ・簡易的に検知範囲を可変出来るように建設機械本体の超音波センサ及びヘルメットセンサの検知範囲（距離調整）が可能な構造する。
- (4) 減速区域の改良（減速されているかどうか分からなかった。）
 - ・減速機構の改造（電気信号による減速コントロール）
 - ・油圧制御の再検討（減速距離及び速度設定の変更）

あとがき

建設工事における事故防止のため、今回接触防止型油圧ショベルを研究開発し、実用レベルに非常に近いところまで開発を進めることができた。今後は、現場での適用性試験結果によって抽出された課題をクリアにし、更に実用レベルに近づけることによって、現場へ適用が可能と考えられる。

また、現場への適用に際して（市販）、今後ネックとなるPL法（製造物責任）については十分検討することが望まれる。

本報告書にも記載されているが、ISO/TR 9953という形で現在検討中である国際規格が今後どのような形で成立されるか否かにより、本研究成果の取扱いも状況に応じた形で対応する必要があると思われる。ただし、安全に対しては、ISOに関わらず前向きな姿勢で取り組んでいく必要がある。

最後に本研究開発において実態調査及び試験施工実施等に御協力していただいた建設省東北地方建設局磐城国道工事事務所、東北技術事務所、関東地方建設局宇都宮国道工事事務所、相武国道工事事務所、常陸工事事務所、関東技術事務所、中部地方建設局浜松工事事務所、中部技術事務所並びに建設機械化研究所、（社）日本建設機械化協会内建設業部会幹事会社36社に対し感謝の意を表します。

建設工事における接触
防止技術の開発に関する
共同研究報告書

共同研究報告書 第140号
平成7年(1995)12月

本研究では、建設業における災害を防止するうえで、建設機械等に関わる安全性
向上技術として、人と建設機械の接触防止について検討を行った。

人と建設機械の接触防止技術は、具体的なシステムを提案検討し、性能試験、
現場への適用性調査により安全性、作業性について確認を行い、接触防止技術の
開発提案を行った。

キーワード：安全性、接触事故、接触事故防止、人と建設機械、油圧ショベル、
接触防止技術、超音波トランスポンダ方式、警報区域、減速区域、
停止区域、旋回領域、走行領域、作業装置領域、ヘルメットセンサ

郵便はがき

50円切手
をはいて
下さい。

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

材料施工部機械研究室

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料 第140号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印