

多軸センサを用いた下腿切断者のスプリント分析のための  
姿勢角推定システムの検討

**Study of attitude estimation system using the multi-axes sensors  
for sprint analysis of the trans-tibial amputee**

○ 古俣 創\*, 三村 宣治\*, 高橋 素彦\*

○ So Komata\*, Nobuharu Mimura\*, Motohiko Takahashi\*

\*新潟大学大学院自然科学研究科

\*Graduate School of Science and Technology, Niigata University

キーワード：相補フィルタ (Complementary filter), 周波数解析 (Frequency analysis), 角速度 (Gyro), 加速度 (Acceleration)

連絡先：〒950-2102 新潟県新潟市西区五十嵐二の町 8050 番

新潟大学大学院 自然科学研究科 電気情報工学専攻 三村研究室

三村 宣治 TEL:025-262-7476, Email: mimura@eng.niigata-u.ac.jp

## 1. はじめに

ロンドン五輪を境に,近年パラリンピックへの注力が目立ってきている.選手の記録を伸ばすためには動作解析をすることは不可欠である.現在,最も使われている解析方法の一つとしてモーションキャプチャという方法がある.これはカメラとマーカーを用いて計測する解析方法である.しかしながら,この方法には屋内などの限られた場所でしか使うことが出来ないことや,短距離でしか適用することが出来ないなどの問題点がある.そこで本研究では,角速度センサと加速度センサを用い姿勢

角を求めることで,新しい姿勢角推定システムを提案したいと考えた.しかし,角速度からは積分を使い角度を求める為にドリフトノイズ,加速度からは重力成分を使って角度を求める為,並進加速度の影響を受けるといった問題点がある.そこで本研究では,角速度,加速度の長所と短所をそれぞれ補い合うように,角度を合成しようと考えた.今回はフィールドでの応用に備え,義足装具者の運動を想定したモーション装置をモデル的に作成し,実験することで本研究の姿勢角推定システムが有効であるかを示す.

## 2. 計測概要

### 2-1 計測モデル

実際下腿義足者が走った時に必要とされるような周波数帯域を作り出すため、モーション装置をモデル的に作成した。

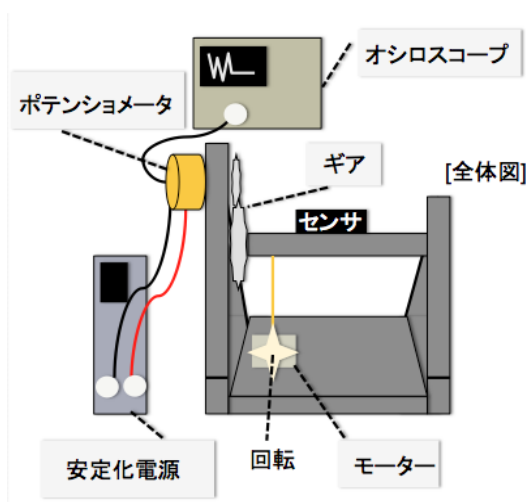


Fig.2.1.1 実験装置全体図

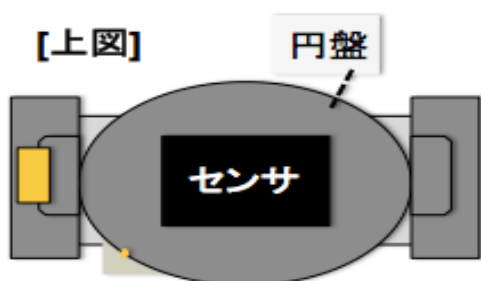


Fig2.1.2 モーション装置上図

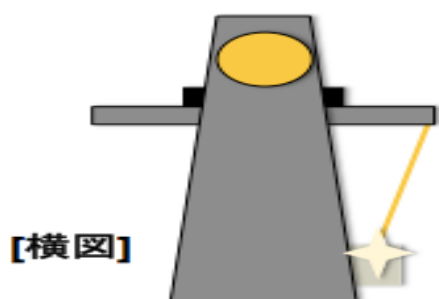


Fig2.1.3 モーション装置横図

### 2-2 計測内容

動的物体に対して角度を求めること

は直接出来ないため、姿勢角を求めることは非常に困難である。本研究では角度に関係のある物理量として角速度、加速度を使うが、比較するために真値が必要である。そこで今回の計測実験ではポテンシオメータを使うことで電圧値を取得し、それを角度に変換する。ここで求めたポテンシオメータからの角度を真値とする。Fig2.2.1 に示した様にモーターによって円盤にランダムな動きを与え計測する。サンプリングレートは200Hz に設定し、80 秒間計測した。

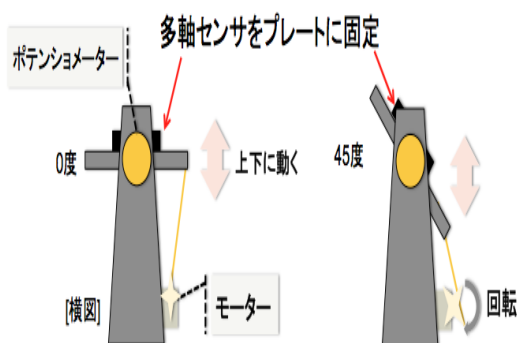


Fig2.2.1 モーション装置

## 3. 計測

### 3-1 計測結果

Fig3.1.1 は角速度 angle と真値の差分を取った図である。時間に比例してドリフトが大きくなっていることが確認できる。Fig3.1.2 は加速度 angle と真値の差分を取った図である。ノイズは一定であるが、並進加速度の影響により誤差がかなり大きいことが確認できる。

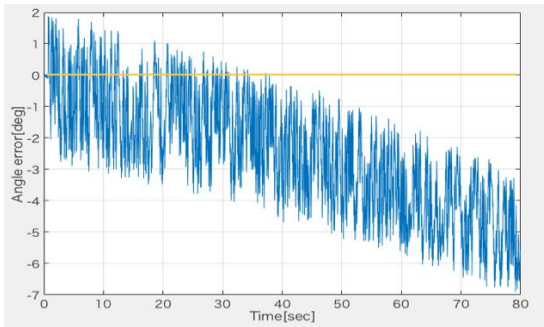


Fig3.1.1 角速度 angle と真値の差

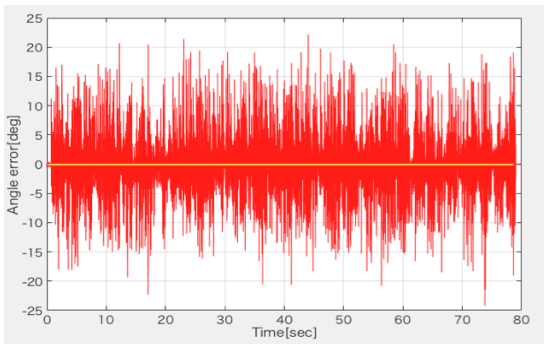


Fig3.1.2 加速度 angle と真値の差

## 4. 周波数解析

### 4-1 解析概要

角速度は積分で角度を求めていることでドリフトノイズが出る為に低周波数帯域に影響がでることが想定される。また加速度から求めた角度に関しては並進加速度の影響がでる為に高周波数帯域に影響がでると想定される。そこで実際に計測した加速度,角速度から求めた角度,真値を周波数解析し比較する。真値と一致していない部分をノイズの特性と考え,カットオフ周波数決定の為の指標とする。

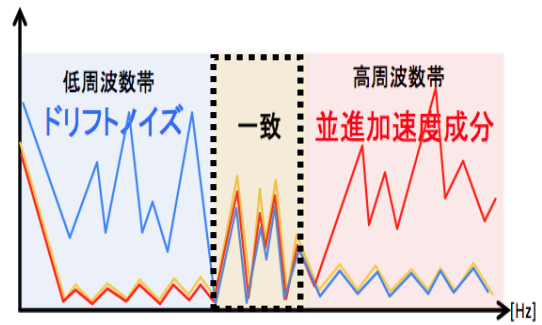


Fig4.1.1 周波数解析模式図

### 4-2 解析結果

Fig4.2.1 から,低周波数帯域には角速度 angle,高周波数帯域には加速度 angle に影響がみられていることが分かる。これにより解析前に想定していた通りの結果を確認することが出来た。

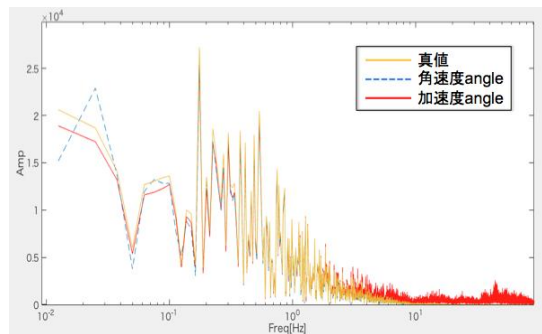


Fig4.2.1 周波数解析(全周波数帯域)

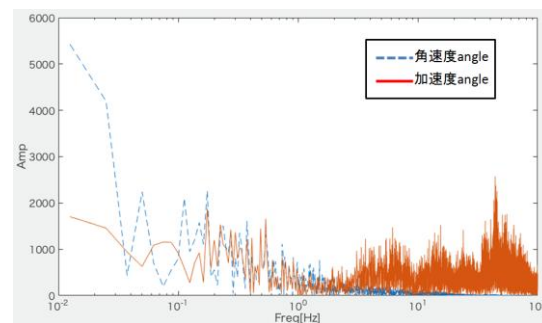


Fig4.2.2 真値との差(全周波数帯域)

低周波領域を Fig4.2.3 で拡大して見てみると,0.02~0.04Hz 付近で角速度 angle にピークがでていることが確認出来る。そ

ここで今回 0.02Hz から 0.04Hz まで  
0.01Hz 刻みにカットオフ周波数を決定  
しフィルタ処理をしていくことにする。

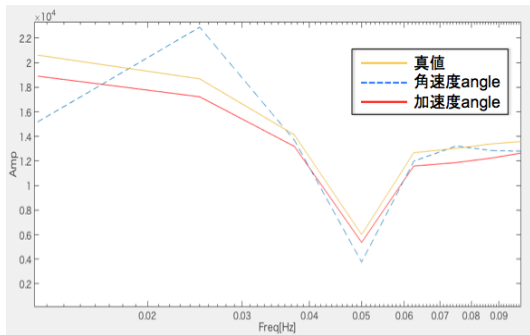


Fig4.2.3 周波数解析(低周波数領域)

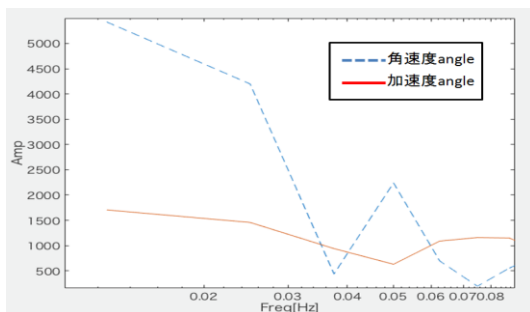


Fig4.2.4 真値との差(低周波数領域)

## 5. 相補フィルタ

### 5-1 フィルタ設計

Fig5.1.1 に示したようにゲインが 1 になるようなフィルタを設計した。(3)に示した式が本研究で使う相補フィルタの式である<sup>1)</sup>。

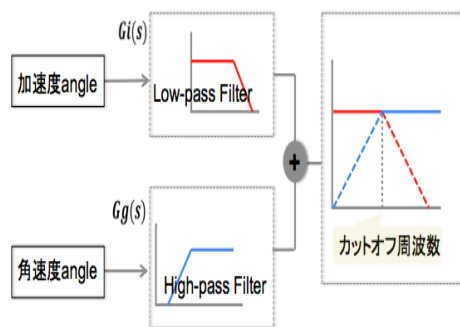


Fig5.1.1 フィルタ設計図

$$Gi(s) = \frac{2\tau s + 1}{(\tau s + 1)^2} \quad (1)$$

$$Gg(s) = \frac{\tau^2 s}{(\tau s + 1)^2} \quad (2)$$

$$Gi(s) + sGg(s) = 1 \quad (3)$$

$\tau$  : 時定数

Fig5.1.2,3は0.04Hzをカットオフ周波数としたフィルタのボード線図である。Fig5.1.4はローパスフィルタとハイパスフィルタを合成した相補フィルタのボード線図であり、ゲインが1になっていること、また位相遅れも無いことが確認できる。

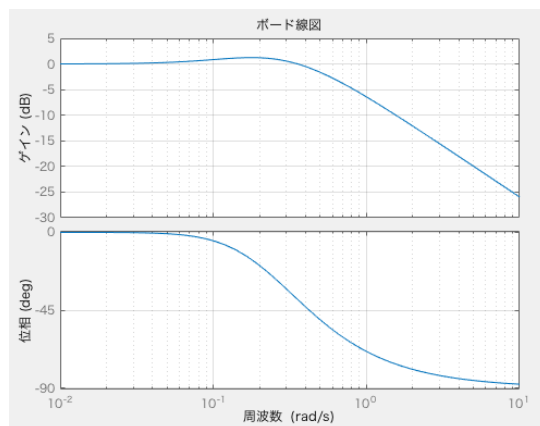


Fig5.1.2 ローパスフィルタボード線図

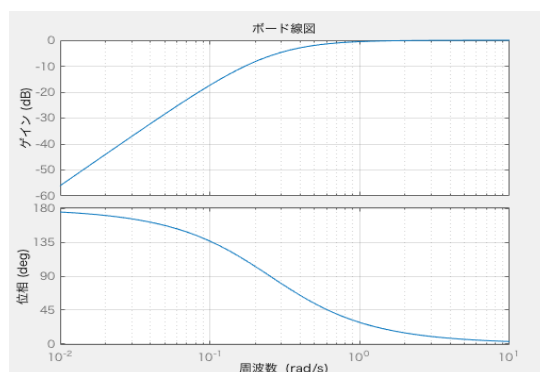


Fig5.1.3 ハイパスフィルタボード線図

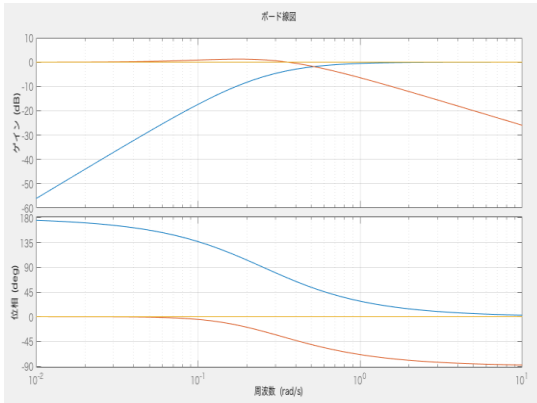


Fig5.1.4 相補フィルタボード線図

### 5-2 フィルタ処理

相補フィルタで処理した角度,角速度 angle と真値の差分を表した図が Fig5.2.1 である.角速度 angle は時間がたつにつれ7 度付近までドリフトしているのに対し,フィルタ処理した方の差は約  $\pm 2$  度の値に納まり,ドリフトも完全に制御されていることが確認できる.

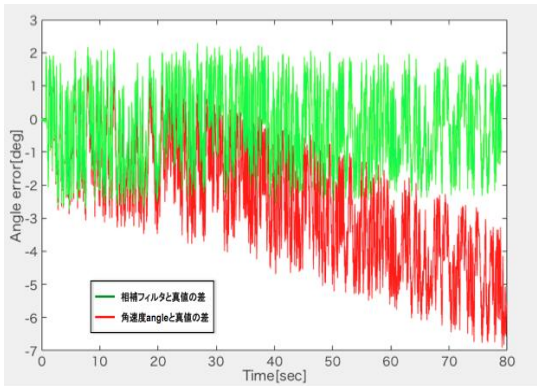


Fig5.2.1 相補フィルタ,角速度 angle と真値の差

### 5-3 誤差

RMSE(平均二乗誤差)によりそれぞれの誤差率を計算した.結果,角速度 angle は 2.57 度,相補フィルタは 0.98 度になった.つまりフィルタ処理した値と角速度

angle には約 1.59 度の精度の差がでていることが確認できた.

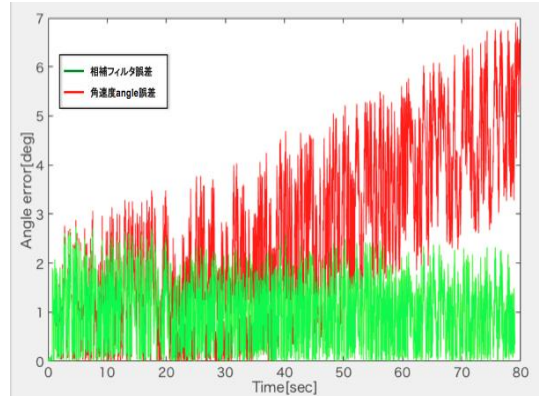


Fig5.3.1 時間と誤差の関係

次に頻度と角度の関係を Fig5.3.2 に表した.比較してみると 0~2 度の範囲で二倍以上の頻度の差がみられる.これより相補フィルタで処理した方は一定の値を取り続けていることが分かり,本研究のシステムの有効性を示すことが出来ていると考えられる.また自明ではあるが角速度 angle はドリフトの影響により時間につれて誤差が大きくなっていくので,標準偏差の幅が大きくなる.

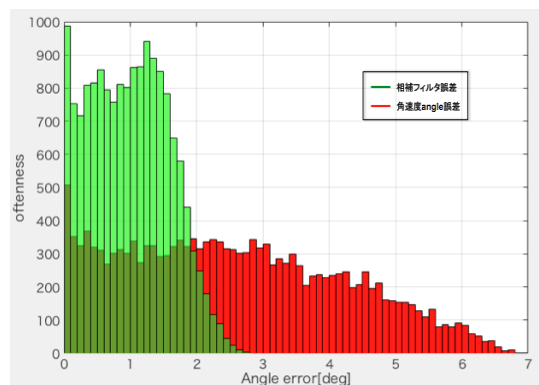


Fig5.3.2 頻度と誤差の関係

## 6. おわりに

本稿では角速度,加速度からそれぞれ角度を求め,それぞれの長所を取ることで,

角度を合成するシステムを構築し解析をした。角速度から求めた角度は時間に比例しドリフトをしてしまう一方で、加速度は零点等に関して正確なものの、ノイズが大きいという問題があることからそれぞれの弱点を補い合うようにフィルタを合成したいと考えた。そこで単にハイパス、ローパスフィルタを合成するのではなく、ゲインが1になるようなフィルタ設計をした。また真値、角速度 angle、加速度 angle を周波数解析することにより、想定されるノイズの影響を確認し、カットオフ周波数を決定することが出来た。今回は 0.02 から 0.04Hz にかけて 0.01Hz 刻みにカットオフ周波数を決定したが、特に 0.03, 0.04Hz でより高い精度の向上を確認できた。また確認のために、0.1~1Hz にかけて 0.1Hz 刻みにフィルタ処理を行ったが、ドリフトの抑制による精度の向上は確認できたものの、周波数解析により決定したカットオフ周波数で処理した方が全体的に角度の誤差を小さくすることができた。今回本研究での姿勢角推定システムの有効性を示すことが出来たので、今後は実際のフィールドでの応用を試みたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) Albert-jan Baervelt , Robert Klang: A Low-cost and Low-wight Attitude Estimation System for an Autonomous Helicopter

- 2) 江原義弘:臨床歩行計測入門,スポーツバイオメカニクス 20 講
- 3) 多摩川精機(株):ジャイロ活用技術入門
- 4) Mark Pedley: Tilt Sensing Using a Three-Axis Accelerometer