

スピードスケート滑走における 滑走速度の特徴に関する考察

Consideration about the Characteristic of Velocity in the Speed Skating

高橋 佑¹ 香山 瑞恵² 橋本 昌巳² 大谷 真² 河合 季信³ 二上 貴夫⁴

Yu Takahashi¹, Mizue Kayama², Masami Hashimoto², Makoto Otani²,
Toshinobu Kawai³, and Takao Futagami⁴

¹ 信州大学大学院理工学系研究科

¹ Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

² 信州大学工学部

² Faculty of Engineering, Shinshu University

³ 筑波大学

³ Tsukuba University

⁴ 株式会社東陽テクニカ

⁴ Toyo Corporation

Abstract: The purpose of this study is to explore architecture of performance support system for speed skating by visualizing player's physical action. We focus on the skating locus, velocity, acceleration, lumbar part rolling angle. Our system generates graphs of these data in time series variation. Therefore, we hope a player can get visual and quantitative feedback from these graphs, and can make positive self-reflection to assess his current skating. In this paper, the detail feedbacks to skaters about their velocity changes in the curve part with characteristics are explained.

はじめに

近年、スポーツサイエンスにおいて、競技成績向上を目的とした様々な研究が行われている。その一つに動作解析が挙げられる。人や物の動きを数値化し分析や解析を行うことで、動作の特徴などを読み取ることができる。多くの動作解析においては、ビデオカメラやセンサなどが用いられている。しかし、対象にできる動作には制限がある。競技者の位置座標が大きく変化しない競技であれば、ビデオカメラを用いた動作解析が有効だと考えられる[1]。しかし、移動系の競技でビデオカメラを用いるためには、それなりの環境が必要である[2]。この場合には、センサを用いた動作解析が有効だと考えられる。センサにも様々な種類があり、ジャイロセンサ、圧力センサ、GPSセンサなどが代表例として挙げられる[3]。

本研究の目的は、スピードスケート競技における動作解析と、その結果を用いた内省支援の検討である。これを実現するためには、スピードスケート動作の定量化、可視化が必要である。この競技にお

ける先行研究では、ビデオカメラを用いた Direct Linear Transformation Method (DLT 法) が行われている[4]。

DLT 法は、複数台のビデオカメラを用いた、三次元映像解析手法である。しかし、スピードスケートは移動系の競技であり、DLT 法を用いてリンク全体を解析範囲にするには、相応の環境が必要である。

そこで、本研究では測定装置をスケーターに装着し、解析可能範囲をリンク全体に広げる。ここでは、慣性計測装置（以下、IMU）から得られたデータに対して動作解析を行う。この結果を用いて、スケーターの内省支援の可能性を検討していく。本研究に関わるデータの取得は、公益財団法人日本スケート連盟のニーズを分析して文部科学省マルチサポート事業研究開発プロジェクトの活動で開発された装置を使用させていただいている。

本稿では、スピードスケートにおける滑走動作をストレート（以下、ST）動作とカーブ（以下、CV）動作に分け、各動作における速度変化に着目する。以下の章では、まず本研究における動作解析手法について述べる。次に、10名の被験者に対して行った、

同一条件での滑走実験における各動作の速度変化について考察を行う。次に、被験者に対して行った、解析結果レビューについて考察を行う。最後に、今後の展望について述べる。

動作解析システム

本研究では IMU が内蔵された、装着型測定装置（以下、装置）を用いて動作を計測している。スケーターに装置を装着させ、リンク上を滑走させる。図 1 に装置着用の様子と、滑走の様子を示す。

装置からは、三軸の角速度と三軸の加速度、温度、計測時間などが得られる。これらのデータに対して処理を行う。その結果として、経過時間やセンサ温度、三軸の位置情報や三軸の速度情報、スケーター視点での三軸の加速度、腰部内傾角などのデータが算出される。

装置から得られるセンサデータを解析し、可視化データへと変換する。解析システムで求められたデータから 7 種類のグラフを生成する。これらは、滑走時に装置と同期して得られたビデオデータとともに示される。



図 1：装置着用と滑走の様子

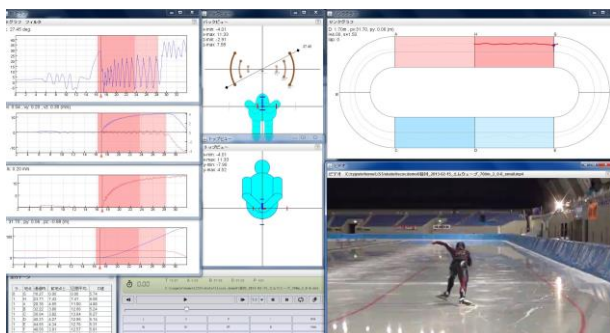


図 2：可視化ツールでのデータ提示画面（一例）

これらのデータは可視化ツールを用いてスケーターにフィードバックされる。図 2 に、可視化ツールを用いた滑走データの提示例を示す。図 2 においては、表示可能なすべてのデータを表示している。ここから読み取れる情報を用いて、選手の内省支援に適用していく。これらのデータは、練習メニューやスケーター名、日時や滑走リンクなどの情報とともに、一元管理される。

氷上実験

動作解析システムの章で示したシステムを用いて、滑走実験を行った。内省支援を行うためには、スピードスケート動作の特徴を定量的に示す必要がある。そこで、スピードスケートにおける動作を分析し、特徴を考察することを目的としている。

方法

実験の被験者情報を表 1 に示す。表 1 においては、上から順に滑走順となっている。被験者は大学生以上の現役スケーター 10 名である。実験は、国内屋内リンク、M-wave で行った。データは、2013 年度シーズンの、シーズン終わりに取得した。実験におけ

表 1：被験者データ

被験者	種目 距離	性別	2013-2014 シーズン 全日本ランキング	
A	短距離	女	500 m	3 位以内
B	中距離	男	1000 m	3 位以内
C	短距離	女	500 m	20 位以内
D	長距離	女	3000 m	40 位以内
E	短距離	女	500 m	15 位以内
F	長距離	男	5000 m	40 位以内
G	短距離	男	500 m	15 位以内
H	短距離	女	500 m	40 位以内
I	短距離	女	500 m	30 位以内
J	長距離	女	500 m	60 位以内

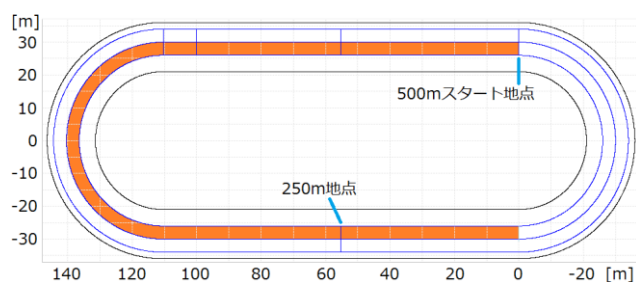


図 3：滑走領域

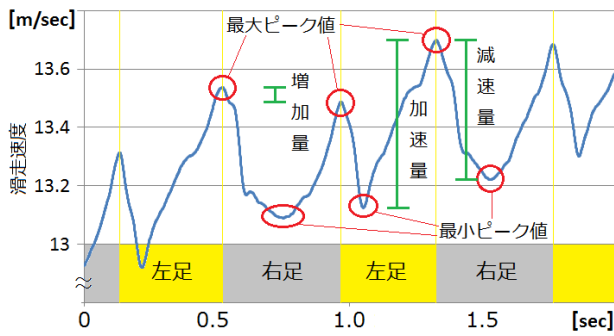


図 4：滑走速度波形における定義

る試行回数は 3 回である。測定対象となる被験者の滑走時には、被験者以外のスケーターが滑走しないように調整を行った。本実験で指定した滑走領域を図 3 に示す。図 3 はリンク俯瞰図であり、被験者はダブルトラック 500 m スタート地点付近から滑走状態に入る。そのまま、インコースを 250 m 程度滑走する。被験者には、滑走領域には低速で進入してもらい、CV 領域進入時には全力での滑走になるように滑走してもらった。なお、スピードスケート競技では、リンクを反時計回りに滑走する。

速度波形の解釈

一步の定義

本研究においては滑走動作における一步を、速度波形を用いて定義している。図 4 に示している青線の波形は、ある滑走における CV 動作の速度波形を拡大したものである。速度波形における周期的な上に凸のピークを最大ピーク、下に凸なピークを最小

ピークとしている。この最大ピークを滑走動作における一步の基準とし、図 4 のように一步を決定している。図 4 中の左足、右足とは、どちらの足を支持脚にしているかという表記である。

指標定義

滑走速度波形に対して、さらなる分析を行うために指標を用いる。本研究では、一步の動作において 3 つの指標を定義している。図 4 に緑線を用いて示してあり、各指標の名称を縦書きしてある。基準となる一步を定め、その前の一步における最大ピーク値と、基準となる一步の最小ピーク値との差を減速度と定義している。また、ある一步における最少ピーク値と最大ピーク値との差を加速量と定義している。さらに、ある一步における最大ピーク値と、その前の一步における最大ピーク値との差を増加量と定義している。つまり、減速度と加速量の和が増加量である。

結果と考察

滑走速度波形

ここでは、滑走データの速度波形に着目する。図 5 に、ある試行における全被験者の速度波形を示す。図 5 縦軸は被験者の滑走速度であり、横軸は図 3 の 500 m スタート地点を 0 m とした際の、コース上の道程距離 240 m までである。また、CV 領域を図内に示した。どの被験者の波形においても右肩上がりである。また、多くの被験者が CV 領域進入前まで加速し終えている。これらのことから、被験者が実験条件として指定した通りの滑走を行っていること

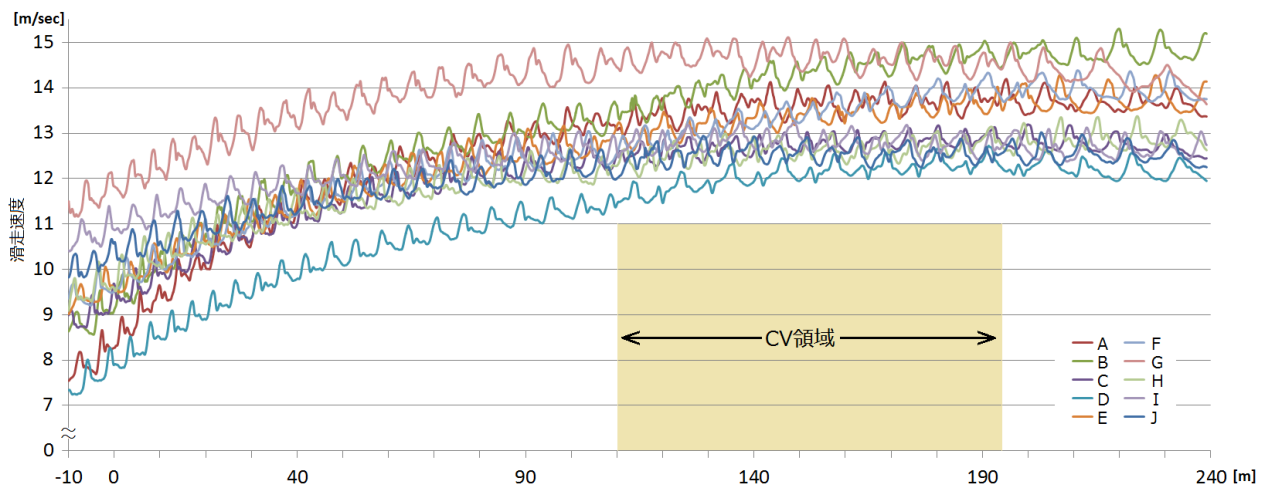


図 5：運動平面速度波形

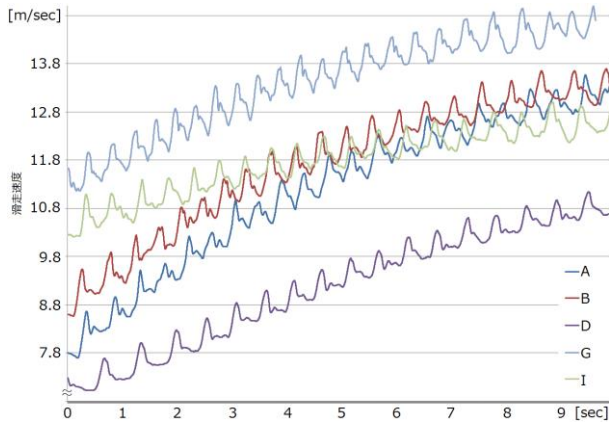


図 6: ST 動作速度波形

がわかる。さらに、波形や波形の変化具合に個人差が確認できる。

一歩ごとの分析

一歩の定義を用いて、滑走動作を ST と CV の 2 種類に分け、滑走速度について分析を行う。

ST 動作

図 6 に、ある試行における一部の被験者について、ST 動作部の速度波形を示す。図 6 縦軸は運動平面における合成速度であり、横軸はある地点からの経過時間を示している。実験において、滑走の仕方を指定したことから、ST 滑走時においては、全ての被験者が加速状態にある。このことは、図 6 における波形から確認できる。波形に着目すると、被験者毎に形が異なり、個人差が確認できる。しかし、被験者毎の波形から特徴を把握することは困難である。

CV 動作

CV 動作部についても、ST と同様に分析を行う。図 7 に、ある試行における一部の被験者の CV 動作部速度波形を示す。図 7 における各軸は、図 6 と同様である。図 7 から、CV 動作においては、各被験者とも速度変化が少ないことがわかる。また、速度波形や波形の変化具合から、個人差が確認できる。CV 動作について一歩ごとに着目していくと、波形に明確な左右差が確認できる。このような明確な左右差は ST 動作の速度波形からは確認できていない。ST 動作と異なり、CV 動作においては、右足で左足をまたぐような動作を行う。また、CV 動作では常に反時計回りに滑走を行う非対称動作である。速度波形における明確な左右差は、ST と CV の動作の違いを示しているといえる。

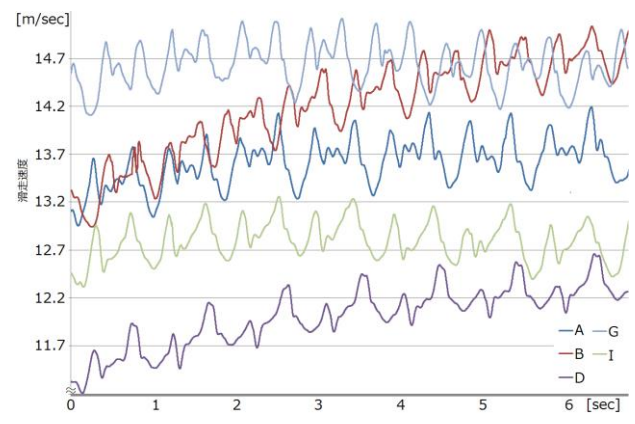


図 7: CV 動作速度波形

加速・減速・増加量での分析

ST 動作

図 8 に、ある試行の ST 動作における加速・減速・増加量を示す。ほとんどの被験者において、加速・減速量に個人差は見られない。しかし、増加量においては、支持脚の違いによる大きな左右差が確認できる。特に、被験者 A においては、左足増加量が 0.028、右足増加量が 0.425 であり、約 15 倍の左右差が確認できる。同様に被験者 J においても増加量が 0.003 と 0.185 であり、大きな左右差が確認できる。

被験者 E のある試行においては、左足増加量が -0.006、右足増加量が 0.237 であった。これは、被験者 10 名各 3 試行における唯一の負の値である。今回の実験において、ST 動作が加速状態にあることを考慮すると、被験者 E は左足で加速できていないことがわかる。しかし、試行回数が 3 回であることから、これらの内容が個人差ではなく試行差である可能性がある。個人差を確実に判断するためには、多くのサンプル数が必要になるだけでなく、定期的に計測を行う必要がある。3 試行の結果において、試行毎に左右の増加量の大小関係に変化が見られたのは 2 名だけであった。

CV 動作

次に、CV 動作についても同様に示す。図 9 に、ある試行の CV 動作における加速・減速・増加量を示す。図 9 からは、左足よりも右足の減速量が大きいことがわかる。また、左右差は全ての試行においても同様にみられた。これも、ST と CV の動作の違いによる特徴を示しているといえる。また、増加量に着目すると、被験者 B のみが右足増加量において正の値を示している。右足減速量が必然的に大きくなる特徴的な CV 動作において、正の値を示していることから、技術レベルが高いと推察される。3 回の

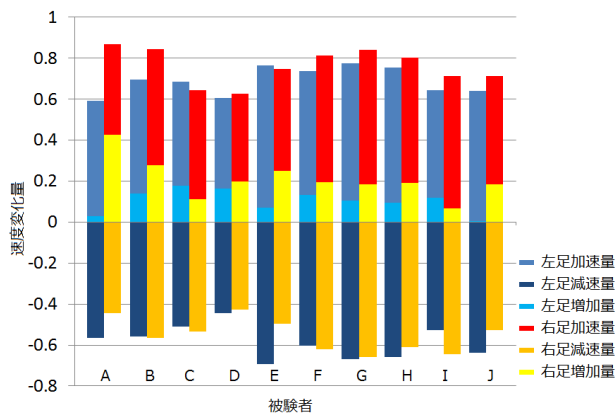


図 8: 加速・減速・増加量 ST 動作

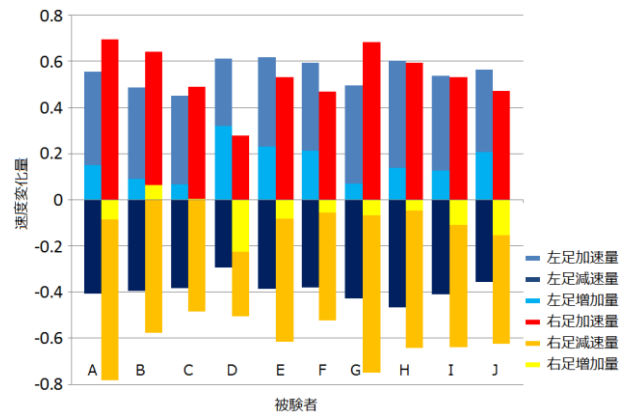


図 9: 加速・減速・増加量 CV 動作

試行において、右足増加量に正の値を確認できたのは、2名だけであった。

速度波形分析まとめ

ST 動作の速度波形のみで左右差を判断することは困難であった。しかし、CV 動作においては、波形から情報を読み取れている。判断が困難であった ST 動作においても、加速・減速・増加量という指標を用いることで、選手毎の左右差を確認できた。また、CV 動作においても、速度波形のみでは判断が難しい減速量の差の読み取りができていない。これらのことから、スケート動作の特徴把握として、加速・減速・増加量という指標が有用であるといえる。

しかし、現在はこの指標からの滑走の良し悪しの判断は困難である。データのサンプル数の増加や、さらなる分析を行い、滑走データを評価していく。また、バイオメカニクスに基づいた指標の作成を進めていく[5]。

結果レビュー

実験における結果を2名の被験者 (F, G) に対して行った。内容は、可視化ツールを用いて滑走映像と滑走データの提示と、加速・減速・増加量を用いた分析結果の2種類である。また、知識の有無による内省の変化を考察するために、被験者毎に提示順序を変更した。被験者 G においては、始めに可視化ツールでデータを提示した。被験者 F には、始めに指標を用いた分析結果を提示した。

可視化ツール

可視化ツールを用いた実際の提示画面を図 10 に

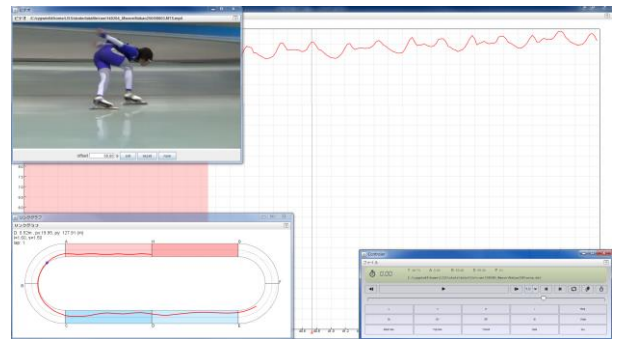


図 10: 滑走データ可視化ツール

示す。これは、実際に被験者が希望したレイアウトである。図の左上が被験者の滑走映像であり、左下がリンク俯瞰図である。リンク俯瞰図においては、滑走軌跡が出力されている。図の背面では滑走速度波形が表示されている。なお、図の右下はコントローラーである。

結果レビューでの被験者からの内省を以下に示す。

- ・滑走において1つのデータだけを絞って見ることができる
- ・これまでに見たことがないデータ (速度波形) を見ることができた
- ・加速・減速は今まで意識したことがなかった

加速・減速・増加量

図 8 や図 9 と同様のものを、解説を含めて被験者に提示した。実際に提示している様子を図 11 に示す。

被験者 F の特徴は、ST 動作における増加量のバランスが良く、CV 動作における減速量が小さい。被験者 G は、ST 動作における加速量が被験者の中でも大きい、同時に減速量も大きく、結果的に増加量が大きくないという特徴がある。このような被験

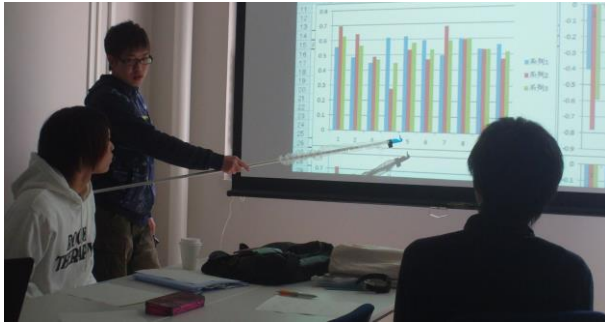


図 11 :結果レビュー (加速・減速・増加量)

者の特徴も同時に提示している。

結果の提示における被験者の内省を以下に示す。

- ・自分の滑走はもっと減速量が大きかったと思っていたが、実際にはそれほど大きくなかった
- ・ST 動作では左右で平均的に力を出せていることがわかった
- ・CV 動作の右と左でこんなにも差があると思っていたいなかった
- ・可視化ツールは一人でもある程度わかるが、こちらは解説がないとわかりにくい

レビューまとめ

結果のレビューに対する内省から、被験者の感覚と一致している点と、一致していない点が確認できた。また、これまででない情報を提示できていることがわかった。

競技成績の向上には、自己分析が必要である。今回のレビューにおいては、自己分析に必要なデータを提示できたと判断できる。今後も滑走の測定とデータの提示を行っていく、被験者が認識しやすい情報と、そうでない情報を整理していく。

また、被験者のみで理解が困難であった内容に関しては、直感的にわかるような表現方法を検討する。

結果の提示順序の違いにより、被験者の内省に変化が確認できた。先に分析結果を提示した被験者 F からは、可視化ツールでの提示の際に、速度波形における加速や減速を意識した内省が確認できた。このことから、知識の有無から内省に変化があると判断できる。今後測定を行っていくなかで、全ての被験者に対して、解析者からのレビューを行うことは困難である。被験者自らが提示した内容を次の滑走に活かすように解釈することができ、さらに次の滑走の結果との差分を読み取れるように訓練を行う必要がある。また、あわせて提示内容の表現方法を整理・再考していく。

おわりに

本稿では、スケーターの滑走における、速度情報における特徴把握を行った。その結果、速度波形から、左右差や個人差などが確認でき、被験者の特徴を示すことができた。また、結果レビューからは、滑走支援において有益な情報が得られた。これらの結果を踏まえて、可視化したデータから個人差や左右差を読み取るための知識の整理を行っていく。

今後の課題として、データのサンプル数の増加、新たな指標の作成、解析システム全体の可視化における表現方法の整理などがある。

謝辞

本研究に関わるデータの取得は、公益財団法人日本スケート連盟のニーズを分析して文部科学省マルチサポート事業研究開発プロジェクトの活動で開発された装置と可視化ツールを使用させていただきました。また、公益財団法人日本スケート連盟スピードスケート強化部のご関係者様には、本論文の公開に関する多大なるご配慮をいただきました。ここに深謝申し上げます。

本研究の一部は科学研究費助成金 (24650551) の助成を受けた。

参考文献

- [1] 田房友典, 横田臣博, 石川聖二: 多視点カメラを用いたチームスポーツの三次元解析法, バイオメディカ・ファジィ・システム学会誌, Vol. 10, No. 1, pp. 65-72, 2002
- [2] 三輪飛寛, 市川浩, 松内一雄, 榊原潤, 高木英樹: 水泳スカーリング動作時の泳者手部周りの流れ場の可視化(FD 水泳), ジョイント・シンポジウム講演論文集 2009, pp. 208-213, 2009
- [3] 佐川貢一, 小岩研, 煤孫光俊, 猪岡光: 加速度積分による屋内での3次元歩行経路の推定, 医療情報学, No. 22, pp. 242-243, 2002
- [4] 結城匡啓, 阿江通良, 浅見高明: 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, No. 11, pp. 111-121, 1992
- [5] David A. Winter, (長野明紀, 吉岡伸輔 (訳)): バイオメカニクス人体運動の力学と制御[原著第4版], 有限会社ラウンドフット, 東京, 2011