

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

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：2018～2021

課題番号：18K02974

研究課題名(和文) 熟練技能継承のための教育訓練数学的モデル構築とその実証的研究

研究課題名(英文) Mathematical modeling and empirical research for skill inheritance

研究代表者

山下 龍生 (YAMASHITA, Ryusei)

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：20750772

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は技能訓練の訓練指導員が取得し得る様々なデータを検証し、熟練技能を継承する上で必要なパラメータを特定して訓練モデルを作成するものである。これまでの訓練成果の評価は訓練指導員の主観によるところが大きく、標準モデルの作成は急務の課題となっていた。しかし、教育や訓練の成果は暗黙知の伝承であり、その成果が見えにくく技能訓練において有用な数理モデルの構築が困難であった。そこで、我々は熟練技能者の競技大会である技能五輪全国大会の結果を熟練技能の習得度、教育訓練の成果として捉え、訓練で得られる様々なデータを分析することで、教育訓練と訓練成果の関係を数理モデル化して効率的な訓練計画を策定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国のものづくり産業において、高度熟練技能は経営基盤を支える自社の強みとして認識され、それをいかに継承していくかは最重要な喫緊の課題の一つであるが、その教育訓練の標準モデルは存在せず、各指導員が個々のノウハウや経験を頼りに行っているのが現状である。これを解決するため、我々は訓練過程で指導員が取得し得る様々なデータを検証し、訓練モデルを構築した。これにより、高度な熟練技能の訓練過程において、指導員は「どのくらい、どの程度」行えば、「どこまで」習得できるか、が予測できるようになり、長期間の訓練が必要とされる熟練技能の継承を様々なデータに基づき効率的に実施できるなど、その波及効果は非常に大きい。

研究成果の概要(英文)：This study is a mathematical modeling and empirical research for skill inheritance. Before this study, the evaluation for training results was largely based on the subjectivity of a training instructor. So, construction of a standard mathematical model was an urgent issue. However, since it was difficult to understand the results of education and skill training, there was no mathematical model for skill training. Therefore, we use the results of the Japan skills competition as the results of skill training and education. Japan skills competition is an annual competition held jointly by Javada. Therefore we can study a mathematical modeling of the relations between education, skill training and training results.

研究分野：逆問題, 微分方程式, 工学教育

キーワード：職業能力開発 技能科学 科学教育 熟練技能 最適化問題 OR

## 1. 研究開始当初の背景

熟練技能者の退職に加え、若年者のものづくり現場離れと少子化が相まって、効率的に技能伝承し、これまで長期間の教育訓練が必要であった高度熟練技能の継承を短・中期間で行う道筋を探っていくことが喫緊の課題としている。そして、マシニングセンタの加工作業を対象に作業を細分化し、これらの作業をどのようなタイミングでどのような方法で教育するのかということ明らかにしている。このように、高度な熟練技能を効率的に継承するために、研究分担者は「東京の中小企業における技能伝承に係る課題と伝承の方策」(東京都職業能力開発協会講演会資料、2016)において、熟練技能を継承する教育訓練においては、「何を使って、いつ・どこで、何を、どのような方法で、どれくらい」を明らかにすることが必要である、としている。これらは、教育訓練においてカスタマイズすべき訓練パラメータともいえるが、指導者の主観的、経験的に基づいて決定される場合が多く、その成果と訓練内容を客観的に評価できていない問題がある。訓練パラメータには、現在の各作業時間、技能習得度などの成果に関するパラメータがある。訓練過程において、これらの訓練パラメータの膨大かつ様々なデータを得ているが、それをどのように評価し、活用すれば良いのかなど十分に活用していない。さらには、多種多様な知識や技能レベル、年齢や性格等を持った技能を伝承される者、いわゆる訓練生に対して様々なアプローチで技能教育をしなければならない必要性を感じているものの、果たして訓練パラメータをどのように各訓練生に対してカスタマイズすれば良いのか導き出せないという問題も抱えている。また、2011年に中央職業能力開発協会が研究報告書「技能五輪全国大会の効果的な実施のための検討会報告書」で指摘されているように、「技能の伸び止まり」、も大きな課題である。これは、ある一定の期間、教育訓練をした後に、訓練生の技能の習得度の伸びが止まってしまう状況である。このことは、指導員に大きな戸惑いをもたらす。最悪の場合、これ以上の技能向上が見込めないと教育訓練をやめてしまうことになる。このようなことを避けるためにも、技能習得度が訓練パラメータの最適な調整によりどのように向上していく可能性があるのか、数理モデルとして示すことは大変有益である。

## 2. 研究の目的

熟練技能という暗黙知の伝承であるとともに、その教育訓練成果が見えにくいとともに、その確認のためには長い時間が必要などの理由から、これまで学術的に解明されようとされてこなかった問題である。これらを熟練技能者の競技会である技能五輪国際大会の教育訓練過程で得られる様々なデータを分析するとともに、認知処理と認知方略、競技会の結果により熟練技能の習得度、を教育訓練の成果として捉え、初めてデータ解析と数学的モデルにより導こう、というところに、本研究の目的と独自性がある。高度な熟練技能者の継承問題の解決に取り組む様々な先行研究がある。そのひとつは、熟練技能を形式知化しようとする試みであり、2014年に竹島らは「作業者の動きとものの変化に着目した技能分析手法の考案」(日本経営学会論文誌Vo.65, No.1, 1-8)で熟練技能3DCGにより技能の定量化を行っている。また、スキルサイエンスとして慶応大学の古川らが2011年に「Abductive Reasoning as an Integrating Framework in Skill Acquisition, Journal of ACIII, Vol.15 No.8, 954-961」で熟練者のスキルを分析し高度な技能を解き明かそうとしている。研究分担者も、モーションキャプチャソフトを用いて情報配線施工職種(光ファイバ接続などの情報ネットワークの構築技術に関連した電気通信工事関連職種)の熟

練技能者（国際大会金メダリスト）の技能を解き明かしている。また、2014年に中村らが「高度熟練技能継承政策に関する一考察」（社会技術研究論文集Vol.11,82-95, 2014）で、我が国の高度熟練技能者活用促進事業等の施策がものづくり産業における高度な熟練技能者の維持・継承に果たした役割と課題を明らかにしている。しかしながら、教育訓練法に着目し、得られる膨大なデータを標準化したうえで、それらを変数とした最適化問題として捉え、生産投入物（人材や資本等）と生産高の関係を表す数学的モデルである生産関数を用いた数学的モデルで解明しようとする試みはこれまで行われていない。同時に、訓練生の技能習得度を認知負荷の知識化と対処方略を訓練パラメータの一つとして活用した事例はこれまでにない試みである。

### 3．研究の方法

「第44回技能五輪国際大会で金メダルを獲得した情報ネットワーク施工職種（当該職種は、これまでどの国もどの職種も成し得なかった7連覇を達成している。）」をモデルとし、訓練状況調査を行う。訓練過程で

- (1)どのような訓練パラメータが得られるか
- (2)どれくらいデータを収集しているか
- (3)それをどのように訓練にフィードバックしているのか

などの調査・分析を行う。そのうえで、収集したデータを解析し、キーとなる訓練パラメータを特定し、その標準化（仕様と収集法の決定）を行う。第45回技能五輪国際大会の選手の教育訓練が開始されるため、その訓練に密着しデータ収集を行う。特に、認知負荷と認知方略に関する調査を行い、各時点での技能習得度との関連性を調べる。第45回技能五輪国際大会（平成31年10月実施）の教育訓練過程において推察したキー・パラメータのデータ収集と解析を行う。その上で、標準化されたパラメータを変数とした最適化問題を数理モデルとして解明する。

### 4．研究成果

多くの関連企業に協力頂き、技能五輪全国大会に向けた訓練に密着し、訓練の状況や指導員からの情報収集等をする機会を得ることができた。その中で、訓練データの収集に成功し、訓練データの解析を行うことができた。また、技能五輪全国大会での運営を通して、技能五輪全国大会の結果を技能訓練の成果と捉えることで、総訓練時間と各課題の訓練時間、その得点上昇率の関係について数理モデルを構築した。まず、この数理モデルを使用して訓練時間の配分手法を提案する研究を行った。この研究成果については「効率的な熟練技能の訓練計画選定における最適化問題の適用について、工学教育、2020-1 Vol. 68, pp.58-62」を参照してもらいたい。投資の分野で用いられるポートフォリオの手法を用いた具体的な最適化問題の応用についても言及しており、計算ソフトを用いて計算を行って効率的な訓練計画の提案を行った。また、熟練技能の特徴を形式化する別の取り組みとして作業動作を分析するモーション・キャプチャ・ソフトウェアを使用して技能者の作業動作を最適化する研究も同時に行った。この研究は「情報ネットワーク施工職種における熟練技能者の技能データ解析と指導法への展開、工学教育、2020-1 Vol. 68, pp.42-48」を参照してもらいたい。作業時間に影響を及ぼしている身体の部位を統計的手法から明らかにして、作業時間を効率化するための動作の提案や、客観的な指導法への展開についての考察がある。その他にも、熟練技能を短期に熟達し得る持続可能な科学的なトレーニング法についても研究を行っており、技能を継承する際の暗黙知である指導員の「ノウハウ」や経験をいかに形式化し、その妥当性を検証するかといった研究も行った。

た。動作密度マップから技能者の動作傾向を分析する研究や、指導員へのインタビューから効率的なトレーニング法への展開を提案する質的研究等、幅広い分野で熟練技能の継承に関する研究を行っているので、研究業績から参考してもらいたい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6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 0件）

1. 著者名 菊池拓男, 添野純矢, 山下龍生	4. 巻 68
2. 論文標題 情報ネットワーク施工職種における熟練技能者の技能データ解析と指導法への展開	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 工学教育	6. 最初と最後の頁 42-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4307/jsee.68.1_42	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 山下 龍生, 菊池 拓男	4. 巻 68
2. 論文標題 効率的な熟練技能の訓練計画策定における最適化問題の適用について	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 工学教育	6. 最初と最後の頁 58-62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4307/jsee.68.1_58	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 山下龍生, 菊池拓男	4. 巻 27
2. 論文標題 技能五輪における訓練計画と最適化問題について	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PTUフォーラム2019 職業能力開発研究発表講演会 講演論文	6. 最初と最後の頁 29-B-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 光ファイバ融着接続技能のデータ解析手法に関する研究	4. 巻 27
2. 論文標題 添野純矢, 菊池拓男, 山下龍生	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PTUフォーラム2019 職業能力開発研究発表講演会 講演論文	6. 最初と最後の頁 29-B-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山下 龍生, 菊池 拓男, 遠藤 雅樹	4. 巻 26
2. 論文標題 技能五輪訓練データの科学的分析と最適な訓練計画について	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PTUフォーラム2018 職業能力開発研究発表講演会 講演論文	6. 最初と最後の頁 19-H-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 菊池 拓男, 遠藤 雅樹, 山下 龍生, 羽田野 健	4. 巻 26
2. 論文標題 技能五輪国際大会における選手強化に関する考察2 - 技能データ分析官の育成 -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PTUフォーラム2018 職業能力開発研究発表講演会 講演論文	6. 最初と最後の頁 19-H-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 杉田 大輔, 山下 龍生, 羽田野 健, 菊池拓男
2. 発表標題 熟練技能の統計分析と動作密度マップにおける科学的トレーニング法の展開
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菊池 拓男, 杉田 大輔, 山下 龍生, 羽田野 健
2. 発表標題 スキルテックによる新たな技能訓練システム構築に関する取り組み-技能五輪を事例として-
3. 学会等名 教育システム情報学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryusei Yamashita
2. 発表標題 Create a Training Plan to Succession on Highly Skilled Skills Using Portfolio Optimization
3. 学会等名 18th Hawaii international Conference on Education (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

関東工学教育協会賞（論文・論説賞） 関東工学教育協会
----------------------------

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	菊池 拓男  (KIKUCHI Takuo)  (20744775)	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	遠藤 雅樹  (ENDO Masaki)  (00648967)	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
---------	---------