

2011年度 卒業論文

Kinectを用いたゲームにおける
練習支援システムの開発

指導教員：渡辺 大地 講師

三上 浩司 講師

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト

学籍番号 M0108305

冨胡 祐作

Media Science

2011年度 卒業論文概要

論文題目

Kinectを用いたダーツにおける
練習支援システムの開発

メディア学部

学籍番号：M0108305

氏名

寿胡 祐作

**指導
教員**

渡辺 大地 講師
三上 浩司 講師

キーワード

Kinect、ダーツ、練習支援、
モーションデータ、BVH

近年、コンピューター技術の向上・普及により、運動学習における科学的なアプローチが様々な方面から行われている。

本研究では、スポーツの中でも特に動きを固定する必要があるダーツに着目した。先行研究において、カメラを用いた方法ではシステムが大規模であり、利用できる環境が大学や企業の研究施設などに限定されてしまう。また、個人での設備購入も可能であるが高価であり、相応の技術も必要のため実用的ではない。そのうえ、計測のため周囲に多くの機材があり、精神が安定した状態で投げることが理想的なダーツでは、日ごろと同じ動きは難しいと考えられる。一方、センサを用いた方法はセンサを身体に取り付けるため、計測者の動きを拘束してしまい、ダーツにおいては特に動きにブレや違和感を感じてしまうと考えられる。

本研究では、利用者が自分のダーツフォームと基本のダーツフォームにおける、相違点の理解度を向上させることによって、自身のダーツフォームの矯正を促すことを目的として、Kinectを用いてシステムの構築を行った。Kinectからダーツモーションの取得は、NiUserTrackerToBVHを使用し、モーションデータの精度を向上させるためにKinectを2台使用した。そしてそれぞれのKinectから取得したデータを統合させることで、より精度の高いモーションデータの取得に成功した。取得したモーションデータを比較し、本手法の優位性を確かめるため、今回の手法で最もダーツモーションの取得精度が高かった、腕の動きにおいて実験を行った。基本のダーツフォームで重要となる箇所であるセットアップ、テイクバック、フォロースルーに焦点を当て、自身の動きの理解度を判定した。実験結果を比較した際に自身のダーツフォームと基本のダーツフォームの差異の理解度について検証し、本手法の優位性を確認した。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景、目的	1
1.2	本論文の構成	3
第2章	ダーツフォーム	4
2.1	スタンス	4
2.2	セットアップ	5
2.3	投げ方	6
第3章	提案手法	8
3.1	Kinect でモーションデータを取得するためのプログラム	8
3.2	BVH ファイル形式	9
3.3	Kinect で取得したモーションデータの精度についての実験	9
3.4	取得したモーションデータの統合	14
第4章	評価	17
4.1	実験	17
4.2	検証	19
4.3	考察	23
第5章	まとめ	25
	謝辞	26
	参考文献	27
付録A章	ダーツフォーム	31
A.1	グリップ	31
付録B章	BVH ファイル形式	33
B.1	HIERARCHY 部	33
B.2	MOTION 部	34
B.3	HIERARCHY 部と MOTION 部の対応	35

目 次

2.1	スタンス (DARTSLIVE より引用)	5
2.2	セットアップ (DARTSLIVE より引用)	6
2.3	投げ方 (DARTSLIVE より引用)	7
3.1	正面方向のモーションデータ	10
3.2	斜め方向のモーションデータ	12
3.3	側面方向のモーションデータ	13
3.4	直角型の Kinect 配置	15
4.1	質問内容	19
4.2	セットアップにおける差異	20
4.3	テイクバックにおける差異	21
4.4	フォロースルーにおける差異	22
A.1	3フィンガー・グリップ (DARTSLIVE より引用)	31
A.2	4フィンガー・グリップ (DARTSLIVE より引用)	32
B.1	CHANNELS 情報と MOTION 部	35

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景、目的

近年、コンピューター技術の向上・普及により、運動学習における科学的なアプローチが様々な方面から行われている [1][2]。特にスポーツにおける運動学習支援は様々な種目で行われており、動きの計測方法についても多数ある。

一般的な動きの計測方法として、光学的方法と機械的方法がある。光学的方法は、高速度カメラや赤外線カメラなどで身体表面に取り付けたマーカーを撮影し、画像処理から身体の動きを求める方法である。機械的方法とは、加速度センサや3次元ジャイロセンサといったセンサを計測対象部位に取り付け、その部位の動きを測定するものである。

光学的方法の研究として、桜井ら [3] や華西ら [4] はハイスピードカメラに着目し、DLT法を用いた3次元解析によってスポーツの動きの分析を可能とした。海野 [5] や曾我ら [6] は3DCGモデルに着目して、新体操のルールブックを作成し、多視点から動きを認識することが可能となった。また石井ら [7] は左右反転動作スキル習得に着目し、モーションキャプチャシステムを利用して自身の利き手側の動作を基に、非利き手側の動作の習得の支援を行った。

機械的方法の研究は、仰木ら [8] の加速度センサと映像を併用したゴルフフォーム診断装置の開発や、穂刈ら [9] の3次元ジャイロセンサを用いたバスケットボー

ル・シュートにおける上肢の3次元運動解析、土岐ら [10] の3軸加速度センサ・3軸ジャイロセンサ・6軸力覚センサを用いた野球バッティングにおける運動力学解析、廣瀬ら [11] のジャイロセンサ・3軸加速度センサ・2軸地磁気センサを用いたスノーボード・ターンの運動解析などである。

本研究では、スポーツの中でも特に動きを固定する必要があるダーツに着目した。ダーツとはダーツボードと呼ぶ円形の的にダーツ投げ、得られた得点により優劣を競う射的競技である。ダーツにはハードダーツとソフトダーツの二種類があり、ボードサイズ、投てき距離、ポイント、ゲームルールなどが異なる。ダーツの戦略的な研究 [12][13] や心理的な研究 [14] は行われているが、ダーツフォームについての学習支援研究は未だに行われていない。そこで本研究ではダーツというスポーツの特徴を理解し、その特徴に沿って科学的にアプローチした。

先行研究において、光学的方法ではシステムが大規模であり、利用できる環境が大学や企業の研究施設などに限定されてしまう。また、個人での設備購入も可能であるが高価であり、相応の技術も必要なため実用的ではない。そのうえ、計測のため周囲に多くの機材が有り、精神が安定した状態で投げることが理想的なダーツでは、日ごろと同じ動きは難しいと考えられる。一方、機械的方法はセンサを身体に取り付けるため、計測者の動きを拘束してしまい、ダーツにおいては特に動きにブレや違和感を感じてしまうと考えられる。

本研究では、プレイヤーが自分のダーツフォームと基本のダーツフォームにおける、相違点の理解度を向上することによって、自身のダーツフォームの矯正を促すことを目的として、Kinect[15] を用いてシステムの構築を行った。Kinectは現在研究が進んでおり、多くの研究者が様々な研究 [16][17][18][19] を行っている。Kinectでのダーツモーションの取得は、NiUserTrackerToBVH[20] を使用し、モーションデータの精度を向上させるために Kinect を2台使用した。そしてそれぞれの Kinect から取得した BVH データにおける、MOTION 部の精度が優位であるデータを統合することで、より精度の高いモーションデータの取得に成功した。取得したモーションデータを比較し、本手法の優位性を確かめるため、今回の手法

で最もダーツモーションの取得精度が高かった、腕の動きにおいて実験を行った。支援システムを利用するグループと利用しないグループにわけ、フォームの違いをダーツ上級者に確認してもらおう。ダーツ上級者が基本のフォームと異なると判断した場合、ダーツフォームの異なる箇所がわかるかと質問を行い、回答してもらおう。ここで基本のフォームとは、プレイヤーがダーツを投げ、ダーツがダーツボードの中心に当たったフォームのことを指す。そして、プレイヤーが異なる箇所を判断できたか判定を行った。実験結果を比較した際に、自身のダーツフォームと基本のダーツフォームの差異の理解度について検証し、本手法の優位性を確認した。

1.2 本論文の構成

本論文は全5章で構成する。第2章でダーツの特徴を述べ、第3章で提案手法について述べる。第4章で実験、検証および考察を行う。最後に第5章でまとめと今後の展望について述べる。

第 2 章

ダーツフォーム

本章では、ダーツフォームの解説について、岩永美保監修「一番勝てるダーツの本」[21]、「初めてのダーツ」[22]、および「超初心者からでも上達できるダーツ入門」[23]を参考にした。ダーツを投げるには、大きく分けて4つのパートに分けることが出来る。握り方であるグリップ、足の構えとなるスタンス、上半身の構え方であるセットアップ、そして投げ方である。まず第2.1節でスタンスについて、第2.2節でセットアップについて、第2.3節で投げ方について述べる。グリップについては研究対象としないため、付録A.1に解説をのせた。

2.1 スタンス

スタンスとはダーツを投げる前の下半身（主に足）の構えのことである。投げやすく、体がぶれにくいのが理想であり、身体をしっかりと支えることが出来るように構える。大きく分けて3種類のタイプに分類出来る。次の図2.1に3種類のスタンスを示す。左から順に正面型（オープンスタンス）、側面型（クローズドスタンス）、中間型（ミドルスタンス）である。



図 2.1: スタンス (DARTSLIVE より引用)

オープンスタンスはダーツボードに対し正面に構えるスタンスである。足にしっかりと力を入れる必要がある。クローズドスタンスとはダーツボードに対し利き手側の側面を向けるスタンスである。前足に重心をかけすぎると後足が床から離れてしまい、不安定になってしまうので注意が必要である。ミドルスタンスとはダーツボードに対し、利き手側の足を前にして斜めに立つスタンスである。両足の位置や重心のかけ方を調整しやすいが、角度が毎回変わりやすい。

2.2 セットアップ

セットアップとはダーツを投げる前の上半身の構えである。ダーツを構えるときは自然な姿勢で全体の力を抜くとよい。重心は利き足で、ダーツと目線がターゲット (ダーツボード) に対して一直線になるように構える。次の図 2.2 が一般的なセットアップの構え方である。



図 2.2: セットアップ (DARTSLIVE より引用)

図 2.2 のようにターゲットに対して目線が一直線で、重心が利き足に乗るように構えることで、正確な投てきができる。

2.3 投げ方

ダーツの投げ方は、「テイクバック」「リリース」「フォロースルー」の 3 種類の動作で成り立っている。テイクバックとはダーツの投てき時に腕を引く動作である。肘を固定し、まっすぐ腕を引くことが重要である。肘が固定出来ないと、左右にダーツがぶれてしまう。リリースとはテイクバックした状態からダーツを離すまでの動きである。肘を動かさず、最初に構えた位置で離すのが理想。一番動きが大きいため、重要で難しい要素といえる。一度ダーツボードの中心に入ったときと同じ動作をすれば、またダーツボードの中心に入るはずである。したがって、常に一定のスローイングを心がける必要がある。放物線を描くようなイメージで投げるとよい。フォロースルーとはダーツをリリースした後の動きである。ターゲットに向かってまっすぐフォロースルーすることでスローイングの安定感が増

す。まずダーツをテイクバックし、ダーツがセットアップで構えた位置にきたら離す（リリース）。投てき後にしっかりとフォロースルーを行う。

次の図2.3に、テイクバックからフォロースルーまでの一連の動作の流れを示す。

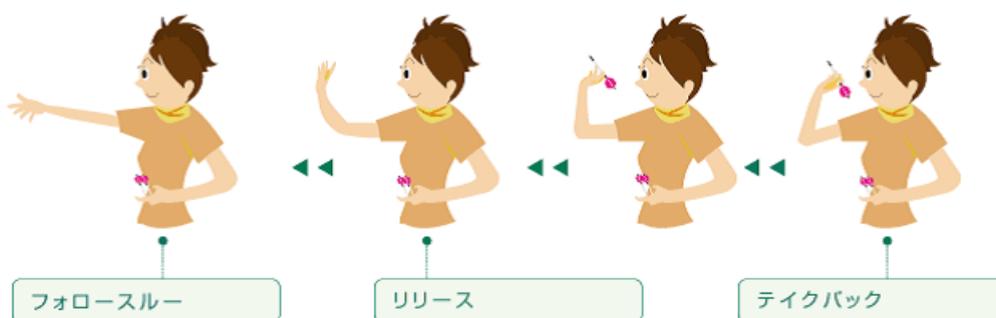


図 2.3: 投げ方 (DARTSLIVE より引用)

第 3 章

提案手法

本研究では、ダーツにおける投てき動作のモーションデータ取得から、取得したモーションの比較までを 2 つの手順に沿って検討し、それを実装した。ダーツにおける投てき動作のモーションデータ取得には、Microsoft 社が開発したゲームデバイスである Kinect[15] を用いた。

まず、本章では、3.1 節で Kinect におけるモーションデータを取得するためのプログラムについて述べ、3.2 節では、Kinect から取得するモーションデータのファイル形式について述べる。さらに 3.3 節では Kinect で取得したモーションデータの精度について述べ、3.4 節では 3.3 節でのモーションデータの精度向上のため、データを統合する方法について述べる。

3.1 Kinect でモーションデータを取得するためのプログラム

Kinect を扱える環境を構築するため、ライブラリとして、PrimeSense 社の「OpenNI (Open Natural Interaction)」[24] を用いた。また、OpenNI で取得したモーションを BVH ファイル形式 [25] に変換する、NiUserTrackerToBVH[20] を利用した。

3.2 BVH ファイル形式

本研究でBVH ファイル形式を使用した理由は、モーションデータが数値で表示されており、編集作業が円滑に行えるためである。BVH ファイル形式とは、Biovision 社が提唱したモーションキャプチャデータファイルフォーマットである。現在、Motion Builder [26]をはじめ、3ds MAX の Character studio [27]、Poser [28] などの様々な商用3D キャラクタアニメーションソフトでもサポートしている。BVH ファイル形式の特徴として以下のようなものがある。

- テキスト形式で記述。
- 座標系は右手系、XYZ 各軸の扱い（どの軸が鉛直方向に対応するか）は任意。
- 関節ノードに関する情報を記述。
- 関節回転はオイラー角形式で記述。
- 回転角度の単位は Degree。
- キャラクタのスケルトン階層構造を記述する HIERARCHY 部と、動作データを記述する MOTION 部の2つから構成。

特に本研究において重要なのが、HIERARCHY 部と MOTION 部の2つである。これらは、モーションデータを統合する際に構造を理解しておく必要がある。そのため付録B.1節で HIERARCHY 部について、付録B.2節で MOTION 部について、付録B.3節で HIERARCHY 部と MOTION 部の対応について詳しく記述している。

3.3 Kinect で取得したモーションデータの精度についての実験

データのモーションデータを取得するにあたって Kinect を使用し、NiUserTrackerToBVH というプログラムを利用して、BVH ファイルに変換を行った。Kinect

から取得したモーションデータを表示するプログラムには、3D グラフィックツールキットである FK ToolKit System[29] を用いて作成した。Kinect はダーツボードに対し正面に置いて実験を行った。次の図 3.1 が実際に取得したモーションデータの動きである。セットアップからフォロースルーまでの動きを順に表している。

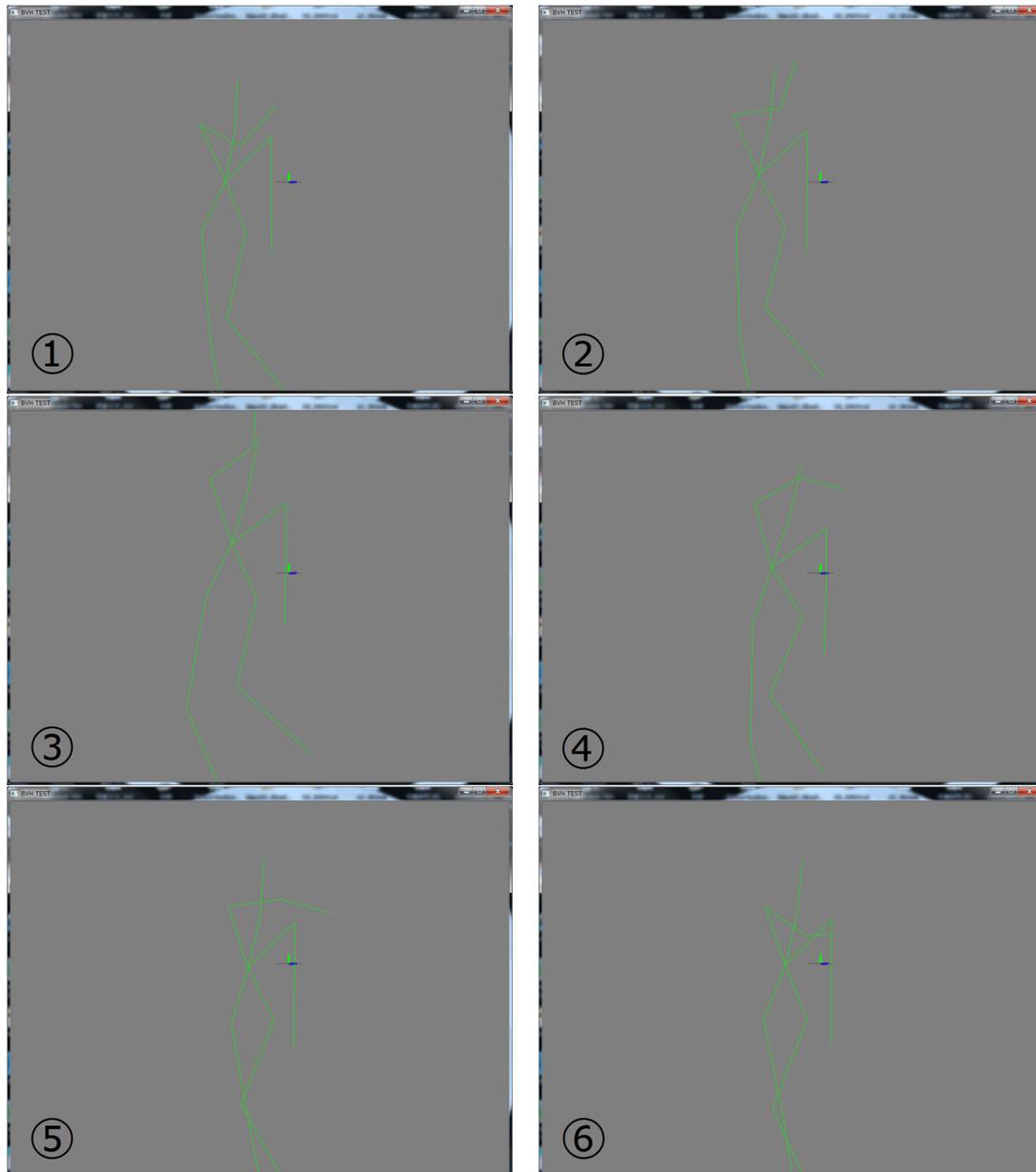


図 3.1: 正面方向のモーションデータ

Kinect でモーションデータを取得する際に、図 3.1 では右腕の動きにあたる、奥

行きのボーン情報が正確に取得できておらず、本来の動きとは異なるモーションデータとして出力してしまうといった問題が発生した。そこで側面、斜めといった2つの方向からも、Kinectでモーションデータの取得を行った。次の図3.2が斜め方向から、図3.3が側面方向からモーションデータを取得した際の図である。これらも図3.1と同様に、セットアップからフォロースルーまでの動きを順に表している。

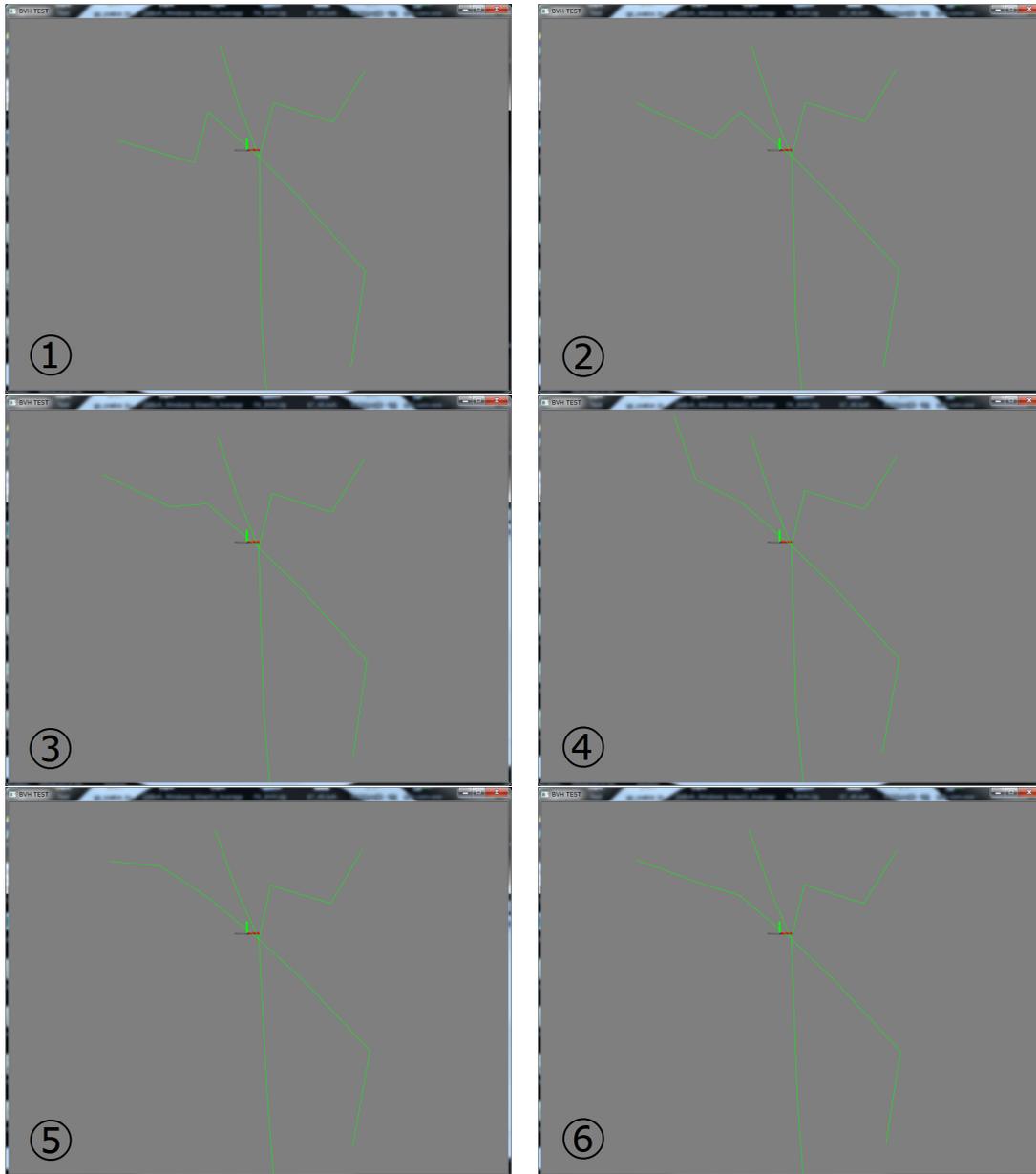


図 3.2: 斜め方向のモーションデータ

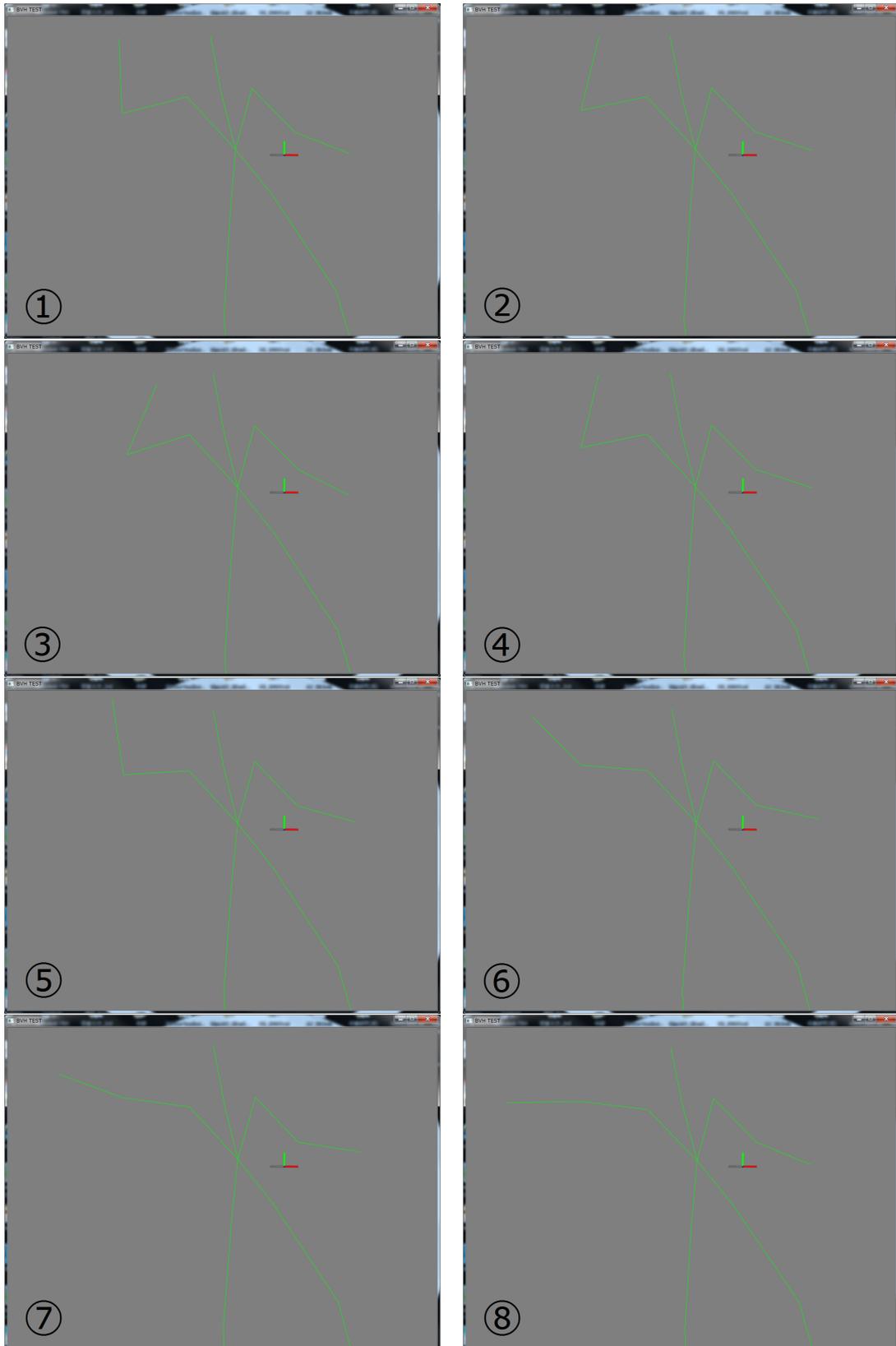


図 3.3: 側面方向のモーションデータ

図 3.2、図 3.3 においても奥行きの情報に正確に取れていないことがわかる。ボーン情報が正確に取れていない理由として、Kinect は正面方向からの体の動きを取得するためのデバイスであるため、側面方向からの動きの取得は想定していない点である。したがって本実験では、ダーツのモーションデータの取得の正確性に欠ける。

この問題を解決するために、本研究では Kinect を 2 台使用し、2 つの方向からモーションの取得を行うこととした。ただし、1 台の PC では、Kinect を 2 台使用してボーン情報の取得を行うことが不可能であるため、PC を 2 台使用して、1 台につき 1 台の Kinect を用いて測定を行った。この方法では 1 回のモーションデータ取得につき、2 つのファイルを出力する。そのため、それぞれに出力した 2 つのファイルを統合することで、支援システムのモーションデータとした。

3.4 取得したモーションデータの統合

モーションデータを取得する際に、より正確な奥行き情報を取得するため、Kinect をダーツボードに対して正面方向に 1 つと側面方向に 1 つの直角型に設置した。次の図 3.4 が Kinect を直角に設置した図である。

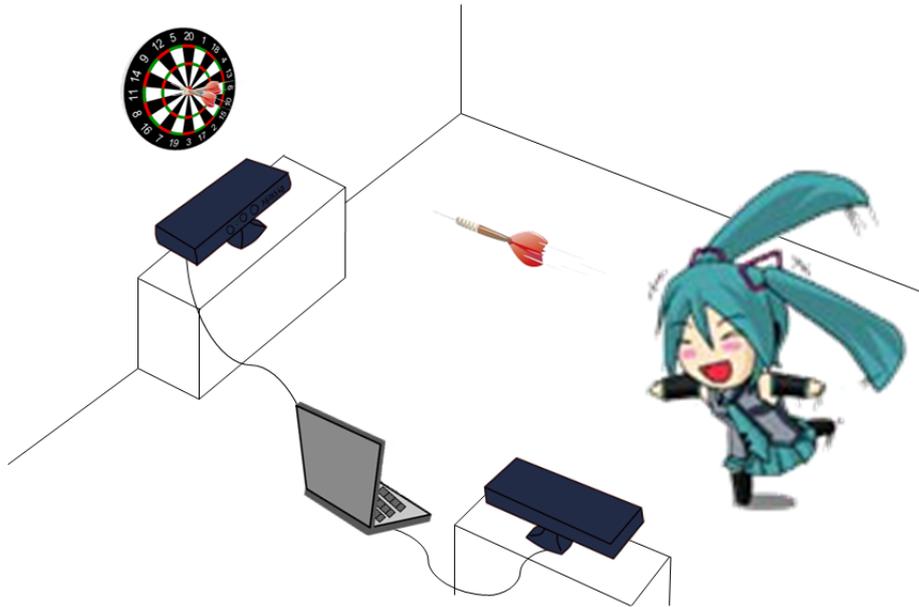


図 3.4: 直角型の Kinect 配置

正面方向から取得したモーションデータをベースにし、側面方向から取得した腕部分のモーションデータを抽出し、統合を行った。本研究では、BVH ファイル形式における MOTION 部の位置座標と回転角度を分けて扱うこととする。

BVH ファイル形式では各ノードがツリー構造となっており、ルートノードに近いほうが親ノードであり、遠いほうが子ノードである。子ノードの座標系は親ノードに対して相対的であり、特定の子ノードの位置座標や回転角度は、元となるルートノードからたどることができる。そのため、BVH ファイルの統合を行うとき、各ノードの平行移動については考えなくてもよい。

まず、位置座標について述べる。正面方向から取得した BVH ファイル形式における MOTION 部の位置座標を P_i 、側面方向から取得した BVH ファイル形式における MOTION 部の位置座標を Q_i とおく。統合したモーションデータの位置座標を V_i とすると次の式 (3.1) で表すことができる。ただし i は任意の関節を表す通し番号とする。

$$\mathbf{V}_i = \begin{cases} \mathbf{P}_i & (i \text{ が腕以外を表す場合}) \\ \mathbf{Q}_i & (i \text{ が腕を表す場合}) \end{cases} \quad (3.1)$$

次に回転角度について述べる。図 3.4 のように Kinect を直角に配置しているため Kinect の正面方向と側面方向では角度がずれてしまう。そのため、角度を補正する必要がある。角度を補正するために原点を通る y 軸を中心とした回転を行う。

正面方向から取得した BVH ファイル形式における MOTION 部の回転角度に基づいて生成した回転行列を \mathbf{F}_i 、側面方向から取得した BVH ファイル形式における MOTION 部の回転角度に基づいて生成した回転行列を \mathbf{S}_i とおく。統合したモーションデータの回転行列を \mathbf{R}_i とすると次の式 (3.2) で表すことができる。ただし i は任意の関節を表す通し番号とする。また、 $\mathbf{T}(\theta)_y$ は y 軸を中心とした任意の角度 θ による回転行列を表す。

$$\mathbf{R}_i = \begin{cases} \mathbf{F}_i & (i \text{ が腕以外を表す場合}) \\ \mathbf{S}_i \mathbf{T}(90^\circ)_y & (i \text{ が腕を表す場合}) \end{cases} \quad (3.2)$$

式 (3.1)、(3.2) から BVH ファイル形式の統合を行った。

第 4 章

評価

本章では、第3章で述べた手法に基づいたシステムから、基本のフォームと利用者のフォームの差異の理解度が向上するか実験を行う。取得したモーションデータを表示するプログラムは、3DグラフィックツールキットであるFK ToolKit System[29]を用いて作成した。

第3章で述べたように Kinect[15] のモーション取得の精度は、モーションデータを取得する方向によっては正確ではない。そのうえ、ダーツの基本フォームは、第2章で述べたように一つ一つ細かな動作のため、一度にすべての動作を矯正することはきわめて難しい。そこで検証はモーションの精度が比較的に高い、側面から取得した腕の動きのみに着目をして行なった。ダーツの基本動作で、側面からの動きの判定が行ないやすいセットアップ・テイクバック・フォロースルーにおける腕の高さのみに絞り、フォームの矯正を促すこととした。基本となるダーツフォームはプレイヤーがダーツを投げ、ダーツボードの中心に刺さったものとする。

4.1 実験

今回の実験は本研究における練習支援システムを利用した場合と利用しなかった場合において、プレイヤーが自分のダーツフォームと基本のダーツフォームに

おける相違点の理解力を測るものである。矯正箇所は腕の高さに絞り、ダーツをダーツボードの中心に向けて投てきを行なう。実験の際は、利用者には予め予備知識として、ダーツフォームを理解しておいてもらう。ダーツによって変化が生じるのを防ぐため、全て同じダーツで行った。支援システムの利用が「あり」のグループを15人と「なし」のグループを15人の、合計30人に実験を行った。

支援システムの利用が「あり」のグループの場合、支援システムでプレイヤーのダーツフォームの取得を行い、取得したフォームを第三者のダーツ上級者に「腕の高さの変化によってダーツフォームに違いが生じた」かを判断してもらう。ダーツ上級者が、ダーツフォームが「腕の高さが変化したことにより違いが生じた」と判断した場合、プレイヤーに支援システムで基本となるダーツフォームとの違いを確認してもらい、確認後に質問を行った。

支援システムの利用が「なし」のグループの場合、ダーツ投てき時に「ダーツフォームの腕の高さが変化したことによりダーツフォームに違いが生じた」と第三者であるダーツ上級者が判断するまで投てきを繰り返し行う。第三者であるダーツ上級者が「ダーツフォームの腕の高さが変化したことによりダーツフォームに違いが生じた」と判断した場合、質問を行った。

次の図4.1が質問内容である。

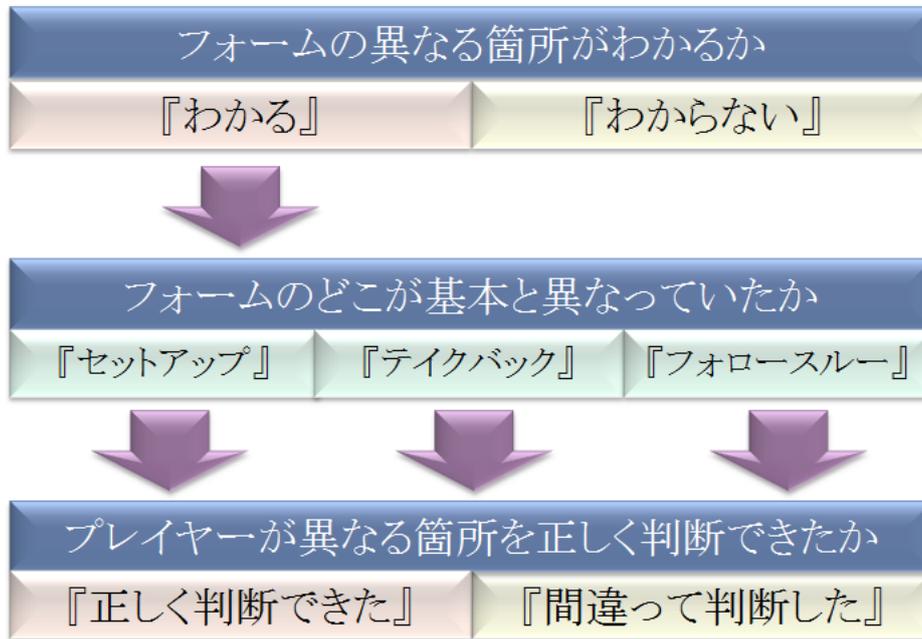


図 4.1: 質問内容

最初に「ダーツフォームの異なる箇所がわかるか」と質問を行い、「わかる」か「わからない」かを回答してもらう。次に「わかる」と回答した場合、「ダーツフォームのどの箇所が基本のダーツフォームと異なっていたか」と質問を行い、「セットアップ」、「テイクバック」、「フォロースルー」のどの箇所か回答してもらった。そして、プレイヤーが異なる箇所を判断できたか判定を行った。

4.2 検証

本研究のモーションデータ比較システムによって、比較することが可能となったダーツフォームにおいて、セットアップ・テイクバック・フォロースルーのそれぞれにおける基本のダーツフォームと異なっている点を述べる。緑色のダーツフォームが基本となるフォームである。青色が自身のダーツフォームである。

次の図 4.2 はセットアップ、図 4.3 はテイクバック、図 4.4 はフォロースルーにおけるダーツフォームの差異である。

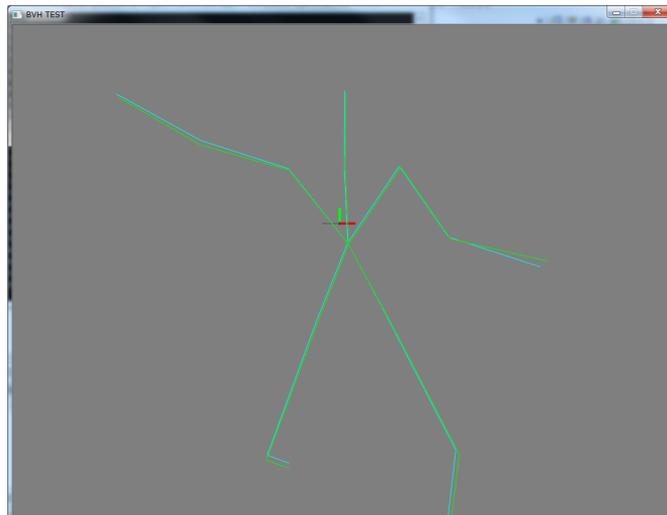
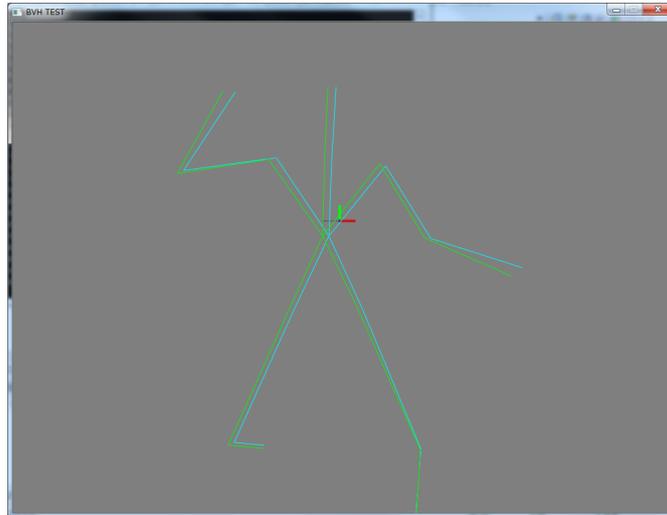
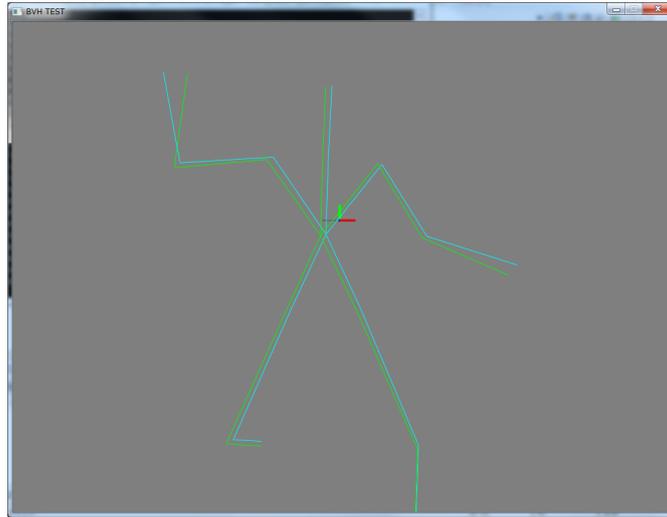


図 4.2: セットアップにおける差異

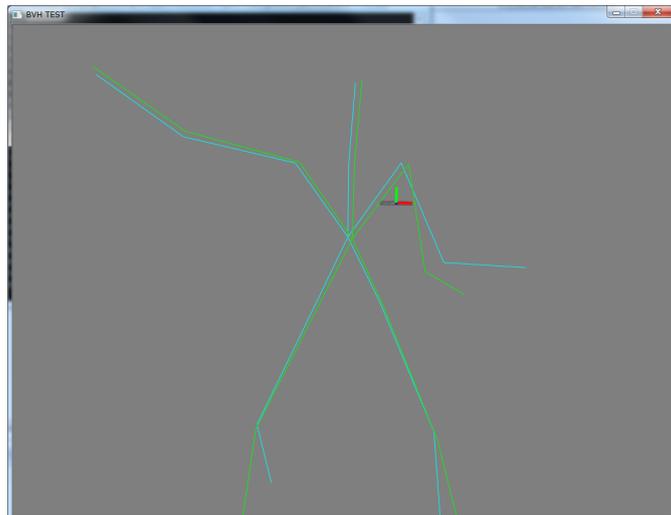
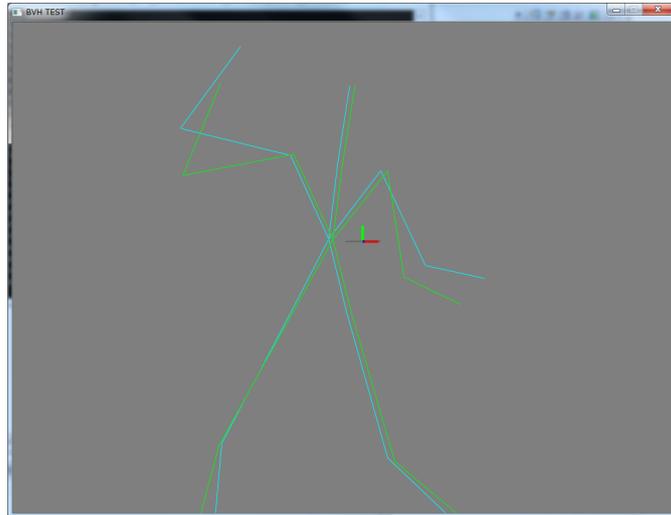
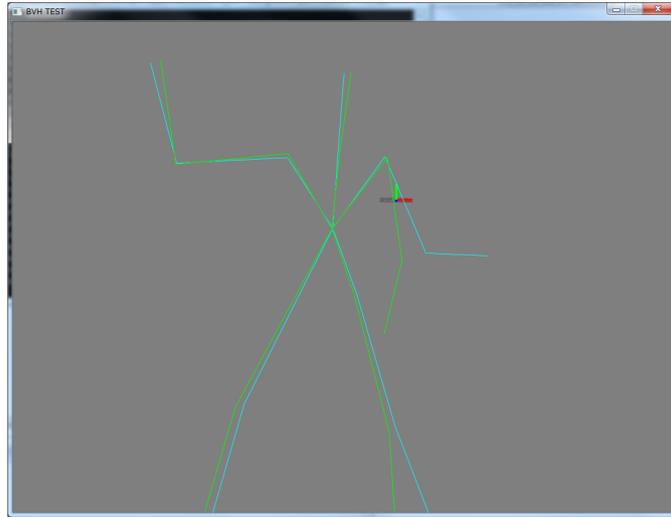


図 4.3: テイクバックにおける差異

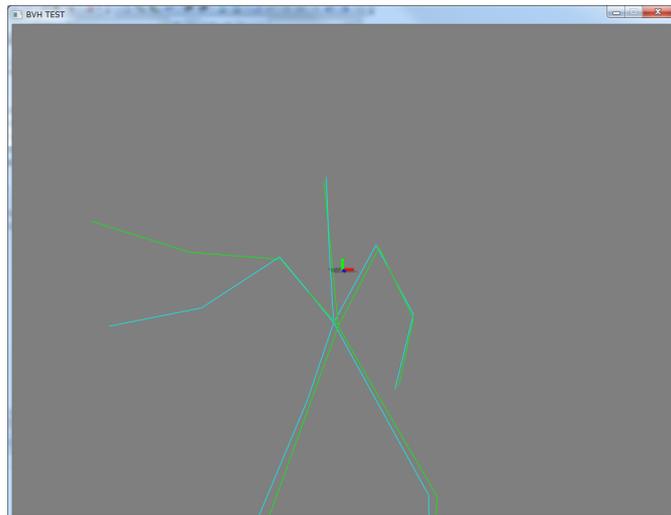
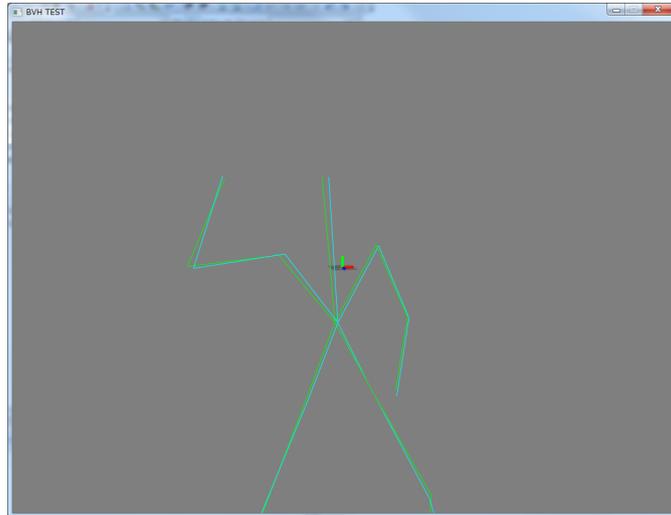
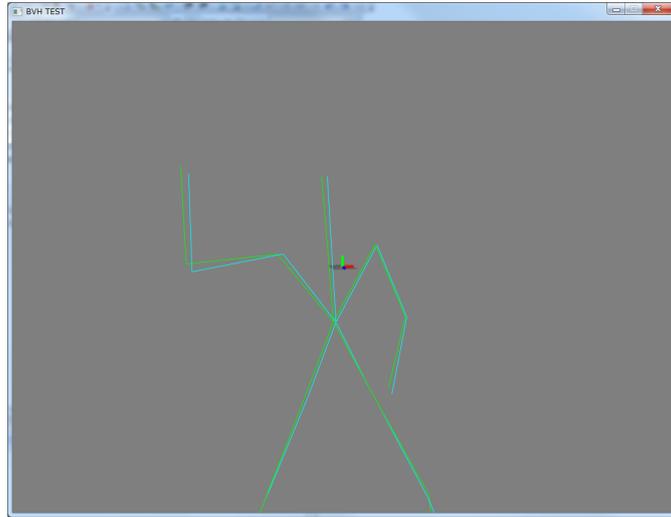


図 4.4: フォロースルーにおける差異

図 4.2 はセットアップ時に、肘の位置が基本のダーツフォームより左の位置になってしまったため、テイクバックまでの距離が変化し、ダーツボードの中心より上にダーツが刺さった。図 4.3 はテイクバック時に、肘の位置が基本のダーツフォームより高い位置になってしまったため、ダーツボードの中心より上にダーツが刺さった。図 4.4 はフォロースルー時に、腕全体の位置が基本のダーツフォームより低い位置になってしまったため、ダーツボードの中心より下にダーツが刺さった。これらの図 4.2、図 4.3、図 4.4 から見て分かるように、ダーツフォームの差異は明確である。また利き手に限らず、右利き・左利きでも同様の結果となった。

次の表 4.1 は本システムを利用した場合と、利用していない場合における質問に対する回答内容である。

表 4.1: 質問に対する回答内容

回答内容	あり	なし
異なる箇所が「わからない」回答	0 人	11 人
異なる箇所が「わかる」と回答して間違っ判断していた	0 人	1 人
異なる箇所が「わかる」と回答して正しく判断できていた	15 人	3 人

表 4.1 から、本システムの利用がない場合、多くの人が「わからない」と回答した。また、本システムを利用した場合、全ての人が「わかる」と回答した。

4.3 考察

検証の結果、本研究における練習支援システムを利用しなかった場合、質問にはほとんどの人が「わからない」と回答し、基本のダーツフォームと異なっている箇所を理解できていなかった。「わかる」と回答したのはダーツ経験が豊富な、上級者・中級者であった。

また、本研究における練習支援システムを利用した場合、質問には全員が「わかる」と回答し、プレイヤーが異なる箇所を正しく判断できており、基本のダーツフォームと異なっている箇所の理解度は向上した。

以上から、本研究における練習支援システムは、ダーツフォームの差異が明確にでき、利用者の理解度の向上へと繋がることが判明し、本システムは優位であることが実証された。現状の問題点としては、上級者においてダーツフォームの差異の理解度は向上しない点である。本研究における練習システムではダーツフォームの差異が大きければ大きいほど、差異は明確であるが、上級者のようにダーツフォーム差異が小さい場合、差異が明確ではなく理解度は低い。今後上級者においても、ダーツフォームにおける差異の理解度を向上させるために、動きを数値化するなどの練習支援システムの改良が挙げられる。

第 5 章

まとめ

本研究ではダーツにおいて、自身のダーツフォームと基本となるダーツフォームの差異を明確にするため、Kinect[15]を用いて自身のモーションの比較を可能にし、自身のダーツフォームを基本のダーツフォームに近づけることが出来るように矯正を促すシステムを実現した。

提案手法では Kinect を 2 台使用し、2つのモーションデータを統合することによって、Kinect でのモーションデータ取得の精度を向上させることが出来た。自身のダーツフォームを比較することでフォームの違いが明確になり、基本のダーツフォームへと矯正を促す足掛かりとなった。本研究によって自身のダーツフォームの改善箇所が明確になり、基本のダーツフォームへと矯正を促がせた。

今後の展望として、Kinect から取得するモーションデータの精度向上、より精密にダーツフォームの差異を測るシステムの提案、ダーツ上級者向けの練習環境の構築などを挙げる事が出来る。

謝辞

本研究を行うにあたり様々なご指導をしてくださった先生方、心強い助言をくださった先輩方、モーションキャプチャシステムでのモーション取得にご協力いただいた井上さん方、この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- [1] 大林千尋. ダーツを題材とした適応的運動学習支援システムの開発. 奈良先端科学技術大学院大学、情報科学研究科、情報生命科学専攻, 2010.
- [2] HONJOU Naoki, ISAKA Tadao, MITSUDA Takashi, and KAWAMURA Sadao. Proposal of method of sports skill learning using hmd. *Transactions of the Virtual Reality Society of Japan*, Vol. 10, No. 1, pp. 63–70, 2005-03-31.
- [3] Sakurai Shinji, Ikegami Yasuo, Yabe Kyonosuke, Okamoto Atsushi, and Toyoshima Shintaro. Three-dimensional cinematographic analysis of the arm movement during a fastball baseball pitch. *Research of physical education*, Vol. 35, No. 2, pp. 143–156, 1990-09-01.
- [4] Kasai Junichi, Mori Takeshi, Yoshimura Tadashi, and Ohta Akira. Studies of forehand strokes in table tennis by 3 dimensional analysis using the dlt method. *Waseda studies in human sciences*, Vol. 7, No. 1, pp. 119–127, 1994-03-25.
- [5] 海野敏. 身体動作を対象とした情報組織化の理論と実践:バレエ基本ステップの3次元モーションデータベース開発. *The Bulletin of Faculty of Sociology, Toyo University*, Vol. 41, No. 1, pp. 131–167, 2003-11.
- [6] Soga Asako and Myojin Yuka. Educational applications for learning rhythmic gymnastics rules using motion data (special section) production of digital

- contents -dcs'07-). *The journal of the Institute of Image Information and Television Engineers*, Vol. 62, No. 2, pp. 222–226, 2008-02-01.
- [7] 石井和喜, 曾我真人, 瀧寛和. モーションキャプチャシステムを利用した左右反転動作スキル習得支援環境の構築. 情報処理学会 インタラクション, 2011.
- [8] OHGI Yuji, Baba Toshiyuki, and Sakaguchi Isao. Development of golf swing diagnosing system using acceleration sensors and video camera. ジョイント・シンポジウム講演論文集 : スポーツ工学シンポジウム : シンポジウム:ヒューマン・ダイナミックス : symposium on sports engineering : symposium on human dynamics, Vol. 2004, pp. 177–181, 2004-11-09.
- [9] HOKARI Masaki, DOKI Hitoshi, and SAITO Tsuyoshi. Three-dimensional motion analysis of upper limb in basketball shot. *The Japanese journal of ergonomics*, Vol. 43, No. 2, pp. 81–87, 2007-04-15.
- [10] DOKI Hitoshi, HIROSE Kiyoshi, and HOKARI Masaki. A22 motion dynamics analysis of pivoting foot in baseball batting. ジョイント・シンポジウム講演論文集 : スポーツ工学シンポジウム : シンポジウム:ヒューマン・ダイナミックス : symposium on sports engineering : symposium on human dynamics, Vol. 2007, pp. 108–111, 2007-11-13.
- [11] HIROSE Kiyoshi and DOKI Hitoshi. A26 studies on the dynamic analysis of snowboarding turn. ジョイント・シンポジウム講演論文集 : スポーツ工学シンポジウム : シンポジウム:ヒューマン・ダイナミックス : symposium on sports engineering : symposium on human dynamics, Vol. 2008, pp. 133–136, 2008-11-05.
- [12] 岩間俊輔. ダーツ競技における定番戦略に対する数理的分析. 立教大学、情報学部、経営情報学科, 2006.

- [13] 西谷崇志, 原慎平, 井上真郷. ダーツ 01 ゲーム最適戦略 (各種ゲーム). 情報処理学会研究報告. GI, [ゲーム情報学], Vol. 2009, No. 27, pp. 101–108, 2009-03-02.
- [14] 下野達成. ダーツに熱中する人の心理～ダーツプレイヤー 24 人のインタビュー効果をもとに. 八戸大学, 2010.
- [15] Xbox 360 + Kinect. <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect/>.
- [16] Cory Walker Julio Montero Aalap Tripathy Maged N Kamel Boulos, Bryan J Blanchard and Ricardo Gutierrez-Osuna. Web gis in practice x: a microsoft kinect natural user interface for google earth navigation. *International Journal of Health Geographics 2011*.
- [17] Zhengyou Zhang Zhou Ren, Junsong Yuan. Robust hand gesture recognition based on finger- earth mover ' s distance with a commodity depth camera. *International Journal of Health Geographics 2011*.
- [18] Alessandro Soro Samuel A. Iacolina Riccardo Scateni Marco Careddu, Laura Carrus. Moravia(motion recognition and video annotation): A video-annotation system supporting gesture recognition. CHITALY' 11, September 13-16, 2011, Alghero, Italy.
- [19] Christopher McMurrough David Eckhard Paul Doliotis, Alexandra Stefan and Vassilis Athitsos. Comparing gesture recognition accuracy using color and depth information. *PETRA 2011 Crete, Greece Copyright 2011 ACM ISBN*.
- [20] ほえたん. ACTINIA Software. <http://actinia-software.com/>.
- [21] 岩永美保監修. いちばん勝てるダーツの本. 日東書院, 2009.
- [22] DARTSLIVE. はじめてのダーツ. <http://welcome.dartslive.jp/throw.html/>.

- [23] 超初心者からでも上達できるダーツ入門. <http://www.ex-darts.net/>.
- [24] PrimeSense 社. OpenNI (OpenNaturalInteraction) .
<http://www.openni.org/>.
- [25] MOCAP データファイル.
<http://www.tmps.org/index.php?MOCAP%A5%C7%A1%BC%A5%BF%A5%D5%A5%A1%A5%A4%A5%EB/>.
- [26] AREA. Alias Motion Builder. <http://area.autodesk.jp/product/motionbuilder/>.
- [27] Autodesk. 3ds MAX.
<http://www.autodesk.de/adsk/servlet/pc/index?siteID=1169823&id=14489140/>.
- [28] e frontier. Poser. <http://graphic.e-frontier.co.jp/poser/8/>.
- [29] Fine Kernel Project. Fine Kernel ToolKit System.
<http://fktoolkit.sourceforge.jp/.31/>.

付録 A

ダーツフォーム

ここでは、第2章において解説しなかった、ダーツフォームにおいて重要となるグリップについて解説を行う。

A.1 グリップ

ダーツの持ち方のことをグリップと呼び、人それぞれでいろいろな持ち方がある。グリップで重要となる点はダーツのバランスを崩さないことである。一般的には、3フィンガー・グリップと呼ぶ三本指で握る持ち方と、4フィンガー・グリップと呼ぶ四本指で握る持ち方がある。下の図はそれぞれ図 A.1 が3フィンガー・グリップ、図 A.2 が4フィンガー・グリップの握り方である。



図 A.1: 3フィンガー・グリップ (DARTSLIVE より引用)

3フィンガー・グリップは人差し指にダーツを乗せ、水平となる場所を探す。そこを親指で上から支え、他の指を軽く添える。



図 A.2: 4フィンガー・グリップ (DARTSLIVE より引用)

4フィンガー・グリップは人差し指と中指で、ダーツが水平になる場所を探す。そこを親指で上から支え、他の指を軽く添える。

付録 B

BVH ファイル形式

第 3.2 節でも軽く述べたが、ここでは第 3.2 節より詳しく BVH ファイル形式について述べる。付録 B.1 節で HIERARCHY 部について、付録 B.2 節で MOTION 部について、付録 B.3 節で HIERARCHY 部と MOTION 部の対応について詳しく記述する。

B.1 HIERARCHY 部

HIERARCHY キーワードで始まる部分では、スケルトンの構造を定義する。各関節の初期オフセット（ボーンの長さや初期方向）、関節の親子接続関係、そして関節自由度の情報を記述する。BVH ファイルにおける関節自由度とは、オイラー角形式で記述した回転情報から、関節回転を表す変換行列（もしくはクォータニオン）を合成するための情報である。つまり、回転軸となる軸の種類と数、回転の合成順序を記述している。なお、ルートノードには 3 次元位置の自由度も与えることができる。

- HIERARCHY
 - － スケルトン階層構造の定義を宣言
- JOINT（関節ノード）

- OFFSET と CHANNELS (回転のみ) を要素を持つ
- 必ず1つ以上の JOINT、End を子ノードを持つ
- ROOT (ルートノード)
 - 階層構造の唯一の始点となる特殊な JOINT
 - OFFSET, CHANNELS (位置と回転) を要素を持つ
 - 必ず1つ以上の JOINT もしくは End を子ノードを持つ
- End (エフェクタ)
 - 階層構造の末端ノードとなる特殊な JOINT
 - OFFSET のみを要素を持つ
 - 子ノードは持たない
- OFFSET (関節オフセットベクトル)
 - 親ノードから関節ノードへの3次元オフセット成分
 - ルートノードの場合は、ワールド座標系における初期位置
 - X-Y-Z の順序で記述
- CHANNELS (関節自由度)
 - 関節自由度数に続き、位置の自由度 (Xposition, Yposition, Zposition)、回転の自由度 (Xrotation, Yrotation, Zrotation) を、ルートノードから末端に向かう順序に定義する

B.2 MOTION 部

MOTION 部には、HIERARCHY 部で定義した関節自由度に対応して、ルート位置と関節回転角の時系列情報を記述する。まず、MOTION 部で利用するキーワードを次に列挙する。

