

土木研究所資料

建設機械の安全性向上に関する研究

—油圧ショベルの安全評価—

昭和57年8月

建設省土木研究所

機械施工部機械研究室

Copyright © 57年度 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 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

ま え が き

近年、土木工事や建築工事の機械化が、急速に進められ、大量の建設機械が用いられるようになった。これら建設機械の大型化、高性能化と共に運転操作についても改良が行なわれてきたが種類が多くなり複雑で高度の判断が必要になる等別の問題が生じてきた。しかし、人間本来の諸感覚機能は機械系の急速な進歩とは、必ずしもマッチせず、単純な操作ミスから誘起される事故でも、重大な内容となることが少なくない。

一方、最近では、工事量の増加に伴ない、運転員不足が深刻化しており、未熟練者の就労、高令化を余儀なくされており、これらの対応策の一つとして、未熟練運転員でも安全に操作できる、居住性や操作性のよい建設機械が望まれている。

しかしながら、複雑な操作を要求される建設機械、特に油圧ショベルは、操作レバー数が多くメーカ数が多いにもかかわらず、自動車のようにレバー配置、本数などが統一されておらず、また、人間工学的な研究例は見当たらない。

本研究では、建設機械にかかわる事故を分析し、原因と対策を検討し、安全性の面から建設機械（油圧ショベル）の評価手法、改善案を見い出し、安全基準、運転環境基準に関する試案をまとめるべく、昭和49年度に、建設機械の安全に関する規格調査、50年度、油圧ショベルの最適レバー配置に関する試験、51年度、同機最適レバー操作力に関する試験、52～54年度、油圧ショベル操作の運転員への生体負担、運転室環境の実態調査、55、56年度に、運転室振動、騒音評価に関する基礎試験を実施した。

この調査研究結果が、建設現場の事故防止の一助となれば幸いである。

昭和57年 8 月

機械研究室

室 長 沢 田 茂 良

(現 中部技術事務所長)

研究員 山 田 一 彦

(現 玉川ダム工事事務所機械課係長)

研究員 多 田 和 弘

豊 田 実

荒 井 猛

(現 建設大学校機械科)

目 次

ま え が き

1. 研究目的	1
2. 研究の経緯と方法	2
3. 建設機械の安全評価項目, 研究項目	3
3.1 操作性	4
3.2 居住性	4
3.3 機械的機能	7
3.4 乗員保護	8
3.5 作業方法	8
3.6 研究項目	8
4. 油圧ショベルの最適レバー操作方式	10
4.1 模擬運転装置による実験	10
4.2 実機による実験	16
4.3 まとめ	19
5. 油圧ショベルの最適レバー操作力	21
5.1 実験概要	21
5.2 実験結果と考察	21
5.3 まとめ	25
6. 運転室における振動・騒音評価に関する基礎試験	26
6.1 正弦波振動による試験	26
6.2 実機振動・実機騒音による試験	36
7. 運転員の行動分析と油圧ショベルの振動・騒音の実態調査	44
7.1 運転員の行動分析	44
7.2 油圧ショベルの振動・騒音の実態調査	51
8. まとめ	57

あ と が き

参 考 文 献

参 考 資 料

1. 研 究 目 的

建設業において発生する災害の中で、建設機械に起因するものの占める割合は、大きなものとなっている。

本研究は、安全性、操作性の面から見た建設機械の評価方法、並びに改善案を見い出すことにより、建設機械使用者が、建設機械を選定する際の安全性の面からの比較検討の一助となることを目的とするものである。

2. 研究の経緯と方法

研究経緯と研究方法は次に示す通りである。

(1) 49年度…建設機械の安全に関する規格調査

建設機械を安全面から評価するに際しての関連規格、規準を調査した。

(2) 50年度…油圧ショベルの最適レバー配置に関する試験

現状の油圧ショベルの操作方式（4方式）について、模擬運転装置による運転シミュレーションを実施し、運転員への生体負担等から最適操作方式を見い出すこととした。

(3) 51年度…油圧ショベルの最適レバー操作力に関する試験

51年度と同様の方法により、油圧ショベル操作レバーの最適操作力範囲を見い出した。

(4) 52～54年度…油圧ショベル運転操作に関する実態調査

油圧ショベルの運転操作が運転員に及ぼす生体負担の調査、運転員の行動分析、運転環境の調査等を実施した。

(5) 55, 56年度…振動及び騒音の評価に関する試験

油圧ショベル運転席の振動評価基準として、現在ISO（国際標準化機構）で制定されている振動暴露基準の適用可否に関する基礎実験並びに考察を行なった。

3. 建設機械の安全評価項目、研究項目

本研究の対象機種としては、建設業における労働災害事故件数、国内販売台数、土木工事での使用頻度等から判断して、油圧ショベルを取り上げることとした。(表3-1, 2参照)

表一 3.1 主要建設機械保有台数

単位：台

機 械 名 \ 年 度	51 年	52 年	53 年	54 年	計
履 帯 式 ブ ル ド ー ザ (ハンドガイドを除く)	64,830	71,613	67,367	71,428	275,238
油圧式ショベル系掘削機 (ハンドガイドを除く)	87,132	115,427	113,970	140,500	457,029
履帯式トラクタショベル	117,344	117,567	111,156	110,511	456,578
車輪式トラクタショベル	38,817	58,643	56,488	62,035	215,983
油圧式トラッククレーン	12,296	19,828	24,876	38,392	95,392
機械式トラッククレーン	2,602	2,240	2,683	2,789	10,314
計	323,021	385,318	376,540	425,655	1,510,534

※建設機械動向調査報告(通商産業省・建設省)より

表一 3.2 建設機械の種類別・事故の死亡者数

単位：人

年 度		50 年	51 年	52 年	53 年	計
主 な 原 因 と な っ た 建 設 機 械	ダンプトラック	51	45	61	47	204
	ブルドーザ	60	42	37	48	187
	ショベル	88	70	90	94	342
	クレーン	68	89	76	73	306
	グレーダ・ローラ等	28	22	20	18	88
	その他	54	70	74	61	259
計		349	338	358	341	1386

※建設労働・資材月報より

油圧ショベルの安全評価項目分類として、操作性、居住性、機械的機能、乗員保護、作業方法を挙げ、各分類毎に、安全性評価の指標となる安全項目、具体的評価項目を抽出し、さらに、各評価項目について関連する国内法規、JIS規格（日本工業規格）、ISO規格（国際標準化機構）を調査し、評価基準を体系化した。また、評価項目として抽出されながら、関連規格等が整備されていない項目に関しては、実験的に評価基準を見出すものとした。なお、表3-3に、安全項目、評価項目、関連法規、規格を一覧表として示す。

3.1 操作性

操作性に関しては、操作力と操作方式をとり上げた。

3.1.1 操作力

操作力としては、レバー操作力、並びにペダル操作力がある。JISA8401では、前者に関しては10kgf以下、後者に関しては20kgf以下であることが規定されている。

3.1.2 操作方式

レバー、ペダル類の配置場所に関しては、ISO6682においてComfort Zone並びにReach Zoneの2段階方式の規定がある。レバーストローク、ペダルストロークに関してはJISA8401で、前者は300mm以下、後者は200mm以下と規定されているが、レバー、ペダルの最適本数、機能分担に関しては、何ら規定がないのが現状である。

3.2 居住性

居住性に関しては、ワークスペース、騒音、振動、視界をとり上げた。

3.2.1 ワークスペース

本項目に関しては、ISO3411で、作業時最小すき間として、着席時、起立時の運転操作に必要な空間が規定されている。

3.2.2 騒音

運転員の耳元騒音について、測定方法がISO5132に、測定時の機械の状態が、ISO/DIS6394（定置状態における試験条件）及びISO/DIS6396（ワークサイクルの試験条件）に規定されている。また、評価方法としては、ISO1999の規定があり等価騒音レベルと難聴発生リスクの関係が示されている。同規格によると、難聴発生リスクが0となるのは、等価騒音レベルが80dB(A)以下とされている。さらに労働安全衛生規則においては、100dB(A)以上で耳の保護具使用を義務付けている。なお、騒音の単位“dB(A)”は、JISC1502に、指示騒音計に関する規格と共に定義されている。

3.2.3 振動

運転席シート上の振動について、ISO7096で測定方法及び測定機器が規定されている。評価方法としては、24時間暴露限界として83dB(VL)、8時間暴露限界として90dB(VL)等が、ISO2631で提案されている。なお、振動の単位“dB(VL)”は、JISC1510に振動レベル計に関する規格と共に定義されている。

表-3.3 油圧ショベルの安全項目, 評価項目, 関連法規, 規格一覧表

分類	安全項目	評価項目	内 容
操作性	操 作 力	レバーの操作力 ペダルの操作力	10kgf 以下であること (JIS A 8401) 20kgf 以下であること (JIS A 8401)
	操 作 方 式	レバーペダル類の配置 機能分担, 本数 レバーストローク ペダルstroーク	Comfort Zone, Reach Zone の規定 (ISO 6682) 規定なし 300 mm 以下であること (JIS A 8401) 200 mm 以下であること (JIS A 8401)
居住性	ワークスペース	運転操作に必要な空間	作業時最小すき間 (着席時, 起立時) の規定 (ISO 3411)
	騒 音	運転員の耳元騒音	測定方法の規定 (ISO 5132) 測定機器, 単位 (dB(A)) の規定 (JIS C 1502) 機械の状態の規定——定置状態 (ISO/DIS 6394) ワークサイクル (ISO/DIS 6396) 評価方法——難聴発生リスクで評価 例 80dB(A); リスク 0% 90dB(A); リスク 21% 等 (ISO 1999) 保護具使用勧告値 100 dB(A) (労働安全衛生規則)
	振 動	座 席 上 の 振 動	測定方法の規定 (ISO 7096) 測定機器, 単位 (dB(VL)) の規定 (JIS C 1510) 評価方法——24時間の暴露限界83 dB (VL), 8時間の暴露限界90 dB (VL) 等 (ISO 2631)
	視 界	運転席からの視界	測定方法の規定 (JIS A 8401)
機械的機能	安 定 性	左 右 安 定 度 後 方 安 定 度 作 業 時 安 定 度	{ 左右傾斜限界角 } = 30° 以上, ただしホイール式のみ適用。(道路運送車両保安基準) { ブームの向けられている側の転倒支線 (又は全車軸) にかかる荷重 } ÷ { 全装備重量 } = 0.15 以上 (JIS A 8401) { 標準荷重 } ÷ { 転倒荷重 } = 0.8 以下 (JIS A 8401)

分 類	安 全 項 目	評 価 項 目	内 容
	制 動 性 能	走 行 時 制 動 駐 車 ブ レ ー キ	最大勾配での一時停止能力を有すること。(JIS A 8401) 1/5勾配で停止保持可能な機械式ブレーキ、ロックを有すること。ただし、ミニショベルは除く。(通産省告示 225 号)
	整備用開口部	開 口 部 寸 法	手, 腕, 頭, 身体に対する開口部 (ISO 2860)
乗 員 保 護	運転員の乗降, 移動用設備	ス テ ッ プ 握 り, 手 す り, 通 路, 足 場, 出 入 口	幅, 高さ, 踏みしろ, 突起物に対する規定 (ISO 2867) 有効長, 取手部すき間, 高さに対する規定 (ISO 2867) 通路幅, 路面形状に対する規定 (ISO 2867) 出入口幅, 扉高さ, 扉ハンドル高さ, 踏掛手すりに対する規定 (ISO 2867)
	各種ガード類	ヘ ッ ド ガ ー ド アーム等からの乗員 保護 そ の 他 の 防 護 装 置	取付可能であること (JIS A 8401) 運転者席中心から 700mm 以内にアーム等が昇降する場合には, 保護装置が必要である。(労働安全衛生法車両系建設機械構造規格) ファンガード, 小物装置用ガード, アクセスガード, 防熱ガード, ホースシールドなどに対する規定 (ISO 3457)
作 業 方 法	作業に関する教育 運転員の資質 施 工 方 法 緊 急 連 絡 作 業 環 境	検 定 制 度 取 扱 説 明 書 体 力, 適 正 生 活 環 境 施 工 マ ニ ュ ア ル 作 業 時 間 規 制 合 図 の 統 一 化 温 度, 湿 度 じ ん あ い	

注) JIS A 8401 ショベル系掘削機構造性能基準

JIS C 1502 普通騒音計

JIS C 1510 振動レベル計

I S O 2860	Earthmoving Maschinery — Minimum Access Dimensions
I S O 2867	Earthmoving Maschinery — Access System
I S O 3411	Earthmoving Maschinery — Human Physical Dimensions of Operator and Minimum Operator Space Envelope
I S O 3457	Earthmoving Maschinery — Guards and Shield — Definitions and Specifications
I S O 6682	Earthmoving Maschinery — Zones of Comfort and Reach for Controls
I S O 2631	Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration
I S O 7096	Earthmoving Maschinery — Operator seat — Measurement of transmitted vibration
I S O 5132	Acoustics — Noise Emitted by Earthmoving Maschinery — Measurement at Operator's Workplace
I S O 1999	Acoustics — Assessment of Occupational noise exposure for hearing conservation purposes
I S O / D I S 6394	Acoustics — Measurement of Airborne Noise Emitted by Earthmoving Maschinery — Operator's Position — Stationary Test Conditions
I S O / D I S 6396	Acoustics — Measurement of Airborne Noise Emitted by Earthmoving Maschinery — Operator's Position — Simulated Work Cycle Test Conditions

3.2.4 視 界

視界に関しては、運転席視界測定方法が J I S A 8 4 0 1 に規定されているのみである。

3.3 機械的機能

機械的機能としては、安定性、制動性能、整備用開口部を取り上げた。

3.3.1 安定性

安定性に関しては、J I S A 8 4 0 1 で、左右安定度、後方安定度、作業時安定度が規定されている。

左右安定度は、左右傾斜限界角が 30° 以上であることを要し、特にホイール式ショベルに関しては、道路運送車両保安基準でも同様のことが定められている。

後方安定度としては、フロントアタッチメントをその作業範囲内で重心位置が最も後方にある状態にした時の、〔ブームが向けられている側の転倒支線（又は全車軸）にかかる荷重〕 / 〔全装備重量〕 = 0.15 以上であることが定められている。

さらに、作業時安定度としては、〔標準荷重〕／〔転倒荷重〕＝0.8 以下であることが規定されている。

3.3.2 制動性能

走行時制動性能として、JISA8401で登坂可能な最大勾配で一時停止可能であることを規定している。また、1/5勾配で停止保持可能な機械式ブレーキ又はロック（駐車ブレーキ）を有すること、JISA8401で規定されている。さらに駐車ブレーキに関しては、通産省告示225号でも同様の規定がある（ただし、ミニショベルは除く。）。

3.3.3 整備用開口部

ISO2860で、手、腕、頭、身体に対する整備用開口部最小寸法が規定されている。

3.4 乗員保護

乗員保護に関する安全項目としては、運転員の乗降移動用設備、各種ガード類の2項目をとり上げた。

3.4.1 運転員の乗降移動用設備

当設備に該当するものとして、ステップ、握り、手すり、通路、足場、出入口が挙げられる。これらに関しては、ISO2867で詳細に規定されている。ステップに関しては、幅、高さ、踏しろ、突起物について、握り、手すりに関しては、有効長、取手部すき間、高さについて、通路、足場に関しては、通路巾、踏面形状について、出入口に関しては、幅、扉高さ、扉ハンドル高さ、踏掛手すりについて、それぞれ詳述されている。

3.4.2 各種ガード類

ヘッドガードに関しては、JISA8401で、取付可能な構造であることが規定されている。また、労働安全衛生法車両系建設機械構造規格では、運転者席中心からそれぞれ700mm以内にアーム等が昇降する場合に、乗員の保護装置を設置することを義務づけている。さらに、ISO3457には、ファンガード、小物装置用ガード、防熱ガード、ホースシールド等に関する規定がある。

3.5 作業方法

作業方法に係る安全項目としては、作業に関する教育、運転員の資質、施工方法、緊急連絡体制、作業環境などを挙げることができるが、本研究で扱う範囲は、油圧ショベルの機械的構造部に限ることとし、作業方法に関する安全評価方法の検討は、他の研究に委ねることとした。

3.6 研究項目

以上の検討により、更に調査試験の必要な項目として次に挙げるものが見い出された。

① レバー、ペダルの操作力

JISでは、許容最大値のみ規定されているが、非常に範囲の広い規定となっており、おのずと最適値が存在するはずである。

② レバー、ペダルのストローク

①と同様、許容最大値のみの規定となっているが、最適値を見い出す必要がある。

③ レバー、ペダルの本数、機能分担

レバー、ペダルの本数、機能分担に関しては、油圧ショベルメーカー各社各様で特に規定はない。しかし、油圧ショベルの普及性を考慮すると、自動車の運転操作と同様に、統一化の必要がある。

④ 座席上の振動

振動の評価に関しては、ISOで一応の振動暴露基準が提案されているものの、当基準は、正弦波振動による振動等感度曲線に基くものであり、また、振動騒音同時暴露時の複合効果も明確でない。従って、当基準を油圧ショベル運転席の振動評価に適用するには更に検討を要する。

⑤ 視 界

視界に関しては、測定法が規定されているのみであり、最低限確保すべき視界の広さに関して試験、検討する必要がある。

以上の研究項目のうち、②（レバー、ペダルのストローク）、⑤（視界）に関しては、現在、建設省四国技術事務所において調査試験が行なわれているため、本研究における、検討課題としては、①レバー、ペダルの操作力、③レバー、ペダルの本数、機能分担、④座席上の振動、を取り上げることとした。

さらに、油圧ショベルの作業実態（作業方法、運転員の生体負担、作業環境等）が殆んど把握されていない事実が明きらかになったため、作業実態の調査も合わせて実施し、油圧ショベル安全性評価の一助とすることとした。

4. 油圧ショベルの最適レバー操作方式

4.1 模擬運転装置による実験

4.1.1 実験概要

(1) 模擬運転装置

本実験装置は、現状の油圧ショベル系掘削機の運転席を実験室内に模擬したもので、運転台模型、操作指令装置から構成されている。

運転台模型は、現状の機械に類似した寸法とし、シート前方には操作レバー又はフットペダルによりショベル系掘削機としての作業機能を維持出来るように、左及び右走行（前後）、旋回（左右）、ブーム（上下）、アーム（上下）及びバケット（ダンプ、クラウト）の6通りの機能、12通りの操作を有する操作方式を組込む構造とした。レバー、ペダルの操作力は、それぞれ独立したスプリングの張力の調整により任意の操作力が得られ、ストロークもストッパの位置を移動することにより調整可能とした。また、座席の位置もオペレータの体格に合わせ前後、上下に移動可能とした。

操作指令は、運転席の前方に設けたパネルに12個のパイロットランプを取り付け、点灯したランプの指示にしたがい運転員が該当するレバー又はペダルを作動させると、レバーとストッパとの接点に設けたリミットスイッチとI・C回路の組合せにより順次ランプは点滅し、運転員に操作レバーを指示するものとした。この時の点灯順序は、実作業（掘削積込）を想定したプログラムによるものとした。また、運転員は指示されたレバー類を完全に作動させなかったり、誤ったレバー操作を行った場合、指示ランプは消灯し、エラーとして記録した。この場合リセットスイッチを押すことにより回路が復活し、最初の指示ランプが点灯するものとした。

(2) 操作方式

前述のような6通りの機能、12通りの操作を有するショベル系掘削機の操作方式は現状の機械においておおむね次の4通りに分類することができる。

① 6レバー操作方式 (I)

全ての操作をレバーのみによって行なうもの。

② 4レバー、2ペダル操作方式 (II)

アームとバケット操作をペダルで行ない他の操作はレバーによって行なうもの。

③ 4レバー操作方式 (III)

2本の走行レバーを中央に、アームと旋回、ブームとバケット操作が複合レバーとなっているもの。

④ 2レバー、2ペダル操作方式 (IV)

中央に2個の走行ペダルを設け、左右にアームと旋回、ブームとバケット操作が複合レバーとなっているもの。

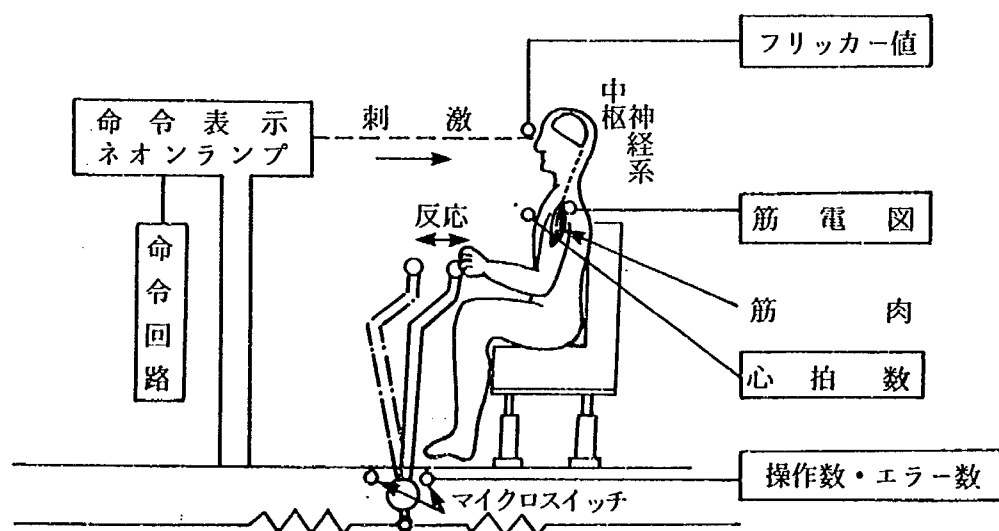
以上の4通りの操作方式を図示すると、図-4.1のとおりである。

記号	I	II	III	IV
配 置				
操作 方式	6 本 レ バ ー	4 本 レ バ ー 2 ベ ダ ル	4 本 レ バ ー	2 本 レ バ ー 2 ベ ダ ル

図一 4.1 油圧ショベルの操作方式

(3) 実験方法

実験は、図一 4.2 に示す計測システムで以下の順序で行なった。



図一 4.2 計測系統図

- ① 運転員を模擬運転装置に搭乗させる。
- ② 実験開始前に運転員の安静時における生体負担（フリッカー値，筋電図，心拍数）を測定する。
- ③ 操作指令盤の指示ランプが点灯したら運転員はただちに指示されたランプに対応するレバー又はペダルを作動させる。
- ④ 実験時間は，1人1ケース連続30分間とする。また運転員は5名で1人4ケースについて行なった。

- ⑤ 実験終了後、②と同様に運転員の生体負担を測定した。
- ⑥ 実験により生じた自覚症状をアンケート調査票により調査した。

(4) 計測項目

① 操作回数

一定時間内に操作したレバー（又はペダル）の回数をパルス発信によりペンレコードに記録した。

② 誤操作回数

操作指令盤により指示されたレバー（又はペダル）と異ったレバー（又はペダル）を操作した場合、又は操作が不確実な場合は誤操作として記録した。

③ 疲労検査

作業前後の運転員の生理的機能の変化をフリッカー値、筋電図、心拍数として計測した。さらに自覚症についてアンケート調査を行なった。

4.1.2 実験結果と考察

(1) 誤操作とレバー操作方式

誤操作は判断の正確さを知る要素と考えられる。

図-4.3 に各操作方式による誤操作率（全操作回数に対する誤操作回数）を示す。操作方式、運転員により誤操作率は異なる。特に4レバー2ペダル(Ⅱ)操作方式については運転員によるばらつきが著し

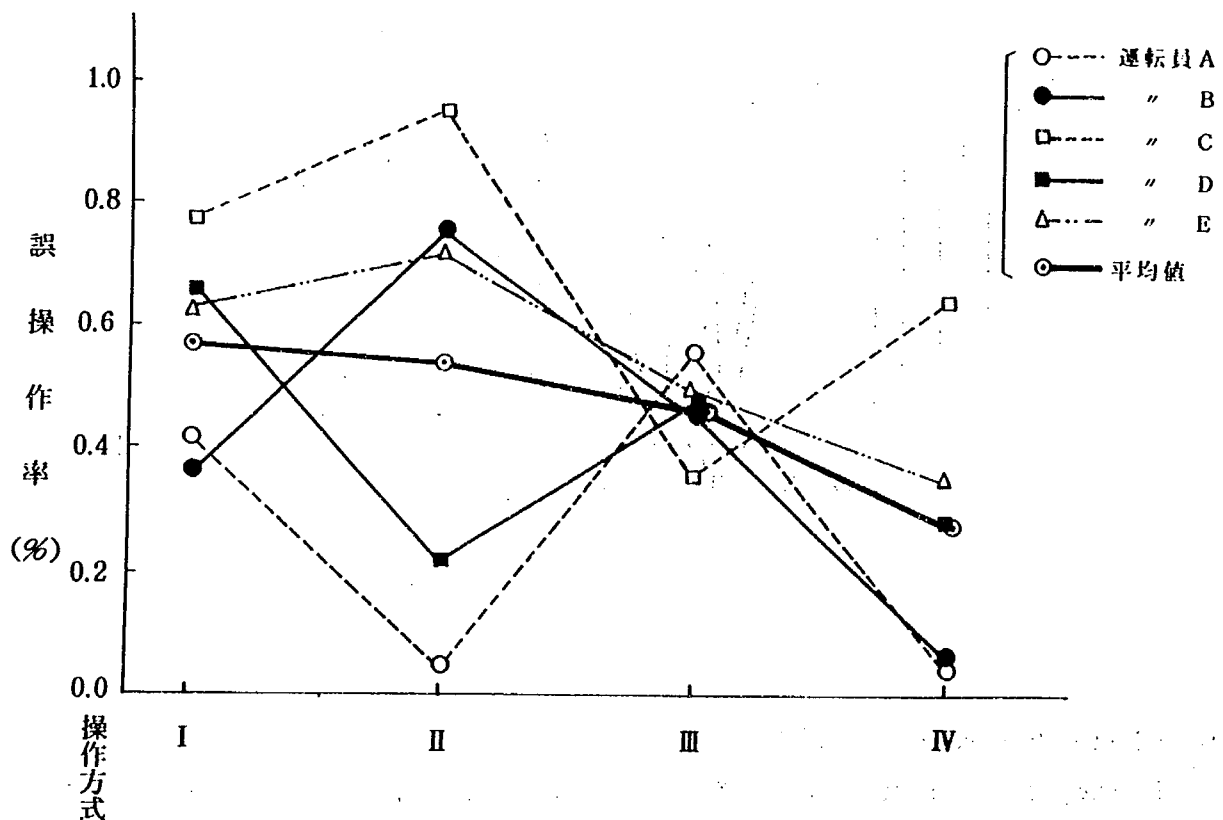


図-4.3 操作方式別誤操作率

い。これは両足でペダルを操作し、両手で4本のレバーを選択する頻雑さが、運転員の性格、運動機能に大きく影響されているものと思われる。また6レバー(I)、4レバー(Ⅲ)操作方式の誤操作率を見ると、

各個人の間の変動はフットペダルを併用した4レバー・2ペダル(Ⅲ), 2レバー・2ペダル(Ⅳ)操作方式よりも小さい。このことは6レバー、4レバー操作方式が、足による操作がなく全ての反射機能を手の操作のみに集中できるため、それだけ、レバーの選択が正確であるためと思われる。

以上のことから、運転員の間のはらつきは認められるが、平均値で見ると限りにおいてレバーの数量が同じ場合はフットペダルを有しないもの、更にレバーについては複合化し、数量を減らすことが望ましいことがわかる。

図4.4は誤操作率と経過時間の関係を表わしたもので、いずれの操作方式も、0～5分の間では操作の不慣れのために生じたと思われるミスが認められる。この傾向は慣れるにしたがい減少するが、15～20分で疲れによるとと思われる誤操作率の増加がみられる。しかし、20分を過ぎると再び減少する。

単純作業の繰返しは、初め興味本意から作業意欲が増加するが、作業が単純な程、いやけや注意散漫などの精神的疲労の進行が早く、これが誤操作として表われたものと思われる。また、20分を過ぎての誤操作率の減少は作業終了時間を知っている運転員が早く作業を終ろうとする気持ちが逆に新たな刺激を与えたものと思われる。この傾向は各操作方式とも同様である。

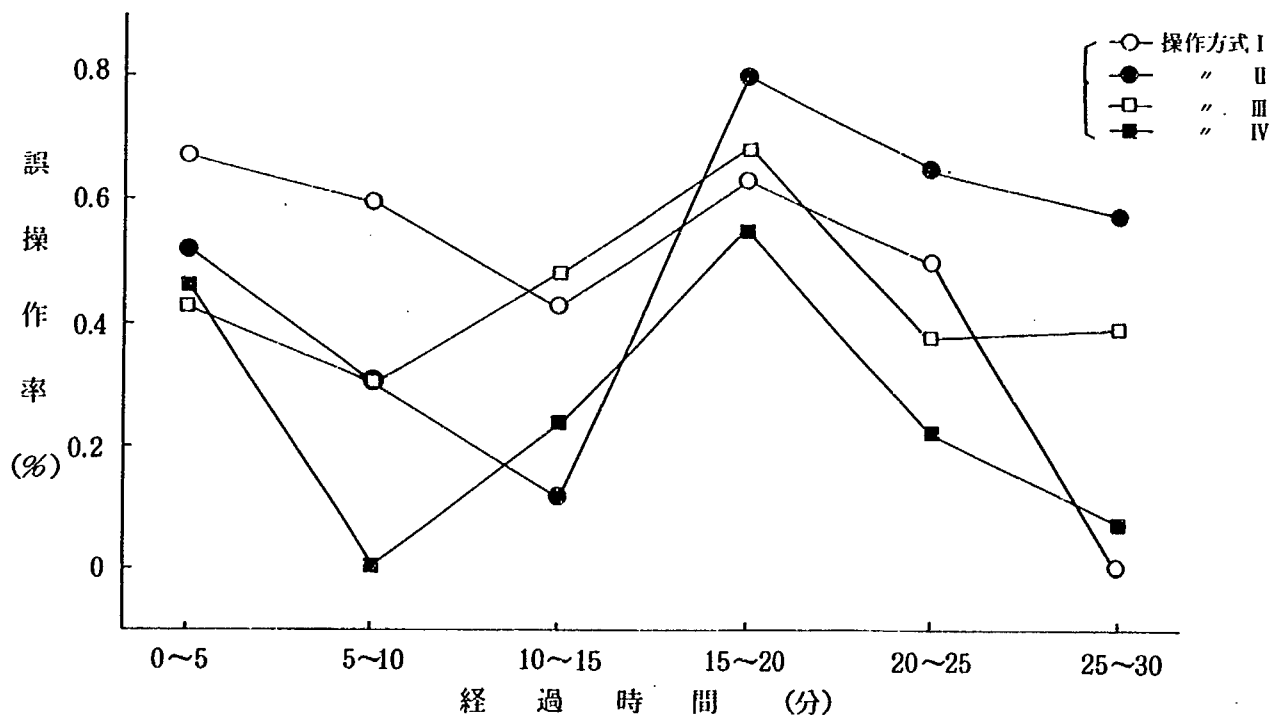


図-4.4 誤操作率の経時変化

(2) 操作頻度とレバー操作方式

操作頻度は操作能率、しやすさを示すものである。

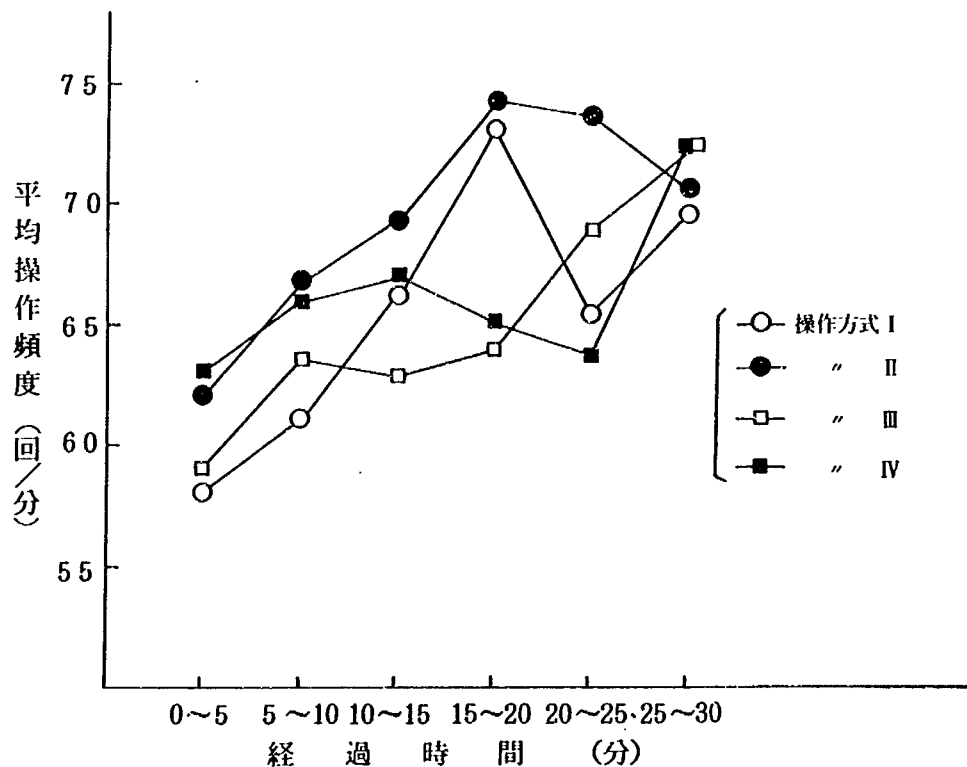
図-4.5は、経過時間と操作頻度の関係を示したものである。

レバーが複合機能を持たない(I)及び(II)の操作方式では、作業開始当初は、動作が遅いが練習効果が大きく慣れやすいことがわかる。しかし20～25分程度で疲労に起因すると思われる操作頻度の減少が見られる。逆に、レバーが複合機能を持つ(Ⅲ)及び(Ⅳ)の操作方式の場合は、学習効果の現われる時間は遅

いが、操作頻度の時間的推移は安定しているといえる。さらに、レバーに複合機能を持ちペダルを有する(Ⅳ)とペダルの無い(Ⅲ)の操作方式を比較すると、Ⅳ方式は、時間と共に操作頻度が減少する傾向を持つことがわかる。建設機械の運転は長時間にわたるものが多いことから、時間的変動の少ないもの、レバー本数の少ないものが望ましいものと思われる。(但し、作業終了直前の25～30分の間の値は検討から除外した。)

(3) 疲労とレバー操作方式

疲労自身の実態は現在研究段階で必ずしも明確なものではなく、現象として疲労感を促しているにすぎない。疲労の種類としては主観的疲労、客観的疲労および生理的疲労が考えられる。主観的疲労は個人の体験した「感じ」であるから他人がこの疲労感の内容や程度を客観的に判断することはできないが、各人の自覚症状などを調査することによって疲労度の量的傾向を捉えることができる。本実験では以下に述べる項目について疲労検査を行ない傾向を比較した。



図一 4.5 操作頻度の経時変化

① フリッカー値 (C. F. F.)

フリッカー値は、光をある速度で点滅させるとちらついて見えるが、点滅の頻度を高めるとある頻度からは、ちらつき感が消えて一様に連続した光として感じられる。この時の光が断続光と見えるか連続光と見えるかの境目の値をその時の断続頻度 (Hz) で示したものである。またこの現象は精神疲労、眼性疲労の増加により低下する。

実験では操作方式別に作業前後に各々 5 回測定し、上限、下限を削除し中央の 3 個のデータの平均を代表値とした。

図-4.6は各レバー操作方式と作業開始前と終了時のフリッカー値の変動率の関係を示したものである。フリッカー値は、6レバー(I)，4レバー(II)操作方式に運転員間のばらつきが大きいのに対し、4レバー2ペダル(III)，2レバー2ペダル(IV)操作方式はばらつきが比較的類似した傾向を示している。6レバー操作方式を除いた平均値を見るとその変動はおおむね3～4%減少している。

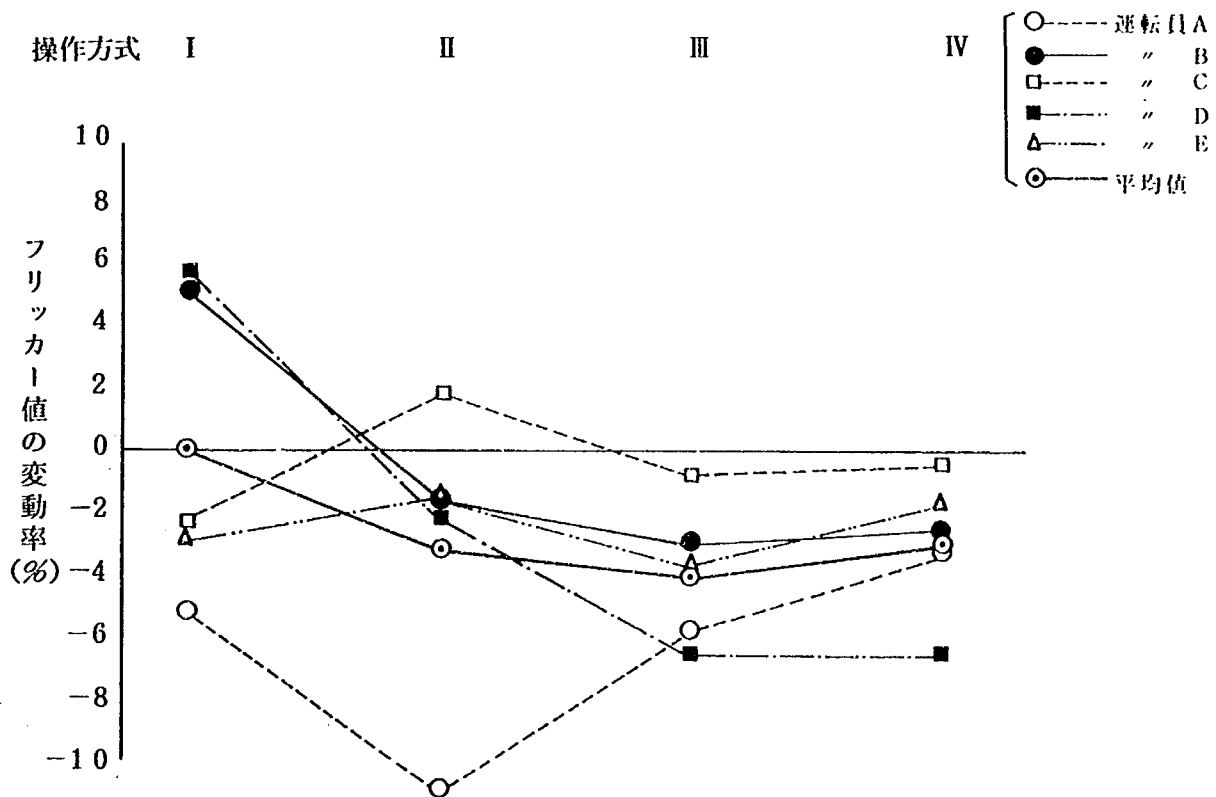


図-4.6 フリッカー値の変動

この結果から各操作方式間で疲労に関する顕著な差は見られないが、運転員間の個人差の大小からレバーとペダルの組合せ方式よりレバーのみの複合機構の方が安定した操作性を持つ傾向がうかがえる。

② 筋電図 (E. M. G.)

筋電図は主として筋肉作業を伴う疲労の検出に用いる方法である。

筋電図は、右上腕二頭筋上に表面電極を貼付し、レバー操作の肉体的疲労を筋電図の徐波化現象（周波数成分の低周波数帯への移行）から疲労を判断するものである。図-4.7に測定結果の一例を示す。この例は徐波化現象の最もよく現われている例である。すなわち、4レバー(II)，及び2レバー2ペダル(IV)操作方式に比べ、6レバー(I)，及び4レバー2ペダル(III)操作方式では徐波化現象が見られ、疲労のあったことを示している。また他の例では、4レバー(II)，2レバー2ペダル(IV)操作方式で徐波化現象のある例はないが、6レバー(I)，4レバー2ペダル(III)操作方式については各人各様である。本実験の場合、操作力が小さく実験時間も短いため各操作方式による疲労の程度をこの結果から断定するには至らないが、4レバー(II)および2レバー2ペダル(IV)操作方式が6レバー(I)および4レバー2ペダル(III)操作方式より肉体的疲労の少ない傾向が認められる。

③ 心拍数

循環機能の低下を見るため心拍数を調べた。この結果、いずれの操作方式においても実験前後の心拍数の増減は最大で10拍/分程度と大きな変化は見られない。10拍/分程度の増減は心理的、神経負担によって変化する範囲であり個人差がある。一般に心拍数の増加は生体負担の増加を意味するが、この程度の増加は運転時の緊張維持には効果があるとされておりこの要素から操作性を判断するには至らなかった。

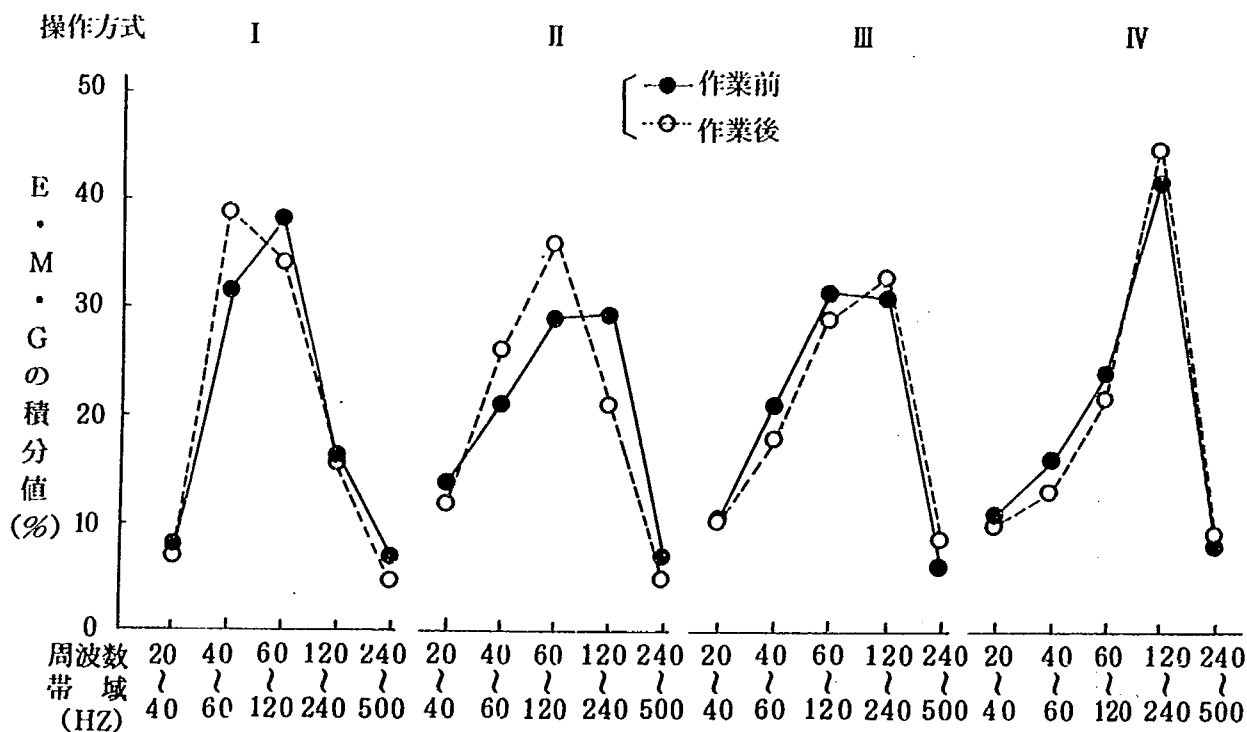


図-4.7 筋電図の周波数分析

④ 自覚症

図-4.8は自覚症状調査用紙による訴えの頻度を症状群別に示したものである。「ねむけ、だるさ」などの神経的なものはどの操作方式にも認められるが、特に6レバー(I)、4レバー2ペダル(II)操作方式には多く見られる。レバー数の多い6レバー(I)、4レバー2ペダル(II)操作方式は、作動方向が前後のみであることから、配置を覚えた後は感覚に頼るところが多く、他のものより判断も単純で、慣れるにしたい「ねむけ」などの状態を示すものと思われる。一方、「肩がこる、腰が痛い」などの肉体的なものは6レバー(I)操作方式に集中し、他の操作方式には少ない。

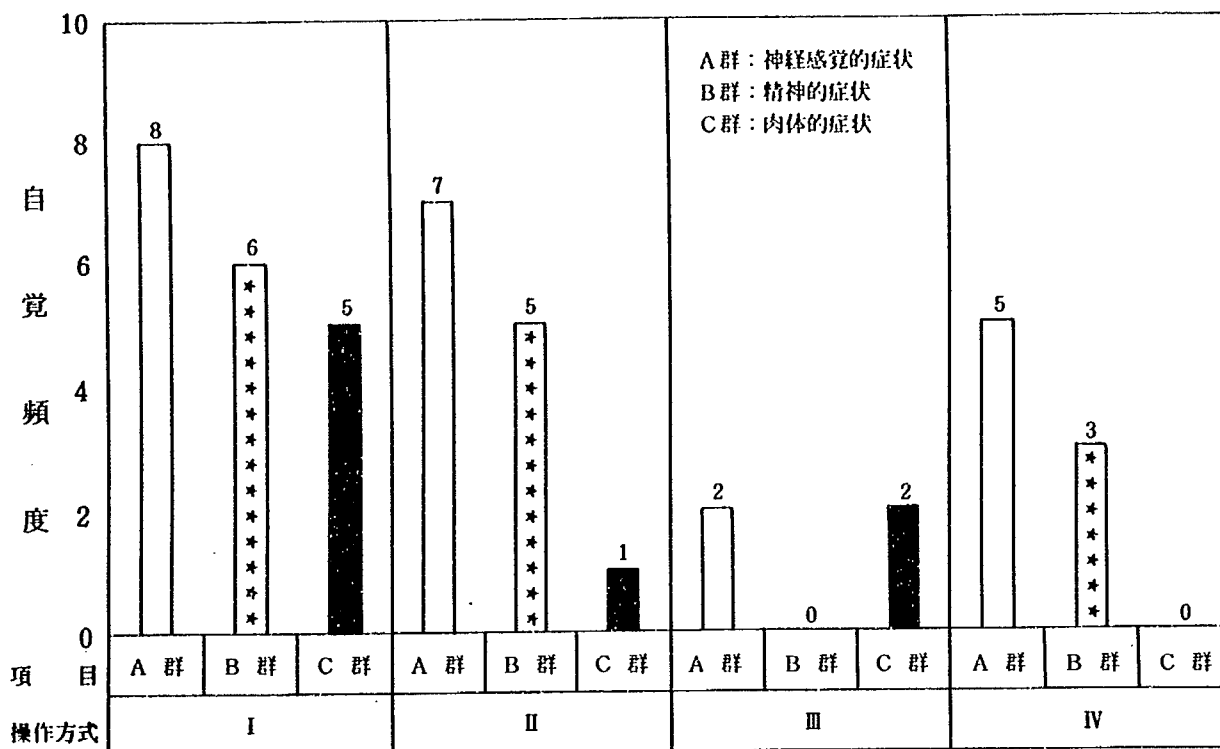
総体的な頻度の大小から評価すると4レバー(III)操作方式が好ましく、次に2レバー2ペダル(IV)、4レバー2ペダル(II)操作方式となり6レバー(I)操作方式は最も「つかれ」を感じることになる。

4.2 実機による実験

4.2.1 実験概要

ショベル系掘削機による作業は現場の状況によってその使い方も様々であるが、本実験では最も一般

的なものとして溝掘り作業を対象とした。機種は、 $0.2 \sim 0.3\text{m}^3$ 級全油圧式とし、6レバー(I)操作方式、4レバー2ペダル(II)操作方式、複合4レバー(III)操作方式の3種類で、5人の運転員による30分の実作業を行なわせた。なお、レバーの操作頻度、疲労の検出などは模擬運転装置による実験に準じて行なった。



図－4.8 自覚症状

4.2.2 実験結果と考察

(1) 複合動作と作業能率

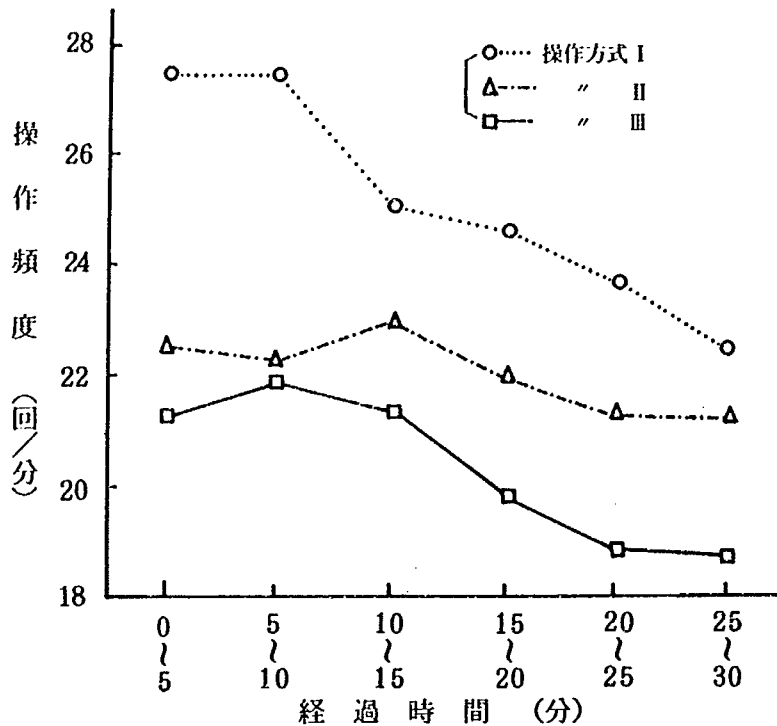
油圧ショベルによる掘削積込作業の1サイクルはブームとアームの操作で始まり、目的の土砂をバケットに満たし所定の位置まで旋回して捨土（積込み）する工程である。1サイクル当りの作業量は1回のバケットに満たされる土砂の量で決まり、アームとバケットの複合動作に起因する。すなわち、掘削工程においてはアームとバケット、アームとブームの同時操作が掘削量を支配し、ブームと旋回の複合動作はサイクルタイムの短縮に寄与する。また、これらの複合動作の頻度は運転員の技量によって異なるが、本実験から見ると複合動作は、全操作回数の約3割に相当する。これより複合動作の多いこれらの機種は、レバー数を少なくし、レバーの握り換えを要しない操作方式がこの点からも有利といえよう。

(2) 操作頻度

図－4.9は各操作方式による操作のしやすさを操作頻度で表わし、時間の経過からその変動を見たものである。

模擬運転装置による実験（図4－5）では、時間の経過による練習効果が見られたが、実作業実験ではいずれの操作方式においても操作頻度は減少し、模擬運転装置による実験では再現できない複雑な要因が交錯されているものと思われる。特に4レバー2ペダル(II)操作方式は減少傾向が著しい。これは

両手両足の操作が当初は複合動作として活発であるが時間とともに減少するものと思われる。一方、複合4本レバー(Ⅲ)操作方式はこの点ではあまり大きな変化とはならず、長時間にわたる作業には望ましいものと考えられる。



図一 4.9 経過時間と操作頻度

(3) 疲労の検出

① フリッカー値 (C. F. F.)

図一 4.10は、3通りの操作方式で同一掘削作業を行なったときの作業前後におけるフリッカー値を変動率で示したものである。いずれも操作方式別による大きな差は見られないが平均値で3～4%の低下があり、この値は模擬運転装置による実験とほぼ一致する。

表一 4.1は類似機械の終日におけるフリッカー値の変動を示したものである。フリッカー値は連続作業によって大きく低下するが、休息することによってかなりの回復が見込まれ精神疲労の回復に大きく役立つといえる。

② 心拍数

今回の実験では、心拍数の増加は最大で5拍/分程度と大きな上昇は認められなかった。

③ 自覚症

模擬運転装置による実験と同様に自覚症について調査した。この結果、神経的症状群は模擬運転装置による実験と同様にどの操作方式にも多く見られたが、精神的症状群と肉体的症状群については各人各様の感じ方があり、定量的に表現することは困難であった。

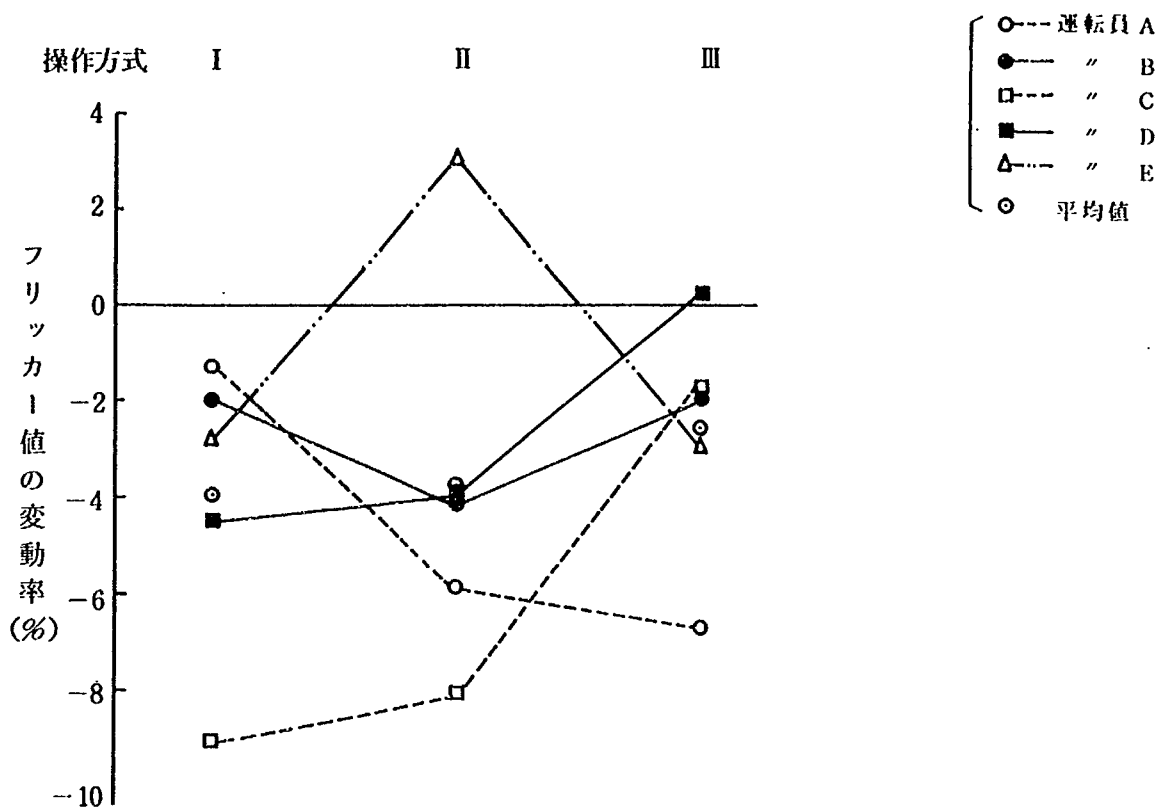


図-4.10 フリッカー値の変動率

表-4.1 終日作業のフリッカー値

機 種	フリッカー値の読み		変 動 %	作 業 内 容
	始 業 前	終 業 時		
油圧ショベル	41.3	39.3	-4.8	掘削, 積込み
ブルドーザ	43.3	42.3	-2.3	押土, 整地
平 均	42.3	40.8	-3.5	

4.3 まとめ

油圧ショベルの操作方式の適否について、操作の正確さを示す誤操作発生頻度、操作のしやすさを示す操作頻度の客観的要因と、操作の結果生じた運転員の疲労検出の両面より実験的に検討した。実験の結果から、レバー操作方式に関して要約すると以下のことがいえる。

- ① 誤操作の発生頻度はレバー数の少ないほど小さいが、ペダル併用方式は個人差が大きく出る傾向にある。
- ② 練習効果は作動方向が単純なほど早く現われる。
- ③ レバーの持ち換えは反応時間を長くする。

④ 操作能率は、複合レバー操作方式が比較的安定しており長時間の運転には適しているものと思われる。

⑤ 疲労については、各操作方式とも顕著な差が認められないが、複合レバー操作方式は精神的疲労の緩和に役立つ傾向が認められる。

以上より、操作方式は一般にレバー数を少なくし、レバーに複合機構を持たせた方が好ましいといえるが、この評価は限られた実験条件と実験回数によるものでありさらにデータの積み上げが必要であるものとする。

5. 油圧ショベルの最適レバー操作力

従来、建設機械のクラッチ、ブレーキなどの操作機構にはリンク、ロッドなどによる機械式伝達方式が多く用いられてきたが、機械の大型化にともない操作力も増加するため、これを軽減するとともに操作の簡易化、保守点検の容易化などを理由に現在ではほとんど油圧式によるものが用いられている。操作力は機種により若干異なるが、バケット容量 0.25 ～ 0.5m³ 級の油圧ショベルでは 1.5 ～ 4.0kgf の範囲で設計されている。これらの設計根拠に関しては明確なものはなく、各メーカーの判断に頼っているのが現状である。

レバーの操作力が極度に大きければ疲労等当然大きくなり、逆に操作力を小さくした場合、無限にこれらが低下する訳でもない。すなわち人間—機械系のバランスを考えるとそこに最適操作力が存在するはずである。本実験では、レバー操作方式を複合 4 レバー操作方式に限定して操作力のある範囲で変化させ、誤操作の発生率、疲労の検出などから最適操作力を検討した。

5.1 実験概要

実験は、最適レバー操作方式を求めた時の模擬運転装置を用い、レバー操作力を 4 段階に変えて行った。

レバーの位置、寸法などは実機と同様とし、作業の命令は掘削、積込みを想定した操作順序にランプを表示した。表示されたランプの命令にしたがい運転員は、各レバーを迅速かつ確実に操作するものとする。この時に、誤操作、操作回数、反応時間、疲労検査（フリッカー値、心拍数、自覚症）の各項目を測定した。

実験条件は次の通りである。まず、レバーの操作力は、1.5、2.5、3.4、4.8kgf の 4 段階について行なった。作業時間は、1 人 1 回 30 分間連続で行い、3 人の運転員により 1 条件 2 回についての実験を実施した。

5.2 実験結果と考察

(1) 誤操作とレバー操作力

図-5.1 は、レバーの操作力を 1.5 ～ 4.8kgf の範囲で変化させた場合の操作力と誤操作率の関係を示したものである。操作力の最も小さい 1.5kgf では、平均誤操作率 0.3 %、個人の間のはらつきは標準偏差で 0.17 と最も大きい。従って操作力のある程度小さくすると、このような方式では機械的な感覚がなくなり細心な操作ができなくなるものと考えられる。

(2) 操作回数とレバー操作力

図-5.2 は、レバー操作力と操作回数との関係を示したものである。

一般に操作力を増すことは肉体的負担を増加させることであり、操作回数は減少するはずである。しかし、前述のように操作力の小さい場合は誤操作が多く発生するため、操作回数は必ずしも操作力と単純な比例関係にはない。なお、誤操作率の最も少なかった操作力 2.5kgf が操作回数で最大となった。

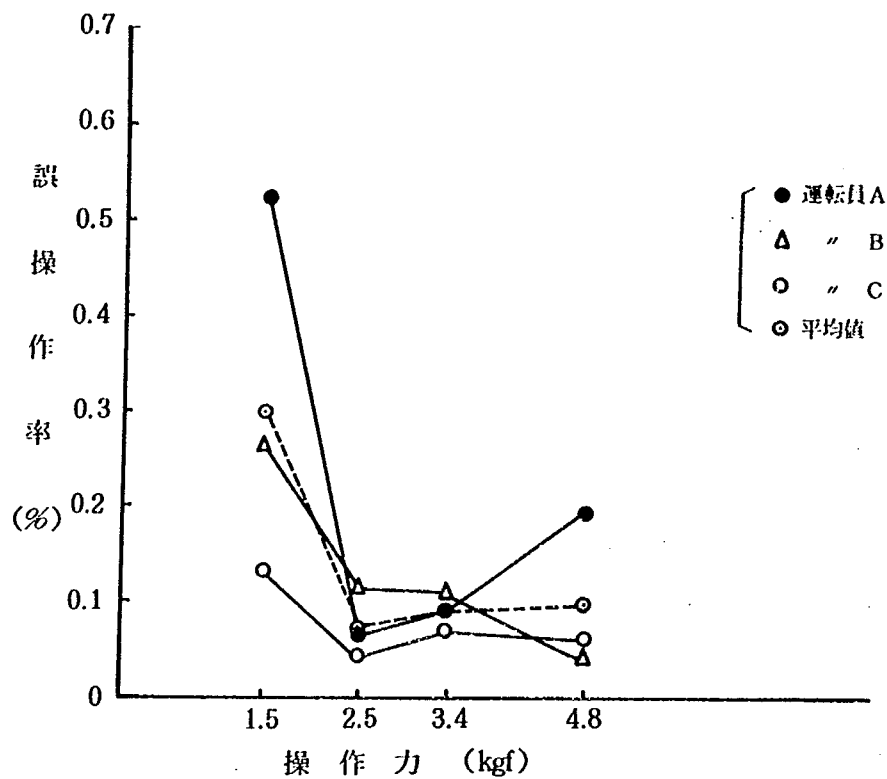


図-5.1 操作力と誤操作率

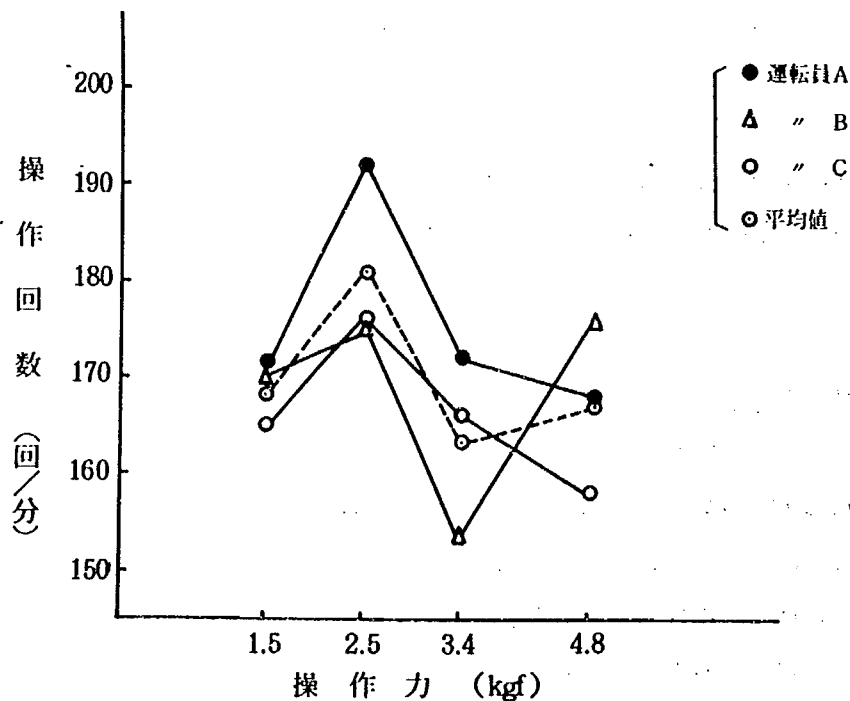


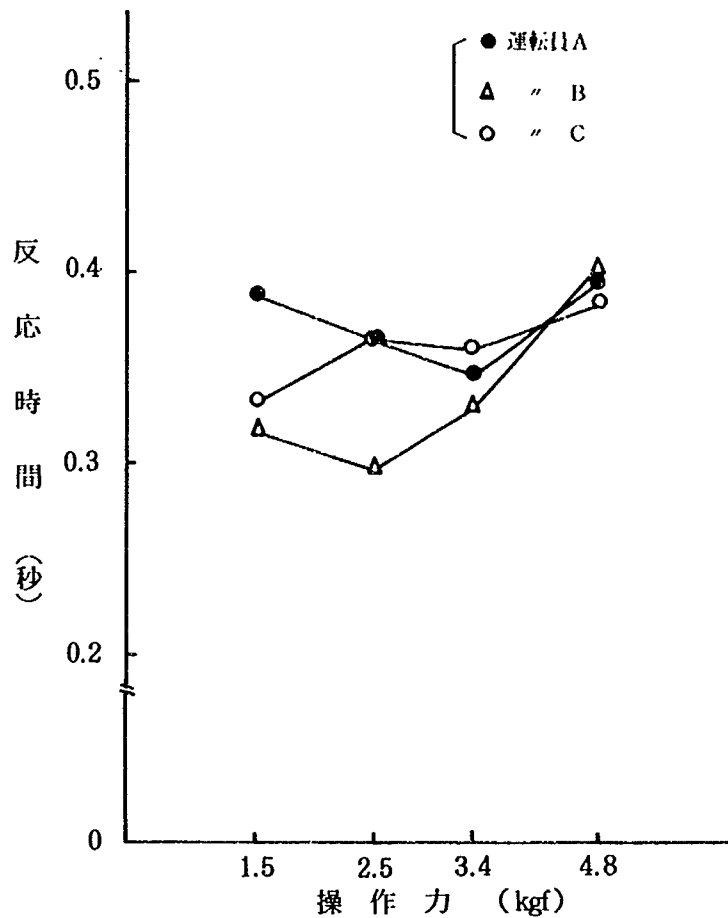
図-5.2 操作力と操作回数

(3) 反応時間とレバー操作力

図-5.3は、レバー操作力と反応時間との関係を示したものである。

図より、レバー操作力 1.5 ～ 3.4kgf の範囲ではほとんど差が認められないが、レバー操作力 4.8kgf で

反応時間に遅れを生じる。これは操作力4.8kgfになると肉体的負担が増すことに起因するものと思われる。



図－5.3 操作力と反応時間

(4) 疲労とレバー操作力

疲労と操作力の関係をフリッカー値、心拍数、自覚症から求めた。

① フリッカー値

フリッカー値の低下は、いずれの操作力においても2～3%で操作力による影響は特に認められなかった。

② 心拍数

図－5.4に、レバー操作力と心拍数の増加率の関係を示す。

図より心拍数は操作力に比例して増加が見られ、生体負担を増加させる傾向にあると判断される。

③ 自覚症

図－5.5は、運転員へのアンケート調査より求めた操作力と訴え頻度の関係を示したものである。

図より、操作力4.8kgfで精神的症状群の訴え頻度が多い。しかし、他の操作力においては特に差は認められない。

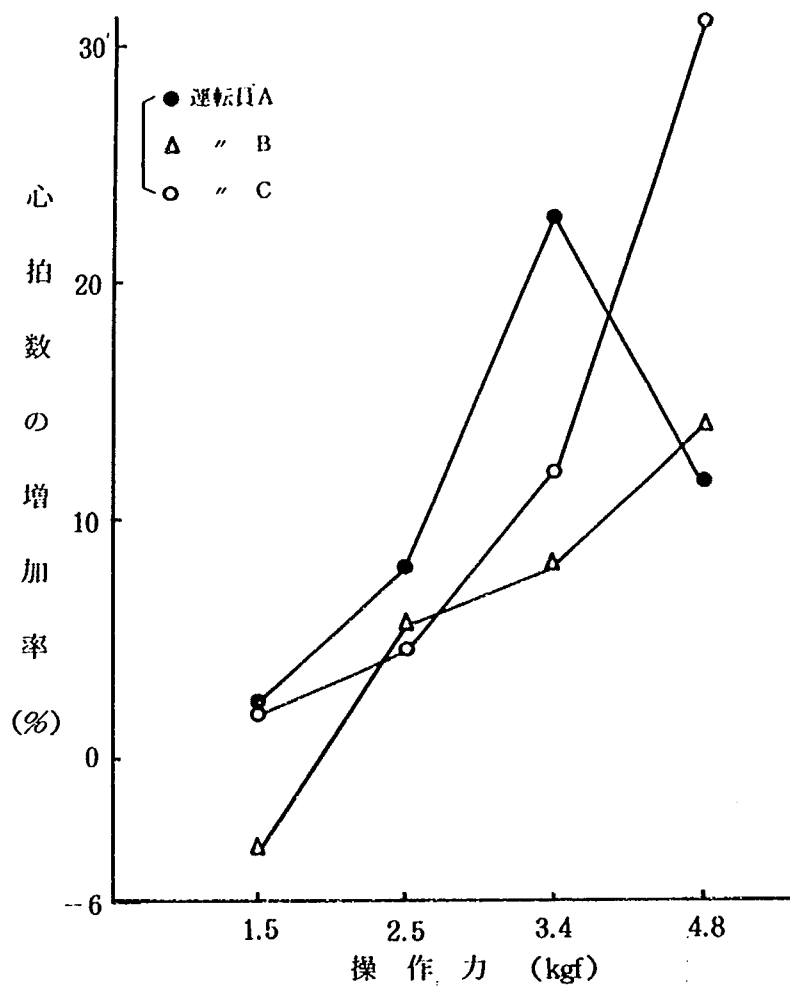


図-5.4 操作力と心拍数の増加率

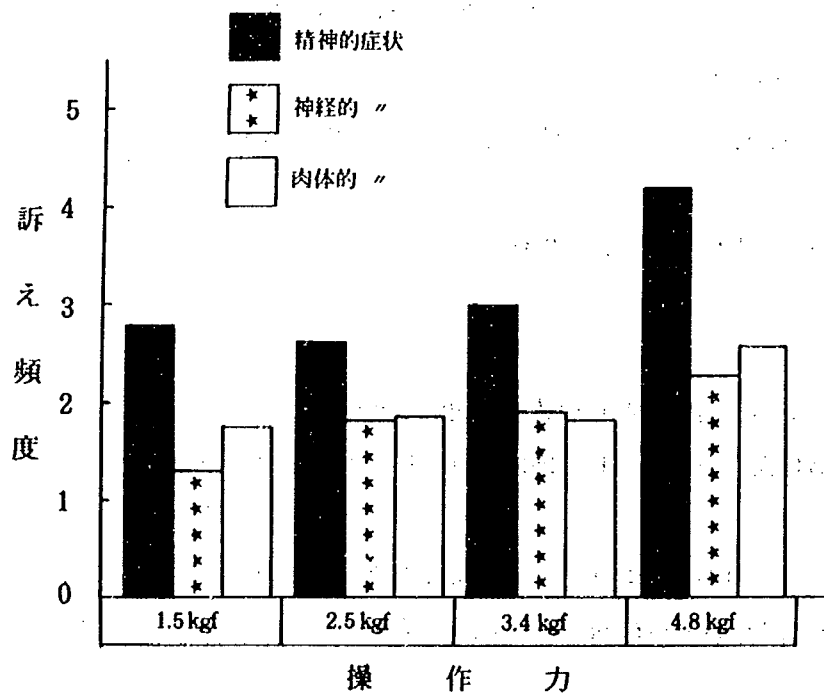


図-5.5 自覚症

5.3 まとめ

実験結果からレバー操作力に関して要約すると以下のことが言える。

- (1) 誤操作の発生率は、1.5kgfで最も多く現われ、2.5～4.8kgfの間では差が小さい。
- (2) 操作回数は、2.5kgfで最大値となっている。
- (3) 反応時間は4.8kgfで遅れが見られる。
- (4) 操作力の増加は、生体負担を増すことになる。

以上より、最適レバー操作力は2.5～3.4kgfの範囲と考えられる。

6. 運転室における振動・騒音評価に関する基礎試験

6.1 正弦波振動による試験

現在、全身振動の評価基準は、ISOにより提案されているが、これは正弦波振動による等感覚曲線に基づいて制定されたものであり油圧ショベルの操作性という観点からこの評価曲線が妥当であるかあ

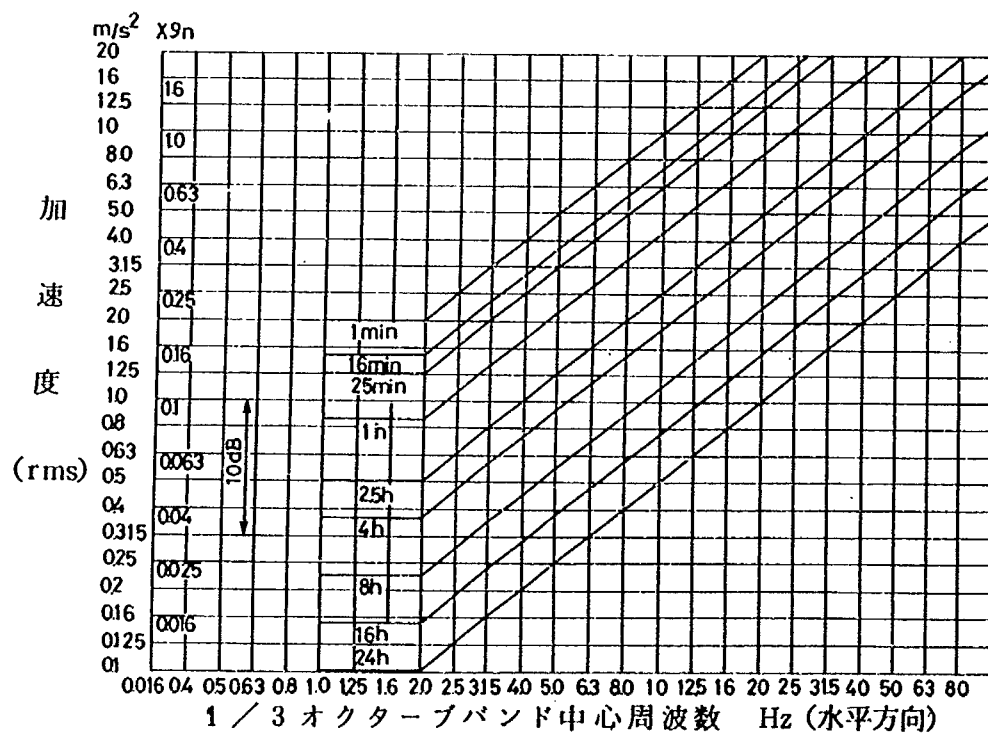
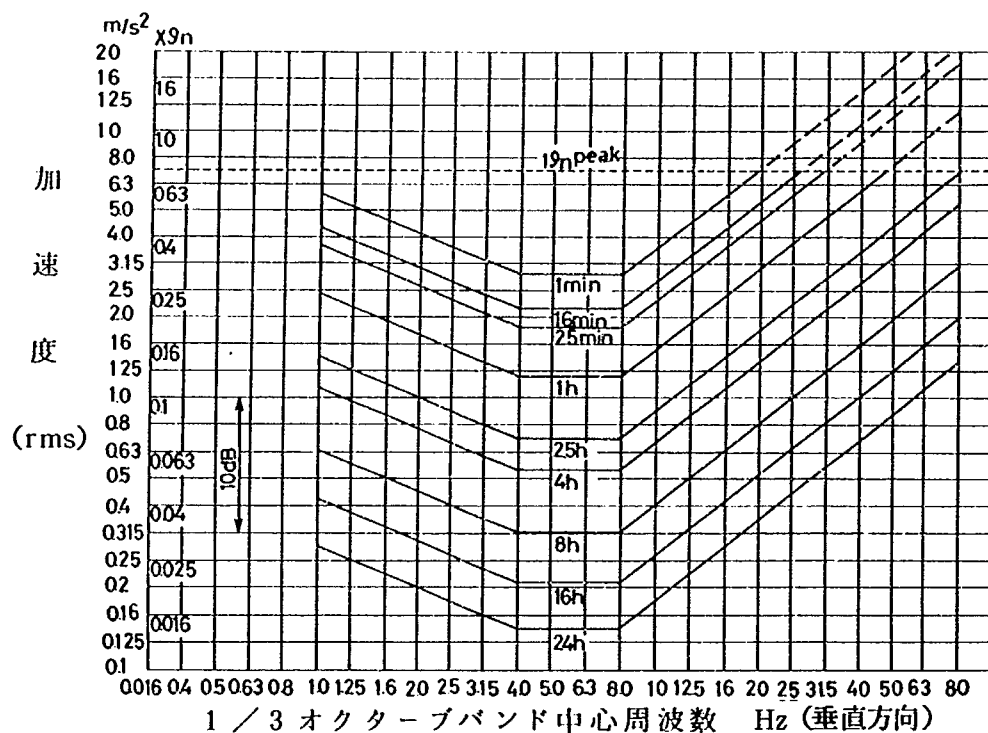


図-6.1 ISOの全身振動の評価基準

るいは、補正の必要があるかについては、明らかであるとは言い難い。本実験では、このための基礎試験を行なった。図-6.1に、ISOで提案している全身振動の評価基準を示す。

6.1.1 実験概要

実験は、室内において油圧式加振装置上に油圧ショベルの模擬運転装置を載せ、一定振動を負荷し、この時の運転員の生体負担を振動負荷前・中・後においてそれぞれ計測した。

図-6.2に本実験の行なわれた実験室内の配置図を示す。室内の明るさを一定にし、運転員の視野の一樣性を得るために2方向の壁に暗幕を使用した。また、視覚検査パネル上の照度制御のため天井の蛍光灯の一部を消灯し別の蛍光灯を使用した。

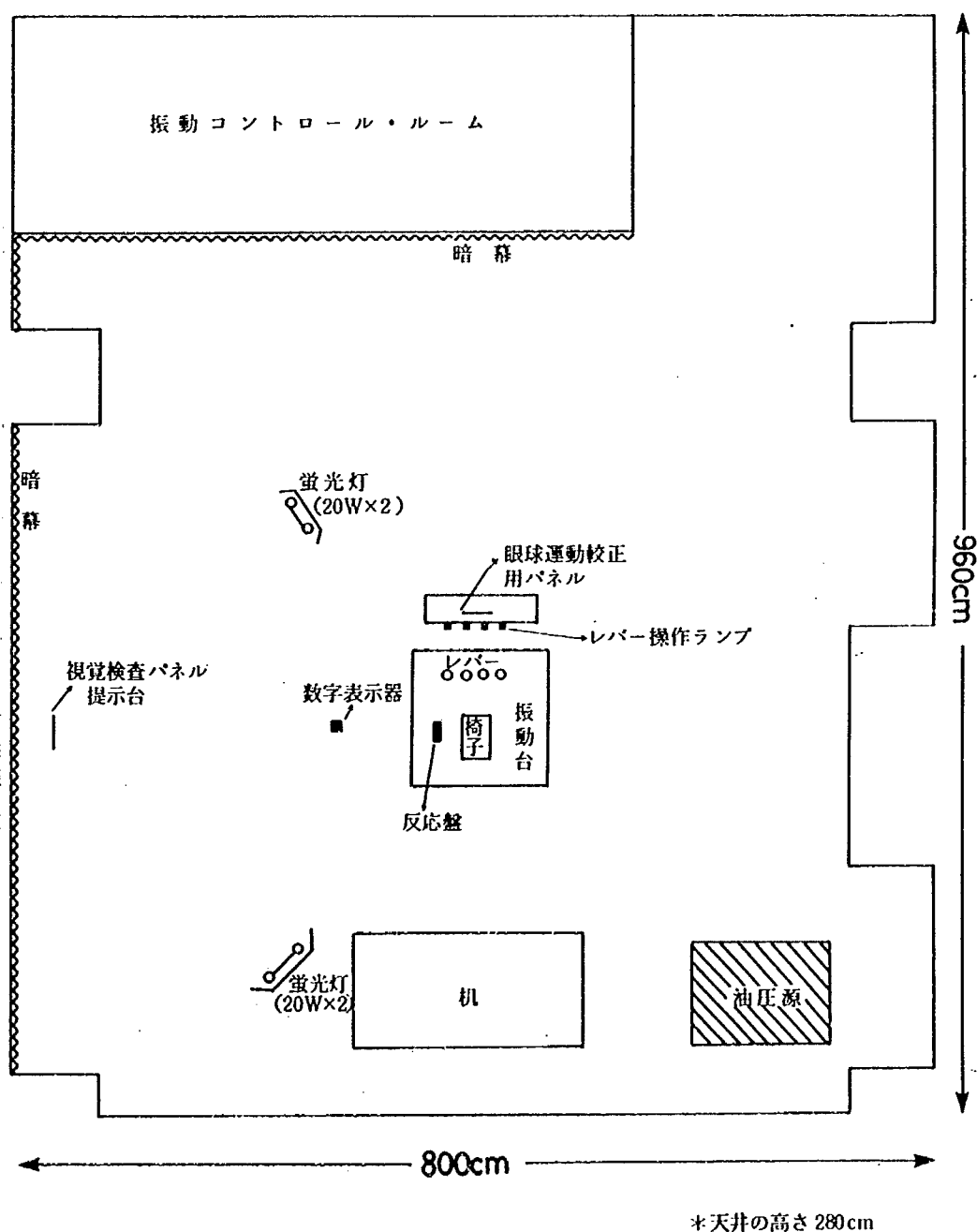


図-6.2 実験室内の配置図

(1) 実験条件

表－6.1 に実験条件を示す。

表の振動条件で、実験4は振動を与えずレバー操作のみを行なわせたものである。また振動はいずれも正弦波振動で、振動加速度、各振動周波数ともにISOの唱える振動ばく露基準値の16分値により行なった。なお、振動負荷時間は各条件とも16分間連続とした。

運転員は4名で、1人7条件について実験を行なった。また運転員の順序効果を防ぐために実験順序は、ランダムに行なった。

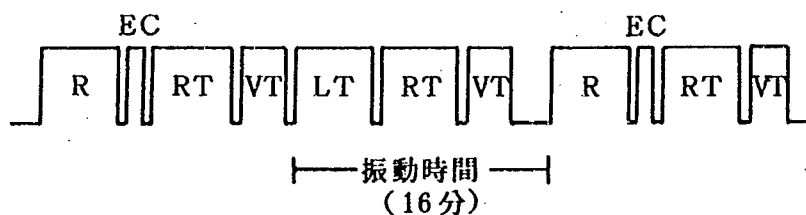
(2) 計測項目および計測方法

実験計測順序を図－6.3に示す。

各計測項目の概要、計測方法は次の通りである。

表 6.1 実験条件

実験番号	振 動 方 向	振動周波数 Hz	振動加速度 レベル(dBVAL)	記 号
1	水 平	2	103.5 (RMS)	H－2
2	垂 直	2	109.4 (")	V－2
3	{ 水 平 垂 直	2 8	103.5 (") 106.5 (")	H－2 × V 8
4	無 負 荷		—	C
5	{ 水 平 垂 直	8 2	115.4 (") 109.4 (")	H－8 × V－2
6	垂 直	8	106.5 (")	V－8
7	水 平	8	115.4 (")	H－8



R：安静時間（5分） VT：視覚検査
 EC：眼球運動校正 LT：レバー操作（5分）
 RT：反応時間テスト

図－6.3. 実験計測順序

① 心拍数

運転員の胸部に生体用小型表面電極を貼付し、生体アンプを径てデータレコーダに記録した。これは運転員の生理的な負荷、自律神経系の緊張状態を知る一つの指標として計測した。

② 眼球運動

運転員の両眼周辺に生体用小型表面電極を貼付し、眼球の回転にともなう電位変化を生体アンプを径てデータレコーダに記録した。これは眼球の補償運動を観測するものである。

③ 視覚能力

以下の2項目について測定した。

標準視力—国際標準のランドルト視力表によって求められる視力。

コントラスト視力—ランドルト環視力表の環と背景地との明るさの比によって求められる視力。

④ 反応時間

単純反応時間—数字標示盤に同一数字が表示され、運転員は数字が表示されたら反応ボタンを押す、この数字が表示されてから反応ボタンを押すまでの時間。

選択反応時間—表示される数字が同一でなく、1～8までランダムに表示され、その表示された数字に対応する反応ボタンを押すまでの時間。

⑤ レバー操作

5分間のレバー操作回数を記録し、誤ったレバー操作はエラーとして記録した。

⑥ 自覚症

実験終了後各運転員に自覚症状のアンケート調査を行なった。

6.1.2 実験結果と考察

(1) 心拍数

図—6.4に心拍数の変動の一例を示す。図は実験の最初から最後まで約45分間連続に記録したものを30秒間ごとに平均したものである。

一般的な傾向として心拍数は、振動負荷中に大きくその前後で小さい。振動負荷中においてはレバー操作時にピークを示すことが多くその後の反応時間テスト中に極小値を示す。

実験条件別では、垂直8 Hz、垂直8 Hz×水平2 Hz、水平8 Hz×垂直2 Hzの3条件において振動負荷中に、振動負荷前後に比べ大きな値を示す。このことは振動負荷中に交感神経系の緊張状態をうかがわせる。

(2) 眼球運動

振動負荷時には、頭部の振動や回転運動が生じ網膜上の焦点がずれる。これを防ぐために頭部や眼球の補償的な運動が反射的におこなわれている。この眼球の補償運動を検出して、振動負荷中に眼球運動が追従できるかを知る。

検出した眼球波形を評点化した。すなわち、同期波形が小さく認められる場合には0.5、はっきりと認められる場合に1、大きく認められる場合に2の評点をそれぞれ与え、同一振動条件で4名の被験者の評点を合計した。また、評点0.5は眼球角度にして5°以下、評点1は5°～10°、評点2は10°以上に

相当する。

評点を振動条件別にまとめたものを表-6.2に示す。

表-6.2 眼球の補償運動

振動条件 項 目	レバー操作		反応時間テスト		視 覚 検 査		一 点 注 視	
	上下運動	左右運動	上 下	左 右	上 下	左 右	上 下	左 右
1 (H-2)	5	1	0.5	3	0.5	0.5	1	0
2 (V-2)	5	0	0	0	0	0	0.5	0
3 (H-2×V-8)	5	3	2	3	3	0.5	2	1.5
4 (C)	0	0	0	0	0	0	0	0
5 (H-8×V-2)	2	0.5	1.5	0.5	0.5	0	2	0
6 (V-8)	0	0	0	0	0	0	0	0
7 (H-2)	0	0	0	0	0	0	0	0

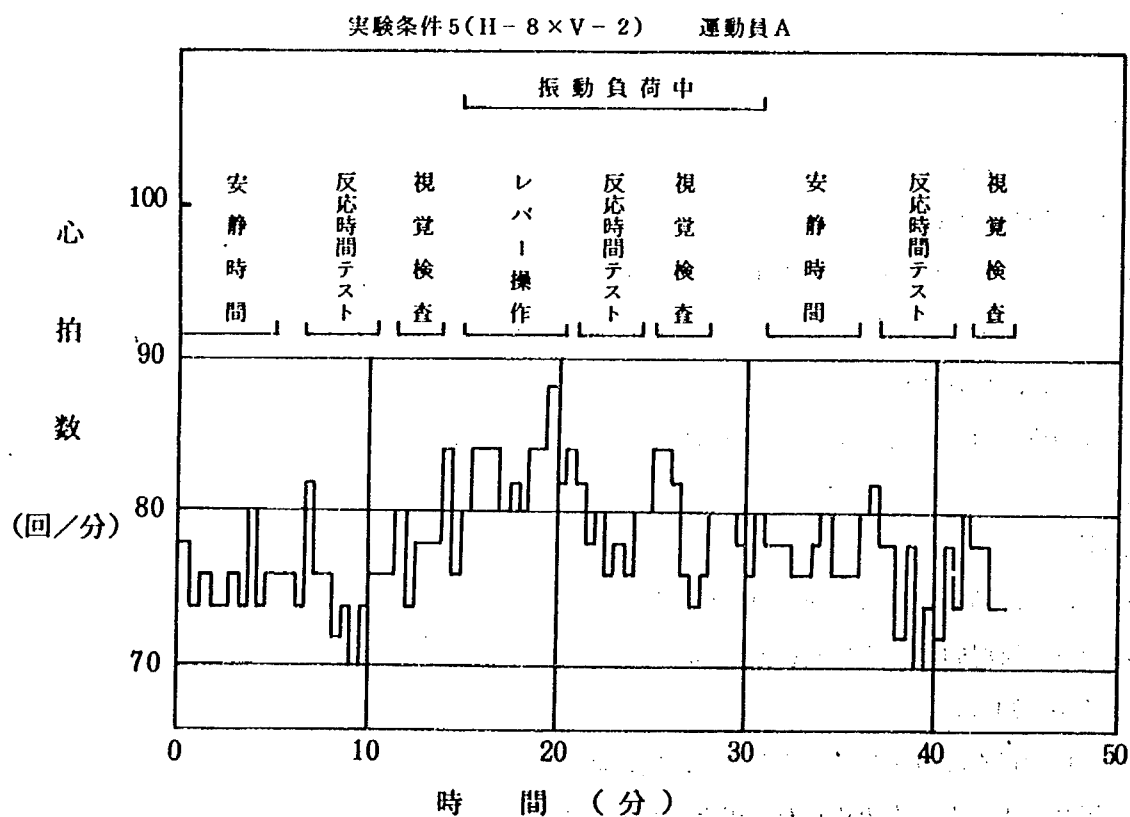


図-6.4. 心拍数の変動

結果より、振動周波数が2 Hzの場合には、眼球の追随運動がはっきりと認められるが、振動周波数が8 Hzの場合には眼球の追随は不可能である。

正弦波振動が一方のみで低周波の場合は、上体や頭部の補償的運動のみで有効に対応することができるが、2次元振動では、眼球運動による補償が必要となる。

(3) 視覚検査

① 標準視力

国際標準のランドルト視環視力表によって求める視力を標準視力とした。

図-6.5は標準視力結果を示したものである。

図より、垂直8 Hz、水平2 Hz×垂直8 Hz、水平8 Hz×垂直2 Hzの条件で、振動負荷中における視力低下があるが、振動無負荷および水平2 Hzと垂直2 Hzの条件の時は視力低下は特に認められない。

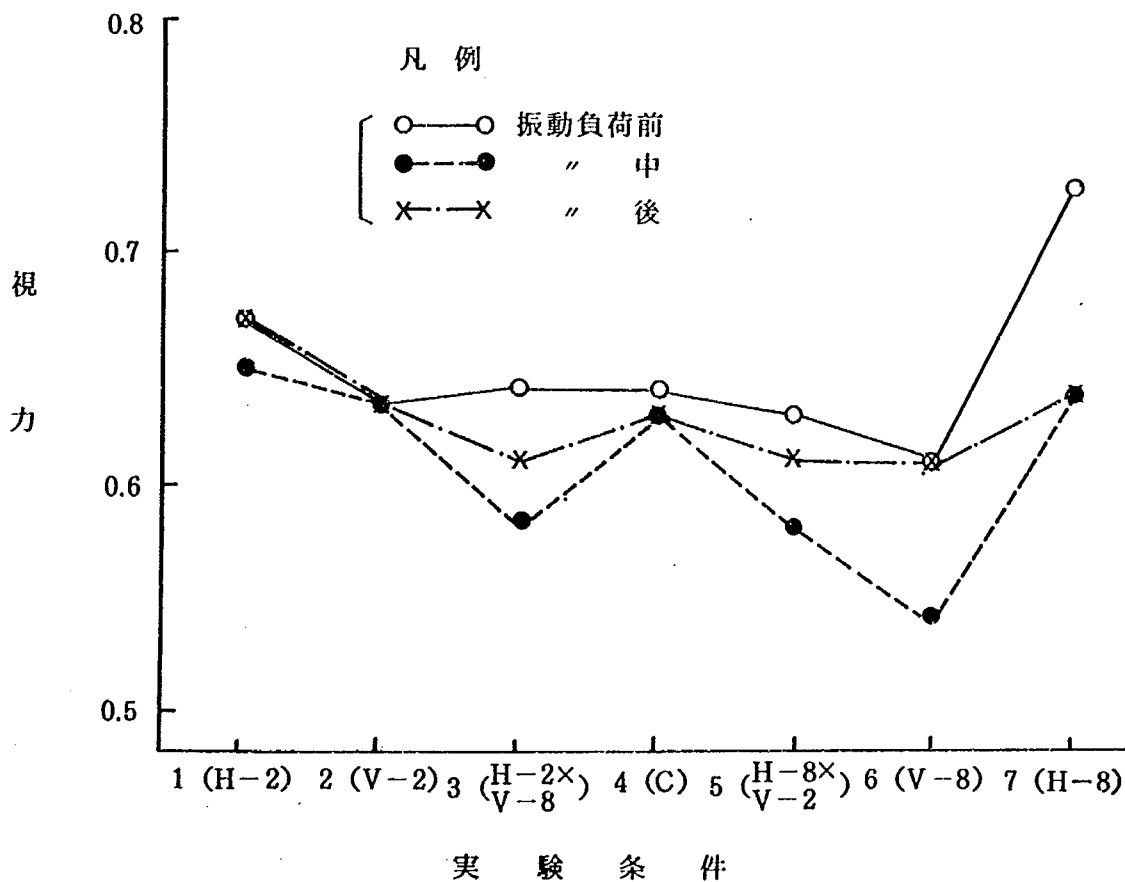


図-6.5. 標準視力

② コントラスト視力

視力測定において、背景となるものの明るさによって視力は変化する。例えば、ランドルト環視力表の環と背景地との明るさの比（コントラスト）を小さくすると視力は低下する。これはコントラスト視力と呼ばれている。

本実験では、ランドルト環の環部と背景地の明るさの変調度を5種類とし、44～2.8%で等比級数的

に変化させた（ただし、それぞれの単位面積の明るさの平均は一定）。そして、それぞれの変調度につき視距離 3.4 m で視力 0.3 ～ 1.25 までに 12 ステップの視力が測定可能となっている。図- 6.6 にコントラスト視力の結果の一例を示す。コントラスト視力測定結果から、振動負荷中に視力低下が見られるのは垂直 8 Hz の条件の時のみであり、他の条件においては変化がなかった。

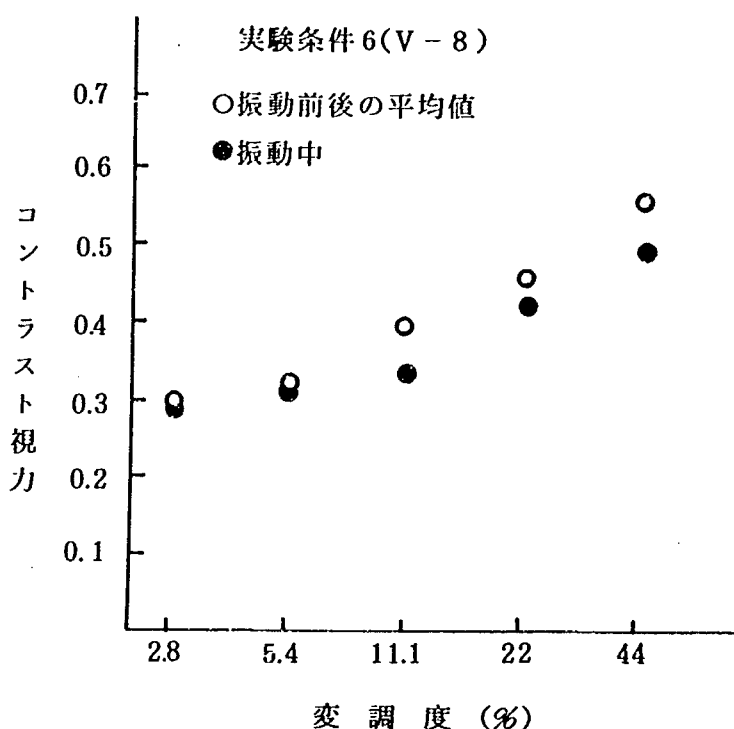


図- 6.6. コントラスト視力

(4) 反応時間

反応時間の測定は、単純反応時間および 8 選択反応時間について行なった。表- 6.3 に条件別による反応時間の結果を示す。表は振動負荷前を基準として、振動負荷中、振動負荷後のデータをまとめたものである。この結果からは振動負荷の影響は見られない。また、振動負荷後の反応時間が延びていることから各種テストによる遂行が運転員にとってなんらかの負担となっているのではないかと考えられるが、振動負荷による影響だけとは言えない。

(5) レバー操作

図- 6.7 に単位時間当りのレバー操作回数を示す。

図より、実験条件別にみると、水平 2 Hz、垂直 8 Hz、水平 8 Hz でレバー操作回数が少ないが、これは水平 2 Hz、水平 8 Hz ではそれぞれ 2 名が初めてのレバー操作であることによるものである。また、運転員ごとに練習効果を考えて見ると、運転員 A は垂直 8 Hz、無負荷で悪く、運転員 B、C は水平 2 Hz × 垂直 8 Hz で悪く、運転員 D は垂直 8 Hz で悪い。このことから垂直 8 Hz の条件においてレバー操作回数が減っており、振動負荷による影響が顕著に現われていると考えられる。

表 6.3 条件別による反応時間の変化率

実験条件	選択肢	振動負荷前	振動負荷中 (%)	振動負荷後 (%)
1 (H-2)	1	0	- 2.1	+ 8.5
	8	0	- 0.6	+ 3.6
2 (V-2)	1	0	+ 1.7	+ 9.5
	8	0	- 8.2	+ 0.3
3 (H-2× V-8)	1	0	- 1.7	+ 8.9
	8	0	+ 3.8	+ 9.0
4 (C)	1	0	+ 0.8	+ 7.1
	8	0	- 3.2	- 1.5
5 (H-8× V-2)	1	0	- 4.8	- 4.4
	8	0	+ 2.0	- 0.3
6 (V-8)	1	0	+ 7.2	+ 7.8
	8	0	+ 3.1	- 2.7
7 (H-8)	1	0	- 1.6	+ 0.4
	8	0	+ 3.1	+ 1.4

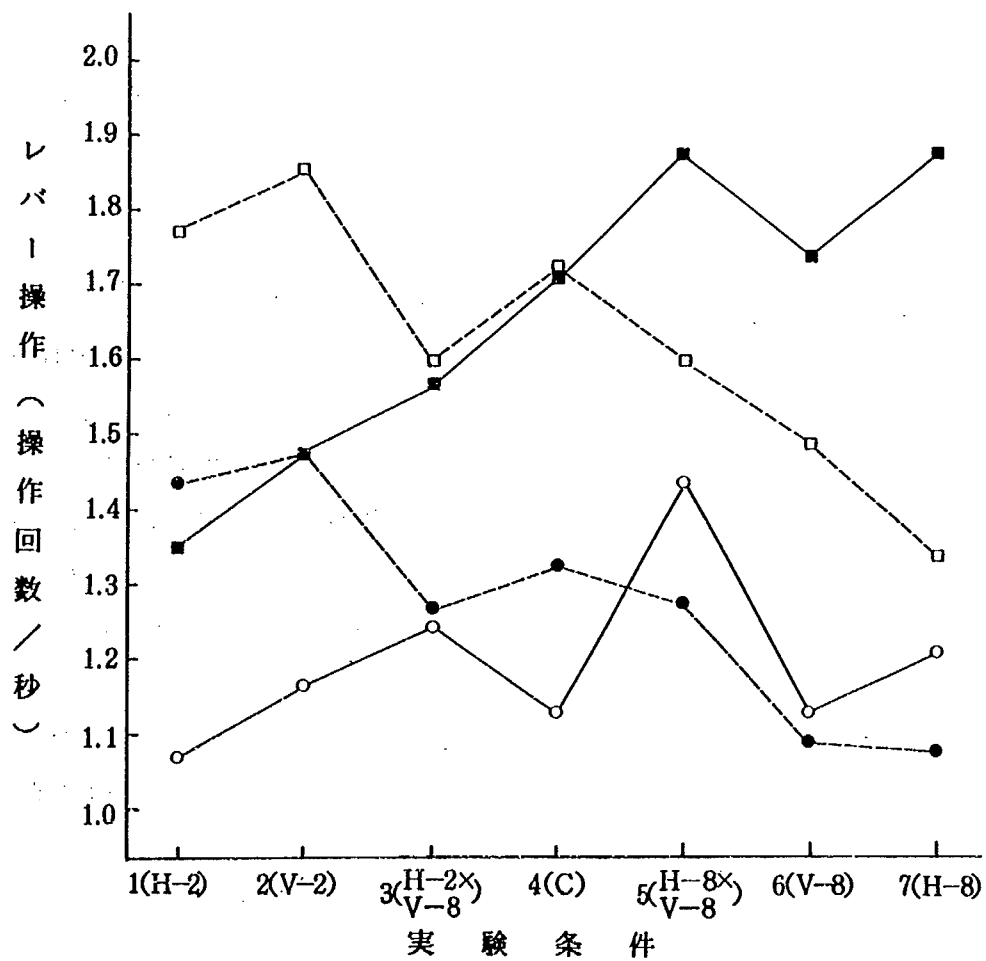


図- 6.7. レバー操作回数

(6) 自覚症

表－6.4に自覚症訴え数を示す。

表より振動負荷により内臓の共振が生じ、胸腹部に痛みや苦しさ、重さを感じる特徴がある。

呼吸困難や発声の障害も内臓の共振によるものと考えられ、これが水平2 Hz × 垂直8 Hz，水平8 Hz × 垂直2 Hz，垂直8 Hzの振動負荷によるものである。このことから、2 Hzでは腹部、臓器の共振が腹膜などを刺激し、8 Hzでは胸部の重さ、苦しさとなっている。しびれ感はこの胸腹部異常にともなって生じている。

表－6.4 自覚症訴え数

実験条件	胸 腹 痛	腰 痛	し び れ	呼吸困難	視力制限	動作支障	発声困難
1 (H-2)		2				3	
2 (V-2)		1			1		
3 ($\begin{smallmatrix} H-2 \times \\ V-8 \end{smallmatrix}$)	(腹痛) 2		1	2	3	2	1
4 (C)							
5 ($\begin{smallmatrix} H-8 \times \\ V-2 \end{smallmatrix}$)	(腹痛) 1		1	1		4	
6 (V-8)	(胸苦しさ) 1		2	3	3	2	2
7 (H-8)		1			1	3	

6.1.3 まとめ

各計測項目の測定結果について、4人の運転員の成績の平均値又は合計で最も悪いものを被害度10、実験条件Cにおける成績の平均値又は合計を被害度0とし、その間を比例配分し、10項目にわたる被害度の合計を、加振条件別にまとめたものが、表－6.5である。以上の結果より次のことが言える。

- ① 2 Hzの振動（水平，垂直）を負荷されることにより、眼球の補償運動の活発化を余儀なくされ、反応時間の低下を招いている。また、8 Hz加振の場合は、視覚、レバー操作に影響が現われている。
- ② 水平2 Hz，あるいは垂直8 Hzの加振時の被害度合計は水平8 Hz，あるいは垂直2 Hzのものより大きな値を示しており、振動負荷時の各周波数別の生体負担の大きさは、ISO振動暴露基準の基礎である振動の等感度曲線と同様の傾向を示すことがうかがえる。
- ③ 水平2 Hz，垂直8 Hzと水平2 Hz × 垂直8 Hz，水平8 Hz，垂直2 Hzと水平8 Hz × 垂直2 Hzの被害度合計をそれぞれ比較すると、2次元振動の影響には各方向の振動の影響の相乗的作用があることがうかがわれる。
- ④ このことは、垂直方向，水平方向各々独立して評価できるとするISOの評価方法は更に検討の余地があることを示すものと思われる。

表一 6.5 正弦波振動による実験結果の総括並びに被害度一覧 (上段：実験結果平均又は合計)
(下段：(被害度))

実験 条件	項 目 単 位	心拍数 の変動	眼 球 運 動		視 覚		反応時間の変動		レバ ー 操 作		自覚症	被害度 合 計	備 考
			上下方向	左右方向	標準視力	コントラ スト視力	1 選択枝	8 選択枝	回 数	誤 操 作			
			(合計) 点	(合計) 点	(負荷中平均)	(負荷中平均)	(負荷後) (負荷前)%	(負荷後) (負荷前)%	(平均) 回/秒	(平均) 回/5 分	(合計) 件		
1 (H-2)		104.6	7.0	4.5	0.65	0.44	108.5	103.6	1.41	1.25	5	(49.6)	
		(7.9)	(5.8)	(5.6)	(0)	(0)	(5.8)	(4.9)	(5.8)	(10)	(3.8)		
2 (V-2)		102.4	5.5	0	0.63	0.43	109.5	100.3	1.50	0.25	2	(24.3)	
		(4.5)	(4.6)	(0)	(2.0)	(0)	(10)	(1.7)	(0)	(0)	(1.5)		
3 (H-2×V-8)		106.0	12.0	8.0	0.58	0.42	108.9	109.0	1.42	1.25	11	(78.0)	
		(10)	(10)	(10)	(7.0)	(0)	(7.5)	(10)	(5.0)	(10)	(8.5)		
4 (C)		99.4	0	0	0.65	0.41	107.1	98.5	1.48	0.25	0	(0)	
		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)		
5 (H-8×V-2)		104.0	6.0	1.0	0.58	0.39	95.6	99.7	1.55	1.00	7	(39.8)	
		(7.0)	(5.0)	(1.3)	(7.0)	(5.5)	(0)	(1.1)	(0)	(7.5)	(5.4)		
6 (V-8)		101.4	0	0	0.55	0.37	107.8	97.3	1.36	0.50	13	(48.4)	
		(3.0)	(0)	(0)	(10)	(10)	(2.9)	(0)	(10)	(2.5)	(10)		
7 (H-8)		104.4	0	0	0.64	0.41	100.4	101.4	1.38	0.95	5	(30.8)	
		(7.6)	(0)	(0)	(1.0)	(0.3)	(0)	(2.8)	(8.3)	(7.0)	(3.8)		

6.2 実機振動・実機騒音による試験

現在ISOで提案されている全身振動評価基準は、正弦波振動に基いて提案されたものであるが、実機における振動はランダム振動であることから、このISOの振動評価基準が実機のランダム振動評価に適用できるかどうかのための基礎試験を行なうと同時に騒音が負荷された場合の相乗効果も調べた。

6.2.1 実験概要

運転員に実機振動及び実機騒音がどのような影響を与えているかを見るために、油圧加振装置を用い運転員に実機振動及び実機騒音を負荷した時の生体負担を計測した。

(1) 実験条件

表－6.6に実験条件を示す。

実験1.2は、正弦波振動をISOの唱える16分ばく露基準値で16分間負荷した。

実験3.4は、現場において測定した実機振動（掘削－旋回－積込み－旋回から成る作業）をISOの唱える1時間ばく露基準値で1.5時間負荷した。

実験5については、振動を負荷していない。

騒音負荷については、実験2.4で現場測定した油圧ショベルの実機騒音を運転員の耳元で90dB(A)となるように負荷した。また、実験1.3.5については、実機の騒音は負荷しなかったが、油圧ユニット等からの騒音が運転員耳元で67dB(A)あった。

表－6.6 実験条件

実験番号	騒音条件 dB (A)	振動方向	振動周波数 (Hz)	振動加速度	振動・騒音 負荷時間(分)
1	67	水平 垂直	2	103.5	16
2	90		8	106.5	
3	67	水平 垂直	実機 振動	101.4	90
4	90				
5	67				

(2) 測定項目

図－6.8に測定項目及び測定順序を示す。

各項目の概要を次に示す。

① 心拍数

運転員の生理的な負荷、自律神経系の緊張状態を知る一つの指標として計測したものである。

② 指先脈波

光電脈波計により、運転員の指先脈波高を記録した。

③ 自覚症

④ トラッキングテスト

運転員に模擬作業として行なわせるもので、オシロスコープ上に表示した一次発散系（発散定数は、日本産業衛生学会で広く使用されている「自覚症状しらべ」のアンケートにより調査した。時間と共に大きくなる）の基準点からの偏差量をできる限り0に近づけるようにレバーを操作させ、その時の発散定数を測定する。（図-6.9 参照）

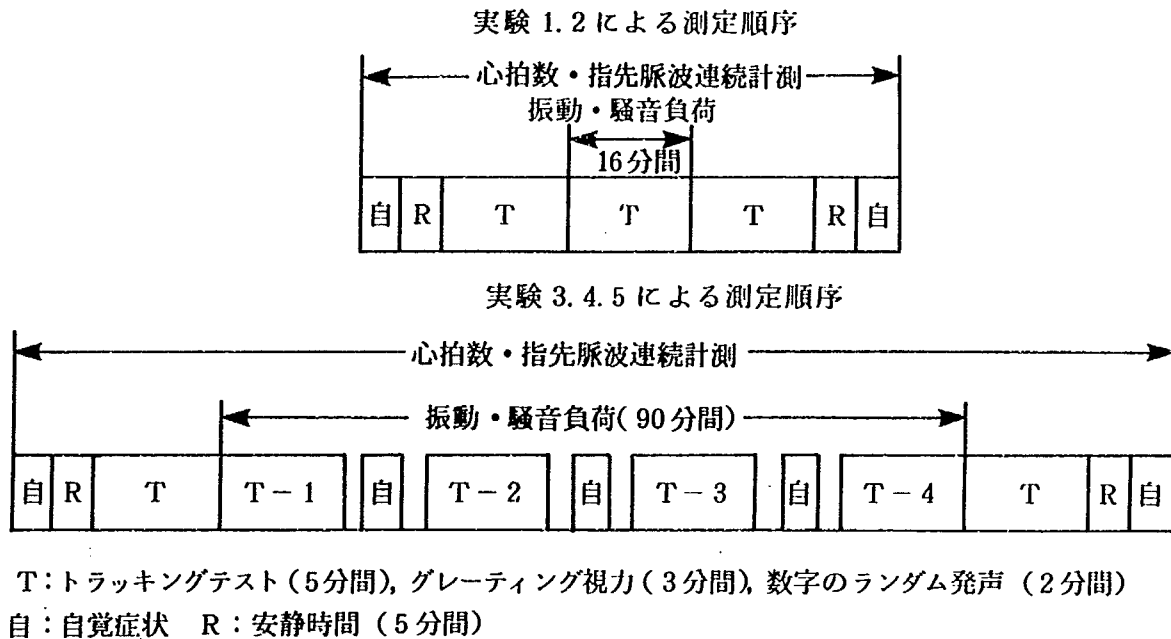


図-6.8. 測定項目及び測定順序

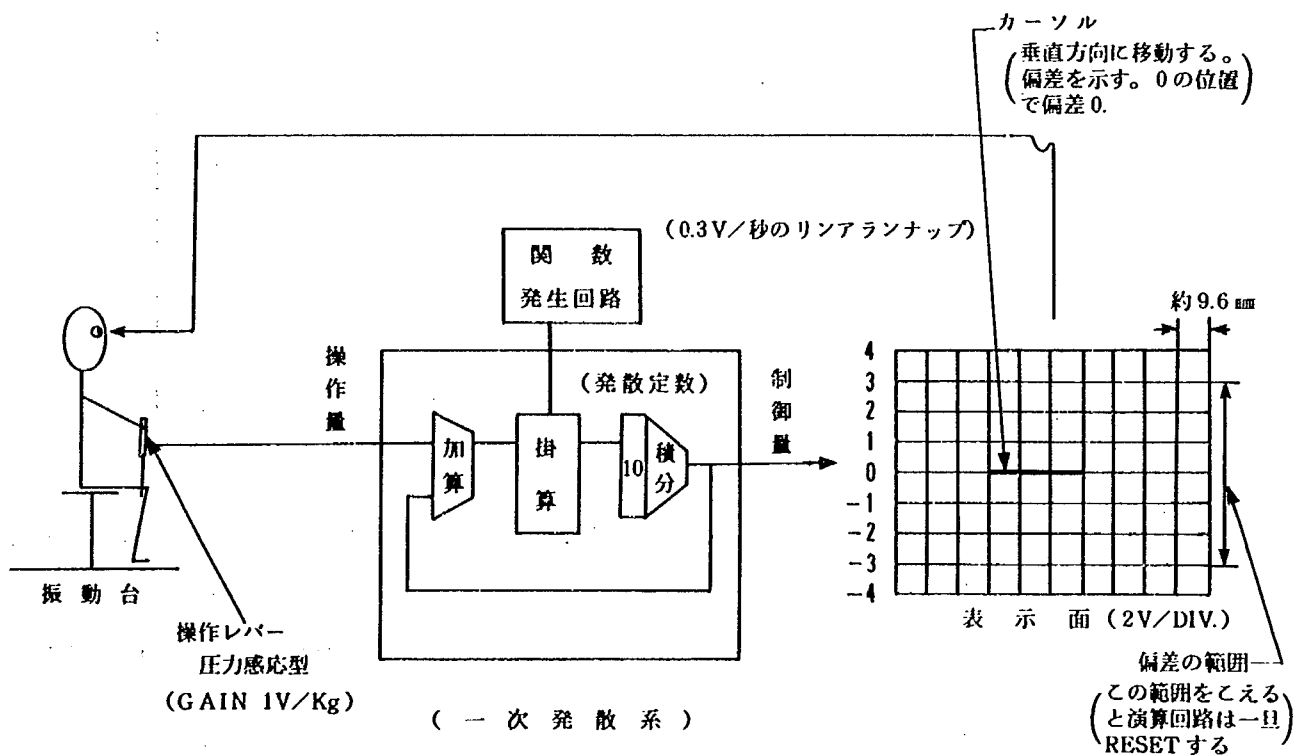


図-6.9 制御対象が一次発散系の補正トラッキングのブロック図

⑤ グレーティング視力

オシロスコープ上に、グレーティング（縞模様）パターンを発生させ、グレーティングの明暗密度が高まり明部が確認されなくなった時の視力を記録する。

⑥ 数字のランダム発声

0～9までの数字を2分間ランダムに運転員に発声させる。

6.2.2 実験結果と考察

(1) 心拍数

表－6.7に各実験条件別の心拍数の結果を示す。

表より次のことが言える。

① 全条件において、安静時に比べて振動・騒音負荷中における心拍数の増加がある。これはそれぞれ振動・騒音による影響と考えられる。

② 振動負荷のみの場合に比べて騒音を加えた場合は、心拍数の増加が認められる。これは、正弦波およびランダム波についても同じ結果を示している。

以上のことから振動に騒音を加えた場合による相乗的な影響があるのではないかとと言える。

表－6.7 心拍数の計測結果（4名平均）

実験条件	安静時 (拍/分)	振動・騒音負荷中 (拍/分)			
		T-1	T-2	T-3	T-4
実験1 (正弦波振動のみ)	81	88			
実験2 (正弦波振動+騒音)	83	90			
実験3 (実機振動のみ)	72	78	78	74	76
実験4 (実機振動+騒音)	71	82	79	77	83
実験5 (振動・騒音なし)	72	77	79	75	76

(2) 指先脈波

図－6.10に各実験条件別による運転員の振動・騒音負荷前・中・後における脈波高の値を示す。なお、実験1.2におけるデータはとれなかった。

結果より、実験条件別では実験4における数値が低い。また、運転員個人別では、B、C、Dの運転員で騒音のある場合に数値が低く、騒音負荷による影響があると言える。

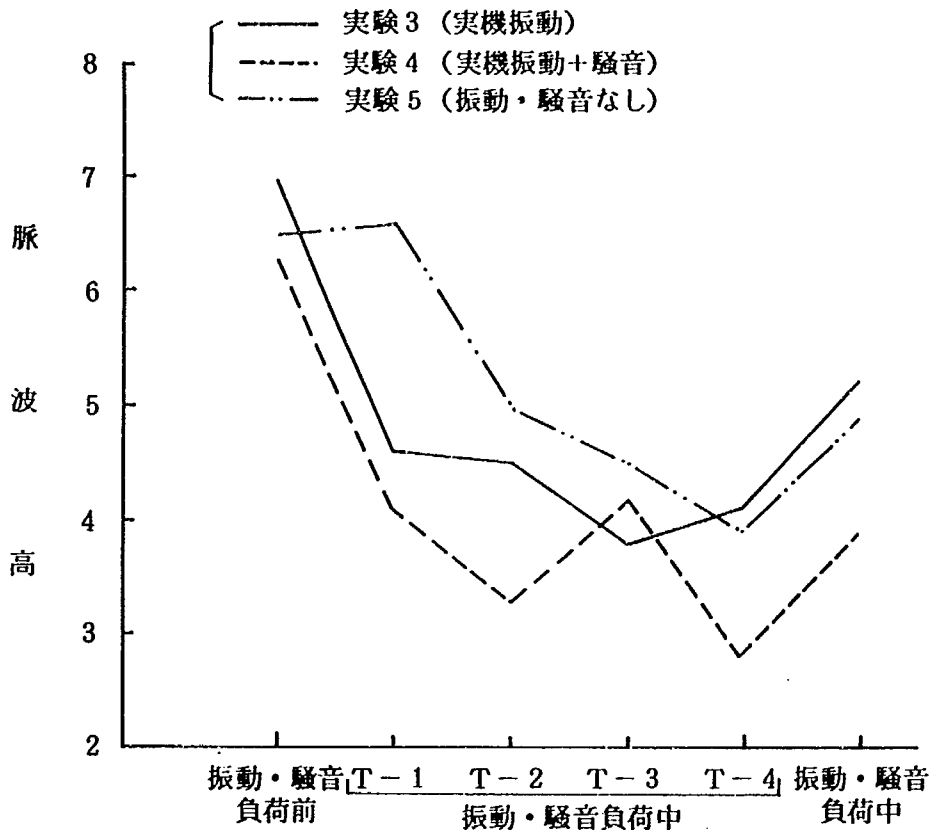
(3) 自覚症

振動・騒音負荷前・中・後において、各種検査の後に「日本産業衛生学会産業疲労研究会選」の自覚

症状しらべを用いた。またこの他に胸腹部の痛み、のどのかわき、脚のしびれ等の全身振動特有の症状についても調査した。

調査結果より、実験 1.2 において胸腹部の痛み、のどのかわきが各 2 名により訴えられている点が注目される。また全員に眼の疲れまたは見にくさの訴えがある。実験 3.4.5 においてものどのかわきが全員から訴えられている。また、あくび、ねむけ、全身や足のだるさ等の訴えもあるが、騒音負荷による影響はない。

実験 5 において、あくび、ねむけ等の訴える頻度が高い。このことは振動・騒音共に負荷されていないため、長時間（90 分間）刺激がないためではないかと考えられる。



図一 6.10 指先脈波の計測結果（4 名平均）

(4) トラッキングテスト

圧力感応型のレバーを操作し偏差量を制御する。このとき偏差量が所定の範囲を超える直前の発散定数の値を指標とした。すなわち、どの程度の難度まで偏差量を所定の範囲内におさえることができるかを表すものである。

図一 6.11、図一 6.12 に実験結果を示す。

図より次のことが言える。

- ① 実験 1～4 において、振動・騒音負荷中における数値が低い。このことは、振動・騒音による影響といえる。
- ② 振動のみの負荷の場合と振動に騒音を加えて負荷した場合において、実験 1 と 2，実験 3 と 4 の相対間では騒音による差は明確には認められない。

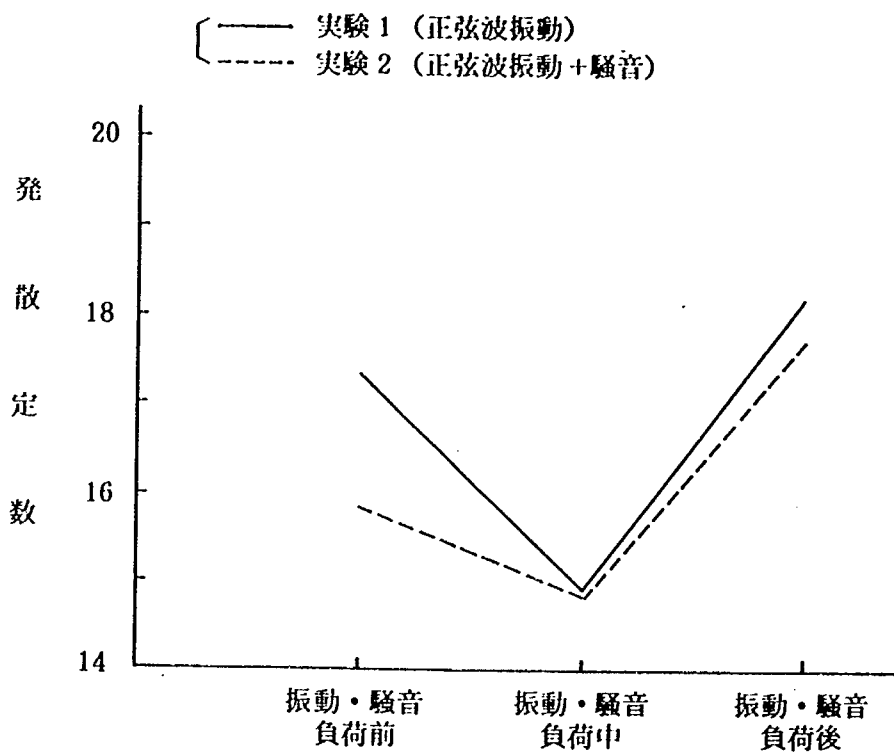


図-6.11 トラッキングテスト結果 (1)

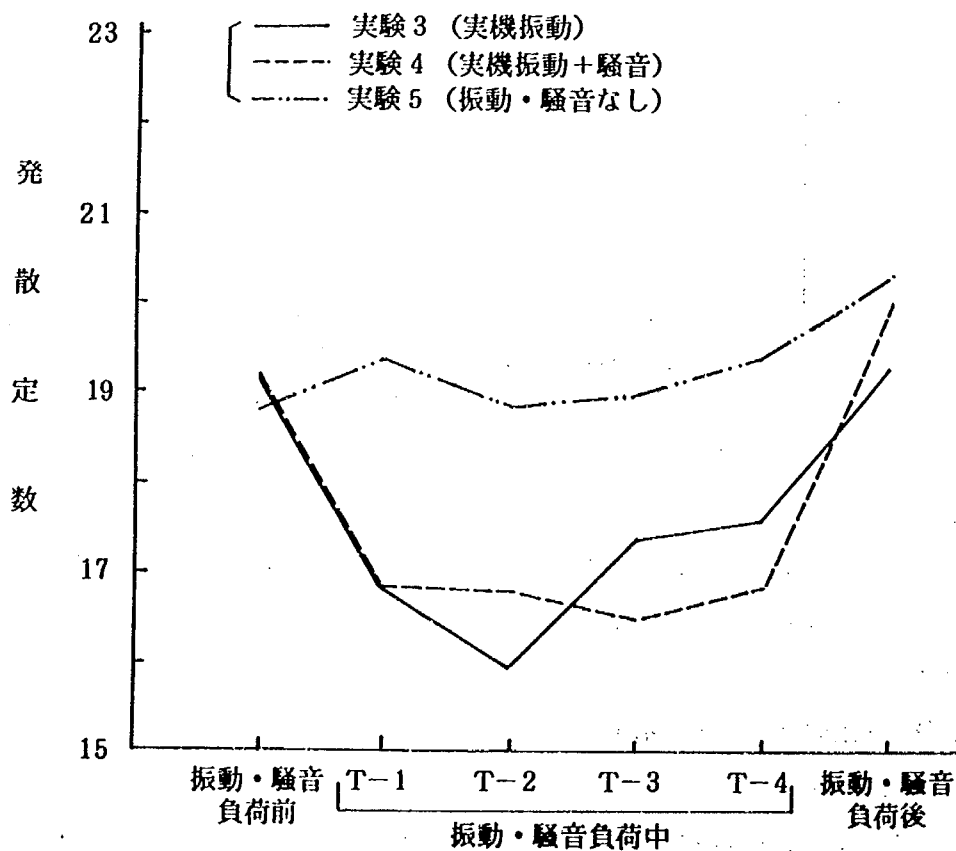


図-6.12 トラッキングテスト結果 (2)

- ③ 実験 3.4 において、振動・騒音負荷90分間中の変化は、振動+騒音の条件においてはほぼ一定の値を示しているが、振動のみの条件においては振動中のT-2以降の数値上昇が見られる。

- ④ 振動・騒音負荷中の値を、実験 1.2 と実験 3.4 で比較すると、実験 3.4 は個人のばらつきが大きく実験 1.2 は少ない。これは、正弦波（実験 1.2）とランダム波（実験 3.4）による振動波形の違いによるものと思われる。
- ⑤ 全条件において、振動・騒音負荷前に比べて負荷後の方が高い値を示している。これは実験遂行にともなう練習効果と考えられる。

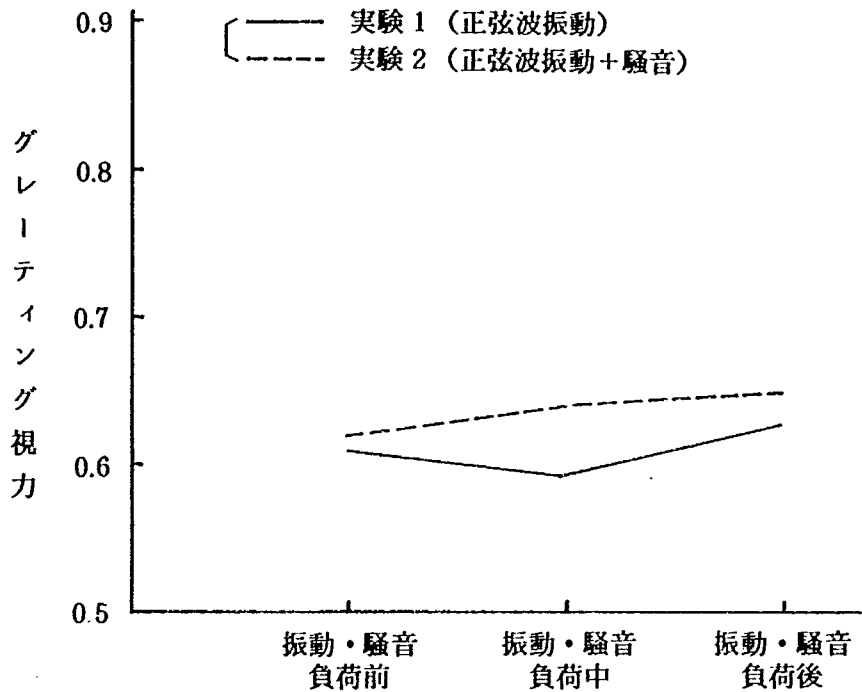


図-6.13 グレーティング視力結果 (1)

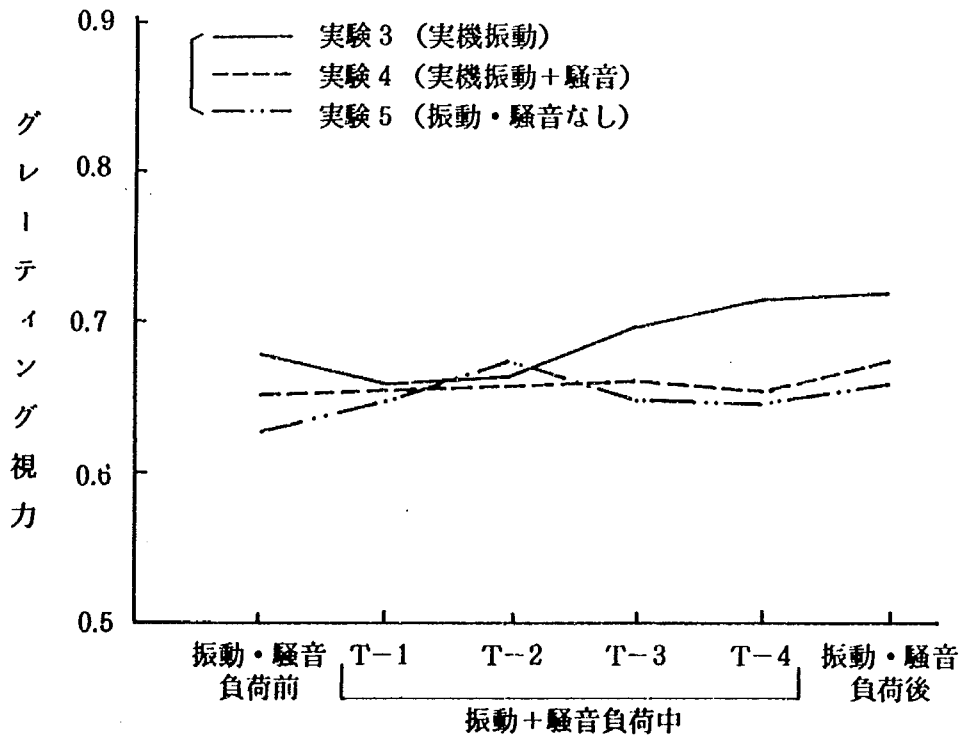


図-6.14 グレーティング視力結果 (2)

(5) グレーティング視力

グレーティング視力とは、縞模様の明部と暗部の内、明部の幅を縮めていき明部の視認ができなくなった時の視力である。

図- 6.13, 図- 6.14に実験結果を示す。

図より次のことが言える。

- ① 実験 1 において、振動負荷前・後に比べて振動負荷中にわずかな視力低下が見られる。しかし、実験 2 では振動・騒音負荷中に視力低下は現われていない。このことは、音刺激による視覚系の鋭敏化とも考えられるが本実験のみでは断定できない。
 - ② 全条件ともに、振動・騒音負荷前に比べて負荷後の方が高い値を示している。これは、実験に対する慣れと考えられる。
 - ③ 実験 3 において、振動負荷中の T-2 までは視力低下が見られるが、T-3 以降では良くなっている。このことはランダム振動に対する慣れではないかと思われる。
- 実験 4 ではほぼ一定の値となっている。
- ④ 振動に騒音を加えて負荷した場合に、明確な騒音による影響は表われなかった。
 - ⑤ 実験 1.2 に比べ実験 3.4.5 における数値が高い値となっている。これは負荷した振動波形の違いによる緊張度の影響ではないかと思われる。

(6) 数字のランダム発声

振動および騒音の高次情報処理過程におよぼす影響を検討するために数字のランダム発声を行なわせた。情報（発声された数字の系列）の発生を支配する法則の数量的な定式化を行なうために系列依存性を調べた。系列が含む依存性の次数（隣接する数字の連の数）を 4 次まで求めた。

図- 6.15 に各条件別の情報量を示す。

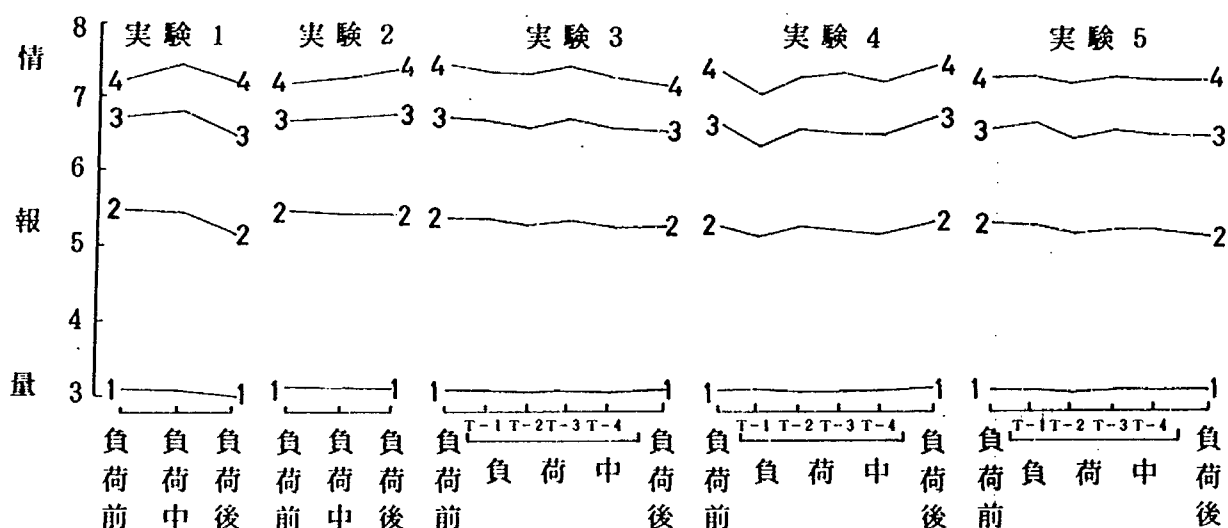


図- 6.15 数字のランダム発声

図より、1 次の情報量はどの条件においてもほとんど差はないが、2～3 次の情報量には、実験 4 において情報量の低下が見られる数の偏用が多くなっている。

ここに、情報量の変化とは騒音負荷による情報処理過程への過渡的な妨害効果を意味しているものである。

情報量と数字の発生スピードの関係では、実験 3.4.5 において、各条件の後半（負荷 1 時間以降）に発声数字の総数増加が目立つ。また、この現象は実験 4 において著しい。このことは、1 時間以上の騒音負荷が高次の情報処理過程に一定の負担として作用したことを示すものである。

6.2.3 まとめ

実機振動および実機騒音を運転員に負荷した時の生体負担から、実機振動および実機騒音による運転員への影響について調べた。

これら一連の実験により次のことがわかった。

- ① 振動負荷に騒音を加えた場合、振動負荷により影響を受けやすいとされている視覚、トラッキングテストにおいては、騒音負荷による影響の相乗効果は特に認められなかった。したがって、振動の評価は騒音とは独立して行なうことができる。
- ② 今回の実験の範囲では油圧ショベルの実機振動を負荷した場合と正弦波振動の場合で、運転員の反応に著しい差異は特に現れなかった。とはいうものの、主として正弦波加振による等感覚曲線に基づいて制定された ISO2631 の評価基準をランダム波である油圧ショベルの振動評価に用いることの適否に関しては、さらに研究を積み重ねる必要があると言えよう。

7. 運転員の行動分析と油圧ショベルの振動・騒音の実態調査

7.1 運転員の行動分析

7.1.1 実験概要

実験は、土木研究所構内の平坦な場所を選び掘削幅約1 m、深さ約2 mの溝掘り作業を行い、掘削溝と平行に置かれたダンプトラック（8 t 積）に積込む作業を行なわせ、作業中の運転員の動作、生体反応、作業量の測定を行なった。実験に使用した機械及び運転員を表-7.1、測定項目を表-7.2に示す。

表-7.1 使用した機械及び運転員

機種名	機械重量	出力	バケット容量	操作方式	実験年度
UH-03	9,100 kg	58 Ps 1800 rpm	0.30 m ³	6本レバー	52年
MS-20	4,800 kg	42 Ps 2400 rpm	0.20 m ³	4本レバー	52年
UH-04	10,500 kg	81 Ps 2100 rpm	0.33 m ³	6本レバー	53年
MS-110	11,410 kg	83 Ps 1900 rpm	0.33 m ³	4本レバー	53年

運転員	年齢	身長	体重	経験	備考	実験年度
A	47才	165 cm	72kg	5年	4本レバーに熟練	52年
B	36才	171 cm	58kg	6年	6本レバー "	52年
C	37才	171 cm	58kg	7年	6本レバー "	53年
D	42才	165 cm	55kg	5年	4本レバー "	53年

表-7.2 測定項目

項目	年度	52年	53年
レバー操作		○	○
運転員の行動		○	○
眼球運動		○	
心拍数		○	

7.1.2 計測項目及び計測方法

図－7.1 に計測記録系のブロック・ダイアグラムを示す。各計測項目の概要を次に示す。

① 心拍数

運転員の胸部に貼付した電極から時定数 1.5 秒の生体用アンプを介して心電図を検出し、データレコーダに記録した。

② 眼球運動

運転員の両眼外側約10mmの位置に貼付した2個の電極より水平方向の眼球運動成分を、左眼眉上と眼直下に貼付した2個の電極より垂直方向の眼球成分をそれぞれ時定数3秒の生体用直流アンプを介してデータレコーダに記録した。

③ レバー操作

操作レバーの動きは、レバーに取り付けたリミットスイッチからパルス信号で検出した。

④ 運転員の行動記録

運転員の側頭上約30cmの位置に小型ITVカメラを設置し、運転員の頭部、操作レバー、バケット等の動きをビデオテープに録画し、更に時刻表示(1/10秒)と作業状況を同時記録した。

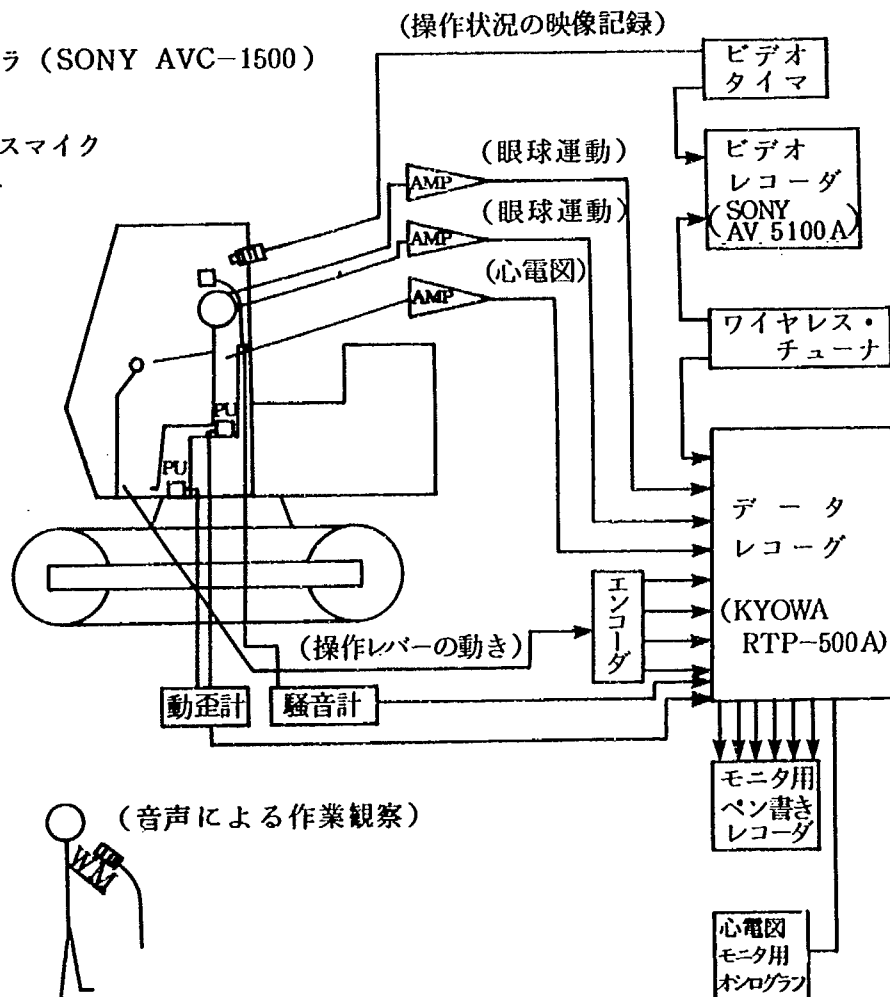
〔記号説明〕

ITV: ITVカメラ (SONY AVC-1500)

AMP: 増幅器

WM: ワイヤレスマイク

PU: 加速度計



図－7.1. 計測系統図

7.1.3 実験結果と考察

(1) 心拍数

心拍数の増加は、作業の軽重や疲労度の判定に用いられる。図-7.2 に作業経過時間と心拍数の変化を示す。

計測は、作業開始の1～2分前から作業後約1分まで連続して記録し、1分ごとに集計した。

結果から次のことが言える。

- ① 通常成人の安静時の心拍数は60～70拍/分と言われているのに対して、実験前でも高い値を示している。これは実験に対する不安によるものと推察される。
- ② 6本のレバーと4本のレバーを比較すると、絶対値及び途中の変化においても明確な差は特に見い出せない。
- ③ 運転員Bは運転員Aより変化が激しい等、運転員の個性や機種及び測定慣れによる心拍数の変化が認められた。

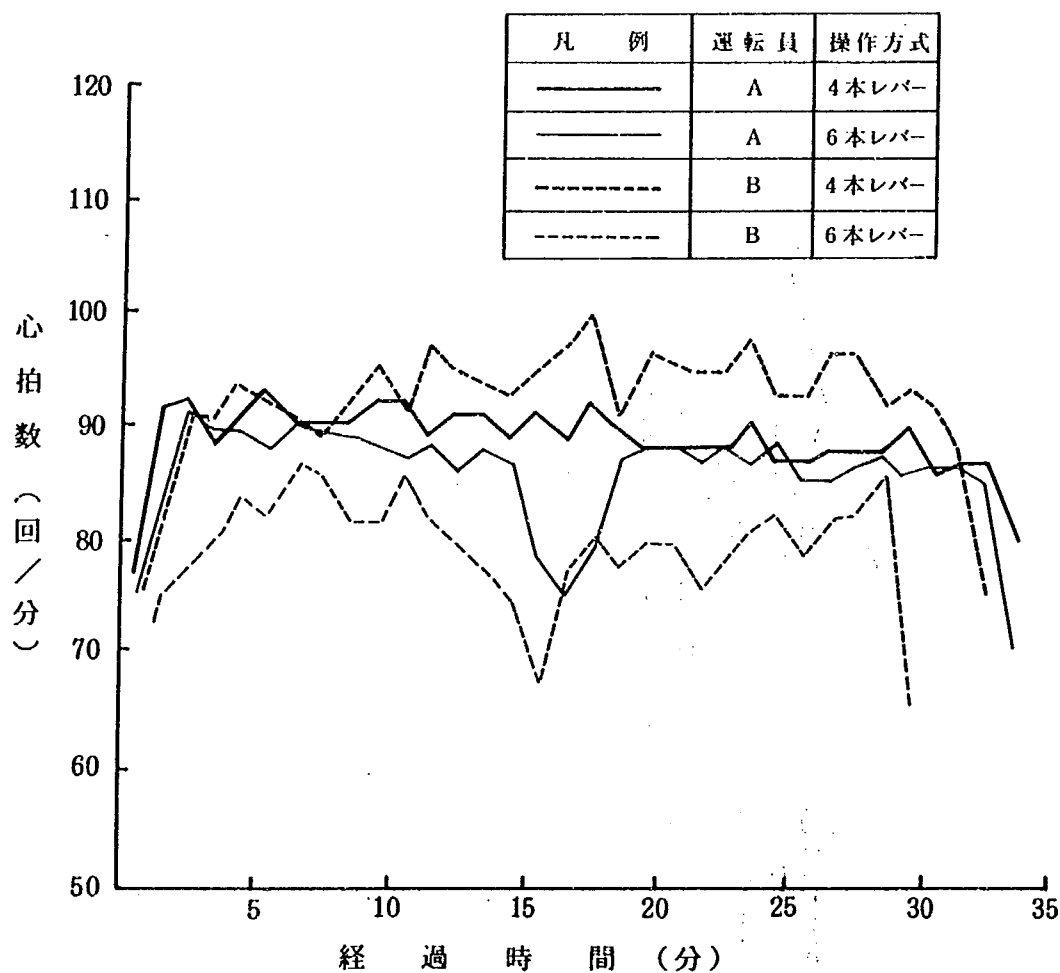


図-7.2. 作業経過時間と心拍数

(2) 眼球運動

作業中の運転員の注視挙動を眼球運動から分析した。

眼球運動には一般に次の2つの運動形態がある。

- (I) 追従運動：移動中の対象物を目で追いかけて静止網膜像を得るための眼球運動で、その運動速度（角速度）は顔が固定されていれば対象物の移動に伴う視界の変化に近くなる。
- (II) 飛越運動：1つの注視点から他の注視点に移る際の高速度運動で、その角速度は $5^{\circ}/30\text{m sec} \sim 40^{\circ}/100\text{m sec}$ 位と言われ、この運動中には対象物の視認は不可能と言われている。

今回は、この大振幅の飛越運動の水平方向成分に注目し（垂直方向成分は、水平方向成分と同期して発生することが多い）、作業中に発生した振幅 20° （水平方向成分）以上の飛越運動の間隔時間を100msec単位で計測し、度数分布とした。この結果の一例を図-7.3に示す。

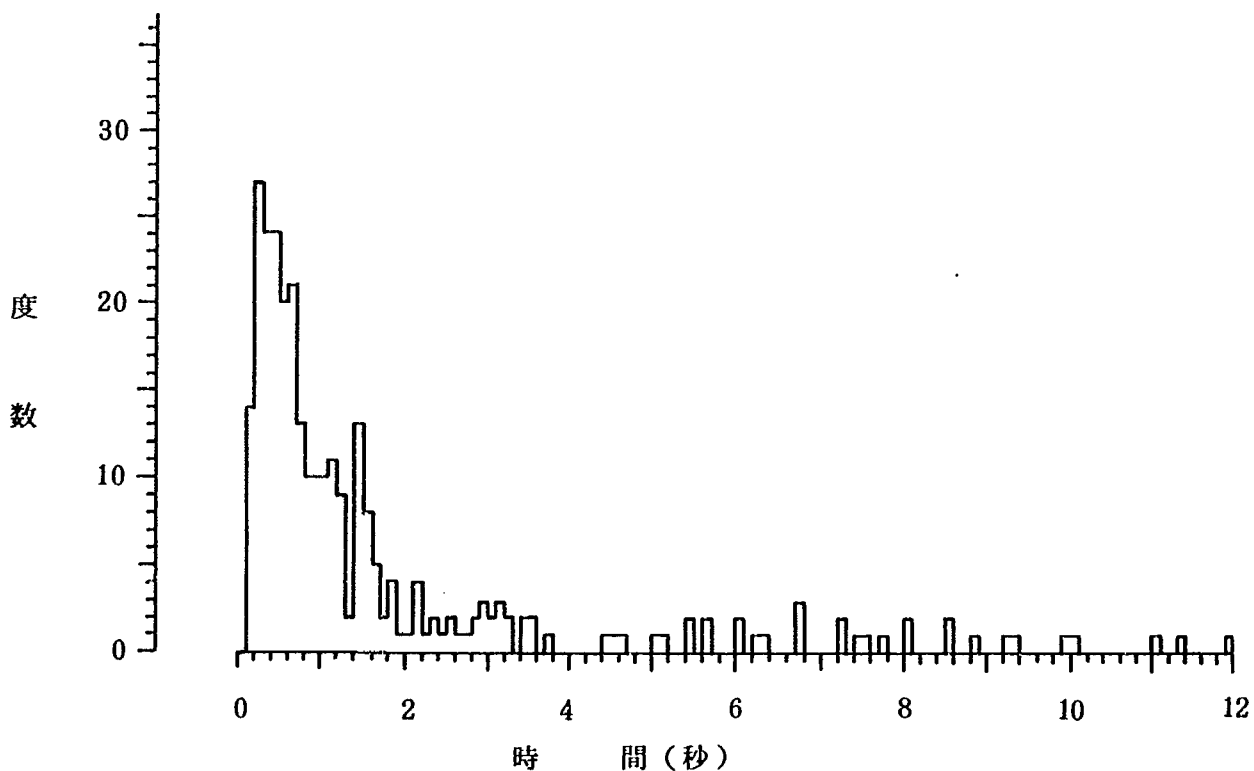


図-7.3. 眼電図の飛越運動分布

これらの眼球運動をレバー操作記録と対応させて考えると、一般に次のことが推察される。

- ① 全体を通じて0.3～0.4秒位のところに分布のピークが見られる。通常、対象物を視認するためには最低0.2～0.3秒間網膜像を静止させる必要があるとされている。このことから、注視点が移され必要な情報が得られるとすぐ元の方向（本実験ではバケット周辺）へ注視点をもどすという眼球運動が一番高頻度で繰り返されたことを示している。また、これらの眼球運動は、旋回時に出現することからバケットとバケットの移動目的地との位置関係の確認のためのものと推定される。
- ② 全体を通じてサイクルタイムの短縮にともない間隔時間の長い（30～40秒以上）ものの出現頻度が減少している。このことは、掘削時間の短縮によって視線がバケット周辺に固定されている時間が短

縮されることに対応するものと理解される。同様に、間隔時間20～30秒近辺に分布の集中が見られるのは、掘削作業時間に対応するものと思われる。

③ 間隔時間10秒以下の眼球運動は、旋回運動及び積込地点におけるバケットのダンプ作業に対応するものと考えられる。

④ 運動員Aの場合、実験試行を追う毎に間隔時間1～1.5秒の飛越運動の出現頻度の減少が見られ、それ以下の間隔時間のものの出現頻度が増大している。このことは積込作業の習熟にともなう変化と考えられる。

以上から油圧ショベルの運転操作に関する眼球運動の特徴として、掘削作業中には視線はほとんどバケット周辺に当てられ、振動の大きい眼球運動は見られない。さらに、積込作業にともなう旋回時にバケット位置と積込地点（ダンプトラック荷台）との間の視線が数回往復している。その時の眼球運動は飛越運動であり、その回転角は20°以上におよぶ場合がほとんどである。

(3) レバーの同時操作

油圧ショベルの操作は、レバーによるものが大部分を占めている。このうち走行関係を除いて、ブーム、アーム、バケット、旋回の4機能があり、作動方向を組合せると8通りの操作を有し、レバーの選択操作により所定の作業（掘削、旋回、排出）を行なっている。

掘削作業は、主としてバケット操作によって行なわれるが、本実験では掘削地盤が非常に硬いためバケットレバーの操作回数が多く記録されている。

図-7.4は、作業中の1サイクルを抽出し、レバーの操作をパルス信号で記録したもので、(イ)は4機構のうち2機構が同時に操作された時間の（1サイクルに対する）比率を示したものであり、運転員は作業効率を良くするため、複数レバーを同時に操作していることがわかる。

表-7.3は、レバーの同時操作の時間比率及びレバーの持ち換え回数をまとめたものである。

初めに、レバー重複操作に関しては、6本レバー方式では2つ以上のレバーが同時に操作されている時間比が35～50%位であるが、複合レバー方式では70%近い高率を示し、4つの可動部の操作が同時に出現することも見られる。

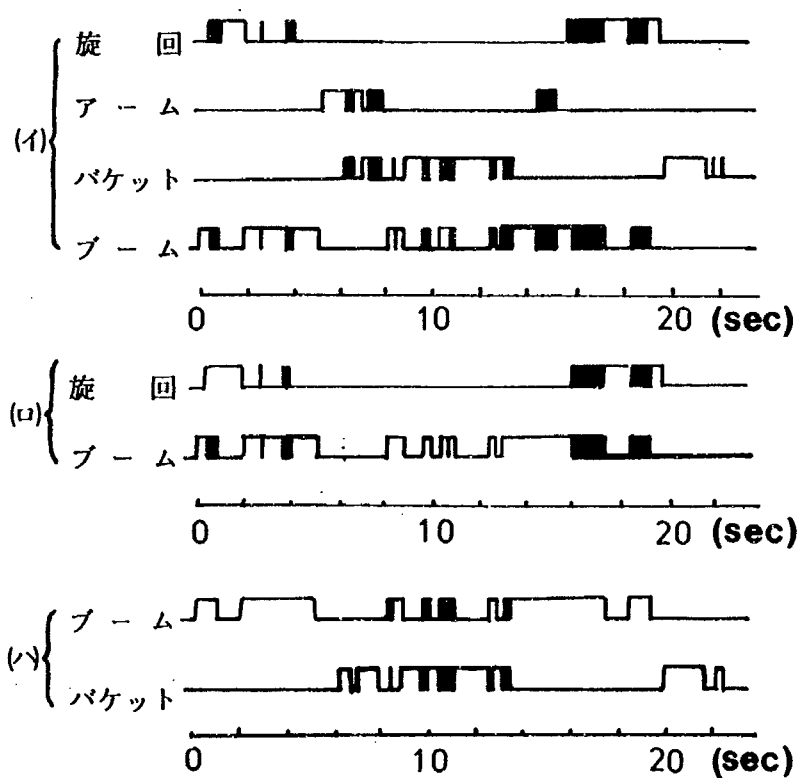
次に、レバーの持ち換えに関しては6本レバー方式の場合、各操作レバーと左右の手の対応関係は運転員により異なる対応を示した。運転員Cは、旋回、アームのレバーは通常左手で操作されている。バケットのレバーは通常右手で操作されるが、ブームのレバーと同時に操作されるときは左手で操作される。したがって左手のレバー持ち換え回数が右手のそれより多くなる。一方運転員Dは、旋回、アームのレバーは左手でバケット、ブームのレバーは右手で必ず操作されている。左手については、旋回とアームの操作が交互に繰り返されるので、1サイクル中の左手のレバー持ち換え回数は2回が基本となる。右手はブーム上げの途中でバケット角の修正がある場合は6回、修正のない場合は4回が基本となっている。

これに対して、複合4本レバー方式では、レバーと手の対応は固定しており、レバーから手を離すことはほとんどないことがわかる。

(4) 作業サイクルタイム

表一 7.3 同時操作レバーの時間比率

対象機種	運転員	同時操作 レバー数	時間比率	レバー持換 回数
UH-04	C	0	6.7 %	右手 4
		1	57.5	左手 6
		2	35.8	
UH-04	C	0	—	右手 3
		1	47.9	左手 5
		2	52.1	
UH-04	D	0	3.9	右手 5
		1	55.3	左手 2
		2	40.8	
MS-110	D	0	2.0	—
		1	29.2	—
		2	57.9	
		3	10.9	
		4	—	
MS-110	C	0	0.7	—
		1	29.1	—
		2	45.5	
		3	19.4	
		4	5.2	



図一 7.4. レバー操作

表一 7.4 にサイクルタイム，作業時間等を取りまとめたものを示す。

表より次のことが言える。

表一 7.4 作業時間と作業量

実験 番号	対 象 機 種	運転員	実作業 時 間	平均サイ クル・タ イム	サイクル 当りの平 均積込量	分当り の平均 作業量	総作業量	備考
1	6 レバー 0.3 m ³ (UH 03)	A	27分12秒	35.5 秒	0.220 m ³	0.371 m ³	10.1 m ³	
2	"	B	24分07秒	28.4	0.253	0.535	12.9	
3	"	A	27分38秒	33.2	0.218	0.395	10.9	
4	"	B	20分44秒	25.9	0.219	0.507	10.5	
5	4 レバー 0.2 m ³ (MS 20)	A	31分01秒	40.4	0.067	0.099	3.1	
6	"	B	30分50秒	38.5	0.154	0.240	7.4	
7	"	A	31分22秒	41.8	0.093	0.134	4.2	
8	"	B	27分32秒	27.5	0.148	0.323	8.9	
9	"	A	31分21秒	35.5	0.100	0.169	5.3	
10	6 レバー 0.3 m ³ (UH 04)	C	25分04秒	35.0	0.33	0.57	14.4	
11	"	D	26分01秒	43.4	0.43	0.59	15.4	
12	"	C	17分13秒	27.2	0.47	1.05	18.0	
13	"	D	21分50秒	34.5	0.46	0.79	17.3	
14	"	D	23分34秒	32.1	0.36	0.67	15.8	
15	4 レバー 0.3 m ³ (MS-110)	C	24分48秒	38.2	0.33	0.52	13.0	
16	"	D	17分29秒	23.8	0.43	1.08	18.9	
17	"	C	21分01秒	33.2	0.52	0.98	19.6	
18	"	D	17分10秒	23.4	0.33	0.83	14.3	

① 運転員 A，B 間にかんりの技術差が見られる。対象機別に見ると，6 本レバーの場合，サイクル当りの積込量には大差がないが，サイクルタイムに大きなバラツキが見られる。また，4 本レバーの場合，サイクルタイムにも若干のバラツキが見られるばかりでなく，サイクル当りの平均積込量に 2 倍以上のバラツキが見られる。

② 6 本レバーの対象機については，運転員 A，B とも大きな練習効果は見られないが，4 本レバーについては両者とも試行毎に作業速度の上昇が見られ，練習効果が明らかに現われている。

③ 6 本レバー (UH04) と 4 本レバー (MS-110) の 2 機種を比較すると，サイクル当りの平均積込量は同じであるが，4 本レバーは，平均サイクルタイムは短く，分当りの平均作業量も多くなって

いる。

7.2 油圧ショベルの振動・騒音の実態調査

7.2.1 実験概要

油圧ショベルの運転員の生体負担と作業環境の実態を把握するため、作業中の生体現象の変化と騒音・振動などの作業環境に関する項目の測定を行なった。また作業は、ダンプトラック（2t）、ブルドーザ（10t）及びモータグレーダの組合せ作業で、油圧ショベルは主に旧舗装盤の撤去及び積込みを行ったものである。

7.2.2 測定項目及び測定方法

(1) 労働強度

運転員の労働強度をエネルギー代謝量から求めた。

運転員の呼出する呼気をマスク、蛇管を介して一定時間内の全量をダグラスバックに採集する。この呼気量を測定し、サンプル中の酸素、炭酸ガス濃度を小型呼気ガス分析器で分析した。

(2) 疲労検査

運転作業による疲労負担の程度を作業前後にセクター式フリッカー測定器によりフリッカー値を測定した。また、心電図による心拍数の変化、自覚症なども参考にした。

(3) 騒音測定

作業中の運転員の耳元騒音をJIS(第1種)「油圧ショベルの騒音測定法」に基づき開窓状態で測定した。

(4) 振動測定

振動は、運転員シートの座面上に加速度変換器を固定し、作業中の上下振動について測定した。

7.2.3 実験結果と考察

(1) 運転員の労働強度

人間の労働は、精神的労働と肉体的労働の組合せで、いずれかに片寄っていることが多い。肉体労働はエネルギー代謝が重要視され、一般にエネルギー代謝率（R, M, R₀）を次式によって求めている。

$$\text{エネルギー代謝率} = \frac{W - R}{B}$$

(R, M, R₀)

ここで、

W：作業時間内のO₂消費量

R：単位時間当りの安静時O₂消費量×作業時間

B：単位時間当りの基礎代謝時O₂消費量×作業時間

である。

この値は、筋労働の強度に対応する値であって疲労と深い関係を持ち、労働者の1日の労働負担量の規制や労働の合理化を考える場合の目安となる。油圧ショベルの運転におけるこれらの実態を知るため、作業中の任意に採取した15例の平均から、エネルギー代謝率（R, M, R₀）= 1.2を得た。

表-7.5に主な建設機械によるエネルギー代謝率の値を示す。

この表から、グレーダの運転が最も筋負担が大きく、油圧ショベルによる作業は一般自動車とダンプトラックの中間に位置し、特に労働強度の高い作業とは言えない。

表-7.5 建設機械のエネルギー代謝率

機 種	エネルギー代謝率	姿 勢	摘 要	(参 考)
一般トラック	1.0	座	時速 30km/h	0~1 最軽作業
油圧ショベル	1.2	〃	掘削積込	1~2 軽作業
ダンプトラック	1.3	〃	時速 30km/h	2~4 中作業
ブルドーザ	1.8	〃	砂利かき上げ	4~7 重作業
モータグレーダ	2.9	立	毎分 100 m	7~ 最重作業

図7.5は、労働強度と持続時間との関係を示したものである。この図から、油圧ショベルの運転について労働負担と余裕率について推定するとエネルギー代謝率=1.2の場合、持続可能限界線に対し、1時間で約50%、8時間連続で約70%の負担度となる。エネルギー代謝率の最も大きいグレーダでは5時間が限界とされ、これに比べると油圧ショベルは労働負担の小さい機械と言える。

(2) 疲労の実態

油圧ショベルの運転員の疲労の程度と特異性を調べるため、フリッカー値と自覚症を中心とした疲労検査を行なった。

① フリッカー値

フリッカー値は脳機能の緊張度の一指標としてその変化を中枢疲労の判定に用いている。一般に疲労すると、フリッカー値はマイナス側に変動するが、その好ましい限界（睡眠等により回復可能）は、表-7.6に示す値と言われている。

今、建設機械の運転による主なもののフリッカー値を表7.7に示した。この中では、ブルドーザの3%が大きく、スクレーパと油圧ショベルは同じ値である。この数値はかなり個人差が出るので一概に結論づけられないが、この数値を見る限り油圧ショベルによる疲労の程度は比較的低いものと考えられる。

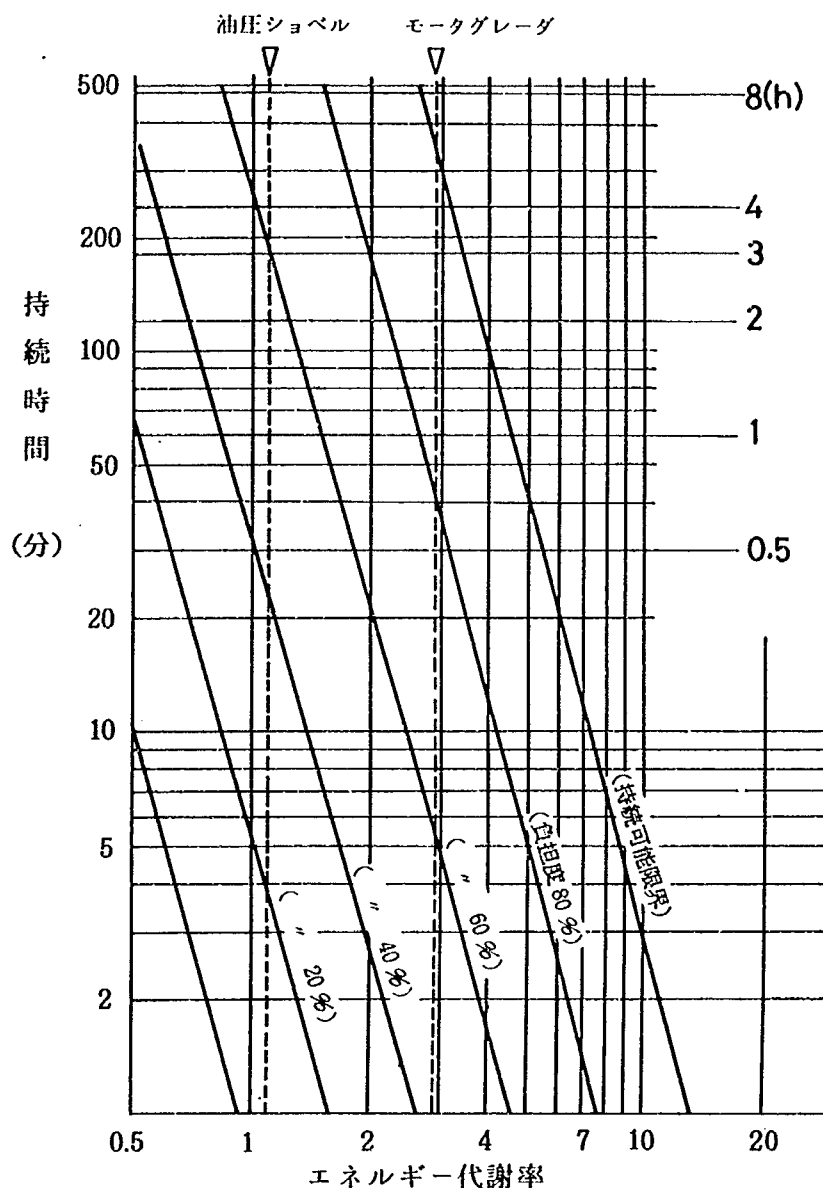
② 自覚症

疲労の特異性を調べる方法として30項目からなる質問表（日本産業衛生学会）を用いた結果では、油圧ショベルにおいては、作業の単純さと思われる「ねむけ」「だるさ」などを神経的症状と運転姿勢が原因と思われる肉体的症状を示すものが多い。また、注意散漫などを含む作業意欲の減退を示す。精神的なものは少なく、ショベル系特有の常にとまなう緊張感が大きく影響しているものと思われる。

(3) 騒音の実態と運転員への影響

騒音環境は、作業能率の低下や疲労にも関係する。

特に作業現場の活動にともなうはなはだしい騒音は、人間に与える影響が非常に大きく職業難聴の原



図－ 7. 5. 労働強度と持続時間

表－ 7. 6 フリッカー値の好ましい限界

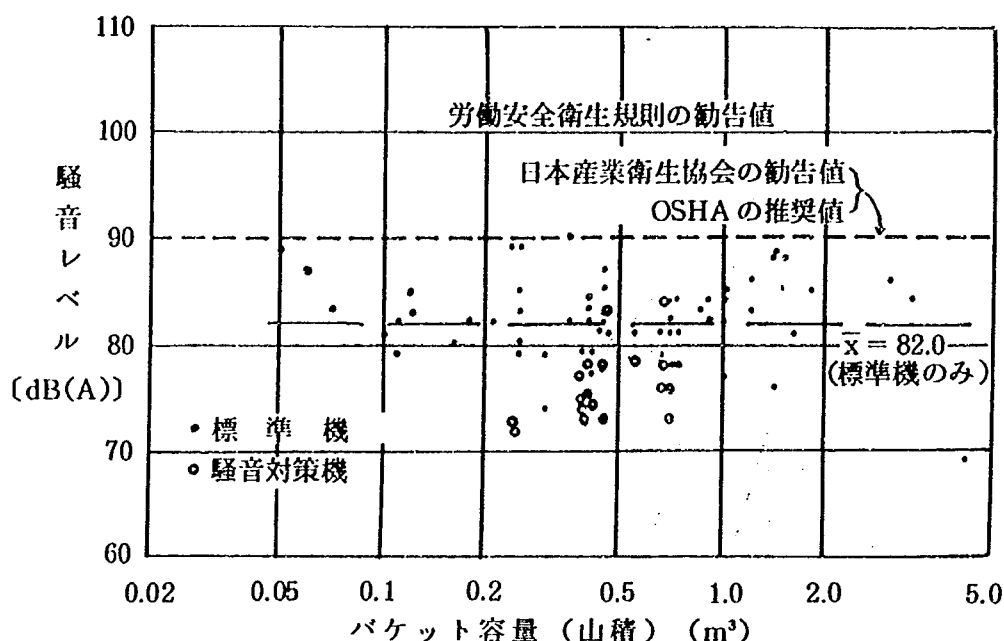
労働の種類	日間変動	週間変動
筋的労働	- 10%	- 3%
中間労働	- 7%	- 3%
精神労働	- 5%	- 3%

表－ 7. 7 建設機械のフリッカー値

	日間	摘要
ブルドーザ	- 3%	5 人の平均
スクレーバ	- 2%	5 人の平均
油圧ショベル	- 2%	2 人の平均

因として重要視されている。

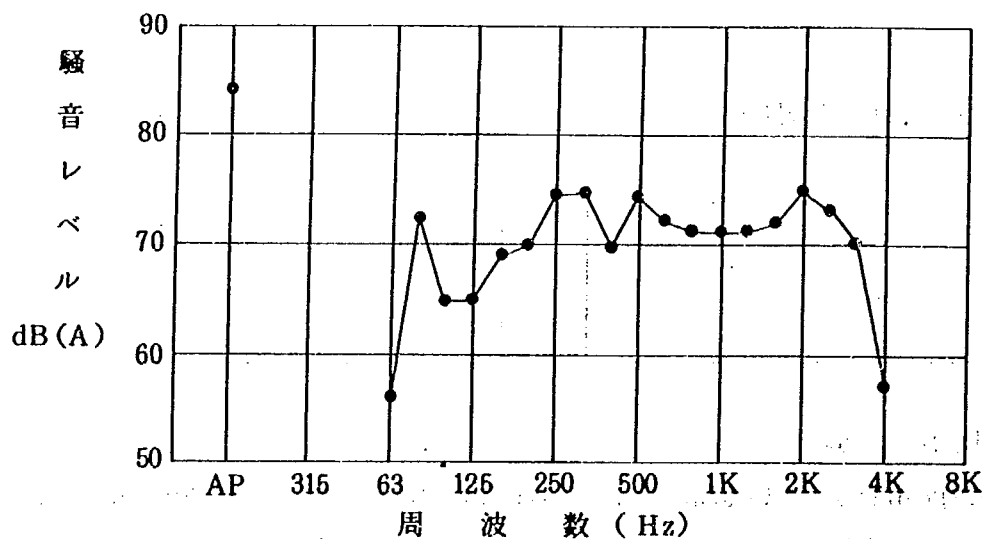
図－ 7. 6 に国内で市販されている油圧ショベルの耳元における騒音レベルと現行の勧告基準を示した。特に近年登場した騒音対策形油圧ショベルにおいては、騒音が非常に低く押さえられていることがわかる。



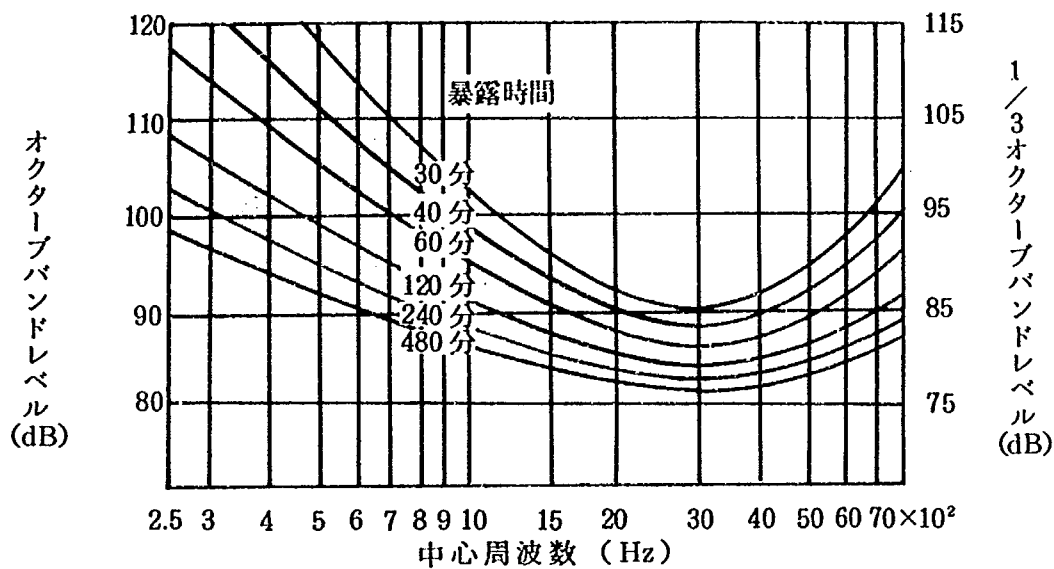
図一 7.6. 無負荷エンジン最高回転速度時の運転員耳元騒音レベル（扉，窓全閉）
（出典：建設の機械化 81 年 10 月）

図 7.7 に油圧ショベルの耳元騒音の周波数分析結果の一例を示す。また、図一 7.8 に聴力障害の限度曲線（日本産業衛生協会案）を示す。

油圧ショベルの騒音源は、主にエンジン音、ポンプ音及びリリーフ弁から発生する音であるが、キャブによる減衰効果があり、更にエンジンの搭載位置の関係から他の機種よりも騒音レベルは低く、また、労働安全衛生規則、日本産業衛生協会の勧告値（前者：100 dB(A)、後者：90 dB(A)）よりも低い値を示している。しかし ISO の提案する聴力障害発生リスクが 0 となるレベル（80 dB(A)）よりは高い機種もあり、今後も、騒音対策に関する研究が望まれるところである。



図一 7.7. 油圧ショベルの騒音周波数分析



図一 7. 8. 騒音の許容基準
(日本産業衛生協会案)

(4) 振動の実態と運転員への影響

建設機械の振動は、その作業の種類と負荷の大小により異なるが、運転員は他の車輛に比べて激しい振動を受けている。

図一 7. 9 は主な建設機械の作業時の上下振動加速度レベルについて示したものである。(JISC1510 による振動レベルではないことに注意されたい。)

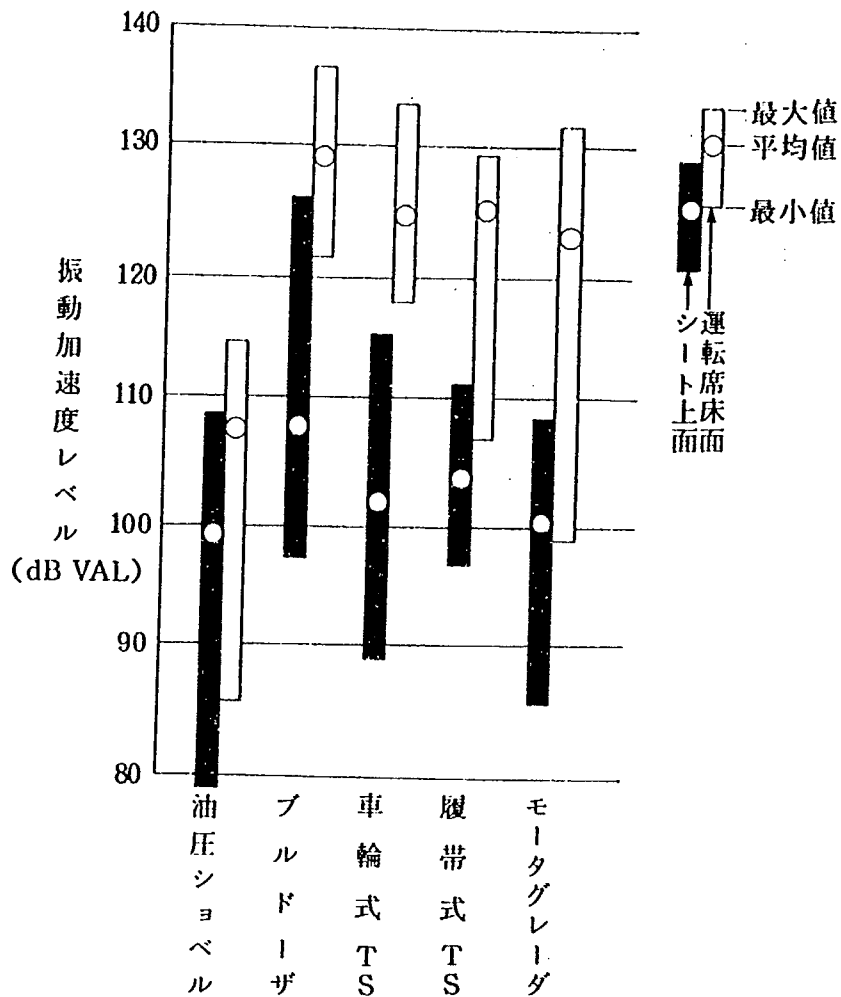
図中左側の破線部分がシート上の振動、右側が運転席床面の振動を示している。

床面振動では、ブルドーザ、履带式トラクタショベルなど履帯走行するものや高速走行するものが大きな値を示している。一方、油圧ショベルのような作業中ほとんど走行を行わない機種では、エンジン振動とバケットの衝撃振動によるもので自から振動レベルも低い。また、最近は防振型シートの開発が行なわれ、その性能も著しく向上しており、特にトラクタ系についてはその効果が大きい。

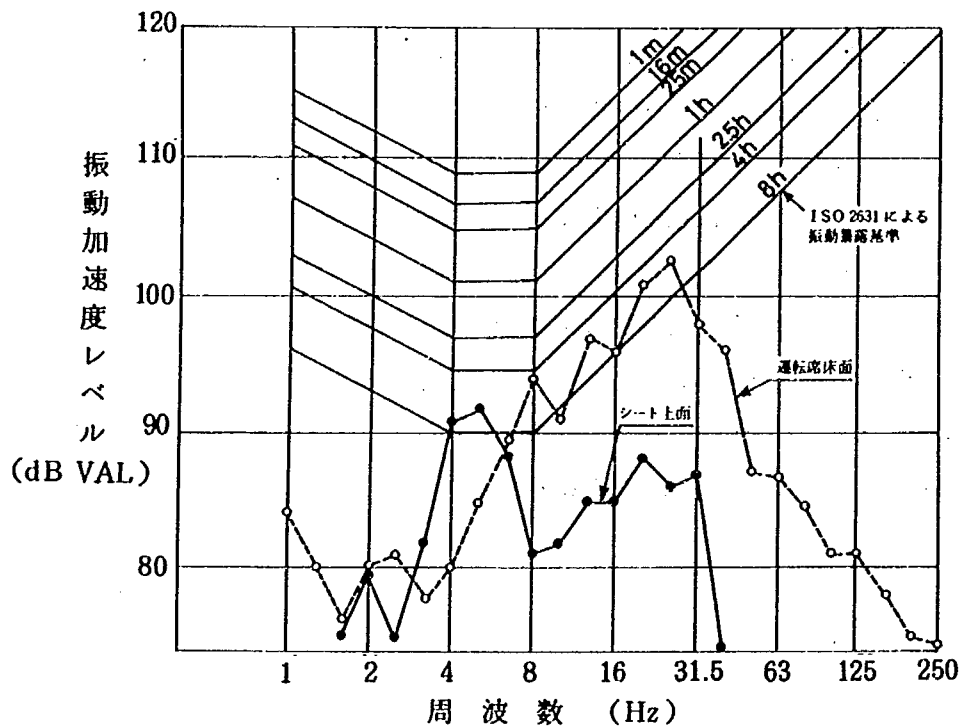
シート上の振動は、直接人間に影響をおよぼすものであるが、機械的振動が人体生理にどのような影響を与えているかについての研究例は比較的少なく、特に疲労で問題となるような比較的弱い振動刺激が長時間全身に加えられるような場合の効果やその限度については更に少ない。

図一 7.10 は、油圧ショベルの振動周波数分析図に ISO による推薦基準を入れたものである。

図に示すように作業中の振動は人体にとって最も苛酷と言われている 5 Hz 前後にピーク値が見られる。しかも防振型シートでもこの範囲での効果は薄いと言われ、更にシートの改善も必要であろう。また、この基準に照らし合せ、少なくとも 8 時間値を超える上下方向の振動は防除するよう努めなければならない。



図一 7. 9. 建設機械の作業時の振動加速度レベル



図一 7. 10. 油圧ショベルの振動周波数分析（上下方向振動加速度）

8. まとめ

本研究では、油圧ショベルの安全評価手法を見い出すことを目的として、安全項目、評価項目を抽出し、各項目毎の関連法規、規格等を調査、とりまとめると共に、さらに試験、検討が必要であると認められる項目に関しては、室内実験等による検討を実施した。

安全評価項目に関しては、操作性、居住性、機械的機能、乗員保護、作業方法の分類に従って検討を行った。その結果、レバー、ペダルの操作方式、操作力、運転席上の振動評価に関しては、さらに試験、検討が必要であることが見い出された。

まず、レバー、ペダルの操作方式に関しては、油圧ショベルメーカー各社間で統一のとれていない諸操作方式の中から代表的な4種類の操作方式を選び出し、それらに関する模擬運転台を用いた室内実験の結果、レバー数は少ない程誤操作の発生が少なくなり、ペダルの併用は大きな個人差を生ずること等が確認された。

さらに、上述の試験で用いた4種類の操作方式のうちで、油圧ショベルの操作方式として比較的適していると判断される複合4本レバー方式を採用した模擬運転台を用いて、レバーの最適操作力を求めた。その結果、油圧ショベルのレバー最適操作力は、2.5～3.4kgfの間にあることが判明した。

また、運転席上の振動評価に関しては、正弦波と実機からのランダム波による振動台を用いた室内試験により垂直8Hz、水平2Hzでの加振時に振動被害が最も大きく現われること、正弦波、ランダム波の違いによる生体への影響に大差がないこと等が判明した。このことは、ISO2631に示される振動評価方法を、油圧ショベル運転席の振動評価に適用することに無理がないことを示しているといえる。

そのほか、油圧ショベルによる掘削—旋回—積込作業時のレバー操作、作業シーケンス、運転員の生体負担、運転室環境の実態も把握し、安全評価項目検討の一助とした。

あ　と　が　き

本報告書は、昭和49年度から8ヶ年間で実施した「建設機械の安全性向上に関する研究」の研究成果についてまとめたものである。

このうち、油圧ショベルの安全評価項目に係る法令、規格等は、今後さらに改訂、拡充の方向にあり、これらの動向には終始着目してゆく必要があるだろう。

また、本研究の室内試験等から得られた、レバー、ペダル操作方式、操作力、運転員の振動評価に関する結論は数の限られたデータより導かれたものであり、今後、同種の研究が実施され、さらにデータが蓄積されることが望まれよう。

最後に、室内試験、現場実験に多大なご協力をいただいた、財労働科学研究所、さらには、模擬運転台あるいは実機に搭乗していただいた運転員の方々に、深く謝意を表わすものである。

参 考 文 献

- (1) 建設機械の安全施工に関する調査試験報告書 土木研究所資料 Na 1707
- (2) ブルドーザの操作性に関する研究 土木研究所資料 Na 697, Na 736, Na 882
- (3) 油圧ショベルのレバー配置に関する一考察 建設の機械化 Na 323 (1977)
- (4) 油圧ショベルの操作性に関する一考察 土木技術資料 53年10月
- (5) 建設機械の運転疲労と操従装置の適正化 建設機械 1980年12月
- (6) 人間工学ハンドブック 金原出版
- (7) 佐 藤 方 彦 人間工学概論 光生館
- (8) 建設機械の操作性に関する調査試験報告書 (第1～4報)
建設省四国技術事務所 昭和50～53年度
- (9) 岡 田 晃, 中 村 円 生 騒音, 振動・衝撃の影響と対策 (㈱人間と技術社)
- (10) 大 島 正 光 疲労の研究 東京同文書院

参 考 資 料

参考資料 1 油圧ショベルの最適レバー操作方式に関する実験結果

- 〃 2 油圧ショベルの最適レバー操作力に関する実験結果
- 〃 3 運転室における振動騒音評価に関する基礎試験
(正弦波振動による試験) 結果の例
- 〃 4 運転室における振動騒音評価に関する基礎試験
(実機振動, 実機騒音による試験) 結果の例
- 〃 5 運転員の行動分析と油圧ショベルの振動騒音の実態調査結果の例

参 考 資 料 1

油圧ショベルの最適レバー操作方式に関する実験結果

操作方式Ⅰ（6本レバー）における測定結果一覧表

運 転 員			A	B	C	D	E	平 均
平均操作回数（回／分）			72.5	73.0	47.0	45.8	69.0	61.5
誤 操 作 数（回）			9	8	11	9	13	10.0
誤 操 作 率（％）			0.41	0.37	0.78	0.66	0.63	0.54
フリッカ 値	作 業 前		45.2	39.8	42.7	41.9	43.5	42.6
	作 業 後		42.8	42.0	41.7	44.1	42.2	42.6
	変 動 率（％）		-5.3	+5.5	-2.3	+5.3	-3.0	0
心 拍 数	作 業 前		112	76	90	71	82	86.2
	作 業 後		116	80	97	75	81	89.8
	変 動 率（％）		+3.6	+5.3	+7.8	+5.6	-1.2	+4.2
筋電図による周波数分析 積分値（％）	作 業 前	20～40(Hz)	10.5	7.5	19.0	22.2	9.1	13.7
		40～60	36.3	31.5	25.1	28.9	32.5	30.9
		60～120	36.7	37.6	23.3	26.9	31.8	31.3
		120～240	12.1	16.2	28.5	19.2	20.9	19.4
		240～500	4.4	7.2	4.1	2.8	5.7	4.8
	作 業 後	20～40	10.7	7.3	13.6	21.5	8.7	12.4
		40～60	36.8	38.6	19.2	26.5	33.3	30.9
		60～120	36.1	33.7	34.5	24.7	38.4	33.5
		120～240	12.1	15.8	28.6	23.8	14.9	19.0
		240～500	4.3	4.6	4.1	3.5	4.7	4.2

操作方式Ⅱ（4レバー2ペダル）における測定結果一覧表

運 転 員			A	B	C	D	E	平 均
平均操作回数（回／分）			65.0	79.5	56.0	77.0	56.5	66.8
誤 操 作 数（回）			1	18	16	5	12	10.4
誤 操 作 率（％）			0.05	0.75	0.95	0.22	0.71	0.52
フリッカ 値	作 業 前		48.3	41.2	41.8	45.7	44.0	44.2
	作 業 後		43.0	40.5	42.7	44.7	43.3	42.8
	変 動 率（％）		-11.0	-1.7	+2.2	-2.2	-1.6	-3.2
心 拍 数	作 業 前		120	56	80	91	84	86.2
	作 業 後		125	58	85	92	90	90.0
	変 動 率（％）		+4.2	+3.6	+6.3	+1.1	+7.1	+4.4
筋電図による周波数分析 積分値（％）	作 業 前	20～40(Hz)	12.5	13.6	13.3	10.0	8.6	11.6
		40～60	36.5	21.1	17.9	31.5	17.7	24.9
		60～120	31.3	28.6	24.7	27.4	32.6	28.9
		120～240	15.1	29.4	36.3	25.3	34.2	28.1
		240～500	4.6	7.3	7.8	5.8	6.9	6.5
	作 業 後	20～40	10.1	12.1	13.6	10.0	9.2	11.0
		40～60	31.1	26.0	17.8	37.4	19.0	26.3
		60～120	32.8	36.0	25.0	32.6	34.2	32.1
		120～240	20.8	20.8	35.3	16.0	31.2	24.8
		240～500	5.2	5.1	8.3	4.0	6.4	5.8

操作方式Ⅲ（４本レバー）における測定結果一覧表

運 転 員			A	B	C	D	E	平 均
平均操作回数(回/分)			66.5	58.0	64.5	64.0	60.5	62.7
誤 操 作 数 (回)			11	8	7	9	9	8.8
誤 操 作 率 (%)			0.55	0.46	0.36	0.47	0.50	0.47
フリッカ 値	作 業 前		45.8	42.0	42.8	46.3	41.5	43.7
	作 業 後		43.2	40.8	42.5	43.3	40.0	42.0
	変 動 率 (%)		-5.7	-2.9	-0.7	-6.5	-3.6	-3.9
心 拍 数	作 業 前		103	61	75	99	87	85.0
	作 業 後		94	67	79	88	74	80.4
	変 動 率 (%)		-8.7	+9.8	+5.3	-11.1	-14.9	-5.4
筋電図による周波数分析 積分値(%)	作 業 前	20 ~ 40 (Hz)	12.0	10.4	14.6	11.6	20.0	13.7
		40 ~ 60	25.3	20.9	18.1	24.3	27.9	23.3
		60 ~ 120	28.0	31.4	21.1	30.4	30.2	28.2
		120 ~ 240	28.1	30.9	38.5	27.3	18.7	28.7
		240 ~ 500	6.6	6.4	7.7	6.4	3.2	6.0
	作 業 後	20 ~ 40	10.9	10.9	10.5	11.9	11.4	11.1
		40 ~ 60	23.5	18.5	15.8	27.0	29.4	22.8
		60 ~ 120	29.2	28.8	22.6	32.1	34.6	29.5
		120 ~ 240	30.4	33.0	41.9	23.8	20.6	29.9
		240 ~ 500	6.0	8.8	9.2	5.2	4.0	6.6

操作方式Ⅳ（２レバー２ペダル）における測定結果一覧表

運 転 員			A	B	C	D	E	平 均
平均操作回数(回/分)			71.0	47.5	57.0	57.0	67.5	60.0
誤 操 作 数 (回)			1	1	11	5	7	5.0
誤 操 作 率 (%)			0.05	0.07	0.64	0.29	0.35	0.28
フリッカ 値	作 業 前		44.3	40.5	44.2	46.3	40.5	43.2
	作 業 後		42.8	39.5	44.0	43.3	39.8	41.9
	変 動 率 (%)		-3.4	-2.5	-0.5	-6.5	-1.7	-3.0
心 拍 数	作 業 前		102	68	76	89	86	84.2
	作 業 後		102	66	68	82	73	78.2
	変 動 率 (%)		0	-2.9	-10.5	-7.9	-15.1	-7.1
筋電図による周波数分析 積分値(%)	作 業 前	20 ~ 40 (Hz)	12.9	10.9	26.9	20.6	29.7	20.2
		40 ~ 60	19.0	15.6	20.9	21.9	23.9	20.3
		60 ~ 120	28.8	23.6	19.6	22.4	22.7	23.4
		120 ~ 240	32.9	41.7	24.5	29.0	19.8	29.6
		240 ~ 500	6.4	8.2	8.1	6.1	3.9	6.5
	作 業 後	20 ~ 40	9.4	10.1	14.8	12.6	14.3	12.2
		40 ~ 60	16.4	13.4	26.8	22.3	23.6	20.5
		60 ~ 120	27.5	22.4	25.4	26.9	28.5	26.1
		120 ~ 240	39.3	44.8	26.8	30.4	27.9	33.8
		240 ~ 500	7.4	9.3	6.2	7.8	5.7	7.3

実機による模擬作業時のフリッカー値の変動率

項目	操作方式 運転員	I (6 レバー)						II (4 レバー 2 ペダル)						III (4 レバー)					
		A	B	C	D	E	平均	A	B	C	D	E	平均	A	B	C	D	E	平均
作業前		39.7	40.3	46.2	44.7	54.8	43.3	41.2	41.5	35.7	45.8	39.3	40.7	44.8	46.3	41.3	41.2	44.0	43.5
作業後		39.2	39.5	42.0	42.7	44.5	41.6	38.8	39.8	32.8	44.0	40.5	39.2	41.8	45.5	40.7	41.3	42.7	42.4
変動率 (%)		-1.3	-2.0	-9.1	-4.5	-2.8	-3.9	-5.8	-4.1	-8.1	-3.9	+3.1	-3.7	-6.7	-1.7	-1.5	+0.2	-3.0	-2.5

No. _____ 自覚症状しらべ (日本産業衛生学会産業疲労研究会撰)

なまえ _____ 午前 _____ 午後 _____ 時 _____ 分頃記入 今日の勤務 _____
年 _____ 月 _____ 日

いまのあなたの状態について、おききします。

つぎのようなことが (あったら ○) のいずれかを, □ のなかに必ずつけて下さい。
ない場合には ×

A 群

1	頭がおもい	
2	全身がだるい	
3	足がだるい	
4	あくびがでる	
5	頭がぼんやりする	
6	ねむい	
7	目がつかれる	
8	動作がぎごちない	
9	足もとがたよりない	
10	横になりたい	

B 群

11	考えがまとまらない	
12	話をするのがいやになる	
13	いらいらする	
14	気がちる	
15	物事に熱心になれない	
16	ちょっとしたことが思いだせない	
17	することに間違いが多くなる	
18	物事が気にかかる	
19	きちんとしていられない	
20	根気がなくなる	

C 群

21	頭がいたい	
22	肩がこる	
23	腰がいたい	
24	いき苦しい	
25	口がかわく	
26	声がかすれる	
27	めまいがする	
28	まぶたや筋肉がピクピクする	
29	手足がふるえる	
30	気分がわるい	

参 考 資 料 2

油圧ショベル最適レバー操作力に関する実験結果

© 2007 The Authors
Journal compilation © 2007 Blackwell Publishing Ltd

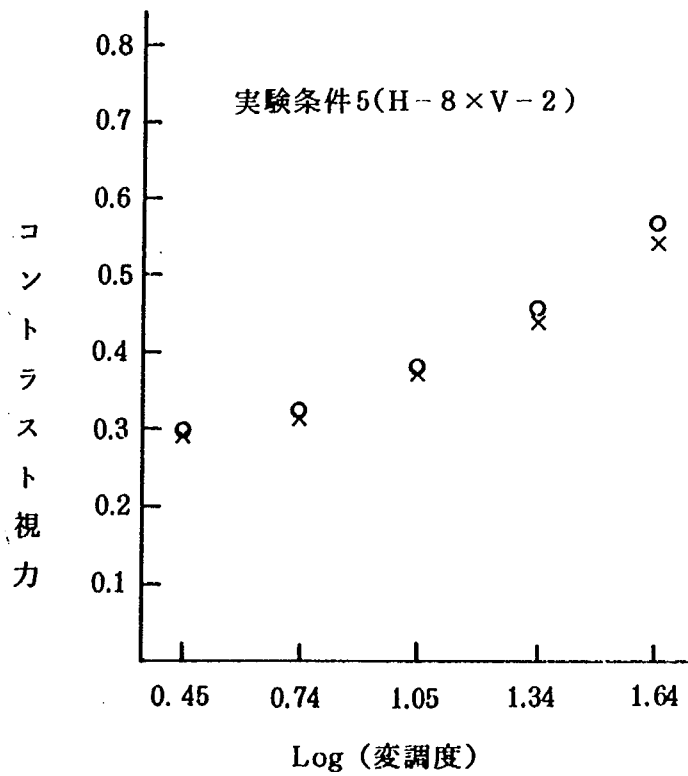
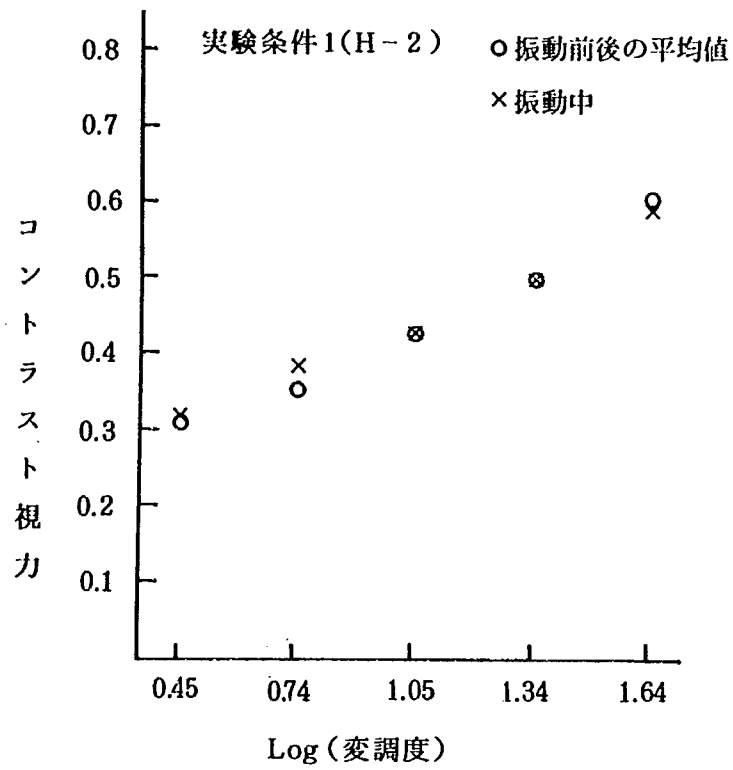
各操作力における測定結果一覧表

項 目	操作力 (kgf) 運転員	1. 5				2. 5				3. 4				4. 8			
		A	B	C	平均	A	B	C	平均	A	B	C	平均	A	B	C	平均
操 作 回 数 (回/分)		171	170	165	168	192	175	176	181	172	153	166	164	168	177	158	168
誤 操 作 率 (%)		0.52	0.26	0.13	0.30	0.07	0.11	0.04	0.07	0.09	0.10	0.07	0.09	0.19	0.04	0.06	0.10
反 応 時 間 (m sec)		388	317	333	346	368	297	368	344	346	329	359	344	397	401	386	395
心 拍 数 の 増 加 率 (%)		+2.1	-3.8	+2.1	+0.1	+7.9	+5.3	+4.6	+5.9	+22.5	+8.1	+12.0	+14.2	+11.3	+13.7	+30.7	+18.6

参 考 資 料 3

運転室における振動騒音評価に関する基礎試験（正弦波振動による試験）結果の例

コントラスト視力測定結果の例



心 拍 数 の 変 動

実験条件	運 転 員	負 荷 前 最小値	振 動 負 荷 時		負 荷 後 最小値
			最大値	最小値	
1 (H-2)	A	72	94	79	76
	B	83	86	83	82
	C	75	84	74	64
	D	72	98	80	72
	平 均	75. 5	85. 5	79. 0	73. 5
2 (V-2)	A	72	105	74	71
	B	77	85	74	72
	C	72	83	73	69
	D	66	83	71	65
	平 均	71. 3	89. 0	73. 0	69. 3
3 (H-2×V-8)	A	82	95	84	79
	B	82	91	87	80
	C	65	75	69	61
	D	73	88	80	73
	平 均	75. 5	87. 3	80. 0	73. 3
4 (無負荷)	A	80	88	78	77
	B	77	82	73	72
	C	85	94	86	80
	D	79	90	82	79
	平 均	80. 3	88. 5	79. 8	77. 0
5 (H-8×V-2)	A	72	84	77	72
	B	88	93	89	88
	C	69	79	71	69
	D	72	83	76	69
	平 均	75. 3	84. 8	78. 3	74. 5
6 (V-8)	A	73	84	77	72
	B	68	80	69	68
	C	81	89	76	72
	D	72	83	76	72
	平 均	73. 5	84. 0	74. 5	71. 0
7 (H-8)	A	78	88	82	79
	B	69	76	69	69
	C	76	90	82	76
	D	66	81	69	68
	平 均	72. 3	83. 8	75. 5	73. 0

レバー操作回数，エラー回数

実験条件	運転員	操作回数/秒	操 作 指 数	エ ラ ー 回 数
1 (H-2)	A	1.07	0.95	1
	B	1.44	1.08	1
	C	1.77	1.02	0
	D	1.35	0.79	3
	平 均	1.41	0.96	1.25
2 (V-2)	A	1.17	0.04	0
	B	1.48	1.11	0
	C	1.86	1.08	1
	D	1.48	0.87	0
	平 均	1.50	1.03	0.25
3 (H-2×V-8)	A	1.25	1.11	0
	B	1.27	0.95	2
	C	1.60	0.92	1
	D	1.57	0.92	2
	平 均	1.42	0.98	1.25
4 (無負荷)	A	1.13	1.00	0
	B	1.33	1.00	0
	C	1.73	1.00	0
	D	1.71	1.00	1
	平 均	1.48	1.00	0.25
5 (H-8×V-2)	A	1.44	1.27	0
	B	1.28	0.96	0
	C	1.60	0.92	1
	D	1.88	1.10	3
	平 均	1.55	1.06	1.00
6 (V-8)	A	1.13	1.00	0
	B	1.09	0.82	0
	C	1.49	0.86	0
	D	1.74	1.08	2
	平 均	1.36	0.94	0.5
7 (H-8)	A	1.21	1.07	0
	B	1.08	0.81	1
	C	1.34	0.77	1
	D	1.88	1.10	1
	平 均	1.38	0.94	0.75

※約5分間の操作の平均の早さとエラー回数を示した。

※操作回数の指数は各被験者ごとに無負荷条件時の成績でわって求めた。

反応時間測定結果（運転員：A）

注）平均値、中央値及び標準偏差の単位は（m sec）、無反応、尚早反応及び誤反応の単位は（個）

選択肢数	実験条件	振動負荷前						振動負荷中						振動負荷後					
		平均値	中央値	標準偏差	無反応	尚早反応	誤反応	平均値	中央値	標準偏差	無反応	尚早反応	誤反応	平均値	中央値	標準偏差	無反応	尚早反応	誤反応
1 (N=20)	1	222	217	17	0	0	0	214	210	19	0	0	0	242	242	34	0	0	0
	2	280	236	181	0	0	0	240	225	62	0	0	0	245	235	50	0	0	0
	3	231	232	14	0	1	0	219	222	17	0	0	0	249	242	43	0	0	0
	4	225	222	16	0	0	0	227	231	15	0	0	0	242	235	45	0	0	0
	5	239	235	23	0	0	0	225	218	24	0	1	0	219	222	21	0	0	0
	6	217	216	24	0	1	0	229	232	12	0	0	0	250	246	24	0	0	0
	7	232	229	18	0	0	0	241	246	28	0	0	0	245	231	27	0	0	0
8 (N=35)	1	644	638	140	0	0	1	670	635	135	0	0	3	686	644	239	0	0	3
	2	653	612	157	1	0	1	645	567	169	0	0	6	701	654	168	0	0	2
	3	654	559	134	0	0	3	657	617	144	0	0	4	649	631	135	0	0	2
	4	641	605	147	0	0	2	613	578	141	0	0	2	587	572	103	0	0	0
	5	616	591	126	0	0	1	644	616	170	0	0	8	689	616	215	1	0	2
	6	664	582	214	0	0	5	651	630	126	0	0	3	619	571	129	0	0	3
	7	603	574	122	0	0	2	686	617	221	0	0	6	618	595	145	0	0	2

反応時間測定結果（運転員：B）

注）平均値、中央値及び標準偏差の単位は（m sec）、無反応、尚早反応及び誤反応の単位は（個）

選択肢数	実験条件	振動負荷前						振動負荷中						振動負荷後					
		平均値	中央値	標準偏差	無反応	尚早反応	誤反応	平均値	中央値	標準偏差	無反応	尚早反応	誤反応	平均値	中央値	標準偏差	無反応	尚早反応	誤反応
1 (N=20)	1	246	226	66	0	0	0	237	234	27	0	0	0	230	228	36	0	0	0
	2	231	227	27	0	0	0	262	245	78	0	0	0	258	244	46	0	0	0
	3	246	231	54	0	0	0	226	225	19	0	0	0	258	242	70	0	1	0
	4	223	223	19	0	0	0	219	217	26	0	0	0	237	231	39	0	1	0
	5	234	228	24	0	0	0	235	239	25	0	0	0	227	220	30	0	0	0
	6	234	233	24	0	0	0	239	232	24	0	0	0	244	234	45	0	0	0
	7	260	243	65	0	0	0	248	223	62	0	0	0	256	238	63	0	0	0
8 (N=35)	1	584	573	166	0	0	5	636	578	214	0	0	7	582	589	144	0	0	3
	2	560	560	161	0	0	6	606	554	213	0	0	4	559	521	169	0	0	0
	3	586	543	167	0	0	6	735	619	339	0	0	10	596	598	143	0	0	2
	4	653	628	142	0	0	3	646	629	233	0	0	3	649	626	238	0	0	5
	5	691	637	224	1	0	4	706	613	280	0	0	9	676	625	216	0	0	5
	6	666	627	174	0	0	2	631	612	105	0	0	2	654	645	183	1	0	2
	7	747	694	232	0	0	6	639	622	138	0	0	4	712	696	196	0	0	4

反応時間測定結果（運転員：C）

注）平均値、中央値及び標準偏差の単位は（msec），無反応、尚早反応及び誤反応の単位は（個）

選択肢数	実験条件	振動負荷前						振動負荷中						振動負荷後					
		平均値	中央値	標準偏差	無反応	尚早反応	誤反応	平均値	中央値	標準偏差	無反応	尚早反応	誤反応	平均値	中央値	標準偏差	無反応	尚早反応	誤反応
1 (N=20)	1	278	262	49	0	0	0	246	244	25	0	0	0	319	280	126	0	0	0
	2	223	217	26	0	0	0	230	230	22	0	0	0	272	265	59	0	0	0
	3	250	246	34	0	0	0	242	232	33	0	0	0	291	282	77	0	0	0
	4	285	262	68	0	0	0	267	256	60	0	0	0	351	331	119	0	0	0
	5	391	288	313	1	0	1	269	267	37	0	0	0	296	277	66	0	0	0
	6	240	236	29	0	0	0	259	251	31	0	0	0	313	291	75	0	0	0
	7	268	264	23	0	0	0	283	275	38	0	0	0	280	267	66	0	0	0
8 (N=35)	1	765	716	196	0	0	1	738	699	221	0	0	2	801	732	176	0	0	2
	2	713	687	133	0	0	2	677	640	112	0	0	0	810	746	205	0	0	1
	3	722	734	112	0	0	0	723	691	157	0	0	1	869	815	225	0	0	3
	4	793	771	171	0	0	1	754	726	120	0	0	1	856	761	294	2	0	3
	5	772	754	137	0	0	0	745	748	146	0	0	1	802	771	159	0	0	1
	6	752	729	169	0	0	2	752	718	160	0	0	0	742	699	130	0	0	1
	7	733	709	85	0	0	2	804	766	174	0	0	3	742	729	160	0	0	2

反応時間測定結果（運転員：D）

注）平均値、中央値及び標準偏差の単位は（msec），無反応、尚早反応及び誤反応の単位は（個）

選択肢数	実験条件	振動負荷前						振動負荷中						振動負荷後					
		平均値	中央値	標準偏差	無反応	尚早反応	誤反応	平均値	中央値	標準偏差	無反応	尚早反応	誤反応	平均値	中央値	標準偏差	無反応	尚早反応	誤反応
1 (N=20)	1	233	230	25	0	0	0	—	—	—	—	—	—	277	267	35	0	0	0
	2	255	244	47	0	0	0	240	238	25	0	0	0	275	269	46	0	0	0
	3	256	236	89	0	0	0	267	249	55	0	0	0	265	260	66	0	0	0
	4	257	244	50	0	0	0	269	254	58	0	0	0	250	223	75	0	0	0
	5	255	252	38	0	0	0	281	233	119	0	0	0	266	239	73	0	0	0
	6	238	235	34	0	0	0	276	271	56	0	0	0	244	222	84	0	0	0
	7	256	241	60	0	0	0	208	214	39	0	1	0	269	245	89	0	1	0
8 (N=35)	1	660	625	158	0	0	0	644	625	84	0	0	0	690	677	112	0	0	1
	2	677	690	140	0	0	2	576	580	159	0	0	0	643	636	113	0	0	0
	3	569	576	116	0	0	2	585	576	115	0	0	1	604	583	164	0	0	2
	4	639	609	148	0	0	1	577	595	156	0	0	0	668	612	246	0	0	1
	5	663	633	197	0	0	0	700	690	180	0	0	5	634	597	140	0	0	0
	6	626	613	132	0	0	0	708	673	157	0	0	0	597	568	164	0	0	2
	7	607	575	227	0	0	2	640	626	145	0	0	6	600	568	122	0	0	2

参 考 資 料 4

運転室における振動騒音評価に関する基礎試験（実機振動，実機騒音による試験）結果の例

指先脈波高の測定結果

実験条件		運転員	A	B	C	D	平均
実験 3 (実機振動のみ)	負 荷 前		5.5	9.0	5.5	8.0	7.0
	負 荷 中 T-1		3.0	4.0	6.5	5.0	4.6
	" T-2		4.5	3.5	5.0	5.0	4.5
	" T-3		3.5	3.0	3.5	5.0	3.8
	" T-4		3.5	4.0	4.5	4.5	4.1
	負 荷 後		4.0	4.5	6.0	6.5	5.3
実験 4 (実機振動+騒音)	負 荷 前		6.0	5.0	8.0	7.0	6.5
	負 荷 中 T-1		5.0	7.0	7.0	7.5	6.6
	" T-2		4.0	5.0	6.0	5.0	5.0
	" T-3		3.5	5.0	5.5	4.0	4.5
	" T-4		3.0	5.0	4.0	3.5	3.9
	負 荷 後		2.5	5.0	6.0	6.0	4.9
実験 5 (振動・騒音なし)	負 荷 前		10.0	4.0	6.0	5.0	6.3
	負 荷 中 T-1		6.0	2.0	5.0	3.5	4.1
	" T-2		5.0	—	2.5	2.5	3.3
	" T-3		6.0	—	2.5	4.0	4.2
	" T-4		—	2.0	2.5	4.0	2.8
	負 荷 後		5.0	2.0	6.0	2.5	3.9

グレーティング視力測定結果

実験条件		運転員	A	B	C	D	平均
実験 1 (正弦波振動のみ)	負 荷 前	0.656	0.447	0.613	0.717	0.608	
	負 荷 中	0.623	0.419	0.660	0.664	0.592	
	負 荷 後	0.646	0.448	0.704	0.705	0.626	
実験 2 (正弦波振動+騒音)	負 荷 前	0.636	0.509	0.612	0.719	0.618	
	負 荷 中	0.652	0.517	0.694	0.688	0.638	
	負 荷 後	0.690	0.529	0.672	0.696	0.647	
実験 3 (実機 振動のみ)	負 荷 前	0.691	0.593	0.721	0.701	0.677	
	負 荷 中 T-1	0.684	0.574	0.716	0.650	0.656	
	〃 T-2	0.675	0.523	0.750	0.693	0.660	
	〃 T-3	0.742	0.579	0.774	0.681	0.694	
	〃 T-4	0.733	0.556	0.859	0.694	0.711	
	負 荷 後	0.736	0.540	0.844	0.743	0.716	
実験 4 (実機 振動+騒音)	負 荷 前	0.680	0.602	0.686	0.713	0.670	
	負 荷 中 T-1	0.694	0.539	0.728	0.653	0.654	
	〃 T-2	0.734	0.573	0.712	0.607	0.657	
	〃 T-3	0.703	0.552	0.761	0.621	0.659	
	〃 T-4	0.731	0.548	0.716	0.617	0.653	
	負 荷 後	0.720	0.592	0.778	0.599	0.672	
実験 5 (振動・騒音なし)	負 荷 前	0.654	0.572	0.682	0.600	0.627	
	負 荷 中 T-1	0.660	0.570	0.727	0.625	0.646	
	〃 T-2	0.708	0.577	0.737	0.660	0.671	
	〃 T-3	0.693	0.565	0.713	0.618	0.647	
	〃 T-4	0.594	0.575	0.768	0.636	0.643	
	負 荷 後	0.674	0.558	0.767	0.619	0.655	

情報量（数のランダム発声）の解析結果

実験条件	項 目	1 次	2 次	3 次	4 次
実 験 1 (正弦波振動のみ)	負 荷 前	3. 10	5. 46	6. 72	7. 23
	“ 中	3. 08	5. 43	6. 79	7. 42
	“ 後	3. 01	5. 14	6. 48	7. 18
実 験 2 (正弦波振動 + 騒音)	負 荷 前	3. 12	5. 46	6. 64	7. 15
	“ 中	3. 09	5. 39	6. 71	7. 25
	“ 後	3. 10	5. 41	6. 74	7. 34
実 験 3 (実 機 振 動 の み)	負 荷 前	3. 07	5. 36	6. 71	7. 39
	負 荷 中 T-1	3. 08	5. 35	6. 67	7. 30
	“ T-2	3. 05	5. 26	6. 55	7. 27
	“ T-3	3. 07	5. 33	6. 69	7. 38
	“ T-4	3. 07	5. 23	6. 54	7. 25
	負 荷 後	3. 10	5. 26	6. 50	7. 15
実 験 4 (実 機 振 動 + 騒 音)	負 荷 前	3. 08	5. 24	6. 61	7. 32
	負 荷 中 T-1	3. 08	5. 10	6. 30	7. 01
	“ T-2	3. 05	5. 22	6. 53	7. 25
	“ T-3	3. 05	5. 18	6. 51	7. 29
	“ T-4	3. 07	5. 14	6. 46	7. 18
	負 荷 後	3. 09	5. 30	6. 69	7. 39
実 験 5 (振動・騒音なし)	負 荷 前	3. 07	5. 29	6. 55	7. 24
	負 荷 中 T-1	3. 07	5. 26	6. 58	7. 26
	“ T-2	3. 04	5. 14	6. 42	7. 15
	“ T-3	3. 08	5. 21	6. 53	7. 25
	“ T-4	3. 06	5. 21	6. 47	7. 19
	負 荷 後	3. 07	5. 10	6. 46	7. 19

トラッキング作業発散定数測定結果－その 1
(制御不能となった時の発散定数)

実験条件 運転員	測定時点	実験 1 (正弦波振動のみ)				実験 2 (正弦波振動 + 騒音)			
		平均	最小値	最大値	標準偏差	平均	最小値	最大値	標準偏差
A	振動負荷前	16.05	9.08	19.16	2.55	17.48	13.78	20.04	1.50
	“ 中	15.08	12.99	17.43	1.12	15.95	12.72	19.13	1.71
	“ 後	17.91	13.30	22.02	2.42	18.94	16.25	21.81	1.67
B	振動負荷前	16.21	13.11	19.08	1.36	15.42	8.67	19.85	2.97
	“ 中	14.97	11.87	17.27	1.63	15.85	13.05	19.70	1.69
	“ 後	17.11	12.62	19.41	1.76	15.77	11.90	19.12	1.90
C	振動負荷前	19.08	14.53	24.17	2.58	14.67	8.46	17.02	1.98
	“ 中	15.56	11.55	20.08	2.19	14.37	10.35	17.48	1.85
	“ 後	19.25	12.43	22.92	2.66	18.73	12.62	22.65	2.81
D	振動負荷前	18.00	13.34	21.33	2.11	15.72	12.39	18.07	1.78
	“ 中	14.03	10.32	16.85	1.79	13.13	10.43	15.47	1.50
	“ 後	18.49	15.51	20.64	1.70	17.37	11.61	19.59	1.96
平均	振動負荷前	17.33	12.52	20.94	2.15	15.82	10.83	18.75	2.06
	“ 中	14.91	11.68	17.91	1.68	14.82	11.64	17.95	1.69
	“ 後	18.19	13.47	21.25	2.14	17.70	13.10	20.79	2.09

トラッキング作業発散定数測定結果－その2

運 転 員	実験条件		実験 3 (実機振動のみ)				実験 4 (実機振動+騒音)				実験 5 (振動,騒音なし)			
	測定時点		平均	最小値	最大値	標準 偏差	平均	最小値	最大値	標準 偏差	平均	最小値	最大値	標準 偏差
A	振 動 負 荷 前		17.93	15.15	20.03	1.59	19.84	17.45	23.19	1.77	18.04	12.70	22.58	2.78
	振 動 負 荷 中	T-1	14.93	11.64	20.52	2.40	20.56	17.48	23.98	1.79	19.20	13.07	23.46	2.51
		T-2	15.96	11.06	18.32	1.74	19.62	15.05	23.71	2.38	17.43	14.01	21.29	2.15
		T-3	16.98	13.41	19.80	2.01	16.13	4.97	23.14	4.59	16.98	8.98	22.37	3.81
		T-4	17.21	13.98	20.95	1.89	19.16	10.35	22.52	3.17	19.04	15.24	22.12	2.14
	振 動 負 荷 後		18.08	14.73	22.55	2.44	23.01	20.02	26.38	1.83	19.24	8.32	22.60	3.58
B	振 動 負 荷 前		19.66	15.34	22.45	2.04	17.03	13.61	20.75	2.06	18.47	16.19	21.51	1.50
	振 動 負 荷 中	T-1	18.99	12.49	22.48	2.56	14.40	5.14	18.22	2.98	18.46	15.89	23.29	2.04
		T-2	13.83	4.52	22.63	4.52	15.17	10.04	18.63	1.85	18.83	15.76	21.77	1.95
		T-3	18.46	14.20	22.28	2.21	14.47	8.10	18.85	2.63	18.52	13.98	21.69	2.12
		T-4	18.51	13.91	22.34	2.28	14.56	10.02	17.41	2.02	17.04	11.55	20.56	2.48
	振 動 負 荷 後		19.75	9.83	23.93	3.80	17.63	12.13	22.50	2.71	20.23	15.76	22.80	1.74
C	振 動 負 荷 前		20.12	18.27	22.56	1.47	21.30	17.55	25.41	2.55	20.30	14.41	26.25	3.22
	振 動 負 荷 中	T-1	17.30	11.69	20.94	2.69	16.65	6.39	22.31	3.95	20.85	15.13	24.85	2.83
		T-2	16.73	13.10	21.41	2.50	16.42	9.19	20.49	3.24	19.91	13.76	23.45	2.57
		T-3	16.99	13.20	22.80	2.73	18.09	13.29	21.83	2.39	20.96	11.93	27.01	3.81
		T-4	16.87	10.41	21.71	2.80	16.70	11.68	20.32	2.21	22.40	19.60	24.39	1.34
	振 動 負 荷 後		19.53	14.64	23.67	2.03	19.91	12.98	24.12	3.19	22.13	11.92	26.09	3.39
D	振 動 負 荷 前		18.77	16.49	21.81	1.73	18.50	15.44	21.13	1.42	18.28	16.09	20.46	1.39
	振 動 負 荷 中	T-1	15.96	6.16	20.55	3.67	15.66	9.44	20.48	3.08	18.85	15.54	22.84	1.95
		T-2	17.06	14.30	20.87	2.05	15.80	11.29	19.15	2.52	19.11	12.13	23.37	2.46
		T-3	16.93	13.88	19.95	1.85	17.11	11.29	20.23	2.51	19.29	15.93	21.79	1.53
		T-4	17.61	12.17	20.37	2.11	16.73	12.76	19.66	1.74	18.99	16.13	21.47	1.67
	振 動 負 荷 後		19.64	17.85	21.19	0.91	19.20	16.51	22.01	1.40	19.47	14.46	23.38	2.51
平 均	振 動 負 荷 前		19.12	16.31	21.71	1.71	19.16	16.01	22.62	1.95	18.77	14.85	22.70	2.22
	振 動 負 荷 中	T-1	16.80	10.50	21.12	2.83	16.82	9.61	21.25	2.95	19.34	14.91	23.61	2.33
		T-2	15.90	10.75	20.81	2.70	16.75	11.39	20.50	2.50	18.82	13.92	22.47	2.28
		T-3	17.34	13.67	21.21	2.20	16.45	9.41	21.01	3.03	18.94	12.68	23.22	2.82
		T-4	17.55	12.62	21.34	2.27	16.79	11.20	19.98	2.29	19.37	15.63	22.14	1.91
	振 動 負 荷 後		19.25	14.26	22.84	2.30	19.94	15.41	23.75	2.28	20.27	12.62	23.72	2.81

2. The second section focuses on the role of technology in modern business management. It highlights how digital tools can streamline processes, reduce errors, and improve overall efficiency. The author argues that embracing technology is not just a competitive advantage but a necessity for long-term success in today's market.

3. The third part of the document addresses the challenges of human resource management. It discusses the importance of recruiting and retaining top talent, as well as the need for continuous training and development. The text provides insights into how organizations can create a positive work environment that fosters productivity and innovation.

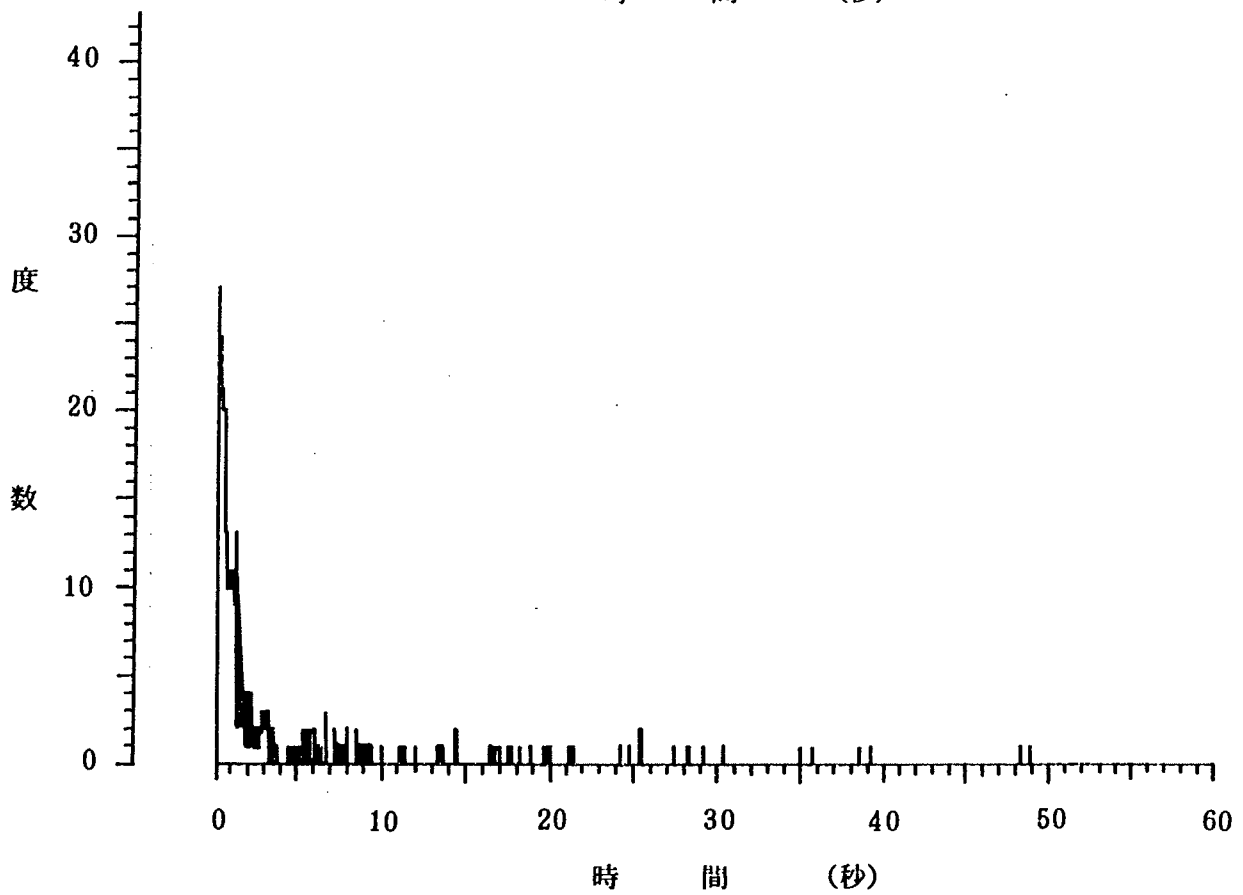
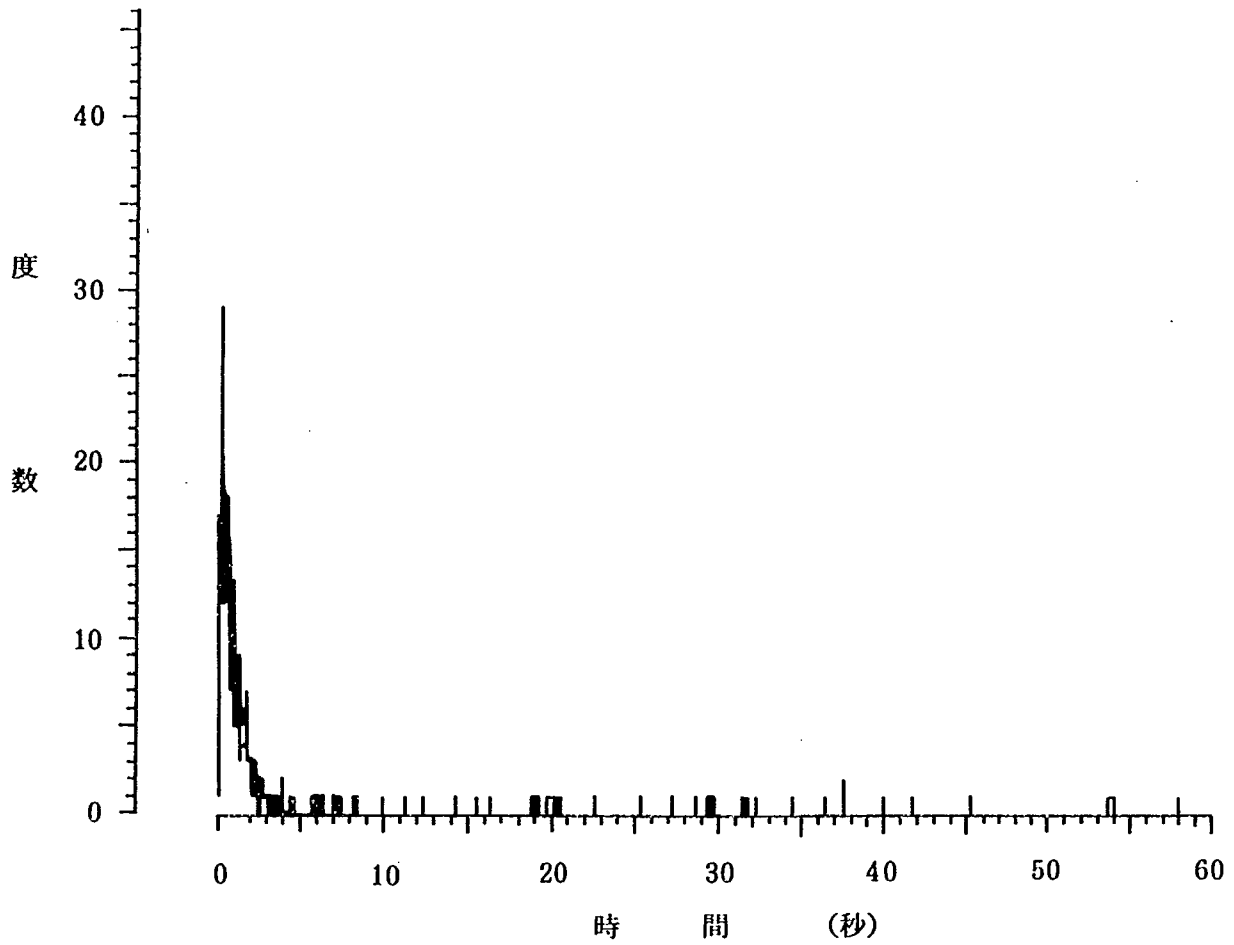
4. The fourth section explores the impact of market trends and external factors on business performance. It encourages organizations to stay informed about industry developments and to adapt their strategies accordingly. The author stresses that flexibility and a proactive approach are key to navigating uncertain markets.

5. The final part of the document offers concluding thoughts and recommendations. It reiterates the importance of a holistic approach to business management, where all aspects of the organization are aligned towards common goals. The author concludes by encouraging leaders to remain committed to excellence and to continuously seek ways to improve their organization's performance.

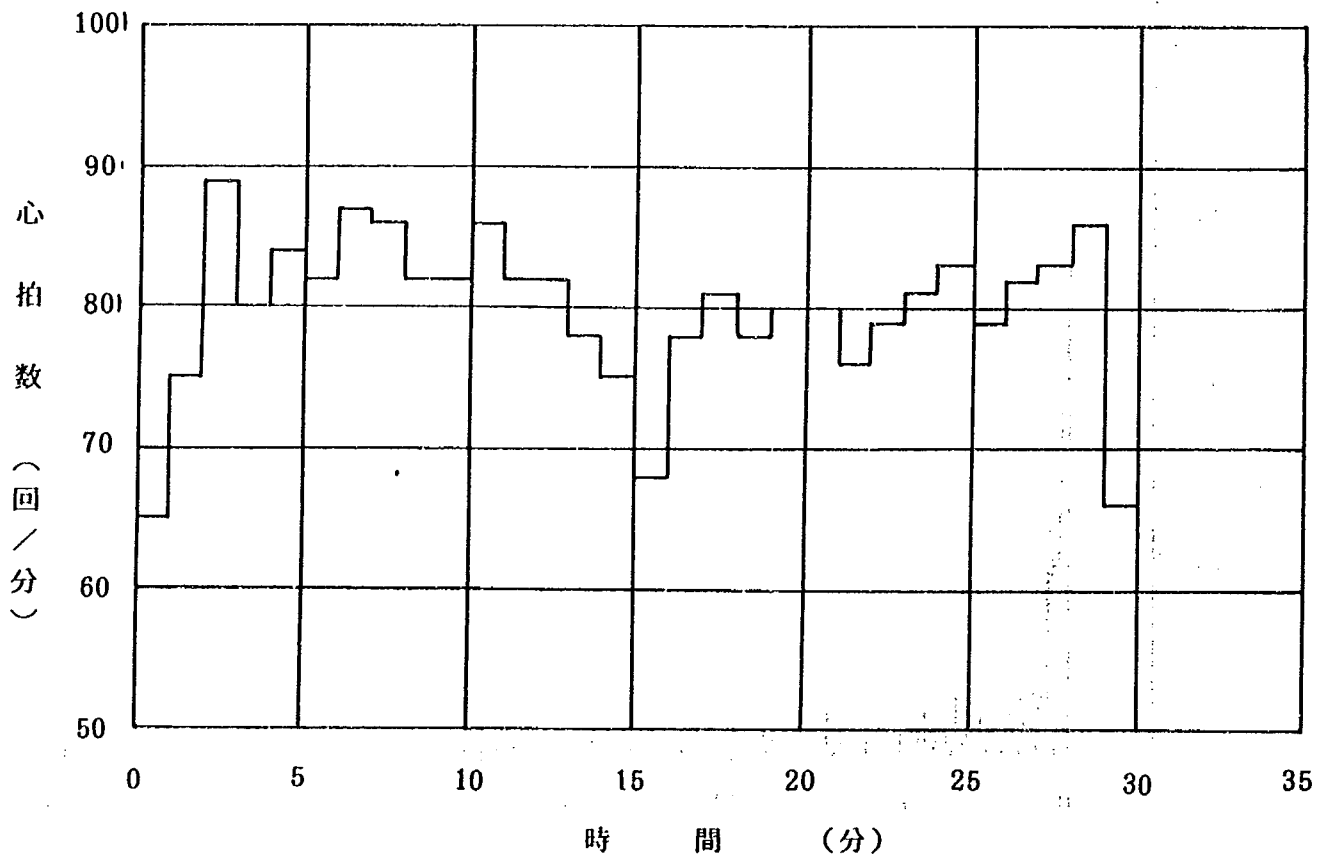
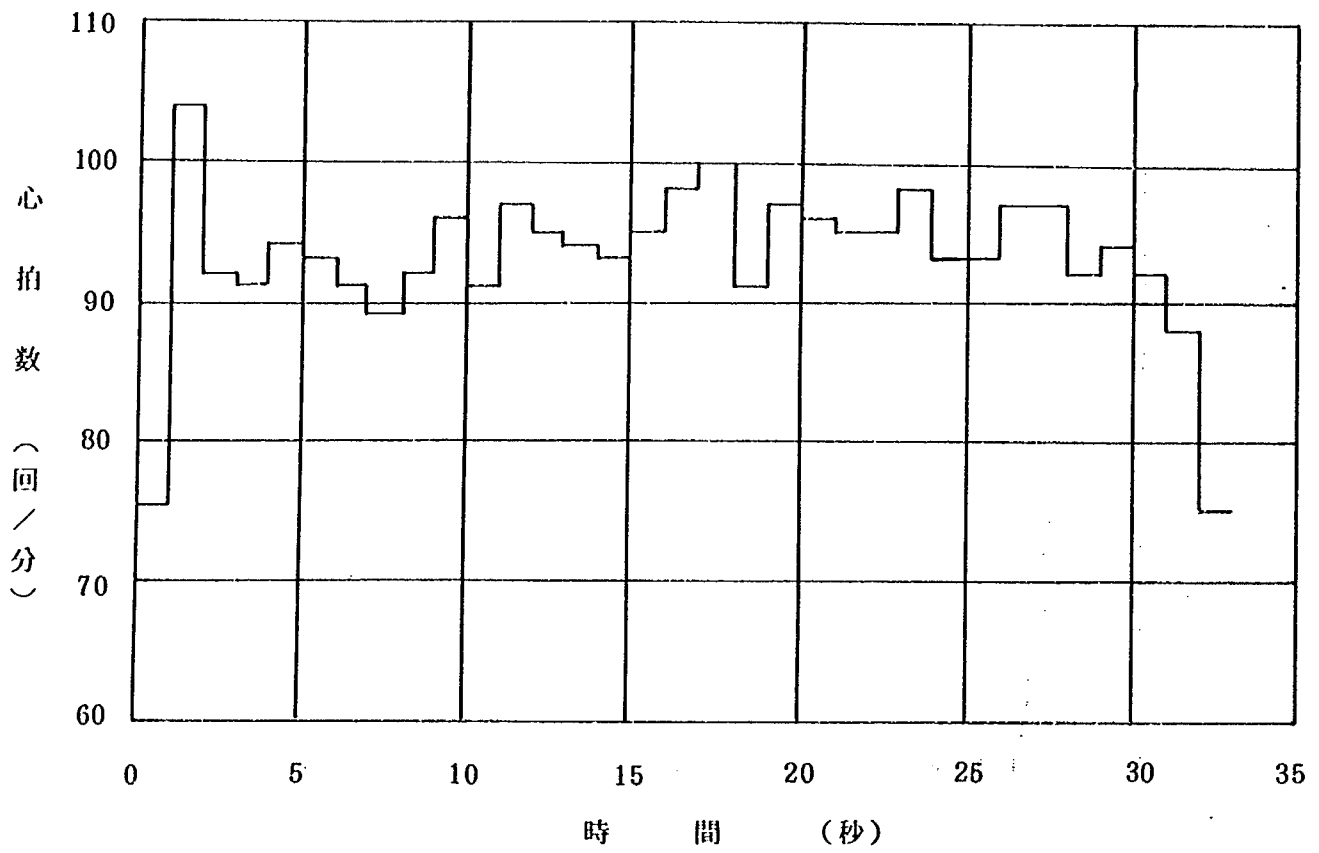
参 考 資 料 5

運転員の行動分析と油圧ショベルの振動騒音の実態調査結果の例

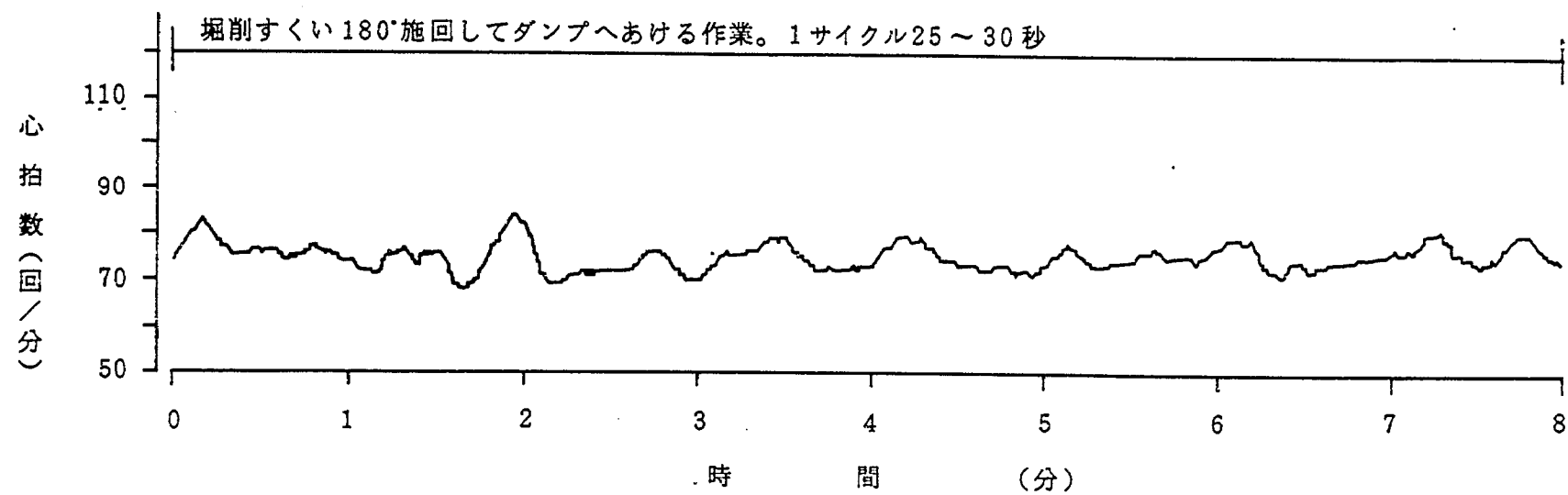
眼電図の飛越運動分布測定例



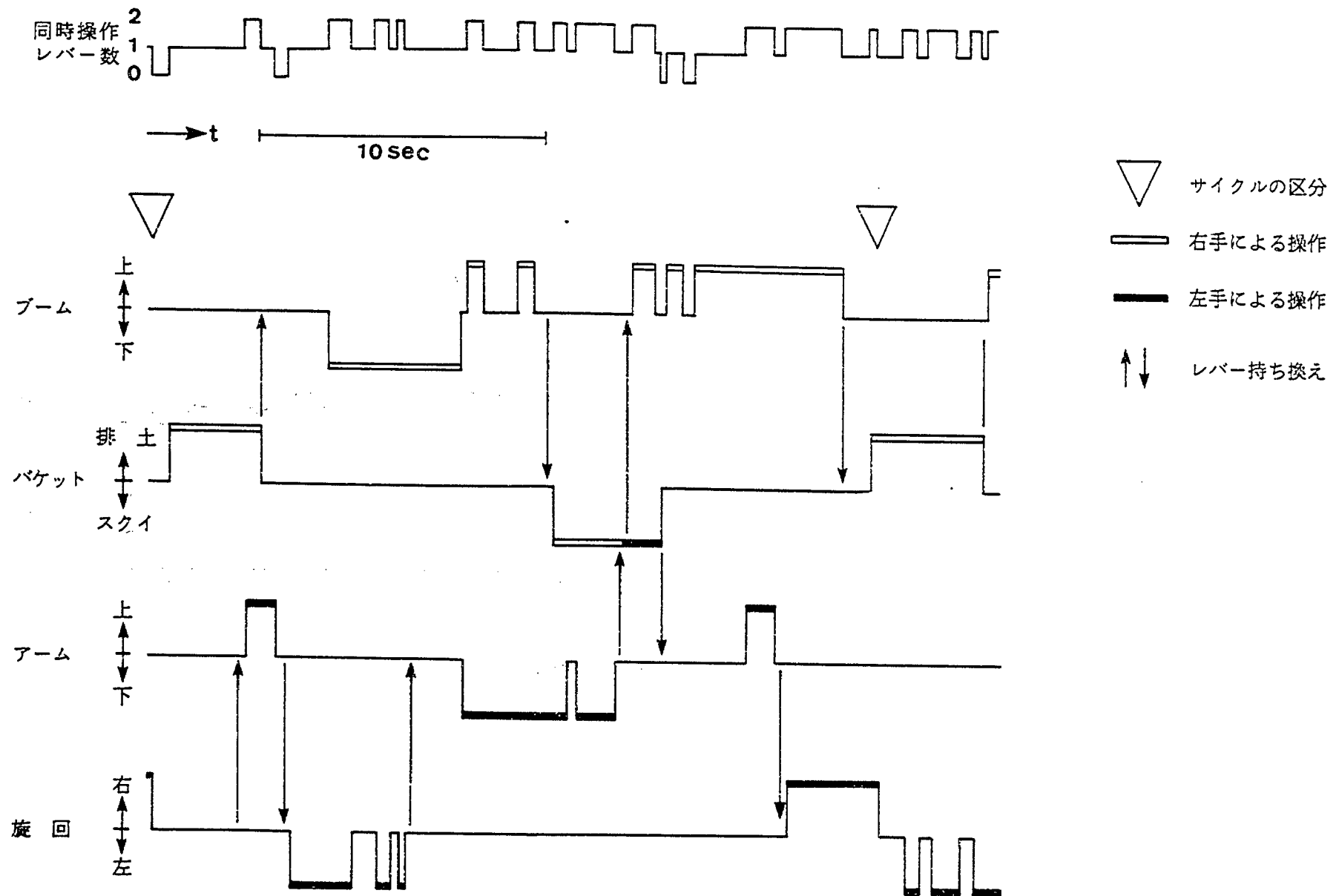
実作業（溝掘削）による心拍数の変動例



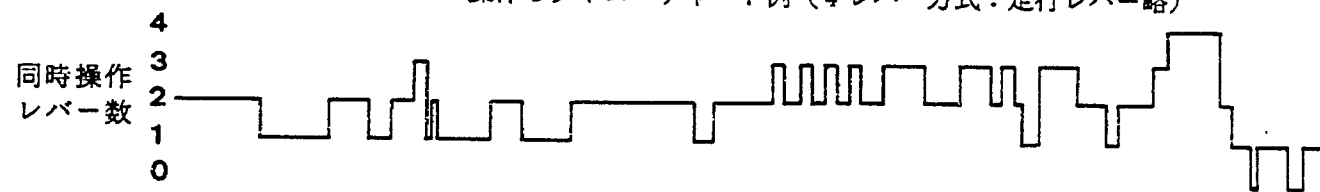
実作業（堀削～旋回～ダンプ）における心拍数の変動例



レバー操作のタイム・チャート例（6レバー方式：走行レバー略）



レバー操作のタイム・チャート例 (4 レバー方式：走行レバー略)



→ t

10sec

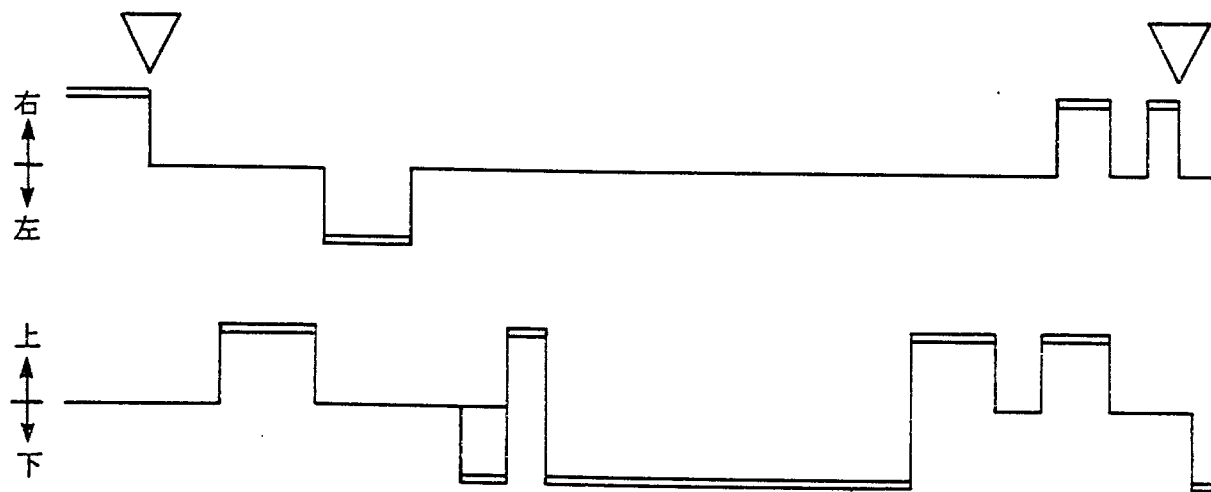
▽ サイクルの区分

—— 右手による操作

—— 左手による操作

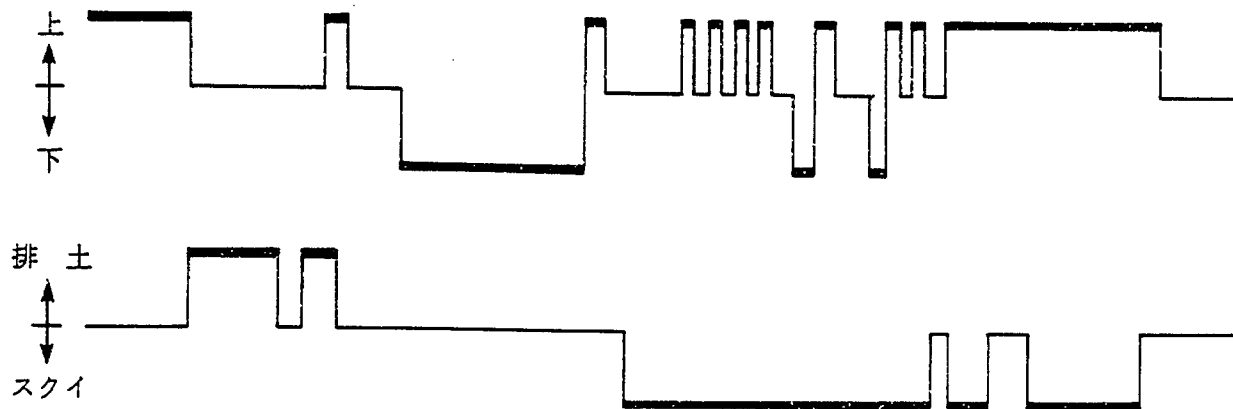
複合 { 旋 回

アーム



複合 { ブーム

バケット



建設機械の安全性向上に関する研究

土研資料第1863号
昭和57年8月

— 油圧ショベルの安全評価 —

沢田茂良, 山田一彦, 多田和弘
豊田 実, 荒井 猛

キーワード: 油圧ショベル, 安全性, 操作性, 振動

要 旨

本資料は, 油圧ショベルに関し, 安全性に関する評価項目の抽出, 関連基準等の調査を実施すると共に, 特に操作性, 運転環境に関しては, 室内試験, 現場調査による実験的検討を行い, とりまとめたものである。



郵便はがき

3 0 5 - □ □

40円切手
をはって
下さい。

建設省土木研究所

機械研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. 48

No. 48

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1863号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

㊦