

# 無拘束運動の計測方法の研究

村田政隆, 宮原則行, 松村一弘

## A Study on The Measurement Method of Unrestraint Movement

Masataka Murata, Noriyuki Miyahara and Kazuhiro Matsumura

### 要 旨

人、動物、ロボットなどの運動状態を計測するニーズが年々高まっている。しかし、拘束条件を定めない状態では、対象物は自由に運動する上に、計測系が本来の運動状態を阻害する可能性があるため、完全に運動状態を計測する方法は非常に難しい。そこで、簡易的ながら低コストで実現可能な無拘束運動の計測方法を検討するため、無線モジュールとPICマイコンによる実験機を試作し、基礎実験を行った。その結果、実験機を空气中及び水中にて任意に運動させ、加速度と角速度の変化をパソコンによりリアルタイムで観測することができた。また、この成果が大学の研究に活用されはじめる等、本方法の有効利用性を示した。

#### 1.はじめに

運動計測の手法は、光電センサ、電磁波、超音波等を利用して、対象物を外部から観測する手法と、対象物自体に観測系を搭載する手法に大別される。図1に示す3次元6自由度の運動計測において、対象物を外部から観測する手法では、観測範囲の制限から、対象物の移動空間が限定される。そして、複数計測機器を使用すれば、各機器の配置や同期等を考慮する必要もあり、大がかりな上にコストが高くなる。一方、対象物自体に観測系を搭載する場合には、観測系の大きさや重さが、対象物の運動に影響を与えないように配慮する必要がある。

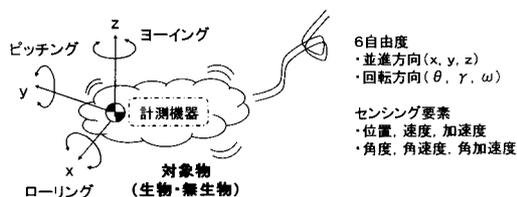


図1 3次元6自由度の運動計測要素

今後、自由空間を対象とした機械器具の挙動解析、自律型ロボットや社会の高齢化に伴うサポート機器開発等のニーズが増えることが予想されることから、3次元的な無拘束運動に対し、観測系搭載型の簡易運動計測機器を試作し、利用技術の適用可能性について研究を行った。

#### 2.運動計測方法の検討

これまで、運動計測技術に関しては、水中で運動する物体に搭載する水中運動計測ユニット<sup>1)</sup>を開発し、加速度、角速度、角度及び水深の計測に成功するなど、水産分野では十分な成果<sup>2)</sup>を得ることができた。そこで、この計測技術を基盤とし、市場調査を行った。

運動計測機器には、慣性運動計測機等として製品化されている機器があり、寸法は一辺が100mmの立方体で、質量が600g程度、価格は数十万円から数百万円で市販されている。位置と速度の計測にはGPSを使用し、角度、角速度、加速度および地磁気(方位)の計測には、100Hz程度のサンプリング

リング周波数のセンサを使用している。航空機等を搭載対象としたセンサでは、GPSとセンサの構成によって運動計測が可能であることが示されている。しかし、前述のように観測系の寸法と質量が、対象物の運動に影響を与えないように配慮すると、市販品を適用可能な対象物はかなり大きなものとなり、汎用性が高いとは言い難い。そこで、小型の複合センサを用い、適切な信号処理や簡便な補正方法を用いて、安価で小型の計測技術を確立できれば、この種の市販品との置き換えが可能になると考え、計測の仕様について検討した。

3次元6自由度を測定するためには、並進方向の位置と回転方向の角度を計測するのが、最も理想的な手法である。しかし、並進方向の位置計測に有効なGPSは、ディファレンシャル測位をしても1m程度の誤差を生じてしまう。超音波等により位置精度を高める技術も多く利用されているが、空間内に超音波システムを別途固定する必要があるため、観測空間を限定することになる。よって、GPSだけを利用する方法は、無拘束運動計測技術には適さない。

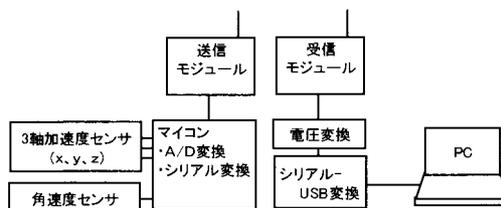
回転角度は、鉛直方向に対する角度には傾斜センサが、水平方向の角度には地磁気センサが有効と考えた。しかし、これまで検討してきた電界液式の傾斜センサは、時定数が長く、運動状態を捉える用途には不適である。また、地磁気センサは、大きなオフセット誤差を含んでいる上に、磁性体近傍には設置できないこと、センサが傾斜していると地磁気の感知部が傾くために正確な出力は得られない<sup>3)</sup>等の使用上留意すべき点が多い。

以上より、位置と角度のみをセンシングした運動計測は困難であるため、これらの時間微分で表現される速度や加速度、角速度や角加速度のセンシングと併用する必要がある。なお、サンプリング周波数は、市販品と同等以上であることが望ましいのだが、リアルタイム性を重視して、複数センサの高速サンプリングを実現しようとする、センサだけではなく、データ処理のコストも高くなってしまふ。よって、本研究では、市販品に比べて小型化・軽量化が実現できるセンサを使用することを優先し、センサ出力のサンプリング周波数仕様は定めなかった。

### 3. 試作

水中運動計測ユニットの開発では、使用環境として海中を想定していたため、データロガータイプとなり、リアルタイム性のあるデータ収集能力には欠けていた。しかしながら、無拘束物体の運動状態を、無線通信等によりリアルタイムで確認できれば、遠隔操作等にも応用でき、活用の幅が広がる。測定値のみの伝送信号処理は、転送速度に制限はあるものの市販の送受信無線モジュールにより比較的安価に実現することができる。また、水中運動計測ユニットのデータロガー部には一般的なマイコンを使用していたが、現在の安価で汎用性の高いPICマイコンを利用すれば、データロガーやパソコンとの通信機器の開発が容易にできる。

そこで、3軸加速度センサと、1つの角速度センサを使用した無線式の簡易運動計測機を試作した。また、A/D変換機能(ADC)とUSART機能を備えたPICマイコンとシリアル信号をAM変調する無線モジュールを使用して、リアルタイム性のあるデータ収集を実現した。試作機の構成を図2に、概観を図3に示す。



主要部品	型式	メーカー
マイコン	PIC16F73	Microchip Technology
3軸加速度センサ	ACB302	スター精密(株)
角速度センサ	CG-L33	NECトーキン(株)
送信モジュール	AM-RT5-315	R.F.Solutions
受信モジュール	AM-HRR3-315	R.F.Solutions
電圧変換	MAX3232CPE	MAXIM
シリアル-USB変換	CNV-USB-A-5R0	(株)ワイツ

図2 試作機の構成

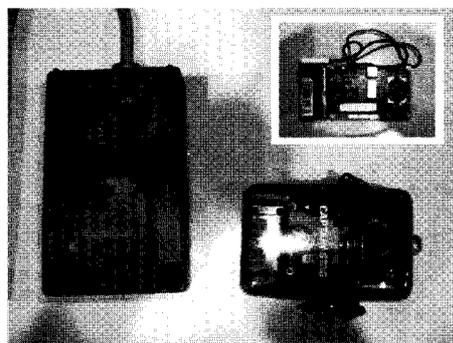


図3 試作機の概観 (左：受信機、右：送信機)

送信機では、各センサのアナログ出力をPICマイコンの8bit分解能ADCに取り込み、結果をASCIIコードに変換して、通信速度2.4kbpsのRS-232C規格のシリアル信号としてAM変調した電波で発射する。一方、受信機では、受信信号をRS-232C規格の電圧レベルに変換し、専用モジュールによってパソコンと接続して使用できる仕様とした。なお、送受信モジュールの仕様から、サンプリング周波数は10Hzとした。

なお、送信機のセンサ出力は、ナショナルインスツルメンツ社製のLabVIEWにてソフトウェアを開発し、ASCIIコードの文字データを数値データに変換してグラフ表示させることとした。

#### 4.動作確認実験

はじめに、試作機の電波出力状況を確認するため、北海道立工業技術センターの簡易電波暗室を使用して、電界強度を測定した。電波法等では、315MHzの微弱無線は約53.98 dB $\mu$ V未満で使用することが定められており、試作機の電界強度測定（バンド分解能：9kHz）を行った結果、試作機の電波の出力が、この基準値以下であることを確認した。

次に、手に持った送信機を任意に動かし、センサ出力に変化があらわれるかを実験的に確認した。厳密に言えば、手で持っていること自体、拘束条件になり得るが、送信機を持ち替えたりすれば、拘束条件は緩和されるため、本実験方法を擬似的な無拘束環境とみなすこととした。まず、室内で動作実験を行った結果、手の動きに連動してパソコン上のグラフに変化があらわれることが確認でき、基本的な運動計測機能を満たしていることがわかった。

空気中での基本的な計測機能を確認できたので、応用先を確認するために、水中利用についての確認実験を行った。これまで、水中環境での無線技術の適用に関する研究<sup>9)</sup>を行い、塩分が含まれていない水道水やプール水等の淡水中では、ある程度の電波通信が可能であることが認められた。そこで、水中動作実験は、図4に示すように、水中に没した送信機を、空気中の場合と同様に手で持って動かし、その変化をパソコン上のグラフにより確認する実験を行った。実験の結果、ノイズの影響が見られたものの、ほぼリアルタイムで運動状

態を確認することができた。

なお、ノイズの影響は、角速度センサの出力には見られず、加速度センサの出力のみに見られた。そして、実験室を変更するとノイズの影響は見られなくなることを確認している。この実験では、送信機のプラスチック筐体を手で持っており、アンテナと人体とは絶縁状態となっているのだが、人体がノイズ電波のアンテナになっている可能性は否定できない。今後、各センサの周辺回路を見直した上で、実験方法についても検討し、測定値の信頼性を確認することが必要である。

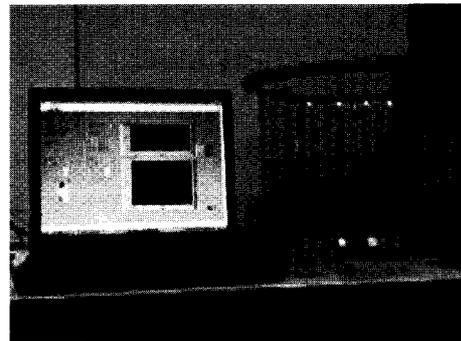


図4 動作確認の状況

#### 5.校正

計測機器の開発では、同時に校正方法についても検討する必要がある。運動計測機で計測したデータの校正方法として、これまで検討してきたセンサ素子よりも、高価だが高速・高精度で校正済みの市販機器を基準機器として考え、基準機器と比較する第1の方法、画像処理と比較する第2の方法、物理現象または制御機器を利用した校正装置を開発し、校正装置と測定値と比較する第3の方法を考え、それぞれについて検討した。

まず、基準機器となり得る市販機器について調査した結果、加速度や角度に限定した機器でも5～10万円程度、加速度・速度・角度・角速度および位置を検出する機器は概ね200万円以上と非常に高価であり、基準機器として利用する場合においても現実的な選択肢になり得ないと判断した。

画像処理では、カメラが1台の場合、運動状態を二次元的にしか捉えることができず、撮影範囲を広くするほど、測定の誤差が大きくなる。しかし、パソコンやソフトウェアにより、データの加工・補正・解析・共有等が容易なため、比較の実用性が高い校正方法と考えられている。既存市販

機器の応答速度は概ね50~100Hz程度であることから、100Hz以上の応答速度に対応可能な運動計測技術を開発すれば、本成果が広く普及するといえる。また、毎秒数百フレーム対応の民生用カメラが市販されはじめていることから、画像処理による測定値の校正は、将来性がある有効な方法である。

校正装置の開発は、運動の拘束条件を少なくするほど、コストが高くなる。そこで、画像処理との複合評価を前提にした拘束条件付の校正装置を開発し、校正方法を検討することが現実的であると考え。過去に、周期的な振り子運動状態において、角速度センサによる角度計測の有効性を検証<sup>3)</sup>した経験から、校正技術の向上と、計測機器の使用条件を確認するため、図5に示す評価装置を試作して、今後の研究に活かす予定である。

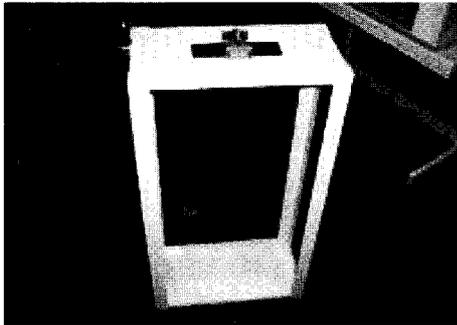


図5 運動計測機用の試作評価機

## 6. 成果の活用

本研究成果は、産業応用に活用するまでには至っていないが、他の機関の研究開発に活用され始めている。

現在、本試作機は鹿児島大学水産学部にて、運動計測仕様や実用性等の検証を行っている。なお、同学部によって、本試作機と漁業で使用される道具（潜航板）とを組み合わせ活用した一例と改善したソフトウェアの表示画面を図6に示す。確認実験用ソフトウェアの試作に用いたプログラム開発ソフトのLabVIEWは、比較的簡単に操作でき、デザイン性にも優れる等の利点は多いのだが、汎用ソフトと比べると非常に高価なため、開発環境の整備等の初期コストが高くなってしまふ。ここで使用するソフトウェアは、測定データをExcel等の表計算ソフトで利用できるように形式で保存できる機能を有することが重要であり、簡便な操作であることが望まれる。場合によっては、機器

使用者が、必要に応じソフトウェアを改善できる仕様のほうが便利である。そこで、データのグラフ表示をせず、データ収集・保存機能のみを行う専用ソフトウェアをVisualBasic6.0によって作成した。

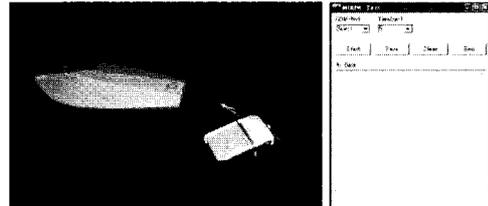


図6 成果の活用事例

## 7. 今後の課題

今後は、同学部と連携し、研究成果をフィードバックして、実用性の向上に努めることを考えている。顕在化している課題としては、計測機器の更なる小型化である。研究対象の潜航板は特殊な形状をしており、寸法は約300×143×25mm程度である。今回の試作機は、過去に潜航板の2倍スケールモデルに内蔵したデータロガータイプよりも小型ではあるが、原寸モデルに内蔵するまでの小型化が図れていない。今後は、バッテリー寿命を含めた計測条件を見直し、小型の回路素子や電池を採用して、改善を図る予定である。

また、測定値にはノイズ成分が含まれる現象も確認されたため、DSP技術を導入したフィルタ回路によるノイズ対策等、測定精度の向上を図る予定である。

## 参考文献

- 1) 江幡恵吾,不破茂,村田政隆,松村一弘: 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'03講演論文集(ROBOMECH'03),(2003),2P1-1F-D6,CDROM
- 2) 江幡恵吾,原正和,村田政隆,松村一弘他: 水産工学,Vol.44,No.2,(2007),P85-90
- 3) 例えば、中西洋介,鈴木慎一,多田達実: 北海道立工業試験場報告,No.32,(2003),P23-26
- 4) 村田政隆,宮原則行: 第39回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集,(2007),P113-116
- 5) 村田政隆,松村一弘,宮原則行,江幡恵吾,不破茂,三上貞芳: 第38回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集,(2006),P41-44