

【 論文 】

簡易手指動作分析システムの教育的活用に関する検討

青木麟太郎¹, 紅林秀治²¹愛知教育大学大学院・静岡大学大学院教育学研究科共同教科開発学専攻 ²静岡大学大学院教育学領域

要約

中学校技術・家庭（技術分野）において、手指のモーションキャプチャ・システムを活用し、活用した結果を基にシステムの教育的な活用方法を考察した。手指のモーションキャプチャ・システムは筆者らが開発したシステムであり、Leap Motion という計測デバイスを手指の下に設置し、非接触で手指動作の位置データを取得できる。システムの教育的活用を考察するにあたり、2つの授業による評価試験を行った。1つ目の授業では、計測してみたい手指の動作を生徒に考えさせた。その結果、現状のシステムでは計測できない折り紙を折る手指動作の計測が挙げられた。2つ目の授業では、はんだづけの学習時に中学生と教員の手指動作の比較を行った。その結果、はんだづけ操作の初学者には動作の違いやコツを視覚的に捉えにくいことが分かった。そこで、Leap Motion を上に設置し逆向きにした状態で計測できる機能と、指定した指や関節各部位だけに焦点をあてるアニメーション機能を追加する必要があることが分かった。

キーワード

モーションキャプチャ, Leap Motion, 手指動作, 中学生

1. はじめに

本研究の目的は、技能測定技術の向上に向けた簡易手指動作分析システムの教育的活用を考察し、本システムの改良すべき点を明らかにすることである。簡易手指動作分析システムとは、筆者らが開発した手指動作分析用ツールを指す¹⁾。簡易手指動作分析システムを用い、操作技能の違いによる関節の動きを視覚的・定量的に明らかにすることが確認できたが¹⁾、教育的活用を検討していなかった。

身体動作をモーションキャプチャできるシステムは技能習得過程で利用されてきた。筆者らは身体のモーションキャプチャにより再現したアニメーションやグラフを活用し、音楽教育を専攻する学生に、指揮する自身の動きを分析・改善させた²⁾。薄井は身体のモーションキャプチャにより再現したアニメーションを活用し、舞踊を学ぶ学生

に、自身の動きと指導者・熟練者の動きとの違いや動作イメージと実際の動作との差に気づかせ、動きを修正させた³⁾。しかし技能習得過程におけるモーションキャプチャの教育的活用は、対象を技能習得対象の動きに触れてきたり既に学習した経験があったりし動きのイメージがある学生としてきたが、技能習得対象の動きを初めて学ぶ学習者（以後、初学者）を対象としていない。また手指動作が身体動作より狭い動作範囲のため、初学者には手指作業の目のつけどころがわかりにくい。そのため、初学者を対象にした、手指作業の技能習得を効率的に行う方法として、手指のモーションキャプチャ・システムにより再現されたアニメーションやグラフで動作のポイントを視覚的に確認したり定量的に分析したりすることで技能学習の有効な手段になるのではないかと考えた。そこで筆者らは簡易手

指動作分析システムを用い、中学生を対象に授業を行い、教育的活用を検討した。そして検討した結果から、開発したシステムを改良する必要があることが分かった。本論文では、簡易手指動作分析システムの概要、授業による評価試験の位置づけ、2つの評価試験および手指のモーションキャプチャの改良について述べる。

2. 簡易手指動作分析システムの概要¹⁾

開発したシステムは、モーションキャプチャのプログラムと動作分析のプログラムの二つから構成されている。

モーションキャプチャのプログラムでは、Leap Motionを用いることにより、マーカの装着や複数台のカメラを設置せずに、手指の関節各部位を推定し、各部位の3次元における位置座標(単位はmm)で取得できる。開発したシステムでは手指動作を計測する時、画面上で計測している手指がアニメーションで再現される。図1に簡易手指動作分析システムの概要を示す。図2にパソコンと接続したLeap Motionを示す。図3にプログラムの実行画面を示す。

動作分析プログラムは、取得した位置座標を基に手指の各部位の変位や動作を表示する。動作分析プログラムには、手指のモーションをアニメーションで再現したり、指定した関節を時間変位でグラフ化したり、空間内の軌跡を3Dグラフ化したりする機能がある。またアニメーションと空間内の軌跡のグラフを重ねることもできる。図4にアニメーション、時間変位グラフ、3Dグラフおよびアニメーションの軌跡の様子を示す。

3. 評価試験の位置づけ

中学生が手指の技能測定できる簡易手指動作分析システム開発に向け、以下の条件を満たす必要があると考えた。

- ① 計測した手指動作の結果から、技能習得の方法やその過程をイメージできる。
- ② 計測した手指動作の結果から、手指の動作を比較し、動作の違いを捉えることができる。
- ③ 計測した手指動作の結果から、うまく作業している動作の特徴を捉えることができる。

計測した手指動作の結果は、図4で示すアニメーション、時間変位グラフ、3Dグラフ、およびアニメーションの軌跡

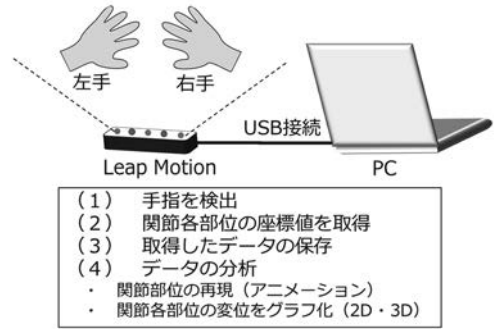


図1 手指のモーションキャプチャ・システムの概要

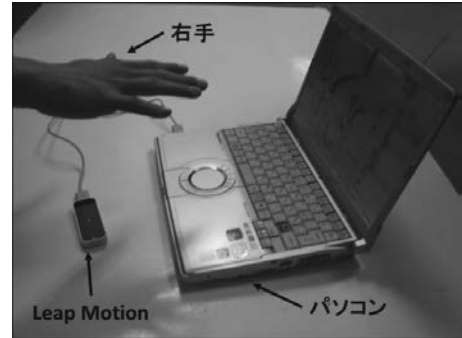


図2 システムで計測している様子

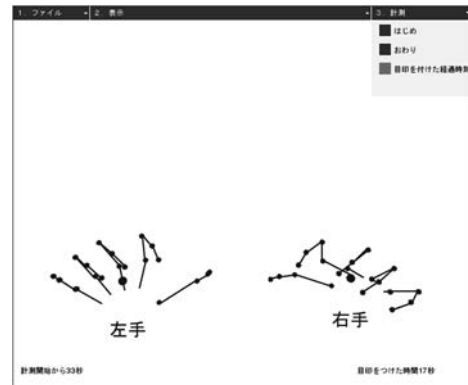


図3 計測時に画面上で再現されるアニメーション

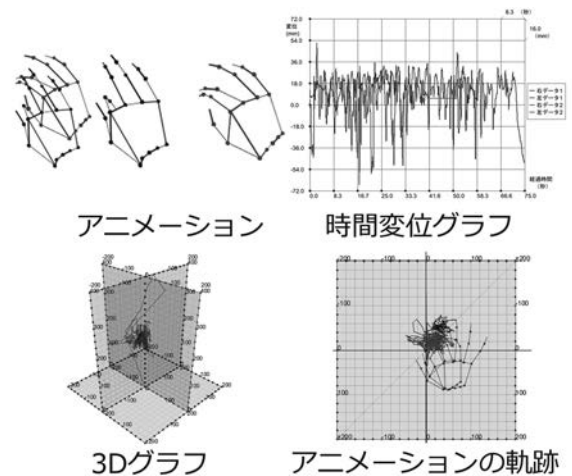


図4 分析時に画面上で表示される4つの機能

を意味する。

中学生がモーションキャプチャ・システムを理解できないために、動作の違いやポイントがわからない可能性がある。そこで中学生（初学者）が技能習得対象の手指作業によらず、計測した手指動作の結果から、技能習得のためにモーションキャプチャを活用することをイメージできるか確認するため、条件①を設定した。

先行研究での身体動作におけるモーションキャプチャ・システム²⁾³⁾に比べ、開発したシステムは関節各部位の密集度が高い。そこで、初学者には開発したシステムで再現されたアニメーションによる動作の違いを視覚的に捉えにくい可能性があるため、条件②を設定した。

身体動作に関するモーションキャプチャの教育的活用により、学習者は実際の動作に比べ削られた動きの情報（アニメーション）から、動きの特徴に気づくことができる³⁾。そこで、開発したシステムにより実際の動作より削られた動きの情報（計測した手指動作の結果）から、初学者は動きの特徴に気づくことができるかを確認するため、条件③を設定した。

条件①～③を満たすために、授業によるシステムの評価試験を行った。これはモーションキャプチャによる技能習得の授業計画を立案する前提として、初学者が手指の技能測定できるシステムを開発できている必要があると考えたためである。システムの評価試験は中学校技術・家庭（技術分野）の授業で、東京都の私立T中学校第3学年を対象に2種類（以後、1度目の授業による評価試験を授業1、2度目の授業による評価試験を授業2）を行った。

4. 授業1

授業1では中学校技術・家庭（技術分野）の学習内容「D情報の技術」において、中学校第3学年4クラス53人（男子23人、女子30人）を対象にし、「活用場面を考える学習」（50分）を行った。授業1は計測した手指動作の結果から、技能習得の方法やその過程をイメージできるかを調べるために行った。

4.1 モーションキャプチャを活用した授業

授業ではノート型PC（OS：windows8.1）を1台とLeap Motionを1台、コンピュータ室内で接続した。図5にコンピュータ室の様子を示す。表1に授業の流れを示す。



図5 モニタと机の配置

表1 授業の流れ(授業1)

学習活動	時間配分
① 事前アンケートの実施	5分
② モーションキャプチャの実演	5分
③ 活用場面の検討と体験	20分
④ 発表	10分
⑤ 事後アンケートの実施・回収	10分

授業ではまず事前アンケートを実施し、これから学ぶ内容の見通しを持たせた（表1の①）。事前アンケートは記述式で、以下の3つの質問で実施した。

質問(1) 器用とはなにか、教えてください。
質問(2) 不器用とはなにか、教えてください。
質問(3) 器用になるためにはどうすればいいか、教えてください。

次に手先が器用になる取り組みの一つとして、簡易手指動作分析システムにより教員の手指動作を計測したり、アニメーションの動作を示したり、時間変位グラフや3Dグラフで関節各部位の変位を示したりした（表1の②）。計測した手指動作の結果を、図5にある2人1台のモニタで確認させた。数人の班でテーマとモーションキャプチャの活用場面や指導方法を検討させ、班ごとに好きな手指動作のモーションキャプチャを行わせた（表1の③）。モーションキャプチャの様子や再現されたアニメーション、時間変位グラフや3Dグラフの様子を、手元のモニタでも確認させた。この学習活動の目的は中学生が、簡易手指動作分析システムによる技能測定の具体的なイメージや、動作の違いとコツを他人へ伝える工夫した表現の仕方を発想しやすくすることである。図6に中学生が手元のモニタで手指動作を確認する様子を示す。

班ごとに活用場面や指導方法を発表させ、事後アンケートを実施した（表1の④、⑤）。事後アンケートの質問

表2 授業1の事後アンケート結果：質問(4)の場合

回答結果	5	4	3	2	1	平均	標準偏差
全体	13人(25.0%)	32人(61.5%)	6人(11.5%)	1人(1.9%)	0人(0.0%)	4.10	0.66
男子	8人(34.8%)	13人(56.5%)	2人(8.7%)	0人(0.0%)	0人(0.0%)	4.26	0.62
女子	5人(17.2%)	19人(65.5%)	4人(13.8%)	1人(3.4%)	0人(0.0%)	3.97	0.68

項目は以下に示す。

質問(4) モーションキャプチャとは、どんなものかわかりますか。
質問(5) 器用になるためにはどうすればいいか、教えてください。
質問(6) 授業の感想を教えてください。

質問(4)は5段階尺度(5,4:肯定的,2,1:否定的)による選択式で行った。質問(5),(6)は自由記述式で行った。



図6 モニタで確認する中学生の様子

4.2 授業1の結果

質問(4)の結果、質問(3),(5)を比較した結果、および各班が考えた活用場面や指導方法について述べる。

表2に質問(4)の結果を示す。表2より全体、男子、女子それぞれでの肯定的な回答の割合が82.8%以上であることがわかる。平均値では男子が女子より0.29大きく、標準偏差が変わらない。そのため質問(4)の回答結果をt検定したところ、男女の有意差がなかった(p=0.055)。

表3に質問(3),(5)の頻出単語とその頻出数を比較した結果を示す。表3より、器用になるための取り組みとして、学習の前後で、練習や細かい作業を繰り返す学習方法から、モーションキャプチャにより比較したり、問題点を分析したりする学習方法へと意識に変化が生じたとわかる。そのため、技能習得の方法にモーションキャプチャ・システムが役立つと感じたことが考えられる。

各班が考えた活用場面や指導方法は24グループ中、折り紙の折り方やタイピングなどの「手指動作」のみに着目した班の数が10グループであった。10グループが考えた、簡易手指動作分析システムによる技能測定を行うテーマは「折り紙の折り方、ピアノ、タイピング、鉛筆の持ち方、手先が器用になる体操」であった。そのため、中学生が簡易手指動作分析システムによる技能測定を行う際、これらの動作が手指動作の違いや特徴を捉えやすいのではないかと考えた。その中で、折り紙の折り方と鉛筆の持ち方を発想した各班の記述を表4に示す。

表4にある折り紙の折り方に関する技能の測定方法では、折り紙の完成度から技能の分類方法を考えだしてい

表3 質問(3),(5)の頻出単語

頻出単語	質問(3)	質問(5)
練習	22	6
細かい作業、ちまちました作業	12	2
繰り返し	5	1
まね、比較、比べる	1	19
モーションキャプチャ	0	16
分析、解析、研究	0	12
問題点、改善点、欠点	0	10
数値化	0	2

る。折り紙を折る手指動作を現状のシステムで計測しようとした時、Leap Motionと手指動作の間に折り紙が重なり、手指が撮影できない。そのため、中学生が技能習得過程で製作品の完成度と合わせ、簡易手指動作分析システムによる手指の技能測定をしやすいことで、多角的な視点で動きを捉えることができる取り組みにつながると考えた。

表4にある鉛筆の持ち方に関する技能の測定方法では、手指の誤認識を防ぐため、透明なペンを使うといった工夫を考えだしている。これは簡易手指動作分析システムの評価試験で行った、透明な箸やキーボードを活用し、手指動作を計測しやすくした取り組み¹⁾と同じ工夫であり、Leap Motionから手指の形を撮影できるので、現状のシステムでも計測しやすい。そこで、鉛筆を持つ手指動作と同じ手の

表4 鉛筆の持ち方と折り紙の折り方に関する記述

テーマ	活用方法や指導方法
折り紙の折り方	器用な人は折り紙がきれいに折れる。角と角がきれいに重なる
鉛筆の持ち方	ペン等が正しく持てている人ほど字は綺麗なのか？ →しかしモーションキャプチャでは LED を使用しており、色のついているものだと誤って認識してしまうため、透明なペン等を使う。

形である、はんだづけ作業時の手指動作で、簡易手指動作分析システムの評価試験を分析した。

5. 授業2

授業2では中学校技術・家庭(技術分野)の学習内容「C エネルギー変換の技術」において、中学校第3学年4クラス59人(男子26人、女子33人)を対象に、「はんだづけの学習」(50分)を行った。授業2は、計測した手指動作の結果から、はんだづけ作業における手指の動作を比較し、動作の違いや特徴を捉えることができるかを調べるために行った。

5.1 先行研究での検証方法

授業2の検証方法には身体の動作をモーションキャプチャできるシステム(以後、簡易身体動作分析システム)を用いた、鉋がけの学習方法と調査方法⁴⁾を取り入れた。簡易身体動作分析システムを用いた検証方法⁴⁾は以下のようであった。

<ul style="list-style-type: none"> ・鉋がけを行う生徒と教員1名のモーションキャプチャを行い、モーションキャプチャの様子を大型モニターで確認した。 ・キャプチャしたデータを基に、アニメーションで再現したり、各関節部位の2次元グラフや3次元グラフの変位を示したりし、生徒と教員の動きの違いを考えさせた。 ・授業後に5件法の選択式となる「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。」「アニメーションでは、動きの違いがよくわかりましたか。」「グラフでは、動きの違いがよくわかりましたか。」と、記述式の「今日の授業を通しての感想を教えてください。」のアンケート調査を行った。

アンケートの調査結果から、先行研究では、「中学生は簡易身体動作分析システムで提示された、鉋がけ作業における身体動作の違いやコツを捉えることができること」を確

かめることができた。そこで簡易手指動作分析システムによるはんだづけの学習では、簡易身体動作分析システムによる鉋がけの学習方法や調査方法を取り入れた。

5.2 生徒の実態

学校ではんだごてを使用した経験がある中学生の数を調査した。質問は授業を行う前に、アンケート調査とインタビュー調査を行った。アンケート調査では「はんだごてを使ったことがありますか」という質問に対して、回答を「1.はい」「2.いいえ」の2項目で行った。インタビュー調査ではアンケート調査後、全体講義形式で、はんだごての使用について確認した。表5にアンケート調査の回答結果をはんだごての使用経験別に示す。「はんだごてを使ったことがない」と回答した中学生(以後、未経験者)が26人(44.1%)となり、使用したことのない中学生が半数弱いることが確認できた。インタビュー調査により、「はんだごてを使ったことがある」と回答した中学生33人(55.9%)は、はんだごてを作品へのウッドバーニングで使用した経験であることを確認した。また、部活動などの課外活動によって、はんだづけ経験のある中学生(以後、経験者)は3人(5.1%)の男子学生となるので、はんだごての使用経験のある中学生(以後、使用経験者)が30人(50.8%)であり、対象とする中学生の56人(94.9%)がはんだづけの初学者であることがわかった。

表5 アンケート調査の回答 (n=59)

生徒の分類	人数(割合)
はんだごて使用経験のない生徒: 未経験者	26人(44.1%)
はんだごて使用経験のある生徒: 使用経験者	30人(50.8%)
はんだづけ経験のある生徒: 経験者	3人(5.1%)

5.3 授業計画

授業の目標では、「振動モータ回路の作製を通して、はんだごてを安全に扱うようになる」とした。授業では「振動モータ回路の振動を利用した日常生活に役立つ作品の構想を課題とした。振動モータ回路はコイン電池ホルダ、小型DCモータ、およびスライドスイッチを直列接続し、スイッチでモータの振動を切り替わる仕組みである。表6に振動モータ回路の部品表を示す。表7に授業計画を示す。表7のNo.2の授業でモーションキャプチャを活用した。

表6 振動モータ回路の部品表

No	部品名	必要数
1	CH74 型コイン電池ホルダ (CH74-2032LF)	1 個
2	小型 DC モータ (0716-1.3V)	1 個
3	スライドスイッチ (SS-12D00-G5)	1 個
4	リード線	1cm
5	プラスチック容器	1 個
6	風呂用ブラシ	1 個

表7 授業計画

No	学習内容	システム使用	時数
1	材料や道具の特徴を学習する。		1h
2	はんだごての使い方を学習する。	○	1h
3	はんだごてを使用し、作品製作を行う。		2h

5.4 モーションキャプチャを活用した授業

簡易手指動作分析システムを用い「はんだづけの技能学習」を行い、振動モータ回路の作製を始めた。授業ではノート型PC(OS: windows8.1)を1台、Leap Motionを1台とプロジェクタ1台を技術室で接続し、大型スクリーンにモーションキャプチャの様子を投影した。表8に表7のNo.2の授業の流れ、図7に表7のNo.2の授業の様子を示す。

授業ではまず、ハンダやはんだごてに関する基本的な知識・使い方を復習し、はんだづけを説明した(表8の①)。次に、教員と中学生1名ずつが実際にはんだづけ作業を行い、作業時の手指動作を計測した(表8の②)。その動作は、廃材に置いた部品をセロハンテープで固定し、部品の端子にハンダとはんだごてをあてた時の手指動作となる。はんだづけ作業の手指動作を計測するにあたって、表6のNo.1にある部品(CH74型コイン電池ホルダ(CH74-2032LF))、セロハンテープ、廃材、はんだごて(20W)⁵⁾、およびハンダを用意した。簡易手指動作分析システムに読み込んだ教員と中学生の動作データを基に、手指動作をアニメーションで再現したり、各関節部位の2次元グラフや3次元グラフで確認したりして、動作の違いを比較し、動作の特徴を中学生に示した(表8の③)。中学生に示した動作の特徴は、「右手で持ったはんだごての先端と部品の端子を見やすくするために、はんだごてをできるだけ斜め

にしてあてること」である。図8に中学生に示した、部品の位置に対する、はんだづけ作業時のはんだごての角度を示す。動作の違いを比較した後、振動モータ回路の部品を廃材にセロハンテープでとめ、実際にはんだづけ作業を行わせた(表8の④)。授業終了10分前でアンケート調査を行い、回収した(表8の⑤)。

表8 表7のNo.2の授業の流れ(授業2)

学習活動	時間配分
① はんだづけの説明	5分
② 教員と生徒の動きを計測	5分
③ 動作の違いを比較	5分
④ 実際にはんだづけ作業を行う	25分
⑤ アンケートの実施・回収	10分

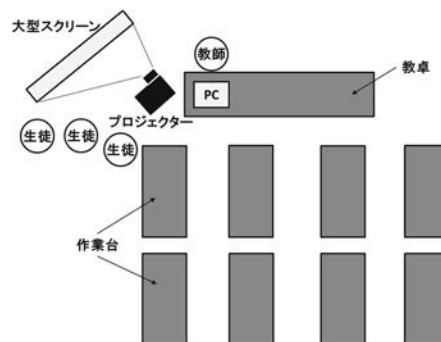


図7 プロジェクタと机の配置

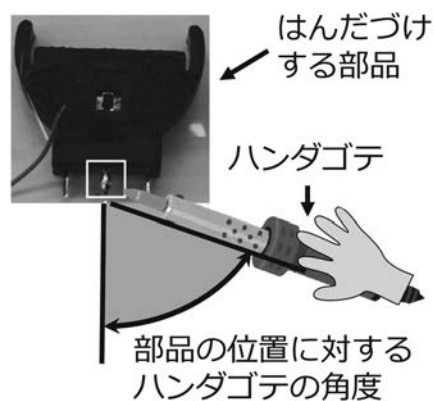


図8 中学生に示した、はんだづけ作業時の手指の様子

5.5 授業2の結果

表8の③で比較した教員と中学生における手指動作の違いと、表7にあるNo.2の授業で行ったアンケートの調査の分析結果について述べる。

図9に、教員と中学生における右手人差し指の第3関節

の違いを示す。図9より教員と中学生の手指動作を比較した際、部品のある0地点に対し、教員が中学生より広い視野ではんだづけ作業を行っていることがわかる。そのため、中学生は、教員と中学生における手指動作の違いを定量的に捉えることができたと考えられる。

アンケートは6つの質問の構成からなる。アンケートの質問項目は次の通りである。

- 質問(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。
 質問(2) アニメーションでは、動きの違いがわかりましたか。
 質問(3) グラフでは、動きの違いがわかりましたか。
 質問(4) アニメーションは、はんだごてを使うときの参考になりましたか。
 質問(5) グラフは、はんだごてを使うときの参考になりましたか。
 質問(6) 今日の授業を通しての感想を書いてください。

質問(1)～(5)は5段階尺度(5,4:肯定的,2,1:否定的)による選択式で行った。質問(6)は自由記述式で行った。

表9に、はんだごて使用経験別に質問(1)～(5)の結果の平均と、()内に標準偏差をまとめたものを示す。表9にある質問(1)～(4)より、平均値の高い生徒群が経験者、平均値の低い生徒群が未経験者であることがわかる。そのため、モーションキャプチャの教育的活用には、指導対象の動きを事前に経験しているかに影響があることが考えられる。表9の質問(5)より、各生徒群の平均値と標準偏差には差が出ていないことがわかる。これは、はんだごての使用経験によらず、グラフで動きの違いやポイントを捉えても、実際の動作より削られた情報量が多くわかりにくかったと考えられる。そのため、グラフで動きの違いやポイントを捉えるには学習者が動きのイメージをもつとより有効になっていくと思われる。

表10,11に、質問(1)～(5)の結果を未経験者と使用経験者ごとに示す。表10,11より、質問(1)～(5)における肯定的な回答の割合が61.5%以上であることがわかる。そのため、初学者でもはんだごて使用経験によらず、簡易手指動作分析システムを用い、モーションキャプチャによる動作の違いを視覚的に捉え、モーションキャプチャで得た情報を活用することが十分可能であるとわかった。また質問(1)～(5)の結果から、使用経験者は未経験者より肯定的な回答の割合が高いことがわかった。使用経験者の方が動作のポイントを捉えることができたと考えられるため、質問(1)～(5)の回答結果をt検定した結果、はんだごて使用経験

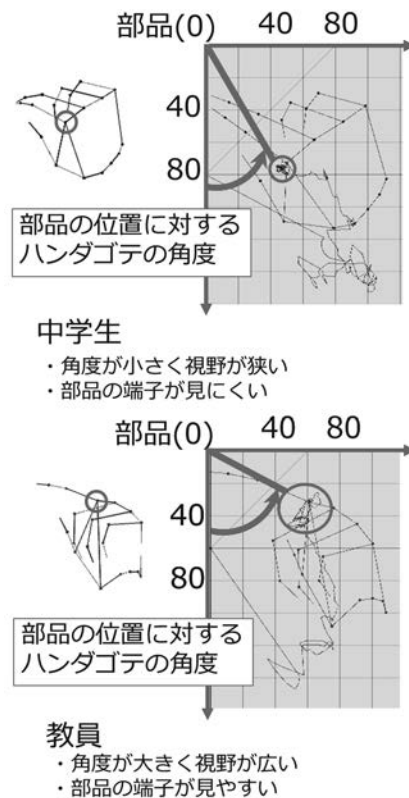


図9 教員と中学生における人差し指の第3関節の違い

表9 授業2のアンケート結果：質問(1)～(5)の場合

分類		質問				
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
初学者	未	3.73	3.69	3.73	3.65	3.58
	経験者	(0.96)	(0.74)	(0.87)	(0.98)	(0.95)
	使用	4.03	3.83	3.90	3.83	3.70
	経験者	(0.85)	(1.02)	(0.84)	(0.91)	(0.99)
経験者		4.67	4.67	4.67	4.00	3.67
		(0.58)	(0.58)	(0.58)	(1.00)	(1.15)

による有意差がなかった(質問(1) p=0.22, 質問(2) p=0.55, 質問(3) p=0.47, 質問(4) p=0.48, 質問(5) p=0.64)。

表12にはんだづけ操作の初学者における質問(6)の結果をカテゴリー別に分類したものを示す。カテゴリーはモーションキャプチャ・システムに対する肯定的な回答と否定的な回答の2つに分類した。表12の「肯定的な回答」と「否定的な回答」について書いた生徒がそれぞれ56人中13人(使用経験者が7人, 未経験者が6人), 9人(使用経験者が4人, 未経験者が5人)となり、手指のモーションキャプチャが役立ったと感じる中学生がいた一方、複雑で難しいと感じる中学生もはんだごて使用経験によらずい

表 10 未経験者群における授業 2 のアンケート結果：質問(1)～(5)の場合

回答	質問(1)	質問(2)	質問(3)	質問(4)	質問(5)
5	6人(23.1%)	3人(11.5%)	4人(15.4%)	4人(15.4%)	4人(15.4%)
4	10人(38.5%)	13人(50.0%)	13人(50.0%)	13人(50.0%)	10人(38.5%)
3	7人(26.9%)	9人(34.6%)	8人(30.8%)	6人(23.1%)	10人(38.5%)
2	3人(11.5%)	1人(3.8%)	0人(0.0%)	2人(7.7%)	1人(3.8%)
1	0人(0.0%)	0人(0.0%)	1人(3.8%)	1人(3.8%)	1人(3.8%)

表 11 使用経験者群における授業 2 のアンケート結果：質問(1)～(5)の場合

回答	質問(1)	質問(2)	質問(3)	質問(4)	質問(5)
5	10人(33.3%)	8人(26.7%)	8人(26.7%)	7人(23.3%)	6人(20.0%)
4	12人(40.0%)	13人(43.3%)	12人(40.0%)	6人(20.0%)	13人(43.3%)
3	7人(23.3%)	6人(20.0%)	9人(30.0%)	6人(20.0%)	8人(26.7%)
2	1人(3.3%)	2人(6.7%)	1人(3.3%)	3人(10.0%)	2人(6.7%)
1	0人(0.0%)	1人(3.3%)	0人(0.0%)	0人(0.0%)	1人(3.3%)

表 12 授業 2 の「はんだづけの学習」を行った中学生の感想

No	肯定的な回答：13人	否定的な回答：9人
1	プリントや絵だけでは、わからないものも実際に見たり、モーションキャプチャなどで生徒と先生の違いがよくわかってできやすかったです。	くらべるときには同時にとって、どちらかをうすくしてかさねたらもっとわかると思った。
2	アニメーションやグラフを通してはんだごてを使う際のコツがわかり、実際に自分がやった時にちゃんとはんだをつけることができました。	はんだごてを使うことができた。モーションキャプチャがあまり良くわからなかった。
3	グラフやアニメーションが示していたように手の幅を広げて視界を広げるとやりやすいことがわかったので、次回にも生かしていきたい。	モーションキャプチャよりビデオで手元を映した方が良かった。
4	グラフやアニメーションを使うことによって、分かりやすかったです。	アニメーションのモーションキャプチャが難しかったです。
5	モーションキャプチャを通して、はんだごての動きが分かった。	モーションキャプチャが難しかった。

た。そのため、現状のシステムでは初学者が手指のモーションキャプチャを視覚的に捉えにくかったと思われる。また、経験者の1人は質問(6)について「部活で使っているうちに我流になっていたのがわかった」と回答した。そのため、計測した手指動作の結果から、既習者が自身のはんだづけする動きを修正するのに役立ったと考えられる。

6. 手指のモーションキャプチャの改良

表 13 に簡易手指動作分析システムを用いた 2 種類の試験結果を示す。表 13 にある授業 1, 2 の各問題点を問題点 1, 問題点 2 とし、各問題点の解決策について述べる。

問題点 1 を解決するためには、Leap Motion を上に設置し、逆向きにした状態で手指動作を計測し、手指と Leap

Motion との間に実物が入らないようにする必要がある。

Leap SDK では、逆向きに設置した Leap Motion で手指動作を計測できる⁶⁾。図 10 に、Leap Motion を上に設置し、逆向きにした状態で手指動作を計測できるよう改良した簡易手指動作分析システムの概念を示す。

問題点 2 を解決するためには、手指を重ねた時に色が重なって見えにくくならないよう、アニメーションの色を変える必要がある。また手指動作は身体動作に比べ動作範囲が狭く複雑な動きであるため、視覚的に捉えにくい。そのため、指定した指や関節各部位だけをアニメーションとして表示できるようにする必要がある。そこで、動作分析のプログラムではアニメーションの色を変え、指定した指や関節各部位だけをアニメーションで表示できるよう改良

表 13 2種類の試験について

種類	授業 1	授業 2
仮説	計測した手指動作の結果から、技能習得の方法やその過程をイメージできるかを調べる	計測した手指動作の結果から、はんだづけ作業における手指の動作を比較し、動作の違いを捉えることができるかを調べる
意義	条件①を満たす手指作業を確認すること	条件②, ③を満たすかを確認すること
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> ・2人並びの机1台に配置された、1台のモニターでモーションキャプチャを確認 ・班ごとにモーションキャプチャを実際に体験し、手元のモニターでモーションキャプチャの様子を確認 ・班ごとに考えたモーションキャプチャの活用場面や指導方法を発表する ・授業後に行ったモーションキャプチャの理解度を確認する5件法の選択式となる質問と、班ごとのプリントにある記述を整理した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・はんだづけを行う生徒と教員1名のモーションキャプチャを行い、モーションキャプチャの様子を大型モニターで確認 ・キャプチャしたデータはアニメーションで再現したり、各関節部位の2次元グラフや3次元グラフの変位を示したりし、生徒と教員の動きの違いを比較 ・簡易手指動作分析システムで得た情報を踏まえ、生徒ははんだづけを実際に行う。 ・授業後に行った、5件法の選択式となる質問と、感想を記述する質問からなるアンケートを整理した。
問題点	Leap Motion と手指動作の間にもものがあると手指動作を計測できない。(以後、問題点1)	手指のモーションキャプチャが視覚的に捉えにくい。(以後、問題点2)

しようと考えている。

7. まとめ

手指のモーションキャプチャ・システムを活用した2つの評価試験を行い、システムの教育的活用を検討した。中学校技術・家庭（技術分野）の授業では、初学者の技能学習に手指のモーションキャプチャ・システムを活用できることがわかった。2つの試験から明らかになった問題点から、アニメーションの表示方法と手指動作の計測環境に改良を加える方針を立てた。

現在、逆向きにした Leap Motion で手指の動作を計測できる機能を追加することができた。今後、改良の方針に合わせシステムを改良し、条件②, ③を満たすかを確認するための、授業によるシステムの評価試験を行いたい。

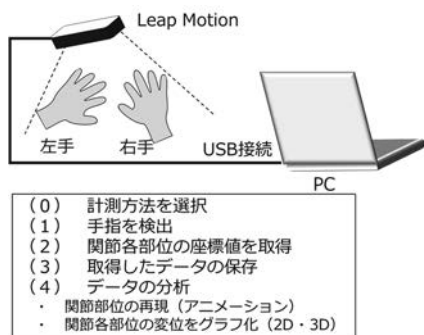


図 10 改良したシステムの概念

8. 参考文献

- 1) 青木麟太郎, 大村基将, 紅林秀治: 簡易手指動作分析システムの開発, 日本産業技術教育学会会誌, 第 59 巻, 第 1 号, pp. 19-28 (2017)
- 2) 志民一成, 耳塚日香里, 大石幸史, 他 2 名: モーションキャプチャを活用した指揮法指導の可能性: KINECT センサーを用いた簡易動作分析システムを利用して, 静岡大学教育学部研究報告 (教科教育学篇), 第 47 号, pp. 131-144 (2016)
- 3) 薄井洋子: 舞踊の学びに対するモーションキャプチャ活用, 博士論文, <http://hdl.handle.net/10097/60374> (2019. 11. 12 閲覧)
- 4) 紅林秀治, 小林健太, 高山大暉, 他 2 名: KINECT センサーを用いた簡易手指動作分析システムの開発, 日本産業技術教育学会誌, 第 55 巻, 第 3 号, p. 213-220 (2013)
- 5) ハッコー: my pen (はんだ付け用), http://www.hakko.com/japan/products/hakko_my-pen_soldering.html (2019. 8. 17 閲覧)
- 6) VR Setup—Leap Motion Developer: <https://developer.leapmotion.com/get-started> (2019. 11. 5 閲覧)

【連絡先 青木 麟太郎

E-mail: tamagawa.tech.rin@gmail.com】

Classroom Uses of a Simple Finger-Motion Analysis System

Rintaro Aoki¹, Shuji Kurebayashi²

¹Cooperative Doctoral Course in Subject Development in the Graduate School of Education,
Aichi University of Education of Education & Shizuoka University

²Academic Institute College of Education, Shizuoka University

ABSTRACT

We explore the use of a motion-capture system to analyze finger motion in junior high school technology classes. We developed a motion-capture system that records the motions of fingertips and joints and inputs 3D coordinate data into a computer without markers or cameras. We evaluated the system with two technology classes in a junior high school. In the first class, we had students think about the finger movements they wanted to measure, which led to the decision to measure the process of making origami. In the second class, we had students compare the hand movements of students and teachers as they were learning how to solder. We found that it was difficult for students who were soldering for the first time to visualize operational differences and fingertip movement using our system. Therefore, we propose changing the device so that it is positioned over the hands instead of under, and adding an animation function focusing on each finger and joint.

Keywords

Motion capture, Leap Motion, Finger motion, junior high school