

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500722

研究課題名(和文)実滑走計測とシミュレーションを併用したスノーボード・ターンのメカニズム解明

研究課題名(英文) Mechanism analysis of snowboard turns by combining the motion measurement of snowboarder on actual field and the simulation

研究代表者

土岐 仁 (DOKI, HITOSHI)

秋田大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80134055

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では実滑走におけるスノーボーダーの運動計測とターンのメカニズムを解明するためのシミュレーションモデル開発のために運動解析を行った。慣性センサ・地磁気センサを搭載した運動計測システムと6軸力センサを搭載した雪面反力計測システムを用いてスノーボーダーの運動計測と動力学解析を行い、スノーボーダーが発揮している力について明らかにした。さらに、スノーボーダーの拘束感を軽減するために、小型力センサを搭載した新しい雪面反力計測システムの開発を行い、異なるスキル(初級者と上級者)のスノーボーダーによるターン中の雪面反力計測を行うことによりターンのシミュレーションモデルを開発するための重要な要素を得た。

研究成果の概要(英文)：In this study, we conducted the motion measurement of snowboarder gliding on the actual snow field, and we analyzed the motion to develop the simulation model of snowboard turns for resolving the mechanism of snowboard turns. We conducted the motion measurement and kinetics analysis using the motion measurement system installing the inertial and magnetic field sensors and the measurement system of reaction force from snow surface installing the 6-axis force sensors, and we indicated the generating force of snowboarder for snowboard turns. Furthermore, we developed the new measurement system of reaction force from snow surface installing compact force sensors. We conducted the measurement experiment by the different skill snowboarders, and we obtained the important factors for development of the simulation model of snowboard turns.

研究分野：スポーツ工学

キーワード：スノーボード 慣性センサ 雪面反力 関節トルク

1. 研究開始当初の背景

スノーボードは、重力を利用して雪面を滑走するスノースポーツである。スノーボードは、1本の板を用いて滑走を行うスポーツであり、スキーとは異なり左右非対称の滑走フォームであるため、スノーボード・ターンのメカニズムはスキー・ターンのメカニズムとは大きく異なる。スノーボード・ターンのメカニズムを明らかにするために、スノーボードロボットの開発やスノーボード・ターンのシミュレーション等、様々な研究が行われている。スノーボード・ターンのメカニズムを明らかにするためには、実際の雪面を滑走するスノーボーダーの運動計測、解析が必要不可欠である。しかし、スノーボードのように、滑走とともに計測対象(スノーボーダー)が移動するスポーツは、計測範囲が広く、スノーボーダーの運動も複雑な3次元運動であるために計測が難しい。また、スポーツの運動計測として広く普及しているビデオカメラを用いたDLT法では、スノーボーダーに取り付けたマーカーが非常に小さくなるため、トラッキングが困難であり、計測精度も低下する。また、力学情報や生体情報を取得することができないため、姿勢変化や荷重移動による力の使い方など詳細な解析を行うことができない。スノーボード・ターンについて詳細な解析を行うためには、姿勢情報(スノーボーダーがターンの各局面でどのような姿勢をとっているのか)、慣性情報(スピードや描くターン弧の違いによる並進運動、回転運動の違い)、生体情報(関節にどのような負荷がかかっているのか、どの筋がいつ活性化しているのか)を同時に計測する方法や、スノーボーダーの運動に対応した計測システムと計測した情報から姿勢情報や生体情報を得るための解析法を開発する必要がある。さらに、得られた情報を基にシミュレーション解析を行うことで、異なるターンによる力の使い方や、関節負荷の影響による怪我の原因を定量的に示すことが可能となる事が期待される。

2. 研究の目的

本研究では、スノーボード・ターンのメカニズムを解明するために、実際の雪面を滑走するスノーボーダーの運動計測とシミュレーションモデルを開発するための解析を行う。実滑走におけるスノーボーダーの運動計測を行うためには、雪面を高速で滑走している状態においても身体運動等を計測するためのシステムが必要となる。そこで、慣性センサ・地磁気センサを搭載し、各身体部位に取り付けることによりスノーボーダーの身体運動を計測可能なシステムを開発する。さらに6軸力センサを搭載し、雪面反力を計測可能なシステムを併用することによる運動解析やスノーボーダーの負担を軽減するために改良を加えた雪面反力システムの開発を行うことにより、ターンを行うために重要

な身体運動情報やターンのシミュレーションモデルを開発するための実滑走情報を抽出する。

3. 研究の方法

実滑走におけるスノーボーダーの運動情報を得るために、慣性センサ・地磁気センサを搭載した運動計測システムと6軸力センサを搭載した雪面反力計測システムを用いた運動計測を行う。得られた計測情報を用いた運動学的解析、動力学的解析を行い、得られるスノーボーダーの関節角度、関節トルクを用いてターンのメカニズムを解明するための解析を行う。運動学的解析、動力学的解析を行うためには、姿勢情報を精度良く得る必要があるが、慣性センサ(ジャイロセンサ)から得られる角速度から算出した場合は、ドリフトによる誤差が発生するため、スノーボードのように比較的長時間計測する必要がある場合においては、誤差を補正する方法について検討する必要がある。そこで、本研究では、ドリフト誤差を重力加速度と磁場を用いて補正するセンサ・フュージョンを適用することによってドリフト誤差の補正を行った。本研究において用いたセンサ・フュージョンのブロック線図を図1に示す。

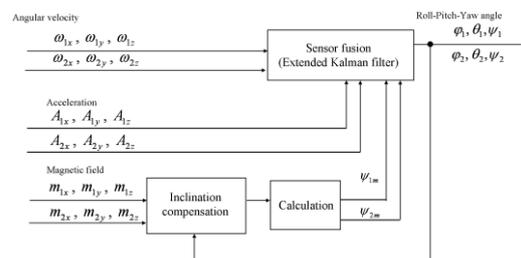


図1 センサ・フュージョンブロック線図

各身体部位に取り付けた運動計測システムから得られる計測情報にセンサ・フュージョンを適用することによって推定した姿勢情報と慣性センサから得られる計測情報、雪面反力を併用し、逆力学解析を行うことにより、関節トルクを推定した。関節トルク推定のブロック線図を図2に示す。

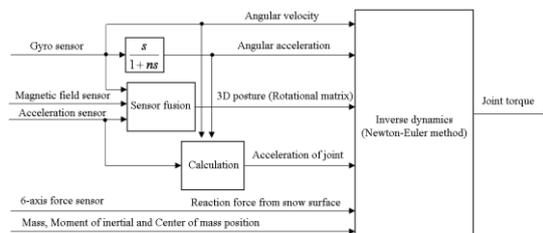


図2 関節トルク推定のブロック線図

さらに、先行研究において用いてきた雪面反力計測システムは、厚みと重量を有していることから、スノーボーダーに拘束感を与えてしまうことから、拘束感を低減させた小型

力センサを用いた雪面反力計測システムを開発した。6軸力センサは構造上若干の厚み、重量を有することから、複数の小型3軸力センサを用いて6分力を計測することができるシステムを開発した。開発した雪面反力計測システムを図3に示す。



図3 雪面反力計測システム

複数の3軸力センサから6分力を計測するために、式(1)、式(2)を用いる。

$$f = \sum_{i=1}^k F_i \quad (1)$$

$$n = \sum_{i=1}^k ({}^0p_i \wedge F_i) \quad (2)$$

ここで、 f は力、 n はモーメント、 F は力センサ出力、 0p_i は原点から力センサまでの位置ベクトルであり、 k はセンサ数を示す。拘束感を低減させた雪面反力計測システムを開発したことにより、スノーボーダーがより自然なターンを行えるようになった。

4. 研究成果

運動計測システムを各身体部位に取り付け、雪面反力計測システムをスノーボード板とビンディングに装着したスノーボーダーによる計測実験を行った。また、本研究にて開発した小型力センサを用いた雪面反力計測システムを用いた実験においては、異なるスキルを有するスノーボーダー（初級者、上級者）における雪面反力計測を行った。

運動計測システムと雪面反力計測システムを用いることにより推定した関節トルク（左右股関節トルク）の結果を図4、図5に示す。なお、詳細なトルク変化に着目するために1ターン分を抽出した結果を示している。

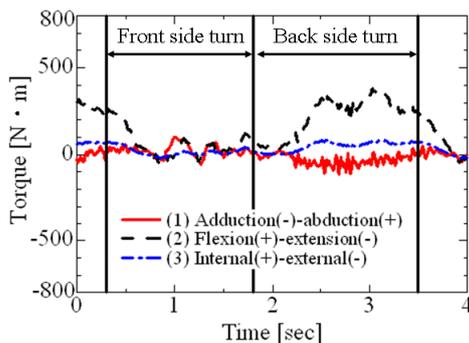


図4 左股関節トルクの推定結果

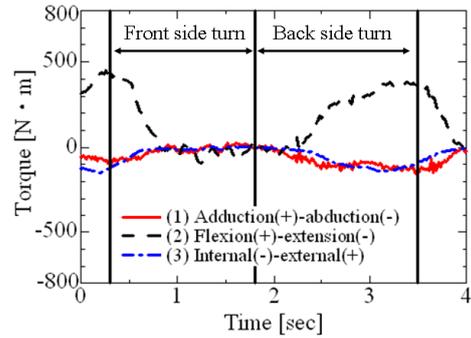


図5 右股関節トルクの推定結果

左右の結果共に、バックサイドターン中に大きな屈曲トルクが発生しており、前傾に姿勢を傾げるために発生させており、実滑走におけるスノーボーダーが発生している力情報を明らかにすることができた。

上級者スノーボーダーによる雪面反力の結果を図6～図9に示す。

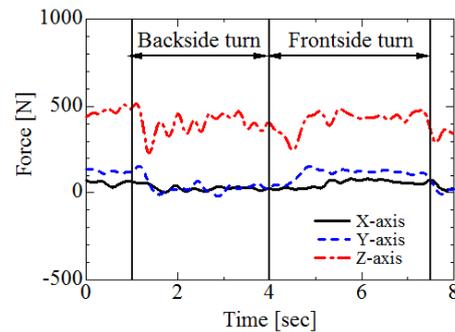


図6 雪面反力計測結果（左足の力）

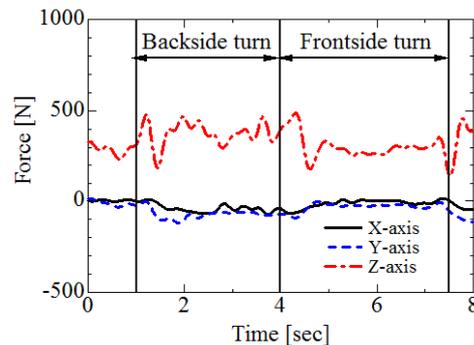


図7 雪面反力計測結果（右足の力）

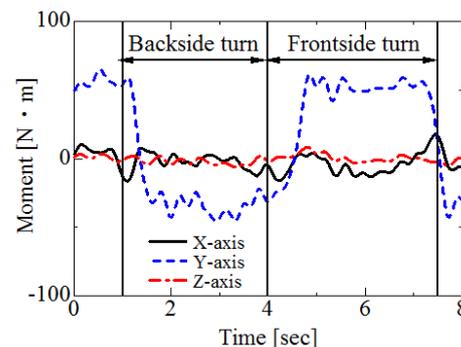


図8 雪面反力計測結果（左足のモーメント）

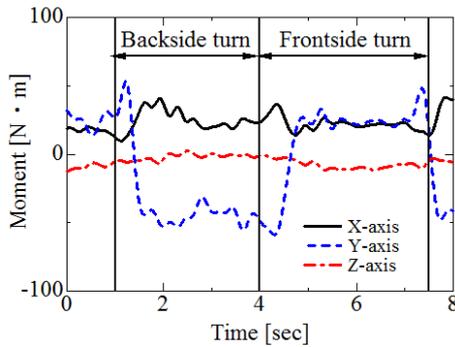


図9 雪面反力計測結果（右足のモーメント）

ここで、X 軸はスノーボーダー正面方向、Y 軸は進行方向、Z 軸は垂直方向を示す。上級者スノーボーダーは前足（左足）荷重でターンを行っており、Y 軸モーメントを変化させることによってエッジの角付けを行っていることが明らかとなった。また、ターン中に X 軸モーメントを変化させており、板をたわませてターン弧を調整していることが明らかとなった。これらの結果は、スノーボード・ターンのシミュレーションモデルを開発するための重要な要素である。

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 4 件）

1. 近藤亜希子, 西川太朗, 千葉遥, 廣瀬圭, 土岐仁, 小型力センサを用いたスノーボード用雪面反力計測システムの開発に関する研究, スキー研究, 11-1, pp. 51-57, 2014.

2. Akiko Kondo, Hitoshi Doki, Kiyoshi Hirose, An Attempt for Measuring Snowboarding Performance Using Compact Force Sensors, The Engineering of Sport 10, 86-91, 2014.

3. 廣瀬圭, 土岐仁, 近藤亜希子, 実滑走計測によるスノーボード・ターンの運動力学解析に関する研究, 日本機械学会論文集 C 編, 79-800, pp. 897-907, 2013.

4. Kiyoshi Hirose, Hitoshi Doki, Akiko Kondo, Dynamic motion analysis of snowboard turns by the measurement of motion and reaction force from snow surface, The Engineering of Sport 9, pp.754-759, 2012.

〔学会発表〕（計 5 件）

1. 廣瀬圭, 土岐仁, 近藤亜希子, 実滑走計測によるスノーボード・ターンの運動力学解析に関する研究, スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミクス 2012, 2012.

2. 近藤亜希子, 西川太朗, 廣瀬圭, 土岐仁, 小型力センサを用いたスノーボード用雪面反力計測システムの開発に関する研究, 日本スキー学会 2013 年度研究会, 2013.

3. 千葉遥, 廣瀬圭, 近藤亜希子, 西川太朗, 土岐仁, 小型力センサを用いたスノーボード用雪面反力計測システムの開発に関する研究（両足用雪面反力計測システムへの拡張）, 日本スキー学会第 24 回大会, 2014.

4. 千葉遥, 西川太朗, 近藤亜希子, 土岐仁, 伏見知何子, スノーボード用雪面反力計測システムを用いたターンの運動解析に関する研究, 日本スキー学会第 25 回大会, 2015.

5. 近藤亜希子, 千葉遥, 齋藤亜由子, 土岐仁, 伏見知何子, ウェアラブルセンサシステムを用いたスノーボード・ターンの動力学的解析に関する研究, 日本スキー学会第 25 回大会, 2015.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土岐 仁 (DOKI HITOSHI)

秋田大学・大学院工学資源学研究科・教授
研究者番号：80134055

(2) 研究分担者

廣瀬 圭 (HIROSE KIYOSHI)

秋田大学・大学院工学資源学研究科・講師
研究者番号：50455870