

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02921

研究課題名(和文) 制御工学的アプローチに基づく適応型スマート学習支援システムの構築

研究課題名(英文) Construction of an Adaptive Smart Learning Support System Based on Control Engineering Approach

研究代表者

山本 透 (Yamamoto, Toru)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授

研究者番号：10200825

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：遠隔学習や家庭学習に代表される個別学習において、学習支援システムの果たす役割は、少しずつ重要視されてきている。特に、最近では新型コロナウイルスの影響で、対面で学習する機会が制限されており、益々個別学習を目的とした学習支援システムの構築が急がれる。このような社会の趨勢に対応するために、学習者個々に対して適応的に学習支援を可能とする「適応型スマート学習支援システム」の構築について研究を進めた。

本システムの特徴は、教員と学習者で構成されるコラボレーションを一つのシステムとして捉え、そこに制御工学的アプローチを導入することで、実際の『教員-学習者』間の関係に近い学習環境を提供しようとしていることにある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の学習支援システムにおいては、システムの無気質感などから、学習者とシステムに内蔵された教員モデルとの間に、望ましいコラボレーションが実現されているとは言い難い状況にある。その結果、学習意欲の低下や学習離脱などの問題を引き起こしている。そのような状況において、『教員-学習者』の関係性に着目し、そこに制御工学的アプローチを導入することで、実際の『教員-学習者』間の関係に近い学習環境を提供しようとしている点は学術的に大きな意義があると考えている。

一方、コロナの影響により対面学習の機会が制限され、家庭学習やweb学習など個別学習が増えている現状において、本研究成果は社会的意義も大きいと思われる。

研究成果の概要(英文)：The role of learning support systems in individual learning, such as distance learning and home learning, is gradually becoming more important. In particular, due to the COVID-19, the opportunities for face-to-face learning has been currently limited, and the construction of learning support systems for the purpose of individual learning is becoming more and more urgent. In order to respond to such social trends, the research on construction of an "adaptive smart learning support system" was proceeded in this project, that can provide learning support to individual learners in an adaptive manner.

This system is characterized by the fact that it considers the collaboration between teachers and learners as a single system, and by introducing a control engineering approach to it, it attempts to provide a learning environment that is similar to the actual relationship between teachers and learners.

研究分野：制御工学

キーワード：学習支援システム データ駆動型アプローチ 機械学習 個別学習 e-learning

1. 研究開始当初の背景

高度情報通信社会の急激な発展によって、遠隔学習や家庭学習にもコンピュータ技術や情報通信技術が導入され、個別学習の形態が少しずつ変化してきている。そのような中で、学習支援システムの果たす役割は極めて大きくなってきている。これまでも、学習支援システムの構築に関する研究は精力的に行われ、現在では、Web-Based Training(WBT)を中心としながら、様々な教科・内容に対する学習支援がインターネット(Web)を介して実現されている。インターネットを利用した個別学習支援システムの利点として、教員と受講生のスケジュール調整と施設の確保が不要となり、かつ受講生のレベル(知識の程度)に応じた個別学習などに柔軟に対処することが挙げられる。とりわけ、大学や企業などの専門性の高い知識や技術を教育することは、高度な知識をもつ教員を確保することが必要であり、また、同じような学習要求をもつ受講生(学習者)を集約し、場所(空間)を確保する必要があることから、移動を含めた時間・経済面で非常にコストがかかる。したがって、時間・空間的制約を受けない個別学習支援システムが必要となる。一方、効率的に学習を進めるためには、試験のスコアのような学習者の能力だけでなく、学習者の生理的情報(学習意欲や気分など)を考慮しながら、学習者固有の学習支援を行う必要がある。

ところで、有能な教員は、前述の通り学習支援の場面(授業など)では、学習者に様々な問いかけをしながら、学習者の理解度や生理的情報を用いて、学習者をモデル化していると考えられる。さらにそのモデルに基づいて、所望の理解度・学習意欲が得られるように、その学習者に対応した学習支援を適応的に提供していると考えられる。このメカニズムを学習支援システムに取り入れることができれば、対象とする学習者に見合った学習支援が提供可能となると共に、学習支援システムの無機質感の払拭に繋がるものと考えられる。

2. 研究の目的

個別学習において、学習支援システムが重要視されてきているものの、現在の学習支援システムにおいては、システムの無機質感などから、学習者とシステムに内蔵された教員モデルとの間に、望ましいコラボレーションが実現されているとは言い難い状況にある。その結果、学習意欲の低下や学習離脱などの問題を引き起こしている。そこで、教員と学習者で構成されるコラボレーション

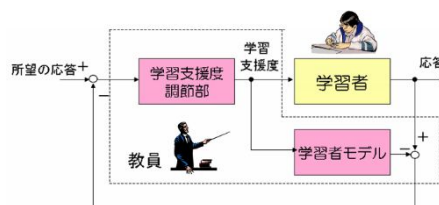


図1 学習者-教員間の概念図

を一つのシステムとして捉え、そこに制御工学的アプローチを導入することで、実際の『教員-学習者』の関係に近い学習環境を提供する学習支援システムの構築について研究を行う。

ところで、教員は学習者に様々な問いかけをしながら、学習者の理解度・学習意欲などの情報から学習者をモデル化していると考えられる。さらにそのモデルを利用し、所望の理解度・学習意欲を得るように学習支援の度合いを調節していると考えられる。これを制御工学的に捉えることで、学習者を制御対象、学習者モデルと学習支援度調節部で構成される教員を制御器として見なすことができる。このことに着目し、図1に示すような学習者モデルを内部モデルとした内部モデル制御(IMC)系を構成し、このIMC系に基づいた学習支援システムを構築する。このとき、学習者モデルはデータベースとして支援システム内に構築され、学習者特有のモデルである。すなわち、学習者が変われば、異なった学習者モデルが構築される。この学習者モデルに基づけば、学習者に固有の学習支援が提供できる。本研究では、個別学習を想定し、学習者個々に対して適応的に学習支援が可能となる「適応型スマート学習支援システム」を構築する。

3. 研究の方法

まず、学習者のモデル化に関する研究(以下の記述において【1】)を進め、これに基づいて、制御工学の観点から学習支援システムの基本構築に関する研究(【2】)を進める。一方、【1】で考察した学習者モデルに基づいた、学習者の分類に関する研究(【3】)を進める。データベースに効率的に有効な知識が蓄積されるように、学習者を分類することで、データベースのスマート化を図ると共に、新しい学習者に対する効率的な学習支援の確立を目指す。最後に、これらを統合した学習支援プラットフォーム(【4】)を構築する。

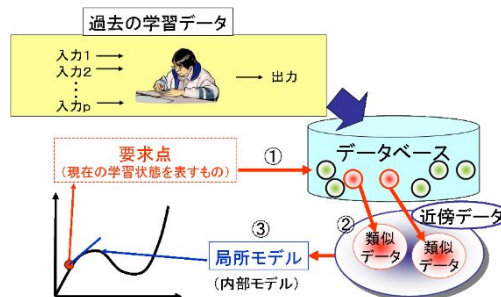


図2 データ駆動型アプローチ

【1】学習者モデルの構築

学習者を一種の非線形システムとして捉える。つまり、その時々々の学習意欲によって、学習者の理解度が異なると考えられる。また、学習者は学習を通してその能力が変化すると考えられる。したがって、開発済みの『データベース駆動型アプローチ』(図2)を導入し、これに基づいて学習者モデルを構築する。まず、学習者モデルを次式の「一次遅れ+むだ時間」系として与える。

$$Y(s) = \frac{K}{1 + Ts} e^{-Ls} U(s) \quad (1)$$

このとき、 T, K, L はそれぞれ、時定数、システムゲイン、むだ時間である。また、 $Y(s), U(s)$ はそれぞれ、学習到達度、学習支援度（例えば、教材レベルや量など）である。学習者モデルにおいては、 T が小さく K が大きい場合、学習到達度が素早く向上するため、学習能力が高いことを表現している。反対に、 T が大きく K が小さい場合は、学習能力が低いことを意味する。なお、本研究では(1)式を離散化した次式を取り扱う。

$$y(t) = \frac{b_0 z^{-(d+1)}}{1 + a_1 z^{-1}} u(t) \quad (2)$$

ここで、 d はむだ時間であり、 $y(t), u(t)$ は学習到達度、学習支援度を示す。なお、 a_1, b_0 と T, K の関係式は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= -\exp\left(-\frac{T_s}{T}\right) \\ b_0 &= K \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{T_s}{T}\right) \right\} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

このとき、 T_s はサンプリング時間である。本研究では、 a_1, b_0, d をデータベース駆動型アプローチ（図2）により算出することで、 T, K, L を推定する。まず、データベースに格納する情報ベクトル $\phi(t)$ を目的変数と説明変数から定義する。はじめに目的変数を $[a_1, b_0, d]$ とする。次に、説明変数 $\bar{\phi}(t)$ は、目標到達度 $r(t)$ 、学習到達度 $y(t)$ 、学習支援度 $u(t)$ としたとき、 $\bar{\phi}(t) = [r(t+1), r(t), y(t), \dots, y(t-n_y), u(t-1), \dots, u(t-n_u)]$ とする。以上の変数を用いて、情報ベクトルを $\phi(t) = [\bar{\phi}(t), a_1(t), b_0(t), d(t)]$ とし、過去の学習データをデータベースに格納する。その上で現在の要求点とデータベースに予め格納されているデータとの距離を計算する。

距離の小さなデータを近傍データとしてデータベースから複数個抽出する。

近傍データを用いて重み付き局所線形化法により、学習者モデルを生成する。

【2】学習支援システムの基本構築

図1に示す学習者-教員間におけるフィードバック系を具現化した「適応型スマート学習支援システム」を図3に示す。図3の学習者 $G(z^{-1})$ は【1】で述べたように、「一次遅れ+むだ時間」系で表現されると仮定し、学習者モデル $\hat{G}(z^{-1})$ は(2)式で記述する。また、学習支援度調節部 $C(z^{-1})$ は、学習者モデル $\hat{G}(z^{-1})$ の逆モデルに基づき設計する。

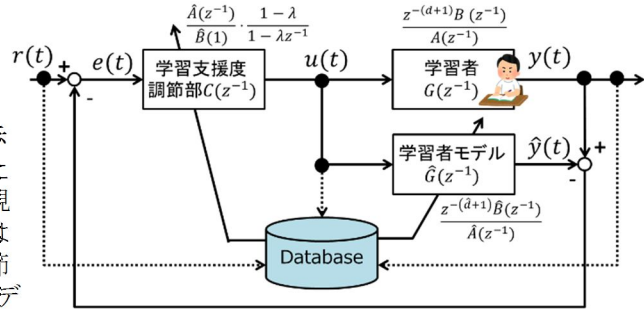


図3 データベース駆動型学習支援システム

図3の適応型スマート学習支援システムは、「2. 研究の目的」で述べたように、実際の教員の学習支援方法をコンセプトに提案している。学習支援度調節部 $C(z^{-1})$ に学習者モデルが含まれているため、学習者モデル $\hat{G}(z^{-1})$ が調整されると同時に、 $C(z^{-1})$ も調整され、学習者の理解度などに応じて適切な学習支援を提供することが可能となる。このとき、学習者は非線系や時変系であると考えられるため、学習者モデルパラメータの修正方法については、目標到達度 $r(t)$ 、学習到達度 $y(t)$ 、学習支援度 $u(t)$ を用いたデータベース駆動型アプローチを採用する（図3の破線矢印はそのデータの流れを示す）。具体的な学習者モデル $\hat{G}(z^{-1})$ を次式で示す。

$$\hat{y}(t) = \frac{\hat{A}(z^{-1})}{\hat{B}(z^{-1})} u(t) \quad (4)$$

$\hat{y}(t)$ は学習者モデルに基づく推定学習到達度である。次式は、学習支援度調節部 $C(z^{-1})$ である。

$$u(t) = \frac{\hat{A}(z^{-1})}{\hat{B}(1)} \cdot \frac{1 - \lambda}{1 - \lambda z^{-1}} e(t) \quad (5)$$

$$e(t) := r(t) - \{y(t) - \hat{y}(t)\}$$

このとき、 λ は設計パラメータである。なお、 $B(1)$ を用いることで、たとえ $B(z^{-1})$ に不安定零点を含んでいる場合（最小位相系）でも極零相殺を避けることが可能となる。データベース駆動型アプローチにより(5)式の $\hat{A}(z^{-1}), \hat{B}(1)$ を変更することで、学習者の時々刻々と変化する特徴を捉えることが可能となり、適応的な学習支援を実現することができる。

【3】学習者の分類（データベースのスマート化）

本研究では、各学習者の目標達成度 $r(t)$ 、学習到達度 $y(t)$ 、学習支援度 $u(t)$ に基づいて、ニューラルネットワーク（NN）を用いて学習者を分類する。NNは、生体神経系の情報処理方法を

コンピュータ上で表現するための工学モデルであり、非線形伝達関数をもつ膨大な数の素子(ニューロン)が接続されたネットワーク構造をもち、多次元入力信号の入出力関係を高精度に近似できることが知られており、データ分類やデータ予測などの様々な分野で成功報告がある。

学習者の成長に関するデータは時系列データであるため、分類制度向上のためには、入出力データが時系列性を持つ場合、現在の入力情報だけでなく過去の入力および出力情報も参照することが望ましい。このため、信号のフィードバック構造を含み、時系列データのデータ予測または分類に適したRNN(Recurrent NN)を適用する。

本研究では、RNNモデルとして、図4に示す extended Multi-Context Recurrent Neural Network (exMCRNN)を用いる。これは、数期前までの入力層のデータを保持するタイムディレイ層と、中間層のデータを保持するフィードバック層を持つ。exMCRNNは展開することでディープニューラルネットワーク(DNN: Deep NN)と見なすことができ、内部信号のフィードバック構造を持つため、教師信号とニューラルネットワークからの出力値の誤差が最小化するよ

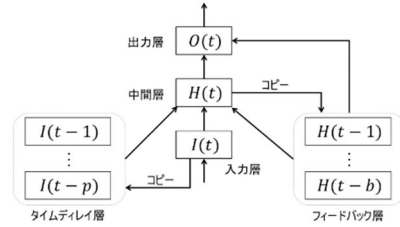


図4 exMCRNNの構造

うに、Backpropagation Through Time (BPTT) によって重みや閾値などが調整される。学習者を \$m\$ 個のクラス \$C_1, C_2, \dots, C_m\$ に分類するとき、各クラスに対応する exMCRNN を \$NN_{C_1}, NN_{C_2}, \dots, NN_{C_m}\$ とする。\$T_i\$ ステップ (\$2 \leq i \leq 2q+1\$) における観測データ \$(r(T_i), u(T_i), y(T_i))\$ に対して、NNの入力信号を \$I(T_i) \equiv (\Delta T_i, r(T_i), u(T_{i-1}), y(T_{i-1}))\$, \$2 \leq i \leq 2q+1\$, 出力値を \$\hat{y}(T_i)\$ とする。NNのパラメータ更新においては、各クラスのニューラルネットワーク \$NN_{C_1}, NN_{C_2}, \dots, NN_{C_m}\$ に対応するクラスの観測データが教師信号として与えられる。すなわち、クラス \$C_v\$ の学習者の観測データは、\$NN_{C_v}\$ のパラメータを更新するためだけに使用される教師信号であり、BPTTにより適切にパラメータが更新されれば、入力データが \$NN_{C_v}\$ に与えられたときの出力誤差は小さくなる。他のクラスの学習者の観測データが、\$NN_{C_v}\$ の入力データとして与えられたときの出力誤差は、これに比べて大きくなると考えられる。パラメータ更新後の各 NN に、テスト用データの \$I(T_i)\$ を入力データとして与える。5種類のNNの対応する出力 \$\hat{y}(T_i)\$ と教師信号 \$y(T_i)\$ を比較し、誤差が最小のNNに対応するクラスに学習者データを分類する。

【4】学習支援プラットフォームの構築

本研究では、提案手法の有効性を検証するために、図5に示すようなタイピング支援ソフトを題材とした学習支援プラットフォームを開発した。

また、提案手法に基づく学習効果を事前に検討するために、学習者モデルを含むシミュレーション環境を構築した。シミュレーションではタイピング学習における学習者の反応モデル(学習者モデル)を提案している。学習者モデルでは、与えられたタイピングの課題

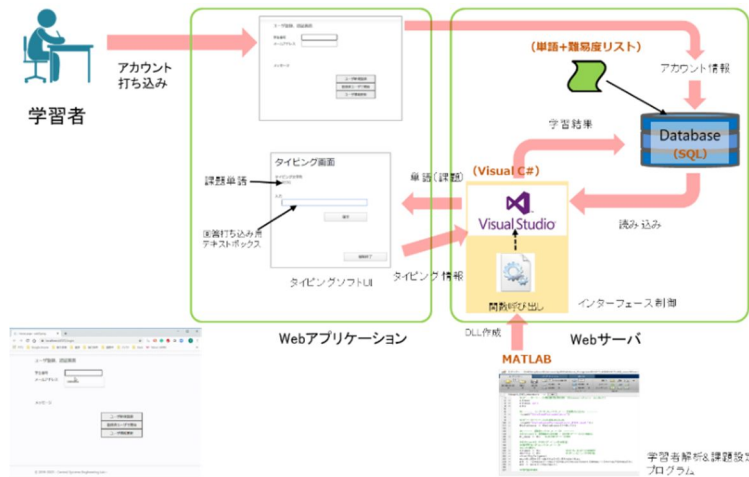


図5 開発した学習支援プラットフォームの概要

となる英単語の難易度(入力)に対するタイピング正答率(出力)に関する確率モデルを、制御工学で用いられる伝達関数の観点から導出する。(1)式のゲイン特性に注目し、(6)のような学習者の習熟度モデル(学習者モデル)を考える。

$$x_\varepsilon(u, \alpha_s) = \frac{1}{\sqrt{1 + (u/\alpha_s)^2}} \quad (6)$$

ここで、\$u\$は入力課題の難易度、\$\alpha_s\$は習熟度パラメータ、\$x_\varepsilon(u, \alpha_s)\$は入力に対する学習者の反応を示している。図6に示すように横軸に入力課題の難易度、縦軸に学習者の反応をとった場合、\$\alpha_s\$の大きさによって、その応答が異なっている。タイピングシステムにおける学習者モデルでは、学習者の反応は課題となる単語の難易度に対する成功率として

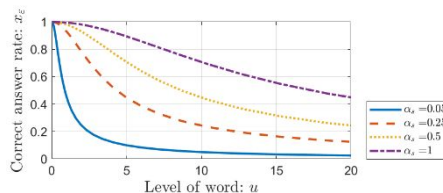


図6 学習者の反応モデル

いる。本モデルの特徴は、習熟度パラメータ \$\alpha_s\$ を設けることで、様々な特徴を持つ学習者を表すことができるようになっている。これらの学習者モデルと提案の学習支援アルゴリズムによってフィードバック制御系を構築し、シミュレーションを行う。

4. 研究成果

学習者モデルを含む学習支援プラットフォームのシミュレーション結果および、構築した学習支援システムの概要を説明する。シミュレーションでは、(6)式で与えられる学習者モデルに対して、課題のレベルを制御することで学習者の回答率を所定の回答率に到達することが可能であるかどうかを検証した。各時刻における回答の正答率の目標値を以下のように設定する。

$$r = \begin{cases} 0.3 & (0 \leq k < 300) \\ 0.6 & (300 \leq k < 600) \\ 0.9 & (600 \leq k \leq 900) \end{cases} \quad (7)$$

学習者の習熟度パラメータ $\alpha_s = 5$ に設定し、制御を行った結果を図7に示す。なお、タイピングにおいては、その出力が誤:0か正:1の2値信号としてしか出力されないため、(8)式のフィルタを用いて、正答率の予測値 $\hat{x}_\varepsilon(k)$ を用いて入力 u を決定している。また、入力 u には $u_{min} = 1$, $u_{max} = 16$ となる飽和領域を設定している。これは、実際のシステムにおいて単語の難易度を設定する際、単語の長さを難易度として用いており、その単語長の最小値と最大値がそれぞれ、1文字、16文字であることに起因している。

$$\hat{x}_\varepsilon(k) = -a_1 \hat{x}_\varepsilon(k-1) + b_0 u(k) \quad (8)$$

結果から、学習者の正答率の目標値が小さい場合はシステムが課題の難易度を自動的に高く設定し、一方で、高い正答率が設定されている場合には課題の難易度を低く設定していることがわかる。このシミュレーションから、システムが学習者の特性に合わせて所望の正答率となる問題を自動的に提示することが示された。

次に、タイピング支援ソフトを題材とした学習支援プラットフォームを開発した。図8にシステムのユーザーインターフェース部分を示す。図8(左)にあるように、課題となる英単語が「タイピング文字列」として提示され、学習者はテキストボックスに入力を行う。また、あらかじめ決められた数の単語の入力が終了すると、結果サマリ表示画面にてタイピング実行回数、合計時間、平均正解率などの情報が学習者にフィードバックされる。また、学習者の入力結果はMySQLを用いてデータベースとして管理され、システムがいつでも参照できるようになっている。課題となる英単語リストには、大学英語教育学会(JACET: The Japan Association of College English Teachers)が選定した、8000単語(JACET8000)を利用している。収録されている英単語は、その語長が1-16語長となっており、本研究ではシミュレーションにおいて、単語の「難易度=単語長」としている。タイピングにおいては、単語のタイピングの難易度が単語長のみでなく、キーボードの配列や普段の生活における使用頻度などにも影響を受けると考えられるため、この難易度の設定については今後も検討が必要である。

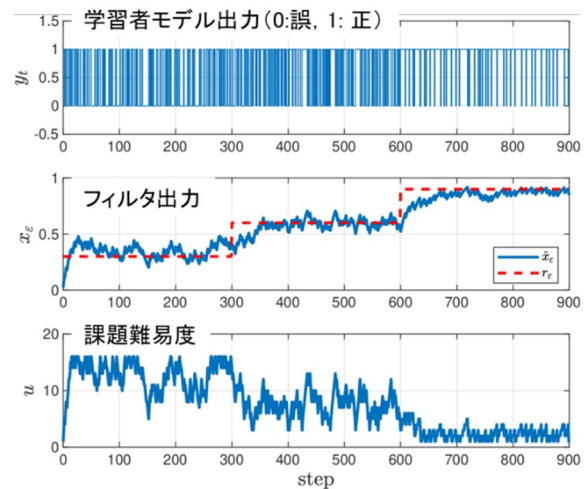


図7 システムのシミュレーション結果

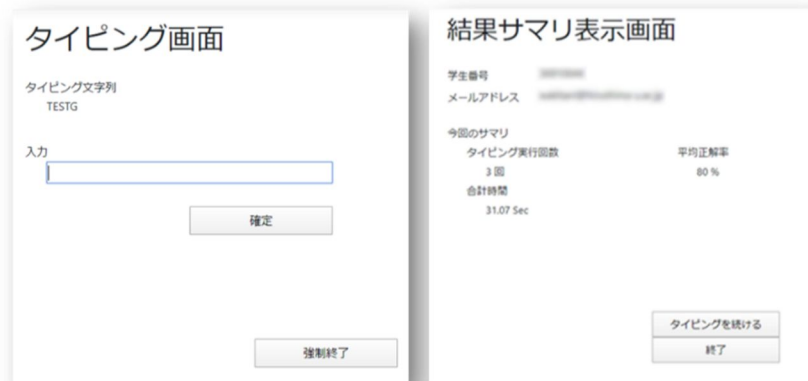


図8 学習支援システムのユーザーインターフェース

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kawada Kazuo, Tamai Teruyuki, Yamamoto Toru	4. 巻 4
2. 論文標題 Parameter Estimation of a Skill Evaluation Model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Robotics, Networking and Artificial Life	6. 最初と最後の頁 205 ~ 205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2991/jrnal.2017.4.3.6	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 HAYASHIDA TOMOHIRO, YAMAMOTO TORU, KINOSHITA TAKUYA, NISHIZAKI ICHIRO, SEKIZAKI SHINYA, HIRATSUKA NAOTO	4. 巻 101
2. 論文標題 System Change Detection Method Using Recurrent Neural Networks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Electronics and Communications in Japan	6. 最初と最後の頁 39 ~ 46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ecj.12020	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 LIAO Yuntao, KINOSHITA Takuya, KOIWA Kazushige, YAMAMOTO Toru	4. 巻 E100.A
2. 論文標題 Design of a Performance-Driven CMAC PID Controller	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 2963 ~ 2971
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E100.A.2963	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 Nakano Ryusei, Kinoshita Takuya, Wakitani Shin, Yamamoto Toru	4. 巻 137
2. 論文標題 Design of a Performance-Driven Control System Using a Support Vector Machine	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 89 ~ 95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.137.89	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 WAKITANI Shin, YAMAMOTO Toru	4. 巻 54
2. 論文標題 Design of a Data-driven Sparse GMDH-PID Controller Based on LASSO	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers	6. 最初と最後の頁 886 ~ 893
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.54.886	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 Koiwai Kazushige, Miyazaki Ryunosuke, Yamamoto Toru, Ueda Koji, Yamashita Koji, Yamazaki Yoichiro	4. 巻 138
2. 論文標題 Responsiveness Evaluation Index for an Excavator Operation Based on Control Engineering Approach	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 506 ~ 511
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.138.506	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 Hayashida Tomohiro, Mizuguchi Takuya, Yamamoto Toru, Kinoshita Takuya, Nishizaki Ichiro, Sekizaki Shinya	4. 巻 139
2. 論文標題 Performance-driven Control System using Off-line Learned Recurrent Neural Networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 414 ~ 420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.414	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 Wakitani Shin, Yamamoto Toru, Gopaluni Bhushan	4. 巻 58
2. 論文標題 Design and Application of a Database-Driven PID Controller with Data-Driven Updating Algorithm	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Industrial & Engineering Chemistry Research	6. 最初と最後の頁 11419 ~ 11429
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.iecr.9b00704	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 該当する

1. 著者名 Kinoshita Takuya, Ohnishi Yoshihiro, Yamamoto Toru, Shah Sirish L.	4. 巻 58
2. 論文標題 Design of a Data-Oriented Performance Driven Control System Based on the Generalized Minimum Variance Control Law	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Industrial & Engineering Chemistry Research	6. 最初と最後の頁 11440 ~ 11451
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.iecr.8b06119	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 該当する

1. 著者名 Nakanishi Hiroki, Wakitani Shin, Yamamoto Toru	4. 巻 140
2. 論文標題 Design of a Database-driven Controller using Sub-databases based on the SOM	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 289 ~ 295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.140.289	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 Kinoshita Takuya, Yamamoto Toru	4. 巻 140
2. 論文標題 Design of a Database-Driven Control System based on the Similarity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 312 ~ 319
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.140.312	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 Wakitani Shin, Yamamoto Toru, Sato Takao	4. 巻 18
2. 論文標題 Design of a Performance-driven One-parameter Tuning Controller	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Control, Automation and Systems	6. 最初と最後の頁 1453 ~ 1464
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12555-018-0054-5	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 Yu Hao, Guan Zhe, Chen Tongwen, Yamamoto Toru	4. 巻 121
2. 論文標題 Design of data-driven PID controllers with adaptive updating rules	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Automatica	6. 最初と最後の頁 109185 ~ 109185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.automatica.2020.109185	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 該当する

1. 著者名 Hayashida Tomohiro, Kinoshita Takuya, Wakitani Shin, Yamamoto Toru, Nishizaki Ichiro, Sekizaki Shinya, Tanimoto Yusuke	4. 巻 141
2. 論文標題 Construction of a Learner Growth Model and Learner Classification Method Using exMCRNNs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 273 ~ 280
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.141.273	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 Hayashida Tomohiro, Nishizaki Ichiro, Sekizaki Shinya, Saiki Yuhi	4. 巻 141
2. 論文標題 Improvement of Particle Swarm Optimization and its Application for Optimization of PID Parameters on FRIT	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 326 ~ 331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.141.326	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 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 T. Hayashida, T. Yamamoto, S. Wakitani, I. Nishizaki, S. Sekizaki, and Y. Tanimoto:
2. 発表標題 Feature extraction and classification of learners using neural networks
3. 学会等名 IEEE Frontiers In Education (FIE 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林田 智弘, 木下 拓矢, 脇谷 伸, 谷本 祐輔, 山本 透
2. 発表標題 学習者モデルの構築とニューラルネットワークを用いた分類手法の提案
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 木下拓矢, 脇谷伸, 山本透
2. 発表標題 学習者モデルに対するデータ駆動型学習支援システムの一設計
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 水口 拓也, 林田 智弘, 山本 透, 木下 拓矢, 西崎 一郎, 関崎 真也
2. 発表標題 RNN を用いたオフライン学習に基づくパフォーマンス駆動型制御系の提案
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 中国・四国地区 SSOR アブストラクト集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水口 拓也, 林田 智弘, 山本 透, 木下 拓矢, 西崎 一郎, 関崎 真也
2. 発表標題 RNNの構造選択を用いたパフォーマンス駆動型の設計
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 佐々木絢也, 木下拓矢, 山本 透
2. 発表標題 カーネル密度推定を用いたデータ駆動型制御系の一設計
3. 学会等名 電気学会スマートシステムと制御技術シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本 透
2. 発表標題 データ駆動型カスケード制御を核としたスマートシステムの構築
3. 学会等名 電気学会スマートシステムと制御技術シンポジウム2018 (招待講演)
4. 発表年 2018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 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 林田智弘, 山本透, 木下拓哉, 西崎一郎, 関崎真也, 水口拓也
2. 発表標題 機械学習に基づく時系列データの特徴抽出手法の提案および安定的システム制御のための検討
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今地大武, 川田和男, 脇谷伸, 山本透
2. 発表標題 クラスタリングを用いた学習者の習熟度評価に関する考察
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 脇谷伸, 山本透, 森重智年, 足立智彦, 原田靖裕, 村岡正, 仁井内進
2. 発表標題 モデルベース開発 (MBD) 教育の実践とその評価
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷本 祐輔, 林田 智弘, 山本 透, 脇谷 伸, 木下 拓矢, 西崎 一郎, 関崎 真也
2. 発表標題 学習者の特徴抽出と分類のためのニューラルネットワークの応用
3. 学会等名 第63回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Hayashida, Toru Yamamoto, Shin Wakitani, Ichiro Nishizaki, Shinya Sekizaki, Yusuke Tanimoto
2. 発表標題 Learner model and prediction of the learners understanding degree using the neural networks
3. 学会等名 IEEE Frontiers In Education (FIE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷本 祐輔, 林田 智弘, 山本 透, 脇谷 伸, 木下 拓矢, 西崎 一郎, 関崎 真也
2. 発表標題 「一次遅れ+むだ時間」系を用いた学習者モデルとニューラルネットワークを用いた学習者分類手法の構築
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 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 林田 智弘, 木下 拓矢, 脇谷 伸, 山本 透, 西崎 一郎, 関崎 真也, 谷本 祐輔
2. 発表標題 学習者データベース構築とニューラルネットワークを用いた特徴抽出および分類
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 木下 拓矢, 脇谷 伸, 林田智弘, 山本 透, 西崎 一郎
2. 発表標題 内部モデル制御に基づく適応型スマート学習支援システムの構築
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, Ichiro Nishizaki
2. 発表標題 Study on an adaptive learning support system design based on model-based development
3. 学会等名 IEEE Frontiers In Education (FIE 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 山本 透、金子 修、脇谷 伸、木下 拓矢、大西 義浩、久下本 秀和、小岩井 一茂	4. 発行年 2020年
2. 出版社 森北出版	5. 総ページ数 152
3. 書名 データ指向型PID制御	

〔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	林田 智弘 (Hayashida Tomohiro) (20432685)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・准教授 (15401)	
研究分担者	福光 昌由(中本昌由) (Fukumitsu Masayoshi) (00403585)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教 (15401)	
研究分担者	大野 修一 (Ohno Shuichi) (70273919)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・准教授 (15401)	

6. 研究組織（つづき）

	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	西崎 一郎 (Nishizaki Ichiro) (80231504)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授 (15401)	

	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	脇谷 伸 (Wakitani Shin) (00728818)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・講師 (15401)	
研究 協力者	木下 拓矢 (Kinoshita Takuya) (80825323)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教 (15401)	

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