

マルチボディ・システムを用いたスノーボード操作の制作

山口 啓志*, 河合 茂博*, 坂田 敏行**

Production of Snowboard Control Using Multibody System

Keishi YAMAGUCHI*, Shigehiro KAWAI* and Toshiyuki SAKATA**

(Received November 25, 2002)

The authors have proposed a numerical approach for a snowboard turn. In the approach, the snowboarder's snowboard control is represented by the horizontal motion of a skier's center of gravity and an action of the vertical force from the snowboarder to the snowboard. In the present study, referring a snowboard control videotaped on a slope, the snowboard control is produced using the approach developed for the production of a ski control. From the snowboard control produced, the horizontal motion of the snowboarder's center of gravity, the vertical force from the snowboarder to the snowboard, and an edging angle between snowboard and slope are estimated for the simulation of the snowboard turn.

Key Words: Snowboard, Snowboarder's Model, Dynamics of Ski, Snowboarder's Snowboard Control

1. 緒 言

著者らはスノーボードを不均質直交異方性板で、雪面を弾性床で、スノーボードをその全質量が重心に集中した質点で、それぞれモデル化したスノーボードターンのシミュレーション法を提案し、スノーボードターンに及ぼすスノーボード、雪面およびスノーボードの影響を明らかにした⁽¹⁾。このシミュレーション法ではスノーボード操作はスノーボードの重心の水平面内の移動とエッジング荷重（スノーボードからスノーボードに作用する荷重）でモデル化している。雪面上でのスノーボード操作は画像解析法等を用いて測定可能であるが⁽²⁾、シミュレーション法に適用可能な実際に近いスノーボード操作は報告されておらず、実際とはほど遠い簡単なスノーボード操作が

シミュレーションに用いられているのが現状であり、実際に近いスノーボード操作モデルの開発が望まれている。一方、スキー操作に関しては、著者らはスキーヤーをマルチボディ・システムでモデル化することにより、実際に近いスキー操作モデルを制作する手法を開発した⁽³⁾。

本研究では、著者らにより開発されたスキー操作の制作法⁽³⁾を応用してスノーボード操作を制作する。さらに、制作したスノーボード操作を解析することにより、スノーボードの重心位置の移動量、重心加速度、スノーボードからスノーボードに作用する荷重の他に、雪面とスノーボードが成す角度（エッジング角）の評価を行う。

2. スノーボードのモデル化と改良

本研究では図1に示す空間座標系 $E'-H'-Z'$ を考える。雪面を $E'-H'$ 平面とし、雪面上にスノーボードを置き、スノーボードがスノーボード操作を行う。

*機械工学専攻大学院(Graduate student, Mechanical Engineering)

**機械工学科(Department of Mechanical Engineering)

2.1 スノーボードモデル スキー操作の制作で用いたスキーヤモデル⁽⁴⁾を参考にスノーボードモデルを制作した。スノーボードはマルチボディ・システムでモデル化されており、9種類の部分（合計 17 個の部品）より構成されている（図 2 参照）。制作は三次元 CAD システムを用いた。各部分の質量は人体の標準質量比（表 1 参照）とスノーボードの質量から計算した。ただし、スノーボードの質量は無視した。スノーボードは身長 1.82m, 体重 88kg, スノーボード歴 8 年の男性で

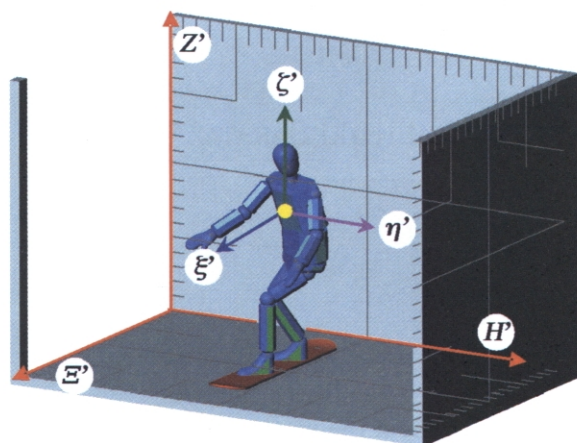


Fig. 1 Coordinate system of snowboard control

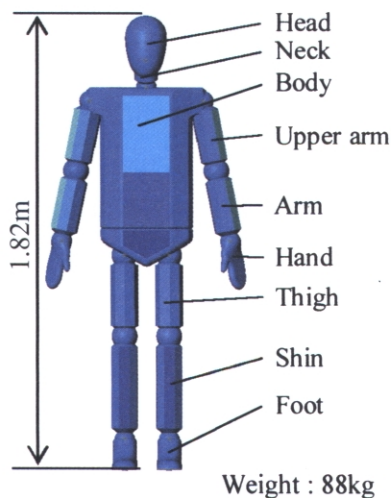


Fig. 2 Snowboarder's model

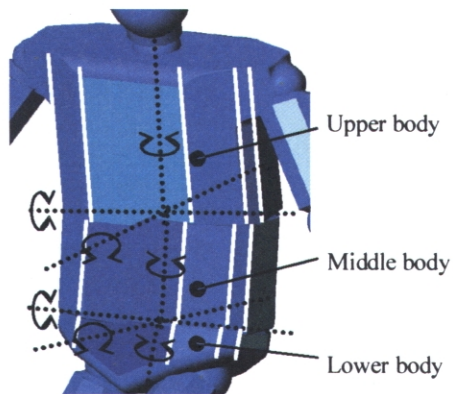
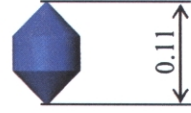
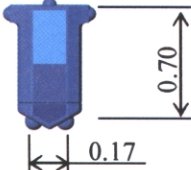
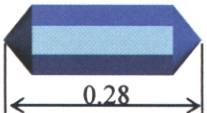
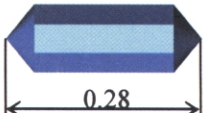
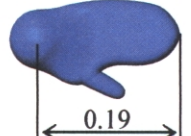
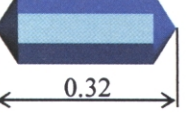
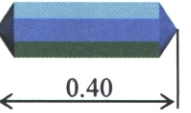
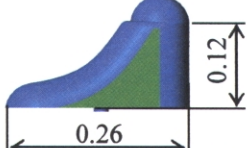


Fig. 3 Improved body

ある。このモデルは人体の各部分を関節で結合しているため、各関節で自由に回転が可能である。各部分同士の結合状態が多少複雑であり、表 1 の各部分の高さを単純に足してもモデルの身長にはならない。被験者のスタンスはレギュラースタンス（スタンス幅は 0.44m）である。

2.2 モデルの改良 スキーヤと異なりスノーボードは複雑な動作により、ターン操作をおこなっている。そこで、スキーヤモデル⁽⁴⁾を基に制

Table 1 Human parts

No.	Part's name	Mass ratio ⁽⁵⁾	Mass of part (kg)	Dimensions (m)
1	Head	0.044	3.872	 0.25
2	Neck	0.033	2.904	 0.11
3	Body	0.478	42.053	 0.70 0.17
4	Upper arm	0.053	3.286	 0.28
5	Arm	0.030	4.664	 0.28
6	Hand	0.018	2.640	 0.19
7	Thigh	0.200	17.530	 0.32
8	Shin	0.107	9.410	 0.40
9	Foot	0.037	3.344	 0.12 0.26
Total		1.000	88.000	

作したスノーボードモデルの改良点を説明する。従来は胴体を二つの部分と仮定していた。本研究では、図3に示すように、胴体の前後の曲げとねじりを考慮できるように、胴体を三分割した。また、従来は各部分の中央を部分重心としてきたが、文献(5)の計算式に基づいて部分重心を人体の場合と一致させるように各部分の形状を調整し、重心位置の精度向上を計った。

3. スノーボード操作の制作と物理量の評価

3.1 スノーボード操作の制作 実際に雪面上で滑走しているスノーボードを撮影したビデオ画像(写真1参照)を参考にして、0.1秒間隔でスノーボードモデルの姿勢を22種類制作した(図4参照)。姿勢の制作は文献(6)の方法を参考にした。図4はフロントサイドターン(図4(j)~(v))とバックサイドターン((a)~(j))を連続して行った場合を示している。

3.2 スノーボード操作の定量化 前節で得られたスノーボード操作からスノーボードターンを解析

するために必要な物理量の評価を行った。初めに、スノーボードモデルの重心位置を求めた。スノーボードの人体データを基に、人体の標準質量比⁽⁵⁾を参考にして、スノーボードモデルの各部分に質量を分配した。分配された各部分の質量と部分重心の位置座標から、各時間におけるスノーボードモデル全体の重心位置を求めた。その結果を図5に示す。横軸に操作開始後の経過時間 t を示す。縦軸は直立状態(図2参照)における重心位置を基準とした場合の長手方向(ξ')、幅方向(η')、および垂直方向(ζ')の相対変位を示す。

次に重心の変位を時間変数で2階微分することにより、重心の加速度を求めた。この加速度とスキーヤの質量(体重)から慣性力を求め、重力をも考慮してスノーボードからスノーボードに作用する荷重を求めた(図7参照)。スノーボード操作によって生じるスノーボードからスノーボードへの荷重はよく変化していることがわかる。本研究では、三次元CADを用いてスノーボードの姿勢を制作しているので、スノーボードと雪面が成す角度(エッジング角)も簡単に評価することが可能である。図8はエッジング角 θ_{ss} を示す。図より明らかなように、大きなターンをしているフロントサイドターンの方がバックサイドターンに比較してエッジング角が大きくなっている。

4. 考察および結論

文献(4)で提案したスキーヤモデルを改良し、実際に雪上を滑走しているスノーボードターンのビデオ画像を参考にしてスノーボード操作を制作した。制作したスノーボード操作からスノーボードターンの解析に必要な各種物理量を求めた。



Photo 1 Referring videotaped picture (snowboarder)

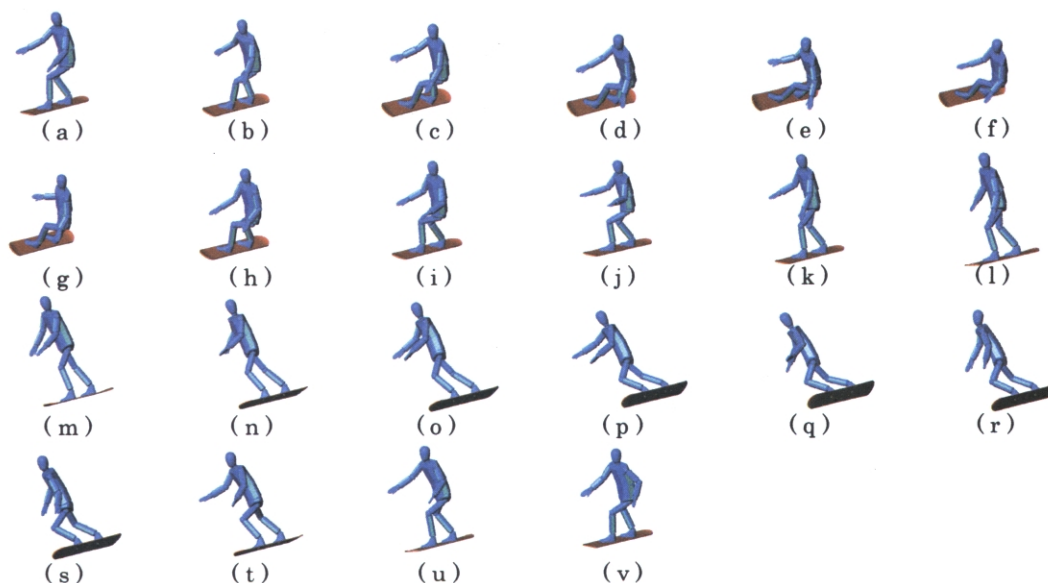


Fig. 4 An example of snowboard ((a)~(j):backside turn, (j)~(v):frontside turn)

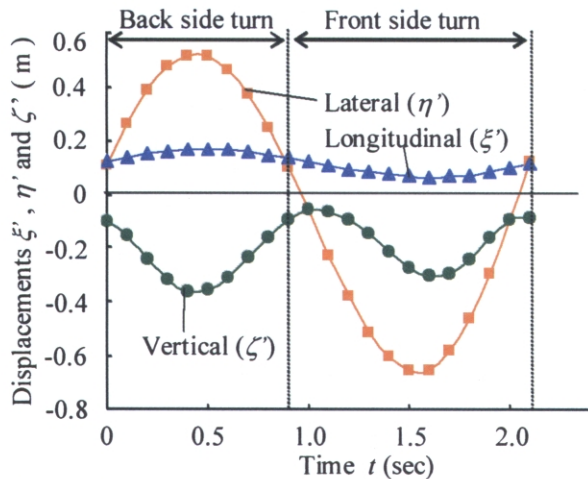


Fig. 5 Relative motion of snowboarder's center of gravity

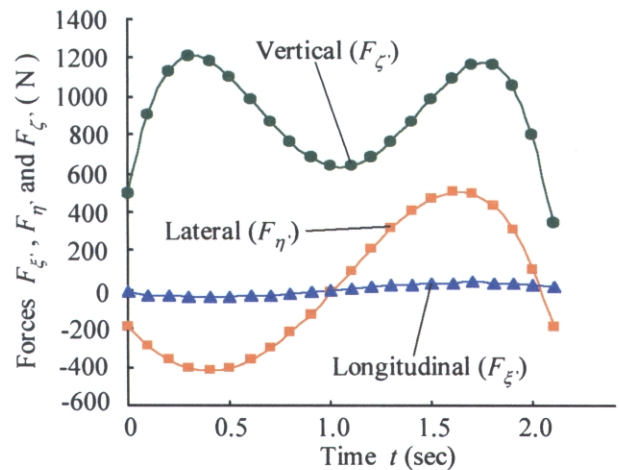


Fig. 7 Forces acting on snowboard from snowboarder

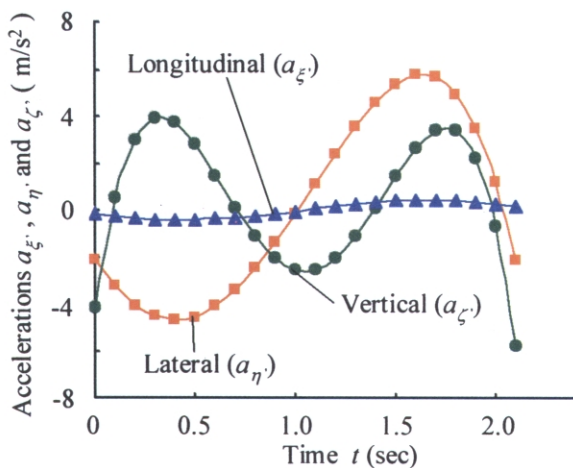


Fig. 6 Relative acceleration of snowboarder's center of gravity

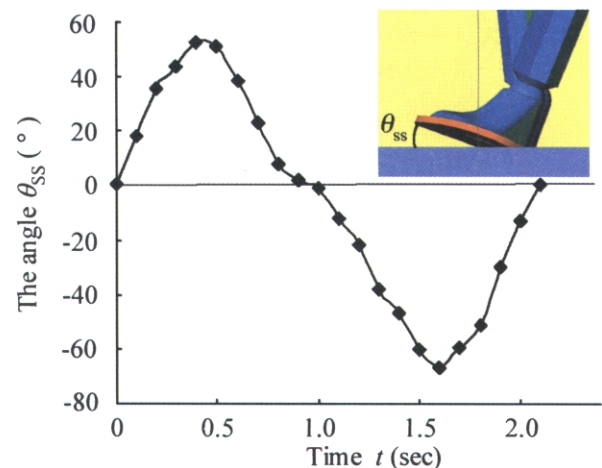


Fig. 8 Edging angle between snowboard and snow slope

図5から明らかなように、滑走中のスノーボーダの重心位置の移動量は幅方向が一番大きく移動し、垂直方向は直立状態よりも常に低い位置で移動している。スノーボードターン中は直立状態と比較して常に進行方向に重心が傾いているのが長手方向のグラフから確認できる。また、フロントサイドターンとバックサイドターンにおける荷重のバランスはとれていないことが図7から明らかである。これは文献(4)などで得られたスキー操作ではみられなかった結果である。さらに、スノーボード操作の制作から得られたデータをスノーボードターンのシミュレーション法に利用することにより、スノーボード操作そのものの研究、スノーボードターンに及ぼすスノーボード操作の影響の研究、およびスノーボードの開発設計、等に役立つと考えられる。

本研究の一部は文部科学省ハイテク・リサーチ・センター整備事業の援助を受けて行われた。関係者各位に感謝する。

参考文献

- 1) 坂田敏行・月山雅晴・細川健治, スノーボード・ターンのシミュレーションに関する研究, 機論, 65-639, C(1999), 4431-4437.
- 2) 坂田敏行, スノーボード操作の測定, 日本スキー学会誌, 10-1, 45-52, (2000).
- 3) 河合茂博・坂田敏行, マルチボディ・システムを用いたスキーヤの力学モデル, 日本スキー学会誌, 11-1, 165-174, (2001).
- 4) 山口啓志, 河合茂博, 坂田敏行, スキーヤモデルを用いたスキー操作の考察, 日本スキー学会誌, 12-1, 173-181, (2002).
- 5) 三浦望慶・池上康男・松井秀治, 部分および合成重心係数を用いて座標測定方式による合成重心の算出, 体育の科学, 24-8, 517-522, (1974).
- 6) Kawai, S. Yamaguchi, K. and Sakata, T., Ski Control Model for Parallel Turn Using Multibody System, Proceedings of the First Asian Conference on Multibody Dynamics, 82-88 (2002).