

ロボットを用いたスノーボーディングの実験的研究の可能性

谷本 恒*、高田 弘*、坂田 敏行**、細川 健治**

Possibility of Experimental Study on Snowboarding Using a Robot

Hisashi TANIMOTO *, Hiroshi TAKADA *,
Toshiyuki SAKATA ** and Kenji HOSOKAWA **

(Received September 30, 1999)

Various skiing robots have been used for an experimental study on skiing. The experimental results obtained is very useful to justify various simulating approach proposed for the skiing and to discuss the effects of ski's shape and mechanical property on the skiing. In the present technical situation, the qualitative comparison between the experimental and numerical results is possible, but the quantitative discussion is impossible due to some differences between experimental and numerical studies. The greatest difference is the number of the ski using in the skiing. That is, the skiing robot uses a set of ski since the robot has two legs, but the skiing using one ski is assumed in the simulation. The shortest way to develop more appropriate simulation for the skiing is to justify quantitatively the simulated results by the experimental results obtained using the robot with one leg and improve the simulation. In the study on skiing it is important to develop a robot with one leg although it is very difficult to control the robot without falling down during skiing, especially during turning.

The authors are continuing to develop a skiing robot with one leg, which is called "a snowboarder-type robot". Now, the robot is used for the study on the snowboarding although the snowboarding by the robot is very similar to the skiing due to the limitation of the robot's action. In the present "Research News", the outline of the robot and some experimental results have been introduced.

Keywords : snowboarding, snowboarder-type robot, contact pressure, edging action, locus of turn

1. 緒言

スキー滑走の実験的研究手段として、スキーロボット¹⁾が使用されている。実際の雪上におけるスキーヤーの滑走条件と実験室内でのロボットの滑走条件とは

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

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

異なるが、スキー滑走用シミュレーション法の妥当性の定性的な検討、スキー形状等のスキーターンに及ぼす影響の把握等においては一定の成果が得られている。しかしながら、スキー滑走シミュレーション法の妥当性の定量的な検討にスキーロボットの実験結果を用いることは現状では困難である。すなわち、スキーロボットはスキーヤーを真似て2本のスキー板を使用

している。一方、スキー滑走のシミュレーション法では理論の困難さから、1本のスキー板でスキー滑走を行った場合の解析を行っている。スキーロボットの滑走実験において、それぞれのスキー板に作用する荷重の推定（分離）が可能であれば、実験結果とシミュレーション結果を直接比較することは可能であるが、現時点では荷重の推定は不可能である。そのため、1本足スキーロボットの開発が望まれていた。

本研究では上記問題点を解決し、実験結果とシミュレーション結果を直接定量的に比較することを目指し、1本足スキーロボットの製作を試みた。現状では試作ロボットの滑走はスキー滑走とスノーボーディングとの中間的な滑走であるが、本研究では製作した1本足ロボットを”スノーボーダー型ロボット”と名付け、その滑走をスノーボーディングと呼ぶことにする。滑走の解析で最も初歩的なものはターンの解析である。このロボットでターンを行うときの最大の問題点は転倒の防止である。試作ロボットの概要、それを用いた新しい実験の可能性等を簡単に説明する。

2. 実験方法および実験結果

現在、数種類のスノーボーダー型ロボットを製作し、滑走実験の結果を参考にして、実験により適したロボットへと改良を続けている。ここではその概要を報告する。

2. 1 ロボットのエッジング動作

写真1はスノーボードと床面との間の接触圧測定状態を示す。スノーボーダー型ロボットは上体と脚とから構成され、脚に固定したステッピングモータの回転により、上体は脚に対して左右に回転運動を行う構造になっている。モータ、バッテリー等の質量の大きい部品は脚に固定されているため、比較的安定したスノー

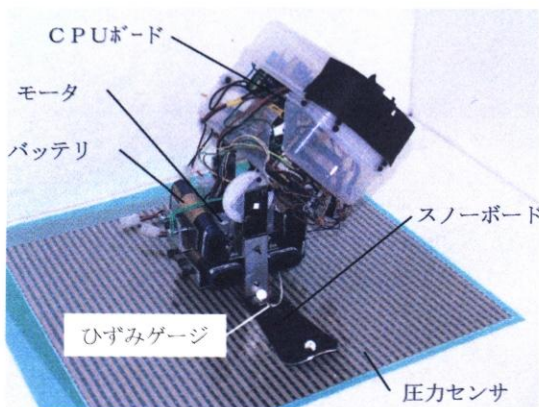


写真1 スノーボーダー型ロボットと圧力センサ

ボーディングが可能である。また、上体はロボット用コントローラー（ワンボードCPUとステッピングモータ駆動回路、画像解析用LED駆動回路等）とひずみ測定回路（ワンボードCPUとひずみ増幅器）から構成されており、左右の回転運動により、スノーボードのエッジの切り替えを行う。圧力センサは10mm間隔の格子点の圧力を測定し、スノーボードと床面との接触状態（圧力分布）を表示するとともに、それらの和を求めてスノーボードから床に作用している力を表示することも可能である。図1はスノーボードの形状を示す。スノーボードはマシニングセンタを用いて精度良く加工した。図には示していないが、実験で用い

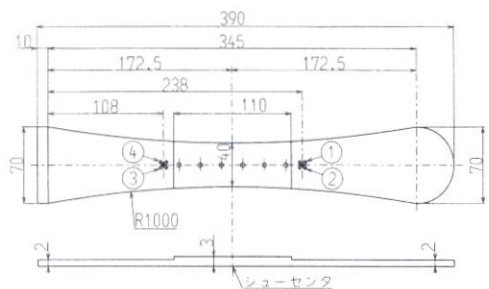
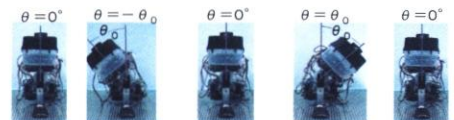


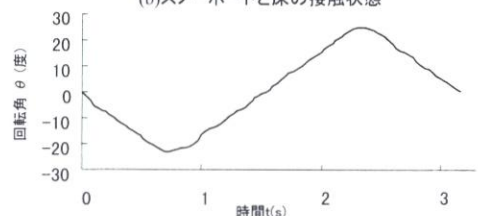
図1 実験用スノーボードの一例



(a) ロボットの動作（設定値 $\theta_0 = 25.92^\circ$ ）



(b) スノーボードと床の接触状態



(c) ロボットの回転角（実測値）

図2 ロボットのエッジング動作により生じるスノーボードと床の接触状態

る場合にはスノーボードにはキャンバーが付けられている。本実験で用いたスノーボードとロボットの質量の和は3.42kgである。ロボットのエッジング動作（ロボット上体の左右の回転運動）によりスノーボードに生じるひずみを測定するため、ひずみゲージをロボットの前後に接着した（接着位置は図1の①～④を参照）。本実験では非滑走状態で接触圧等を測定したので、ロボットに搭載のひずみ増幅器ではなく、より精度の良い市販のひずみ増幅器を使用した。ロボットの上部の回転角はビデオ画像から計算した。

図2はロボットのエッジング動作の例を示す。最上段はロボット上体の回転運動を示す。中段はロボット上体の回転角（上段に示す）に対応したスノーボードと床面との接触状態を示す。白色は非接触の部分、黒色は接触の部分を表す。この図では色の判別はできないが、実際には10mm間隔の格子点で接触圧力が測定されており、接触圧力の分布も、接触圧力分布の時間変化も知ることが可能である。接触圧力分布より、エッジング状態が判断できる。 $\theta_0 = 0^\circ$ の時の接触圧力分布は3回とも良く類似しており、再現性の良い接触圧力分布が得られている。最下段は画像解析により求められたロボット上体の回転角の時間変化を示す。左右の回転運動における最大の回転角度 θ_0 とそ

の時の接触圧力分布の測定結果は良く一致している（プログラムでは $\theta_0 = 25.92^\circ$ ）。

図3は3回のエッジング動作を連続して行った場合の実験結果を示す。上から4番目までのグラフは図1に示すひずみゲージ位置①～④におけるスノーボードのひずみ量の時間変化を、5番目のグラフはスノーボードから床への作用荷重（図2の中段に示す接触圧力分布の各瞬間における和）の時間変化を、最下段はスノーボードの上体の回転角を示す。3回のエッジング動作は非常に良い再現性を示している。

2.2 滑走実験結果

図4は滑走実験結果を示す。滑走ゲレンデの斜面は斜度 23° 、長さ6m、幅1.8mでフェルトカーペット敷きである。ロボットの滑走をビデオカメラを用いて撮影し、画像解析法により滑走軌跡を計算した（図1に示すスノーボードとは多少異なる形状のスノーボードを用いた）。図中の「ロボットの動作」は上体の回転角を示す。また、「後足荷重」とは図1に示すシュエセンタにロボットを固定する場合に比較して20mm後ろにロボットを固定して滑走させた結果を、「前足荷重」とは20mm前にロボットを固定して滑走させた結果を示す。ロボットの上部の左右への回転運動により、スノーボーディングのターンが行われていることが明瞭に示されている。また、ロボットの固定位置を前後に移動することにより、ターンの軌跡が影響されることも明らかである。

前節で述べたように、ロボットの動作の再現性は良

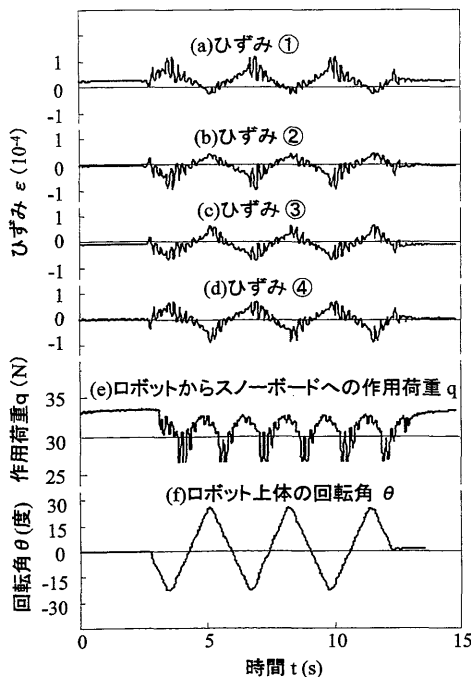


図3 ロボットのエッジング動作の再現性

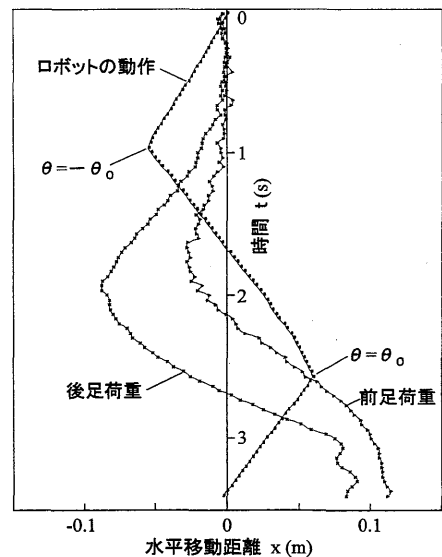


図4 スノーボーディングの測定例

好である。一方、ここでは示していないが、滑走軌跡の再現性は必ずしも良好ではない。滑走軌跡には、滑走開始時の条件、滑走時の条件等が全て影響するため同一の軌跡を得ることが困難である。今後の課題は、滑走実験の条件を再検討し、再現性を向上させることであると考えられる。

3. おわりに

スノーボーディングの実験用に簡単なロボットを製作し、予備的な滑走実験を行った。定性的には妥当な実験結果が得られたが、ロボットの動作の改良（自由度の増大、転倒しないロボット制御）、滑走実験の再現性等の解決しなければならない問題が山積している。しかしながら、スノーボードと床面の間の接触圧

力分布、スノーボードに生じるひずみ等を精度良く測定することが可能であることが明らかになった。また、今回は測定しなかったが、スノーボードの動的たわみ変形も実験室では簡単に測定することが可能である。これらの実験結果と数値解析結果を比較検討することにより、スノーボーディングのシミュレーション法の開発が加速されることが期待される。

本研究の一部は文部省のハイテク・リサーチ・センター整備事業の援助を受けて行われたものであり、関係者各位に謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 坂田敏行・酒井清司、ロボットを用いたスキー滑走に関する研究、総合工学、7、(1995)、97-103。