スノーボードターンに及ぼすスノーボードの機械特性の影響*

細川 健治^{*1}, 安藤 伸哉^{*2}
河合 茂博^{*3}, 坂田 敏行^{*1}

Effects of Mechanical Properties of Snowboard on Snowboard Turn

Kenji HOSOKAWA^{*4}, Shin'ya ANDO,
Shigehiro KAWAI and Toshiyuki SAKATA^{*4} Department of Mechanical Engineering, Chubu University,
1200 Matsumotocho, Kasugai-shi, Aichi, 487-8501 Japan

The authors have proposed a numerical approach for estimating a snowboard turn. Also, they have proposed an identification method for equivalent elastic parameters of a snowboard. In this study, to clarify the effect of the mechanical property (elastic parameter) of snowboard on the snowboard turn, the numerical approach and the identification method are used. First, by using vibrational properties of the snowboard, the mechanical property that is one of important factors for simulating the snowboard turn is identified. Next, by using the identified mechanical property, the snowboard turn is simulated. Consequently, it is shown that the snowboard turn is influenced by the snowboard model. Furthermore, it is presented that the snowboard turn changes extremely even if the mechanical property of the snowboard are changed partially.

Key Words: Numerical Analysis, Inverse Problem, Identification, Snowboard, Snowboard turn, Mechanical Properties of Snowboard

1. 結 言

近年, スノーボードの開発を行う場合に, 試作の前段階で力学的な解析と検討を行うことはスノーボードの高性能化および製作段階でのコスト削減にとって重要であると考えられている。このような状況の中, スノーボードターンのシミュレーション法に関する研究が報告されている⁽¹⁾⁽²⁾。著者らはスノーボードの形状, 機械特性(弾性パラメータ等), スノーボード(質量や重心位置等), 雪面の特性, 等を考慮することが可能なスノーボードターンのシミュレーション法を提案した⁽¹⁾。また, 文献(1)ではスノーボードターンに及ぼすスノーボードの形状, スノーボードからスノーボードに作用する垂直荷重および雪面のばね定数等の影響についても検討した。しかしながら, スノーボードの機械特性がスノーボードターンに及ぼす影響についての研究は著者らの知る限り報告されていない。

本研究では, スノーボードの機械特性(弾性パラメータ)がスノーボードターンに及ぼす影響について検

討する。研究には市販されているアルペンボードおよびフリースタイルボードの中から各3種類, 計6台用いる。スノーボードはさまざまな材料より成る複合構造体であり, 異方性を示す。そのため機械特性の測定は金属のような単一材料に比べ困難である。そこで, はじめに文献(3)で提案したスノーボードの振動特性を利用した同定法を用いてスノーボードの機械特性(弾性パラメータ)分布を先端から後端まで非破壊的に求める。次に, 文献(1)で提案したシミュレーション法を用いてスノーボードターンを解析し, スノーボードターン特性に及ぼすスノーボードモデルの影響を検討する。さらに, 機械特性(弾性パラメータ)を変化させた場合についてもスノーボードターンを解析し, スノーボードターン特性に及ぼす機械特性(弾性パラメータ)の影響を検討する。

2. 研究に用いたスノーボード

研究には市販されているスノーボードの中からアルペンボード3台(A, B, C)とフリースタイルボード3台(D, E, F)の計6台を用いた。スノーボードの両シユューセンタの中央を原点として中立面上で長手方向に ξ 軸, 幅方向に η 軸, 垂直下向きに ζ 軸をとる⁽¹⁾。スノーボードは ξ 軸方向に機械特性が大きく異なるた

* 原稿受付 2003年4月14日。

^{*1} 正員, 中部大学工学部(〒487-8501 春日井市松本町1200)。^{*2} 学生員, 中部大学大学院。^{*3} 正員, 中部大学大学院。

E-mail: hosokawa@isc.chubu.ac.jp

め、弾性パラメータの定義として三次元直交異方性を使用した。ただし、厚さが長さおよび幅に比べて小さいので厚さ方向の弾性パラメータが振動に及ぼす影響は小さいと考え、面外等方性の条件を適用し、式(1)のように仮定した。

$$\left. \begin{aligned} E_{\xi} &= E_{\eta}, & G_{\xi\eta} &= G_{\eta\xi}, & \nu_{\xi\xi} &= \nu_{\eta\eta} \\ \nu_{\xi\eta} &= \nu_{\eta\xi}, & \nu_{\eta\xi} &= \nu_{\xi\eta} = 0.4 \\ G_{\eta\xi} &= \frac{E_{\eta}}{2(1+\nu_{\eta\xi})}, & \nu_{\eta\xi} &= \nu_{\xi\eta} \frac{E_{\eta}}{E_{\xi}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

弾性パラメータより算出される曲げ剛性は D_{ξ} (ξ 軸方向) $= E_{\xi} h^3 / [12(1 - \nu_{\xi\eta} \nu_{\eta\xi})]$, ただし, h は板厚, D_{η} (η 軸方向) $= D_{\xi} E_{\eta} / E_{\xi}$, D_1 (ポアソン比に起因) $= \nu_{\eta\xi} D_{\xi}$, および D_{η} (せん断弾性係数に起因) $= G_{\eta\xi} h^3 / 12$ とした [文献(4)参照]. また, 長手方向のポアソン比 $\nu_{\eta\xi}$ は 0.4 と仮定した. 6 台のスノーボードの主要な緒元を表 1 に示す. ウェスト幅とはシューセンタ間の最も狭い部分の幅をいう. また, スノーボードの幅 B を図 1 に示す.

3. スノーボードの機械特性の同定

3・1 機械特性の同定法の概要 図 2 に文献(3)で提案した同定法の流れを示す. 提案した同定法は有限要素法と逆問題解析法を組合わせたものである. まず, 天井から十分長い糸で吊り下げられたスノーボードに加速度センサを取付け, 境界自由の条件のもと,

Table 1 Snowboards used in study

Name	Model	Mass (kg)	Length (m)	Waist width (10 ⁻² m)
A	Alpine	2.59	1.50	18.5
B	Alpine	3.21	1.60	20.0
C	Alpine	2.52	1.46	17.9
D	Freestyle	3.23	1.56	24.8
E	Freestyle	2.58	1.56	24.7
F	Freestyle	2.93	1.54	24.7

Fig.1 Shape of snowboard

インパルスフォースハンマで加振する(図 3 参照). 次に, 実験的モーダル解析ソフト(STAR system)を使用して, 加振により得られた周波数伝達関数からスノーボードの固有振動数および振動モードを実験的に求め, 目標値とする. また, 三次元 CAD ソフト(Solidworks)によってスノーボードの外形形状を作成した後, 有限要素解析ソフト(NASTRAN)を用いて, 拘束条件を考慮した解析モデルを作成する. 最後に, 解析モデルと加振実験により得られたスノーボードの固有振動数および振動モードを用いて解析/実験データ統合ソフト(FEMtools)上で有限要素固有値解析および逆問題解析を行う. つまり, 逆問題解析により得られた弾性パラメータを用いて有限要素固有値解析を行った結果得られた固有振動数および振動モードを目標値(加振結果)に収束させることで最適な弾性パラメータを同定する. このとき, 異方性材料の同定過程において弾性パラメータの初期推定値によっては実験により得られる振動モードの順序と解析により得ら

Fig. 2 Flow chart of identification

Fig. 3 Free vibration test of snowboard

Modal order	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th
Experimental mode							
Numerical mode							
Experimental natural frequency (Hz)	19.8	44.6	55.2	78.5	123	140	179
Numerical natural frequency (Hz)	19.79	44.31	55.22	77.96	123.5	140.1	179.9
Error (%)	0.00	0.67	0.00	-0.64	-0.41	-0.07	-0.50

Fig. 4 Natural frequencies and mode shapes of snowboard (A)

Fig. 5 Identified mechanical property of snowboard

れる振動モードの順序が異なる場合があるが、これに対してはMAC(Modal Assurance Criterion)によりモードを対応づけて適切な同定を行った。

3・2 同定された機械特性 一例としてスノーボードAについて図4に加振実験により得られた固有振動数および振動モードと、同定された弾性パラメータを用いて有限要素固有値解析を行った結果得られた固有振動数および振動モードとを併せ示す。図4より明らかにように振動モードは良い一致を示しており、固有振動数の誤差も最大で0.67%となった。よって、最適な弾性パラメータが同定されたと考えられる。また、同定された弾性パラメータを用いて算出した機械特性(D_ξ , D_η , D_l , $D_{\eta l}$)の一例として、スノーボード長手方向の曲げ剛性分布 D_ξ の結果を図5に示す。図5よりアルペンボード(A, B, C)の曲げ剛性 D_ξ はフ

Fig. 6 Model of snowboard and snowboarder

リースタイルボード(D, E, F)の曲げ剛性 D_ξ より大きな値を示すことが明らかとなった。

4. シミュレーション法の概要

文献(1)で提案されたスノーボードの形状や機械特性がスノーボードターンに及ぼす影響を定性的に論じることが可能なシミュレーション法を用いてスノーボードターンを解析した。ここではシミュレーション法の概要について述べる。

4・1 スノーボーディングの解析モデル シミュレーション法に用いる解析モデルを図6に示す。スノーボードを曲げ剛性 D_ξ , D_η , D_l , $D_{\eta l}$ の不均質直交異方性板でモデル化し、スノーボードの単位面積当たり

の質量分布は厚さ分布に比例すると仮定してスノーボードターンを解析した。また、スノーボードの ξ 軸方向の剛体変位(図10の w_0)および ξ 軸回りと η 軸回りの剛体回転(それぞれ図10の $\theta_{\eta 0}$, $\theta_{\xi 0}$)も考慮した。スノーボードはその重心に全質量 M_h が集中した質点(図6中の破線の円)でモデル化し、スノーボードの重心位置のスノーボードへの垂直投影点を点Hとした。スノーボードの重心を点S、スノーボードとスノーボードからなる滑走系(以後「滑走系」と称す)の合成重心のスノーボードへの垂直投影点を点G(以後、「滑走系の重心G」と称す)とした。スノーボードの重心位置はエッジング動作と呼ばれるスノーボードの角付け動作とともに変化するので点Gの位置もそれについて変化する。雪面はばね定数 k_0 の弾性床でモデル化し、スノーボードから雪面への作用力による雪面の弾性変形も考慮した。点Fは雪面からスノーボードへの水平反力の合力 f_s [式(10)参照]の作用線とスノーボードの中心線との交点である。

4.2 滑走系の剛体運動 図7に示すように、水平な雪面上に x 軸および y 軸をとる。今、 x - y 平面上を滑走系が一直線に滑走中であり、時間 $t=0$ のときに原点Oを x 軸となす角 θ_0 の方向に初速度 V_0 で

Fig. 7 Motion of snowboarding system

Fig. 8 Model of edging action

通過すると仮定する。このとき、スノーボードがその重心Hを移動させることによってエッジング(角付け)動作を行うことが可能となり、スノーボードには雪面から水平反力 f_s が作用する。雪面から滑走系の重心Gには雪面からの水平反力 f_s の x 軸および y 軸方向の成分(f_x , f_y)、および滑走系の重心Gを通り雪面に垂直な z 軸回りのモーメント m_z が作用すると仮定すれば、滑走系の平面運動の方程式は式(2)~(4)で表される。

$$M_C \ddot{x} = f_x \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$M_C \ddot{y} = f_y \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$I_C \ddot{\theta} = m_z \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし、文字上の“ $\cdot$ ”は時間による微分を、 x と y は滑走系の重心Gの座標を、 θ は ξ 軸と x 軸とのなす角を、 M_C は滑走系の質量を、 I_C は点Gを通り、雪面に垂直な軸に関する滑走系の極慣性モーメント(実際の計算では点Gを通り、スノーボードに垂直な軸に関する慣性モーメントで代用)を示す。

4.3 エッジング(角付け)動作 図8はエッジング動作中のスノーボード、スノーボードと雪面の関係、および作用する荷重とモーメントを示している。また、断面A-Aの拡大図を図9に示す。スノーボードの足はスノーボードの2点 C_1 , C_2 に固定されているが、エッジング動作によりスノーボードの重心位置はスノーボードセンタCに対して三次元的に相対運動を行う。そのとき、スノーボードの重心位置のスノーボードへの垂直投影点Hが ξ 軸方向および η 軸方向に移動し、スノーボードには図8に示すようにスノーボードの重力 $M_h g \cos \beta_c$ 、スノーボードの剛体変位(図10の w_0)に起因する慣性力 $-M_h \ddot{w}_0$ 、スノーボードからブーツと金具を介してスノーボードへ垂直に作用する荷重 q_1 , q_2 、ねじりモーメント $m_{\xi 1}$, $m_{\xi 2}$ 、曲げモーメント $m_{\eta 1}$, $m_{\eta 2}$ 、および回転モーメント m_z が作

Fig. 9 Cross section A-A in Fig. 8

用すると仮定する。また、スノーボードの底面には雪面からの垂直な反力 f_2 (ξ 軸方向) と平行な反力 f_η (η 軸方向) が作用すると考える。以上のほかに、図には示していないがスノーボードに作用する重力 f_1 およびスノーボードの剛体変位による ξ 軸方向の慣性力 f_3 も考慮している。図 10 に示す分布力 f は f_1 - f_2 - f_3 で表される。スノーボードのエッジング動作により生じるスノーボードと雪面のなす角を β で表し、スノーボードセンタ C での角 β をエッジング角 β_c とする。

4・4 滑走系の平衡条件式 スノーボードの重心の運動は、スノーボードセンタ C の運動とエッジング動作に起因するスノーボードセンタ C に対するスノーボードの相対運動との合成運動である。エッジング動作に起因する相対運動は 4・3 節で考慮した。スノーボードセンタ C の運動としては図 10 に示すように ξ 軸方向の剛体変位 w_0 を考え、それに起因する慣性力 $-M_h \ddot{w}_0$ ($\cdot$ は時間微分) がスノーボードに作用すると仮定した。スノーボードに作用する力の ξ 軸方向と η 軸方向の平衡条件式はそれぞれ次のようになる [詳細は文献 (1) 参照]。

$$\iint f d\xi d\eta + q_1 + q_2 + M_h g \cos \beta_c - M_h \ddot{w}_0 = 0 \quad (5)$$

$$\iint f_\eta d\xi d\eta + M_h g \sin \beta_c + \iint \gamma g \sin \beta d\xi d\eta = 0 \quad (6)$$

ただし、 $f = f_1 - f_2 - f_3$ であり、 f はスノーボードに作用する分布外力 (4・3 節参照)、 g は重力加速度、 γ はスノーボードの単位面積当たりの質量である。また、 η 軸、 ξ 軸および ξ 軸に関するモーメントの平衡条件式は次のようになる。

$$\iint f \xi d\xi d\eta - m_{\eta 1} - m_{\eta 2} - q_1 l_{c1} + q_2 l_{c2}$$

Fig. 10 Deformation of snowboard

$$+ (M_h g \cos \beta_c - M_h \ddot{w}_0) \xi_H = 0 \quad (7)$$

$$\iint f \eta d\xi d\eta - m_{\xi 1} - m_{\xi 2} + (M_h g \cos \beta_c - M_h \ddot{w}_0) \eta_H = 0 \quad (8)$$

$$\iint f_\eta \xi d\xi d\eta + m_{\xi} + M_h g \sin \beta_c \xi_H + \iint \gamma g \xi \sin \beta d\xi d\eta = 0 \quad (9)$$

ただし、 ξ 軸に関するモーメントの計算式 (8) はスノーボードに作用する重力の η 軸方向成分である $M_h g \sin \beta_c$ を無視している。

4・5 スノーボードの曲げたわみ スノーボードをスノーボードセンタ C で二分し、それぞれの領域における静的曲げ変形のグリーン関数を求めた。動的曲げたわみは静的曲げ変形のグリーン関数を用いて計算した。計算法のより詳細な過程はスノーボードの動的曲げ変形を解析した文献 (5) に示されているのでここでは省略する。

4・6 水平分力 f_s と回転モーメント m_z 図 9 に示すように、雪面よりスノーボードの底面には垂直な反力 f_2 と平行な反力 f_η が作用する。それぞれの反力の水平分力の和 f_s は次式により求められる。

$$f_s = \iint (f_2 \sin \beta + f_\eta \cos \beta) d\xi d\eta \quad (10)$$

この f_s を雪面から滑走系に作用する水平な力とする。雪面からの反力 f_2 は、雪面をばね定数 k_0 の弾性床でモデル化しているため、式 (11) で求められる。

$$f_2 = k_0 \Delta_s \quad (11)$$

ただし、 Δ_s は雪面の動的曲げ変形解析による変形量である。原点におけるスノーボードの ξ 軸方向の移動量を w_0 、 ξ 軸回りの傾きを $\theta_{\eta 0}$ 、原点における η 軸回りの傾きを $\theta_{\xi 0}$ 、スノーボードの曲げたわみを w とすると、式 (12) ~ (14) が成立する。

$$\Delta_w = w_0 - \xi \theta_{\xi 0} - \eta \theta_{\eta 0} + w \quad (12)$$

$$\Delta_p = \Delta_w - A \quad (13)$$

$$\Delta_s = \Delta_p \quad (\Delta_p > 0) \\ = 0 \quad (\Delta_p \leq 0) \quad (14)$$

ただし、 Δ_w はスノーボードの ξ 軸方向の移動量、 Δ_p はスノーボードの雪面からの高さ、 A はスノーボードのキャンバー高さである。

また、図 6 に示す ξ_c (滑走系の重心 G の ξ 座標) と ξ_F (水平反力 f_s の作用位置の ξ 座標) はそれぞれ次式で求められる。

$$\xi_c = (M_h \xi_H + M_s \xi_s) / (M_h + M_s) \quad (15)$$

$$\xi_F = \left[\iint (f_2 \sin \beta + f_\eta \cos \beta) \xi d\xi d\eta \right] / f_s \quad (16)$$

水平反力 f_s の作用位置を点 F から滑走系の重心 G に平行移動すると、重心 G には水平反力 f_s のほかに式

(17)に示す回転モーメント m_z が作用する。また、水平反力 f_s を x および y 軸方向成分に分解すれば、滑走系の重心には雪面からの反力 f_x および f_y が作用していることになる。

$$m_z = -f_s(\xi_G - \xi_F) \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$f_x = -f_s \sin \theta \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$f_y = f_s \cos \theta \quad \dots\dots\dots (19)$$

また、式(10)および式(16)の計算では f_y の値そのものは不明であるが、 f_y を含む積分の値を式(6)および式(9)よりそれぞれ求め、式(10)および式(16)に代入することにより、 f_s および ξ_F を求めた。式(5)～(9)およびスノーボードの動的曲げたわみの計算においては、荷重が作用したときの雪面の変形状態をあらかじめ特定して計算することは不可能である。よって、スノーボードの雪面に対する傾き角 β と雪面の変形量 Δ_s は未知であり、反復法を用いて、スノーボードから雪面に加わる分布外力の和と雪面からの反力の和の差を収束させることにより解を求めた〔詳細は文献(5)参照〕。

5. スノーボードターンの解析結果

5.1 スノーボードターン特性の評価法 図11にスノーボードターンに用いる評価指標、「重心の軌跡 y_m 」と「スノーボードの回転 θ_m 」の定義を示す⁽⁶⁾。「重心の軌跡 y_m 」は、スノーボードターン開始後、滑走系の重心 G が x 軸方向に8m進んだ時点での y 軸方向への滑走系の重心 G の移動量として定義した。また、「スノーボードの回転 θ_m 」は滑走系の重心 G が x 軸方向に8m進んだ時点におけるスノーボードと x 軸とのなす角として定義した。総合的なスノーボードターンの評価は、「スノーボードの回転 θ_m 」を横軸に、「重心の軌跡 y_m 」を縦軸として二次元表

Fig. 11 Snowboarding system

示を行い、視覚的にわかりやすく評価できるようにした(図14参照)。

本研究では、スノーボードの構えをスノーボードが左足を前にして滑走する「レギュラスタンス」に、ターンの向きをスノーボードが斜面に対して山側を向き、つま先側でエッジングを行う「フロントサイドターン」を行うものと仮定した。そのため、滑走系の重心 G の y 軸における移動方向およびスノーボードの回転方向が4.2節における定義と逆になる(図7参照)。そのため、スノーボードターン特性の評価法においては、 y 軸の正負を逆にして、スノーボードの回転角も x 軸を基準に時計回りを正とした。

5.2 滑走解析に用いた各種パラメータ シミュレーションでは、スノーボードの全質量は $M_h=70.0$ kg、雪面のばね定数は $k_0=1.7 \times 10^6$ N/m³、滑走初速度は $V_0=10$ m/s、進入角度は $\theta_0=0^\circ$ とし、1.0秒間のスノーボードターンを解析した。また、エッジング動作はいずれのスノーボードの場合も同一であり、 $t_0=0.1$ 秒で完了し、その状態を0.9秒間保持すると仮定した。すなわち、エッジング動作によるスノーボードの重心位置 H およびスノーボードからスノーボードに加わる垂直荷重 q_1 , q_2 の時間変化を図12に示す。ただし図中の q_{10} は700 N, q_{20} は800 Nであり、 ξ_{H0} は10.0 mm, η_{H0} は70.0 mmとした。なお、ねじりモーメント $m_{\xi 1}$, $m_{\xi 2}$ および曲げモーメント $m_{\eta 1}$, $m_{\eta 2}$ は本研究では考慮されていない。

5.3 スノーボードモデルの影響 滑走解析によって得られた各スノーボードの滑走状態を図13に示す。細線で示した曲線は滑走系の重心 G の軌跡を、短直線は解析から0.1秒ごとのスノーボードの向きを示している(x 軸方向と y 軸方向の倍率が異なるので、スノーボードの向きは実際の回転よりも大きく示されている)。また、各スノーボードにおけるターン特性の評価を図14に示す。図13および図14より、アルペンボードはフリースタイルボードに比較してスノー

Fig. 12 Assumption of snowboard control (edging action)

Fig. 13 Loci of snowboard turn

Fig. 14 Effect of snowboard's model on snowboard turn

ボード滑走系の重心の軌跡の曲率半径が小さく、より小回りが可能であることが明らかになった。

5.4 機械特性の変化がスノーボードターンに及ぼす影響 スノーボードの機械特性(曲げ剛性)を局所のおよび全体的に変化させて滑走解析を行い、スノーボードターンに及ぼす影響を検討した。スノーボードを長手方向に大きく五つに分け、先端部分を“f”，前足のビンディング位置近傍を“fb”，センタ部分を“c”，後足のビンディング位置近傍を“rb”，後端部分を“r”，全体を“all”と呼ぶ。それぞれの部分において機械特性値 D_e , D_η , D_i , $D_{e\eta}$ のすべてにおいて10%の増加(“inc.”と称する)あるいは10%の減少(“dec.”と称する)を行い、スノーボードターンを解析した。また、同定された機械特性値(弾性パラメータ)を用いて滑走解析を行った。得られた結果を“original”として図15に併せ示した。図15に示す解析結果から次の点が明らかになった。

(1) 一般的に、曲げ剛性を増加させると「重心の軌跡」が小さくなり(曲率半径が大きくなって)曲りに

Fig. 15 Effect of mechanical properties of snowboard on snowboard turn

くくなる。逆に曲げ剛性を減少させると曲りやすくなる。

(2) センタ位置(“c”)の曲げ剛性の変化に対する「重心の軌跡」の変化はアルペンボードとフリースタイルボードで逆の傾向を示し、特に、フリースタイルボードではセンタ位置(“c”)の曲げ剛性の変化の影響は大きい。

(3) 曲げ剛性が「スノーボードの回転」に及ぼす影響では、ビンディング位置近傍の影響が最も大き

い。また、前足のビンディング位置("fb")と後足のビンディング位置("rb")では「スノーボードの回転」に及ぼす影響は逆の傾向を示す。したがって、「スノーボードの回転」を向上させるのであれば、全体("all")の曲げ剛性を変化させるよりビンディング位置の曲げ剛性を一方は増加、もう一方は減少させるような設計を行うことが効果的である。

6. 結 言

初めに、スノーボードの振動特性を利用して機械特性(弾性パラメータ)を同定した。次に、同定した機械特性を用いて滑走解析を行った。滑走解析では、すでに提案されているシミュレーション法を用いてスノーボードターンを解析し、スノーボードターンに及ぼすスノーボードの機械特性(曲げ剛性)の影響について検討した。その結果、スノーボードのモデルによりスノーボードターンが異なることが明らかとなった。また、スノーボードの機械特性(曲げ剛性)を部分的に変化させると、滑走性能に大きく影響することも明らか

となった。

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。

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) Hasegawa, K. and Shimizu, S., Robot Model of Snowboarding and their Computer Simulation, *The Engineering of Sport 4*, (2002), 470-476, Blackwell Science.
- (3) Hosokawa, K., Ando, S. and Sakata, T., Identification of Equivalent Elastic Parameters for Snowboards, *Proceedings of the 7th Japan International SAMPE Symposium*, (2001), 463-466.
- (4) Leissa, A. W., *Vibration of Plates (NASA SP-160)*, (1969), 250, U. S. Government Printing Office.
- (5) 坂田敏行・河合茂博, スノーボードの動的曲げ変形解析, 機論, 61-584, C (1995), 1469-1475.
- (6) 河合茂博・加藤啓介・坂田敏行, 与えられたスキーターン特性を有するスキー板の設計法, 日本設計工学会誌「設計工学」, 38-3 (2003), 141-148.