

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25350340

研究課題名(和文) 技能保存と継承のための動作保存技術の開発

研究課題名(英文) Development of Motion Preservation Technology for Preservation and Succession of Skilled Techniques

研究代表者

大淵 慶史 (Ohbuchi, Yoshifumi)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授

研究者番号：10176993

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：日本では多くの地方に伝統的な技能が存在するが、現実には教える側の高齢化、少子化による後継者不足といった社会問題の影響を受け、受け継がれるべき技術が消えつつある状況が少なくない。また、スポーツや舞踊、技能者の技など、保存・研究の対象となる動作も多い。これらの熟練した動作を保存して引き継ぐことが可能な技術を確立する必要がある。

本研究ではモーションキャプチャを活用し、動作の保存と解析による特徴抽出や自熟練度評価を基に、動作の継承を可能にする手法を提案することを目的とした。技能者の身体動作だけでなく、手指の技能、道具の動きなども対象とし、解析結果をもとに熟練度の評価手法を提案し、技能継承の指針とした。

研究成果の概要(英文)：In Japan, although many local special traditional skills exist in many places, it became difficult to preserve and succeed, because of aging of these experts and shortage of successors in recent years. In addition, there are much skilled motions for example, sports, dancing, technicians work etc. Therefore establishing the learning method which can preserve and succeed these skilled motions is needed.

The purpose of this study is to preserve and succeed these skills by using optical motion capture system. To analyze human's motion, it is recorded by means of optical motion capture system. We can know the position of joints by using captured data and compare the motion of the apprentice with the expert.

Not only the body motion of skilled person but also the motion of hand and finger, motion of tools and implements were targeted. These various motions were preserved and analysed for skillfulness evaluation, and the technology of succession is proposed based on the analytical result.

研究分野：設計, 工学教育

キーワード：動作保存 動作解析 モーションキャプチャ 筋電位信号 伝統技能 技能継承

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 伝統技能の保存と継承

日本の高い技術はこれまで、多くの高度な熟練技能によって支えられてきている。多くの技能は、師匠が手本を見せ、弟子はそれを見て練習を行なうことにより習得すること (On the job training) で伝承される。つまり教える側と習う側の関係の確立によって次世代に技能を伝承できる。しかし、近年では教える側の高齢化、少子化による後継者不足といった社会問題の影響を受け、本来受け継がれるべき技能が消えつつある。また、伝統技能に限らず、スポーツや舞踊など、保存・研究の対象となる動作も多く存在する。技能者の作業、運動選手のプレー、外科医の手術など様々な分野で熟練者の優れた動作により達成・実現されているものが多い。

### (2) 技能継承における問題点

引き継がれてきた高度な技能を継承する手段を2通りに分類する。1つ目は、若年・中堅層の人材を確保し熟練技能者から技能の指導を直接受ける従来からの方法であり、2つ目は技術・技能を種々の方法で記録・保存し、これを利用することにより後世に継承する方法である。前者は直接熟練技能者から指導を受けることが出来るため直接指導型、後者は技術や技能のデータにより継承する手段であるため間接指導型と定義する。現代の社会環境を考えると、直接指導型の継承手段は人材の確保が難しいという欠点がある。また、人材が現れたとしても技能継承に時間を要し円滑に進まない可能性がある。一方、間接指導型の継承手段は熟練技能者から直接指導を受けることが出来ない、熟練技能者の経験や勘による作業を十分に再現することが難しい等の欠点があるものの、現在の日本社会の状況を考えると従来の直接指導法より高い実現性が期待できると考えられる。

## 2. 研究の目的

先行研究として木造伝馬船の復元を最終目的に、伝馬船の製造工程を、マルチメディアデータベースとして保存する試みを行ってきた。本研究では主にこの伝馬船の製造工程における技能を対象として、その評価と保存を試みる。現在ではビデオカメラやモーションキャプチャ、筋電位信号など動作を記録・解析するためのツールは幅広く利用されている。これらの方法で記録・解析したデータを後世の育成に利用する方法を前節で定義した間接指導型とする。特にモーションキャプチャシステムは技能の伝承以外にも映画・アニメ、スポーツのトレーニング、リハビリテーションなど様々な分野で活用されており、動作解析の研究も数多く報告されている。しかし、これらの研究では人体の動作に着目した内容が多く、道具や器具の動作解析を含む内容のものは少ない。しかし、私たちの日常生活の中で道具や器具を使う動

作は非常に多く存在し、伝統技能・技術やスポーツなどに関しても同様である。したがって動作解析において人間の動きとそれに伴う道具や器具の動きを解析・評価することは非常に有効な手段になりえるが、身体動作と道具の位置関係が複雑であるため、定量的な評価が難しく、道具の動きの評価手法は十分に確立されていない。

本研究では身体動作の解析の他に、道具や器具を用いる動作の場合にも対応するため物体の動きにも重点を置いた動作解析・評価を行い、熟練者の技能を指標化して保存・継承する方法を開発することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 身体動作の熟練度評価

熟練者の技能の動作を忠実にデジタル化し、身体の中のどの部分が全体の動きを司っているかを掌握することで様々なアウトプットを得る。熟練者に特定の技能動作を行ってもらい、その様子を記録し、様々な解析手法を導入して熟練度の評価が可能な指標を探す。さらに、初心者も同様に記録し熟練者の動作と比較する。数値的な比較が可能になるため、視覚的に捉えることが出来ない差や、感覚的な特徴を数値化することを目指す。身体部位の座標位置による、加速度によるの評価の他、力の入れ方を評価するために筋電位信号の同時測定も行い、技能の差がどこにどのように現れるのかを検証した。

### (2) 手指の動作の熟練度評価

熟練技能の中には身体全体ではなく手指による繊細な動作があるが、手指の動作を正確に記録、保存するためには、指の動きを高精度に測定および評価することが必要不可欠である。そこでモーションキャプチャシステムを使用して指の動きを解析する。左右の手で熟練度に差のある身近な動作として、箸を使用する利き手と非利き手の動作、およびキーボードタイピングの指の動作を対象とした。いくつかの評価指標を提案し、動作熟練度の評価を目指した。

## 4. 研究成果

### (1) 身体部位の空間座標による評価

木造船の製作では頻度の高い鉋 (かんな) がけ動作の解析を行なった。キャプチャした動作と足の動きを図1に示す。図は横から見た姿勢と下から見た両足の軌道を表している。切削方向は左から右である。熟練者では足の踏み出し方向が切削方向に対して平行で、両足の踏み出し位置が等間隔かつ一直線上に分布する。この足の動きは長い木材の加工において非常に有効である。初心者は足の踏み出し間隔がまばらで切削方向に対して一直線でもなく、不均等な踏み出し間隔はひざの曲げ具合や上体の姿勢の変動の原因になる。結果より、姿勢や座標位置の比較でも熟練度は評価可能であることがわかる。

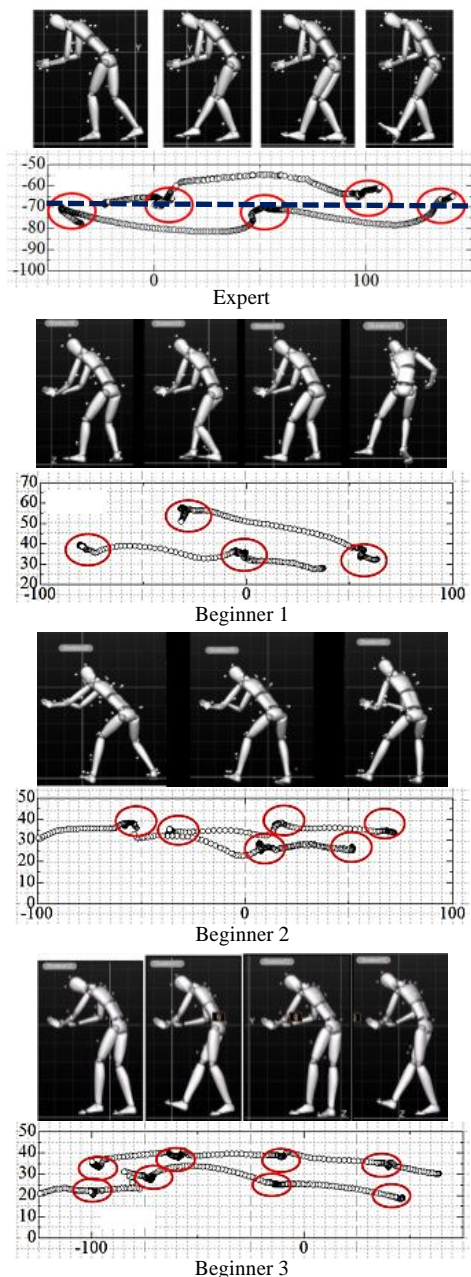


図1 鉋掛け動作の足運び

## (2)角加速度による熟練度評価

熟練者の動作および初心者の動作を記録し比較を行う際、かんな掛けや鋸引きのようにある程度固定化された動作の場合、速度や加速度、ある身体部位の軌跡などの評価手法は非常に効果的であり、熟練度の差が顕著に現れる。しかし、ダンスや舞踊のように固定化されていない自由な動作の場合、身体部位の空間的な位置や速度、軌跡などの評価が難しくなり熟練度の差が判断できない。そこで人間の動作が関節を軸とした回転運動によって行われていることに着目し、各関節を回転軸とした回転角による運動評価を試みる。

人間の動きを回転運動で表現する時、角加速度は筋活動量や筋力と比例関係にあると考えられる。そこで空間座標に頼らない角加速度による評価の有用性を検証する。先ず、動きの激しいチアリーディング(以下:チア)

と動きの滑らかなクラシックバレエ(以下:バレエ)について比較・検証した。当然、動きの速いチアでは踊るために必要な筋活動量は大きく、頻度が大きいはずであり、逆に動きの滑らかなバレエでは、チアに比べて踊りに必要な筋活動量は小さく、頻度も少ないはずである。図2には両者のダンスにおける上腕を基準とした前腕の角加速度を示す。

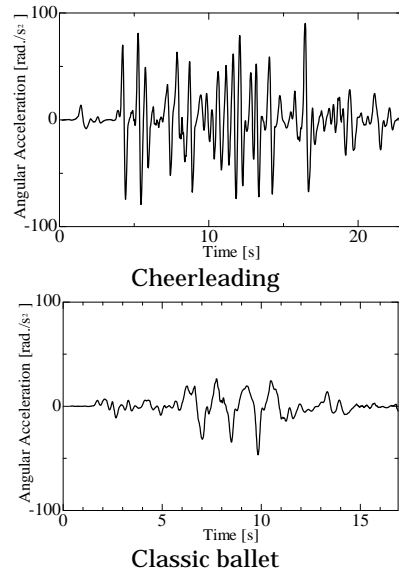


図2 踊りの種類による前腕の角加速度の比較

図2より、動作の特徴による筋活動量に対応した角加速度が得られている。チアは両手両足全身を使った素早い動作であり、バレエはターンやステップなど足の動きに特徴の多い踊りである。両手の解析結果を比べると、チアにおける手を動かすために必要な筋活動量は豊富で、バレエの手の動きに必要な筋活動量は滑らかな動きに対応している。しかし、両足の結果に着目した場合ではチアもバレエも両手程の角加速度は現れなかった。撮影したアニメーションと結果を見比べてみると、角加速度の有用性が更に理解できる。チアの動きの激しいシーンに両手を頭の上で振る動作が存在するのだが、その時間帯の角加速度値は動きの激しさに見合った大きな値を示している。バレエのターンのシーンでは、5回ターンをする動作に合わせて、角加速度値も変化する。以上のデータより、角加速度による運動評価の方法は、動作に見合った結果を示し、視覚的に判断できない動作を評価する情報としての確かな有用性があると言える。

図3は先に示した鉋掛け動作における各作業者の右足の角加速度を示す。熟練者は、足の踏みかえ位置で力を使っていて、なおかつ筋力値も小さいと推測される。逆に素人は、足の踏みかえ以外の箇所でも力を入れることが多く、全体的に筋力値も大きいことが分かる。また、左右の手および足の全ての組み合わせについて角加速度の相関を計算した結果、熟練者では左右の手以外の組み合わせでは殆ど相関がみられないため、手と足の力

の入れ方が独立していると推測されたが、初心者はいずれも手足の組み合わせでも強い相関が見られ、足運びに連動して手に力が入る等の兆候が現れていることが判った。

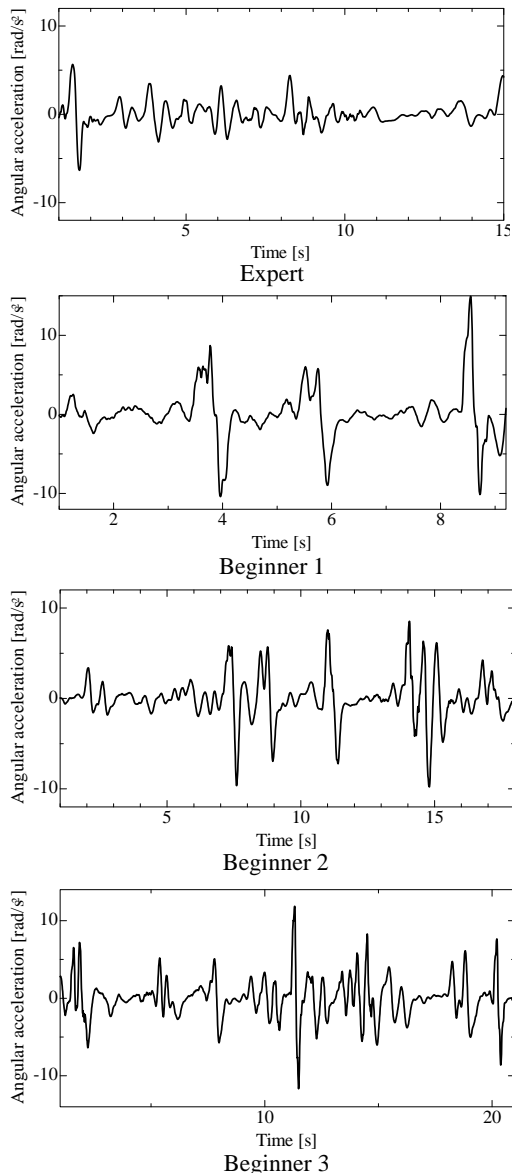


図3 熟練者と初心者の右足の角加速度

### (3) 筋電位信号の同時計測

鉋がけ動作の評価において筋力を推測するために角加速度を使用した。実際に筋電位信号を使用する方が筋力の評価は確実である。ただし、動作範囲が広い場合には無線での計測が必要となる点が問題であった。そこで身体が移動しない作業として、伝馬船制作でも多い鋸引き動作を対象とした。図4は作業者の鋸引き動作時の筋電位信号との同時計測結果を示す。ここでは筋電位信号を% MVC に変換している。% MVC とは最大値に対する実際の動作時の値の割合である。図から鋸を引くとき筋力を使い木材を削り、押し出すときはほとんど力を使っていないことが明らかであり、動作と筋力が完全に対応していることが観察される。筋電位信号を併用す

ることで映像からは分からない情報を得ることが可能となる。しかし、身体への電極設置や配線の取り回し、或いはワイヤレスシステムの高コストなどを考慮すると、前項で提案した角加速度による筋力評価をさらに発展させることは意義が高いと考えられる。

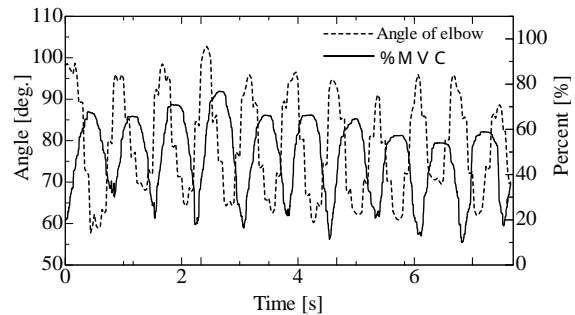


図4 動作と筋電位信号の同時計測

### (4) 道具の動きの解析による熟練度評価

道具の動きによる熟練度の評価の試みについて、対象にした木造船の製造過程で用いられるハギアワセと呼ばれる2枚の板の接合の作業工程について説明する。ラキ穴と呼ばれる台形のクギ穴を掘り、クギを打ち込む穴をクギさしノミを使って貫通させ、板と板を密着させてその穴にフナクギを打ち込む(図5)。ハギアワセではこの一連の作業を行う。



図5 板同士の接合「ハギアワセ」

動作情報を得るために未経験者に対して2週間程度、作業を練習させて動作を記録した。この際、人体の動作解析は様々なツールで行われているが、その解析と評価が難しいため、今回は物体の動きを対象として、道具の動きについて解析を試みた。ラキ穴を製作する過程の動作に対して評価を行う。ハンマーがノミを叩く瞬間のハンマー頭部の姿勢とノミの姿勢を評価するために、垂直軸に対するノミとハンマー頭部のそれぞれの軸方向をプロットした結果を図6に示す。また、図7はノミの軸方向を図6と同様に示し、それに対してハンマー頭部の速度ベクトルの方向の角度差を棒グラフで示している。ノミとハンマーの軸の角度差が小さいほど2つの道具の位置関係が正しいことになる。ノミが垂直に立っている時はハンマーも垂直に向けられているが、ノミが大きく傾いている場合はハンマー頭部との角度差が少し大きくなる傾向が見られる。ハンマーでノミを軸方向に叩くことで、材料に対して狙った角度、深さにノミを打ち込むことができるため、2つの道具の位置関係とともに軸方向に叩くという動作の速度の方向は非常に重要である。しかし、図7ではノミが大きく傾いている場合はハンマーの打ち難さと影響してノミの軸方

向とハンマーの速度ベクトルの方向が大きく違っており、狙った角度にハンマーを打ちこめていないことが明らかになっている。

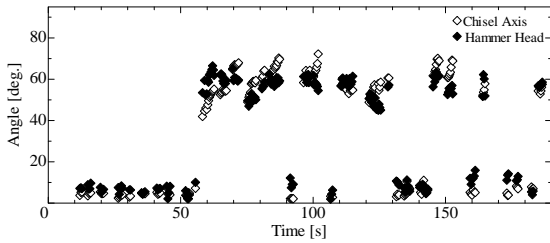


図6 ノミの軸とハンマー頭部の軸の角度

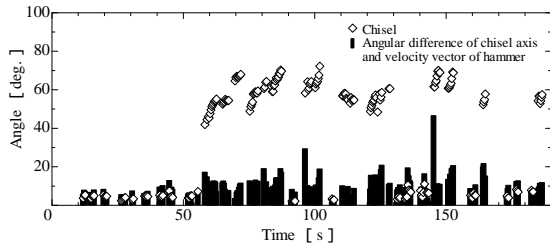


図7 ノミの軸とハンマーの速度ベクトルの角度差

(5) 箒動作を対象とした手指運動熟練度評価

身体や道具の動作以外に、手指を使った熟練技能が多く存在する。そこで、操作に熟練を要する身近な手指動作として箒使いを対象とした。箒動作における指の動きと技能や熟練度との関係性を調べるため、箒操作反復実験を行なった。また、箒操作の練習過程において、箒操作技能の違いが市販されている矯正箒の効果に与える影響も検討した。ここで矯正箒とは、作用箒の回転中心や指の位置が固定されるタイプのもので、正しいとされる持ち方に矯正できるものである。

反復実験は一定時間で隣の皿に移動できた大豆の数を計測することによる。矯正箒による訓練サイクルを反復し、その後大豆の移動量での評価を各対象者の利き手、非利き手それぞれで行った。図8は普通箒の利き手操作での移動量推移を示す。被験者AとBは正しい持ち方をしているものであり、CとDは非常に癖のある持ち方の被験者である。

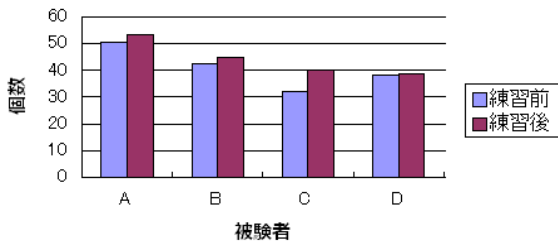


図8 箒操作反復実験における移動量の推移

結果から、正しい持ち方をしている者の方が大豆移動量が多い傾向にあった。また利き手では最初の測定結果が不良であった者の方が、矯正箒を用いた反復練習による効果が得られたのに対し、非利き手では最初の測定結果が良好であった者の方が矯正箒の効果が高いなど、道具を使用する際の正しいフォームが影響することが明らかになった。

(6) タイピング動作を対象とした熟練度評価

前項の結果を踏まえ、両手を使ったタイピング動作を対象として、箒動作と同様にいくつかの評価指標を提案し、動作熟練度の評価を目指す。モーションキャプチャを用いて熟練者1名(被験者A)と非熟練者2名(被験者B,C)の動作を記録した。計測結果よりホームポジションからの各指先の相対移動量の総和および単位時間あたりの平均移動量を算出して評価を行なった。熟練者である被験者Aは、総移動量が最も少なくスピードも速いため、無駄のない動きで効率よくタイプしていることが確認できた。被験者Bは移動量は少ないもののスピードがなく、ゆっくりとした動きをしていた。被験者Cは総移動量が最も多く、無駄な動きをしていながらも、速いスピードで指を動かしていた。

図9に被験者Cに正しいホームポジションでのタイプを訓練させた際の正確さの推移を示す。我流でのタイピングを正しいポジションにすることにより、正確さは向上するものの速度が一旦、極端に低下するが、その後は正確さを保ったまま速度が向上していくことが観察される。図10には被験者B,Cの訓練前と後の状態を示す。両者ともに正しいポジションでのタイピング訓練により正確さと速度ともに向上している。したがって手指動作において正しいフォームとされている長年の経験により正しいとされているフォームの妥当性が証明できたことになる。

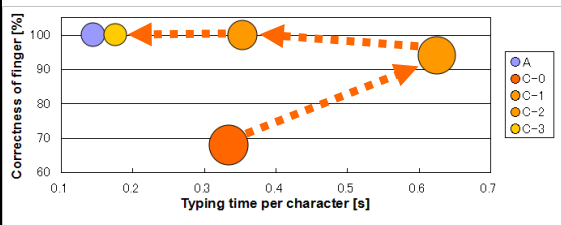


図9 タイピング訓練による速度と正確さの推移

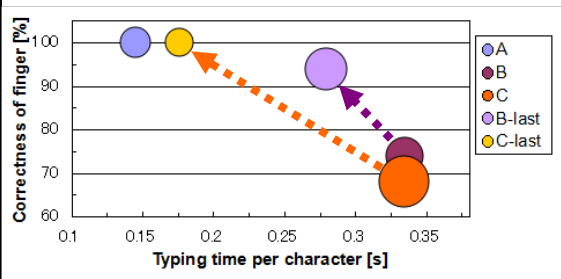


図10 タイピング訓練による速度と正確さの向上

以上、技能の保存、および熟練度の評価とその継承の手法を開発するために、動作の記録と解析を行なった。具体的には、空間における座標位置の時間的推移、身体部位の相対関係、関節の回転加速度による筋力の評価、筋電位信号の同時計測、道具の動きによる熟練度評価、手指の動きに対する熟練度の評価を行なっている。結果として、各対象に応じて提案した評価基準により熟練度の評価が可能となり、技能継承のための指針となりえる手法の幾つかを提案することが出来た。

<引用文献>

大淵慶史, 坂本英俊, 吉留 徹, 野口雅史, 伝統技能の保存と継承のためのマルチメディア活用技術の開発, 工学教育, 58 巻, 6 号, pp.111-117, 2010 .

M. Shimizu, Y. Ohbuchi and H. Sakamoto, Quantitative Performance Evaluation for Traditional Wooden Ship using CAE method, Proc. of Asian Conference on Engineering Education (ACEE2014), pp. 131-135, 2014.

5 . 主な発表論文等

[学会発表](計 24 件)

古賀奈緒人, 大淵慶史, 坂本英俊, 人体と物体の動作解析による技能評価と運動保存, 日本機械学会九州支部第 70 回総会・講演会, 2017.3.14, 佐賀大学(佐賀市)

古賀奈緒人, 大淵慶史, 白川泰亮, 坂本英俊, 吉留徹, Preservation and Succession of Traditional Skills and Techniques of Woodwork using Digital Tools, Int. Conf. on Eng. Education and Research 2016, 2016. 11. 22, Western Sydney Univ. (Sydney, Australia)

大淵慶史, 坂本英俊, 白川泰亮, Motion Analysis of Skilled Woodworking Operation, International Symposium on Design and Research 2016, 2016.5.5, (Helsinki-Harjavalta, Finland)

古賀奈緒人, 大淵慶史, 坂本英俊, 物体の動作解析による熟練技能の評価, 日本機械学会九州支部第 69 回総会・講演会, 2016.3.15, 熊本大学(熊本市)

白川泰亮, 大淵慶史, 坂本英俊, 技能動作の 3 次元データの保存と評価, 日本機械学会九州支部第 69 回総会・講演会, 2016.3.15, 熊本大学(熊本市)

内村武嗣, 原田博之, 大淵慶史, 山口晃生, 筋電信号を用いた動作識別の研究, 第 34 回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 2015.11.28, 福岡工業大学(福岡市)

白川泰亮, 大淵慶史, 坂本英俊, 原田博之, Development of Evaluation Method of Skilled Motion using Optical Motion Capture, 6<sup>th</sup> TSME Int. Conf. on Mech. Eng., 2015.12.17, Regend Chalet Beach Cha-Am, (チャアム, タイ)

白川泰亮, 大淵慶史, 坂本英俊, モーションキャプチャを活用した技能動作の解析法の開発, 日本機械学会九州支部第 68 回総会・講演会, 2015.3.13, 福岡大学(福岡市)

松元まいこ, 大淵慶史, 坂本英俊, 手指動作による運動評価, 日本機械学会九州支部第 68 回総会・講演会, 2015.3.13, 福岡大学(福岡市)

古賀奈緒人, 大淵慶史, 坂本英俊, 村上旭, Motion Evaluation of Human Body and Object by Motion Analysis, Asian Conf. on Eng. Education (ACEE2014), 2014.10.11, 熊本大学, (熊本市)

白川泰亮, 大淵慶史, 坂本英俊, Preservation and Analysis of Traditional Skilled Motion by using Motion Capture System, Asian Conf. on Eng. Education (ACEE2014), 2014.10.11, 熊本大学, (熊本市)

松元まいこ, 大淵慶史, 坂本英俊, 原田博之, Hand Skill Evaluation by Finger Motion Analysis of Chopsticks Operation, Asian Conf. on Eng. Education (ACEE2014), 2014.10.11, 熊本大学, (熊本市)

松元まいこ, 大淵慶史, 坂本英俊, 箸動作における指の運動解析による熟練度評価, 日本機械学会九州支部第 67 回総会・講演会, 2014.3.12, 九州工業大学(北九州市)

山本睦人, 大淵慶史, 坂本英俊, 生体運動情報の収集による動作の保存と継承, 日本機械学会九州支部第 67 回総会・講演会, 2014.3.12, 九州工業大学(北九州市)

岡部翔吾, 原田博之, 大淵慶史, 筋電信号を用いた動作識別とその応用, 第 32 回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 2013.11.30, 長崎大学(長崎市)

松元まいこ, 大淵慶史, 坂本英俊, Hand Skill Evaluation by Finger Motion Analysis-Chopstick Analysis-, Asian Conf. on Eng. Education (ACEE2013), 2013.11.7, Ramada Plaza Jeju Hotel, (済州, 韓国)

山本睦人, 大淵慶史, 坂本英俊, Preservation and Succession of Skilled Motion by Bode Motion Analysis, Asian Conf. on Eng. Education (ACEE2013), 2013.11.7, Ramada Plaza Jeju Hotel, (済州, 韓国)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

大淵 慶史 (OHBUCHI Yoshifumi)  
熊本大学・大学院先端科学研究部・准教授  
研究者番号: 10176993

(2) 研究分担者

坂本 英俊 (SAKAMOTO Hidetoshi)  
同志社大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号: 10153917

(3) 連携研究者

原田 博之 (HARADA Hiroshi)  
熊本大学・大学院先端科学研究部・教授  
研究者番号: 90145285