

タブレット端末を利用した系統的な計測・制御学習 の提案

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-06-13 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 室伏, 春樹, 高木, 薫 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00010278

タブレット端末を利用した系統的な計測・制御学習の提案

A Proposal for the Systematic Learning of Measurement and Control Using
the Tablet Device in Technology Education

室 伏 春 樹^{*}, 高 木 薫^{**}
Haruki MUROFUSHI, Kaoru TAKAGI

（平成 28 年 10 月 3 日受理）

This paper proposes a systematic measurement and control learning in technology education. Conventionally, learning of measurement and control have utilized the autonomous robot as teaching materials. In recent years, the autonomous robot is also used for programming education in elementary school. However, these teaching materials have been developed for a junior high school student. Therefore, unless teachers properly prepare the class assignment, children cannot be a good learning. Accordingly, we have developed the teaching material using the tablet device and the robot. The teaching material is capable of using the conditional branch from the measurement result of the tablet devices sensor or the robot sensor, or both of them. From this fact, learners can experience programming for manual control and automatic control, as well as semi-automatic control. Consequently, teaching materials that we have developed can provide the systematic learning of measurement and control learning.

1. はじめに

様々な製品にコンピュータを用いた計測・制御システムが組み込まれることで、私たちの生活体験は豊かなものになりつつある。計測・制御システムとは、センサ、コンピュータ、アクチュエータで構成され、プログラムによって動作が規定された製品を指す。例えば、電気掃除機は計測・制御システムが組み込まれることで、自律的に動作するロボット型掃除機として製品化されている。すでに炊飯器や洗濯機など多くの家電製品に計測・制御システムが組み込まれており、これらと同様、ロボット型掃除機が家事の負担を軽減し、人々の生活を豊かなものにしていくことが期待できる。また自動車は、カメラ等のセンサによる運転支援技術が市販車に標準装備されるようになり、人間の安全運転を支援する計測・制御システムに市場の注目が集まっている。このように、計測・制御システムは私たちの生活を豊かにするために様々な製品に組み込まれている。

計測・制御システムは、中学校技術・家庭の技術分野（以降、技術科と称す）において学習されており、具体的な教材として自律型ロボットが多く扱われている。技術科では平成20年の

* 技術教育系列

** 愛知県豊田市立朝日丘中学校

学習指導要領改訂により「D 情報に関する技術」の指導内容としてプログラミングによる計測・制御が必修化された^[1]。ここでは、計測・制御システムの基本的な仕組みや簡単なプログラムの作成といった知識・技能の習得が求められている。平成28年現在、小学校段階におけるプログラミング教育の必修化が議論されているが^[2]、小学校における実践でも自律型ロボット教材は利用されており^{[3], [4]}、今後も利活用が推進されるものと考えられる。

しかし、プログラミング教育における自律型ロボット教材を利用した学習は、小学校から中学校への系統性が考慮されていない。小学校の実践はロボットを動作させる体験自体や他者との関わりといった関係調整が授業の目的になりやすく^[4]、プログラミングに関する知識獲得は目的となり難い。また、技術科の学習用に開発された教材を使用するため、課題が児童に対して最適化されていない。そのため、技術科との系統性が考慮されていないといえる。

そこで著者らは、ロボットを利用した小学校から中学校への系統性を考慮したプログラミング学習教材の開発を目的としたロボット教材を開発した。開発したロボット教材はタブレット端末とロボットで構成される計測・制御システムであり、従来の自律型ロボット教材と同等の機能を有する。タブレット端末はプログラムの作成と実行が可能であり、実行時はロボットと双方向通信を行う。そのため、ロボットが搭載する各種センサの計測結果だけでなく、タブレット端末に搭載された照度センサや加速度センサの計測結果を利用したプログラムが作成できる。この仕組みを利用することで、従来の自律型ロボット教材と同様、ロボット自身が周囲の環境をセンサで計測し、その結果に応じた動作を行う「自動制御」プログラムに加え、人間の行動をタブレットのセンサで計測し、その結果に応じた動作を行う「手動制御」プログラム、手動制御と自動制御を組み合わせた「半自動制御」プログラムが作成できる。

本稿では系統的な計測・制御学習の提案と、提案に基づいて開発したロボット教材の機能を解説し、この必要性および新規性を論ずる。

2. 系統的な計測・制御学習の提案

2.1 手動制御と自動制御

計測・制御システムは、ある目的を達成するためにセンサを用いて事物を量的に捉え（計測）、その結果をコンピュータで判断・処理し、アクチュエータに働きかける（制御）ことで当初の目的を達成する一連の仕組み（システム）である。

日本工業規格において計測とは「特定の目的をもって、事物を量的に捉えるための方法・手段を考究し、実施し、その結果を用い初期の目的を達成させること^[6]」と定義される。同様に制御とは「ある目的に適合するように、制御対象に所要の操作を加えること^[7]」と定義される。これらの定義より、計測と制御という行為には果たすべき目的が存在しており、計測・制御システムはその目的を達成するために利用される最適解の一つであるといえる。なぜなら、計測・制御システムで目的を達成する方法は、利用するセンサや制御するアクチュエータによって変化するだけでなく、同一のセンサやアクチュエータであっても判断・処理を決定するコンピュータのプログラム、より具体的にいえば処理手順であるアルゴリズムによって変化するためである。

コンピュータを利用する計測・制御システムの制御方法は、手動制御と自動制御に大別される。日本工業規格において手動制御とは「直接又は間接に人が操作量を決定する制御^[8]」と定義される。具体的にはセンサが人間の操作量を計測し、計測結果をコンピュータに入力するこ

とでアクチュエータを制御する。また自動制御とは「制御系を構成して自動的に行われる制御^[9]」と定義される。具体的にはセンサが周囲の環境の変化を計測し、計測結果をコンピュータに入力することでアクチュエータを制御する。

2.2 自律型ロボット教材が有する機能

技術科では、計測・制御システムに関する内容の指導に自律型ロボット教材を利用した研究や実践が行われている。たとえば紅林らは、自律型ロボットを用いた制御学習を通じて生徒が自動化された機器の構成要素を類推できるようになることを報告している^[10]。また井戸坂らは、考えを整理しやすい制御ソフトを利用することで、自律型ロボットを対象としたプログラムの作成が可能であることを報告している^[11]。これらの報告より、自律型ロボット教材は学習指導要領に示される項目の指導が可能であることが示唆される。しかし、自律型ロボット教材は開発者やメーカーの違いにより複数存在する^{[12]・[14]}。また、その実践例も車輪等の移動手段を有する車型^{[15]、[16]}や自動ドアや換気扇を有する家型^[17]などの形態が存在する。

図1は様々な種類が存在する自律型ロボット教材の構成要素を抽象化した概念図である。どのような自律型ロボット教材であっても、①入力部として複数のセンサを搭載しており、②処理部としてコンピュータが搭載された制御基板を有し、③出力部として複数のアクチュエータを制御する。また、④パーソナルコンピュータ上で自律型ロボット教材のプログラムを作成し、⑤インタフェースでパーソナルコンピュータとデータを送受信する。これら五つの機能を有する教材が自律型ロボット教材である。

2.3 系統的な計測・制御学習の提案と課題

計測・制御システムにおける制御技術は、手動制御から自動制御に進化・発展している。手動制御に基づく計測・制御システムは、人間の操作という意図的な行動を計測することでシステムが機能する。たとえば自動車の電動パワーステアリング装置は、人間のハンドル操作量に応じた操舵力の支援を行うことが基本機能である。しかし現在では、車両の周囲の環境を計測することで自動的に車庫入れをしたり^[18]、先行車や道路上の白線を計測することでふらつきを減少させたりする^[19]自動制御が取り入れられている。これらの技術が更に進化・発展することで、ステアリングバイワイヤ技術^[20]の一般化や自動運転技術^[21]の普及が予想される。このような計測・制御システム技術の進化・発展は、技術の普遍化として一般的なものである^[22]。

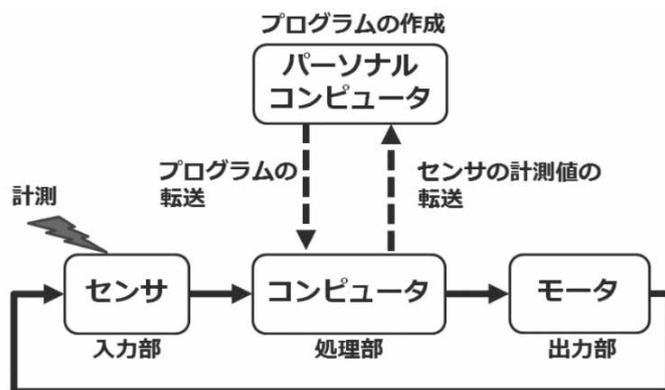


図1 自律型ロボット教材の構成要素

技術教育における計測・制御システムの学習においても、手動制御から自動制御へ進化・発展する系統的な指導が可能であると考えられる。それは、小学校段階では人間の意図的な行動を計測対象とし、中学校段階では人間の意図しない行動を含む環境の変化を計測対象とすることである。これを同一のロボット教材で実現することができれば、プログラミング学習として課題の系統性が確保されるとともに、プログラムの習熟が進むことが期待される。小学校段階で人間の意図的な行動を計測対象とする理由は、機械等に対する手動制御を模することでプログラム作成時における動作確認が容易であり、試行錯誤が個別に実施しやすいと考えられるためである。また、中学校段階で人間の意図しない行動を含む環境の変化を計測対象とする理由は、これまでの技術科教育における学習内容に加えて、IoT (Internet of Things)^[23]やインダストリー4.0^[24]といったネットワークに接続する計測・制御システムへの関連をつけるためである。

しかし、現在までに開発されている自律型ロボット教材では、上記のような系統的な指導を実現することが困難である。先述のとおり、これまでの自律型ロボット教材はプログラムの計測・制御を指導する目的で開発されているため、各学校種における課題設定は授業者の技量に依存する。したがって、技術免許を有する教諭であれば、学校種に応じた適切な課題設定や系統性を踏まえた実践が可能であるが、プログラミング教育の必修化が議論される小学校の教諭の大半は技術的な専門性を持たないため、自律型ロボット教材を無批判に利用する恐れがある。

よって、小学校および中学校のプログラミング教育に利用する自律型ロボット教材として、系統的な学習課題を開発段階から想定する新たな教材が必要であると考えられた。

3. 開発したロボット教材

3.1 ロボット教材の概要

系統的な計測・制御学習の提案を踏まえ、タブレット端末とロボットを用いた教材を開発した。開発した教材は、図2に示すタブレット端末内のアプリケーションと図3に示すロボットで構成される。従来の自律型ロボット教材が有する機能と同様に、①入力部として複数のセンサを搭載しており、②処理部としてコンピュータが搭載された制御基板を有し、③出力部として複数のアクチュエータを制御する。だが本教材では、タブレット端末が搭載する照度や加速度といったセンサをプログラムに利用することができるという違いがある。また、パーソナルコンピュータではなく④タブレット上でロボット教材のプログラムを作成し、⑤インタフェースでタブレットとデータを常時送受信するという違いも存在する。これらの違いをまとめると、

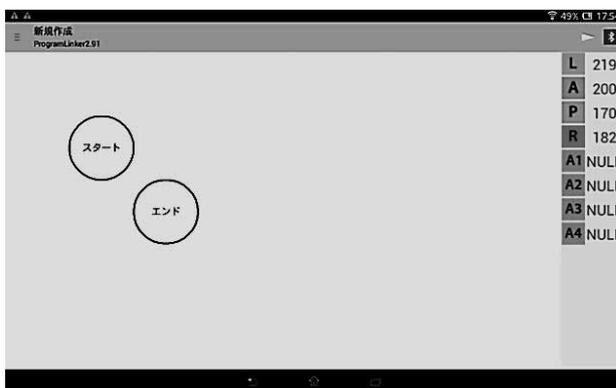


図2 開発したアプリケーション

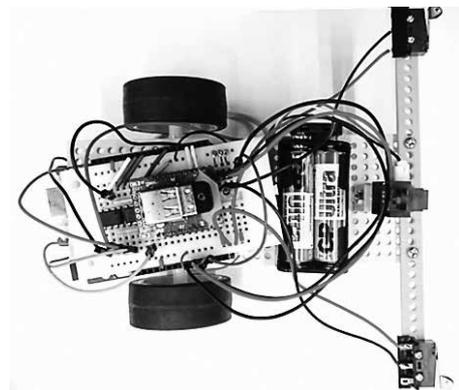


図3 開発したロボット

従来の自律型ロボット教材における制御基板が果たしていたプログラムの解釈および実行という機能を、プログラムの作成が可能なタブレット端末上で行う他律型ロボット教材である。ただし、タブレット端末とロボットを一体として捉えれば、自律型ロボット教材であるともいえる。なお、ロボットの制御基板に搭載されたコンピュータはタブレット端末から送信される実行命令をアクチュエータに伝えるインターフェースとして機能する。また、タブレット端末とロボットはBluetoothによる無線通信で送受信を実現している。

本教材はプログラムによる計測・制御学習用教材として、三種類の制御方法を学習者に提供する。一つめは手動制御である。この制御方法ではタブレット端末の照度センサと加速度センサを利用して人間の操作を計測し、ロボットを制御する。学習者によって作成されるプログラムは、センサの値に応じてロボットの移動方向や速度を変更するものになる。そのため、学習者に対する課題は「タブレット端末でロボット車を操縦するプログラムをつくる」といった内容が想定される。二つめは半自動制御である。この制御方法では手動制御で利用したタブレット端末のセンサに加えて、ロボットに搭載されたセンサも利用する。学習者によって作成されるプログラムは、手動制御の内容に加えてロボット周囲の環境の変化を制御に反映するものになる。たとえば、ロボットに赤外線距離センサを搭載していれば、学習者に対する課題は「運転中よそ見をしてしまっても、前の壁にぶつからないロボット車のプログラムをつくる」といった内容が想定される。三つめは自動制御である。この制御方法ではロボットに搭載されたセンサを利用してロボット周囲の環境を計測し、ロボットを制御する。学習者によって作成されるプログラムは、手動制御と同様にセンサの値に応じてロボットの移動方向や速度を変更するものになる。学習者に対する課題は「コースを自動で走破するプログラムをつくる」といった内容が想定される。このように、本教材は様々な制御方法をタブレット端末とロボットによって実現することが可能である。

3.2 アプリケーションの機能

開発したアプリケーション（以降、Program Linkerと称す）は、Android端末上で動作するプログラム作成ソフトウェアである。Program Linkerが提供する機能は四つある。一つめはロボットとの接続機能である。この機能はタブレット端末とロボットをBluetoothにより接続し、双方向通信を実現する。そのため、利用するタブレット端末はBluetooth 4.0以降のインターフェースが必須となる。二つめは計測結果の表示機能である。この機能はタブレット端末上の照度センサと加速度センサの計測結果ならびにロボットに接続されたセンサの計測結果を10ビットの分解能で常時表示する。各センサの計測結果はリアルタイムで更新されるが、グラフ機能を利用することで変化の推移を確認することも可能である。三つめはプログラムの作成機能である。この機能はロボットを制御するためのプログラムをタブレット端末上で作成する。プログラムの作成はタッチパネルによる直感的な操作が可能であり、実現したいロボットの動作概要を円に示し、具体的な動作記述を数値入力により表現する。たとえば、タブレット端末の照度センサの計測結果が10未満になるまで、ロボットの最大出力で1秒ずつ前進させる場合の動作概要と具体的な動作記述を図4と図5に示す。動作概要の円は動作記述の反復を意味しており、ここでは図4の前進からエンドに向けて示された矢印上の「Light < 10」という条件を満たすまで動作記述の内容を繰り返し実行する。動作記述の数値は図5に示すように、「左モータ出力レベル 右モータ出力レベル 出力時間」であり、出力レベルは255から-255まで

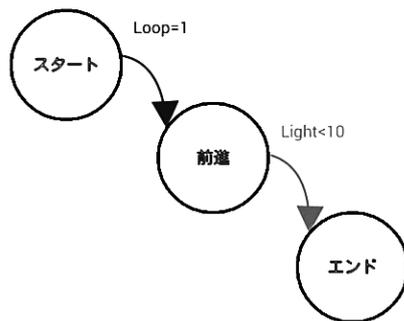


図4 Program Linkerにおける動作概要の例

255	255	10
左モータの 出力レベル	右モータの 出力レベル	出力時間

図5 Program Linkerにおける動作記述の解説

の511種類の整数値を入力できる。この際、正数は前進、負数は後退を意味し、数値が大きいほどモータの回転数が大きくなる。なお0の場合はモータを回転させない。出力時間は0.1秒単位の数値入力が可能であり、モータに設定した出力レベルを実際に伝える時間を変更できる。これは、一つの動作概要の円に複数の詳細記述が可能であるためである。これにより、シーケンス制御の学習が可能である。また、出力時間を記述しない場合は最小出力時間である0.1秒に設定される。これは、矢印上に設定された遷移条件を細かく確認するためであり、フィードバック制御の学習が可能である。四つめはプログラムの実行機能である。この機能はプログラムをタブレット端末内で変換し、プログラムの実行手順に応じてロボットに搭載された制御基板に信号を送信したり、ロボットのセンサの計測結果を受信したりする。変換の際は、プログラムのスタートからエンドまでが矢印でつながれており、すべての矢印に条件が設定されているか確認する。

3.3 ロボットの機能

ロボットはProgram Linkerが提供する機能を実現するため、最大4個のセンサと2個のDCモータを搭載する。これらを制御する基板にはArduino^[25]を利用しており、Program Linkerからの制御信号を処理している。4個のセンサはArduinoのアナログ入力機能を利用しており、入力ピンにかかる電圧を10ビットの分解能で計測している。図3のロボットでは、リミットスイッチ2個、フォトトランジスタ1個、赤外線距離センサ1個をセンサとして接続している。2個のDCモータはArduinoのPWM出力機能を利用しており、Program Linkerで指定できるモータ出力レベルを実現している。Arduino単体ではDCモータを駆動させる電流が供給できないため、モータ駆動用の電源ならびにモータドライバICを利用している。

タブレット端末とArduinoとのBluetooth通信は、市販のBluetooth通信用USBアダプタとSDBBT基板^[26]を利用している。これらの機器を利用することで、Arduinoのシリアル通信機能をそのまま利用することができる。表1は図3のロボットに使用した部品の一覧と価格である。部品総額は2016年現在で15,214円である。図6はロボットの実体配線図である。

表1 ロボットの部品一覧と価格表

部品名	個数	単価 (円)	部品名	個数	単価 (円)
Arduino Uno Rev.3	1	2,940	Bluetooth アダプタ BT-Micro4	1	2,400
ブレッドボード	1	190	モータドライバ IC LB1639	2	120
ピンソケット 1x6	1	30	電池ボックス	1	55
ピンソケット 1x8	2	40	モバイルバッテリー QE-PL-102	1	3,980
ピンソケット 1x10	1	50	USB ケーブル	1	100
ユニバーサルプレート	1	330	リミットスイッチ AVM3155	2	173
ツインモータギヤボックス	1	907	フォトトランジスタ NJL7502L	1	50
小型マイコン基板 SBDBT	1	3,066	測距モジュール GP2Y0A21YK	1	450
				総額	15,214

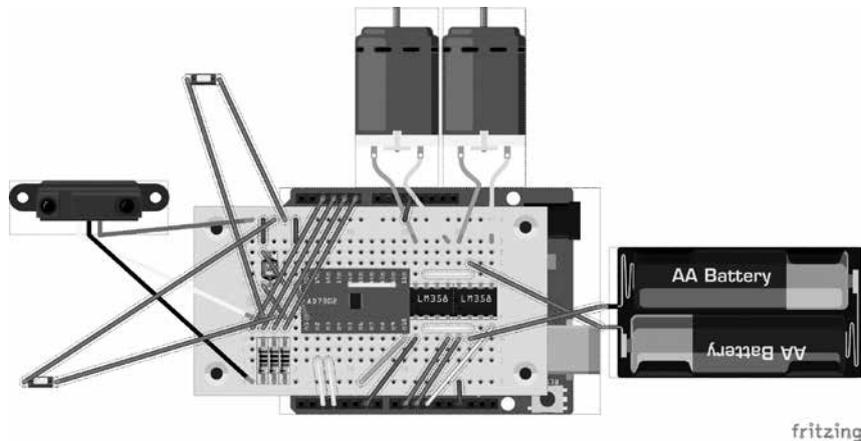


図6 ロボットの実体配線図

4. 考察

開発したロボット教材は小学校から中学校への系統的なプログラムによる計測・制御学習の提供を目的としている。そのため、従来の自律型ロボット教材の機能に加えて、手動制御から半自動制御、半自動制御から自動制御といった複数の制御方法を同一の教材で実現できる。また、これらの制御は全て Program Linker を利用することになるため、プログラムに関する理解や知識の習得が実現しやすい。これにより、小学校では手動制御、中学校では半自動制御や自動制御を扱うといった具合に、年代別に提供する課題を調整・変更することも可能である。したがって、プログラミング教育の必修化が議論される現在において、積極的な活用が期待される教材であると考えられる。ただし、通常の手動制御と称される技術からすると、本教材で扱う手動制御はソフトウェアによるエミュレーションであり、手動制御から自動制御への系統的な発展を扱うのであれば、リモコン操作ロボットの操縦により自動制御の価値を体験的に学ばせたり、遠心调速機による機械式の自動制御^[27]に触れたりする必要がある。

上記の目的に加え、本教材は従来の自律型ロボット教材と同等以上の機能を学習者に提供できると考える。本教材はタブレット端末とロボットで構成された他律型ロボット教材であり、タブレット端末がなければロボットは動作できない。しかし、学校教育においてロボットを単

独で利用する学習は想定できないため、自律型ロボット教材と同等の学習を提供できるといえる。むしろ、タブレット端末によるプログラム作成を可能としたことで、新たな付加価値が生じている。それは、プログラムに発生する問題とロボット本体に発生する問題が明確に切り分けられるということである。従来の自律型ロボット教材は、プログラムを制御基板に送信した後はロボット本体の動きを通してのみ動作確認をしていた。そのため、学習中に生徒が想定したようにロボットが動作しないとき、原因を特定することが非常に困難であった。この対策としてはシミュレーションソフトウェアを利用したり^[28]、あらかじめ正常に動作することを確認した予備ロボットを準備したりする必要があった。本教材はプログラムの実行主体がタブレット端末であるため、プログラムの実行確認はタブレット端末でも可能である。このことは、プログラムによる計測・制御学習の指導における時間的効率を高めるものである。

一方、本教材はタブレット端末とロボットで構成されるため、教材全体の価格が高額であるといえる。今回の研究で利用したAndroidタブレット端末はLenovo社のYOGA TABLET 10 HD+^[29]であったが、購入当時の本体価格は31,400円であった。これに表1で示したロボット本体価格を加えると47,000円程度となり、教材として生徒一人あたり一台提供することは非常に困難である。ただし、文部科学省が教育の情報化ビジョンで述べている情報端末^[30]が導入されれば、本教材の費用負担はロボット本体のみになる。また、ロボット本体は再利用可能であるため、一度学校に導入されれば継続的に利用することができる。

タブレット端末を利用した教育は、主に情報検索のツールや電子教科書の閲覧などに限定されており、技術科における実践利用の報告は非常に少ない。たとえば、「D 情報における技術」の(1)情報通信ネットワークと情報モラルでは、フィッシング詐欺についての体験学習で利用されていたり^[31]、「IT防災訓練」を利用した災害時における情報発信・収集シミュレーションが行われていたりする^[32]。同じく(2)デジタル作品の設計・製作では、生物育成の授業で実施した定植時の作業風景を撮影したり^[33]、ロボット製作段階における試作・試運転段階における動画記録に利用されていたりする^[34]。しかし、本教材のようにタブレット端末を利用した(3)プログラムによる計測・制御の学習は提案されていない。なお、現在確認できる自律型ロボット教材では、レゴ・マインドストームEV3^[35]がタブレット端末、Romo^[36]がスマートフォン端末を利用する教具として市販されている。だが、レゴ・マインドストームEV3におけるタブレット端末はプログラム作成環境としての機能しか有しておらず、一般的な自律型ロボット教材と大差ない。Romoはスマートフォン端末のセンサを用いたプログラムが可能であるが、ロボット本体にセンサはなく、スマートフォン端末はロボット本体に固定しなければならないため、手動制御や半自動制御のような学習体験は実現できない。したがって、現状において本教材以外に系統的な計測・制御学習を実現するものはないといえる。

5. おわりに

中学校技術科の「D 情報に関する技術」における(3)プログラムによる計測・制御の学習として、小学校から中学校への系統的な計測・制御学習の必要性を教育的意義から検討し、これを実現する教材として、タブレット端末上で動作するProgram Linkerとロボットで構成されるロボット教材を開発した。

開発した教材は、タブレット端末からロボットを制御する他律型ロボット教材である。タブレット端末上のProgram Linkerでプログラムの作成・実行が可能であるため、タブレット端

末のセンサで人間の操作を計測したり、ロボットに搭載されたセンサでロボット周囲の環境を計測したりできる。これにより、提案する系統的な計測・制御学習の提供に加え、従来の自律型ロボット教材では対応が困難であったトラブル原因の追求が容易となることが期待できる。

今後は本教材を用いた授業実践を実施し、系統的な計測・制御学習による技術の進化・発展過程の理解を生徒が得られるか、授業方法を含めて研究を進めていきたい。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金若手研究 (B) 課題番号 15K21049の支援によるものです。

参考文献等

- [1] 文部科学省：中学校学習指導要領解説 技術・家庭編，教育図書，pp.36-37 (2008) .
- [2] 文部科学省：小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について（議論の取りまとめ），http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.htm（最終アクセス：2016年9月22日） .
- [3] 紅林秀治・室伏春樹：教材用自律型ロボットの改良とその評価，静岡大学教育学部研究報告，教科教育学篇，40号，pp.61-70 (2008) .
- [4] 一般社団法人ラーン・フォー・ジャパン：平成26年度文部科学省委託事業 情報教育指導力向上支援事業 プログラミング教育実践ガイド，pp. 8-15 (2015) .
- [5] 日本産業技術教育学会：21世紀の技術教育－技術教育の理念と社会的役割とは何か そのための教育課程の構造はどうあるべきか－，日本産業技術教育学会誌，第41巻，第3号別冊，p.3 (1999) .
- [6] 日本工業標準調査会：日本工業規格 自動制御用語－一般，JIS Z8116-1994，(1) 全般 1-7 計測，<http://www.jisc.go.jp/app/pager?id=2309331>（最終アクセス：2016年9月22日） .
- [7] 日本工業標準調査会：日本工業規格 自動制御用語－一般，JIS Z8116-1994，(1) 全般 1-1 制御，<http://www.jisc.go.jp/app/pager?id=2309331>（最終アクセス：2016年9月22日） .
- [8] 日本工業標準調査会：日本工業規格 自動制御用語－一般，JIS Z8116-1994，(4) 制御方式 4-1 手動制御，<http://www.jisc.go.jp/app/pager?id=2309331>（最終アクセス：2016年9月22日） .
- [9] 日本工業標準調査会：日本工業規格 自動制御用語－一般，JIS Z8116-1994，(4) 制御方式 4-2 自動制御，<http://www.jisc.go.jp/app/pager?id=2309331>（最終アクセス：2016年9月22日） .
- [10] 紅林秀治・青木浩幸・室伏春樹・江口啓：自律型 3 モーター制御ロボット教材を用いた授業による学習効果の検討，日本産業技術教育学会誌，第51巻，第3号，pp.37-44 (2009) .
- [11] 井戸坂幸男：制御機器の仕組みを理解するための情報教育教材に関する研究，大阪電気通信大学大学院 医療福祉工学研究科，博士学位論文 (2013) .
- [12] 山崎教育システム：制御学習プロロボUSB，http://www.yamazaki-kk.com/syohin_robo/inf01101_set.html（最終アクセス：2016年9月22日） .
- [13] ヴィストーン株式会社：プログラミング学習用教材ロボット ビュートレーサー，http://www.vstone.co.jp/products/beauto_racer/（最終アクセス：2016年9月22日） .
- [14] ロボット工房スタジオMYU：MYロボII，<http://www.studiomyu.com/myurobo/myurobo-II.html>（最終アクセス：2016年9月22日） .
- [15] 伊藤陽介・森誉範・菊池章・大泉計：「プログラムと計測・制御」のためのロボット学習

- 材の開発と実践, 日本産業技術教育学会誌, 第49巻, 第3号, pp.29-37 (2007) .
- [16] 紅林秀治・井上修次・江口啓・鎌田敏之・青木浩幸・兼宗進:自律型3モータ制御用ロボット教材の開発, 日本産業技術教育学会誌, 第51巻, 第1号, pp.7-16 (2009) .
- [17] 森慎之助・山本透:融合教材“インテリジェントハウス”を使用したプログラムと計測・制御学習, 日本産業技術教育学会誌, 第49巻, 第1号, pp.323-330 (2007) .
- [18] トヨタ自動車株式会社:トヨタの安全安心技術, インテリジェントパーキングアシスト, http://toyota.jp/information/campaign/anzen_anshin/gijyutu/02/ (最終アクセス:2016年9月22日) .
- [19] 株式会社SUBARU:運転支援システムEyeSight アクティブレーンキープ, <http://www.subaru.jp/eyesight/function/> (最終アクセス:2016年9月22日) .
- [20] 日産自動車株式会社:ダイレクトアダプティブステアリング, http://www2.nissan.co.jp/SKYLINE/performance_steering.html (最終アクセス:2016年9月22日) .
- [21] Google:Google Self-Driving Car Project, <https://www.google.com/selfdrivingcar/> (最終アクセス:2016年9月22日) .
- [22] 木村英紀 編著:世界を動かす技術思考 要素からシステムへ, 講談社, pp.114-118 (2015) .
- [23] 同上, p.193
- [24] 岩本晃一:インダストリー4.0 ドイツ第4次産業革命が与えるインパクト, 日刊工業新聞社, pp.69-76 (2015) .
- [25] Arduino LLC:Arduino Uno, <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> (最終アクセス:2016年9月22日) .
- [26] Running Electronics:PIC24FJ64GB004 小型マイコン基板 SBDBT, <http://www.runele.com/cal/2/> (最終アクセス:2016年9月22日) .
- [27] 古田勝久・山北昌毅 監訳:制御工学の歴史, コロナ社, pp.8-16 (1998) .
- [28] 室伏春樹・村岡信吾・紅林秀治:中学校技術科における自律型ロボット教材の動作確認シミュレーションソフトウェアの開発, 日本産業技術教育学会誌, 第55巻, 第3号, pp.163-170 (2013) .
- [29] Lenovo:YOGA TABLET 10 HD+, <http://shopap.lenovo.com/jp/tablets/lenovo/yoga/yoga-10-hd-plus/> (最終アクセス:2016年9月22日) .
- [30] 文部科学省:教育の情報化ビジョン～21世紀にふさわしい学びと学校の創造を目指して～, http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/23/04/_icsFiles/afieldfile/2011/04/28/1305484_01_1.pdf (最終アクセス:2016年9月22日) .
- [31] 松阪市:[平成24年度松阪市] フューチャースクール推進事業成果報告書, p.88 (2013) .
- [32] 国立大学法人上越教育大学:平成24年度フューチャースクール推進事業成果報告書, p.157 (2013) .
- [33] 和歌山市:平成24年度フューチャースクール推進事業成果報告書, p.297 (2013) .
- [34] 葉山泰三, 谷口義昭:タブレット型コンピュータを活用した技術の授業実践研究ーレゴ・ブロックを用いたロボット製作の授業ー, 奈良教育大学紀要, 第61巻, 第1号 (人文・社会), pp.177-182 (2012) .
- [35] レゴジャパン:マインドストームEV3, <http://www.lego.com/ja-jp/mindstorms> (最終アクセス:2016年9月22日) .
- [36] ロボットスタート株式会社:ロボット紹介/ Robots/ Romotive/ Romo (ロモ), <http://robotstart.co.jp/robo-romo.html> (最終アクセス:2016年9月22日) .