RT コンポーネントを用いたジグソー法による
ロボット工学の教育手法の論文化

○林原靖男(千葉工業大学)，琴坂信哉（埼玉大学），

三宅なほみ（東京大学）．佐藤知正（東京大学）

Paper of Education Method of Robotics with Jigsaw Method by Using RT Component

Yasuo HAYASHIBARA, Chiba Institute of Technology, 2-17-1, Tsudanuma, Narashino, Chiba
Shinya KOTOSAKA, Saitama University, 255, Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama
Naomi MIYAKE, Tomomasa SATO, The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

Abstract － This paper introduces an education method of robotics by jigsaw method using RT component. Robotics contains many areas of technologies, such as mechanism, electronics, computer programming and so on. For studying robotics efficiently, we propose an education method of robotics based on jigsaw method. Jigsaw method is an efficient method to induce collaborative learning. We apply the jigsaw method to a practical training of controlling a real mobile robot. We design an education program according to the method and develop its educational tool. Specially, students can make program on RT component. RT component is a standard software component in robotic area. For using RT component, they can skip to make complex program to drive hardware. We executed an experimental lecture according the educational program. Through the experiment, we discuss the efficient of the proposed method. Furthermore, we also discuss how to write a paper of such an education method.

Key Words: Jigsaw Method, Collaborative Learning, RT Component, Robotics, Education Method

1. はじめに

ロボット工学は，今後の産業にとって期待される分野の一つであり，それを専門的に教育する大学も増えつつある．一方，ロボット工学は新しい分野であるために，他の工学分野に比べて，教育手法という観点からは十分に成熟しているとはいえない．ロボットは様々な学問分野の集合体であり，メカニズム・電気・プログラム・制御・人工知能など多くの分野を内包している．また，新たな技術も研究・開発されているため，必要となる知識もそれに合わせて変化している．結果的に，ロボット工学は教える内容が広く，頻繁な内容の更新も必要となる．これらのことが，教育の体系化を困難にしていると考えられる．

ただし，ロボットを用いた教育は，各地でロボットコンテストが行われているように，熱中して学び実体験の中で様々な知識を得ることができるという良い効果をもたらす．大学における工学教育という面においても，ロボットを用いた実習は，抽象的な学問の理解を促進するという点で効果的であると考える．

林原は，従来から自律型ロボットを用いた教育を行なってきた．1999年から，移動ロボットの設計・製作を行う教育プログラムを作成して，延べ１千台を超えるロボット設計製作実習を指導してきた．また，　教育の一環として学生を連れて参加したRoboCup世界大会では，複数部門で優勝している．これらで開発した技術や教材に関しては，講演会及び論文などで紹介している．しかし，肝心の教育手法に関しては，論文という形で公開することが難しかった．ロボットは学ぶべきことが多く，実験を構築する際は，教材の開発から行わなければならないことが多い．そのため，教育手法という観点から検討を始めて，論文にまとめるまで多くの課題があり，論文化まで至らないことが多かった．

このような問題に対して，今回，教育に造詣の深い佐藤知正氏，三宅なほみ氏，琴坂信哉氏にご助力・ご指導を受けながら，RTコンポーネント[1]及びジグソー法[2]を応用したロボット工学の教育プログラムを構築することができた．また，試験的に実習を行い，教育手法の論文化に取り組むことができた．

本稿では，「RTコンポーネントを用いたジグソー法によるロボット工学の教育手法」に関する報告とともに，その論文化に関して得られた知見に関して述べる．

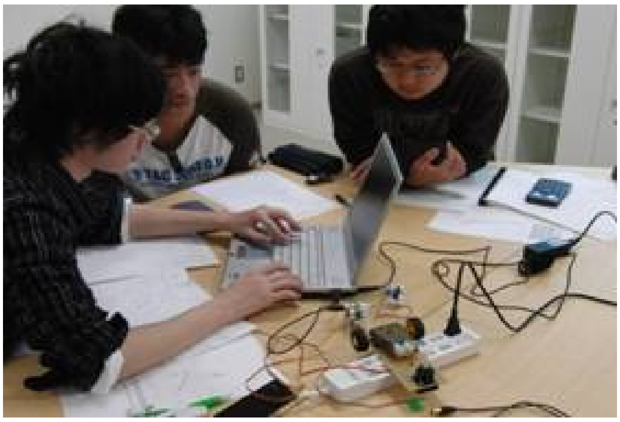

Fig.1 Photograph of Collaborative Learning with Jigsaw Method

2. ジグソー法を用いたロボット工学教育

2.1 ジグソー法

ジグソー法は，協調的な学習活動を引き起こす仕掛けとして現在世界で広く実践されている．その一つの実現の形として，学習者の知的構成，知識統合を重視した形態が積極的に検討されている．Fig.2に，本研究で採用したジグソー法による学習の流れを示す．まずは，ある課題に対して３人のジグソーグループで議論を行い，仮説を立てる．次に，ジグソーグループのメンバを３分割して新たにグループを作り，資料を用いて原理に関する調査を行う．この時，原理を３つの要素に分割して，グループ毎に異なる内容を学ぶようにする．これをエキスパートグループと呼ぶ．それぞれの原理に関して学んだ後，元のジグソーグループに戻り，３分割された原理を統合していく．このとき，ジグソーグループでは，メンバがそれぞれ固有の知識を持っているため，それを統合するには，全てのメンバが学んだ理論を説明することが必要となる．そのため，ジグソー法ではグループ学習にありがちな，何もしないで見ていることは許されない．

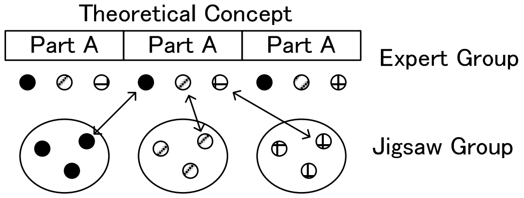

Fig.2 Jigsaw Method

2.2 ジグソー法を用いたロボット工学教育

以上のようなジグソー法を，ロボット工学の実習に応用することを考える．構築した教育プログラムをTable 1に示す．実習では，ロボットのハードウェアの製作は行わず，完成済みのハードウェアに対して計測・制御を行う．実習の対象者は，ロボット工学に関する基礎的な知識を有するが，センサの計測，モータの制御などに関してあまり経験の無い工学部２，３年生とした．ジグソー法の手法に則り，１コマ目にジグソーグループで議論して，２コマ目にエキスパートグループで学び，３コマ目以降はジグソーグループに戻って実習するような構成とした．

実習に際して，課題をはじめに提示する．その課題はFig.3に示すコンピュータ制御可能な移動台車を用いて，「直線とカーブのあるコースを走行して，壁からある距離で停止するシステムを構築する」とした．台車は玩具を応用したもので，本実習のために開発した．モータの回転を計測するセンサはない．センサは，台車の先端に距離を計測するPSD距離センサが一つ取り付けられているだけである．

エキスパートグループでは，以下の３つに関して実験を含めて学び，それをジグソーグループで統合して課題を達成させるようにした．

１）モータに加えるPWM信号のデューティ比と回転数の関係
２）距離センサの出力電圧と距離の関係
３）オドメトリの計算と制御プログラム

このような，エキスパートに分かれてそれぞれの分野に関して学び，それを統合するという流れは，多分野の技術を一つのシステムに統合していくロボットの開発手法に似ている．ただし，従来のグループ学習では，役割を決めて実習を行ったとしても，積極的に考えて動く学生と，消極的にしか参加しない学生になることが多い．また，原理に対する議論よりも，場当たり的な試行錯誤を繰り返して問題解決を図りがちである．このような問題に対して，ジグソー法による学習プログラムは，より明確に役割分担がなされて，原理に対する活発な議論がなされるのではないかと考えられる．

Table 1 Educational Program

	Content	Time
1st Lecture （Jigsaw Group）		
1	Introduction of Purpose of Study	20min.
2	Division into Jigsaw Group	10min.
3	Discussion of Solution	25min.
4	Division into Expert Group	5min.
5	Description of RT Component	30min.
2nd Lecture (Expert Group)		
1	Study of Theory	20min.
2	Experiment	50min.
3	Clean Up and Note-Taking	20min.
3rd Lecture (Jigsaw Group)		
1	Report of Experimental Report	15min.
2	Discussion of Solution	15min.
3	Solving Given Task	50min.
4	Clean Up and Note-Taking	10min.
4th Lecture (Jigsaw Group)		
1	Decision of Topic in Group	20min.
2	Showing each Topic	10min.
3	Preparation of Presentation	60min.
5th Lecture (All Student)		
1	Presentation	50min.
2	Discussion	20min.
3	Questionnaire	20min.

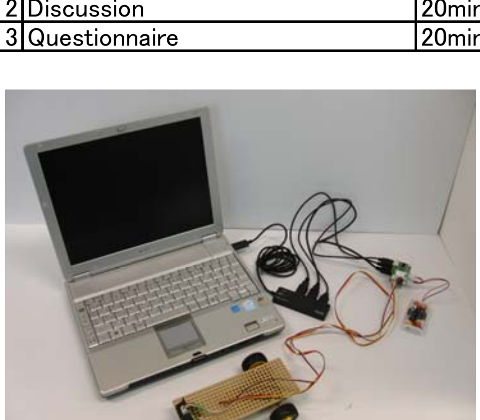

Fig.3 Educational Tool for Proposed Method

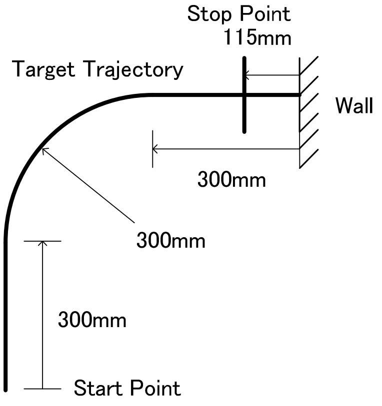

Fig 4 Target Trajectory

3. RT コンポーネント

本実習では，ロボットを３つの要素に分けて，各要素のデータを個別に収集した後，それを統合して最終的なシステムを構築する．このデータ収集において，本実習では RT コンポーネントを用いる．具体的には，エキスパートグループで個別のコンポーネントを用いて基礎的なデータ収集を行い，ジグソーグループでそれらのコンポーネントを統合することにより，課題に取り組むようにしている．つまり，エキスパートグループからジグソーグループへ移行しても，同じコンポーネントを継続的に使用することができるような仕組みとなっている．また，エキスパートグループで得た３つの知識を統合する作業と並行して，ソフトウェアのコンポーネントを統合する作業も行われる．知識とコンポーネントが一対一で対応するため，統合に際して戸惑うことが少ないと期待される．ここで，実習で使用する主な RT コンポーネントを示す．

１）モータ制御コンポーネント
２）センサ計測コンポーネント
３）統括制御コンポーネント

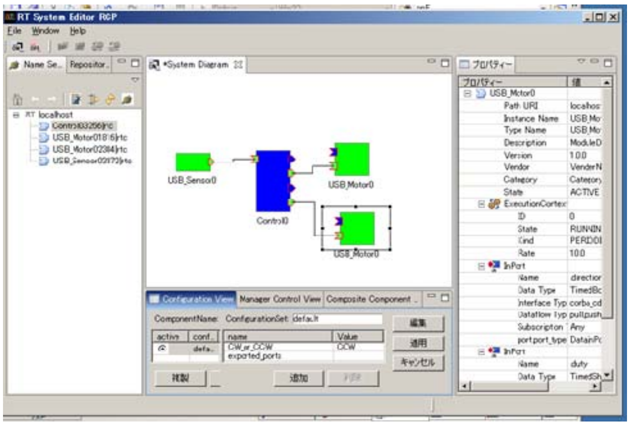

Fig.5 Connection Diagram for the Main Task

4. 試験的な授業による検証

提案する教育手法の有効性を検証するために，試験的に授業を行なった．実習に参加した学生は９名で，ロボット工学に関して，２年以上学んだ工学部学生であり，複数台ロボットを設計・製作した経験を有する．ただし，今回のような制御を中心とした実習は行っていない．PWM 信号のデューティ比とモータの回転数の関係などは，原理として知っているのみである．なお，原則的には Table1 に示した教育プログラムに従って実施したが，時間が不足したため，一部変更した部分もある．

Fig.6 Photograph of Collaborative Learning in Jigsaw Group

結果的に，３コマ目のジグソーグループで課題に取り組む時間が不足したため，4 コマ目もこれに割り当てた．最終日に４つの設問のアンケートに回答させたが，その結果は以下のとおりである．結果的に，学び方に関する感想では，ジグソー法に対して評価する意見が多く得られた．また，RT コンポーネントに関して理解できたという意見が得られた．否定的な意見は，ジグソーグループでの情報交換に関するものであった．また，建設的な批判のほとんどは，時間の少なさに関するものであった．

１）今回学んだこと（計１７）
・RT コンポーネントの使い方
・ジグソー法を用いた学習法
・理論からロボットを制御する方法

２）自分がエキスパートグループで担当した以外のテーマに関して理解できたこと（計１２）
・時間制御を利用した移動計画法
・センサから出力される電圧値と距離の関係
・RT コンポーネントによるプログラミング
・PSD の扱いづらさ
・思いの外，モータやセンサの戻り値が線形であること

３）今回の学び方についての感想
■肯定的回答（計９）
・ジグソー法を用いたのは良かったと思った.
・短期間で目的を達成するのにはとても適している.
・本題である RT コンポーネントの学習に早く移れた.
・ジグソー法の流れはとても理にかなっているので良い.
■否定的回答（計２）
・情報をうまくまとめられないと混乱して作業が進まなくなる.
■建設的批判回答（計４）
・今回の２～３倍の時間をかけてじっくりとやれたら良かった.

４）今ならこの課題にあなたはどう取り組むのが良いと思うか. （回答数１３）
・ステップごとに実機を使った走行を行ないたい.
・情報共有を行って，他の人のやってきたことに対してもっと理解を深める.
・走行実験を複数回行う.
・シミュレーションも取り入れたほうが良い.
・エキスパートの内容を交換して実施する.
・方針を早く決めて，情報を共有し，早めにテスト走行をする.
・センサの値をしっかり計測して，計算ミスをなくす.

5. 教育手法に関する結果と考察

結果をまとめると，以下のようになる.
１）ジグソー法を活用したロボット教育手法を提案して，試験的な実習を行なった.
２）実習を行うにあたり，USB で駆動する移動ロボットの教材を開発した.
３）実習をスムーズに行えるように，RT コンポーネントを応用した実習環境を開発して，効果的であることを確認した.
４）実習後のアンケートには，今回の手法は効率が良く，理にかなっているとの意見が多くあった．教育法として，評価する意見が多く得られた.
５）実習の時間が不足していた．特に議論の時間が不足していたため，意見がまとまらないまま課題に取り組む様子が見られた．余裕を持って行うためには，２倍程度の時間が必要であると考えられる．また，議論の内容を発散させないように，教育プログラムを工夫することも必要であると感じた.
６）ジグソーグループで大いに議論しており，協調学習の効果が見られた.

指導した林原は，多くのロボット製作・制御を指導しているが，それまでの実習では見られなかったほど，学生が議論を重ねる様子が見られた．また，場当たり的な試行錯誤ではなく，原理に関して議論を行う姿が多く見られた．さらに，グループ学習にありがちな消極的にしか参加しない学生も見られなかった．これに関して，ジグソー法を用いた本手法は，単純にグループでロボット制御を行うような実習に比べて，優れていると考える．ジグソー法は，議論することで，原理をより深く理解するという効果があり，知識の持続時間が長いと言われている．今後，継続的に調査を行い，その点に関しても検討する予定である.

6. 教育手法の論文化に関して

論文化に際しては，新規性，信頼性，了解性，有用性などいくつか満たさなければならない項目がある．今回，新規性に関しては，題目でもある「RT コンポーネントを用いたジグソー法によるロボット工学の教育手法」が，それに相当する.

一方，信頼性に関しては，学生が学びの中でどのように行動して，考えたかという客観的なデータをまとめることによって示した．先に示したアンケートはその一例である.

なお，学びの過程をデータとして残すために，実習者のメモを毎回提出させていたが，実験データや途中の計算式が書かれているのみで，後で見返しても，「どのように考えたか」を追跡することが難しかった．また，全過程をビデオで撮影したが，これに関しても，一人ひとりの会話の内容まで保存しないと，どの時点でどのように考えたかを検証することができないことが分かった．これらの点に関しては，今後検討して改善していくことが必要であると考える.

参　考　文　献

[1] Noriaki ANDO, Takashi SUEHIRO, Kosei KITAGAKI, Tetsuo KOTOKU, Woo-Keun Yoon, "RT-Middleware: Distributed Component Middleware for RT (Robot Technology)", 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2005), pp.3555-3560, (2005)

[2] Miyake, N. and Shirouzu, H.: A collaborative approach to teach cognitive science to undergraduates: The learning sciences as a means to study and enhance college student learning’ Psychologia, 18(2), pp.101-113. (2006)