

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12803

研究課題名（和文）モデルベース開発（MBD）アプローチによる適応学習支援システムの開発

研究課題名（英文）Development of an Adaptive Learning Support System based on Model-Based Development (MBD) Approach

研究代表者

脇谷 伸 (Wakitani, Shin)

広島大学・工学研究科・講師

研究者番号：00728818

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：近年、学習者の個別の実態に応じた多様な教育システムが求められている。このような背景から、本研究では、学習者のレベルや特徴に合わせて学習支援度を調整する、適応学習支援システムの開発手法の確立を目指した。研究では、内部状態を考慮した学習者モデルの開発とシミュレーションモデル化と適応学習支援システムの開発とシミュレーションによる動作検証に関する成果を得た。本研究は、近年産業界で積極的に導入が進むシミュレーションモデルを用いてすべてのシステム開発・検証を試作機レスで行う、モデルベース開発（MBD）に基づいており、本アプローチによって短期間で学習支援システムの開発が行える可能性を示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国民の教育レベルの高水準化は、資源の少ないわが国の国際競争力を維持・向上させるために必要不可欠である。近年、教育現場ではアクティブラーニングの重要性が唱えられており、基礎的な知識習得のためのWeb Based Training等の学習支援システムが果たす役割が大きい。そのため、本研究は我が国の教育にとって非常に重要な研究である。また、学習支援システム開発に対するMBDアプローチの有効性が示されたことで、今後、研究成果がモデルという統一的な成果物として共有され、これらのモデルが新たな研究成果（モデル）を生み、当該研究分野の加速が期待される。本研究はその先駆的研究であり、その学術的意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：In recent years, various educational systems have been demanded according to the actual situation of each learner. Against this background, this research aims to establish a method for developing an adaptive learning support system that adjusts the degree of learning support according to the level and characteristics of the learner. In this research, we obtained the results of (1) development of a mathematical learner model considering the internal state, (2) development of an adaptive learning support system, and operation verification by simulation. The feature of this research is that it is based on model-based development (MBD), in which all system development and verification is performed without a prototype using a simulation model that has been actively introduced in industry in recent years. The possibility of developing a learning support system in a short time was suggested by this approach.

研究分野：制御工学

キーワード：学習者モデル モデルベース開発 制御工学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

国民の教育レベルの高水準化は、資源の少ないわが国の国際競争力を維持・向上させるために必要不可欠である。研究開始当初の学習指導要領総則には「個に応じた指導の充実を図ること」が明記され、学習者個々の実態に応じた多様な教育システムが求められている。このような背景から、学習者のレベルや特徴に合わせて学習の支援度を調整する、適応学習支援システムの開発に関する研究が盛んに行われていた。これらの多くの研究では、開発されたシステムによる学習効果を検証するために、学習者に対して提案システムを用いた教育を実践する必要がある。しかし、現実には教育を実践する機会や被験者の人数は限られており、研究によっては1つの開発教材の効果を検証するために数年の歳月を必要とする場合もある。このことはシステムの開発効率を悪化させ、当該研究分野の発展を遅らせる要因となっていた。

一方、産業界では顧客ニーズの目まぐるしい変化に対応すべく、これまで以上に製品開発の効率化が求められていた中で、モデルベース開発(MBD: Model-Based Development)と呼ばれる手法が注目を集めていた。MBDでは、システムの重大な欠陥や構成要素の一部を変更した際のシステムの挙動の変化などを、実機による製品テストを行う前に、シミュレーションによって確認・検証できる。そのため修正に最も時間がかかる実機テストにおける手戻り(実験結果を受けてもう一度システムの構成要素の設計から見直すこと)を未然に防ぐことができ、従来の開発手法に比べて短期間で新しいシステムの開発が可能となる手法として自動車業界などを中心に積極的に導入されていた。

2. 研究の目的

学習支援システムの開発にMBDを適用できれば、その開発期間が大幅に短縮され、先に述べた当該分野の問題解決が期待できる。MBDでは、開発対象となる学習支援システムのシミュレーションモデルだけでなく、学習者のレベルや特徴をシミュレーション可能なモデルとして記述した「学習者モデル」が必要となる。申請者は、制御工学の分野において、制御対象に応じて制御器を自己調整する適応制御器の設計法や、熟練技術者の技能を、データベースを用いた制御器として表現する、エキスパート制御系の設計法を提案している。これまでの研究で得られた知見や技術を活用することで、適応学習支援システムや学習者モデルを実現できると考えた。このような背景のもと、MBDアプローチに基づく適応学習支援システムの開発手法を確立することが当該分野の発展に大きく寄与できるものと確信し、本研究の立案に至った。そのため、本研究では、MBDアプローチによる適応学習支援システムの開発手法を確立し、従来の学習支援システム開発手法からのパラダイム転換を目指すことを研究の目的に設定した。

適応学習支援システム (制御器)

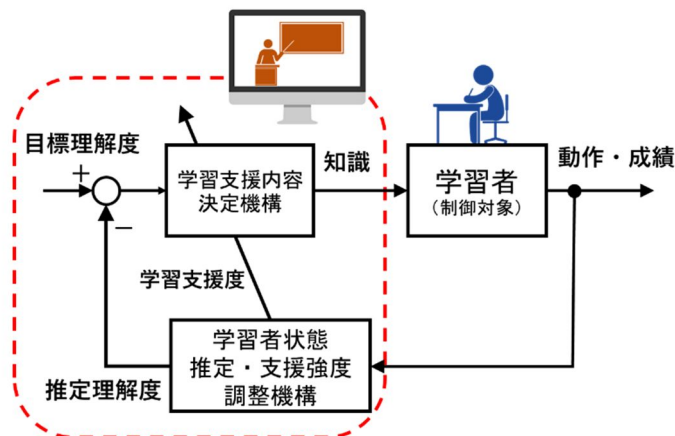


図1: 学習支援システム概念図

3. 研究の方法

本研究では3年間の研究期間を設けた。研究では大きく分けて「学習者モデル」および「適応学習支援システム」の開発・検証を行う。学習者モデルの開発においては、学習者が、集中力や理解度などの内部状態を持ち、学習支援システムから与えられた知識(入力)によって内部状態が変化し、この変化が視線やテストの点数などの動作や成績として出力される「システム」として解釈し、上記のような知見に基づきシミュレーション可能な学習者モデルを提案する。適応学習支援システムの開発においては、先に開発された学習者モデルを用いてMBDアプローチに基づき適応学習システムを構築する。提案システムは学習者モデルの動作から理解度を含む学習者の内部状態を推定し、推定された内部状態に応じて学習支援度を決定する。ここで得られた支援度に応じて、あらかじめ細かく細分化された教育用コンテンツから必要なコンテンツを選択し、学習者に提供する。これら全ての機能設計や動作検証は、学習者モデルを通じたシミュレ

ーションによって机上で行う。完成した学習支援システムを本学の学生への適用を通じて評価する。評価では、学習完了後の学習者に対するアンケートやテストを通じて、目標達成状況や、制御工学の経験者と未経験者で得られた知識量の差などについて検証する。

4. 研究成果

以下に各年度において得られた研究成果を示し、これらの研究成果を総括する。

(1) 平成 29 年度：

学習者モデル生成のためのデータ収集と整理：申請者の所属講座で実施する、モデルベース開発基礎研修において、参加者より承諾を得たうえで講義毎にアンケート調査を行い、これらのデータを集計した。また、講義終了時には、小テストを実施した。これらの集計結果と小テストの結果に対してニューラルネットワークを適用し、学習者の特徴を分類したところ、データから学習者の特徴量が抽出でき、初期のアンケート結果を用いるだけで学習者が最終的に小テストでどのような点を取得するかが大まかに予測できるようになった。

データベース駆動型状態空間制御系設計手法の提案：状態空間表現とデータベース駆動型制御系設計手法を融合した新しい「データベース駆動型状態フィードバック制御系」を提案した。提案手法では、制御対象が局所的には線形な状態空間表現可能であることを仮定することで、制御対象から状態ベクトルを取得可能であれば、制御対象が非線形性を有していたとしても、その学習機能によって所望の制御性能を達成することが示された。本研究成果は、国内学会（自動制御連合講演会、東京、2017年11月）にて発表を行った。本手法は、平成30年度以降の計画である適応学習支援システムのコア技術となる。

(2) 平成 30 年度

学習者モデル生成のためのデータ収集と整理を行った。昨年度に引き続き、申請者の所属講座で実施する、モデルベース開発基礎研修において、参加者より承諾を得たうえで講義毎にアンケート調査を行い、これらのデータを集計した。また、講義終了時には、小テストを実施した。これまでの講義によって、およそ600名程度の受講生データを収集することができた。

「状態空間表現による学習者モデル」の表現手法について考察・提案した。本手法では、学習者の状態量として、やる気、知識、理解の3つを定義し、状態方程式として定式化した。また、定式化された状態方程式においては、教師の支援が学習者に及ぼす影響の非線形性を考慮できるように工夫を行った。本研究成果は、国内学会（電気学会制御研究会、愛媛、2019年3月）にて発表を行った。これにより、平成29年度の研究成果を含む「データベース駆動型状態フィードバック制御系」と「学習者モデル」の双方の理論的枠組みが概ね確立された。

(3) 令和元年・2年度

学習支援システムの具体的な課題として、英単語タイピングサポートシステムを取り上げ、これまでの研究成果に基づき学習者モデルおよび学習支援システムを構築した（図2）。学習者モデルでは、これまでの研究成果によるモデリングに加えて、学習者のスキルを制御工学の観点から1次遅れ系の周波数伝達関数に基づいて定義できることを示し、MBDにおける学習者モデルの表現の幅をさらに向上できることを確認した。

学習者モデルのタイピング正答率を望ましいタイピング正答率に追従させるための制御器を構築した。MILS (Model in the Loop Simulation) では、提案する制御器が問題の難易度を適応的に調節することにより、学習者モデルのタイピング正答率を任意の正答率に追従させることが可能であることを確認した。

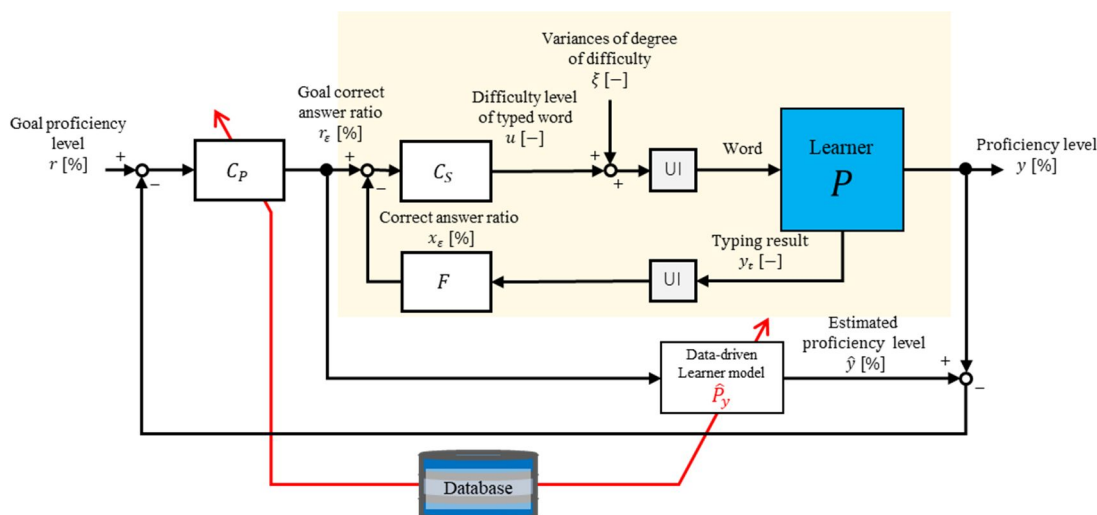


図 2: 研究で構築したタイピングサポートシステム

上記の結果を受けて、C#を用いたタイピングサポートシステムの開発を行った。開発したプログラムを実行可能なサーバを、現在、学内のネットワークに配置しサポートシステムが運用可能となった。

- までの成果に基づき、電気学会が主催する制御研究会へのエントリーを済ませている他、IEEE が主催する国際会議 Frontiers in Education 2020 (平均採択率 50%) に本成果を投稿し、査読の結果採択を受けた。

以上の研究成果により、

- ・ 内部状態を考慮した学習者モデルの開発とシミュレーションモデル化
- ・ 適応学習支援システムの開発とシミュレーションによる動作検証

が実現し、当初の研究目的である MBD アプローチによる学習支援システムの開発の実現可能性を示すことができた。また、本研究アプローチの学術的な新規性が注目され、英国学術誌の Impact からその研究コンセプトについてのインタビュー記事が掲載されていることから、本研究課題の注目度が伺える。ただし、年度内に被験者による実験検証については、まだ十分な検討ができておらず、引き続き研究を進める必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 脇谷伸, 木下拓矢, 林田智弘, 山本透
2. 発表標題 モデルベース型適応学習支援システム開発のための学習者モデルの構築に関する一考察
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 中野 流成, 脇谷 伸, 山本 透
2. 発表標題 状態空間表現に基づくデータベース駆動型制御系の設計
3. 学会等名 第60回自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shin Wakitani, and Toru Yamamoto
2. 発表標題 Practice of Model-based Development for Automotive Engineers
3. 学会等名 Frontiers In Education 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 脇谷伸, 木下拓矢, 林田智弘, 山本透, 西崎一郎
2. 発表標題 MBDアプローチに基づく適応型スマート学習支援システムとその実装化に関する研究
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shin Wakitani, Takuya Kinoshita, Tomohiro Hayashida, Toru Yamamoto, and Ichiro Nishizaki
2. 発表標題 Study on an Adaptive Learning Support System Design based on Model-based Development (MBD)
3. 学会等名 Frontiers In Education 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020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
研究協力者	山本 透 (Yamamoto Toru)		
研究協力者	林田 智弘 (Hayashida Tomohiro)		
研究協力者	木下 拓矢 (Kinoshita Takuya)		