

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月24日現在

機関番号：12401  
 研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2010～2012  
 課題番号：22560241  
 研究課題名（和文） 統合脳活動計測による匠の技の脳科学的解明および  
 バーチャルトレーニングへの応用  
 研究課題名（英文） Virtual Reality-Based Skills Training and Real Skills Training  
 Based on Brain Activity Assessment Using Near-Infrared  
 Spectroscopy  
 研究代表者 綿貫 啓一 (WATANUKI KEIICHI)  
 埼玉大学・理工学研究科・教授  
 研究者番号：30212327

### 研究成果の概要（和文）：

本研究では、高度な技術、高品質、短納期などが要求される単品鋳物製品に関する鋳造や機械加工工程を技能伝承事例として取り上げ、ものづくりの技能伝承における身体知得過程の脳科学的分析およびその工学的応用について行った。ヒューマンインタフェース分野、脳科学分野等の知見をもとに、ものづくりにおける技能伝承の基礎的研究と応用的研究を行うとともに、ものづくり現場での実践的検証を行い、技能伝承の高度化を図った。

### 研究成果の概要（英文）：

This study proposes a new virtual reality-based skills training and human resource development. In our proposed system, the education content is displayed in the immersive virtual environment with haptic information, whereby a trainee may experience work in the virtual site operation. The brain functional activities of the worker under virtual and real skills training are measured using near-infrared spectroscopy, and the characteristics of these activities are analyzed in detail.

### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

### 研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：技能伝承，脳科学，非侵襲型脳機能計測，バーチャルリアリティ，拡張現実感技術，力覚提示，デザインレビュー，人材育成

#### 1. 研究開始当初の背景

日本の製造業においては、生産拠点の海外移転による産業の空洞化が産業集積地域に深刻な影響を与え、特に、これまで製造業を支えてきた基盤的技術産業において熟練技能の衰退が懸念されている。また、高齢社会の到来、若者の製造業離れの社会現象により、

後継者難などが生じ、日本の製造業の将来に危機的状況をもたらしている（2008年度版ものづくり白書，2008）。今後も高付加価値製品設計・製造を行うためには、基盤的技術や熟練技能伝承、および新たな知識の創出が不可欠となっている。埼玉県川口地域は鋳物等の高度な基盤的技術を持つ全国有数の産

業集積地域があり、地域の熟練技術・技能が失われれば、直接これらの地域の今まで以上の活力衰退にもつながる。そのため、熟練技術・技能伝承は非常に意義のあるものであり、緊急に取り組まなければならない重要な課題の一つとして、非熟練者への効率的・効果的な教育が挙げられ、本研究題目の遂行は重要である。

## 2. 研究の目的

本研究では、高度な技術、高品質、短納期などが要求される単品鋳物製品に関する鋳造や機械加工工程を技能伝承事例として取り上げ、ものづくりの技能伝承における身体知獲得過程の脳科学的分析およびその工学的応用について行う。ヒューマンインターフェイス分野、脳科学分野等の知見をもとに、ものづくりにおける技能伝承の基礎的研究と応用的研究を行うとともに、ものづくり現場での実践的検証を行い、技能伝承の高度化を図ることを研究目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では、ヒューマンインターフェイス分野、脳科学分野等の知見をもとに、ものづくりにおける技能伝承の基礎的研究と応用的研究を行うとともに、ものづくり現場での実践的検証を行う。具体的には、(1)注湯作業用力触覚提示装置の設計および製作、(2)リアルタイム鋳込みシミュレータの開発、(3)NIRS（近赤外分光脳計測装置）などの統合計測システムの構築、(4)脳活動計測システムによる脳活動情報の抽出および分析、(5)複合現実感技術を用いた技能伝承およびデザインレビュー支援システムの開発、(6)没入型仮想共有環境システムでの実証試験および質的分析、(7)複合現実感技術を用いた技能伝承およびデザインレビューの有用性検証、(8)バーチャルトレーニングへの応用、を行う。これにより、ものづくりにおける新たな技能伝承法や人材育成法の確立を目指す。

## 4. 研究成果

以下のような研究成果を得たので報告する。

### (1) 注湯作業用力触覚提示装置の設計および製作

多関節型ロボットアームと触覚用グローブから注湯作業用力覚提示装置を開発した。これにより、注湯用とりべ（炉からでる溶湯をうけ運搬や鋳込みを行う容器）をクレーンで運搬する感覚や、溶湯を鋳型に鋳込む作業を体験できた。

### (2) リアルタイム鋳込みシミュレータの開発

鋳型に高温の解けた金属を流し込む作業が注湯である。この作業では鋳込み速度が非常に重要である。鋳込みを適切な速度で行う

ためには、鋳型内での湯流れの様子を理解している必要がある。しかし、経験の浅い技能者にとって鋳型内の湯流れを想像することは困難である。そこで本研究では、注湯作業訓練を行うためのリアルタイム鋳込みシミュレータを開発した。本研究では湯を粒子とし、粒子法を簡略化した手法を開発し、これを用いてリアルタイムで解析した。VR 技術を用いて、湯流れを3次元立体映像で表示することで、湯流れのイメージを簡単に把握することが可能となった。

### (3) fNIRS（機能的近赤外分光脳計測装置）および視線計測等の統合計測システムの開発

fNIRS および視線計測装置により、統合脳機能計測システムを構築した。そのシステムにより、ものづくり作業者の脳賦活反応と視線を同時計測できることを確認し、本格的な計測システムを開発した。

### (4) 脳活動計測システムによる脳活動情報の抽出および分析

熟練技能者と初心者に、作業中の視覚・聴覚・触覚等の刺激情報を受けたり、運動を行ったときの脳の活動状態をNIRS-EEG 統合脳活動計測システムにより計測し、その解読を行い、作業のある特定の活動をするときに脳のどの部位が関わっているのかを調べた。

### (5) 複合現実感技術を用いた技能伝承およびデザインレビュー支援システムの開発

現実世界へ仮想物体を違和感なく合成するためには、現実世界の座標と仮想物体の座標との位置合せが重要であり、カメラの位置合せは、ARToolKit を用いて独自マーカーにより行った。本研究では、複合現実感技術を用いて、実際の製品に近い形態で表示し、視覚情報のみならず力触覚情報を融合してボリューム感や重量などを知覚でき、複数の人間が容易に体験しながらコミュニケーションできるタンジブルなデザインレビューシステムを開発し、鋳造製品のデザインレビューに適用した。

### (6) 没入型仮想共有環境システムでの実証試験および質的分析

「匠の技の質的分析」の研究成果を踏まえて、没入型仮想共有環境システムに教育対象に応じたコンテンツを表示し、現場作業の仮想的な体験を通じて非熟練技能技術者の教育支援を行った。

### (7) 複合現実感技術を用いた技能伝承およびデザインレビューの有用性の検証

拡張現実感技術を用いたデザインレビューの事例として研究を行った。このデザインレビューシステムでは、三面図をマーカーとして使用し、それに合わせて立体映像および湯口系方案を表示した。三面図上に表示している3次元データはキーボードやマウスを操作することで、見る角度を変更することができ

るようにしている。そのため、直感的に観たい角度からデータを観ることが可能である。このシステムを用いてデザインレビューをすることで、三面図から立体図や湯口系を想像できない人も製品のイメージを把握できるため、試作品を製作する前に十分な議論を行うことができ、試作品にかかるコストを減らすことが可能となった。また、本システムのように技術文書にマーカーを取り入れることで、若い技術者への教材として使用することも可能である。言葉では表現が困難な図形も3次元データとして表示できるため、学習者の理解を高めることができた。

(8)バーチャルトレーニングへの応用

地元企業技術者・技能者とも連携しながら、鋳造および切削機械加工分野について、ものづくりの技能伝承における「身体知獲得過程の脳科学的分析」に基づき、「工学的応用(バーチャルトレーニングと職場訓練との融合)」を分野横断的な質的研究を行うことにより、ものづくりにおける新たな技能伝承法や人材育成法の確立した。

(9)研究成果のまとめ

平成22年度から平成24年度までに得られた研究成果をまとめるとともに、実際の設計・製造現場での導入を検討した。また、学会発表等を通じてその研究成果を広く公表した。

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14件)

- 1) 侯磊, 綿貫啓一: NIRSを用いた旋盤加工作業時における脳賦活反応計測, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.79, No.800, (2013), p.1124-1133.
- 2) 利根川 洋一, 綿貫 啓一: 近赤外分光法を用いた音情報に対する脳賦活反応解析, 日本機械学会論文集, Vol.79, No.798, (2013), pp.442-449.
- 3) 綿貫啓一: バーチャルリアリティ技術と脳科学の知見に基づくものづくり技術・技能教育, 非破壊検査, Vol.61, No.5, (2012), pp.204-209.
- 4) 平山健太, 綿貫啓一, 楓 和憲: NIRSを用いた随意運動および他動運動の脳賦活分析, 日本機械学会論文集, Vol.78, No.795, (2012), pp. 3803-3811.
- 5) 綿貫 啓一, 楓 和憲, 武藤 雅大: 拡張現実感技術を用いたメカトロニクス教育支援システムの開発, 工学教育, Vo.60, No.6, (2012), pp.99-105.
- 6) L. Hou, K. Watanuki, Measurement of Brain Activity under Virtual Reality Skills Training Using Near-Infrared

Spectroscopy, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.6, No.1, (2012), pp.168-178.

- 7) 綿貫啓一: バーチャルリアリティ技術と脳科学の知見に基づく技能伝承, 砥粒加工学会誌, Vol.55, No.7, (2011), pp.398-401.
- 8) 綿貫啓一, 楓和憲, 佐藤勇一, 堀尾健一郎: バーチャルトレーニングと実習を融合したものづくり技術者の育成支援, 工学教育, Vo.59, No.6, (2011), pp.104-111.
- 9) 大谷成子, 綿貫啓一, 小島俊雄, 小林秀雄, 川嶋巖: 加工事例のXML記述と加工支援の検討, 精密工学会誌, Vol.77, No.11, (2011), pp.1039-1043.
- 10) 侯 磊, 綿貫啓一: ブレイン・マシン・インターフェイス設計のための脳機能解析(重心移動運動と脳賦活との関係), 日本機械学会論文集, C 編, Vol.77, No.783, (2011), pp.3962-3967.
- 11) K. Watanuki, L. Hou: Virtual Reality-Based Lathe Operation Training Based on Brain Activity Assessment Using Functional Near-Infrared Spectroscopy, Improving Complex Systems Today, Advanced Concurrent Engineering, Springer, (2011), pp.301-308.
- 12) K. Watanuki: A Mixed reality-based Emotional Interactions and Communications for manufacturing Skills Training, Emotional Engineering, Springer, (2011), pp.39-61.
- 13) K. Watanuki, L. Hou: Virtual Reality-Based Job Training Based on Brain Activity Assessment Using Functional Near-Infrared Spectroscopy, Journal of Japan Society for Design Engineering, Special Issue of the 2nd International Conference on Design Engineering and Science, Vol.46, (2011), pp.19-24.
- 14) 綿貫啓一: バーチャルトレーニングとOJTを融合した鋳造技能伝承および人材育成, 精密工学会誌, Vol.76, No.4, (2010), pp.382-389.

[学会発表] (計40件)

- 1) 平山健太, 綿貫啓一, 楓和憲: NIRSを用いた水平振動時の脳機能計測, 計測自動制御学会第13回システムインテグレーション部門講演会論文集, (2012), 1M3-5, 2012年12月18-20日, 福岡.
- 2) 侯磊, 綿貫啓一, 近藤祐樹: NIRSを用いた室内空調の温熱的快適性評価(光刺

- 激を伴う室内温度変化時の脳賦活解析), 計測自動制御学会第 13 回システムインテグレーション部門講演会論文集, (2012), 3M3-4, 2012 年 12 月 18-20 日, 福岡.
- 3) 大谷成子, 綿貫啓一, 小島俊雄, 小林秀雄, 瀬渡直樹, 江塚幸敏: 加工事例の画像検索に基づく加工支援システム, 人工知能学会第 17 回知識・技術・技能の伝承支援研究会講演資料 (SIG-KST), (2012), SIG-KST-2012-02-06, 2012 年 11 月 16-17 日, 横浜.
  - 4) 大谷成子, 綿貫啓一, 小島俊雄, 小林秀雄, 瀬渡直樹, 江塚幸敏: 加工事例の情報表示による加工知見の可視化, Design シンポジウム 2012 講演論文集, (2012), 2012 年 10 月 16-17 日, 京都.
  - 5) 大谷成子, 綿貫啓一, 小島俊雄, 小林秀雄, 瀬渡直樹, 江塚幸敏: 加工事例の情報デザインに基づく加工支援システムの開発, 日本機械学会第 2 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, (2012), pp.847-853, 2012 年 9 月 26-28 日, 広島.
  - 6) 近藤祐樹, 侯磊, 綿貫啓一: NIRS を用いた室内空調の温熱的快適性評価(室内温度変化に伴う脳賦活解析), 日本機械学会第 22 回設計工学・システム部門講演会論文集, (2012), pp.635-641, 2012 年 9 月 26-28 日, 広島.
  - 7) 大谷成子, 綿貫啓一, 小島俊雄, 瀬渡直樹, 小林秀雄: 加工事例の画像情報における視覚的評価手法, 日本機械学会 2012 年度年次大会 DVD-ROM 論文集, No.12-1, (2012), pp. J112022, 2012 年 9 月 9 日-12 日, 金沢.
  - 8) 坂井田千摩, 綿貫啓一: 接触状態を考慮した力覚提示装置の開発, 日本機械学会 2012 年度年次大会 DVD-ROM 論文集, No.12-1, (2012), pp. S116061, 2012 年 9 月 9 日-12 日, 金沢.
  - 9) 大谷成子, 綿貫啓一, 小島俊雄, 江端幹夫, 小林秀雄, 瀬渡直樹: 加工事例の外観画像における視覚的検索手法, 日本機械学会機素潤滑設計部門講演会 No.12-14, (2012), pp.39-40, 2012 年 4 月 23 日-24 日, 松山.
  - 10) 侯磊, 綿貫啓一: NIRS を用いた旋盤加工作業時における運動野の賦活反応の解析, 日本機械学会機素潤滑設計部門講演会 No.12-14, (2012), pp.35-38, 2012 年 4 月 23 日-24 日, 松山.
  - 11) K. Watanuki: Virtual Reality-Based Lathe Operation Training and Its Brain Function Assessment, Proceedings of the International Conference of Manufacturing Technology Engineers 2012 (ICMTE 2012), (2012), pp.29-32, 2012 年 10 月 18-19 日, Seoul, Korea.
  - 12) 綿貫啓一: 脳科学的アプローチを活用したものづくり, 日本機械学会 2012 年度年次大会 DVD-ROM 講演論文集, No.12-1, (2012), pp. F121002, 2012 年 9 月 9 日-12 日, 金沢.
  - 13) K. Watanuki: Near -infrared Spectroscopy and Noninvasive Brain-Machine Interfaces for Improving Quality of Life, ASME 2012 International Design Engineering Technical Conference & Computers and Information in Engineering Conference (ASME IDETC/CIE 2012), Workshop on Brain-Body-Emotion: A Step toward a New World, (2012), W6-1, 2012 年 8 月 12 日-15 日, Chicago, USA.
  - 14) 綿貫啓一: ものづくり技能伝承とその脳科学的解明, 日本鑄造工学会第 4 回鑄造設備研究部会講演資料, (2012), pp.1-4, 2012 年 3 月 15 日, 東京.
  - 15) K. Watanuki, K. Kaede: Human Resource Development for Undergraduate Students and Engineers Integrating Virtual Training and Practice Training, Proceedings of the 6th International Conference Business and Technology Transfer (ICBTT2012), No.12-201, (2012), pp.76-87, 2012 年 12 月 6 日-8 日, Newcastle, UK.
  - 16) K. Watanuki, Y. Asaka: Analysis of the Process of Embodied Knowledge Acquisition Using Near-infrared Spectroscopy, Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC2012), (2012), pp. 2693 – 2699, 2012 年 10 月 14 日-17 日, Seoul, Korea.
  - 17) K. Watanuki, K. Hirayama, K. Kaede: Brain Activation Analysis of Voluntary Movement and Passive Movement Using Near-infrared Spectroscopy, Proceedings of ASME 2012 International Design Engineering Technical Conference & Computers and Information in Engineering Conference (ASME IDETC/CIE 2012), (2012), DETC2012-71273, 2012 年 8 月 12 日-15 日, Chicago, USA.
  - 18) L. Hou, K. Watanuki: Analysis of Brain During Lathe Operation Using Near-Infrared Spectroscopy, Proceedings of 2012 ASME ISPS /

- JSME-IIP Joint International Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (MIPE2012), (2012), pp. 248-250, 2012年6月18日-20日, California, USA.
- 19) 平山健太, 綿貫啓一, 楓和憲: NIRSを用いた意識的および無意識的運動の脳賦活分析, 第12回計測制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, (2011), pp.3C2-3, 2011年12月25日, 京都.
  - 20) 侯 磊, 綿貫啓一: NIRSによる遠隔操作型ブレイン・マシン・インターフェイスの無線化に関する研究, 第12回計測制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, (2011), pp.3C2-4, 2011年12月25日, 京都.
  - 21) 利根川洋一, 綿貫啓一: 近赤外分光法を用いた工業製品の音質評価, 日本機械学会第21回設計工学・システム部門講演会 USB 論文集, No.11-23, (2011), pp.620-623, 2011年10月23日, 山形.
  - 22) 綿貫啓一, 侯 磊, 楓和憲: バーチャルトレーニングと OJT を融合したものづくり技能伝承過程における作業者の脳賦活分析, 日本機械学会技術と社会部門講演会, 技術と社会を巡って: 過去から未来を訪ねる, No.11-56, (2011), p.7-8, 2011年11月19日, 沖縄.
  - 23) 侯 磊, 綿貫啓一: NIRSを用いた旋盤加工作業時における賦活反応計測, 日本機械学会第21回設計工学・システム部門講演会 USB 論文集, No.11-23, (2011), pp.612-615, 2011年10月23日, 山形.
  - 24) 武藤雅大, 綿貫啓一: マーカーフリー型拡張現実感技術を用いたメカトロニクス教育支援システムの開発, 日本機械学会第21回設計工学・システム部門講演会 USB 論文集, No.11-23, (2011), pp.87-90, 2011年10月23日, 山形.
  - 25) 大谷成子, 綿貫啓一, 小島俊雄, 清宮紘一, 江塚幸敏: 研磨加工事例に基づく加工支援システムの試作, 日本機械学会2011年度年次大会 DVD-ROM 論文集, No.11-1, (2011), pp. J123014, 2011年9月14日, 東京.
  - 26) 利根川洋一, 綿貫啓一: 近赤外分光法を用いた音情報に対する脳賦活計測および快適性評価, 日本機械学会情報・知能・精密機器部門講演会講演論文集, (2011), pp.81-84, 2011年9月14日, 東京.
  - 27) 綿貫啓一: 光脳機能計測技術の現状と快適でエコな空間の実現を目指した HMI/BMI 開発への応用, 自動車技術会第8回エレクトロニクス部会講演会, (2011), pp.1-112, 2011年12月2日, 東京.
  - 28) 綿貫啓一: ものづくり技能伝承と脳科学, 日本機械学会 2011 年度年次大会 DVD-ROM 論文集, No.11-1, (2011), pp. K112001, 2011年9月12日, 東京.
  - 29) 綿貫啓一: 光脳機能計測技術の現状とその HMI/BMI 開発への応用, 日本機械学会 2011 年度年次大会 DVD-ROM 論文集, No.11-1, (2011), pp. F161001, 2011年9月14日, 東京.
  - 30) 綿貫啓一: QOL 向上のための生活支援技術と脳科学, 日本機械学会 2011 年度年次大会 DVD-ROM 論文集, No.11-1, (2011), pp. F011005, 2011年9月12日, 東京.
  - 31) K. Watanuki, L. Hou: Virtual Reality-Based Lathe Skills Transfer Based on Brain Activity Assessment Using Functional Near-Infrared Spectroscopy, Proceedings of 2011 ASME International Design Engineering Technical Conference & Computers and Information in Engineering Conference, (2011), DETC2011-48992, 2011年8月31日, Washington DC, USA.
  - 32) K. Watanuki, L. Hou: Virtual Reality-Based Lathe Operation Training Based on Brain Activity Assessment Using Functional Near-Infrared Spectroscopy, Proceedings of the 18th ISPE International Conference on Concurrent Engineering, (2011), pp.301-308, 2011年7月6日, Boston, USA.
  - 33) 綿貫啓一, 侯 磊, 楓和憲: 旋盤加工作業におけるバーチャルトレーニングの効果, 第11回計測制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, (2010), pp.1F2-3, 2010年12月23日, 仙台.
  - 34) 侯 磊, 綿貫啓一: ブレイン・マシン・インターフェイス設計のための光脳機能解析 (重心移動運動と脳賦活との関係), 日本機械学会第20回設計工学・システム部門講演会アブストラクト集, No.10-27, (2010), pp.84, 2010年10月28日, 東京.
  - 35) 大谷成子, 綿貫啓一, 小島俊雄, 清宮紘一, 江塚幸敏: 研磨加工事例に基づく加工支援手法の検討, 日本機械学会第20回設計工学・システム部門講演会アブストラクト集, No.10-27, (2010), pp.45, 2010年10月28日, 東京.
  - 36) J. Zhou and K. Watanuki: Skill Ontology for Mechanical Design of

- Learning Contents, Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT 2010), Vol.3 (2010), pp.295-299, 2010年7月9日 - 11日, Chengdu, China.
- 37) K. Watanuki and L. Hou: Virtual Reality-Based Skills Transfer and Human Resource Development Based on Brain Activity Assessment, Proceedings of the 5th International Conference on Business and Technology Transfer (ICBTT2010), (2010), pp.83-94, 2010年12月3日, York, UK.
- 38) K. Watanuki and Lei Hou: Virtual Reality-Based Job Training Based on Brain Activity Assessment Using Functional Near-Infrared Spectroscopy, Proceedings of the 2nd International Conference on Design Engineering and Science (ICDES2010), (2010), pp. 342-347, 2010年11月17日, 東京.
- 39) K. Watanuki: Noninvasive Brain Activity Measurement and Brain-Machine / Machine-Brain Interface, Brains and Computing in Engineering, 2010 ASME International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, CIE-24-2, (2010), 2010年8月18日, Montreal, Canada.
- 40) K. Watanuki, Lei Hou: Analysis of Mixed Reality Based Lathe Processing Skill Transfer Using Near-Infrared Spectroscopy, Proceedings of the 2010 ASME International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, CIE-2-3, (2010), DETC2010-29212, 2010年8月16日, Montreal, Canada.

[図書] (計2件)

- 1) 綿貫啓一 (分担) : シミュレーション辞典, コロナ社, (2012).
- 2) K. Watanuki (分担) : Emotional Engineering, Springer, (2011), pp.39-61.

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

綿貫 啓一 (WATANUKI KEIICHI)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号 : 30212327

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし