

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：平成 19 年度 ～平成 21 年度

課題番号：19310102

研究課題名（和文） 技能の分析・伝承に関する総合的研究

研究課題名（英文） Study on Scientific Analysis and Continuation of Skill

研究代表者

大崎 紘一（OSAKI HIROKAZU）

岡山商科大学経営学部経営学科・教授

研究者番号：60032942

研究成果の概要（和文）：

非接触で身体部位の動きを 2, 3 次元位置、軸回転角度を計測する装置の開発、手に持った工具が対象物に対して加工する作業中の力の分布を計測する装置の開発、海外の作業現場での生産性、品質確保のため作業情報、品質情報の決定とリアルタイムに国内に転送し、技能者の指導を行う手法の開発、更に開発した装置を総合して技能者の計測と分析を行い、技能作業の特徴のある動作の定量化、その動作の作業の違いによる同一性について研究を推進し成果を上げることができた。

研究成果の概要（英文）：

We made clear that skilled human performs motion symmetrically or repeatedly in work in 3 dimensional coordinates and 3 axis rotational angles measured by the developed apparatus by analyzing scenes from many cameras based on the image processing method, and in force and moment by the developed apparatus to measure by 6 axis force sensor attached to tool or object. And we developed the consulting method that skilled workers advice directly to unskilled workers who work in domestic or foreign factories under monitoring real time images sent by internet.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 19 年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
平成 20 年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
平成 21 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
総計	13,100,000	4,230,000	17,330,000

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 2201

キーワード：身体部位回転角度計測システム、回転角度検出パターン、技能作業継続・終了判定システム、仮想彫刻システム、遠隔地技能指導、技能要素作業同一性

1. 研究開始当初の背景

技能の定量化の重要性に着目し研究を始

め、「平成 13 年科学研究費基盤(B)(1)、技能の分析・伝承に関する研究」、「平成 16 年科

学研究費基盤(B)、技能の分析・伝承に関する総合的な研究」に採択され、研究を組織的に進めることができた。身体部位に装着した磁気センサーから人間の身体部位の3次元位置、3軸回転角度を求め、関節リンクモデルの構築、各部位の3次元空間内での方向を示す8象限表現法の開発、VR作業訓練システムの開発、作業訓練ロボットシステムの開発などの成果を上げた。

6年間の研究組織、研究内容を継続し、「平成19年科学研究費基盤研究(B)、技能の分析・伝承に関する総括的研究」に採択され、更に研究を発展する機会を与えられた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、以下の6点にまとめることができる。

第1には、従来の研究では身体部位の動きは、2,3次元の位置の変化を中心に研究がなされてきたが、人間の身体はリンク機構であり、動きは関節の回転角度から生じるにもかかわらず、ほとんど研究がなされていない。そこで、技能者の作業中の身体部位の動きを非接触で計測するために、身体部位に位置、回転角度を検出するための回転角度検出パターンを装着し、多数のカメラから入力した画像を画像処理により分析し、2,3次元位置、軸回転角度を求める装置の導入と、分析ソフトの開発を行った。そして、鏡面仕上げの技能者、組立作業の技能者、伝統文化である中国京劇の顔を左右の手でマークする技能者の作業を収録分析し、提案している2,3次元の位置、軸回転角度から、特徴のある動作、異なる作業での繰り返しの多い同じ動作の同一性について明らかにした。

第2には、技能者が作業中の対象物の表面形状の変化を目で見ながら継続・終了を判定する手法と計測装置の開発を行なった。技能者の形状を見る際の目の位置と方向、更に見る際の注意点と見る方向を言葉で収録し、知識としてまとめた。また作業途中で形状を確認する毎に、短時間で多方向からのカメラで表面形状を取込み、面の傾きの変化量を計測・分析する手法の開発を行なった。作業の継続・終了を判定する基準を、技能者の知識からの判定基準と、過去の完成品のCAD図形と現状の形状比較による判定基準から決定し、技能作業継続・終了判定システムを開発した。

第3には、熟練者の道具、彫刻刀の把持力を、手と工具の接触部に圧力センサーを貼り、柄に6軸力覚センサーを取り付け、手に圧力センサーを貼り、作業中の把持圧力、工具にかかる圧力とモーメントを測定可能にした。彫刻刀と彫刻材料の位置を測定し、仮想の彫刻刀と彫刻材料として仮想3D作業空間内への表示と把持力と刃先にかかる力の大きさ

を円筒形図形の長さに置き換えて作業者に提示する仮想彫刻システムを開発した。そして、香川県の伝統産業の一つである「讃岐彫り」の技能者の計測と分析を行った。

第4には、作業者が対象物へ工具により加工する際の力方向を非接触で3軸方向の力として計測分析手法の開発を行った。この装置の開発により、作業中の力変化を見ながら未技能者が作業訓練を受けることができるだけでなく、ロボットシステムでの力制御として導入すれば、技能作業ロボットの開発が可能となる。

第5には、国内の生産現場が海外に移転することで、それらの現場では人の労働力に依存しているため生産性、品質の確保のためには技能者が必要であるが、海外での養成には時間がかかり、国内での技能者の活用が急務になっている。そこで、国内にいる技能者に、海外の生産現場から生産性、品質に関する情報を収集し、日本に転送し、リアルタイムに技能者の知識に基づいて指導する手法について研究を進めている。

第6には、開発した装置、手法を総合的に使用して、多くの技能作業を計測分析し、技能作業の特徴ある動作、異なる技能作業での動作の同一性を解明する。

以上の研究目的を達成することで、技能者の「わざ」と「知識」を定量化する装置、手法を開発し、短期間で若年労働者の技能の習得を可能にして、日本国内に温存し、海外展開をしている生産現場の生産性、品質維持のために活用したり、異なる作業で共通して行われる技能動作を明確にすることで、技能作業の分類体系が可能となり、日本を高知識と高技能集約により新製品開発型への移行、及び国内外の文化を支える伝統技能を維持発展させることが可能となる。

3. 研究の方法

技能の解析の基本となる非接触で身体部位の動きを2,3次元位置、軸回転角度を計測する装置は、身体部位に位置、回転角度を検出するための回転角度検出パターンを装着し、多数のカメラから入力した画像を画像処理により行うものである。

手に持った工具で対象物に対して加工する作業中の手、工具、加工物に加える力の分布を計測する装置は、作業台、工具に圧力センサー、6軸力覚センサーを取り付け、作業中の把持圧力、工具、加工物にかかる圧力とモーメントを測定できる。

国内外の作業現場での生産性、品質確保を特定の場所にいる技能者で指導するための作業情報、品質情報の決定とそれらをリアルタイムに転送する装置及び手法の開発を行う。

更に開発した装置を総合して技能者（鏡面

仕上げ作業技能者、組立作業の技能者、讃岐彫りの技能者、中国京劇のメイクをする技能者)の計測と分析を行い、技能作業の特徴のある動作の定量化、その動作の作業の違いによる同一性について研究を行った。

4. 研究成果

4.1 画像認識による身体部位の2, 3次元座標位置、軸回転角度を測定する装置の開発と技能作業の特徴動作の解析

非接触で動作部位の2, 3次元位置、軸回転角度を計測するための画像処理手法を応用した装置の開発を行った。まず、最大16画面の入力・記録・再生が可能で、1基本画面は、720×480画素、基本4画面は、それぞれ30画面/秒で同時録画、個別再生可能なハードディスクレコーダー、最大16個のカメラを使用して、2次元の多重画面身体部位画像入力・記録・再生システムを構築した。本装置を使用して、非接触で身体各部位の2次元座標、軸角度、軸回転角度を求めるためには、各部位に装着する回転角度検出パターンが必要であり、複数の線分で構成するパターンを開発した。そして画像処理により複数の線分の各位置、角度から、2次元座標、軸角度、軸回転角度を求めるソフトをコンピュータを用いて開発した。なお、多数のカメラを設置し、質の高い画像を収録するために、岡山商科大学、社会総合研究所の1室に収録スタジオを設置している。(図1)

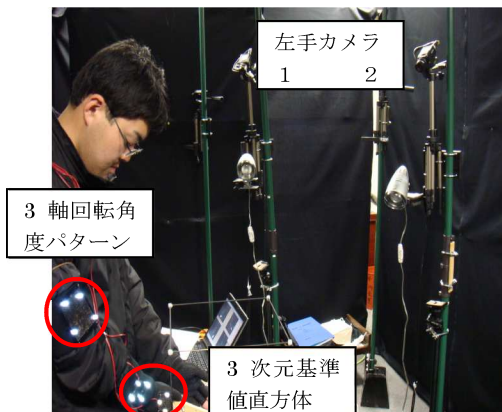


図1. 3次元位置、3軸回転角度計測装置
開発した角度検出パターン

さらに、作業現場に持ち込みが可能で、技能者の作業を収録すること、3次元での計測ができるようにするため、2台のカメラを1セットとして3次元位置座標、3軸回転角度を求めることのできる(株)ライブラリーの4台カメラ、最高120画像/秒の高速で動作を取込み、部位の3次元位置、3軸回転角度を測定できる2/3次元マルチ運動解析システムを導入した。このシステムにおいても、非接触で動作部位の3軸回転角度を検出するためには、1部位に3又は4個のマーカが必要であり、3又は4個のLEDを使用した回転角度

検出パターンを開発した。本装置も作業中に部位に装着した回転角度検出パターンを精度良く取り込むために他の1室に収録スタジオを設置している。

いずれの装置においても回転検出パターンを精度良く取り込むためのパターンの配置、パターンの素材に関して現在のものでは不十分であり、今後さらに改良を加えていく必要がある。

開発した画像処理による動作部位の位置、回転角度計測システムの測定精度の検証と共に、技能作業として企業内製造現場で加工面を鏡面仕上げをする技能者、ナットを締める作業を含む組立作業をする技能者、そして文化伝承として中国京劇の顔を左右の手でメイクする技能者の作業を測定分析した。特に鏡面仕上げ作業は、首都大学東京 梶原、滝の開発した力の分布の計測を同時に行った。

以上の結果の中で特に新しい事実として、鏡面仕上げ作業でヤスリの繰返し磨き1動作の周期、組立作業におけるナットを人差し指で回す1動作の周期は、30/7Hzであることを明らかにすることができた。この事実は、科学研究費の終了後も大きな研究テーマとして、導入した装置を、研究グループで活用し、収録スタジオを設置している岡山商科大学社会科学総合研究所の研究室を拠点として推進していく。

4.2 模範動作生成手法と技能習熟判定法の開発

技能者の動作を未熟練者に効率的に教示するためには、(1)熟練者の作業で良く行われている動作毎に区分し教示する、(2)熟練者の用いる道具の複数回の動きから教示のための一動作(模範動作)を生成する、(3)生成された模範動作を教示することであると考える、研究を行った。これらを行うために、計測された熟練者の動きより、コンピュータ処理により模範動作生成を行う研究を行った。また、技能の習得状況を定量的に把握するために、技能者の道具の動きとなる模範動作との同期の度合いについてセンサーを用いて道具の把持圧力分布を測定し、技能の習得を判定する方法に関する研究を行った。さらに、動作の決定は視覚情報を基に行っていると考え、身体動作に連動した視線位置の計測に関する研究を行った。

模範動作を自動生成するために、計測された道具の動きと作業対象物(書道であれば紙、面彫りであれば木材)の位置関係より、両者が接触している間を一動作として区分した。そして、複数作業において区分された動作を基準化し、比較することで、よく似た動作を抽出した。抽出された複数動作より、模範動作となる一動作を生成することを試みた。

把持圧力分布を用いた研究では、熟練者が用いる道具の動きを再現する動作訓練システムを用いて訓練を行う際に、把持圧力の変化から習得状況を把握しようとするものである。熟練者の道具の動きと連動しない動作を行った場合の把持圧力と連動した場合の把持圧力では相違があると考え、その違いから習得状況の判定を試みた。

視線位置を用いた研究では、道具の動きと連動した視線の動き、また、動作前の計画段階における視線の動きを計測することにより、熟練者の視線の動きの分析を行った。

ビデオレコーダーで保存した画像データから、人物の動きの抽出、手腕の動きの抽出を行うシステムを構築した。また、簡易に同期した動画を保存するために、PCベースのシステムを構築した。2台のカメラ間で同期をとりながら保存できるタイプであり、複数方向からの人物の動きの抽出に利用できる。

以上については、動画を保存するのみの機能であるため、その動画から画像処理を行うための科研費で購入した画像処理ソフトウェアを用いて、画像処理をし、解析する手法の開発に着手した。

4.3 工具の握り部、指先の力分布の計測分析手法の開発

熟練者の道具、彫刻刀の把持力は、手と工具の接触部に圧力センサーを貼り、柄に6軸力覚センサーを取り付け、そして手に圧力センサーを貼ることで、作業中の把持圧力、工具にかかる圧力とモーメントを測定する装置を開発した。彫刻刀の位置の測定は、彫刻刀先端と後端にそれぞれ3本のワイヤでおもりを結び、彫刻刀の動きにより変化するおもりの位置を空間位置センサーとして用いた。そして、おもりの動きをカメラで撮影し、動画画像処理を用いておもりの位置から彫刻刀の位置を求める装置を開発した。そして、熟練者が用いる道具の動きを再現する仮想彫刻システムにおける仮想作業空間を次のように構築した。このシステムでは、作業を行う最大の範囲を決定し、提案した測定方法より得られた彫刻刀と彫刻材料の位置を仮想の彫刻刀と彫刻材料として仮想作業空間内に3D-CGを用いて図2に示すように表示した。そして、彫刻刀にかかる把持力（圧力）の情報を示すために、その値に比例した長さの円筒形図形を仮想の彫刻刀と手が接触している部分に垂直な方向に表示した。

開発した工具の力分布測定システムにより、香川県の伝統工芸である讃岐彫りの計測・分析を行い、訓練方法の開発を行った。そして、実際の作業では熟練者が彫刻しているときの把持力の大きさや刃先にかかる力を測定し、讃岐彫りの訓練を支援する仮想彫刻システムを開発した。

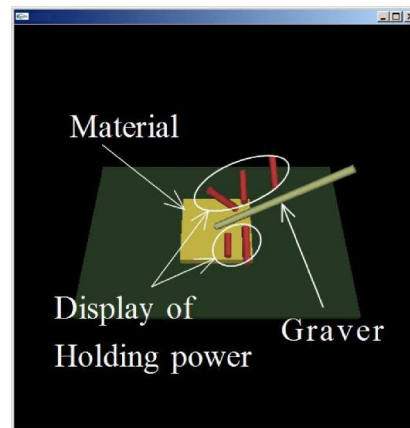


図2. 仮想作業空間内の3D-CG表示

4.4 工場内の技能作業の測定装置の改良及び技能作業の測定と分析

作業者が対象物へ工具により加工する際の力方向を非接触で3軸方向の力として計測、分析する手法の開発を行った。この装置に作業中の力変化を見ながら未技能者が作業訓練を受けることができるように力分布表示をする訓練システムを開発するとともに、ロボットシステムでの力制御として導入すれば技能作業ロボットの開発が可能となる。

国内の生産現場が海外に移転し、それらの現場は人の労働力に依存しているため、生産性、品質の確保のために熟練者の所属する部署から、遠隔地の作業現場の作業指導を行うために、インターネット通信技術を用いた技能支援システムを開発し、機械加工企業での実証評価を行っている。さらに、作業計測・表示システムを用いて、熟練者の行う作業内容を動画および力覚データとして計測・保存できるようにした。そして、計測した動画と力覚データとを同期させて再生することにより、未熟練者に作業内容を教示できる作業訓練システムを構築した。開発した作業計測・表示システムの精度の検証実験と、工場内での鏡面仕上げを行う技能者の作業の収録、分析を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

【雑誌論文】(計10件)

(1) 学会誌等(計6件)

- ① 宗澤良臣, 梶原康博, 大崎紘一, 技能の定量化に関する研究(第1報、動作部位の3軸回転角度からみた動きの分析手法), 日本経営工学会論文誌, 査読有り, Vol58, No.1, 2007, pp.17-28
- ② Takeshi Nishimura, Hirokazu Yamada, Yoshiomi Muneshawa, Yasuhiro Kajihara, Hirokazu Osaki, Generation Method of Model

Movement of Tool for Skill Training, Asia-Pacific Journal of Industrial Management, 査読有り, Vol. I, Issue 1, 2008, pp.17-23

- ③ 徳永修一, 中谷彰吾, 白田智大, 仮想彫刻システムのための彫刻材料に関する研究, 間電波工業高等専門学校研究紀要, 査読無し, 第 36 号, 2008, pp.69-74
- ④ Yoshiomi Munewawa, Atsuo Murata, Ryota Tomiyama, Analysis of Tool and Eye-gaze before and during skilled Task, Asia-Pacific Journal of Industrial Management, 査読有り, Vol. II, Issue 1, 2009, pp.50-58
- ⑤ 徳永修一, 大西祐生, 坂田昌平, 工具の把持力の測定方法に関する研究, 誌間電波工業高等専門学校研究紀要, 査読無し, 第 37 号, 2009, pp.93-98
- ⑥ Shuichi Tokunaga, Yoshiomi Munewawa, Hirokazu Osaki, Tomohiro Shirata, A Study on Virtual Workspace for Sculpture Skill Training, Asia-Pacific Journal of Industrial Management, 査読有り, Vol. III, Issue 2, 2009, pp.44-51

(2) 国際会議(査読あり) (計 4 件)

- ① Hirokazu Osaki, Yoshiomi Munewawa, Minoru Komatsubara, Katashi Osaki, Masahiro Oka, Method to Measure Rotation Angle of Joint of Human Body by Image Processing, Proceedings of the Ninth International Conference on Industrial Management, 査読有り, 2008, Sept., pp.812-818, Osaka, Japan
- ② Shuichi Tokunaga, Yoshiomi Munewawa, Hirokazu Osaki, Tomohiro Shirata, A Study on Virtual Workspace for Training of Sculpture Skill, Proceedings of the Ninth International Conference on Industrial Management, 査読有り, 2008, Sept., pp.755-762, Osaka, Japan
- ③ Yoshiomi Munewawa, Atsuo Murata, Ryota Tomiyama, Analysis of Movement of Tool and Eye-gaze before and during Skilled Task, 【Excellent Paper Award】, Proceedings of the Ninth International Conference on Industrial Management, 査読有り, 2008, Sept., pp.607-612, Osaka, Japan
- ④ Seiko Taki, Yasuhiro Kajihara, Shuhei Nishimoto, Development of Support System for Maintenance Tasks at Remote Sites, Proceedings of the Ninth International Conference on Industrial

Management, 2008, Sept., 査読有り, pp. 572 – 576, Osaka, Japan

[学会発表] (計 14 件)

(1) 口頭発表

- ① 宗澤良臣, 村田厚生, 西村剛史, 技能伝承のための模範動作生成手法に関する研究, 平成 19 年度日本経営工学会春季大会, 2007 年, 5 月 12 日, 東京都, 成蹊大学
- ② 宗澤良臣, 村田厚生, 河原寛, 技能伝承のための動作に連動した視線の計測に関する研究, 平成 19 年度日本経営工学会秋季研究大会, 2007 年, 10 月 21 日, 小樽市, 小樽商科大学
- ③ 富山亮太, 宗澤良臣, 村田厚生, 技能作業中の道具位置に対する視線位置分析に関する研究, 第 40 回日本人間工学会中国・四国支部大会, 2007 年, 12 月 1 日, 高松市, 香川大学
- ④ 道端壮太, 宗澤良臣, 梶原康博, 村田厚生, 把持圧力分布を用いた技能習得判定法に関する研究, 第 40 回日本人間工学会中国・四国支部大会, 2007 年, 12 月 1 日, 高松市, 香川大学
- ⑤ 滝聖子, 梶原康博, 製造業における技能伝承支援に関する研究, 平成 19 年度日本経営工学会秋季研究大会, 2007 年, 10 月 21 日, 小樽市, 小樽商科大学
- ⑥ 大崎紘一, 宗澤良臣, 小松原実, 画像処理による動作分析手法の開発に関する研究, 第 1 報, 身体関節の自由度に対応した回転角度の検出法, 平成 20 年度日本経営工学会春季大会, 2008 年, 5 月 11 日, pp.192-193, 調布市, 電気通信大学
- ⑦ 中谷彰吾, 徳永修一, 仮想彫刻システムのための材料位置の計測に関する研究, 平成 20 年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, 2008 年, 9 月 27 日, p.75, 徳島市, 徳島大学工学部
- ⑧ 徳永修一, 中谷彰吾, 大西祐生, 工具の把持力の測定法に関する研究, 平成 20 年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, 2008 年, 9 月 27 日, p.71, 徳島市, 徳島大学工学部
- ⑨ 宗澤良臣, 村田厚生, 富山亮太, 技能動作中の道具位置に対する視線位置分析に関する研究, 平成 20 年度日本経営工学会春季大会, 2008 年, 5 月 11 日, pp.188-189, 調布市, 電気通信大学
- ⑩ 滝聖子, 梶原康博, 山本濯, 作業特性評価手法に関する研究, 日本経営工学会平成 21 年度春季大会予稿集, pp. 122-123, 2009 年, 5 月 17 日, 埼玉県坂戸市, 城西大学
- ⑪ 大西祐生, 徳永修一, 坂田昌平, 工具の力

分布の測定法に関する研究, 平成 21 年度電気関係学会四国支部連合大会, 2009 年, 9 月 26 日, p.71, 松山市, 愛媛大学工学部

- ⑫ 大崎紘一, 徳永修一, 大崎堅, 滝聖子, 梶原康博, 宗澤良臣, 小松原実, 画像処理による動作分析手法の開発に関する研究, 第 2 報, 部位の 2 次元、3 次元位置と軸回転角度の計測法, 平成 22 年度日本経営工学会春季大会, 2010 年, 5 月 15 日, pp.6-7, 東京都, 日本大学
- ⑬ 滝聖子, 梶原康博, 岩井信太朗, 遠隔地間での熟練技術伝承を目的とした作業支援システムの効果に関する研究, 平成 22 年度日本経営工学会春季大会, 2010 年, 5 月 15 日, pp.2-3, 東京都, 日本大学
- ⑭ 滝聖子, 梶原康博, 岩井信太朗, 力覚センサーを用いた作業訓練システムによる熟練技術の分析と伝承に関する研究, 平成 22 年度日本経営工学会春季大会, 2010 年, 5 月 15 日, pp.4-5, 東京都, 日本大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大崎 紘一 (OSAKI HIROKAZU)
岡山商科大学経営学部経営学科・教授
研究者番号 : 60032942

(2) 研究分担者

- ① 小松原 実 (KOMATSUBARA MINORU)
岡山商科大学経営学部経営学科・教授
研究者番号 : 10234882
- ② 宗澤 良臣 (MUNESAWA YOSHIOMI)
岡山大学自然科学研究科・講師
研究者番号 70274008 :
- ③ 梶原 康博 (KAJIHARA YASUHIRO)
首都大学東京システムデザイン
研究科・教授
研究者番号 : 70224409
- ④ 滝 聖子 (TAKI SEIKO)
首都大学東京システムデザイン学部・
助教
研究者番号 : 50433181
- ⑤ 徳永 修一 (TOKUNAGA SYUUICHI)
香川高等専門学校、詫間キャンパス
情報工学科・教授
研究者番号 : 10197874