

令和元年6月10日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12760

研究課題名(和文) 制御工学的アプローチによる技能評価および技能獲得支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of skill evaluation and skill acquisition support system by using control engineering approaches

研究代表者

川田 和男 (Kawada, Kazuo)

広島大学・教育学研究科・准教授

研究者番号：10300633

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、制御工学的アプローチを用いてものづくりの技能を評価し、さらに技能獲得を支援するシステムの開発を主目的とした。

技能評価モデル作成において、実数値型遺伝的アルゴリズムを用いることで、実際の技能データから技能評価モデルのパラメータを推定し、個人の技能評価モデルを作成することができた。このときの評価モデルとして、「一次遅れ+むだ時間」モデルおよび「指数関数」モデル(心理学評価で用いられる学習曲線のモデルの試行回数を学習時間に変更)を用い、3つのパラメータで個人の特性を評価できるようにした。この評価を用いて、技能獲得のための支援システムの開発も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

技能を評価した研究は多数あるが、制御工学で用いられる「一次遅れ+むだ時間」モデルのTKLパラメータ、および教育や心理学等で用いられる「指数関数」モデルのパラメータを遺伝的アルゴリズムで少ないデータから個々の技能の評価を行い、技能獲得を支援する事例はなく、新奇な概念である。技能獲得を目指した支援システムを構築する上で、本研究の手法が様々な分野(教育、工学等)で活用されることが期待できる。また、ものづくり技術・技能の伝承にも応用でき、飛躍の進展と大いなる成果が期待される。

研究成果の概要(英文)：This research aimed to evaluate MONODUKURI's skill using control engineering approaches and to develop a system for support the acquisition of skill.

By using a real-coded genetic algorithm in making the skill evaluation model, it was possible to estimate the skill evaluation model parameters from actual skill data and make individual skill evaluation model. Then, as the skill evaluation model, using the "first-order system + delay time" model and the "exponential function" model (changing the number of trials of the learning curve model used in psychology evaluation to the learning time) were used, and it was made possible to evaluate individual characteristics with three parameters. Using these evaluation, we also developed a support system for the acquiring skill.

研究分野：メカトロニクス教育

キーワード：技能評価モデル 技能獲得支援 制御工学的アプローチ 製図読図能力 パーツ分類能力 掃き掃除能力 遺伝的アルゴリズム 一時遅れ+むだ時間

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

我が国の製造業は、国際競争力の激化のため海外展開を行っていることで国内産業の空洞化が生じている。これにより、ものづくりに対する機運の低下に伴うかのように若者の理工系離れが進み、将来の我が国のものづくり技術や技能の継承が不十分となり、国際競争力の低下が懸念されている。

このような状況から大学理工系学部等では「ものづくりに関係する教育」の重要性から様々な取り組みがなされているが、ものづくり技術・技能の習熟度の評価を提案した研究^[1]はあるが、その習熟度評価を活用し技能獲得のための支援を行うまでには至っていない。

一方、心理学の分野においては、1990年代以降、手加工のような感覚-運動系の技能と知的技能は同一の法則性に従うこと^[2]が見出され、技能獲得過程の経験的モデルとしてべき乗則 ($T = a + bN^{-c}$)^[3]が用いられている。しかし、従来の実験について再分析を行い、①ほとんどの実験は多くの被験者の平均データを分析していること、②平均化されていない個人ごとのデータは指数関数の方がよく適合すること、③平均化により指数関数ではなくべき関数（べき乗則）に近づく傾向があること、等を指摘する研究^[4]がある。よって、個人の技能評価には指数関数を用いたモデル（制御工学で用いられる「一次遅れ+むだ時間」）を用いる必要がある。また、個人の技能評価と個人の技能獲得のための支援をトータルで考えた研究があまりなされていないことがわかる。

これらのことから、定量的に個人の技能を遺伝的アルゴリズムと「一次遅れ+むだ時間」モデルを用いて評価し、技能獲得の支援を行う制御工学的アプローチを用いた研究が急務であると考えられる。

[1]Y. Yamane and T. Childs: Manufacturing Technology Transfer, CRC Press, (2013)

[2]A. Rosenbaum, et al.: Acquisition of Intellectual and Perceptual-Motor Skills, Annual Review of Psychology, 52, pp.453-470, (2001)

[3]R.A. Carlson: Skill Learning, In L. Nadel(ed.), Encyclopedia of Cognitive Science, 4, pp.36-42, (2003)

[4]A.Heathcote, S. Brown and D.J.K. Mewhort: The Power Law Repealed: The Case for an Exponential Law of Practice, Psychonomic Bulletin & Review, 7(2), pp.185-207, (2000)

2. 研究の目的

本研究は、制御工学的アプローチを用いてもものづくりの技能を評価し、さらに技能獲得を支援するためにハプティック（触覚）デバイスを利用するシステムの開発を主目的とする。ものづくりに必要な技能を、遺伝的アルゴリズムと制御工学で用いられる「一次遅れ+むだ時間」モデルの3つのパラメータ（システムゲイン、時定数、むだ時間）で学習者の個別技能評価を行う。そして、制御工学の制御理論を用い、学習者が効率良く技能獲得できるための支援を行う教師（セルフチューニング制御器）モデルを想定）となる学習者の技能や状態に応じて調整するシステムを開発し、実際に教育現場にて信頼性・有用性の評価・検討を行う。

3. 研究の方法

『平成28年度』

【1】評価に用いる技能の選定（平成28年4月～平成28年5月）

技能評価に関する検討を十分に行う。具体的には、申請者が現時点までに文献調査してきた技能評価を基にして、その他の和書および洋書等の文献を詳細に調査し、技能評価に用いている課題内容・実験内容を分析し、分類を行う。また、今回対象とする技能だけでなく知識に関しても調査を行う。

さらに、定量的な評価を行うために遺伝的アルゴリズムを使用するため、その文献についても調査を行う。

[A]A.Heathcote, S. Brown and D.J.K. Mewhort: The Power Law Repealed: The Case for an Exponential Law of Practice, Psychonomic Bulletin & Review, 7(2), pp.185-207, (2000)

[B]長松, 白坂, 川田, 山本, 山根: 制御工学的アプローチに基づく教師-学習者間モデルに関する考察, 電気学会論文誌, Vol.134-C, No.10, pp.1537-1542 (2014)

【2】評価に用いる学習者モデルの検証（平成28年6月～平成28年7月）

【1】で選定した技能を評価するための課題・実験を用い、図1および図2に示すような学習者モデルの検証を行う。このとき、申請者の大学の学生および附属中学校の生徒の鋸挽き（現時点で考えている課題）の力の掛り具合を計測システムによりデータ収集し、このデータを学習者（「一次遅れ+むだ時間」）モデルに適用し、(1)式の3つのパラメータ（システムゲイン K 、時定数 T 、むだ時間 L ）の検証を行う。また、データだけでなく教師の個々の学生および生徒の定性的技能評価について調査する。

$$G(s) = \frac{K}{1+Ts} e^{-Ls} \dots \dots (1)$$

[C]山根: ものづくり技術・技能の伝承と海外展開, 日刊工業新聞社, (2008)

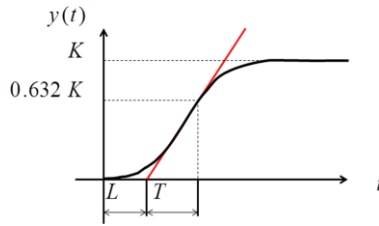


図1 学習者モデル

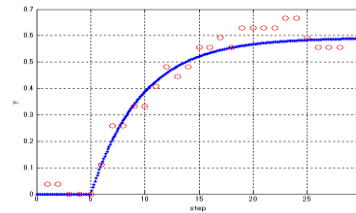


図2 学習者モデルの一例

[3] 技能評価システムの開発 (平成 28 年 8 月～平成 29 年 3 月)

【1】【2】で得られた学習者モデルによる技能の評価を基に, メインコンピュータによりデータ取得・処理し, 評価が一目で理解できるタブレット型コンピュータにより表示できるシステムの開発を行う。このとき, 個々の学習者モデルの3つのパラメータ (学習速度 T , 個人の技能学習してから結果が始める時間 L) により評価を表示することを考えている。ここまでの内容をまとめ, 国内の学会にて成果の発表を行う。

『平成 29 年度』

[4] 技能評価システムの教育現場での検証および支援システムの検討 (平成 29 年 4 月～平成 30 年 3 月)

【3】で開発された ICT 技術を用いた技能評価システムを大学の実習や中学校技術科の授業において利用してもらい, 教員および学生, 生徒にシステムの評価をしてもらう。このとき, システムを教育現場で利用した際, 新たに生じる問題点を明らかにするとともにその対処法について考察する。なお, 予備実験に関しては申請者の大学の学生および附属中学校の生徒に協力して頂く。また, 教員および学生・生徒からわかりやすい指導方法について聞き取り調査を行い, 効率の良い支援方法について検討を行う。この時点での研究成果を国内外の学会で発表する。

『平成 30 年度』

[5] 技能獲得支援システムの開発 (平成 30 年 4 月～平成 30 年 12 月)

【4】により検討された技能獲得のため, セルフチューニング制御を応用した支援システムの開発を行う。このとき, 視覚, 聴覚および触覚によるフィードバックで個々の学習者に対応できるようにする。現時点で想定している支援方法として, 集団の中で使用することを想定し, 他の学習者に影響を与えないハプティック (触覚) デバイス等を用いることを考えている。例えば, 鋸挽きの技能獲得の指導の場面において熟練者は周期的に木材が切れている音がするように挽きなさいと発言する。しかし, 未熟者にとってはただリズムカルに鋸を動かせばよいと勘違いする。そこで, 挽くときに押さえつけるタイミングをハプティックデバイスによって例えば合いの手をいれるような教示・支援する等が想定される。

[6] 技能評価および技能獲得支援システムの教育現場での検証・まとめ (平成 31 年 1 月～平成 31 年 3 月)

【5】で開発された技能評価および技能獲得支援システムを大学の授業において再度利用してもらい, 教員および学生にシステムの評価をしてもらう。また, 実際に技能の獲得に本システムが役に立っているか定量的にデータからも評価する。

教育現場での検証の結果をまとめ, 国内外の関連する学会等で発表を行う。また, 同時に論文の投稿を行う。

4. 研究成果

4. 1 スキル評価モデルに関して

効果的に学習や仕事における技能習得するためには, 個々の学習者や労働者の学習状況を把握し, その学習状況に基づいた適切な支援が必要である。初期の学習状況から将来の学習過程を個人の学習特性に基づいて予測できれば, 個人に応じた最適な学習支援を行うことができる。その問題に対応して, 制御工学で用いられている技能評価を「一次遅れ+むだ時間」システムと見なすモデル化が提案されている。スキル評価モデルのモデルにおける時定数 T , むだ時間 L , システムゲイン K のパラメータを考察している。しかしながら, 初期の学習データからスキル評価モデルのパラメータをどのように推定するかについては検討されていない。そこで本節では実測した試行データから実数値遺伝的アルゴリズムを用いてスキル評価モデルの推定方法を提案する。また, 初期学習成績データからスキル評価モデルのパラメータを推定した結果についても述べる。図3を用いた部品分類作業において, 学習過程データを用いたスキル評価モデルのパラメータ推定を行った結果, 3つのパラメータで個人の学習スキルが推定できた。

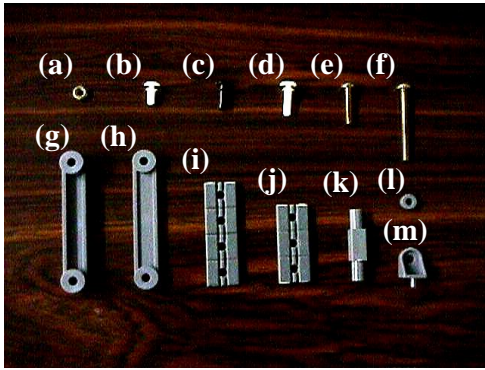


図3 分類作業に用いた部品

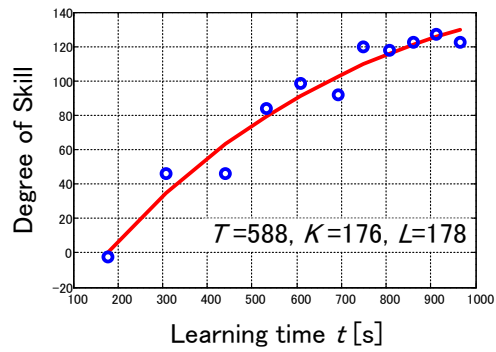


図4 学習過程データとパラメータ推定結果

また、遺伝的アルゴリズムを用いた初期学習データ数とスキル評価モデルのパラメータの推定結果を図5に示す。この図より初期学習データ数が4点あれば個人のスキル評価モデルを推定できることがわかった。

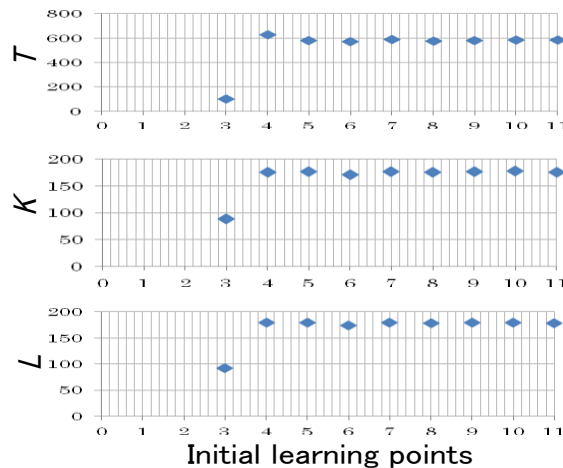


図5 初期学習データ数と推定パラメータの関係

4. 2 製図読図能力向上への適用に関して

現在、中学校技術・家庭科技術分野、高等学校工業科、高等専門学校および大学工学部等において、製図教育が行なわれている。しかしながら、製図で用いられている第三角法による正投影図の理解がないと図面を読むことは大変困難であり、図面（2次元）と製品（3次元）の往還も難しい。過去の報告に、立体認識能力や作図能力が立体描画能力の形成に与える影響を調査した研究や、ペーパークラフトの立体模型を用いた有効性を調査した研究がある。しかし、調査内容はいずれも事前事後テストであり、時系列による連続的な能力の変化を調査したものは見受けられない。そこで、本節では製図読図能力の定量的な評価方法について、提案する評価モデルを基に推定し、効果的な学習方法について考察する。

大学生を対象に、時系列による読図能力を評価する実験を行った。図6に示す30mm四方の様々な立体模型（3Dプリンタにより製作）とそれらの第三角法による正投影図で描かれた図面を17セット用意した。被験者にランダムに出題される図7に示すような図面と立体模型をマッチングさせる作業を行わせ、作業にかかった時間（反応時間）を計測した。この手順の実験を1回とし、被験者に15回実験を行った。

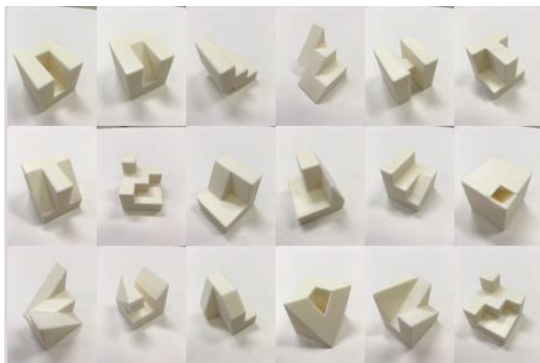


図6 30mm 四方の立体模型

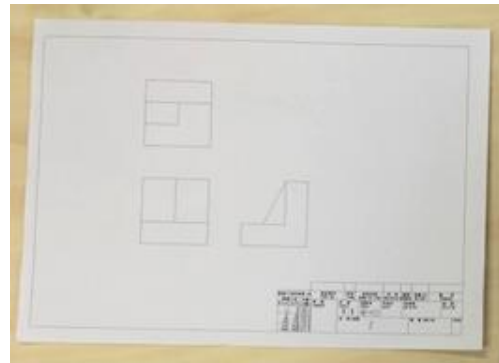


図7 立体模型の図面

被験者2名のスキル評価モデルを図8および図9に示す。これらの図より、個々の学習特性が表現されていることがわかった。これらの学習特性から学習支援に関しては、定量的にデータは採れていないが、図10および図11の支援方法を用いることで効果が上がることが確認できた。

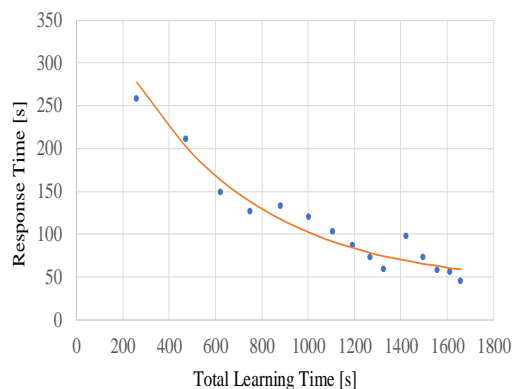


図8 被験者Aの学習曲線

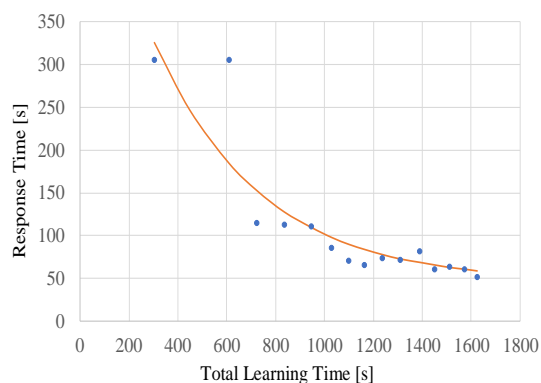


図9 被験者Bの学習曲線

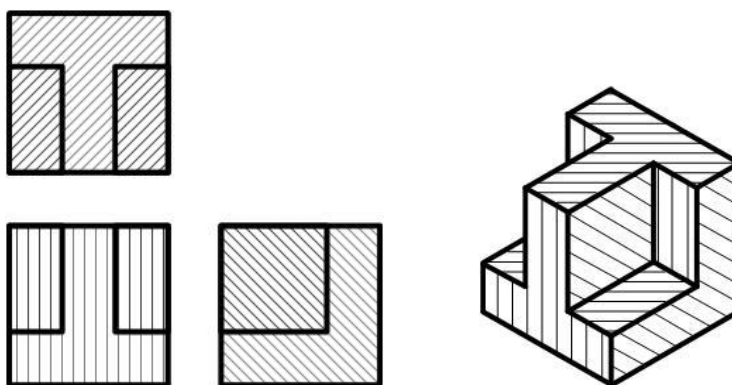


図10 支援方法の例1

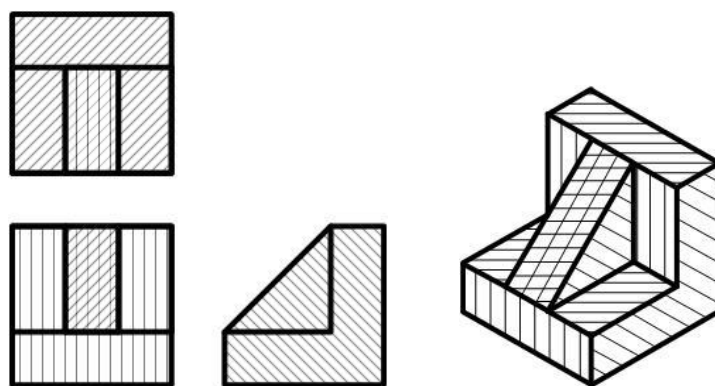


図11 支援方法の例2

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6件)

1. Kazuo Kawada and Masahiro Ito: Study on Assist Education of Swing Riding using a Robot, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.29, No.6, pp.999-1004, 2017 (査読有)
2. Kazuo Kawada, Teruyuki Tamai and Toru Yamamoto: Parameter Estimation of Skill Evaluation Model, Journal of Robotics, Networking and Artificial Life, Vol.4, No.3, pp.205-208, 2017 (査読有)
3. 川田和男, 正田義明, 玉井輝之, 木村彰孝: きりの穴あけ技能の定量的評価に関する一考察, 電気学会論文誌, Vol.138, No.5, pp.566-572, 2018 (査読有)

4. 川田和男：現場における可視化と支援，電気学会論文誌，Vol.138，No.5，pp.455-458，2018（査読無）
5. Kazuo Kawada and Teruyuki Tamai: Development of Teaching Support Material for Nurturing Cooperation through Play, Journal of Robotics, Networking and Artificial Life, Vol.5, No.3, pp.169-172, 2018（査読有）
6. 川田和男：教育におけるスキルの可視化，電気学会論文誌，Vol.139，No.4，pp.264-267，2019（査読無）

〔学会発表〕（計 6 件）

1. 川田和男，岡本克哉，正田義明：技能評価および技能獲得支援システムの開発，電気学会研究会資料 制御研究会，2016
2. Kazuo Kawada and Toru Yamamoto: Parameter Estimation of Skill Evaluation Model, The 2017 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB 2017), 2017
3. 川田和男，正田義明，玉井輝之，木村彰孝：手加工に関する技能の定量的評価に関する一考察，平成 29 年度電気学会電子・情報・システム部門大会，2017
4. 檜山司，川田和男，玉井輝之：遺伝的アルゴリズムを用いた製図読図能力の評価モデル推定，スマートシステムと制御技術シンポジウム 2019，2019
5. 守江智哉，川田和男：掃き掃除のための評価装置の開発，スマートシステムと制御技術シンポジウム 2019，2019
6. Kazuo Kawada, Tsukasa Hiyama and Teruyuki Tamai: Skill Model Estimation of Ability for Reading Drawings, The 2019 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB 2019), 2019

〔図書〕（計 0 件）

〔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)研究分担者 なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名：玉井 輝之

ローマ字氏名：Teruyuki Tamai

研究協力者氏名：山本 透

ローマ字氏名：Toru Yamamoto

研究協力者氏名：伊藤 真浩

ローマ字氏名：Masahiro Ito

研究協力者氏名：岡本 克哉

ローマ字氏名：Katsuya Okamoto

研究協力者氏名：正田 義明

ローマ字氏名：Yoshiaki Shoda

研究協力者氏名：檜山 司

ローマ字氏名：Tsukasa Hiyama

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。