

令和元年5月24日現在

機関番号：50103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01150

研究課題名(和文)IoT連携によるサイバーフィジカルな学習環境の研究

研究課題名(英文)Study on Cyber Physical Learning Environment by IoT Collaboration

研究代表者

野口 孝文(Noguchi, Takafumi)

釧路工業高等専門学校・創造工学科・教授

研究者番号：20141856

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：我々の周りにはコンピュータが組み込まれた様々な機器があるが、我々は自由にそれらをコンピュータ上のツールと組み合わせる利用することができない。コンピュータ上の教材や実世界の機器を自由に組み合わせ編集が可能になれば、これまでにない自由度の高い学習環境が実現できると考えられる。本研究では、実世界にある様々な機器をネットワークで連携しコンピュータ上のオブジェクトと対応できるようにした。学習者自身が試行錯誤しながらコンピュータ上でシステムを組み上げることによって、学習者が思考した仮説を試行錯誤しながら検証することができるサイバーフィジカルな学習環境が実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の特徴は、コンピュータと実世界の連携を強めることで体験的かつ直感的な学習をするサイバーフィジカルな学習環境にある。この学習環境は、コンピュータ上のシミュレーションばかりでなく、実世界の実験や他の学習者の環境とダイナミックに連携した学習を可能にする。すなわち、IoTとして提供されるネットワークで接続されたコンピュータも含めた様々なセンサや計測機器を、これまで開発してきた学習支援システムとコンピュータ上で組み合わせたり、組み合わせを変更したりすることを可能にする。本研究は、学習者自身がコンピュータを介して実世界と相互作用しながらアクティブに学習を深めることができる研究学習環境を実現した。

研究成果の概要(英文)：There are various devices with built-in computers around us, but we can not freely combine them with the tools on the computers. If it becomes possible to freely combine and edit teaching materials on the computer and devices in the real world, it will be possible to realize a learning environment with an unprecedented degree of freedom. In this research, various devices in the real world are linked via a network so that they can correspond to objects on a computer. By constructing the system on the computer while trying and erroring itself, the learner aims at a cyber physical learning environment where the hypothesis that the learner thought can be verified while trying and failing.

We have realized the IoT of experimental equipment used in experiments so far and a cyber physical learning environment using this. In the realization, we built a system that can freely combine devices and applications using Multimeter, Raspberry Pi, RFID, and IntelligentPad system we have developed.

研究分野：ソフトウェアアーキテクチャ, ロボット, 教育工学

キーワード：サイバーフィジカルシステム 試行錯誤 プログラミング 協調学習

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1972年にアラン・ケイはダイナブックのコンセプトにおいて、低価格で片手で持てて映像や音声を扱うことができ、思考能力を高めるような使い方を提案した。そして今、片手で持てる高性能のコンピュータが容易に入手できるようになったが、コンピュータ上のツールやデータを自由に組み合わせたり編集したりすることは未だ実現できていない。

たとえば e-Learning システムは多くあるが、提供される教材の変更やこれを他の教材と組み合わせることで利用できるシステムはない。また、我々の周りにはコンピュータが組み込まれた様々な機器がありそれらがインターネットに接続されつつあるが、これらの機器も、コンピュータ上のツールと自由に組み合わせることはできていない。知識を組み合わせることでより高度な知識を得ることができるように、コンピュータ上のツール同士や身の回りにある機器を組み合わせることで利用できるようにするのは当然の要求である。

コンピュータ上の教材や実世界の機器を自由に組み合わせ編集が可能になれば、これまでにない自由度の高い適応的でサイバーフィジカルな学習環境が実現できると考えられる。ここでサイバーフィジカルな学習環境とは、実世界にある様々な機器が生み出すデータをコンピュータ上に取り込み、コンピュータ上のツールとダイナミックに連携することができる学習環境である。このような学習環境を提供できるシステムはこれまでなかった。

我々は、コンピュータ上で直接操作可能なオブジェクト部品を用いた学習支援システム (IntelligentPad) を開発し教育に利用してきた。これを用いたプログラミング教育では、15年以上の実績がある。我々のシステムは、学習者自身が教材 (例題) を作るばかりでなく、図 1 に示すように過去に作成したすべての教材を一つのウィンドウ上に共存させ、学習者自身を変更したり組み合わせたりといった操作を試行錯誤しながら行うことができる。上述のコンピュータ上のツール同士の組み合わせや編集を可能にすることは、すでに実現している。

本研究は、IoT 化された機器と連携するオブジェクト部品を我々のシステムに開発することによって、他の学習者が利用するコンピュータも含め実世界にある機器とコンピュータ上の教材を学習者自身が組み合わせたり編集したりできるサイバーフィジカルな学習環境の実現を目指す。これが実現すると、たとえば「気温と消費電力の関係を調べる」という課題では、エアコンや電力計と連携するコンピュータ上のツールがあれば、そのツールを組み合わせることでエネルギー消費と室温や外気温との関係を知るといった適応的な教材を構築することが可能になる。

このような学習環境からは、課題に関し体験的に深く学ぶことができるばかりでなく、ツールを組み合わせることがプログラミングに対応し、論理的な思考法を実践的に学ぶこともできるという効果が期待できる。



図 1 IntelligentPad による教材の共存が可能な学習支援システム

2. 研究の目的

本研究では、実世界にある様々な機器をネットワークで連携しコンピュータ上のオブジェクトと対応できるようにする。学習者自身が試行錯誤しながらコンピュータ上でシステムを組み立てることによって、学習者が思考した仮説を試行錯誤しながら検証することができるサイバーフィジカルな学習環境を実現する。

本研究では、実証のための装置として、本申請者の所属する学科の学生が行う電気工学実験を対象にシステムを構築する。これまでの電気工学実験では、理論に基づいた実験方法があらかじめ与えられ、実験装置を組み立て各部の測定器の値を記録し、実験終了後にデータを整理して理論との整合を考察するという内容であった。本研究では、同じ実験装置を使用して、測定器をネットワークに接続した装置に IoT 化し、コンピュータに測定値を取り込めるようにする。本システムを用いた実験の過程と従来の実験の過程は、同様に見えるが全く異なる。コンピュータでデータを記録し即座にグラフ表示するといったシステムはこれまでもあったが、自由に測定器の組み合わせを変えたり、コンピュータ上のツールと組み合わせたりできるシステムは、なかった。

本システムは、汎用の電圧計や電流計、回転計等を用い、これらから得られたデータを測定器専用の (付属) プログラムではなく、測定器に小型の制御コンピュータを取り付け、TCP/IP 通信を用い規格化したデータ形式で計測値を送ることができるように IoT 化する。また測定器の特定を、RFID (電子タグ) を用いて行い、実験装置に組み込まれた測定器を任意に指定して、コンピュータ上のツールと部品 (測定器からのデータ入力機能) を連携できるようにする。これによって、インターネットに接続された機器を自由に組み合わせ、実験装置を操作すると即座にその計測結果を観察することができる学習環境を実現する。

本研究では、実証装置として電気工学実験を対象にした具体的な装置を製作するが、製作した測定器をさらに増やし、温度や湿度といった測定器や、各種家電機器を制御するリモコン装置と連携することで家電機器をエミュレート (家電機器に代わってインターネットに接続) する装置などを開発し、IoT と連携した初等中等教育から高等教育まで利用可能な従来にないサイバーフィジカルな学習環境が構築できることを示す。

3. 研究の方法

本研究は、IoT と連携するサイバーフィジカルな自由度の高い学習環境を構築する。研究は 2 つからなり前半では、①電気工学実験に適用しその有用性を示す。さらにその結果を基に後半で②身の回りにある機器を取り込んだ学習環境の有用性を示す。ただし、身の回りにある機器はコンピュータが組み込まれていても、ネットワークに接続されていなかったり、ネットワークを介した操作が制限されていたりすることが多い、そこで、本研究では、これらの制約を考慮してエミュレータやシミュレータによって、これらの機器が IoT として利用可能になったときに、本システムによって可能になる学習環境について示す。本研究は、ソフトウェア開発の経験を持つ代表者とハードウェアの設計製作の経験を持つ分担者 1 名が連携して遂行する。

電気工学実験で行っている実験の 1 つである「直流電動機の特性格験」を例に、実験装置の IoT 化とこれを利用したサイバーフィジカルな学習環境を実現する。図 2 に示す実験装置は、直流電動機の特性格験の装置である。これを用いた従来の実験の学習者は、各測定器の値を記録し、回転数と入力電流の関係や、制御電流と回転数の関係などから直流電動機の特性格験を求め、理論と比較することによって理解を深めた。このように従来の実験では、実験後に各計測器の測定値を組み合わせてグラフや特性値を計算し、その方法はあらかじめ決められることが一般的である。

提案のシステムでは実験装置は同様であるが、決められた計測器同士の組み合わせばかりでなく、実験をしながら試行錯誤的に計測器の組み合わせを選択しグラフや計算式で特性を確認することができる。図 2 に示した実験装置で IoT 化を実現するのは、各種測定器のみである。計測器は、図 3 に示すように、センサとマルチメータおよび小型汎用コンピュータボードの組み合わせは同じ構成で、センサボードを交換することで異なる機能を実現している。インターネットとの接続も汎用コンピュータボードに付属する機能を用いる。

電気工学実験においては、図 2 に示すように、電圧計や電流計、回転計、トルク計の 10 台の計測器を用いる。また、図 3 に示すように各計測器は、センサを除くと同じ装置の組み合わせで構成でき、インターネットを介して授受するデータのプロトコルも同じにできる。通信のためのアドレスやポート番号、センサのタイプ等のデータは、サーバに登録し各計測器に取り付けた RFID (電子タグ) によって選択できるようにする。図 4 に本システムが実現できたときの結果表示の様子を示す。

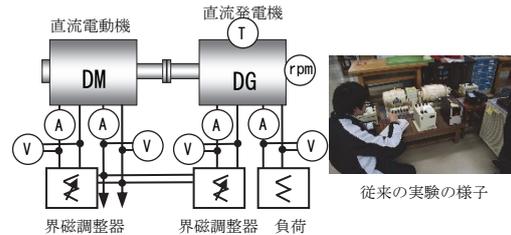


図 2 直流電動機の特性格験装置

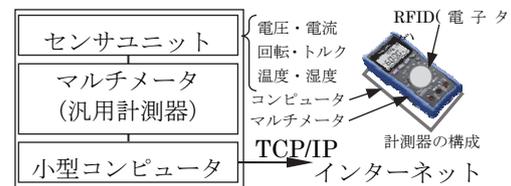


図 3 IoT 化された計測器

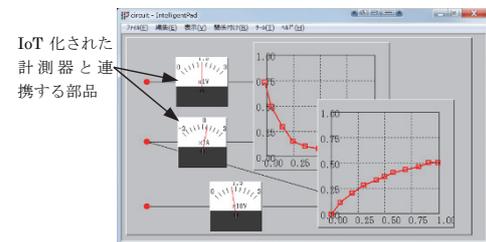


図 4 intelligentPad を用い、任意の計測器を組み合わせることで即座に測定値を表示できるサイバーフィジカルな学習環境

4. 研究成果

本研究の成果は、5 章に示す論文等において発表を行ってきた。当初の目的の学生実験において使用する計測器の IoT 化を実現するとともに、これまで我々が開発してきた学習支援システムと統合することで、リアルタイムに試行錯誤できる実験環境を実現した。また、実験機器の IoT 化とそれを統合するプラットフォームを実現することができたことにより、新たな研究へと進展させることへの目処もついた[11][19][20]。これについては、次年度の基盤研究 (B) を受け研究を推進する予定である。

4.1 計測器の組み合わせが容易な実験

図 5 は、IoT 化した直流電源とデジタルマルチメータと図の左下の回路を組み合わせダイオードの特性を計測した様子を示している。デジタルマルチメータで回路のどの部分の電流や電圧を計測するかは、自由に決めることができる。デジタルメータのレンジを決め、回路に接続した後に、

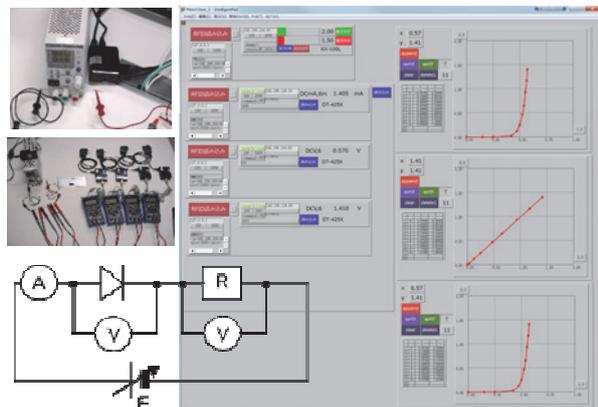


図 5 システムを組み合わせたダイオードの特性測定

コンピュータ上で、IPアドレスとポートの設定によって対応を決定する。その後、どのデータを使ってグラフ表示をするか選択するだけで、準備は終了する。

図5では、3台のデジタルメータから2台ずつを組み合わせ、3種類のグラフを表示している。グラフパッドはコピーすることでいくつでも増やすことができる。計測しながらその範囲や間隔を決めることができる。計測器の交換や他の実験との統合も実世界とコンピュータ上でそれぞれ独立して組み合わせることができる。計測器と処理プログラムの関係づけは、それらの配置が決まってから行うことができる。

4.2 個別学習から協調学習を連続的に支援する機器のIoT化と連携

本研究で可能になった協調学習の例を示す。図6は、ボール供給機とボール発射機を個別に製作し統合した「自動ボール供給式ボール発射機」である。これらの装置の動作の仕組みを説明する。それぞれの装置は、レゴEV3とモータ、押ボタンスイッチ等からできている。プログラムは、我々の開発しているスクリプト記述部品を用い、(a)と(b)に示した状態遷移図に基づいて作成している。それぞれの装置は、押ボタンスイッチを押すとボールの供給や、ボールの発射を行うことができる。(c)は2つの装置を連携させた状況を示している。(d)に示すように2つの装置を連携したプログラムは、個別に作成した2つのプログラムを並べ、発射装置の状態をボール供給装置の制御プログラムにスロットを介して送り、その値を入力「押ボタンスイッチのON」信号の代わりに用いることで、プログラムをほとんど変更することなく実現することができる。

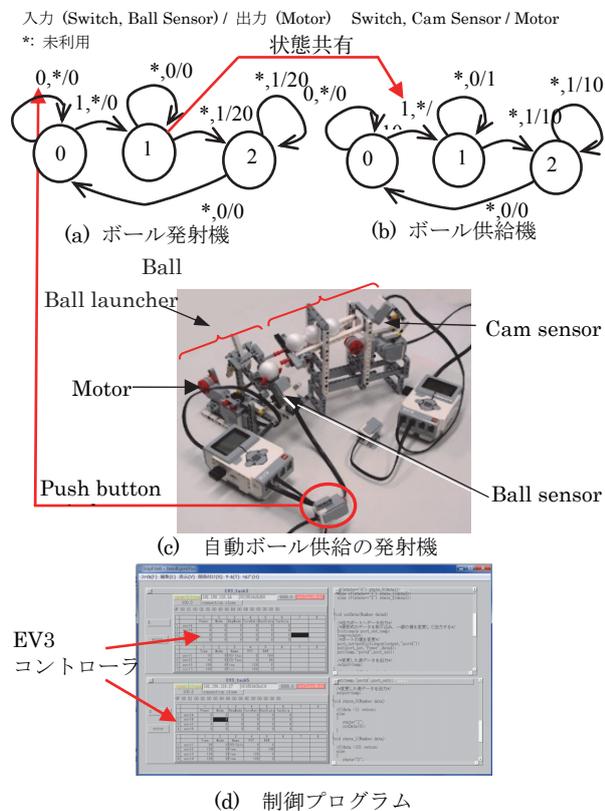


図6 状態の共有による機器の統合

本研究では、IoT技術と我々がこれまでプログラミング教育に用いてきた技術を統合することで、コントローラにIoT機能を付加しコントローラ同士の連携をダイナミックに行えるようにした。これによって、協調学習における課題を複数の小課題に分けることや、学生それぞれが異なる1つの小課題に取り組んだ後その結果を統合することが容易になり、それぞれの学生が統合とディスカッションに必要な知識を予め学習することを可能にした。

5. 主な発表論文等

- [1] 野口孝文「構成オブジェクト数を指標としたクラスタリング手法の提案」, 人工知能学会全国大会, 北九州国際会議場, pp.2, 3F3-2, 2016.6.8, 査読無
- [2] 野口孝文, 梶原秀一, 千田和範, 稲守栄:「直感的動作命令から構成的に学ぶロボットを用いた計測制御教材の開発」, ロボティクス・メカトロニクス講演会報告, 2P1-17b4, 横浜, 2016.6.10, 査読無
- [3] 野口孝文, 梶原秀一, 千田和範, 稲守栄:「プログラミング導入教育のための直感的な命令セットを持つロボット」, 教育システム情報学会全国大会, pp.239-240, 栃木, 2016.8.30, 査読無
- [4] 野口孝文, 千田和範, 稲守栄:「IoT 連携によるサイバーフィジカルな学習環境」, 教育システム情報学会全国大会, pp.149-150, 栃木, 2016.8.29, 査読無
- [5] 稲守栄, 千田和範, 野口孝文:「ペアプログラミング手法に基づく実験・実習ナビゲーションシステムの開発」, 教育システム情報学会全国大会, pp.135-136, 栃木, 2016.8.30, 査読無
- [6] 千田和範, 稲守栄, 野口孝文:「複数校横断型理科教育プログラムの効果を向上させるための実験支援システムの開発」, 教育システム情報学会全国大会, pp.137-138, 栃木, 2016.8.30, 査読無
- [7] 野口孝文, 梶原秀一, 千田和範, 稲守栄「プログラムの思考過程をトレースできる教材ロボット」, 34回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2016AC1D3-02, p. 2, 2016.9.7, 山形大学, 査読無
- [8] Takafumi Noguchi, A Cyber-Physical Learning Environment Combined with IoT, ISIP'2016 (International Workshop on Information Search, Integration, and Personalization), the university of Lyon, France, November 3-4, 2016, 査読無

- [9] 野口孝文, 千田和範, 稲守栄:「IoTを基盤としたサイバーフィジカルな学習支援環境の開発」, 人工知能学会第78回先進的学習科学と工学研究会(SIG-ALST-B505), pp.12-15, 慶応大学, 2016.11.12, 査読無
- [10] 野口孝文, 千田和範, 稲守栄, 「協調作業を支援するIoTを用いた学習環境」, 教育システム情報学会研究報告 Vol.31, No.5, pp.57-58, 2017.1.7, 愛媛大学, 査読無
- [11] 野口孝文, 千田和範, 稲守栄「LEGOを用いた協調学習支援システムのための操作環境の開発」, 情報処理学会第79回全国大会, 4分冊, pp. 4-435-436, 2017.3.17, 名古屋大学, 査読無
- [12] 野口孝文, 千田和範, 稲守栄:「ロボットを用いた協調学習環境の開発」, ロボティクス・メカトロニクス講演会報告, 2P2-K11, p2, 郡山, 2017.5, 査読無
- [13] 野口孝文「サイバーフィジカルな学習支援システムの開発」, 人工知能学会全国大会, ウィンクあいち, p.4, 2I1-3, 2017.5, 査読無
- [14] 野口孝文, 「学生が制作したプログラムのオブジェクト数を用いたクラスタリング手法の提案」電子情報通信学会, 教育工学研究会, vol.117, No. 119, pp.23-26, 山形, 2017.7, 査読無
- [15] 野口孝文, 梶原秀一, 「プログラミング教育のためのロボット教材」情報処理学会 情報教育シンポジウム Summer Symposium in Sakura 2017, 研究会資料, pp.145-151, 2017.8, 査読有
- [16] 千田和範, 稲守栄, 野口孝文:「試行錯誤型理科教育プログラムのための思考支援システムの開発」, 教育システム情報学会全国大会, pp.55-56, 北九州, 2017.8, 査読無
- [17] 稲守栄, 千田和範, 野口孝文:「学生の能動的思考を支援する実験・実習ナビゲーションシステムの開発」, 教育システム情報学会全国大会, pp.383-384, 北九州, 2017.8, 査読無
- [18] 野口孝文, 梶原秀一, 千田和範, 稲守栄:「ロボットの動作を見ながら試行錯誤的にプログラムできる教材ロボットの開発」, 教育システム情報学会全国大会, pp.433-434, 北九州, 2017.8, 査読無
- [19] 野口孝文, 千田和範, 稲守栄「IoT機能を持つロボットを用いた協調学習環境」, 35回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2017AC1A2-02, p. 2, 2017.9, 東洋大学, 査読無
- [20] 野口孝文, 「モジュール化した「計測と制御」の個別学習の統合による協調学習環境の開発」電子情報通信学会, 教育工学研究会, vol.117, No. 296, pp.29-34, 上智大学, 2017.11, 査読無
- [21] T. Noguchi, H. Kajiwara, K. Chida and S. Inamori, “Development of a Programming Teaching1-Aid Robot with Intuitive Motion Instruction Set”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.29 No.6, pp.980-991, December 20, 2017, 査読有
- [22] 野口孝文, 布施泉, 梶原秀一, 千田和範, 稲守栄:「ロボットを利用したプログラミング導入教育」, ロボティクス・メカトロニクス講演会報告, 2P2-L07, p2, 小倉, 2018.6, 査読無
- [23] 野口孝文:「サイバーフィジカルな学習支援システムの開発」, 人工知能学会全国大会, 城山ホテル鹿児島, p.4, 1L1-01, 2018.6, 査読無
- [24] 千田和範, 野口孝文, 稲守栄:「試行錯誤型理科教育プログラムにおける知識伝播の可視化のための教育支援システムの開発」, 教育システム情報学会全国大会, pp.91-92, 札幌, 2018.9, 査読無
- [25] 稲守栄, 千田和範, 野口孝文:「RFIDとARにより実験作業を支援する実験・実習ナビゲーションシステムの開発」, 教育システム情報学会全国大会, pp.433-434, 札幌, 2018.9, 査読無
- [26] 野口孝文, 布施泉, 梶原秀一, 千田和範, 稲守栄:「高専・大学連携によるプログラミング教材の開発と利用」, 教育システム情報学会全国大会, pp.135-136, 札幌, 2018.9, 査読無

〔雑誌論文〕(計 1 件)

〔学会発表〕(計 25 件)

〔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

<https://www.kushiro-ct.ac.jp/ipad/>

(1)研究分担者

研究分担者氏名：千田和範

ローマ字氏名：Chida Kazunori

所属研究機関名：釧路工業高等専門学校

部局名：電気工学分野

職名：准教授

研究者番号 (8桁)：30342562