

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 29 日現在

機関番号：82727

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289018

研究課題名(和文)身体性認知科学に基づくフライス加工技能の修得・伝承モデルの構築

研究課題名(英文)Construction of data acquisition and transfer model for milling machine technology.

研究代表者

古川 勇二 (Furukawa, Yuji)

独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校(能力開発院、基・能力開発院・教授)

研究者番号：10087190

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円

研究成果の概要(和文)：ものづくり作業では、作業者が環境(工作物、工作機械)を認知し、作業者の神経系が反応し、身体が動作し、環境が変化して、この一連の流れが繰り返される。本研究の目的は、この身体性認知科学に基づき、フライス加工技能の修得・伝承のモデルを構築することである。

我々は、ラスムッセンの3階層モデル(スキルベース、ルールベース、知識ベース)に基づく認知行動モデルを作成した。実験では、作業者の自律神経系、中枢神経系の活動、3次元動作、および視線を計測し、熟練者と中級者とで比較した。これらの結果から、熟練者はスキルベース/ルールベースで作業し、中級者は知識ベースで作業していることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In manufacturing processes, worker recognizes machining environment by some senses, worker's central and autonomic nervous systems respond to the environment, and worker's body moves. As a result, the environment changes again, and this cycle is repeated. The purpose of this study is to construct the data acquisition and transfer model for milling machine technology based on embodied cognitive science that gives consideration to a series of these processes.

We constructed a user model of milling machine skill based on the Rasmussen's S-K-R (Skill-, Rule- and Knowledge-based) model. In experiments we measured physiological signals (prefrontal lobe measurement using NIRS, heart rate, etc.), physical motion data, and eye movement data during milling machine operation to compare these characteristics of expert to experienced. These results suggest that the expert operates on the skill- and/or the rule-based mode, and experienced operates on the knowledge-based mode.

研究分野：生産技術

キーワード：身体性認知科学 技能伝承 技能習得 フライス盤 暗黙知 神経系 動作分析 視線解析

1. 研究開始当初の背景

(1) 技能は“暗黙知”のままでしょうか？

従来、ものづくりの技能は暗黙知であり、技能を習得するためには、必要な動作やコツを反復して身に付ける必要があると考えられてきた。そのため、技能習得の過程を人間科学的に解明しようという研究は、これまでなかった。人間科学的な解明がなければ、技能の習得はこれまでの徒弟的環境のなかでの反復訓練に終始し、技能習得の効率の向上を革新することはできない。

(2) 身体性認知科学の発展

20世紀末頃から、身体性認知科学が発展してきた。1983年にラスムッセンは、人の行動を3階層(スキルベース、ルールベース、知識ベース)で表すモデルを提唱した。1999年にファイファーは、身体、脳、環境が相互に関連して人が事象を認識するという『身体性認知科学』を提唱した。

(3) 技能と身体性認知科学

ものづくりの技能のなかで機械加工を例に挙げると、作業の流れは次のようになる。

指示書・図面・環境に基づき作業し、工作機械の作用により、工作物の形状が変化し、それを知覚して脳が次の作業を指示する。この一連の流れは、まさに身体性認知科学の重要命題の一つである。しかし、この理論に基づき技能習得過程を解明した研究はなかった。

(4) 本研究課題の動機

本研究組織全員が勤務する職業能力開発総合大学校(以下、職業大と言う。)は、日本における職業訓練の中核機関であり、職業訓練における効率的な技能習得方法の開発は職業大の責務の一つである。そのためには技能を人間科学的に解明する必要があることから、本研究課題を着想するに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、身体性認知科学に基づき、暗黙知であるものづくりの技能を人間科学的に解明し、技能習得および技能伝承モデルを構築することである。

具体的には、機械加工のなかでフライス加工を例にし、加工に伴い時々刻々と変化する工作物形状と知覚の関係、知覚した結果に対応した動作と身体的ストレスとの関係、知覚と動作を、スキル、ルール、知識ベースとして認知する階層について分析し、これらを熟練者と中級者とで比較することにより、フライス加工技能の身体性認知習得モデルを構築し、その逆過程として技能伝承モデルに適用する。

3. 研究の方法

(1) 概要

フライス加工の作業者を対象に、各種の測定を行い、技能レベルに応じた違いが生じるかどうか検証するとともに、身体性認知科学に基づくユーザーモデルを作成し、測定結果

との対比から、技能習得、技能伝承を考察する。大別して2通りの実験を行った。第一は、作業者の特性を技能レベルと比較する実験(以下、比較実験と言う。)第二は聴覚の感性基準に関する実験(以下、聴覚実験と言う。)である。

(2) 被験者

被験者は、フライス加工の中級者として職業大機械系学生、熟練者として職業大機械系教員(機械加工職種(フライス盤作業)の技能検定1級相当)および技能五輪全国大会フライス盤職種入賞経験者とした。聴覚実験の被験者は、中級者のみとした。

(3) 使用した工作機械と作業内容

工作機械には、汎用立てフライス盤を使用し、各種の切削条件でフライス加工を行った。

作業内容について、比較実験では、あらかじめ六面体加工された機械構造用炭素鋼を被削材として、エンドミル加工を行った。聴覚実験では、各種の切削条件で正面フライス加工(荒加工)を行い、切込みを1mm、3mm(安全教育における上限)5mmとして、作業者の設定ミスや異常切削状態を想定した条件を意図的に与えた。

(4) 計測項目と評価方法

以下の各項目(特に断りのない項目は比較実験の測定項目)について計測項目と評価方法を述べる。ただし、計測上の制約や目的により、実験時の測定項目は適宜、選択した。

知覚

視覚に関して、アイマークレコーダーにより、作業中の視線を評価した。

聴覚実験においては、騒音計により、作業中の切削音を定量化した。

自律神経系

被験者の心電図を計測し、心拍数および心拍変動(LF/HF)による交感神経活動を評価した。皮膚コンダクタンスを計測し、一過性の精神的動揺を評価した。

中枢神経系

近赤外線分光法による被験者の前頭前野の脳血流量変化をHEG値として計測し、脳脳活反応を評価した。

身体動作

被験者のモーションキャプチャーにより、作業の三次元動作分析を行った。

アンケート

比較実験では、作業中の感覚(視覚、嗅覚、聴覚、ハンドルの重さ感覚)に対する意識の度合い、緊張度、難易度、頭を働かせた作業内容などの主観評価アンケートを行った。

聴覚実験においては、正常/異常の水準判断アンケートにより、作業者の感性基準を定量化評価した。

4. 研究成果

(1) フライス加工のユーザーモデル

フライス加工の技能習得過程を検討するために、ラスムッセンのモデルをもとにしたフライス加工技能の3階層モデルを作成し

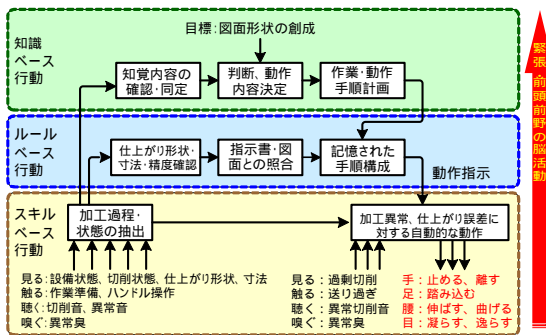


図1 フライス加工のユーザーモデル

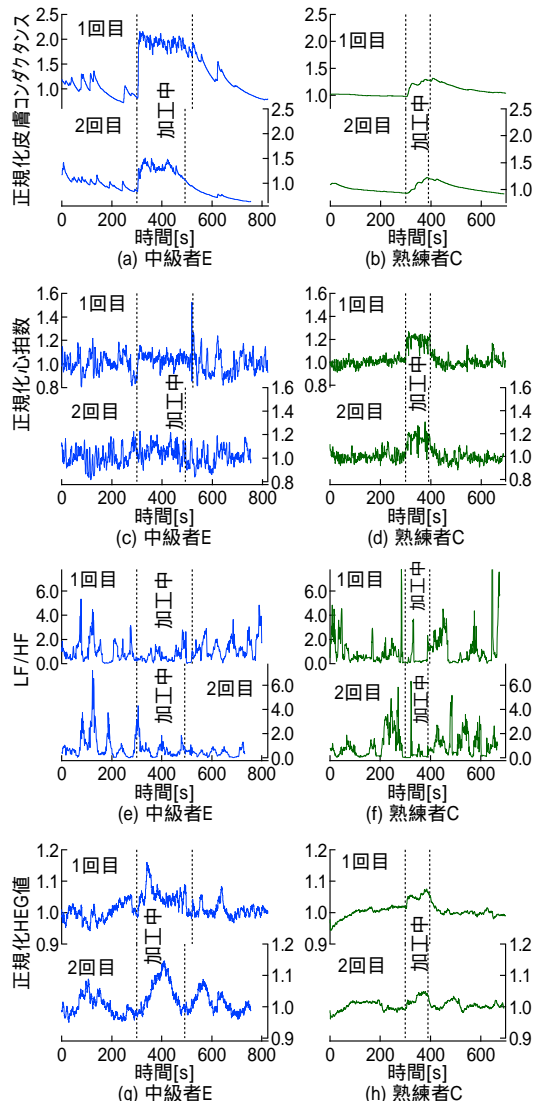


図2 自律神経系、中枢神経系の測定結果例

た(図1)。技能レベルとして熟練者と中級者(あるいは入門者)を考えると、中級者は簡単な作業であっても確認や判断、動作の計画を行い、知識ベース行動をとると予想される。一方、熟練者は、条件反射的に対応動作を行うスキルベース行動、あるいは、既に記憶された行動手順にしたがったルールベース行動をとることができると予想される。

図1では、3階層モデルに神経系の活動を加えた。行動の階層が知識ベース行動に向か

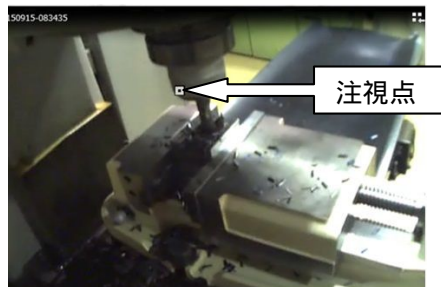


図3 アイマークレコーダ映像の一例

うにしたがって、作業者はより多くのことを考え、確認・同定し、判断することになるため、自律神経系としての緊張度、中枢神経系としての前頭前野の脳活動は、高まることが予想される。

ここで述べた予想については、以下で述べる比較実験の各種結果により評価する。

(2) 自律神経系の評価

図2は、中級者の一例(左側)と熟練者の一例(右側)において、各種の生体信号の変化を示した。加工作業の前後5分間は安静とし、同じ作業を2回、10分の間隔を置いて実施した。作業前5分の平均を正規化し、中級者と熟練者と比較すると、皮膚コンダクタンスは中級者の方が変化が大きく、中級者は熟練者よりも作業中の精神的動揺・情動が大きい傾向が見られた。LF/HFも中級者の方が大きく、中級者は熟練者よりも作業中の交感神経活動が高い傾向が見られた。

一方、主観評価では、中級者は「加工中に違和感があった」の点が高く、熟練者は「作業を楽に感じた」の点が高かった。

以上の結果は、図1のユーザーモデルにおいて、中級者の方がルールベース行動寄りで行っていることを示唆するものである。ただし、被験者数が少ないことから、統計学的有意差は示されなかった。

(3) 中枢神経系の評価

図2より、作業中のHEG値は中級者の方が熟練者よりも大きく、熟練者4名(職業大教員)中級者5名のt検定では、有意水準10%で統計的有意差が示された。

この結果は、熟練者が中級者よりも作業中の前頭前野の脳血流量変化が小さく、図1のユーザーモデルにおけるスキルベース側で行動していることを示唆している。

作業内容の難易度について考えると、熟練者2名(技能五輪経験者)の作業内容とHEG値を見たとき、荒加工時より中仕上げ加工時の方がHEG値が大きい傾向があった。難易度が低い作業のほど、スキルベース側で作業をしている可能性が示唆された。

(4) 視線の評価

図3のようなアイマークレコーダ映像から、熟練者3名(技能五輪経験者)と中級者1名で作業時の注視点を比較した。荒加工時は、技能レベルにかかわらず切削点を注視していて大きな差異は認められなかった。一方、仕上げ加工時のテーブル自動送り中では、中

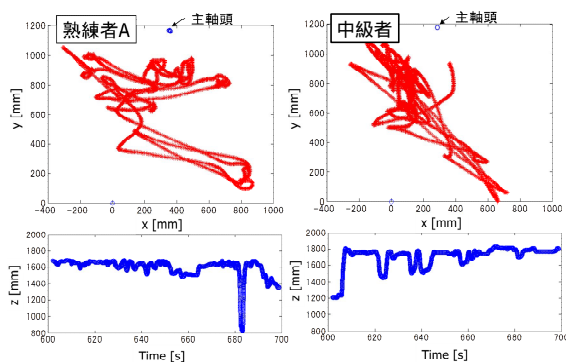


図4 仕上げ加工時の頭頂部の軌跡（一例）

級者の注視点は切削点近傍にあったが、熟練者では、工具入口では切削点近傍にあり、その後は作業台や測定器に移動し、注視範囲が広がる傾向がみられた。

これは、熟練者は仕上げ加工中に次の工程を意識していたことを示唆するものである。同時に、ユーザーモデルで考えると、仕上げ加工中には知識ベース寄りの行動をとっていたとも考えられ、中枢神経系の評価で述べた示唆とも矛盾しない。

(5) 身体動作の評価

図4は、熟練者（技能五輪経験者）と中級者において、作業中の頭頂部の軌跡をモーションキャプチャで解析した結果である。熟練者は中級者よりも移動量は小さかった。これは、熟練者の多くの経験が、作業に対する不安感を取り除き、作業効率を高める行動をとっていると推察できる。熟練者に無駄な動きがないとすれば、無駄な動きを生成するための動作手順計画が不要となり、熟練者はスキルベース寄りの行動をしたと推定できる。

(6) 聴覚の評価

聴覚実験では、作業者の聴覚が加工異常をどのように聞き分けているのか、切削音に基づいて評価した。図5下から、切込みの増加とともに音圧レベルも増加するが、切込みが3mmから5mmになると、音圧変動振幅が急激に上昇した。このとき、中級者の88%が「異常切削状態」と判断した。この中級者は、日常の訓練において最大切込みは3mmが上限であるとの安全教育を受けており、被験者の安全に対する、および加工状態の正常/異常に対する感性基準を定量評価できることを示唆した。

今回の被験者は中級者のみだったため、熟練者との比較は実現できていない。しかしフライス加工における聴覚の感性基準を示したことで、ユーザーモデルにおける、聴覚と自律神経系、中枢神経系との関係を議論できるようになることを期待できる。

(7) 得られた成果の位置づけとインパクト

本研究では、フライス加工中の被験者に対して多様な計測（自律神経系、中枢神経系、三次元動作分析、視線解析、聴覚解析、主観評価）を行い、中級者と熟練者を比較することにより、フライス加工のユーザーモデルに

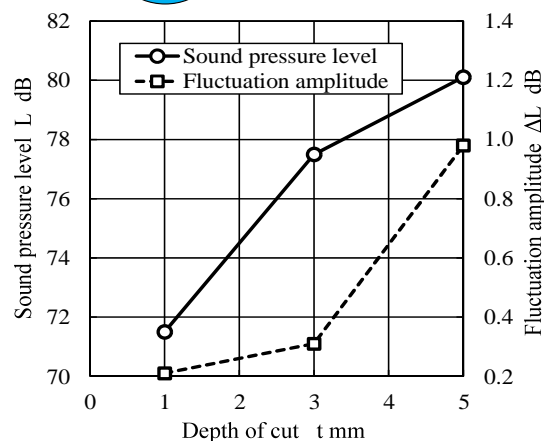
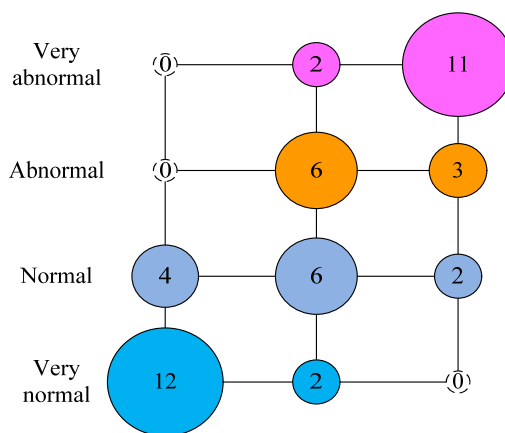


図5 上：切込み（Depth of cut）時の切削音に対する被験者の判断結果（円内数字は判断者数）。下：切込みに対する切削音の音圧レベル（左）と音圧変動振幅（右）。被験者は中級者16名。

おける3階層行動（スキルベース、ルールベース、知識ベース）と技能レベルとの関係を考察した。このような多様な計測と検証は、これまでの国内外の従来研究にはなく、技能習得や技能伝承を考える上で、貴重な示唆を与えるものである。

(8) 今後の展望

現時点において、被験者数が不十分である。技能レベルに応じた傾向は示されたが、統計的検証を行って技能習得過程を定量的に実証するためには、より多くの熟練者、中級者を被験者として測定を重ねる必要がある。

そのうえで、熟練者の暗黙知を形式知化し、初級者や中級者が熟練者の域に達するための、より効率的な訓練技法の新たな開発に本研究が繋がることを期待する。また、熟練者相互の違いを検証し、技能の流儀についても定量的な考察をしたい。

引用文献

J.Rasmussen, Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics,

Vol.SMC-13(3), 1983, 257-266
R.Pfeifer, C.Scheier, Understanding
intelligence, A Bradford Book, 2001

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

星野実、坪田光平、市川修、中村瑞穂、
大島敦史、岡部眞幸、求職者を対象とする
実践的職業訓練の試行と評価(企業の生産
プロセスに沿った職業訓練)、日本機械学
会論文集、査読有、Vol.82(833)、2016、
1-14

DOI: 10.1299/transjsme.15-00403

星野実、坪田光平、岡部眞幸、加藤朗人、
小山田孝輔、松本泰徳、課外活動を通じた
生産技術者の育成、工学教育、査読有、
Vol.63(4)、2015、59-64

不破輝彦、小野直樹、小島伸吾、指導員
訓練における人間・生体工学の意義と実習
カリキュラム、職業能力開発研究誌、査読
有、Vol.30(1)、2014、11-18
<http://www.uitec.ac.jp/images/kenkyushi/030-02.pdf>

和田正毅、精密機械組立て職種 - 試作品
や特注品こそわれらが望むところ -、精密
工学会誌、査読有、Vol.80(4)、2014、
341-344

DOI:10.2493/jjspe.80.341

岡部眞幸、機械組立て職種 - 究極の精度感
覚が要求される繊細な技能 -、精密工学会、
Vol.80(4)、2014、345-349
DOI:10.2493/jjspe.80.345

〔学会発表〕(計18件)

池田知純、二宮敬一、岡部眞幸、菅野恒
雄、寺内美奈、繁昌孝二、不破輝彦、和田
正毅、古川勇二、身体性認知科学に基づく
フライス加工技能の修得・伝承モデルの構
築 第3報 身体動作と視線動向の計測、
2016 年度精密工学会春季大会学術講演会
講演論文集(CD-ROM)、2016.3.15、571-572、
東京理科大野田(千葉県野田市)

不破輝彦、生体計測による暗黙知の形式
知化、技能の“見える化”と技能伝承への
展望、東京都技能士会連合会異業種交流研
修会基調講演、2015.3.8、KKR ホテル熱海
(静岡県熱海市)

不破輝彦、菅野恒雄、和田正毅、岡部眞
幸、池田知純、二宮敬一、寺内美奈、竹下
浩、新目真紀、小山田孝輔、小林優介、西
ノ園太一、山田駿太、山本尚明、古川勇二、
身体性認知科学に基づくフライス加工技
能のユーザモデルと生体計測との関係、ヒ

ューマンインタフェースシンポジウム
2015 DVD-ROM 論文集、2015.9.4、821-824、
はこだて未来大学(北海道函館市)

福原健司、古川眞規、細野雄治、二宮敬
一、和田正毅、不破輝彦、フライス加工中
の自律神経及び中枢神経活動評価と技能
レベルとの関係、第22回精密工学会学生
会卒業研究発表講演会論文集、
2015.3.17、39-40、東洋大(東京都文京区)
[http://sotsuken.jspe.or.jp/2015/pdf/N
23.pdf](http://sotsuken.jspe.or.jp/2015/pdf/N23.pdf)

蘇畑将彦、垣本映、鈴木重信、池田知純、
新家寿健、二宮敬一、和田正毅、不破輝彦、
技能レベルの違いから見たフライス盤作
業の動作比較、第22回精密工学会学生
会卒業研究発表講演会論文集、2015.3.17、
41-42、東洋大(東京都文京区)
[http://sotsuken.jspe.or.jp/2015/pdf/N
24.pdf](http://sotsuken.jspe.or.jp/2015/pdf/N24.pdf)

西ノ園太一、二宮敬一、和田正毅、岡部
眞幸、池田知純、貴志浩久、不破輝彦、フ
ライス加工中作業者の自律神経および中
枢神経活動と技能レベルとの関係、第23
回職業能力開発研究発表講演会講演論
文集、2015.10.30、186-187、職業大(東京
都小平市)

池田知純、二宮敬一、山田駿太、和田正
毅、岡部眞幸、不破輝彦、新家寿健、鈴木
重信、垣本映、モーションキャプチャを用
いたフライス盤作業の動作分析、第23回
職業能力開発研究発表講演会講演論文集、
2015.10.30、188-189、職業大(東京都小
平市)

和田正毅、岡部眞幸、磯野宏秋、吉浦研、
二宮敬一、古賀俊彦、太田和良、グループ
ワーク方式による精密加工実習過大の開
発に関する実践報告 - 技能五輪全国大会
課題の活用と最大実体公差方式の導入 -、
第23回職業能力開発研究発表講演会講演
論文集、2015.10.30、196-197、職業大(東
京都小平市)

Masayuki Okabe、Takahiro Tomiya、Ken
Yoshiura、Mizuho Nakamura、Evaluation
of sensibility criteria of milling
workers for assessing normal or
abnormal operating state based on
cutting sound. Proceedings of the 2014
International Conference on Machining,
Materials and Mechanical Technologies,
2014.8.31-9.05, 112, Taipei(Taiwan)

不破輝彦、池田知純、岡部眞幸、菅野恒
雄、寺内美奈、二宮敬一、繁昌孝二、和田
正毅、古川勇二、身体性認知科学に基づく

フライス加工技能の修得・伝承モデルの構築 第2報 自律神経および中枢神経活動の計測、2014 年度精密工学会秋季大会 学術講演会講演論文集 (CD-ROM)、2014.9.16-9.18、741-742、鳥取大学鳥取 (鳥取県鳥取市)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/pscjspe/2014A/0/2014A_741/_pdf

不破輝彦、隈井省吾、貴志浩久、呼吸規則性指標と心拍変動自律神経評価の検出力との関係、日本生理人類学会誌 (日本生理人類学会第70回大会要旨集)、Vol.19、特別号(1)、2014.6.21-6.22、162-163、九州大学大橋 (福岡県福岡市)

古川勇二、池田知純、岡部眞幸、菅野恒雄、寺内美奈、二宮敬一、繁昌孝二、不破輝彦、和田正毅、身体性認知科学に基づくフライス加工技能の修得・伝承モデルの構築～第1報 全体構想と予想される効果、2014 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 (CD-ROM)、2014.3.18-3.20、1041-1042、東大本郷 (東京都文京区)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/pscjspe/2014S/0/2014S_1041/_pdf

山口史嵩、貴志浩久、不破輝彦、運動を伴う単純作業における失敗と自律神経の関係、第22回職業能力開発研究発表講演会講演論文集、2014.10.17、96-97、職業大 (東京都小平市)

福原健司、古川眞規、細野雄治、二宮敬一、和田正毅、不破輝彦、フライス加工中における自律神経活動の多面的評価に関する研究、第22回職業能力開発研究発表講演会講演論文集、2014.10.17、104-105、職業大 (東京都小平市)

不破輝彦、隈井省吾、貴志浩久、心拍変動による自律神経評価の推定精度に対する呼吸規則性の影響、第22回職業能力開発研究発表講演会講演論文集、2014.10.17、100-101、職業大 (東京都小平市)

蘇畑将彦、楠見和夫、二宮敬一、池田知純、新家寿健、垣本映、鈴木重信、技能レベルの違いから見たフライス加工における作業分析の比較、第22回職業能力開発研究発表講演会講演論文集、2014.10.17、102-103、職業大 (東京都小平市)

不破輝彦、隈井省吾、呼吸規則性定量化指標の時間変動特性、日本生理人類学会誌 (日本生理人類学会第69回大会要旨集)、Vol.18、特別号(2)、2013.10.26-10.27、140-141、同志社大学京田辺 (京都府京田辺市)

不破輝彦、小野直樹、小島伸吾、指導員訓練における人間・生体工学の意義と実習カリキュラム、第21回職業能力開発研究発表講演会講演論文集、2013.11.29、120-121、職業大 (東京都小平市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古川 勇二 (FURUKAWA, Yuji)
独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校 (能力開発院、基・能力開発院・教授)
研究者番号：10087190

(2) 研究分担者

菅野 恒雄 (KANNO, Tsuneo)
独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校 (能力開発院、基・能力開発院・教授)
研究者番号：60648921

和田 正毅 (WADA, Masaki)
独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校 (能力開発院、基・能力開発院・教授)
研究者番号：70648948

岡部 眞幸 (OKABE, Masayuki)
独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校 (能力開発院、基・能力開発院・教授)
研究者番号：20152332

不破 輝彦 (FUWA, Teruhiko)
独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校 (能力開発院、基・能力開発院・教授)
研究者番号：70219137

寺内 美奈 (TERAUCHI, Mina)
独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校 (能力開発院、基・能力開発院・准教授)
研究者番号：40648979

池田 知純 (IKEDA, Tomozumi)
独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校 (能力開発院、基・能力開発院・准教授)
研究者番号：80648923

二宮 敬一 (NINOMIYA, Keiichi)
独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校 (能力開発院、基・能力開発院・助教)
研究者番号：20726335