

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：94305

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03075

研究課題名(和文) マルチボディダイナミクスに基づく全身運動の解析方法の確立と応用

研究課題名(英文) Multibody dynamics-based movement analysis for whole-body dynamics

研究代表者

太田 憲 (OHTA, KEN)

日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所・スポーツ脳科学プロジェクト・客員研究員

研究者番号：10281635

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,200,000 円

研究成果の概要(和文)：両手で行うゴルフスイング運動の逆動力学解析を行うために、左右のグリップに作用する力とモーメント、力の作用点を分離して計測するための計測方法と道具を開発した。この方法によって力ベクトルがどの方向に、また左右のグリップのどの位置に作用しているか明らかにすることによって、地面反力をどのように生成し、さらにそれをクラブにどのように伝達しているか明らかにし、スイング時のクラブの回転のメカニズムを明らかにした。この計測結果から腕の閉ループ構造を利用し、クラブのシャフト軸周りの回転には直接寄与しない内力を積極的に利用して、運動を行っていることを明らかになった。

研究成果の概要(英文)：In this study, an instrumented golf club equipped with a combination of a 3D force and torques sensor and a motion sensor was designed to measure the forces and moments exerted by each hand and the manipulating forces which act at both grips during golf swing and points of application of force at each hand were measured. The results of the analysis of whole body during golf swing indicates that the forces exerted by both hands makes couple force which causes swing rotation of a club in an axis perpendicular to shaft before wrist uncocking, and shaft rotation in long axis of shaft after it.

研究分野：スポーツバイオメカニクス、スポーツ工学

キーワード：ゴルフスイング 力覚センサ搭載クラブ マルチボディダイナミクス 閉ループ モーションキャプチャ 力の作用点

1. 研究開始当初の背景

空中での運動を除けば、身体には重力以外の外力として外部環境との接触によって生じる地面反力などが作用する。身体全体の並進の運動方程式を考えると、これらの反力以外には外力は作用しないことから、大きな力を発揮するためには大きな地面反力を獲得することが物理的に不可欠であることを、運動方程式が示している。したがって、地面反力とそれを制御する重心の加速度の身体運動における物理的な意味を解明する必要がある。

これまで行った研究では、ランニングの着地動作のように大きな外力が足先に作用する場合、その地面反力と関節トルクの間には静力学的関係が支配的であることを明らかにし、地面反力が筋の駆動力の生成に重要な役割を果たしていることを示した。一方ジャンプ動作では反動動作によって一旦地面反力を獲得し、その反力を各関節に分配することによって大きな関節駆動力を発生させていることから、筋による駆動力発揮にも地面反力が必要不可欠であることを示唆している。また、その地面反力は身体全体の重心の加速度で決定されることから、全身運動の制御には、重心に関する動力学的な拘束が、運動に最も強い拘束を与えている。さらに、獲得した地面反力は再び身体を通じて道具に伝達したり身体の重心の移動に利用されることから、地面反力を獲得しつつ目的の運動へ力を伝達する複雑な制御構造となっている。このことを調べるため近年動力学シミュレータなどが発展し、DADS, ODE, AnyBody, SIMM, OpenSimなどのソフトウェアなど計算するための選択肢も広がってきた。しかし、運動のコツを探るためには、これらのコンピュータを用いた数値シミュレーションに適した運動方程式ではなく、全身運動の物理的な意味を容易に理解でき、モーションキャプチャなどを用いた逆動力学解析に適した運動方程式の導出方法を開発する必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、マルチボディダイナミクスに基づいた全身運動の解析に適した新しい多体系の運動方程式を導出することによって、全身の運動の解析方法を理論的に整理し、得られた新しい運動方程式によって、特に重心の運動と関係した全身運動の物理的な意味を明らかにし運動のコツを解明する。また、運動中の被験者に作用する力やエネルギーの伝達を実際に可視化し、スキル改善やトレーニングに用いるシステムの開発を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

全身運動の解析に適した運動方程式の導出と実験による理論検証を進め、その知見を分析システムの開発に応用する。理論構築では、仮想パワーの原理から全身運動の解析に適した多体系の運動方程式と動力学的貢献度を導出する。平行して実験の計測用にウェアラブルなフォースセンサを開発し、それとモーションキャプチャやモーションセンサ等を用いた実験を行い、ゴルフスイング動作で地面反力をいかに有効利用しているか理論の検証を行う。

ルなフォースセンサを開発し、それとモーションキャプチャやモーションセンサ等を用いた実験を行い、ゴルフスイング動作で地面反力をいかに有効利用しているか理論の検証を行う。

(1) 力覚センサ搭載クラブの構造：力覚センサを組み込んだゴルフクラブのグリップ部分はチップ側とボトム側とに別れ、グリップ同士が接触しない構造となっている。

グリップエンドには6軸力覚センサが組込まれ、力覚センサのチップ側はクラブのシャフト軸に固定され、さらにそのシャフト軸はチップ側のグリップにも固定されている。一方、センサのグリップエンド側は、シャフトとセンサを包み込むような構造となっているグリップ部分と固定され、かつシャフト軸に接触しないため、チップ側グリップとボトム側グリップに作用する各力が、センサの両側にそれぞれ作用する構造となっている。したがってクラブ全体は、力覚センサを境にして、チップ側とボトム側の3つの部分に分けることができ、グリップ間に力覚センサを配置することと同等になっている。

(2) 計測原理：通常、力覚センサは物体に固定して、動かない状態で計測されるが、運動する物体に固定して計測するとき、実は力覚センサはセンサの両側に作用する力の差分を計測している。一方、モーションキャプチャやモーションセンサは、作用する力の和の情報を計測しているので、力覚センサとモーションキャプチャ（またはモーションセンサ）と併用することで、力覚センサの両側（左右のグリップ）に作用する力とモーメントを分離して計測することが可能となった。

(3) 力の作用点の推定方法：グリップに作用するモーメントが小さいと仮定し、グリップに作用する各力ベクトルの作用点を算出できる。

4. 研究成果

(1) 閉ループと内力の利用：特に高速な運動中では手先で大きなトルクを発揮しにくく、また、閉ループ構造が内力を媒介した力の伝達に優れていることから、閉ループ構造を利用して内力を介在させて力を伝達することによってクラブの回転力やシャフト軸まわりの回旋力を獲得していることを示している。さらにこのことは、関節トルクが身体各部位を動かすことよりも内力による力やエネルギーの伝達に大きな役割を果たし、むしろ全身に作用する内力のほうがクラブの回転に貢献していることを示唆している。このことから、回転のダイナミクスにおいて筋肉が発揮するトルクの物理的な意味は、身体各部位を回転させることではなく、むしろ内力によって効率よく力やエネルギーを伝達させるために、身体を動かさず回転の慣性力を小さくし静力学的に振る舞うようにすることと考えられる。

また、大きな内力を発揮するためには、クラ

ブのシャフト軸周りの回転には直接関係の無い内力を利用して、シャフト軸回転を行っていることも明らかにした。

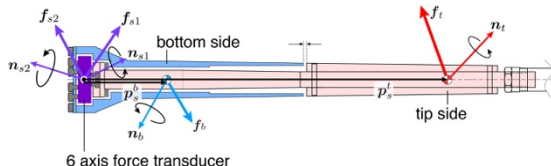


図1 力覚センサ搭載クラブの構造

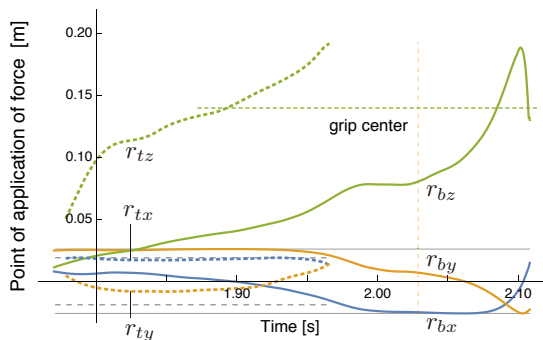


図2 力の作用点

(2)全振動解析：全身運動の解析によって、腕と同様に下肢でも両脚が構成する閉ループ構造が、下肢のモーメント発生に寄与し、さらに上肢の回転運動の生成に寄与するように、エネルギーを伝達していることを明らかにした。特に、腰の部分では、体幹の長軸(鉛直軸)周りの回転よりも、体幹に対して前後方向の軸周りの回転力の伝達が、上肢へのエネルギー伝達に大きく寄与し、解剖学的な拘束から、必然的に腰の鉛直軸周りの回転が発生しているが、この前後軸周りの回転自体がエネルギー伝達には寄与していないことも示唆された。ここで、図3の緑線は体幹の長軸(鉛直軸)周りのトルクを示し、青色が全体のトルクの大さを示している。

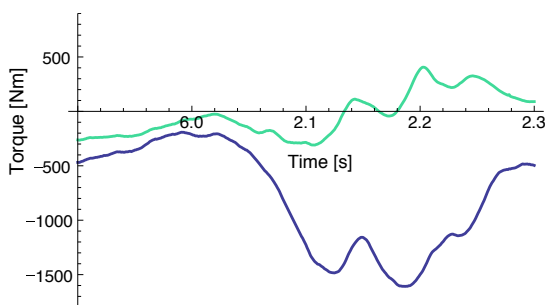


図3 体幹に作用するトルク

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Koji Murofushi, Don Babbitt, Ken Ohta, Supplemental exercises for core stability which utilize the concept of parametric oscillation in the hammer throw、Strength and Conditioning Journal、査読有、Vol.39、2017、71-81 DOI: 10.1519/SSC.000000000000299

[学会発表] (計4件)

- ① 太田 憲, 仰木裕嗣, 有田大作: ゴルフスイング中のグリップに作用する左右6分力計測と力の作用点推定, 日本機械学会シンポジウム, スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2016 (USB 論文集 A-33), 2016
- ② 小笠原一生, 太田 憲: 膝外反+内旋複合ストレスの発生頻度における床反力作用点の影響-膝前十字靭帯損傷の力学メカニズム-, 第38回バイオメカニズム学術講演会 (1A-3-4) p.81-84, 2017
- ③ 太田 憲, 那須大毅, 福田岳洋: 投球時の指によるボールの転がり操りの力学解析, 日本機械学会シンポジウム, スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2017 (USB 論文集 D-18), 2017
- ④ 太田 憲, 那須大毅, 福田岳洋: 投球リリース時のボールの回転運動の力学解析, 日本野球科学研究会 第5回大会(2-32), 2017

[図書] (計2件)

- ① 太田 憲, 「ロボット制御学ハンドブック」, スポーツにおけるサイバネティック・トレーニング, 近代科学社, 東京, 2018
- ② 太田 憲, 室伏広治, 「オーグメンテッド・ヒューマン-AI と人体科学の融合による人機一体 究極の IF が創る未来」サイバネティック・トレーニング, エヌ・ティー・エス, 東京, 2018

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 運動計測装置及び運動計測方法並びに運動訓練装置

発明者: 太田 憲

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特開 2018-077084

出願年月日: 平成 28 年 11 月 8 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

太田 憲 (OHTA, Ken)

日本電信電話株式会社・NTTコミュニケーション科学基礎研究所・客員研究員

研究者番号：10281635

(2) 研究分担者

瀬尾 和也 (SEO, Kazuya)

山形大学・教育文化学部・教授

研究者番号：60292405