

## 論文の内容の要旨

氏名：壽 里 伸 一

専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：非接触式可搬型人体測定器の開発と応用

人体の部位の形態(寸法)と関節の可動範囲を接触式器具で測る方法は、約 100 年前に確立された。身長・座高・肩幅等の長さや幅を測る方法は Anthropometry と呼ばれ、自然人類学の人骨測定と生体測定から始まり、今日では人の成長・健康状態の指標や人間工学の基本設計データとして活用されている。一方、屈曲・伸展・回転等の関節の角度を測定する方法は Goniometry と呼ばれ、関節可動域(Range of motion; ROM)の測定に用いられるが、それは第 1 次世界大戦時の戦傷兵の治療から本格的に始まり、今日では主に、リハビリテーション検査の一つとして実施されている。

現在の手操作による人体測定法では、次の 4 つの条件を満たす必要がある。①ISO・JIS 規格等によって標準化された測定点(名称、位置、探知方法)、②同標準化された測定方法(測定項目、被験者姿勢)、③同標準化された接触式測定器(形態用：アントロポメーター・桿状計・滑動計・触覚計・巻尺、関節可動域用：万能角度計・重力角度計)、④訓練された測定者。しかしこの測定法では、測定を行うために被測定者に特定の立位・座位・臥位姿勢を取らせる必要があるが、このような姿勢をとることは障害者にとって困難または不可能であるとともに、健常者が自由な姿勢で用いる道具・機器を設計する場合にも適さない。また、専門家以外の人々が測定を行う場合も考慮した、訓練の必要の少ない簡便な方法も必要になってくる。さらに従来の接触式測定器には、健常者や障害者の自由姿勢で形成される狭い部位空間に持ち込めないことや、障害者の不随意運動によって突発的に腕や足を動かす場合ではその人の近くには置けないこと、被測定者が自ら関節を動かす自動 ROM 測定においては、被験者の身体に測定器が触れると緊張が生じ、筋運動に影響を与える場合があるので正確な値が得られにくいこと等の欠点がある。そこで、離れた場所から三次元的に人体を測定できる非接触式測定器を開発する必要がある。

本研究の目標を次のように設定した。①非接触式で可搬型の手操作による人体測定器を 3 種類開発する(小さい部位と大きい部位の形態用の 2 種類と関節可動域用の 1 種類)、②開発器の性能を接触式測定器と比較する、③開発器の実用人体測定への適用性を検討する。その過程で、測定誤差・測定点の設定等を検討する。本研究の目的は、非接触式人体測定器の開発とそれらを用いた測定における使用法・評価法の提案にある。本論文は以下の 5 章から構成される。

### 第 1 章 序章

用語の定義と測定項目、研究背景と目的、研究対象と手順を述べた。測定対象として、骨格模型・マネキン・生体を用いた。その理由と目的は以下のとおりである。(a)骨格模型は測定点の定義が明確であり、表面は凹凸が多く硬質であるため、測定点の探知が容易である。主目的は、規定されている測定点と新たに設定した視覚測定点の両方の設定精度を調べることである。この測定によって、人骨測定法への適用性を検討する。(b)マネキンは自由姿勢の模擬が容易で、形成された部位空間の分析が可能になる。ここでは、頭部・上肢・下肢を屈曲させ、擬似障害姿勢を作る。主目的は、部位空間内の点間距離と点間角度の測定可否を調べることである。この測定によって、障害者の姿勢分析への適用性が検討できる。(c)生体は個人ごとに、測定部位の表面性状が異なり、関節運動範囲も異なるので、主目的は個人差を前提とした実用上の問題点を発見することである。被験者は健康な成人 10 人(男女各 5 人、平均年齢 28.6 歳)である。

### 第 2 章 測定原理と測定器の種類

接触式における測定点は「骨測定点」であり、その大部分は触診でなければ探知できない。そこで非接触式の測定原理、対象物の検知方式、測定点の探知方法を総合的に整理し、「視覚測定点」の導入を試みた。視覚測定点は、人体の外観の視覚的・幾何学的特徴に基づいて 21 種類を定義し、視診での測定点探知を容易にするものである。開発器(リードスクリュウ形測定器、レーザースライド形測定器、レーザー角度計)の原理・構造・機能等を述べた。開発器の測定原理は、レーザーマーカースポット光による点計測法で、三角測量法により距離と角度を求めた。比較のために使用した接触式測定器(60cm 用ノギス、30cm 用関節角度計)についても記した。さらに、既存の非接触式計測装置(光学式測定原理を採用した全身形状計測装置、携帯型計測器、モーションキャプチャーシステム)と比較したが、可搬性・測定部位範囲・価格におい

ては、開発器の優位性が確認できた。また、人体測定で必要な精度と誤差については、人体測定値を使う分野別に測定値の要求精度が異なることと、部位別に寸法許容範囲を設定する必要があることを明らかにした。その結果、手操作の人体測定器では、距離は1mm、角度は1°の精度で十分であると判断し、この精度を開発器の設計に反映させた。精度の検証では、主に非接触式(NC)と接触式(C)の測定値の比(NC/C)を比較の指標とした。この対比は両方式の測定量の一致程度や乖離傾向を知る手がかりとして有用であった。

### 第3章 形態の測定

非接触式ではリードスクリー形とレーザースライド形測定器、接触式では50cmのジョウを取付けたノギスと探針用の40cmの棒を取付けたロッドスライド形測定器を使用した。測定対象は、基本精度測定用として直角定規(スコヤ)、応用測定用として骨格模型(測定4項目)、マネキン(同8項目)、生体(同15項目)を用いた。(a)骨格模型の測定では、頭蓋と骨盤を対象としたが、それらは生体測定と同じ測定点を用いて、実用性の検討も行った。「脳頭蓋最大幅」(生体の「頭幅」に相当)では、ノギスとリードスクリー形を用いた場合のNC/Cは平均で1.002であった( $p<0.05$ )。「最大骨盤幅」(同「腸骨稜幅」)では、ロッドスライド形とレーザースライド形を用いた場合のNC/Cは1.008であった( $p<0.001$ )。(b)マネキンの測定では、測定点間の距離は最短直線距離であったので、測定項目によっては途中にある部位を貫通させるか、または切取る必要があった。しかし、ノギスの長いジョウと開発器のレーザー光線により回避できた。「おとがい点と肘関節橈側点の空間距離」では、理論上前腕を貫通して測られ、ノギスとレーザースライド形のNC/Cは1.017になった( $p<0.001$ )。(c)生体測定では、部位別にNC/Cの分布が異なった。これは先行研究でも指摘されていることで、部位別に生じる測定誤差は、それぞれ異なることを証することになった。ロッドスライド形とレーザースライド形のNC/Cの範囲は小さく(0.98~1.03)、ノギスとレーザースライド形の同範囲は大きかったが(0.91~1.12)、両NC/C群に有意差は無かった。考察では、測定器の器差と操作性、測定器構造の体系、測定点探知の普遍性等を検討した。これらの議論は新しい測定器の設計に有用であると考えられる。

### 第4章 関節可動域の測定

非接触式のレーザー角度計、接触式の関節角度計を使用した。測定対象は、基本精度測定用として方眼紙、応用測定用として骨格模型(測定14項目)、マネキン(同18項目)、生体(同19項目)を用いた。(a)骨格の測定では、上下肢をそれぞれ屈曲させて擬似関節可動域を作り、3種類の方法(関節角度計法、レーザー角度計の2点測定法と3点測定法)で、測定点の設定精度が多面的に比較できた。2点測定法とは部位の始点・終点の計2点の測定点に測定用レーザーマーカのスポット光を当て、移動角度を直読する方法、3点測定法は部位の回転中心点と始点・終点の測定点の計3点に同スポット光を当て、移動角度を計算で求める方法である。「肘関節屈曲角度」では、関節角度計が63°、2点測定法が64°、3点測定法が64.5°であった。この差異は、個人誤差を減らす目的でスポット光の照射手順と目盛の読値判断を統一したが、全般に高目の値が採用されることになり、その結果、測定工程が多い方法ほど値が大きくなったことが主な原因と思われる。(b)マネキンの測定では、測定点が形成する空間角度が測定できた。通常の接触式角度計では空中での位置合わせが不可能であるが、レーザー角度計では可能である。肩峰点・おとがい点・手関節橈側点の3点で形成された「おとがい点角」は、それを挟む両辺が空中に設定されたが、測定できることが確認できた。(c)生体測定では、従来の測定法で規定されている定義を用いず、新たに視覚測定点に基づく定義を設け、その効果を検討した。「外転角度」は、規定では大腿中央線と左右の上前腸骨棘を結ぶ線の交点を回転中心点とするが、それらの線は外見からは認識しにくい仮想線であり、実際に規定しようとするとな意的になる。その測定では、中心点を上前腸骨棘(視覚測定点の「上縁点」)、測定点を膝蓋骨中央(同「線上点」)の外見から判断できる点に代えて定義して測り、自動ROM角度が容易に得られることを確認した。考察では、開発器の誤差要因、接触式測定器との共存・補完、ROMの表記法等を検討した。これらの議論はリハビリテーション以外の目的、例えば、健常者の運動能力や作業域の測定にも有用であると考えられる。

### 第5章 総括

全体を通して、論点と成果を整理した。レーザースポット光方式測定の長短所、視覚測定点の問題点等を述べた。測定器の簡素化と測定点設定の再考という2つの主要課題を提示した。製作・測定・検討により、開発器には実用人体測定への適用性があると判断した。その適用例として、車椅子やベッド上の障害者を測定する場合がある。この場合は接触式や一般の光学式の測定器では測定困難な部位が多くあるが、開発器では対応しやすいと考えられた。

以上のように、本研究は測定器の開発とともに、新しい非接触式測定の方法論を提案した。これらの知見は様々な原理や構造に基づく新しい人体測定器の研究・評価・実践等に貢献できると考える。