



064

土 木 研 究 所 資 料

第 736 号

ブルドーザの操作性に関する研究 (第2報)

— 操向クラッチレバーの最適操作力 —

昭和47年3月

建設省土木研究所

機械施工部 機械研究室

土木研究所資料

第七三六号

ブルドーザの操作性に関する研究 (第二報)

昭和四十七年三月

建設省土木研究所

要 旨

この実験はブルドーザ追従装置（トラッキング装置の一種）を使用して、その操向クラッチレバー操作力を0～14kg まで8段階に変化させたものを、それぞれ4人の被験者が操作する方法で実施し、そのときの誤操作量、レバー引張時間、脈拍数や疲労度等を測定調査した。

この結果、4人の被験者とも共通な挙動として、操作力が6kgのとき誤操作量、レバー引張時間や疲労度等が最小値を示し、また操作力が2kg以下や10kg 以上になるとこれらが急激に増加する傾向がある。したがって、これらの現象より最適操作力は約6kgであり、操作力の設定に当っては少なくとも2kg以下および10kg 以上は避けるべきであるということが判明した。

ブルドーザの操作性に関する研究（第二報）

ー 操向クラッチレバーの最適操作力ー

建設省土木研究所機械研究室

杉 山 篤

中 野 新 市

目 次

要 旨

1. ま え が き	1
2. 研 究 目 的	2
3. 実 験 概 要	3
3-1 実 験 装 置	3
3-1-1 ブルドーザ実物大運転台模型	3
3-1-2 追 縦 装 置	3
3-1-3 測 定 装 置	5
3-2 実 験 条 件	5
3-3 測 定 事 項	8
3-4 実 験 順 序	9
4. 疲労度と最適操作力	11
5. 実験結果および考察	14
5-1 操向クラッチレバー操作力と誤操作量との関係	14
5-2 操向クラッチレバー操作力とレバー引張時間との関係	22
5-3 操向クラッチレバー操作力とレバー操作不能回数との関係	25
5-4 操向クラッチレバー操作力と脈拍数との関係	27
5-5 操向クラッチレバー操作力と疲労個所ならびに自覚的症状との関係	28

5-6	操向クラッチレバー操作力と操作性主観評価値との関係	29
5-7	総合評価法による操向クラッチレバーの最適操作力の設定	31
5-8	誤操作量とレバー引張時間との関係	33
5-9	現状の土工機械における操向クラッチレバー操作力の調査結果と 今後の問題点	36
6.	結 論	40
7.	あ と が き	41
8.	参 考 文 献	41
9.	付 録(写真)	42

1. ま え が き

従来、建設機械のクラッチ、ブレーキ、ステアリング、ギヤシフト、作業装置等の操縦、操作方式には、リンクロッドなどによる機械的伝達方式が多く用いられてきたが、機械の大型化に伴ないその操作力も増大するため、これを軽減し、あわせて操作の簡易化、保守・点検の容易化などの目的で、油圧式、空気式や電気式あるいはこれらを併用した操作方式が用いられるようになってきた。特に最近の油圧技術の進歩により油圧式の操作方式が一般的なものとなってきた。油圧操作方式は機械式に比較して非常に小さな操作力によって操作でき、フィンガーコントロールといわれるように極く小さな力で操作できる機械も製作されている。これらは操作が容易でオペレータの疲労が少なく、作業能率も上がるといわれている。

しかしながら、建設省の「建設機械の改善指導調査²⁾」によればショベル系掘削機においてはオペレータの疲労訴え率が機械式より油圧式の方が高い現象を示し、さらに油圧式の場合は軽過ぎて操作が不安定であるという意見があり、また逆に機械式は重いので疲労しやすく操作が困難であるので改善せよとの要望もあり、意見が分かれているのが実態である。こうした点から見ても操作がしやすく、疲労の少ないフットブレーキペダルや操向クラッチレバーの操作力、すなわち最適操作力については定性的にも定量的にも充分解明されていなかったと考えられる。

土木研究所機械研究室では建設機械の居住性、操作性の向上を計る目的で、その一環として最適操作力の大きさを人間工学的な見地から究明すべく昭和42年度から取り組み、44年度まで文献による調査や予備的実験を行ない、45年度から実験を実施した。45年度はさし当って最も操作頻度の高く、操縦性に最も影響を与えられる、フットペダルの最適操作力を求めるため、簡単なモックアップによる追従装置（トラッキング装置）を用いて実験を行ない、12.5 kgが最適操作力¹⁾であるということを究明し、現状の建設機械は改善の必要があると結論を出した。

昭和46年度はフットペダルについて使用頻度の高い操向クラッチレバー操作力の実験を、前年度に確立された実験方式にしたがって同様に行なった。この報告書はこの成果を取りまとめたものである。

2. 研 究 目 的

ブルドーザ操作追従装置を使用し、操向クラッチレバー操作力を数段階に変化させ、そのときの誤操作量、レバー引張時間、疲労度や操作性評価値等を測定調査し、下記の項目を解明する。

- 1) 操向クラッチレバー操作力と誤操作量との関係
- 2) 操向クラッチレバー操作力とレバー引張時間との関係
- 3) 操向クラッチレバー操作力と疲労度との関係
- 4) 操向クラッチレバー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) 誤操作量とレバー引張時間との関係
- 6) 現在一般に供用されている建設機械の操向クラッチレバー操作力の実態

以上のことを捉えるとともにこれらを総合的かつ客観的な評価法のもとで、これらのデータをもとに操向クラッチレバーの最適操作力を求め、フットブレーキペダルや操向レバー等の標準化の基礎資料とし、建設機械の操作性・居住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

実験に使用したブルドーザ操作追従装置の概要図を図3-1に示す。本装置はブルドーザ実物大運転台模型、追従装置と計測装置より構成している。なお、詳細なる機構および仕様等は土木研究所資料第697号¹⁾を参照されたい。以下その概要を記載する。

3-1-1 ブルドーザ実物大運転台模型

本模型(モックアップ)は15ton級のブルドーザ運転台を模擬して製作されたものであり、座席およびフットペダルは前後、上下に任意に移動でき、さらにフットペダルと操向クラッチレバーの操作力はスプリングを取り替えたり、アジャスタを調整することによって任意に変化させることができる。なお、今回の実験では操向クラッチレバー操作力を0kgから14kgまで2kg刻みに調整し設定した。

3-1-2 追従装置

本装置はブルドーザ実物大運転台模型の前面に取付けてあり、目標指示器と指標移動機構より構成されている。

- a) 目標指示器はあらかじめ設定されたプログラム(多整定継電器・立石電機製

STD-10)によって追従パネルに組込まれたNo.1からNo.10までのランプを一つずつ順次点滅する機器である。そのランプ点灯時間のパターンを図3-2に示す。

- b) 指標移動機構は操向クラッチレバーを引張るとリミットスイッチがONになり、リレー回路が働いて瞬時停止型のギアモータが作動し、プーリを介しVベルト上に装着された指標が移動し、また、レバーを元に戻すとモータが瞬時に停止して指標が止ま

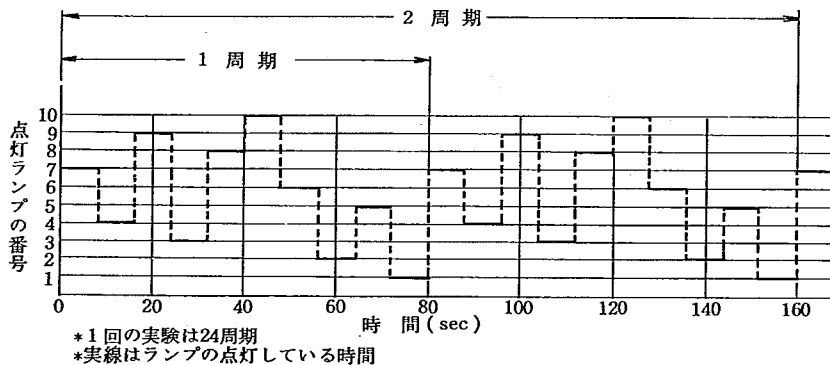


図3-2 目標指示器の時間設定プログラム

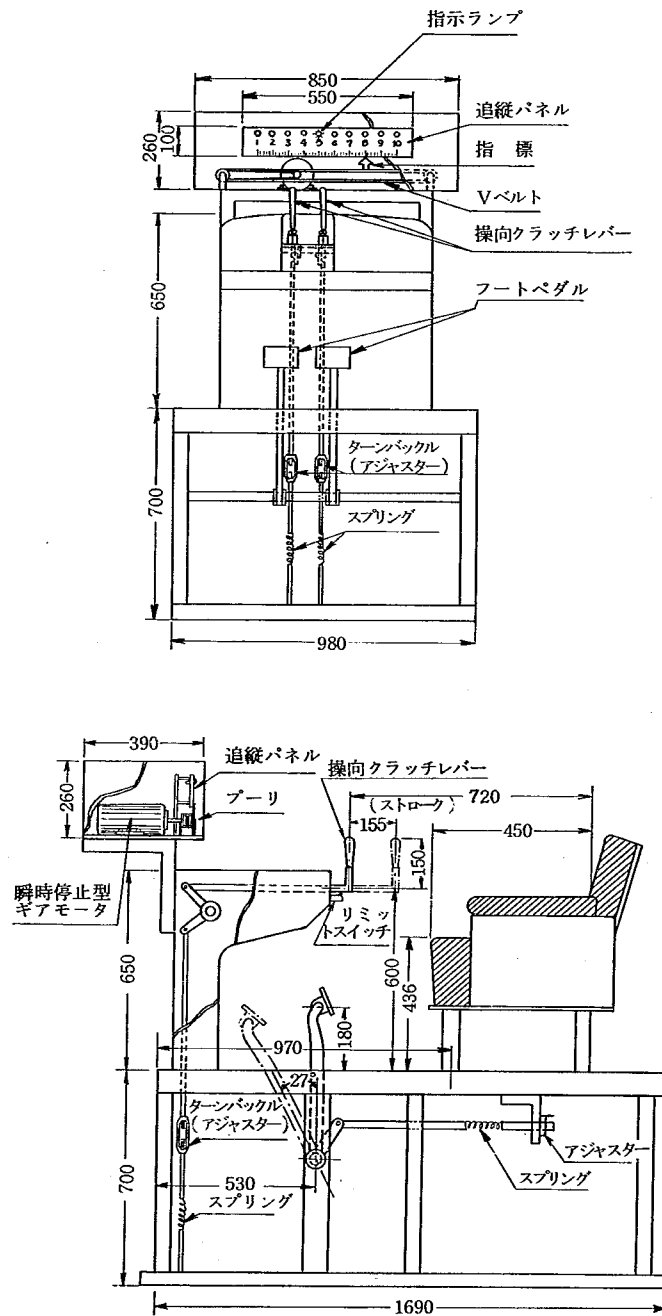


図 3 - 1 ブルドーザ操作追従装置

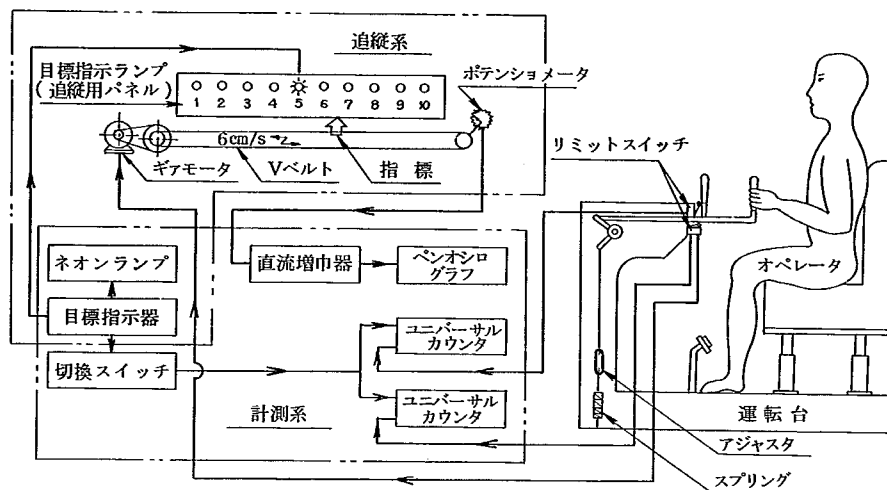


図 3-3 追従装置計測系統図

るような機構となっている。さらに、同機構は右側のレバーを引張ると指標が右へ、同様に左側のレバーを引張ると左へ指標が毎秒 6 cm で移動する機構となっている。

3-1-3 測定装置

この実験に用いた測定システムは図 3-3 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 3-2 ~ 3-4 にて詳細に記載する。

3-2 実験条件

この実験に際しての実験条件は下記の通りである。

- 1) 操向クラッチレバー操作力を 0、2、4、6、8、10、12、14 kg の 8 種類について行ない、操作力はスプリングを取り替えたり、アジャスタを調整することによって設定（ここで操向クラッチレバー操作力とは指標が移動を始めるときの力をいう。操向クラッチレバーのストロークとその操作力との関係を図 3-4 に示す）。
- 2) 1 回当りの実験時間は 24 周期（約 30 分間）とする。（全実験回数：操向クラッチレバー操作力 8 種 × オペレータ 4 人 = 計 32 回）これは「建設機械改善指導調査²⁾」によれば機種、作業条件、左右で多少異なるが平均すると約 50 分間のブルドーザ運転時間に相当する。
- 3) オペレータは 4 人で行ない、各人の形態を SAE 1971 の人体計測法に沿って測定

表 3 - 1 人 体 計 測 表

	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 (kg)	50.0	56.0	55.0	62.0	55.8	56.6	77.2
1A (cm)	159.5	161.0	165.9	165.5	163.0	162.0	177.5
1B	152.0	162.0	159.6	161.5	158.8	—	179.5
1C	85.0	85.1	82.8	85.2	84.5	—	92.5
1D	16.5	17.6	16.4	16.0	16.6	—	15.0
1E	10.0	9.7	10.2	10.3	10.1	9.8	10.7
2A	193.0	201.1	204.0	204.8	200.7	—	212.5
2B	18.5	17.5	20.3	19.0	18.8	—	19.5
2C	17.0	16.0	18.6	17.4	17.3	—	19.5
2D	21.5	21.7	22.8	21.7	21.9	21.5	23.5
2E	21.5	20.0	20.8	22.0	21.1	21.8	26.5
2F	24.5	23.5	25.1	25.7	24.7	24.3	30.0
3A	83.5	87.3	91.7	90.2	88.2	88.7	90.5
3B	76.5	75.8	78.3	79.4	77.5	76.9	80.5
3C	58.0	58.7	61.7	62.3	60.2	—	62.5
3D	18.0	18.8	20.3	19.0	19.0	—	23.0
3E	44.0	42.4	43.2	43.4	43.3	37.5	45.5
3F	13.0	14.6	10.3	12.2	12.5	—	14.5
3G	42.0	43.5	43.2	44.2	43.2	41.9	48.0
3H	53.0	52.5	52.8	53.5	53.0	54.3	59.5
3I	49.0	47.3	48.2	48.5	48.3	47.0	57.5
3J	42.0	42.0	44.7	42.8	42.9	43.8	47.5
3K	77.0	76.4	78.6	78.4	77.6	79.5	86.5
3L	12.5	12.2	13.0	12.0	12.4	—	13.0
3M	18.0	17.0	18.6	17.4	17.8	17.6	19.5
3N	10.0	10.3	10.2	10.0	10.1	—	9.0
3O	3.0	3.8	3.7	3.2	3.4	—	3.0
4A	42.0	41.5	41.9	41.8	41.8	38.0	46.5
4B	43.0	42.5	42.0	41.0	42.1	—	45.0
4C	30.0	31.3	27.8	33.0	30.5	30.8	37.5

参考：建設機械のオペレータの平均体格

- ・身長 166.5 cm 「建設機械の改善指導調査」より²⁾
- ・体重 61.5 kg

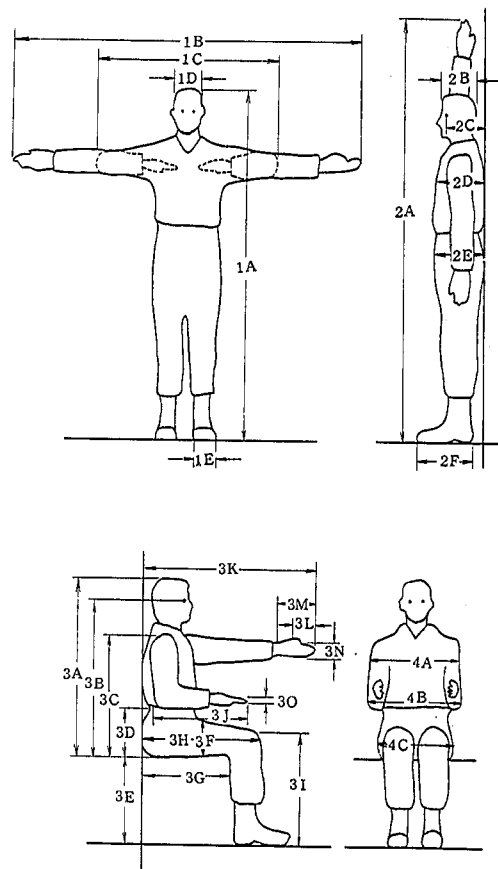


表 3 - 2 実験日程表

実験番号	操向レバー 操 作 力	オペレータ	実験年月日	実験開始時刻	温 度	湿 度
A-1 B-1 C-1 D-1	0 kg	A	S46.10. 5	9:50 AM	22℃	77%
		B	10. 4	1:50 PM	22	76
		C	10. 5	11:10 AM	21	77
		D	10. 5	10:30 AM	21	77
A-2 B-2 C-2 D-2	2 kg	A	10. 6	10:20 AM	21	78
		B	10. 6	1:32 PM	22	78
		C	10. 9	9:20 AM	20	65
		D	10. 9	10:03 AM	20	65
A-3 B-3 C-3 D-3	4 kg	A	10. 7	11:01 AM	18	78
		B	10. 9	10:50 AM	24	66
		C	10.11	9:10 AM	20	78
		D	10.11	10:00 AM	19	78
A-4 B-4 C-4 D-4	6 kg	A	10. 8	2:30 PM	27	60
		B	10.12	11:45 AM	20	96
		C	10.12	9:15 AM	20	96
		D	10.12	10:05 AM	20	96
A-5 B-5 C-5 D-5	8 kg	A	10. 8	11:00 AM	25	67
		B	10.11	11:00 AM	19	89
		C	10.11	1:20 PM	20	80
		D	10.11	1:58 PM	20	82
A-6 B-6 C-6 D-6	10 kg	A	10. 7	2:00 PM	20	79
		B	10. 8	1:30 PM	24	61
		C	10. 8	9:25 AM	24	74
		D	10. 8	10:05 AM	24	72
A-7 B-7 C-7 D-7	12 kg	A	10. 5	4:10 PM	21	77
		B	10. 7	1:22 PM	20	79
		C	10. 7	9:55 AM	20	78
		D	10. 7	10:35 AM	18	78
A-8 B-8 C-8 D-8	14 kg	A	10. 6	2:22 PM	22	78
		B	10. 8	3:50 PM	22	77
		C	10. 6	9:30 AM	22	78
		D	10. 6	10:30 AM	22	78

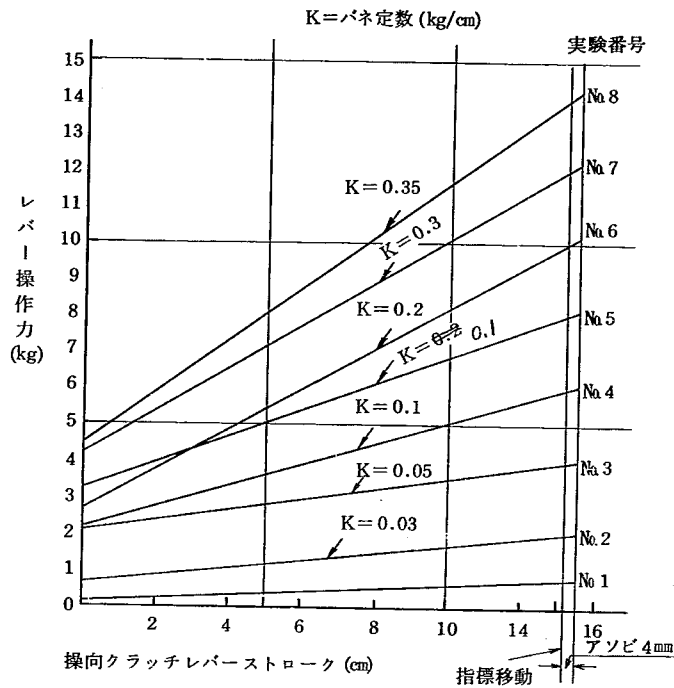


図 3-4 操向クラッチレバー操作力とストロークとの関係

する（表 3-1）。

4) 実験場所は土木研究所機械研究室の操作性実験室にて行なう。

5) 実験条件を一定にするため同一オペレータに対してはできるだけ同一時刻で行なう。表 3-2 は実験年月日、時間、温度および湿度等を一覧表に作成したものである。

3-3 測定事項

実験の主要な計測および調査事項は次のとおりである。

- 1) 誤操作量は指示位置から指標がどの程度外れて停止したかを示す量で、ランプとランプの間隔を 100 等分し、行き過ぎて停止した場合を正、手前に停止した場合を負とする。
- 2) レバー引張時間は指示ランプが点灯してからレバーを完全に引き終った状態までの時間であり、これを電子式カウンタによって 1/1000 秒の単位にて測定する。

- 3) 知覚反応時間は指示ランプが点灯してからレバーを引張り始めるまでの時間である。これも 2) と同様な方法で測定する。
- 4) レバー操作時間はランプが点灯し、オペレータがレバーを引張り始めてから、完全に引張った状態になるまでの時間であり、すなわちレバー引張時間と知覚反応時間の差によって求まる。
- 5) レバー操作不能回数は一回の実験でオペレータがトラッキングの途中でレバー操作力に抗しきれず、レバーが戻った回数をいい、これを測定する。
- 6) 視覚反応時間は測定者がスイッチを押すとランプが点灯し、オペレータがそれを確認するやいなや反応キーを押す、この時間を 1/1000 秒の単位で電子式カウンタで測定する。これを右・左と 10 回ずつ交互に測定する。
- 7) 脈拍数とは 1 分間当りの脈拍数であり、これを実験前後に測定する。
- 8) 操作性主観評価値は実験後オペレータの主観によって、操向クラッチレバー操作の難易度を 5 点法によってアンケートで評価するものであり、この評価尺度は下記のとおりである。
 - 1：理想的な操向クラッチレバー操作力
 - 2：かなりよい操向クラッチレバー操作力
 - 3：普通の操向クラッチレバー操作力
 - 4：かなり悪い操向クラッチレバー操作力
 - 5：非常に悪い操向クラッチレバー操作力
- 9) 疲労個所については実験後オペレータの疲労個所（眼・腕部・掌・指・背部など）をアンケートによって調査する。
- 10) 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。

3-4 実験順序

実験に際しては、下記の順序で行なった。

- 1) 操向クラッチレバーを所定の操作力に設定する（較正はバネばかりによって行なった。写真 3-1）。
- 2) オペレータの安静状態において 1 分間の脈拍数を測定する。
- 3) 反応時間測定器によって視覚反応時間を右・左と交互に 10 回ずつ 20 回測定する。

4) オペレータをブルドーザ操作追従装置に搭乗させ、約30分間実験を行なう(写真3-2)。

5) 実験終了後、ただちに1分間の脈拍数を測定する。

6) 反応時間測定器によって視覚反応時間を2)と同様に測定する(写真3-3)。

7) 操向クラッチレバー操作力の難易度を5点法によって採点する。

8) 疲労箇所および自覚的症候をアンケート用紙に記入する。

以上をもって1回の実験を完了とする。

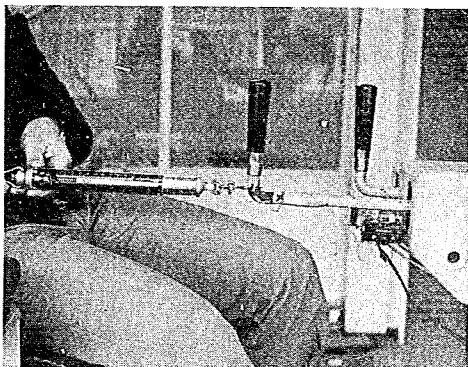


写真3-1
操向クラッチレバーの操作力設定

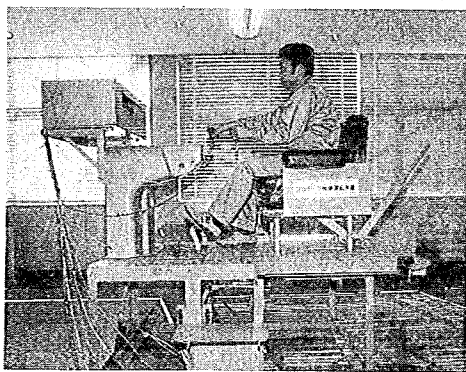


写真3-2
実験状況



写真3-3
視覚反応時間の測定

4. 疲労度と最適操作力

この実験で最終的に究明するのは操向クラッチレバーの最適操作力である。これを求める方法はいくつかあると思われるが、この実験ではオペレータがブルドーザ追従装置でトラッキングを行なう方法で実施した。トラッキング作業を一つの労働（作業）とみて、労働することによってオペレータが疲労するのではないかと考え、この疲労を各方面からの各検査によって検出して総合的かつ多角的に疲労を捉え、それより操向クラッチレバーの最適操作力を究明しようとしたものである。

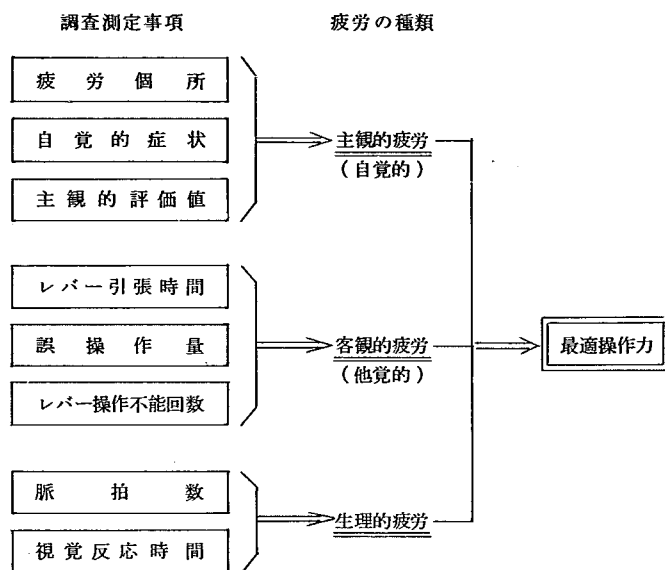
疲労度によって労働（ここではトラッキング作業）の軽重（ここでは操向クラッチレバー操作力；作業時間は一定）を判定することは相当以前から行なわれているが、疲労自身の実態はいまだ解明されてなく、現象としての疲労を捉えているにすぎない。

要するに、疲労自身は定性的にも定量的にも測定されるものではなく、種々の検査法の測定値を通して判定されるにすぎないのである。

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自覚的なもの、すなわち「感じ」であり本人でも漠然としたもので、他人がこの疲労感の内容や軽重を客観的に判断することができない。そこで各人の疲労感を質量的傾向として捉えるため、一般に疲労箇所や自覚的症候をアンケートによって調査している。今回の実験ではこの方法を採用し、実験後、質問表を使ってオペレータにこれらを記入してもらった。次に客観的疲労は作業能率の低下や、ミス・エラー等の誤作業が多くなるとか、第三者でも客観的に捉えることができるものであり、さらに「疲労とは作業能率が低下すること」と定義されているので、疲労判定を総合的に行なうためには欠かせないものの一つである。この実験では誤操作量、レバー引張時間およびレバー操作不能回数等がこれに該当し、これを測定した。最後に生理的疲労であるが、これは心身の疲労を生理的諸機能の変化として、すなわち呼吸数、脈拍数、血圧、GSRおよび知覚反応時間等で捉えることができる。今回は脈拍数と知覚反応時間を測定した。これらをダイヤグラムにしたのが表4-1である。

したがって、各操作力における実験で、操作力を横軸、縦軸にこれらの測定した諸量をとった場合、操作力が極度に大きくなれば、疲労度は当然大きくなるものと思われる。逆に操作力がだんだん小さくなっていくと、無限にこれらが低下するわけではなく、人間-機械系の不適応からくるオペレータのアンバランスや不安感からある値をすぎると

表 4-1 調査測定事項と疲労の種類



また増加する傾向になると思われる（これは前回のフットペダル実験結果でも明白である）。このある値が最適操作力である。またこの両側には急激に疲労度が増加する個所、すなわち、変化点があると思われる。この原因として考えられることは、ある値に幅を持って自己制御できるが、それ以上になると制御がおもうようになくなる。それが変化点であると思われる。これを模式的に図示したのが図 4-1 である。したがって、理想的な操向クラッチレバー操作力の機械とは、オペレータが操作することによる疲労、すなわち、主観的、客観的かつ生理的に疲労の少ないものであるといえる。これを少しくだいて述べれば、運転ミス（またはエラー）が少なく、外部からの情報刺激に瞬時に反応・動作でき、かつむらなく、オペレータ自身が操作しやすいと感じ、自覚的疲労や疲労個所の少ないものであるといえる。

しかしながら、これら最適操作力および変化点については定性的にも定量的にも、まだ十分解明されていない。現在までに「運転台の人間工学ハンドブック¹¹⁾」によればレバーの操作力が 14～18 kg 以上になると疲れやすくなる。W. Jenkins (1947) の実験⁵⁾によれば 5～10 ポンド（約 2.5～5 kg）程度のハンドルは抵抗が小さく、誤りを犯す頻度が高くなり危険である。「人間工学ハンドブック¹⁰⁾」によれば、レバーを前後に操作す

る場合は最小 0.9kg、最大 13.5kg であるなどの記述がある程度である。したがって、今回行なっている一連の実験は方法論的にも議論の余地があるとは考えられるが、一試
行として上記の観点から最適操作力へアプローチを試みたものである。

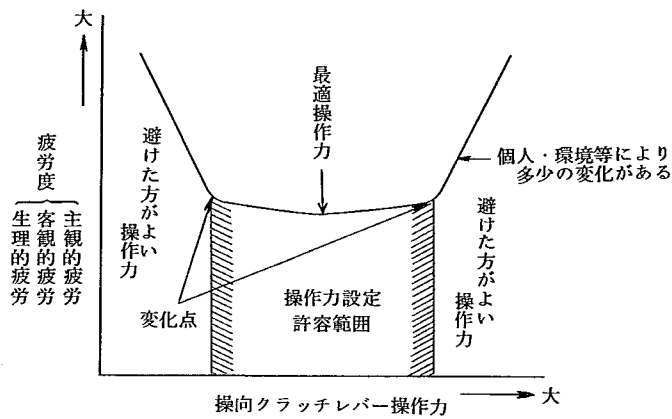


図 4 - 1 操作力と疲労度との関係

5. 実験結果および考察

表5-1～表5-5はこの実験で得られた各オペレータおよびその平均の主要な実験計測値と計算値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巻末に添付した。

各計測項目の整理記号を列記すれば次の通りである。

Ex : 実験整理番号 No.

FL : 操向クラッチレバー操作力 (kg)

T : 実験時間 (min)

E : 誤操作量

E_{SD} : 誤操作量標準偏差

R₁ : レバー引張時間 ($\times 1/1000$ sec)

R_{1SD} : レバー引張時間標準偏差 ($\times 1/1000$ sec)

R₂ : 知覚反応時間 ($\times 1/1000$ sec)

R_{2SD} : 知覚反応時間標準偏差 ($\times 1/1000$ sec)

R₃ : レバー操作時間 ($\times 1/1000$ sec)

R_{3SD} : レバー操作時間標準偏差 ($\times 1/1000$ sec)

N : レバー操作不能回数

P : 脈拍数 (P/min)

R_v : 視覚反応時間 ($\times 1/1000$ sec)

5-1 操向クラッチレバー操作力と誤操作量との関係

この実験における誤操作量とは、指標が目標値（指示ランプの位置）からどの程度外れて停止したかを示す量であり、実機のブルドーザ等においては目標停止線からの外れや、ブレード操作や速度制御の巧劣に相当するものである。また誤操作量標準偏差はそれらのバラツキの程度を示すものであるから、当然、誤操作量や同標準偏差はできるだけ少ない方がよいといえる。

図5-1は操向クラッチレバー操作力を変化させた場合、これが誤操作量にいかなる影響を与えるかを見るため、横軸に操作力を取り、縦軸に各操作力における各オペレータとその4人平均の1回操作当りの誤操作量を図示したものである。なお、誤操作量標準偏差、レバー引張時間、同標準偏差も同様な方法で計算処理した。

表5-1 オペレータA実験結果一覧表 (No. 1)

EX. №	Fo	T	E	ESD	R ₁	R _{1SD}	R ₃	R _{3SD}	T'	E'	ESD'	R ₁ '	R _{1SD} '	R ₃ '	R _{3SD} '
A-1	0	0~5	4.35	6.30	623	129.9	258	102.0	0~5	4.35	5.88	623	126.7	258	98.8
		0~10	4.46	6.21	580	136.2	234	92.0	5~10	4.57	6.21	538	132.3	211	64.3
		0~15	4.28	6.02	560	136.3	218	91.4	10~15	3.92	5.67	518	111.5	186	59.5
		0~20	4.42	5.96	535	133.4	203	85.4	15~20	4.82	5.82	459	90.4	156	31.7
		0~25	4.24	5.68	510	133.0	195	80.3	20~25	3.55	3.98	411	71.1	168	39.5
		0~30	4.13	5.55	494	132.0	189	75.6	25~30	3.55	5.01	413	86.4	156	29.1
A-2	2	0~5	3.38	4.83	341	85.0	146	48.7	0~5	3.37	4.80	341	83.4	146	34.8
		0~10	2.72	4.08	329	80.0	142	44.5	5~10	2.07	2.88	318	75.2	138	34.5
		0~15	2.72	3.93	323	76.3	138	38.2	10~15	2.70	3.58	311	69.3	129	17.3
		0~20	2.57	3.86	320	77.7	136	34.3	15~20	2.15	3.63	311	85.1	132	17.9
		0~25	2.53	3.85	318	75.6	135	32.8	20~25	2.37	3.83	310	64.8	133	27.2
		0~30	2.40	3.69	315	74.2	135	31.6	25~30	1.75	2.68	298	66.0	135	23.5
A-3	4	0~5	2.77	3.79	306	48.1	107	16.3	0~5	2.77	3.79	306	48.1	107	14.1
		0~10	2.79	3.77	308	63.6	109	16.0	5~10	2.80	3.61	310	73.4	110	14.9
		0~15	2.79	3.88	310	63.1	108	13.6	10~15	2.80	4.11	313	62.4	107	5.7
		0~20	2.74	3.80	309	61.1	108	12.2	15~20	2.60	3.62	307	56.8	109	6.6
		0~25	2.65	3.68	310	60.2	109	11.4	20~25	2.30	3.09	312	59.4	109	6.8
		0~30	2.70	3.78	310	62.8	109	11.5	25~30	2.96	4.11	314	75.6	113	11.6
A-4	6	0~5	2.17	2.93	305	71.5	102	9.6	0~5	2.18	2.73	305	60.6	102	9.6
		0~10	2.10	2.92	310	69.5	106	9.5	5~10	2.03	2.99	316	68.9	106	9.5
		0~15	2.54	3.55	309	64.1	107	9.0	10~15	2.43	4.54	306	51.3	107	9.0
		0~20	2.42	3.49	306	58.7	107	7.5	15~20	2.08	3.17	396	37.7	107	7.5
		0~25	2.31	3.37	305	55.9	106	6.8	20~25	1.85	2.64	302	42.9	106	6.8
		0~30	2.47	3.65	307	60.3	107	7.2	25~30	3.30	4.98	320	70.3	107	7.2
A-5	8	0~5	2.85	3.69	304	64.4	100	7.3	0~5	2.85	3.46	304	58.7	100	7.3
		0~10	2.55	3.48	305	56.3	102	7.8	5~10	2.25	3.19	307	48.6	103	7.9
		0~15	2.43	3.46	309	57.4	102	8.9	10~15	2.20	3.27	318	59.2	103	9.0
		0~20	2.52	3.61	308	56.2	102	8.3	15~20	2.78	3.67	304	52.0	102	6.7
		0~25	2.36	3.42	309	54.9	102	8.2	20~25	1.75	2.48	311	51.5	103	7.9
		0~30	2.51	3.67	309	56.4	103	8.1	25~30	3.23	4.64	313	63.8	104	6.7
A-6	10	0~5	2.47	3.50	294	47.4	104	11.7	0~5	2.48	3.37	294	48.3	104	10.5
		0~10	2.63	2.68	297	49.0	106	10.1	5~10	2.78	3.93	300	50.2	108	7.3
		0~15	2.43	3.50	299	50.1	107	13.1	10~15	2.05	3.21	304	51.1	110	13.6
		0~20	2.59	3.66	301	45.9	107	12.7	15~20	3.08	4.26	309	29.5	106	10.0
		0~25	2.55	3.60	305	48.7	107	11.9	20~25	2.40	3.26	318	58.4	107	8.3
		0~30	2.38	3.42	305	47.9	107	12.0	25~30	1.50	2.19	307	45.5	109	10.3
A-7	12	0~5	4.67	6.15	293	90.9	117	32.0	0~5	4.68	6.26	293	86.1	117	25.1
		0~10	3.96	5.57	290	81.2	113	23.8	5~10	3.25	4.80	288	68.2	109	9.6
		0~15	3.32	5.00	286	77.1	112	20.0	10~15	2.03	3.41	279	68.6	109	7.3
		0~20	3.16	4.77	289	77.6	113	19.6	15~20	2.70	3.65	298	76.3	115	16.7
		0~25	2.99	4.62	293	74.9	113	21.3	20~25	2.33	3.47	308	60.9	117	20.7
		0~30	2.85	4.40	296	75.5	115	27.1	25~30	2.13	2.98	311	78.2	122	31.1
A-8	14	0~5	4.07	5.03	351	84.2	112	25.4	0~5	4.07	4.94	351	74.6	112	23.6
		0~10	3.41	4.57	348	91.4	111	24.2	5~10	2.75	3.92	345	94.8	111	19.7
		0~15	3.27	4.50	337	80.3	113	21.8	10~15	2.97	4.28	313	43.8	115	15.6
		0~20	3.16	4.41	338	75.5	114	22.0	15~20	2.85	4.12	344	61.2	119	19.9
		0~25	3.08	4.38	339	73.9	115	20.5	20~25	2.75	3.58	340	64.7	117	12.8
		0~30	3.95	4.19	338	73.3	116	19.8	25~30	2.27	3.32	334	72.9	118	16.2
測定調査事項				A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8				
レバー操作不能回数				0	0	1	1	5	13	60	14				
実験前の視覚反応時間(1/1000sec)				198	162	171	141	169	165	167	160				
実験後の視覚反応時間(1/1000sec)				196	167	167	171	161	147	176	159				
実験前の脈拍数 (P/min)				76	62	65	75	74	70	73	67				
実験後の脈拍数 (P/min)				72	65	67	84	82	80	77	87				
操作性主観評価値				4	3	2	3	3	4	5	5				
疲労箇所				-	-	-	-	-	指	指	指				
自覚的症状				発汗現象	-	-	発汗現象	発汗現象	-	いろいろする	頭がぼんやり発汗現象				
参考 立作業時の脈拍数 90				事務作業時の脈拍数 74											

表5-2 オペレータB実験結果一覧表(No.2)

EX. No	Fo	T	E	ESD	R ₁	R _{1SD}	R ₃	R _{3SD}	T'	E'	ESD'	R ₁ '	R _{1SD} '	R ₃ '	R _{3SD} '
B-1	0	0~5	2.72	2.95	487	51.7	229	32.4	0~5	2.72	2.97	487	53.1	229	32.0
		0~10	2.70	3.16	487	51.9	227	33.2	5~10	2.67	3.22	488	46.7	226	33.5
		0~15	2.45	2.90	487	52.0	227	34.2	10~15	1.95	2.25	487	52.4	226	36.4
		0~20	2.32	2.99	485	50.1	227	32.5	15~20	1.95	3.05	480	45.6	226	26.9
		0~25	2.23	2.89	484	51.9	224	32.0	20~25	1.87	2.38	476	59.8	215	28.2
B-2	2	0~30	2.22	2.89	483	53.3	225	35.8	25~30	2.12	2.90	480	61.4	229	44.3
		0~5	1.80	2.56	372	47.6	175	24.3	0~5	1.80	2.01	372	47.8	175	24.6
		0~10	2.02	2.89	379	47.1	177	25.3	5~10	2.25	3.16	387	44.8	179	26.7
		0~15	1.99	2.96	382	57.8	176	23.8	10~15	1.92	3.15	387	75.6	175	20.8
		0~20	1.86	2.81	381	54.9	176	23.2	15~20	1.47	2.34	379	45.1	175	21.5
B-3	4	0~25	1.81	2.74	381	52.3	177	22.8	20~25	1.62	2.30	381	40.6	179	21.2
		0~30	1.70	2.66	382	54.5	177	23.2	25~30	1.15	2.11	387	56.7	179	25.1
		0~5	1.63	2.37	368	64.0	164	15.2	0~5	1.63	2.31	368	56.9	164	15.4
		0~10	1.55	2.37	357	57.2	165	20.3	5~10	1.48	2.26	346	46.2	166	23.3
		0~15	1.60	2.48	355	54.9	165	18.4	10~15	1.70	2.53	350	51.3	166	14.2
B-4	6	0~20	1.45	2.29	355	53.6	167	17.7	15~20	1.00	1.52	356	50.3	170	15.0
		0~25	1.39	2.17	357	52.5	168	18.1	20~25	1.18	1.59	364	48.2	173	19.0
		0~30	1.41	2.18	361	53.3	169	18.4	25~30	1.50	2.27	387	53.4	176	19.6
		0~5	2.15	2.76	363	42.2	159	18.9	0~5	2.15	2.77	362	43.4	159	19.2
		0~10	2.15	2.77	372	43.9	162	18.6	5~10	2.15	2.70	381	44.4	165	17.2
B-5	8	0~15	1.92	2.56	378	41.7	166	18.7	10~15	1.47	2.08	391	34.3	173	17.2
		0~20	1.76	2.43	381	38.4	167	17.3	15~20	1.27	1.95	388	24.9	170	11.5
		0~25	1.70	2.39	381	37.7	168	17.9	20~25	1.20	2.03	383	35.7	174	19.6
		0~30	1.66	2.29	381	36.6	169	17.5	25~30	1.47	1.60	380	31.2	175	14.9
		0~5	1.37	1.91	367	48.2	159	26.2	0~5	1.37	1.71	367	47.1	159	21.1
B-6	10	0~10	1.47	2.02	380	43.9	162	22.8	5~10	1.57	2.16	593	31.9	164	18.1
		0~15	1.47	2.21	384	41.2	163	22.4	10~15	1.47	2.21	392	34.7	167	18.9
		0~20	1.56	2.29	388	39.9	165	21.5	15~20	1.80	2.28	398	31.6	169	16.2
		0~25	1.55	2.24	391	39.3	165	20.4	20~25	1.52	1.95	405	33.1	166	15.0
		0~30	1.63	2.35	393	38.2	166	19.4	25~30	2.00	2.67	405	28.9	170	11.7
B-7	12	0~5	1.72	2.66	361	49.6	157	17.1	0~5	1.73	2.60	361	48.8	157	15.3
		0~10	1.77	2.86	352	46.9	156	18.6	5~10	1.83	2.81	343	42.1	154	20.6
		0~15	1.81	2.91	361	46.7	156	16.8	10~15	1.88	2.57	379	39.9	156	12.8
		0~20	1.85	2.94	365	46.5	157	16.4	15~20	1.98	2.95	376	44.7	160	14.8
		0~25	1.82	2.90	365	47.1	158	16.1	20~25	1.73	2.58	367	50.1	162	13.8
B-8	14	0~30	1.76	2.80	366	45.4	158	15.6	25~30	1.93	2.11	372	35.8	160	12.6
		0~5	1.42	2.21	358	43.1	156	16.6	0~5	1.43	2.18	358	42.5	156	16.5
		0~10	1.55	2.38	356	47.9	157	15.8	5~10	1.63	2.46	354	49.3	158	14.8
		0~15	1.62	2.53	360	52.9	159	16.7	10~15	1.75	2.78	368	58.4	163	17.2
		0~20	1.54	2.41	365	55.6	162	22.3	15~20	1.33	2.00	379	60.7	170	16.6
B-9	16	0~25	1.66	2.61	368	56.5	163	22.1	20~25	2.15	3.32	384	57.3	167	18.3
		0~30	1.74	2.82	373	57.6	163	21.3	25~30	2.13	3.58	395	57.3	166	16.1
		0~5	2.13	3.10	401	54.8	159	18.6	0~5	2.13	3.15	401	52.5	159	17.8
		0~10	2.31	3.46	396	54.7	160	17.6	5~10	2.50	3.60	391	54.9	160	17.0
		0~15	2.63	3.69	400	54.5	161	17.5	10~15	3.25	4.10	406	55.1	162	16.9
B-10	18	0~20	2.48	3.64	400	53.6	160	17.2	15~20	2.05	3.16	402	51.3	160	16.8
		0~25	2.48	3.61	402	51.8	161	17.5	20~25	2.48	3.49	407	43.4	164	17.2
		0~30	2.39	3.50	404	52.1	161	18.5	25~30	1.95	2.91	418	53.0	164	20.1
		測定調査事項				B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8		
		レバー操作不能回数				0	0	0	0	2	16	45	47		
実験前の視覚反応時間(1/1000sec)				226	201	160	168	164	180	169	206				
実験後の視覚反応時間(1/1000sec)				210	193	183	166	171	171	187	179				
実験前の脈拍数(P/min)				78	76	64	64	66	78	74	74				
実験後の脈拍数(P/min)				76	78	64	69	67	81	73	73				
操作性主観評価値				4	4	2	2	3	4	4	5				
疲労箇所				—	掌	—	—	手首	掌	肩部	肩部・掌・腕				
自覚的症状				—	—	—	—	—	—	発汗現象	いらいする 手がふるえる				
参考 立作業時の脈拍数 86				事務作業時の脈拍数 70											

表5-3 オペレータC実験結果一覧表(No.3)

EX. №	Fo	T	E	ESD	R ₁	R _{1SD}	R ₃	R _{3SD}	T'	E'	ESD'	R ₁ '	R _{1SD} '	R ₃ '	R _{3SD} '
C-1	0	0~5	5.00	4.34	638	81.8	277	68.2	0~5	5.00	4.26	638	82.9	270	68.3
		0~10	4.71	5.38	607	80.7	259	64.5	5~10	4.43	5.82	575	65.0	248	60.1
		0~15	4.26	4.97	592	77.4	248	63.6	10~15	3.36	4.00	562	62.5	226	57.4
		0~20	4.06	4.63	588	75.3	242	60.3	15~20	3.45	3.39	577	65.7	224	45.8
		0~25	3.80	4.39	585	76.8	237	57.2	20~25	2.80	3.13	573	80.9	219	37.0
		0~30	3.82	4.48	582	78.3	234	54.5	25~30	3.86	4.74	566	85.0	217	33.5
C-2	2	0~5	2.17	3.04	430	56.0	156	18.5	0~5	2.18	3.06	430	54.3	156	16.3
		0~10	2.36	3.42	431	57.2	159	19.2	5~10	2.55	3.72	431	58.3	161	19.3
		0~15	2.60	3.75	441	67.1	159	17.7	10~15	3.08	4.31	463	78.8	159	13.9
		0~20	2.56	3.75	443	70.6	158	17.0	15~20	2.43	3.65	449	72.1	156	13.9
		0~25	2.38	3.55	442	71.6	158	16.2	20~25	1.68	2.54	438	71.4	157	12.8
		0~30	2.29	3.50	443	68.8	157	15.5	25~30	1.85	3.14	450	53.2	155	10.9
C-3	4	0~5	2.55	3.91	401	67.8	151	18.4	0~5	2.55	3.64	401	62.1	151	21.6
		0~10	2.44	3.65	419	70.8	152	15.5	5~10	2.33	3.40	436	61.6	154	16.2
		0~15	2.39	3.65	423	67.4	153	14.6	10~15	2.30	3.10	432	53.8	154	11.9
		0~20	2.43	3.65	430	64.3	153	13.8	15~20	2.55	3.77	453	48.3	155	10.4
		0~25	2.47	3.66	431	61.1	154	13.2	20~25	2.63	3.68	433	43.6	156	10.3
		0~30	2.39	3.56	435	59.6	154	12.8	25~30	2.00	3.10	456	43.8	155	10.1
C-4	6	0~5	2.25	3.24	416	44.8	147	13.4	0~5	2.25	3.36	416	44.8	147	11.4
		0~10	2.56	3.81	425	38.7	149	12.4	5~10	2.88	4.33	434	27.7	152	10.0
		0~15	2.36	3.59	437	47.5	152	13.0	10~15	1.95	3.04	462	53.7	156	12.5
		0~20	2.33	3.54	444	46.8	154	12.9	15~20	1.45	3.29	464	36.8	160	9.1
		0~25	2.19	3.38	447	44.6	154	12.3	20~25	1.63	2.29	460	31.2	155	9.7
		0~30	2.27	3.40	453	46.0	155	12.2	25~30	2.68	3.53	485	39.4	161	9.5
C-5	8	0~5	2.47	3.95	410	41.5	147	12.7	0~5	2.47	3.61	410	41.7	147	12.2
		0~10	2.26	3.56	425	52.7	148	12.4	5~10	2.05	3.18	441	52.1	150	11.4
		0~15	2.18	3.37	435	55.4	149	11.7	10~15	2.02	2.92	454	57.5	150	10.2
		0~20	2.14	3.34	442	60.7	150	11.3	15~20	2.00	3.33	463	65.1	152	9.5
		0~25	2.23	3.50	442	56.9	150	11.2	20~25	3.60	3.87	443	38.6	152	10.5
		0~30	2.33	3.62	444	57.4	150	11.2	25~30	2.00	4.51	460	53.0	151	11.4
C-6	10	0~5	2.42	3.68	394	84.0	128	14.3	0~5	2.42	3.59	416	77.7	128	12.9
		0~10	2.11	3.28	389	76.1	128	12.7	5~10	1.80	2.59	384	58.8	128	11.3
		0~15	2.05	3.16	396	71.9	129	11.6	10~15	1.92	2.92	409	59.6	130	8.8
		0~20	2.01	3.14	397	68.6	130	11.1	15~20	1.90	3.04	400	54.0	133	8.7
		0~25	1.96	3.11	400	69.6	130	11.0	20~25	1.75	2.94	413	70.8	133	10.0
		0~30	1.93	3.10	404	68.2	131	10.9	25~30	1.77	2.85	426	58.4	134	10.1
C-7	12	0~5	3.07	4.03	422	62.9	131	12.3	0~5	2.07	4.03	422	62.6	131	12.2
		0~10	3.02	4.13	435	59.6	131	12.9	5~10	2.97	3.97	448	52.1	131	13.8
		0~15	2.81	3.95	451	76.2	132	14.3	10~15	2.37	3.44	483	81.5	135	16.7
		0~20	2.63	3.72	446	72.7	134	14.4	15~20	2.10	3.01	430	58.3	138	13.7
		0~25	2.68	3.79	447	74.3	135	14.3	20~25	2.87	3.73	450	80.9	138	13.4
		0~30	2.65	3.75	452	75.2	136	14.7	25~30	2.47	3.54	479	72.1	141	15.4
C-8	14	0~5	2.77	3.93	493	110.3	143	17.7	0~5	2.77	3.84	493	99.6	143	18.2
		0~10	3.44	4.49	485	96.3	145	18.1	5~10	3.10	5.14	477	81.0	147	18.8
		0~15	3.62	4.73	495	106.0	146	18.0	10~15	3.97	5.04	514	106.8	149	16.7
		0~20	3.69	4.81	493	101.9	147	17.1	15~20	3.92	5.14	487	81.0	148	14.1
		0~25	3.61	4.78	495	108.3	148	18.1	20~25	3.27	4.74	505	126.1	151	21.2
		0~30	3.51	4.75	495	102.6	148	18.4	25~30	3.00	4.49	494	67.4	149	19.1
測定調査事項					C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8			
レバー操作不能回数					0	0	1	3	13	13	50	71			
実験前の視覚反応時間(1/1000sec)					247	168	166	163	152	184	178	208			
実験後の視覚反応時間(1/1000sec)					243	175	168	171	174	191	191	195			
実験前の脈拍数(P/min)					64	67	64	67	68	65	76	68			
実験後の脈拍数(P/min)					72	72	72	69	70	72	76	72			
操作性主観評価値					4	3	2	3	3	4	5	5			
疲労箇所					—	肩部	—	—	—	掌	掌	掌・腕			
自覚的症狀					—	—	—	—	—	発汗現象	手がふるえる	発汗現象			
参考 立作業時の脈拍数 75					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 (No. 4)

EX. No	Fo	T	E	ESD	R ₁	R _{1SD}	R ₃	R _{3SD}	T'	E'	ESD'	R ₁ '	R _{1SD} '	R ₃ '	R _{3SD} '
D-1	0	0~5	2.77	3.84	538	67.3	154	42.9	0~5	2.78	3.83	538	57.1	154	39.5
		0~10	3.15	4.00	548	78.6	160	52.0	5~10	3.53	4.11	558	86.6	167	53.6
		0~15	3.27	4.06	560	85.2	169	75.6	10~15	3.50	4.25	583	91.2	187	90.4
		0~20	3.09	3.81	570	109.3	165	66.9	15~20	2.55	3.05	600	146.3	152	23.5
		0~25	3.10	3.92	566	105.7	160	61.3	20~25	3.18	4.25	550	87.1	140	19.7
		0~30	3.00	3.81	563	100.2	158	56.8	25~30	2.50	3.23	548	66.7	146	20.7
D-2	2	0~5	3.15	4.03	581	68.9	142	17.6	0~5	3.15	3.96	581	67.0	142	17.6
		0~10	3.10	4.01	555	67.9	139	14.7	5~10	3.05	4.05	528	53.2	135	9.4
		0~15	2.86	3.66	550	73.8	138	13.8	10~15	2.88	2.80	540	76.8	137	11.8
		0~20	2.88	3.76	543	70.9	138	13.5	15~20	2.93	3.82	522	53.9	136	11.5
		0~25	2.89	3.73	535	72.5	136	13.3	20~25	2.98	3.67	505	70.8	131	10.5
		0~30	2.86	3.64	530	74.9	136	12.6	25~30	2.68	3.01	506	80.4	132	7.5
D-3	4	0~5	2.15	2.75	503	55.3	123	17.7	0~5	2.15	2.80	503	53.9	123	16.6
		0~10	2.22	2.84	506	56.3	122	14.7	5~10	2.30	2.95	509	58.4	121	11.4
		0~15	2.38	3.10	505	60.7	122	13.3	10~15	2.70	3.69	502	66.1	121	9.5
		0~20	2.43	3.26	502	58.4	122	12.5	15~20	2.57	3.56	495	50.6	124	9.4
		0~25	2.50	3.35	499	65.0	123	12.3	20~25	2.77	3.76	484	79.1	127	10.4
		0~30	2.46	3.38	496	66.4	123	11.8	25~30	2.25	3.48	482	70.0	124	8.3
D-4	6	0~5	2.72	3.84	495	52.1	110	7.6	0~5	2.72	3.74	459	50.4	110	7.4
		0~10	2.71	3.80	462	51.6	110	7.3	5~10	2.70	3.57	465	51.3	110	6.8
		0~15	2.45	3.40	465	48.8	111	6.8	10~15	1.92	2.47	469	41.9	113	5.6
		0~20	2.37	3.33	460	53.9	112	6.6	15~20	2.12	3.10	446	62.8	114	5.6
		0~25	2.20	3.10	459	54.7	112	6.8	20~25	1.55	1.81	454	57.0	114	6.7
		0~30	2.27	3.17	454	55.4	112	6.9	25~30	2.60	3.59	427	52.8	112	7.7
D-5	8	0~5	3.32	4.07	492	91.9	117	10.7	0~5	3.32	4.05	492	80.7	117	9.7
		0~10	3.30	4.26	492	80.7	120	10.7	5~10	3.27	3.95	493	66.7	123	10.0
		0~15	3.08	4.09	509	76.5	121	9.8	10~15	2.65	3.52	541	55.7	124	6.7
		0~20	2.92	3.90	516	73.3	122	9.4	15~20	2.42	3.03	537	57.0	123	7.3
		0~25	2.91	3.84	522	71.1	122	9.1	20~25	2.90	3.24	545	53.8	123	7.3
		0~30	2.87	3.80	521	70.7	123	8.8	25~30	2.65	3.40	520	66.4	124	6.9
D-6	10	0~5	3.47	4.41	550	84.2	130	13.8	0~5	3.47	4.16	550	74.0	130	13.8
		0~10	3.02	3.87	573	79.8	133	13.7	5~10	2.57	3.24	597	65.2	135	13.7
		0~15	2.83	3.68	582	80.4	132	13.4	10~15	2.45	3.24	600	77.1	130	13.2
		0~20	2.79	3.71	584	76.1	132	13.3	15~20	2.67	3.49	590	59.5	133	12.9
		0~25	2.83	3.74	589	75.6	133	13.2	20~25	2.97	3.84	607	70.0	136	11.8
		0~30	2.77	3.64	593	76.9	134	13.0	25~30	2.47	3.06	612	75.5	137	11.4
D-7	12	0~5	3.17	4.27	532	68.9	149	16.2	0~5	3.17	4.03	532	63.6	149	15.3
		0~10	3.39	4.24	540	73.3	153	18.6	5~10	3.60	4.21	548	74.6	157	20.0
		0~15	3.57	4.34	543	70.9	153	18.4	10~15	2.95	4.25	549	66.8	153	18.6
		0~20	3.37	4.10	537	75.6	154	19.0	15~20	2.75	3.14	517	85.9	158	20.2
		0~25	3.36	4.12	533	76.5	152	19.1	20~25	3.32	4.01	518	70.1	142	15.7
		0~30	3.27	4.05	534	76.8	150	19.0	25~30	2.82	3.78	538	74.5	141	15.5
D-8	14	0~5	3.97	4.84	553	73.1	143	27.3	0~5	3.97	4.89	553	70.0	143	27.6
		0~10	4.04	5.37	558	76.1	147	23.3	5~10	4.10	5.68	564	80.0	150	17.5
		0~15	3.53	4.81	549	79.1	146	21.9	10~15	2.52	3.20	530	80.1	145	19.2
		0~20	3.44	4.63	552	78.6	149	21.6	15~20	3.17	3.95	562	75.6	157	18.4
		0~25	3.49	4.62	552	79.8	149	21.3	20~25	3.70	4.51	552	84.5	150	20.2
		0~30	3.41	4.46	555	86.8	152	22.4	25~30	3.00	3.48	570	113.7	167	21.2
測定調査事項				D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8				
レバー操作不能回数				0	0	0	8	40	51	80	121				
実験前の単純反応時間(1/1000sec)				183	177	178	163	162	175	212	205				
実験後の単純反応時間(1/1000sec)				184	168	157	144	163	183	168	188				
実験前の脈拍数 (P/min)				83	79	62	68	73	67	82	76				
実験後の脈拍数 (P/min)				84	80	65	76	81	74	86	77				
操作性主観評価値				4	3	1	2	3	4	5	5				
疲労箇所				指	眼部	—	—	眼部	掌	腕・掌	掌				
自覚的症狀				—	—	—	—	いらいりする	—	—	手がふるえる				
参考 立作業時の脈拍数 90				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 (No. 5)

EX. №	Fo	T	E	ESD	R ₁	R _{1SD}	R ₃	R _{3SD}	T'	E'	ESD'	R ₁ '	R _{1SD} '	R ₃ '	R _{3SD} '
1	0	0~5	3.71	4.36	570	82.7	228	61.4	0~5	3.71	4.24	571	80.0	228	59.6
		0~10	3.76	4.69	556	86.9	220	60.4	5~10	3.80	4.84	540	82.7	213	52.9
		0~15	3.57	4.49	550	87.7	216	66.2	10~15	3.18	4.04	538	79.4	206	60.9
		0~20	3.47	4.35	544	92.0	209	61.3	15~20	3.19	3.82	529	87.0	189	32.0
		0~25	3.34	4.22	536	91.9	204	57.7	20~25	2.85	3.44	503	74.7	187	31.1
		0~30	3.29	4.18	530	91.0	201	55.7	25~30	3.01	3.97	502	74.9	187	31.9
2	2	0~5	2.63	3.62	431	64.4	155	27.3	0~5	2.63	3.46	431	63.1	155	23.3
		0~10	2.55	3.60	424	63.1	154	25.9	5~10	2.48	3.45	416	57.9	153	22.5
		0~15	2.54	3.58	424	68.8	153	23.4	10~15	2.65	3.46	425	75.1	150	16.0
		0~20	2.79	3.55	422	68.5	152	22.0	15~20	2.25	3.36	415	64.1	149	16.2
		0~25	2.73	3.47	419	68.0	152	21.3	20~25	2.16	3.09	409	61.9	150	17.9
		0~30	2.31	3.37	418	68.1	151	20.7	25~30	1.86	2.74	410	64.1	150	16.8
3	4	0~5	2.28	3.21	395	58.8	136	16.9	0~5	2.28	3.14	395	55.3	136	16.9
		0~10	2.25	3.16	398	62.0	137	16.6	5~10	2.23	3.06	400	59.9	138	16.5
		0~15	2.29	3.28	398	61.5	137	15.0	10~15	2.86	3.36	399	58.4	137	10.3
		0~20	2.26	3.25	399	59.4	138	14.1	15~20	2.71	3.12	403	51.5	140	10.4
		0~25	2.25	3.22	399	59.7	138	13.8	20~25	2.22	3.03	398	57.6	141	11.6
		0~30	2.24	3.23	401	60.5	139	13.6	25~30	2.18	3.24	410	60.7	142	12.4
4	6	0~5	2.32	3.19	395	52.7	130	12.3	0~5	2.33	3.15	386	49.8	130	11.9
		0~10	2.38	3.33	392	50.9	132	12.0	5~10	2.44	3.40	399	48.1	133	10.9
		0~15	2.32	3.28	397	50.5	134	11.9	10~15	2.19	3.03	407	45.3	137	11.1
		0~20	2.22	3.20	398	49.5	135	11.1	15~20	1.73	2.89	399	40.6	138	8.4
		0~25	2.10	3.31	398	48.2	135	11.0	20~25	1.56	2.19	400	41.7	137	10.7
		0~30	2.17	3.13	399	49.6	136	11.0	25~30	2.51	3.43	403	48.4	138	9.8
5	8	0~5	2.50	3.40	393	61.5	131	14.2	0~5	2.50	3.20	393	57.0	131	12.5
		0~10	2.39	3.33	401	58.4	133	13.4	5~10	2.28	3.12	458	49.8	135	11.8
		0~15	2.29	3.28	407	57.6	134	13.2	10~15	2.08	2.98	426	51.7	136	11.2
		0~20	2.28	3.28	413	57.5	135	12.6	15~20	2.25	3.07	426	51.4	136	9.9
		0~25	2.26	3.25	416	55.5	135	12.2	20~25	2.19	2.88	426	44.2	136	10.1
		0~30	2.33	3.36	417	55.6	135	11.8	25~30	2.72	3.80	425	53.0	137	9.1
6	10	0~5	2.52	3.56	400	66.3	130	12.7	0~5	2.52	3.43	405	62.2	130	14.6
		0~10	2.38	3.17	403	62.9	130	13.5	5~10	2.24	3.14	406	54.0	131	13.2
		0~15	2.28	3.31	409	62.2	131	13.7	10~15	2.07	2.98	423	56.9	131	12.1
		0~20	2.31	3.36	412	59.2	131	13.3	15~20	2.40	3.43	419	48.1	133	11.6
		0~25	2.29	3.33	415	60.2	132	13.0	20~25	2.21	3.15	426	62.3	134	10.9
		0~30	2.21	3.24	417	59.6	132	13.3	25~30	1.91	2.55	426	53.8	135	11.1
7	12	0~5	3.08	4.16	401	61.4	138	19.2	0~5	3.08	4.12	401	63.7	138	17.2
		0~10	2.98	4.08	405	65.5	139	17.7	5~10	2.86	3.86	409	61.0	139	14.5
		0~15	2.83	3.95	410	69.2	139	17.3	10~15	2.52	3.47	420	68.8	140	14.9
		0~20	2.67	3.75	409	70.3	141	18.8	15~20	2.22	2.95	406	70.3	145	19.3
		0~25	2.67	3.78	410	70.5	141	19.2	20~25	2.66	3.63	415	67.3	141	17.0
		0~30	2.62	3.75	414	71.2	141	20.5	25~30	2.38	3.42	431	70.5	143	19.5
8	14	0~5	3.24	4.23	450	80.6	139	22.3	0~5	3.24	4.21	450	74.2	139	21.8
		0~10	3.30	4.47	447	79.6	141	20.8	5~10	3.36	4.59	444	77.7	142	18.2
		0~15	3.26	4.43	445	80.0	141	19.8	10~15	3.18	4.16	441	71.5	143	17.1
		0~20	3.19	4.37	446	77.4	143	19.5	15~20	3.00	4.09	449	67.3	146	17.3
		0~25	3.17	4.33	447	78.5	143	19.4	20~25	3.05	4.08	451	79.7	145	17.8
		0~30	3.07	4.23	448	78.7	144	19.7	25~30	2.56	3.55	454	76.8	150	19.1
測定調査事項				1	2	3	4	5	6	7	8				
レバー操作不能回復				0	0	0	3	18	26	57	64				
実験前の単純反応時間(1/1000sec)				214	177	169	159	162	176	182	195				
実験後の単純反応時間(1/1000sec)				208	176	169	163	167	173	181	180				
実験前の脈拍数(P/min)				75.3	71.0	63.8	68.5	70.3	70.0	76.3	71.3				
実験後の脈拍数(P/min)				76.0	71.8	67.0	74.5	75.0	76.8	77.3	77.3				
操作性主観評価値				4	3.25	1.75	2.5	3	4	4.75	5				
疲労箇所(累計)				1	3	0	0	2	4	5	7				
自覚的症狀(累計)				1	0	0	1	2	1	3	6				
参考 立作業時の脈拍数 85 事務作業時の脈拍数 71															

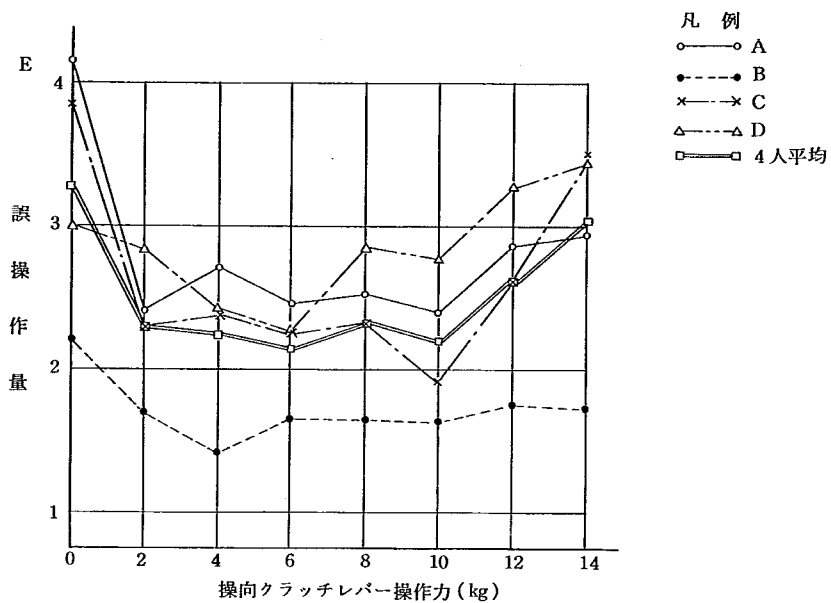


図5-1 操向クラッチレバー操作力と誤操作量

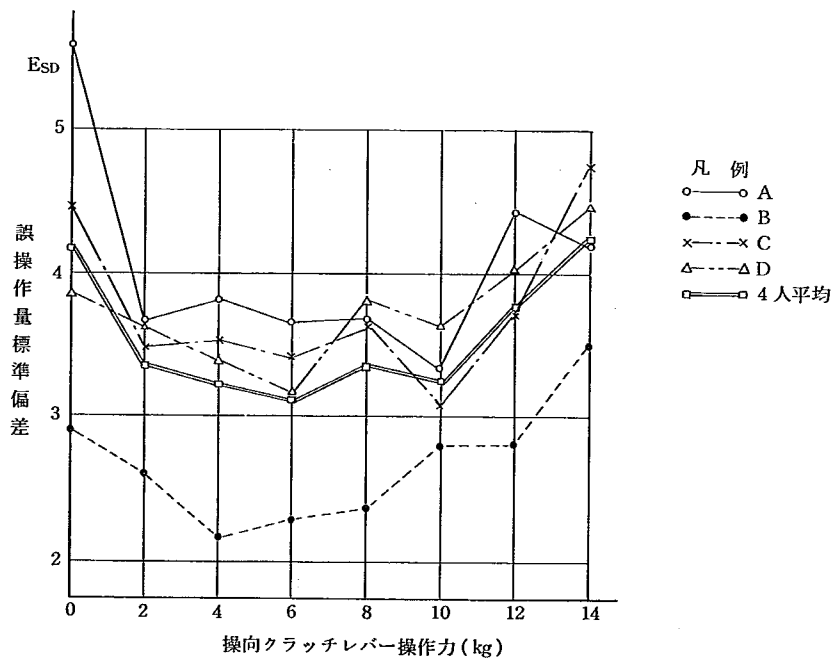


図5-2 操向クラッチレバー操作力と誤操作量標準偏差

この図をみると、オペレータ A、B、C、Dとも操作力の非常に大きいと思われる 10 kg 以上、軽過ぎると思われる 2 kg 以下になると急に誤操作量が増加し、2~10 kg まで割合平坦で変化が少ない（4 人平均も同様）傾向を示している。したがって、誤操作量からみた操向クラッチレバーの最適操作力は 2~10 kg の間にあり、急激に誤操作量が増加する変化点は 2 kg および 12 kg であると思われる。

図 5-2 は操向クラッチレバー操作力と各オペレータと 4 人平均の誤操作量標準偏差との関係を示す。これによれば大同小異であるが、操作力が 2 kg から 10 kg 間では標準偏差の変化はあまり見えず、それ以下やそれ以上になると急激に増加する傾向がある。これからみた最適操作力は 6 kg であり、変化点は 2 kg と 10 kg であるといえる。

これらの原因として考えられることは操向クラッチレバー操作力が重すぎると、肉体的な疲労や、これから派生する精神的な負担、および、重すぎて細かな操作ができにくくなり、逆に軽すぎれば機械的な感覚がなく重すぎると同様な現象（ここでは誤操作量や、同標準偏差の増加する傾向）として出てくる。なお、この点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大体同様な意見であった。

ここで機械的な感覚というのを定義すると、オペレータがある調整系（ここではトラッキング）を操作するとき、その感覚は、機械の抵抗する力（操作力：抵抗力）によって定まるものであり、これを手で検出し脳により自己刺激反応しているものである。これを機械的な感覚という。この刺激はある特定の範囲内では変化をはっきりと捉えることができる。したがって操作力が軽すぎるとこの刺激が小さく、その結果としてこれが誤操作量につながるものと思われる。

また時間の経過に誤操作量がいかに変化していくかを見るため、横軸に経過時間、縦軸に誤操作量をとり、各操作力で 5 分間隔の 4 人平均誤操作量をとったのが図 5-3 である。全体に大きくバラついているが、巨視的に捉えると右下りの傾向があることがわかる（誤操作量標準偏差でも同様な傾向が見られる）。すなわち、これは経過時間にともなって誤操作量が少なくなることを示している。一般に誤操作量が増加することの要因として考えられるのは労働（ここではトラッキング作業）による肉体的・精神的な疲労、単純作業によるあきがある。反面、減少させる要因には、時間の経過にともなって練習効果で操作が上手になる現象、すなわち、学習効果、俗な言葉でいうなれがある。したがって、30 分間と限られた条件下では、疲労やあきよりも学習

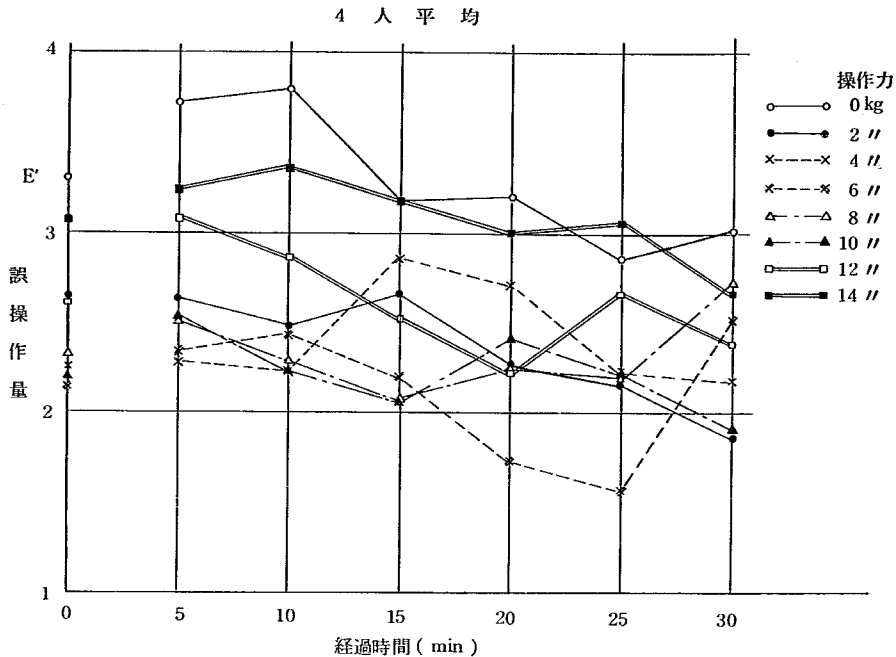


図 5-3 経過時間と誤操作量

効果の要因が大きく働いていることを示している。しかしながら、減少傾向が永久に続くわけではなく、徐々に疲労が増加し、ある時間で疲労と学習効果が相殺され、平坦になり、それ以後は漸次に誤操作量が増加する傾向になると思われる。

5-2 操向クラッチレバー操作力とレバー引張時間との関係

レバー引張時間は目標指示ランプが点灯し、オペレータが操向クラッチレバーを完

全に引き終るまでの時間であっ

て、この時間は大きく分けると

二つに分類できる。すなわち、

図 5-4 に図式化したように、

第一に指示ランプが点灯してから

レバーが動き始めるまでの時間

とレバーが動き始めてから完

全に引き終るまでの時間、すな

わち実際にレバーを操作してい

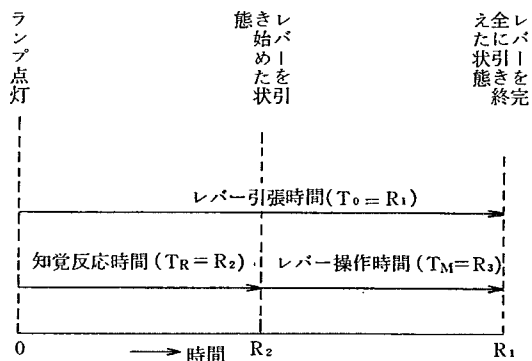


図 5-4 レバー引張時間等と時間

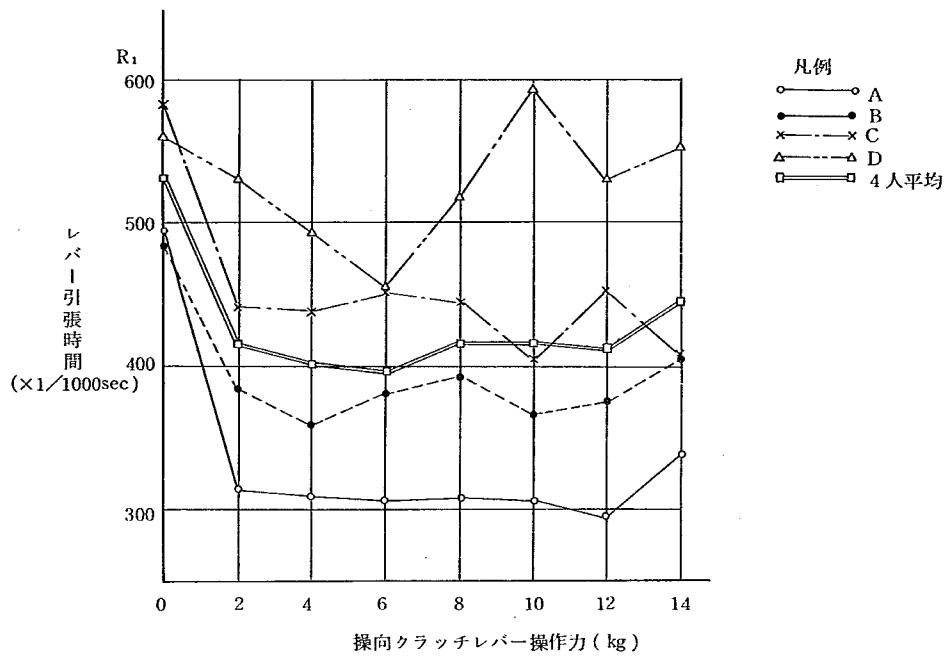


図5-5 操向クラッチレバー操作力とレバー引張時間

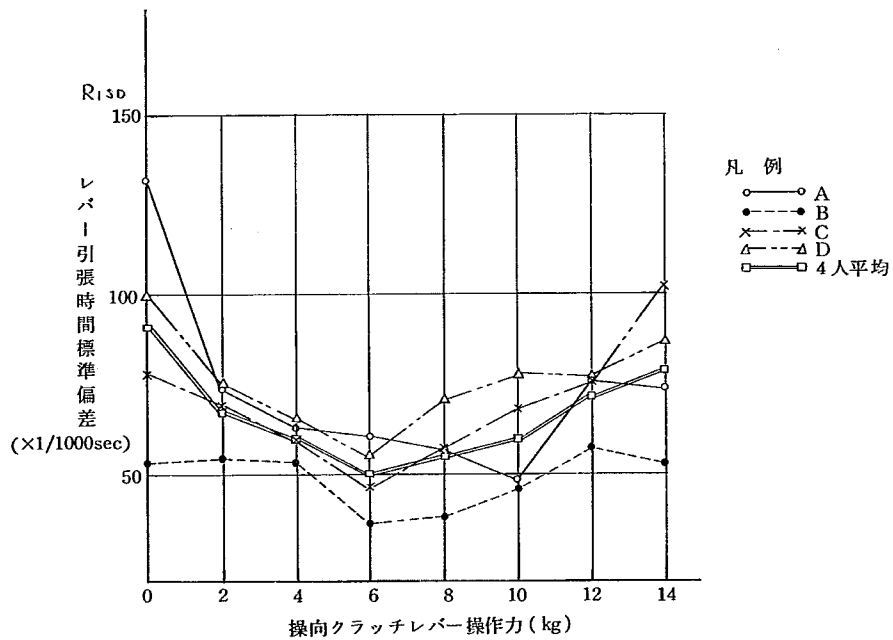


図5-6 操向クラッチレバー操作力とレバー引張時間標準偏差

る時間である。前者を知覚反応時間、後者をレバー操作時間という。この実験ではレバー操作力が変化するといかにこれらに影響を与えるかを調査するため両者を検出し測定した。

実機においてはオペレータが障害物や信号等の情報刺激に対して、反応を示し、操作に要する時間であり、またレバー引張時間標準偏差はそのバラツキの程度を表わすものである。これらは年齢、性別や環境等の条件によって変化するが、これはできるだけ短時間である方が良いのは当然である。

そこで操作力の変化がレバー引張時間にいかなる影響を与えるかを見るため図5-5を作成した。本図を見ると各人の引張時間の極小値は4~12kgの間にあり、一定していない。またオペレータDを除いた3名は操作力が2~12kgまで平坦な傾向を示し、2kg以下や12kg以上になると増加を示すようになる。

さらに操作力とレバー引張時間標準偏差を図示すると図5-6のようになる。これを見ると各オペレータとも6kgを中心にそれ以下、それ以上になると顕著に増加する傾向を示している。

これらの原因を考察すると、操向クラッチレバー操作力が大きくなれば、オペレータがレバーを操作するに要す力が過度に大きくなり、この結果として疲労し、知覚反応時間やレバー操作時間が増加し、逆に軽すぎるとオペレータがレバーを操作するのに不安定なため不安な気持を生じ、レバーを操作するのに躊躇するようになるので、レバー引張時間が増加するものと思われる。極度に重いものと極度に軽いものと、どちらが大きくこれらに影響を与えるか比較検討すると図5-5と図5-6より明らかなように、重過ぎると思われる14kgより、軽すぎる0kgの方がレバー引張時間が大きいので、負荷が小さすぎるというのは引張時間に大きく影響を与えることが明白である。

図5-7は4人平均をした各レバー操作力における経過時間とともなっているレバー引張時間を図示したものであるが、これより一つの傾向として巨視的に捉えたと、操作力が0と2kgは経過時間とともに操作時間が少なくなっているが約25~30分間経つと変化しない現象となる。その他の操作力では多少の差こそあれ、時間の経過とともにレバー引張時間が増加する傾向がある。これは操作力が小さな場合は、実験直後は操作力が極度に小さなため、オペレータが躊躇してレバー引張時間が長くなっている。それが時間が経つにしたがって学習効果(なれ)のため減少し、ある時間

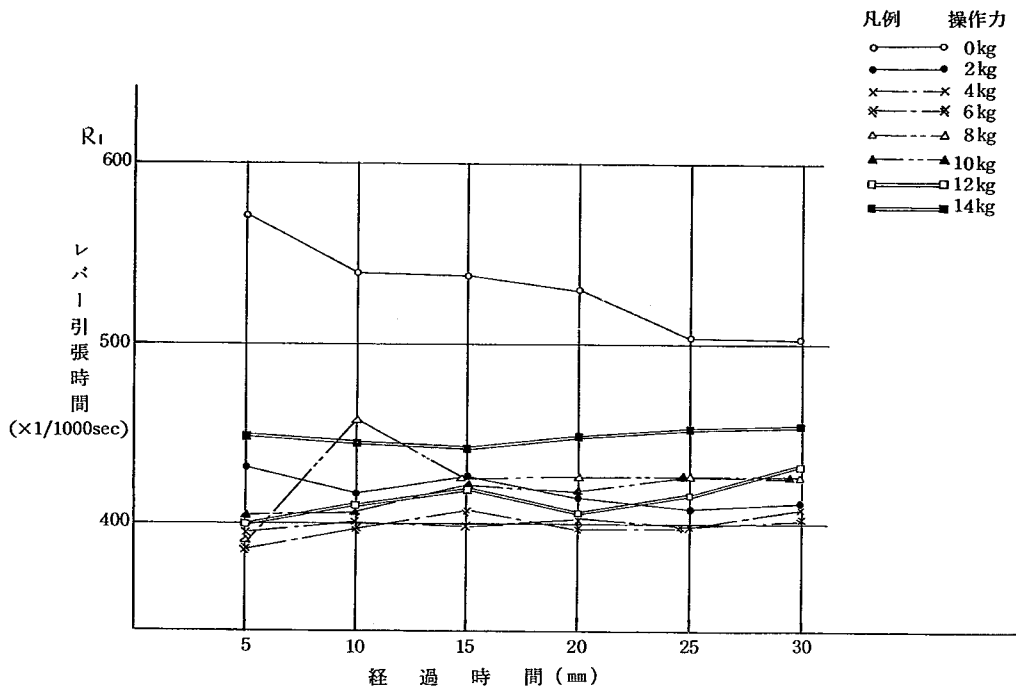


図5-7 経過時間とレバー引張時間

(ここでは20分間)が経つと、それ以上の向上がなくなって平坦な傾向となる。それ以後(30分間以降)はこの実験では行なわなかったもので、明確にはいえないが、他の操作力と同様に増加するものと思われる。このレバー引張時間の増加する現象は、トラッキング作業することによって手、腕、眼部等の肉体的な疲労と単純作業によるいらい、気分の不安感による精神的な疲労が原因となっているものと思われる。

さらにレバー引張時間の最大と最小の差が4人平均で、120 ms (ミリセカンド)ある。これが実機、たとえばブルドーザが1m/sで走行し、それを操向で逃げた場合、レバー操作力が6kgと0kgで、同一条件で操向すると、6kgより0kgの方が約0.1m走り過ぎてから操向することとなる。これは前述した誤操作量が生じる一つの要因になっているものと思われる。

以上のことより、レバー引張時間から捉えた操作力の限界は4~12kgの範囲であるものと思われる。

5-3 操向クラッチレバー操作力とレバー操作不能回数との関係

レバー操作不能というのは、オペレータがレバーを引張った状態で操作するが、レ

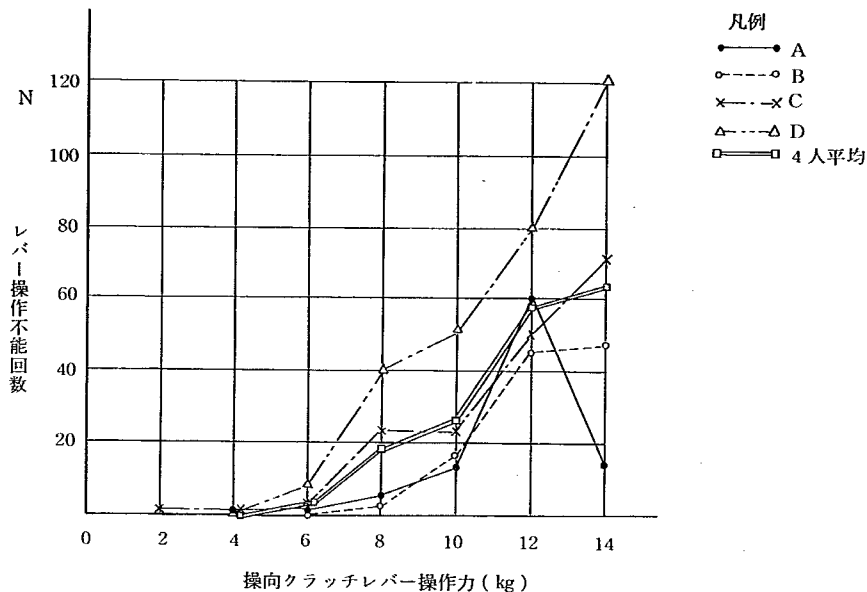


図5-8 操向クラッチレバー操作力とレバー操作不能回数

バーの負荷が引張る力より大きい場合にレバー負荷に抗しきれず、レバーが戻ってしまい操作が不能になる現象をいう。したがって、この回数は少ない方がよいといえる。この値によって操作力の上限を知る一つの指標となるのではないかとということで、この事項を調査した。各操作力における一回の実験で起った回数を各オペレータと4人平均をグラフに示したのが図5-8である。

この図をみると各人とも絶対値の差はあるが、オペレータAの操作力14kgを除いたほか、全体に共通していえることは、操作力が4kg以下ではほとんどレバー操作不能現象はないが、8kgをすぎると急激に二次的に増加する傾向がある。文献によれば、人間がレバーを瞬間的に引張る最大な力は50kg¹¹⁾程度であるが、レバーを長時間（この実験では5～6秒）引張ることができる能力はこれより大部低下するものと思われる。レバー操作不能現象の原因を考えてみると、操作力が大きくなればなるほどレバー操作不能回数が増加するのは当然であるが、その他にオペレータの注意が散漫となることによってこの現象がでるものと思われる。

これにより操作力の限界を解明すると図5-8に見られるように8kgになると急激に増加する傾向にあるので、その辺が一つの限界ではないかと思われる。したがって、

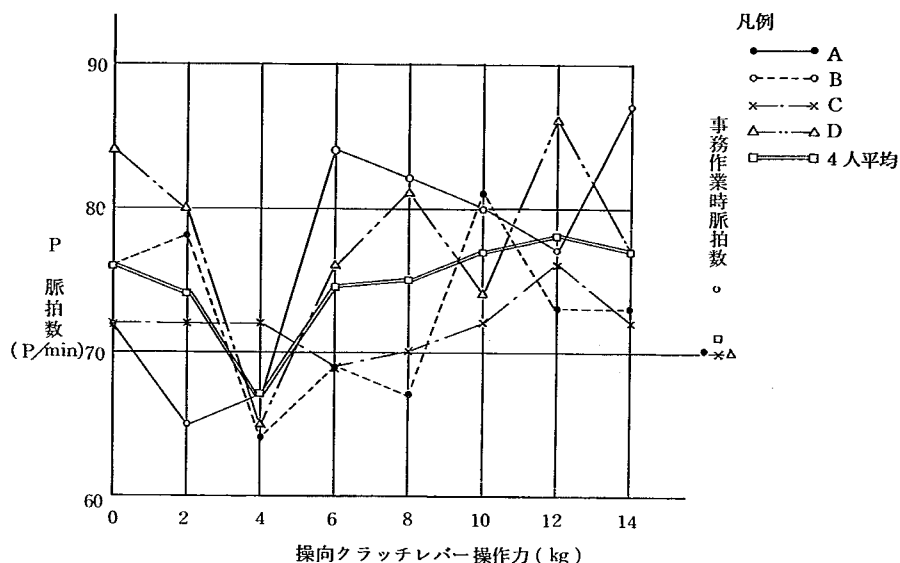


図5-9 操向クラッチレバー操作力と脈拍数

操向クラッチレバー操作力の8 kg以上は避けた方が良いといえる。

5-4 操向クラッチレバー操作力と脈拍数との関係

脈拍数の測定は比較的容易に測定できるので、労働（作業）の軽重や疲労度を判定するための実験指標として相当以前から採用されている。

当実験においては、実験前後に脈拍数を測定した。この結果をグラフにしたものが図5-9である。

この結果より操向クラッチレバー操作力とオペレータの脈拍数の関係をみると、各人で相当なバラツキがあるが、これを平均比すると操作力が4 kgで最小となり、それ以下またはそれ以上になると多少増加する傾向となっている。さらに実験時と事務作業時における脈拍数と比較すると最大でも10 P/min程度前者の方が大きい。脈拍数の10 P/min程度の増加は階段の昇降や早足で歩く程度で起るものである。

また実際にブルドーザやスクレーパを運転することによって安静時に比べて増加する脈拍数は労働科学研究所の調査⁸⁾によれば個人間で多少異なるが7~10 P/minで、この実験と大差はない。なお、前年度実施したフットペダル操作力の実験においても同様な傾向¹⁾であった。

これらの原因をさぐると、操向クラッチレバー操作力の軽重による労働負担度の差は

顕著にはなく、それより操作の難易による精神的な負担から派生するものが多いと思われる。

以上のことにより、脈拍数と操向クラッチレバー操作力との関係から結論づけると、個人間で差はあるが最適操作力は4kgであるといえる。

5-5 操向クラッチレバー操作力と疲労個所ならびに自覚的症狀との関係

表5-6と図5-10は操作力と主観的疲労度との関係をみるために各操向クラッチレバー操作力における4人のオペレータの疲労個所および自覚的症狀を、実験後アンケートによって調査した結果を表およびグラフにしたものである。

表5-6の疲労部分を見ると操作力が10kg以上になるとオペレータの全員が指・掌および腕部分に痛みや疲労を訴え、以下操作力が小さくなるにしたがって減少し、4, 6kgでは皆無となり、それ以下になると幾分増加する傾向が見られる。

また自覚的症狀においては、操作力が14kgでは「手がふるえる」とか「いらいらする」という現象が全員に見られ、以下操作力が減少するにしたがって逓減する傾向となる。

この原因として考えられることは、操作力が増加すればそれにしたがって、労働負担度が増しこれにより疲労が増長されることは明らかである。逆に操作力が非常に小

表5-6 操向クラッチレバー操作力と疲労個所ならびに自覚的症狀

調査事項	操作力 オペレータ	0kg	2kg	4kg	6kg	8kg	10kg	12kg	14kg
疲労個所	A	—	—	—	—	—	指	指	指
	B	—	掌	—	—	手首	掌	肩部	肩部・掌・腕
	C	—	肩部	—	—	—	掌	掌	掌・腕
	D	指	眼部	—	—	眼部	掌	腕・掌	掌
	累計	1	3	0	0	2	4	5	7
自覚的症狀	A	発汗現象	—	—	発汗現象	発汗現象	—	いらいらする	発汗現象 頭がぼんやり
	B	—	—	—	—	—	—	発汗現象	いらいらする 手がふるえる
	C	—	—	—	—	—	発汗現象	手がふるえる	発汗現象
	D	—	—	—	—	いらいらする	—	—	手がふるえる
	累計	1	0	0	1	2	1	3	6

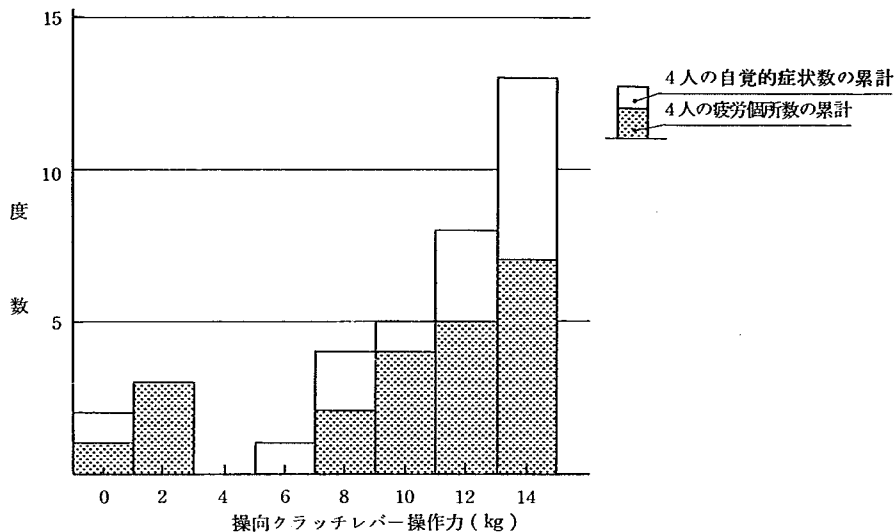


図5-10 操向クラッチレバー操作力と疲労箇所ならびに自覚的症状（4人累計）

さなとき自覚的疲労および疲労箇所ができるのは操向クラッチレバーの操作力とレバー引張力との間でバランスがとれなく腕および掌に無理な力が働くことが起因しているものと思われる。さらに、この結果から操作力の限界を求めれば全員が指または掌に痛みを訴える 10 kg でないかといえる。これは図5-3で論じたレバー操作不能回数をみても明らかである。

結論としてこの事項から操向クラッチレバーの最適操作力を究明すれば 4 kg であるということは明白であり、操作力の設定にあたっては少なくとも 10 kg 以上は避けるべきであるということが判明した。

5-6 操向クラッチレバー操作力と操作性主観評価値との関係

図5-11は操向クラッチレバー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。なお、操作性主観評価値はオペレータが実験後操向クラッチレバーの操作の難易度を総合的な判断によって5点法により評価したものである。通常、物の良否を客観的かつ絶対的に測定、評価が不可能または困難なとき、一つの便法として5点法、10点法等の評価尺度による評価方法が用いられているので、ここでは一般に良く使用されている5点法を採用した。

図5-11を見ると、各オペレータとも操作力が軽すぎると思われる 0 kg、重すぎ

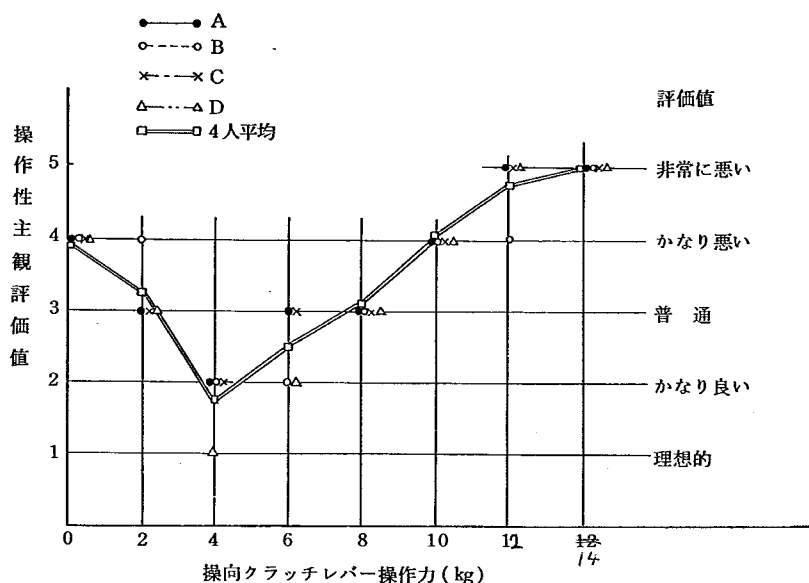


図5-11 操向クラッチレバー操作力と操作性主観評価値

と思われる10、12、14 kgでは一部を除いて「かなり悪い」か「非常に悪い」と評価している。また、2～8 kgの範囲では「普通」、もしくは「かなり良い」と評価している。さらに個人間の評価を平滑化するために4人平均を取ったところ4 kgが最小値を示し、それ以下またはそれ以上になるとだんだん評価が落ちる傾向となる。これは前項で論じた客観的な評価法による誤操作量やレバー引張時間と同様な傾向を示している。

この結果、操作性主観評価値からみた操向クラッチレバーの最適操作力は明らかに4 kgであるということが理解できる。この結果は5-1および5-2で記載したレバー操作力の限界と一致している。したがって0 kg以下または10 kg以上の操作力は避けた方がよいということがわかる。

結論として、操作性主観評価値から操向クラッチレバーの最適操作力を求めれば4 kgであるということは明白であり、操作力の設定に当っては少なくともオペレータの全員が「普通」もしくは「かなり良い」と答えた2～8 kg以内にすべきであるということがいえる。

5-7 総合評価法による操向クラッチレバーの最適操作力の設定

5-1～5-6までの各項目で、各オペレータの誤操作量、レバー引張時間、同標準偏差等を測定・算出し、これらの事項と操向クラッチレバー操作力との関係を論じ、各事項における最適操作力について考察してきた。

しかしながら、最適操作力は誤操作量やレバー引張時間や疲労度等の中の一つだけで決定されるものではなく、多角的に求めるため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、かつできるだけ客観的な評価法をもって検討し設定しなければならない。そこで、総合評価法の一方法として、この実験で測定した各操向クラッチレバー操作力における4人平均した誤操作量、同標準偏差、レバー引張時間、同標準偏差、レバー操作不能回数、操作性主観評価値、自覚的症状、疲労箇所および脈拍数の9項目を等値と評価し、数値の小さい方から1位から8位までの順位をつけ、その順位を各測定事項における評価値とした。さらに、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、その数値の小さい方から1～8位までの順位を

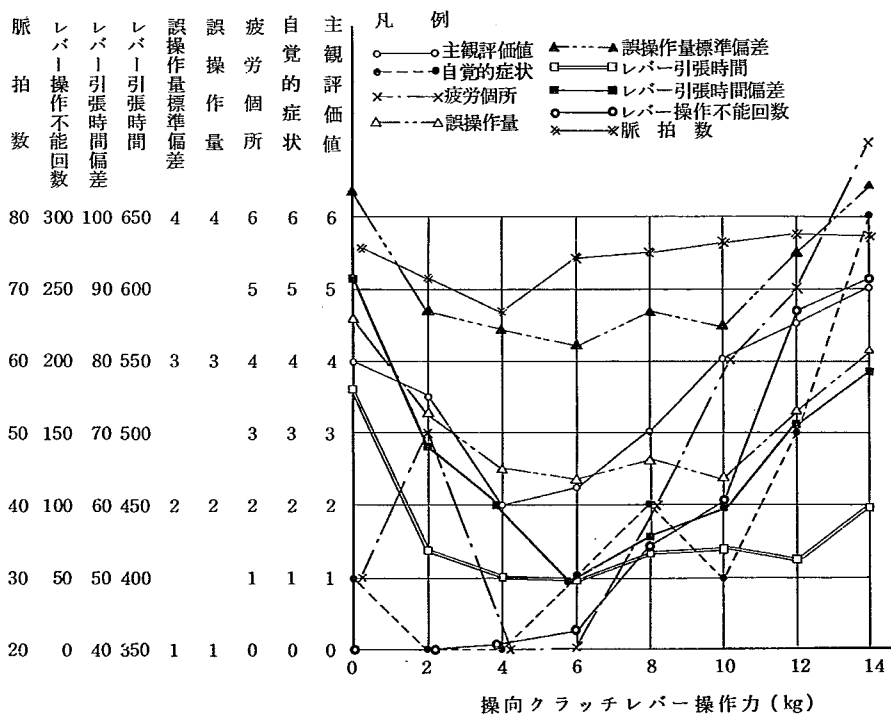


図5-12 操向クラッチレバー操作力と総合諸量

表 5 - 7 操向クラッチレバー操作力総合評価一覧表

操作力 評価事項	0 (kg)		2		4		6		8		10		12		14	
	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	4人平均	順位	4人平均	順位	4人平均	順位
誤 操 作 量	3.29	8	2.64	6	2.24	3	2.17	1	2.33	4	2.21	2	2.62	5	3.07	7
誤操作量標準偏差	4.18	7	3.37	5	3.23	2	3.13	1	3.36	4	3.24	3	3.75	6	4.23	8
レバー引張時間	530	8	418	6	401	2	399	1	417	4	417	4	414	3	448	7
レバー引張時間偏差	91.0	8	68.1	5	60.5	4	49.6	1	55.6	2	59.6	3	71.2	6	78.7	7
レバー操作不能回数	0	1	1	2	2	3	12	4	70	5	103	6	234	7	253	8
主 観 評 価 値	4	5	3.5	4	2	1	2.25	2	3	3	4	5	4.5	7	5	8
自 覚 的 症 状	1	3	0	1	0	1	1	3	2	6	1	3	3	7	6	8
疲 労 個 所	1	3	3	5	0	1	0	1	2	4	4	6	5	7	7	8
脈 拍 数	76.0	5	71.75	2	67.0	1	74.5	3	75.0	4	76.75	6	77.25	7	77.25	8
総 合 評 価 値	48		36		18		17		36		38		55		68	
総 合 順 位	6		3		2		1		3		5		7		8	

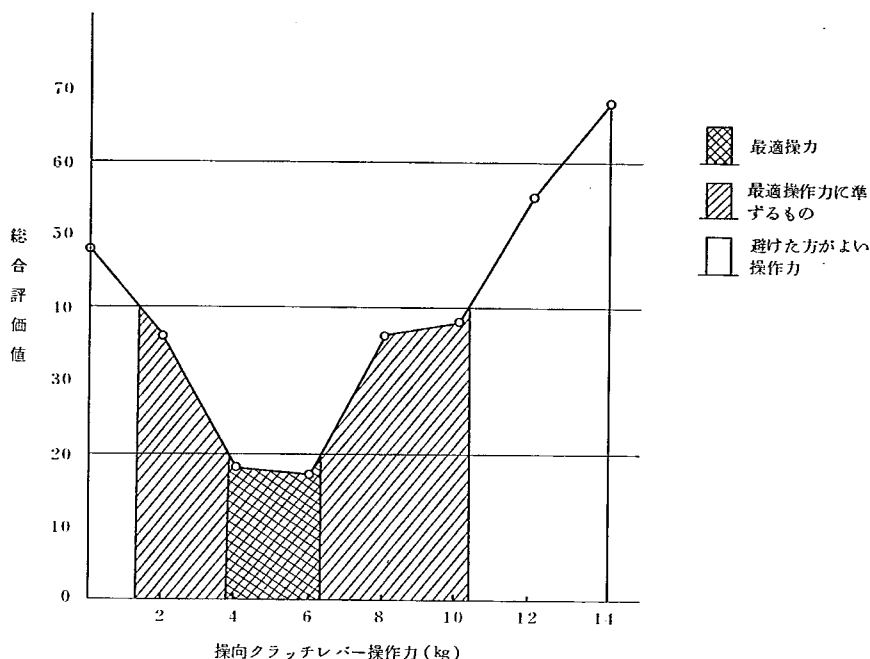


図5-13 操向クラッチレバー操作力と総合評価値

つけ、これを総合順位とした。なお、この方法はフットペダルの最適操作力を究明する場合にも採用した。これらを表および図にしたのが表5-7、図5-12と図5-13である。

総合順位からみると操向クラッチレバー操作力が6kgのとき総合評価値が最も小さく、以下4kg、8kg、10kg、12kgとなっている。総合順位1位と2位の差はほとんどなく、3、4、5位の差はなく、以下6、7、8位となる。よってこれらを大きく分類すると1、2位と3、4、5位および6、7、8位と3つのグループに大きく分けられる。すなわち最初が最適操作力、最適操作力に準ずるグループおよび問題外のグループである。

以上のことがらより操向クラッチレバーの最適操作力は明らかに4～6kgであり、また操作力を設定するに当っては少なくとも2kg以下10kg以上は避けるべきであるということが判明した。

5-8 誤操作量とレバー引張時間との関係

図5-14は各操作力におけるオペレータA、B、C、Dとその4人の平均値の誤操作量とそのときのレバー引張時間との相互関係を捉えるため、それぞれの回帰線と相

凡 例

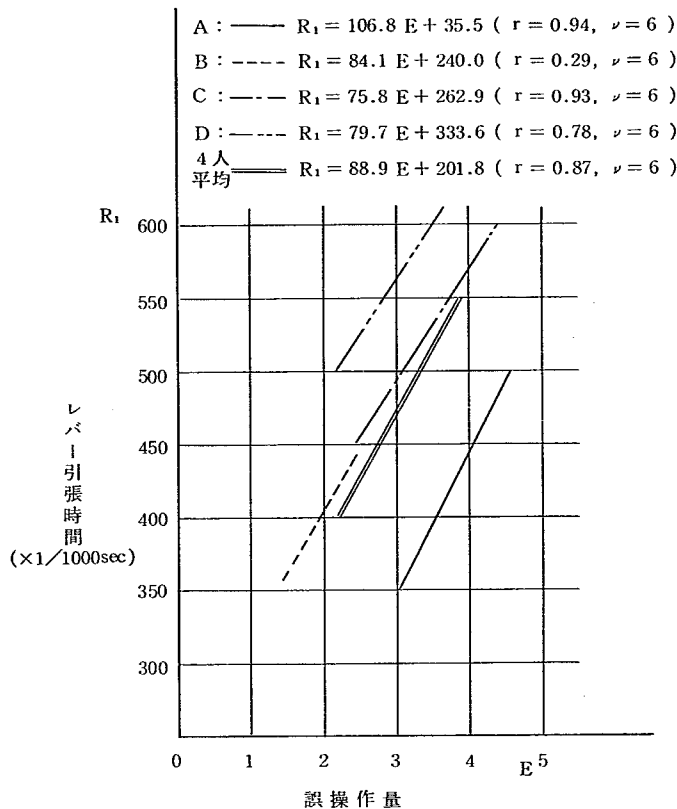


図5-14 誤操作量とレバー引張時間

関係数を求めたものである。

この図からわかるように、4者とも共通的に誤操作量の増加にともなって、レバー引張時間が一次的な増加をしている。それぞれの相関係数は0.29～0.94であり、オペレータBを除いたほかは有意水準に達し相関関係の有することを示している。すなわち、おのおのの回帰直線は

$$R = a + bE \quad \text{..... (1)}$$

R : レバー引張時間、 E : 誤操作量、 a, b : 定数

の型となる。

これらの回帰線はオペレータとこの実験装置による操向クラッチレバー操作力との人間-機械系の動特性を示すものと思われる。すなわち(1)式のaは外部からの情報刺激に即応する知覚反応時間であり、これは個人や装置等や条件によって異なるが、こ

の値が小さければ小さいほど、外部からの情報刺激に即応できることを示す。また b は誤操作量とレバー引張時間との変化率を示すものであり、この値が小さいということは誤操作量の増加する割合に比べて引張時間の増加が少ないことを示す。

結果より判断すると、各人とも多少なりと差異はあるが、(1)式において b はだいたい同一な値を示し、 a はオペレータ B、C では同一であるが他は異なっている。このようなことは誤操作量標準偏差とレバー引張時間標準偏差との関係でも同様な傾向を示している（図 5-15）。したがって、レバー操作において誤操作量とレバー引張時間との変化率はだいたい同じ値を示すということがわかる。

誤操作量とレバー引張時間との関係が図 5-14 のようになったことが何を意味しているか検討してみると下述のようなことがいえる。たとえば自動車を長時間運転したり、

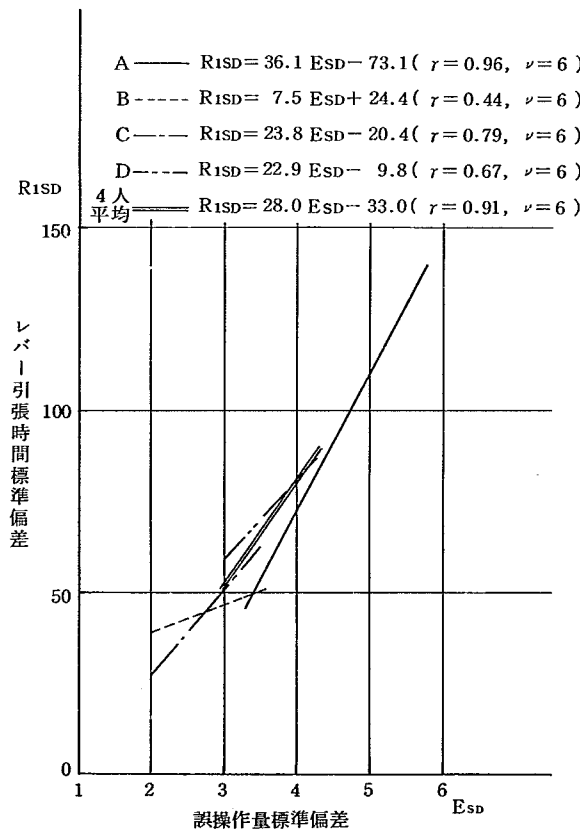


図 5-15 誤操作量標準偏差とレバー引張時間標準偏差

夜間運転したりすると当然運転者は肉体的かつ精神的に疲労する。また運転者が飲酒によって酩酊すると著しく反応感覚（レスポンス）が低下し、ブレーキ、アクセルやステアリング等の操作が遅鈍したり、踏みちがい（操作ミス）すると一般に言われている。したがって、引張時間が増加すれば当然誤操作量が増加するといえる。逆にこれは練習等でレバー引張時間が小さく（学習効果）なれば当然誤操作量も少なくなるということがこの図より明かである。さらにこれは前回のフットペダル操作力の実験においても同様な結果¹⁾であった。

5-9 現状の土工機械における操向クラッチレバー操作力の調査結果と今後の問題点

建設機械において操向クラッチレバー方式によるステアリング機構をもつ機種は主としてクローラ式トラクタ（またはブルドーザ）とクローラ式トラクタショベルである。これらの機種の現状における操向クラッチレバー操作力の実態を把握し、当研究室で求めた最適操作力と比較検討するため、日本建設機械化協会、建設機械化研究所の性能試験報告書³⁾よりブルドーザとクローラ式トラクタショベルの2機種 29 台について調査しとりまとめた。

この結果が、図5-16であり、また主要メーカー2社について会社別にグラフ化したものが図5-17である。

調査した台数が少ないので、多少問題はあるが、図5-16の結果をみると当実験によって判明した操作力が少し軽いと思われる4kgから、非常に重いと思われる16

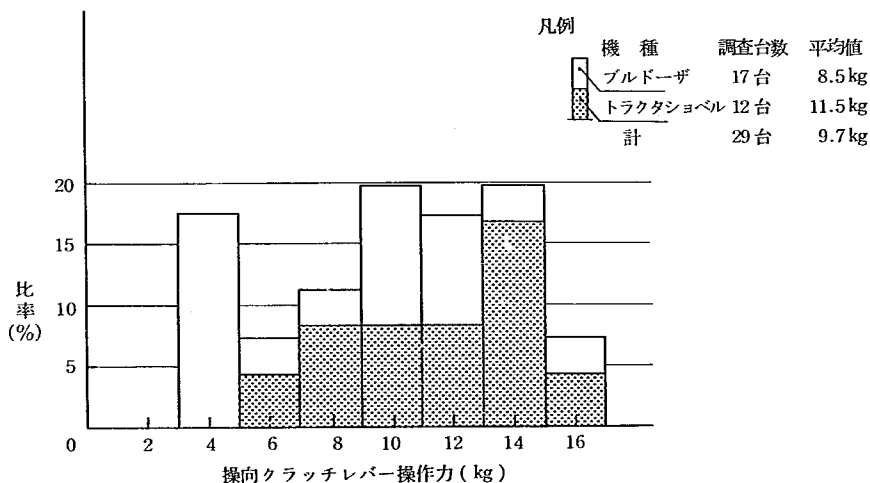


図5-16 現状における土工機械の操向クラッチレバーの操作力

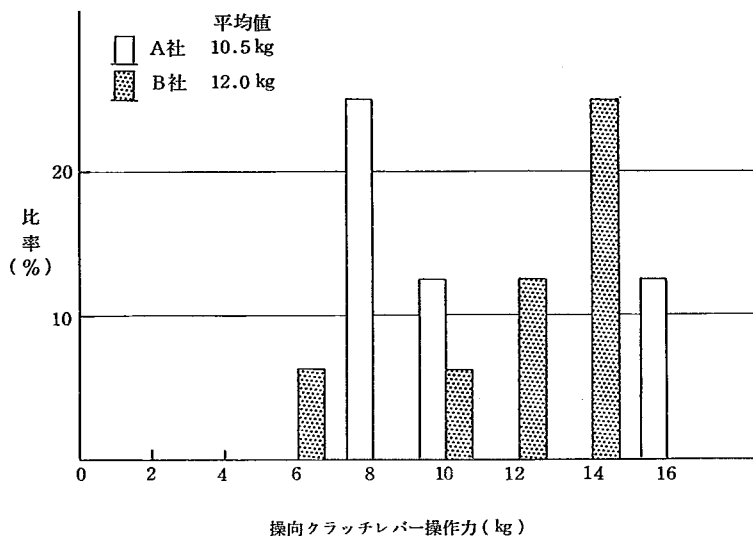


図5-17 操向クラッチレバー操作力(会社別)

kgまで大きなバラツキがあるのがわかる。また、これらを機種別に算術的平均値をとると、ブルドーザが8.5kg、トラクタショベルが11.5kgとなっていて3kg程度トラクタショベルの方が大きな値を示している。これを当研究室で究明した最適操作力と比較すると、ブルドーザで2.5kg、トラクタショベルでは5.5kg程度大きな負荷となっている。この原因として考えられることは、従来の操作方式であるリンクロッド方式と最近とみに増加している油圧ブースタ方式の差がこの結果に如実に表われているものと思われる。

さらに、これをメーカー別に表わしたのが図5-17図であるが、同一メーカー、同一機種において操作力が異なるものがあり、統一されていないように思われる。これらの結果は昭和45年度に調査したフットペダルの操作力¹⁾においても同様な傾向であった。

以上のことより結論づけると現状の建設機械の操向クラッチレバー操作力は当研究室で求めた最適操作力より大きな負荷となっているので早急に軽減化する必要があると思われる。

今後の問題として、同様な方法で操向クラッチレバーとのストロークを調査したところ図5-18のような非常にバラついた結果が表われた。またフットペダルのストロークについても同様な傾向が見られた。(図5-19)さらに土工機械におけるオペレー

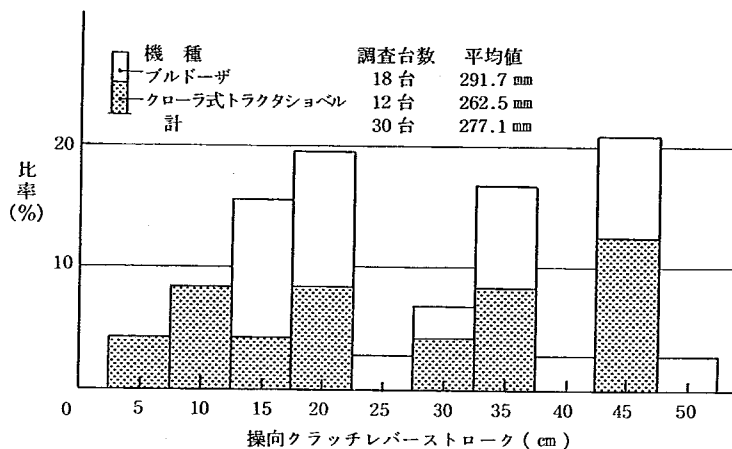


図 5-18 現状における土工機械の操向クラッチレバーストロークの実態

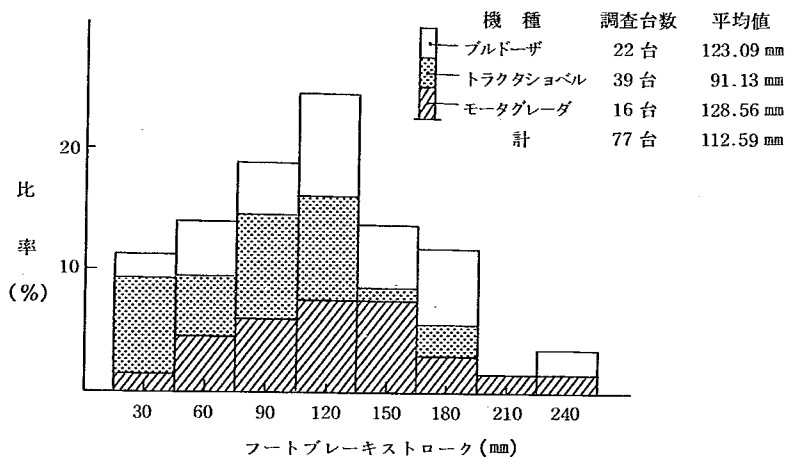


図 5-19 現状における土工機械のフットブレーキストロークの実態

タ席での騒音の実態を把握するため、建設機械化研究所の性能試験報告書³⁾によって、ブルドーザ 29 台、クローラ式トラクタショベル 15 台、ホイール式トラクタショベル 30 台とモータグレーダ 17 台計 91 台の作業中の騒音と定格出力との関係を調査した。この結果が図 5-20 である。この図より明らかなように、労働安全衛生規則で保護具（耳セン等）の使用を勧告している 100 dB(A) をブルドーザとクローラ式トラクタショベルでは約 150 PS 以上、ホイール式トラクタショベルでは 90 PS 以上になると越えている。図 5-20 の左側にアメリカの連邦安全法による騒音の許容時間を記入した。これからみても全ての土工機械は許容時間が 8 時間以内となっている。これからみて

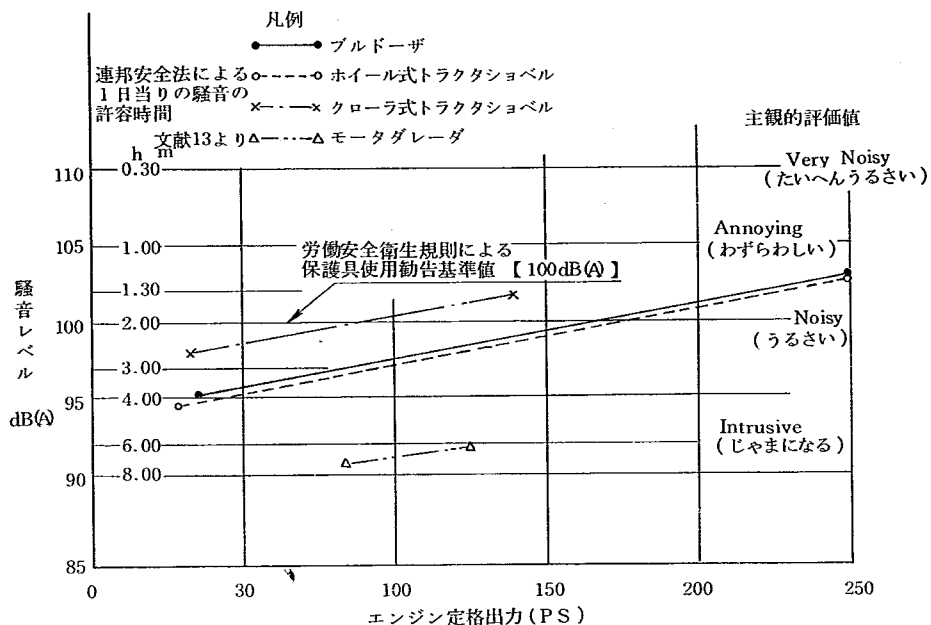


図5-20 土工機械の作業中におけるオペレータ席での騒音と定格出力との関係

も現状の土工機械から発する騒音は相当に強烈であるといえる。したがってこの騒音がオペレータに生体的かつ作業能率等にかなりの影響を与えているものと思われる。

昭和47年度以降においてはこれらについても実験を行ないフットペダルや操向クラッチレバーの最適なストロークおよびオペレータにおける騒音の許容値を究明する予定である。

6. 結 論

ブルドーザ操作追従装置を使用し、各条件下において操向クラッチレバー操作力の実験を行なった結果、前年度に行なったフットペダル操作力と同様な傾向があった。この実験で究明された事項を箇条書きにすると次のようになる。

- 1) 操向クラッチレバーの最適操作力は4～6kg程度である(図5-13)。
- 2) 操向クラッチレバーの操作力が12kg以上や2kg以下になると急激に誤操作量、レバー引張時間や疲労度等が増加するので、このような操作力の操向クラッチレバーは避けるべきである(図5-12)。
- 3) 誤操作量、レバー引張時間や疲労度等の間には正の相関関係がある(図5-14)。
- 4) 現状の操向クラッチレバー操作力は下限3kgから上限17kgまで巾広く分布している。またこれらの平均値と当実験によって究明された最適操作力と比較すると2～4kg程度大きな値となっているので、早急に軽減化の必要がある(図5-16、図5-17)。
- 5) 現状の操向クラッチレバーやフットペダルのストロークは浅いのから深いのも大きく分布しているので改善の必要がある(図5-18、図5-19)。
- 6) 土工機械から発する騒音は著しく大きく、オペレータに与える影響が大きいため減音の必要がある(図5-20)。

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、昭和45年度におけるフットペダルの操作力の実験に引き続き、ブルドーザ操作追従装置によって操向クラッチレバーの実験を行ない、最適操作力を究明することができた。今後はこれらの成果をいかに実用機械に適用していくかが問題となる。

操作性、居住性についてはこれらの操作力のほか、ワークスペース、ペダルやレバーの最適ストローク、さらに騒音・振動など数多くの問題が残されている。昭和47年度以降において5-9で問題を提起したフットペダルおよび操向クラッチレバーの最適ストローク、さらに騒音・振動がオペレータに与える生体的かつ作業能率への影響等を実験により究明し、逐時、建設機械の操作性、居住性の問題を解決して行く予定である。

なお、この報告書作成に当って御指導をいただいた土木研究所機械研究室田中室長、実験に際してオペレータとして協力していただいた同研究室内の小山技官および吉田技官に対して深謝する次第である。

8. 参 考 文 献

- 1) 杉山、中野、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)
- 2) 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
- 3) 日本建設機械化協会、建設機械化研究所「性能試験報告書」
- 4) 大島正光「疲労の研究」 同文書院 昭和39年
- 5) W.ウドソン原著、青木和彦、野本 明訳「人間工学」 コロナ社 昭和34年
- 6) 1971 SAE HANDBOOK Society of Automotive Engineers, Inc.
- 7) 桐原他「疲労判定のための機能検査法」 同文書院
- 8) 労働科学研究所「作業環境等とトラクター運転員作業調査とその解析に関する報告書」 昭和43年3月
- 9) 吉田正昭「応用実験心理学」 筑摩書房
- 10) 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
- 11) 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ー」
- 12) 鉄道労働科学研究所、労働生理研究室「労働生理研究室の一時間」
- 13) Joseph Staloff M.D. "How Much Is Noise Too Much" Jefferson Medical College, Philadelphia, Pennsylvania.

9. 付 録 (写真)

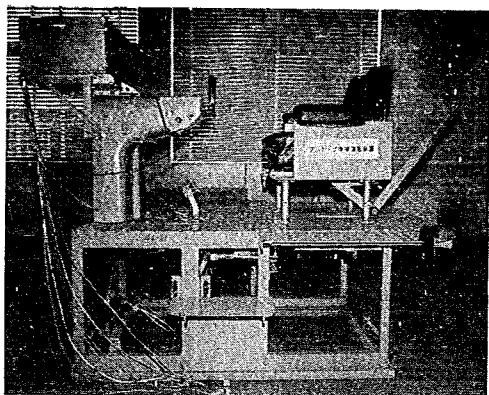


写真-1 ブルドーザ実物大運転台模型

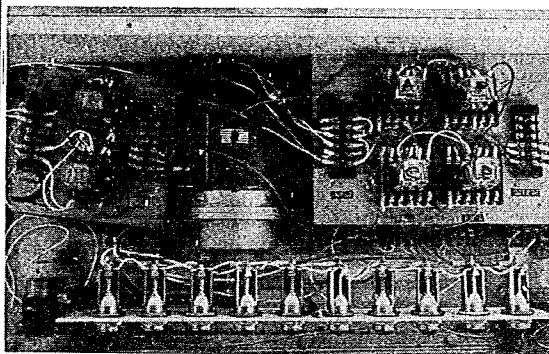


写真-2 追縦装置内部

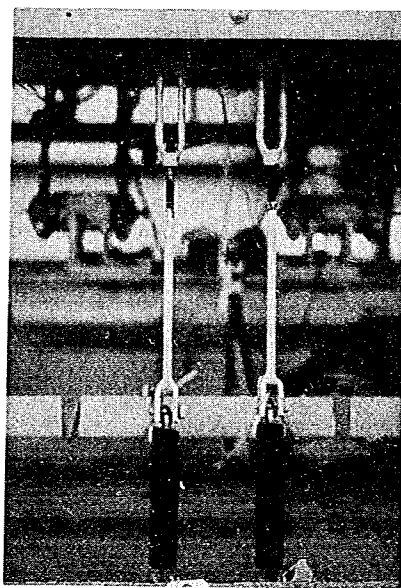


写真-3 スプリングおよびアジャスタ

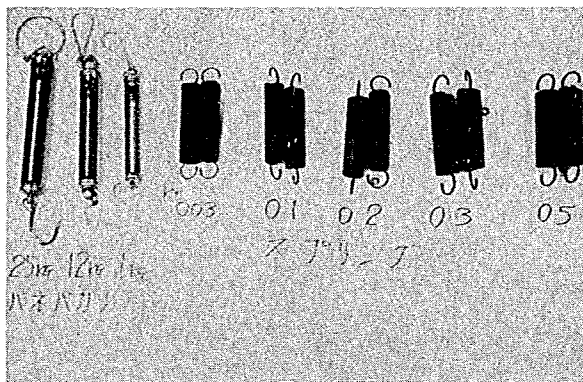


写真-4
使用したスプリングと較正用のハネバカリ

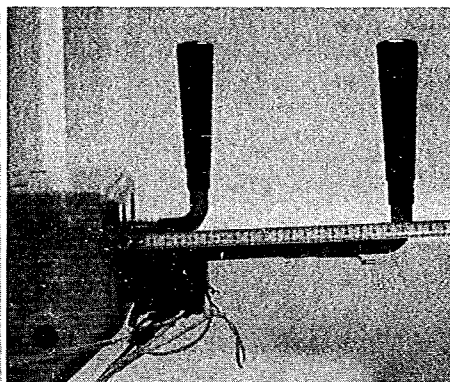


写真-5
操向クラッチレバーストローク

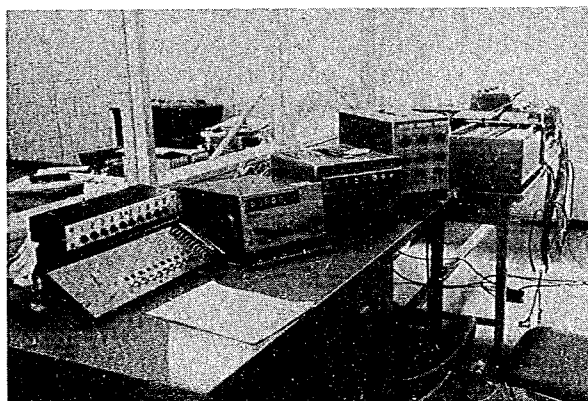


写真-6 計測装置

ブルドーザの操作性に関する研究 (第2報)

一 操向クラッチレバーの最適操作力一

土研資料第736号
昭47.3 (1972)

キーワード 最適操作力, ブルドーザ
操向クラッチレバー, 誤操作量

杉山 篤
中野 新市

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操向クラッチレバー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. 操向クラッチレバーの最適操作力は約6kgである。
2. 操向クラッチレバー操作力は10kg以上, 2kg以下はさけた方がよい。
3. 現状の建設機械の操向クラッチレバーはこの最適操作力より4kg程度大きい。
4. 誤操作量とレバー引張時間の間には正の相関関係がある。

郵便はがき

十円切手
は
い
っ
て
下
さ

2 8 0 - □ □

建設省土木研究所
機械研究室

御中

千葉市穴川四丁目十二番五二号

No. C64

No. C64

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第736号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印