

## 身体寸法の個人差を考慮した人間工学的設計法<sup>1</sup>

### Ergonomic Design Methods Considering Individual Variation in Human Body Sizes

川野常夫<sup>2</sup> 摂南大学理工学部 機械工学科

福井 裕 摂南大学理工学部 CAD 演習室

KAWANO, Tsuneo Department of Mechanical Engineering, Setsunan University

FUKUI, Yutaka CAD Laboratory, Setsunan University

#### Abstract

There are individual differences in human body sizes. When designing products, it is important to remember that people come in many sizes and shapes. For example, if we design a doorway, we would need to design using dimensions of the widest and tallest people to ensure that everyone could walk through normally. Furthermore, if we design a chair, we should make the height of seat adjustable so that many individuals could use it comfortably. This paper describes ergonomic design methods considering individual variation in human body sizes focusing “percentiles” which are statistical measures of distribution. It is common practice to design for the 5th percentile female to the 95th percentile male. The 5th percentile female value for a particular dimension usually represents the smallest measurement for design in a population. Conversely, the 95th percentile male value may represent the largest dimension. The 5th% to 95th% range accommodates approximately 90% of the population.

キーワード： 身体寸法、個人差、パーセンタイル、製品設計、人間工学

**Keywords :** anthropometric dimension, individual difference, percentile, product design, ergonomics

#### 1. はじめに

身長や座高、肩幅や上肢長など人間の身体各部の寸法は、たとえ民族や年齢、性が同じであっても個人差は大きい<sup>(1)</sup>。民族や年齢、性が異なれば個人差はさらに大きくなる<sup>(2)</sup>。これに対して人間が用いる道具や機器、設備、あるいは人間が働く作業環境を設計する際には、このような身体寸法の個人差を十分に考慮しなければならない。もし個人差を考慮せずに道具や機器などの寸法を決定すると、大多数のユーザに対する不適合や、必要以上の寸法設定によるコスト高を招くことになる。

<sup>1</sup> 【原稿受付】2016年8月11日、【掲載決定】2016年9月27日

<sup>2</sup> 【主著者連絡先】川野 常夫 摂南大学、教授 e-mail: kawano@mec.setsunan.ac.jp  
〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8、摂南大学理工学部 機械工学科

個人差に対する人間工学的対応法として、子どもの身長に合わせればすべての大人には適合するという考え方の「立場の弱いユーザに合わせる方法」、既製服のサイズの S, M, L のように「ユーザごと、ユーザ層ごとに合わせる方法」、鉛筆の太さのように均一の値に統一する「平均的なユーザに合わせる方法」がある<sup>3)</sup>。

本稿では、身体寸法の個人差を考慮した製品設計において具体的な寸法を導くための人間工学的設計指針について解説する。

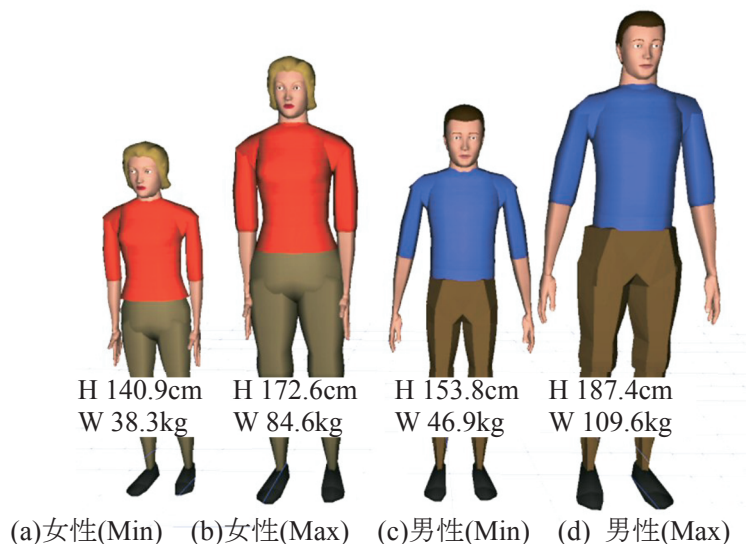


図1 デジタルヒューマン Jack による男女各体型の再現 (いずれも日本人 50 歳代<sup>1)</sup>)

## 2. 個人差への対応指針

### 2-1 個人差

図1にデジタルヒューマン Jack (Siemens 製、Ver 8.2) により男女4人の種々の体型を再現した図を示す。デジタルヒューマンは、実際の人間の寸法や姿勢を真似て3次元CGにより人間にそっくりな描画でき、CADと組み合わせて製品設計や作業設計に利用できる<sup>4)</sup>。図は一般社団法人人間生活工学研究センターが提供する人体寸法データベース<sup>1)</sup>の身長と体重のデータを Jack に入力し、その身長と体重に相当する人の体型を描画したものである。ここで身長と体重は、日本人50歳代の測定データ(男性は約630人、女性は約490人)中で最小値と最大値を取り上げ、測定データ中の最小のモデルと最大のモデルを再現している。一見、大人と子どものように見えるが、4体とも50歳代の中年男女である。このようにデジタルヒューマンにより可視化すると、改めて個人差の大きさに驚かされる。

このような個人差に対応するためには、例えば、出入り口のサイズを設計する際には、誰もが無理なく通過できるように、最も身長が高く、最も肩幅の大きい人の寸法を考慮する必要がある。しかしながら、最も高い身長はいくらなのか、最も大きい肩幅はいくらなのか、簡単なようで実は不明であることが多い。ギネスブックを探せば発見できるかもしれないが、それを設計値に用いるのは全く不合理である。また、椅子を設計する際には、個人差に適応して誰もが快適に座れるように、座面高さが上下に調節できることが望ましい。しかしながら、上下の調節距離をいくらにすればよいかは問題である。

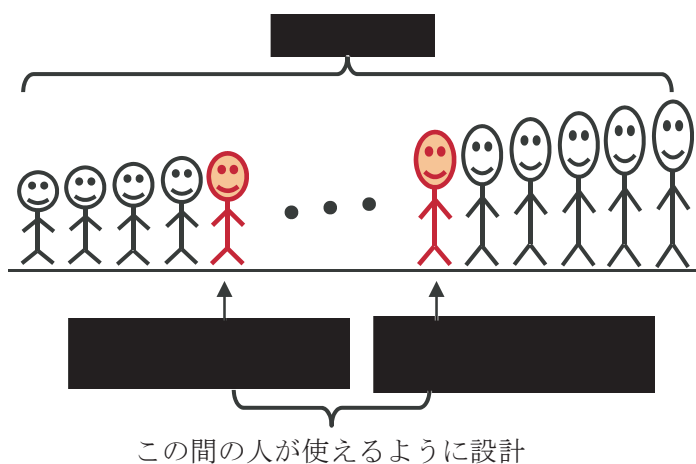


図2 パーセンタイルと設計指針

スブックを探せば発見できるかもしれないが、それを設計値に用いるのは全く不合理である。また、椅子を設計する際には、個人差に適応して誰もが快適に座れるように、座面高さが上下に調節できることが望ましい。しかしながら、上下の調節距離をいくらにすればよいかは問題である。

### 2-2 パーセンタイルによる設計指針

このような問題に対して、人間工学はひとつの指針を提供している。それはデータの分布の統計指標である「パーセンタイル」を用いる。図2に示すように、まず多くの人を小

小さい順に並べ、小さいほうから総人数の 5%を占める集団の中で最大の人、もし、総人数が 100 人ならば小さいほうから 5 人目の人を 5 パーセンタイルヒューマンという。同様に小さいほうから総人数の 95%を占める集団の中で最大の人、もし、総人数が 100 人ならば小さいほうから 95 人目の人を 95 パーセンタイルヒューマンという。統計学で、平均値は集団の中程度の代表値であるが、5 パーセンタイルヒューマンは小さい人の代表であり、95 パーセンタイルヒューマンは大きい人の代表である。分布が身長や肩幅などの数値の場合は、5 パーセンタイル値、95 パーセンタイル値という。一般に、n パーセンタイル値とは、その値を含めて、それより下位の占める割合が n%である値のことをいう<sup>(5)</sup>。

5 パーセンタイル値が小さい値の代表であり、95 パーセンタイル値が大きい値の代表であるならば、上述の出入り口のサイズは、その出入り口を利用すると想定される集団の分布を用いて、身長と肩幅の 95 パーセンタイル値を用いて設計すればよいことになる<sup>(6)</sup>。ただし、靴を履いて出入りするならば、出入り口の高さには靴底の厚みを加算する必要がある。このようにして設計された出入り口では、95 パーセンタイル値より身長の高い人は、姿勢を低くして通過することとなる。

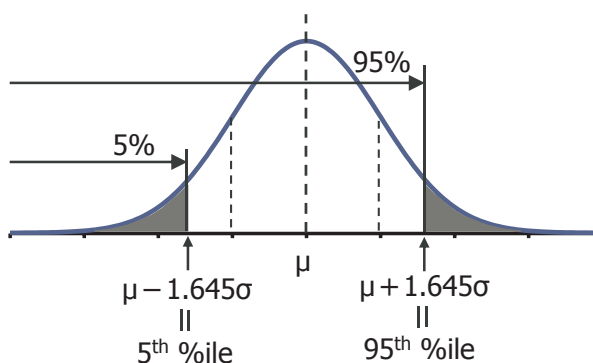
自動車や飛行機、トラクターやフォークリフトなどの操縦室の設計において、各種スイッチやレバーなどの配置には、誰もが手が届くように小さい人の代表、すなわち 5 パーセンタイル値を用いる。

一方、椅子の座面の調節距離は、小さい人の代表である 5 パーセンタイル値から大きい人の代表である 95 パーセンタイル値まで調節可能にすればよい。ただし、性別に関係なく利用するものであれば、小さい代表は女性の 5 パーセンタイル値を、大きい代表は男性の 95 パーセンタイル値を用いる。さらに、国籍に関係なく利用するもの、例えば、国際宇宙ステーションや国際空港の施設などの設計では、小さい代表として日本人女性の 5 パーセンタイル値が、大きい代表はアメリカ人男性の 95 パーセンタイル値が用いられることがある<sup>(7) (8)</sup>。このようにすることによってそれぞれの集団の約 90%の人が適合する製品を設計できる。

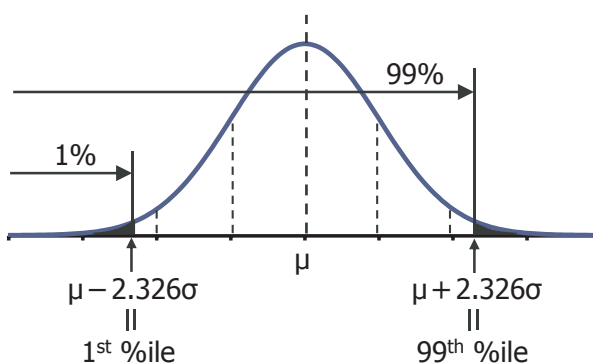
### 2-3 正規分布とパーセンタイル<sup>(4)</sup>

パーセンタイル値を求めるには、集団を小さい順に並べる必要があるが、100 人なら可能であっても、それ以上、千人や一万人を並べることは困難である。もし集団のデータが正規分布に従う、または正規分布と仮定できる場合は、容易に求めることができる。

図 3 に正規分布とパーセンタイル値の関係を示す。正規分布の部分的な割合は、平均値  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  ですべて決まるという性質がある。まず平均値  $\mu$  は分布を二分する値であり、小さいほうから  $\mu$  までの占める割合は 50%である。また、平均値  $\mu$  から標準偏差  $\sigma$  の一つ分だけ離れた部分の占める割合は、全体の 34.15%である。したがって、 $\mu \pm \sigma$  の範囲は全体の 68.3%を占めることになる。このような規則は、すべて



(a) 5 パーセンタイルと 95 パーセンタイル



(b) 1 パーセンタイルと 99 パーセンタイル

図 3 正規分布とパーセンタイルの関係

の正規分布に当てはまる。

同様に、正規分布の下方から  $\mu + 1.645\sigma$  までの占める割合は95%である。すなわち、 $\mu + 1.645\sigma$  は、95 パーセンタイル値そのものとなる。また、正規分布の左右対称性から  $\mu - 1.645\sigma$  は5 パーセンタイル値となる。

設計指針において、より広範な人を対象とするように設計する必要があるときは、1 パーセンタイル値と99 パーセンタイル値を用いて、その間を可動域とする<sup>(9)</sup>。その場合、1 パーセンタイル値は  $\mu - 2.326\sigma$ 、99 パーセンタイル値は  $\mu + 2.326\sigma$  で求められる。何パーセンタイル値を用いるかは、設計者の判断であり、利用者の利便性や製造コストなどを総合して決定する必要がある。いずれにせよ、設計者は、設計値がどのような科学的根拠に基づいているかを明確にしなければならない。

### 3. 身体寸法データベース

身体寸法データが正規分布に従うならば、各種パーセンタイル値は、前節で述べたように平均値  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  から求めることができる。身体寸法データは、人が成長する環境や食事、運動などさまざまな要因が合成された結果のデータと考えれば、中心極限定理から正規分布に従うと仮定できるものが多い。身体各部の寸法に関してはいくつかのデータベースが提供されている。データベースによっては、平均値と標準偏差以外に、各種パーセンタイル値を提示しているものもある。

先に述べた一般社団法人人間生活工学研究センターでは、2004 年度から 2006 年度まで、首都圏や近畿圏を中心に、約 6,700 人の日本人の身長や手足の長さなど 1 人あたり 217 項目の寸法計測を行い、「日本人の人体寸法データベース 2004-2006」が整備されている<sup>(1)</sup>。

アメリカ、ヨーロッパでは、それぞれの市民を対象に CAESAR<sup>®</sup> というデータベースが整備されている<sup>(10)</sup>。NASA（アメリカ航空宇宙局）では、宇宙ステーションの開発のために、アメリカ人男性（大きい人の代表）と日本人女性（小さい人の代表）のデータベースを用意している<sup>(8)</sup>。また、ヨーロッパを中心に PeopleSize 2008（OPEN Ergonomics）が用意されている<sup>(11)</sup>。

身体寸法とは別に、独立行政法人 製品評価技術基盤機構では、製品の安全や使いやすさを追求するために、手や足の力やトルクに関するデータベースを提供している<sup>(12)</sup>。

### 4. 個人差を考慮した設計例

図4にデジタルヒューマン Jack を用いて、小さい代表（5 パーセンタイル女性）と大きい代表（95 パーセンタイル男性）による椅子の設計を行った例を示す。人は背筋を伸ばして深く座り、膝がほぼ直角に曲がった状態で足の踵が床に着くようにしている。図にはそれぞれの代表モデルにフィットする椅子を描画してある。図から両者にフィットする椅子のサイズが異なることが確認できる。

ここで椅子の座面高さと調節距離を設計する問題を扱う。この問題を解くために用いる身体寸法は、図5に示す「座面高」とする。人間生活工学研究センターのデータベース<sup>(1)</sup>から、次の統計データを用いる。

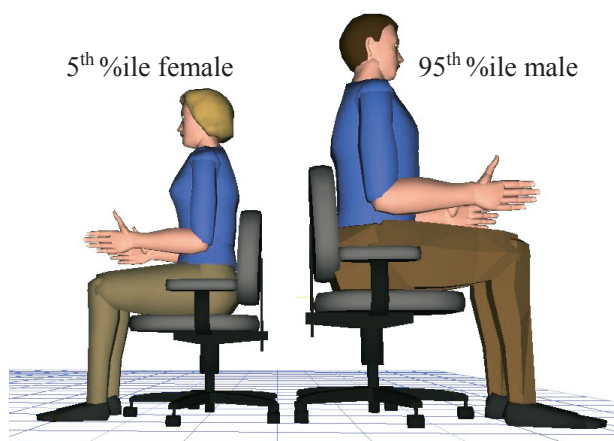


図4 小さい人の代表（5<sup>th</sup> %ile female）と大きい人の代表（95<sup>th</sup> %ile male）による椅子の設計（Jack による表示）





図5 座面高の測定箇所

身体寸法：座面高

対象者（国籍、年齢）：日本人、20~29 歳

女性：357.4mm（平均値）、21.9mm（標準偏差）

男性：384.7mm（平均値）、24.1mm（標準偏差）

これらのデータから、座面高の最小値（女性の5 パーセンタイル値）は、

$$357.4 - 1.645 \times 21.9 = 321.4 \quad (1)$$

最大値（男性の95 パーセンタイル値）は、

$$384.7 + 1.645 \times 24.1 = 424.3 \quad (2)$$

となる。したがって、調節距離は、

$$424.3 - 321.4 = 102.9 \quad (3)$$

となる。靴を履く環境であれば、上記の座面高の最小値、最大値に靴底の

厚みをそれぞれ加算する。

他の例として、自動車シート（運転席）の前後調節距離を取り上げる。図6に運転席周辺の概要図を示す。身体寸法の個人差が大きいため、シートが固定の場合、足がブレーキやアクセルに届かない人や、逆に足をそれらのペダルに置くためには膝を大きく曲げなければならない人が大半を占めることになる。このような問題を解決するため、実際の自動車シートは、前後方向に調節できるように設計されている。では、どれぐらい前後に移動すればよいのか、その調節距離の設計を試みる。

図6に示すようにシートに深く腰掛けて足がペダルに届くことが設計の要件となる。このときに関連する身体寸法は、図7に示す「座位下肢長」とし、人間生活工学研究センターのデータベース<sup>(1)</sup>から、次の統計データを用いる。

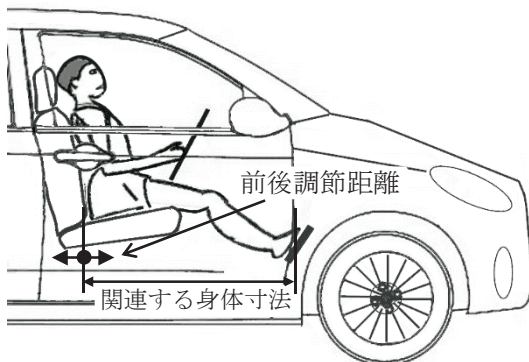


図6 自動車シートの前後調節距離の設計

身体寸法：座位下肢長

対象者（国籍）：日本人

60~69 歳、女性：923.3mm（平均値）、  
35.3mm（標準偏差）

30~39 歳、男性：1035.2mm（平均値）、  
45.4mm（標準偏差）

これらのデータから、座位下肢長の最小値（60~69 歳、女性の5 パーセンタイル値）は、

$$923.3 - 1.645 \times 35.3 = 865.2 \quad (4)$$

最大値（30~39 歳、男性の95 パーセンタイル値）は、

$$1035.2 + 1.645 \times 45.4 = 1109.9 \quad (5)$$

となる。したがって、調節距離は

$$1109.9 - 865.2 = 244.7 \quad (6)$$

となる。ここで、自動車を運転する年齢を考慮して、データベースから座位下肢長が最も短い人は 60~69 歳の女性で、最も長い人は 30~39 歳の男性であったため、それらを小さい人および大きい人の代表とした。なお、図6のブレーキペダルから背もたれまでの距離と図7の座位下肢長は厳密には同じではな



図7 座位下肢長の測定箇所

い。このようなときは、ペダルの操作しやすい座席の位置を被験者から聞き取り調査を行い、その被験者の座位下肢長との相関関係を求めて、座位下肢長のパーセンタイル値から操作しやすいブレーキ・背もたれ間の距離を推定するといった方法がある<sup>(13)</sup>。

その他のパーセンタイルを用いた研究には、高齢者の安全のための家庭内設備の設計<sup>(14)</sup>、作業機の設計<sup>(15)</sup>、ペンチやノミなどの手工具の設計<sup>(16)</sup>、トラックやトラクターの設計<sup>(17),(18)</sup>などがある。

## 5. おわりに

本稿では、人が使用する製品を設計する際に、身体寸法の個人差をどのように扱うかといった問題に対して、パーセンタイルの考え方を中心に解説した。より多くの人に適合し、より安全な製品設計を行うことは設計者の使命である。そのためのひとつの方法として、想定ユーザの中で小さい人の代表である 5 パーセンタイル女性から大きい人の代表である 95 パーセンタイル男性までが適合するように寸法設定を行う方法について具体例を挙げて詳細に述べた。この考え方は、椅子の座面の調節のほか、掃除機の伸縮パイプやキャリーバッグの引き手などの身近な日用品から、自動車や飛行機の設計、工場の設備設計、さらには宇宙ステーションの設計に至るまで幅広く適用できる。人に適合する製品設計において、本稿で述べたような合理的な根拠に則って設計する姿勢が設計者には常に求められる。

## 参考文献

- (1) 人間生活工学研究センター, 「日本人の人体寸法 データブック 2004-2006 (第 3 版)」, (2009).
- (2) 本川 裕, 社会実情データ図録, <http://www2.ttcn.ne.jp/honkawa/2188.html> (2016 年 8 月 1 日閲覧) .
- (3) 横溝克己, 小松原明哲, 「エンジニアのための人間工学—改訂第 5 版—」, 日本出版サービス, (2014).
- (4) 川野常夫, 「品質管理のための統計学」, 技術評論社, (2012).
- (5) 川野常夫, 「デジタルヒューマンモデルとその産業応用」, 日本機械学会誌, 106-1013 (2003), pp.272-275.
- (6) Openshaw, S., Minder, G., "Ergonomics and Design A Reference Guide", Allsteel Inc. (2006).
- (7) Sundin, A., Sjoberg, H. B., Ortengren, R., "Proactive Ergonomics Analysis in Space Station Design Using the Manikin Jack", *SAE International Conference of Digital Human Modeling for Design and Engineering*, 2000-01-2166 (2000), pp.1-6.
- (8) NASA Anthropometric Guidelines, [http://msis.jsc.nasa.gov/sections/section03.htm#\\_3.2\\_GENERAL\\_ANTHROPOMETRICS](http://msis.jsc.nasa.gov/sections/section03.htm#_3.2_GENERAL_ANTHROPOMETRICS), (2016 年 8 月 1 日閲覧).
- (9) Quigley, C., Southall, D., Freer, M., Moody, A., Porter, M., "Anthropometric Study to Update Minimum Aircraft Seating Standards", *Loughborough University Institutional Repository*, ICE Ergonomics Ltd. (2001).
- (10) CAESAR®I, 3-D Anthropometric Database, Civilian American and European Surface Anthropometry Resource Project, <http://store.sae.org/caesar/>, (2016 年 8 月 1 日閲覧).
- (11) OPEN Ergonomics, "PeopleSize 2008", <https://www.openerg.com/psz/>, (2016 年 8 月 1 日閲覧)
- (12) 製品評価技術基盤機構, 「NITE 人間特性データブック (関節発揮トルク)」, (2009)
- (13) 松尾拓磨, 山崎信寿, 「下肢の安定性を高める自動車助手席シート・フロア条件」, 人間工学 48-1 (2012), pp.27-34.

- (14) Dawal, S. Z. M., Ismail, Z., Yusuf, K., Abdul-Rashid, S. H., Shalahim, N. S. M., Abdullah, N. S., & Kamil, N. S. M., "Determination of the significant anthropometry dimensions for user-friendly designs of domestic furniture and appliances - Experience from a study in Malaysia.", *Measurement*, 59 (2015), pp.205-215.
- (15) Arijit K. S., Das, B., "Maximum reach envelope for the seated and standing male and female for industrial workstation design.", *Ergonomics* 43-9 (2000), pp.1390-1404.
- (16) Winston G. L., Narayan, C. V., "Design and sizing of ergonomic handles for hand tools.", *Applied Ergonomics*, 24-5 (1993), pp.351-356.
- (17) Loczi, J., "Application of the 3-D CAD Manikin RAMSIS to Heavy Duty Truck Design at Freightliner Corporation", *SAE International Conference of Digital Human Modeling for Design and Engineering*, 2000-01-2165 (2000), pp.1-5.
- (18) Mehta, C. R., Pharade, G. S. C., Majumder, J., Pandey, M. M., "Review of anthropometric considerations for tractor seat design.", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38-5 (2008), pp.546-554.