

## 学位論文の要旨

専攻	安全システム工学専攻	ふりがな 氏名	きたむら せいじ 北村 政嗣
学位論文題目	身体装着型慣性センサによるスポーツ動作計測に関する研究 A study on motion capture system of various sports using body-mounted inertial sensors		
学位論文要旨 計測環境を限定せずにヒトの動作を計測・解析する技術の確立は，医療，福祉，健康，スポーツを含む様々な分野において重要となっている．特にスポーツ分野では，アスリートの怪我や故障を防ぐために，動作を定量的に分析し，その結果に基づいて動作の改善を行っていくことが必要となる．例えば，野球の投手における投球障害の主な原因は適切でない投球動作である．投球障害の予防や再発防止のためには適切な投球動作の指導や習得が不可欠であり，そのためには腕の軌道や姿勢，関節角度を定量的に確認する必要がある．現在，動作計測には光学式3次元動作解析装置の利用が一般的であるが，高額で取扱いに専門的知識が必要であり，計測に赤外線を使用するため屋外で使用できない，障害物などが存在すると反射マーカが撮影できず動作計測が不可能となるなど，様々な問題が存在している．一方，これまで身体に装着した慣性センサ等のセンサを利用した身体装着型動作計測装置の研究が行われている．慣性センサを使用した動作計測は，前述の光学式装置と比較して，簡便，安価，低拘束という利点を持つため，スポーツ分野はもちろんのこと，福祉，理学療法分野等からも期待されており，現在までに，ヒトの動作時の関節角度を推定する方法や，行動・活動内容を判別する方法，歩行時の歩行速度等を計測する方法が報告されている．また，スポーツ動作計測の際には，姿勢に加え，身体が空中に浮いているジャンプ時の経路や飛距離を正確に測定することも重要であり，これまでに，ジャンプ動作を放物運動と仮定し，腰部に装着した加速度センサから求めた跳躍時間を使用して垂直跳びにおける跳躍高を算出する方法や，メジャーによって実測した跳躍距離を利用して立ち幅跳びにおける跳躍角度を算出する方法が提案されている．しかし，いずれも離陸時と着陸時のセンサの高さが同じであるという仮定や，放物運動を仮定しているため，着陸時のセンサの高さが異なる場合や，姿勢変化による重心位置の移動，外力の作用による軌道の変化に対しては正確な軌道の推定は困難であった．また，加速度の二階積分により運動時の変位や移動経路を推定する方法では，回路のノイズやセンサドリフト等による積分誤差を完全に除去することは不可能であり，高精度の経路推定は困難である． そこで本研究では，高精度である光学式動作解析装置に近い精度でのスポーツ動作時の人間の動作計測を実現するため，高速動作に対応する無線慣性センサを開発した上で，投球時の前腕，上腕，体幹の動作計測法や，ジャンプ時の体幹，大腿，下腿の動作計測法の構築を行った．はじめに，高いサンプリング周波数を有し，測定範囲の広い慣性センサと，大容量のデータ記録領域を有する，装着型			

動作計測装置として使用可能な無線慣性計測装置(Wireless Inertial Measurement Unit: WIMU)の開発を行った。WIMU の仕様を決定し、試作機によりハードウェアおよびソフトウェアの評価を行った。さらに、試作機を基にして、表面実装基板を利用したセンサシステムを開発し、大きさ 50×50×30[mm]以下、質量 50[g] 以下と小型軽量化を実現し、スポーツ動作計測の適用可能性について調査した。続いて、開発した WIMU を使用し、投球時前腕、上腕及び体幹の 3 点の動作計測を行い、投球動作時上肢の姿勢、軌道の推定を行った。その結果、高速な投球動作をモニタリングして、投球フォームを再現できることを確認した[1]。更に、動作開始前と終了後の速度とセンサの姿勢を利用して動作中の積分誤差を減少させる方法を適用し、ジャンプ動作時の姿勢と 3 次元経路を推定した。WIMU を体幹および両側の大腿・下腿の計 5 ヶ所に装着し、健常男性 7 名を対象として垂直跳びおよび立ち幅跳びの動作計測を行った。そして、光学式モーションキャプチャシステムとの同時計測実験により、本手法の計測精度評価を行った。結果、空中での軌道に関しては、高さ方向は 2[cm]、経路は 20[%]、関節角度については 5[deg]程度の誤差となり、それぞれ高い相関関係が得られた。これより、ジャンプ動作を高い精度で計測可能であることが確認された[2]。

本論文では、投球動作やジャンプ動作といったスポーツ動作の上半身、下半身それぞれの動作計測を行い、精度検証を行った。その結果、身体装着型慣性センサを用いたスポーツ動作の動作計測が可能であることを確認した。今後は、地磁気センサの追加や圧力センサの最適装着位置の検討、カルマンフィルタの使用等により更なる計測精度向上および連続的な動作の推定法の提案を試みる必要がある。

#### 参考文献

- [1] Kitamura S, Sagawa K, Tsukamoto T, Ishibashi Y: Development of a Wireless Inertial Measurement System for Pitching Motion Analysis. Advanced Engineering Forum, 2-3, pp. 452-457, 2012.
- [2] Ibata Y, Kitamura S, Motoi K, Sagawa K: Measurement of three-dimensional posture and trajectory of lower body during standing long jumping utilizing body-mounted sensors. IEEE EMBS 2013, pp.4891-4894, 2013