

令和 4 年 5 月 7 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K02980

研究課題名(和文) 学習到達度をパフォーマンス指数で評価するプログラミング教材の開発

研究課題名(英文) Development of Teaching Materials for Programming based on Performance Assessment of Learning Achievement

研究代表者

大西 義浩(Ohnishi, Yoshihiro)

愛媛大学・教育学部・教授

研究者番号：00321480

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、プログラムの「はたらき」を数値化した「パフォーマンス指数」によりプログラム学習者の到達度を評価できる教材を開発した。本研究で開発する教材のきめ細かい評価による個に応じた学習支援や学習者の主体的な取り組みなどが可能になり、プログラミング学習の効果向上に貢献することを狙いとする。研究期間全体の課題として(1)教科内容に即した教材の検討、(2)パフォーマンス指数の算出方法とプログラム難易度との関連の考察、(3)プログラム作成者の学習到達度とパフォーマンス指数との関連の考察、の3つを掲げた。温度制御を題材として教材を制作し、シミュレーションおよび実験において有用性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2020年から小学校においてプログラミング教育が必修化されるなど、初等中等教育の現場に、プログラミング学習が導入されつつあり、様々な教材や教育方法が開発・提案されている。しかし、その評価方法は、できた、できないの二値的な判断になりがちであり、プログラミング学習の到達度に応じた定量的かつ詳細な評価方法が確立されているとは言い難い。本研究では、プログラムの「はたらき」を数値化した「パフォーマンス指数」によりプログラム学習者の到達度を評価できる教材を開発した。本研究によって個に応じた学習支援や学習者の主体的な取り組みなどが可能になり、プログラミング学習の効果向上に貢献できると考えている。

研究成果の概要(英文)：This research have developed teaching materials that can evaluate the achievement of program learners by using the "performance index" that quantifies the working of the program. The aim is to contribute to improving the effectiveness of programming learning by enabling individualized learning support and independent efforts by learners through detailed evaluation of the teaching materials developed in this research. As issues for the entire research period, (1) examination of teaching materials according to the subject content, (2) consideration of the relationship between the calculation method of the performance index and the difficulty of the program, (3) the learning achievement and the performance index of the program creator. I have listed three related considerations. We created teaching materials on the subject of temperature control and confirmed their usefulness in simulations and experiments.

研究分野：制御工学

キーワード：プログラミング教育 パフォーマンス評価 温度制御

1. 研究開始当初の背景

中学校技術・家庭科技術分野(以下、中学校技術と略)における「プログラムによる計測・制御」の必修化や小学校におけるプログラミング学習が2020年度から必修化されるなど、初等中等教育の現場に、プログラミング学習のカリキュラムが導入されつつあり、様々な教材や教育方法が開発・提案されている。しかしながら、プログラム作成者の学習到達度に応じた評価は難しく、図1点線に示すような、目的とする動きを実現できるか否かの二値的な評価となりがちである。

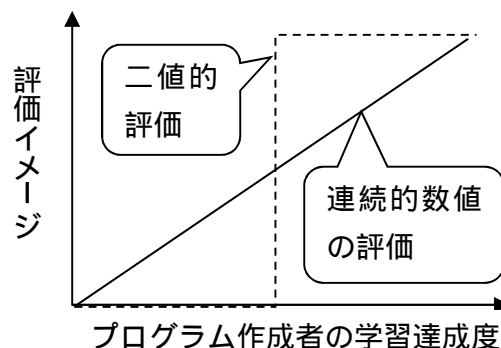


図1 プログラミング評価のイメージ

効率的なプログラミング学習のためには図1実線に示すように学習到達度に比例した連続的な数値での評価を行うことが理想的である。しかしながら定量的で連続的な数値でのプログラミング学習到達度の評価方法は申請者の知る限り未だ存在しない。学習者の作ったプログラムそのものを評価者が観察すれば、どれくらいの難易度であるか評価することが出来るが、学習者が多ければ現実的ではない。また、学習者の立場から、「パフォーマンス指数」を向上させるという目的を明示される方が、学習効果が高まると考える。教材は、その成果の評価方法と表裏一体であるべきであり、プログラミング学習教材についてもその対応が求められている。

本研究では、プログラムの学習達成度評価を目的としているが、石油化学工業などに代表されるプロセス制御分野では、制御性能評価 (Control Performance Assessment: CPA) の方法がプログラム評価として用いられている。CPAは従来オペレータの主観的になりがちであった「制御の良さ」の定量的評価を「パフォーマンス指数」として算出するものである。製品品質や当該プラントの消耗具合などの経済的指標に関連のある制御性能を指数化し、良いプログラムとは効率的にお金を稼いでくれるものであると定義している。つまり、プログラムによる「はたらき」を連続的な数値の「パフォーマンス指数」として「見える化」している。このCPAの手法を参考に、何らかの「パフォーマンス指数」によってプログラミングの学習到達度を評価することができるのではないかと考えた。二値的ではない連続的な数値での評価指数を与えることで学習段階に応じた到達度評価が可能となり、主体的なプログラミング学習や個に見合った学習支援につながるものと考え、本研究の立案に至った次第である。

2. 研究の目的

本研究では、プログラムの「はたらき」を数値化した「パフォーマンス指数」で評価できる教材を開発する。本研究で考える「パフォーマンス指数」とは、何らかの尺度でプログラムの「はたらき」を表現できる指数である。一例として、図2のような赤外線センサを手掛かりに壁伝いでゴールを目指すロボット教材を考えると、Aに示す軌跡のようにロボットが壁から遠い時は壁に近づき、壁から近い時は壁から遠ざかるという二値的な動きをする簡単なプログラムでは、ゴールは出来てもよいタイムは

期待できない。そこで、Bに示す軌跡のように壁からの距離に応じて壁への近づき具合を調整するようなプログラムにするともう少しタイムを短縮できる。さらに、Cに示す軌跡のようにロボットに搭載されている明度センサを使用し、明るいところを走って近道ができるような機能を入れると、さらにタイムが短縮できる。この課題においては、ゴールまでに要するタイムが「パフォーマンス指数」となり、短いタイムがよいプログラムを意味する。このときAタイプのプログラムではゴールタイムに限界があり、さらに短いゴールタイムを出すためにはBタイプのプログラムが必要になる。さらに短いタイムを目指すためにはCタイプのプログラムが必要になる。つまり、図3に示すように、「パフォーマンス指数」であるゴールタイムを見れば、学習者の学習達成度を推定出来ると考えている。

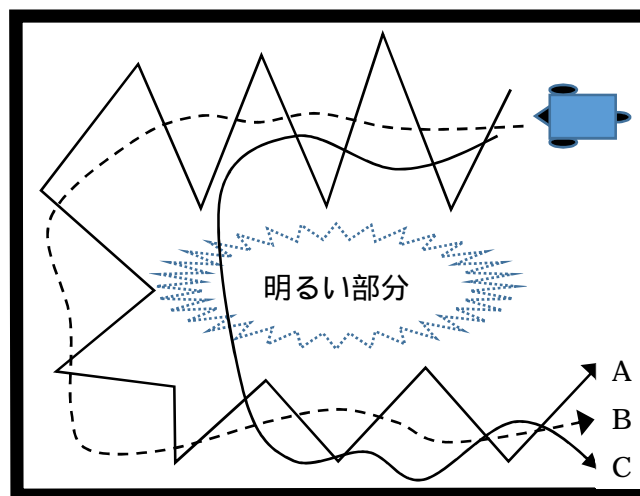


図2 壁伝いロボットの走行軌跡例

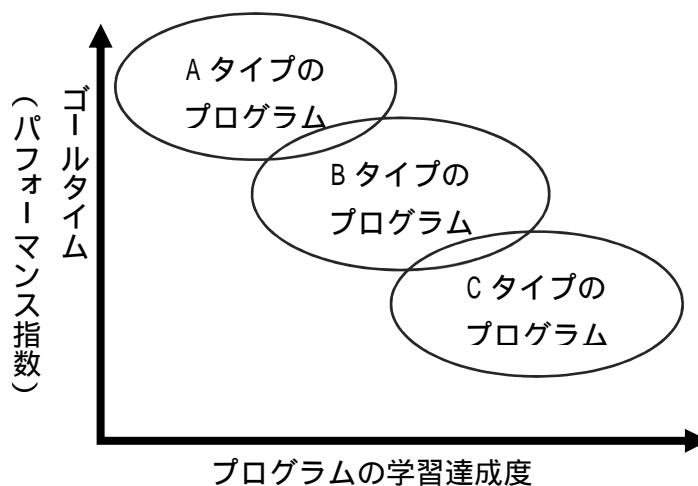


図3 学習達成度とパフォーマンス指数の関係

3. 研究の方法

多くのプログラミング学習においては、「できる」「できない」の二値的な評価に基づくため、学習者は「こうやれば」「これができる」という学習スタイルになりがちで主体的な学習につながりにくい。また、授業者は学習到達度を個別に把握できないため、学習段階に対応した支援が難しく一斉的な指示になりがちである。本研究で目指すプログラミング教材は、学習者が作成したプログラムによる「はたらき」をパフォーマンス指数という連続的数値により学習到達度を定量的に評価する。学習者は、どのような方策によりパフォーマンス指数を良化できるかという主体的なプログラミング改善に取り組み、また、授業者はパフォーマンス指数によって学習段階を詳細に把握した個に応じた学習支援につなげることを目指す。なお、開発する教材は中学校技術ならびに小学校高学年でのプログラミング学習に用いることを想定している。この目的を達成するために以下の個別課題が考えられる。

・教科内容に即した教材の検討

小学生や中学生が作成可能なプログラミング環境を用いたプログラミング教材を検討する。コンピュータ内で完結するシミュレーションベースのものや実物を動かす実験ベースのもの双方を検討する。学校教育の中での使用を念頭に置いているため、算数、理科、技術等の教科内容に即した複数の教材を検討する。ここでは、学年ごとの単元進行に詳しい小中学校の現職教員に助言を頂きながら開

発を進める。

・パフォーマンス指数の算出方法とプログラム難易度との関連の考察

簡単な条件分岐型のプログラムや、フォードバック制御のような概念を取り込んだものなど様々な難易度のプログラムとその「はたらき」との関連を分析し、「パフォーマンス指数」の算出方法を検討する。ここでは、壁伝いロボットで例示したように、何か一つの指標から指数を計算するパターンとともに、二つ以上の指標から一つの指数を計算するものなども考察する。前記した壁伝いロボットの例では、ゴールタイムに加えて、使用電力最小化の観点から、ゴール後の電池の残存電圧を新たな指標として取り入れ、これらを総合して一つの指数で表現することなどが考えられる。二つ以上の指標から一つの指数を算出する際には、それぞれの指標をどの程度重視するかという重み係数の設定などが重要になるため、数値シミュレーションおよび数学や情報工学の専門家からの助言を取り入れながら分析を進める。

・プログラム作成者の学習到達度とパフォーマンス指数との関連の考察

この課題は本研究の最終的な目的である。で検討したプログラミングの難易度とパフォーマンス指数との関連に基づき、プログラムの難易度と学習到達度の関係を考察する。学習者がパフォーマンス指数を良化させようとすることでプログラムの難易度を高める方向に改善し、ひいては理解度を深めていけるような、主体的な取り組みを促す学習到達度評価となるパフォーマンス指数とする。様々なプログラミング課題に対して、学習到達度に応じたパフォーマンス指数を算出することを目指す。ここでは、で開発した教材を用いて、大学生や大学院生の協力を頂きながら予備実験を繰り返した後、小中学校の実践において理解度を確認するアンケートや筆記テストで裏付けを行いながら考察を進める。

・学習到達度に応じた効果的な学習支援方法の検討

本研究においてこの課題は発展的な内容と考えている。「パフォーマンス指数」の数値に基づいて、学習者のつまづきを検知し、効果的な支援につなげる。サンプルプログラムやヒントの例示が考えられるが、主体的な学習を阻害しない支援方法の検討が必要である。これらの課題を考察することで、本研究の核となるの課題を多角的に考察できると考えている。

4. 研究成果

本研究では、まず、温度制御のシミュレーションを題材として、制御誤差の分散に関連するパフォーマンス指数を考案し、制御プログラムによって指数が変わることを確認した。また、同様のパフォーマンス指数が温度制御実験においても有効であることを確認した。

また、小中学生に採用されることが多いロボット教材については、ライントレース型ロボットを題材として、複数のセンサを使用したほうがゴールタイムが早くなるようなコースを使用して、ゴールタイムをパフォーマンス指数とする方法を提案した。また、お掃除ロボットを題材として、フィールド内をくまなく走ったか否かを画像処理により計測する手法を考案し、全面積のうち走行した面積の比をパフォーマンス指数とすることも提案した。これらの方法論については、国内外での学会発表、論文投稿によって是非を問うことができた。

以上，様々な教材によって，本研究で目的とした学習到達度をパフォーマンス指数で表現するということは達成できたと考えている。しかしながら，発展的な内容と考えていた学習到達度に応じた効果的な学習支援方法については十分に検討できなかった。これは，コロナ禍の影響で，本研究の主要フィールドと考えていた小中学校での実践が予定通り行えなかったことも一つの理由である。今後は本研究で開発した方法を小中学校の現場に持ち込み検討を続けたいと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yoshihiro Ohnishi, Takuya Kinoshita, Toru Yamamoto	4. 巻 16
2. 論文標題 Practical Control Performance Index with Weighting Factors of Controller	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 1447-1449
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.23446	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 Ohnishi Yoshihiro, Nakano Takeshi, Tamai Teruyuki, Mori Shinnosuke, Kawada Kazuo	4. 巻 7
2. 論文標題 Practical Learning of Science for Elementary School Students via Programming and Control Experimentation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Robotics, Networking and Artificial Life	6. 最初と最後の頁 266 ~ 266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2991/jrnal.k.201215.012	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 Yoshihiro Ohnishi, Syogo Takechi, Teruyuki Tamai, Shinnosuke Mori, Kazuo.Kawada	4. 巻 31
2. 論文標題 Evaluation for Task Achievement of Robotics Programming based on Image Information	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 427 - 433
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2019.p0427	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 Yoshihiro Ohnishi	4. 巻 5
2. 論文標題 Control Performance Assessment Method as Assessment of Programming Learning Achievement	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Robotics, Networking and Artificial Life	6. 最初と最後の頁 180 - 183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2991/jrnal.2018.5.3.8	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18件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Yoshihiro Ohnishi, Takuya Kinoshita, Toru Yamamoto
2. 発表標題 Controller Retuning by using the Practical Control Performance Index
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大西義浩
2. 発表標題 温度制御シミュレーションの性能評価を用いた制御技術教育
3. 学会等名 2021年電気学会, 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大西義浩
2. 発表標題 GIGAスクール構想と小・中・高におけるプログラミング教育
3. 学会等名 制御工学教育研究集会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshihiro Ohnishi
2. 発表標題 Practical Control Performance Index with the Reference Model Information
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大西義浩
2. 発表標題 迅速な検知を目的とした制御性能評価法と制御器調整
3. 学会等名 第63回自動制御連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大西義浩
2. 発表標題 GIGAスクールにおけるプログラミング教育と制御技術教育
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大西義浩
2. 発表標題 現実的な制御性能評価を用いた制御器再調整
3. 学会等名 第8回 制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大西義浩, 木下拓矢, 山本透
2. 発表標題 参照モデル情報を考慮した制御性能指数
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihiro Ohnishi, Takuya Kinoshita, Toru Yamamoto
2. 発表標題 Design of Minimum Variance Control System by using Performance Index
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihiro Ohnishi
2. 発表標題 Educational Effect Measurement of Control Technology based on Performance Index
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大西義浩
2. 発表標題 制御性能評価に基づいた制御技術の教育効果測定
3. 学会等名 令和元年度電気学会，電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大西義浩，木下拓矢，山本透
2. 発表標題 参照モデル情報を考慮した制御性能指数と制御器調整
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihiro Ohnishi, Takuya Kinoshita, Toru Yamamoto
2. 発表標題 Performance Monitoring and Data Driven PID Parameter Tuning for Noisy Systems
3. 学会等名 13th IFAC Workshop on Adaptive and Learning Control Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大西義浩
2. 発表標題 迅速な検知のための制御性能評価法
3. 学会等名 第7回 制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大西義浩, 武智省吾, 玉井輝之, 森慎之助
2. 発表標題 制御技術学習のための定量的な到達度評価
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武智省吾, 大西義浩, 玉井輝之, 森慎之助
2. 発表標題 画像情報を用いたプログラミング学習評価
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第34回四国支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大西義浩
2. 発表標題 パフォーマンス指数によるプログラミング学習の達成度評価
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大西義浩
2. 発表標題 プログラミング学習における制御性能評価
3. 学会等名 平成30年度電気学会，電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2018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

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