

令和 4 年 6 月 29 日現在

機関番号：82727

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K03077

研究課題名(和文) 空気圧制御システムに携わる生産技術者の効果的な育成を目指した教材開発

研究課題名(英文) Development of teaching materials for effective training of production engineers involved in pneumatic control system

研究代表者

森口 肇 (MORIGUCHI, Hajime)

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、基盤整備センター)・能力開発院・助教

研究者番号：60769826

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：空気圧制御技術の応用分野が広がる中、空気圧制御システムの設計・構築・保守に携わる生産技術者の育成が急務となっている。本研究では、空気圧制御技術者の効果的な育成を実現するための新たな教育カリキュラムを提案するとともに、空気圧位置決め装置を活用した実習教材、テキスト、指導要領などの教材を開発した。そして、提案したカリキュラムと開発した教材を職業訓練に展開し、空気圧制御の基礎に関する知識を短期間で向上させられることを明らかにした。さらに、開発した実習教材が空気圧制御に関する理論と実際をリンクさせるものとして、空気圧制御分野の技能伝承に有用であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、空気圧位置決め装置を教材として活用することに着目し、教育工学的なアプローチによって、教育カリキュラムを検討・提案するとともに、実習教材、テキスト、指導要領を開発し、職業訓練に展開することにより、空気圧制御技術者の効果的な育成の実現や技能伝承体制の確立につなげた。職業訓練を中心とする職業教育を通して本研究の成果を広く普及させることにより、我が国のものづくり技術の向上に寄与できると考える。以上のことから、本研究の成果が空気圧制御システムの設計・構築・保守を行う技術者の効果的な育成や空気圧制御に関する技能・技術の伝承に貢献することが期待できる。

研究成果の概要(英文)：As the application fields of pneumatic control technology are expanding, there is an urgent need to train production engineers involved in the design, construction, and maintenance of pneumatic control systems. In this study, we proposed a new educational curriculum to realize effective training for pneumatic control engineers, and we developed teaching materials such as practical training materials, textbooks, and teaching guidelines using pneumatic positioning devices. Then we deployed the proposed curriculum and the developed teaching materials to vocational training and we clarified that they will contribute to the knowledge enhancement on the basics of pneumatic control in a short period of time. As a result, we showed the developed practical training materials were useful in transferring skills in the field of pneumatic control as they link theory and practice in pneumatic control.

研究分野：メカトロニクス

キーワード：教材開発 空気圧制御 教育工学 技能伝承

1. 研究開始当初の背景

2017年度の空気圧機器の出荷額が前年度比**22.3%増の487,743**百万円(日本フルードパワー工業会調べ)に達し、産業機械の空気圧制御システムに携わる生産技術者の育成が急務となっている。市販の空気圧制御実習装置を用いて空気圧機器の選定、空気圧回路の構築に関する技能・技術を習得することは可能であるが、生産現場が求める技術者育成ニーズに十分対応できていない。そこで、空気圧制御実習装置で習得可能な空気圧機器の選定技術、空気圧回路の構築技術に加え、空気圧システムの機械系・制御系設計技術、空気圧システムの保全技術など、空気圧位置決め装置が持つ幅広い技術要素の教育が技術者の効果的な育成や技能伝承体制の確立に貢献できることに着目し、教材として利用することを考えた。

2. 研究の目的

空気圧制御システムの設計・構築・保守を行う技術者の育成ニーズが高まる中、高等教育機関では、空気圧制御システム(図1)を組み込んだ産業機械を扱うために必要な職業教育が重視されておらず、カリキュラムや教材が整備されていない。市販されている空気圧制御実習装置は、機器構成が決まっており拡張性が期待できないこと、習得可能な技術要素が限定されることが懸念される。そこで、半導体製造装置をはじめとする数多くの産業機械に組み込まれている空気圧位置決め装置(図2)に着目し、それが持つ幅広い技術要素を整理・体系化するとともに、教材として活用することにより、空気圧制御システムの設計・構築・保守を行う技術者の効果的な育成の実現と空気圧制御の根幹をなす技術伝承につなげたいと考えた。本研究では、空気圧制御システムを構成する幅広い技術要素に関する技能・技術・知識を習得した技術者の効果的な育成の実現と空気圧制御分野における技能伝承体制の確立を目的として、教材開発や教育手法の検討に取り組んだ。

3. 研究の方法

本研究では、空気圧位置決め装置を構成する技術要素を整理・体系化することにより、空気圧制御システムの設計・構築・保守を行う技術者が習得すべき技能・技術を明らかにした。また、空気圧機器の構造と特性が理解でき、空気圧制御システムの構築に必要な技能・技術・知識を生産現場のニーズに応じて習得できる教材を開発するとともに、本研究の取り組みを通して得られたノウハウを活用する教育手法を検討・提案した。これらを実現するため、下記の課題に取り組む、提案した教育手法、開発した教材を職業訓練に展開した上で、教育訓練効果を検証した。

- ・ 空気圧制御技術者が習得すべき技能・技術の明確化
- ・ 空気圧位置決め装置に関する教材開発と教育手法の検討・提案
- ・ 職業訓練への展開と教育訓練効果の検証

4. 研究成果

(1) 空気圧制御に関する職業教育カリキュラムの提案

空気圧機器メーカーで実施している講習内容、職業訓練のモデルカリキュラムで提示されている講義・実習内容や生産現場で求められている技術者像の調査結果と厚生労働省から公表されている職業能力評価基準を参考として、空気圧制御技術者に必要な技術要素を明らかにした。この結果から、空気圧制御技術者の効果的な育成と空気圧制御の理論と実際をリンクさせる職業教育の実現を目指した教育カリキュラムを表1に示す通り提案した。提案した教育カリキュラムでは、空気圧制御技術者が習得すべき技術要素の項目をカテゴリーとして整理するとともに、従来のカリキュラムを再構成し、幅広い技術要素を網羅した形で実践的な技能・技術・知識が習得できるよう、従来のカリキュラムにはないアプリケーション開発のカテゴリーを追加した。アプリケーション開発のカテゴリーの特徴として、理論と実際をリンクさせた教育、すなわ

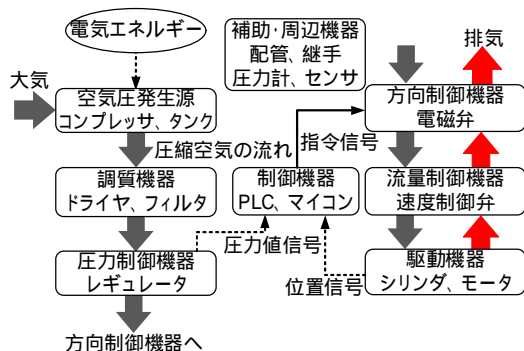


図1 空気圧制御システム

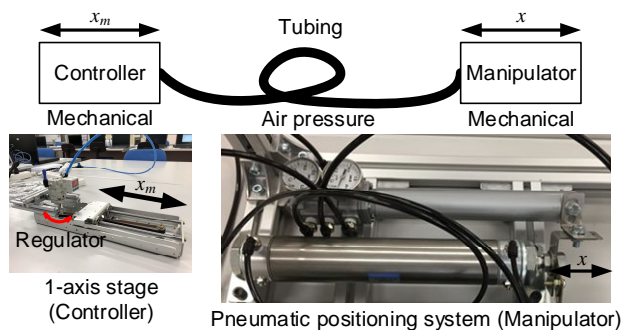


図2 空気圧位置決め装置

表1 空気圧制御に関する教育カリキュラム

カテゴリー	技術要素	時間数
空気圧の基礎	空気圧概要、基本法則・原理、空気圧システムの基本構成	18H
空気圧機器	空気圧機器の構造、動作原理	18H
空気圧基本回路	速度制御回路、中間停止回路、一往復回路、連続動作回路	18H
空気圧制御	全空気圧制御、有接点シーケンスによる空気圧制御、PLCによる空気圧制御	18H
空気圧システムの保全	空気圧機器および空気圧システムの保全、トラブル対策	18H
空気圧システムの省エネルギー化	圧縮空気の省エネルギー化、エアプローの効率化、圧力損失の改善	18H
アプリケーション開発	空気圧位置決め装置の製作(機器選定、制御系設計、機械系設計、組み立て、動作確認、特性評価など)	72H

ち空気圧位置決め装置の製作実習を通して、装置開発のプロセスを経験させる教育を行うことが挙げられる。教材を開発した上でこのカリキュラムを展開することにより、課題解決力、応用力、開発力の高い空気圧制御技術者の効果的な育成の実現および空気圧制御分野における技能伝承体制の確立が期待できる。

(2) 開発した教材 テキスト

市販の空気圧実習装置に付属しているテキストや高等専門学校で利用されている自作テキスト等の調査結果を踏まえ、空気圧技術の概要、空気圧の基礎、空気圧機器、空気圧基本回路、空気圧制御の章立てで、スライド 136 ページのテキストを作成した。テキストの一部を図3に示す。限られた訓練時間の中でいかに理解を深めていくかを考慮して、図や写真を多用して受講者に説明する内容をイメージしやすくすることを心掛けた。特に、空気圧基本回路の実習内容の説明においては、動作を文章化するとともに、空気圧回路シミュレータを併用して回路の動きを提示することにより、実際の機器の動作の理解が促進されるよう工夫した。作成したテキストを職業訓練に展開する中で、空気圧機器の電気制御に関する教育ニーズが高まり、特に、職業訓練指導員(以下、指導員)を対象とした研修コースの企画・実施に対する機運が高まった。そこで、空気圧制御の基礎に関するテキストを作成する中で得た知見を活かし、空気圧制御の概要、有接点シーケンス回路による空気圧制御、PLCによるシーケンス制御の章立てで、スライド 120 ページのテキストを作成した。空気圧回路の電気制御実習を中心として、これに付随する空気圧制御システムの制御系の設計、有接点シーケンス制御、PLCによるシーケンス制御の基礎、PLCプログラミングに関する内容も網羅し、空気圧制御技術者育成に活用できるよう工夫した。

アプリケーション開発実習教材

(1)で提案した教育カリキュラムのカテゴリー「アプリケーション開発」では、空気圧制御システムを設計・製作することにより、受講者に知識やスキルを積み上げるプロセスを経験させるカリキュラムとし、図4に示す空気圧位置決め装置を実習教材として利用することとした。空気圧位置決め装置は、あらかじめシリンダポジションに圧縮空気を供給した上で、信号空気圧を入力することにより、信号空気圧に対応したシリンダの変位を発生させるものである。本教材は、空気圧アプリケーション開発実習において、仕様に基づいた機器の選定から制御系・機械系設計、組み立て、配管、動作確認、特性評価に至るまでの一連のプロセスの中で受講者に試行錯誤や気づきを経験させ、空気圧制御に関する幅広い技術要素を効果的に習得させることを目的として利用する。受講者が装置を製作する中で、空気圧制御技術者に必要な技術要素を効果的に習得させるための教育が行える。実習開始時にレギュレータ、方向制御弁、デジタル圧力計、シリンダ、シリンダポジション、シリンダの変位を検出するためのポテンシオメータなどの部品を支給し、あらかじめ検討した仕様を踏まえ空気圧位置決め装置を設計・製作させる。また、レギュレータ、バルブ、シリンダ、エアチューブを異なる特性を持つものに適宜組み替えて実験を行うことも可能である。さらに、流量計やひずみゲージを追加することにより、シリンダの動作特性やバルブの特性を確認する実験を行うことが可能であり、空気圧制御の理論と実際をリンクさせる教材として期待できる。

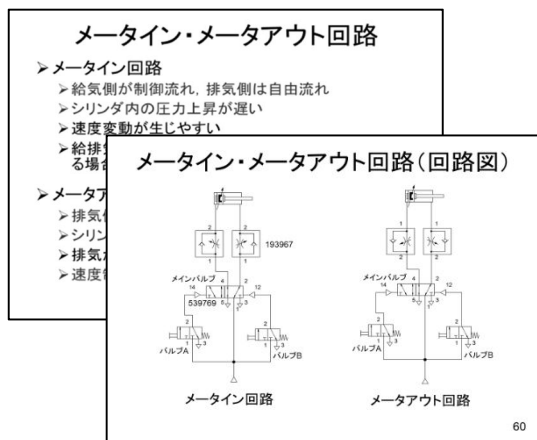


図3 作成したテキスト(抜粋)

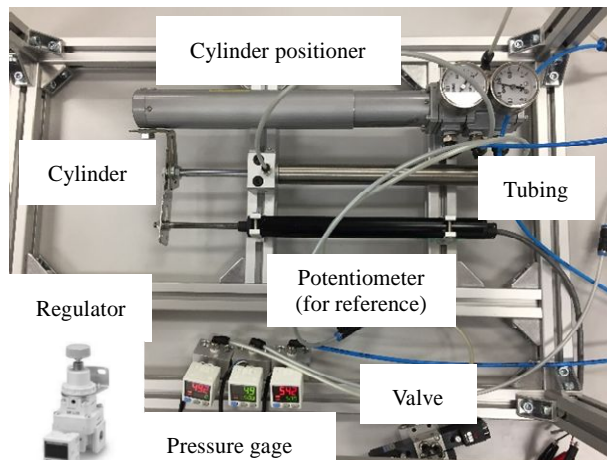


図4 アプリケーション開発実習教材

(3) 職業訓練への展開と教育訓練効果の検証

職業訓練への展開

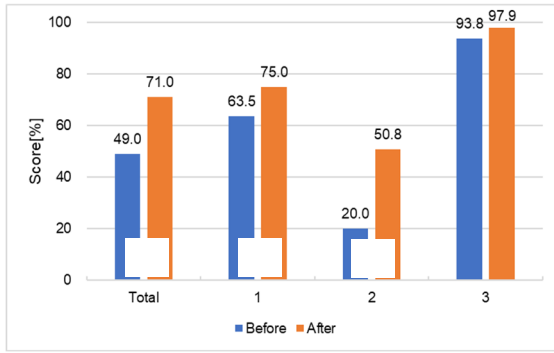
職業能力開発総合大学校(以下、職業大)において、高度職業訓練の総合課程、指導員養成訓練の長期養成課程では、科目設定されているシーケンス制御実習の中で空気圧制御に関する基礎的な学科・実技の訓練を実施している。限られた訓練時間の中で空気圧制御に関する基礎的な技能・技術・知識を効率的に習得させることを目指し、**2019**年度から(2)で示した空気圧制御の基礎に関するテキストを展開するとともに、総合課程において、(2)で示した空気圧位置決め装置をベースとして開発した教材を用いた実習を試行した。また、職業大における指導員研修として、空気圧回路の基礎技術、空気圧回路の電気制御技術の2コースを実施しており、**2020**年度から提案した教育カリキュラムを適用するとともに、空気圧制御の基礎に関するテキストと空気圧回路の電気制御に関するテキストを展開している。

習得度測定

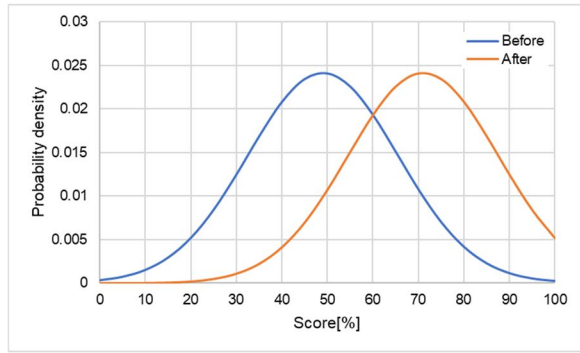
作成したテキストの教育訓練効果を検証するため、総合課程、長期養成課程、指導員研修において訓練開始時と訓練終了時に習得度測定を行った。テキストに含まれる技術要素と訓練時間を勘案した上で習得すべき内容に的を絞り、空気圧の基礎、空気圧機器、空気圧制御実習時の安全衛生に関する問題を合計**12**問出題し、制限時間を**30**分とした。全受講者の平均正答率を計算し、「訓練実施前後の平均正答率に差がない」という帰無仮説のもと、有意差の有無を統計量とt分布表の1%水準(両側検定)における有意確率と比較して判断し、効果量は、標準偏差を基準としたコーエンの標本効果量(Cohen's d)を用いて評価した。総合課程2年生**48**名、長期養成課程2年生**16**名、指導員8名に対して実施した習得度測定の正答率、効果量から求めた全体正答率の確率分布を総合課程について図5(a)、(b)に、長期養成課程について図5(c)、(d)に、指導員について図5(e)、(f)に示す。習得度測定の正答率のグラフにおいて、横軸の**Total**は全体、1は空気圧の基礎、2は空気圧機器、3は空気圧制御実習時の安全衛生のカテゴリーを示す。図5に示すように、すべての課程において空気圧制御実習時の安全衛生を除いて有意差があることを確認した。また、効果量を算出して作成した正答率の確率分布が正答率の高い方にシフトしたことを確認した。従来のテキストを使用した教育と比較すると、空気圧制御の基礎の効率的な習得が可能となったこと、製作する回路の動作がイメージしやすくなったこと、空気圧機器と図記号との対応が明確になったことなどにより、短期間で習熟度を向上に寄与したと考える。

実習教材の検証

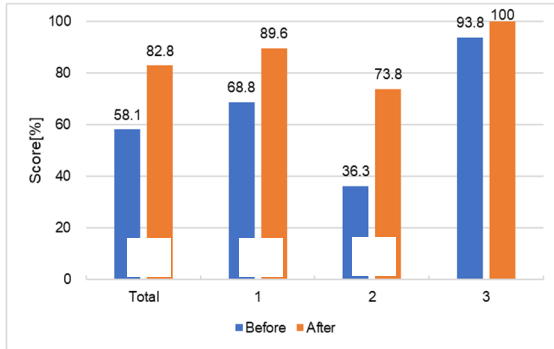
開発した空気圧位置決め装置を実習教材として利用することを想定し、総合課程の4年生を対象として空気圧アプリケーション開発実習を実施し、提案した教育カリキュラムで示した技術要素との整合性を確認した。整合性の確認にあたっては、空気圧位置決め装置製作後に習得できた技術要素に関するヒアリングを実施し、提案した教育カリキュラムのカテゴリーと対応させて整理した上で比較した。ヒアリング結果を表2に示す。ヒアリング結果から、空気圧位置決め装置を製作したことによって習得できた技術要素が提案した教育カリキュラムのカテゴリーを幅広く包含していることが確認できた。このことから、製作に必要な技術要素と提案したカリキュラムの内容が整合していると推測され、開発した教材が職業訓練に展開できる見通しが得られたと考える。



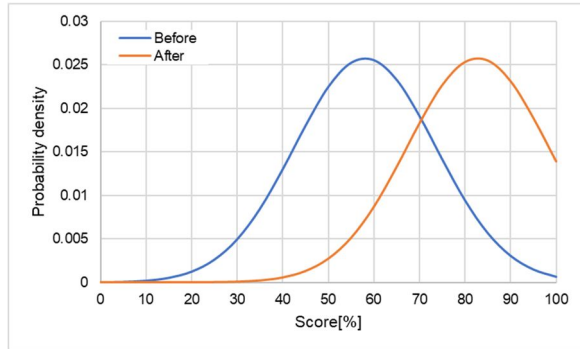
(a) 習得度測定の正答率（総合課程）



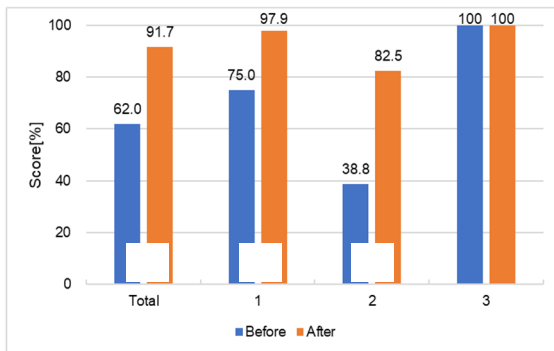
(b) 全体正答率の確率分布（総合課程）



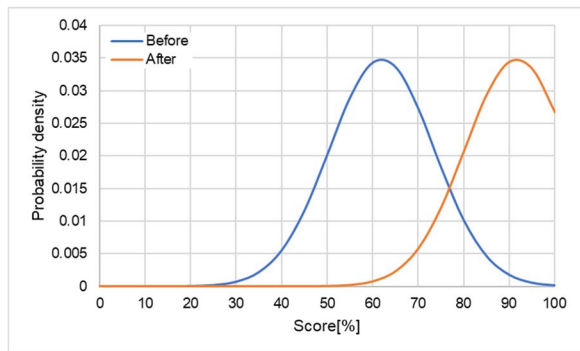
(c) 習得度測定の正答率（長期養成課程）



(d) 全体正答率の確率分布（長期養成課程）



(e) 習得度測定の正答率（指導員研修）



(f) 全体正答率の確率分布（指導員研修）

図5 習得度測定結果（ : 有意差あり）

表2 習得できた技術要素のヒアリング結果

カテゴリー	習得できた技術要素
空気圧の基礎	流体力学の基礎、有効断面積、空気の状態方程式
空気圧機器	シリンダの推力計算、バルブの選定、流量が機器に及ぼす影響、機器配置
空気圧基本回路	流量調整の方法
空気圧制御	シリンダポジションナに入力する信号空気圧の発生方法、空気圧位置決め装置の動作原理
空気圧システムの保全	トラブルシューティング、装置のメンテナンス 機器に付随するねじの取り扱い
空気圧システムの省エネルギー化	配管技術、供給圧によるシリンダ推力の変化
その他	運動方程式、伝達関数の導出、周波数応答 PLCによる信号空気圧の制御、計測技術、データシートの見方

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 MORIGUCHI Hajime, ICHIKAWA Osamu, TAGAWA Yasutaka	4. 巻 7
2. 論文標題 Development of a pneumatic master-slave system comprising entirely mechanical components	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mechanical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/mej.19-00430	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 森口肇、小林浩昭、市川修、田川泰敬	4. 巻 68
2. 論文標題 空気圧制御に関する職業教育カリキュラムの検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 工学教育	6. 最初と最後の頁 81-86
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4307/jsee.68.1_81	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 森口肇、小林浩昭、市川修
2. 発表標題 空気圧制御に関する教材開発と職業教育への展開
3. 学会等名 第69回年次大会・工学教育研究講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 園田伽文、森口肇、小林浩昭、市川修
2. 発表標題 空気圧式制御による遠隔操作ワーク搬送システムの開発
3. 学会等名 第29回職業能力開発研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森口肇、市川修、小林浩昭
2. 発表標題 空気圧制御分野における指導員研修の現状と展望
3. 学会等名 第29回職業能力開発研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森口肇、市川修、小林浩昭、田川泰敬
2. 発表標題 空気圧位置決め装置を用いたマスタースレーブシステムの開発
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference 2020 (D&D2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森口肇、市川修、田川泰敬
2. 発表標題 空気圧制御技術者の効果的な育成を目指した教材開発
3. 学会等名 第67回年次大会(2019年度)工学教育研究講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三枝信淳、市川修、小林浩昭、森口肇
2. 発表標題 機械式フィードバックによるマスタースレーブロボットの特性評価
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference 2019 (D&D2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 所慎也、三枝信淳、森口肇、小林浩昭、市川修
2. 発表標題 空気圧マスタースレーブシステムの負荷時における位置決め特性
3. 学会等名 第27回職業能力開発研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三枝信淳、所慎也、森口肇、小林浩昭、市川修
2. 発表標題 マスタースレーブロボットのマスター装置の特性評価
3. 学会等名 第27回職業能力開発研究発表講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	市川 修 (ICHIKAWA Osamu) (80302941)	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、基盤整備センター)・能力開発院・教授 (82727)	
研究分担者	小林 浩昭 (KOBAYASHI Hiroaki) (40770285)	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、基盤整備センター)・能力開発院・准教授 (82727)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------