

# 重心高さ可変機構を有するパッシブターン型スキーロボットによる ターンの制御

Control of a passive turn type skiing robot  
with variable height mechanism of gravitational center

○古川 良裕 石崎 圭介 嵯峨 宣彦 齋藤 直樹

○Yoshihiro FURUKAWA Keisuke ISHIZAKI Norihiko SAGA Naoki SAITO

秋田県立大学

Akita Prefectural University

キーワード：スキーロボット(Skiing Robot), スキーターン(Skiing Turn)  
可変機構(Variable Mechanism)

連絡先：〒015-0055 秋田県由利本荘市土谷字海老ノロ 84-4 秋田県立大学 システム科学技術学部  
機械知能システム学科 バイオメカトロニクス研究室 古川 良裕

Tel : 0184-27-2217 Fax : 0184-27-2188 E-mail : b07a072@akita-pu.ac.jp

## 1. はじめに

現在のアルペンスキー競技ではスキーの形状を活かしたカービングターンが主流になっている。カービングターンとは、スキーのサイドカーブとターン開始時にスキーを踏み込み力を利用したスキーの撓みによって形成する曲面を利用して、小さなターン半径で高速にターンする技術である。これまでスキーターンに関する研究は行われているが、実際のスキーヤーのターンを十分に解明したものはなく、理想的なターン姿勢として競技者にフィードバックしにくいものになっている。

そこで、単純な機構のスキーロボットを製作し、重心位置や体重移動のタイミングがターンにどのような影響があるかを検討した。

今回は重心の高さに注目し、左右の重心移動は受容的に行うことを前提に、アクチュエータを用いず重心高さを変えた2種類の単純リンク構造のスキーロボットと、アクチュエータを用い、滑走中に重心高さを変化させる機構をもたせたスキーロボットを製作し、重心高さがスキーターンにどのような影響があるかを調べた。

## 2. パッシブターン型スキーロボット

モータのないパッシブターン型スキーロボット(50g)を図1に示す。このロボットは、4本の平行なリンクを用いて、重力のみでスキーターンの左右の重心移動が可能である。重心の高さの違いがターンにどのような影響があるか調べるため、単純に足の長さが違うロボットを滑らせてみた。計測には3台のCCDカメラと3次元動作解析ソフト(ライブラリ:Move-tr/3D)を利用した。斜面の角度は $25^\circ$ 、斜面には滑りやすいように毛のある絨毯(910×1820mm)を使った。図2に重心位置の異なるロボットの滑降の軌跡を示す。スキー板のサイドカーブ半径は800mmである。これを見ると、ターンの曲率半径はほぼ同じだが、周期そのものに違いが見られた。重心の低いロボットのほうがターンの周期が短くなっている。図中の $\psi$ は、スキー板の方向角度とする。

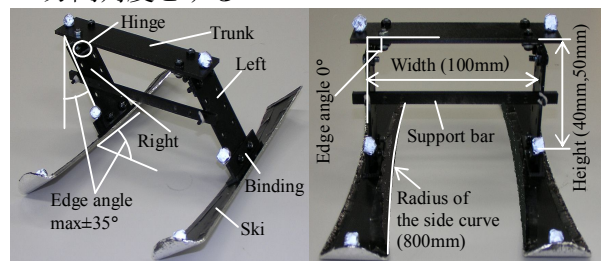


Fig.1 Passive turn type skiing robot without RC Motor (50g)

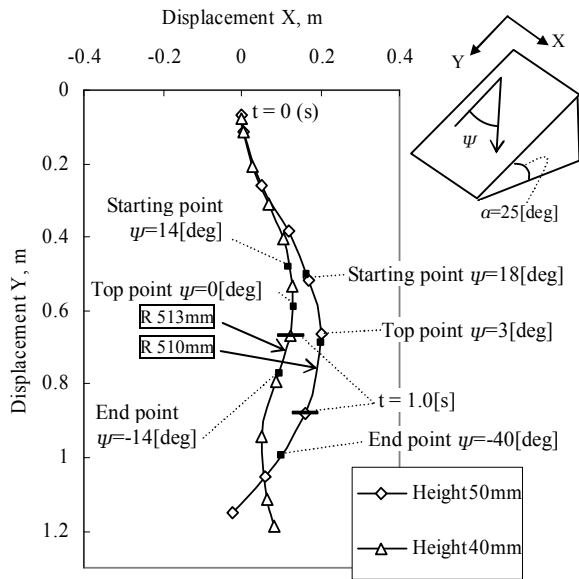


Fig.2 Trajectories of skiing robot without RC Motor

### 3. 重心高さ可変機構を有するパッシブターン型スキーロボット

#### 3.1 スキーロボットの設計

モータのないパッシブターン型ロボットの滑降において、重心の低いロボットのほうがターンの周期が短くなった。

このことから、滑降中に重心の高さを変化させればターンをコントロールできるのではないかと考え、パッシブターン型ロボットに足の高さをラジコン操作で変化できる機構を追加したロボットを作ることにした。図3に足の長さを変化できる機構を追加したスキーロボットを示す。このロボットには、サーボモータ(FUTABA;S3110)、バッテリー(FUTABA;NR-4QC)等を搭載するため、不安定になりやすいと考えた。モータのないスキーロボットの滑降では、足が長すぎると平行四辺形のリンクが切替った後、切替わった方向のスキー板の位置を中心としてロボット全体が横方向に転がる場合

みられた。この場面についての片側のスキー板の位置まわりのモーメントを12個の質点からなるモデルにて計算し、ロボットの足の長さ

と幅を決めた。

図4に12個の質点からなるモデルを示す。

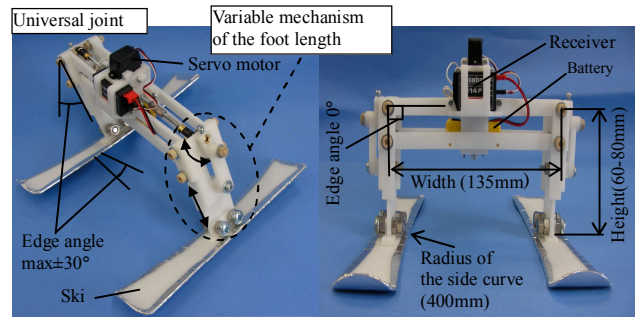


Fig.3 Passive turn type skiing robot with RC Motor (249g)

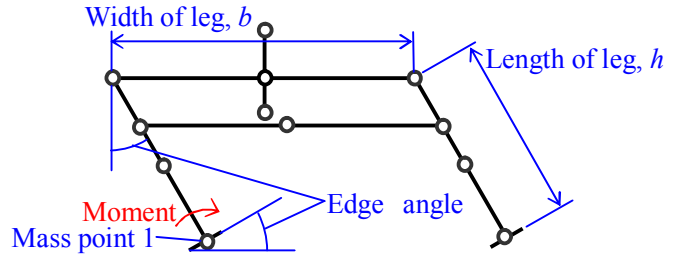


Fig.4 A model with 12 mass points

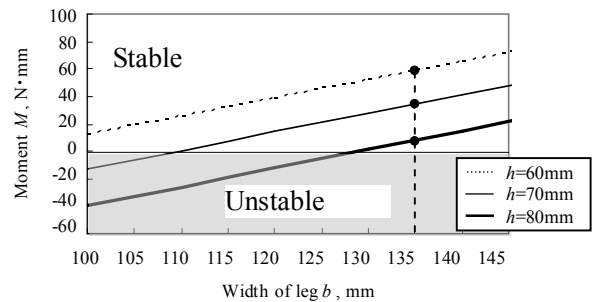


Fig.5 Rotation moment of the model with 12 mass points

図4での質点1が右側のスキーの位置であり、回転の中心とする。各質点に重力とリンク切替え後の衝撃力のみが働くと考え、11個の質点に働く力による質点1まわりのモーメントの和を計算したものが図5である。グラフの値が正のとき安定と考える。ロボットの機構上、最小の足の長さは60mmであり、足の伸びる長さは最大20mmである。したがってグラフは、足の長さが60mm、70mm、80mmのものである。これを参考にして足の幅を135mmとした。ロボットの最大エッジング角度は、足と絶対水平面の角度を参考にした。足と絶対水平面の間を角度を $\beta$ として式(1)に示す。

$$\beta = 90 - \alpha + \theta \sin \psi \quad (1)$$

$\theta$ はエッジング角度、 $\alpha$ は斜度である。モータのないスキーロボットの計測において、ターンの切替えが発生したときのスキー板の方向角

度は約 35°, 足と絶対水平面の角度は 80°から 90°までの値をとっていた. 斜度は 25°でありこの値を用いて式(1)からエッジング角度を算出すると 27°から 43°までの値をとる. したがって, スキーロボットの最大エッジング角度はこの範囲で選ぶのが適当であるが, ロボットの機構の関係上, エッジング角度を 30°以下にする必要があったので, エッジング角度を 30°とした. スキー板は, ロボットが前方向に倒れない程度に, 190mm と十分に長くしてある. サイドカーブ半径は連続ターンしやすいように 400mm のものを選んだ.

### 3.2 スキーターンの制御実験

斜面の角度は 25°, 斜面にはポリエステル 100%のフェルト材(1900×2500mm)を敷いた. 計測システムは, モータのないスキーロボットの滑降と同じである.

まず, 滑降開始位置から Y 軸方向の距離 400mm の位置に目印を付ける. この目印は, 重心高さを降下させる場所の目安とする. スキーロボットを一番重心の高い姿勢にさせ, 図4のようにロボットを傾け, 真直ぐな方向を向かせて滑らせる. ロボットが目印の真横付近で重心高さを降下させる. 重心高さの操作は, 足の高さが 60mm, 65mm, 70mm になるように重心を降下させ, ターンの周期を比較する.

図6は重心高さを変化できるスキーロボットのターンの軌跡である. ひし形のプロット点は, 図中の A 付近で足の高さを 60mm, 三角は 65mm, 丸は 70mm に重心を降下させている. 図の B の部分をスキーターンのトップ部という. 1 回目のトップ部から 2 回目のトップ部までの Y 軸方向の距離は, 重心高さを小さくしたターンほど短くなった. そのときの経過時間も同じように, より足の高さを降下させたターンほど短かった.

## 4. 考察

等しいサイドカーブの半径のスキー板を用いたターンでは, 板が撓む等の要因がない限り, ターンの曲率半径が等しくなるとされている. 実験においてターンの曲率半径に多少違いが見られた. 横滑りなどが考えられるが, 今回使用したスキーロボットの重心を一番低くした状態を保持させたまま, 同じ条件で何回か滑降させてみた. このターンの曲率半径を算出した結果, 曲率半径の差が大きいもので約 70mm であった. 同じ条件でも約 70mm の変化は場があると考えると, 同じ曲率半径で滑降していると思われる.

## 5. 結論

重心の位置が低いスキーロボットではターンの周期が短くなり, 重心の位置が高いロボットでは長くなった. また, 滑降中の重心高さを操作では, ターンの曲率半径はそのまま, ターンの周期を変化させることができた. 今後は, スキーのターンの重要な要素の一つであるスキー板の撓みを操作することで, ターンをよりコントロールしていく.

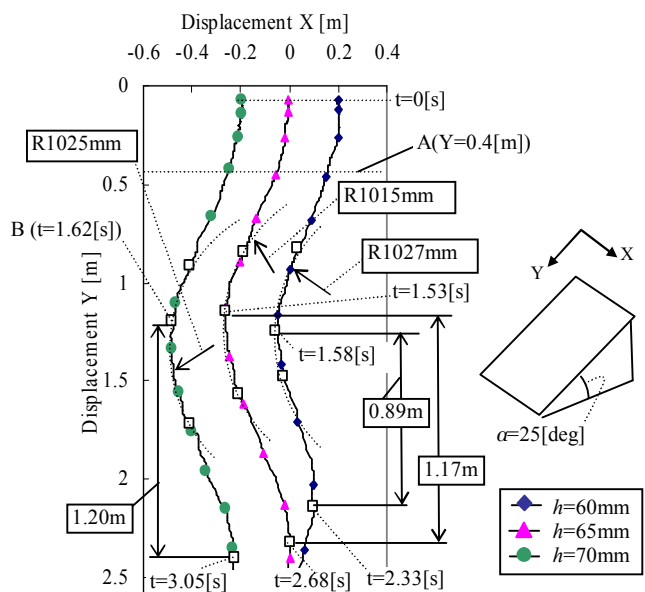


Fig.6 Trajectories of turn of skiing robot with RC Motor