

円柱形つまみの回転操作における指の使用状況について

How to Use Fingers during Rotary Control of Columnar Knobs

- | | | | | |
|---|--|---|--|--|
| ● 松崎 元
千葉工業大学大学院
Matsuzaki Gen
Graduate School of
Chiba Institute of Technology | ● 大内一雄
千葉工業大学
Ohuchi Kazuo
Chiba Institute
of Technology | ● 上原 勝
千葉工業大学
Uehara Masaru
Chiba Institute
of Technology | ● 上野義雪
千葉工業大学
Ueno Yoshiyuki
Chiba Institute
of Technology | ● 井村五郎
千葉工業大学
Imura Goro
Chiba Institute
of Technology |
|---|--|---|--|--|

- Key words : Hand Skill, Rotary Control, Columnar Knob

要旨

つまみ・水栓金具・ふた等の操作具を前提とした円柱の回転操作において、使用する指の状況が円柱の直径の変化によって、どのように推移するかを検討するため、32名（19～20歳の男性23名、女性9名）の被験者で実験を行った。実験の方法は以下のようなものである。直径が7mm～130mmの間で異なる木製の円柱（高さ50mm）を45本用意し、無作為に選択された各円柱を、順に台上の回転軸に差し込み、右手で時計回りに回転させる。操作の状況は、下方からビデオカメラで撮影し、得られた画像から各指と円柱の接触状況を判断した。その結果、回転操作開始時に使用する指の本数が変化する境界値を、相対的に図示し把握することができた。また、円柱の直径が増大するのに伴って、各指の接触位置がどのように推移するかを二次曲線で近似でき、その傾向が明らかになった。この結果は、回転操作機器の形状デザインに役立てることができる。

Summary

For the columnar apparatus assuming a knob, handle and cap, the state of rotary control was studied using the columnar apparatus for 23 men and 9 women, their age were 19-20 years old. The method of experiment was as follows. Wooden 45 columned objects with different diameter (height 50mm) were prepared. Diameter of these objects were 7-130mm, randomly chosen. The objects were set in the holder on the table, and then were turned to clockwise with the right hand. The condition of operating was recorded by a video camera from the bottom, and the relationships of contacting position between objects and each fingers were obtained from video recording. As a result, we could understand the boundaries of the number of fingers which were relatively shown, used at the time of starting of rotary control. And expanding the diameter of column, the touching points of fingers were approximated by the quadratic curves and clarified how they change. This result is available for designing the shape of the columnar apparatus for rotary control.

1. はじめに

手指技能に関する研究は、医学・人間工学・神経発達学・作業療法学・解剖学・スポーツ科学等の様々な分野で進められてきた。これらは、目的や視点の違いから、筋肉や関節の動きそのものに関するもの、視覚・触覚に関わるもの、認知的・心理的な側面を持つもの、具体的な製品の使い心地に関するもの等多岐に渡っている。欧米では、航空機の計器類や産業機械の安全性・操作上の合理性を高めることを目的とした操作方向のステレオタイプに関する研究[注1、2]が知られており、日本においてもこの種の研究は幾つか報告されている[注3]。また、把持特性・制御特性に関する研究としては、ロボットハンドの制御への応用を目的とした実験的考察[注4]が複数行われている。本研究は、こうした人間の手指技能の中で、つまみ・水栓金具・ふた等の操作具を前提とした円柱の回転操作について実験から検討し、その特性を明らかにするものである。

近年の「人間と道具の接点」の問題を扱った研究では、GUI (Graphical User Interface) に代表される視覚情報からの判別・情報処理、タッチパネルの操作性等に注目が集まっている。また、これと並行して、高齢者に対応した生活機器の快適な操作を求め、各障害に対応したユニバーサルな製品の設計が望まれている。キッチンや洗面台の水栓金具では、レバー式のものが増加傾向にあるが、水量の調節・空間効率・ステレオタイプ等を考慮すると、回転式のものも有効な場合も認められる。このような現状を踏まえて今回行った実験の目的は、操作開始時に使用する指の本数と接触位置の変化を明らかにし、回転操作機器の形状設計に役立てることである。直径の小さい円柱は5本の指全てを同時に使って回すことはできない。また、直径が大き過ぎるものは2本、3本の指だけでは回しづらい。つまり、我々は、円柱形の器具を操作する際、視覚と触覚により、対象物の大きさ・形状・材質・トルク等を判断し、特に意識することなく使用する指の本数を変えて対応しているのである。なお、本報では各対象物で行われた実験結果の統計学的考察により、指の接触位置・使用本数等の操作開始状況を明確化することを目標とした。よって、「つかみやすさ」「回しやすさ」のような操作の感覚的データは扱わず、今後の課題として残した。

2. 回転操作に至る過程

Exner[注5]は、回転操作を単純回転と複雑回転に分け、単純回転は母指と示指のみでも起こり得るし、それ以外の手指が関与することもある、としている。今回は、単純回転の操作開始時点に焦点を絞った上で、「それ以外の手指」の関与のしかたについて注目した。複雑回転とは、母指とその他の指によって交互に固定され、各指を交替させながら180°以上回転させる場合である。例として、ペン等を摘んで空中で保持したまま回す動作が挙げられるが、これについては対象としていない。

本研究の実験で設定された条件に相当する一般的概念としての回転操作は、その開始に至るまでに図1のような過程をたどると考えられる。それらは、いずれも大脳より腕神経叢を介して橈骨神経・正中神経・尺骨神経へと伝達され、「回転させる」という目的の下に行われる作業であるが、意図的に使用する指の本数や把握形態を変化させて行われるのではなく、ステレオタイプに関わるような指針の制御に関するものでもないとする。

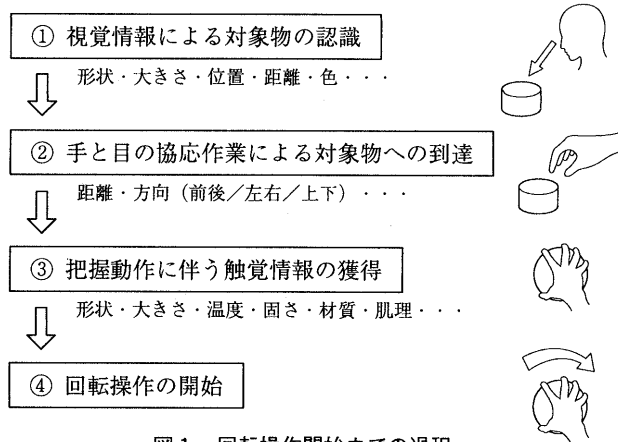


図1 回転操作開始までの過程

目と手の関係を生理学的に研究しているPillard[注6]によれば、目と頭部の定位・方向と距離の調節・把握運動、これらの各運動パターンは、感覚情報を受け取って使用している。特に、視覚フィードバック回路は形と大きさの手がかりを処理し、注視による定位を調整し、上肢の軌道と手の握りの定位を導く。接触後は、触覚からの手がかりが把握をつくり、操作を助ける。

今回の実験は、図1に示された回転操作開始に至る一連の流れの中で、③⇒④の状態での指と円柱の接触状況を動画として取り出し、操作開始直後の静止画像から指の接触位置と使用本数を判断して考察を行うものである。①⇒②⇒③で得られた各知覚情報は、④の操作開始時点で把握形態・使用する指の本数といった結果で現れ、力を調節し、各指が協調的に関係を保ちながら、回すための手指動作へと進んでいく。

3. 円柱の回転操作実験

この実験では、回転操作を必要とする日常生活における各種操作機器を想定し、操作開始時に使用される指の本数と接触位置の直径変化による推移を確認することを第一の目的とした。そのため、対象物となる円柱の直径は細かく設定したが、その他の状況設定については、操作力に関する先行研究[注7、13~15]に基づいて、より操作し易いと思われる条件で、回転操作機器としてモデル化した装置により実験を行った。結果の解析には、画像処理ソフトと統計解析ソフトを併用し、最終的に得られた散布図・計算結果・方程式等から考察を試みた。

3.1. 実験の方法

直径が異なる高さ50mmの円柱(木製)を、操作する被験者以外の者が無作為に選択し、台上の中心軸に差し込んで、被験者は与えられた各円柱を右手で時計回りに回転させた(図2)。このとき回す動作に対して、連続して行われる次の操作に影響を与えないため、余分な力を必要としないように、回転負荷は掛けずに行った(トルク=微小)。回転角度を一定にした場合、直径の差による影響が大きいと予想されることから、回す角度は設定しなかった。円柱は透明のアクリル板の上に置かれ、操作の状況を真下に設置したデジタルビデオカメラで撮影した(図3)。また、同時にアクリル板の上に被験者が右手を広げて置いた状態を撮影し、後で画像から各部位の寸法を計測して資料とした。

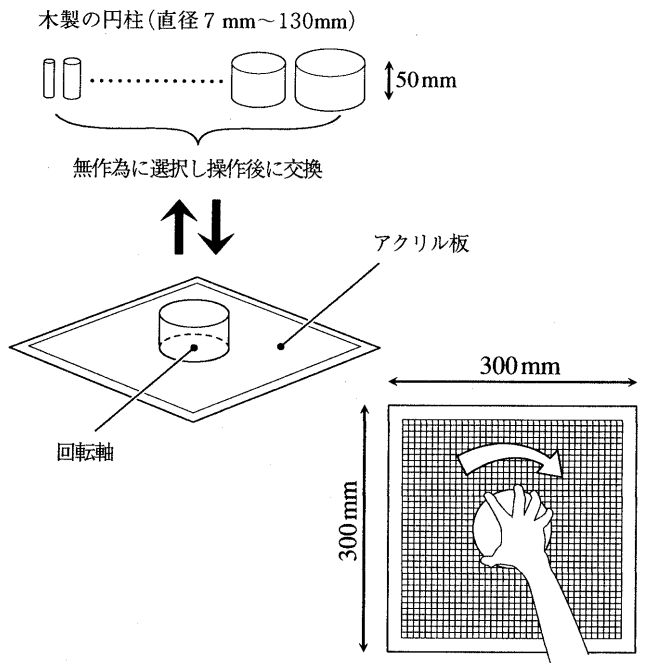


図2 円柱形対象物と操作板

3.2. 実験装置

台の高さは、立位による日常生活の操作(台所・洗面台)などを参考とし、床から円柱の上底までを800mm、円柱自体の高さは、操作時に指先がアクリル板に接触しないように50mmで統一した。立ち位置については、各被験者の身長差や腕の長さの違いによる結果への影響を減らし、より自然な状況下で操作させるため、特に制限は設けなかった。デジタルビデオによる映像は、撮影後、コンピュータのハードディスク内に取り込み、デジタル画像として縦横比の調節や拡大・縮小などの処理ができ、画像の歪みなどの誤差を補正することができる。画像上の寸法は、ほぼ正確に読み取ることが可能で、指の本数・位置を確認でき、後に述べるモニタ上でのプロット作業も比較的容易である。

3.3. 操作対象物

操作の対象となる木製の円柱は、直径が平均3mm間隔(直径が短いものは1mm間隔、長いものは5mm間隔)で7~130mmまでの合計47本を用意した。130mmより大きなものについては操作実験を行わず、つかむことができる最大のものを実際に選択してもらい、その直径を確認した。

連続制御用の回転ノブの推奨仕様[注7]によると、その形状はa型とb型の2種類に分類される。a型は「指先のつまみ操作用」で、b型は「手のひらの握り用」である。a型の直径は10~100mm、トルクが微小の場合は6~100mmで、高さは12~25mm、トルクは450cm.g以下が良いとされている。b型では、直径35~75mm、高さ15mm、トルクは2500cm.g以下が推奨されている。今回の実験での操作状況の設定は、a型のトルクが微小である場合に相当する。

3.4. 解析手順

デジタルビデオカメラによって撮影された映像を、ビデオカメラからFire Wireカード[注8]を経由してコンピュータに取り込み、DV形式のQuick Timeムービー[注9]として保存した。各被験者の約10分程度の映像をMovie Playerで再生し、コマ送りをしながら回転操作開始時の指と円柱の接触状況を、必要な部分だけコマずつ取り出していった。一つの直径の対象物につき一枚の画像が記録されるので、被験者一人当たり47枚の画像が得られた[図4-1]。

次に、これらの画像を一枚ずつPICT画像としてDRAW系ソフトに書き出した。この時点で、画像の縦横比・解像度・明るさ等の撮影時や画像の変換時に生じたと考えられる誤差を調整した。通常画像処理にはPAINT系ソフトを用いるのが一般的だが、今回はプロット作業の効率化と数値としての距離の扱い易さ等の利便性を優先し、DRAW系ソフトを用いた。

撮影機器

SONY DIGITAL Handycam DCR-VX1000

解析機器

Apple Power Macintosh 9600/233

Radius FireWire カード

SONY Multiscan 20sf 3

解析用アプリケーション

Radius MotoDV

Apple Movie Player

Adobe Illustrator 7.0

Microsoft Excel 5.0

StatSoft STATISTICA

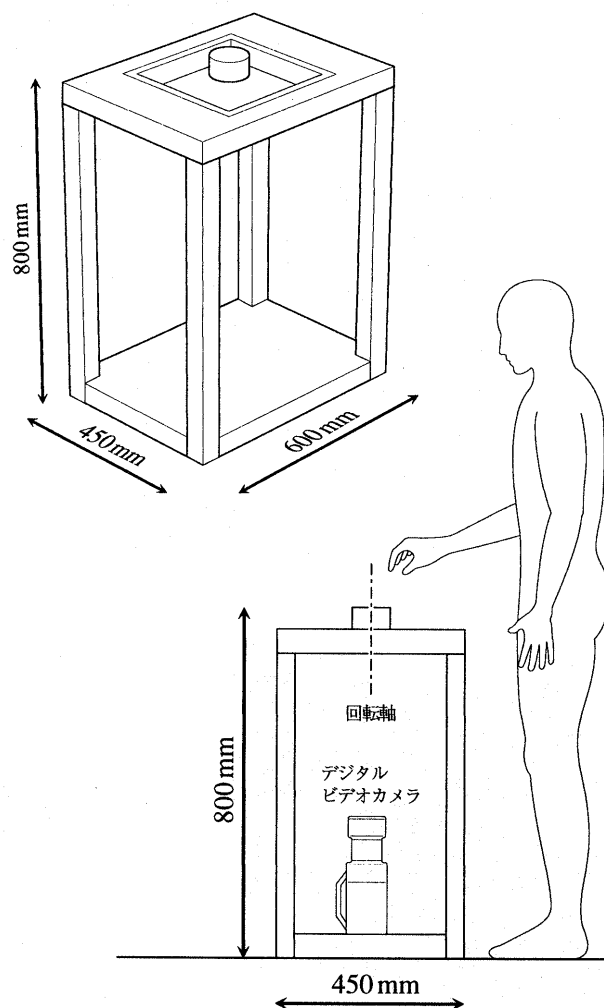


図3 実験台と操作者の概略図

表1 被験者の属性

	身長 (mm)	手長 (mm)	手幅 (mm)	指長 (mm)					握力 (kg·f)	摘み力 (kg·f)			
				第1指	第2指	第3指	第4指	第5指		1-2	1-3	1-4	1-5
平均	1687	184	84	56	74	82	76	58	40.5	7.5	6.6	4.6	2.9
標準偏差	82.5	10.7	5.2	3.7	4.9	5.0	4.4	4.9	11.0	1.9	2.1	1.7	1.1
平均(男)	1726	188	87	57	75	84	77	59	45.8	8.1	7.2	5.0	3.2
標準偏差(男)	57.9	7.8	3.3	3.8	4.8	3.9	3.8	4.6	7.5	1.9	2.1	1.7	1.1
平均(女)	1585	172	78	55	72	77	72	56	27.0	6.0	5.1	3.6	2.1
標準偏差(女)	36.8	7.8	3.6	3.1	4.7	4.3	3.8	4.8	5.0	1.0	1.2	1.1	0.4

被験者は、19～20歳の学生32名(男性23名、女性9名)で、右利きの者を対象として操作実験を行った。

直径が異なるそれぞれの円柱について、操作開始時に接触している指の位置をプロットしたものが、図4-2である。各円柱ごとのプロット結果は、レイヤーで分けられているので、ここから使用している指の本数を数え、数値データとして処理ができた。そして、得られた散布図等から指の本数の境界値を推察した。次に、各指の位置関係と円柱の直径に関する考察を行うため、ここで対象としている回転操作に必ず使用される第1指(母指)を縦軸上に整列させた[図4-3]。円柱断面の中心を原点(0,0)として、下方から見た画面上の縦軸をy、横軸をxとして各プロット位置をxy座標系で表示した。これらの座標値の平均を曲線にあてはめ、推移の傾向を解釈した。画面上で解析する際、図4-2及び図4-3のプロット結果は、各指毎に色分けされており、視覚的にも判断できるように表示したが、図では、色の区別はしていない。第1指を整列させたプロット結果(図4-3)は、各指の相互の位置関係を重視し、操作機器の形状、特に断面の凹凸形状の設計条件に役立てられるものである。また、第1指を整列させる以前の操作開始時点でのプロット結果(図4-2)は、具体的機器では、つまみ・水栓金具・ふた等の設置条件に関わる問題だが、今回の考察では対象としていない。

3.5.手の寸法と力に関する被験者の特性

被験者の手の各部の寸法(手長・手幅・指長)は、実験後に得られた画像で誤差を補正した後、モニタ上で計測した。握力は握力計、摘み力は全て第1指(母指)と他の指との間で、ピンチメーターを使用し、得られたものである。

身長と手長の相関係数は全体で0.88(男性0.72、女性0.89)、手長と手幅は0.89(男性0.74、女性0.82)で、当然の事ながら、高い相関係数が得られた。手長と各指長では、第1指から順に0.63(男性0.64、女性0.70)、0.75(男性0.75、女性0.91)、0.91(男性0.83、女性0.90)、0.85(男性0.77、女性0.86)、0.72(男性0.71、女性0.75)で、第3指との相関が最も高い。手幅と各指長においても、第3指は0.82(男性0.64、女性0.80)で他よりも高い係数が得られた。摘み力に関しては、それぞれ手幅との間で0.36～0.46の係数が得られ、握力と各指長では0.31～0.60の係数が得られた。ここに記した相関係数は、いずれも $p < 0.01$ で統計的に有意性が認められたものである。表1とこれらの結果を総合的に見て、今回の実験における被験者の手の寸法・握力・摘み力等は、特に際立った特性を持っておらず、平均的な19～20歳の男女のサンプルであったと判断した。

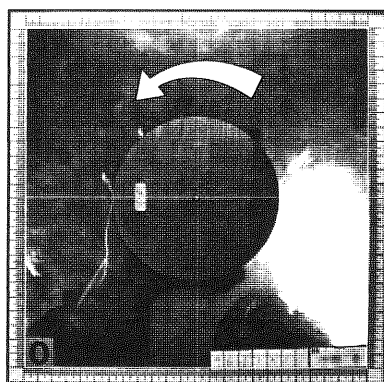


図4-1 デジタルビデオによる画像

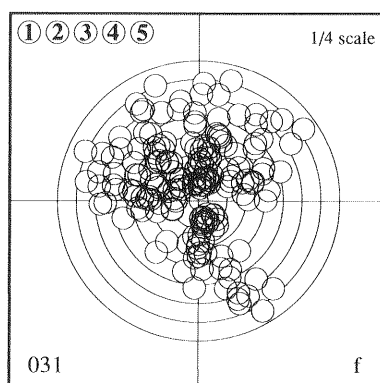


図4-2 操作開始位置のプロット

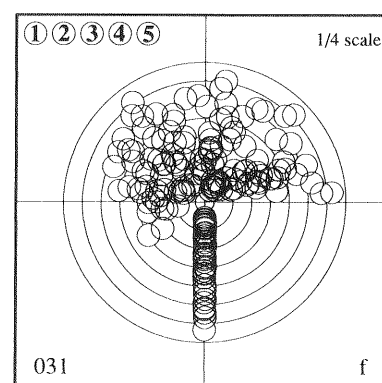


図4-3 第1指の位置を縦軸上に整列

4. 結果と考察

4.1. 直径の変化による指の使用本数の推移

図4-2のプロット結果から、直径毎に使用された指の本数を確認し、各被験者について散布図を作成すると、図5のように表すことができる。多くの場合、図5-1のように操作開始時の指の本数の境界値が明確に現れているが、中には例外的なものも見られた。図5-2は、2・3・4本の境界が曖昧で、直径32mm以降は全て5本の指が使われている。図5-3は、2本と3本、3本と4本の境界がはっきりしているものの、4本と5本の境界値を特定することは難しい。図5-4では、3本と4本の境界は確認できるが、2本と3本、4本と5本の場合が交錯しており、境界値を確定することはできない。

始めにも述べたように、我々は普段の生活の中で、直径が異なる回転操作機器を、特に意識することなく視覚と触覚により、それぞれの直径や形状に合わせて摘み、回している。この日常的な操作状況を踏まえて、今回の実験では、ランダムに異なる直径の円柱を選択し、指の本数や接触位置の結果に一般性を持たせようとしたのである。各円柱形対象物を直径の大きい順或いは小さい順に操作させた場合は、また異なった結果が得られる可能性もある。図5-2、図5-3、図5-4のような特殊な結果も得られたが、全体の傾向を探るため、図5-5を作成した。実際は、指の本数が小数値をとることは有り得ないが、平均値を散布図で示すことで変化の推移の流れとして把握することができる。4本使用から5本使用にかけての流れは、傾斜が緩やかで、範囲としても広く続いている。このことから4本使用と5本使用の境界となる円柱の直径は、個人差が大きく、また、回転操作開始時における第4指と第5指の役割は、直径の増大に伴い徐々に増していくとも解釈できる。

被験者全体の人数による相対的な使用本数の推移は図6で表され、この図から任意の直径に対する指の使用本数を推定することができる。図6に描かれたそれぞれの曲線で、被験者の半数がその本数で操作を開始している相対度数50%付近を境界とし、隣り合う曲線との交点も参考にすると、指の使用本数が変化する直径の境界値は、以下のように推定できる。

- 2本 → 3本 直径 10mm~11mm
- 3本 → 4本 直径 23mm~26mm
- 4本 → 5本 直径 45mm~50mm

直径10mm~11mmのつまみは、2本使用される場合と3本使用される場合が半数ずつであるが、これより小さくなる程、2本で摘む割合が高くなる。同様に、45mm~50mmのものは4本使用と5本使用が半数ずつで、それ以上のものは徐々に5本

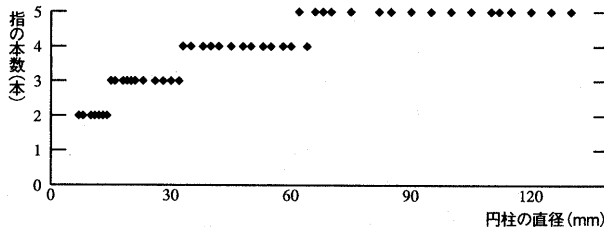


図5-1 本数の境界が明確な場合

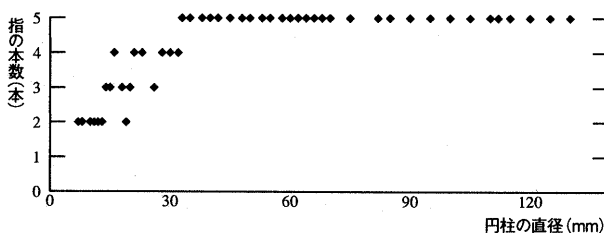


図5-2 2,3,4本の境界が不明確な場合

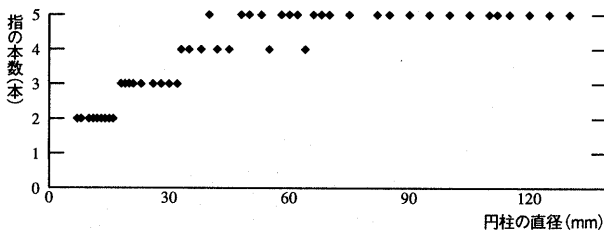


図5-3 4本と5本の境界が不明確な場合

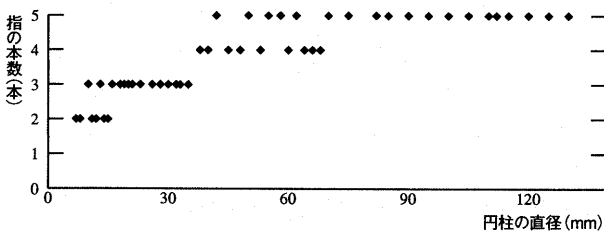


図5-4 2本と3本、4本と5本の境界が不明確な場合

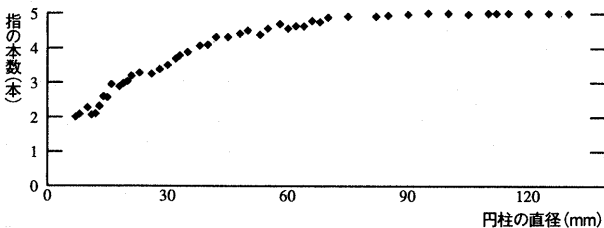


図5-5 平均値で表した場合

図5 円柱の直径と使用される指の本数との関係

図中の各曲線は最小二乗法により得られたもの

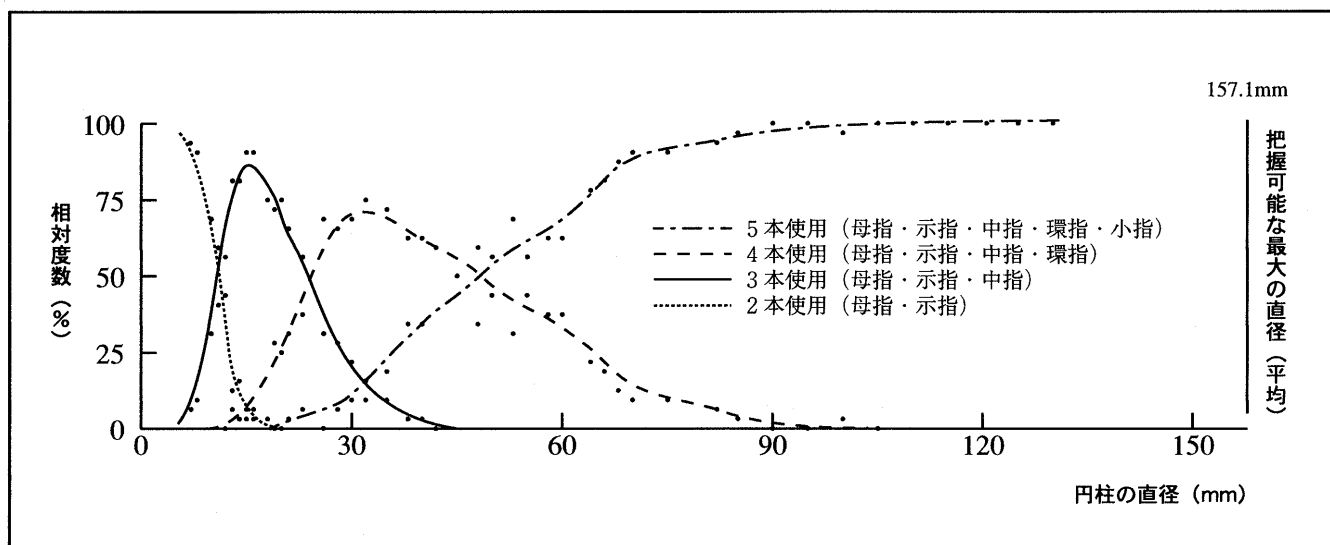


図6 回転操作開始時に使用される指の本数の推移

使用の割合が高くなり、90mm以上では、ほぼ全員が5本の指全てを使用するようになる。また、把握可能な最大の直径を男女合わせて平均した結果、157.1mmで、標準偏差は10.2mmであった。当然のことながら、この値より大きな直径の回転操作機器・つまみは、一般的な道具の範囲を超えるものである。

図5-5からも理解できるが、第4指が関わる4本使用は、比較的広範囲に分布している。これまでに挙げた特徴の多くは、第4指の使用状況が関係している。正田[注10]がまとめた各指の機能特性によれば、全ての機能で秀でていいるのは第2指(示指)であり、第1指(母指)、第3指(中指)がこれにつき、一番劣るのは第4指(環指)である。このことは、経験的にも明らかである。そして、第4指は比較的固定的、恒常的な運動をし、あまり訓練されていないため、その人の素質的な面を表しやすいとされる[注10]。今回の結果では、第4指の使用状況と握み力(1-4)の間に相関は見られなかったが、手指の技能を検討する上で、経験的要素が介入しにくい、第4指(環指)、第5指(小指)の動きに注目すべきであるということは、正田も指摘している。

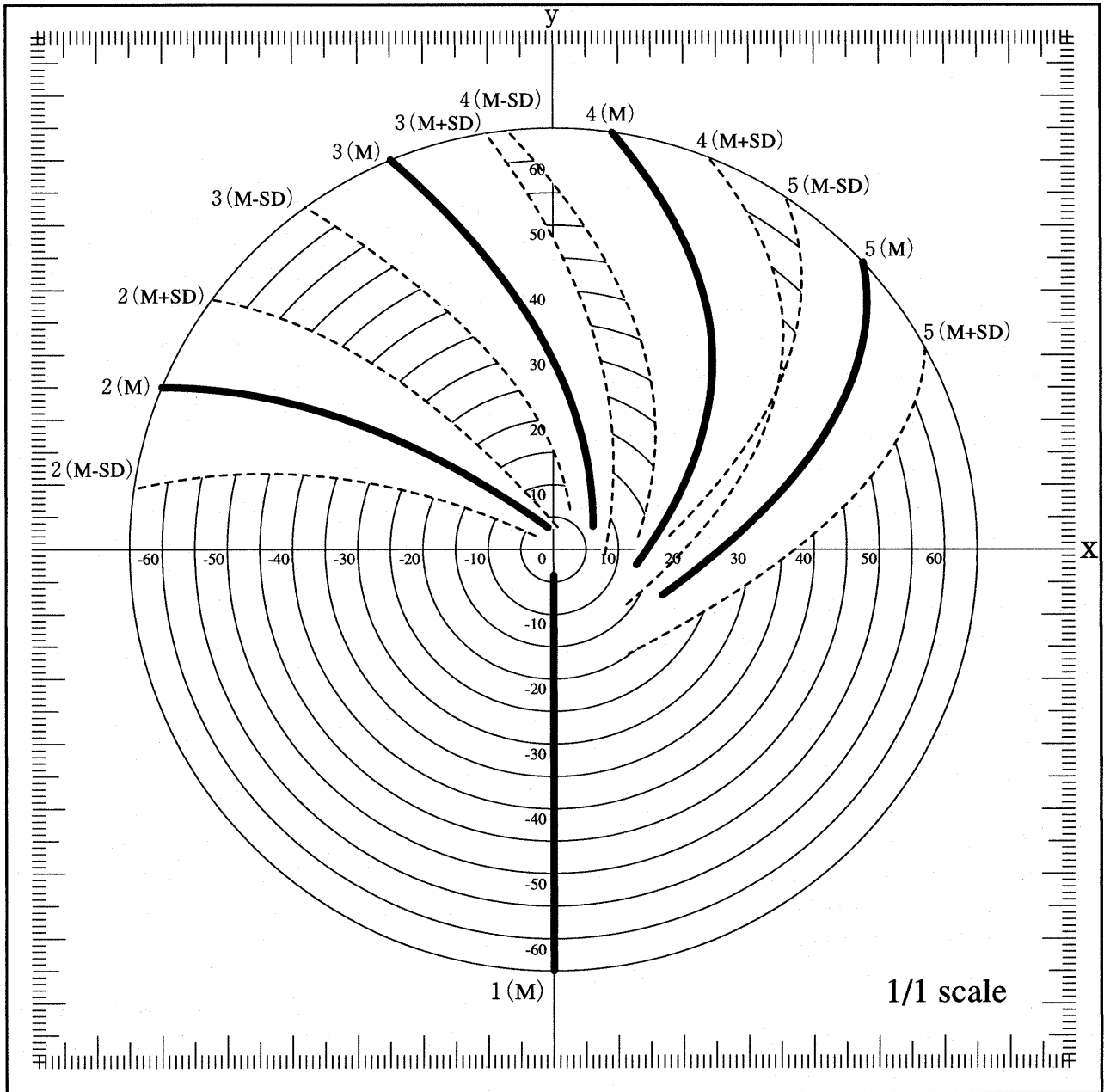
4.2. 直径の変化による各指の接触位置の推移

図4-2で得られた回転軸を原点(0,0)とする散布図で、第1指(母指)をy軸に整列させたものが図4-3である。図4-2では、身体の向きに対する指の位置を読みとることはできるが、各5指の互いの位置関係を理解するために、図4-3が必要となる。図7は、各被験者におけるこれらの図をまとめ、平均と標準偏差から推移の傾向と分布の幅を表したものである。図中に記したとおり、第1指をy軸上に揃えて基準とした場合、他の4指の推移はx,yを変数とした二次曲線で近似することができる[注11]。平均値は、プロット結果をx,y座標で読みとった後、各直径の円上の点として極座標(θ, r)に変換し、算出されたものである[注12]。

第1指を直線上に揃えた図7で、他の4指が曲線的に推移するのは、各直径に対応したつかむ動作における母指の関節の自由度に起因すると考えられる。母指の自由度は5で、他の4指よりも1多い[注13]。つまり、図7に示した各曲線の特徴は、被験者の指の長さや母指の可動特性によるところが大きいと考えられる。今回の実験ではトルクを微小なものとし、回転操作開始時の接触状態を重視したが、第4指(環指)と第5指(小指)が尺骨側の前腕の筋肉を利用して、より強い力で把握を助けることを考えれば、直径とトルクの組み合わせによって実験を行う価値もある。また、性別による差は特に見られなかった。

5. まとめ

回転操作の場合に限らず、あらゆる操作具の設計では、土台との関係・配列の位置や間隔・可動範囲等でその都度、扱いやすいと思われる形や大きさにデザインされてきている。こうした設計作業の効率化を図り、使い勝手の良い製品を作るため、過去のつまみに関する研究では、高齢者にも対応した操作高・操作位置・操作力等の実験から、扱いやすい条件を探る目的の研究が多く行われてきた[注14-16]。しかし、大島[注17]の研究以来、指と対象物の関係について細かく直径を設定して実験を行った例はほとんど見られなかった。今回の操作実験によって得られた結果は、製品デザインの立場から、回転操作機器の断面形状の凹凸を設計するのに役立つものである。具体的には、使用される指の本数と接触位置のデータを、操作開始時点に絞って、直径との関係でまとめたものであるが、直径の変化による指の使用本数の境界値を推測できただけでなく、接触位置の推移を二次関数の方程式として近似することができた。今後はこれらの結果と他の回転操作・把持動作に関する先行研究を参考として既存製品の評価を行い、感覚的要素も取り入れてより使い易い形状の提案へと進めていく予定である。

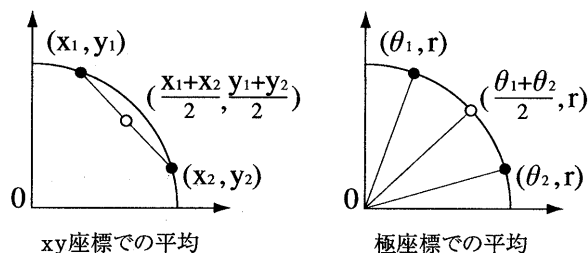


第1指(母指) 1(M) $x=0(y<0)$		
第2指(示指) 2(M+SD) $y=-0.0088x^2+1.1039x+4.8745$ $R^2=0.9875$ 2(M) $y=-0.0006x^2+0.7251x+2.6873$ $R^2=0.9835$ 2(M-SD) $y=-0.0054x^2+0.4785x+0.6601$ $R^2=0.8043$		
第3指(中指) 3(M+SD) $x=-0.0074y^2+0.1959y+7.8514$ $R^2=0.9337$ 3(M) $x=-0.0100y^2+0.0812y+5.6107$ $R^2=0.9840$ 3(M-SD) $x=-0.0156y^2+0.0329y+2.4885$ $R^2=0.9533$		
		第4指(環指) 4(M+SD) $x=-0.0142y^2+0.9267y+19.5670$ $R^2=0.8223$ 4(M) $x=-0.0114y^2+0.6520y+14.3360$ $R^2=0.8464$ 4(M-SD) $x=-0.0101y^2+0.3589y+11.7530$ $R^2=0.9542$
		第5指(小指) 5(M+SD) $x=-0.0201y^2+1.2519y+37.0110$ $R^2=0.9291$ 5(M) $x=-0.0159y^2+1.1966y+25.4540$ $R^2=0.9614$ 5(M-SD) $x=-0.0129y^2+1.0637y+15.9900$ $R^2=0.9471$

図7 回転操作開始時における円柱と各指の接触位置の推移(母指をy軸上に揃えた場合)

注および参考文献

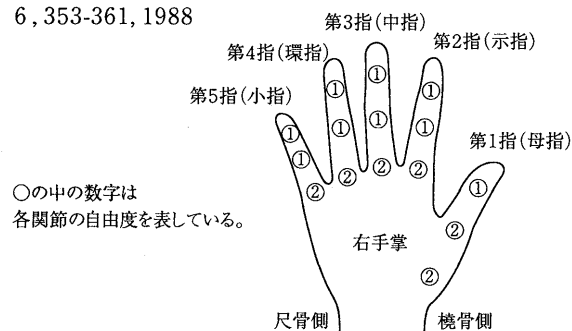
- 1) Loveless, N. E. : Direction-of-motion stereotypes, A review, Ergonomics, 5, 357-383, 1962
- 2) Hoffmann, E. R. : Strength of component principles determining direction of turn stereotypes, Ergonomics, 40, 2, 199-222, 1997
- 3) 堀田明裕, 吉岡松太郎 : 回転操作における操作方向のステレオタイプ, 人間工学, 28, 2, 61-68, 1992
- 4) 中沢信明, 池浦良淳, 猪岡光 : 人間の把持特性の実験的考察, 人間工学, 32, 5, 223-229, 1996
- 5) Exner, C. E. : In-hand manipulation skills in normal young children, A pilot study, Occupational Therapy Practice, 1, 63-72, 1990
- 6) Paillard, J. : Basic neurophysiological structures of eye-hand coordination, University of South Carolina Press, 1990
- 7) 野呂影勇編 : 図説エルゴノミクス, 日本規格協会, 64-65, 1990
- 8) Fire Wireは標準規格であるIEEE1394としても知られており、元来はApple Computer社が開発した高速シリアルインターフェースであったが、現在ではコンピュータ・家電製品メーカーの多くが様々な製品で採用している。
- 9) Quick Timeは、米国のApple Computer社が開発した動画規格で、現在Macintosh用とWindows用が用意されている。
- 10) 正田亘 : 人間工学, 恒星社厚生閣, 58-67, 1981
- 11) 通常のxy座標による関数表示では、yを従属変数とし、 $y = f(x)$ という形をとる方が一般的だが、ここでは、複雑になることが予想される無理関数による表記を避けるため、 $x = f(y)$ の形で二次関数として表している。しかし、第2指に限っては、その曲線の特性から、xを従属変数、yを独立変数とした方が表記し易く、二次方程式として解釈し易いため、 $y = f(x)$ の形式で表している。
- 12) プロットした結果をxy座標ではなく、極座標として扱うことで円弧上に平均値を得ることができる。



ただし、極座標上で平均・標準偏差を三角関数を用いて算出する場合、 θ の値が 0° 、 90° 、 180° 、 270° を境界とする

前後で、符号土の変化に注意しなければならない。また、図7は各直径での接触する指の位置の平均値及び標準偏差を計算し、二次曲線で近似したものである。平均値Mを基準とした標準偏差SDでサンプルの幅を表しているが、M+SDは、図4-3のような下方からの図で、反時計回り(左回り)に、M-SDは、時計回り(右回り)に角度を加えたものである。図7は、これによって得られた座標値に曲線をあてはめた後、操作する人の視点(上方からの視点)に合わせるため、x軸の左右を入れ替えて表示している。

- 13) 雨宮俊彦 : 手指技能研究の枠組みについて, 人間工学, 24, 6, 353-361, 1988



- 14) 徳田哲男, 児玉桂子 : 押しおよび回転操作機器の操作高と操作力に関する年代的特徴, 人間工学, 28, 2, 69-78, 1992
- 15) 徳田哲男, 児玉桂子 : 押しおよび回転操作機器の操作高と操作力に関する年代的特徴(2), 人間工学, 28, 4, 215-218, 1992
- 16) 徳田哲男, 児玉桂子 : 押しおよび回転操作機器の操作高と操作力に関する年代的特徴(3), 人間工学, 29, 4, 259-267, 1993
- 17) 大島正光 : 人間工学, コロナ社, 12-16, 123-127, 1970

なお、本論文に掲載した、第4章第1節の「直径の変化による指の使用本数の推移」は、1998年10月、朝陽科技大学(台湾)において開催された日中韓デザインシンポジウム(第3回アジアデザイン会議)で発表したものである。