

知識構成型ジグソー法と IoT を組み合わせた工学実験環境 Engineering Experiment Environment Combining Knowledge-Constructive Jigsaw Method and IoT

野口 孝文*1
Takafumi Noguchi

*1 釧路高専
National Institute of Technology, Kushiro College

We have practiced mechatronics education using LEGO. Until now, we have prepared individual learning environments where each student can solve tasks by trial and error. However, since individual learning has no information exchange between learners, many students ended up solving the minimum task. Therefore, in this research, we realized a system that can easily integrate devices created by individual learning in cooperative learning by converting devices manufactured by LEGO into IoT. In this learning environment, learners not only can integrate real world equipment, but also can easily control the other equipment depending on the state of the equipment. Learners were able to seamlessly participate in cooperative learning after concentrating on individual learning.

1. はじめに

工学教育では、教育効果を考慮してカリキュラムに実験や実習の時間を多く取り入れている。工学実験は設備と場所の制約から、数人のグループで行うことが多い。グループによる実験は、協調学習の観点から学生同士の対話により実験内容に関する知識が深まることが期待できる一方、一部の学生が主導して十分な知識交換がないままに終了してしまうこともある。

本研究では、授業として行われる協調学習を工学実験に適用し、全体の作業を分割しはじめに分担した自身の作業内容を理解した後に共同作業に移行することで、他者との情報交換を活発にするという協調学習法について提案する。本協調学習の考え方には、知識構成型ジグソー法を用いる。ジグソー法は、生徒に課題を提示し、課題解決の手がかりの知識を与えて、その部品を組み合わせることによって答えを作り上げるという活動を中心とした授業デザインの手法である[Aronson 96]。

三宅等は、ジグソー法から知識構成型ジグソー法を開発し、多くの授業においてこれを利用実践している[三宅 02, 16]。協調学習では、学習者同士の考えを外化し、それを複数の視点から吟味する。そしてそれを修正や改定する過程で学習や理解が深まる。そのため三宅等の知識構成型ジグソー法では、各学習者に異なる視点を持たせる工夫を行っている。エキスパート活動と呼ぶ活動で、同じ資料を読み合う活動によって十分理解した後に、グループの構成を変更して異なる知識を持った学習者の集まりを作り、ジグソー活動と呼ぶ活動で先に学習した内容を発表したり意見を交換したりして理解を深めていく。ジグソー活動では、エキスパート活動で学んだ内容を他の学習者に分かるように発表する必要があるため、発表者自身が十分理解しなければならない。また、他の発表者の内容は自身と異なるため、ディスカッションが進むという。

しかしエキスパート活動もグループで活動するため、協調学習にそのまま適用しても、消極的な学生も現れると思

われる。知識構成型ジグソー法では、エキスパート活動で学生の意識を高める工夫が、その後の協調学習を円滑に進める鍵になる。

本研究では、LEGO を用いた工学実験において複数の学習者が協同で課題に取り組みながらも、一つの課題を小さな課題に切り分けることができ、再びそれらを統合することができる学習環境を開発した。本学習環境は、学習者が割り当てられた課題に専念した後に、その学習成果を生かして協調作業に参加することを支援する。

本論文の 2 章では統合を可能にするシステムについて述べ、また、これまで我々が行ってきたプログラミング教育について述べる。3章では、IoT化の技術を用いて統合を実現する方法について述べる。4 章は本システムを用いた実践例を示し、5 章でまとめを述べる。

2. 個別学習環境

2.1 IntelligentPad システム

我々は、IntelligentPad を用いて様々な学習支援システムを開発してきた。提案のシステムにおいても LEGO の制御に IntelligentPad を用いている。図 1 は、学習支援システムの様子である。IntelligentPad は、パッドと呼ばれるオブジェクトをダイナミックに組み合わせたり、変更したりできるシステムである。パッドは、ディスプレイ上に可視化され、マウスによる直接操作でパッドを自由に組み合わせることができる。パッド同士の結合は、標準化されたスロットの結合によって行い、様々な合成パッドを作ること

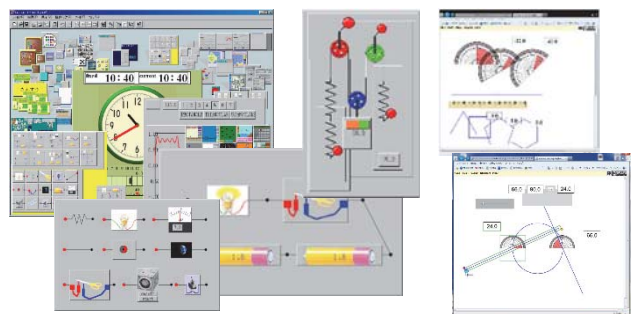


図 1 IntelligentPad system

連絡先:野口孝文, 釧路高専, 〒084-0916 釧路市大楽毛西
2-32-1, 0154-57-7315, noguchi@kushiro-ct.ac.jp

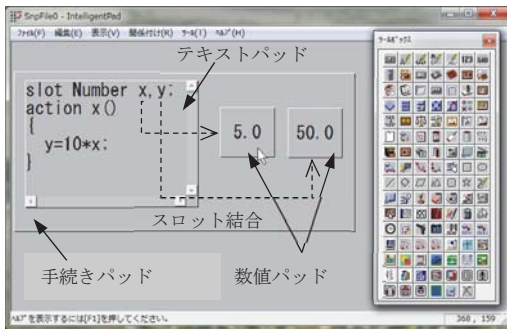


図2 手続きパッドを用いたプログラム

ができる[野口 95].

我々は、学習者にプログラミングに興味を持たせながらも多様な学習者に対応するために、入出力機能やイメージの表示等の機能を部品（パッド）で与えるとともに、C言語によるスクリプトの記述ができるパッド（手続きパッド）を用いたプログラミング教育を行っている。図2は、手続きパッドを用いたプログラムの例である。

2.2 コンピュータに直接接続された機器の制御

我々は、コンピュータ外部にある機器とコンピュータ上のプログラム部品とを組み合わせた学習環境を実現してきた[野口 15]。図3は、開発してきた学生実験のシステムである。LEGO (NXT) と通信する機能 (NXT コントローラ) をパッド化し、制御機能もパッドの組み合わせで作成している。このシステムでは、多様なレベルの学習者に対応するために、通信機能や表示機能を部品化することで、学習者が制御プログラム作成に集中できるようにしている。

制御プログラムは、上述の手続きパッドを用いている。NXT コントローラが手続きパッドの上に貼付され、手続きパッドとスロット結合している。図3は、お茶運びロボットとその制御プログラムの作成の様子である。NXT1 台に限定しているため、本システムを用いた実験の計画や実施は、容易である。

しかし、本システムでは、複数の NXT を含む機器を統合する場合には、NXT のポート番号を指定したり、プログラムを統合したりと操作が煩雑になるため、複数の学習者が協同して作業を進めると行った使い方に対応できていなかった。次章では、協調学習への対応について述べる。

3. 個別学習から協調学習

3.1 個別学習と機器同士の連携

Wi-Fi 接続が可能になった EV3 のシステムは、2章で示した NXT を用いたシステムと同様に、学習者が一人で取り組む課題を用意することができる。これまでと同様に LEGO で

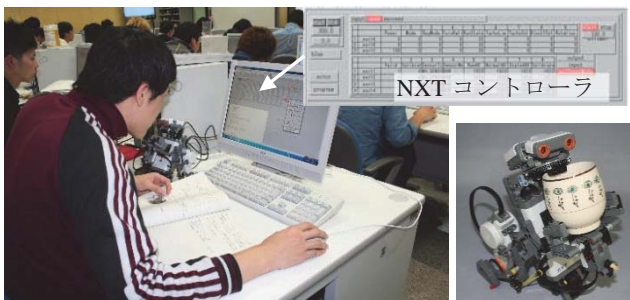
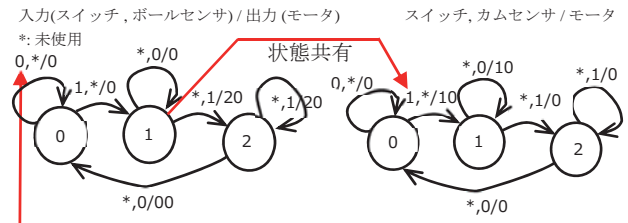
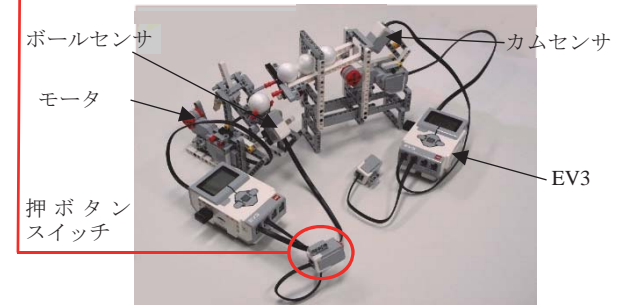


図3 LEGOで製作したロボットの制御



(a) ボール発射機

(b) ボール送り出し機



(c) 自動ボール発射機

図4 状態の共有による装置の連携

ロボットを組み立て、手続きパッドに記述したプログラムを試行錯誤で動作確認しながら完成させることができる。

さらに本システムは、ロボットの制御プログラム開発において、状態遷移図を用いている。そのため、2つのロボット同士を連携させるときにも、プログラムの変更は最小限で連携を行うことができる。また EV3 を制御するシステムは、IntelligentPadでできているため、LEGO コントローラを同じウインドウに共存させることができる。そして、スロットデータを介して、パッド同士を連携させることもできる。それらの様子を図4に示す。

図4は、ボールの供給装置とボール発射装置を個別に製作し統合したものである。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、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、前述の手続きパッドを用い、(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つの装置を連携したところを示している。2つの装置を連携したプログラムは、個別に製作した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。そのことについては、次節で述べる。

3.2 プログラムの統合

図4に示した2つの装置について、コンピュータ上でのプログラムの統合の様子を図5に示す。2つのプログラムの統合は、状態遷移図に対応した一方の状態を他方に伝えることで実現できる。本システムでは、スロットの結合で実現している。

2つのプログラムの統合は、前節でも述べたように状態遷移図に対応した一方の状態を他方に伝えることで実現できる。図5は、ボール供給機側の EV3 コントローラパッドを制御しているプログラムである。図5は制御プログラムの一部で、さらにプログラム同士の連携のために変更している。図5のプログラムの1行目と2行目は、スロットを宣言している。スロットは変数と同様に値を保持する機能

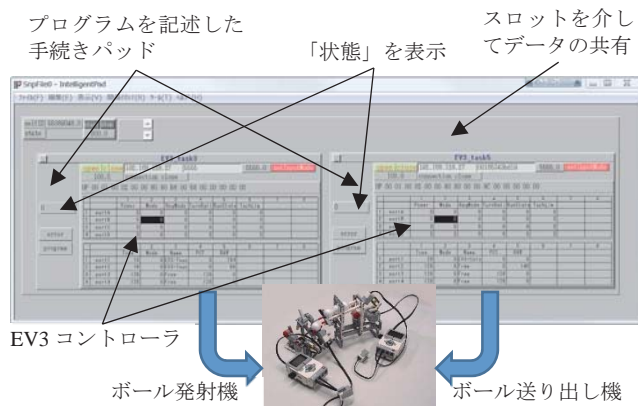


図5 コンピュータ上の連携

がある。また他のパッドを結合することでイベントの授受することができる。7行目から始まる関数は、ボール供給機のEV3からの入力イベントによって起動するアクション関数である。9行目から12行目は、EV3に接続されたセンサの値を取り出すプログラムである。取り出した値は、スロット「data0」に入力され、単独の装置を制御しているときには、15行目から17行目に示すように、状態に応じた処理を行う関数に値を渡している。なお、スロット「state」は、状態遷移図に対応した自身の状態を保持している。

スロット「st1」は、ボール発射機の状態が接続されている。その値が1(発射機は発射待ち状態でボールが空の状態)のときは、スロット「data1」に値1を、それ以外のときには0を設定している。これは、ボール供給機を単独で動作させたときの押しボタンスイッチの値に対応している。15行目と17行目ではこれを、ボール供給機のEV3に接続されたセンサの値の代わりに用いている。プログラムの3行目から6行目は、関数のプロトタイプ宣言で、15行目から17行目でそれらの関数を呼び出している。これらの関数は、状態遷移図の状態に対応していて、EV3および他のプログラムの状態によって、EV3に値を出力したり状態を遷移させたりする機能が定義されている。このように本システムでは、数行のプログラムの変更で、複数のプログラム同士の連携を実現している

3.3 個別学習から協調学習へ

1章でも述べたように、我々は初心者のプログラミング

```

1 slot Dictionary input, output;
2 slot String state, st1;
3 Void state_0(Number);
4 Void state_1(Number);
5 Void state_2(Number);
6 Void outData(Number);
7 action input()
8 {
9   Dictionary port_in;
10  Number data0,data1;
11  port_in=getDictionary(input,"port1");
12  data0=getNumber(port_in,"PCT");
13  if(st1=="1") data1=1;
14  else data1=0;
15  if(state=="0") state_0(data1);
16  else if(state=="1") state_1(data0);
17  else if(state=="2") state_2(data0);
18}

```

図6 プログラム同士の連携

教育であることを考慮して、学習者の興味を引く課題として、LEGOを用いたロボットの制御を取り入れてきた。またプログラムとロボットの動作の関係を分かりやすくするため、プログラムを変更すると即座に反映する様にNXTとPCをケーブルで接続している。EV3では、ケーブルの代わりにWi-Fiを用いている

そして学習の課題をロボットの製作と制御にすることによって、これまで個別の学習で行ってきた課題を統合した課題を作ることができるようになった。

4. 評価実験

4.1 実験の流れ

本システムを用いて実験を行った。実験に参加した学生は、釧路高専の機械工学科3年生1名、電子工学科5年生1名、電気工学科5年生4名合計6名のいずれも男子である。実施時期は、機械工学科と電子工学科の学生2名が休日の午後の1日で実施し、電気工学科の学生4名は2名とは異なる休日の午後の時間1日に加えて授業の空き時間で実施した。機械工学科と電子工学科の学生はIntelligentPadの使用経験はないが、電気工学科の学生はいずれもIntelligentPadの使用経験がある。本実験では、6名が同じ内容で実験を行った。

学生は初めに、LEGOの制御法、状態遷移図およびプログラムについて理解するために、構造の簡単な信号機の製作を行った。このときの信号機の制御プログラムは、完成したプログラムを与えている。学生は、プログラムを見ながら状態遷移図を完成させ、両者の対応関係を理解した。その後、信号機の動作を変更する課題が与えられ、状態遷移図とプログラムを変更し動作を確認した。

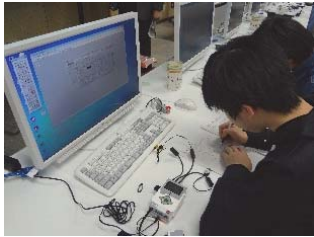
一通りの操作ができるようになったところで、3.1節に示した「ボール供給機」と「ボール発射機」の製作を課題として与えた。これらの装置を統合した「自動ボール供給式ボール発射機」に関して、学生には3.1節で示した装置を実際に動作させて見せている。それぞれの学生は2つの課題の内いずれかを選択し、完成したところでペアになった学生と協同で「自動ボール供給式ボール発射機」の完成を目指す。また、完成の条件として、3個のボールを連続して打ち出せることとした。課題に取り組むにあたりどちらの課題を選択するか、誰とペアになるかは、初めに学生同士で決めさせた。

4.2 個別学習と協調学習の様子

信号機の製作や状態遷移図とプログラムとの対応関係は、IntelligentPadを用いたことのない学生も特に問題なく理解し、作業を進めることができた。またプログラミングの経験については、次節のアンケート結果にも示すとおり、多くは卒業研究等で現在プログラミングを行っている学生であるが、まったく未経験の学生も1名いた。実験の様子を図7に示す。

図7の(a)は信号機のプログラムとその動作を確認、状態遷移図を作成している様子である。(b)は、全体の課題が与えられ、担当を決めそれぞれの課題に取り組んでいる様子である。次節のアンケート結果でも述べるが、最も時間の掛かったのがLEGOの作品の製作である。学生間の差も大きく、一方の装置が完成しているが、他方ができていないために一方が待たされることがあった。(c)は個別の装置ができあがり、プログラムを作成して動作を確認していた

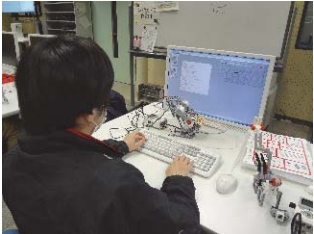
る様子である。(d)は、協調学習で2台の装置を接続し動作



(a) 信号機の製作



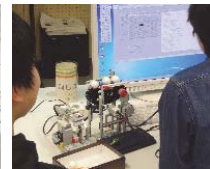
(b) 分割した課題への取り組み



(c) 個別にプログラム作成



(d) 協調学習



(e) 完成した課題作品

図7 実習の様子

を確かめている様子である。LEGOの接続ばかりでなくタイミングや状態数などプログラムの変更も必要になる。(e)は、統合し完成した課題作品である。それぞれ、性能差はあるが、3個のボールを連続して打ち出すことができた。

4.3 実習に要した時間とアンケート結果

4.2節で示した課題の製作が終了した後、アンケートを実施した。その結果を表1に示す。

プログラミングに関しては、まったく経験していない学生もいたがLEGOの制御は全員ができていた。アンケート結果でも「状態遷移図をプログラムに対応させることは簡単だった」の質問に対し、「あまり思わない」が1名いたが、「LEGOの装置を制御するプログラムは簡単だった」の質問

表1 アンケート結果

質問項目	回答
プログラムの経験年数	3年以上4名, 3年以下1名, 0年1名
使用言語	C#: 3名, C: 1名, その他1名
状態遷移図をプログラムに対応させることは簡単だった。	強くそう思う3名, そう思う2名, あまり思わない1名
LEGOの装置を制御するプログラムは簡単だった。	強くそう思う2名, そう思う4名
LEGOで装置を組み立てるのは簡単だった。	強くそう思う1名, そう思う1名, あまり思わない2名, まったくそう思わない2名
組み合わせた装置は、考えたとおりに動作した。	強くそう思う1名, そう思う2名, あまり思わない3名
LEGOで作った装置をプログラムで制御することは楽しい。	強くそう思う5名, そう思う1名
今回の実習を体験して、協同すればもっと複雑な作品ができると思った。	強くそう思う5名, そう思う1名
担当した装置について、自分で考えて装置を作り始めてから、完成までに掛かった時間	12.5時間2名, 12時間1名, 7時間1名, 3時間1名, 1時間1名
統合した装置について、統合開始から完成までに掛かった時間	3.5時間2名, 3時間2名, 1時間2名

に対しては「強くそう思う」2名または「そう思う」4名と全員が肯定的に回答している。

LEGOの課題製作では、「LEGOで装置を組み立てるのは簡単だった」に対し4名が否定的な回答をしている。最終的にできあがった作品についても「組み合わせた装置は、考えたとおりに動作した」に対し3名の学生が「あまり思わない」と回答している。一方、「LEGOで作った装置をプログラムで制御することは楽しい」という質問に対し、「強くそう思う」5名、「そう思う」1名と全員が肯定的に回答しており、達成感は強く感じている。

また、「今回の実習を体験して、協同すればもっと複雑な作品ができると思った」に対しても、「強くそう思う」5名、「そう思う」1名と全員が肯定的に回答しており、本システムは、協調学習への動機づけや各学生が協調作業に貢献しているという意識向上への効果もあるといえる。

以上をまとめると、アンケート結果の個別学習で苦勞したが課題を達成しているという回答からは、個別の課題はそれぞれ適度な難易度の独立した課題になっていることが分かる。アンケート結果の全員が達成感を感じているという回答からは、個別の課題の統合ができ協調学習ができていることが分かる。アンケート結果のさらに複雑なシステムも作ることができると感じているという回答からは、課題の統合が容易に実現できていることが分かる。

5. おわりに

本研究では、個別学習と協調学習を組み合わせた、両者の利点を合わせ持った学習支援を提案した。本提案の特徴は、協調学習における課題を複数の小課題に分けて、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で、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にある。これは、小さな課題に取り組むことが知識構成型ジグソー法のエキスパート活動に対応し、そこで学習者間で異なる基本的な知識を得て、その後ジグソー活動に対応して個別学習の成果を持ち寄りグループで1つの課題に取り組むという方法である。提案したシステムは実世界にあるIoT化された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である。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費基盤研究(C)(一般)(16K01150)を受け推進している。

参考文献

- [Aronson 96] Elliot Aronson, Shelley Patnoe: The Jigsaw Classroom: Building Cooperation in the Classroom, Scott Foresman & Co, 1996.
- [三宅 02] 三宅なほみ, 三宅芳雄, 白水始: 学習科学と認知科学, Cognitive Studies, Vol. 9, No. 3, pp. 328-337, 2002.
- [三宅 16] 三宅なほみ, 東京大学 CoREF, 河合塾: 協調学習とは, 北大路書房, 2016.
- [野口 95] 野口孝文, 田中讓: コンストラクションセットを持つマイクロワールド, 情報処理学会論文誌, Vol. 36, No. 1, pp. 152-166, 1995.
- [野口 15] 野口孝文, 千田和範, 稲守栄: 初心者から上級者までシームレスにプログラミングを学ぶことができる持続可能な学習環境の構築, 教育システム情報学会論文誌, vol. 32, No.1, pp.59-70, 2015.