

KINECT センサーを用いた簡易動作分析システムの開発

紅林 秀治^{1,a)} 小林 健太² 兼宗 進^{3,b)}

概要: KINECT センサーを用いた簡易動作分析システムの開発を行った。開発したシステムでは、KINECT センサーを用いることにより、身体の関節部位を推定し、各部位の位置座標を一定時間間隔で取得できる。さらに、取得した位置座標を基に、関節部位で構成するアニメーションで再現したり、関節各部位の変位をグラフ化したりすることにより、動作を視覚的、定量的に比較することができる。開発したシステムを用いて中学校技術・家庭(技術分野)の授業(木材加工)を行った結果、技能の学習に効果があることがわかった。

Development of a basic motion analysis system using a sensor KINECT

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.

1. はじめに

人の動きを考える中で、動作を解析していくというものは必要不可欠であり、現在では人体の動作を解析するためのシステムが多数存在する。

芸能の世界では、白鳥や中島らにより舞踊の動作を解析するために、光学式モーションキャプチャを使ったシステムを使用している [1]。また阿部らは、陶芸における技能測定・解析のために磁気式モーションキャプチャを使ったシステムを使用している [2]。さらに稲葉らは 2 台のカメラとフォースプレートに加えて、筋肉の電位を測ることにより人体の動作を解析している [3]。これらの装置は技能学習においても大変有効であると考えられる。

中学校や高等学校での技術教育における技能学習を考え

てみたとき、今まで生徒は教科書を見て学ぶか教員の手本を見て真似をするということしかできなかった。しかし、これでは教員の経験や感覚に大きく左右され、客観的・定量的な技能教育ができないと考えられる。そこで、モーションキャプチャによって動作を解析しで指導することができれば、科学的・定量的な技能教育が可能となる。

技術教育の分野では、島根大学の陳らが木材加工における「鉋がけ」、「鋸びき」、「釘打ち」についての動作解析を行っている [4][5][6]。これは、ハイスピードカメラ 2 台で撮影した映像を 3 次元解析ソフトの「ムービース」を使用して動作を解析するものである。そして、人間の体を関節ごと繋いだ線で表現し、動作をアニメーションで確認できる。アニメーションは 3 次元データで再現されているため、コンピュータ画面上で様々な角度から確認することができる。さらに、各関節の変位をグラフ化することもできる。しかし、これらの装置では特殊な装置や設備が必要とされるため、一般的な教育施設で使用することは不可能である。

そこで筆者らは、KINECT センサーを用いて一般的な教育施設で容易に使用できる動作分析システムの開発を試みた。本論文では、開発した動作分析システムについて述べる。

¹ 静岡大学
Shizuoka University, 836 Oya Surugaku Shizuoka city,
Shizuoka prf. 422-8592, Japan

² 静岡大学大学院(学生)
Graduate School of Shizuoka University

³ 大阪電気通信大学
Osaka Electro-Communication University, 18-8 Hatsumachi
Neyagawa city, Osaka 572-8530, Japan

a) eskureb@ipc.shizuoka.ac.jp

b) kanemune@isc.osakac.ac.jp



図 1 KINECT センサー
 Fig. 1 KINECT sensor

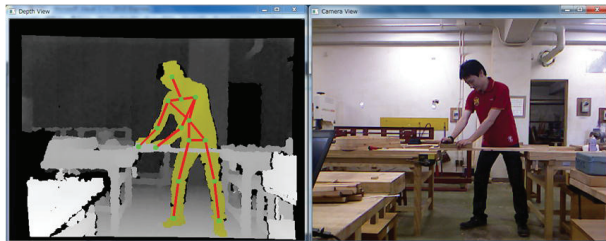


図 2 キャプチャした画像
 (右) 内蔵カメラによる画像 (左) 関節部位の画像

Fig. 2 Graphics of motion capture.
 Picture of built-in cameras(right).Picture of joint sites(left).

2. KINECT センサーについて

KINECT センサーとは、Microsoft 社がテレビゲームである Xbox360 用のコントローラーとして発売したものであり、いくつかのセンサーが内蔵されている。図 1 に KINECT センサーを示す。

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。そのため、使用者がマーカーや特殊な装置を身に着けなくてもモーションキャプチャを実行できる。

KINECT センサーを接続した PC 上の画面で OpenNI*1 と NITE*2[7] を利用して人体の関節部位をキャプチャしたものを図 2 に示す。

図 2 の右は KINECT センサー内部のカメラで撮影した画像であり、左は関節部位をキャプチャした画像である。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。

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

*1 v1.10.41

*2 v1.3.1.5

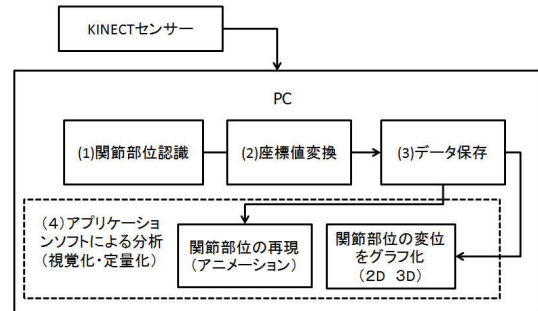


図 3 システムの概要
 Fig. 3 Outline of system.

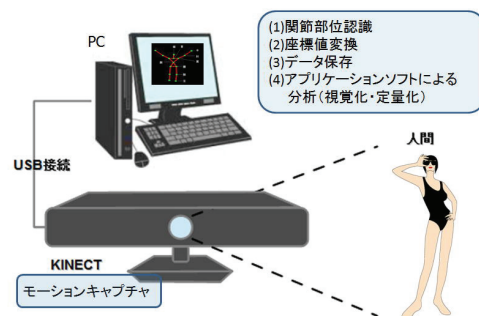


図 4 システムの概観
 Fig. 4 Overview of system.

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

開発したシステムでは、図 3 の (1) 関節部位の認識と (2) 座標値変換に関しては OpenNI と NITE を使用し、図 3 の (3) データ保存には、谷尻氏が作成したプログラム [8] を参考に関節部位の座標値を保存できるプログラムを作成した。作成したモーションキャプチャプログラムの実行画面を図 5 に示す。図 5 の「スタート」ボタンにより、キャプチャを開始する。OpenNI を利用しているため、最初にキャリブレーションのためのポーズを取る必要がある。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 6 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。各関節部位の座標 (x, y, z) を取得 (単位は mm) することができるため、作成したプログラムでは取得した値を一定時間間隔で保存できるようにした。保存する時間間隔は、図 5 に示されている、0.33 秒、0.1 秒、0.5 秒中からを選択できるようにした。図 5 の「ストップ」ボタンによりキャプ



図 5 実行画面

Fig. 5 Execution screen.

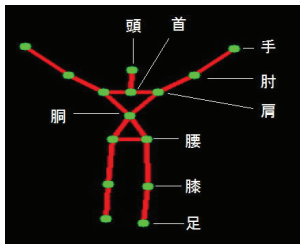


図 6 各部の名称と関節部位

Fig. 6 Part names and Joint sites.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	頭(X)	首(X)	腕(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	8	-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 7 保存されたデータ

Fig. 7 Data.

チャは終了する。同図の「データ」ボタンにより、取得した座標データを CSV 形式で保存する。保存したデータは、各各節部位ごと保存される。

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 7 に示す。この機能により、LibreOffice-Calc[9] や GraphR[10] 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。図 8 にデータ利用ができるアプリケーションソフトを示す。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。

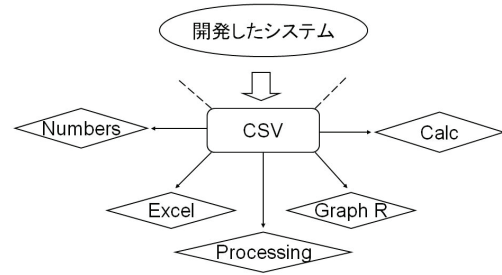


図 8 データ利用

Fig. 8 Availability of data.

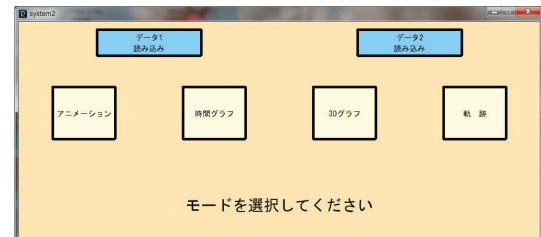


図 9 メニュー画面

Fig. 9 Menu screen.

4. 作成したプログラム

筆者らは、これらのデータを読み込み、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[11][12] を用いて作成した。プログラムを実行すると、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。メニュー画面で、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。

図 9 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。同様に「データ 2 読み込み」ボタンを押すことで別な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「砲かけ動作」(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」ボタンにより一関節の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。

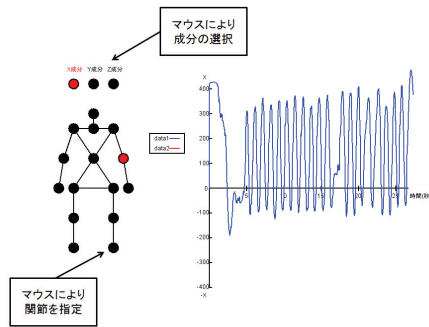


図 10 時間と変位 (一人)

Fig. 10 Measurement time and displacement(alone).

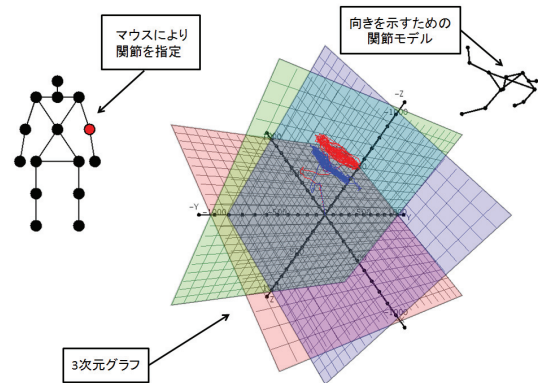


図 12 3次元グラフ

Fig. 12 3Dgraph.

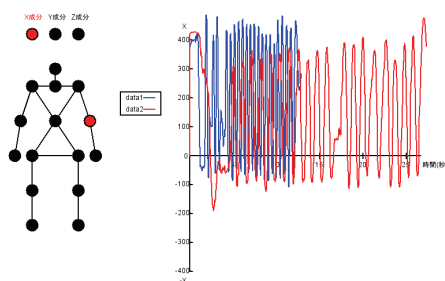


図 11 時間と変位 (二人)

Fig. 11 Measurement time and displacement(two people).

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

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。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「;」「-」キーで拡大と縮小ができる。

3 次元グラフでは、回転させることで 2 次元平面で見る

表 1 3次元グラフの操作キー

Table 1 operation key of 3D-Graph

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

こともできる。また、操作性を考え「1」「2」「3」キーで xy, yz, zx の各平面が表示されるようにもした。図 13 は図 12 のグラフを xy, yz, zx 平面から見たものである。

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することができることである。

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。

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

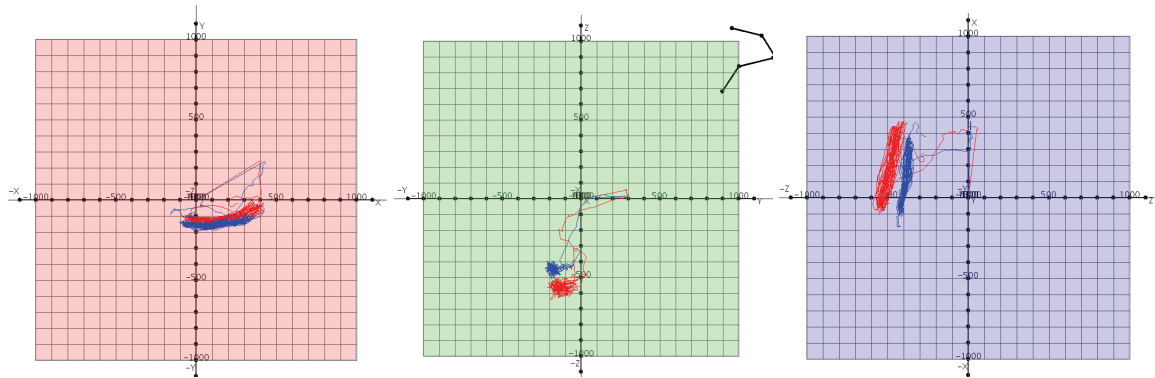


図 13 2次元グラフ
Fig. 13 2Dgraphs.

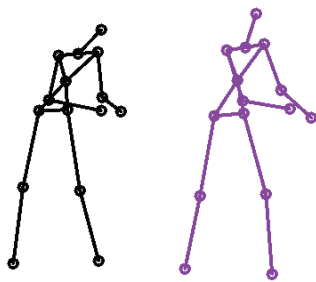


図 14 アニメーション画像 (正面)
Fig. 14 Graphics of Animation(front)



図 15 アニメーション画像 (平面)
Fig. 15 Graphics of Animation(plan)

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。

表 2 アニメーションの操作キー
Table 2 operation key of Animation program

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
「l」	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

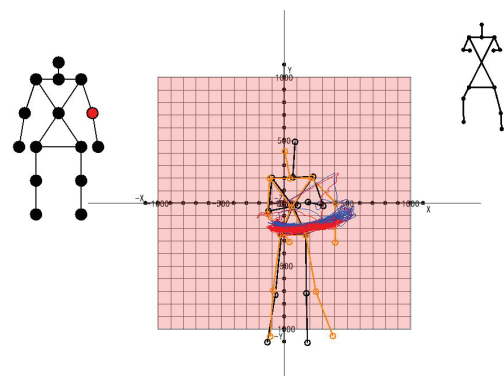


図 16 軌跡を描くアニメーション画像 (2D)
Fig. 16 Trajectory animation(2D).

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



図 17 授業の様子

Fig. 17 Scenery of lesson.

「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台とキネクトセンサ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位を示したりして、教員と生徒の動作を比較しその違い考えさせた。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。

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

Table 3 Results of answer.

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と大型モニター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する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と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、床面積がやや広いが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、大型モニターを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

- 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

Fig. 18 Students' impressions.

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、見た記憶とまねた動作を見る視点を絞ると同時に分析的、定量的な解釈へと導く。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効果があることもわかった。

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くぎ打ち動作の比較, 木材学会誌 Vol.49 No.5, pp.348-354(2003).
- [7] 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.42-55(2011).
- [8] 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 (2011).
- [9] LibreOffice 入手先 (<http://ja.libreoffice.org/>)(2012.05.14).
- [10] GraphR 入手先 (<http://www.graph-project.com/?pageid=34>)(2012.05.14).
- [11] 田原淳一郎: Processing プログラミング入門, カットシステム (2010).
- [12] Processing 入手先 (<http://processing.org/>)(2012.09.14).