

532/YA

# 工作機械の手動制御特性の感性による評価

課題番号08455112

平成8年度～9年度科学研究費補助金（基盤研究(B)(2)）研究成果報告書

横浜国立大学附属図書館



10500066

平成10年3月

研究代表者 八高 隆雄

（横浜国立大学工学部教授）

人間の嗜好に合った製品の開発のための基礎資料を得る目的で、特に現在技術の海外移転が著しい、工作機械の作業に焦点をあて、人間をセンサーとして用いた、一連の研究を実施した。工作機械のハンドルの把握し易さおよびフライス盤の操作性および手動位置決め特性と感性との関係を調べ、把握し易やすさの最適値が存在することや負荷速度が早くなるに従って、発揮力が増加し、それを保持できる円筒径は細くなり、それが人間の手の骨格とも関係していることが明らかになり、次々に新しい研究テーマが生み出される分野である。これまで重要でありながら、工学、心理学、生理学等の境界にあり、なかなか手が付けにくい分野であったが、これを機に関連する分野の研究が急速に伸びる予感がする。

#### 研究組織

- 研究代表者 : 八高 隆雄 (横浜国立大学工学部教授)  
 研究分担者 : 高田 一 (横浜国立大学大学院工学研究科教授)  
 研究分担者 : 森本 茂 (横浜国立大学教育人間科学部教授)  
 研究分担者 : 福田 幸男 (横浜国立大学教育人間科学部教授)  
 研究分担者 : 但馬 文昭 (横浜国立大学教育人間科学部助教授)

#### 研究経費

平成8年度	5, 500千円
平成9年度	1, 100千円
計	6, 600千円

#### 研究発表

##### (1) 学会誌

1. 八高隆雄・山本圭治郎・小山昌洋・兵頭和人：円筒物体把握における握りやすさの感性評価，日本機械学会論文集，60-602，C(1996)，3999-4004.
2. Takao YAKOU・Keijiro YAMAMOTO・Masahiro KOYAMA・Kazuhito HYODO：Sensory Evaluation of Grip Using Cylindrical Objects, JSME International Journal Series C, Vol140, No. 4, 1997, 730-735.

3. 加茂美冬・森本茂・八高隆雄・山本圭治郎：短時間負荷条件下の円筒物体把握における最大保持径について，日本機械学会「発表予定」
4. 八高隆雄・山本圭治郎・小山昌洋：フライス盤による位置決め時のハンドル操作と手の感性評価，日本機械学会「発表予定」
5. 八高隆雄・山本圭治郎・堀 健一：フライス盤用ハンドルの大きさと使いやすさに対する感性評価，日本機械学会「発表予定」
6. 八高隆雄・山本圭治郎・堀 健一：上げ手握り時の握りやすさの重さ依存性と手のひらのアーチとの関連，日本機械学会「発表予定」

## (2) 口頭発表

1. 八高隆雄・山本圭治郎・小山昌洋：横フライス盤操作時のハンドルに加わる物理量と手の感性評価，日本機械学会D & D conference, 平成9年7月23日
2. 加茂美冬・森本茂・八高隆雄・山本圭治郎：物体把握時の物理的評価と感性評価，日本機械学会D & D conference, 平成9年7月23日
3. 八高隆雄・堀 健一・山本圭治郎：フライス盤用ハンドルの大きさと使いやすさに対する感性評価，日本機械学会バイオエンジニアリング学術講演会，平成10年6月「発表予定」
4. 山本圭治郎・八高隆雄・堀 健一・伊藤尚功：上げて握り時の握りやすさに対する類感性的評価と手のひらのアーチとの関連，日本機械学会D & D conference, 平成10年8月「発表予定」

## 円筒物体把握における握りやすさの感性評価\*

八 高 隆 雄\*<sup>1</sup>, 山 本 圭 治 郎\*<sup>2</sup>  
小 山 昌 洋\*<sup>3</sup>, 兵 頭 和 人\*<sup>4</sup>

## Sensory Evaluation of Grip Using Cylindrical Objects

Takao YAKOU, Keijiro YAMAMOTO,  
Masahiro KOYAMA, and Kazuhito HYODO

In order to clarify the grasping mechanism of tools and machine handles, sensory tests to evaluate the optimum grasping diameter have been performed on forty-three people from age seven to fifty-three. It was confirmed that the sensory evaluation of the optimum grasping diameter was difficult for children under age ten due to insufficient growth of skeletal structure. The optimum grasping diameter was evaluated for persons above age ten. The optimum grasping diameter depended on the hand size, and the dependency was marked for children under eleven. In the case of adults, the optimum grasping diameter depended on the dimensions concerned with the length of the hand but only depended slightly on the hand breadth or fist. The optimum grasping diameters evaluated for males were 30~40 mm, which were about 10% larger than those evaluated for females. As a result of investigating above data, it was found that the tube could be grasped well by a human hand if all fingertips and the entire palm area contact it.

**Key Words:** Sensory Evaluation, Human Engineering, Optimum Grasping Diameter, Children and Adults

## 1. 緒 言

工具や日常使用する機器の多くは手によって操作され、その操作部にはハンドルや道具の柄のように握るものがかなり多い。著者らは、手による物体の把握機構を調べる一連の研究<sup>(1)~(3)</sup>として、特に前報<sup>(1)</sup>においては、工学的な計測の立場からこの問題を取上げ、成人が手で円筒物体を把握する場合、物体と手との間には、最も力を伝達しやすい円筒径が存在することを見出している<sup>(1)</sup>。ところが、我々が日常用いる物体の使いやすさや握りやすさは、人間の好みの問題として、心理学的な要因によって処理される場合が多い<sup>(4)</sup>。このような人間の好み問題は官能検査法<sup>(4)(5)</sup>によって調べられている。

そこで本研究では、官能検査法を利用して得られる最も握りやすい円筒径について、さまざまな大きさの手を有する、さまざまな年齢層の男女を被験者として、

円筒物体に対する「握りやすさ」を感性計測の立場から調べ、手の大きさを表す因子との関係を調べることを目的とした。

## 2. 実 験 方 法

実験では、7歳の小学生から53歳の成人まで男女計43人を被験者とした。これらの被験者に対して、図1に示す手の各部の寸法、手で保持できる最大力 $F_{max}$ 、手と円筒間の接触面積 $A$ および官能検査による円筒の握りやすさの評価値を求めた。

手の大きさを表す因子としては、「設計のための人体計測マニュアル」<sup>(6)</sup>を参考にして、手の長さに関する因子(第3指手長： $L$ 、第3指長： $l_1$ 、手掌長： $l_2$ )、手の幅に関する因子(手幅： $B$ 、拳の大きさ： $b$ )および本実験で握りを支配する可能性がある判断された因子(手を「コ」の字形にしたときの大きさ： $C$ )を取

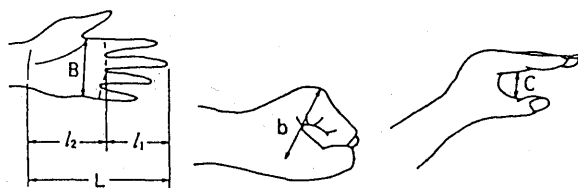


Fig. 1 Considered hand dimensions

\* 原稿受付 1996年2月5日。

\*<sup>1</sup> 正員, 横浜国立大学教育学部 (〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台156)。\*<sup>2</sup> 正員, 神奈川工科大学工学部 (〒243-02 厚木市下荻野1030)。\*<sup>3</sup> 学生員, 横浜国立大学大学院。\*<sup>4</sup> 神奈川工科大学工学部。

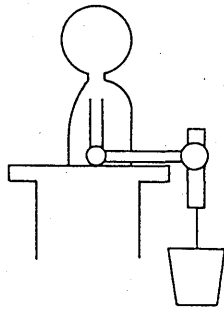


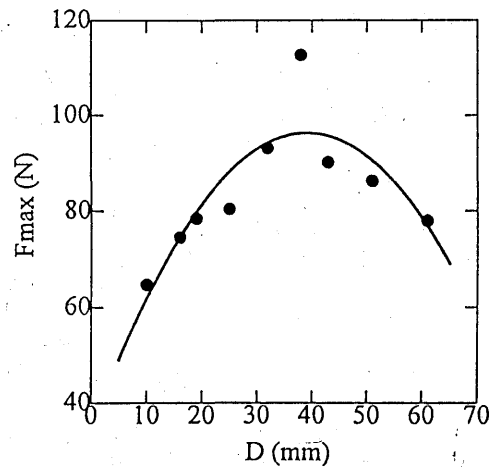
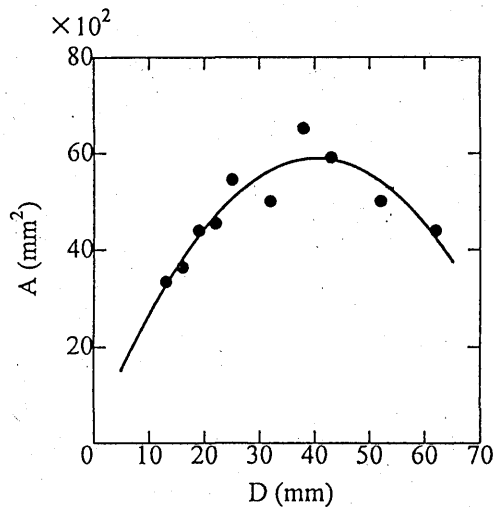
Fig. 2 Experimental condition

上げた。また、手で保持できる最大力  $F_{\max}$  は、前報<sup>(1)</sup>と同様、図2に示す状態で、ある太さの円筒を握り、この円筒下にバケツを下げ、このバケツ内に水を注ぎ、重さを増加させ、手が耐えられなくなり円筒がずり落ちる重さから求めた。さらに、手と円筒間の接触面積  $A$  は、円筒に墨を薄く塗布した後その円筒を握り、そのときに手についた墨のパターンをすばやく半紙上に転写し、その面積を求めた。なおこの方法は前報<sup>(1)</sup>で用いた写真を利用する方法とほぼ同程度の精度であった。

一方、握りやすさの計測は、心理学のSD法<sup>(7)</sup>を利用して、以下のような数値化を行った。すなわち、非常に握りやすい：+3、握りやすい：+2、やや握りやすい：+1、どちらともいえない：0、やや握り難い：-1、握り難い：-2、非常に握り難い：-3とした。握りやすさの測定に当たっては、使用する円筒を一通り握らせてその握りやすさの予備的評価をした後、握る順番による評価への影響を考慮して、太い径から握り始めた場合と、細い径から握り始めた場合の計2回の実験を行った。なお、円筒にはおもに真空ゴム管を用い、保持できる最大力および接触面積の測定には、強い力で把握する場合に真空ゴム管が変形するため、金属(鋼)製のパイプと真空ゴム管の両者を併用した。しかし、少なくとも極端に強く把握しない限り円筒の材質による結果の差は認められなかった。用いた真空ゴム管は直径  $D=13, 16, 19, 22, 25, 32, 38, 43, 52$  mm、および62 mmの10本であり、金属パイプは直径  $D=10, 16, 19, 25, 32, 38, 43, 51$  mm、および61 mmの9本であった。

### 3. 結果および考察

**3.1 最大力伝達径と感覚的最適握り径** 人間が円筒物体を把握する場合の手と円筒物体との間には、最も力をよく伝達する径が存在する<sup>(1)</sup>。これに対して、我々が日常物体を手で握る場合には、感覚的に、握り

Fig. 3 Effect of grasping diameter  $D$  on maximum holding force  $F_{\max}$ Fig. 4 Relation between contact area of hand  $A$  and grasping diameter  $D$ 

やすいと感ずる円筒径が存在する。本研究では、感覚と握りやすさを取扱うが、その前に最大力伝達径と感覚的最適握り径の関係を明らかにしておく。

図3は、前報同様の手法<sup>(1)</sup>によって、24歳の成人男性が、図2の状態ですり下げたバケツに水を流しながら、バケツの重さを増加させ、手が円筒を保持しきれなくなったときの最大保持力  $F_{\max}$  を調べた結果である。このときの被験者の手の大きさは、 $L=182$  mm,  $l_1=79$  mm,  $l_2=103$  mm,  $B=83$  mm,  $b=60$  mm, および  $C=28$  mmであった。その結果、この被験者の場合には、最大力伝達径はばらついているものの35~42 mmの範囲にあることがわかる。一方、最大力伝達径と手-円筒間で接触面積が最大となる円筒径とはほぼ一致することが知られている<sup>(1)</sup>。そこで、手-円筒間の接触面積  $A$  と把握した円筒径  $D$  との関係性を求め、図

4に示す。ここで、手-円筒間の接触面積を求めるに当たっては、より明りょうな接触パターンを得るため、かなり強く把握した状態となった。その結果、図4のAは図3の $F_{max}$ とはよく対応しており、図4でAが最大となるときの円筒径は36 mmから44 mmであった。

次に官能検査によって、立てた状態の円筒の握りやすさをSD法により7段階に評価した結果を図5に示す。太い径から細い径に向かって次々と実験を行った場合を実線で、細い径から太い径へ向かって実験を行った場合を点線で示した。両者でわずかに差があるものの、握りやすい(+2)と評価した範囲は25~38 mm(最も握りやすい径の値はほぼ32 mm)である。これらの円筒径の値は図3や4の結果から得られる値に比べてわずかに小さい。

ここで図3では円筒には大きな力が加わり、手はそれを強く握りしめている。一方、官能検査で握りやすさを評価する場合には、手は軽く握る程度で済ませている。このことから、図3と5の、すなわち最大力伝達

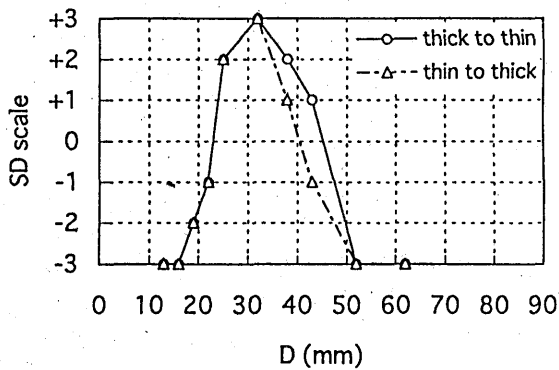


Fig. 5 Relationship between SD scale and grasping diameter  $D$

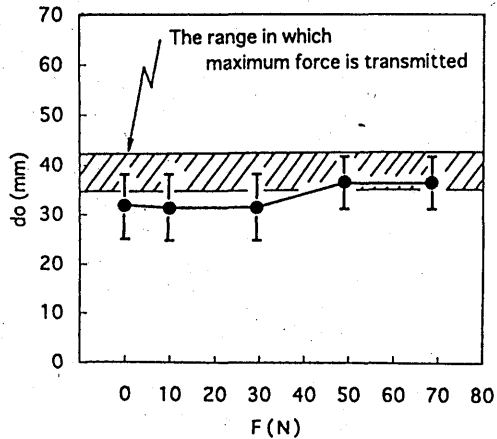


Fig. 6 Effect of holding force  $F$  on optimum grasping diameter  $d_0$

径と最適握り径との違いは、単に手の握る強さの違いのように思える。図5の官能検査では、円筒を立てて、重さ零の状態でも評価した。そこで、円筒の下に種々の重さのおもりをつり下げ、それぞれの重さの円筒径に対して握りやすさを評価した結果を図6に示す。図6中のハッチング部分は最大力伝達径の範囲である。これに対して、各荷重力  $F$  における最適握り径を黒丸で、握りやすいと評価した範囲をエラーバーで示す。これらの結果から、円筒が重くなるに従って、最大力伝達径と最適握り径とはほぼ一致する傾向にあることがわかる。

3.2 握りやすさの感性評価と被験者の年齢 図7に官能検査によって握りやすさを評価した結果とし

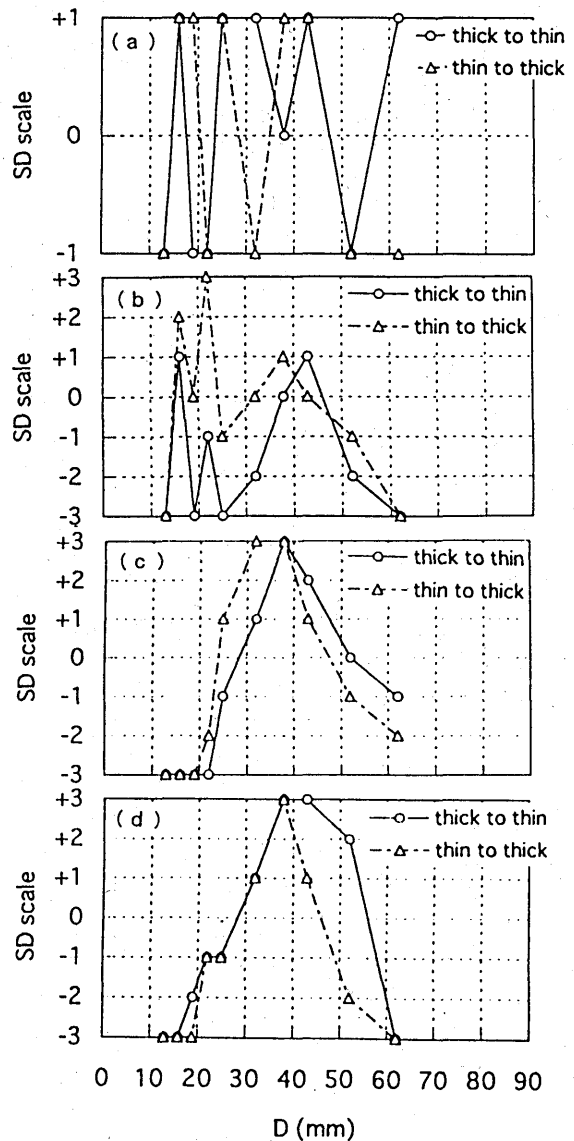


Fig. 7 Evaluations of grip by different ages  
(a) Girl 7 years age, (b) Boy 10 years age,  
(c) Male 22 years age, (d) Male 53 years age

て、(a)7歳の女子、(b)10歳の男子、(c)22歳の成人男性、および(d)に53歳の成人男性の例を示す。ここで、図中の○印は太い径からより細い径の順に、△印は細い径からより太い径の順に評価を行った場合の結果である。

7歳の女子においては、まず7段階の評価尺度では、評価の度合いが理解できず、評価が行えなかった。そこで、評価の尺度を下げ、非常に握りやすい：+2、握りやすい：+1、どちらともいえない：0、握り難い：-1、非常に握り難い：-2の5段階での評価を試みた。しかし、この場合にも評価ができなかった。さらに評価の尺度を下げ、握りやすい：+1、どちらともいえない：0、握り難い：-1の3段階の評価尺度を用いた結果が図7(a)である。3段階の評価尺度では、握りやすさは判断できたものの、評価は一定せず、最適な握り径を決定するには至らなかった。

一方、年齢が高くなり、10歳になると、初めて7段階の評価が行えるようになった。しかし、図7(b)に見られるように、太い径からより細い径の順に評価した場合と細い径からより太い径の順に評価した場合の結果の差が大きく、後の成人の場合に認められるような、左右の対称性も定まらない。この傾向は10歳から11歳までの11人の内の約5人に認められた。この結果より、個人差はあるが、10歳から11歳程度の子供では、感覚あるいは感性が未発達であるため、「握りやすさ」についての評価が十分になされないものと思われる。この結果は次のように考察される。人間の手は、5本の指が手関節(8個の手根骨からなる)とつながっており<sup>(8)(10)</sup>、この中で小指側にある豆状骨は物をつかむときに他の骨の支点になる<sup>(10)</sup>。幼児期から10歳までは、手関節部分が次々と形成され、変化が大きい時期であり<sup>(9)</sup>、この10歳からが7段階の感性評価を行うことができた年齢でもあることから、手関節部分の完成が物体把握時の感性評価に必須であると推測される。

22歳と53歳の成人の結果である図7(c)と(d)においては、上述の子供の結果に比べて、両者とも「非常に握りやすい(+3)」と評価できる円筒径が存在し、評価の線図もほぼ左右対称である。非常に握りやすいと評価した円筒径は、22歳では細い径からより太い径の順に評価した場合32mmと38mm、太い径からより細い径の順に評価した場合38mmであり、53歳では細い径から評価した場合38mm、太い径から評価した場合38mmと43mmであった。すなわち、太い径からより細い径の順に評価した場合には、より太い径を「非常に握りやすい」と評価し、細い径からより太い径の順に評価した場合には、より細い径を「非常に

握りやすい」と評価した。このことは、例えば太い径から評価した場合、前の評価で握っていた円筒に近い径の円筒を握りやすいと評価しており、手の感覚がその前の評価で握っていた径の円筒になれてしまう「履歴効果」が生じたためと考えられる。

なお、9歳以下の子供には7段階の評価が適用できないことがわかったので、以下では、9歳以下の3人を除いた、10歳以上の40人の被験者についての結果を取扱う。

### 3.3 最適握り径と手の大きさを表す因子との関係

まず、図7(b)に見られるように、10歳の子供の場合には、+2や+3と評価できない場合があった。さらに、実験を太い径からより細い径の順に行うか、あるいは細い径からより太い径の順に行うかによって結果に差があった。そこで、子供達のデータも生かして、結果を論ずるため、最も握りやすい円筒径を以下のように定義する。図8の模式図で示すように、やや握りやすいと評価している+1において、細い径からより太い径の順に評価した場合の+1の円筒径 $d_1$ と $d_3$ 、太い径からより細い径の順に評価した場合の+1の円筒径 $d_2$ と $d_4$ を求める。次に、 $d_1$ と $d_3$ の中間の円筒径

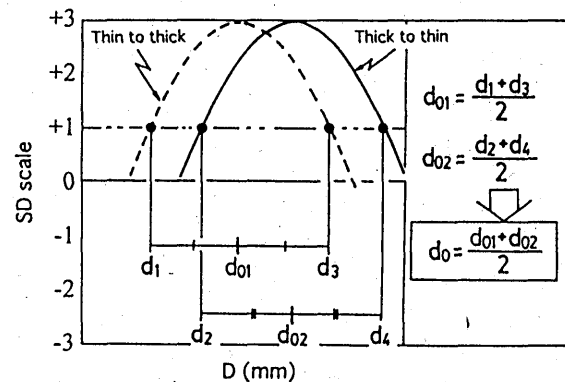


Fig. 8 Determining method of optimum grasping diameter

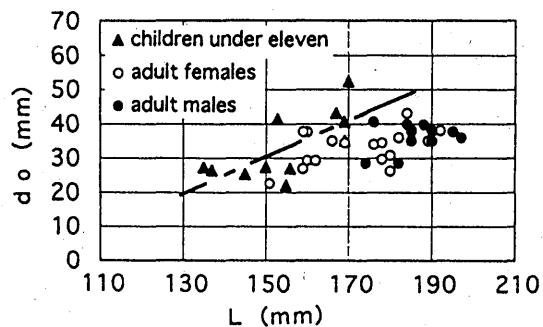


Fig. 9 Effect of dimension  $L$  on optimum grasping diameter  $d_0$

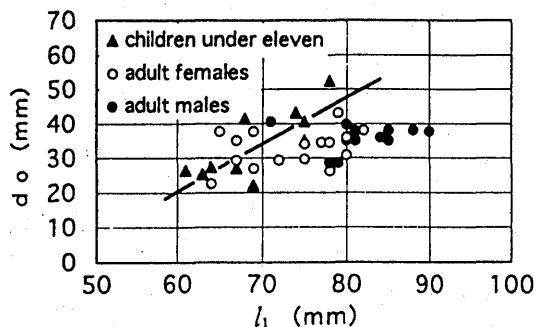


Fig. 10 Effect of dimension  $l_1$  on optimum grasping diameter  $d_0$

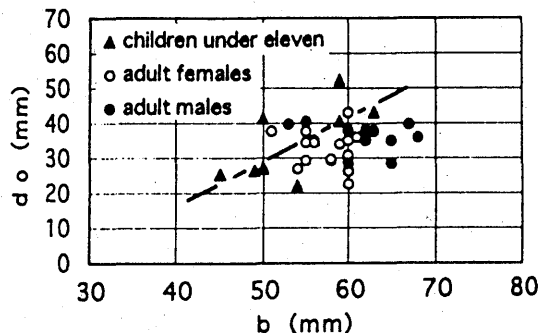


Fig. 13 Effect of dimension  $b$  on optimum grasping diameter  $d_0$

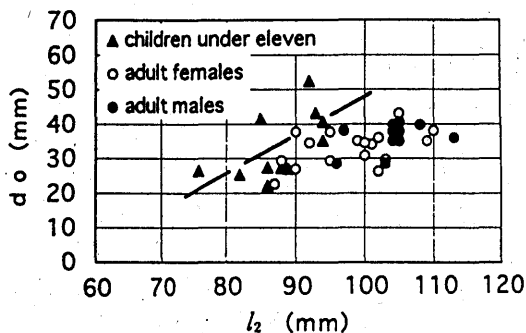


Fig. 11 Effect of dimension  $l_2$  on optimum grasping diameter  $d_0$

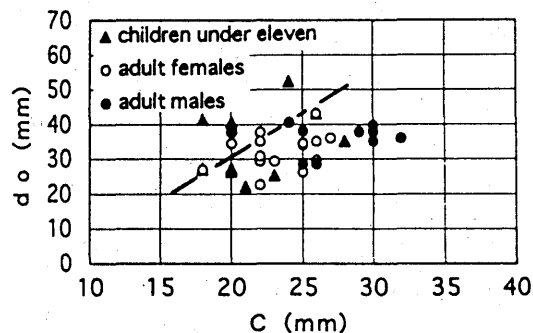


Fig. 14 Effect of dimension  $C$  on optimum grasping diameter  $d_0$

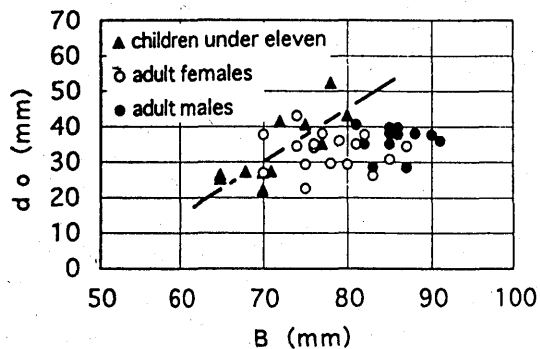


Fig. 12 Effect of dimension  $B$  on optimum grasping diameter  $d_0$

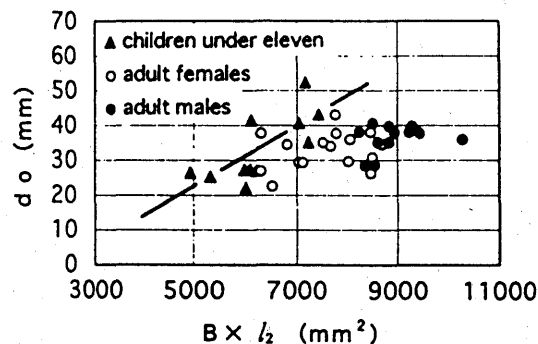


Fig. 15 Effect of palm area  $B \times l_2$  on optimum grasping diameter  $d_0$

$d_{01}$  と、 $d_2$  と  $d_4$  の中間の円筒径  $d_{02}$  を求め、これら 2 点の平均値を最適握り径  $d_0 = (d_{01} + d_{02}) / 2$  として求めた。このことによって、履歴効果を除いた形で、かつ +3 と評価できない子供の場合も含めて、最適握り径を求めることができる。

40 人の被験者に対して、上述の手法によって求めた最適握り径  $d_0$  と、図 1 で示した手の寸法因子 ( $L, l_1, l_2, B, b, C$ ) および掌の面積 ( $B \times l_2$ ) との関係をそれぞれ図 9~15 に示す。ここで、図中の直線は 11 歳以下の子供のデータから最小二乗法で直線回帰したものである。これらの結果から、以下のことが明らかである。

最適握り径  $d_0$  は、手の大きさを示す因子に比例して大きくなり、その依存性は成人より 11 歳以下の子供の場合のほうが大きい。さらに、成人の場合は、手の長さに関する因子 (第 3 指手長:  $L$ , 第 3 指長:  $l_1$ , 手掌長:  $l_2$ ) および因子  $l_2$  を含んだ  $B \times l_2$  が大きいほど最適握り径  $d_0$  は大きい。手幅  $B$  や拳の大きさ  $b$  にはほとんど依存しない。

子供および成人の結果を総合して判断すると、最適握り径  $d_0$  は、手の長さに関する因子の値の増加に伴い増加するが、 $d_0 = 40$  mm くらいから飽和する傾向を示した。さらに、成人における  $d_0$  は 30~40 mm であ



り、前報<sup>(1)</sup>の力学的に求めた結果もこの範囲にあることが確認できる。また女性は男性に比べて、 $d_0$ の値がかなりばらついているが、平均的に見ると $d_0$ の女性平均は男性平均よりも3 mm程度小さい。これは女性の手が男性よりも小さいことに起因しているもので、人間が握って使う道具において女性用が男性用の物より径が小さくできていることは納得できる。

一方、 $d_0$ は、 $L$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $B \times l_2$ などの手や指の長さに関する因子、および因子Cに対して、成人の場合にも、ほぼ直線的に増加している。手および指の長さを示す因子と $d_0$ とが比例関係にあることから、円筒物体の握りやすさには、把握時の指の巻込み具合が影響しているものと思われる。触覚の二点識別能力は指先が舌の先端について2番めに鋭敏である<sup>(9)</sup>ことから、把握時により多くの指先が効果的に物体と接触している円筒径を、最適握り径と判断している可能性がある。一方、手が物体を把握する場合には、握ろうとして手を緩やかに広げた場合に形成される掌の溝(アーチ)<sup>(10)</sup>が手の握りを支配していることが指摘されている<sup>(10)</sup>。把握時に、物体は掌に形成された溝の中に入り、最も掌との接触面積が大きい場合に、掌に掛かる負担が小さくなる可能性が考えられる。把握時に形成されるこの溝の大きさは、親指と人差し指で「コ」の字を作ったときの間隔、因子C(20~30 mmの範囲の値をとる)に反映されているものと思われる<sup>(8)</sup>。物体を把握したときに触れた部分の皮膚は変形する。今、指の第1関節部の太さを20 mmとして、これが把握時に5 mm程度凹むものと仮定すれば、把握する物体に対して親指と人差し指で合計約10 mm変形し、因子Cにこの値を加えた、30~40 mmが把握状態での因子Cの間隔となる。この値は成人の場合の最適握り径に一致する。したがって円筒物体の握りやすさは、手および指の長さ、手を緩やかに広げた場合に形成される掌の溝(アーチ)に依存しており、より多くの指先とより広い掌の面とが物体と接触するときに最も握りやすいと判断するものと思われる。

#### 4. 結 言

7歳から53歳までの43人の男女の被験者に対して、官能検査により円筒の握りやすさを評価させ、握りやすさと手の大きさの関係を調べ、以下の結論を得

た。

(1) 最大力伝達径は最適握り径よりもわずかに大きいのが、評価する円筒の重さが増すに従って両者は一致する。

(2) 官能検査では、9歳以下の子供の場合は握りやすさを正しく評価できなかったが、10歳から11歳を境に、それ以上の成人ではすべての場合に正しく評価できた。

(3) 最適握り径は、手の大きさを示す因子が大きいほど大きく、その依存性は成人より11歳以下の子供の場合のほうが大きい。さらに、成人の場合は、手の長さに関する因子が大きいほど最適握り径は大きいのが、手の幅や拳の大きさにはほとんど依存しない。

(4) 成人における最適握り径は30~40 mmであり、女性は男性に比べて手の大きさが小さいことと関連して、平均3 mm程度小さいことがわかった。

(5) 以上の結果から、より多くの指先と掌のより広い面が物体と接触する時に最も握りやすいと判断することが考察された。

最後に、本研究に協力された横浜国立大学大学院生小林重昭君に謝意を表す。また本研究は科学研究費補助金[基盤研究(B); 課題番号08455112]の一部によって行われた。記して謝意を表す。

#### 文 献

- (1) 八高隆雄・荒川進・高田一、手-円筒物体間の力の伝達、機論, 60-573, C(1994), 1721-1726.
- (2) 八高隆雄・山本圭治郎・兵頭和人、手のにぎり力を支配する因子、機講論, No. 940-26(1)(1994-7), 409-410.
- (3) 八高隆雄・山本圭治郎・兵頭和人、握り易さの感性評価、機講論, No. 940-59(1994-11), 93-97.
- (4) 市川伸一、心理測定法への招待, (1991), 149-188, サイエンス社.
- (5) 日科技連官能検査委員会編、工業における官能検査ハンドブック, (1962), 6-13, JUSE 出版社.
- (6) 生命工学工業技術研究所編、設計のための人体計測マニュアル, (1994), 77-81, 日本出版サービス.
- (7) 岩下豊彦、SD法によるイメージの測定, (1983), 43-130, 川島書店.
- (8) NHK取材班、驚異の小宇宙・人体 なめらかな連携プレー[骨・筋肉], (1989), 16-49, 日本放送出版協会.
- (9) A. Lee Dellon, M. D., 知覚のリハビリテーション, (1994), 91-109, 協同医書出版社.
- (10) Kapandji, I. A. (荻島秀男・嶋田智明訳)、カバンディ関節の生理学 I. 上肢, (1986), 166-283, 医歯薬出版株式会社.

# Sensory Evaluation of Grip Using Cylindrical Objects\*

Takao YAKOU\*\*, Keijiro YAMAMOTO\*\*\*,  
Masahiro KOYAMA\*\* and Kazuhito HYODO\*\*\*

For clarifying the mechanism of tool and machine handle grasping, sensory tests to determine the optimum grasping diameter were performed on 43 people aged seven to fifty-three years. It was confirmed that the sensory evaluation for determining the optimum grasping diameter was difficult for children under age ten due to insufficient growth of the skeletal structure. The optimum grasping diameter was thus determined for persons above age ten. The optimum grasping diameter was found to depend on the hand size, strongly on the length of the hand but only weakly on the hand breadth or fist size. The optimum grasping diameters for the males were 30 - 40 mm, about 10% larger than those for the females. It was also found that a cylinder could be grasped well by a human hand if all the finger tips and the entire palm of the hand were in contact with it.

**Key Words:** Sensory Evaluation, Human Engineering, Optimum Grasping Diameter, Children and Adults

## 1. Introduction

Many tools and machines used every day are operated by hand and have structures for grasping such as handles and shafts. Through a series of studies<sup>(1)-(3)</sup> on the mechanism of cylindrical object grasping, in particular from the viewpoint of measurement engineering in the case of grasping with the hand, it has been clarified that an optimum diameter of an object for grasping with the largest force transmission exists<sup>(1)</sup>. However, the optimum grasping diameter (comfortable grasping diameter) has often been determined based on psychological factors such as human preference<sup>(4)</sup>. These factors are examined by sensory testing<sup>(4),(5)</sup>.

In this study, sensory tests to determine the optimum grasping diameter were performed to investigate the relationship between the optimum grasping diameter and various parameters related to hand size.

## 2. Experimental Procedure

The experimental subjects were 43 persons, males and females, aged 7 to 53 years. The hand dimensions shown in Fig. 1, the maximum holding force  $F_{max}$ , contact area  $A$  between the hand and a grasping cylinder, and the optimum grasping diameter (the most comfortable grasping diameter determined by sensory testing) were determined for these subjects.

The hand dimensions determined are ones related to hand length (total hand length  $L$ , middle finger length  $l_1$ , palm length  $l_2$ ), and hand width (hand

\* Received 3rd March, 1997. Japanese original: Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng., Vol. 62, No. 602, C (1996), p. 3999-4004 (Received 5th February 1996)

\*\* Faculty of Engineering, Yokohama National University, 79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240, Japan

\*\*\* Faculty of Engineering, Kanagawa Institute of Technology, 1030 Shimoogino, Atsugi-shi, Kanagawa 243-02, Japan

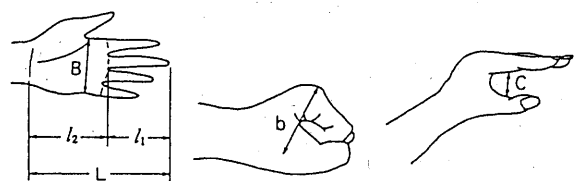


Fig. 1 Hand dimensions determined

breadth  $B$ , fist size  $b$ ), and dimension  $C$  shown in Fig. 1. These dimensions are listed in The Human Body Measurement Manual for Design<sup>(6)</sup>. The maximum holding force  $F_{\max}$  maintained by the hand was determined under conditions as shown in Fig. 2; a cylinder from which a bucket was suspended was grasped, and the weight of the bucket was increased by adding water into the bucket until the subject could no longer hold the cylinder with his hand<sup>(1)</sup>. Contact area  $A$  between the hand and the cylinder was determined by copying the ink on the hand into thinly paper lapping the grasping cylinder. This method is almost as precise as the photograph method used in the previous study<sup>(1)</sup>.

The optimum grasping diameter was determined based on the Semantic Differential Method with the following numerical values used as indices of the degree of grasping comfort: very comfortable, +3; moderately comfortable, +2; somewhat comfortable, +1; cannot determine, 0; somewhat uncomfortable, -1; moderately uncomfortable, -2; and very uncomfortable, -3.

Before the sensory test of grasping, the subjects preliminarily evaluated the comfortableness of grasping for all pipes. Then the sensory tests were performed in following manners i.e., grasping from the smallest diameter pipe to the largest diameter one and grasping from the largest diameter one to the smallest diameter one. Through the experiment, rubber vacuum tubes were used in most cases, but metal pipes were used for determining the maximum holding force and the contact area because the rubber vacuum tubes were deformed by applying large force. The difference in results obtained using the two pipe materials was not recognized except in case of extremely powerful grasping. Ten rubber vacuum tubes, one each of diameters  $D=13, 16, 19, 22, 25, 32, 38, 43, 52$  mm and 62 mm, and nine metal pipes, one each of  $D=10, 16, 19, 25, 32, 38, 43, 51$  mm and 61 mm were used.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 Diameter of pipe producing maximum holding force and optimum pipe diameter for grasping

When cylindrical objects were grasped by the hand, the correlation between the diameter of cylinder and the maximum holding force existed as a function of the hand dimension<sup>(1)</sup>. On the other hand, the optimum pipe diameter at which the pipe feels easy to grasp exist. In this study, before the sense and the favor of grasping were analyzed, the relationship between the diameter of pipe producing maximum holding force and the optimum grasping diameter was clarified.

Figure 3 shows the relationship between the

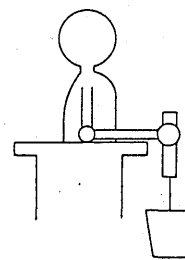


Fig. 2 Experimental set up

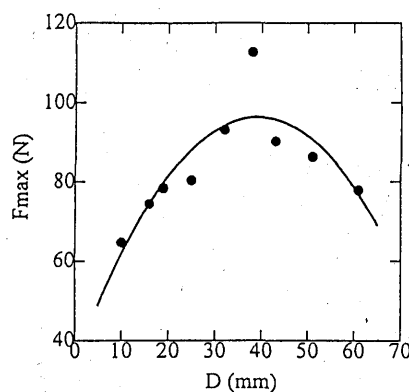


Fig. 3 Effect of grasping diameter  $D$  on maximum holding force  $F_{\max}$

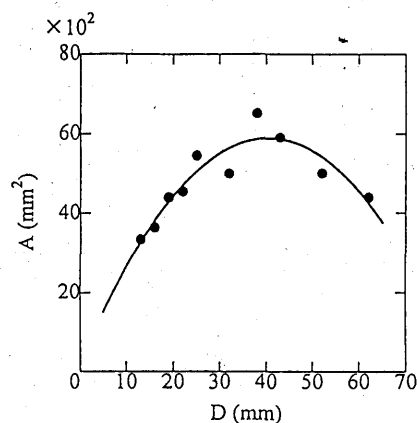


Fig. 4 Relationship between contact area between hand and pipes  $A$  and grasping diameter  $D$

maximum holding force  $F_{\max}$  and pipe diameter  $D$  for a 24-year-old man. The subject's hand dimensions were  $L=182$  mm,  $l_1=79$  mm,  $l_2=103$  mm,  $B=83$  mm,  $b=60$  mm and  $C=28$  mm. For this subject, the diameter of pipe producing maximum holding force is in the range of 35 - 42 mm. It is known that the diameter of pipe producing maximum holding force for a pipe is almost identical to the diameter of the pipe at which the contact area between hand and the cylinder is largest<sup>(1)</sup>. Figure 4 shows the relationship between the contact area  $A$  between the hand and the pipe and grasping pipe diameter  $D$ . The contact area  $A$  was determined at a pretty strong grasping force so that clear contact patterns could be obtained.  $A$  in Fig. 4 corresponds to  $F_{\max}$  in Fig. 3, and at maximum  $A$ ,  $D$

was 36 - 44 mm.

Figure 5 shows the results of the sensory test for evaluation of the comfortableness of grasping of vertical pipes in terms of the 7 grades in the SD method. The solid line shows the result for testing from the largest diameter to the smallest one, and the dotted line shows those for testing from the smallest diameter to the largest one. The grasping diameter of the pipes at which the grasping was judged to be modelately comfortable (+2) were 25 - 38 mm though the solid and dotted lines differ slightly (the grasping diameter at which the grasping was judged to be most comfortable was nearly 32 mm). These diameters are inconsiderably smaller than those shown in Fig. 3 and Fig. 4. In the case of Fig. 3, a weight larger than that in the sensory test was applied to the pipe, and then the subject grasped the pipe strongly. However, when the comfortableness of grasping was evaluated in the sensory test, the subject grasped the pipe weakly. Therefore the differences between the diameters at maximum holding force shown in Fig. 3 and the optimum grasping diameter shown in Fig. 5 seem to be caused by the difference in the grasping intensity. In the sensory test (results are shown in Fig. 5), the pipes

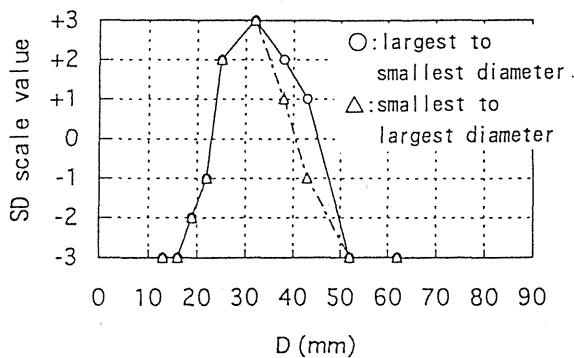


Fig. 5 Relationship between SD scale value and grasping diameter  $D$

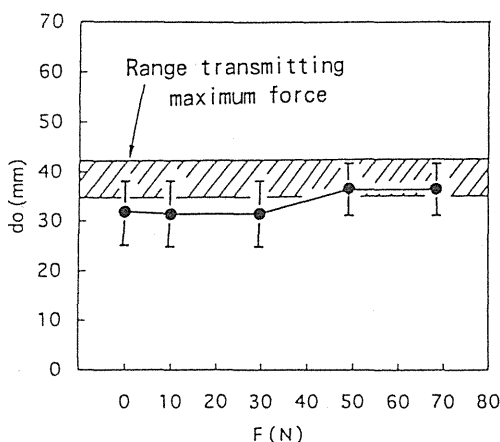


Fig. 6 Effect of holding force  $F$  on optimum grasping diameter  $d_o$

were placed vertically on the table and no weight was applied. Figure 6 shows the results of the evaluation of the comfortableness of grasping of the pipe when various weights were suspended from the pipe. The hatched region in Fig. 6 indicates the range of the diameter of pipe producing maximum holding force. The optimum grasping diameter at each holding force  $F$  is shown by a black dot, and the range of the most comfortable grasping diameters is shown by an error bar. These results show that, as the weight of the contents of the bucket suspended from the pipe increased, the optimum grasping diameter tended to agree almost exactly with the diameter of maximum holding force.

### 3.2 Relationship between the result of sensory evaluation of the comfortableness of grasping and the age of the subjects

Figure 7 shows the results of the sensory evaluation for (a) a 7-year-old girl, (b) a 10-year-old boy, (c) a 22-year-old man and (d) a 53-year-old man. The open circles in Fig. 7 represent the results of the test carried out from the largest diameter to the smallest one, and the open triangles represent those of the test carried out from smallest diameter to the largest one.

The 7-year-old girl could not evaluate the comfortableness in terms of 7 grades of SD scale. Therefore, the number of evaluation grades was decreased to 5: very comfortable, +2; moderately comfortable, +1; cannot determine, 0; moderately uncomfortable, -1; and very uncomfortable, -2. However, she was not able to evaluate the comfortableness using this scale either. Figure 7(a) shows the results for this subject in terms of 3 grades: comfortable, +1; cannot determine, 0; and uncomfortable, -1. In this 3-grade evaluation, she was able to judge the comfortableness of grasping, but the results of the evaluation were lacking in reproducibility, and the optimum grasping diameter was not determined.

On the other hand, for older subjects, from age 10, the evaluation in terms of 7 grades was possible. However, in Fig. 7(b), the results for sequential evaluation from the largest diameter to the smallest one and from the smallest diameter to the largest one are very different, and not distributed symmetrically not same as that in the case of the adults. This tendency was recognized in the results for 5 of 11 children aged 10 to 11 years. Children aged 10 to 11 years were not able to the evaluate comfortableness for grasping due to undeveloped sense and sensory. This result is attributed to the following. In the human hand, the five fingers are connected to a hand joint consisting of 8 carpalia<sup>(8),(9)</sup>, and the pisiform bone on the side of the little finger is the fulcrum of another

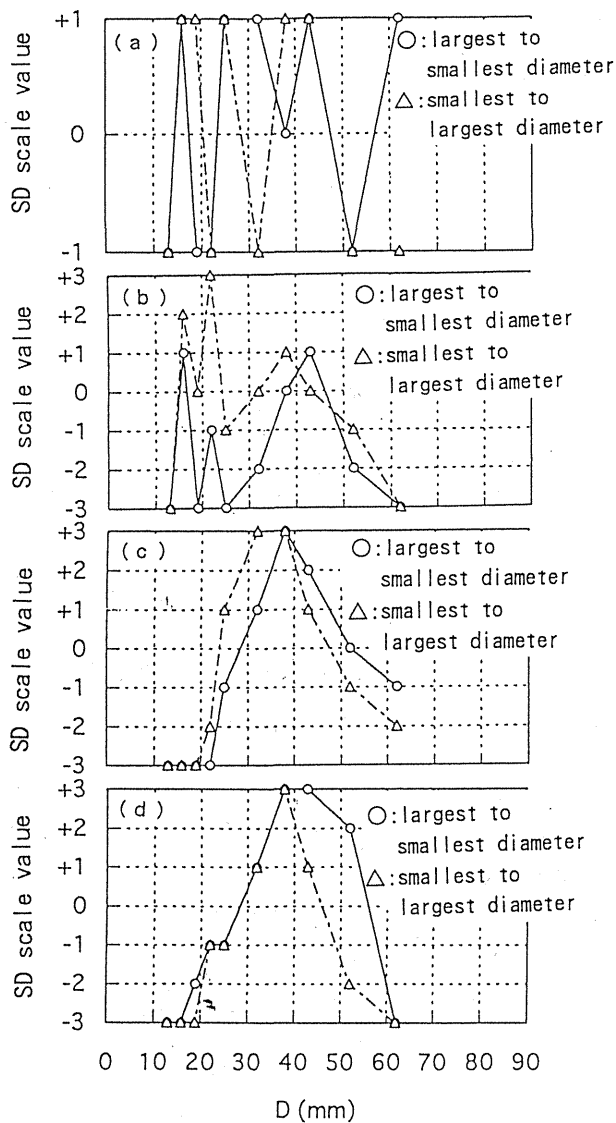


Fig. 7 Evaluation of grip by subject of various ages  
 (a) Seven-year-old girl, (b) Ten-year-old boy, (c) Twenty-two-year-old man, (d) Fifty-three-year-old man

skeletal structure of hand during grasping<sup>(10)</sup>. From infancy to age 10 years, the skeletal parts of the hand joints are formed in sequence, and the changes in the skeletal structure of the the hand are extensive. It is speculated that completion of the development of the bony parts of the hand is a prerequisite for sensory evaluation of comfortableness in grasping of objects.

For the results shown in Figs. 7(c) and 7(d) for the 22- and 53-year-old men, in contrast to the above results for the children, diameters for the sensory evaluation grade of very comfortable (+3) were determined, and the evaluation result diagrams are almost symmetrical. The optimum grasping diameter of the pipe for the 22-year-old man was 32 - 38 mm, in the case of evaluation from the smallest diameters to the largest one, and 38 mm in the case of evaluation

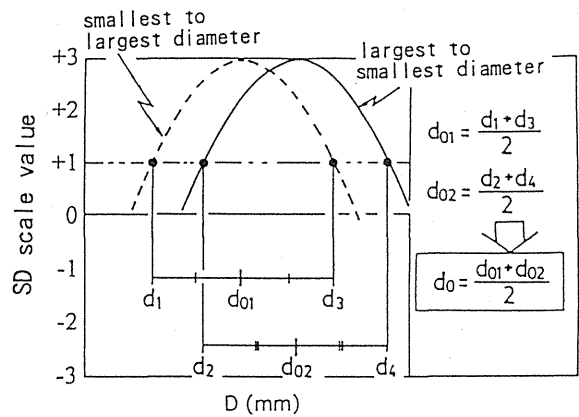


Fig. 8 Method of optimum grasping diameter determination

from the largest diameters to the smallest one. The corresponding values for the 53-year-old man were 38 mm and 38 - 43 mm, respectively. That is, a larger diameter was judged as the optimum grasping diameter in the case of evaluation from largest diameter to smallest one, and a smaller one was judged as the optimum grasping diameter in the case of evaluation from the smallest diameter to the largest one. From the above results, it is clear that the grasping evaluation results were affected by the diameter of the previously grasped pipe, that is, sensory hysteresis of the hand grasping object exist.

### 3.3 Relationship between the optimum grasping diameter and the hand dimensions

In order to avoid the obscurities in the determination of optimum grasping diameter due to the difficulty of evaluation of the comfortableness of grasping pipe by the children aged under 10 and unsymmetry in the evaluation result diagrams, optimum grasping diameter is defined as follows. As shown in Fig. 8, the pipe diameters  $d_1$  and  $d_3$  at the SD scale of +1 in the case of evaluation from the smallest diameter to the largest one, and the pipe diameters  $d_2$  and  $d_4$  at the SD scale of +1 in the case of evaluation from the largest diameter to the smallest one were determined. Then the optimum grasping diameter  $d_0$  was calculated as the average value,  $d_0 = (d_{01} + d_{02}) / 2$ , using the average values  $d_{01}$  of  $d_1$  and  $d_3$ , and  $d_{02}$  of  $d_2$  and  $d_4$ .

Figures 9 - 15 shows the relationship between the optimum grasping diameters  $d_0$  calculated using the above equation and the hand dimensions with respect to the hand size ( $L, l_1, l_2, B, b$  and  $C$ ) and hand area ( $B \times l_2$ ) for the 40 subjects. The straight lines in the figures were determined by the method of least squares from the data for the children aged less than 11 years. From these results, it is clear that the optimum grasping diameter  $d_0$  increases in proportion

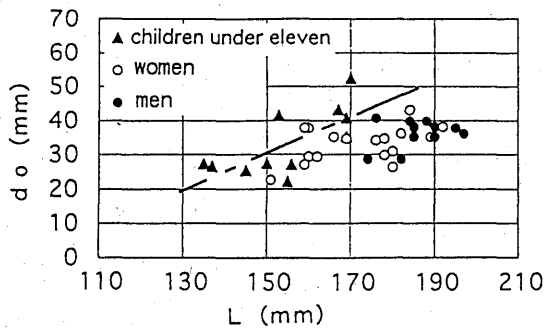


Fig. 9 Effect of dimension  $L$  on optimum grasping diameter  $d_o$

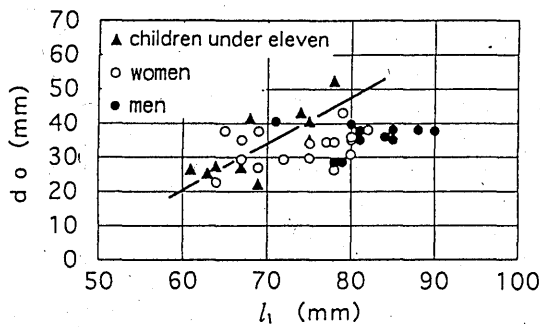


Fig. 10 Effect of dimension  $l_1$  on optimum grasping diameter  $d_o$

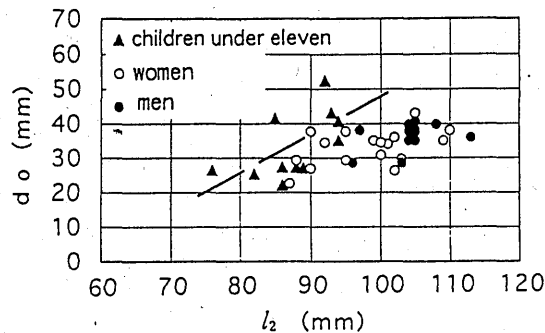


Fig. 11 Effect of dimension  $l_2$  on optimum grasping diameter  $d_o$

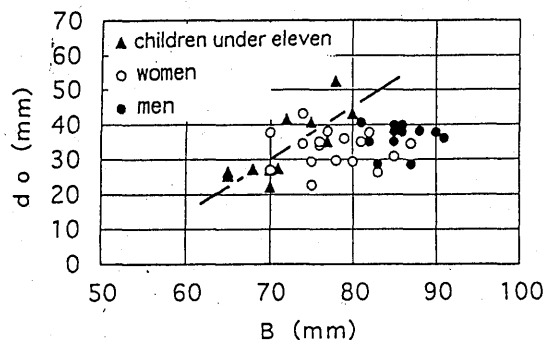


Fig. 12 Effect of dimension  $B$  on optimum grasping diameter  $d_o$

to the dimension indicating the hand size, for children less than 11 years old. Moreover, in the case of the adults, the optimum grasping diameter  $d_o$  is large

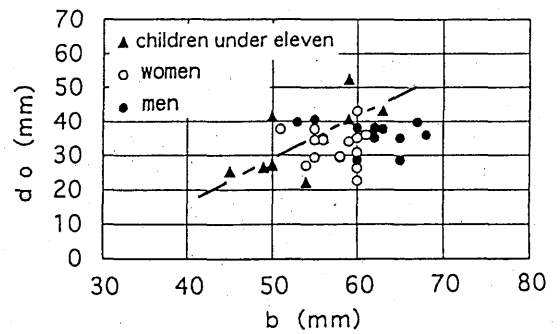


Fig. 13 Effect of dimension  $b$  on optimum grasping diameter  $d_o$

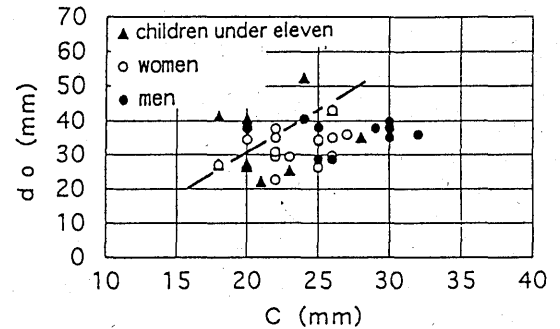


Fig. 14 Effect of dimension  $C$  on optimum grasping diameter  $d_o$

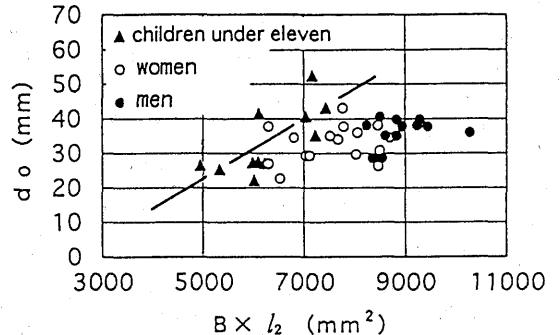


Fig. 15 Effect of dimension  $B \times l_2$  on optimum grasping diameter  $d_o$

when the hand length dimensions  $L$ ,  $l_1$  and  $l_2$  and the dimension  $B \times l_2$  are large, but depends only weakly on the hand breadth  $B$  and fist size  $b$ .

Based on the results for the children and adults, it is thought that the optimum grasping diameter  $d_o$  increases with increasing hand length dimensions, but tends to saturate at  $d_o$  of approximately 40 mm. Furthermore,  $d_o$  for the adults is 30 - 40 mm; this is the same range as determined previously<sup>(1)</sup>. The values of  $d_o$  for the women are more scattered than those for the men, and the average  $d_o$  values for the women are smaller by about 3 mm than those for the men. This is speculated to be due to the hands of the women being smaller than those of the men, which is the reason that grasping tools designed for use by women are generally smaller than ones designed for use by

men.

The optimum grasping diameter  $d_0$  for the adults increases lineally with increasing  $L$ ,  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $B \times l_2$ , or  $C$ . It is estimated that the comfortableness of grasping have the relation with the length of fingers rolling up the pipe. The discrimination ability between two points of the finger tip is very high next to that of the tongue<sup>(9)</sup>. Thus, it is possible that the optimum grasping diameter is judged when the cylinder is in contact with most effectively with the finger tips. On the other hand, it is noticed that the feeling of the grasping object depends on an arch of the palm formed when the hand is moderately open<sup>(10)</sup>. It is thought that in grasping, the force loaded on the palm is small when the contact area of the palm with the object is large. The size of this arch formed at grasping is reflected by dimension  $C$  indicated in Fig. 1. The skin of the part of the palm contacting with the object is deformed when the object is grasped. Assuming that the thickness of the first joint part of the finger is approximately 20 mm and the joint part yields about 5 mm in grasping, then the thumb and forefinger yield each by 5 mm, amounted to 10 mm. The value of the dimension  $C$  of 30 mm - 40 mm in grasping is obtained by adding 10 mm to the value of  $C$  in ungrasping. This range agrees with the optimum grasping diameters for the adults determined in this study. Accordingly, the grasping comfortableness of a cylindrical object depends on the lengths of the hand and fingers, and of the size of the arch that is formed when the hand is moderately open, and it is thought that comfortableness of the grasping was judged to be good when the object was in contact with all finger tips and with a full area of palm.

#### 4. Conclusion

The comfortableness of grasping of cylindrical objects has been evaluated by a sensory test for male and female subjects aged 7 to 53 years, and the relationship between the comfortableness of grasping and the hand size was explained, and the following conclusions were reached.

(1) The diameter of pipe producing maximum holding force is somewhat larger than the optimum grasping diameter determined in the sensory test, but the two values agree as the weight of cylinder increases.

(2) The children less than 10 years old could not evaluate the comfortableness of grasping of the cylinder in the sensory test, but elder children and adults were able to evaluate.

(3) The larger the hand dimensions, the larger the optimum grasping diameter, and this tendency

was stronger for the children under 11 years old than that for the adults. However, in the case of the adults, the optimum grasping diameter depends mainly on the hand length dimensions, and only weakly on the hand width and fist size.

(4) The optimum grasping diameter for the men was 30 - 40 mm, and that for the women was smaller by an average of approximately 3 mm than that for men due to the hand size.

(5) Based on the above results, it is considered that the optimum grasping condition is gained when the the object is contact with all finger tips and with a full area of palm.

The authors are grateful to Mr. Shigeaki Kobayashi, a graduate student at Yokohama National University, for help in the experiment. This work was supported in part by a Grant-in-Aid for Scientific Research from the Ministry of Education, Science, Sports and Culture (No. 08455112).

#### References

- (1) Yakou, T., Arakawa, S. and Takada, H., Force Transmission Between Hand and Cylindrical Object, *Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng.*, (in Japanese), Vol. 60, No. 573, C (1994), 1721-1726.
- (2) Yakou, T., Yamamoto, P. and Hyodo, K., Factor Controlled Grasping Force of Hand, *Prepr. of Jpn. Soc. Mech. Eng.*, (in Japanese), No. 940-26(1) (1994-7), p. 409-410.
- (3) Yakou, T., Yamamoto, K. and Hyodo, K., Sensory Evaluation of the Grasping Feeling, *Prepr. of Jpn. Soc. Mech. Eng.*, (in Japanese), No. 940-59 (1994-11), p. 93-97.
- (4) Ichikawa, S., Introduction to Psychological Measurement, (in Japanese), (1991), p. 149-188, Saiensu-sya.
- (5) Nikkagiren, Handbook of Sensory Evaluation, in Engineering, (in Japanese), (1962), p. 6-13, JUSE Publication.
- (6) Ed. by National Institute of Bioscience and Human-Technology, Manual of Human Body Measurement for Design, (in Japanese), (1994), p. 77-81, Nihon Publication Service.
- (7) Iwashita, T., Measurement of Images by SD Method, (in Japanese), (1983), p. 43-130 Kawashima Publication.
- (8) NHK Collection Grub, The Universe within/ The Human ody, a Bone/a Line, (1989), p. 16-49, NHK publication.
- (9) Lee, D.A., Evaluation of Sensibility and Re-education of Sensation in the Hand, Japanese Translation, (1981), p. 91-109, Kyodo Publication.
- (10) Kapandji, I.A., Physiologie Articulaire/tome 1 member superieur, Japanese translation, (1980), p. 166-283, Ishiyaku Publication.

# 短時間負荷条件下の円筒物体把握における最大保持力径について

加茂美冬\*1, 森本茂\*1, 八高隆雄\*1, 山本圭治郎\*2

Diameter of Cylinder with Maximum Holding Force under Rapid Loading Conditions

Mifuyu KAMO, Shigeru MORIMOTO, Takao YAKOU and Keijiro YAMAMOTO

The aim of this study is to investigate the relation between diameter of cylindrical object and holding force under the condition of rapidly increment of load. The holding force was in a range from 100 to 300N at the cylindrical diameter between 15 and 60mm. The maximum force was obtained from the cylinder with a diameter of 20 and 25mm. In the comparison with the results from the static holding condition, the present results showed that the larger force was appeared at the thinner cylinder. When electromyogram was recorded from the grasping muscles during constant loading, the targeted value of the electromyogram showed the minimum value at the cylinder diameter at which the maximum force was obtained. Experimental results show the existence of the optimum diameter to transmit the muscle force to the cylindrical object with good efficiency.

Key words: Human Engineering, Human Interface, Measurement, Grasping of Cylindrical Object, Rapid Loading Condition, Holding Force, Sensory Evaluation, Electromyogram, Hand Dimension, Contact Area between Hand and Object

## 1. 緒 言

物体を把握する場合の物体と手の間には最も力を伝達し易い太さ<sup>①</sup>や最も握り易い太さ<sup>②</sup>が存在することが明らかになってきた。これらの研究は、機械のハンドルや道具の柄の太さの設計を目的としているものであり、手と物体の間では負荷速度は急に変わらない、いわゆる静的な力伝達を対象としている。しかし、使用する道具によっては短時間に負荷が変化することも少なくない。タガネやハンマーなどの生産工具のみならず、野球のバットやテニスラケットなどでも短時間における力の伝達が重要である。

本報告では、5秒以内の短い時間内に最大値に達するような短時間負荷の下における物体と手の間の力の伝達について従来の把握(600秒以上の時間を要する把握、以下静的把握とする)と比較するとともに、筋電図を介して把握時の筋活動について検討を行った。

## 2. 実験方法

被験者は、神経筋疾患をもたない健康な24-45才の成人5名とし、右手(優位側)を被験手とした。被験者にはあらかじめ研究の目的、方法について説明し、実験に参加することに対する同意を得た。Fig.1に手の模式図を示す。また、Fig.1に示した各部位の各被験者の手の大きさはTable 1の通りであった。全ての実験を行ったのはTable 1中の\*印で示した5名中2名の被験者であった。

把握実験は、前報<sup>③</sup>同様、被験者はFig.2に示す状態で円筒を垂直に把握保持した。円筒物体は、アクリル製で長さ30cm、直径5-60mmの範囲で5mm間隔のものを用いた。被験者には、把握中、前腕の回転や手関節の背屈や尺屈等が起こらないように指示した。把握時の保持力は、円筒を把握した状態で垂直下方に負荷を加え、負荷に耐えられなくなった時点での負荷量で定義した。短時間負荷は牽引することによって与え、把握力はほぼ1秒以内で最大値の90%以内の範囲に達し、その後5秒以内に耐えられなくなった。又、静的負荷は前報<sup>③</sup>同様に円筒にバケツを下げ、その中へ水を注ぐことにより行った。

\*原稿受付

\*1 正員 横浜国立大学教育学部(〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-2)

\*2 正員 神奈川工科大学工学部(〒243-02 厚木市下狛野 1030)



表面筋電図は、Fig.3 に示すように骨間筋(volar interossei : VI), 母指内転筋(adductor pollicis : AP) と浅指屈筋 (flexor digitorum sublimis : FDS), 長母指屈筋, (flexor pollicis longus : FPL)から記録した。筋電位は、直径5mmのAg/AgCl皿電極を用いた双極誘導法によって求めた。この時の電極間距離は15-20mmであった。導出電位は、周波数帯域3-10kHzにて差動増幅(ダイアメディカルシステム,DPA400C)し、FMカセットレコーダ(TEAC,R-31)に記録した。その後、A/Dコンバータを通してパーソナルコンピュータに入力し、積分値を算出した(BIMUTAS,キッセイ)。算出手順は、Fig.4 に示すように、把握開始3秒後からの5秒間の筋電図(Raw EMG)を全波整流(Full-wave rectified EMG)した後、1秒毎に積分値を算出した。それらを平

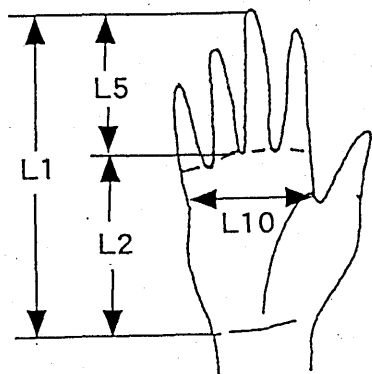


Fig.1 Hand dimensions determined

Table1 Dimensions of subject's hand

Subj.	L1	L2	L5	L10
MK	167	95	72	73
SM	181	102	79	90
SA	172	96	76	74
SYU	188	107	81	85
YN	188	108	80	90

unit: mm

L1: hand length, L2: palm length

L5: middle finger length, L10: hand breadth

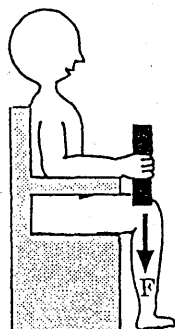


Fig.2 Experimental set up

均した値を求めて把握時の筋の活動水準の指標(IEMG)とした。

### 3. 結果および考察

3.1 短時間および静的把握時の最大保持力径  
 パケツに水を注ぐ静的条件下の円筒保持力は、ある特定の径で最大値を示すことが知られている。本実験の被験者2名の円筒径(D)に伴う保持力(F)の変化をFig.に示す。その結果、保持力の最大値は被験者MKにお

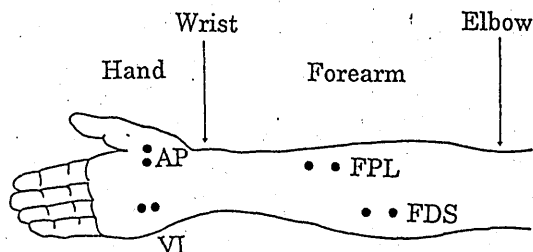


Fig.3 Schematic illustration of EMG recording positions in hand and forearm  
 AP: adductor pollicis, VI: volar interossei, FPL: flexor pollicis longus  
 FDS: flexor digitorum sublimis

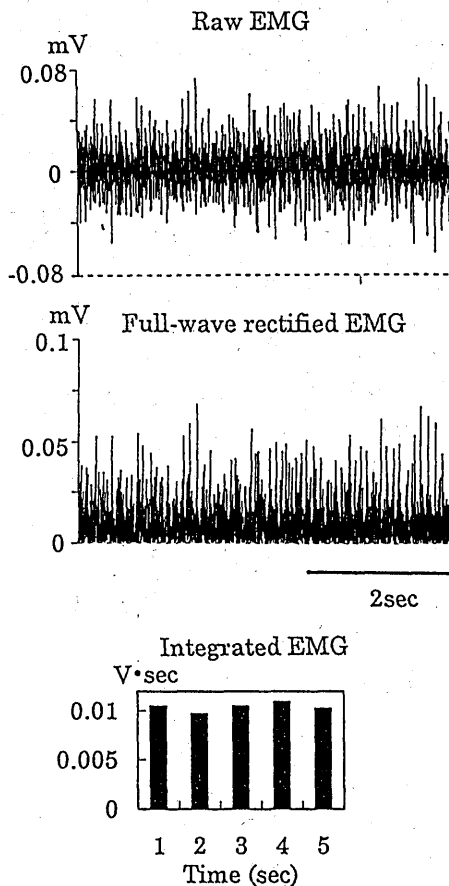


Fig.4 Process of EMG analysis

いては  $D=40\text{mm}$ , 被験者 SM においては  $D=35\text{mm}$  であった。これは、前報<sup>1)</sup>での  $D=35-42\text{mm}$  とほぼ一致した範囲にある。上述の 2 名の被験者 MK と SM の短時間把握時の保持力( $F$ )の変化を示したのが Fig.6 である。この場合にも、保持力はある特定の径で最大値を示した。しかし、短時間把握での保持力の最大値が発現する径をみると、被験者 MK においては  $25\text{mm}$ , SM においては  $20\text{mm}$  であり、静的条件よりも  $15\text{mm}$  細かった。被験者全員の最大保持力径は  $20$  から  $25\text{mm}$  であった。次に、保持力を両条件で比較すると、保持力は、静的条件では  $75-125\text{N}$  の範囲にあり最大値は  $120-125\text{N}$  に分布した。それに対して、短時間把握では  $100-300\text{N}$  の範囲で  $200-300\text{N}$  の間に最大値がみられた。すなわち、短時間把握では静的把握より約 2 倍近い大きな力が発揮でき、円筒径の違いが保持力に大きく影響している。同様な傾向は全ての被験者に共通していた。この傾向については静的および短時間把握で結果は同様である。また、Fig.5 と Fig.6 の比較から、短時間負荷条件では静的な場合よりも保持力の個人差が大きく現れることがわかる。

以上のことから、発揮できる力は、短時間把握では、静的把握に比べて大きく、把握する円筒径は、より細い径で最大値を示すことが明らかとなった。

3.2 短時間および静的把握における円筒保持力の差の原因 静的把握においては、最大保持力と手-物体間の接触面積の最大値が一致することが確認されている<sup>1)</sup>。Fig.5 および Fig.6 におけるのと同一の被験者に対する、握り易さの感性評価(SD scale value)の結果を Fig.7 に、手-円筒間の接触面積( $A$ )の結果を Fig.8 に示した。ここで、Fig.7 の縦軸は前報と同様な SD 法<sup>2)</sup>によって求めた評価であり、 $-3$ (非常に握り難い)から  $3$ (非常に握り易い)までの 7 段階で主観的な握り易さを示している。図には、太い径から順に握り始めた場合と細い径から順に握り始めた場合の 2 回の計測の平均値を示してある。把握時の手と物体の接触面積は、前報<sup>1)</sup>と同様に円筒の表面に墨を塗り、把握後、墨のついた手の写真をとり求めた。その結果、Fig.7 および Fig.8 に示す通り最大値は被験者 MK においては  $D=40\text{mm}$ , 被験者 SM においては  $D=35\text{mm}$  でみられ、3.1 で示した静的な条件での最大保持力径と一致することが確認できる。接触面積は、手の皮膚からの感覚入力<sup>3)</sup>の量に対応していると考えられ、このことが、接触面積が最も大きくなる円筒径が、最も握り易い径および静的把握での最大保持力径と一致することの要因の一つとなっていると考えられている<sup>1)</sup>。しかしながら、短時間把握では、最大保持力径は被験者 MK においては  $25\text{mm}$ ,

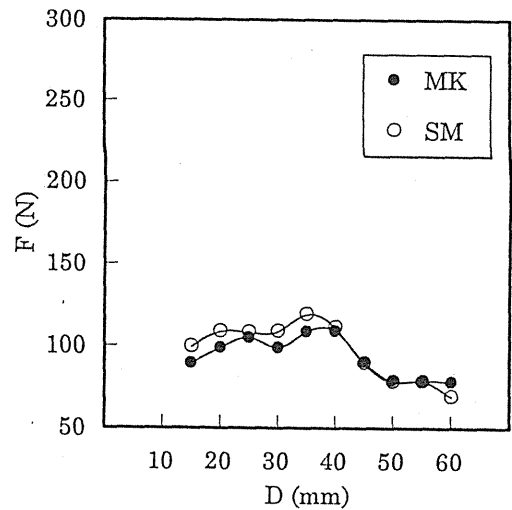


Fig.5 Effect of grasping diameter  $D$  on holding force  $F$  under static loading

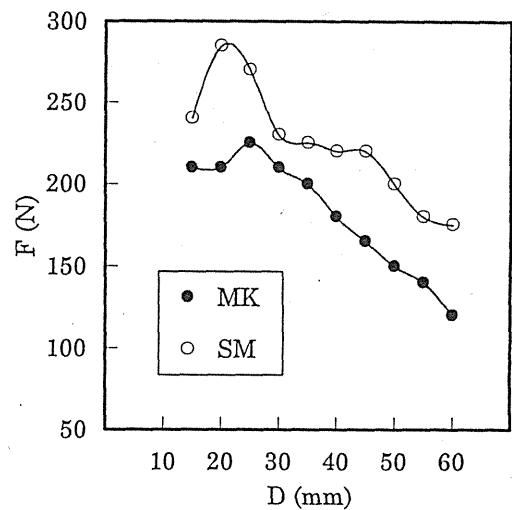


Fig.6 Effect of grasping diameter  $D$  of holding force  $F$  under rapid loading

被験者 SM においては  $20\text{mm}$  であり、最も握り易い径や接触面積が最大となる円筒径とは一致せず、それより細い。また、円筒との接触面積( $A$ )と短時間把握における保持力( $F$ )の間には依存性が認められない(Fig.9)。したがって、静的より短時間負荷条件で最大保持力径が細くなることは、短時間把握のほうが発揮する力に対する皮膚からの感覚情報の寄与率が低いことに起因している可能性がある。

静的把握における最大保持力径は、最も小さい力で円筒を保持できる径と一致する<sup>1)</sup>。この場合では、保持力を前腕部(Fig.3 参照)筋の収縮に伴う太さ変化から計測している<sup>1)</sup>。この方法は簡便で有効である反面、把握に関与する手内筋(骨間筋や母指内転筋などの手のひらの筋, Fig.3 参照)の発揮する力の評価が困難であること、分解能が十分高いとはいえないことなどの問題点がある。そこで、手内筋を含め手の各筋の情報を分けて取り出せ、しかも計測精度の高い表面筋電図を用い、短

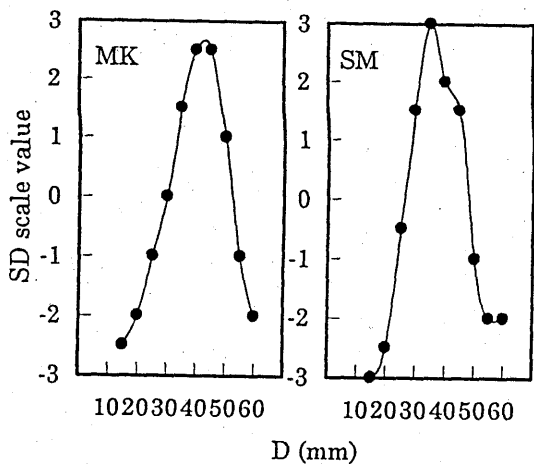


Fig.7 Relationship between SD scale value and grasping diameter D under static loading

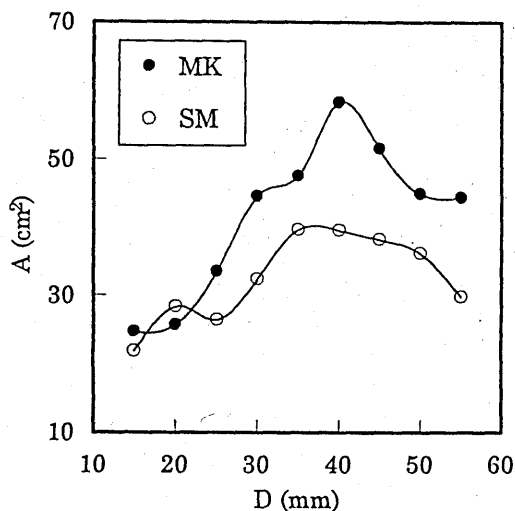


Fig.8 Contact area between hand and cylindrical object A and grasping diameter D under static loading

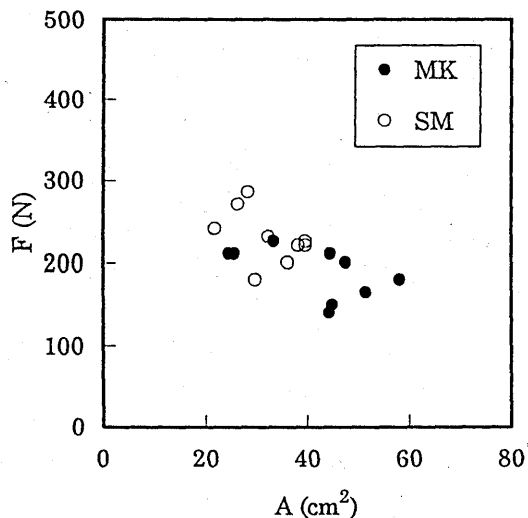


Fig.9 Relationship between holding force under rapid loading F and contact area between hand and cylindrical object under static loading

時間把握の特性を調べた。Fig.10に、被験者MKにおいて得られた結果を示す。結果は各径で得られた積分値を最大保持力径の積分値で規格化して表している。また、負荷は、最大保持力の10%とし、この力を約0.5秒で負荷し10秒間保持した。負荷保持直後から5秒間の筋電図について積分値を求めている。実験では、Fig.3に示した4ヶ所から測定したが、4つの筋とも最大力保持径の把握時に積分値が最小値を示している。積分値の大きさは各筋毎にかなり差があるが、このことは、一定の重さの円筒を把握したとき、最大の力が保持できる径での筋の活動水準は最も低くなることを示している。すなわち、最大保持力径を把握する時の筋の把握に対する筋の寄与率が最も低いことを反映しているものといえる。特に、母指内転筋APは、最大保持力径より太い径においては径の増大に伴い著しい増加を示しているが、最大保持力径より細い径においてはその増加が小さく、最大保持力径での値と大きな差が見られない。母指内転筋APは、母指の内転に作用する筋であり、静的把握においては円筒径が細いと母指以外の4指を中心とした把握形態をとる。この傾向は今回の被験者においても認められた。把握する円筒径によって把握に関わる各指ごとの割合が変化することが、筋電図積分値の変化の差異として現れていると考えられる。

以上の結果から、把握に関わる各筋の寄与が異なるものの、短時間把握においても、最大保持力径は発揮筋力が最も小さい円筒径と一致することが確かめられた。したがって、前報の結果と合わせて考えると静的把握および短時間把握のいずれの場合にも、最も効率よく指の筋活動を行うことができる把握が、最も大きな力を発揮できる把握となることが明らかとなった。

3.3 短時間把握での最大力保持径の個人差について  
最大保持力径は、手と円筒の接触面積に関係することから手の大きさに依存している可能性がある。本実験の被験者の手の大きさは、Table 1に示すように、各パラメータにおいて最も大きい者と小さい者の間に9から25mmという大きな差があった。そこで、5人全員の最大保持力径と手の大きさのパラメータとの関係をFig.11に示す。被験者全員の手の大きさの各種パラメータと最大保持力径(Dmax)の間に明らかな関係は見られなかった。最大保持力径が手の大きさに依存しないことは、最大保持力径の決定には、手の大きさといった解剖学的な因子より、各個人の過去の履歴に由来する把握動作様式の差異あるいは動作様式が同様であっても神経系の適応の差異といった因子が強く関わっている可能性があるが、手の大きさに関わらず被験者全員の最大保持力径が20か25mmであったことから、

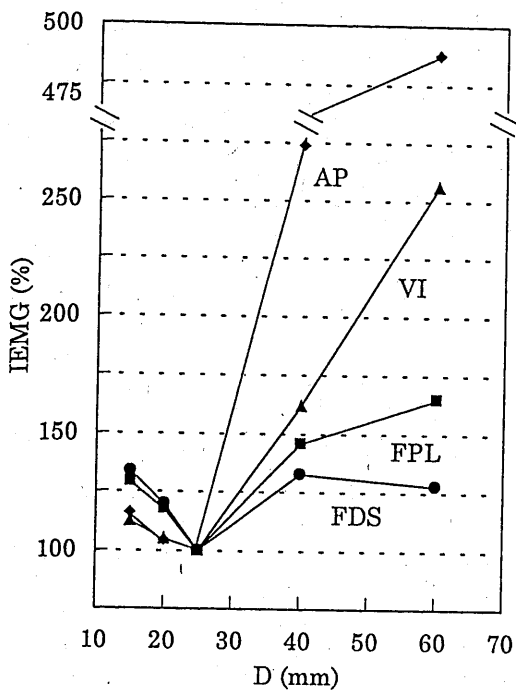


Fig.10 Changes in integrated value of electromyographic signals (IEMG) with diameter of cylindrical object under rapid loading

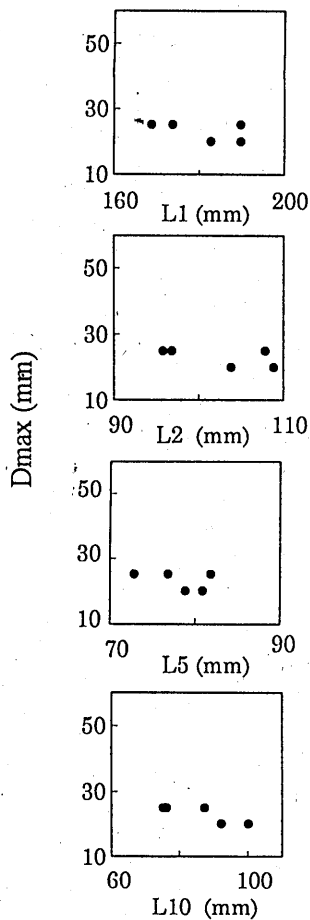


Fig.11 Relationship between diameter of holding force and dimensions of hand under rapid loading

短時間に大きな力を発揮する場合に使用する道具の径は、個人差を考えずに画一的な径であっても良い可能性がある。その反面、Fig.6に示すように径が5mm異なるだけで、保持力が約40N低下する可能性があることから考えると、画一的とは逆に精密に個人に適合した握り径を設定する必要がある。

#### 4. 結 言

円筒物体把握における径と保持力の関係を明らかにすることを目的として、5秒以内の短い時間内に最大値に達するような短時間負荷条件の下における保持力について調べた。

- (1) 短時間把握での最大保持力径は手の大きさによらず20-25mmの範囲にあり、保持力は100-300Nに達した。これらは、静的把握と比較すると、保持力は約2倍大きく、最大保持力径は約半分の太さであった。
- (2) 一定負荷の下での把握時の手の筋から導出した筋電図の積分値は、最大保持力径において最も小さく、最大保持力径では、筋力が効率よく円筒物体に伝達されているものと思われる。
- (3) 最大保持力径は手-円筒間の接触面積および握り易さと関係しなかった。

最後に、本研究は平成8年度および平成9年度の文部省科学研究費（基盤研究(B)(2)）、代表：八高隆雄、課題番号08455112、題目：工作機械の自動制御特性の感性による評価）によった。記して謝意を表す。

#### 文 献

- (1) 八高隆雄, 荒川進, 高田一, 手-円筒物体間の力伝達, 日本機械学会論文集 (C編), 60-573, (1994), 1721-1726.
- (2) 八高隆雄, 山本圭治郎, 小山昌洋, 兵頭和人, 円筒物体把握における握り易さの感性評価, 日本機械学会論文集 (C編), 62-602, (1996), 3999-4004.
- (3) 小林茂夫, 表面筋電図の測定、処理、分析, Japanese Journal of Sports Science., 2, (1983), 671-685.

## フライス盤による位置決め時のハンドル操作と手の感性評価

八高 隆雄\*, 山本 圭治郎\*\*

Handling and Sensory Evaluation of Handle during the Positioning of Milling Machine Operation

Takao YAKOU and Keijirou YAMAMOTO

Sensory and mechanical evaluated values have been analyzed during vertical milling machine operation for subjects whose right hand was effective. As a result, the larger the diameter of handle the larger the optimum grasping diameter, but the tendency at the having spun a handle was remarkable compared with a handle wasn't spun. Moreover, it has been recognized that both mechanical and sensory evaluated values at the grasping the handle affected the influence of the judgement of right hand which was hand powerfully.

Key Words: Handling, Sensory Evaluation, Milling Machine Operation, Handle.

## 1. 緒 言

我々が工作機械を操作して材料を目的の形状に加工する場合には、機械に工具を装着し、テーブル上に被加工物を設定した状態で、操作者はハンドルを操作して加工開始点へ工具を移動させる。この時の位置決めは、速さよりも正確さが要求され、また行き過ぎは材料を原点合わせ前に加工してしまうことになるため、許されない。この時の工具の移動操作は、フライス盤を例に取れば、切り込みを与える上下の操作と、テーブルの前後左右の移動操作とがあり、加工時の作業では後者の方が圧倒的に多い。また、テーブルの移動においては、目標から大きく離れた移動では、最初片手（主に利き手）でハンドル車のリム部をを回転させて粗い位置決めを行う。その後目標に近い状況では、両手でハンドル車のリム部を握り精密位置決めを行う。

そこで本研究では、フライス盤による加工前の精密位置決め時のハンドルの操作について、工作機械のテーブルの移動量、左右の握り力、およびハンドル車のトルクなどの物理量と手の握りやすさの感性評価値から解析した。

## 2. 実験方法

実験ではフライス盤作業者が立った状態で操作体制をとり、次にハンドルの円筒リム部を握る指示を出し、その後数秒後にできるだけ速く目標位置までテーブルを移動させる指示を出し、ハンドルの回転によるテ-

ブルの移動操作を行わせた。ここで用いた工作機械はゼロ番の横フライス盤である。ハンドルは横フライス盤に備わっていた市販の円盤状のものを取り外し、左右の握り力および左右のトルクが別々に分けて計れるように、2本のパイプをリム部に使用しそこを被験者が把握できるように、Fig.1に示すような、ハンドルを利用した。Fig.2はハンドル握り部（リム部）の詳細である。ハンドルの回転とテーブルの移動との間にはバックラッシュがあったため、前もって回転させる方向（目標を移動させる方向）は定めてから実験に臨んだ。

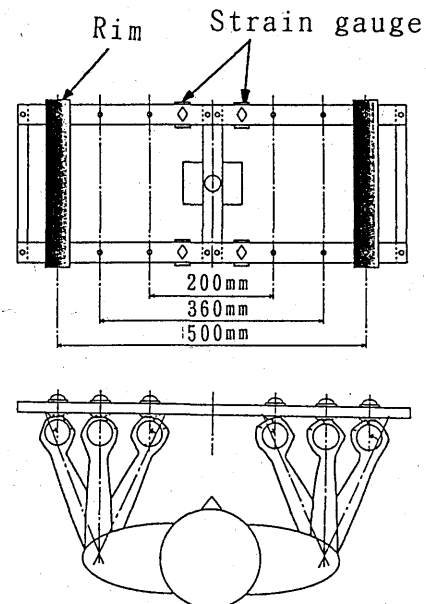


Fig.1 Grasping handles.

原稿受付平成 年 月 日

\* 横浜国立大学工学部（横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5）

\*\* 神奈川工科大学

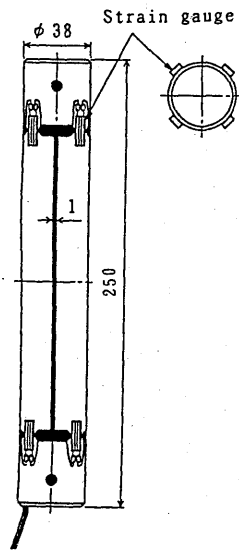


Fig. 2 Device of grasping force measurement.

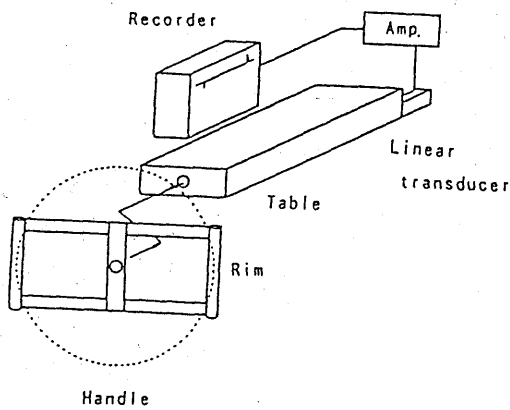


Fig. 3 Set up of Experiment.

また、本研究ではハンドルが左右平行な状態をスタートとして、操作時に両方の腕が交差しない75°以内で位置が合う条件を設定した。

実験にはフライス盤の主軸は回転させず、テーブルの左右の移動のみを調べた。なお、回転時の左右のトルクはハンドルの根本に取り付けたストレインゲージのひずみから求めた。ここで、実験に用いた装置の模式図とその構成図をFig. 3に示す。テーブルのトルクの設定はテーブル固定ネジの調整によって与えた。また、テーブルの移動量を変位計で捕らえ、アンプで増幅し、レコーダー上で75mm移動して位置が合うようにした。またレコーダーは工具と被加工物との位置合わせを想定し、Fig. 3に示すように、左から右の目標点に針が動くように設定した。この時のハンドル車の直径は200, 350, 500mmであった。ここで、360mmは被験者が手をほぼ肩幅と平行に伸ばした場合であり、200mmはそれより

内側に縮め、500mmはそれより外側に広げた場合である。この時のハンドル・リム部の直径dは18~50mmであった。また、被験者はすべて右利きの、22才、48才、および25才の3人の男性であった。これらの被験者のFig. 4に示す手の大きさ因子をTable 1に示す。さらに、握りやすさの評価には心理量をSD法により評価し、それらは、大変よい:7, よい:6, ややよい:5, どちらでもない:4, やや悪い:3, 悪い:2, 大変悪い:1の片側7段階評価であった。

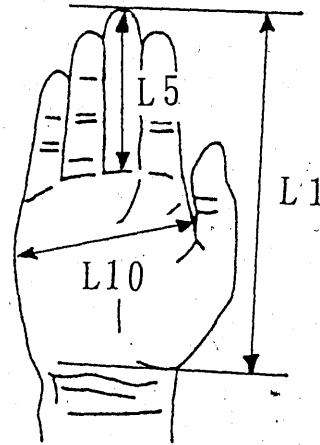


Fig. 4 Hand dimensions determined.

Table 1 Hand dimensions of subjects.

Subject	L1	L5	L10
A	180	78	80
B	187	84	89
C	198	86	92

### 3. 結果および考察

#### 3.1 ハンドル把握時の感覚量

工作機械の操作性を評価する以前に、被験者が工作機械の前に立って、ハンドルを把握した場合の握りやすさの度合いを調べた。ここでは、被験者はハンドルのリム部を握り軽く左右に回転させ、その時の握りやすさを評価した。なお、円筒の握りやすさの評価においては、太い径から細い径の順に評価するかその逆の順に評価するかで結果が異なることがあるため<sup>1)</sup>、前もって予備的に一通り各リムを触れさせておいてから、ランダムに評価した。Fig. 5(a)は右利きの被験者Bの左右の手の握りやすさとハンドル・リム径dとの関係

である。Fig. 5(a)は左手と右手でそれぞれを個別に握って評価した時の結果であり、Fig. 5(b)は両手で一度に握って評価したときの結果である。Fig. 5(a)では、左手では約  $d = 35\text{mm}$  を右手では  $d = 30\text{mm}$  を最も握りやすく判断しており、やや左手の方が最適握り径  $d_0$  が小さい。ところが、両手で同じ太さの円筒を把握した場合には、Fig. 5(b)のように、やや右手で最適と判断した  $d_0 = 30\text{mm}$  に近い径を最も握りやすいと判断している。他の2名の被験者については最も握りやすいリム径には差があったものの、両手で握った場合の評価が左手よりも右手の値により近くなる傾向については一致していた。このことから、両手で握った場合には利き手である右手の判断の影響を強く受ける傾向があることがわかった。

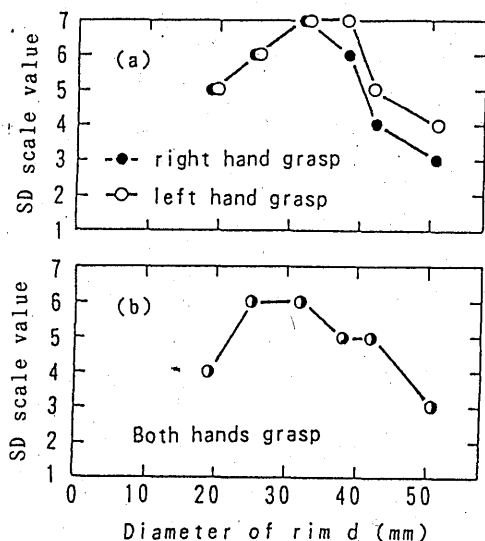


Fig. 5 Relationship between SD scale value and diameter of rim  $d$ . (a) right and left hands grasp, (b) both hands grasp.

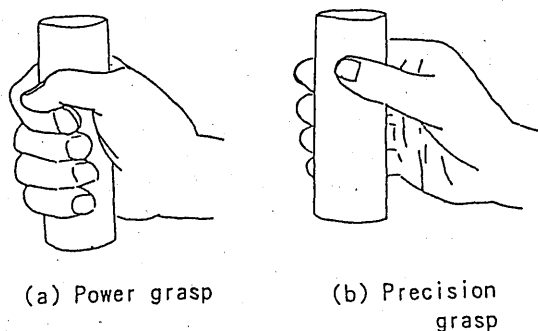


Fig. 6 Schematic illustrations of grasp. (a) power grasp, (b) precision grasp.

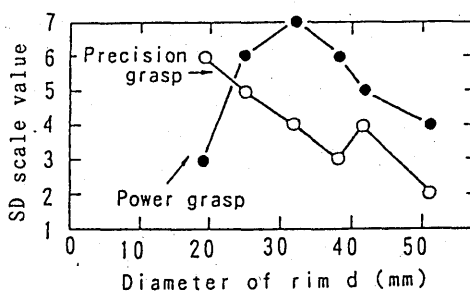


Fig. 7 Relationship between SD scale value and diameter of rim  $d$  on power grasp and precision grasp.

ところで、物体の把握する場合の仕方によって手と物体との接触部分が異なることが知られているが<sup>3)</sup>、このことから、握り方が握りやすさに影響することが考えられる。ここでFig. 6に示すパワー握り(今回の主な握り方)と精密握りについて、ハンドルの握りやすさを判断した結果がFig. 7である。この場合には25才のA被験者に対する、いずれも両手握りによる評価である。その結果黒丸のパワー握りでは30mm前後のリム径を握りやすいと評価しているが、精密握りでは径が細いほどより握りやすくなり、今回の実験で最も細い18mmのリム径を一番握りやすいと評価している。すなわち、パワー握りに比べて精密握りでははるかに細い18mm以下を最も握りやすいとしており、リム部の握り方が握りやすさを大きく左右していることがわかる。

上述のFig. 5およびFig. 7の実験は、ハンドル径  $D = 360\text{mm}$  の場合である。ハンドルの径の太さもリム部の握りやすさに何らかの影響を与える可能性がある。そこで、ハンドル径  $D$  のリム部の握りやすさに及ぼす影響を調べた結果がFig. 8である。ここでは結果をA, B, Cの3人

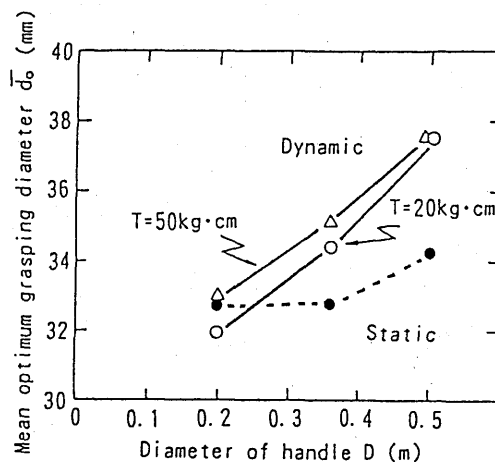


Fig. 8 Relationship between mean optimum grasping diameter of rim  $\bar{d}_0$  and diameter of handle  $D$ .

の被験者の平均値で示した。その結果、ハンドルを回転させないstaticな場合にはDが大きくなっても最適握り径 $\bar{d}$ はわずかしか大きくならないが、トルク $T=20\text{ kg}\cdot\text{cm}$ や $T=50\text{ kg}\cdot\text{cm}$ のdynamicな状態でハンドルを左右に回転させて評価した場合には、Dが大きいほど $\bar{d}$ が大きくなり、その依存性はstaticな場合に比べてより明瞭である。すなわち、ハンドルを動かす場合にはハンドル径が大きいほどリム径も大きい方がよく、このことは市販のハンドルとその傾向が一致している。

### 3.2 ハンドル回転時の力の伝達

Fig. 9に48才の被験者Bがハンドルを右方向に回転時の、テーブルの移動量 $\delta$ 、ハンドル・リム部の左右の握り力F、ハンドル車の左右のトルクTの変化を示す。また、Fig. 10はFig. 9と同じ条件でハンドルを左方向に回転させたときの結果である。実験は、①の点でリム部を握るよう指示し、数秒後の②の点でレコーダを見ながら目標位置まで、できるだけすみやかにハンドルを回転させるよう指示した。ただし、フライス盤であったため行き過ぎが生じないように注意させ、それでも行き過ぎが生じた場合には再実験を行った。また、この時のテーブルは $50\text{ kgf}\cdot\text{cm}$ のトルクで回転するように

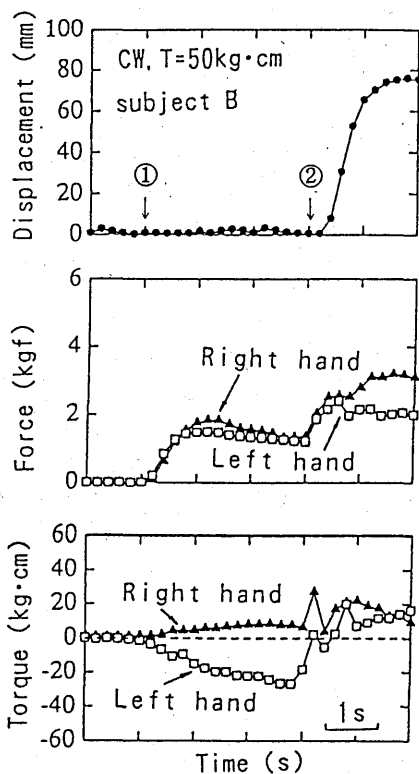


Fig. 9 Relationships between displacement, force, torque and time diagrams during grasping for subject B at CW,  $T=50\text{ kg}\cdot\text{cm}$ .

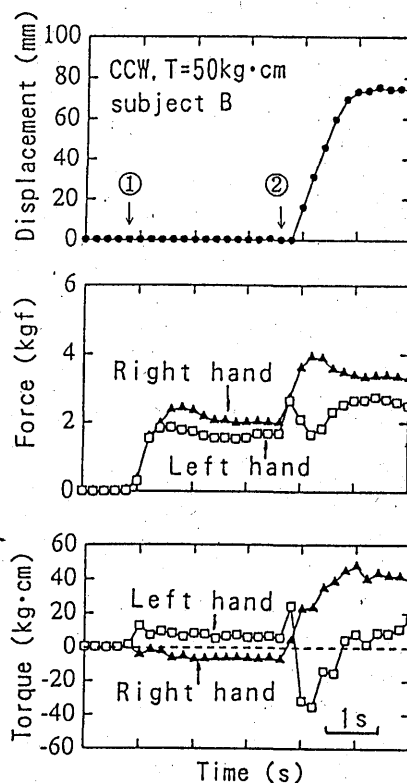


Fig. 10 Relationships between displacement, force, torque and time diagrams during grasping for subject B at CW,  $T=50\text{ kg}\cdot\text{cm}$ .

設定してある。

これらの結果、回転の指示が出された後、左右の手の握り力とトルクとがほぼ同時に増加し始めていることがわかる。また、テーブルの移動開始はこれら力やトルクの増加開始より1/6秒ほど遅れている。しかし、初期にはこのようなテーブル移動の遅れがあるが、その後テーブルの移動速度が増し、最大値に達した後減少を始め、1秒ほどでテーブルは目標値に到達している。テーブルの移動速度が最大になる近くで、左右の両方またはいずれか一方の手の握り力やトルクが極大値をとる傾向が認められる。これらの傾向は他の被験者の場合にもほぼ同様であった。以上の結果は、握り力が増加して、トルクが発生してからテーブルが移動したことを示している。

なお、Fig. 11およびFig. 12は $T=20\text{ kg}\cdot\text{cm}$ の場合の結果であるが、Fig. 9やFig. 10と同様の傾向が認められるが、トルクの値はかなり低くなっている。

### 3.3 左回転と右回転時のハンドル操作

Fig. 10およびFig. 12において、左回転の場合には、回転の指示を与えた後、最初左手によるトルクが生じ、ついで右手によるトルクが大きく増加している。一方



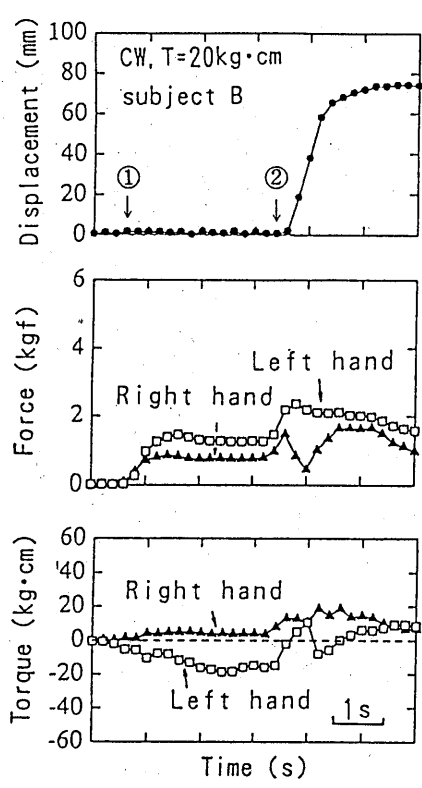


Fig.11 Relationships between displacement, force, torque and time diagrams during grasping for subject B at CW, T=20kg·cm.

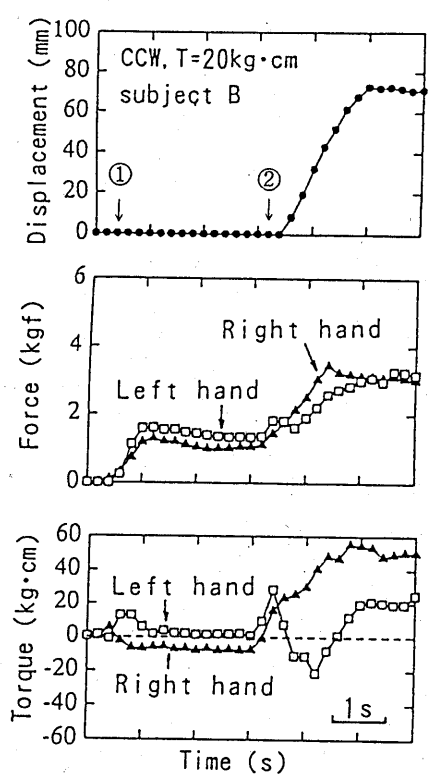


Fig.12 Relationships between displacement, force, torque and time diagrams during grasping for subject B at CCW, T=20kg·cm.

Fig. 9およびFig. 11の右回転においては、回転の指示後最初右手によるトルクが生じついで左手のトルクが増加している。

ハンドルを手で握った場合に手でリム部を握ることによって左右のトルクがそれぞれの側にかかる。そのため、Fig. 9～Fig. 12では握り力はいずれも正であるが、この時の手の重みによってトルクは左右でそれぞれ正負に分かれる。この状態で回転の指示が出されると、回転方向と一致した方向の手が先に対応して最初トルクを発生している。これに対して反対側の手は、これより少し遅れて、重力に逆らう形で反対側の手のトルクが加わっている。さらに、右回転であれ左回転であれ、ハンドルの回転全体を通じてのトルク発生の割合はいずれの場合にも右手側が左手側より大きかった。これは今回の被験者が右利きであったためと思われる。また、上記の傾向は、3名の被験者ともに共通しており、テーブルを移動するに要するトルクの傾きが大きいほどより著しくなった。

4. 結論

フライス盤による位置決め時のハンドルの操作について、手の感覚量とハンドルの握り力およびハンドル車のトルクとの関係を、右利きの被験者に対して解析し、以下の結果を得た。

- (1) 両手でハンドルを握った場合には、利き手である右手の判断の影響を強く受ける傾向が認められた。
- (2) ハンドル径が大きいほど最適握り径も大きくなるが、その傾向はハンドルを回転させない場合に比べてハンドルを回転させた場合の方が顕著であった。
- (3) ハンドルを手で握った場合、重力方向と回転方向とが一致した方向の手が先に対応して最初トルクを発生し、反対側の手はこれより少し遅れて、重力に逆らう形で反対側の手のトルクが加わることがわかった。また、ハンドルの回転全体を通じてのトルク発生の割合は利き手側が主であった。

最後に、本研究は平成8年度および平成9年度の文部省科学研究費（基盤研究(B)(2)、代表：八高隆雄、課題番号08455112、題目：工作機械の手動制御特性の感性による評価）によった。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 八高隆雄・山本圭治郎・小山昌洋, 兵頭和人: 機  
論, 円筒物体把握における握り易さの感性評価,  
96-602, C (1996), 3999-4004
- 2) 鎌倉矩子: 手のかたち手のうごき, 医歯薬出版,  
(1989), 10-15
- 3) 例えば、鍋屋工業(株)製品カタログMM-91.72-100

## フライス盤用ハンドルの大きさと使いやすさに対する感性評価

八高隆雄\*, 山本圭治郎\*\*, 堀 健一\*\*\*

Relationship Between the Handle Size of Milling Machine and the Sensory Evaluation for Handling

Takao YAKOU, Keijiro YAMAMOTO and Ken-ichi HORI

In order to clarify the functional mechanism of the hand, the relationship between the handle size of the milling machine and the comfort of the handle has been studied by sensory evaluation on eight students aged twenty-one to twenty-four years. It was found that the handles smaller than 150 mm diameter were operated with a right hand, but larger handles were operated with the both hands. Small handles under 100 mm diameter were operated with the right hand and larger handles over 200 mm diameter were operated with the both hands, and those were evaluated sensory as comfortable handles to operate. The time necessary to operate those handles was short. On the other hand, the handles of around 150 mm diameter were operated with the right hand or the both hands and were evaluated as uncomfortable handle to operate. Long time was necessary to operate these handles. The results were discussed from the point of view of the relationship between the size of arch of the hand, that of the handle and the contact area between the palm and the handle.

Keywords: Machine Handle, Handle Size, Handle Rim, Usability, Machine Operation, Sensory Evaluation, Manual Operation, Milling Machine

## 1. 緒 言

コンピュータによって制御された各種工作機械の出現やこれに伴う生産工場の無人化によって、人間と工作機械との関係は益々遠ざかりつつある。ところが多量に生産される工作機械の原型となるマザーマシン、新しく開発された工作機械および新しい材料の加工条件の設定等には熟練者のノウハウに頼らざるを得ない面が多い。すなわち、超高精度加工や特殊な被削材の使用などの分野では手動工作機械の需要は残り続けることが予測される。

一方、人間と物体との間の手を通しての接触は、触覚、圧覚、痛覚として人間に伝わり認識される。人間が把握動作をする場合にも、これらの因子が複合された「握りやすさ」として認識される。物体の握りやすさは物体の大きさに関係しており、成人ではほぼ35mm前後の円筒を握りやすいと評価する<sup>1)</sup>ことがわかっている。さらに、この径は手と円筒間で最も力を伝えやすく、手とのマッチングがよいこともわかってきた<sup>2)</sup>。

生産工場で使われている多くの機械は、ドイツ、フランス、イギリス等にその原型があり、主に西洋人の身体に合わせて設計されたものであり、作業者の操作性や作業疲労の面から、超高精度や特殊な材料の加工に利用される手動式の工作機械等については日本人の身体の大きさとの関係で見直す必要がある。

そこで本研究では、人間と工作機械とのマッチングの関係を扱う一連の研究の第一歩として、フライス盤のハンドルの大きさと使いやすさの関係を調べた。

## 2. 実験方法

実験にはハンドル操作時に回転軸部が操作の邪魔にならない、Fig. 1に示すような、朝顔型ハンドルを利用した。これらは市販のもので、用いたハンドルの径Dと握るリム部の径dはTable 1に示すように、D=80~280mm、d=14~26mmであった。これらのハンドルを市販のフライス盤に取り付けて操作することを想定し、しかも被験者が各ハンドル内で比較実験が可能ないように、ハンドル軸の取り付け中心高さが850mmの、Fig. 2に示すようなH1~H6のハンドルを備えた実験装置を作製した。ハンドル間は1つのハンドルを操作時に他のハンドルと手が接触しないように、それぞれのハンドルの外周間を50mm以上離れた。ハンドルは厚さ8mmの鋼板

原稿受付平成 年 月 日

\* 横浜国立大学工学部 (横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

\*\* 神奈川工科大学工学部

\*\*\* 横浜国立大学大学院生

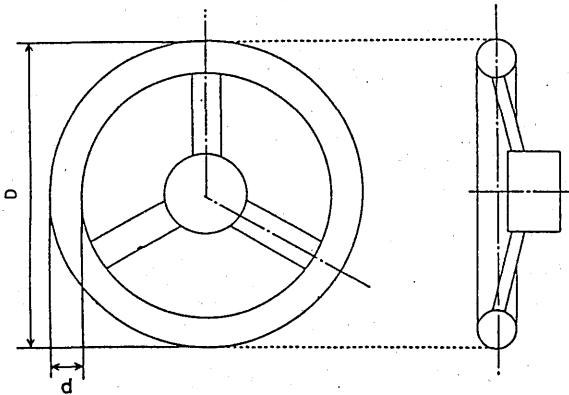


Fig. 1 Dimensions of the handle.

Table 1 Dimensions of the handles.

Handle No.	Rim diameter d(mm)	Handle diameter D(mm)
H1	14	80
H2	15	100
H3	17	140
H4	20	180
H5	24	224
H6	26	280

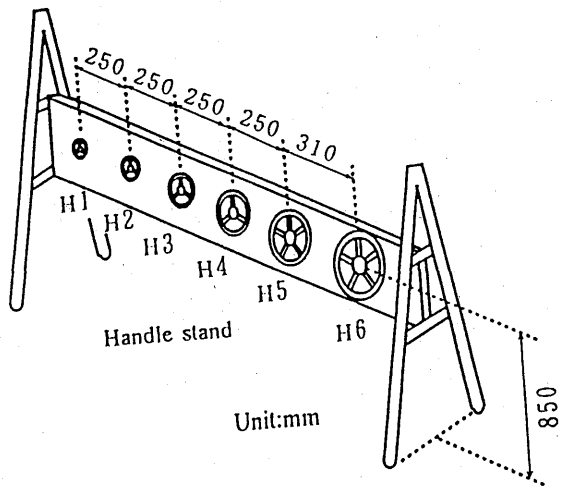


Fig. 2 Experimental set up.

に黄銅製のすべり軸受を介して取り付け、さらにバネ式の座金によって、回転軸のトルクを0.5~4.0 kg・cmまで調整できるようにした。実験にはA~Hまでの21才~24才までの右利きの8人の男子大学生を被験者とした。それら被験者の手のFig. 3に示す主な部分の寸法はTable 2のようであった。

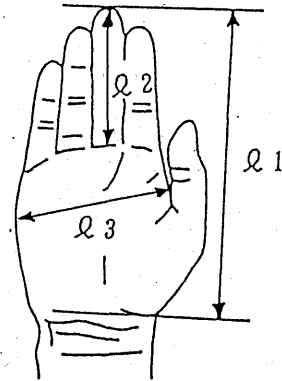


Fig. 3 Considered hand dimensions.

Table 2 Hand dimensions of 8 subjects.

Subject	Q 1 (mm)	Q 2 (mm)	Q 3 (mm)
A	188	83	85
B	198	83	92
C	192	86	91
D	183	78	84
E	190	76	85
F	192	86	95
G	176	79	86
H	178	77	92
Average value	187 ± 6%	81 ± 6%	89 ± 7%

実験は、フライス盤の操作時における最初の動作、すなわち主軸に工具を取り付けテーブル上の万力に被加工材を取り付け、テーブルを早送りして工具と被加工物を近づけることを想定した。そのため、10回のハンドルの回転を提示し、10回転目は行き過ぎないように指示した。この時の人間の動作、左右の手の関与、操作時間等を撮影したビデオ映像から解析した。また、実験直後に被験者に対してアンケート調査を行い、使いやすさをSD法によって評価した<sup>3)</sup>。それらは5：大変良い、4：良い、3：どちらでもない、2：悪い、1：大変悪いの5段階であった。

3. 結果および考察

3・1 ハンドル操作への手の関与の仕方 ハンドルを「ただ単に回すこと」を提示したときの、8人の被験者におけるハンドルH1~H6に対する左右の手の関与の状況をTable 3に示す。表中の最も多いタイプは、H1とH2のハンドルは片手で、これより大きいH3~H6は両手で握るもので、回転方向は全員が右回りであった。表

では片手でハンドルを操作した場合を白丸，両手で操作した場合を黒丸で示した。表中の(a)~(c)は小さい径のハンドルからより大きい径のハンドルの順に，(d)~(f)はその逆の順に実験を行った場合の結果である。

これらの結果から，操作の順序に関係なく，最も小さいハンドルH1はすべての被験者が片手で操作し，H2のハンドルは約80%の被験者が片手で，残り20%が両

手で操作した。さらに，H3のハンドルは20%程度が片手で残りのほとんどが両手で操作し，H4~H6はすべての被験者が両手で操作した。すなわち，ほとんどの被験者はH1およびH2の直径100mmまでの大きさのハンドルは片手で，直径140mm以上の大きさのハンドルは両手で操作している。

Table 3 Grasping types of the rim of the handles for 8 subjects.

smallest to larger handle

T=1.0 (N·m)

Subject	H1	H2	H3	H4	H5	H6
A	○	○	●	●	●	●
B	○	○	●	●	●	●
C	○	○	●	●	●	●
D	○	○	●	●	●	●
E	○	○	○	●	●	●
F	○	○	○	●	●	●
G	○	○	○	●	●	●
H	○	○	○	●	●	●

T=2.0 (N·m)

Subject	H1	H2	H3	H4	H5	H6
A	○	○	●	●	●	●
B	○	○	○	●	●	●
C	○	○	○	●	●	●
D	○	○	○	●	●	●
E	○	○	○	○	●	●
F	○	○	○	○	●	●
G	○	○	○	○	●	●
H	○	○	○	○	●	●

T=3.0 (N·m)

Subject	H1	H2	H3	H4	H5	H6
A	○	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	○	○
C	○	○	○	○	○	○
D	○	○	○	○	○	○
E	○	○	○	○	○	○
F	○	○	○	○	○	○
G	○	○	○	○	○	○
H	○	○	○	○	○	○

largest to smaller handle

T=1.0 (N·m)

Subject	H1	H2	H3	H4	H5	H6
A	○	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	○	○
C	○	○	○	○	○	○
D	○	○	○	○	○	○
E	○	○	○	○	○	○
F	○	○	○	○	○	○
G	○	○	○	○	○	○
H	○	○	○	○	○	○

T=2.0 (N·m)

Subject	H1	H2	H3	H4	H5	H6
A	○	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	○	○
C	○	○	○	○	○	○
D	○	○	○	○	○	○
E	○	○	○	○	○	○
F	○	○	○	○	○	○
G	○	○	○	○	○	○
H	○	○	○	○	○	○

T=3.0 (N·m)

Subject	H1	H2	H3	H4	H5	H6
A	○	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	○	○
C	○	○	○	○	○	○
D	○	○	○	○	○	○
E	○	○	○	○	○	○
F	○	○	○	○	○	○
G	○	○	○	○	○	○
H	○	○	○	○	○	○

○ : one hand grasping

● : both hands grasping

3・2 ハンドルの大きさと操作のしやすさ Fig. 4は，直径100mmまでのハンドルは片手で，140mm以上のハンドルは両手で操作した被験者Eに対する結果である。図の縦軸は，かなり操作しやすい：5，操作しやすい：4，どちらでもない：3，操作しにくい：2，かなり操作しにくい：1と評価したときのSD評価値である。またFig. 4の(a)~(c)は小さい径のハンドルから大きい径のハンドルの順に，(d)~(e)はその逆の順序で評価した場合の結果である。いずれの手順およびいずれのトルクの場合にも，SD評価値はハンドルH1~H3まではハンドル径が大きくなるに従って減少し，その後ハンドルH3~H6にかけて増加している。すなわちこの被験者は150mm前後の大きさのハンドルを操作しにくいと評価し，ハンドル径が100mm以下の小さくなるに従って，又は250mm以上の大きくなるに従ってより操作しやすいと評価している。

次にハンドルの操作しやすさに対する被験者全員の傾向を調べるため，8人の被験者全員の評価値の平均値とばらつきをFig. 5に示す。この中には大きなハンドル

から小さなハンドルへと操作した場合とその逆の場合の結果も含めた。全員の平均値はFig. 3の被験者の場合と同様，ハンドルH3のD=140mmまでは減少するが，その後Dが大きくなるに従って増加する傾向が認められる。したがって，成人の場合には100mm以下の小さいハンドルは片手で操作し，200mm以上の大きいハンドルは両手で操作し，いずれの場合にも操作しやすいと判断していることがわかる。また，150mm前後のハンドルは片手または両手で操作し，最も操作しにくいと判断していることもわかる。

3・3 ハンドルの大きさと操作時間

Fig. 6は，被験者Eに対して，ハンドルを10回転したときに要した時間とハンドル径との関係である。トルクの大きさおよび操作の手順によって多少傾向が異なるが，全体として，片手で操作した100mm以下のハンドルでは明確な傾向が判断できないが，D=140mm以上のハンドルを両手で操作した場合にはDが大きいほど操作時間が短くなる傾向が認められる。ところが，8人全員の

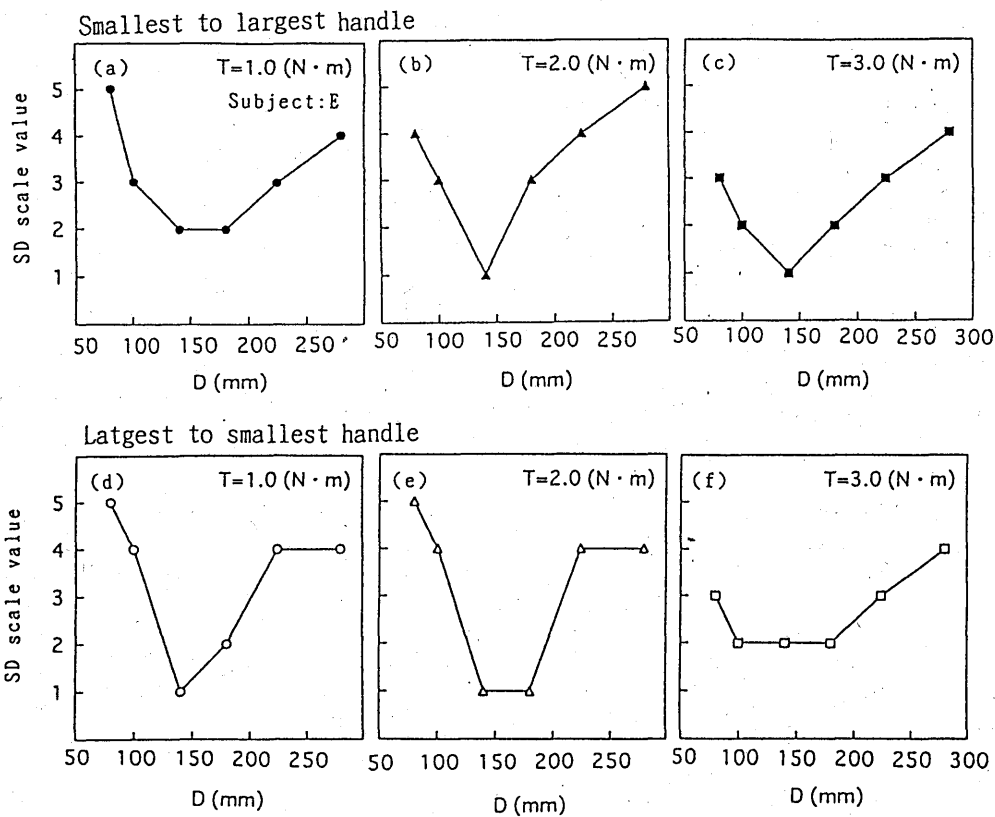


Fig. 4 Relationship between SD scale value and handle diameter D for the subject E.

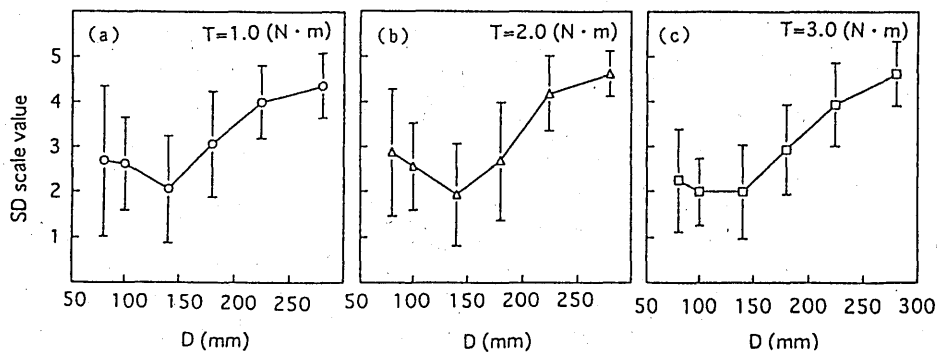


Fig. 5 Relationship between SD scale value and handle diameter for all subjects.

結果を統合したFig.7では、傾向がより明瞭となる。すなわち、いずれのトルクの場合にも、片手で操作した100mm以下のハンドルではDが大きいくほど操作時間が短くなり、D=140mm以上のハンドルではDが大きいくほど操作時間が短くなっている。この原因は、同じトルクの下で操作しても、ハンドル径が大きくなるに従って手が出す力は少なくて済むため、短時間で操作できたものと思われる。また、操作しにくいと判断した150mm前後のハンドルで最も長い操作時間を要している。したがって、操作し易さの評価と操作時間とは密接に関係しあっており、D=150mm前後のハンドルは操作し

にくくしかも操作時間も長くなることを示している。

### 3・4 ハンドルの操作しやすさを決めている因子

ハンドルがD=150mm前後の時に最も操作しにくく、それより小さい場合には片手で操作しやすく評価し、それより大きい場合には両手で操作しやすくと評価した。そこで以下ではこのことの原因について考察する。

Fig.8はビデオ画像からハンドル操作時の様子を写し取った図である。一番小さいII1のハンドルは片手で深く握っている。ところがそれより大きいII2のハンドルはより手を開いた状態で握っている。さらに大きいハン

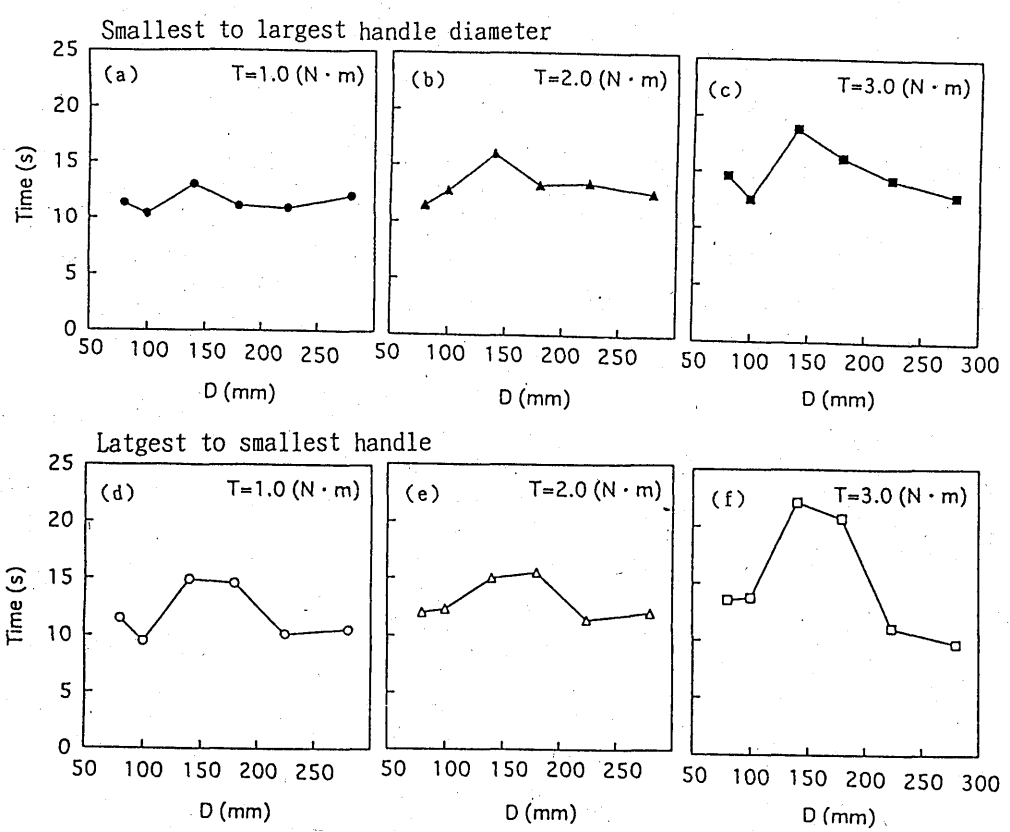


Fig. 6 Relationship between time required to 10 rotations and handle diameter D for the subject E.

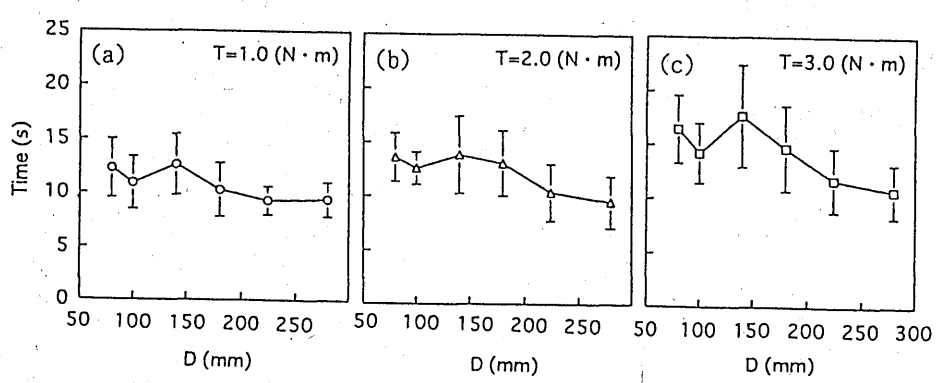


Fig. 7 Relationship between time required to 10 rotations and handle diameter D for all subjects.

ドルH3は両手で操作し、両手はかなり近い状態にある。また手の関与は指の部分が主である。ハンドルがさらに大きくなったハンドルH4~H6ではリム部の把握には両手の間隔はさらに開き、手指ばかりでなく手の掌も関与している。これらの操作時の手とハンドルとの接触状態を墨で写し取った写真がFig. 9である。これによれば、墨が多く手に付いているように見えるのは、ハンドルH1の右手およびハンドルH5やH6の両手である。そこでこの接触部分を定量化するため墨の黒い部分の面積を求めた。その結果がFig. 10である。ここでは

墨の付いた部分の面積  $A_i$  を手全体の面積  $A_t$  に対して規格化した値  $A_i / A_t$  で示した。なお、片手で操作した場合の分母は片手の面積とした。その結果、Fig. 10では  $d = 150\text{mm}$  前後では小さく、そこから遠ざかるほどその前後で値が大きくなっている。接触面積が大きい場合には、Fig. 9の写真からもわかるように、手の掌も一部接触している。物体の把握には、手の掌のアーチと円筒がより適切に収まることが必要であると言われている<sup>4)</sup>。従って、手のアーチに収まりやすい状態で操作できるハンドルほど、手への負担が少なく操作

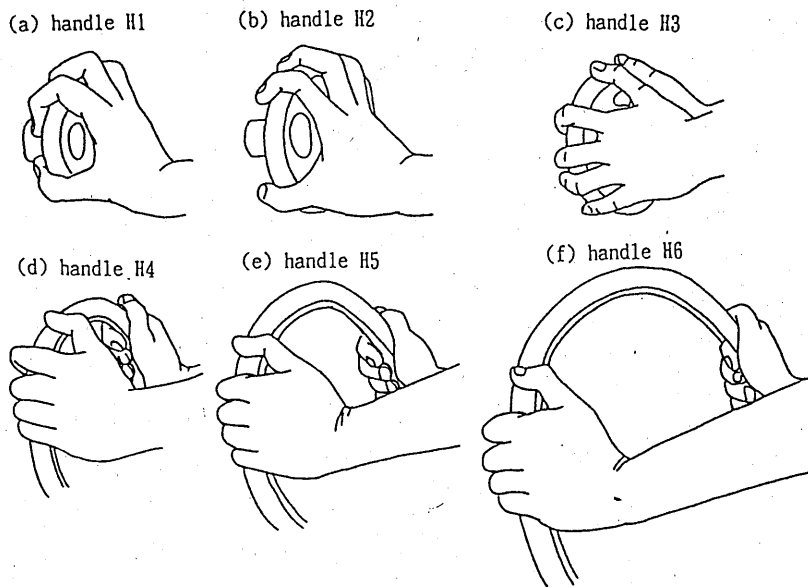


Fig. 8 Grasping methods of handles.

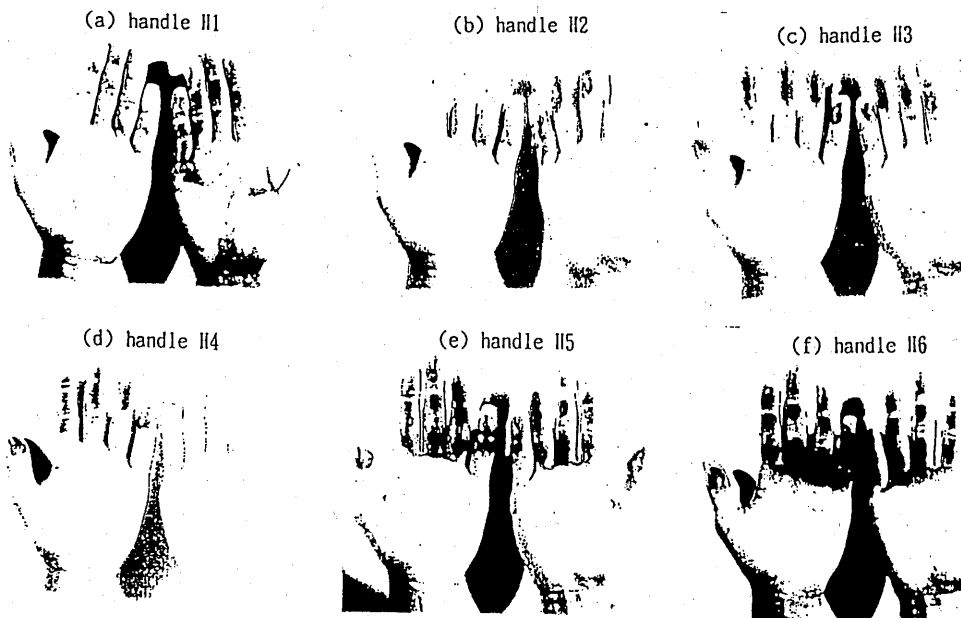


Fig. 9 Contact patterns of hands during grasping.

性がよいものと判断され、この時に操作時間も短くなったものと思われる。

ところで、全てのハンドルを片手および両手で強制的に操作した場合の結果をFig. 11およびFig. 12に示す。Fig. 11のSD評価値は、黒丸が片手で、白丸が両手で操作した場合の結果である。黒丸の片手で全てのハンドルを操作すると  $d = 140\text{mm}$  までSD値が低下し、その後一定値を示している。一方両手の白丸の両手で操作した場合のSD値はDが大きいくほど増している。被験者はこの黒丸と白丸のより大きい値の、丁度実線で示したよう

な暗黙の操作を行っていたことになる。すなわち、片手と両手のより操作性の良い方を判断して実行していたことがわかる。Fig. 12は10回の回転に用いた操作時の時間  $t$  とハンドル径  $d$  の関係である。操作時間の場合も、片手と両手のより短い時間で操作できる条件が選択されていたことがわかる。

#### 4. ま と め

人間と工作機械との関係を調べる一連の研究として、フライス盤のハンドルの大きさと使いやすさの関係を、



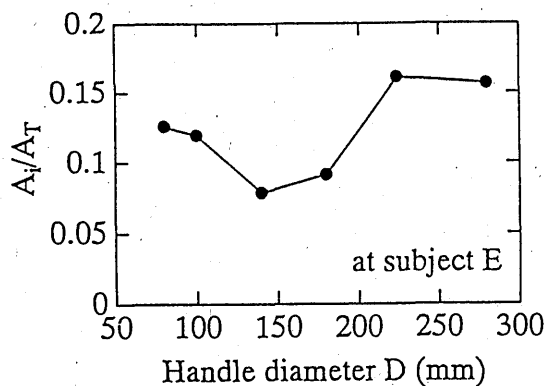


Fig. 10 Relationship between relative contact area  $A_i/A_t$  and handle diameter D.

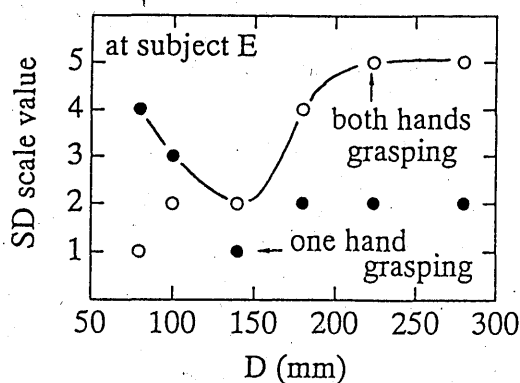


Fig. 11 Relationship between SD scale value and handle diameter D.

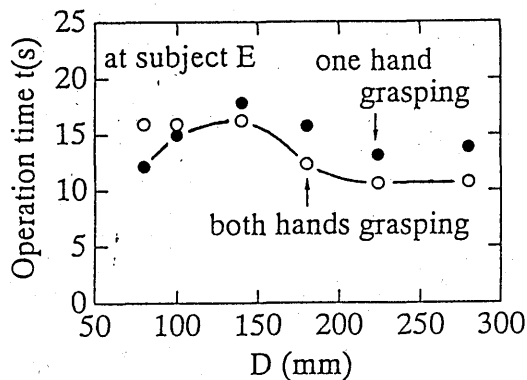


Fig. 12 Relationship between operation time t required to 10 rotations and handle diameter D.

21才~24才までの右利きの8人の男子大学生を被験者とし調べ、以下の結果を得た。

1. 直径150mmのハンドルを境に、これより小さい径のハンドルは片手で操作し、これより大きい径のハンドルは両手で操作する傾向が認められた。
2. 直径100mm以下のハンドルも、直径200mm以上のハンドルも共に操作しやすいと判断され、直径150mm前後のハンドルは片手または両手で操作し、最も操作しにくいと判断された。
3. 操作しやすい大きさのハンドルは所定の操作を行う時間も短く、操作しにくいと判断した150mm前後のハンドルでは最も長い操作時間を要した。
4. 操作時に手の掌とハンドルリム部との接触が多く、手のアーチに物体がより適切に収まった場合に、手への負担が少なく操作性がよいと判断されるものと思われる。

最後に、本研究は平成8年度および平成9年度の文部省科学研究費(基盤研究(B)(2)、代表:八高隆雄、課題番号08455112、題目:工作機械の手動制御特性の感性による評価)によった。記して謝意を表する。

参考文献

- (1) 八高隆雄・荒川 進・高田 一: 機論, 手一円筒物体間の力の伝達, 60-573, C(1994), 1721-1726
- (2) 八高隆雄・山本圭治郎・小山昌洋・兵頭和人: 機論, 円筒物体把握における握りやすさの感性評価, 96-602, C(1996-10), 3999-4004
- (3) 岩下豊彦, SD法によるイメージの測定, (1983), 43-130, 川島書店
- (4) Kapandji, I. A. (萩原秀雄・嶋田智明訳), カパンディ関節の生理学 I, 上肢, (1986), 170-171, 医歯薬出版社

上げ手握り時の握りやすさの重さ依存性と手のひらのアーチとの関連

八高 隆雄\*, 山本 圭治郎\*\*, 堀 健一\*\*\*

Relationship Between the Arch of Hand and the Sensory Evaluation of the Grasping with Lifting Hand

Takao YAKOU, Keijiro YAMAMOTO and Ken-ichi HORI

The optimum grasping diameter of the lifting hand was approximately 35 mm at no weighted condition, the diameter increase with increasing the lifting weight of pipes., then saturated about 40 mm at 30 N. It was found that the arches formed by a palm- fore fingers exsept for a thumb was more closely connected with the optimum grasping diameter than the arches formed by a thumb-a forefinger. From these results, in view of the arch formation, the grasping mechanism with lifting hand and it's weight dependence was discussed.

Keywords: Grasping, Lifting Hand, Optimum Grasping Diameter, Arch, Sensory Evaluation

1. はじめに

手で物体を把握する時の手-物体間の力の伝達には、最も大きな力を伝達する径が存在し<sup>1)2)</sup>、それは人間が主観的に持ちやすいと感ずる太さに近いことがわかってきた<sup>2)</sup>。この径は物体重さが重くなると太くなったり<sup>3)4)</sup>、持つ状態によって重さ依存性が複数に変化したり<sup>5)</sup>する。持ちやすさの物体重さ依存性は、物体を保持した状態の安定性とも関連しており、保持手は手首の回転が、下げ手は重さが増すに従って手のひらから指の移動が生じ安定した把握が得られやすい。これに対して上げ手握りは握り方が一つに定まり安定性が高もっとも高い握りであろう。

一方、人間が円筒物体に触れて把握し、感覚的に握りやすいと感ずる時の手が物体と触れることによって決まることから、人間の手のひらに形成されるアーチ<sup>6)</sup>に物体が納まるか否かをその原因として考えてきた<sup>2)</sup>。このように、物体の把握や手の機能に手のアーチが重要であることが指摘されながら<sup>7)</sup>、アーチの大きさを系統的に調べた報告はほとんどない。

そこで本研究では、手のひらのアーチと物体把握の関係を明らかにするため、成人男性を被験者として手のアーチを測定するとともに、上わ手握り時の握りやすさに対する物体荷重依存性を手のアーチとの関係で

調べた結果を報告する。

2. 実験方法

手のアーチの中で物体の把握と関連しているのは、母指と人指し指のアーチ、および手のひらと母指を除

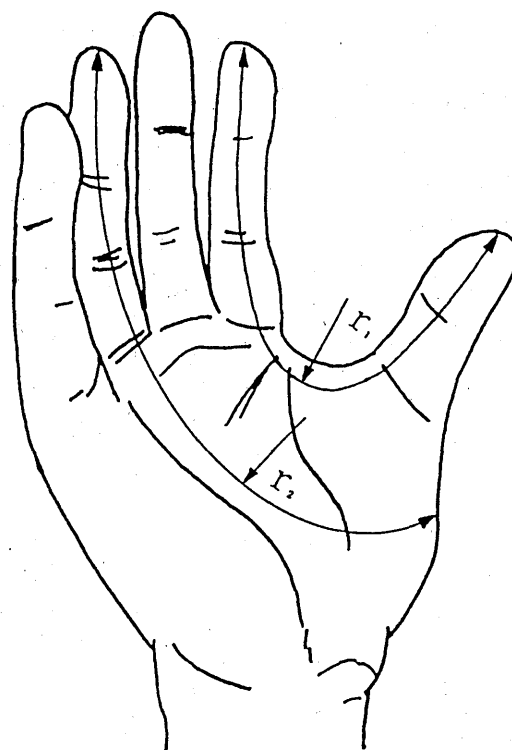


Fig.1 The arches r1 and r2 formed on the hand.

原稿受付平成 年 月 日

\* 横浜国立大学工学部 (横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

\*\* 神奈川工科大学工学部

\*\*\* 横浜国立大学大学院生

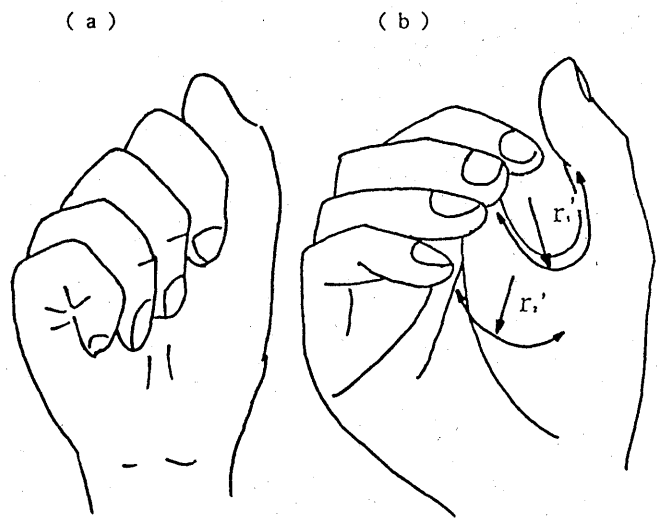


Fig. 2 The arches related to the grasping,  $r_1'$  and  $r_2'$

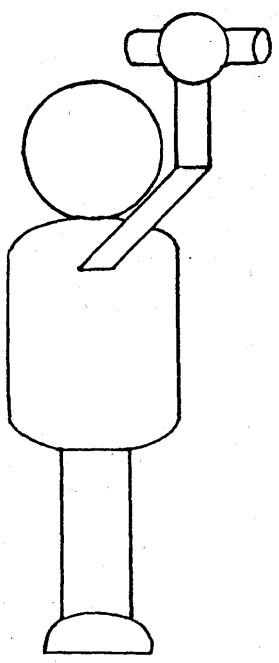


Fig. 3 Experimental conditions of the grasping with lifting hand.

し残り4本指との間に形成される2つのアーチである<sup>6)</sup>。そこで、Fig. 1に示すように、それらのアーチの半径を  $r_1$  及び  $r_2$  として、この値を求めた。その後実験を進めるうちに、直接物体と接触する状態は手を握り (Fig. 2(a)), その状態から第一関節と第二関節を開いた状態 Fig. 2(b) の場合のアーチ  $r_1'$  と  $r_2'$  がより明

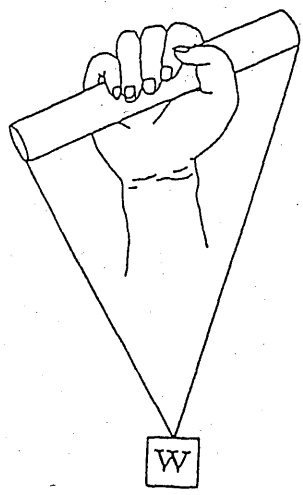


Fig. 4 The hanging the weight.

確になってきた。そこで、 $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_1'$ ,  $r_2'$  の4種のアーチを測定した。アーチの測定には、半径7.5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20, 22.5, 25, 27.5, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 100, 150, 200, 600, 1000の半球を作製し、この球に薄く墨を塗り、手を自然な状態で軽く押しつけたときの、手への墨の付き方を求めた。評価実験は20~24才までの4人の被験者に対し、Fig. 3に示す上げ手握りにおいて物体の握りやすさを調べた。握り方の詳細をFig. 4に示すが、円筒はアクリルパイプを用い、用いたパイプの径は15mmから50mmまでの5mm間隔であった。この時の握りやすさはSD法を用いて、非常によい: +3, 良い: +2, やや良い: +1, どちらでもない: 0, やや悪い: -1, 悪い: -2, 非常に悪い: -3の7段階で評価した。パイプの重さを変化させるためには、重さ  $W = 0$  N の場合には治具でパイプを保持した状態で、荷重を加える場合にはパイプに通した治具に重りを下げることによって与えた。パイプに加えた重りが70N以上では手の感覚がマヒして評価実験がにぶるため、これ以上の実験は行わなかった。

3. 結果および考察

3. 1 上げ手握りに対する握りやすさの荷重依存性  
 Fig. 5は上げ手握りで、各パイプに重さ  $W$  を加えて把握した場合の被験者Aの握りやすさの評価値である。縦軸がSD評価値、横軸がパイプの大きさである。ここで実験は先入観が入らないように、前もって全てのパイプを一通り握り、手と物体とをなじませてから実

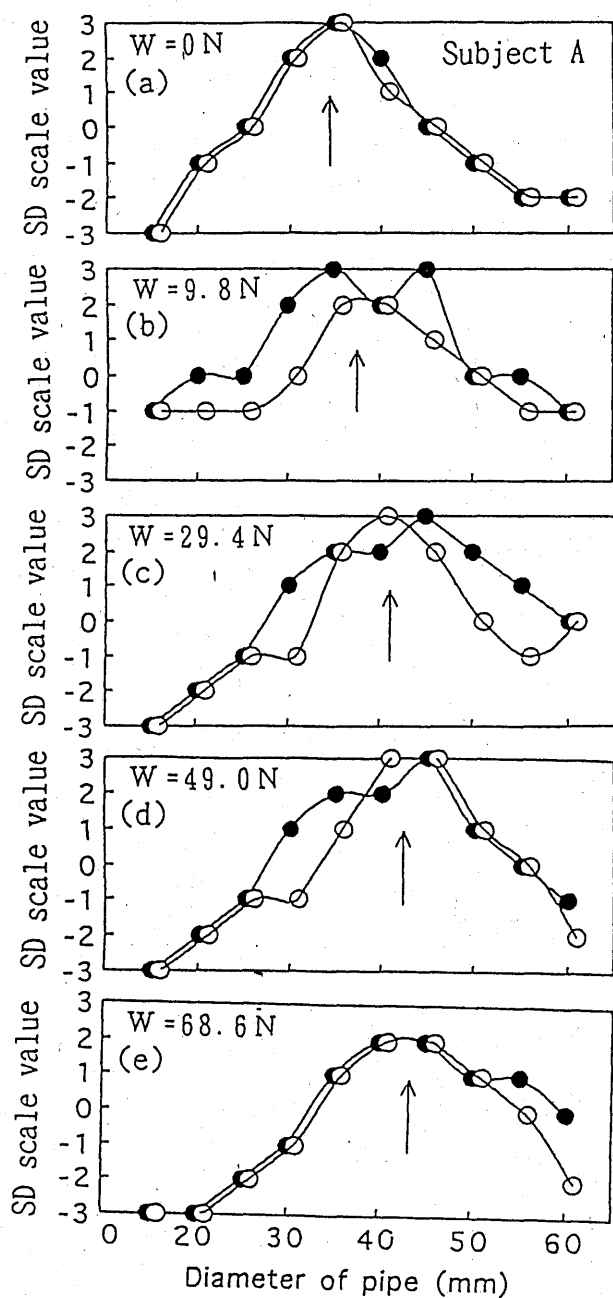


Fig.5 Sensory evaluation of the grasp feeling at the grasping with lifting hand.

パイプを一通り握り、手と物体とをなじませてから実験を行った。その結果、Fig.5中の黒丸で示すように、荷重0でパイプを把握した場合、直径15mmから円筒が太くなるに従って握りやすくなり、ちょうど直径35mmのパイプのときに非常に握りやすい+3と評価し、さらにパイプが太くなると再び評価が下がっている。逆に太いパイプ径から細いパイプ径へ評価実験を行った場合にも、Fig.5中の白丸で示すように多少ずれるがほぼ同じような傾向を示している。Fig.5中に

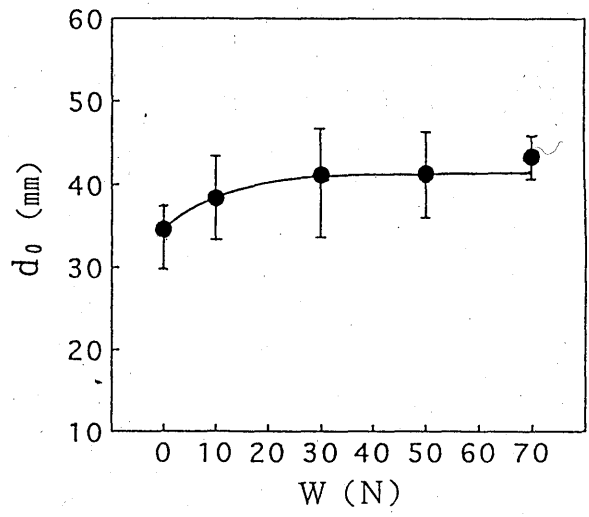


Fig.6 Effect of load on sensory evaluation at grasping with lifting hand.

は、この時の最適握り径の値を矢印で示した。矢印はパイプに負荷した重さを増すに従ってより太い値の方へずれている。

Fig.6は、上記の方法で求めた最適握り径  $d_0$  と荷重との関係を4人被験者に対して求めた平均値である。その結果、 $W$ が増すに従って  $d_0$  も大きくなり、やがて荷重が  $W = 30\text{ N}$  ぐらいから飽和する傾向を示している。従って上げ手握りでは物体が重くなるほど太い径を握りやすいと感じ、その握りやすい重さは  $30\text{ N}$  以上ではほぼ一定になることがわかる。

3. 2 手のアーチの測定

Table1に被験者Bが種々の墨を塗った半球に手を軽く押しつけた時の結果の一例を示す。表ではアーチに完全に墨が付いた時を○、手のひらに連続して墨が付

Table 1 The arches on the hand for subject B.

unit:mm

a	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	35
r <sub>1</sub>	×	×	×	△	△	○	○	○	○	○	△
r <sub>2</sub>	×	×	×	×	×	×	×	×	△	△	△
a	40	45	50	60	70	80	100	150	200	600	1000
r <sub>1</sub>	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
r <sub>2</sub>	○	○	○	△	△	×	×	×	×	×	×

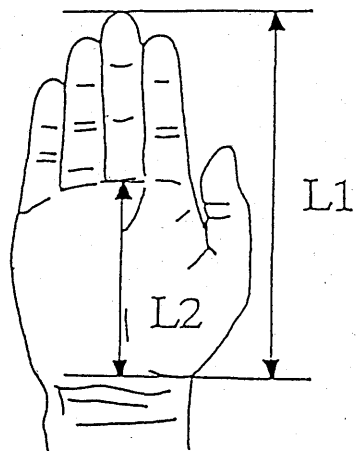


Fig.7 Hand dimension determined.

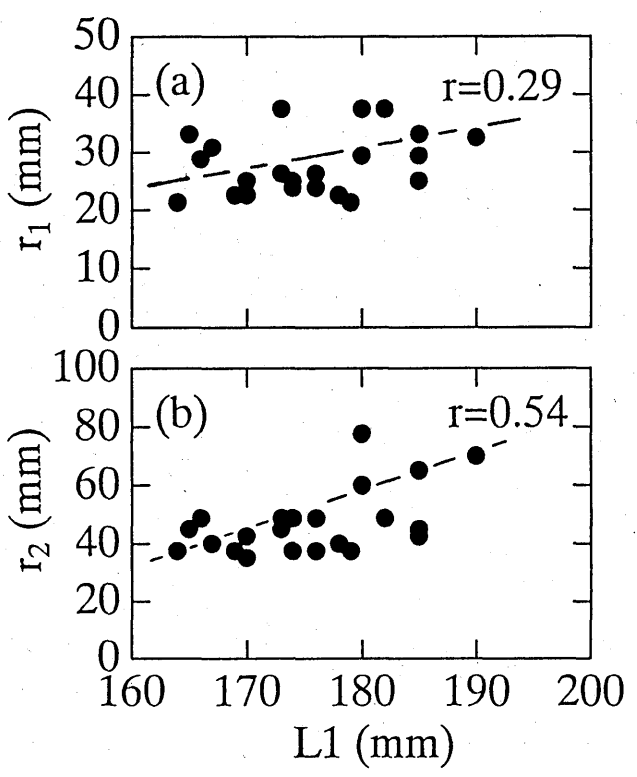


Fig.8 Relationship between the arch and the hand length L1;(a) and (b) are  $r_1$  and  $r_2$ , respectively.

いているが一部欠ける時を△，墨が途切れ途切れでアーチが未完成の時を×で示した。 $r_1$ は20~30mm， $r_2$ は40~50mmでそれぞれのアーチ部に完全に墨が付いていることがわかる。このような実験を $r_1'$ および $r_2'$ を含めて，20人の被験者について行い，その平均

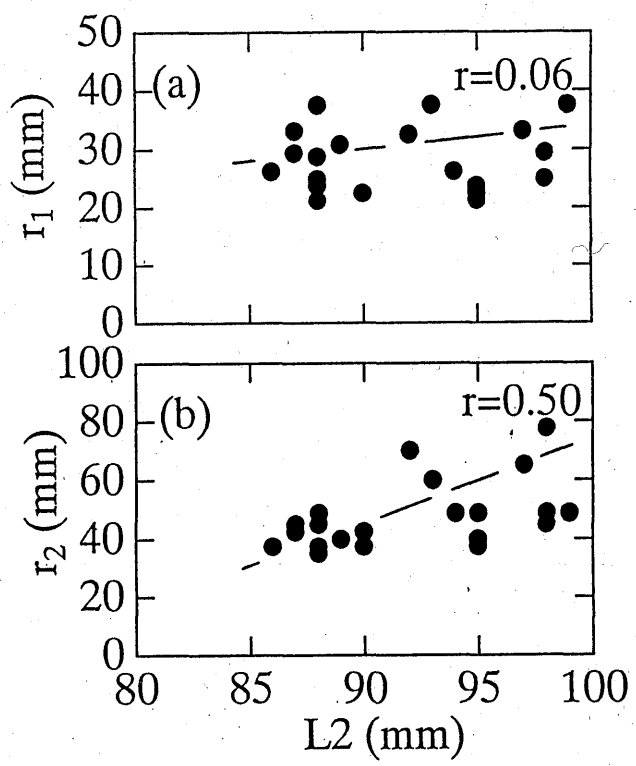


Fig.9 Relationship between the arch and the hand length L2;(a) and (b) are  $r_1$  and  $r_2$ , respectively.

値を求め，手の大きさとの関係で整理した。手の大きさを表す因子としては，物体の把握においては手の大きさを示すどの因子もそれぞれ同様の依存性を示したことから<sup>2)</sup>，ここでは代表的な手の大きさ因子として，Fig.7に示す手の長さL1と手のひらの大きさL2を用いた。Fig.8~Fig.11に手の大きさ因子L1およびL2とアーチ $r_1$ ， $r_1'$ ， $r_2$ および $r_2'$ それぞれの関係を示す。これによると，アーチ $r_1$ や $r_1'$ は手の大きさ因子L1やL2との相関係数がかなり小さく，その依存性も小さい。しかし，アーチ $r_2$ や $r_2'$ ，またはL1に対してもL2に対しても，0.5以上の相関を持ち，その依存性も大きい。また大きさの範囲も $r_1$ は20mmから40mmであるのに対して $r_2$ は30mmから80mmと，また $r_1'$ は10mmから20mmであるのに対して $r_2'$ は10mmから25mmと $r_2$ および $r_2'$ 因子の方が大きい。さらに $r_1$ や $r_2$ に比べて $r_1'$ や $r_2'$ の方がデータのばらつきも小さい。このことから，手のひらと母指を除く残り4本指とによって形成されるアーチと手の大きさと密接に関連しあっているが，母指と人指し指とのアーチは手の大きさとほとんど結びつかないことがわかる。

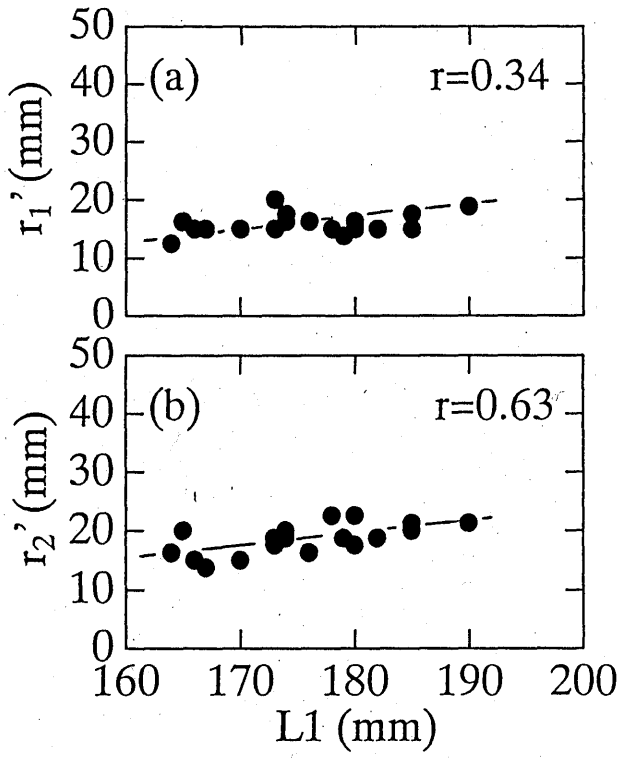


Fig.10 Relationship between the arch and the hand length L1;(a) and (b) are  $r_1'$  and  $r_2'$ , respectively.

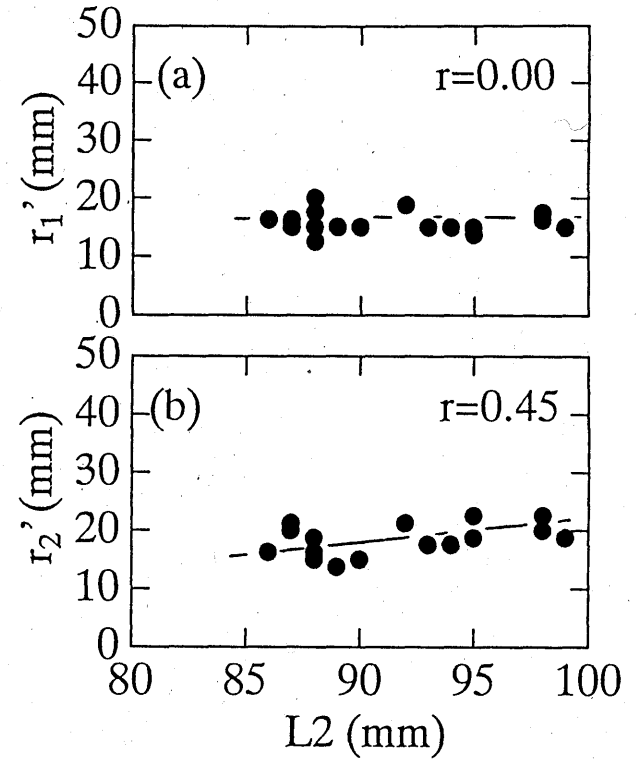


Fig.11 Relationship between the arch and the hand length L2;(a) and (b) are  $r_1'$  and  $r_2'$ , respectively.

3. 3 上げ手握りの握りやすさとアーチとの関係

Fig.12は上げ手握り時の、それぞれの荷重における最適握りやすさ  $d_0$  におけるパイプと手との接触関係を調べたものである。パイプに薄く墨を塗り、手への墨の付き方を調べたもので、接触部が黒くなっている。  $W = 0\text{ N}$  の場合、この被験者は  $d_0 = 35\text{ mm}$  であったが、墨は指よりの手のひらの一部分と母指以外の各指に付着しているこの墨の付着部分には手のアーチ  $r_1$  および  $r_2$  が存在していることから、この場合の把握には  $r_1$  と  $r_2$  とが深く関わっているものと思われる。さらに、  $W$  が  $30\text{ N}$ 、  $70\text{ N}$  となると、手全体への墨の付着量が増し、指よりも手のひらへの墨の付着が多くなる。したがってこの場合にもこのことは上げ手握りには  $r_1$  と  $r_2$  の両者が関与しており、物体の重さが増すに従って  $r_2$  の関与がより強くなるものと思われる。手のアーチ  $r_1$  や  $r_2$  は直径にすると  $70\text{ mm}$  から  $80\text{ mm}$  となり、  $d_0$  の値に比べて倍以上大きい。ところが Fig. 3 の状態での  $r_1'$  は  $35\text{ mm}$  前後で  $r_2'$  は  $40\text{ mm}$  前後で  $d_0$  の値とほぼ一致している。このことから、 Fig. 4 で  $W$  が増すに従って  $d_0$  が大きくなり、やがて  $d_0 = 45\text{ mm}$  で飽和する

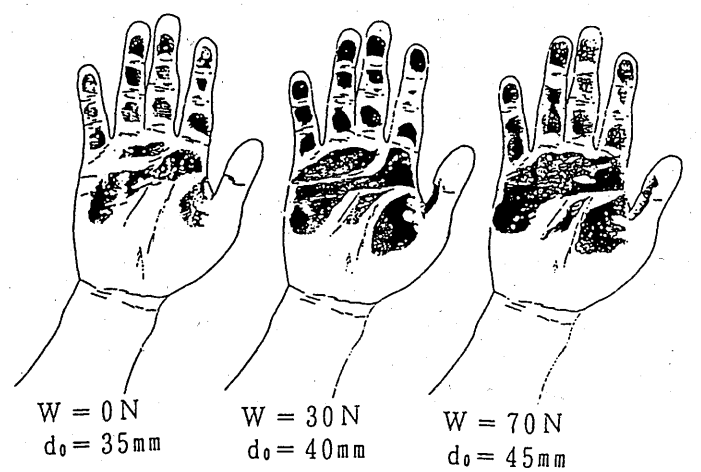


Fig.12 Contact area of hand with pipe at grasping with lifting hand for various load.

傾向にあったが、ここで手のアーチの  $r_1'$  と  $r_2'$  とを比較すると  $r_2'$  の方が大きいことから、物体の重さ

を比較すると  $r_2'$  の方が大きいことから、物体の重さが増すに従って  $r_1'$  のアーチからそれより大きい  $r_2'$  のアーチの寄与が大きくなったことが、上げ手握り時の握りやすさの重さ依存性の原因であろう。このようになることによって、物体の重さが手のより広い部分で保持され手への物体の重さの集中がより分散される結果、握りやすさを感じるものと思われる。

4. 結論

円筒物体を上げ手握りした場合の感覚的な握りやすさと手のひらに形成されるアーチとの関係について、上げ手握りについては4人の被験者、アーチの測定については21才～24才までの成人男性20人に対して調べた。その結果以下の結論を得た。

1. 上げ手握り時の負荷を与えない状態での最も握りやすい円筒径は35mm前後であり、円筒の重さが増すに従ってその値は大きくなり、30Nで約40mm前後となり、その後重さを増しても変化しなくなった。
2. 手のアーチは母指-人指し指間に形成されるアーチは手の大きさにはほとんど依存しないが、手のひら-母指以外の4本指間のアーチには密接な相関が認められた。さらにこの傾向は指の第一関節を曲げた状態で形成されるアーチについても同様であった。
3. 荷重が増すに従って、母指-人指し指間のアーチの関与は徐々に小さくなり、手のひら-母指以外の4本指間のアーチの関与が大きくなり、これは指の第一関節を曲げた状態で形成されるアーチ

とほぼ同じことから、荷重が増すに従って第一関節を曲げた状態の手のひらのくぼみに物体が落ち込み、くぼみ部分の大きさの影響を受けるようになることがわかった。

最後に、本研究は平成8年度および平成9年度の文部省科学研究費(基盤研究(B)(2)、代表:八高隆雄、課題番号08455112、題目:工作機械の手動制御特性の感性による評価)によった。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 八高隆雄・荒川 進・高田 一: 機論, 手-円筒物体間の力の伝達, 60-573, C(1994), 1721-1726
- 2) 八高隆雄・山本圭治郎・小山昌洋, 兵頭和人: 機論, 円筒物体把握における握り易さの感性評価, 96-602, C(1996), 3999-4004
- 3) 渡辺みよ子・砂田孝子・岡田幸子・水野洋子・北村 君: さげ手に関する人間工学的研究(II), 日本家政学会誌, 16-3, (1965), 44-47
- 4) 山本 仁・高野 剛・植木一範・安念良訓・原利明: 握り動作の感性解析, 第73期全国大会機講論, (1995-9), 70-71
- 5) 八高隆雄・山本圭治郎・高橋勝美・兵頭和人・伊藤尚功: 握り易さの感性評価と姿勢との関係, 第73期全国大会機講論, (1995-9), 72-76
- 6) Kapandji, I.A. (萩原秀雄・嶋田智明訳), カパンディ関節の生理学I, 上肢, (1986), 170-171, 医歯薬出版社
- 7) 鎌倉矩子: 手のかたち手のうごき, 医歯薬出版, (1989), 10-15

# 横フライス盤操作時のハンドルに加わる 物理量と手の感性評価

Physical and Sensory Evaluation during Vertical Milling Machine Operation

○正 八高隆雄（横浜国大），正 山本圭次郎（神奈川工科大），  
学 小山昌洋（横浜国大）

Takao YAKOU, Yokohama National University, Tokiwadai79-2, Hodogaya-ku, Yokohama  
Keijiro Yamamoto, Kanagawa Institute of Technology  
Masahiro Koyama, Yokohama National University

Sensory and physical evaluated values have been analyzed during vertical milling machine operation for right handed subject. As a result, the larger the diameter of handle the larger optimum grasping diameter, but the tendency at the having spun a handle was remarkable compared with a handle wasn't spun. Moreover, it has been recognized that both physical and sensory evaluated values at the grasping the handle affected the influence of the judgement of right hand which was hand powerfully.

Key Words: Physical Evaluation, Sensory Evaluation, Milling Machine Operation,  
Right Handed Subject.

## 1. はじめに

我々が工作機械を操作して材料を目的の形状に加工する場合には、機械に工具を装着し、テーブル上に被加工物を設定した状態で、操作者はハンドルを操作して加工開始点へ工具を移動させる。この時の位置決めは、速さよりも正確さが要求され、また行き過ぎは材料を原点合わせ前に加工してしまうことになるため、許されない。この時の刃物の移動操作は、フライス盤を例に取れば、切り込みを与える上下の操作と、テーブルの前後左右の移動操作とがあり、加工時の作業では後者の方が圧倒的に多い。また、テーブルの移動においては、目標から大きく離れた移動では、最初片手（主に利き手）でハンドル車のリム部をを回転させて粗い位置決めを行う。その後目標に近い状況では、両手でハンドル車のリム部を握り精密位置決めを行う。

そこで本研究では、フライス盤による加工前の精密位置決め時のハンドルの操作について、工作機械のテーブルの移動量、左右の握り力、およびハンドル車のトルクなどの物理量と手の握りやすさの感性評価値から解析した。

実験ではフライス盤操作者が立った状態で操作体制をとり、次にハンドルの円筒リム部を握る指示を出しその後数秒後にできるだけ速く目標位置までテーブルを移動させる指示を出し、ハンドルの回転によるテーブルの移動操作を行わせた。ここで用いた工作機械はゼロ番の横フライス盤である。ハンドルは横フライス盤に備わっていた市販の円盤状のものを取り外し、左右の握り力および左右のトルクが別々に分けて計れるように、2本のパイプをリム部に使用しそこを被験者が把握するようなFig.1に示すようなハンドルを利用した。ハンドルの回転とテーブルの移動との間にはにはば

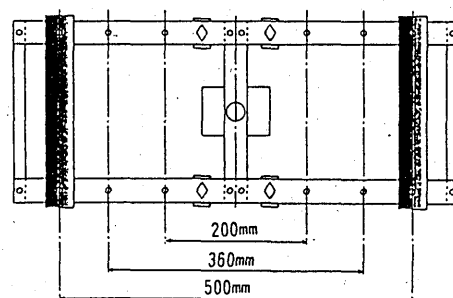


Fig.1 Grasping handles.

## 2. 実験方法



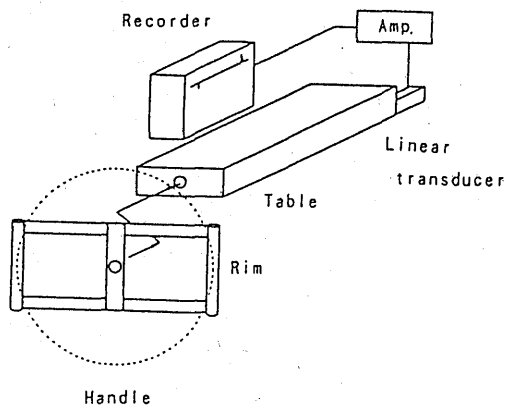


Fig. 2 Set up of experiment.

バックラッシュがあったため、この影響を除くために前もって回転させる方向（目標を移動させる方向）は定めてから実験に臨んだ。また、本研究ではハンドルが左右平行な状態をスタートとして、操作時に両方の腕が交差しないう75°以内で位置が合う条件を設定した。実験にはフライス盤の主軸は回転させず、テーブルの左右の移動のみを調べた。ここで、実験に用いた装置の模式図とその構成図をFig. 2に示す。テーブルのトルクの設定はテーブル固定ネジの調整によって与えた。また、テーブルの移動量を変位計で捕らえ、アンプで増幅し、レコーダー上で75mm移動して位置が合うようにした。またレコーダーは工具と被加工物との位置合わせを想定し、Fig. 2に示すように加工方向に針が動くように設定した。この時のハンドル車の直径は350mm、ハンドルリム部の直径dは主に38mmを用いた。また、被験者はすべて右利きの、22才、48才、および25才の3人の男性である。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 ハンドル把握時の感覚量

工作機械のハンドルを把握した場合の握りやすさの度合いを調べた。Fig. 3(a)では右利きの被験者Bの左右の手の握りやすさとハンドルリム径dとの内径である。左手では約d = 35mmを右手ではd = 30mmを最も握りやすく判断しており、やや左手の方が最適握り径d<sub>0</sub>が小さい。

ところで、両手で同じ太さの径を把握した場合には、Fig. 3(b)のように、やや右手で最適と判断したd<sub>0</sub> = 30mmに近い径を最も握りやすいと判断している。すなわち、両手で握った場合には利き手である右手の判断の影響を強く受ける傾向が認められた。

ところで、物体を把握する場合における握り方が握

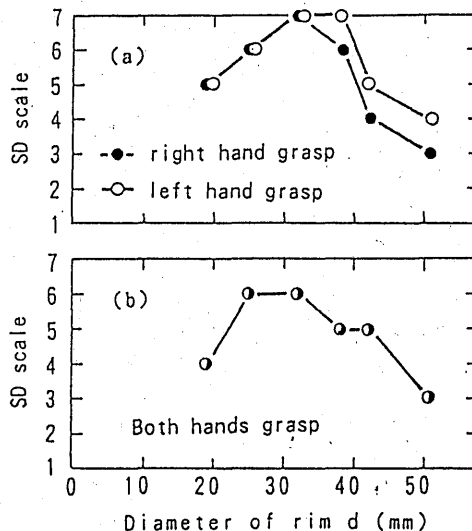


Fig. 3 Relationship between SD scale and diameter of rim d. (a) right and left hands grasp, (b) both hands grasp.

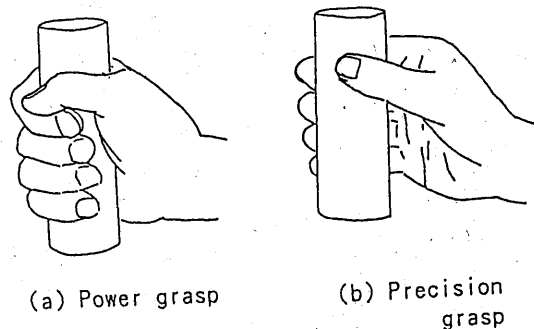


Fig. 4 Schematic illustrations of grasp. (a) power grasp, (b) precision grasp.

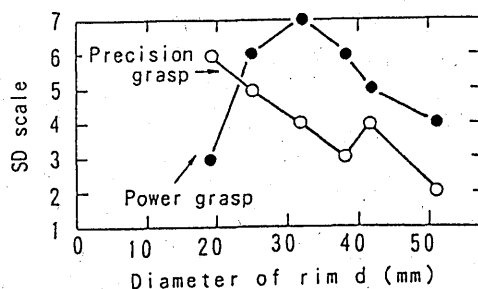


Fig. 5 Relationship between SD scale and diameter of rim d on power grasp and precision grasp.

りやすさに影響することは、手への物体の接触部分が異なることから、当然あり得る。そこでFig. 4に示す

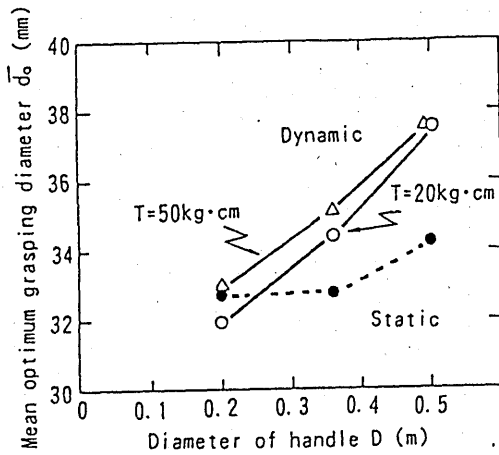


Fig. 6 Relationship between mean optimum grasping diameter of rim  $d_0$  and diameter of handle  $D$ .

パワーグリップ（今回の主な握り方）とプレジジョングリップについて、ハンドルの握りやすさを判断した結果がFig. 5である。パワーグリップに比べてプレジジョングリップでははるかに細い19mm以下を最も握りやすいとしており、リム部の握り力が握りやすさを大きく左右していることがわかる。なお、上述の実験はハンドル径  $D = 380\text{mm}$  について行ったが、ハンドル径の握りやすさに及ぼす影響を調べた結果がFig. 6である。ハンドルを回転させないstaticな場合には  $D$  が大きくなって最適握り径  $d_0$  はわずかしこ大きくなるが、 $T = 20\text{kg}\cdot\text{cm}$  や  $T = 50\text{kg}\cdot\text{cm}$  のdynamicな場合には、 $D$  が大きいほど  $d_0$  が大きく、その傾向はstaticな場合に比べてより明瞭である。

### 3.2 ハンドル回転時の力の伝達

Fig. 7に48才の被験者Bがハンドルを右方向回転時の、テーブルの移動量  $\delta$ 、ハンドルのリム部の握り力  $F$ 、ハンドル車のトルク  $T$  の変化を示す。この時のテーブルは静的にゆっくり動かす場合には  $50\text{kgf}\cdot\text{cm}$  のトルクで回転するように設定してある。Fig. 8はFig. 7と同じ条件で左方向に回転させたときの結果である。

これらの結果から、回転の指示が出された後、左右の手の握り力とトルクとほぼ同時に増加し始めている。テーブルの移動開始はこれら力やトルクの増加開始より1/6秒ほど遅れている。しかし、初期にはこのようなテーブル移動の遅れがあるが、その後テーブルの移動速度が増し、最大値に達した後減少を始め、1秒ほどでテーブルの移動制御が達成されている。テーブルの移動速度が最大になる近くで、他の被験者の場合も合わせると、左右または一方の手の握り力やトルクが極大値をとる等の傾向が認められた。以上の結果は、握り力が増加して、トルクが発生しテーブルが移動した

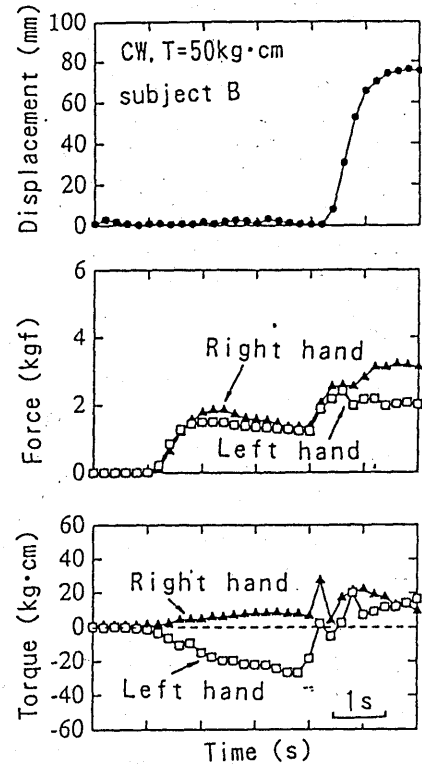


Fig. 7 Relationships between displacement, force, torque and time diagrams during grasping for subject B at CW,  $T = 50\text{kg}\cdot\text{cm}$ .

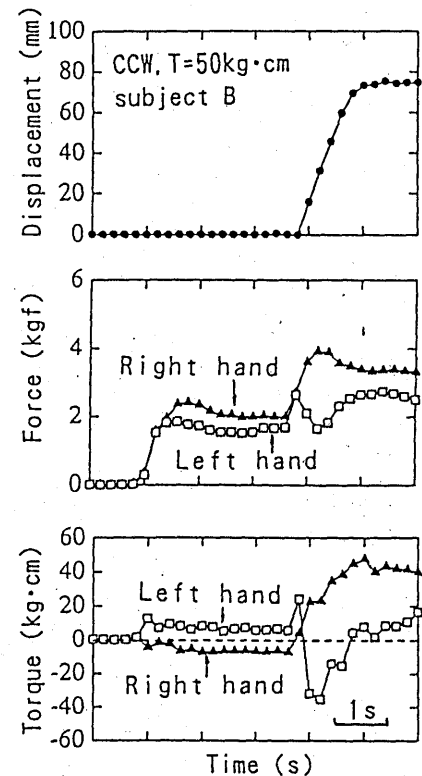


Fig. 8 Relationships between displacement, force, torque and time diagrams during grasping for subject B at CCW,  $T = 50\text{kg}\cdot\text{cm}$ .

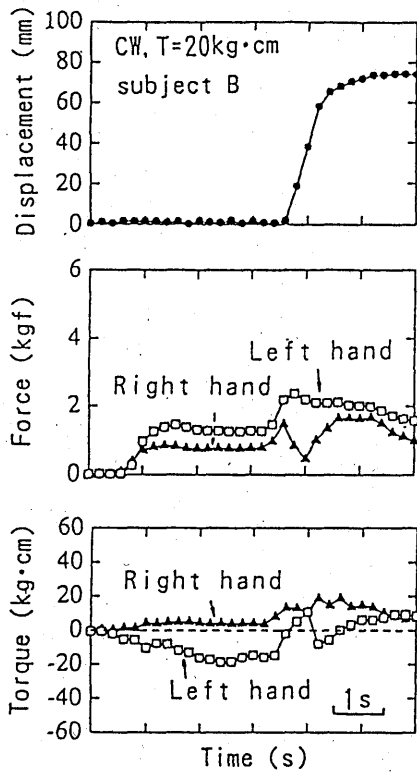


Fig.9 Relationships between displacement, force, torque and time diagrams during grasping for subject B at CW, T=20kg·cm.

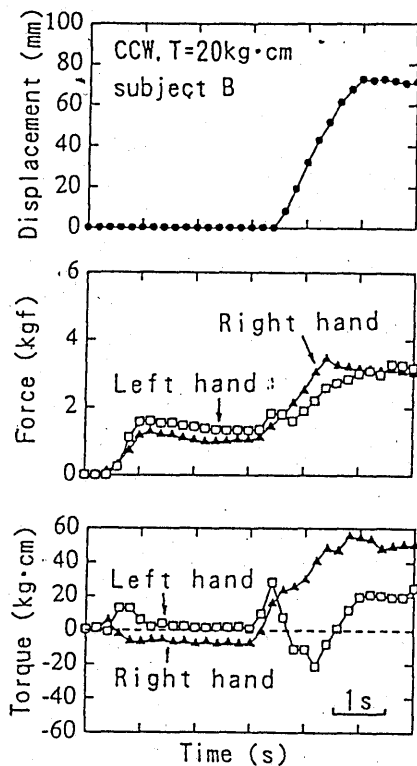


Fig.10 Relationships between displacement, force, torque and time diagrams during grasping for subject B at CCW, T=20kg·cm.

ことを示している。

なお、Fig.9およびFig.10は $T=20\text{ kg}\cdot\text{cm}$ の場合であるが、Fig.7やFig.8と同様の傾向が認められトルクの値はかなり低くなっている。

### 3.3 左回転と右回転時のハンドル操作

Fig.10において、左回転の場合には最初左手にトルクが生じ、ついで右手によるトルクが大きくなる。一方Fig.8の右回転においては、最初右手にトルクが生じついで左手のトルクが増加している。ハンドルを手で握った場合に手でリム部を握るによって左右のトルクがそれぞれの側にかかる。状態で回転の指示が出されると、重力方向と回転とが一致した方向の手が先に対応して最初トルクを生ずる。これに対して反対側の手は、これより少なくて、重力に逆らう形で反対側の手のトルクが加っている。さらに、右回転であれ左回転であれハンドルの回転全体を通じてのトルク発生の割合は右手側より大きかった。これは今回の被験者が右利きであったためと思われる。また、上記の傾向は静的なハンドルを移動したトルクの傾きが大きいほどよりなる傾向が認められた。

## 4. まとめ

フライス盤による加工前の精密位置決め時のハンドルの操作について、手の感覚量とハンドルの握りかぶりハンドル車のトルクなどの物理量との関係を示す被験者に対して解析し、以下の結果を得た。

- (1) 両手でハンドルを握った場合には、利き手である右手の判断の影響を強く受ける傾向が認められた。
- (2) ハンドル径が大きいほど最適握り径も大きくなるが、その傾向はハンドルを回転させない場合よりハンドルを回転させた場合の方が顕著である。
- (3) ハンドルを手で握った場合、重力方向と回転とが一致した方向の手が先に対応して最初トルクを生じ、反対側の手はこれより少し遅れて、逆らう形で反対側の手のトルクが加わることになった。また、ハンドルの回転全体を通じてのトルク発生の割合は利き手側が主であった。

## 参考文献

- 1) L. T. C. Rolt, 磯田訳：工作機械の歴史, 平凡社 (89), 15.
- 2) 矢口：コンピュータリテラシー教育の提唱—教のコンピュータ利用の研究—, 能力開発工学期, (1993), 29.

# 物体把握時の物理的評価と感性的評価

## Sensory and Physical Evaluation on the Grasping of Cylindrical Objects

○正 加茂 美冬 (横国大)

森本 茂 (横国大)

正 八高 隆雄 (横国大)

正 山本圭治郎 (神工大)

Mifuyu KAMO, Yokohama National University, Tokiwadai 79-2, Hodogaya-ku, Kanagawa

Shigeru MORIMOTO, Yokohama National University

Takao YAKOU, Yokohama National University

Keihiro YAMAMOTO, Kanagawa Institute of Technology

The aim of this study was to investigate the holding force to cylindrical object under the condition of rapid increment of the load. The holding force was in a range from 150 to 300N at the cylindrical diameter between 1 and 60mm. The maximum force was obtained from the cylinder with a diameter of 20 and 25mm. In the comparison with the results from the static holding condition, the present results showed that the larger force appeared at the thinner cylinder. When electromyogram was recorded from the grasping muscles during hold t constant load, the investigated value of the electromyogram showed the minimum value at the cylinder diameter which the maximal force was obtained. In considered the existence of the optimal diameter to transmit the muscle force to the cylindrical object with good efficiency.

Key words: Cylindrical Object, Hand, Holding Force, Dynamic Loading Condition

### 1. 緒 言

本報告では、5秒以内の短い時間内に最大値に達する動的な負荷条件の円筒物体把握を物理的および感性的な面から評価し、600秒以上で最大値に達する静的な負荷条件の把握と比較するとともに、筋電図を介して把握時の筋活動について検討を行った。

### 2. 実験方法

被験者は、神経筋疾患をもたない健康な24-45才の成人5名とし、右手(優位側)を被験手とした。被験者にはあらかじめ研究の目的、方法について説明し、実験に参加することに対する同意を得た。Fig.1に示す各被験者の手の大きさは、Table 1の通りである。全ての実験を行ったのはTable 1中の\*印で示した5名中2名の被験者であった。

把握実験は、前報と同様、被験者はFig.2に示す状態で円筒を垂直に把握保持した。円筒物体は、アクリル製で長さ30cm、直径5-60mmの範囲で5mm間隔のものを用いた。被験者には、把握中、前腕の回転や手関節の背屈や尺屈等が起こらないように指示した。把握時の保持力は、円筒を把握した状態で垂直下方に負荷を加え、負荷に耐えられなくなった時点の力と定義した。動的な負荷は牽引することによって与え、把握力はほぼ1秒以内で最大値の90%以内の範囲に達し、その後5秒以内に耐えられなくなった。この耐えられなくなった時の把握力を保持力とした。又、静的な負荷は前報と同様に円筒にバケツを下げ、その中へ水を注ぐことにより行った。

表面筋電図は、手内筋の骨間筋(volar interossei: VI)、母指内転筋(adductor pollicis: AP)と外来筋である浅指屈筋(flexor digitorum sublimis: FDS)、長母指屈筋(flexor pollicis longus: FPL)から記録した。導出は、直径5mmのAg/AgCl血電極で双極誘導法にて行った。電極間距離は15-20mmとした。導出電位は、周波数帯域3-10kHzにて差動増幅(ダイアメディカルシステム,DPA400C)し、FMカセットレコーダ(TEAC, R-31)に記録した。その後、A/Dコンバータを通してパーソナルコンピュータに入力し、積分値を算出した(BIMUTAS,キッセイ)。算出手順は把握5

秒間の筋電図を全波整流した後、1秒毎に積分値を求めたそれらを平均した値を求めて把握時の筋の活動水準の指とした。

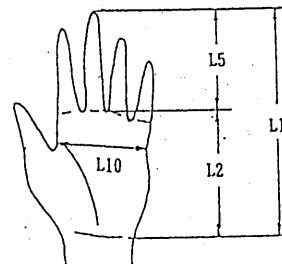


Fig.1 Measurement for hand dimension

Table 1 Dimensions of subject's hand

Subj.	L1	L2	L5	L10
MK*	167	95	72	73
SM*	181	102	79	90
SA	172	96	76	74
SYU	188	107	81	85
YN	188	108	80	90

unit: mm

L1: hand length, L2: palm length  
L5: middle finger length, L10: hand breadth

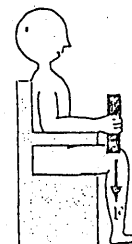


Fig.2 Schematic illustration of grasping position

### 3. 結果および考察

3.1 動的および静的条件下での円筒把握 バケツに水を注ぐ静的条件下の円筒保持力は、ある特定の径で最大値を示すことが知られている<sup>1)</sup>。本実験の被験者2名の円筒径(D)に伴う保持力(Fs)の変化をFig.3に示す。その結果、保持力の最大値はMKではD=40mm、SMではD=35mmであった。これは、前報<sup>1)</sup>でのD=35-42mmとほぼ一致した範囲にある。上述の2名の被験者の動的条件下の保持力(Fd)の変化を示したのがFig.4である。図に示す通り、保持力はある特定の径で最大値を示した。同様な傾向は全ての被験者に共通していた。この傾向については静的と動的条件下で結果は同様である。しかし、動的条件下での保持力の最大値が発現する径をみるとMKでは25mm、SMでは20mmであり、静的条件よりも15mm細かった。次に、保持力を両条件で比較すると、保持力は、静的条件では75-125Nの範囲にあり最大値は120-125Nに分布した。それに対して、動的条件下では100-300Nの範囲で200-300Nの間に最大値がみられた。すなわち、動的条件下では静的条件より約2倍近い大きな力が発揮でき、円筒径の違いが保持力に大きく影響している。また、Fig.3と4の比較から、動的条件下では静的な場合よりも保持力の個人差が大きく現れることがわかる。

以上のことから、動的条件下における円筒把握は、静的条件より発揮できる力は大きく、より細い径で最大値を示すことが明らかとなった。

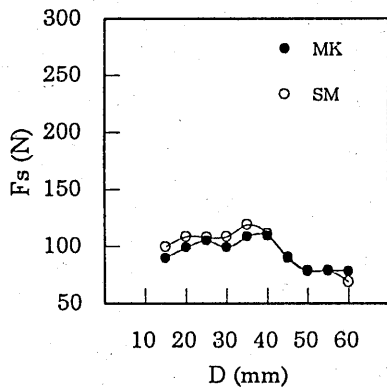


Fig.3 Relationship between diameter of cylindrical object and grasping force under static loading condition

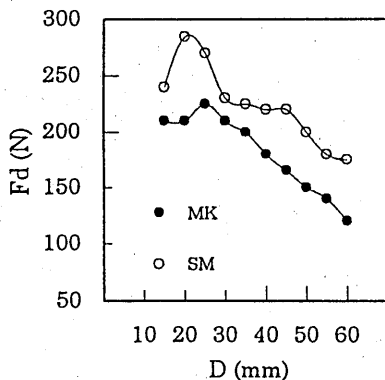


Fig.4 Relationship between diameter of cylindrical object and grasping force under dynamic loading condition

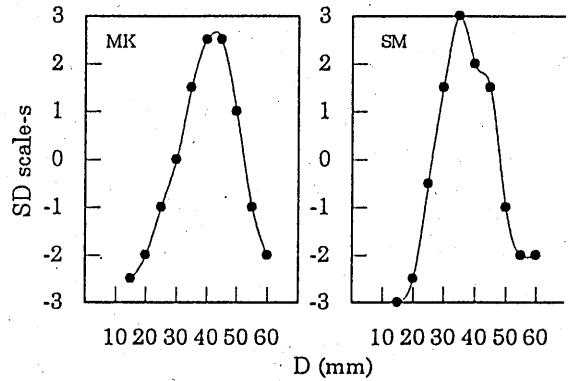


Fig.5 Sensory evaluation of grasp feeling under static loading condition

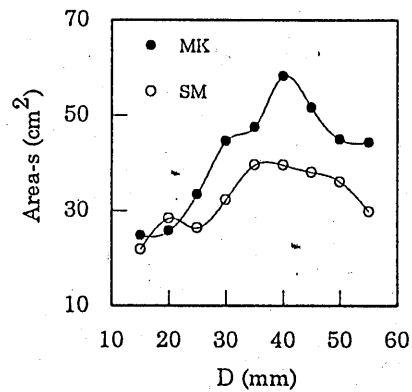


Fig.6 Changes in contact area of hand with diameter of cylindrical object under static loading condition

3.2 動的と静的条件下における円筒保持力の差の原因  
静的保持においては、最大保持力と手-物体間の接触面の最大値が一致することが確認されている<sup>1)</sup>。Fig.3, 4と一の2名の被験者について、握り易さの感性評価の結果Fig.5に、手-円筒間の接触面積(Area-s)の結果をFig.6示した。ここで、Fig.5の縦軸は前報と同様なSD法<sup>2)</sup>によって求めた評価(SD scale-s)であり、-3から3までの7階で主観的な握り易さを示している。把握時の手と物体接触面積は、前報<sup>1)</sup>と同様に円筒の表面に墨を塗り、把握墨のついた手の写真を取り求めた。その結果、Fig.5およびFig.6に示す通り最大値はMKではD=40mm、SMではD=35でみられ、3.1で示した静的な条件下での最大保持力径と一致することが確認された。接触面積の増大は、手の皮膚からの感覚入力の量的な増大をもたらすと考えられ、これが最大接触面積径が最適把握感覚径と一致することまた、動的条件下での最大力保持径と一致することの要因の一つとされている<sup>1)</sup>。しかしながら、動的条件下で最大力保持径はMK25mm、SM20mmであり、最適把握感覚径および最大接触面積径とは一致せず、それより細かった。また、手-円筒接触面積と動的条件下における保持力(Fd)の係を見ても両者の間に関係はみられなかった。

静的条件においては、最大保持力径は、ある一定の力を負荷したときの円筒把握において最も小さい力で円筒を保持できる径と一致することが報告されている<sup>1)</sup>。この報告では、保持力を前腕部筋の収縮に伴う太さ変化から計測している<sup>1)</sup>。この方法は簡便で有効であると同時に、把握に関する手内筋の発揮する力の評価が困難であること、分解能が十分高いとはいえないことなどの問題点がある。表面筋電図は、筋の収縮をもたらす神経からのインパルス为非侵襲的に皮膚表面上から導出し、記録したものである。これは、筋を構成している運動単位の活動電位波形の干渉波となっている。したがって、筋電図は筋の活動水準の指標となる。<sup>2)</sup>表面筋電図の積分値は筋力の増加に伴い直線的あるいは指数関数的に増加することが知られている<sup>3)</sup>。そこで、発揮筋力の評価に表面筋電図を用い、動的条件下で把握時の表面筋電図の積分値が最小となる径を調べ、最大保持力径と一致するかどうかを調べようとした。負荷した力は、各被験者において相対的に同一な負荷となるように、最大保持力に対する割合で規格化した。今回は、最大保持力の10%とし、この力を0.5秒で負荷し10秒間保持した。一定負荷保持期間の5秒間の筋電図について積分値を算出した。

Fig. 7に、典型的な例として被験者1名の結果を示した。Fig. 7では、各径で得られた積分値を最大保持力径の積分値で規格化して表している。4つの筋とも最大保持力径の把握時に積分値が最小値を示している。しかし、積分値の円筒径に伴う変化率は各筋で同様ではなかった。この結果は、一定負荷を把握させたとき最大保持力径で筋の活動水準は最も低くなるが、円筒の径変化に伴い把握に関わる筋の寄与率が変化することを反映してと考えられる。特に、APは、最大保持力径より太い径においては径の増大に伴い著しい増加を示しているが、最大保持力径より細い径においてはその増加が小さく、最大保持力径での値と大きな差が見られなかった。APは、母指の内転に作用する筋である。静的条件においての手一円筒接触面積の結果から径が細くなると母指以外の4指を中心とした把握形態をとることを前報において観察している<sup>1)</sup>。今回の被験者においても同様な傾向が認められた。このような径に伴う把握形態の変化が筋によって径に伴う筋電図積分値の変化の差異として現れていると考えられる。

以上の結果から、動的条件下においても最大保持力径は、ある一定の力を負荷したとき最も小さい力で円筒を保持できる径と一致することが確かめられた。したがって、静的と動的の両条件において、最も効率よく筋活動を行うことができる把握状態が、最も大きな力を発揮できる状態の決定に関わることが明らかとなった。

3.3 被験者によって動的条件下での最大力保持径が異なる原因について 最大保持力径は、手の大きさに依存して、小さい手では細く、大きい手では太いと考えられる。本実験の被験者の手の大きさは、Table 1に示すように、各パラメータにおいて最も大きい者と小さい者の間に9から25mmという大きな差が存在した。しかしながら、被験者全員の手の大きさの各種パラメータと最大保持力径の間に明らかな関係は見いだせなかった。

手の大きさに関わらず被験者全員の最大保持力径が20から25mmであったことから、動的に大きな力を発揮する場合に使用する道具の径は、個人差を考えずに画一的な径であっても良い可能性がある。その反面、Fig. 4に示すように径5mm異なるだけで、保持力が約40N低下するところがあることから考えると、画一的とは逆に精密に個人に適合した握り径を設定する必要があるのかもしれない。このことに対して、本研究の範囲内で結論をだすことはできず今後の検討

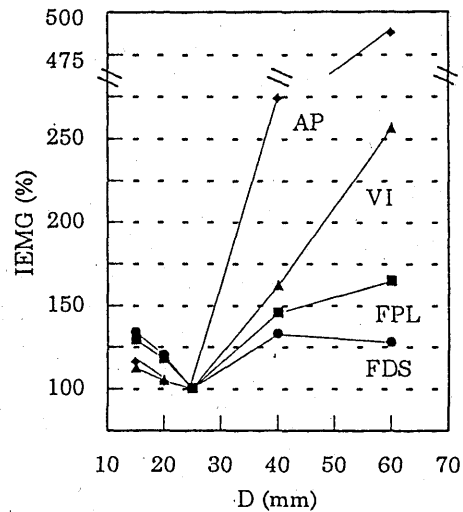


Fig.7 Changes in integrated value of electromyogram signals (IEMG) with diameter of cylindrical object under dynamic loading condition

が必要である。また、最大保持力径が手の大きさに依らないことは、最大保持力径の決定には、手の大きさとした解剖学的な因子より、各個人の過去の履歴に由来する握動作様式の差異あるいは動作様式が同様であっても系の適応の差異といった因子が強く関わっている、さらには、個人によって決定因子が様々異なっている可能性をえられ、さらに検討する必要がある。

#### 4. 結 言

5秒以内の短い時間内に最大力に達する動的条件下の円筒物体把握を物理的および感性的に評価し、600秒以上で力に達する静的条件の把握との比較を行い、以下の結論を得た。

- (1) 動的条件下での最大保持力径は20-25mmの範囲にあつた。これらは、静的条件と比較すると保持力は約2倍、最も大きな力が発揮できる径は細かった。
- (2) 動的に一定負荷を加えた把握時に把握に関与する筋から導出した筋電図の積分値は、最大保持力径において値をとった。このことから、最大保持力径では、筋力率よく円筒物体に伝達されていることが示唆された。
- (3) 静的条件においては最大保持力径は円筒一手接触面積および把握感覚に依存したのに対し、動的条件下ではがみられなかった。
- (4) 手の大きさと動的条件下での最大力保持径の間には明らかな関係は見いだせなかった。
- (5) 円筒物体把握は負荷する力の速さにより様々な影響を受けることが示唆された。

#### 文 献

- (1) 八高ほか2名, 機論, 60-573, C, (1994), 1721
- (2) 八高ほか3名, 機論, 62-602, C, (1996), 3999
- (3) 小林, J. J. Sports Sci., 2 (1983), 671-685.
- (4) 例えば, Moritani, T. · De Vries, H. A., Am. J. Phys. Med., 57 (1978), 263-277.

作りやすい：4、どちらでもない：3、操作しにくい：2、かなり操作しにくい：1)の平均値である。SD評価値はハンドルII~II3まではハンドル径が大きくなるに従って減少し、その後ハンドルII3~II6にかけて増加している。すなわち150mm前後の大きさのハンドルを操作しにくいと評価し、ハンドル径が100mm以下に小さくなるに従って、又は200mm以上と大きくなるに従ってより操作しやすいと評価している。この中には大きなハンドルから小さなハンドルへと操作した場合とその逆の場合の結果も含めた。したがって、成人の場合には100mm以下の小さいハンドルは片手で操作し、200mm以上の大きいハンドルは両手で操作し、いずれの場合にも操作しやすいと判断していることがわかる。また、150mm前後のハンドルは片手または両手で操作し、最も操作しにくいと判断していることもわかる。

### 3・3 ハンドルの大きさと操作時間

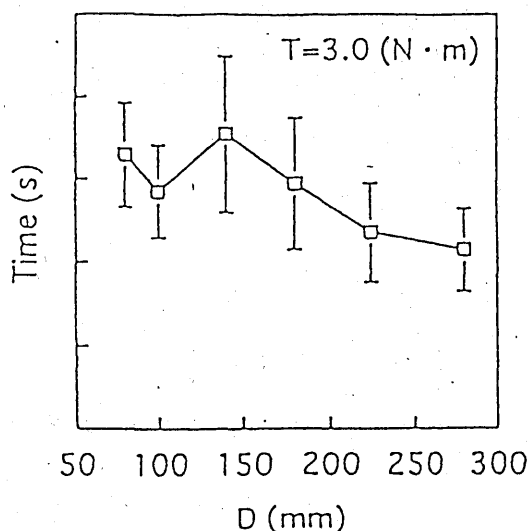


Fig. 3 Relationship between time required to 10 rotations and handle diameter D for all subjects.

Fig. 3は、すべての被験者に対して、 $T=3.0(N \cdot m)$ においてハンドルを10回転したときに要した時間とハンドル径との関係である。片手で操作した100mm以下のハンドルではDが大きいほど操作時間が短くなり、 $D=140mm$ 以上のハンドルではDが大きいほど操作時間が短くなっている。この原因は、ハンドル径が大きくなるに従って手が出す力は少なく済むため、短時間で操作できたものと思われる。また、操作しにくいと判断した150mm前後のハンドルで最も長い操作時間を要している。したがって、操作し易さの評価と操作時間とは密接に関係しており、 $D=150mm$ 前後のハンドルは操作しにくくしかも操作時間も長くかかることを示している。

### 3・4 ハンドルの操作しやすさを決めている因子

ハンドル操作時の様子をビデオ映像から解析すると、一番小さいII1のハンドルは片手で深く握っている。ところがそれより大きいII2のハンドルはより手を開いた状態で握っている。さらに大きいハンドルII3は両手で操作し、両手はかなり近い状態にある。また手の関与は指の部分が主である。ハンドルがさらに大きくなったハンドルII4~II6ではリム部の把握には両手の間隔はさらに開き、手指ばかりでなく手の掌も関与している。これによれば、接触しているように見えるのは、ハンドルII1の右手およびハンドルII5やII6の両手である。

そこでこの接触部分を定量化するため、ハンドルと接触している手の部分に墨が付着するようにし、墨の黒い部分の面積を求めた。ここでは墨の付いた部分の面積 $A_i$ を手全体の面積 $A_t$ に対して規格化した値 $A_i/A_t$ を求めた。なお、片手で操作した場合の分母は片手の面積とした。その結果、 $d=150mm$ 前後では小さく、そこから遠ざかるほどその前後で値が大きくなっている。接触面積が大きい場合には、手の掌も一部接触している。物体の把握には、手の掌のアーチと円筒がより適切に収まる必要があると言われて<sup>1)</sup>。従って、手のアーチに収まりやすい状態で操作できるハンドルほど、手への負担が少なく操作性がよいものと判断され、この時に操作時間も短くなったものと思われる。

ところで、全てのハンドルを片手および両手で強制的に操作した場合には片手で全てのハンドルを操作すると $d=140mm$ までSD値が低下し、その後一定値を示していた。一方両手で操作した場合のSD値はDが大きいほど増していくという傾向があったことから、被験者は片手と両手のより大きいSD値の操作を行っていたことになる。すなわち、片手と両手のより操作性の良い方を判断して実行していたことがわかる。操作時間の場合も、片手と両手のより短い時間で操作できる条件が選択されていた。

### 4. まとめ

人間と工作機械との関係を調べる一連の研究として、フライス盤のハンドルの大きさと使いやすさの関係を、21才~24才までの右利きの8人の男子大学生を被験者とし調べ、以下の結果を得た。

1. 直径150mmのハンドルを境に、これより小さい径のハンドルは片手で操作し、これより大きい径のハンドルは両手で操作する傾向が認められた。
2. 直径100mm以下のハンドルも、直径200mm以上のハンドルも共に操作しやすいと判断され、直径150mm前後のハンドルは片手または両手で操作し、最も操作しにくいと判断された。
3. 操作しやすい大きさのハンドルは所定の操作を行う時間も短く、操作しにくいと判断した150mm前後のハンドルでは最も長い操作時間を要した。
4. 操作時に手の掌とハンドルリム部との接触が多く、手のアーチに物体がより適切に収まった場合に、手への負担が少なく操作性がよいと判断されるものと思われる。

最後に、本研究は平成8年度および平成9年度の文部省科学研究費(基盤研究(B)(2))、代表:八高隆雄、課題番号08455112、題目:工作機械の手動制御特性の感性による評価)によった。記して謝意を表する。

### 参考文献

- (1) 八高隆雄・荒川 進・高田 一: 機論, 手-円筒物体間の力の伝達, 60-573, C(1994), 1721-1726
- (2) 八高隆雄・山本圭治郎・小山昌洋・兵頭和人: 機論, 円筒物体把握における握りやすさの感性評価, 96-602, C(1996-10), 3999-4004
- (3) 岩下豊彦, SD法によるイメージの測定, (1983), 43-130, 川島書店
- (4) Kapandji, I.A. (萩原秀雄・嶋田智明訳), カバンディ関節の生理学 I, 上肢, (1986), 170-171, 医歯薬出版

# フライス盤用ハンドルの大きさと使いやすさに対する感性評価

Relationship Between the Handle Size of Milling Machine and the Sensory Evaluation for Handling

正 八高隆雄 (横浜国大) ○学 堀 健一 (横浜国大院)

正 山本圭治郎 (神奈川工科大)

Takao YAKOU, Yokohama National University, 79-5, Hodogayaku, Tokiwadai, Yokohama

Keijiro YAMAMOTO, Kanagawa Institute of Technology

Ken-ichi HORI, Yokohama National University

Keywords: Machine Handle, Handle Size, Handle Rim, Usability, Machine Operation, Sensory Evaluation, Manual Operation, Milling Machine

## 1. 緒言

物体の握りやすさは物体の大きさに関係しており、成人ではほぼ35mm前後の円筒を握りやすいと評価する<sup>1)</sup>ことがわかっている。さらに、この径は手と円筒間で最も力を伝えやすく、手とのマッチングがよいこともわかってきた<sup>2)</sup>。生産工場で使われている多くの機械は、主に西洋人の身体に合わせて設計されたものであり、日本人の身体の大きさとの関係で見直す必要がある。

そこで本研究では、フライス盤のハンドルの大きさと使いやすさの関係を調べた。

## 2. 実験方法

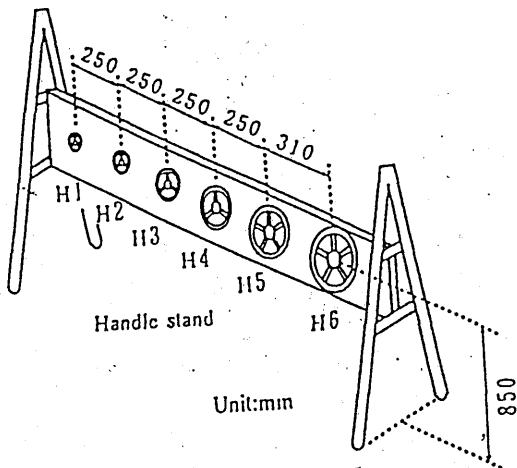


Fig.1 Experimental set up.

実験にはハンドル操作時に回転軸部が操作の邪魔にならない、朝顔型ハンドルを利用した。これらは市販のもので、用いたハンドルの径Dと握るリム部の径dはD=80~280mm, d=14~26mmであった。これらのハンドルを市販のフライス盤に取り付けて操作することを想定し、しかも被験者が各ハンドル内で比較実験が可能のように、ハンドル軸の取り付け中心高さが850mmの、Fig.1に示すようなH1~H6のハンドルを備えた実験装置を作製した。ハンドル間は1つのハンドルを操作時に他のハンドルと手が接触しないように、それぞれのハンドルの外周間を50mm以上離れた。ハンドルは厚さ8mmの鋼板に黄銅製のすべり軸受を介して取り付け、さらにバネ式の座金によって、回転軸のトルクを0.5~4.0 kg·cmまで調整できるようにした。実験には21才~24才までの右利きの8人の男子大学生を被験者とした。

実験は、フライス盤の操作時における最初の動作、すなわち主軸に工具を取り付けテーブル上の万力に被加工材を取り付け、テーブルを早送りして工具と被加工物を近づけ

ることを想定した。そのため、10回のハンドルの回転を提示し、10回転目は行き過ぎないように指示した。この時の人間の動作、左右の手の関与、操作時間等を撮影したビデオ映像から解析した。また、実験直後に被験者に対してアンケート調査を行い、使いやすさをSD法によって評価した<sup>3)</sup>。それらは5:大変良い、4:良い、3:どちらでもない、2:悪い、1:大変悪いの5段階であった。

## 3. 結果および考察

### 3.1 ハンドル操作への手の関与の仕方

ハンドルを「ただ単に回すこと」を提示したときの、8人の被験者のハンドルH1~H6に対する左右の手の関与の最も多いタイプは、H1とH2のハンドルは片手で、これより大きいH3~H6は両手で握るものであった。全体として最も小さいハンドルH1はすべての被験者が片手で操作し、H2のハンドルは約80%の被験者が片手で、残り20%が両手で操作した。さらに、H3のハンドルは20%程度が片手で残りのほとんどが両手で操作し、H4~H6はすべての被験者が両手で操作した。すなわち、ほとんどの被験者はH1およびH2の直径100mmまでの大きさのハンドルは片手で、直径140mm以上の大きさのハンドルは両手で操作している。

### 3.2 ハンドルの大きさと操作のしやすさ

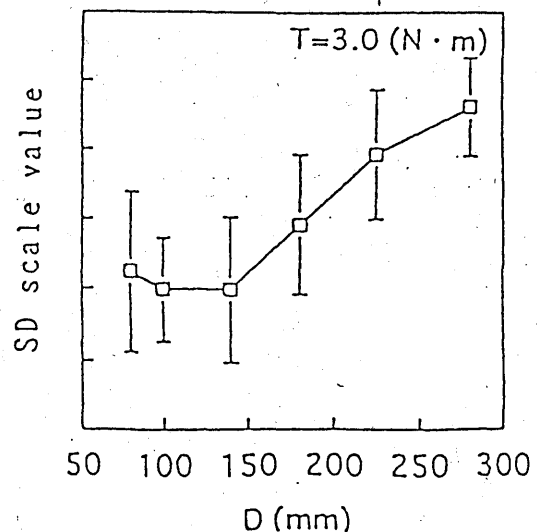


Fig.2 Relationship between SD scale value and handle diameter D for all subjects.

Fig.2は、T=3.0(N·m)でのすべての被験者におけるハンドル径Dに対するSD評価値(かなり操作しやすい:5、操



Relationship Between the Arch of Hand and the Sensory Evaluation of the Grasping with Lifting Hand

○正 山本圭治郎（神奈川工科大）， 正 八高隆雄（横浜国大），  
学 堀 健一（横浜国大）， 伊藤尚功（横浜国大）

Keijiro YAMAMOTO Kanagawa Institute of Technology  
Takao YAKOU, Yokohama National University  
Ken-ichi HORI, Yokohama National University  
Hisayoshi ITOU, Yokohama National University

The optimum grasping diameter of the lifting hand was approximately 35 mm at no weighted condition, the diameter increase with increasing the lifting weight of pipes., then saturated about 40 mm at 30 N. It was found that the arches formed by a palm- fore fingers exsept for a thumb was more closely connected with the optimum grasping diameter than the arches formed by a thumb-a forefinger. From these results, in view of the arch formation, the grasping mechanism with lifting hand and it's weight dependence was discussed.

Keywords: Grasping, Lifting Hand, Optimum Grasping Diameter, Arch, Sensory Evaluation

1. はじめに

手で物体を把握する時の手-物体間の力の伝達には、最も大きな力を伝達する径が存在し<sup>1)2)</sup>、それは人間が主観的に持ちやすいと感ずる太さに近いことがわかってきた<sup>2)</sup>。この径は物体重さが重くなると太くんだり<sup>3)4)</sup>、持つ状態によって重さ依存性が複数に変化したり<sup>5)</sup>する。一方、人間が円筒物体に触れて把握し、感覚的に握りやすいと感ずる時の手が物体と触れることによって決まることから、人間の手のひらに形成されるアーチ<sup>3)</sup>に物体が納まるか否かをその原因として考えてきた<sup>2)</sup>。

そこで本研究では、手のひらのアーチと物体把握の関係性を明らかにするため、成人男性を被験者として手のアーチを測定するとともに、上わ手握り時の握りやすさに対する物体荷重依存性を手のアーチとの関係で調べた結果を報告する。

2. 実験方法

手のアーチの中で物体の把握と関連しているのは、母指と人差し指のアーチ、および手のひらと母指を除き残り4本指との間に形成される2つのアーチである<sup>6)</sup>。そこで、Fig.1に示すように、それらのアーチの半径を $r_1$ 及び $r_2$ として、この値を求めた。その後実験を進めるうちに、直接物体と接触する状態は手を握り

た状態(Fig.2(b))の場合のアーチ $r_1'$ と $r_2'$ がより明確になってきた。そこで、 $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_1'$ 、 $r_2'$

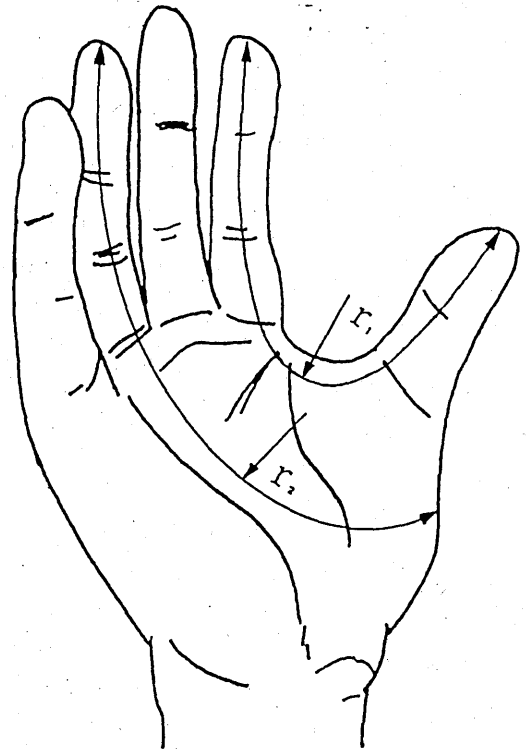


Fig.1 The arches  $r_1$  and  $r_2$  formed on the hand.

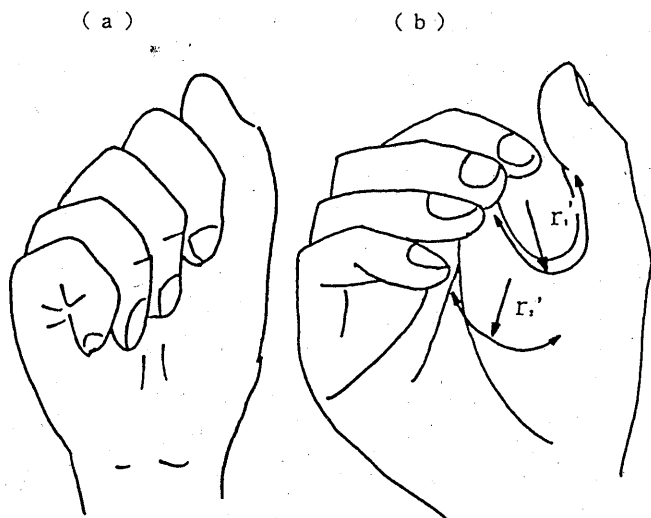


Fig. 2 The arches related to the grasping,  $r_1$ ' and  $r_2$ '

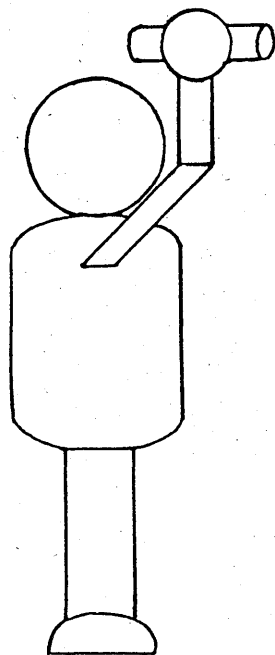


Fig. 3 Experimental conditions of the grasping with lifting hand.

の4種のアーチを測定した。アーチの測定には、半径7.5~1000の半球を作製し、この球に薄く墨を塗り、手を自然な状態で軽く押しつけたときの、手への墨の付き方を求めた。評価実験は20~24才までの4人の被験者に対し、Fig. 3に示す上げ手握りにおいて物体の握りやすさを調べた。円筒はアクリルパイプを用い、用いたパイプの径は15mmから50mmまでの5mm間隔であった。この時の握りやすさはSD法を用いて、非常によい：+3、良い：+2、やや良い：+1、どちらでもない：

0、やや悪い：-1、悪い：-2、非常に悪い：-3の7段階で評価した。

### 3. 結果および考察

#### 3. 1 上げ手握りに対する握りやすさの荷重依存性

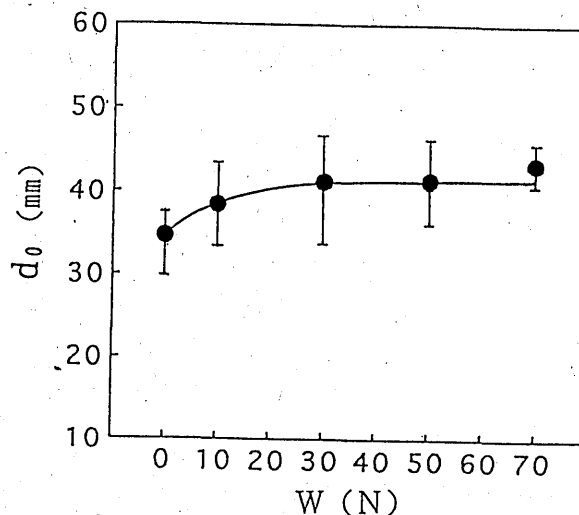


Fig. 4 Effect of load on sensory evaluation at grasping with lifting hand.

Fig. 4は上げ手握りで、各パイプに重さWを加えて把握した場合の最適握り径 $d_0$ と荷重との関係を4人の被験者に対して求めたものである。縦軸が最適握り径、横軸が荷重である。ここで実験は先入観が入らないように、前もって全てのパイプを一通り握り、手と物体とをなじませてから実験を行った。その結果、Wが増すに従って $d_0$ も大きくなり、やがて荷重が $W = 30\text{ N}$ ぐらいから飽和する傾向を示している。従って上げ手握りでは物体が重くなるほど太い径を握りやすいと感じ、その握りやすい重さは30 N以上ではほぼ一定になることがわかる。

#### 3. 2 手のアーチの測定

墨を塗った半球に手を軽く押しつけ、アーチに完全に墨が付いた時を○、手のひらに連続して墨が付いているが一部欠ける時を△、墨が途切れ途切れでアーチが未完成の時を×とし、 $r_1$ ' および、 $r_2$ ' を含めて、20人の被験者について行い、その平均値を求め、手の大きさとの関係で整理した。手の大きさを表す因子と因子もそれぞれ同様の依存性を示したことから<sup>2)</sup>、ここでは代表的な手の大きさ因子として、手の長さL1と手のひらの大きさL2を用いた。Fig. 5~Fig. 8に手の大きさ因子L1およびL2とアーチ $r_1$ ,  $r_1$ ' ,

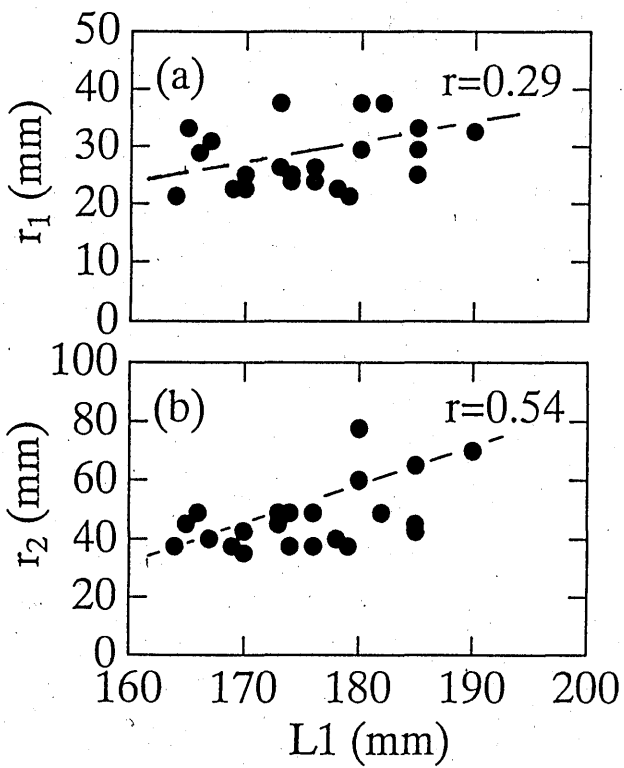


Fig. 5 Relationship between the arch and the hand length L1:(a) and (b) are  $r_1$  and  $r_2$ , respectively.

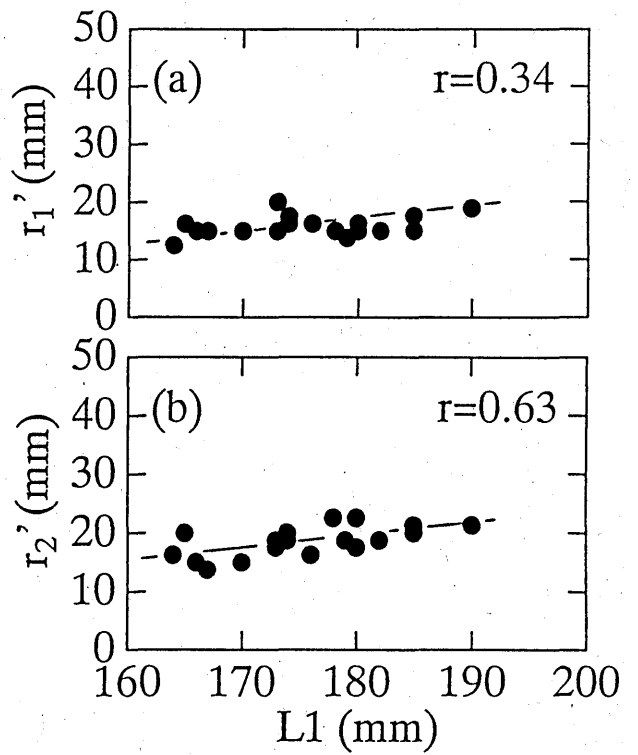


Fig. 7 Relationship between the arch and the hand length L1:(a) and (b) are  $r_1'$  and  $r_2'$ , respectively.

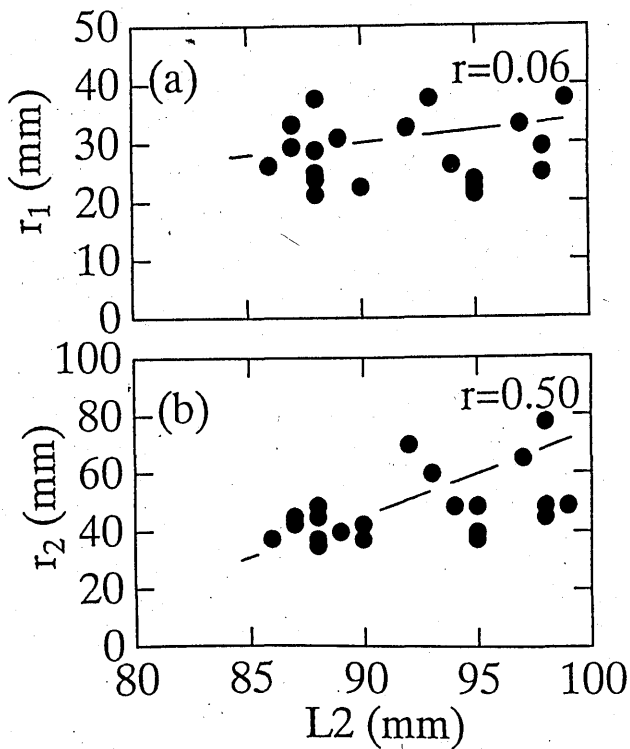


Fig. 6 Relationship between the arch and the hand length L2:(a) and (b) are  $r_1$  and  $r_2$ , respectively.

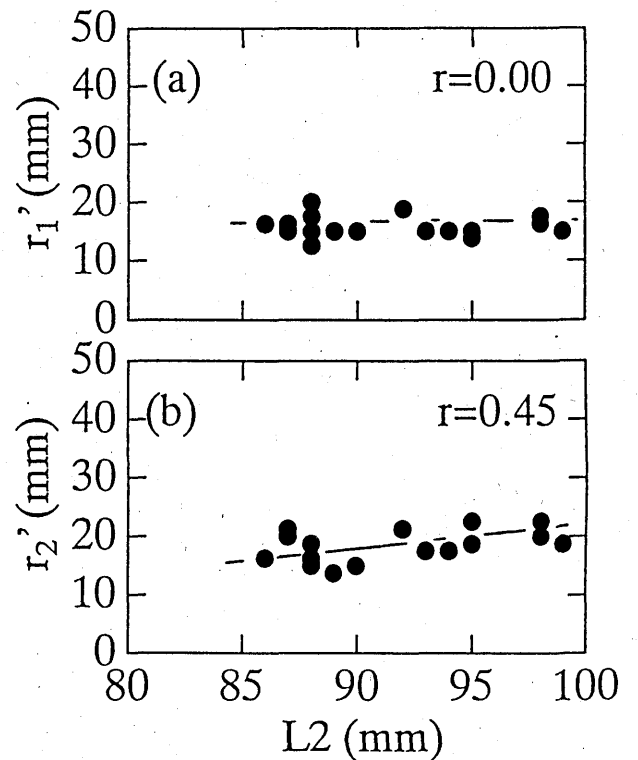


Fig. 8 Relationship between the arch and the hand length L2:(a) and (b) are  $r_1'$  and  $r_2'$ , respectively.

$r_2$ および $r_2'$  それぞれの関係を示す。これによると、アーチ $r_1$ や $r_1'$ は手の大きさ因子 $L_1$ や $L_2$ との相関係数がかなり小さく、その依存性も小さい。しかし、アーチ $r_2$ や $r_2'$ 、または $L_1$ に対しても $L_2$ に対しても、0.5以上の相関を持ち、その依存性も大きい。また大きさの範囲も $r_1$ は20mmから40mmであるのに対して $r_2$ は30mmから80mmと、また $r_1'$ は10mmから20mmであるのに対して $r_2'$ は10mmから25mmと $r_2$ および $r_2'$ 因子の方が大きい。さらに $r_1$ や $r_2$ に比べて $r_1'$ や $r_2'$ の方がデータのばらつきも小さい。このことから、手のひらと母指を除く残り4本指とによって形成されるアーチと手の大きさとは密接に関連しあっているが、母指と人指し指とのアーチは手の大きさとはほとんど結びつかないことがわかる。

### 3. 3 上げ手握りの握りやすさとアーチとの関係

上げ手握り時の、それぞれの荷重における最適握りやすさ $d_0$ におけるパイプと手との接触関係を求めるため、パイプに薄く墨を塗り、手への墨の付き方を調べた。W = 0 Nの場合、ある被験者は $d_0 = 35$ mmであったが、墨は指よりの手のひらの一部分と母指以外の各指に付着している部分には手のアーチ $r_1$ および $r_2$ が存在していることから、この場合の把握には $r_1$ と $r_2$ とが深く関わっているものと思われる。さらに、Wが大きくなると、手全体への墨の付着量が増し、指よりも手のひらへの墨の付着が多くなる。したがってこの場合にも $r_1$ と $r_2$ の両者が関与しており、物体の重さが増すに従って $r_2$ の関与がより強くなるものと思われる。

また、Fig. 4でWが増すに従って $d_0$ が大きくなり、やがて $d_0 = 45$ mmで飽和する傾向にあったが、ここで手のアーチの $r_1'$ と $r_2'$ とを比較すると $r_2'$ の方が大きいことから、物体の重さが増すに従って $r_1'$ のアーチからそれより大きい $r_2'$ のアーチの寄与が大きくなったことが、上げ手握り時の握りやすさの重さ依存性の原因であろう。このようになることによって、物体の重さが手のより広い部分で保持され手への物体の重さの集中がより分散される結果、握りやすさを感じるものと思われる。

## 4. 結論

円筒物体を上げ手握りした場合の感覚的な握りやすさと手のひらに形成されるアーチとの関係について、上げ手握りについては4人の被験者、アーチの測定については21才~24才までの成人男性20人に対して調べた。その結果以下の結論を得た。

### 1. 上げ手握り時の負荷を与えない状態での最も握

りやすい円筒径は35mm前後であり、円筒の重さが増すに従ってその値は大きくなり、30Nで約40mm前後となり、その後重さを増しても変化しなくなった。

2. 手のアーチは母指-人指し指間に形成されるアーチは手の大きさにはほとんど依存しないが、手のひら-母指以外の4本指間のアーチには密接な相関が認められた。さらにこの傾向は指の第一関節を曲げた状態で形成されるアーチについても同様であった。
3. 荷重が増すに従って、母指-人指し指間のアーチの関与は徐々に小さくなり、手のひら-母指以外の4本指間のアーチの関与が大きくなり、これは指の第一関節を曲げた状態で形成されるアーチとほぼ同じことから、荷重が増すに従って第一関節を曲げた状態の手のひらのくぼみに物体が落ち込み、くぼみ部分の大きさの影響を受けるよなることがわかった。

最後に、本研究は平成8年度および平成9年度の文部省科学研究費(基盤研究(B)(2))、代表:八高隆雄、課題番号08455112、題目:工作機械の手動制御特性の感性による評価)によった。記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 八高隆雄・荒川 進・高田 一: 機論, 手-円筒物体間の力の伝達, 60-573, C(1994), 1721-1726
- 2) 八高隆雄・山本圭治郎・小山昌洋, 兵頭和人: 機論, 円筒物体把握における握り易さの感性評価, 96-602, C(1996), 3999-4004
- 3) 渡辺みよ子・砂田孝子・岡田幸子・水野洋子・北村 君: さげ手に関する人間工学的研究(II), 日本家政学会誌, 16-3, (1965), 44-47
- 4) 山本 仁・高野 剛・植木一範・安念良訓・原利明: 握り動作の感性解析, 第73期全国大会機講論, (1995-9), 70-71
- 5) 八高隆雄・山本圭治郎・高橋勝美・兵頭和人・伊藤尚功: 握り易さの感性評価と姿勢との関係, 第73期全国大会機講論, (1995-9), 72-76
- 6) Kapandji, I.A. (萩原秀雄・嶋田智明訳), カパントイ関節の生理学I, 上肢, (1986), 170-171, 医歯薬出版社
- 7) 鎌倉矩子: 手のかたち手のうごき, 医歯薬出版, (1989), 10-15