

(4)

スピードスケート滑走中のブレード反力

(筑波大学大学院博士課程) 結 城 匡 啓

(筑波大学体育科学系) 阿 江 通 良, 藤 井 範 久

1. 緒 言

1.1 スピードスケートにおける力の測定

近年のスポーツ技術の進歩に対するスポーツ科学の果たす役割は大きい。スピードスケートの分野でも一流競技者の滑走動作に関する三次元映像解析などの科学的アプローチがなされてきた。そして、優れた成績を出すための技術的要因の究明やストローク中の加速現象のメカニズムに関する理論が提示され、選手の技術やトレーニングの課題がかなり明らかにされてきている¹⁻⁴⁾。しかし、加速理論に関して言えば、高速滑走中(約14 [m/s])の重心速度の微小な変化を映像のみからとらえて論ずるには測定精度の問題があり、ストローク中の加速のメカニズムは十分には明らかにされていない。

そこで、スケート滑走中の氷とブレード(細長い刃の部分)との間の相互作用、すなわちブレード反力をとらえる kinetic な解析が不可欠になる。しかし、スケート滑走中の力の測定は、他の陸上運動と異なり force platform などの既存の測定装置を用いることができない。そのため、これまでも各種のセンサー装置やデータ取込用装置が工夫され、滑走中の力の測定が試みられてきた。

Ingen Schenau⁵⁾ (1981) は、滑走中にスケートに作用する上下(圧縮)方向の力を測定し、その曲線が立脚中期に体重レベル以下になる二峰性を示すことを報告した。しかし、それらと滑走速度や競技力との関係はなんら認められなかったことから、自ら

のパワーバランスモデルにこれらのパラメータを用いていない。de Koning ら⁶⁾ (1987) は、異なる3種のスピードで滑走したときのスケートに作用する上下(圧縮)方向の力を測定し、これらの力と滑走速度に関係が認められないことから、滑走速度は1ストローク中に発揮される力ではなく、ストローク頻度によって決定されると結論している。

以上のように、これまでの先行研究では、測定された滑走中のキック力と滑走速度などのパフォーマンスとの関連性は明らかにされていない。この原因の1つは、実際のストローク中にはブレードが滑走中に長軸回りに回転しているにもかかわらず、その回転運動が測定されていないために、測定された力の方向とスケーターの進行方向との関係が不明であることである。2つめとして、実際にはブレード左右方向の力も作用するにもかかわらず、スケートの上下軸方向に作用する圧縮力のみしか測定されておらず、スケーターのキック力の大きさが精確にとらえられていないことがあげられる。また、被験者がデータ取込用装置(重量7.7[kg])を装着しているために滑走動作が制限され、試技の滑走速度が最高で10.7 [m/s] とレース時(12-15 [m/s])に比べて小さいことにも問題があろう。

高速で滑走するスケーターが空気抵抗による損失を小さく抑えて水平速度を大きくするには、スケーターの発揮するキック力の水平成分を大きくすることが重要であると考えられる。したがって、キック力と身体重心の動きやその速度との関係をみるには、キック力を氷に対する固定座標系でとらえ、これらの力を鉛直成分と水平成分に分解して解析する

ことが有用であろう。

キック力を氷に対する座標系でとらえるには、ストローク中のブレードの長軸回りの回転角度を計測する必要がある。さらに、スケーターは身体を左右に振りながら前方に移動しているため、キック力の水平成分を精確にとらえるには、これまで無視されてきたブレードの左右方向に作用する力の検出も必要であろう。

1.2 目的

本研究の目的は、スケートブレードに作用する上下および左右方向の二分力が計測できるセンサースケートを開発し、動作分析法を併用して低速および高速滑走時におけるブレード反力を測定・比較することにより、滑走速度とブレード反力の関係について検討することである。

2. 研究方法

2.1 センサースケートの構造

センサースケートは、靴とスケートブレードの間にT字型のセンサー部を前後2カ所装備した構造になっている(図1)。前後センサー部の間隔や高さ、ブレードの長さなどは国内男子スケーターが通常用いているものと同等に設計し、ブレード底面の丸み

(ロック)は曲率半径24[m]に加工した。

センサー部はアルミニウム製で、センサー(図2)にはストレインゲージ(共和電業製)を用い、各センサー部で(上下)圧縮応力成分と(左右)曲げ応力成分が検出できるように2つのホイートストンブリッジ回路を構成した(図3)。なお、圧縮応力用ブリッジ回路には半導体ストレインゲージ(KSP, 120[Ω])、曲げ応力用ブリッジ回路には箔ストレインゲージ(KFG, 120[Ω])を用いた。

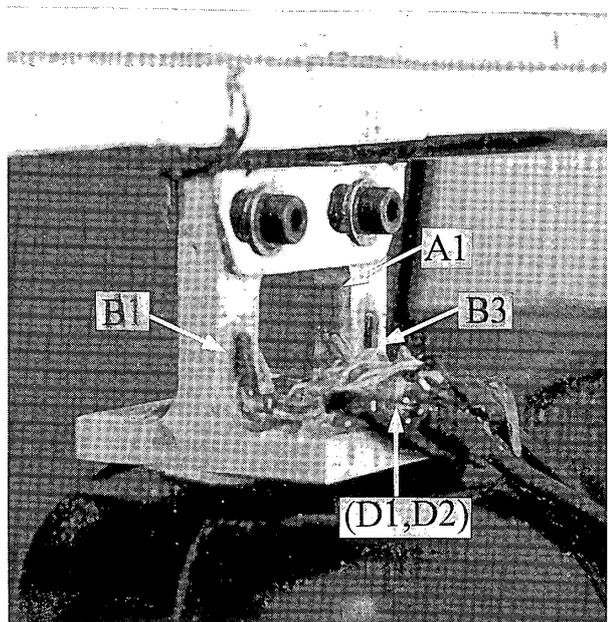


図2 センサー部

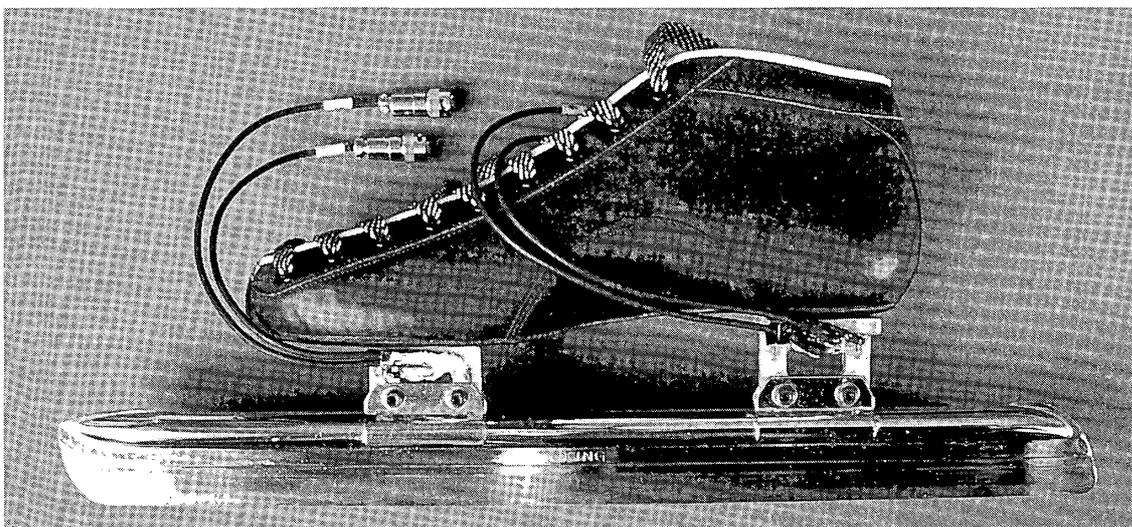


図1 自作のセンサースケート

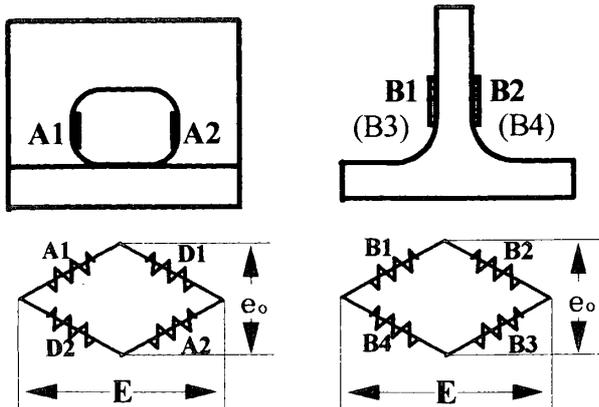


図3 上下圧縮(左)および左右(右)用ホイートストンブリッジ回路

2.2 センサースケートの性能

センサーの較正は、センサースケートをブレードおよびセンサー部に力が作用しないように較正台に固定し、圧縮方向と左右方向にそれぞれ加重して行った。図4には、圧縮および左右方向の較正の結果を示した。各センサーの出力値に対する非直線性は、圧縮方向が平均で2.9 [%RO]、左右方向が2.6 [%RO]であった。圧縮加重による左右方向センサーへの干渉性は平均で1.3 [%]と小さいが、左

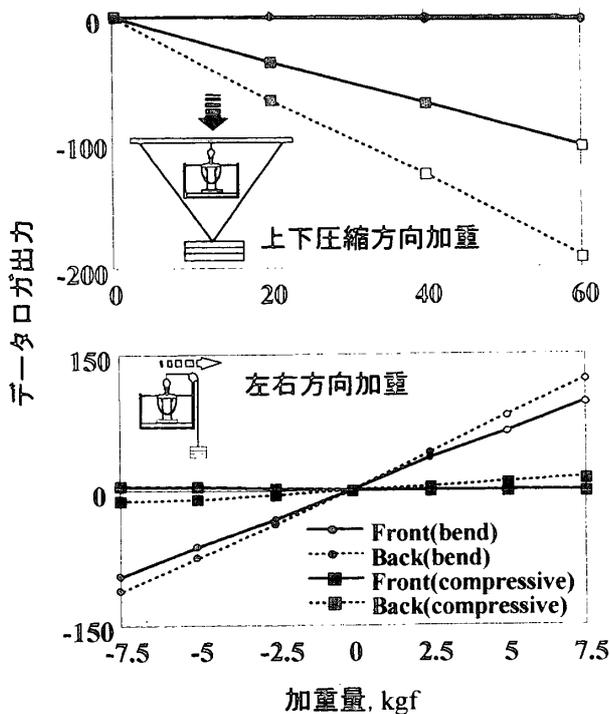


図4 上下圧縮方向(上)および左右方向(下)の加重による較正結果

右加重による圧縮センサーへの干渉性が12.4 [%]と大きかった。そこで本研究では、左右方向の加重量から圧縮方向センサーの出力を一次式により補正した。

2.3 ブレード反力の測定実験

実験は1995年1月、やまびこスケートの森・400m国際スケートリンク(長野県岡谷市)で行った。実験に先立ち、全被験者の滑走条件が等しくなるように整氷作業を施した。

2.3.1 被験者

被験者には、スピードスケート競技を専門とする高校生3名、大学生6名、社会人1名の男子計10名を用いた。表1には、被験者の特性を示した。専門種目の内訳は短距離が6名、長距離が4名であった。なお、被験者の中には、1000mの世界記録保持者が含まれていた。

2.3.2 実験方法

被験者にセンサースケートを履かせ、1周40秒程度(約10[m/s])の低速滑走と全力高速滑走を十分な休憩をはさんでそれぞれ400m滑走させた。

滑走中のセンサースケートからの出力信号(8ch)は、被験者の背中に装着したストレインアンプ(電機計測販売社製)を介して2台の小型データログ(P&G社製DL1001, 4ch)にサンプリング周波数100[Hz]でそれぞれ取り込んだ。これらの測定装置の総重量は約800[g]であった。

本研究ではストローク中のブレードの傾斜角度をとらえるために、スケーターの後方から2台のVTRカメラ(撮影スピード60[fields/s], 露出時間1/10000[s])を滑走動作の安定するスタートから250[m]通過地点の直線路に設置した。これらのVTRカメラの光軸は、左右の各ストロークの滑走方向にそれぞれ一致するように設定した。また、同

表1 被験者の特性

	身長 (m)	体重 (kg)	500m記録 (s)
平均値	1.71	69.4	39.57
標準偏差	0.05	6.1	1.92

地点の氷上に設置した2つのマーク間(20[m])の所要時間から滑走速度を求めるために、試技をVTRカメラでパンニング撮影した。

2.4 ブレード反力の算出

データログに記録されたデジタル信号をパーソナルコンピュータに取り込み、各チャンネルごとにゼロレベルを調整した。2台のデータログの同期には、全試技のスタート時にスケート先端が氷に強く接触して生じるインパクト波形を利用した。

センサー出力への温度変化の影響を考慮して、各試技の前後に行った較正から得られた係数より、左右方向出力を力[N]に換算した。また、先に述べたように左右方向の加重による圧縮方向出力への干渉量を補正したのち、圧縮方向出力を力[N]に換算した。

本研究では、図5に示すように、センサースケートから得られたスケートブレードに作用する力(センサー座標系)を、ブレードが鉛直となす角度(以下、ブレード傾斜角度、 θ)により氷上の固定座標系に変換した(式(1))。センサー座標系は、圧縮方向をC軸、左右方向をB軸、氷上の固定座標系は、ブレード長軸に直交する水平方向をh軸、鉛直方向をz軸と定めた。

$$\begin{bmatrix} Fh \\ Fz \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} SB \\ SC \end{bmatrix} \quad (1)$$

ブレード傾斜角度は、後方より撮影したVTR画

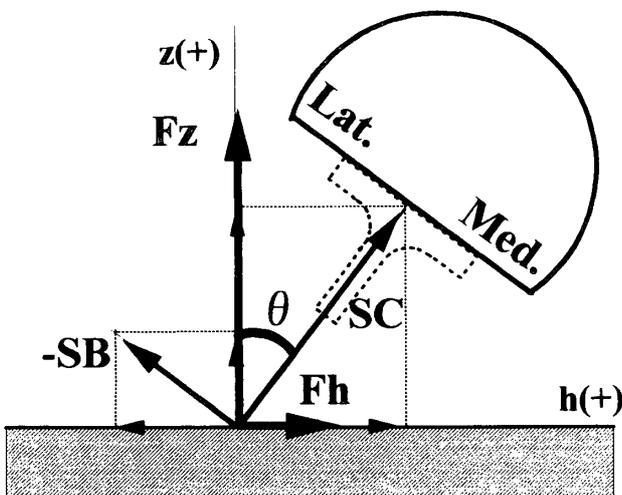


図5 センサー座標系で検出した力の固定座標系への変換

像から、スケートブレード後端とスケート靴上端のマーク2点(距離約20[cm])をもとに算出した。ブレード傾斜角度は内傾を正とし、ブレード傾斜角度とセンサー出力の同期は、離氷時を基準に行った。

2.5 測定項目

式(2)~(4)により、ブレードに作用する力の鉛直成分(Fz [N])、水平成分(Fh [N])および合力(RF [N])は、前後センサー部で得られた氷上の固定座標系における水平および鉛直軸方向の力(Fhf , Fhb , Fzf , Fzb)から算出した(図6)。スケートブレードに作用する力は、図6に示す矢印の方向を正とした。

$$Fz = Fzf + Fzb \quad (2)$$

$$Fh = Fhf + Fhb \quad (3)$$

$$RF = \sqrt{Fh^2 + Fz^2} \quad (4)$$

力の作用点(PFA , [m])は、前後センサーの鉛直成分比から算出した(式(5))。なお、作用点は、後センサーからの距離とし、前後センサー間距離(L)は0.16[m]である。

$$PFA = \left(\frac{Fzf}{Fz} \right) \cdot L \quad (5)$$

鉛直軸回りのフリーモーメント(Mz' , [Nm])は、前後センサー部に作用する力の水平成分から算出した(式(6))。ただし、フリーモーメントの方向は両脚とも足の外旋方向(爪先が外側に回転)を正とし

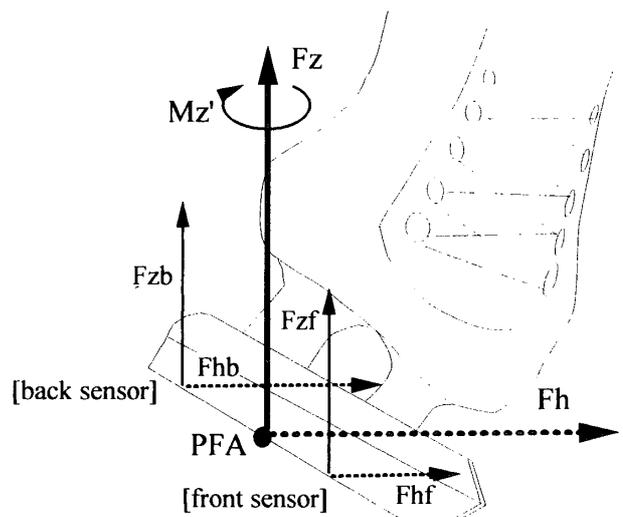


図6 ブレード反力の鉛直成分、水平成分および鉛直軸回りのフリーモーメント

た。

$$Mz' = \left(\frac{L}{2}\right) \cdot (Fhb - Fhf) - \left(PFA - \frac{L}{2}\right) \cdot Fh \quad (6)$$

本研究では、着氷および離氷の時点を合力(RF)が各被験者の体重と計測装置の重量の和のそれぞれ3%を基準にして判断し、着氷から離氷までを1ストロークと定義した。

なお、各パラメータの両試技間における有意差検定には対応のあるスチューデント t テスト(両側検定)を用いた。

3. 結果および考察

3.1 滑走結果

表2には、低速および高速滑走試技の滑走結果を全被験者の平均値と標準偏差で示した。滑走速度、ストローク頻度ともに高速滑走で大きかった ($p < 0.001$)。また、単脚支持期時間、両脚支持期時間ともに高速滑走時で小さかったが ($p < 0.001$)、スト

ローク時間に対する比率でみると、両試技間には差はなかった。

本研究の高速滑走時の速度は500 m 競技時の滑走速度 (14.2 [m/s])⁴⁾ に比べて小さかった。これは、実験に用いたセンサースケートの靴、ブレード長、ブレード位置などが各被験者のものと異なることによると考えられる。しかし、本研究における高速滑走には競技会に近い速度 (13.0 [m/s]) の試技も含まれるなど、その速度は従来之力測定時のもの (9-10 [m/s]) よりも明らかに大きく、測定されたデータは高速滑走時の特徴を十分反映するものと判断できる。

3.2 センサーに作用する力

図7は、高速滑走試技でのスタート後200 m 通過付近で検出されたセンサー座標系における上下圧縮応力(上)および左右応力(下)の出力を典型例で示したものである。5つの左ストローク(太い実線)のうち前の2ストロークがカーブ滑走時、その後がストレート滑走時のものである。なお、左右応力は、正の値がブレードに対し内向きに作用する力を示

表2 2種の実験試技における滑走結果

	滑走速度 (m/s)	ストローク頻度 (s ⁻¹)	推定ストローク長 (m)	単脚支持期 (s)	両脚支持期 (s)	両脚支持期 (%)
低速滑走	9.33±0.45	0.82±0.13	11.6±1.5	1.05±0.20	0.20±0.04	16.1±2.7
高速滑走	11.51±0.84	1.20±0.17	9.7±1.1	0.71±0.12	0.14±0.02	16.6±3.0

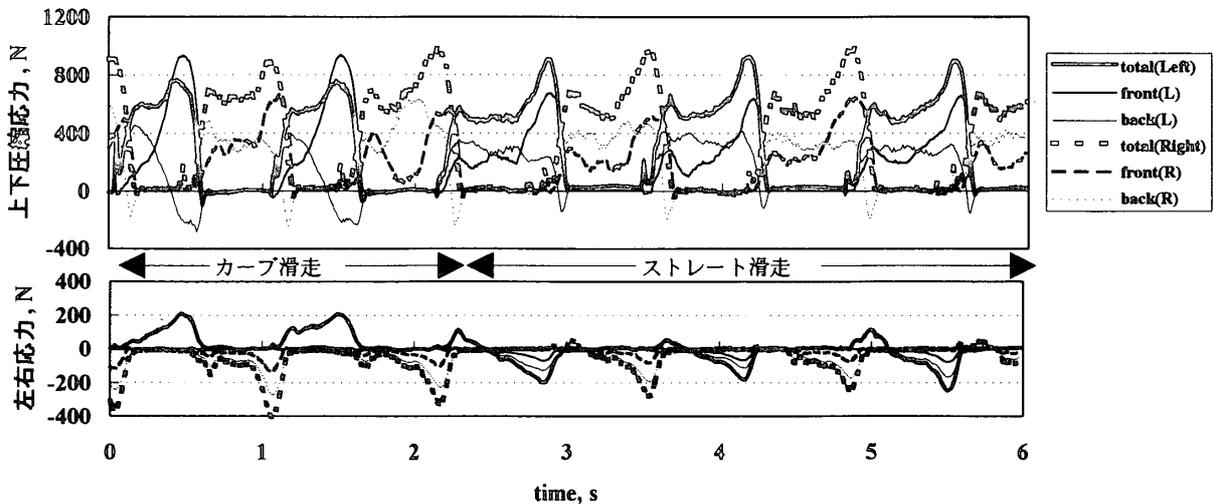


図7 連続するストローク中のセンサー座標系における上下圧縮(上)および左右(下)応力(典型例)

す。

ストレート滑走中の圧縮応力は、両脚ともに明確な二峰性を示した。また、変化パターンをカーブとストレートで比較すると、ストレート滑走時のストローク半ばでみられる力の低下がカーブ滑走時では小さいようである。これらの変化パターンは de Koning ら⁶⁾ (1987) が報告したストレート滑走とカーブ滑走の力-時間曲線と同様であった。

ストレート滑走中の左右応力は、両脚ともにストローク前半では正(内向き)、キック動作を含むストローク後半では負(外向き)に作用していた。内向きおよび外向きの各ピーク出現は、圧縮応力における第1および第2ピーク値の出現と一致していた。また、カーブ滑走では、左ストロークのみの左右応力がストレート滑走時と逆向きで、大きかった。このことは、右脚はストレート、カーブ滑走ともに身体の右方向にキック動作するのに対し、左脚のキック方向がストレート滑走(左方向)とカーブ滑走(右方向)で異なることによるものであろう。

3.3 ブレード傾斜角度

図8は、ストレート滑走中の全被験者のブレード

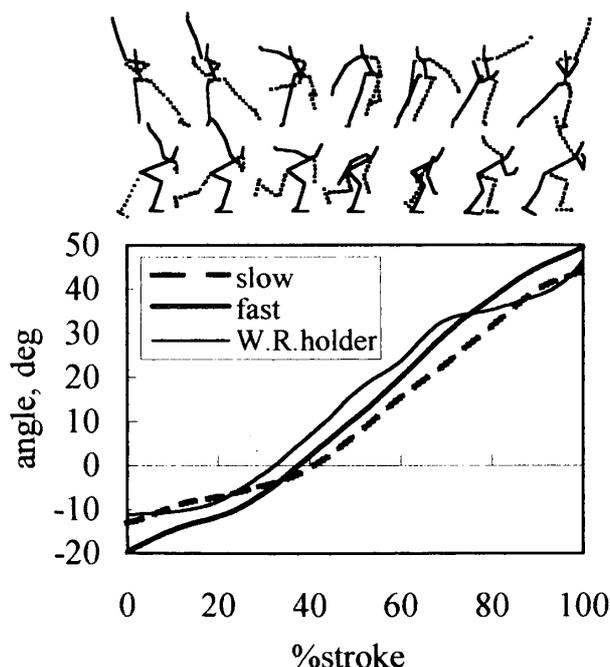


図8 両試技におけるブレード傾斜角度の比較

傾斜角度の変化をストローク時間で規格化し、両試技ごとに平均したものである。図上には参考のために滑走動作のスティック図を添付した。低速および高速滑走中のブレード傾斜角度は、およそ40%ストローク時までが外傾、その後は内傾が大きくなるパターンを示していたが、ストローク開始時 (-13.1 ± 5.1 [deg] vs -20.2 ± 4.6 [deg]) および終了時 (44.8 ± 2.0 [deg] vs 50.0 ± 2.2 [deg]) の傾斜角度はいずれも高速滑走時で大きかった ($p < 0.05$, $p < 0.001$)。また、低速滑走ではストローク中の被験者間の偏差が大きかったのに対し、高速滑走では小さかった。

一般に、熟練度が増すにつれスケートブレードをストローク開始時に外傾させる、いわゆる“アウトエッジ滑走”をするとされている⁷⁾が、その実態はとらえられていなかった。本研究では、熟練者のストレート滑走でストローク開始時にスケートブレードが $15-20$ [deg] 外傾しておよそ40%ストローク時までがアウトエッジ滑走、その後の60%ストローク時間がインエッジ滑走であることが明らかになった。

3.4 ブレード反力

図9は、氷上の固定座標系におけるストレート滑走中のブレード反力の鉛直(上)および水平成分(下)を各被験者の体重およびストローク時間で規格化し、試技ごとに平均したものである。

3.4.1 ブレード反力の鉛直成分

低速滑走時の鉛直成分は、20%ストローク時あたりまで急峻に立ち上がり、その後なだらかに増加して70%ストローク時あたりで体重レベルに達し、85%ストローク時付近でピークが出現してその後急減していた。高速滑走時では、20%ストローク時付近で第1ピークが出現したのちストローク中ほどまでやや減少し(体重の80%)、その後増加して85%ストローク時あたりで第2ピークが出現する二峰性を示した。両試技の85%ストローク時のピーク値には有意差が認められた (1.16 ± 0.12 [N/bw] vs 1.38 ± 0.14 [N/bw], $p < 0.001$)。

山下ら⁸⁾(1974)は、 $37-49$ [steps/min.] 程度の極

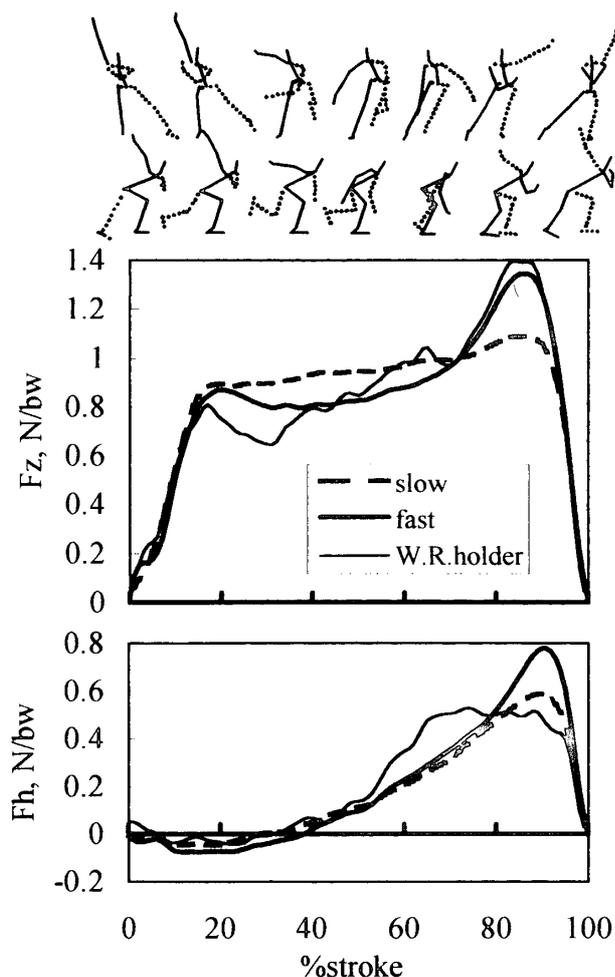


図9 両試技におけるブレード反力の鉛直成分(上)および水平成分(下)

端な低速歩行における鉛直床反力は、変化が小さく二峰性を示さなかったことを報告した。本研究の低速滑走時の鉛直成分には二峰性がみられず、そのストローク頻度(47.9 [strokes/min.])は、山下らの報告した低速歩行の歩調範囲に含まれた。したがって、スケート滑走においても歩行と同様、極端な低ピッチ滑走では重心高をあまり変化させずに滑走していると考えられる。

3.4.2 ブレード反力の水平成分

水平成分は、両試技ともおよそ40%ストローク時までわずかに外向き(負)の力を示し、その後方向が変わり内向き(正)の力が徐々に増加し90%ストローク時あたりでピークが出現していた。ストローク前半の外向きの力のピーク値は、高速滑走時(-0.11 ± 0.06 [N/bw])が低速滑走時($-0.07 \pm$

0.05 [N/bw])よりも有意に大きかった($p < 0.05$)。内向きの力のピーク値は、高速滑走(0.81 ± 0.12 [N/bw])が低速滑走時(0.63 ± 0.10 [N/bw])に比べて有意に大きかった($p < 0.01$)。さらに、内向きの水平成分(正)が作用している区間の力積を求め、その所要時間で除すことにより内向きの平均水平力を算出したところ、高速滑走(0.34 ± 0.06 [N/bw])が低速滑走(0.27 ± 0.06 [N/bw])よりも有意に大きかった($p < 0.01$)。

ストローク前半にみられる外向きのわずかな水平成分は、前額面内で重心が相対的にスケート内側に速度を増しながら支持脚に近づくことによって生じる。歩行時の側方床分力では、着床の両脚支持期に外向きの床反力が生じてすぐに内向きに転じる^{9,10}が、スケート滑走動作ではストローク開始時、外転位にある遊脚が支持脚に近づくのに時間を要するために、およそ40%ストローク時まで外向きの水平成分が作用したと考えられる。

本研究では、先行研究では指摘されなかった滑走速度とブレード反力の水平成分(内向き)の平均力およびピーク値との関係が示唆された。しかし、これらの値と滑走速度との相関係数をみると、ピーク値が0.53 ($p < 0.05$)、平均力が0.68 ($p < 0.01$)と有意ではあるが、いずれも滑走速度を決定づけるほど高いとは言えない。

結城らのデータ⁴⁾(1992)によると、キック動作中の水平面内における重心速度の方向とブレードの滑走方向にはおよそ4-10 [deg]の角度差(以下、開き角という)がある。開き角により水平ブレード反力を分解すると、水平ブレード反力は重心速度の方向に成分を持つことがわかる。したがって、加速の有効性は、重心速度ベクトル方向への水平ブレード反力の成分の大きさにより影響を受けると考えられる。この成分は、開き角が大きいほど大きくなる。しかし、大きすぎると、スケートに対する重心の相対速度のうちスケートに垂直な速度成分が大きくなる。この速度成分が大きい場合には、脚の動作範囲には制限があるので、脚伸展時間、すなわち力の作用時間が短くなり、大きな力積は得られないと考えられる。したがって、加速の有効性に影響する開き

角には選手の筋力や身体的特性、滑走速度などに相応した最適値が存在すると推測できる。今後はキネマティックな解析を併用してブレード反力と身体重心の動きの関係について検討していく必要がある。

3.5 力の作用点

図10は、ストレート滑走中の力の作用点をストローク時間で規格化し、両試技ごとに平均したものを示した。後センサー位置は0[m]、前センサーは0.16[m]である。

ストローク後半では高速滑走時の作用点が低速滑走よりも前に位置しており、ストローク終了時の作用点は、高速滑走時 (0.162 ± 0.042 [m]) が低速滑走時 (0.139 ± 0.036 [m]) よりも有意に前方に位置していた ($p < 0.05$)。このことから、高速滑走では、スケートに対する重心の前方変位を低速時に比べて大きくして滑走速度を高めていることが示唆される。

3.6 鉛直軸まわりのフリーモーメント

図11は、ストレート滑走中の鉛直軸回りのフリーモーメントを各被験者の体重およびストローク時間で規格化し、各試技ごとに平均したものである。

フリーモーメントは、両試技とも60%ストローク時あたりまではわずかに正(外旋方向)のモーメント、その後負(内旋方向)のモーメントが徐々に大きくなり、90%ストローク時付近で内旋方向のピーク

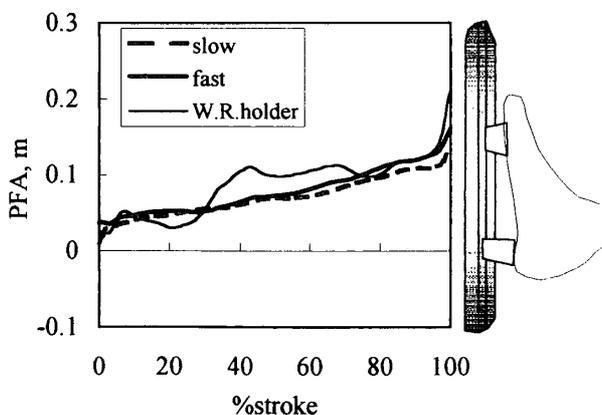


図10 両試技におけるブレード反力の作用点

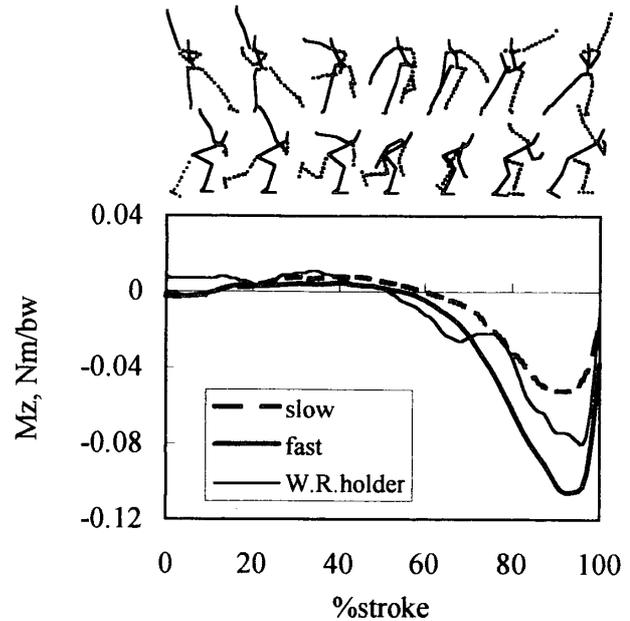


図11 両試技における鉛直軸回りのフリーモーメント

クを示した。高速滑走における内旋方向のピーク値 (-0.12 ± 0.04 [Nm/bw]) は、低速滑走時 (-0.06 ± 0.04 [Nm/bw]) の約2倍大きかった ($p < 0.001$)。

滑走中のブレードに作用する内旋方向のフリーモーメントは、底面に丸みをもつブレードが内傾することによりブレードと氷との接触線が円弧上になるために生じると考えられる。本研究では全試技に同じブレードを用いたので、両試技間にみられた内旋方向のフリーモーメントの差は、高速滑走時のブレードの内傾が低速時よりも大きかったことによると考えられる。

スピードスケートでは、ブレードが長い (約40 [cm]) ために離氷時に踵が拳上せず、ブレードを外旋させて離氷する。この離氷時のブレードの外旋は、主に股関節および足関節の外旋動作によって行われる。本研究では高速滑走時の抗外旋方向のフリーモーメントが低速時に比べて大きいことから、高速滑走ではこれらの外旋筋群への負担が大きくなることが予想される。

3.7 世界記録保持者のブレード反力

ここでは優れた選手の典型例として、男子1000 m世界記録保持者 (身長1.75 [m], 体重76 [kg])

の高速滑走試技(滑走速度 12.8 [m/s], ストローク頻度 1.17 [s^{-1}])におけるブレード傾斜角度, ブレード反力およびその作用点, 鉛直軸回りのフリーモーメントの変化について検討する(図8-11)。

ブレード傾斜角度(図8)は, 高速滑走時の平均に比べストローク開始時の外傾が小さく, 早いタイミングで内傾していた。また, 65%ストローク時以降に内傾角度が一定に保たれる傾向がみられた。ブレード反力の鉛直成分(図9上)は, 20%ストローク時すぎに減少し, その後30%ストローク時あたりから増加傾向を示し, 80%ストローク時あたりのピーク出現は平均と同様であった。水平成分(図9下)は, 変化パターンが平均と大きく異なり, 内向きの水平成分が50%ストローク時から増加し, 70%ストローク時にピークに達していた。内向きの水平成分のピーク値(0.53 [N/bw])および平均力(0.31 [N/bw])はともに平均より小さかった。力の作用点(図10)は, 30%ストローク時あたりで前方移動し, その後90%ストローク時まで母指球付近に停留するパターンを示した。フリーモーメント(図11)は, 50%ストローク時あたりから内旋方向のモーメントが増加し, 70%ストローク時あたりまで平均より大きいがその後小さくなった。

ブレード反力の内向きの水平平均力が高速滑走時の平均とほぼ等しいことから, これらの力によって生み出されるストローク終了時の水平速度は平均とほぼ等しい。しかし, 内向き水平成分が高速滑走時に比べ早いタイミングで大きくなっているため, 積分により得られる水平速度の変化パターンは大きく異なり, さらにその積分により得られる重心の水平変位は平均のそれに比べ大きいと考えられる。これらのことから, 世界記録保持者は, ブレード反力の内向き水平成分の立ち上がりを早めることにより, 重心の水平移動距離を大きくする有効なキック動作を行っていることが示唆される。また, ブレード傾斜角度の内傾および力の作用点の前方移動のタイミングが早いことは, キックの準備動作が早いことを示し, 水平成分の立ち上がりを早めることに役立っていると考えられる。

ブレード傾斜角度は, 前額面内における重心の支

持点まわりの側方回転を反映しているため, 65%–90%ストローク時にかけてブレード傾斜角度が一定に保たれることは, この局面で重心の内傾角が一定に保たれたことを示している。約84%ストローク時に遊脚側ブレードが着氷することを考えると, キック中に重心の内傾角が増加しないことは, 次のストローク開始時のブレードの外傾を小さくするのに役立ち, その結果として次のストロークにおけるキック開始のタイミングを早めることに関与していると推測できる。キック中に重心の内傾が保たれる原因の1つとして, 60%ストローク時あたりのキック力の内向き水平成分によるモーメント(外傾モーメント)が, 重心の側方回転(内傾)を抑制したと考えられることがあげられる。

4. ま と め

本研究では, スピードスケート滑走中のブレードに作用する二分力が測定できるセンサースケートを開発し, 低速および高速滑走時におけるブレード反力を測定し比較した結果, 以下のことがわかった。

- ①高速滑走では, 低速滑走よりもキック時に作用する力の鉛直成分が大きかった。
- ②高速滑走では, 低速滑走よりもストローク前半における外向きの水平成分のピーク値と, ストローク後半における内向きの水平成分の平均およびピーク値が大きかった。
- ③高速滑走時の力の作用点は, 低速滑走時より前方移動が大きかった。
- ④高速滑走では, 低速滑走よりもキック時に作用する内旋方向の鉛直軸回りのフリーモーメントが大きかった。

謝辞

本研究を行うにあたり, (株)やまびこスケートの森には, 実験場所の提供・整備に関して多大なご協力を賜った。また, 長野県スケート連盟, 新王子製紙(株)スケート部, 日本体育大学スケート部, 筑波大学スケート部の関係各位には, 快く実験に協力して頂いた。

ここに記して感謝します。

参考文献

- 1) Doctorevic, A.M. : Zur Bestimmung von Kriterien einer rationelles bewegungstechnik im eisschnelllauf, Leistungssport, *Information zur Training*, 5, 42-46, (1975).
- 2) Ingen Schenau, G.J. van *et al.* : A biomechanical model of speed skating, *J. Human Movement Studies*, 6, 1-18, (1980).
- 3) Marino, G.W. : Selected mechanical factors associated with acceleration in ice skating, *Research Quarterly*, 54(3), 234-238, (1983).
- 4) 結城匡啓他 : スピードスケートにおける加速理論の再検討, バイオメカニズム 11, 111-121, 東京大学出版会, (1992).
- 5) Ingen Schenau, G.J. van : A power balance applied to speed skating, 101-106, *Academisch proefschrift*, vrije universiteit te Amsterdam, (1981).
- 6) de Koning, J.J. *et al.* : Push-off force in speed skating, *International Journal of Sport Biomechanics*, 103-109, (1987).
- 7) 前田安雄 : スピードスケータリング, 39-40, 成美堂, (1969).
- 8) 山下忠他 : 低速平地歩行時の鉛直床反力特性, バイオメカニズム 2, 236-242, 東京大学出版会, (1974).
- 9) 盛合徳夫他 : 歩行の力学 (kinetics) —フォースプレートによる歩行解析—, 総合リハビリテーション, 15(4), 289-298, (1987).
- 10) 奥村信二他 : 正常歩行の床反力解析—側方分力について—, 整形外科バイオメカニクス, Vol.3, 46-48, (1982).



BLADE REACTION FORCES IN SPEED SKATING

Masahiro YUKI*, Michiyoshi AE** and Norihisa FUJII**

Doctoral Program of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba**Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*

Some investigators have attempted to measure push-off forces in speed skating at different velocities. However, the relationship between the push-off forces and the skating velocity is still unclear because there is little information on the directions of the push-off forces and skating velocity.

The purposes of this study were to develop a sensor-skate which could measure two components of force applied to the skate blade, and to investigate characteristics of the blade reaction forces on ice surface and their relationships to skating velocity.

The sensor-skate consisted of a pair of sensor elements between the shoe and the skate blade to detect forces in both lateral/medial and vertical directions to the shoe sole. Linear regressions between the signals from the sensors and the forces applied were determined with different load conditions, and cross-talk from the lateral/medial force to the signal in the vertical direction was also calculated.

Ten male speed skaters, including a world record holder at 1000 m, served as subjects. At two different skating velocities, the force signals via strain amplifier were stored (100 Hz) in two data-loggers fixed on the skater's back. Blade reaction forces (BRF) in the coordinate system fixed on the ice were obtained by transformation

of the force signals measured in the sensor-coordinates, based on the lean angle of the blade measured with VTR cameras (60 fields/s). Both vertical and horizontal components of BRF, point of BRF application and free moment about the vertical axis were calculated.

The results obtained were summarized as follows:

- 1) Lean angle of the blade at the onset and end of the stroke were larger in fast skating (11.5 ± 0.8 [m/s]) than in slow skating (9.3 ± 0.5 [m/s]).
- 2) Peak value of the vertical component of the BRF was larger in fast skating than in slow skating.
- 3) Peak and mean of the horizontal medial component of the BRF were larger in fast skating than in slow skating.
- 4) Point of BRF application at the end of the stroke was located further forward in fast skating than in slow skating.
- 5) Peak magnitude of the free moment of internal rotation about the vertical axis was larger in fast skating than in slow skating.

The onset of the horizontal medial component of fast skating was much earlier in the world record holder than in the other subjects.