

地磁気センサによるスキージャンプの踏切 モーションモニタシステムにおける 角度測定方式の評価

佐藤 永 欣^{†1} 及川 正 基^{†1}
高山 毅^{†1} 村田 嘉 利^{†1}

スキージャンプ競技は斜面に作られたジャンプ台を利用して、飛距離や飛型の美しさを競うノルディックスキーに分類される競技である。スキージャンプでは踏切の瞬間が飛距離を決める要因の7、8割を占めると言われているが、安価で定量的なモニタ方法が無い家庭用ビデオカメラなどによる録画に基づいて練習している。我々は、地磁気センサを利用した、踏切モーションのモニタシステムを開発している。本システムは複数の地磁気センサを選手の足首、股、腰に取り付け、それらの間のなす角を測定することで選手の膝、腰などの角度の変化を測定する。本論文では、スキージャンプ選手のフォーム計測のための、地磁気センサを用いた関節の角度測定方式について述べる。また、実際にスキージャンプ台でジャンプして計測したデータに対して提案した角度測定方式を適用した結果をしめし、本システムの有用性を議論する。

An Evaluation of an Angle Measurement Method on Ski Jumping Motion Monitoring System using Terrestrial Magnetism Sensors

NOBUYOSHI SATO,^{†1} MASAKI OIKAWA,^{†1} TSUYOSHI TAKAYAMA^{†1}
and YOSHITOSHI MURATA^{†1}

Ski jumping is one of Nordic skiing that ski jumpers compete length of jump and flying style in a jump lamp which is constructed in a mountain. In ski jumping, it is said that taking-off motion holds 80 percents of factor of jumping length. However, consumer video movie camera is used to record to taking-off in daily practices since there is no cheap and quantitative measurement device. Therefore, we are developing a taking-off motion monitoring system that uses terrestrial magnetism sensors. In this system, some sensors are attached into ski jumper's ankle, thigh and waist, and the system measures angles of knee and waist by calculating angles between these sensors. In this paper, we describe an

angle measurement method for ski jumper's joints using terrestrial magnetism sensors. In addition, we will discuss on evaluations based on actual ski jumping data.

1. はじめに

スキージャンプ競技は斜面に作られたジャンプ台を利用して、飛距離や飛型の美しさを競うノルディックスキーに分類される競技である。スキージャンプでは踏切の瞬間が飛距離を決める要因の8割を占めると言われている。踏切の瞬間で重視されている項目として、踏切時の速度、踏切のタイミングや方向、すなわち踏切フォームがあげられる。しかし、ジャンプ台において、踏切フォームを安価で定量的にモニタする方法が無い家庭用ビデオカメラなどによる録画に基づいてフォームの確認をしているのが現状である。

そこで我々は、スキージャンプ選手のモーションモニタシステムを開発している¹⁾²⁾³⁾。本システムは、複数の地磁気センサをスキージャンプ選手の膝や腰、足首に装着し、膝や腰の角度の変化を測定することで踏切フォームをモニタする。地磁気センサは選手が複雑に動きまわるようなスポーツのモニタには向いていないと考えられるが、スキージャンプのように同じ場所で同じ動きを繰り返すスポーツのモニタには向いていると考えられる。

本システムの開発にあたって、我々は現役のスキージャンプ選手兼コーチ（永井陽一氏、岩手県八幡平私立松尾中学校教諭）とコーチ（三ヶ田礼一氏、岩手県体育協会）からヒアリングを行い、競技技術、練習方法、選手の育成、競技規則、大会運営などの多岐にわたる調査を行った。その結果、より遠くへ飛ぶためには、踏切が最重要視されており、踏み切りは飛距離の要因の7、8割を占めるといわれていること、競技技術の練習としては踏切が中心であることを把握した。踏切の際には、適切なタイミングで力強く踏み切ることが重要であり、前者はジャンプ台の先端に近い位置で踏み切ること、後者は出来る限り短時間で強くジャンプ台をけり、上体を前に投げ出すことが理想であるとのことであった。また、良い踏み切りのためには前段階である滑走も重要であり、踏み切り直前の滑走速度をなるべく速くし、力強い踏み切りのためには、踏み切り直前の腰、ひざ、上体の位置関係が重要ということであった。

通常の練習メニューにおいては、体力作りのほか、踏み切りを中心とした練習が行われて

^{†1} 岩手県立大学

Iwate Prefectural University

いる。グラウンド等で滑走姿勢から踏み切り動作を行って空中姿勢に移行する練習をコーチと選手が二人一組で繰り返し行って踏み切りの確認を行う。この際、力強い踏み切りを実現するための滑走姿勢、踏み切り動作の速さ、空中姿勢への移行のスムーズさを確認する。また、その仕上げとして、ジャンプ台においてジャンプすることも行われているが、その頻度はさほど高くはなく、週に1度程度である。また、ジャンプ台における練習でも飛距離の計測の難しさから、踏み切りの確認が主であり、飛距離はさほど考慮していないとのことである。すなわち、スキージャンプの飛距離はスキー板ではなく足が着地した地点の距離であり、また、高速で着地するため、選手が自分で飛距離を認識することは無論のこと、着地点付近で目指すにしても一人では数 m 程度の幅しかカバーできないため、練習で飛距離を計測することは現実的ではない。

このようなヒアリング結果を受けて、我々は、地磁気センサによるスキージャンプ選手のモニタリングシステムの機能を次のように設定した。まず、最初の段階として、ジャンプ台の踏み切り位置付近における選手の踏み切り動作をモニタすることとした。これは、前述の通り踏み切りがスキージャンプの飛距離の7、8割の要因を占めるといわれ、重点的に練習されているためである。よって、本システムの第1段階における目標を、スキージャンプ台の踏み切り位置付近での動作を定量的にモニタすることとし、モニタ範囲の拡大や飛距離の計測等については第2段階以降の目標とする。

本論文では、第1段階の目標を達成するための、地磁気センサによる人間の関節の角度測定方式について述べる。また、実際にスキージャンプ台でジャンプして計測したデータに対して提案した角度測定方式を適用した結果をしめし、本システムの有用性を議論する。

2. 関連研究

人の動作のモニタは、人の移動の測定と手足や体の動きの測定の二種類に大きく分類される。位置の推定にはGPS⁴⁾や無線LAN⁵⁾、RFID⁶⁾の利用が一般的である。

文献5)によると、50cm程度の精度での推定が可能であるため、スキージャンプ台においても周囲の障害物が少ないことから無線LAN基地局を適切に配置すれば、同程度の精度は得られると思われる。しかし、これらの方式では精度が最大でも数十cm程度であるため、スキージャンプ選手の腰や膝の動きをモニタするのには向いていない。

人の動作を測定・推定する手法としては、加速度センサやジャイロセンサの利用か、カメラの利用が一般的である。加速度センサによる方式の例として文献7)では、同一動作の繰り返し測定可能かどうかを検討している。しかし、加速度センサによる推定には、測定誤差

が積分される過程で累積する問題があり、定期的になんらかの方法で補正する必要がある。このため、連続的な動きの測定には注意が必要である。ビデオカメラによる例として、複数のビデオカメラを用いて人の動きをリアルタイムにキャプチャする研究⁸⁾、インテリジェント空間のための研究⁹⁾がある。これらは身体の上にカラーマーカを付けたり、複数のビデオカメラを必要とする。画像処理のためにも、多大な処理能力を有する計算機が必要であり、ジャンプ台のような屋外での利用には向いているとはいえない。ビデオカメラを利用したモーショントレースはスポーツにも適用されている。raらは、8台の高速カメラを利用して野球のピッチャーのフォームがフラットなグラウンドとピッチングマウンドで異なることを確認している¹⁰⁾。また、近年はKinect¹¹⁾も安価なモーションキャプチャデバイスとして利用可能である。しかし、キャプチャ可能な範囲がスキージャンプに適用するには狭すぎる。

地磁気・加速度センサを用いた人の動きのモニタに関する研究としては、筆者らによる地磁気・加速度センサを用いた作業トレースの研究¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾がある。この研究では、自動車組立工場におけるルーチン作業を対象に、工具や人に取り付けた地磁気・加速度センサの出力を元に、特定の作業がマニュアルどおり正しく行われているかどうかを判定し、逸脱を検出すると警告を発するシステムを開発している。この研究の結果、地磁気センサを用いて人の動きをモニタする場合、いくつかの留意点があることが示された。すなわち、地磁気センサにより直線的な運動を検出することは容易ではないが、回転運動を主とする運動は極めて高い精度で検出できる。人間の動きは関節を軸とする回転運動であり、地磁気センサによる計測に向いている。また、強磁性体のそばでなければ地磁気の磁場は人一人分程度の空間では安定しているため一様とみなしてよいこと、強磁性体やモータ等の磁場の発生源からも離れればその影響を避けられることなども示された。

3. スキージャンプ選手の踏み切りモーションモニタシステム

本システムの構成を述べる前に、ジャンプ台の構造とジャンプの手順を説明する。図1にジャンプ台の構成を、図2にジャンプ台の踏み切り位置付近の写真を示す。選手はスタート台から滑走を始め、R1カーブの終わりで踏み切り動作をはじめ、ジャンプ台の先端になるべく近い位置で踏み切る。その後、空中姿勢に移行し、着地後、停止する。滑走中は、空気抵抗を小さくし、踏み切りを行うやすいような低い姿勢で滑走する。

次に、本システムの構成を述べる。本システムは、図3に示すように選手の足首、太もも、腰に取り付けた地磁気センサ、地磁気センサのデータを受信するためのPC、および、踏み切り位置付近を撮影するUSBカメラからなる。図4と図5はそれぞれ、地磁気センサ

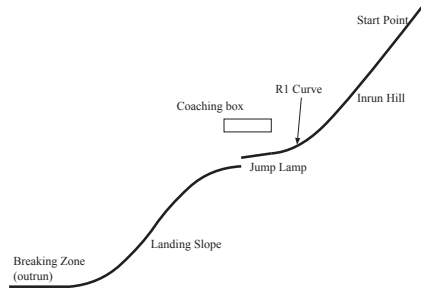


図 1 スキージャンプ台
Fig. 1 A ski jumping hill



図 2 踏切位置付近
Fig. 2 A jumping lamp

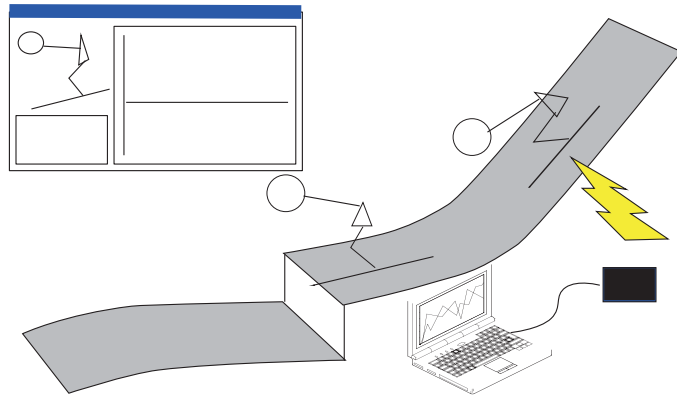


図 3 スキージャンプ選手のモーションモニタシステム
Fig. 3 A overview of a skijumper's motion monitoring system

と USB カメラである。スキージャンプ選手は家庭用ビデオカメラを用いて練習を記録しているため、本システムでも固定的に設置した USB カメラにより踏切位置付近を撮影している。この USB カメラは、センサのデータ測定周期と同じ周期で撮影を行っている。今回使用した地磁気センサはアイチマイクロ・インテリジェント製の AMI601-CG である。このセンサは毎秒 40 回データを測定し、2.4GHz 帯の無線を通じてデータを送信する。地磁気センサと USB カメラからの録画データは互いに紐付けて保存され、再生ソフトウェアを使用することで再生できる。この際、二つのジャンプの記録データを再生・比較できる。

センサは、スキージャンプ競技のルール等を考慮して、以下のように選手に装着する。ま

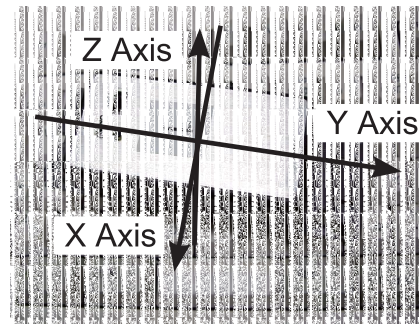


図 4 地磁気センサ AMI601-CG
Fig. 4 A terrestrial magnetism sensor AMI601-CG



図 5 USB カメラ
Fig. 5 A USB camera

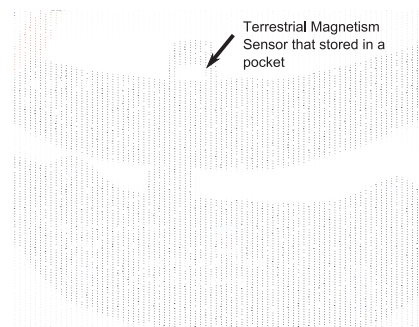


図 6 センサ取り付けに使用したスポーツ用サポータ
Fig. 6 Athletic supporters to be used to attach sensors

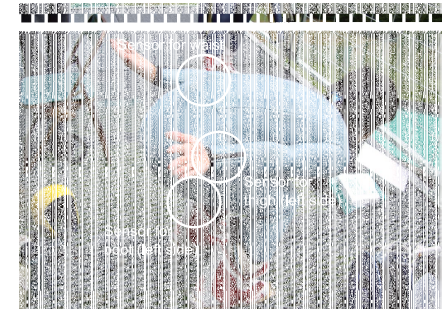


図 7 スキージャンパーにセンサを取り付けた様子
Fig. 7 A aki jumper who is attached sensors

ず、ジャンプスーツにはルール上、ポケット等の縫いつけのためであっても穴を空けることはできない。このためルール改正等で使用できなくなったジャンプスーツにポケットを縫いつける等も考えられるが、練習であっても大会と同じものを着用したいという選手の要望もある。これらを考慮して、膝、腰等に着用するスポーツ用サポータを利用することとした。すなわち、サポータにセンサの外形と同じサイズのポケットを縫い付けてセンサを格納し、スーツの内側にサポータごとセンサを装着することとした。図 6 にセンサ装着用サポータを、図 7 にセンサを取り付けたサポータを装着し、滑走姿勢をとるスキージャンプ選手を示す。サポータを装着しても、選手の動きに制約は無いことを確認した。

4. 地磁気センサによる角度測定

本節では、複数の地磁気センサの測定値を元に、膝、腰などの関節の角度を測定する方法を述べる。まず、本システムでは、地磁気センサをスキージャンプ選手の以下の各部に装着する。

- 足首の少し上。スキージャンプ用のブーツにより、選手の足首は固定されているため、細腿とみなしてよい。センサは左側面に固定される。
- 太もも。センサは左側面に固定される。
- 腰の背中側。足首、および太もものセンサに対して、Y軸を中心にセンサが90度回転して取り付けられることに留意する必要がある。

地磁気センサは、前説で述べた方法でジャンプスーツの内側に固定される。ただし、足首のセンサは、スキーブーツにゴムバンドで固定される。なお、スキージャンプ用のブーツはつま先のみをビンディングによりスキー板に固定される。ジャンプ前の滑走中はかかともスキー板に密着しているため、滑走中は選手の膝から下は常にほぼ同じ向きであると考えてよい。したがって、膝の角度、腰の角度をモニタすることで、太ももと上体の姿勢は推定することが可能である。踏み切りは膝と腰を主に使うため、上記の3箇所のセンサでスキージャンプ選手のフォームを十分モニタできると考えられる。

次に、複数のセンサの組み合わせによるスキージャンプ選手の関節の角度を測定する方法について詳しく説明する。

地磁気センサは、センサが置かれた場における磁束のベクトルを、センサを基準とした3次元の座標系におけるXYZ各軸に分解された磁束密度として測定する。ここで、典型的にはセンサが置かれた場の磁束のベクトルは地磁気のベクトルである。地磁気のベクトルの方向や大きさは土地により異なることが知られているが、人間一人程度の空間では、ほぼ一樣と考えてよい。センサの近傍に磁石や強磁性体が存在しない限り、ほぼ一樣な地磁気の磁場が保たれていると考えられる。

このようにほぼ一樣な地磁気の磁場においては、足首、太もも、腰の各部に取り付けたセンサが計測する磁束の大きさ、方向は同じである。したがって、これらの各センサの測定値の違いは、これらのセンサの向きの違い、すなわち、各センサを基準とする座標系の向きが違うことにより生じている。このため、これらのセンサのなす角を求めるには、これらの座標の向きのずれの角度を求めることと等しい。座標系間の向きのずれを記述するためには、一般的には回転行列が用いられる。この際、3次元の座標系であれば、座標系の少なくとも

2軸における3回の回転として記述される。しかし、地磁気の測定値のみからは、この記述に必要な情報を得られない。また、膝の関節の動きは比較的強く制約されているため、膝を左右に貫くひとつの回転軸を中心とした運動と考えてよい。腰の動きは膝の関節よりも自由度が高いが、スキージャンプにおいては前かがみの姿勢から立ち上がる動きのみであり、腰をひねる動作はない。したがって、膝、腰の角度は、単なる二つのベクトルのなす角として扱ってもよい。

次に、以上の議論に基づいた、スキージャンプ選手の膝と腰の角度の計算方法を示す。膝の角度は、足首に取り付けたセンサと腿に取り付けたセンサのなす角として、次の式により計算できる。ここでは、膝および腰の関節が延び切った状態が180°、畳まれた状態を0°とする。

$$\theta_{knee} = 180 - \cos^{-1} \frac{MagX_{ankle}MagX_{thigh} + MagY_{ankle}MagY_{thigh} + MagZ_{ankle}MagZ_{thigh}}{\sqrt{MagX_{ankle}^2 + MagY_{ankle}^2 + MagZ_{ankle}^2} \sqrt{MagX_{thigh}^2 + MagY_{thigh}^2 + MagZ_{thigh}^2}}$$

ここで、 $MagX_{ankle}$ 、 $MagY_{ankle}$ 、 $MagZ_{ankle}$ はそれぞれ足首に取り付けた地磁気センサの地磁気XYZ各軸の測定値、 $MagX_{thigh}$ 、 $MagY_{thigh}$ 、 $MagZ_{thigh}$ は同様に太股に取り付けた地磁気センサの地磁気XYZ各軸の測定値である。

膝の角度と同様に、腰の角度は太ももに取り付けたセンサと腰の背中側に取り付けたセンサにより、次の式により計算できる。ここで、腰のセンサは背面、太もものセンサは左側面に取り付けられているため、センサがY軸を中心として回転していることに留意する必要がある。

$$\theta_{knee} = 180 - \cos^{-1} \frac{MagX_{thigh}(-MagZ_{waist}) + MagY_{thigh}MagY_{waist} + MagZ_{thigh}MagX_{waist}}{\sqrt{MagX_{thigh}^2 + MagY_{thigh}^2 + MagZ_{thigh}^2} \sqrt{MagX_{waist}^2 + MagY_{waist}^2 + MagZ_{waist}^2}}$$

ここで、 $MagX_{waist}$ 、 $MagY_{waist}$ 、 $MagZ_{waist}$ はそれぞれ腰の背中側に取り付けた地磁気センサの地磁気XYZ各軸の測定値である。

5. 評価

5.1 角度測定方式の精度

まず、前節の方法で求めたスキージャンプ選手の膝と腰の角度の測定精度について述べる。測定精度を評価するため、選手の模型を用いた実験を行った。脚を想定して、膝の関節と大腿骨、脛骨の模型を木材とボルトを用いて製作した。大腿骨を模した角材に地磁気セン

サを両面テープで固定し、分度器で関節の角度を測定しながらセンサの角度を変化させた。0°から90°の範囲で10°ずつ測定した結果を図8に、±20°の範囲で1°ずつ動かした結果を図9に示す。このように、若干の誤差があるものの、スキージャンプ選手が踏み切ったタイミングや、踏み切りの速度などのモニタを行うには十分と考えられる。

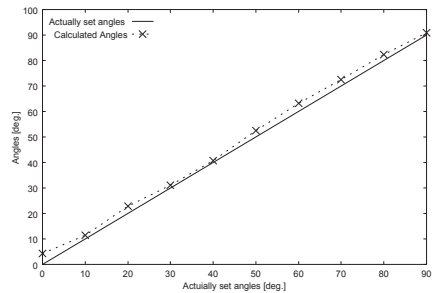


図8 二つの地磁気センサのなす角の計算結果
Fig.8 Calculated angles between two sensors

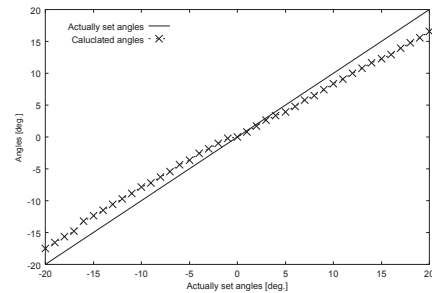


図9 二つの地磁気センサのなす角の計算結果（詳細）
Fig.9 Calculated angles between two sensors (detailed)

5.2 スキージャンプ選手の踏切測定結果

実際にスキージャンプ選手にセンサを取り付け、ジャンプ台でデータを収集した結果について述べる。実験に使用したジャンプ台は、岩手県八幡平市の田山スキー場にあるミディアムヒルジャンプ台（K点=50m）である。スキージャンプは冬季競技であるが、冬季は助走路への積雪により、滑走時の抵抗が変わってしまい、滑走と踏み切り時のフォーム、滑走速度、飛距離などの関係が安定しない。したがって、本研究では雪の影響がないサマージャンプにおけるデータを中心に評価を進める。

今回の評価に用いたデータは、2009年9月12日に3人の選手に地磁気センサを取り付け測定したデータである。取り付け方法は4節で述べたとおりである。スキージャンパーは永井陽一選手（岩手県八幡平市立松尾中学校）、永井秀昭選手（岐阜日野自動車）、永井健弘選手（天山リゾート）の3名であり、3名とも国体ノルディック複合の選手である。各選手1回ずつのジャンプで測定を行った。この際のスタートから踏み切り直後までの永井健弘選手の腰と膝の角度の変化を図10に示す。このグラフにはセンサからの電波が受信できない範囲が含まれるため、踏み切り位置前後のデータのみを切り出したグラフを図11、図12、図13に示す。ここで、図12では、80フレーム目付近で腰の角度が異常な谷を描いている。

このデータが正しいとすると、5フレーム、すなわち125ms程度の間に腰が一旦完全に折り畳まれた後、また延びたことを意味するが、現実的にはありえない。詳細な原因は不明であるが、一瞬センサの電源が落ちたなどの理由によりデータに異常が表れたためと思われる。また、図13では腰の角度のデータがないが、これは永井秀昭選手のジャンプの際、腰の後ろ側につけたセンサの電源が落ちてしまっていたからである。

測定されたデータ中から踏切位置付近を特定し、3名分のデータから同じ位置を切り出す手順は次の通りである。

- (1) 地磁気データ・録画再生ソフトを使用し、選手がUSBカメラの撮影範囲に入るフレーム番号を特定する。USBカメラはクランプを用いて固定されているため、常に同じ範囲が撮影される。
- (2) 同様に、選手が踏み切った後USBカメラの撮影範囲外に出るフレーム番号を特定する。
- (3) 特定されたフレーム番号のみを切り出す。

図11、図12、図13によれば、踏み切り位置付近では、ほぼ直角に折り畳まれていた膝と腰の関節が、踏み切り動作によって延びていく様子が読み取れる。また、腰よりも膝の伸びが急速であることも読み取れるが、これは主に脚を使ってジャンプ台を蹴って踏み切るといふ、スキージャンプ選手の説明に符合する。さらに、図11と図13では、若干のずれがあるものの踏み切りのタイミングがほぼ同じで、しかもUSBカメラの撮影範囲の後端、すなわちジャンプ部台の先端付近で踏み切っていることがわかる。一方、図12では膝、腰ともに延び出すのが遅く、踏み切りタイミングが遅いことが読み取れる。このことは、同時に撮影されたUSBカメラの録画データによっても裏付けられた。

6. まとめと今後の課題

本論文では、スキージャンプ選手の踏み切り動作モニタシステムにおいて、選手の踏み切り動作を定量的に可視化するために、地磁気センサのデータから膝と腰の角度を計算する手法を提案した。実験室内における計測の結果、数度の誤差はあるものの角度を測定できることが確認された。また、以前計測したデータを用いて本提案手法により、スキージャンプ選手による実際のジャンプでの膝と腰の角度変化を計算したところ、踏み切りタイミングの違いなどにおいて、録画された記録と符合する結果が得られた。また、踏み切り時には膝が腰に先行して延びる様子が見られたが、これもグラウンドにおける踏み切り練習でのフォームと符合している。

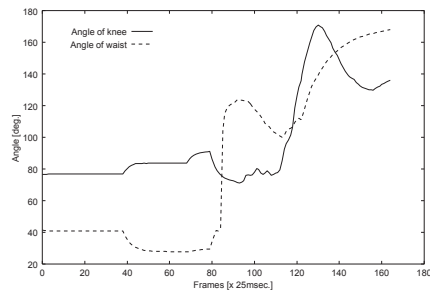


図 10 永井健弘選手の踏切時の膝と腰の角度変化 (全体)
Fig. 10 Entire angles of knee and waist from start to jump by T. Nagai

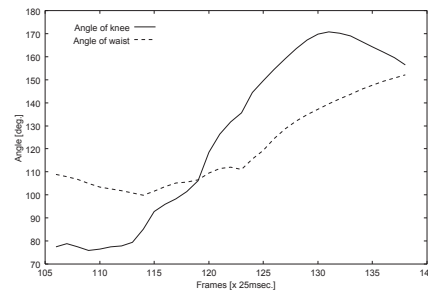


図 11 永井健弘選手の踏切時の膝と腰の角度変化
Fig. 11 Entire angles of knee and waist at take-off by T. Nagai

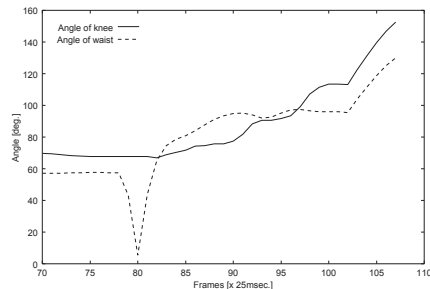


図 12 永井陽一選手の踏切時の膝と腰の角度変化
Fig. 12 Entire angles of knee and waist at take-off by Y. Nagai

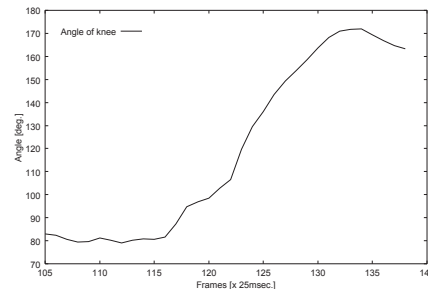


図 13 永井秀明選手の踏切時の膝の角度変化
Fig. 13 Entire angles of knee at take-off by T. Nagai

参 考 文 献

- 1) Oikawa, M., Sato, N. and Murata, Y.: A Proposal and Trial on a Model of a Motion Monitor System for a Ski Jumper Using Terrestrial Magnetism and Acceleration Sensors, *Proc. of 1st International Workshop on Information Technology for Innovative Services (ITIS-2009)*, in conjunction with *The 12th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS2009)*, pp.364–369 (2009).
- 2) Oikawa, M., Sato, N., Takayama, T. and Murata, Y.: Design and Implementation of Ski Jumper's Motion Monitor System by Terrestrial Magnetism and Acceleration Sensors, *The 13rd International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS2010)*, pp.78–

85 (2010).

- 3) 及川正基, 佐藤永欣, 高山 毅, 村田嘉利: 複数の地磁気・加速度センサによるスキージャンプ選手のモーションモニタリングシステムの評価, *情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2010) シンポジウム*, pp.363–371 (2010).
- 4) 松岡 繁: 民間利用実証に係る状況報告と IMES に係る活動紹介. http://qzss.jaxa.jp/is-qzss/QZSSUM_03_03.pdf.
- 5) Bahl, P. and Padmanabhan, V.N.: RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System, *Proc. of IEEE INFOCOM 2000*, pp.775–784 (2000).
- 6) 小倉正利, 峰野博史, 寺島美昭, 徳永雄一, 水野忠則: RFID を利用した物品管理システムの精度向上手法に関する研究, *情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2007) シンポジウム*, pp.1793–1799 (2007).
- 7) 梅本功太, 西垣正勝: 人間の動作を用いた認証方式に関する検討, *情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2007) シンポジウム*, pp.1338–1346 (2007).
- 8) Yonemoto, S., Matsumoto, A., Arita, D. and Taniguchi, R.: A Real-time Motion Capture System with Multiple Camera Fusion, *International Conference on Image Analysis and Processing (ICIAP)*, pp.600–605 (1999).
- 9) Trivedi, M., Huang, K. and Mikić, I.: Dynamic Context Capture and Distributed Video Arrays for Intelligent Spaces, *IEEE Transactions of Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 35, No.1, pp.145–163 (2005).
- 10) Badura, J.M., Raasch, W.G., Barber, M.P. and Harris, G.F.: A Kinematic and Kinetic Biomechanical Model for Baseball Pitching and its Use In the Examination and Comparison of Flat-Ground and Mound Pitching, *IEMBS 2003*, Vol.2, pp.1803–1806 (2003).
- 11) マイクロソフト: Kinect for Windows SDK. <http://research.microsoft.com/en-us/um/redmond/projects/kinectsdk/>.
- 12) Sato, N. and Murata, Y.: Quality Control Schemes for Industrial Products by Workers' Motion Capture, *The 2nd International Workshop on Telecommunication Networking, Applications and Systems (TeNAS2008)*, in conjunction with *The IEEE 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2008)*, pp.1480–1485 (2008). ISBN978-0-7695-3096-3.
- 13) Murata, Y. and Sato, N.: Production Management System in an Assembly Plant by Terrestrial Magnetism Sensors, *Fifth International Conference on Networked Sensing Systems (INSS2008)*, pp.27–30 (2008).
- 14) 佐藤永欣, 小田島昌一, 鈴木 潤, 石川泰二, 村田嘉利: 地磁気・加速度センサを利用した作業トレースシステムのプロトタイプ, 第 135 回マルチメディア通信と分散処理研究会 (2008-DPS-135), pp.153–158 (2008).
- 15) 佐藤永欣, 高橋俊博, 田島 玲, 小田島昌一, 鈴木 潤, 石川泰二, 村田嘉利: 地磁気・加速度センサによる自動車組立工場内作業トレースシステム, *情報処理学会論文誌*, Vol.51, No.3, pp.810–823 (2010).