

ブロック線図に基づくロボット制御に関する教員講習会の実践

須田 孝之・鬼藤 明仁

**Practice of Teacher Training Workshop on Robot Control
utilizing Block Diagram**

Takayuki SUDA・Akihito KITO

横浜国立大学教育人間科学部紀要 I (教育科学) No.17 別冊

Reprinted from
THE EDUCATIONAL SCIENCES
Journal of the College of Education and Human Sciences
Yokohama National University
No.17, FEBRUARY, 2015

ブロック線図に基づくロボット制御に関する教員講習会の実践

Practice of Teacher Training Workshop on Robot Control utilizing Block Diagram

須田孝之*, 鬼藤明仁**

Takayuki SUDA and Akihito KITO

キーワード：制御学習，教員講習会，ブロック線図，ロボット制御

Keyword: Control learning, Teacher training workshop, Block diagram, Robot control

1. はじめに

本研究の目的は、GUI環境でのフィードバック制御の題材として、ブロック線図に基づくロボット制御を取り上げた教員講習会を実践し、その有用性を検討することである。

多くの工業製品はコンピュータを組み込むことで、機器の管理・制御が行われている。このような制御システムの内容を取り扱う、制御学習は情報教育の重要な分野となっている。フィードバック制御は、制御後の出力結果と目標値との比較を通して制御を行うものであるが、身近な家電製品でも使用されており、制御学習を進める上で必須の内容になるといえる。

フィードバック制御に関する学習活動が学校教育において活発に行われることが期待されるが、そのために教員が教材や指導方法等についての理解を高める有力な機会の一つとして講習会をあげることができる。筆者らは先行研究¹⁾において、フィードバック制御をテーマとした教員講習会で使用するためのテキストを開発し、試行的に講習会を実施しているが、フィードバック制御の学習活動で用いられるC言語に関して、使用することの難しさが課題として見出されている。

工業製品における制御システムはC言語で開発されていることが多く、そのことに準じてフィードバック制御の実習に際してもC言語が用いられるケースは少なくないと考えられる。しかし、フィードバック制御の学習を担当するために、C言語プログラミングを習得しなくてはならないのでは、元々プログラミングに精通しているのではない教員にとっては大きな負担となるだろう。

フィードバック制御の実習の際に、C言語プログラミングの能力が必要となる場合、生徒にとっても相当の負担になると考えられる。C言語の学習を支援する方法については先行研究でいくつか挙げられている。

例えば、視覚的にプログラムの動作を確認できるアプリケーションを用いる方法^{2),3)}や、Web^{4),5)}・CAI⁶⁾・オーサリング⁷⁾のシステムを用いる方法が提案されている。しかし、授業時間数が限られることも多く、C言語の学習が困難となることは起こりうるだろう。

* : 神奈川県立平塚工科高等学校

** : 横浜国立大学教育人間科学部技術教育講座

そこで本研究では、GUI (Graphical User Interface) の環境で、C 言語プログラミングを必要としないフィードバック制御の実習を行うことを着想した。GUI 環境での制御学習に関しては菊池・鎮⁸⁾の研究があるが、フィードバック制御を扱ったものはこれまでのところ見受けられない。

本研究では、GUI 環境のフィードバック制御のソフトウェアを使用して、ブロック線図に基づくロボット制御の教員講習会を実践し、事前・事後調査を通してその有用性を検討することにした。

2. 教員講習会の実践

2.1. 使用教材

ソフトウェアに MathWorks 社の MATLAB/Simulink Version 2012a、ハードウェアに LEGO 社の Mindstorms NXT を採用した。

MATLAB/Simulink は、GUI 環境でブロック線図を作成し (図 1 参照)、フィードバック制御システムの設計及びシミュレーションを行うことができる。Version 2012a では、Mindstorms NXT に対応した C 言語コード自動生成機能を有しており、C 言語プログラミングを行うことなく、設計した制御システムをハードウェア側に転送し、ハードウェアを管理・制御することが可能となっている。

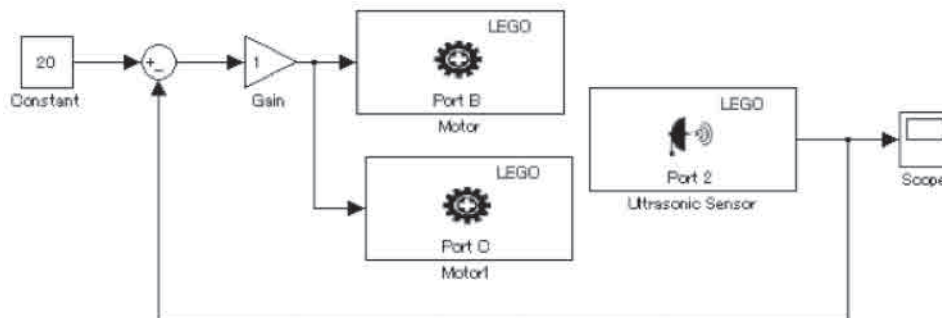


図 1 MATLAB/Simulink のブロック線図例 (総合課題)

LEGO 社の Mindstorms NXT はレゴブロックをベースとしており、加工等の作業の必要がなく、組み立て作業のみで容易に、図 2 のようなロボットのハードウェアを製作することができる。図 3 に、プログラムデータを転送している様子を示す。プログラムの不具合等でハードウェアの損壊が生じた場合の修理も容易である。ハードウェアの製作が容易で、製作時間が短くなることにより、講習会に参加する教員がフィードバック制御自体の学習により専念できると考えられる。

2.2. 教員講習会の計画

先行研究¹⁾において制作した教員講習会テキストを、C 言語プログラミングに触れている部分について、MATLAB/Simulink Version 2012a を用い、C 言語プログラミングを行うことなく、ハードウェアを管理・制御するように修正して使用することにした。テキストの構成は「制御概説」、「フィードバック制御について」、「MATLAB/Simulink について」、

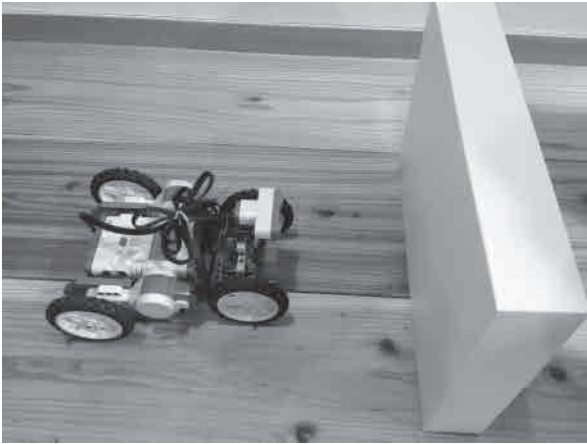


図 2 Mindstorms NXT のロボット例
(総合課題)

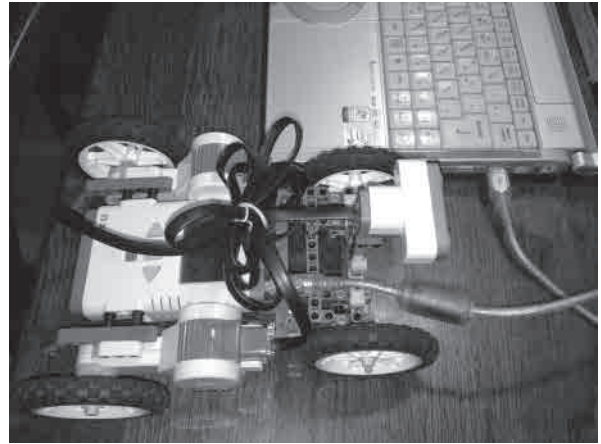


図 3 プログラムデータの転送

「MATLAB/Simulink による Mindstorms NXT のロボット制御」, 「総合課題」の全 5 節となった。

教員講習会の計画を表 1 に示す。第 1 節では、制御の定義等を学習する。制御システムに対する理解を深めるためにシーケンス制御の基本的な内容についても取り扱う。第 2 節では、ブロック線図や外乱等を学習する。フィードバック制御の主な制御方法であるオンオフ制御, P 制御, PI 制御, PID 制御の特徴を、ブロック線図を用いて理解する。第 3 節では、MATLAB/Simulink の機能及び基本操作を学習する。また、MATLAB/Simulink を用いた P 制御, PI 制御, PID 制御のシミュレーション作業を行う。第 4 節では、MATLAB/Simulink による Mindstorms NXT のロボット制御の基礎を学習する。モータ制御や制御構文についても取り扱う。第 5 節では、総合課題として自動衝突回避四輪ロボットを製作する (図 2 参照)。P, PI, PID 制御の各制御システムの設計, それによるロボットの制御実習を行う。挙動の確認とチューニングについても併せて学習する。なお、Mindstorms NXT による自動衝突回避四輪ロボットは、半完成の状態 で用意し、受講者がロボットの製作と制御システムの設計とにバランスよく時間を掛けられるようにした。

教員講習会の時間は 8 時間とした。途中、10 分の休憩を 2 回、60 分の昼休みを設けている。午前 8 時 30 分に集合し、準備及び事前調査後に講習会を開始、講習会の終了後に片付け及び事後調査を行い、午後 5 時に解散することを想定している。

2.3. 事前及び事後調査票の作成

本教員講習会の有用性について、受講する教員を対象に事前調査と事後調査とを実施し、検討することにした。作成した事前調査票の項目内容を表 2 に、事後調査票の項目内容を表 3 に示す。

事前調査では、制御学習に関する経験の有無を調査する。授業で教えた経験, 実習を担当した経験, 講習会に参加した経験, 高校・大学時代に学んだ経験の有無を、シーケンス制御とフィードバック制御のそれぞれについて問うことにし、全 8 項目を設定した。回答形式は、「はい」、「いいえ」の 2 件法とした。

表 1 教員講習会の計画

時間	節	内容
30 分	1. 制御概説	<ul style="list-style-type: none"> ・ 制御の定義 ・ シーケンス制御 ・ フィードバック制御
70 分	2. フィードバック制御について	<ul style="list-style-type: none"> ・ ブロック線図： 風呂の自動湯沸かし制御を例にブロック線図について説明 ・ 外乱： 外乱の説明と対策 ・ ON/OFF 制御： 動作とその問題点の確認 ・ PID 制御： P・PI・PID 制御のブロック線図とその挙動の説明
10 分	休憩	
90 分	3. MATLAB/Simulink について	<ul style="list-style-type: none"> ・ MATLAB/Simulink の説明： 機能の紹介，基本操作 ・ P・PI・PID 制御のシミュレーション
60 分	昼休み	
90 分	4. MATLAB/Simulink による Mindstorms NXT のロボット制御の基礎	<ul style="list-style-type: none"> ・ Mindstorms NXT のボタンの状態を画面に表示 ・ Mindstorms NXT のセンサの値を表示 ・ モータの回転 ・ 制御構文（IF 文）
10 分	休憩	
120 分	5. 総合課題：自動衝突回避四輪ロボットの制御	<ul style="list-style-type: none"> ・ 課題の説明 ・ 四輪ロボットの製作 ・ P・PI・PID 制御システムの設計と挙動の確認 ・ チューニング

事後調査では，本教員講習会においてフィードバック制御の学習に関する教材や指導方法の理解が高められたのかを調査する。まず，「講習に対する評価」として，フィードバック制御の教材を知ること，学習活動を一通り体験すること，学習指導法を学ぶことができたかを問うことにし，3項目を設定した。次いで，「講習で身に付いたこと」として，シーケンス制御，フィードバック制御，ブロック線図，オンオフ制御，PID制御が理解できたのか，5項目を設定し，ソフトウェアのMATLAB/Simulinkの使い方，チューニングの方法が身に付いたのか，2項目を設定した。事後調査の質問項目は計10項目となった。回答形式は，「とてもそう思う」，「ややそう思う」，「あまりそう思わない」，「まったくそう思わない」の4件法とした。

また，併せて自由記述形式の回答欄を設け，受講後の感想を記述してもらうことにし，上記事後調査項目の回答の背景を考察する材料とすることにした。

2.4. 対象及び調査方法

2012年8月に神奈川県内M工業高校で教員講習会を実施した。工業高校の機械科や電気科の教員9名が受講した。教員経験年数が2年から37年と幅広い層の教員であった。集計の都合上、教員経験年数の少ない方からA～Iと順次アルファベットを付した。なお、講習会当日に急遽の公務で受講できなかった教員Gについては、後日、同様の講習会を行っている。

教員講習会の開始前と終了後に、事前調査及び事後調査をそれぞれ実施した。講師及び調査は筆者の須田が担当した。

3. 結果と考察

事前調査の結果を表2に示す。表2から、受講者AとBのように、シーケンス制御とフィードバック制御に関して授業や実習を担当したことも、高校・大学時代や講習会で学んだこともない受講者がいることがわかる。

表2 事前調査の結果

	受講者								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	2	3	5	5	10	19	20	33	37
シーケンス制御を授業で教えたことがありますか	0	0	0	0	0	1	0	0	1
シーケンス制御の実習を担当したことがありますか	0	0	1	0	0	0	0	1	1
シーケンス制御の講習会に参加したことがありますか	0	0	0	0	1	0	1	0	1
高校・大学時代にシーケンス制御を学んだことがありますか	0	0	0	1	1	1	1	0	0
フィードバック制御を授業で教えたことがありますか	0	0	0	0	0	1	0	0	1
フィードバック制御の実習を担当したことがありますか	0	0	0	0	0	0	0	0	1
フィードバック制御の講習会に参加したことがありますか	0	0	0	0	1	0	0	0	0
高校・大学時代にフィードバック制御を学んだことがありますか	0	0	0	0	0	1	1	0	0

注) 1: はい, 0: いいえ

受講者のアルファベット下の数字は、教員経験年数を示す。

また、受講者 D や E, G のように、シーケンス制御やフィードバック制御に関して、高校・大学時代や講習会で学んだことはあるものの、授業や実習を担当したことはない受講者がみられる。一方、受講者 F のように、シーケンス制御とフィードバック制御に関し、高校・大学時代に学んだことがあって、授業で取り扱ったことのある受講者もいることがわかる。ただし、受講者 F は、シーケンス制御やフィードバック制御の実習を担当したことはないようである。

受講者 I は、シーケンス制御やフィードバック制御に関して、高校・大学時代や講習会で学んだことはないものの、授業で取り扱ったり実習を担当したりする経験がある。I は教員経験年数が 37 年と長く、その中で独学により制御学習に関する教材や指導方法についての知識を身に付けたのではないかと思われる。

以上のような受講者を対象に、以下、事後調査の結果について考察を行う。事後調査の結果を表 3 に示す。

表 3 事後調査の結果

	受講者								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	2	3	5	5	10	19	20	33	37
【講習に対する評価】									
フィードバック制御の教材を知ることができた	3	4	3	4	4	4	3	3	4
フィードバック制御の学習活動を一通り体験できた	4	4	3	3	4	3	3	3	3
フィードバック制御の学習指導法を学ぶことができた	4	3	3	4	4	3	3	3	4
【講習で身に付いたこと】									
シーケンス制御がどういうものを理解できた	2	3	3	3	4	4	4	3	4
フィードバック制御がどういうものを理解できた	3	4	3	4	4	4	4	3	4
ブロック線図がどういうものを理解できた	4	4	3	4	4	4	3	3	4
オンオフ制御がどういうものを理解できた	3	4	3	3	4	4	3	3	4
PID 制御がどういうものを理解できた	3	4	3	4	4	4	3	3	4
ソフトウェア「MATLAB/Simulink」の使い方が身に付いた	3	4	3	4	3	3	3	3	3
チューニング方法が身に付いた	2	3	3	3	3	3	3	3	3

注) 4: とてもそう思う, 3: ややそう思う, 2: あまりそう思わない, 1: まったくそう思わない

表3によれば、「講習に対する評価」に関して、全ての質問項目に全受講者が、「4:とても思う」もしくは「3:やや思う」との回答であった。これは全受講者が肯定的な評価をしたことを意味している。受講した教員にとって、本教員講習会がフィードバック制御の教材や学習活動、学習指導法を学ぶ上で有用であったことが示唆される。

「講習で身に付いたこと」に関しては、シーケンス制御、フィードバック制御、ブロック線図、オンオフ制御、PID制御を理解できたのかについての5項目に、9名中8名とほとんどの受講者が、「4:とても思う」もしくは「3:やや思う」との回答であった。受講したほとんどの教員が、本教員講習会により、これらのフィードバック制御に関する知識面についての理解を高められたと考えられる。また、ソフトウェアのMATLAB/Simulinkの使い方、チューニングの方法が身に付いたのかについての2項目に、同様にほとんどの受講者が、「4:とても思う」もしくは「3:やや思う」との回答であった。ほとんどの受講者が、本教員講習会により、これらのフィードバック制御に関する技能面についての理解を高められたと推察される。

受講者Aの1名のみ、「シーケンス制御をどういうものを理解できた」、「チューニング方法が身に付いた」の2項目について「2:あまりそう思わない」との回答であった。受講者Aは、制御学習に関して授業や実習を担当したことも、高校・大学時代や講習会で学んだこともないが、このような受講者に対しては、制御システムの概要やチューニングにおけるパラメータ調整等をより丁寧に学習させる必要があるのかもしれない。

事後の受講者の自由記述例を表4に示す。受講者Bの「MATLAB/Simulinkを用いることでプログラムの苦手な生徒も制御学習に入りやすいと感じた」、受講者Dの「プログラミング言語を使わずにプログラミングができて便利だった」、受講者Iの「制御の学習ではC言語は生徒にとってブラックボックスで良い」といった記述が注目される。これらの記述から、本教員講習会の特徴すなわち、GUI (Graphical User Interface) の環境で、C言語プログラミングを必要としないフィードバック制御の実習であることが、受講者に支持されていることがわかる。

また、受講者Aの「制御系の実習・座学を教えたことがないので、今回の内容を今後役立てるように自分の中で消化したい」、受講者Bの「チューニングの設定値の説明があればもっと簡単に行えたと思う」との記述が注目される。AとBは、制御学習に関して授業や実習を担当したことも、高校・大学時代や講習会で学んだこともない受講生であった。このような受講者に対しては、より内容を消化したり、簡単にチューニングに取り組めたりできるように、講習会の学習活動の内容を工夫し対処していく必要があると考えられる。フィードバック制御の内容は、普通高校における情報科⁹⁾でも取り扱われており、中学校における技術・家庭科技術分野¹⁰⁾にも関わっている。今後、これらを担当する教員を含めて受講対象者を拡大していくためには、制御学習に関する受講者の経験の多寡によらないように、対応していく必要がある。例えば、受講者Gの記述に「他校の先生方と一緒に、情報交換をしながら楽しく行いたかった」とあるが、講習会の学習形態をグループごととし、情報交換会を組み入れながら受講者間で学び合える仕組みを作ることの一つの手段になると考えられる。

表 4 事後の受講者の自由記述例

受講者	自由記述の内容
A	制御系の実習・座学を教えたことがないので、今回の内容を今後役立てるように自分の中で消化したい。
B	チューニングの設定値の説明があればもっと簡単に行えたと思う。MATLAB/Simulink を用いることでプログラムの苦手な生徒も制御学習に入りやすいと感じた。
D	プログラミング言語を使わずにプログラミングができて便利だった。実際にできた C 言語のソースを見てみたかった。チューニングで理想的な動きを見つけるのが難しかった。
E	C 言語を十分に理解していないと LEGO の本格的な制御はできないと思っていた。今回のソフトを使うことで生徒がフィードバック制御の学習を行う機会が増え、C 言語の学習にもつながると思われた。
F	制御学習の大学と高校の内容にギャップがあり、生徒が戸惑いを感じている。今回のような内容はそのギャップを埋めるのに有効と思われる。さらに内容を研究し、良い授業が展開できればと思います。
G	MATLAB/Simulink を用いることでシミュレーション結果を眼で見ることができてわかりやすかった。大学や研究機関では標準的なソフトなので、進学を考える生徒にこのようなソフトがあることを伝える必要があると思う。 予算があれば実習に取り入れていきたい。他校の先生方と一緒に、情報交換をしながら楽しく行いたかった。夏期休業中も校務のため時間を取ることが難しい。もっと色々な講習が受けられるような時間的余裕が欲しいと思った。
I	制御対象・ソフトが異なればその都度勉強しないと行けない。Simulink は初めてだったので勉強になった。制御の学習では C 言語は生徒にとってブラックボックスで良い。

4. おわりに

本研究は GUI (Graphical User Interface) の環境でのフィードバック制御の題材として、ブロック線図に基づくロボット制御を取り上げた教員講習会を実践し、その有用性を検討するものであった。教材の選定、講習計画の立案、講習会の実践及び事前・事後調査の実施を行った結果は次のようにまとめられる。

- ①事後調査から、受講した教員にとって、本教員講習会がフィードバック制御の教材や学習活動、学習指導法を学ぶ上で有用であったことが示唆された。また、受講したほとんどの教員が、フィードバック制御に関する知識面及び技能面についての理解を高められたことが推察された。
- ②事後の自由記述から、本教員講習会の特徴すなわち、GUI の環境で、C 言語プログラミングを必要としないフィードバック制御の実習であることが、受講者に支持されていることがわかった。
- ③また、制御学習に関する事前経験のない受講教員に対しては、制御システムの概要やチューニングにおけるパラメータ調整等についてより丁寧に学習を進行していく必要があると推察された。

今後は、制御学習に関する事前経験のない受講教員に対して講習会の学習活動の内容を工夫し対処していくとともに、普通高校情報科教員や中学校技術・家庭科技術分野教員に呼び掛け、受講対象者を拡大させながら講習会の実践を積み重ねることを考えている。

参考文献

- 1) 須田孝之, 鬼藤明仁, 横尾恒隆: ブロック線図に基づくロボット制御に関する教員講習会テキストの開発, 横浜国立大学教育人間科学部紀要 I (教育科学), No.15, pp.35-45 (2013)
- 2) 山本芳人: 流れ図とソースプログラムを対応させたプログラミング学習支援システムの利用, 教育システム情報学会論文誌, Vol.20, No.4, pp.380-384 (2003)
- 3) 松村和哉, 渡部治朗, 寺内俊, He Aiguo: ソフトウェア可視化手法を用いた初心者向け C 言語教育ツール, 電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学 109(268), pp.41-46 (2009)
- 4) 高橋参吉, 佐野繭美, 橋本はる美, 牧野純, 松永公廣: Web 問題集を使った C プログラミングの授業設計, 教育システム情報学会誌, Vol.20, No.4, pp.392-397 (2003)
- 5) 佐野繭美, 橋本はる美, 高橋参吉, 松永公廣: 教育実践による C プログラミング授業法の比較, 教育システム情報学会誌, Vol.23, Vol.2, pp.76-81 (2006)
- 6) 松下孝太郎, 年森敦子, 馬場裕: 教員養成課程における CAI 教材作成教育の実践, 教育システム情報学会誌, Vo.19, No.4, pp.287-291 (2002)
- 7) 米盛徳市, 呉屋良武: 工業高校向け C 言語オーサリングシステムについて, 電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学 93(405), pp.1-8 (1993)
- 8) 菊地章, 鎮革: プログラムによる計測・制御学習のための CUI プログラミング環境の構築, 日本産業技術教育学会誌, Vol.54, No.2, pp.59-67 (2012)
- 9) 文部科学省: 高等学校学習指導要領解説情報編, 開隆館出版 (2010)
- 10) 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 (2008)

