

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：32503

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22710147

研究課題名(和文) 設備保守・点検作業における熟練技術伝承支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of Skill Transfer Support System on Equipment Maintenance and Inspection

研究代表者

滝 聖子 (TAKI, Seiko)

千葉工業大学・社会システム科学部・准教授

研究者番号：50433181

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、設備保守・点検作業における熟練技能を支援するためのシステムを開発した。このシステムは、力覚情報および視聴覚情報を計測する機能と計測したデータを用いて作業訓練を行うことのできる機能を有し、熟練者と非熟練者が離れた場所にいながら、熟練者がリアルタイムに作業状況を確認しながら非熟練者の作業を支援することを可能にした。さらに開発したシステムの有効性を検証するために、実企業で運用試験を行い、その結果を分析することにより、設備保守・点検作業における技能伝承のための作業訓練の支援に効果があることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have developed a skill transfer support system on equipment maintenance and inspection. This system has two functions. The one is to record the force-data and visual-data during work. The other one is to support work training by replaying the recorded data. Moreover, this system supports the work of unskilled workers with skilled workers monitoring the situation in real time when they work over long distances. In order to verify the effectiveness of the developed system, we conducted operational tests in real manufacturing companies. By analyzing experimental results, we clarified that this system is useful to support to transfer skills from skilled workers to unskilled workers on the equipment maintenance and inspection.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 ・ 社会システム工学・安全システム

キーワード：経営工学 技能伝承 作業研究 設備管理

1. 研究開始当初の背景

製造工場の分散と熟練者の減少によって、設備保守・点検作業では、熟練作業者が非熟練作業者ととも活動できる状況が少なくなっており、作業者が離れている場合でも作業の指示および技術の指導が必要である。特に、納期遵守や新規設備立ち上げ状況によって経営状況が左右される製造企業においては、作業状況をリアルタイムに把握しなければならないにもかかわらず、状況把握および指示を行う手段として一般的に使われているのは、トランシーバまたは遠隔監視カメラしかない。そのため、現地作業者の現在位置と周囲の状況を視聴覚のみならず力覚を含めた複数の情報を本部で確認でき、現地作業者が非熟練者の場合には熟練者による指導が求められている。

本応募研究課題と関連する技術・研究として、製造業における保守・点検作業の技能・技能伝承に関する研究などが行われている。しかし、従来の研究は、熟練者の動作をビデオに記録すること、動作測定、金型およびプレス加工支援 CAD ソフトウェアの開発が中心であり、熟練技術として視聴覚のみならず力覚データを計測、分析した研究はまだ行われていない。

一方、平成 16 年から松岡克典（産業技術総合研究所）らにより、産業経済省の支援を受けて保守・点検作業支援システムが開発されている。これは熟練者や作業者の作業技術（視方向映像、作業動線、作業姿勢）の計測、貯蓄データベース化が主な目的であるため、プラントなどの同一建屋内で作業者が装着したまま作業を現場で撮影し、本部データベース蓄積するために映像・音声を配信できるが、リアルタイムで熟練技術者が非熟練者を直接指導できるようにする手法は研究されていない。

そこで、申請者らは、平成 21 年度までに、現地にて非熟練作業者が設備保守・点検作業を行い、リアルタイムに熟練作業者が設備監視本部で技術の指導を行う保守・点検作業を想定して、保守・点検作業支援手法の開発を進めてきた。しかし、これは「見聞き」に相当する視聴覚情報のみを伝えるものであるため、作業中の「力加減」つまり力覚情報が含まれていない。製造現場では、現場作業者の手先の動きなど、細部まで表示させる必要があるが、これに対応しているものは無い。

以上の背景を考慮し、熟練技能伝承のために力覚機能を付加した設備保守・点検作業支援システムを構築する必要があると考え、本研究課題を着想した。

2. 研究の目的

熟練技術および技能には、作業の視聴覚情報を見聞きするだけでは困難で習得に時間を要する、微妙な力加減が必要な作業がある。また、「手取り足取り」という言葉があるように、リアルタイムで作業者と指導者が状況

を確認しながら作業を行うことも重要である。これらを実現するために、設備保守・点検作業支援を、力覚情報を含んだ熟練技術の計測、作業訓練、遠隔地間でのリアルタイムの作業教育・指導の 3 つに区分し、各手順を実現するための手法および装置を開発する。そして、熟練者の高齢化が進み、設備保守・点検作業の技能伝承を危惧する製造企業をモデルケースとして、装置を運用・実用化する。これにより、設備保守・点検作業における若手作業育成および技術・技能の伝承を支援する。

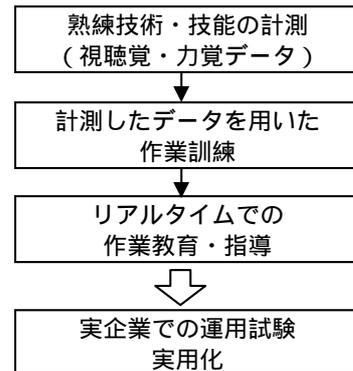


図 1 力覚機能を有する設備保守・点検作業支援の手順

3. 研究の方法

(1) 力覚機能を有する設備保守点検作業計測・訓練装置の開発

熟練者の作業時の力加減の習得を支援することを目的として、作業内容を記録するための作業計測機能と、記録した作業内容を再生するための作業再生機能を有する装置を開発する。作業内容（視聴覚データ及び力覚データ）を計測し、記録された力覚データを作業動画と同期させて作業訓練者に教示し、作業訓練を支援する。

(2) 三次元位置計測装置の構築

作業者の作業中の身体動作を計測するために、作業者の身体の各部位に LED マーカーを取り付けて複数の CCD カメラから取り込み、画像処理することにより、作業者の身体部位の 3 次元位置及び回転角度を求めることのできる装置を構築する。

(3) ICT を用いた技能伝承支援装置の開発

熟練者と非熟練者が離れた場所にいながら作業を行う際の熟練技能の伝承および教育を支援するために、熟練者がリアルタイムに作業状況を確認しながら非熟練者の作業を支援することのできる装置を開発する。遠隔地間の通信は、ICT (Information and Communication Technology: 情報通信技術) を用いることにより可能にする。

以上の装置を統合し、設備保守・点検作業における熟練技術・技能伝承支援システムを開発する。そして、実企業での運用試験により技能の計測と分析を行い、開発した装置の効果を検証する。

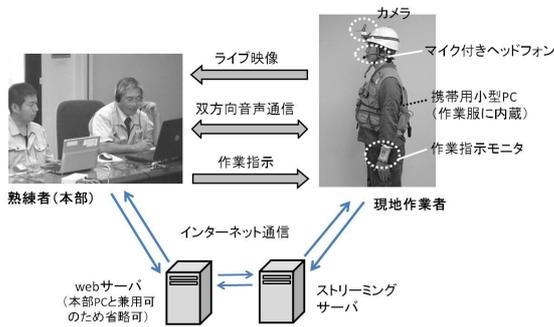


図2 ICTを用いた技能伝承支援装置

4. 研究成果

4.1 設備保守・点検作業における熟練技能伝承支援システム

(1) システム構築

力覚機能を有する設備保守点検作業計測・訓練装置は、視聴覚データを撮影するためのデジタルビデオカメラ、作業台にかかる力の計測のための作業台の下に6軸力覚センサ IFS・90M31A25-I50(ニッタ株式会社製)を設置して構築した。また、計測した視聴覚データ及び力覚データを用いて熟練者而非熟練者の作業内容を比較できるようにした。

三次元位置計測装置を構築し、作業者の身体の各部位に取り付けた LED マーカーを複数の CCD カメラから取り込み、画像処理することにより、作業者の身体部位の3次元位置及び回転角度を求めることができたようにした。

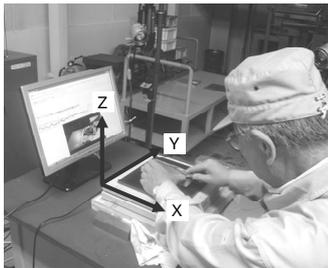


図3 作業訓練装置を用いた作業訓練

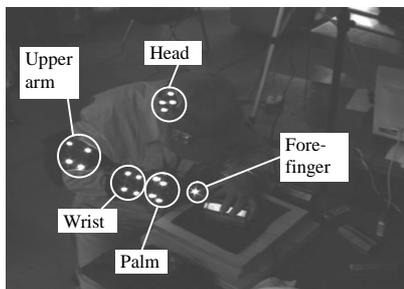


図4 LED マーカーを装着した作業者

(2) 力覚データ及び身体部位の軸回転角度の分析法

計測した力覚データ及び被験者の身体部位(上腕, 前腕, 及び手の甲)の軸回転角度(Pitch, Yaw, Roll)の分析を行うために、数値解析ソフトウェア Matlab (Ver6.1)を用いてフーリエ変換を行い、パワースペクトル

の最も大きい値の周波数より低い周波数を残して逆フーリエ変換を行うことで、各被験者の作業(力覚データ及び軸回転角度)を分析できるようにした。ただし、長さ N の信号に対するフーリエ変換及び逆変換は式(1)と定義される。

$$X(k) = \sum_{j=1}^N x(j)\omega_N^{(j-1)(k-1)} \quad (1)$$

$$x(j) = \sum_{k=1}^N X(k)\omega_N^{-(j-1)(k-1)}$$

ここで、 $\omega_N = e^{\frac{-2\pi i}{N}}$ は N 番目の根である。

(3) ICTを用いた技能伝承支援装置の効果の検証

熟練者而非熟練者が離れた場所にいなから作業を行う際の熟練技能の伝承および教育を支援するために、熟練者がリアルタイムに作業状況を確認しながら非熟練者の作業を支援することのできる装置を開発した。そして、開発した装置の有効性を検証するために、異なる3つの環境下(同一敷地内, 日本国内工場間, 日本・海外工場間)において、設備の保守・点検作業を行い、従来の保守点検作業と開発した装置について、聞き取り調査を実施した。調査項目は17項目(「従来または本装置の機能」に関する9項目と「熟練技能の伝承/教育」に関する8項目)、回答形式は5段階評価「(不便) $1 < 2 < 3 < 4 < 5$ (満足)」とした。

聞き取り調査項目毎の平均値と本装置に対する満足度に関して分析および考察を行った。ただし、評価値の差の検定には t 検定(有意水準 5%)を用いた。3条件のうち、日本・海外工場間では、17項目中15項目について、本装置に対する統計的有意差が認められた。また、同一敷地内, 日本国内工場間, 日本・海外工場間の順で従来方法から本装置への評価が上がっていることから、3条件では、両者間(熟練者本部 - 現地間)の距離が遠い方が従来方法に比べて本装置に対する評価が高いことが分かった。

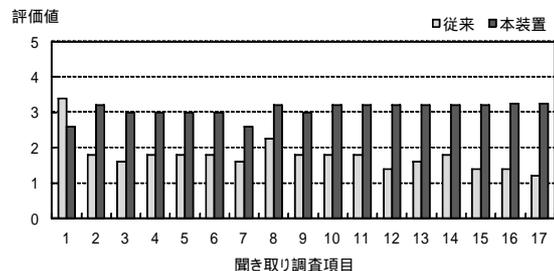


図5 日本・海外工場間の評価値(5名平均)

さらに、回答者の傾向を明らかにすることを目的として回答者をグループ分けするために、従来方法に対する評価を基にして、全回答者18名の17項目全ての評価値を考慮し、

クラスター分析を行った。クラスター分析により分けられた3つのグループは、従来方法に対する評価が低いグループ(グループ1)、評価の高いグループ(グループ3)、その他のグループ(グループ2)であった。グループごとに、従来方法に対する評価値と装置使用に関する評価値の違いから、本装置についての満足度を考察すると、従来方法に対する満足度の低い作業者は本装置に対する満足度が高いことが明らかになった。

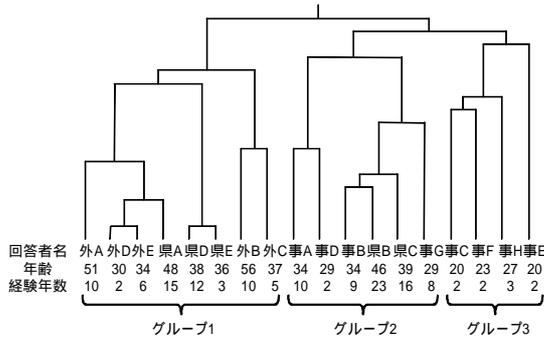


図6 クラスター分析によるグループ分け

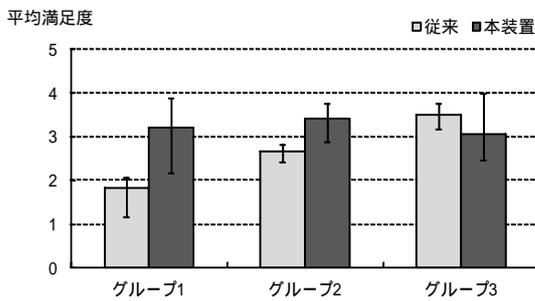


図7 グループ別平均満足度

(4) 金型研磨作業を対象とした実企業での技能伝承実験および有効性の確認

作業訓練装置及び三次元位置計測装置を用いて、M社(岡山県機械加工企業)で行っているスウェーピング加工に用いる金型の研磨作業を対象に運用試験を行った。運用試験は、熟練者1名、作業訓練装置を使用した訓練者(以下、訓練者(有))3名、使用しない訓練者(以下、訓練者(無))3名の7名で行った。熟練者は研磨作業の経験が25年あり、訓練者(有)、訓練者(無)はどちらも研磨作業の経験は未経験である。熟練者は日時を変えて4回、訓練者(有)及び訓練者(無)はそれぞれ1回ずつ行った。対象とした研磨作業では、金型とプレスする金属との接する面の歪みを粗さの異なる砥石で目の粗い順(220番、320番、400番、600番)に研磨する。実験の流れは、まず熟練者が訓練者(無)に作業を見せて指導を行う。次に訓練者(無)が熟練者の指導を受けながら作業を行う。訓練者(有)については、訓練者(有)がモニターに映る熟練者のデータ(動画及び力覚の折れ線グラフ)を見ながら作業を行う。この一連の流れを4種類の砥石で行い、各作業者の作業を測定した。なお、作業の終了は全て熟

練者の判断で行った。

運用試験の結果を表1及び図3に示す。力覚データについては、各砥石及び作業全体における作業時間を示す「研磨時間」、垂直方向にどれだけ加圧していたかを示す「平均加圧力」、前後方向の研磨動作の速さを示す「研磨周期」、及び加圧方向のバランスを示す「加圧角度」の4つの項目に注目して分析した。図1より、「研磨時間」、「平均加圧力」及び「加圧角度」に関しては、訓練者(無)に比べて訓練者(有)は熟練者の結果に近付いており、金型研磨作業においては作業訓練装置の効果があつたと考えられる。

また、図3の「加圧力」と三次元位置計測装置の結果から求めた「累積研磨距離」より、金型研磨作業では、熟練者は訓練者に比べて強い力で長い距離を研磨していることが分かった。さらに、熟練者はある一部分を集中的に研磨するのに対し、訓練者は万遍なく全体を研磨していることも明らかになった(紙面の制約上、結果は省略)。なお、作業訓練システムの使用の有無によって、訓練者間に差は見られなかった。

表1 作業時間及び力覚データの結果と考察

分析項目	評価項目	熟練者	訓練者(有)	訓練者(無)
研磨時間	砥石毎の研磨時間[s]	40-200	90-320	90-1120
	特徴	ほぼ一定	個人差小	個人差大
	総研磨時間の平均[s]	525	717	1120
	特徴	短	中	長
平均加圧力	砥石毎の平均加圧力[N]	40-73	16-56	8-27
	特徴	加圧力大	加圧力中	加圧力小
平均研磨周期	砥石毎の研磨周期[Hz]	3.2-5.0	2.5-4.7	3.4-4.6
	特徴	差は見られなかった		
加圧角度	YZ,XZ平面から見た特徴	ほぼ垂直	320番以降は垂直に近づく	垂直ではない

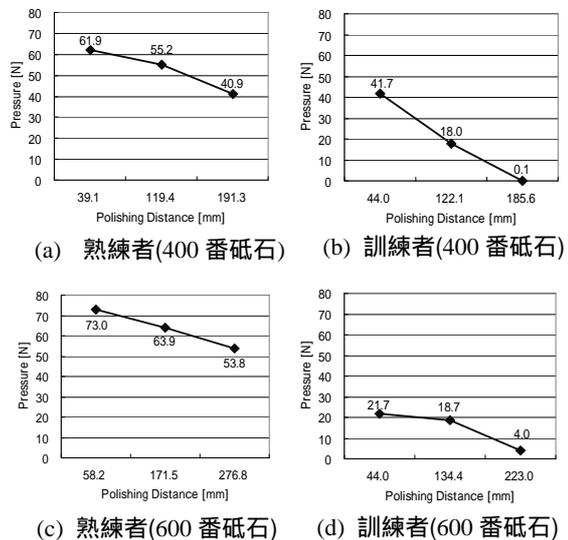


図8 各作業者の加圧力と研磨距離

以上より、金型研磨作業訓練における「研磨時間」、「平均加圧力」及び「加圧角度」に関しては、開発した作業訓練システム使用の有無によって訓練者間で差がみられ、装置の効果が見られた。

4.2 被覆アーク溶接作業における身体動作と軸回転角度に関する基礎分析

力覚機能を有する力覚機能を有する設備・保守点検作業計測装置を用いて、溶接作業における技能の分析を試みたが、力覚情報を正確に計測することができなかった。そこで、三次元位置計測装置と溶接力メータを用いて、溶接経験年数の異なる工学部学生及びI社（東京都八王子市板金加工企業）の従業員を対象にして実験を行った。被験者は溶接経験が数回から38年までの学生（被験者E,F）及び実務者（被験者A,B,C,D）の計6名とした。作業内容はJIS溶接技能者評価試験、分析項目は作業時間と身体動作とした。分析結果より、経験の浅い被験者の溶接時間とパス数（溶接継手に沿って行われる一続きの溶接線の本数）が比例することが分かった。

また、身体動作については、軌跡長の長さにおいて実務者と学生の間に差が見られ、軸回転角度においては、全被験者の分析結果のうち、手の甲のYawについて溶接経験が38年の被験者とその他の被験者の間で差が見られた（紙面の制約上、詳細な結果は省略）。

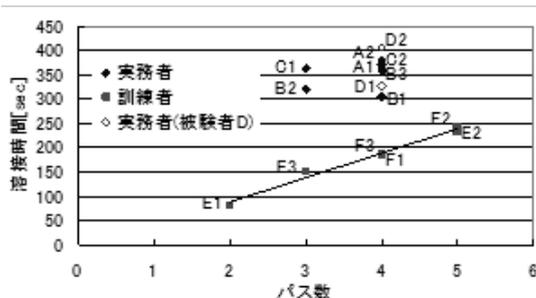


図9 パス数と溶接時間

表2 各被験者の各部位の平均軌跡長 (cm)

被験者	A	B	C	D	E	F
頭	14.9	12.0	23.8	20.8	5.8	15.5
上腕	12.3	13.3	19.7	21.8	4.3	9.1
前腕	15.5	20.3	21.5	27.0	4.8	8.7
手の甲	22.2	24.5	24.7	26.1	9.4	12.5

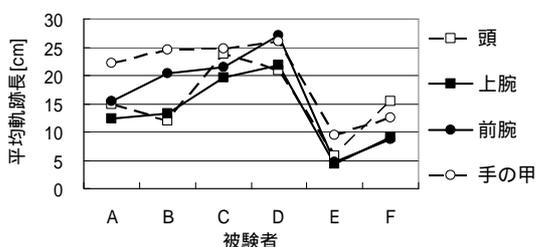


図10 各被験者の平均軌跡長

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

Y. Watanabe, S. Taki, Y. Kajihara, A support system for transferring manufacturing skills, Asia-Pacific Journal of Industrial Management, (in press), 査読有, 2014.

滝 聖子, 渡邊裕一, 梶原康博, 笠松慶子, 小澤俊平, 被覆アーク溶接作業における身体動作と軸回転角度に関する基礎分析, 日本設備管理学会誌, Vol.26, No.1, pp.7-14, 査読有, 2014.

S. Taki, Y. Kajihara, Effect of Work Instruction Support Device on Equipment Maintenance and Inspection, Proc. of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, pp.2188-2196, 査読有, 2014.

滝 聖子, 梶原博康, 岩井信太朗, ICTを用いた技能伝承支援装置の開発, 日本設備管理学会誌, Vol. 25, No. 2, pp.88-94, 査読有, 2013.

Y. Watanabe, S. Taki, T. Koshiishi, H. Osaki, A support system for transferring manufacturing skills, Proc. of the 11th International Conference on Industrial Management, pp.316-321, 査読有, 2012.

滝 聖子, 技能伝承支援に関する取り組み, 経営システム, 日本経営工学会, Vol.20, No.6, pp.341-342, 査読無, 2011.

〔学会発表〕(計4件)

滝 聖子, 渡邊裕一, 梶原康博, 笠松慶子, 画像処理による溶接作業の分析に関する研究, 日本設備管理学会平成24年度秋季研究発表大会, 2012年11月17日, pp.27-30, 愛知県, 名城大学.

渡邊裕一, 滝 聖子, 梶原康博, 輿石 隆, 力覚センサを用いた作業訓練システムによる研磨作業の技能伝承に関する研究, 日本経営工学会平成23年度春季大会, 2011年5月29日, pp.134-135, 愛知県, 愛知学院大学.

滝 聖子, 梶原康博, 輿石 隆, 設備の保守点検作業における熟練技術の分析に関する研究, 日本経営工学会平成22年度秋季研究大会, 2010年10月23日, pp.70-71, 福岡県, 福岡工業大学.

滝 聖子, 製造業における技能の分析と伝承に関する研究, 日本経営工学会平成22年度秋季研究大会, 2010年10月23日, p.44, 福岡県, 福岡工業大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

滝 聖子 (TAKI, Seiko)

千葉工業大学・社会システム科学部・准教授

研究者番号: 50433181