

地磁気・加速度センサによるスキージャンプ選手の モーショントラッキングシステムの設計

及川正基[†] 佐藤永欣[†] 高山毅[†] 村田嘉利[†]

我々はスキージャンプ競技に関して、地磁気・加速度センサを使用した模型を用いた選手の滑降速度の測定、踏み切り位置の測定を行い、実際のジャンプ台に対する適用可能性が十分に高いことを確認した。また、選手とコーチからヒアリングを行い、測定要求項目として、アブローチ開始から踏み切りまでの速度、踏み切り付近での選手のフォーム、踏み切り位置でジャンプした選手の姿勢の傾きであることを確認した。我々は測定要求項目に対して、複数の地磁気・加速度センサとビデオカメラを連動させたモータリングシステムを新たに開発し、スキージャンプ競技の練習に適用している。本稿ではその設計について述べる。

A Design of Ski Jumper's Motion Monitor System by Terrestrial Magnetism and Acceleration Sensors

Masaki Oikawa[†] Nobuyoshi Sato[†]
Tsuoyoshi Takayama[†] Yoshitoshi Murata[†]

We have confirmed that terrestrial magnetism and acceleration sensors are useful to measure ski jumper's inrun descending speed and taking-off positions using a model of ski jumping ramp. Also we gathered required measurement by inquiring a ski jumping athlete and his coach. As this result, we confirmed following measurements: inrun descending speed, jumper's style and posture at jumping point, and slant of body of the jumper when he is flying. We are developing a ski jumper's motion monitoring system using terrestrial magnetism, acceleration sensors and video camera which enable to monitor such measurements. In this paper, we describe its design.

1. はじめに

これまでに地磁気センサ・加速度センサを用いて、製造工場における工員のルーティン作業をモニタする研究を行ってきた[1][2][3][4]。その結果、直線的動作をモニタするには不向きだが、回転運動を主とする動作に関しては高い精度でモニタ可能であることが分かった。地磁気・加速度センサを用いた作業モニタ技術の適用先の1つとしてスポーツが考えられる。工員のモニタでは固定された作業場における地球磁場に対して地磁気センサの方向の変化を利用していることから、野球のピッチングやスキーのように場所が固定的で常に安定したフォームが要求されるスポーツには適していると考えられる。

従来、スポーツ選手の動作をモニタする方法としては、ビデオカメラを利用する方法が一般的である。モニタフォームのいろいろな点にマーカをつけて、画像処理により各マーカの移動量を求めた上で各種データを求めていた[5]。この方法では、多量の画像処理が必要となることからリアルタイムなモニタが難しい点や、選手を撮影するため複数のカメラが必要であり、それらは固定されていなければならない、等の制約がある。それに対して、地磁気・加速度センサを用いた場合、各回の選手の動きの違いをリアルタイムで表示可能であり、センサを選手や道具に付けられれば測定可能であることから測定上の制約も少ない。また、マーカを用いない方法[6]では、要求される精度が得られない。

今回、選手とコーチからヒアリングを行い、スキージャンプ競技における測定要求項目をまとめた。本稿では、地磁気・加速度センサを装着した選手の動作（以下フォーム変化と呼ぶ）を測定及び検証するためのシステム設計について述べる。次章では、動作トレースを中心に関連研究について紹介する。続いて3章では、スキージャンプ競技に要求されている項目において、一般的な測定要求項目と、選手とコーチのヒアリングから得た具体的な測定要求項目について述べる。4章では、選手とコーチのヒアリングから得た測定要求項目を基に、複数の地磁気・加速度センサとビデオカメラを連動させたシステムの設計について述べる。最後にまとめを述べる。

2. 関連研究

人の動作モニタリングは、人の移動に伴う位置の推定と手足や身体の動きの変化の推定に分かれる。

位置の推定に当たってはGPSを利用する方式、無線LANを利用する方式、RFIDを利用する方式などがある。GPSの適用エリアが主に屋外に限られる上に、その精度は方式によって異なるが数m以下にすることは困難である。スキージャンプに適用する

[†]岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究科
Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

には精度不足といえる。無線LANを利用した位置の研究は教室のようなどころを中心
に研究されており、50cm程度の精度で推定可能なとの研究報告もある[7][18]。スキーのジ
ャンプ台に関しては、周囲に障害物が少ないことから、無線LANの基地局を適切に
配置すれば、数十cmの精度で位置を測定できる可能性はある。RFIDの利用に関しては、
メッシュ状にRFタグを床等に埋め込んで位置を測定する研究が行われている[9]。

人の動作を推定する方式としては、加速度センサを利用した方法、加速度センサと
地磁気センサやジャイロセンサを組み合わせた方法、ビデオカメラを利用した方法な
どがある。梅本らは加速度センサを利用して、同一動作を繰り返し実行可能か測定して
いる[10]。我々は、加速度センサでは連続的に動作をモニタリングすることが困難で
あることから、地磁気センサから回転運動量を抽出すると共に加速度センサの出力と
組み合わせて、自動車工場における工具の作業をモニタリングする研究を行ってきた
[1][2][3][4]。その結果、ルーティン作業における動作は毎回ほぼ同じであり、適切な
特徴値を利用することにより通常と異なった動作を行った事をリアルタイムで検出可
能であることを確認している。しかし、動作における動作速度の違いやタイムミングの
違いについての考察は行っていない。谷口らは、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を行っている[11]。身体の上からカメラカ
を付けた上で複数のビデオカメラが必要であり、画像処理のために多大な処理能力を
有するコンピュータが必要となっている。ビデオカメラを利用したモーショントレ
スはスポーツにも適用されている。J.M.Badura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[12]。灌らはスポーツ競技者・指導者の利用を目的とした情報技術(映像
技術)の活用事例について述べている[14]。スポーツ競技者・指導者を対象に、映像情
報技術の活用観点を重視した、トレーニング支援を実現するために、運動情報の可視
化・掲示システムについて提案・設計を行っていることを確認した。先行研究として、
スキージャンプ競技に関する選手の動作モニタへの地磁気・加速度センサの適用可能
性を検討した[13]。模型を用いた選手の滑走速度や踏み切り位置の測定を行った結果、
適用可能性が十分に高いことを確認した。

3. スキージャンプのモニタに要求される項目

スキージャンプは、基本的に飛距離を競う競技であるが、得点は、飛距離、飛型、着
地姿勢の3つの要素からなる。このうち、飛距離で高得点を得るためには、アプロ
チスピードと飛型、踏み切り位置とその方向、力が重要である。スキージャンプの1
回の滑空は以下のような段階を取り、それぞれ成績に関連する要素を持つ。

- (1) アプローチ：踏み切り直前の速度が高いほど、飛距離も伸びる。速度の違いは、滑
走を開始する位置、フォームやスキークックスに起因する。滑走を開始する位置
は競技役員によって決定されるため、選手は空気抵抗、スキー板と雪面の摩擦抵

抗を小さくすることにより速度を上げることになる。

- (2) 踏み切り：踏み切りタイムミング(踏み切り位置)と方向および力(加速度)・踏み
切りによって、飛距離が大きく左右される。
- (3) 空中姿勢：飛型の適正化とそれによっていくまでの時間。飛型を適正化し、空気抵
抗を小さくするとともに、選手の前方からの空気の流れを利用して揚力を得るた
め、空中姿勢は飛距離を左右する。飛型が適正化されたあとは静止しているのが
ベストとされる。また、飛行中の風向きなども飛距離を大きく左右する。
- (4) 着地：テレマーク姿勢。着地の姿勢が美しいかどうかも採点の基準となる。

以上の成績に關係する項目と比較して、我々は選手の動作(以下フォーム変化と呼
ぶ)をモニタリングしていく上での厳密な測定要求項目を明確にするため、選手とコ
ーチを交えたヒアリングを行った。以下に、ヒアリングを通じて確認された、飛距離
の変動要因に關係する測定要求項目を列挙する。

A) アプローチ開始から踏切までの速度

スタート開始地点から踏み切り地点までの選手の滑走スピード時のフォーム変化に
対してモニタリングが重要視されていることを確認した。また、スキージャンプコー
スに依存するが、スタート開始地点から踏み切り地点までの選手の滑走スピードは平
均60~70km/hである。滑走時において、選手が体感するスピードは激しく、体感する
スピードの影響で、頭や背中などの身体の間接部に対してぶれが起こる。身体の間接
部のぶれが選手のフォーム変化の不安定性に繋がり、飛距離の変動要因に關係してい
ることを確認した。

B) 踏み切り位置付近での選手のフォーム

踏み切り位置付近での選手のフォーム変化はスキージャンプ競技の勝負の要として
飛距離との関連を示していることを確認した。具体的に飛距離を向上させるためには、
A)のアプローチ開始から踏切までの速度と、踏み切り付近で選手がタイムミングよくジ
ャンプすることが關係している。また、踏み切り付近で選手が立ち上がる動作を開始
してから、立ち上がる動作を完了するまでの時間が短いほど強く踏み出すことができ
ることも確認した。

C) 踏み切り位置でジャンプした選手の姿勢の傾き

踏み切り地点を通過した選手は、空中姿勢の段階に入る。空中姿勢の段階において
も、空気抵抗によりフォーム変化に影響する。空中姿勢の段階における選手のフォー
ム変化も飛距離の変動要因に關係する。このことから、踏み切り地点を通過した直後
数秒間の空中姿勢に対してモニタリングが必要であることを確認した。

以上を踏まえ、本研究での選手のフォーム変化のモニタリング範囲として、スター
ト開始地点から踏み切り地点までとする。また、地磁気・加速度センサを選手に装着

図 2 に示す。

する形で測定するに当たり、適用範囲について検討する。具体的な適用範囲としては、本番向けか練習向けかである。本番向けにおいては、スキージャンプ競技ルールにより身体各部位にセンサなどのモノを装着することはできない決まりになっている。よって本番における選手のフォーム変化を地磁気・加速度センサで測定することは実質不可能である。一方、練習向けにおいては、特に決まった制約はなく、測定する上で身体各部位にセンサが装着可能であることを確認した。よって本稿では練習向けにおける選手の競技力向上に繋げるためのシステムを提案・設計をする。

4. システム設計

以前にも述べた通り、選手とコーチからのヒアリングを基に測定要求項目を設定し、それを基に以下に示した機能を設計した。

- 1) 複数のセンサとビデオカメラを連動させる測定システム
- 2) 測定したデータを見直すための検証システム

1)の機能を「測定アプリケーション」、2)の機能を「検証アプリケーション」と呼ぶ。次節では、本システムで用いている地磁気・加速度センサと USB カメラについて述べる。続いて 4.2 節では「測定アプリケーション」について、4.3 節では「検証アプリケーション」について述べる。

4.1 地磁気・加速度センサと USB カメラ

地磁気・加速度センサは、アイチ・マイクロ・インテリジェントの AMI-601CG を利用している。このデバイスは、ワンチップの地磁気・加速度と、無線送信部、バッテリーを小型の筐体に収めたものである。地磁気センサは磁気インピーダンス (Magneto-Impedance, MI) 効果を利用する MI センサである。加速度センサは、ばねによって保持された磁石の変位を地磁気測定用とは別の MI センサを用いて測定される。また、地磁気センサ、および加速度センサの出力から、地磁気・加速度センサの回転角も計算される。地磁気・加速度センサは無線を通じて送信される。送信されたデータは USB 接続の受信器によって受信され、PC にデータが取り込まれる。設計に用いた地磁気・加速度センサを図 1 に示す。また、実測地における地磁気・加速度センサの受信範囲を確認するため、選手とコーチが夏場のスキージャンプ練習のために活用している練習競技場に赴いた。受信範囲を確認するため、踏み切り地点の先端に地磁気・加速度センサを設置し測定を行った。測定結果として、図 3 が示すように、踏み切り地点の先端から 5.0m までの範囲をセンサ可能であることを確認した。

USB カメラは 40[Frame/sec]での撮影が可能なるものを利用している。これは、地磁気・加速度センサのサンプリングレートと USB カメラのフレームレートを一致させた測定を実現するためである。両者を一致させて測定することで測定データを見直す際に地磁気・加速度センサのデータとの照合が容易になる。設計に用いた USB カメラを

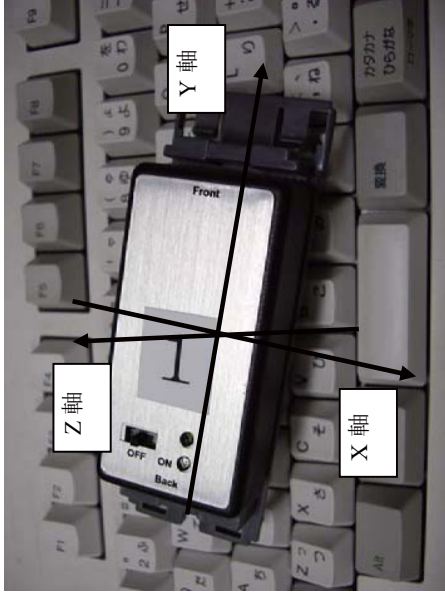


図 1 地磁気・加速度センサ (x2.5ms)



図 2 USB カメラ (40Frame/sec)

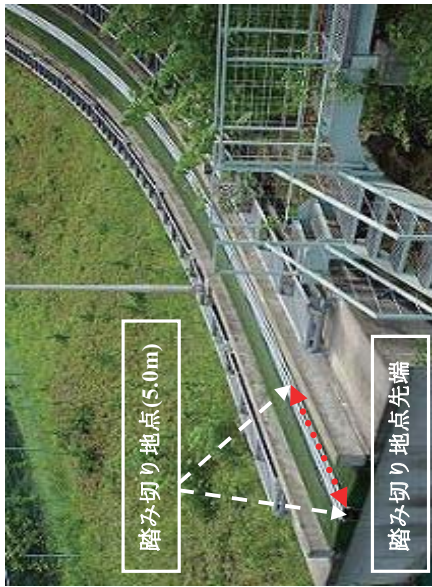


図 3 踏み切り地点におけるセンサの受信器

4.2 測定アプリケーションの設計

地磁気・加速度センサは 25ms ごとに数値データが出力されるだけであるため、このままでは選手やコーチに有用な参考値としてフィードバックすることができない。有用な参考値としてフィードバックするには、利用者（選手とコーチ）に対して、直感性がある使いやすいシステムとして提供する必要がある。

今回、提案システム（測定アプリケーション）として、複数の地磁気・加速度センサと USB カメラに録画された出力を併せ持つアプリケーションを設計した。地磁気・加速度センサと USB カメラから測定データを同一画面で比較、相互に参照することで、選手のフォーム変化の違いを選手とコーチに直感的に理解してもらおう仕様とした。

地磁気・加速度センサは、地磁気および加速度の X,Y,Z 軸の測定値を出力する。ここで複数の地磁気・加速度センサに対心させたのは、選手の各関節の動きの変化をフォームの動きの変化として捉えるためである。本稿では、システム全体の設計に焦点を入れており、選手のフォーム変化を捉えるアルゴリズム（特徴ベクトル抽出）は紹介しない。現段階において選手のフォーム変化を捉えるアルゴリズムは、今後の検証アプリケーションシステムでの設計課題として取り組む方針である。

USB カメラは動画情報として、地磁気・加速度センサを装着した選手のフォーム変化を録画する。録画と地磁気・加速度センサのデータを同時に参照することで、全体としての選手のフォーム変化を選手やコーチに直感的に理解してもらおうことができる。地磁気・加速度センサの測定コントロール部分とビデオカメラ出力部分の構成を図 4 に示す。また、図 4 の構成を基に実装したプログラムの出力例を図 5 に示す。

測定用アプリケーションは、地磁気・加速度センサで測定するコントロール部分と

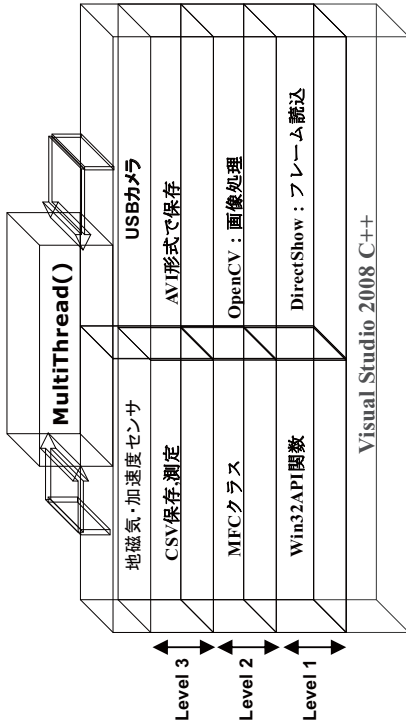


図 4 測定アプリケーションの設計構成図

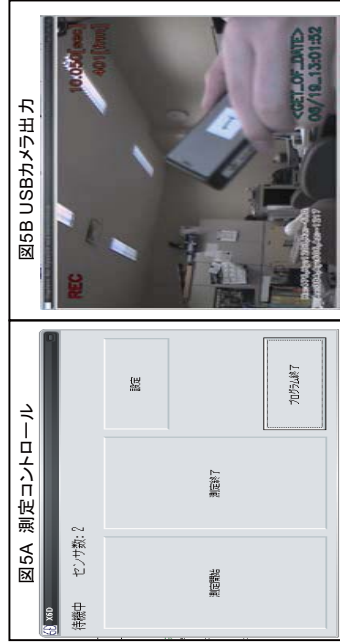


図 5 測定アプリケーションプログラムの実行結果

USB カメラを用いたビデオ録画する部分からなる。地磁気・加速度センサの測定コントロール部分は、Level 2 の MFC のダイアログクラスをベースに動作し、複数のセンサ間で同期を取りながら測定する構成である。ビデオカメラ入出力部分は Level 1 の DirectShow クラスと Level 2 の OpenCV クラスからの構成になる。OpenCV クラスは大量のフレームをキャプチャすると動画の途中が途切れる不連続な出力をすることがある。フレームキャプチャ処理の不安定性を解消するため、BGR のビットマップデータを受け渡す共通性をもっている OpenCV クラスと相性の良い DirectShow クラスを用いた。画像処理はクラスライブラリの関係上 OpenCV クラスの方が適している。

よって図4が示すように、DirectShowにはフレームキャプチャ処理を行わせ、キャプチャしたフレームに対する画像処理はOpenCVに処理させた設計構成としている。

図5のプログラム出力例より、図5Aは複数の地磁気・加速度センサの測定コンテンツレベル部分を示し、図5BはUSBカメラの出力部分を示している。複数の地磁気・加速度センサの測定コンテンツレベル部分の機能として、「測定開始」ボタンをクリックしてから、「測定終了」ボタンをクリックするまでの地磁気及び加速度の連続した測定値をCSVファイルに保存する。USBカメラ出力部分の機能として、図5Aの地磁気・加速度センサの測定コンテンツレベル部分の「測定開始」ボタンをクリックすると、録画が開始される。同測定コンテンツレベル部分の「測定終了」ボタンをクリックすると録画が終了し、AVIファイルに保存する。

現段階において、複数のセンサとUSBカメラを運動させての測定は可能である。しかし、選手やコーチが本測定アプリケーションを使いやすくするためのユーザーインターフェースの考慮や、測定したデータを保存する上でのデータベースとの連携がまだできていない。今後はこれらの課題を踏まえ、設計・実装を行う。

4.3 検証アプリケーションの設計

検証アプリケーションは測定アプリケーションで測定したデータを見直すための機能を持つ。以前に述べたように検証範囲は、スタート開始地点から踏み切り地点終了までとし、検証範囲における選手のフォーム変化を確認することができる。検証時には、地磁気・加速度センサ部分とUSBカメラ部分を平行動作させ、スタート開始地点から踏み切り地点までの選手のフォーム確認を25ms間隔（地磁気・加速度センサ）に対してUSBカメラは1[Frame]間隔で測定データの見直しを同時に行える構成としている。検証アプリケーションの構成図を図6に示す。

図6の構成図より、地磁気・加速度センサ部分では、Level 1, 2の階層をベースに、グラフ描画、特徴ベクトル抽出の処理をする設計構成としている。なお、前節でも述べたとおり、本稿ではシステム全体の設計に焦点を入れており、選手のフォーム変化に関係する特徴ベクトルの抽出などの細かい機能はできていない。USBカメラ部分では、Level 1, 2 (DirectShowクラス, OpenCVクラス)をベースに、録画されたビデオデータ(AVI形式)を再生、停止、コマ送り処理をするような設計構成としている。実装したプログラムの出力例を図7に示す。

図7のプログラムの出力例より、図7Aが地磁気・加速度センサの出力部分を示し、図7BがUSBカメラの出力部分を示している。図7Aに示したプログラムの出力例の機能として、図7Aのファイルメニューから、①「ファイルを開く」→②「指定したファイル名(CSV形式)」を選択し実行すると、図7Aのエリアに指定されたCSVファイルに対するグラフ描画を行う。同時に図7Bのエリアに、グラフ描画されたCSVファイルに対応するビデオ動画データ(AVI形式)を読み込む。以上①、②をもう一度繰り返すと、図7A、図7Bが示すように、地磁気・加速度センサとUSBカメラの出力が

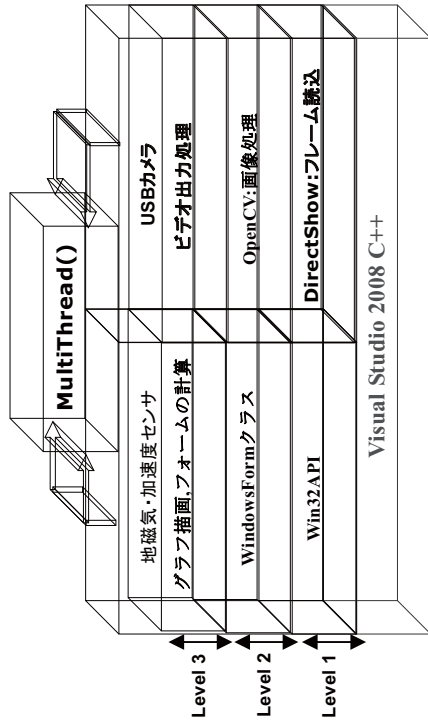


図6 検証アプリケーションの設計構成図

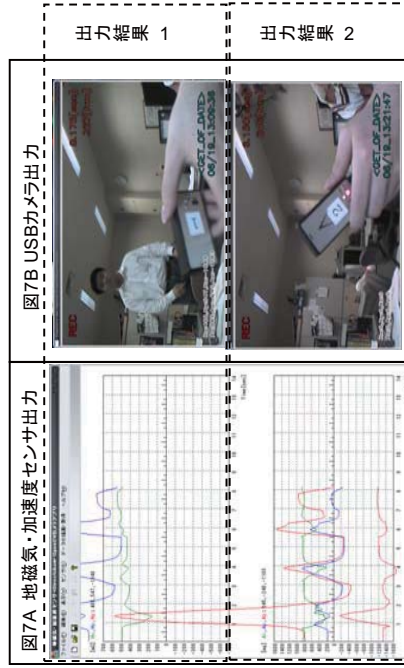


図7 検証アプリケーションの実行例

上下に分割されて表示される。つまり、図7より出力結果1に最初に読み込んだ測定データが表示される。出力結果2には2番目に読み込まれた測定データが表示される。地磁気・加速度センサの出力部分に示されたグラフ描画は、今後の課題となる選手のフォーム変化の特徴ベクトルを抽出する上での基礎データとして表示している。

また、グラフ描画された基礎データを用いた本来の検証アプリケーションは、以下に列挙した順番で動作していく設計としている。

- ① 地磁気・加速度センサの測定値をもとにグラフ化された軌跡から選手のフォーム変化としての特徴ベクトルを抽出する。
- ② 特徴ベクトル化された軌跡と USB カメラに録画されたビデオデータを併せて参照し、選手のフォーム変化を 25ms(地磁気・加速度センサのサンプリングレート)ごとに検証していく。

ここで、①、②を併せた出力が図 7 に示す出力結果 1 または出力結果 2 に相当し、1 つの出力結果として表示していく。

5. まとめと今後の予定

本稿では、選手とコーチのヒアリングから得た測定要求項目を基に、地磁気・加速度センサと USB カメラの連動によるシステムの設計について述べた。

測定アプリケーションの設計では、複数の地磁気・加速度センサと USB カメラの連動による測定システムの提案、設計について述べた。現段階では複数の地磁気・加速度との連携した測定が可能であり、USB カメラとの連動した測定も可能である。

検証アプリケーションの設計では、地磁気・加速度センサの測定された出力値と USB カメラの録画データを組み合わせた測定データ検証の提案、設計について述べた。現段階では、選手のフォーム変化に対する膝や腰などセンサが装着された部位ごとの角度を求めめる上での基礎データとして、地磁気・加速度センサの測定値からのグラフ描画が可能である。

本稿で使用している地磁気・加速度センサの受信範囲は 5.0m のため、現在は、踏み切り地点 (図 3) における選手のフォームの変化を測定することに焦点を入れた測定方法を検討している。

また、選手のフォーム変化の測定のために必要であるなら本研究で使用している地磁気・加速度センサよりも受信範囲の広いセンサへの検討を考慮する。しかし、本研究では地磁気・加速度センサがスキージャンプ競技に対してどのくらいの適用可能性があるのかをまだ検証していない。よって今後は、実際の測定環境における選手のフォーム変化のデータを取得・解析をかけた後に、選手とコーチを交えたデータについての意見交換をしながら適用可能性を検証していく。現段階では実際の測定環境での選手のフォーム変化の測定データが無いので、まずは測定データの取得を中心に進めていく。並行して、選手のフォーム変化を求めめる上での評価方法を考案していく。

参考文献

- [1] Nobuyoshi Sato, Yoshitoshi Murata, “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), pp1480-1485. (2008)

- [2] 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サ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, 情報処理学会研究報告, Vol. 2008, No.54, pp.153-158 (2008. 6)
- [3] Nobuyoshi Sato, Shoutchi Odashima, Jun Suzuki, Taiji Ishikawa, Yoshitoshi Murata, “Prototype of a Workers’ Motion Trace System using Terrestrial Magnetism and Acceleration Sensors”, The 2nd International Conference on Network-Based Information Systems, (NBIS2008), to be appeared.
- [4] Yoshitoshi Murata, Nobuyoshi Sato, “Production Management System in an Assembly Plant by Terrestrial Magnetism Sensors”, Fifth International Conference on Networked Sensing Systems (INSS2008), pp.27-30. (2008)
- [5] S. Yonemoto, A. Matsumoto, D. Arita, R. Taniguchi, “A Real-time Motion Capture system with Multiple Camera Fusion”, Proc. of International Conference on Image Analysis and Processing (ICIAP) . pp.600-605. (1999)
- [6] M. M. Trivedi, K. S. Huang, I. Mikić, “Dynamic Context Capture and Distributed Video Arrays for Intelligent Spaces”, IEEE Transactions of Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, Vol.35, No.1, pp.145-163. (2005)
- [7] P. Bahl, V. N. Padmanabhan, “RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System”, Proc. of IEEE INFOCOM 2000, pp.775-784. (2000)
- [8] T. Kitasuka, T. Nakaniishi, A. Fukuda, “Wireless LAN Based Indoor Positioning System WiPS and Its Simulation”, Proc. of 2003 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers, and Signal Processing, pp272-275. (2003)
- [9] 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 (DICO2007) シンポジウム論文集, pp.1793-1799 (2007. 7)
- [10] 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 (DICO2007) シンポジウム論文集, pp.1338-1346 (2007. 7).
- [11] Yonemoto, S. Matsumoto, A. Arita, D. Taniguchi, R. I., “A real-time motion capture system with multiple camera fusion”, in Proc. of International Conference on Image Analysis and Processing, 1999. pp.600-605. (1999)
- [12] J. M. Badura, W. G. Raasch, M. P. Barber, G. F. Harris, “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, Sep. 2003, pp. 1803 - 1806 vol. 2
- [13] 及川正基, 佐藤永欣, 村田嘉利: 「地磁気および加速度センサによるスキージャンプ選手の動作モニタリングシステムの提案」, 第 16 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, Vol.2008, No.14, pp79-84 (2008.12)
- [14] 瀧剛志, 長谷川純一, 北川薫, ; 「スポーツ競技における運動情報の可視化」, http://www.ipsj.or.jp/10jigyofit/fit2007/fit2007program/html/event/pdf/6C2_3.pdf (fit2007の目次に掲載されていなかった)