



# 鏡を用いた運動体の三次元写真計測法とその応用

橋本, 正治

---

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

1984-03-31

(Date of Publication)

2015-11-05

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲0484

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1000484>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



|         |                        |
|---------|------------------------|
| 氏名・（本籍） | はし 橋 本 正 治 （滋賀県）       |
| 学位の種類   | 学 術 博 士                |
| 学位記番号   | 学博い第42号                |
| 学位授与の要件 | 学位規則第5条第1項該当           |
| 学位授与の日付 | 昭和59年3月31日             |
| 学位論文題目  | 鏡を用いた運動体の三次元写真計測法とその応用 |

|         |                       |
|---------|-----------------------|
| 審 査 委 員 | 主査 教授 川 井 良 次         |
|         | 教授 岩 田 一 明 教授 中 川 隆 夫 |

## 論 文 内 容 の 要 旨

### 第1章 三次元計測に関する理論と実験の現状

第1章では、室内程度の空間内を運動する物体を対象とした各種の三次元計測法を概観し、従来の研究の中で本研究の占める位置や意義を明らかにした。

従来の三次元計測法のうちで実用性のあるものとして、測尺による方法、超音波を用いる方法、光学的な方法があげられる。

測尺による方法では、直交座標型と極座標型の三次元座標測定装置が広く使用されている。直交座標型は高精度な測定が可能であり、極座標型は、複雑な形状の物体の計測に適している。しかし、両測定法は、共に静止物体を対象としており、運動物体の測定には適していない。

物体の三次元位置を測定するかわりに、物体間の相対的な変位を測定することにより、運動物体の姿勢等を測定することができる。例えば、人体計測では、各関節の変位を測定するためにゴニオメータ（角度測定装置）が用いられている。この計測法では高精度で、連続した計測を行なうことができるが、被測定物の運動を乱す恐れがある。

物体の三次元位置を非接触で測定する方法の一つに超音波を用いる方法がある。超音波計測法には、直接波を用いる方法、反射波を用いる方法、音波の位相情報を用いる方法、周波数を測定する方法、音圧を測定する方法、伝搬時間を測定する方法がある。直接波を用いる方法では、被測定物体に音源を取り付けなければならないため、測尺と同様の欠点が存在する。反射波を用いる方法では、被測定物体の形状や測定時の環境が測定結果に大きな影響を与えるため、数ミリメートル程度の位置測定誤

差は免れない。しかしこの方法は、被測定物の運動への影響が小さいという長所がある。

光学的な計測法は、非接触で測定できる別の方法である。映像分析による方法では、画像の記録、物体上の標点の像座標の読取り、データ処理、等の方法において各種の手法が提案されている。計測法では、多方向からの撮影画像を用いる方法、一方向からの撮影画像を用いる方法、鏡を用いる方法が開発されている。多方向からの方法は、高精度な測定が可能であるが、装置が大がかりになり、データ処理に時間がかかるという欠点がある。一方向からの方法は、簡単であるが測定精度が悪くなる。鏡を用いる方法は、データ処理が簡単であるが、装置を精度よく設定しなければならず、測定範囲がせまいという欠点がある。

## 第2章 一方向写真計測による三次元座標の測定法

従来より用いられている一方向写真計測法では、撮影による三次元・二次元変換を平行投影とし計算処理を行っていたが、この条件は明確でなく、経験によって撮影条件を定めていた。そこでこの条件を明らかにし、平行投影処理による一方向写真計測法の測定能力を十分に引き出す撮影条件を求めた。

平行投影処理による計測に必要な条件を排除するために撮影による三次元・二次元変換と理論的に等価な、中心投影処理による計測法を開発した。そして、この方法における誤差解析を行ない、精度検定のために実験装置を製作し、測定能力を評価した。その結果、物体の姿勢によっては、補正等の手法によっては除去することができない根本的な誤差の要因が存在することが明らかになった。

## 第3章 鏡を用いた一方向写真計測法による三次元座標の測定

一方向写真計測法の、簡易性という利点を失うことなく、測定精度を向上させるために、鏡を用いた一方向写真計測法を開発した。従来より用いられている、鏡を用いる方法では、鏡の位置や向きが指定されているために、測定範囲がせまく、また被測定物体の姿勢によっては、物体上の標点が物体のかげになり、測定不可能となることがあった。また、鏡の位置や向きは精度良く設置しなければならなかった。そこで、本研究では、鏡の向きや位置を任意に設定できるようにして、広い測定範囲と複雑な動作も撮影できる能力を、持つことを可能にした。また鏡の向きを撮影画像から測定できる方法を考案し、測定時の手続きを単純化した。

撮影レンズの歪曲ひずみについても考察し、これを除去するために、多項式マッピングの方法を用いた。

シネカメラ等によって得られる画像より、三次元座標を計測し、物体の運動諸量を求める方法を定め、運動解析システムを製作した。離散的な測定値より、速度や加速度を求めるために、フィルタ処理と、スプライン補間を用いる方法を開発した。

本計測システムの誤差解析を行ない、測定法のパラメータの測定誤差が、写真計測による測定結果の誤差に及ぼす影響や、撮影条件及び測定位置による誤差の分布について検討した。さらに、像座標読取りの精度向上についても考察した。

本計測システムの精度検定のために、空間四節リンク及び放物体の運動を写真計測し、運動諸量を求め、理論値と比較して本計測システムの運動測定能力を評価した。

#### 第4章 超音波及び光を用いたカメラ及び鏡の向き制御のための物体追跡システム

写真計測法の測定範囲は、被写界内に制限される。そのため自分自身の大きさと比較して大きな運動範囲を持つ物体の運動を被写界内におさめるように撮影条件を定めて得られる画像では、全画面に比較して被測定物体が相対的に小さく写ってしまう。そのため、像座標の読取誤差が相対的に大きくなり、測定誤差が大きくなるという問題が生じる。

他にも運動範囲が予測できないような場合には、十分に測定範囲を広く設定しなければならない。そこで、写真計測とは別の方法で被測定物体の存在方向を検出し、その情報を元に撮影カメラや鏡の向きを制御すれば、撮影画像には常に被写体が大きく写り、鏡は小型化できるから好都合である。

この手法を使用するにはカメラや鏡の向きが撮影中の変化も許されるような計測法でなければならない。本研究で開発した鏡を用いた一方向写真計測法では、カメラの向きを、レンズの主点を中心として、また、鏡の向きを鏡面上の任意点を中心として回転させることが許されるため、この手法を利用できる。本章では、超音波及びラインイメージセンサを用いた、物体の存在する方向を検出する装置の製作について述べた。

超音波を用いた方法では最大反射音圧の方向を検出することで、物体が存在する方向を測定する。測定時間を短かくして、高速の運動物体を追跡できるようにするために、電氣的に音波の放射方向を制御する方法を考案し用いた。

ラインイメージセンサを用いる光学的方法では複数で時間がかかる画像処理を最小限度に抑えるためにシリンダカルレンズを用いて光学系を工夫し、画像処理を短時間に行ない、物体の方向検出速度を高めた。この装置を用いて実験を行なった結果、鏡の小型化に対し効果があることが確認できた。

#### 第5章 フィルム座標読取り精度向上のための画像入力システム

写真計測法において測定誤差の最も大きな要因となるのは、フィルム座標の読取誤差である。他のパラメータの測定誤差によるものは、ほとんど系統誤差であり、補正により除去することができる。そこで、撮影画像を計算機に入力し、画像処理により標点を検出し、像座標を読取る装置を製作した。

像座標の読取り精度は入力画像の解像度に依存する。そのため、画像の記録や入力のためのイメージセンサには、高解像のものを使用しなければならないと考え、35 mm シネフィルムと、ラインイメージセンサを用いた。

製作した装置の制御や標点の検出及び像座標の読取りのためのソフトウェアを開発した。そして、本システムの評価のために、平面四節リンクを撮影したシネフィルムを用い、各リンクの運動を検出し、各リンク間の運動を解析し、リンクの再構築を行なった。これを処理するプログラムは、リンクの構成が不明な物体の解析や、構造上、関節部に標点を設定することができないような物体の運動計測に利用することができる。

#### 第6章 人体上肢の運動能力の測定

人体上肢の構造と機能の複雑さは、解剖学、人間工学およびロボット工学の見地から認識されていた。そして、その運動能力を評価するための、多くの評価法や計測法が研究されてきた。本章では、本研究で開発したシステムを用いて、運動機能を評価する実験を実施した結果について述べた。

感覚と中枢の運動機能に対する影響を試験するために、人間の器用さの指数となる可能性をもつ「物体の掃引面積最小移動問題」を課題として与えて、被操作物体に対する操作能力を実験により評価した。被操作物体や、上肢の運動は、本研究で開発した写真計測法を用いて、その三次元運動が精度良く測定され、本法の実際の問題に対する有用性が確認できた。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は人間、ロボット等の、空間における運動状態を測定および解析するために、一方向からの投影によって得られる写真画像のみから物体の三次元座標を精度良く測定するための写真計測システムについて研究されたものである。本論文の内容は次の5部に大別される。

- (1) 一方向写真計測による三次元座標の測定法の精度に関する理論的研究
- (2) 鏡を併用する一方向写真計測法の性能向上方法の提案および空間運動物体の運動測定の実験的研究
- (3) 鏡の小形化と、計測精度向上のための鏡の能動化法の提案及びその装置の製作並に測定の実験的研究
- (4) フィルム座標読取り精度向上のための画像入力システムの開発研究
- (5) 本写真計測システム評価のための人間の上肢の空間運動能力測定の実験的研究

これらの研究では、従来十分に解析および実験のされていなかった諸問題について、新しい測定技術と解析手法を開発するとともに、種々の実験を行い新しいいくつかの知見を指示している。得られた主要な成果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 人間工学や体育学等の分野で使用されて来た、一方向写真計測法の測定条件の精度に及ぼす影響は従来理論的に詳細に検討されることなく実用されていたが、本研究では理論モデルによる検討を行った。さらに精度検定のための実験を行い、種々の実験条件が測定精度に及ぼす影響を明らかにしている。また補正計算等では除去不可能な物体の姿勢及び運動方向を明らかにした。
- (2) 運動体の位置情報から角速度、角加速度等の運動諸量を求めるための解析法を確立した。更に本計測システムによって空間四節リンク機構及び放物体の運動を測定して理論値との精度のよい一致が得られることが確認された。
- (3) 鏡の小形化をはかるために、物体の鏡像が測定精度の良いカメラ光軸方向に、自動的に向くように制御することを提案している。このシステムの被測定物体のセンサとして、光学的方法によるものと、超音波によるものを工夫し、実験装置を製作し、実験を行ってこの方法が実用的に役立つことを確認した。
- (4) 写真計測法の測定誤差の主因である人間による画像座標の読取り誤差を除去するために、画像処理技術を使用した自動画像読取装置を製作し、実験により、この装置の有効性を明らかにした。
- (5) 本研究で開発された写真計測システム評価のために、従来測定が困難であるために実施されることが稀であったところの、人間の上肢の空間認識及び運動能力の測定実験に本システムを使用

した。特に搬送物体の、空間掃引面積の大小を評価することにより、人間の器用さを測定しうる可能性があることを明らかにしている。この例により本システムの実際の問題に対する適用可能性を確認した。

以上のように、本論文は人体、ロボット等の空間運動の測定方法に関する独創的な研究であると認めることができ、測定法と解析法の開発及び実験結果において重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。また本研究は、機械、生産、計測、システム等の分野に関連する総合的研究であり、生産機械工学及び計測技術に寄与するところが大きい。よって論文提出者橋本正治は学術博士の資格があると認める。