

## 研究論文：論文 ORIGINAL ARTICLES

Received November 30, 2000; Accepted May 16, 2001

## 正面および側面に設置したつまみの直径変化による指の使用本数と接触位置

—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(2)

## The Number and Touching Points of Fingers with Different Diameter on the Front and Side Face Setting

—How to Use Fingers during Rotary Control of Columnar Knobs (2)

- |  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| ● 松崎元<br>千葉工業大学大学院<br>Matsuzaki Gen<br>Graduate School of<br>Chiba Institute of Technology | ● 上原勝<br>千葉工業大学<br>Uehara Masaru<br>Chiba Institute of<br>Technology | ● 上野義雪<br>千葉工業大学<br>Ueno Yoshiyuki<br>Chiba Institute of<br>Technology | ● 井村五郎<br>千葉工業大学<br>Imura Goro<br>Chiba Institute of<br>Technology |
|--|--|--|--|

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

## 要旨

円柱の回転操作における指の使用状況が、円柱の直径変化によって、どのように推移するかを検討するため、操作台の正面および側面につまみを設定した場合について実験を行った。被験者は32名で、直径が異なる木製の円柱を45本用意し、無作為に選択された各円柱を、順に右手で時計回りに回転させた。床からつまみ中心軸までの高さは各被験者の肩峰高に合わせ、操作の状況は、手掌側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、正面設定・側面設定のそれぞれについて、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、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た。更に、前報の上面設定のものに合わせて比較することで、回転操作における手指機能の部分的特性を明らかにし、製品デザインのための資料としても応用範囲を広げることができた。

## Summary

The action of rotary control was studied, using columnar objects set on the front and side faces of an experimental piece of apparatus. The study was conducted using 32 people. Forty five wooden columnar objects were prepared with different diameters. The objects, which were randomly chosen, were set in a holder on a table and were turned clockwise with the right hand. The height of the rotation axis, was the height of each points, of acromiale height. The experiment was recorded by a video camera from the 'palm' side of the hand and the relationship between the object and point of contact of the fingers were obtained from the video recording. As a result, we can understand the boundries on the number of fingers, which were shown relatively and used at the time of starting the rotary control. The touching points of the fingers were approximated and the changes clarified by the quadratic curves. In addition, in comparison to the case of a top face setting, these results have shown a partial property finger skill for rotation control and we can widely apply it as data for 'Product Design'.

## 1. はじめに

これまで様々な分野で進められてきた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、多岐にわたって広がり、それぞれの分野で成果を挙げている。特に人間工学においては、回転操作機器の操作力・操作位置に関する年代的な特性[注1、2、3]、操作方向のステレオタイプに関する研究[注4、5、6]等が報告され、製品設計のための一指標となっている。また、最近では、把持動作における特性および指先の軌道に関する報告[注7、8]もされ、把持動作での指先と手首の軌道モデルが提案されている。しかし、前報[注9]のような直接物体に触れて操作する状況についての研究も、道具の形状設計に関わるデザインの分野では重要となり、魅力的で操作性も高く、扱いやすい形態を創造する以前に、考慮しなければならない条件として、各指の接触状況や使用本数などの情報が有用である。こうした現状を踏まえて、前報[注9]では「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」と題し、操作台の上面に設置されたつまみ・水栓金具・ふた等を想定した、上方からの回転操作について実験結果から検討し、その特性を明らかにした。今回は、前報の操作実験と同様の手法を用い、対象物(木製円柱体)を操作台の正面および側面に設置した場合(正面設定および側面設定)について実験を行い、その結果を前報の上面に設置した場合も含めて総合的に考察することで、より有効な製品デザインのための資料とすることを目的とした。

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、指の使用本数・接触位置等の操作開始状況を明確化することを目標とし、上面設定・正面設定・側面設定での操作開始状況をそれぞれ比較してまとめることで、デザイナーのために、より実用価値の高い資料とすることを重視した。そのため、前回と同様に本実験でも、手そのものの基礎的な機能・特性を知るといった観点から、「つかみやすさ」「回しやすさ」といった感覚的データは扱っていない。しかし、より使い心地の良い製品をデザインするためには、これも無視できない部分であり実際の道具・製品への応用に際しても、使用者の身体特性以外の感覚的特性への考慮が今後の課題となる。

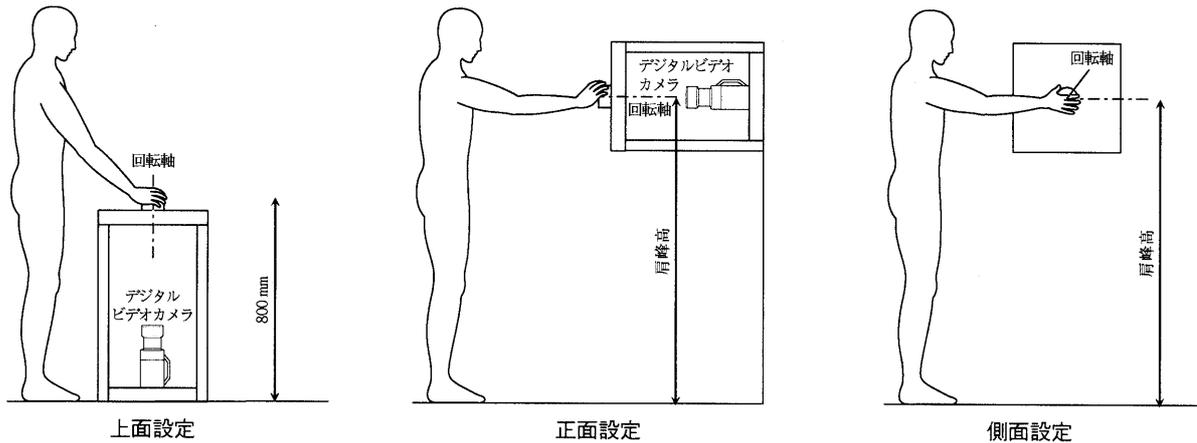


図1 実験台と操作者の位置関係

2. 上面設定・正面設定・側面設定

前報で示した上面設定の実験[注9]では、つまみ・水洗金具・ふた等の円柱形対象物の回転操作を前提とし、そこから、操作台等の条件を設定した。今回の実験は、操作者から見て対象物を正面に設置した場合(正面設定)[図1]および側面に設置した場合(側面設定)[図1]について、前回同様の実験・解析方法を用いてその結果を考察し、手指技能の一部を明らかにしようとするものである。本実験の目的は、回転操作開始時に接触している各指と円柱形対象物との関係であるから、ドアノブのような手掌を用いた肘頭高付近での「にぎる」動作[注10]は対象とせず、指先で操作する「つまむ」動作と「つかむ」動作[注10]に関して実験を行った。また、各種操作機器への汎用性を考慮し、被験者の身長差による結果への影響を減らすため、正面設定、側面設定ともに、円柱の回転軸の高さを操作者の肩峰高[注11]に合わせた。

した。全ての円柱は、高さが50mmで一定だが、直径が7mm~130mmの範囲内で異なり、直径が小さなものは1mm~3mm間隔、大きなものは5mm間隔とした。実験補助者は、これらの中から無作為に選択した円柱を、台上の中心軸に差し込み、被験者は、セットされた円柱を右手で時計回りに回転させた。円柱は透明の亚克力板の上に置かれ、操作の状況を手掌側に設置したデジタルビデオカメラで撮影した(図1)。この実験を45種全ての円柱について連続して実施した。このとき回転操作の繰り返しによる手指・前腕部の筋疲労に対する影響を小さくするため、回転負荷は掛けずに行った(トルク=微小)。また、回転角度を一定にした場合、直径の大小によって腕の使い方が大きく異なると予想されるため、回す角度は設定しなかった。最後に亚克力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。

3. 正面設定・側面設定における円柱の回転操作実験

今回の実験は、前回の上面設定の場合と同様の方法を用い、各被験者の肩峰高で正面設定および側面設定について行ったものである(図1・図2)。本研究の目的は、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である。そのため、対象物となる円柱の直径は細かく設定したが、被験者の腕の長さ等の身体的な相違による影響を減らし、手・手指そのものの機能を検証するため、操作高(床から円柱の回転軸までの高さ)は各被験者の肩峰高に合わせた。また、操作力・回転角度・立ち位置に対しては制限しなかった。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。以下に記す実験方法および解析手順は前報に掲載したものと重複する部分があるため、理解できる範囲で省略した。詳細は前報[注9]を参照頂きたい。

3.1. 実験の方法

まず実験に際し、45種類の直径が異なる木製の円柱を用意

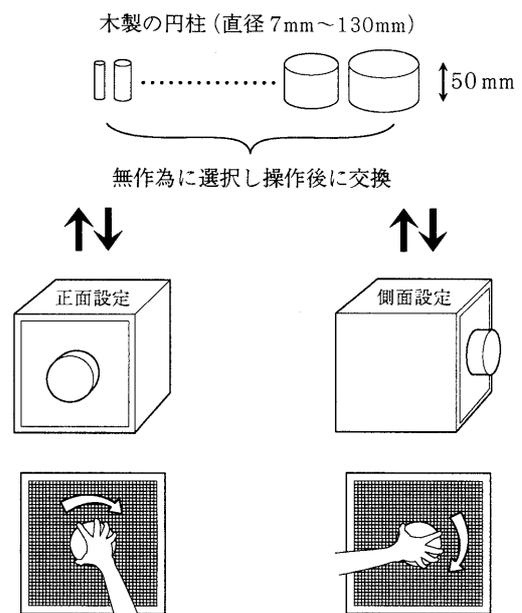


図2 回転操作実験の流れ

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	1660	175	81	57	71	79	74	59	31.5	5.8	5.6	3.5	2.3
標準偏差	75.2	7.5	5.4	3.2	4.1	4.2	4.6	4.6	11.2	1.5	1.8	1.4	0.8
平均 (男)	1721	180	85	59	73	82	77	61	40.8	6.8	6.7	4.4	2.8
標準偏差 (男)	41.4	5.0	3.5	2.1	3.6	3.2	3.2	3.0	7.5	1.3	1.6	1.3	0.7
平均 (女)	1599	170	77	55	70	76	71	57	22.2	4.9	4.6	2.7	1.9
標準偏差 (女)	44.5	6.2	3.4	2.4	4.0	3.4	3.8	5.0	4.5	1.0	1.4	1.0	0.5

被験者は、19～20歳の学生32名(男性16名、女性16名)で、右利きの者を対象として操作実験を行った。

### 3.2. 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指が接触した瞬間の画像一枚が記録されるので、被験者一人当たり45枚の画像が得られ、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。

以下に本研究で使用した撮影機器・解析機器・解析用アプリケーションを示す。

撮影機器	SONY DIGITAL Handycam DCR-VX1000	
解析機器	Apple Power Macintosh 9600/233	
	Apple Power Book G3	
	Radius FireWire カード	
	MITSUBISHI Diamondtron RD17G III	
解析用アプリケーション		
	Radius MotoDV	Apple Movie Player
	Microsoft Excel 5.0	StatSoft STATISTICA
	Adobe Illustrator 8.0	

得られた画像から、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、その結果は、実験を行った円柱ごとにレイヤー(45枚)で分類した。ここから円柱に指腹が接触し、円柱の回転操作に関与している指の本数を数え、各被験者・各直径ごとの結果を数値データとして処理できた。また、回転操作に関わる指の本数は円柱の直径の大きさによって変化する。そこで、得られた散布図からその境界

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。その後、円柱断面の中心を原点(0, 0)として、手掌側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 x y 座標系で表示し、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。その際、プロットした結果は x y 座標を極座標( $\theta$ , r)に変換する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、 $\theta$  の値が  $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$  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。

第1指を整列させたプロット結果は、各指の相互の位置関係を重視し、特に回転操作時に各指を掛けやすくするための形状を設計する際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は、具体的機器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。

### 3.3. 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、実験後に撮影した画像から誤差を補正した後、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0.87、手長と手幅は0.72で、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0.71、0.76、0.87、0.81、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0.78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0.49～0.63の係数が得られ、握力と各指長では0.55～0.75の係数が得られた。ここに記した相関係数は、いずれも  $p < 0.01$  で統計的に有意であった。

表1とこれらの結果を総合的に見て、今回の実験で被験者とした19～20歳の男女は、手の寸法・握力・摘み力等に関して、極端に偏った値を示さなかった。

図中の各曲線は最小二乗法により得られたもの

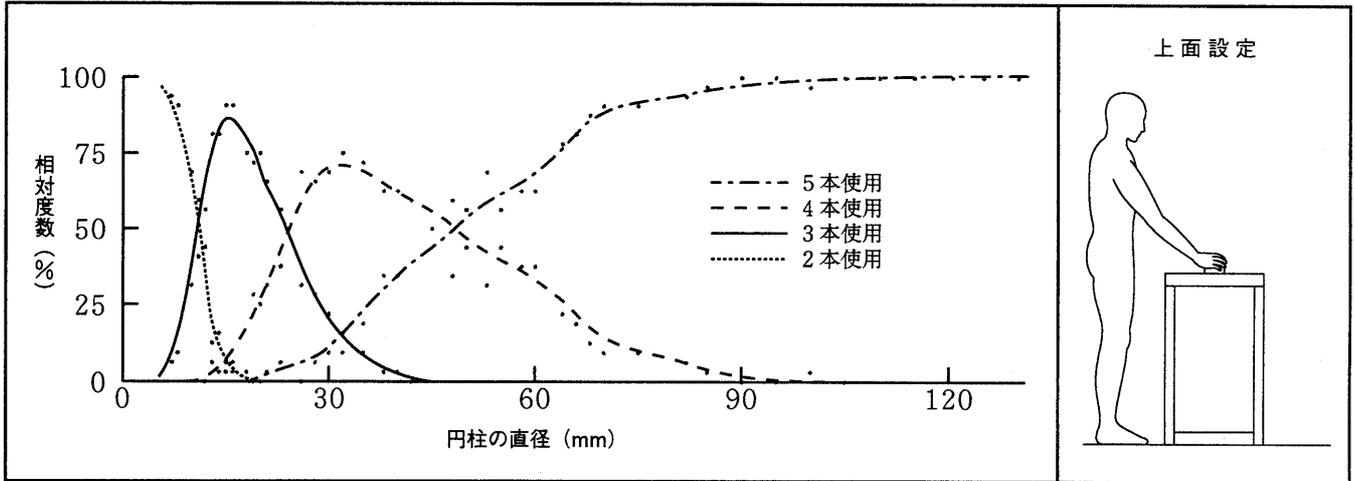


図3 回転操作開始時に使用される指の本数の推移(上面設定)

図中の各曲線は最小二乗法により得られたもの

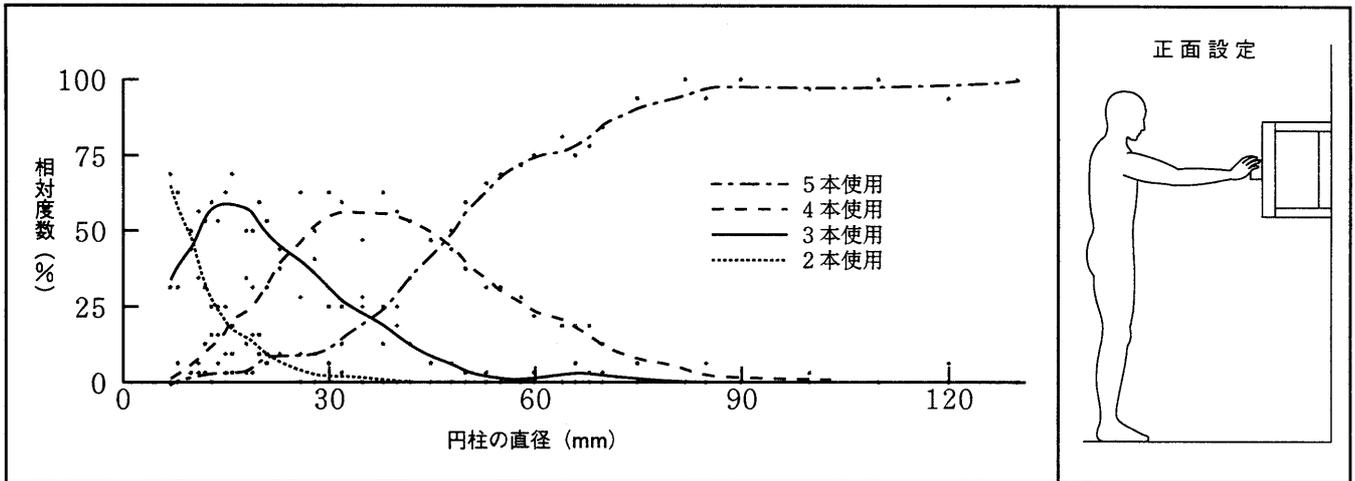


図4 回転操作開始時に使用される指の本数の推移(正面設定)

図中の各曲線は最小二乗法により得られたもの

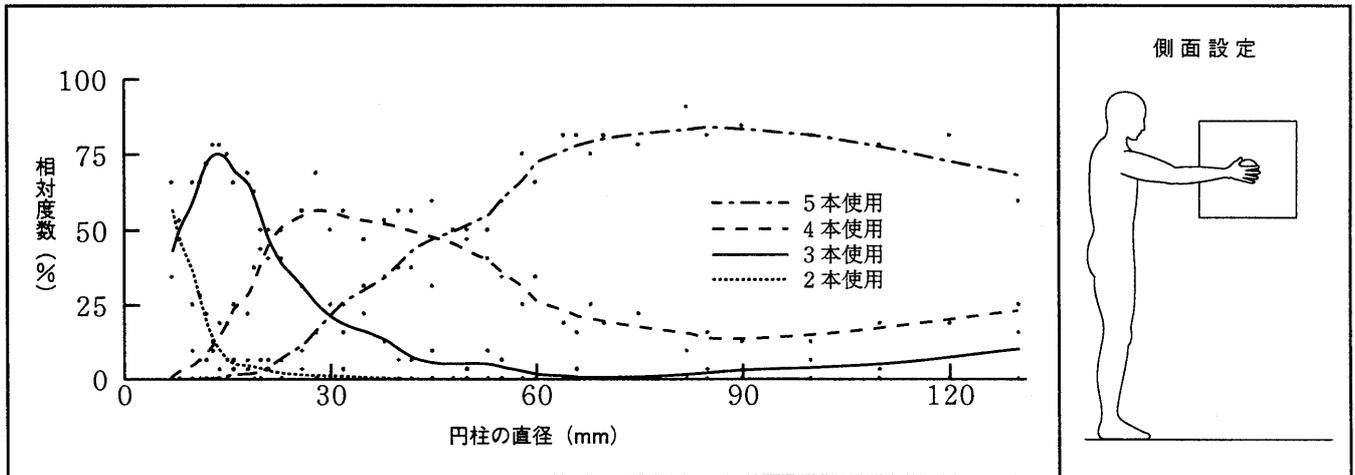


図5 回転操作開始時に使用される指の本数の推移(側面設定)

表2 指の使用本数が変化する円柱形対象物の直径

	2本 → 3本	3本 → 4本	4本 → 5本
上面設定	11 mm	24 mm	48 mm
正面設定	10 mm	24 mm	47 mm
側面設定	8 mm	21 mm	45 mm

これらの値は、図3・4・5の隣り合う度数分布曲線の交点から推定した境界値である。

#### 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

上面・正面・側面設定での指の使用本数別に示した円柱直径に対する被験者数の相対度数分布は、図3・4・5のように表される。図3は、今回の実験結果と比較して検討するため、前報[注9]から再度記載した。図中の各曲線は、いずれも各設定での指の使用本数ごとに最小二乗法によって得られたものである。

各図、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隣り合う度数分布曲線の交点から、指の使用本数が変化する境界値を推定すると表2の結果が得られた。操作者が、円柱形つまみを回転させる目的で、操作開始時に使用する指の本数は、円柱形対象物の大きさ(円柱断面の直径の長さ)によって変化する。その境界値は、側面設定の場合で1~3mm小さいが、表2から、上面・正面・側面設定それぞれについて、2本→3本・3本→4本・4本→5本の境界値を比較した場合、際だった特性は見られなかった。

次に、図3・4・5の各曲線から、その特徴をまとめると以下のものであった。上面設定では、相対度数75%以上の被験者が同じ本数で操作した直径の範囲が存在した。しかし、正面・側面設定では、5本使用以外にそうした分布は見られなかった。指の使用本数が変化する境界値には各設定でほとんど差はなかったが、各本数での相対度数の分布状況では、上面・正面・側面設定それぞれでの差が顕著であった。特に、側面設定での4本使用は、直径15mm程度のものから120mmを越えるものまで広く分布している。上面・正面設定の場合には、直径90mmを越えると、ほぼ全員の被験者が5本の指を使用した。側面設定では、90mmを越えると、3本使用と4本使用が徐々に増え始め、当然それに伴い5本使用が減り始める。

##### 4.2. 直径の変化による各指の接触位置の推移

図6・7は、正面設定と側面設定それぞれにおいて、各直径での指と円柱側面の接触位置について、回転軸を原点(0,0)とする散布図から、第1指(母指)をy軸に整列させ、平均と標準偏差によって推移の傾向と分布の幅を表したものである。前回同様、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を変数とした二次関数で近似することができた。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( $\theta, r$ )に変換し、

算出されたものである。前報[注9]に掲載した上面設定の場合と併せて各図から読みとることができる特徴を以下のようにまとめた。

床からの高さが800mmでの上面設定で、前回得られた各指の接触位置の推移は、第1指を基準としてy軸上に揃えた場合、yまたはxの二次関数として近似できる。通常のx,y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。この点は、今回行った他の二設定においても同様であった。また、各指の位置関係のみを示した図6・7からは指の使用本数を判断することができないため、実際に回転操作機器の設計に役立てるためには、図3と前報[注9]の75頁図7(上面設定)、図4と図6(正面設定)、図5と図7(側面設定)を各設定ごとに照らし合わせて判断する必要がある。なお、前回と同様に、いずれの結果においても性別による際だった特性の違いは、得られなかった。

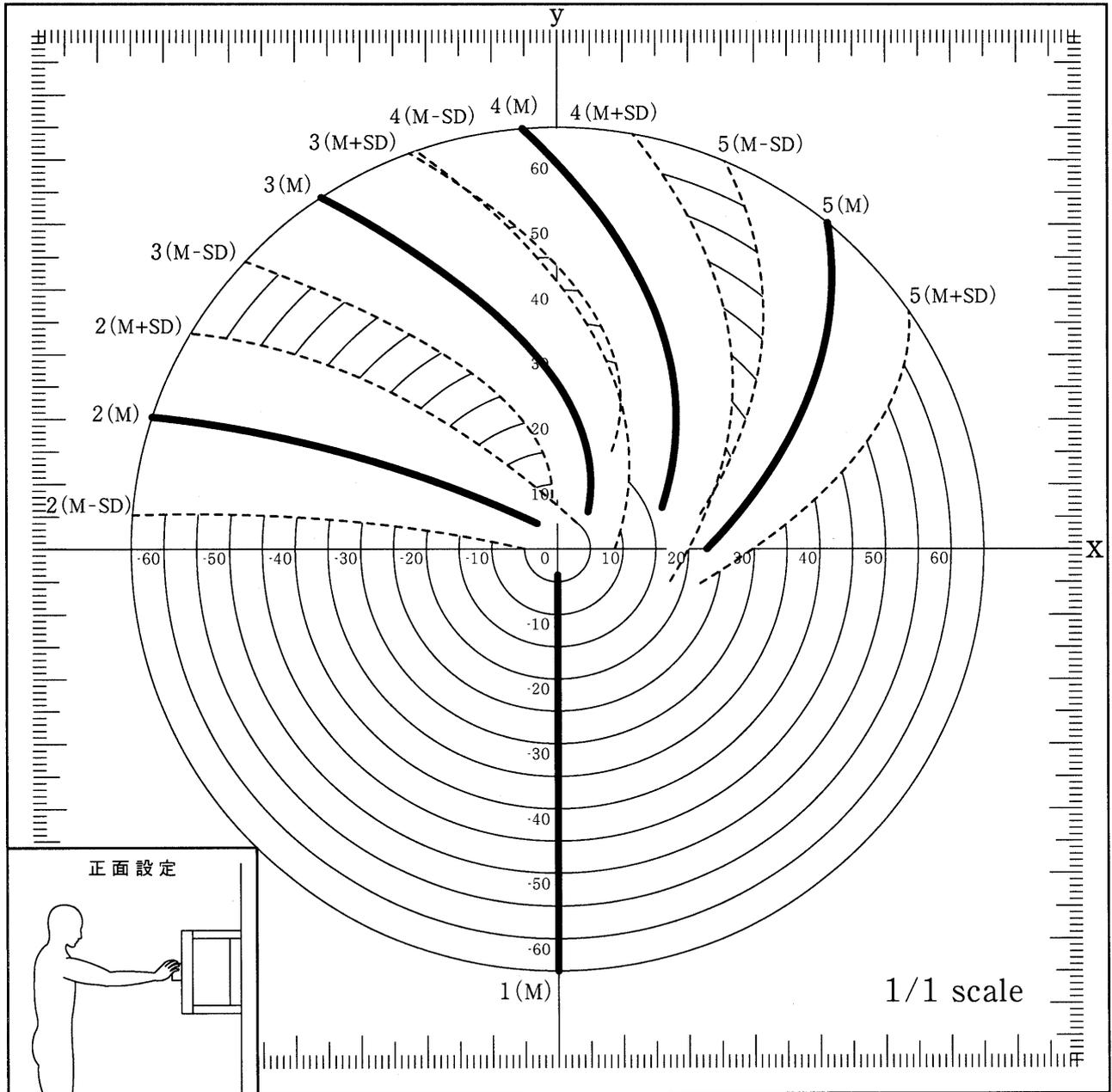
#### 5. まとめ

本論文は、前報の「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」[注9]で行った上面設定での実験を、新たに正面設定・側面設定について行い、それぞれの特性を比較、考察したものである。本報および前報で得られた結果を総括すると以下のようにまとめることができる。

(1) 上面・正面・側面設定で回転操作開始時に使用される指の本数が変化する直径の境界値は、相対度数50%付近で、表2のように推定でき、各設定での差が1~3mmしかないことから、3つの設定全体として以下のようにまとめられる。

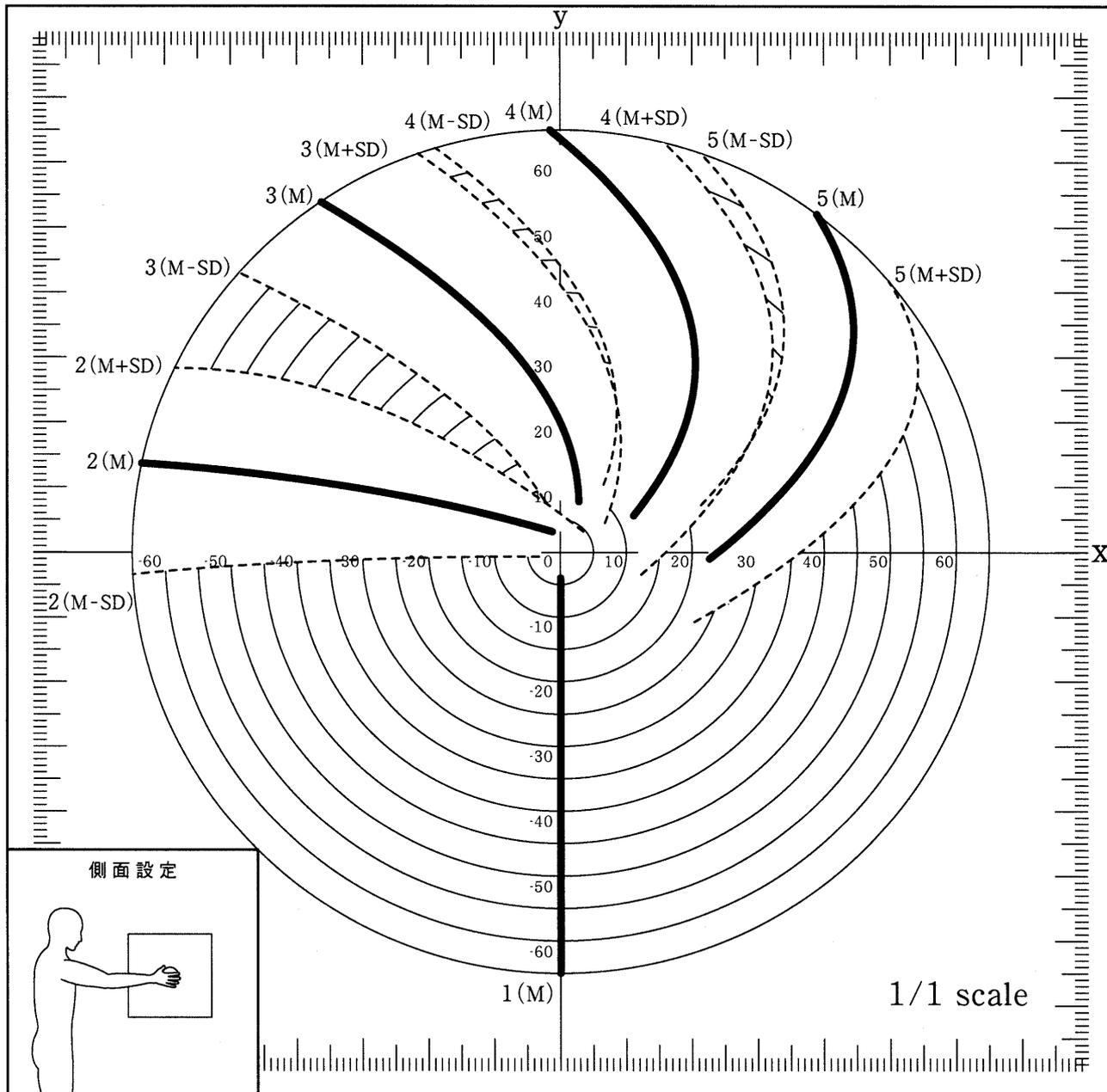
変化する指の使用本数	円柱形対象物の直径の境界値
2本 → 3本	直径 8 mm~11 mm
3本 → 4本	直径 21 mm~24 mm
4本 → 5本	直径 45 mm~48 mm

(2) 回転操作開始時の円柱と指の接触位置は、母指をy軸に整列させ、各指の位置関係に注目すると、母指以外の四指の推



<b>第1指 (母指)</b> 1(M) $x=0 (y<0)$		
<b>第2指 (示指)</b> 2(M+SD) $y=-0.0069x^2-0.8592x+6.8702$ $R^2=0.9513$ 2(M) $y=-0.0031x^2-0.4842x+2.4038$ $R^2=0.9578$ 2(M-SD) $y=-0.0023x^2-0.2508x-1.3023$ $R^2=0.7962$		
<b>第3指 (中指)</b> 3(M+SD) $x=-0.0139y^2+0.3638y+7.8476$ $R^2=0.9447$ 3(M) $x=-0.0213y^2+0.4451y+2.7716$ $R^2=0.9904$ 3(M-SD) $x=-0.0373y^2+0.6788y-3.6998$ $R^2=0.9732$		
		<b>第4指 (環指)</b> 4(M+SD) $x=-0.0103y^2+0.5348y+19.962$ $R^2=0.7817$ 4(M) $x=-0.0116y^2+0.4703y+13.448$ $R^2=0.9537$ 4(M-SD) $x=-0.0224y^2+1.0454y-2.5905$ $R^2=0.9868$
		<b>第5指 (小指)</b> 5(M+SD) $x=-0.0198y^2+1.3910y+29.504$ $R^2=0.9209$ 5(M) $x=-0.0107y^2+0.9071y+22.929$ $R^2=0.9152$ 5(M-SD) $x=-0.0106y^2+0.7642y+17.831$ $R^2=0.6709$

図6 正面設定での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)



<b>第1指 (母指)</b> 1(M) $x=0 (y<0)$					
<b>第2指 (示指)</b> 2(M+SD) $y=-0.0064x^2-0.7600x+5.9229 \quad R^2=0.9099$ 2(M) $y=-0.0018x^2-0.2930x+2.5523 \quad R^2=0.8522$ 2(M-SD) $y=-0.0011x^2-0.0279x-0.7853 \quad R^2=0.7518$			<b>第4指 (環指)</b> 4(M+SD) $x=-0.0162y^2+1.0247y+16.068 \quad R^2=0.8346$ 4(M) $x=-0.0169y^2+0.9819y+6.4399 \quad R^2=0.9194$ 4(M-SD) $x=-0.0166y^2+0.7210y+0.6905 \quad R^2=0.8642$		
<b>第3指 (中指)</b> 3(M+SD) $x=-0.0159y^2+0.5517y+4.4047 \quad R^2=0.9095$ 3(M) $x=-0.0180y^2+0.2722y+1.7795 \quad R^2=0.9584$ 3(M-SD) $x=-0.0215y^2-0.2309y+0.8176 \quad R^2=0.9629$			<b>第5指 (小指)</b> 5(M+SD) $x=-0.0226y^2+1.2555y+37.057 \quad R^2=0.9146$ 5(M) $x=-0.0174y^2+1.2008y+23.938 \quad R^2=0.9310$ 5(M-SD) $x=-0.0171y^2+1.1737y+13.959 \quad R^2=0.8437$		

図7 側面設定での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)

移を  $x$  または  $y$  の二次関数として近似することが可能で、上面・正面・側面設定それぞれについて、その特徴を図示し、把握することができた。

回転操作における操作高・操作位置・操作力・操作方向等の研究は、人間工学・作業療法学等の分野で過去に報告されてきた[注1～8]。本報ではこうしたこれまでの成果とは異なる視点から、操作開始時における各指の対象物との接触位置、直径による指の使用本数を図示することで、形状設計に関するデザイン分野での応用を目的とした。これにより、前報の上面設定の場合と合わせて、正面設定と側面設定について併記することで、その応用範囲を拡大し、製品デザインのための基礎データとして役立つ結果を導き出せたと考える。また更に、ロボットハンドの開発や義手の製作等の工学・医学的な分野に対しても少なからず興味深い結果を示すことができた。今後は製品デザインの立場から、こうした研究分野の垣根を越えた手指機能に関する研究を進めると同時に、操作力や感覚的評価を取り入れた具体的製品への応用が課題となる。

#### 注および参考文献

- 1) 徳田哲男, 児玉桂子: 押引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
- 2) 徳田哲男, 児玉桂子: 押引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
- 3) 徳田哲男, 児玉桂子: 押引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
- 4) Loveless, N. E.: Direction-of-motion stereotypes, A review, Ergonomics, 5, 357-383, 1962
- 5) Hoffmann, E. R.: Strength of component principles determining direction of turn stereotypes, Ergonomics, 40, 2, 199-222, 1997
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 中沢信明, 梶川伸哉, 猪岡光, 池浦良淳: 把持動作における指先軌道の実験的考察, 人間工学, 36, 1, 19-27, 2000
- 9) 松崎元, 大内一雄, 上原勝, 上野義雪, 井村五郎: 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, デザイン学研究, 45, 5, 69-76, 1999

10) 把握動作の基本用語は以下のように定義される [注11]。

「つまむ」(抓む、摘む)

母指および示指あるいは中指の指頭掌側面(爪先を含む)でものを保持すること。つまむ動作には、母指・示指および中指の中手指節関節、指節間関節のすべてが屈曲位にある場合と、指節間関節が伸展している場合とがある。または母指の指頭掌側面と示指の橈側面でものを保持すること。

「にぎる」(握る)

手指および手掌でものを保持すること。にぎる動作は、すべての指の中手指節関節および指節間関節が屈曲位にあって、母指は示指・中指の背側面にある。また、にぎり方によっては母指が伸展位にある場合がある。

「つかむ」(掴む)

主として手指でものを保持すること。つかむ動作は、それぞれの指および母指の中手指節関節は伸展位にあって、指節間関節が屈曲している状態である。この場合、指の外転(指を広げる)・内転(指を閉じる)を問わない。

11) 内田謙: 言葉(動作言語)と手の働き, 人間工学, 26, 3, 134-138, 1990

12) 肩峰高とは、立位における床面から肩峰点までの垂直距離。肩峰点は肩甲骨の肩峰の最も外側に突出した点。

前稿から引き続き、共同研究者としてご指導・ご協力頂いていた大内一雄先生が昨年他界されました。ここに多大なる感謝の気持ちを記すと共に、改めてご冥福をお祈り申し上げます。