



土 木 研 究 所 資 料

第 697 号

ブルドーザの操作性に関する研究（第一報）

フートペダルの最適操作力

昭和 46 年 9 月

建設省土木研究所

機械施工部 機械研究室

建設省土木研究所
昭和46年9月

要 旨

このレポートは建設機械の居住性および操作性の向上をはかる目的で、その一環としてフットペダルの最適操作力を究明するために行なった実験について記されたものである。

この実験に使用した装置は、ブルドーザ運転台模型とその前面に追従装置（トラッキング）であり、実験にあたってこの装置のフットペダルの操作力（負荷）を5 Kg～30 Kgに8段階に変化させ、4人の被験者で1回当たり40分間の実験を行ない、その時の踏込時間、誤操作量、脈拍数や疲労度等を測定した。

この結果、4人の被験者とも共通に言えることは、フットペダルの操作力が12.5 Kgのとき踏込時間、誤操作量や疲労度等が最小値を示し、また操作力が10 Kg以下、20 Kg以上になると急激に増加する傾向がある。これらの現象より最適操作力は12.5 Kg附近であり、また操作力設定に当たって少なくとも10 Kg以下および20 Kg以上は避けるべきであるということが究明された。

ブルドーザの操作性に関する研究
(第一報)

フットペダルの最適操作力

機械研究室

杉山 篤
中野 新市

目次

1. ま え が き (研究の経緯)	1
2. 研 究 目 的	2
3. 実 験 概 要	3
3-1 実 験 装 置	3
3-1-1 トラッキング装置の原理	3
3-1-2 ブルドーザ操作追縦装置	4
3-1-2-1 ブルドーザ運転台模型	4
3-1-2-2 操 縦 装 置	5
3-1-3 測 定 装 置	7
3-1-4 操作性実験室	8
3-2 実 験 方 法	9
3-3 測 定 事 項	12
4. 解 析 方 法	14
5. 実験結果と考察	15
5-1 フットペダル操作力と誤操作量との関係	15
5-2 フットペダル操作力と誤操作量標準偏差との関係	21
5-3 フットペダル操作力と踏込時間との関係	22
5-4 フットペダル操作力と踏込時間標準偏差との関係	24
5-5 フットペダル操作力と単純反応時間増加率との関係	26
5-6 フットペダル操作力と操作性主観評価値との関係	28
5-7 フットペダル操作力と自覚的症状および疲労個所との関係	29

5-8	フットペダル操作力と脈拍数との関係.....	31
5-9	総合評価によるフットペダルの最適操作力の設定.....	31
5-10	誤操作量と踏込時間との相関関係.....	36
5-11	現状の建設機械のフットペダル操作力調査.....	38
6.	結 論.....	40
7.	あ と が き.....	41
8.	参 考 文 献.....	41
9.	付 録.....	42

1. ま え が き (研究の経緯)

近年建設工事の合理化、近代化をはかるため、機械化施工が急激に発展してきた。これに伴って建設機械の生産高も飛躍的に増加し、その作業性能や耐久性の面は大巾に向上してきた。しかしながらメーカーの開発目標が主として機械自身の性能や耐久性の向上におかれ、ややもすると人間に対する配慮がなおざりにされる傾向にあったので自動車類と比較して居住性や操作性の面での立遅れを認めざるを得ない現状である。

建設機械の作業能率を向上させるには機械自身の性能を向上させることも重要であるが、終局的に機械を使いこなすのはあくまでも人間であって、機械操作系の良否やオペレータの操作、操縦の巧劣が作業能率に大きく影響を与える。すなわち、人間—機械系が円滑に作用しているときに作業能率が最大になる。また、近年人手不足が建設業界にも押し寄せ熟練したオペレータが不足し、熟練度の低いオペレータでも簡易、確実かつ安全に操作でき、高能率に作業ができる機械の出現がユーザーにおいて強く望まれている。このような理由によって居住性、操作性を改善するのが急務となった。

機械研究室ではこれらの問題を人間工学的な見地から究明すべく昭和42年度より取り組んだ。昭和42年度は(財)労働科学研究所に委託して、スクレーパとブルドーザの作業環境や機械操作等がオペレータにどのような生体的な負担を与えているか調査研究し、現状の機械がオペレータに与えている生体的負担度を解明し、機械の作業環境を改善する必要があると結論をだした。更に操作性の基本的な問題を研究するために、室内実験を計画し、昭和43年度にはブルドーザ実物大運転台模型を製作した。操作性の問題はフットペダル、操向クラッチの最適操作力やペダル・クラッチの配置等多々あるが、操作性に最も影響を与えるフットペダルの最適操作力を解明するため昭和44年度はその予備実験を行い、フットペダル操作力と踏込時間との関係を解明した。

昭和45年度はブルドーザ実物大運転台模型を改造し、ブルドーザ操作追従装置を製作し、フットペダルの最適操作力を求める実験を行なった。この報告書はその結果をとりまとめたものである。

2. 研究 目 的

(調査の実態) 3 次調査

この実験はブルドーザ操作追従装置を使用し、フットペダル操作力を数段階に変化させ、そのときの誤操作量・踏込時間・疲労度と操作評価値等を検出し下記の項目を解明する。

- (1) フットペダル操作力と誤操作量との関係
- (2) フットペダル操作力と踏込時間との関係
- (3) フットペダル操作力と疲労度との関係
- (4) フットペダル操作力とオペレータの主観による操作性評価値との関係
- (5) 現在一般に供用されている建設機械のフットペダル操作力の実態

以上の項目を定性的かつ定量的に解明し、総合的かつ客観的な評価のもとでフットペダルの最適操作力を究明し、将来フットペダル、操向レバー等の標準化・基準化の一環としての基礎資料とするとともに建設機械の操作性の向上をはかることを目的とする。

この調査は、ブルドーザのフットペダル操作力の実態を調査し、その結果を基に、フットペダルの最適操作力を究明し、将来フットペダル、操向レバー等の標準化・基準化の一環としての基礎資料とするとともに建設機械の操作性の向上をはかることを目的とする。

この調査は、ブルドーザのフットペダル操作力の実態を調査し、その結果を基に、フットペダルの最適操作力を究明し、将来フットペダル、操向レバー等の標準化・基準化の一環としての基礎資料とするとともに建設機械の操作性の向上をはかることを目的とする。

この調査は、ブルドーザのフットペダル操作力の実態を調査し、その結果を基に、フットペダルの最適操作力を究明し、将来フットペダル、操向レバー等の標準化・基準化の一環としての基礎資料とするとともに建設機械の操作性の向上をはかることを目的とする。

3. 実験概要

3-1 実験装置

3-1-1 トラッキング(追縦)装置の原理

直接にあるいは、表示器を通して間接にある系の出力を観察しながらこの出力を入力に一致させる制御動作を一般にトラッキング動作といい、これらに要する装置をトラッキング装置という。トラッキング装置を最初に使用したのはアメリカ空軍のフレッシュマンで空軍パイロットの航空適性を探索するため簡単な操縦模擬装置によって実験を行なった。トラッキング装置は装置が簡単で確実に繰り返し実験ができるので、現在では各研究機関で、各種の実験に利用されている。

トラッキング動作の代表的なものは目標追縦動作と誤差補正動作の2種である。今回の実験は前者の方法によって行なったので、以下それについて解説する。

目標追縦動作とは下記のような装置による動作をいう。例えば自動車で路上を走行する場合のごとく、目標(ターゲット、この場合は通路)と反応表示器(カーソル、この場合は自動車そのもの)とが、いずれも感覚的に提示され(フロントガラスの中に見える)、もし両者の間に不適切なズレが生じた場合には、これを除去することが問題となる。図示的に記載すると目標Xと現在の自動車の位置Yとが表示器の中に現われたとき、われわれは、両刺激 S_x 、 S_y の差が最少限になるようにハンドルをきる。これがRに相当し、その結果は自動車の右(または左)への方向変換Yという形で現

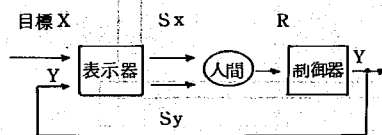


図3-1 目標追跡動作図式

われる。これがただちにまた表示器にフィードバックされる。

このシステムを図式化したのが図3-1、3-2である。

今回の実験装置として目標は指示ランプの点灯で表示し、

反応表示器は追縦パネルおよ

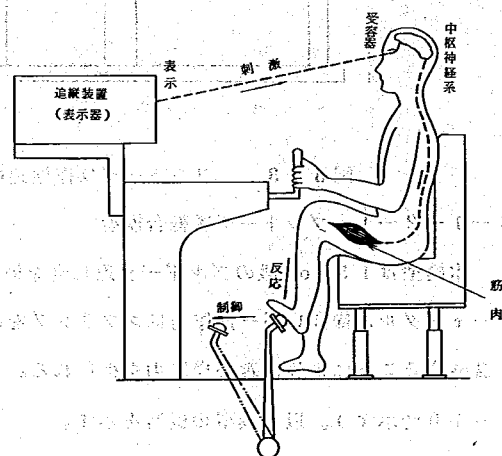


図3-2 目標追跡動作図

び指標として制御器はフットペダルによって行ない、フットペダル操作力を段階的に変化させそのときの人間-機械系の動特性を計測し実験を行なった。

3-1-2 ブルドーザ操作追縦装置 (図3-3)

本実験に用いたブルドーザ操作追縦装置は図3-3で示したような装置であり、本装置は15 ton級ブルドーザ運転台模型、追縦装置と計測装置等より構成している。

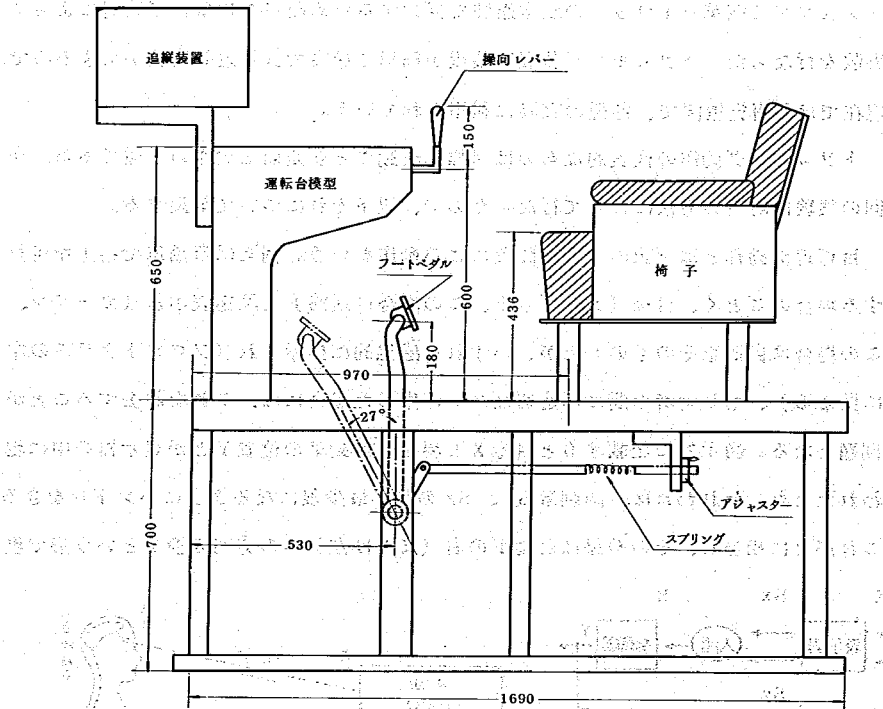


図3-3 ブルドーザ操作性追縦装置

3-1-2-1 ブルドーザ運転台模型

本模型は15 ton級のブルドーザ運転台を模擬して製作したものであって、フットペダルと操向レバー操作力はスプリングを取替えたり、またアジャスターを調整することにより任意の操作力を得られる。(使用したスプリング一覧は図3-10で示す)。以下模型の概略を示す。

- 1) 座席は前後に11 cm、上下に10 cm移動可能
- 2) フットペダルの位置は上下に10 cm移動可能、踏込角度は0~27度に

任意に移動可能

3) フットペダル操作力は5～30Kg任意に可変

4) 操向レバー操作力は1～20Kg任意に可変

〔主要諸元〕

- a) 名 称 : ブルドーザ運転台模型
- b) 寸 法 : 縦×横×高 : 1520 ㎜×1690 ㎜×1340 ㎜
- c) 材 料 : 鋼製 (座席部分を除く)
- d) 重 量 : 約300Kg
- e) 製 作 : 関東地方建設局 東京技術事務所
- f) 製作年月 : 昭和44年3月

3-1-2-2 追従装置

本装置はブルドーザ運転台模型の前面に設置されており、目標指示器と指標移動装置より構成する。

1. 目標指示器 (図3-4)

本器はあらかじめ設定されたプログラム (多整定継電器) にそって追縦パネルにくみ込まれた1から10までのランプを点灯させる装置である。ランプ点灯パターンは図3-5で示したようにランプ(7)から始まりランプ(1)で終わるようになっている。なお、周期数は電磁カウンタによって表示される。

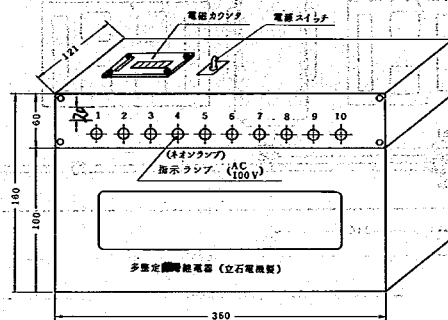
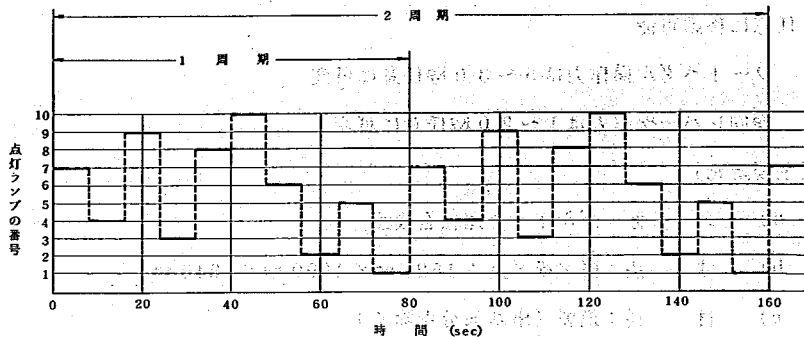


図3-4 目標指示器

〔主要諸元〕

- a) 名 称 : 目標指示器
- b) 形 式 : 多整定継電器 (STD-10)
- c) 形 状 : 縦×横×高 : 125 ㎜×360 ㎜×190 ㎜
- d) 製 作 : 立石電機㈱



* 1 回の実験は 28 周期

図 3 - 5 目標指示器の時間設定プログラム

2. 指標移動装置

本装置はフットペダルを踏込むとリミットスイッチが on になってリレー回路が働き瞬時停止型ギヤモータが作動し、プーリーを介し V ベルト上に装着された指標が移動し、またペダルを離すとモータが瞬時に停止して指標が止まる装置となっている。なお同装置は右ペダルを踏込むと指標は右へ、同様に左

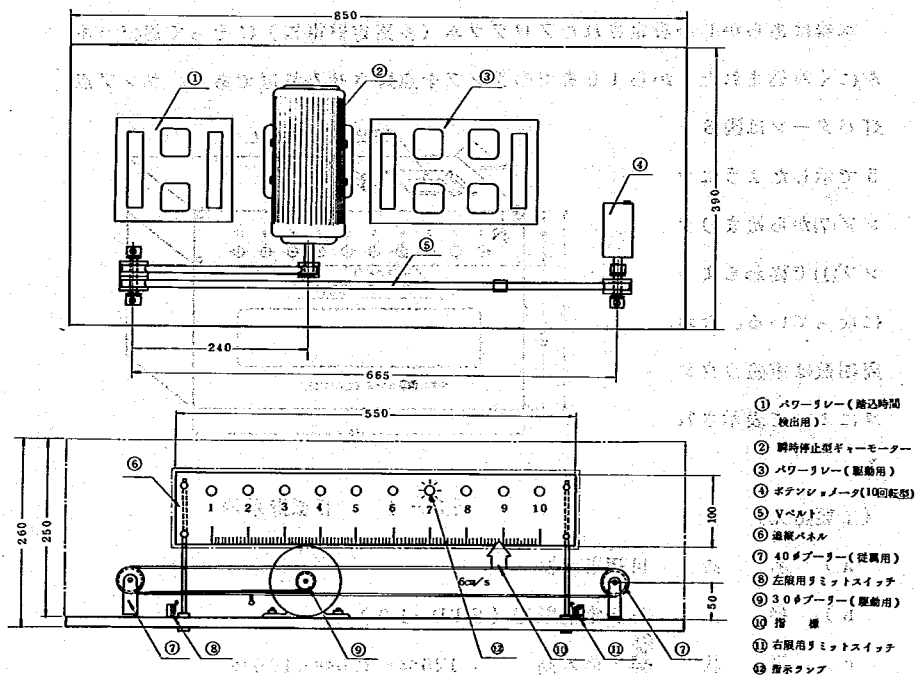


図 3 - 6 指標移動装置機構図

ペダルを踏込むと左へ指標が毎秒 6 cm で移動する機構となっている。

同装置の構造は図 3-6、および同装置駆動のための電気配線回路は図 3-7 に示す。

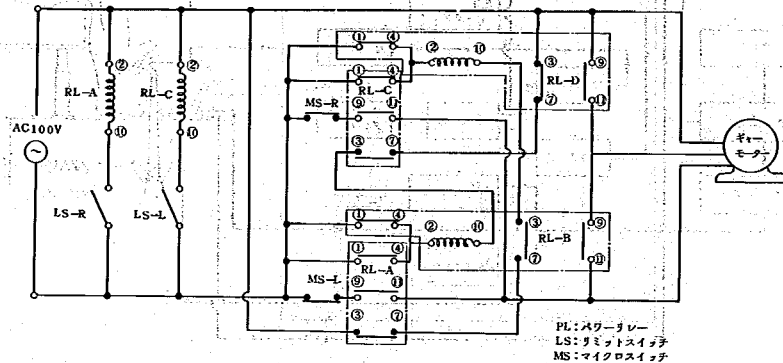


図 3-7 指標移動装置回路図

〔主要諸元〕

- | | |
|------------|--------------------------------|
| a) 名 称 | 指標移動装置 |
| b) 形 式 | 瞬時停止型ギヤモータ |
| c) 指標移動速度 | 6 cm/sec (プーリーを取り替えにより任意の速度可能) |
| d) 出 力 | 100 W / 100 V |
| e) 回 転 比 | 1/80 |
| f) 形 状 | 縦×横×高: 390mm×850mm×255mm |
| g) 製 作 | 岩田産業㈱ |
| h) 製 作 年 月 | 昭和 45 年 12 月 |

3-1-3 測定装置

この実験に用いた測定システムは図 3-8 に示したとおりであり、その測定事項および測定方法については 4-3 にて詳細に説明する、また測定器関係の写真を付録に添付した。

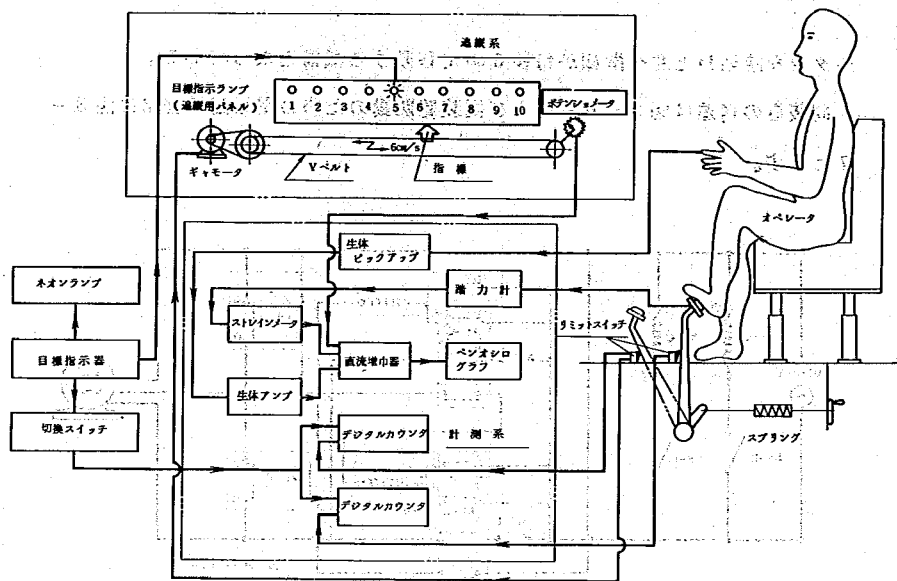


図 3-8 追従装置計器系統図

3-1-4 操作性実験室 (図 3-9)

本実験室は操作性実験室 (約 70 m²) 測定室 (約 12 m²) と分れていて、オペレータが環境に左右されないよう十分な照明と冷暖房設備となっている。また測定室と実験室の間は透明ガラスによって遮蔽されていて、オペレータの実験中の挙動が測定室より観察できるようになっている。

図 3-9 は実験室と測定室の形状と実験装置および測定計器類の配置を示す。

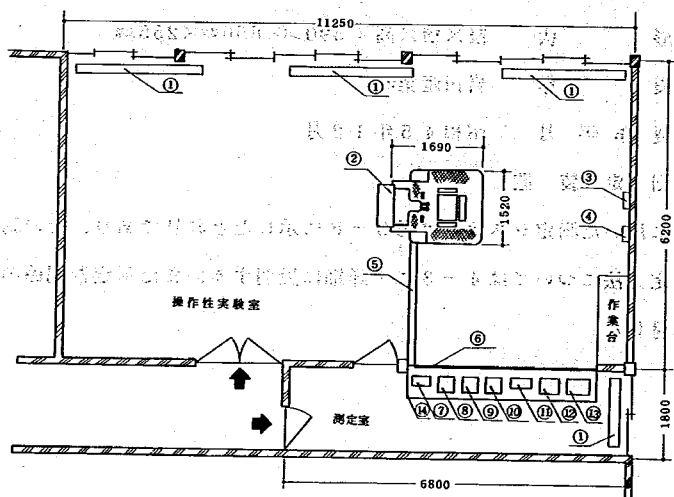


図 3-9 操作性実験室配置図

- | | |
|---------------|------------|
| ① 冷暖房装置 | ⑧ デジタルカウンタ |
| ② ブルドーザ操作追縦装置 | ⑨ デジタルカウンタ |
| ③ 時 計 | ⑩ 生体アンプ |
| ④ 温度、湿度計 | ⑪ ストレインメータ |
| ⑤ ダクト | ⑫ 直流増巾器 |
| ⑥ 遮蔽透明ガラス | ⑬ ペンオシログラフ |
| ⑦ 目標指示器 | ⑭ 計 器 台 |

3-2 実験方法

実験に際して下記の要領で行なった。

- 1) オペレータをブルドーザ操作追縦装置に塔乗させる。
- 2) 追縦パネル上の指示ランプが点灯したら、オペレータはただちにフットペダルを踏み、指標を指示ランプの下の目盛に合わせるようにする。(すなわち指標がランプの右にある場合は左のフットペダル、逆に左にある場合は右のフットペダルを踏込む)
- 3) フットペダル操作力は5、10、12.5、15、17.5、20、25 と30 kgの8種類について行ない、操作力の調整はスプリングを取り替えたり、アジャスターによって調整する(フットペダル踏込み角度とフットペダル操作力との関係は図3-10に示す)
- 4) 1回当りの実験時間は28周期(約40分間)とする。
(全実験回数:
フットペダル操作
力8種×4人=32
回)
- 5) オペレータは4人で行ない、各人

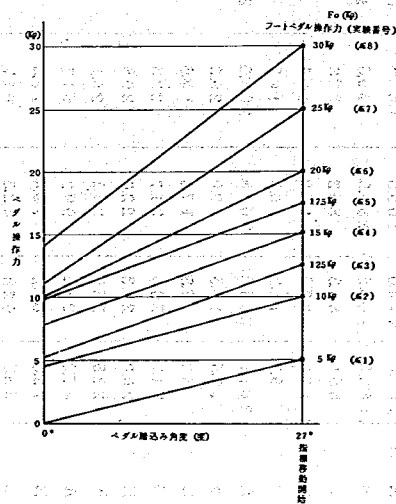


図3-10 ストローク変化に対する負荷の変化

表3-1 人体計測表

オレ名 測定位置	A	B	C	D	A.B.C.D の平均	国鉄職員 の平均	アメリカ人 の平均
体重	56.0	63.5	62.0	55.0	59.1	56.6	77.2
1 A	161.0	174.0	165.5	165.9	166.6	162.6	177.5
1 B	162.0	168.5	161.5	159.6	162.9	—	179.5
1 C	85.1	88.5	85.2	82.8	85.4	—	92.5
1 D	17.6	17.0	16.0	16.4	16.8	—	15.0
1 E	9.7	10.2	10.3	10.2	10.1	9.8	10.7
2 A	201.1	215.0	204.8	204.0	206.2	—	212.5
2 B	17.5	18.5	19.0	20.3	18.8	—	19.5
2 C	16.0	17.5	17.4	18.6	17.4	—	19.5
2 D	21.7	20.5	21.7	22.8	21.7	21.5	23.5
2 E	20.0	21.3	22.0	20.8	21.0	21.8	26.5
2 F	23.5	25.5	25.7	25.1	25.0	24.3	30.0
3 A	87.3	93.0	90.2	91.7	90.6	88.7	90.5
3 B	75.8	81.2	79.4	78.3	78.7	76.9	80.5
3 C	58.7	62.8	62.3	61.7	61.4	—	62.5
3 D	18.8	21.5	19.0	20.3	19.9	—	23.0
3 E	42.4	42.5	43.4	43.2	42.9	37.5	45.5
3 F	14.6	13.5	12.2	10.3	12.7	—	14.5
3 G	43.5	43.8	44.2	43.2	43.7	41.9	48.0
3 H	52.5	55.6	53.5	52.8	53.6	54.3	59.5
3 I	47.3	50.2	48.5	48.2	48.6	47.0	57.5
3 J	42.0	43.2	42.8	44.7	43.2	43.8	47.5
3 K	76.4	78.4	78.4	78.6	78.0	79.5	86.5
3 L	12.2	13.0	12.0	13.0	12.6	—	13.0
3 M	17.0	18.6	17.4	18.6	17.9	17.6	19.5
3 N	10.3	10.2	10.0	10.2	10.2	—	9.0
3 O	3.8	3.0	3.2	3.7	3.4	—	3.0
4 A	41.5	43.0	41.8	41.9	42.1	38.0	46.5
4 B	42.5	44.5	41.0	42.0	42.4	—	45.0
4 C	31.3	30.0	33.0	27.8	30.5	30.8	37.5

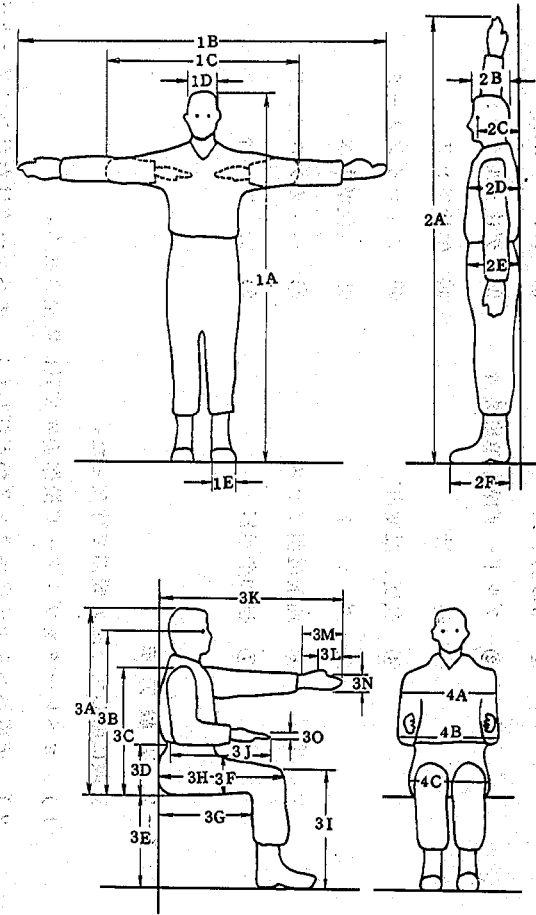


表3-2 実験日程表

フットペタル 操 作 力	オペレータ	実 験 年 月 日	実 験 時 刻	温 (度)	湿 度
5Kg	A	S46. 4.19	PM 2:30	21℃	59 %
	B	4.19	PM 1:30	21	59
	C	4.19	AM 9:30	20	60
	D	4.17	AM 10:30	20	60
10Kg	A	4.21	AM 9:30	22	58
	B	4.21	AM 10:30	26	56.5
	C	4.20	AM 9:30	20	57
	D	4.20	AM 10:30	22	58
12.5Kg	A	4.27	PM 2:30	25	43
	B	4.27	PM 1:30	24	45
	C	4.27	AM 9:30	23	54
	D	4.27	AM 10:30	23	51
15Kg	A	4.26	PM 2:30	24	54
	B	4.26	PM 1:30	25	54
	C	4.26	AM 9:30	20	53
	D	4.26	AM 10:30	20	53
17.5Kg	A	4.28	PM 2:30	22	47
	B	4.28	AM 9:00	22	46
	C	4.28	AM 10:00	21	56
	D	4.28	AM 11:00	23	43
20Kg	A	4.23	PM 4:00	24	68
	B	4.24	AM 9:30	23	55
	C	4.23	AM 9:30	23	68
	D	4.23	PM 1:30	26	60
25Kg	A	4.16	PM 2:30	20	60
	B	4.16	PM 1:30	19	60
	C	4.15	PM 3:00	20	60
	D	4.15	PM 1:30	20	60
30Kg	A	4.22	PM 2:30	20	60
	B	4.22	PM 1:30	20	70
	C	4.22	AM 9:30	18	68
	D	4.22	AM 10:30	20	69

の形態はSAE1971の人体計測法に沿って測定する。(表3-1)

- 6) 実験条件を一定にするため同一オペレータに対して、できるだけ同一時刻で行なう。(表3-2)

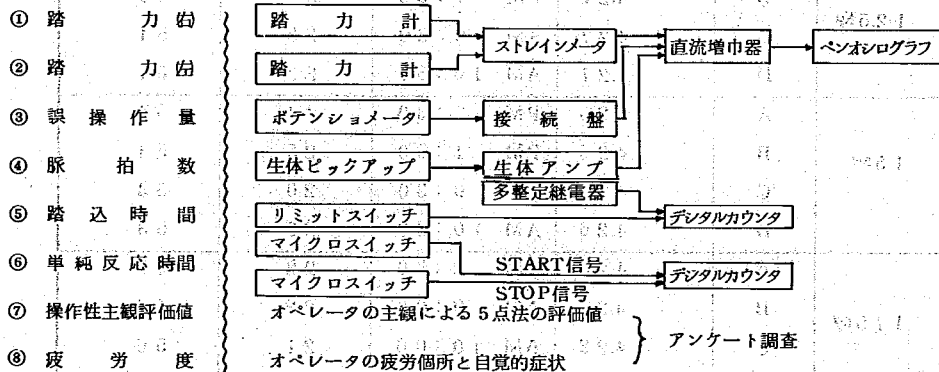
表3-2は実験日程、時刻、およびそのときの温度、湿度を一覧表にしたものである。

3-3 測定事項

測定事項については表3-3で示したように行ない。主要測定項目の詳細について下記に説明する。

表3-3 測定事項と計器系統表

・測定事項・



- 1) 踏込時間は指示ランプが点灯してから、オペレータがフットペダルを踏込み、指標が移動を始めるまでの時間であり、これをデジタルカウンタによって1/1000秒の単位にて測定する。
- 2) 誤操作量は指示ランプから指標がどの程度外れて停止したかを示すもので、ランプとランプの間を100等分し行き過ぎて停止した場合は正、手前に停止した場合は負でその量をポテンションメータによって測定する。
- 3) 脈拍は実験直前直後の1分間の脈拍数を測定する。
- 4) 単純反応時間は測定者がオペレータの前面のデジタルカウンタのスタートスイッチを押すと、デジタルカウンタのランプが点灯し、オペレータがそれを確認した後ただちに手元のストップスイッチ押すまでの時間で、この時間は1/1000秒

の単位にて表示される。これを実験直前直後10回づつ測定する。

(5) 操作性主観評価値は実験後、オペレータの主観によって、フットペダルの操作の難易度を5点法によって評価したものであり、この評価尺度は下記のとおりである。

- 1 : 理想的なフットペダル操作力
- 2 : かなり良いフットペダル操作力
- 3 : 普通のフットペダル操作力
- 4 : かなり悪いフットペダル操作力
- 5 : 非常に悪いフットペダル操作力

(6) 疲労個所については実験後、眼部・肩部・背部・脚部などをアンケートによって調査する。

7) 自覚的症狀については実験後、全身がだるい、いらいらする、手足がふるえる、頭がぼんやりする、気分が重いなどをアンケートによって調査する。

4. 解析方法

この実験で最終的に究明するフットペダルの最適操作力とは下記の要素が合致したものの、もしくは、合致数の多いものをいう。

- 1) 誤操作量（運転ミス）が最も少ないもの
- 2) 誤操作量標準偏差（運転ミスのむら）が最も少ないもの
- 3) 踏込時間（踏込反応時間）が最も短いもの
- 4) 踏込時間標準偏差（踏込反応時間のムラ）が最も少ないもの
- 5) オペレータ自身の判断による操作性主観評価値が小さなもの
- 6) オペレータ自身の自覚的症状や疲労度が最も少ないもの

これらを総合し端的に書き表わせれば、理想的なフットペダル操作力の機械とは運転ミスが少なく、外部からの刺激に瞬時に反応できかつムラなく、オペレータ自身が操作しやすいと感じ、疲労の少ないものといえる。

このような機械は人間—機械系が適合している場合に起こり、そのとき作業能率が最大になる。一般に言われていることはフットペダル操作力がある程度以上になるとオペレータの疲労により、操作が困難となり、誤操作量や踏込み時間の急激な増加の原因となる。また逆にフットペダル操作力が極度に小さいと、オペレータ自身が操作に対して不安感や不安定感をもち、これらが誤操作量や踏込み時間の増加につながるとされている。

このことからフットペダル操作力と誤操作量や踏込時間等との間に誤操作量や踏込時間等が急激に増加する変曲点が操作力の上・下限にあり、その間にそれぞれの極小値があると思われる。

これがフットペダルの最適操作力であり、フットペダル操作力の設定に当たっては少なくとも変曲点間で使用すべきである。

しかしながらこの変曲点および極小値は定性的にも定量的にもいまだ説明されていない。

ジェンキンソン、フィッシャや、パーレンによる操作力の研究²⁾によれば、27 Kg (60 Ib) 以上になると疲れやすくなるとか、2.3 Kg (5 Ib) ~ 4.5 Kg (10 Ib) 以下のあまり軽いペダルでは危険である。また自動車工学ハンドブックによれば男子で 20~40 Kg、女子で 15~30 Kg 位が楽に出せる力であると記載されてあるのみで、誤操作量や踏込時間等と操作力との関係はさだかではない。

この問題を以上のことを考慮しながら実験結果を解析し考察し最適操作力を究明する。

5. 実験結果および考察

表5-1~5-5はこの実験による各オペレータおよびその4人平均の実験計測値と

実験結果を一覧表に作成したものである。なお、実験状況と、実験装置の写真を付録に添付した。

各計測項目の整理記号を列記すれば次の通りである。

Ex. No. :	実験整理番号	E :	誤操作量
Fo (kg) :	フットペダル操作力	Esd :	誤操作量標準偏差
T (min) :	実験時間	R :	踏込時間
		Rsd :	踏込時間標準偏差

5-1 フットペダル操作力と誤操作量との関係 (図5-1)

この実験における誤操作量は目標値より指標がどの程度外れて停止したかを示す量であり、実機においては目標停止線からの外れや速度制御の巧劣に相当するものであるから、誤操作量はできるだけ少ない方が良いと言える。

図5-1はオペレータ毎のフットペダル操作力と各々のフットペダル操作力での算術平均誤操作量との関係を示し、4者の平均値も書き加えた。なお、誤操作量標準偏差、踏込時間、同標準偏差および主観評価値も同様な方法で処理をした。

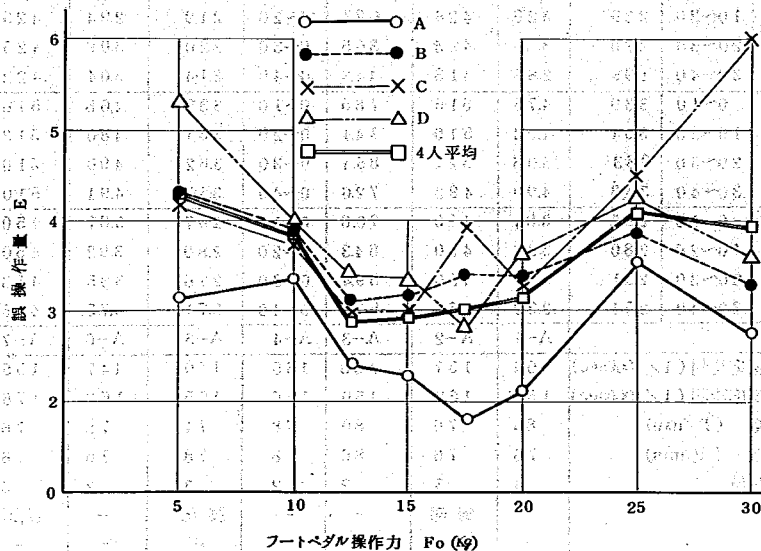


図5-1 フットペダル操作力と誤操作量

表5-1 オペレータA実験結果一覧表(表1)

EX. No	Fo (秒)	T' (min)	E'	E' sd	R' (1/1000 sec)	R' sd (1/1000 sec)	T (min)	E	E sd	R (1/1000 sec)	R sd (1/1000 sec)
A-1	5.0	0~10	4.33	5.74	454	62.3	0~10	4.33	5.99	454	62.4
		10~20	2.86	3.99	447	62.3	0~20	3.59	5.16	451	61.9
		20~30	2.73	3.90	430	66.7	0~30	3.30	4.81	444	64.8
		30~40	2.67	3.77	435	58.1	0~40	3.15	4.59	442	63.4
A-2	10.0	0~10	3.64	4.42	519	77.6	0~10	3.64	4.39	519	82.8
		10~20	3.87	4.78	516	65.1	0~20	3.76	4.56	518	78.7
		20~30	2.83	3.36	512	81.9	0~30	3.45	4.24	516	80.4
		30~40	3.10	3.89	502	76.8	0~40	3.36	4.17	512	80.4
A-3	12.5	0~10	3.34	3.97	419	36.0	0~10	3.34	3.85	419	38.6
		10~20	2.10	2.99	423	34.0	0~20	2.72	3.56	421	36.9
		20~30	1.79	2.66	419	39.7	0~30	2.41	3.28	420	38.0
		30~40	2.41	3.41	427	36.3	0~40	2.41	3.34	422	38.1
A-4	15.0	0~10	2.90	3.71	408	40.2	0~10	2.90	3.71	408	39.6
		10~20	1.89	2.72	388	46.3	0~20	2.39	3.32	398	44.3
		20~30	2.06	3.21	409	46.7	0~30	2.28	3.34	402	46.0
		30~40	2.43	3.40	410	44.4	0~40	2.32	3.39	404	46.0
A-5	17.5	0~10	1.93	2.85	394	38.4	0~10	1.93	3.01	394	40.7
		10~20	1.93	3.01	398	38.5	0~20	1.93	3.01	396	42.3
		20~30	1.91	3.14	407	42.2	0~30	1.92	3.09	400	43.2
		30~40	1.37	2.13	411	44.4	0~40	1.79	2.89	403	45.0
A-6	20.0	0~10	2.00	2.20	425	39.8	0~10	2.00	2.26	425	40.8
		10~20	2.39	3.28	426	67.7	0~20	2.19	2.94	425	44.7
		20~30	2.20	3.33	423	36.5	0~30	2.20	3.09	425	42.1
		30~40	1.99	2.82	413	44.9	0~40	2.14	3.04	422	42.9
A-7	25.0	0~10	3.39	4.76	516	78.5	0~10	3.39	4.68	516	90.4
		10~20	3.64	4.93	510	74.4	0~20	3.51	4.80	513	83.4
		20~30	3.83	5.03	521	85.4	0~30	3.62	4.90	516	86.4
		30~40	3.43	4.90	493	72.6	0~40	3.57	4.91	510	85.1
A-8	30.0	0~10	2.97	3.81	450	70.6	0~10	2.97	3.87	450	70.4
		10~20	2.80	3.83	450	84.3	0~20	2.89	3.92	450	78.5
		20~30	2.51	3.51	460	59.4	0~30	2.76	3.85	453	72.6
		30~40	2.54	3.39	465	53.1	0~40	2.71	3.75	456	69.0
				A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
実験前の単純反応時間(1/1000sec)				164	157	168	165	140	147	155	139
実験後の単純反応時間(1/1000sec)				155	162	150	156	155	162	176	147
実験前の脈拍数 (P/min)				86	76	80	78	74	78	76	86
実験後の脈拍数 (P/min)				76	76	86	78	78	76	78	88
操作性主観評価値				4	3	2	2	3	2	3	4
疲労部分				-	脚 部	-	-	脚 部	-	眼 脚部	足の裏
自覚的症状				-	-	-	-	-	-	-	-
参考 立作業時の脈拍数				86		事務作業時の脈拍数		70			

表5-2 オペレータB実験結果一覧表(表2)

Ex No	Fo (kg)	T' (min)	E'	E' SD	R' (1/1000 sec)	R' SD (1/1000 sec)	T (min)	E	E SD	R (1/1000 sec)	R SD (1/1000 sec)
B-1	5.0	0~10	4.03	4.77	559	118.9	0~10	4.03	4.79	559	118.4
		10~20	4.10	4.88	510	110.3	0~20	4.06	4.90	535	117.0
		20~30	4.29	5.59	505	94.9	0~30	4.14	5.26	525	111.7
		30~40	4.84	6.81	526	101.5	0~40	4.31	5.75	525	109.7
B-2	10.0	0~10	4.16	4.76	632	65.9	0~10	4.16	4.70	632	67.8
		10~20	4.69	5.61	567	78.8	0~20	4.42	5.25	599	86.5
		20~30	3.49	4.79	569	87.4	0~30	4.11	5.14	589	94.1
		30~40	3.33	4.19	578	65.5	0~40	3.91	4.96	586	88.7
B-3	12.5	0~10	2.13	3.05	459	42.8	0~10	2.13	3.19	459	43.8
		10~20	3.54	4.68	440	47.8	0~20	2.84	4.07	449	46.7
		20~30	2.70	3.79	427	53.6	0~30	2.79	4.02	442	50.7
		30~40	3.60	4.85	437	49.3	0~40	2.99	4.28	441	50.5
B-4	15.0	0~10	3.09	3.68	508	58.5	0~10	3.09	3.72	508	57.4
		10~20	3.53	4.90	663	50.0	0~20	3.31	4.31	501	56.5
		20~30	3.50	4.45	498	54.0	0~30	3.37	4.41	500	56.4
		30~40	2.34	3.58	488	49.0	0~40	3.11	4.35	497	54.9
B-5	17.5	0~10	2.97	3.95	486	40.6	0~10	2.97	4.27	486	40.5
		10~20	2.91	4.12	440	52.0	0~20	2.94	4.29	463	52.0
		20~30	4.17	5.58	439	47.8	0~30	3.35	4.73	455	52.0
		30~40	3.49	4.62	460	52.3	0~40	3.39	4.78	456	53.0
B-6	20.0	0~10	3.93	4.96	545	61.3	0~10	3.93	5.03	545	61.9
		10~20	3.06	4.18	518	90.4	0~20	3.49	4.63	532	83.3
		20~30	3.46	4.79	525	63.5	0~30	3.48	4.76	530	78.5
		30~40	3.16	4.49	510	71.2	0~40	3.40	4.73	525	77.9
B-7	25.0	0~10	3.97	5.32	753	75.2	0~10	3.97	5.26	753	86.0
		10~20	3.53	4.92	663	70.4	0~20	3.75	5.06	708	92.6
		20~30	3.87	5.15	641	72.5	0~30	3.79	5.15	686	92.3
		30~40	4.09	5.40	595	87.2	0~40	3.86	5.28	663	100.8
B-8	30.0	0~10	2.90	4.40	535	65.8	0~10	2.90	4.26	535	71.1
		10~20	3.19	4.24	481	53.0	0~20	3.04	4.37	522	65.1
		20~30	3.41	5.12	483	63.5	0~30	3.17	4.62	509	67.4
		30~40	3.49	4.83	486	60.4	0~40	3.25	4.68	503	66.5
			B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	
実験前の単純反応時間(1/1000sec)			158	154	143	142	147	158	167	140	
実験後の単純反応時間(1/1000sec)			171	167	158	157	147	153	171	158	
実験前の脈拍数(P/min)			90	74	77	68	70	76	80	56	
実験後の脈拍数(P/min)			77	74	74	62	74	81	75	54	
操作性主観評価値			4	1	3	2	4	4	4	4	
疲労部分			眼 脚部		眼 脚部		眼 脚部		眼 脚部		足の裏
自覚的症狀			—		—		全身がだるい		—		手がふるえる
参考 立作業時の脈拍数			53		事務作業時の脈拍数		62				

表5-3 オペレータC実験結果一覧表 (No.3)

Ex. No.	Fo (kg)	T' (min)	E'	E' SD	R' (1/1000 sec)	R' SD (1/1000 sec)	T (min)	E	E SD	R (1/1000 sec)	R SD (1/1000 sec)
C-1	5.0	0~10	470	626	673	537	0~10	470	617	673	569
		10~20	386	498	659	467	0~20	428	554	666	555
		20~30	430	464	688	623	0~30	429	536	673	599
		30~40	399	516	676	662	0~40	421	533	674	622
C-2	10.0	0~10	400	489	670	407	0~10	400	514	670	472
		10~20	277	395	686	523	0~20	339	460	678	518
		20~30	444	539	656	689	0~30	374	491	670	632
		30~40	369	515	680	579	0~40	372	502	673	620
C-3	12.5	0~10	314	435	571	478	0~10	314	433	572	485
		10~20	264	367	569	502	0~20	289	402	570	528
		20~30	279	382	544	486	0~30	286	394	562	530
		30~40	330	440	565	591	0~40	297	408	562	563
C-4	15.0	0~10	327	424	613	460	0~10	327	418	613	523
		10~20	313	382	614	406	0~20	320	406	614	474
		20~30	306	439	622	610	0~30	315	416	616	535
		30~40	267	346	606	555	0~40	303	409	614	556
C-5	17.5	0~10	393	487	587	498	0~10	393	484	587	532
		10~20	431	438	577	543	0~20	412	475	582	564
		20~30	351	428	570	552	0~30	392	467	578	566
		30~40	384	453	581	718	0~40	390	464	579	628
C-6	20.0	0~10	271	378	651	503	0~10	271	378	652	516
		10~20	341	490	640	546	0~20	329	437	646	539
		20~30	276	404	641	608	0~30	311	430	644	589
		30~40	381	515	635	536	0~40	329	450	642	580
C-7	25.0	0~10	546	700	706	500	0~10	546	711	706	560
		10~20	407	603	698	686	0~20	476	654	702	646
		20~30	399	546	740	708	0~30	450	620	715	731
		30~40	427	587	770	930	0~40	446	613	729	826
C-8	30.0	0~10	450	617	690	636	0~10	450	611	690	697
		10~20	660	774	666	646	0~20	555	738	678	752
		20~30	631	763	679	588	0~30	580	745	678	719
		30~40	641	707	713	811	0~40	596	740	687	762
			C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	
実験前の単純反応時間 (1/1000sec)			159	157	146	147	165	161	159	152	
実験後の単純反応時間 (1/1000sec)			181	173	170	176	176	181	187	183	
実験前の脈拍数 (P/min)			105	81	75	95	69	84	63	76	
実験後の脈拍数 (P/min)			82	70	76	88	77	83	69	73	
操作性主観評価値			3	2	1	2	2	3	3	5	
疲労部分			—	肩 部	—	—	眼 部	脚 部	脚 部	眼脚部	
自覚的症狀			—	—	—	—	—	—	脚 部 の 痺 れ が し る	—	
参考 立作業時の脈拍数			90	事務作業時の脈拍数			70				

表5-4 オペレータD実験結果一覧表(※4)

Ex. 号	Fo (kg)	T' (min)	E'	E' sd	R' (1/1000 sec)	R' sd (1/1000 sec)	T (min)	E	E sd	R (1/1000 sec)	R sd (1/1000 sec)
D-1	5.0	0~10	5.40	6.44	610	682	0~10	5.40	6.65	610	680
		10~20	5.40	6.99	636	783	0~20	5.40	6.85	623	771
		20~30	5.20	6.41	625	553	0~30	5.33	6.81	623	723
		30~40	5.09	6.49	696	689	0~40	5.27	6.76	642	782
D-2	10.0	0~10	4.39	5.29	552	386	0~10	4.39	5.63	552	409
		10~20	4.07	5.56	578	590	0~20	4.23	5.61	565	560
		20~30	3.77	5.39	571	592	0~30	4.08	5.49	567	576
		30~40	3.69	5.09	554	549	0~40	3.98	5.39	564	570
D-3	12.5	0~10	3.63	4.64	589	435	0~10	3.63	4.74	589	456
		10~20	3.50	4.79	603	473	0~20	3.56	4.82	596	477
		20~30	2.56	3.76	606	464	0~30	3.23	4.50	598	478
		30~40	3.93	4.98	645	564	0~40	3.40	4.62	610	546
D-4	15.0	0~10	3.51	4.58	569	565	0~10	3.51	4.72	569	594
		10~20	2.91	3.96	607	533	0~20	3.21	4.41	588	600
		20~30	3.77	4.82	606	635	0~30	3.40	4.63	594	649
		30~40	3.29	4.53	600	799	0~40	3.37	4.62	596	699
D-5	17.5	0~10	3.49	4.49	593	430	0~10	3.49	4.56	593	565
		10~20	2.67	3.74	571	419	0~20	3.08	4.21	582	530
		20~30	2.84	4.05	547	473	0~30	3.00	4.17	570	542
		30~40	2.37	3.72	546	430	0~40	2.84	4.06	564	528
D-6	20.0	0~10	3.24	4.58	541	405	0~10	3.24	4.61	541	412
		10~20	4.20	5.39	574	640	0~20	3.72	5.05	558	568
		20~30	3.46	4.51	583	566	0~30	3.63	4.92	566	583
		30~40	3.90	5.59	565	575	0~40	3.70	5.07	566	595
D-7	25.0	0~10	4.10	4.95	617	874	0~10	4.10	5.33	617	971
		10~20	3.69	4.64	580	898	0~20	3.89	5.04	598	965
		20~30	4.36	5.60	550	556	0~30	4.05	5.30	582	883
		30~40	5.00	6.54	549	731	0~40	4.29	5.61	574	868
D-8	30.0	0~10	3.61	4.83	566	581	0~10	3.61	5.02	566	729
		10~20	3.70	5.21	521	582	0~20	3.66	5.09	544	699
		20~30	3.34	4.92	549	495	0~30	3.55	5.05	546	668
		30~40	3.59	4.96	572	547	0~40	3.56	5.03	552	658
			D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8	
実験前の単純反応時間(1/1000sec)			172	175	169	169	176	155	185	177	
実験後の単純反応時間(1/1000sec)			188	196	173	166	177	165	177	168	
実験前の脈拍数(p/min)			67	65	65	64	68	75	69	68	
実験後の脈拍数(p/min)			67	71	67	70	65	79	65	72	
操作性主観評価値			4	2	2	3	2	4	4	5	
疲労部分			肩 部	—	眼 部	—	眼 部	眼 脚部	—	眼・脚部	
自覚的症狀			—	—	—	いらいする	—	—	頭がぼんやりする	—	
参考 立作業時の脈拍数			65	事務作業時の脈拍数 70							

表5-5 オペレータA, B, C, Dの平均実験結果一覧表(表5)

Ex. No.	Po (kg)	T' (min)	E'	E' SD	R' (1/1000 sec)	R' SD (1/1000 sec)	T (min)	E	E SD	R (1/1000 sec)	R SD (1/1000 sec)
1	5.0	0~10	4.62	5.80	574	75.8	0~10	4.62	5.90	574	76.4
		10~20	4.06	5.21	563	74.4	0~20	4.33	5.61	569	77.9
		20~30	4.13	5.14	562	69.8	0~30	4.27	5.56	566	77.2
		30~40	3.77	5.58	583	73.7	0~40	4.24	5.61	571	78.4
2	10.0	0~10	4.05	4.84	593	55.7	0~10	4.05	4.97	593	59.7
		10~20	3.85	4.98	587	63.8	0~20	3.95	5.01	590	68.3
		20~30	3.63	4.73	577	74.35	0~30	3.85	4.95	586	73.8
		30~40	3.45	4.58	453	63.8	0~40	3.74	4.89	584	72.0
3	12.5	0~10	3.06	4.00	510	42.5	0~10	3.06	4.03	510	44.1
		10~20	2.95	4.03	509	44.8	0~20	3.00	4.12	509	46.0
		20~30	2.46	3.51	499	47.1	0~30	2.82	3.94	506	47.4
		30~40	3.31	4.41	519	50.3	0~40	2.94	4.08	509	49.9
4	15.0	0~10	3.19	4.05	525	50.3	0~10	3.19	4.08	525	52.2
		10~20	2.87	3.85	568	47.6	0~20	3.03	4.03	525	52.1
		20~30	3.10	4.33	534	56.3	0~30	3.05	4.14	528	55.2
		30~40	2.68	3.74	526	57.2	0~40	2.96	4.11	528	56.6
5	17.5	0~10	3.08	4.04	515	43.0	0~10	3.08	4.17	515	47.7
		10~20	2.96	3.81	497	46.7	0~20	3.02	4.07	506	50.9
		20~30	3.11	4.26	491	48.1	0~30	3.05	4.17	501	51.5
		30~40	2.77	3.75	500	52.9	0~40	3.26	4.09	501	53.4
6	20.0	0~10	2.97	3.88	541	48.0	0~10	2.97	3.92	541	48.9
		10~20	3.27	4.44	540	69.2	0~20	3.17	4.25	540	59.7
		20~30	2.97	4.17	543	54.4	0~30	3.11	4.27	541	59.5
		30~40	3.22	4.51	531	56.8	0~40	3.13	4.34	539	59.6
7	25.0	0~10	4.23	5.51	648	72.8	0~10	4.23	5.60	648	82.4
		10~20	3.73	5.13	485	75.8	0~20	3.98	5.36	630	84.3
		20~30	4.01	5.31	613	71.1	0~30	3.99	5.39	625	85.0
		30~40	4.20	5.68	602	81.5	0~40	4.05	5.48	619	88.8
8	30.0	0~10	3.50	4.80	560	64.5	0~10	3.50	4.82	560	71.0
		10~20	4.07	5.26	530	65.0	0~20	3.48	5.19	549	72.2
		20~30	3.89	5.30	543	57.8	0~30	3.82	5.24	547	69.7
		30~40	4.01	5.06	559	62.3	0~40	3.87	5.22	550	69.4
			1	2	3	4	5	6	7	8	
実験前の単純反応時間 (1/1000sec)			163	161	157	156	157	155	167	152	
実験後の単純反応時間 (1/1000sec)			174	175	163	164	164	165	178	164	
実験前の脈拍数 (p/min)			87	74	74	76	70	78	72	72	
実験後の脈拍数 (p/min)			76	73	76	75	74	80	72	72	
操作性主観評価値			3.75	2.25	2.00	2.25	2.50	3.25	3.50	4.50	
疲労部分 自覚症状											
参考 立作業時の脈拍数			74	事務作業時の脈拍数			68				

図5-1の結果から見れば、個人間で多少は異なるが、オペレータA B C D共、共通なことは、各人の極小値は12.5~17.5Kgの間に集中し、フットペダル操作力が10Kgまたは25Kgになると急激に誤操作量が増加し、それ以下または以上になるとフラットな形となる。また4人平均も同様な傾向を示すところから、誤操作量のみから見たフットペダルの最適操作力は125Kgで急激に誤操作量の増加する変曲点は10Kgと25Kgであると思われる。

これらの原因として考えられることは前述のフットペダル操作力が重すぎると、肉体的な疲労や重すぎて細かな操作ができにくくなり、一方軽すぎると機械的な感覚がなくなり重すぎる場合と同様な現象がでると思われる。しかし、誤操作量はフットペダル操作力を極端に大きくまたは小さくしても無限に増加するものではなく、一定もしくはゆるい増加を示し、ある値に収れんするものと思われる。

5-2 フットペダル操作力と誤操作量標準偏差との関係 (図5-2)

誤操作量標準偏差は指示目標値より指標の外れのバラツキを示すものでいわゆる運転のムラに当てはまるものであるから、標準偏差はできるだけ小さな方がよい。

図5-2は各オペレータと4人平均毎のフットペダル操作力での誤操作量標準偏差との関係を示す。

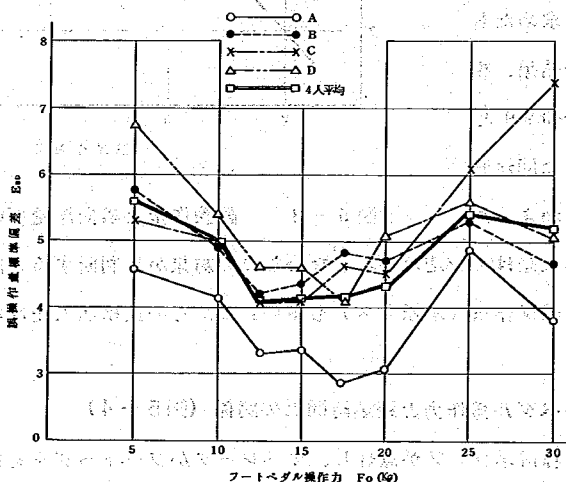


図5-2 フットペダル操作力と誤操作量標準偏差

本図の結果を見ると図5-1と同様な傾向がみられ、各オペレータの極小値は125~

1.7.5. 10kg間に集中、10.

kg以下や25kg以上に
ると急激に増加する傾向
がある。これらの原因と
なるのは前項で述べたよ
うなことが起因している
と思われる。

誤操作量標準偏差から
フットペダルの最適操作
力を求めると4人平均の
極小値の12.5kgであり、
また変曲点は10kgと25
kgであると思われる。

図5-3は誤操作量と
その標準偏差との関係を
とらえるため、その相関
係数と回帰線を求めたも
のである。この結果、相
関係数は0.94~0.99と
非常に高く、また回帰直
線は4者ともにかよった

直線となり、個人差はほとんどない。すなわちこの結果から判断すると誤操作量のバラツ
キの多い人間は誤操作量（運転ミス）も多い。またその比は個人差はなく一定な比とな
ると言える。

5-3 フットペダル操作力と踏込時間との関係（図5-4）

踏込時間は目標指示ランプが点灯し、オペレータがフットペダルを踏込むまでの時間
であって、外部からの情報刺激に対する反応に要する時間である。

実機においては障害物や信号等の情報刺激に対して反応を示すまでの時間（知覚反応
時間）で年齢、性別や環境等で異なるが、これはできるだけ短時間の方が良い。

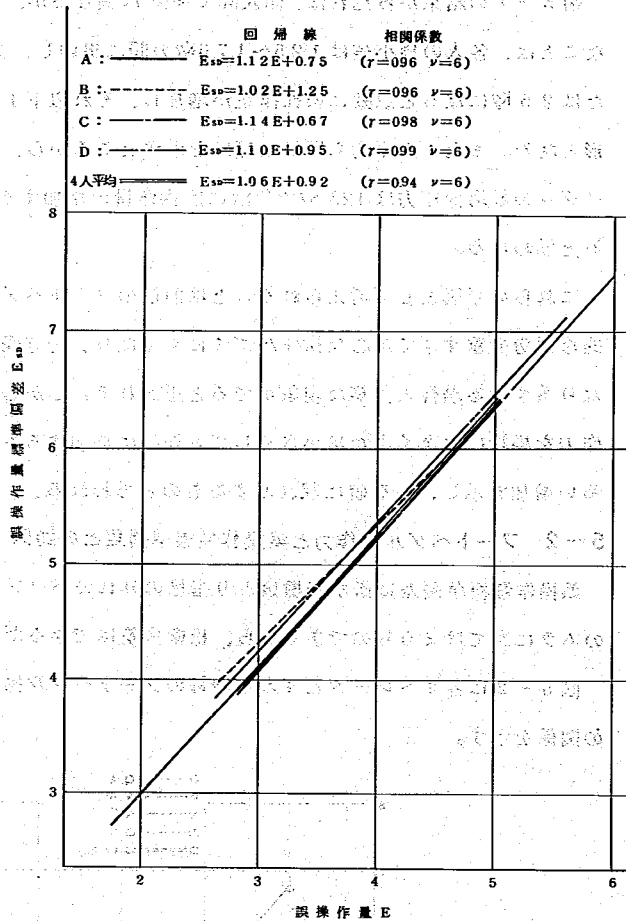


図5-3 誤操作量と誤操作量標準偏差

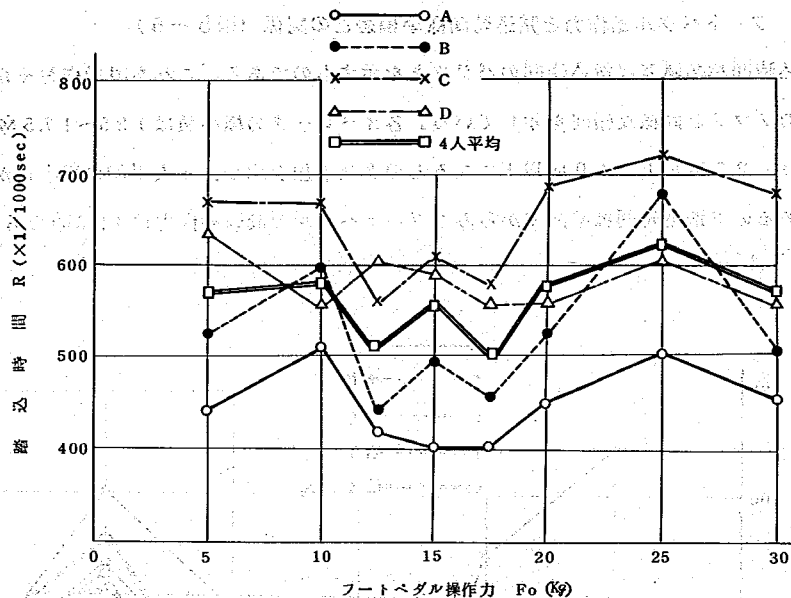


図 5-4 フートペダル操作力と踏込時間

図 5-4 よりの結果からみるとオペレータ D を除いた A B C の三者共、同様な傾向を示している。すなわち、フートペダル操作力が 20 Kg 以上、10 Kg 以下になると踏込時間が増加する傾向があり、各人の極小値は 12.5 Kg から 17.5 Kg の間に集中している。また、誤操作量と同様に、フートペダル操作力が重くなるとオペレータの疲労や、負荷が大きいため反応時間や踏込む時間が遅れ、また、軽すぎるとオペレータが操作に対して不安定感、いわゆる踏みごたえがないため踏込時間が遅れると考えられる。これについて、オペレータ自身に実験後感想を聞いたところ、上述と同様な意見であった。

結論として踏込時間からフートペダルの最適操作力を求めると 4 人平均の極小値 175 Kg が最適であるといえる。

各人の踏込時間の最長短の差が約 100~250ms ある。これが実機において 5 m/s で走行していると仮定すると、誤差距離の差が 0.5~1 m 生ずる。この試験機では指標の速度が 6 cm であるから、そのズレは 0.6~1.5 cm で誤操作量に換算すると 12~30 程度であり、実際の誤操作量よりだいぶ大きな値を示している。実験ではオペレータ自身がこれらの踏込遅れ時間を考慮して指標を合わせるでこの値より小さくなる。これらが誤操作量の原因の一つとも考えられる。

5-4 フートペダル操作力と踏込時間標準偏差との関係 (図5-5)

踏込時間標準偏差は踏込時間のバラツキを示すものである。これも誤操作量や踏込時間等のグラフと同様な傾向を示している。各オペレータの極小値は12.5~17.5 Kgの間にあり、2.5 Kg以上、1.0 Kg以下になると顕著な増加を示し、4人平均の極小値が12.5 Kgであるので踏込時間標準偏差からみたフートペダルの最適操作力は12.5 Kgであるといえる。

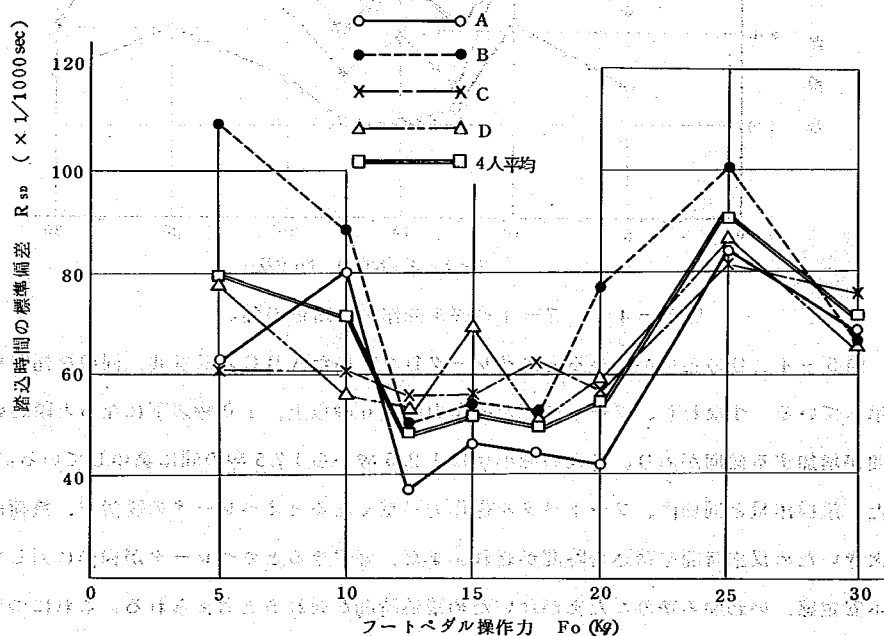


図5-5 フートペダル操作力と踏込時間の標準偏差

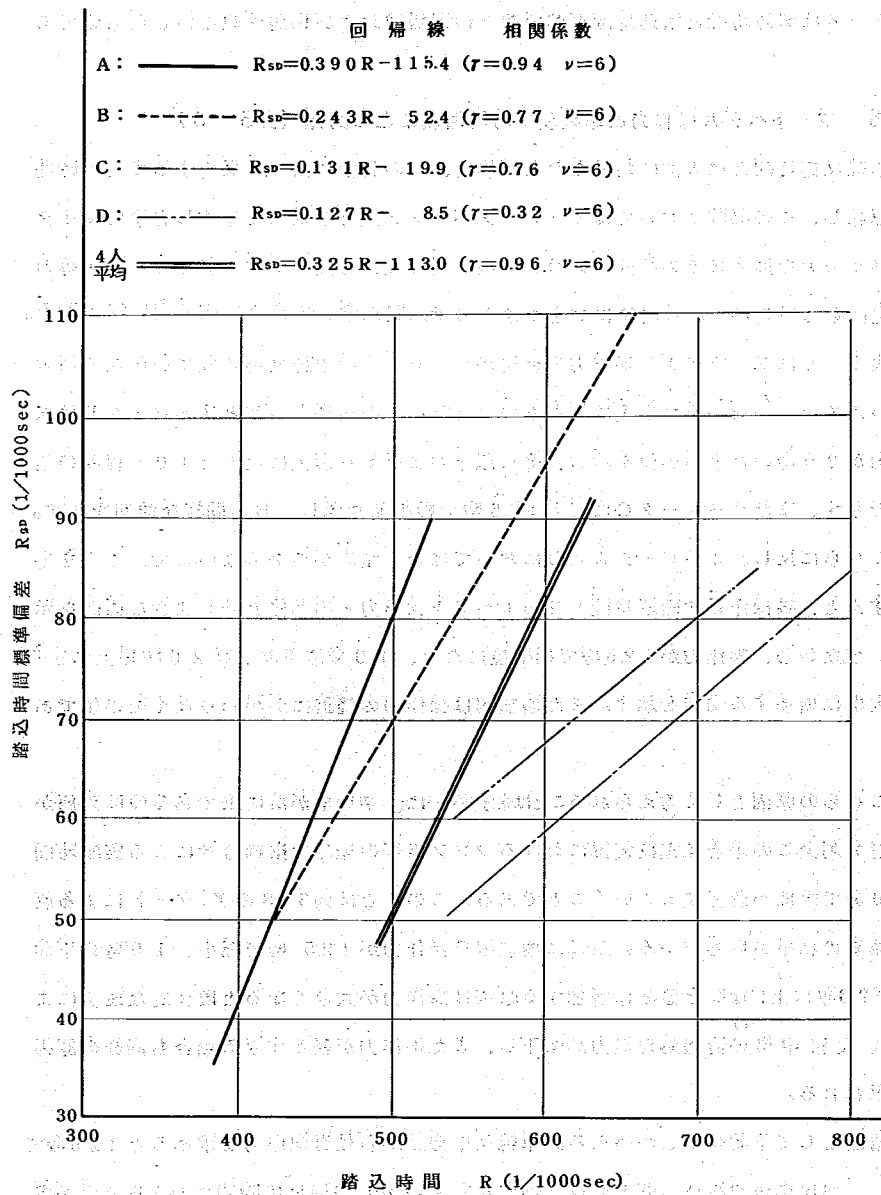


図 5 - 6 踏込時間と踏込時間標準偏差

図5-6は踏込時間と踏込時間標準偏差との回帰線および相関係数を示したものである。

5-5 フートペダル操作力と単純反応時間増加率との関係 (表5-6)

単純反応時間とは人間に刺激を与えた場合、この刺激に対して反応するまでの時間を意味し、この実験においてはオペレータがランプ点灯を眼にて確認し右手でマイクロスイッチを押すまでの時間をいう。一般に単純反応時間は精神疲労や眼の疲労等の判定にもちいるが、かつ簡単に測定できるので人間工学上の実験に広く用いられている。

表5-6はフートペダル操作力の軽重がオペレータの単純反応時間にいかなる影響を与えているかをみるため表にしたものである。この結果をみるとオペレータBは操作力が20Kgのとき極小値を示し、それ以下およびそれ以上になると10%程度の増加を示す、またオペレータCにても17.5Kgで極小値を示し、Bと同様な傾向を示す。

これらに反し、オペレータAとDにおいては全く傾向がつかめないで、4人を平均すると、誤操作量や踏込時間とフートペダル操作力との関係と同じような傾向を示す。すなわち、操作力が12.5Kgで極小値になり、10Kg以下および20Kg以上になると大巾に増加する傾向を示す。また増加率は操作力の軽重にかかわらず正の値である。

これらの原因として考えられることはまず第一に、増加率が常に正であるのは外部から情報刺激この場合は追従装置におけるランプ点灯の確認を指標合せによる実験時間40分で眼部が疲労するということである。このことは図5-8のアンケートによる疲労調査の結果からもわかる。第二に増加率は操作力が12.5Kgで極小、10Kg以下および20Kg以上になると急激に増加する原因は操作力が大きくなると肉体的な疲労によって大脳中枢の情報処理能力が低下し、また操作力が軽すぎる場合も同様の原因と思われる。

結論として下記のことがいえる。単純反応時間から最適操作力を求めると12.5Kgであり、誤操作量や踏込時間と同様な傾向を示す。しかし単純反応時間に与える要因が多いので非常にバラツキが大きい。

表 5 - 6 単純反応時間測定結果一覧表

操 作 力	オペレータ A				オペレータ B				オペレータ C				オペレータ D				A . B . C . D の平均			
Fo (kg)	前	後	差	増加率	前	後	差	増加率	前	後	差	増加率	前	後	差	増加率	前	後	差	増加率
5.0	164	155	- 9	-5.49%	158	171	13	8.23%	159	181	22	13.84%	172	188	16	9.30%	163	174	11	6.75%
10.0	157	162	5	3.18	154	167	13	8.44	157	173	16	10.19	175	196	21	12.00	161	175	14	8.70
12.5	168	150	-18	-10.71	143	158	15	10.49	146	170	24	16.44	169	173	4	2.37	157	163	6	3.82
15.0	165	156	- 9	-5.45	142	157	15	10.56	147	176	29	19.73	169	166	- 3	-1.78	156	164	8	5.13
17.5	140	155	15	10.71	147	147	0	0.00	165	176	11	6.67	176	177	1	0.57	157	164	7	4.46
20.0	147	162	15	10.20	158	153	- 5	-3.16	161	181	20	12.42	155	165	10	6.45	155	165	10	6.45
25.0	155	176	21	13.55	167	171	4	2.40	159	187	28	17.61	185	177	- 8	-4.32	167	178	11	6.59
30.0	139	147	8	5.76	140	158	18	12.86	152	183	31	20.39	177	168	- 9	-5.08	152	164	12	7.89

* 単位は $\times 1/1000\text{sec}$

5-6 フートペダル操作力と操作性主観評価値との関係 (図5-7)

本図はフートペダル操作力とオペレータ自身の主観による操作性の評価値との関係を見るため、各オペレータとその4人平均を図示したものである。

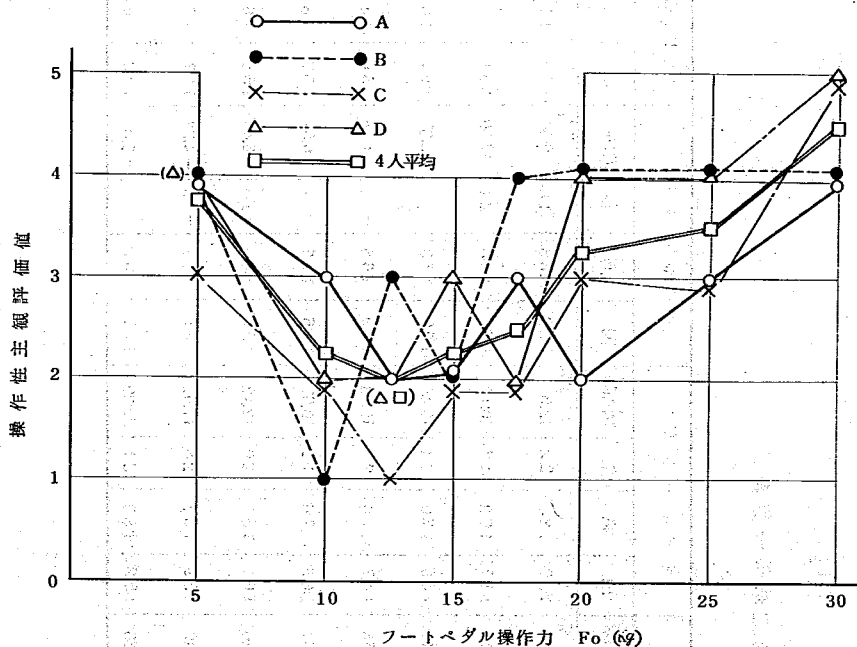


図5-7 フートペダル操作力と操作性主観評価値

操作性主観評価値は実験後フートペダルの操作の難易度を5点法によって評価したものである。前項等で記述した誤操作量や踏込時間等からフートペダルの最適操作力を設定する方法は客観的な評価方法であり、一方操作性主観評価値や後述する自覚的症狀や疲労個所調査等からの判定はオペレータ自身の主観で判定するので主観的な評価方法である。

本図の結果からみると、10、12.5、17.5、20 kgにおいては各オペレータの評価点の最大と最小の差が3点もあり、個人によってその評価が大きく開いているが、重すぎると思われる25、30 kg、逆に軽すぎると思われる5 kgではその差が2点程度で、その評価の差が狭くなる。これらのことより、人間は非常に重いとか軽いという両極端の評価は個人間の差はあまりない。普通の状態を評価すると個人によって大きく差がでる。これは人間の感覚というのが非常にアイマイ

であり、たとえば、1.25Kgのフットペダル操作力ではオペレータCは理想的なフットペダル操作力と評価しているのに対し、Bにおいては普通であると評価しその差は大きい。また、同一オペレータで操作力の変化に対しての評価値をみると、Bは1.0Kgではかなり良い操作力と評価するが、1.25Kgでは普通、1.5Kgではかなり良いと評価するように同一個人でも評価がマチマチである。ジャシキンソン¹⁾によれば操作力の差が2.3~4.5 Kg (6~10 lb) が増加すると急激に区別できるとされている。

4人の主観評価値を平均化するとフットペダル操作力が1.25Kgで極小値を示し、1.0Kg以下や2.0Kg以上になると顕著に評価値が増大する傾向にある。

結論としてこの事項から判明したフットペダルの最適操作力は1.25Kgである。また、両極端を評価するのは易しいが、中間を評価するのは難しいということがいえる。

5-7 フットペダル操作力と疲労度との関係 (図5-8)

疲労度によって作業の軽重を判定することは相当以前から行なわれているが、しかしながら疲労自身の実態はいまだ解明されてなく、現象としての疲労感を捉えているにすぎなく、検査法の測定値を通して判定されるにすぎない。

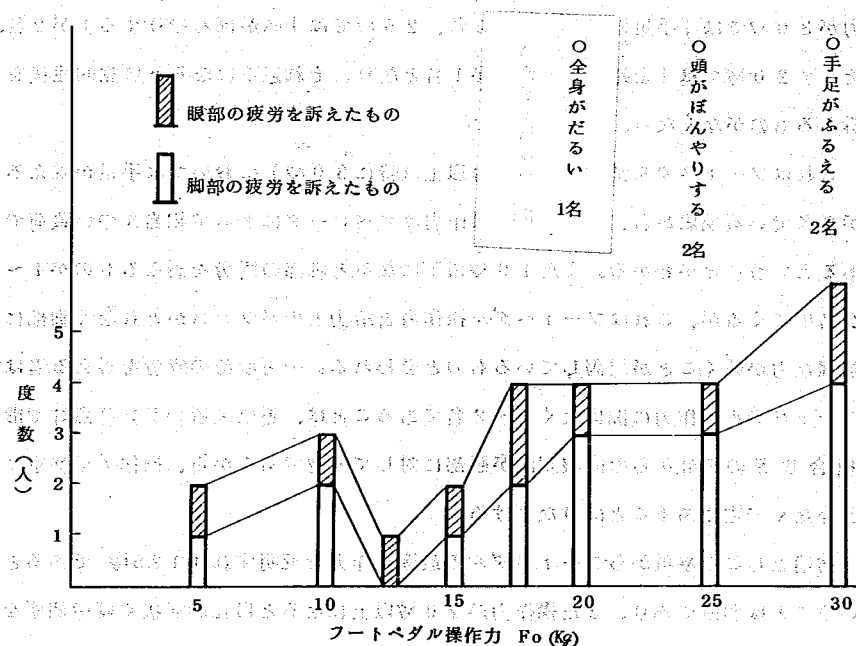


図5-8 アンケートによる疲労調査

疲労の種類として考えられるのは主観的疲労、客観的疲労および生理的疲労がある。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わけにはいかないが、各人の疲労箇所や自覚的症状を質問表を使ってアンケート調査し、それらを加えることによって、疲労度の質量的傾向を捉えることができる。また客観的疲労は作業の能率に表われるもので、疲労することにより、作業高や作業の質等の低下によって見いだすことができる。この実験においては時間の経過に伴って、誤操作量の増加や踏込時間の遅れ等の現象がこれに当てはまる。次に生理的疲労は心身の疲労を生理学的諸機能の変化として、すなわち、呼吸量、脈拍数、血圧、GSR 等の増減によって捉えることができ、この実験においては脈拍数を測定した。

図5-8は各フットペダル操作力における実験後に各オペレータの疲労箇所および自覚的症状をアンケート調査した結果をとりまとめたものである。

本図をみると、フットペダル操作力が30kgになると全員が脚部の疲労を訴え、以下操作力が小さくなるにしたがって遞減し、12.5kgでは皆無となり、それ以下10kg、5kgになると2~1名と幾分増加する。また自覚的症状においては、操作力が30kgでは「手足の震える」が2名、25kgでは「頭がぼんやりする」が2名、そして20kgでは「全身がだるい」が1名となり、それ以下になると自覚的症状を訴えるものがなくなる。

これはフットペダル操作力が20kg以上（特に30kg）においては手足が震えるが2名でいる現象から、このような操作力はオペレータにとって相当きつい負荷であるということがわかる。また10kg以下になると脚部の疲労を訴えるものが1~2名出てくるが、これはフットペダル操作力と踏力とのバランスがとれなく脚部に無理な力が働くことが起因しているものと思われる。一方眼部の疲労を訴える者はフットペダル操作力に関係なく1~2名であることは、追従装置のランプ点灯や指標合せ等の外部からの情報刺激が眼部に対して一定であるから、操作力の軽重に関係なく一定であることはうなずける。

結論としこの事項からフットペダルの最適操作力を究明すれば12.5kgであるということは明白であり、また操作力が20kg以上になると自覚的症状や疲労箇所を訴える者が増加する傾向にあるので、これ以上の操作力は避けた方が良いというこ

とが いえる。

5-8 フートペダル操作力と脈拍数との関係

表 5-7 は各フートペダル操作力において、そのときの実験前後の脈拍数を記したものである。この結果によれば各オペレータ共、実験前後の脈拍数の増減は最大でも 10 p/min 程度であってあまり大きな変化を示さず、またフートペダル操作力の変化に応じて脈拍数の変化もないが、しかしながら、これらを事務作業時に比べるとオペレータ D を除いたほか 10 p/min 程度多い。脈拍の 10 p/min 程度の増加は階段の昇降や早足で歩く程度で増加するものである。これらの原因をさぐると、フートペダル操作力の軽重は、それほど労働負担度の差がなく、また実験前後の差があまりなく、事務作業時に 10 p/min 程度多いのは実験による緊張から派生する精神的な負担度からくるものと思われる。

また実際のブルドーザやスクレーパを運転することによって増加する脈拍数は、労働科学研究所の調査によれば各人によって異なるが $7 \sim 10 \text{ p/min}$ で、この実験による増加と大差ない。

これらの考察から結論づけると、建設機械等の運転による労働負担度を脈拍数から定量的に究明することは非常に困難なことである。

5-9 総合評価によるフートペダルの最適操作力の設定

フートペダルの最適操作力を究明するため、各オペレータの誤操作量、踏込時間や疲労度等を検出し、これらの事項とフートペダル操作力との関係を論じ、各事項からの最適操作力について究明してきた。

しかしながら、最適操作力は、各オペレータの個人差を平滑化し、それぞれの測定事項を総合し、かつ客観的な判断で検討し設定しなければならない。そこで、各フートペダル操作力における各オペレータの誤操作量、同標準偏差、踏込時間、同標準偏差、自覚的症狀、主観評価値、疲労箇所および単純反応時間の 8 項目を平均し、これらの数値の小さな方から 1~8 までの順位をつけ、その順位を評価値とした。これら 8 項目の評価値を加えたものを各操作力における総合評価値とし、その数値の小さな方から 1~8 位までの順位をつけ、これを総合順位とした。これらを表および図にしたのが表 5-8、図 5-9、図 5-10 である。

表5-7 実験前後の脈拍数

単位: P/min

操 作 力 Fo (kg)	オペレータ A				オペレータ B				オペレータ C				オペレータ D				A . B . C . D の平均			
	前	後	差	増加率	前	後	差	増加率	前	後	差	増加率	前	後	差	増加率	前	後	差	増加率
5.0	86	76	-10	-11.63	90	77	-13	-14.44	105	82	-23	-21.90	67	67	0	0	87	76	-11	-12.64
10.0	76	76	0	0	74	74	0	0	81	70	-11	-13.58	65	71	6	9.23	74	73	-1	-1.35
12.5	80	86	6	7.50	77	74	-3	-3.90	75	76	1	1.33	65	67	2	3.08	74	76	2	2.70
15.0	78	78	0	0	68	62	-6	-8.82	95	88	-7	-7.37	64	70	6	9.38	76	75	-1	-1.32
17.0	74	78	4	5.41	70	74	4	5.71	69	77	8	15.59	68	65	-3	-4.41	70	74	4	5.71
20.0	78	76	-2	-2.56	76	81	5	6.58	84	83	-1	-1.19	75	79	4	5.33	78	80	2	2.56
25.0	76	78	2	2.63	80	75	-5	-6.25	63	69	6	9.52	69	65	-4	-5.80	72	72	0	0.0
30.0	86	88	2	2.33	56	54	-2	-3.57	76	73	-3	-3.95	68	72	4	5.88	72	72	0	0.0
立 作 業	86				53				90				65				74			
事務作業	70				62				70				70				68			

表5-8 フートペダル操作力総合評価一覧表

摘 要 操作力	誤操作量		誤操作量偏差		踏込時間		踏込時間偏差		主観評価値		疲労箇所		自覚的症狀		単純反応時間		総 評 価 値	総合順位
	4人平均	順位	4人平均	順位	4人平均	順位	4人平均	順位	4人平均	順位	度 数	順位	度 数	順位	4人平均	順位		
5 (Kg)	5.49	8	4.24	8	570	6	78.4	7	3.75	7	1	2	0	1	6.75	6	45	6
10	4.89	5	3.74	5	584	7	72.0	6	2.25	2	2	4	0	1	8.70	8	38	5
12.5	4.08	1	2.94	1	508	2	49.9	1	2.00	1	0	1	0	1	3.82	1	9	1
15	4.11	3	2.96	2	528	3	56.6	3	2.25	2	1	2	0	1	5.13	3	19	2
17.5	4.09	2	2.98	3	500	1	53.4	2	2.50	4	2	4	0	1	4.46	2	19	2
20	4.36	4	3.13	4	538	4	59.6	4	3.25	5	3	6	1	6	6.45	4	36	4
25	5.48	7	4.05	7	613	8	88.8	8	3.50	6	3	6	2	7	6.59	5	54	8
30	5.22	6	3.87	6	550	5	69.4	5	4.50	8	4	8	2	7	7.89	7	52	7

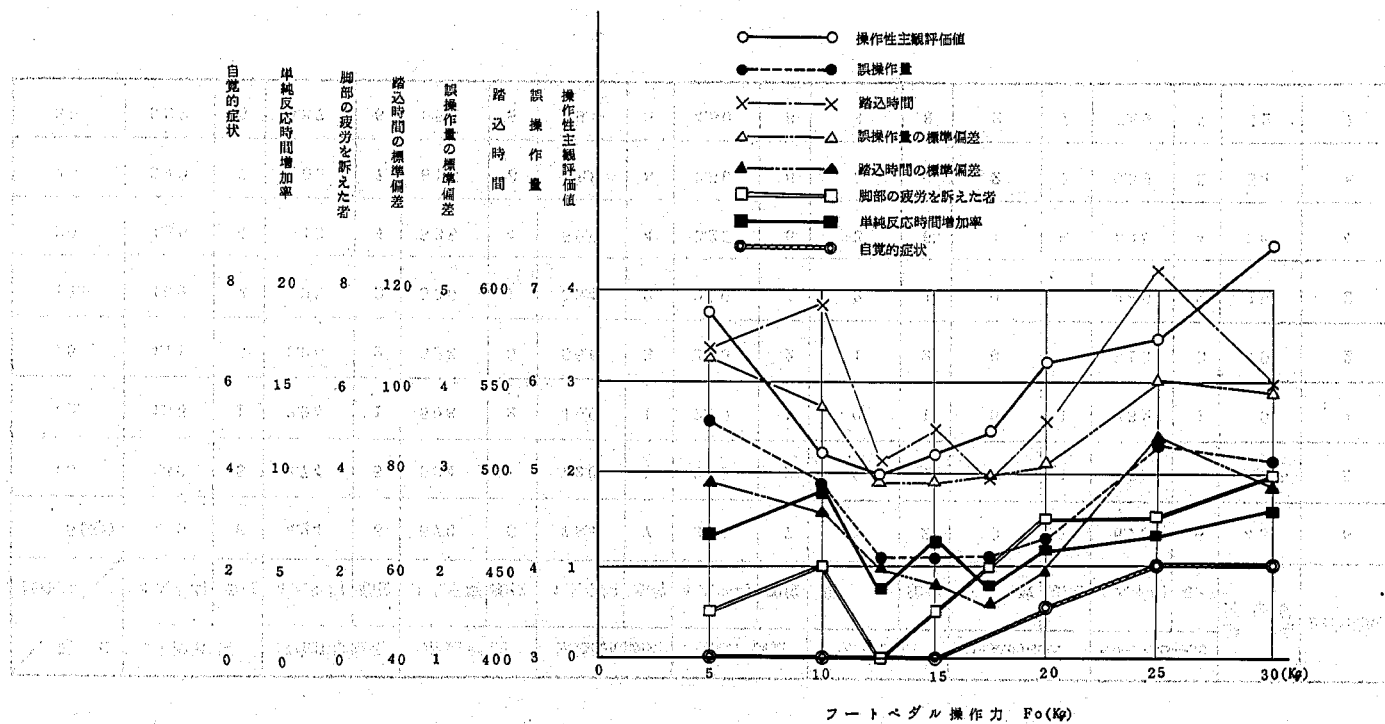


図 5-9 フートペダル操作力と総合諸量

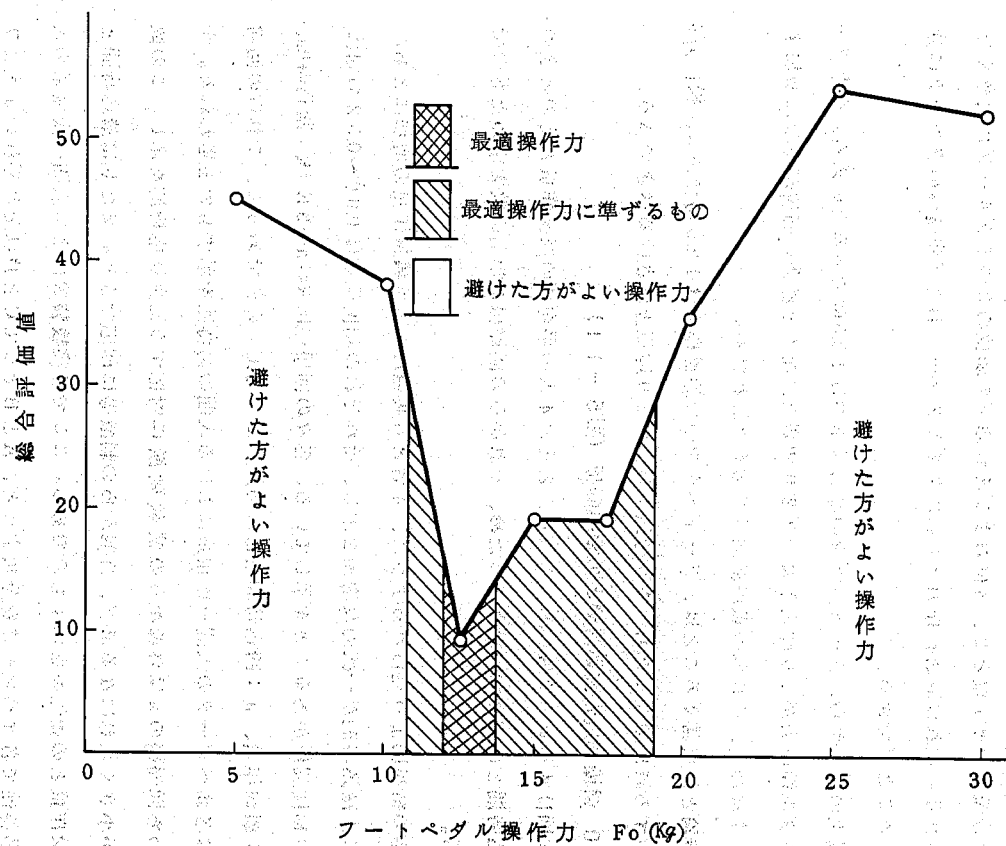


図 5-10 フットペダル操作力と総合評価値

総合順位からみるとフットペダル操作力が 12.5Kg のとき総合評価値が最も小さく、以下 15 Kg、17.5 Kg、25 Kg となっている。また総合評価値より見ると、総合順位 1 位と 2、3 位との評価値の差は大きく開き、さらに 2、3 位と 4、5 位との間にはまた大きな開きがあり、以下 6、7、8 位と差は開くばかりである。よってこれらを分類すると 1 位と 2、3 位およびそれ以下の順位の 3 つのグループに大きく分けられる。これは最適操作力とそれに準ずるグループおよび問題外のグループに分類することができる。

以上のことから、フットペダルの最適操作力は 12.5 Kg であるといえる。またフットペダル操作力が 10 Kg 以下および 20 Kg 以上になると総合評価値が急激に増加する。すなわち、これらの点の変曲点であると思われる。

結論として言えることは、フットペダルの最適操作力は 12.5 Kg であり、操作力を設定する時は少なくとも、10 Kg 以下および 20 Kg 以上はさけるべきである。

5-10 誤操作量と踏込時間との相関関係 (図 5-11)

本図はオペレータ A、B、C、D、とその 4 人の平均値の誤操作量とそのときの踏込時間との相互関係を促えるため、それからの回帰線と相関係数を求めたものである。

その結果図より見られるように、4 者とも共通なことは誤操作量の増加にともなって、踏込時間が一次的な増加を示し、それぞれの相関係数は 0.90~0.52 の間にあり相関関係があることを示している。各々の回帰線は $R=a+bE$ (R :踏込時間、 E :誤操作量、 a :踏込時間軸との切片、 b :勾配) の型であって、これらの回帰線は各オペレータの人間-機械系における人間の動特性を示すものと思われる。すなわち回帰線の a は外部からの情報刺激に対応する知覚反応時間を示し、この数値が小さくなればなるほど、外部からの刺激等に即応できる。また b は踏込時間と誤操作量との変化率を示すものである。ここでの実験装置による人間-機械系の人間動特性で各オペレータを分類すると、A と B として C と D はそれぞれの a および b が同じような傾向を示すので、二つの動特性グループに分けられる。また誤操作量と踏込時間のそれぞれの標準偏差にても同様な傾向がみられる。(図 5-12)

誤操作量と踏込時間との関係を卑近な例によって説明すると、自動車を長時間運転すると運転者が疲労し、また、飲酒等で運転者が酩酊すると著しく反応感覚等が

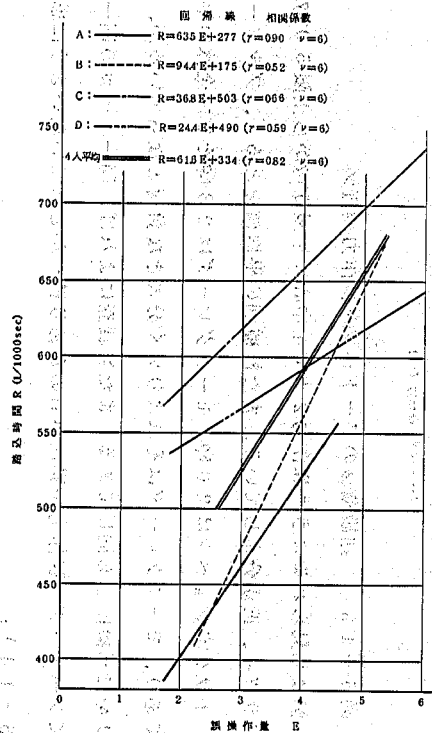


図 5 - 11 誤操作量と踏込時間

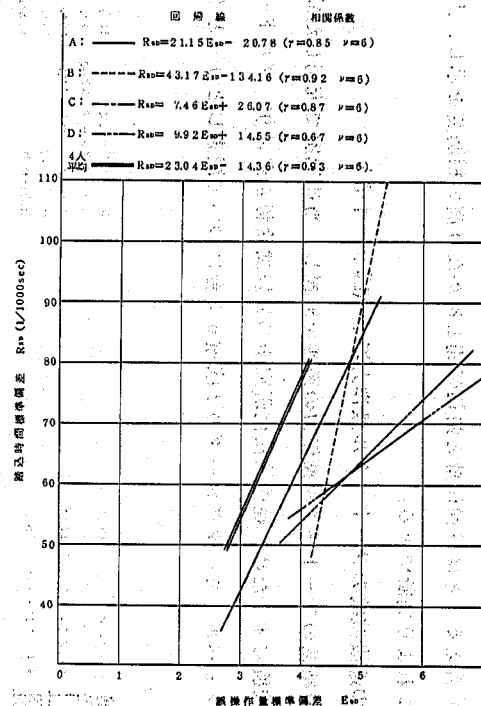


図 5 - 12 誤操作量標準偏差と踏込時間標準偏差

低下し、ブレーキやアクセル等の操作が遅鈍し、そのようなとき、事故が急激に増加することが如実にこの図より証明されている。

結論と言えることは誤操作量と踏込時間とはかなり高い相関度を示し、人間の動特性がこれより判断できる。

5-11 現状の建設機械のフットペダル操作力調査 (図5-13)

現状の建設機械のフットペダル操作力の実態を把握し、当研究室で究明した最適操作力と比較検討するため、建設機械化研究所の性能試験報告書より、ブルドーザ・トラクタショベルとモータグレーダの3機種65台について調査しとりまとめた。

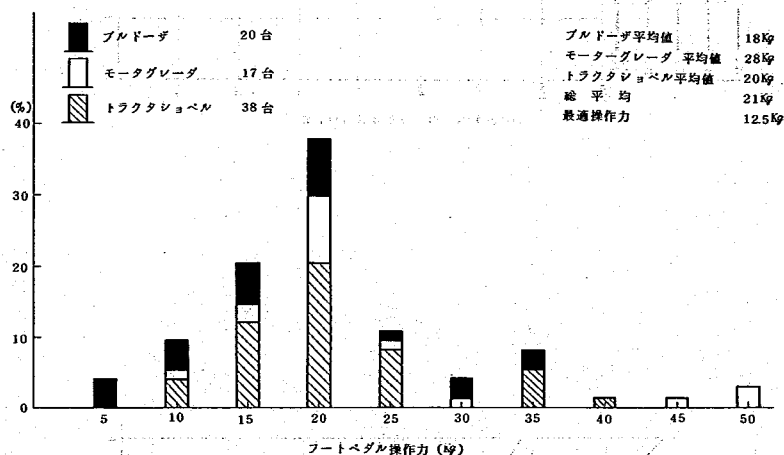


図5-13 建設機械のフットペダル操作力調査図

その結果、図より見られるように操作力21kgを中心に下限5kgから上限50kgまで大きくバラツキ、正規分布している。また機種別の平均値をとると、ブルドーザは18kg、トラクタショベルは20kg、モータグレーダは28kgそして全体の平均は21kgであり、モータグレーダはそれよりいく分大きな負荷となっているが、モードは20kgで三機種とも同じである。また当調査によれば、同一メーカーの同一機種においてフットペダル操作力が異なるものがあり統一がとれていないように思われる (図5-14)。

これらの結果を当研究室で究明した最適操作力と比較すると、ブルドーザ・トラクタショベルでは6～9 Kg、モータグレーダでは1.6 Kg程度重い負荷となっているのでこれらを早急に軽減化し、基準化もしくは標準化する必要があると思われる。

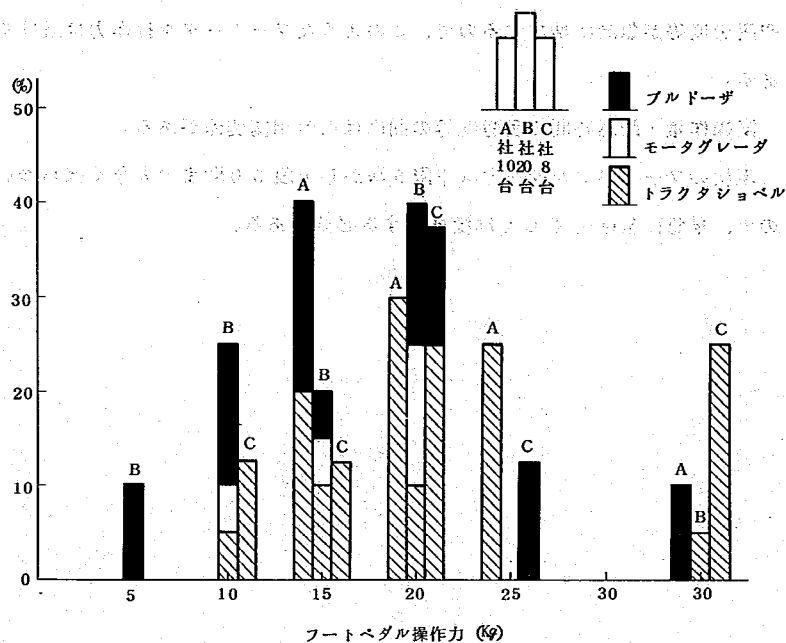
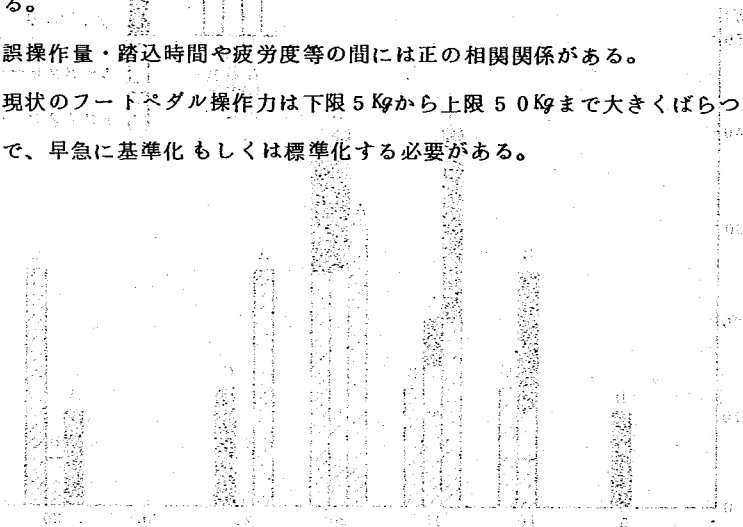


図 5 - 14 建設機械のフットペダル操作力調査図 (会社別)

6. 結 論

この実験によって下述のことが解明された。

- 1) フートペダルの最適操作力は1.25Kgであり、これは現状のフートペダル操作力の平均値より9Kg程度軽いものである。
- 2) フートペダル操作力が10Kg以下および20Kg以上になると誤操作量、踏込時間や疲労度等が急激に増加するので、このようなフートペダル操作力は避けるべきである。
- 3) 誤操作量・踏込時間や疲労度等の間には正の相関関係がある。
- 4) 現状のフートペダル操作力は下限5Kgから上限50Kgまで大きくばらついているので、早急に基準化もしくは標準化する必要がある。



7. あ と が き

ブルドーザの操作性に関する研究の一環としてブルドーザ操作追従装置によってフットペダルの最適操作力を究明したのでこの報告書を作成した。

しかしながら操作性、居住性の問題は操向レバーの最適操作力、フットペダルや操向レバーの最適ストロークとワークスペース、他の問題として、騒音振動がオペレータに与える影響等、間口は広く奥行の深く、いまだ研究機関、メーカー等で根本的に解明されていない未知の分野が多々あるので、逐次解決をはかって建設機械の操作性、居住性の向上をはかっていかなければならない。

46年度においては同様な方法をもって操向レバーの最適操作力を究明すると共に、現状の建設機械の騒音、振動を調査し、その実態を把握し、その改善をはかる資料にする予定である。

なお、この実験に対して土木研究所機械研究室田中室長に実験全般にわたって多大な指導をしていただいたことと、この煩勞の多いこの実験のオペレータを快よく協力してくれた同研究室吉田技官および石島技官に深謝する次第です。

8. 参 考 文 献

- 1) 大島正光 「疲労の研究」同文書院 昭和39年
- 2) ウドソン書 「人間工学」コロナ社
- 3) 宮脇一男 「人間工学」 オーム社
- 4) SEA Hand Book 1971
- 5) 桐原 他 「疲労判定のための機能検査法」 同文書院
- 6) 人間工学ハンドブック編集委員会「人間工学ハンドブック」 金原出版
- 7) 労働科学研究所「作業環境等とトラクター運転員の作業調査とその解析に関する報告書」昭和43年3月
- 8) 建設省建設機械課「建設機械の改善指導調査」昭和44年6月
- 9) 建設機械化研究所 「性能試験報告書」
- 10) 吉田正昭 「応用実験心理学」 筑摩書房
- 11) 倉田正一 「人間工学」 技報堂
- 12) 鉄道労働科学研究所・人間工学研究室 「運転台の人間工学ハンドブックー形態編一」

9. 付 録

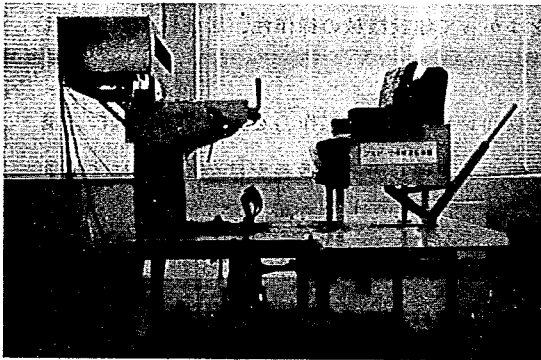


写真-1 ブルドーザ運転台模型側面

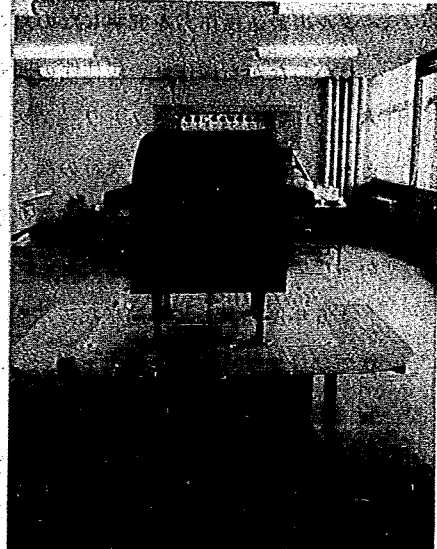


写真-2 ブルドーザ運転台模型 背面



写真-3 実験状況

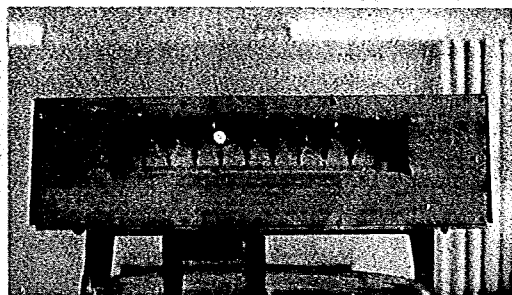


写真-4 追縦装置

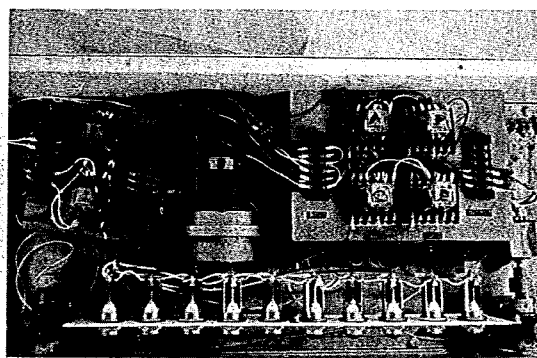


写真-5 追縦装置内部

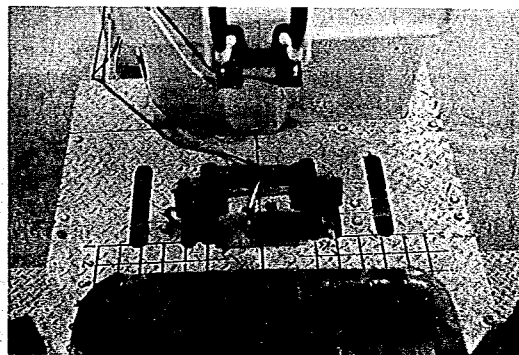


写真-6 フートペダルおよび踏力計



写真-7 スプリングおよびアジャスター

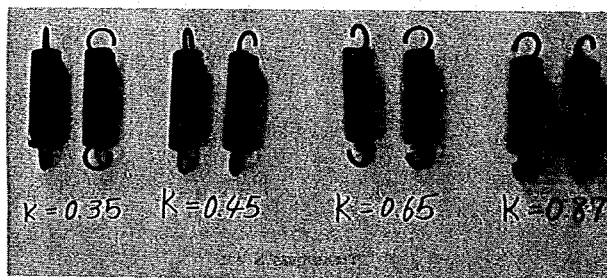


写真-8 使用したスプリング

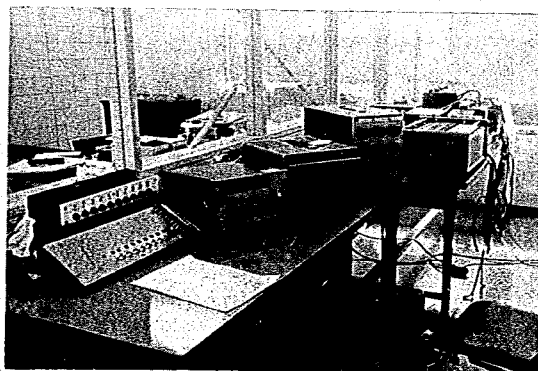


写真-9 計測装置

SOSASEI JIKKEN DATA

JIKKEN NO A-1

SHOWA 46 NEN 4 GATSU 19 NICHU

JIKKENSHA NAMAE A

SPRING TSUYOSA 5 kg

	EA	ED (E' SD)	EAT	EDT (ESD)	EA (E')	EAD	EAAT (E)	EADT	TA (R')	TD (R' SD)	IAT (R)	IDT (RSD)
1	3.30	10.65	3.30	10.65	6.70	8.69	6.70	8.69	443.7	94.2	443.7	94.2
2	2.30	4.60	2.80	8.00	4.10	2.88	5.40	6.44	448.9	67.7	446.3	19.9
3	1.40	6.15	2.33	7.35	5.00	3.50	5.27	5.57	436.7	47.7	443.1	10.1
4	2.80	5.22	2.45	6.82	4.60	3.53	5.10	5.10	458.0	50.0	446.8	65.6
5	2.60	6.43	2.48	6.68	5.20	4.34	5.12	4.92	459.1	56.9	449.3	63.4
6	0.10	3.78	2.08	6.33	2.50	2.72	4.68	4.71	454.3	58.6	450.1	62.2
7	1.00	3.37	1.93	5.99	2.20	2.66	4.33	4.55	479.0	60.7	454.2	62.4 9分20秒
8	-0.40	3.57	1.64	5.78	2.00	2.91	4.04	4.43	423.4	62.0	450.4	62.8
9	2.30	3.74	1.71	5.58	3.30	2.79	3.96	4.27	471.0	61.8	452.7	62.7
10	0.30	3.56	1.57	5.41	1.90	2.96	3.75	4.19	440.8	60.1	451.5	62.2
11	0.40	3.13	1.46	5.25	2.40	1.90	3.63	4.05	433.8	61.5	449.9	62.1
12	-0.20	5.07	1.32	5.23	3.60	3.37	3.63	3.99	460.6	64.1	450.8	62.1
13	2.50	3.57	1.42	5.12	2.90	3.21	3.57	3.93	456.9	70.8	451.2	62.5
14	-1.30	5.27	1.22	5.16	3.90	3.57	3.59	3.89	442.5	55.7	450.6	61.9 18分40秒
15	-0.30	3.43	1.12	5.07	2.30	2.45	3.51	3.82	433.5	39.4	449.5	60.7
16	2.40	5.68	1.20	5.10	4.40	4.14	3.56	3.83	449.9	88.2	449.5	62.4
17	0.50	5.02	1.15	5.08	3.70	3.20	3.57	3.79	449.2	49.5	449.5	61.6
18	-0.40	4.09	1.07	5.04	2.60	3.06	3.52	3.75	439.5	73.8	448.9	62.1
19	0.00	3.94	1.02	4.98	2.80	2.62	3.48	3.70	401.9	57.4	446.5	62.6
20	-0.40	2.32	0.94	4.89	1.80	1.40	3.39	3.64	411.4	59.9	444.7	62.8
21	-0.10	2.81	0.90	4.81	1.50	2.32	3.30	3.61	423.4	98.6	443.7	64.8 28分00秒
22	-0.40	5.06	0.84	4.82	3.40	3.60	3.31	3.60	457.6	28.4	444.3	63.6
23	0.00	2.98	0.80	4.75	2.20	1.87	3.26	3.54	426.6	67.0	443.6	63.7
24	0.20	5.16	0.77	4.76	3.80	3.26	3.28	3.53	423.9	60.7	442.7	63.6
25	1.00	2.40	0.78	4.69	1.80	1.81	3.22	3.49	416.1	71.9	441.7	64.0
26	0.60	2.12	0.78	4.61	1.40	1.65	3.15	3.45	439.2	50.3	441.6	63.5
27	-0.60	4.14	0.73	4.60	3.20	2.49	3.16	3.42	441.7	51.2	441.6	63.0
28	-0.30	4.50	0.69	4.59	2.90	3.31	3.15	3.41	443.0	77.2	441.6	63.4 37分20秒

END

電算機によるデータ処理の結果

ブルドーザの操作性に関する研究(第1報)

フットペダルの最適操作力

土研資料第697号
昭46.9 (1971)

杉山 篤

中野新市

キーワード 最適操作力, フードペダル 踏込時間

要 旨

ブルドーザの操作性の研究の一環として、トラッキング装置によってフードペダルの最適操作力を究明する実験を行なった。

この実験の結果、下記のことが解明された。

1. フードペダルの最適操作力は12.5Kgである。
2. フードペダル操作力は20Kg以上、10Kg以下はさけた方がよい。
3. 現状の建設機械のフードペダルはこの最適操作力より9Kg程度大きい。
4. 誤操作量と踏込時間の間には正の相関関係がある。

○