





図 1 KINECT センサー

引き指導用の測定器を用いて、動作速度を測るシステムを開発し中学校の技術室において鋸引きの学習を実践している。しかし、この装置では、鋸引きの動作速度という限られた箇所の動作のみを定量化しているため、体全体の動きを把握したり、作業箇所以外の動作を把握したりすることができない。

そこで筆者らは、一般的な教育施設で容易に使用できるモーションキャプチャによる動作分析システムの開発を目的として本研究に取り組んだ。その結果、KINECT センサーを用いることで、公立学校の一般教室でも使用可能な動作分析システムを開発できた。本論文では、開発した動作分析システムおよび開発システムの授業による評価試験の結果について述べる。

## 2. KINECT センサーについて

KINECT センサーとは、Microsoft 社が家庭用ゲーム機である Xbox360<sup>8)</sup> 用のコントローラーとして製造したものである。

KINECT センサーは、近赤外線を利用した距離画像センサーと映像センサー（ビデオカメラ）を内蔵しており、これらのセンサー情報を KINECT センサーの内部に搭載されているプロセッサで処理し、関節部位の位置座標を算出することができる<sup>9)</sup>。そのため、使用者がマーカーや特殊な装置を身に付けなくてもモーションキャプチャを実行できる。図 1 に KINECT センサーを示す。

PC 上の画面で KINECT センサーを動作させるソフトウェア OpenNI<sup>10)</sup> とミドルウェアの NITE<sup>11)</sup> を利用して人体の関節部位を認識することができる。OpenNI と NITE を利用して、鉋がけ動作時の各関節部位を認識した状態の実行画面を図 2 に示す。

図 2 の左は関節部位を認識し各関節を線でつないでできた画像であり、右は KINECT センサー内部のカメラで撮影した画像である。各関節部位は 3 軸の座標値としてコンピュータに保存される。

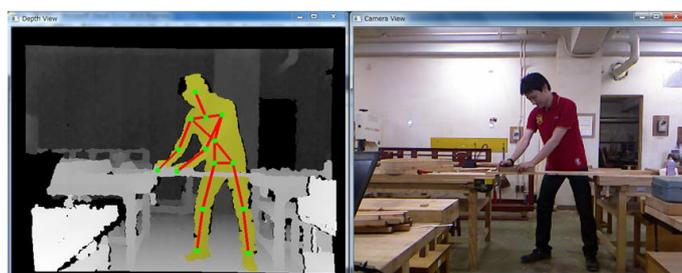


図 2 キャプチャした画像、関節部位の画像 (左)、内蔵カメラによる画像 (右)

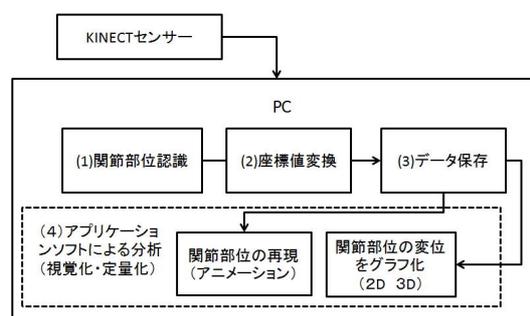


図 3 システムの概要

## 3. 開発したシステム

### 3.1 システムの概要

開発したシステムでは、KINECT センサーを用いることにより、身体関節部位を推定し、各部位の 3 次元における位置座標 (単位は mm) を一定時間間隔で取得し CSV 形式で保存する。そして、取得した位置座標を基に人体の各部位の変位や、全体の動作を比較することにより作業動作を分析する。システムの概要を図 3 に示す。また、KINECT センサーと PC を接続したシステムの概観を図 4 に示す。

### 3.2 モーションキャプチャのプログラム

モーションキャプチャプログラムを Processing<sup>12)13)</sup> を用いて作成した。作成したプログラムでは、図 3 の (1) 関節部位の認識と (2) 座標値変換に関しては OpenNI を Processing のプログラムから起動させることにより実行し、図 3 の (3) データ保存には、Processing を用いて、関節部位の座標値を保存できるプログラムを作成した。プログラムのフローチャートを図 5 に、作成したプログラムの実行画面を図 6 に示す。図 6 の「データ取得」ボタンにより、モーションキャプチャを開始する。Processing から OpenNI を利用

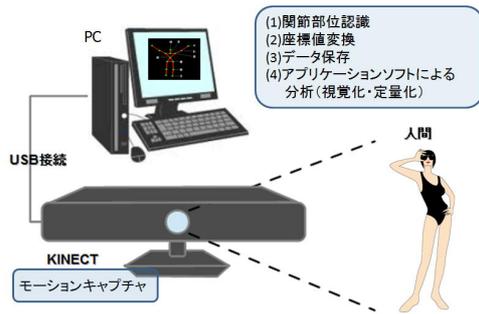


図4 システムの概観

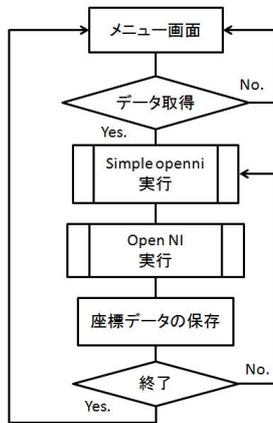


図5 プログラムのフローチャート

するため、Simple openni<sup>14)</sup>を利用した。Simple openni は、OpenNI を Processing のプログラムから起動させるために提供されているライブラリーである。モーションキャプチャは、OpenNI の起動によりミドルウェアである NITE も合わせて起動することにより開始する。モーションキャプチャ開始時に被写体は、キャリブレーションのためのポーズ<sup>15)</sup>を取る必要がある。キャリブレーションが成功すると、頭・首・胴・肩・肘・手・腰・膝・足が関節として認識される。認識された各関節部位とその名称を図7に示す。PC 画面では、図2で示した内蔵カメラによる画像と関節部位の画像を見ることができる。同時に、各関節部位の座標 (x, y, z) を取得することができる。各座標は図2の水平方向が x, 垂直方向が y, Kinect センサーから被写体までの距離が z の各座標値 (単位は mm) で記録される。作成したプログラムでは取得した値を一定時間間隔で CSV 形式で保存できるようにした。保存する時間間隔は、0.33 秒 (1 秒間に 30 フレーム) とした。キャプチャは、実行画面右上の「×」ボタン (図2) により終了する。

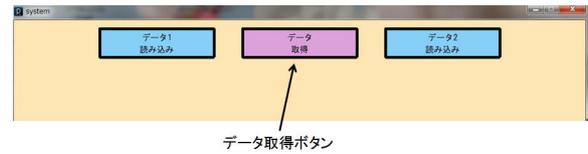


図6 実行画面

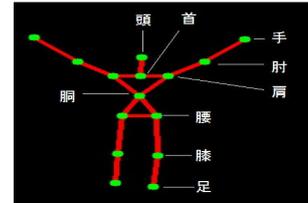


図7 各部の名称と関節部位

### 3.3 データの利用

データは各関節部位の x, y, z 座標の値 (mm) を記録しているため、CSV 形式のデータを利用できるアプリケーションソフトによって「図3の(4)アプリケーションソフト」による分析が可能となる。保存したデータの一部を Microsoft Excel で読み込んだ画像を図8に示す。この機能により、LibreOffice-Calc<sup>16)</sup> や GraphR<sup>17)</sup> も利用可能となり、任意の関節における動きを 3D で簡単に表示できる。筆者らは、これら既存のアプリケーションソフトに加え、独自に開発したプログラムにより、座標値から各関節の変位をグラフ化するだけでなく、動作をアニメーションで再現できるプログラムを作成した。

## 4. 動作分析プログラム

筆者らは、保存されたデータを読み込み、各関節の変位の様子を「時間の経過における変位」、「空間における変位」、「アニメーションによるモーションの再生」の3つを可能にするプログラムを作成した。プログラムは Processing

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	頭(x)	首(x)	胴(x)	左肩(x)	左肘(x)	左手(x)	右肩(x)	右肘(x)
2	8	-6	-14	-147	-414	-383	135	406
3	9	-6	-14	-148	-411	-385	135	407
4	8	-5	-14	-149	-411	-387	137	409
5	9	-6	-14	-150	-412	-386	137	410
6	9	-7	-14	-152	-412	-386	137	411
7	8	-7	-13	-152	-410	-388	138	411
8	8	-6	-13	-151	-408	-385	138	411
9	8	-5	-11	-151	-408	-389	139	412
10	8	-5	-11	-150	-408	-389	139	412
11	8	-5	-10	-150	-404	-391	139	412
12	8	-4	-11	-149	-404	-389	139	412
13	9	-3	-10	-148	-401	-392	140	412
14	9	-3	-11	-147	-401	-392	140	412
15	8	-3	-11	-146	-399	-389	140	412

図8 保存されたデータ

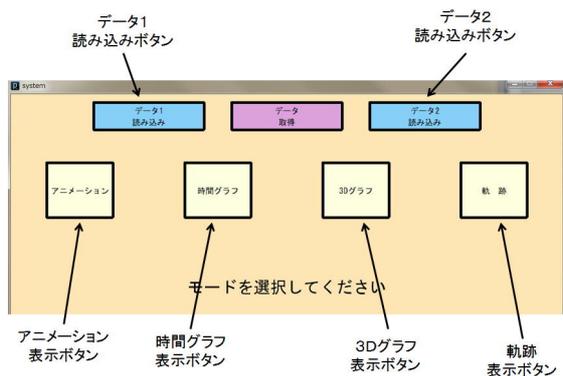


図9 メニュー画面

を用いて作成し、モーションキャプチャプログラムと結合した。図6の「データ1読み込み」ボタンを押すことで、モーションキャプチャしたデータを読み込む。データが読み込まれると、それぞれの機能を選択するメニュー画面が表示される。表示されるメニュー画面を図9に示す。同様に「データ2読み込み」ボタンを押すことで別のデータを読み込むことができる。アニメーションやグラフは二つのデータまで扱うことができたようにした。選択したボタンによりそれぞれのプログラムが実行される。プログラム実行後は、マウスの右ボタンにより再びメニュー画面に戻るようにした。

以降、図9の「アニメーション」「時間グラフ」「3Dグラフ」「軌跡」のボタンにより実行されるプログラムについて「鉋がけ動作」(図2)をキャプチャしたデータを基に述べる。

#### 4.1 時間の経過による変位の比較

図9の「時間グラフ」ボタンにより各関節座標の一成分の時間軸による変位の変化量を示すグラフを表示する。図10に実行画面を示す。各成分は図10の左上の丸からマウスで選択でき、関節は図10左の人関節モデルの丸をマウスで選択することで、各データのグラフを表示することができる。

図11のグラフは、2名の学生がかんながけを20回行った時の右肘のx成分の時間による変位を示したものである。

#### 4.2 空間や平面における変位の比較

図9の「3Dグラフ」ボタンにより、指定した関節の動きの軌跡を3次元グラフで見ることができる。図12に、2名の学生がかんながけを20回行った時の右肘のxyz空間における軌跡を3次元グラフ化したものを示す。KINECTセンサーから見て水平方向(左右の方向)がグラフのx軸、垂直方向(上下方向)がy軸、距離(奥行き)がz軸になる。

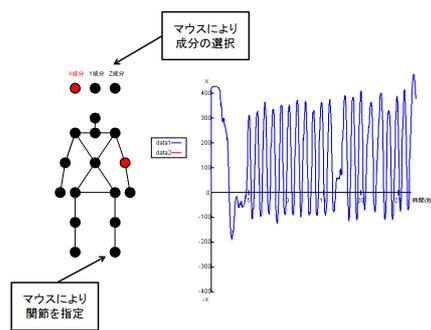


図10 時間と変位(一人)

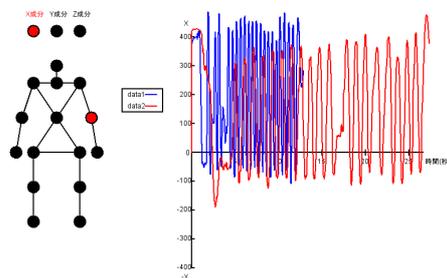


図11 時間と変位(二人)

関節の指定は、図12の左に示した各関節にマウスカーソルを合わせることで任意に選択できる。

3次元グラフでは、x軸、y軸、z軸のすべての情報が含まれているため、指定関節の空間的な動きを把握することができる。また、このプログラムではグラフを回転させることも可能であるため、指定関節の空間的な動きの軌跡を様々な角度から見る事ができる。グラフの回転はキーボードの“←”“→”“↑”“↓”キーと“SHIFT”“CTRL”キーにより制御する。さらに“;”“-”キーでグラフ表示の拡大と縮小ができる。

3次元グラフを回転させることで2次元平面で見事もできる。“1”“2”“3”キーでxy, yz, zxの各平面が表示されるようにした。図13は図12のグラフをxy, yz, zx平面から表示したものである。

平面で見たときの利便性は、二つの変位の軌跡が重なっている場合の比較の際に、その差を明確に確認できることである。

このように開発したプログラムでは、指定した関節の動きを空間(3次元)的に捉えることも、平面(2次元)的に捉える事もできる。

表1に3次元グラフの操作キーを示す。

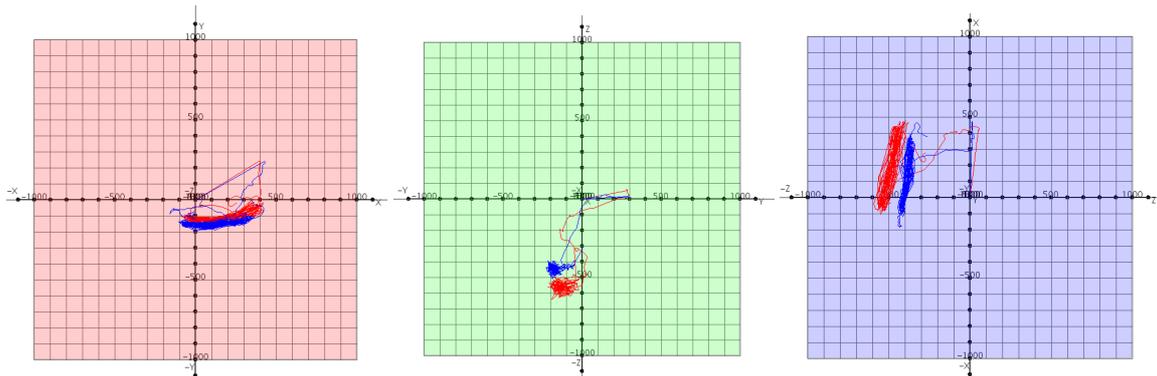


図 13 2次元グラフ

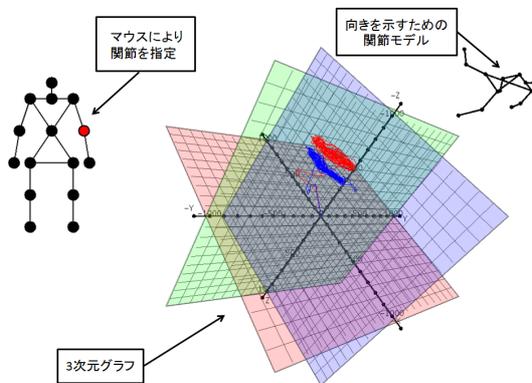


図 12 3次元グラフ

表 1 3次元グラフの操作キー

操作キー	機能
「←」 or 「→」	X 軸の回転
「↑」 or 「↓」	Y 軸の回転
「SHIFT」 or 「CTRL」	Z 軸の回転
「;」	拡大
「-」	縮小
「1」	xy 平面表示
「2」	yz 平面表示
「3」	zx 平面表示
「BACKSPACE」	リセット

### 4.3 アニメーションによる再現

図 9 の「アニメーション」ボタンにより読み込んだデータをアニメーションで再現することができる。これによって、キャプチャした人物の各関節の動きを視覚的に捉えることができる。また、任意に回転させることが可能なため様々な角度から見る事ができる。図 14 と図 15 にアニメーションで再現した画面を示す。

アニメーション機能だけでなく、3次元グラフの時と同じ操作で回転と拡大・縮小が可能である。さらに、「1」「2」キーを押すことで 2 人のモデルを重ね合わせたり離したりして表示できる。また、「d」「s」キーでアニメーションの速さの調節、「p」「l」キーでアニメーションの停止と再開も可能としている。表 2 にアニメーションの操作キーを示す。

### 4.4 アニメーションからグラフへ

図 9 の「軌跡」ボタンより、アニメーション画像の動きの軌跡から 3D グラフや 2D グラフを描く。アニメーション

の動きから軌跡を描くため、グラフの複雑な線が関節の変位であることを簡単に認識できる。図 16 に実行画面を示す。図 16 は、二つのデータの肘関節の軌跡を 2D グラフ上で描いているものである。

## 5. 評価試験

開発したシステムを用いた技能の学習を静岡県内の公立中学校 2 校 (中学 1 年生 58 名) で実施した。中学校技術・家庭 (技術分野) の学習内容「材料と加工に関する技術」の「木材加工：鉋がけの学習」(50 分) で実施した。

### 5.1 授業内容

授業では、ノート型 PC(OS:windows7)1 台と KINECT センサー 1 台、大画面モニター 1 台を技術室内で接続した。準備した角材および鉋を用いて、教員と生徒 1 名から 2 名の鉋がけ動作のモーションキャプチャを行った。モーションキャプチャの様子は画面モニターで確認できるようにした。キャプチャしたデータはその場でアニメーション画像で示したり、3次元グラフや 2次元グラフで各関節の変

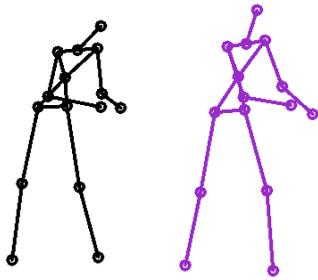


図 14 アニメーション画像 (正面から見た画像)



図 15 アニメーション画像 (上から見た画像)

位を示したりして、教員と生徒の動作を比較しその違いを考えさせた。授業の様子を図 17 に示す。

## 5.2 アンケート調査

授業後にアンケート調査を行った。アンケートの質問内容を下記に示す。

1. モーションキャプチャとは、どんなものかわかりましたか。
2. アニメーションでは、動きの違いがよくわかりましたか。
3. グラフでは、動きの違いがよくわかりましたか。
4. 今日の授業を通しての感想を書いてください。

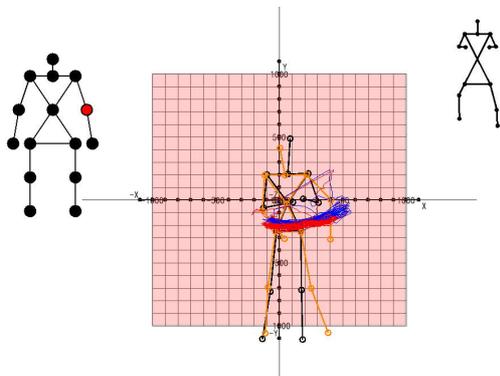


図 16 軌跡を描くアニメーション画像 (2D)

表 2 アニメーションの操作キー

操作キー	機能
「←」 or 「→」	X 軸の回転
「↑」 or 「↓」	Y 軸の回転
「SHIFT」 or 「CTRL」	Z 軸の回転
「BACKSPACE」	リセット
「;」	拡大
「-」	縮小
「1」	モデルを重ねて表示
「2」	モデルを分離して表示
「ENTER」	始めから再生
「d」	再生速度減
「s」	再生速度増
「p」	一時停止
「1」	アニメーションの再開
「n」	データ 1 のコマ送り
「m」	データ 2 のコマ送り



図 17 授業の様子

質問 (1) から (3) の回答は、「5・よくわかった」「4・少しわかった」「3・どちらでもない」「2・あまりわからなかった」「1・全くわからなかった」の中から選択させた。以後「5」と「4」の回答を肯定的回答「2」と「1」を否定的回答とする。質問 (4) に関しては、自由記述で回答を求めた。

質問 (1) では、「鉋がけ動作」が関節部位の形で認識され、それを基に任意の関節の変位をグラフ化したり、アニメーションで再現したりできる本システムの機能の概要を把握できるかどうかを調べることを目的とした。

質問 (2) では、アニメーションによる動作の比較で動きの違いを把握できたのかどうかを調べることを目的とした。

質問 (3) では、3D グラフや 2D グラフから、各関節の動きの違いを把握できたのかどうかを調べることを目的とした。

表 3 回答結果

回答	n=58 人 (%)		
	質問 (1)	質問 (2)	質問 (3)
5	14(24.1)	15(25.9)	20(34.5)
4	42(72.4)	38(65.5)	30(51.7)
3	2(3.4)	2(3.4)	7(12.1)
2	0(0.0)	3(5.2)	1(1.7)
1	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)

### 5.3 授業の結果

開発したシステムは、一般の公立中学校の技術室で利用できることがわかった。また、PC と大型モニタを接続することにより、授業に参加した生徒全員がモーションキャプチャの過程やキャプチャした動作を確認できた。そのため、モーションキャプチャしていない生徒たちにも、学習内容がわかりやすくなった。

質問 (1) から (3) の結果を表 3 に示す。表 3 よりそれぞれの質問に対して肯定的回答が 85 % を超えていることがわかった。これにより、開発したシステムの概要や関節部位の動きをアニメーションやグラフで比較することが、生徒たちにとって難しいという印象を与えなかったことがわかった。

生徒の感想の一部を図 18 に示す。図 18 の 1 から 6 の感想から、生徒たちは本システムの機能の概要を把握できていると考えられる。また、図 18 の 7 から 11 の感想から、本システムのアニメーション機能が「鉋がけ」の学習に効果的であったことがわかる。さらに、図 18 の 12 から 15 の感想から、各関節の変位をグラフ化する機能もアニメーション機能と同様に効果的であったことがわかる。これらの感想は、質問 (1) から質問 (3) の肯定的回答が多かった理由を裏付けていると言える。

## 6. 考察

開発したシステムが、二つの公立中学校の技術室で使用できたのは、図 3 で示したように KINECT センサーと PC だけで動作するとい簡単なシステム構成であるためである。公立中学校の技術室は一般教室の環境に比較して工作機械や作業台が置かれているため、床面積がやや広い教室であったが開発したシステムは、KINECT センサーと PC を設置できる机 (45cm × 70cm 程度の天板面積) があればモーションキャプチャを実行できる。したがって、システムの設置に広い床面積を必要としないため一般教室でも使用が可能であると考えられる。さらには、より床面積が広い体育館のような施設でも使用可能であるとも考えら

1	モーションキャプチャのことがよくわかった。
2	慣れてくると動きが早くなる。動きや関節を確認する映像をセーブして見れてすごい。
3	人間や物を認識するのがすごい。
4	実際にかんながけするよりも面白い。
5	動きがデータとして出るのがすごい。
6	他の動作もとってみたい (サッカー・水泳)。
7	アニメーションで 2 人の違いがよくわかった。
8	アニメでみるのとグラフで見るとは違う。
9	アニメやグラフで関節部分の動きがどう動いているか、どこが大切かわかった。
10	かんながけは全身使うものだと思った。
11	かんながけが上手く行かなかった理由がアニメーションを見てよくわかった。
12	座標を使って見れるのがすごい。
13	座標で無駄な動きがわかった。
14	グラフではアニメーションだけではわからなかった違いがわかった。
15	ピンポイントの動きを確認できていい。

図 18 生徒の感想

れる。

アンケートの質問 (1) から (3) の回答に肯定的な回答が多かった理由は、大型モニタ通して生徒たち全員がモーションキャプチャの様子やキャプチャしたデータのアニメーションによる再現およびグラフ化を授業の中で確認することができたからである。開発したシステムが簡易なシステム構成であることと同時に、作成したプログラムによるアニメーションやグラフ表示機能がその場で対応できる仕組みであることから、生徒たちの学習意欲を損なうことなく授業が実施できたことも要因であると考えられる。

技術教育における技能の学習は、見よう見まねで体験を通して学習していく方法が一般的であるが、本システムでは見た記憶、まねた動作等をその場で客観的に再現できる。また、アニメーションによる再現だけでなく、グラフ化による関節の変位を定量的に把握できるため、自らの動作の一部に着眼したり、動作の違いを数値により比較したりする等の分析的、定量的解釈へと導く。そのために、質問 (2) や (3) に対する肯定的な回答が多かったと考えられる。

## 7. まとめ

KINECT センサーを用いた作業動作分析システムを開発した。開発システムは、簡易なシステムの構成であるために、一般の公立中学校で使用できることがわかった。さらには、開発したシステムを用いた中学校技術・家庭 (技術分野) の授業では、「鉋がけ」作業という技能の学習に使用できることもわかった。

これにより、一般的な教育施設でも容易にモーションキャプチャを取り入れた学習が可能となった。また、技術教育における技能学習場面においては従来のように教員の感覚に任せた教育だけでなく、科学的・定量的な教育も可能となると期待できる。今後は様々な動作をキャプチャしたり、作業が上手い人と下手な人の比較をしたりして、技能を定量的に比較することを行っていきたい。また、生活の動作やスポーツにおける動作など技術・家庭(技術分野)以外の学習においても有効であることを示していきたい。

### 参考文献

- 1) 白鳥貴亮, 中澤篤志, 池内克史: モーションキャプチャと音楽情報を用いた舞踊動作解析手法, 電子情報通信学会誌, J88-D(8)(2005)
- 2) 阿部真美子, 山本知幸, 藤波努: 技能習得における身体動作のモーションキャプチャを用いた解析, 情報処理学会第 65 回全国大会 (2004)
- 3) 稲葉洋, 瀧剛志, 宮崎慎也, 長谷川純一, 肥田満裕, 山本英弘, 北川薫: スポーツ動作分析の支援を目的とした人体センシング情報の可視化提示法, 芸術科学会論文誌, Vol.2, No.3, pp.94-100 (2003)
- 4) 陳廣元, 山下晃功, 芝木邦也, 田中千秋: 木工具による作業動作の 3 次元分析 (第 1 報) 木工技能熟練者のかんな削り動作の基本形態, 木材学会誌, Vol.48, No.2, pp.80-88(2002)
- 5) 陳廣元, 山下晃功, 芝木邦也, 田中千秋: 木工具による作業動作の 3 次元分析 (第 2 報) 木工技能熟練者と未熟練者ののこぎりびき動作の比較, 木材学会誌, Vol.49, No.3, pp.171-178(2003)
- 6) 陳廣元, 山下晃功, 芝木邦也, 田中千秋: 木工具による作業動作の 3 次元分析 (第 3 報) 木工技能熟練者と未熟練者ののこぎり打ち動作の比較, 木材学会誌, Vol.49, No.5, pp.348-354(2003)
- 7) 白石拓弥, 岡村吉永, 弘中誠, 中村一文: 測定器を用いたのこぎりびき学習指導方法の検討, 日本産業技術教育学会誌, 第 51 巻, 第 1 号, pp.1-6(2009)
- 8) Xbox360:<http://www.xbox.com/ja-JP/xbox360>(2013.3.4)
- 9) 西林孝, 小野憲史: キネクトハッカーズマニュアル, ルナテック, pp.10-20(2011)
- 10) 谷尻豊寿: KINECT センサー画像処理プログラミング-身体の動きがコントローラ C++で Kinect プログラミング, カットシステム, pp.116-147(2011)
- 11) 西林孝, 小野憲史: キネクトハッカーズマニュアル, ルナテック, pp.30-35(2011)
- 12) 田原淳一郎: Processing プログラミング入門, カットシステム (2010)
- 13) Processing:<http://processing.org/>(2012.9.14)
- 14) Simple-opensni:<http://code.google.com/p/simple-opensni/>(2013.1.30)
- 15) 谷尻豊寿: KINECT センサー画像処理プログラミング-身体の動きがコントローラ C++で Kinect プログラミング, カットシステム, pp.129-130(2011)
- 16) LibreOffice:<http://ja.libreoffice.org/>(2012.5.14)
- 17) GraphR:<http://www.graph-project.com/?pageid=34>(2012.5.14)

### Abstract

We developed a basic motion analysis system using a sensor KINECT. Our system estimates the positions of joints of the human body and obtains 3D coordinate data on joint positions at fixed intervals. As a result we can see the motion of the joints through digitally replicated animation and quantitatively analyze 3D coordinate data on joint positions. Results of woodworking within the technology curriculum of a junior high school show that our system was effective in developing students' skills and enables skill learning with motion capture in a conventional class.

Key words: Motion capture, Sensor KINECT, Skill learning, Technology education