

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：54401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23501086

研究課題名(和文) 自律型ロボット教材とシーケンス制御を結合したFA一貫教材の開発

研究課題名(英文) Development of FA teaching material unified sequence control with autonomous robot

研究代表者

金田 忠裕 (Kaneda, Tadahiro)

大阪府立大学工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：80259895

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：メカトロニクス教材は、学習すべき多様さから、学習項目を絞って開発されている。本研究は、自律型ロボットとFAシステム構築のためのシーケンス制御の両方を学習するメカトロニクス教材を開発することを目的とする。申請者はFA用の拡張機器として、組み込みマイコンで動作する自動倉庫やロボットアームを開発した。さらにラダー図からC言語コードを生成する制御ツールC-ladderを開発し、FA疑似運転を可能とした。

研究成果の概要(英文)：For mechatronics with the learning diversity, the teaching materials are generally developed with a focus on specific point. In the present study, we aimed the simultaneous learning of autonomous robot and sequence control. Concretely, the automatic warehouse and robot arm operating with embedded microcomputer were prepared as the FA extension devices. In addition, the FA pseudo operation was enabled by the control tool C-ladder which generates the C language from the ladder diagram.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学 科学教育

キーワード：メカトロニクス教材 工学教育 FA

1. 研究開始当初の背景

工業高専は、中堅技術者を育成する教育機関であるが、周りの状況を踏まえながら、時代に応じた新しい実験実習を検討する必要がある。工場内の現場では、戦後 FA 技術を導入し、その基礎実習として学校現場では FA 教材を用いることが多い。シーケンス回路（リレー）⇒シーケンサ（PLC）⇒マイコンとその時代に応じた技術が教えられてきたが、マイコン制御の学習は機械系の技術者には難しく、その学習の容易さから現在はシーケンサに復帰する現場の動きもある。

FA 用学習教材として関連する 2 つの教材を取り上げる。まずオムロン製のベーシック FA 学習キット（FAB-KM002/-KM003）であるが、ベルトコンベアやリレー、ランプなどをシーケンサ（PLC）により制御することができる。パソコンを用いることでラダー図を組むことが可能となる。シーケンサも製造会社によって多少の差があるが、実際に使用している制御機器を使って学習する効果は大きい。このように機械系制御技術者にとって必須の制御技術を学習することが可能であるが、非常に高価であるのが難点である。これに対して、ドイツのフィッシャーテック製のブロックで組み立てた空気圧で動く加工ラインは、ブロックを用いることで遊び感覚で学習が可能であり、組み換えにより汎用性が広がり、安価であるが、工場ラインなどを作るとなると費用もかかる。またプログラミングは LLWIN という専用ソフトがついているが、ラダー図を組むことができない。

一方、各種ロボットコンテストの開催、中学校技術科の新学習指導要領の改訂に伴い、自律型ロボットの教材開発が増えてきている。自律型ロボット教材は、数種類のセンサを用いた計測、モータ制御、タイルプログラミングや C 言語などを用いたアルゴリズムの学習と学習環境が整ってきており、年齢に応じた組み込みマイコン教育としての基礎教育にもなりうる。さらに社会人向けの組み込みマイコン講座も要求が多く、本校でも実施している。

これまで研究代表者は、自律型ロボットを用いた段階的な学習に関する研究や設計製作教育に関する研究を行ってきた。また各種ロボットコンテストへの指導もあわせて実施している。さらにリレーシーケンス制御やシーケンサを用いた制御実習などの指導もおこなってきた。学校現場では、マイコンやシーケンサなどの制御機器を別のものとして教授するのではなく、一貫性のあるものとして、カリキュラム開発をする方が、技術者として現場に送り込んだ後は、それぞれの良い点を組み合わせて制御装置を構築することが可能となる。自律型ロボット、マイコン制御できるミニ FA システム、シーケンス制御装置など、これまで個別の教材キットはあっても一貫したシステム教材は存在しなかった。経済的にもスペース的にも自律型ロボ

ットから FA 学習まで一貫した教材で学習することが求められている。

2. 研究の目的

本研究では、自律型ロボット教材のノウハウを活かして FA を学習することができる一貫した教材を構築することを目的とする。そこで、下記の項目を学習することが可能な教材開発と学習環境を構築する。

①自律型ロボットで用いる組み込みマイコンで FA システムを学習する。FA システムを構築できる各種周辺機器を開発し、組み込みマイコンに接続して制御をする。

②組み込みマイコンを用いたシーケンス制御プログラムを学習する。組み込みマイコンに付属しているタイルプログラム、C 言語で、制御することも体験するが、シーケンサを用いずに組み込みマイコンでラダー図を描くことが学習可能な環境を構築する。

③FA システムを構築し、疑似運転を学習する。開発した各種周辺機器を用いて、FA システムを構築し、疑似運転をおこなう。

3. 研究の方法

(1) FA 用各種機器の製作

自律型ロボット教材で利用している組み込みマイコンで制御が可能な FA 用各種機器を製作する。FA 実習で用いられている各種機器を調査し、本研究の小型モデルとして製作が可能かどうかを判断する。周辺機器として、よく用いられるものに、ベルトコンベア、自動倉庫、自動搬送車（AGV）、ハンドロボットなどがあげられる。また、空気圧を利用したプレス機器などもあり、駆動を伴わないものとしては警報機なども必要となる。仕様条件としては以下ようになる。①組み込みマイコンで制御が可能である（電源）②卓上でおこなえる（スペース）③機器の仕組みがわかりやすいこと（機構・構造）④FA システムが構築できる（種類）

次に決定した仕様をもとに、実際に製作する。仕様条件としてあげた 4 つの項目に合致するように製作をおこなう。FA システムとして擬似的に運転が可能な機器の種類としてはベルトコンベア、自動倉庫やハンドロボットは最低限の必要なものであると想定している。電源は直流 12V か交流 100V で駆動が可能なものとする。交流で駆動する場合は汎用リレー回路を用いることにする。

(2) ラダー図を用いた制御プログラムツール

想定している組み込みマイコンは、ダイセン電子工業製の自律型ロボット TJ3 をベースにした TJ3-Core である。これは専用ソフト C-style を用いることでプログラミングが可能となり、各種ロボット競技会で活躍している。これはさらに C-code を用いることで、C 言語で書くことも可能となり、段階的なプログラミング学習が可能となる。ラダー図はシーケンス制御にかかせない図法であり、これを描くことで、C 言語プログラムが生成でき

るような変換プログラムを開発する。ラダー図からアセンブリプログラムを生成するプログラムが開発されているが、これを参考にC言語プログラムへの変換プログラムを作成する。製作した周辺機器を実際に単独で駆動制御し、作成した制御プログラムで駆動できるかどうかを確かめ、不具合があれば周辺機器の改良をおこなう。

(3) 疑似FA 運転

FAシステムを構築し、疑似運転をおこなう。製作したベルトコンベア、ハンドロボット、自動倉庫などを用いてFAシステムを構築し、疑似運転をおこなう。また幾つかのシステムをあわせて、大きなシステムをつくることも可能となる。高専の学生実験で使用できるように教材テキストを作成する。

4. 研究成果

(1) FAシステムと周辺機器

筆者は、ダイセン電子工業と共同で、図1に示すFAシステムを開発した。PICマイコンであるe-Gadget-core(図2)を中核とし、ベルトコンベア、パトライト、4桁の7セグメント表示器、ブザー、各種スイッチを搭載している。またFAシステムは付属されている図3に示す制御ソフトC-codeでプログラムを作成することが可能である。

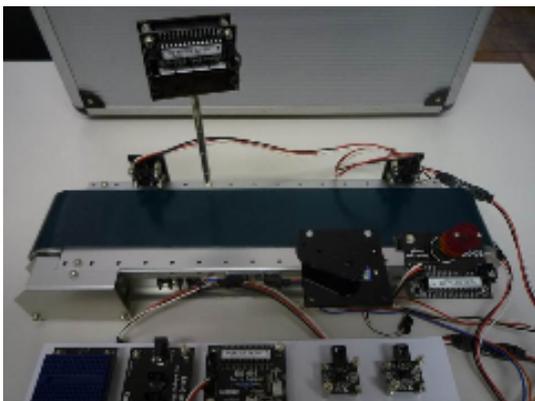


図1 FAシステム



図2 e-Gadget-core

次にFAシステムの周辺機器として図4に示す自動倉庫を製作した。自動倉庫は横方向(X軸)と縦方向(Y軸)にはステッピングモータを、奥行き方向(Z軸)にはDCモータを利用している。動作させるには付属されている図5に示す制御ソフトC-styleの画面でmoveという関数を利用する。また図3に示したC-codeでもプログラム作成が可能である。

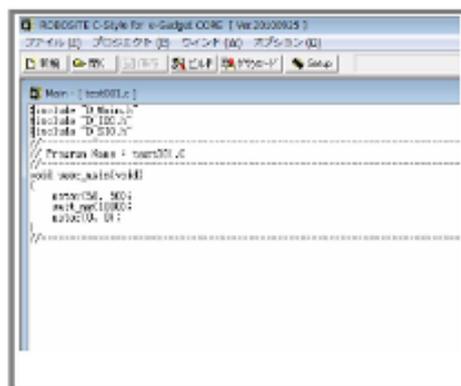


図3 C-codeの画面

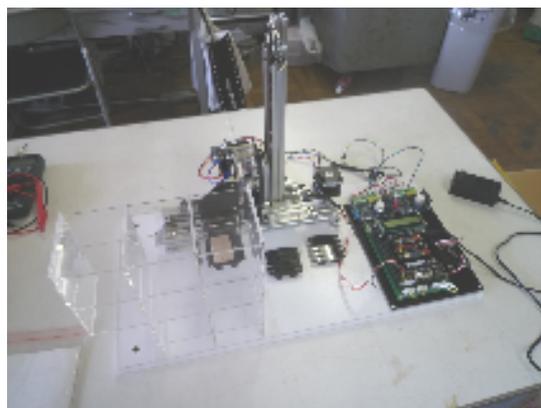


図4 自動倉庫

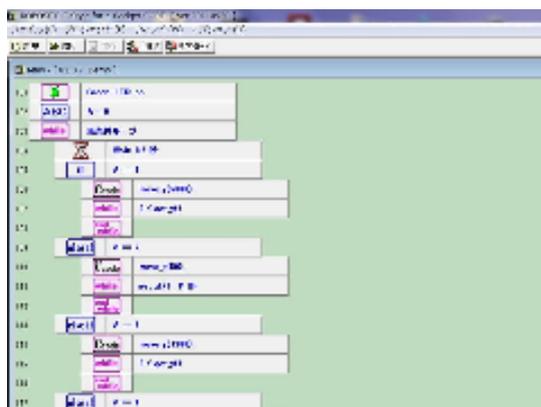


図5 C-style画面

さらに周辺機器として図6に示す直交座標型ロボットアームと図7に示す円筒座標型ロボットアームの2種類を作成した。直交座標型ロボットアームは図8に示すようにラックピニオン機構を用いた1軸ユニットを3つ組み合わせることで様々な形態に組み立てる

ことが可能となる。

これに対して、円筒座標型ロボットアームは、回転部にサーボモータを利用し、1軸ユニットと組み合わせて構築することができる。ただし、標準の e-Gadget-core では2つしかモータを制御できないので、ロボットアームを制御する場合は、6ch 制御ボードを利用して制御モータ数を増やす必要がある。

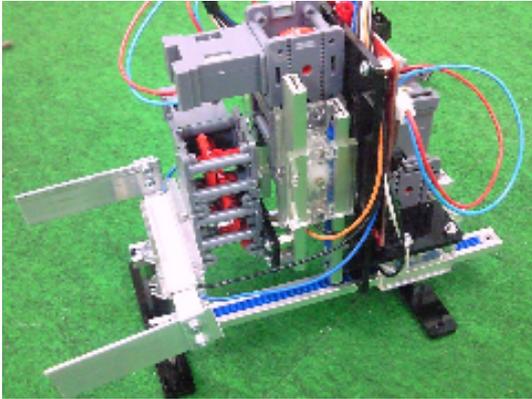


図 6 直交座標型ロボットアーム

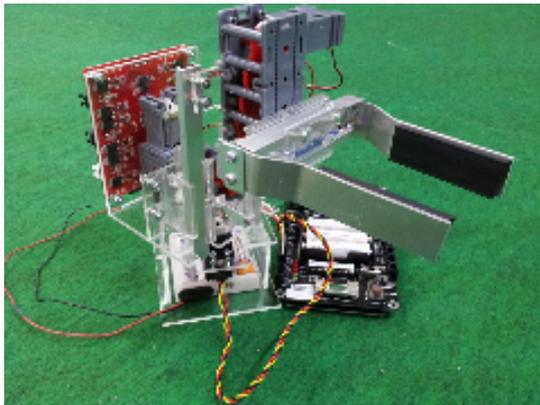


図 7 円筒座標型ロボットアーム

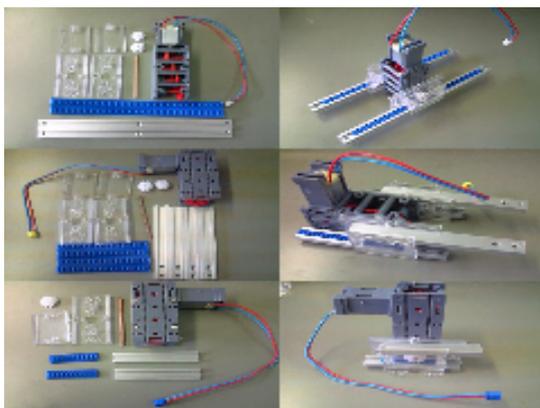


図 8 1軸ユニット

(2)ラダー図を用いた制御プログラムツール

シーケンス制御を表現するラダー図から、e-Gadget-core 上で実行可能な C 言語コードを生成出力するプログラムツール C-ladder を開発した。このツールにより、学習者は e-Gadget-core を核とするひとつの教材上で

タイプロgramming、C 言語、ラダー図という異なる3つスタイルの制御について一貫した学習が可能となる。

C-ladder の実行画面を図 9 に示す。C-ladder は、e-Gadget-core に付属する C-code と同じ環境で動作するように .NET Framework 上で操作するウィンドウアプリケーションとして開発した。主機能として、(1)簡単なマウス操作によりラダーロジック (ラダー図) を構成する機能、(2)構成されたラダーロジックを解析し、それと等価な制御を実現する C 言語コードを生成する機能を提供する。これらの機能の詳細について、C-ladder の利用の流れに沿って説明する。

まず、学習者は、コイルや接点などの要素を C-ladder 画面上に配置することでラダー図を作成する。これらの操作はマウスのドラッグ&ドロップ操作により直感的に行なうことが可能になっている。配置したコイルや接点には、それぞれのプロパティ画面を通じて、動作に関する設定を行なうことができるようにした。例えば、図 10 に示すようにオンディレイタイマであればディレイ時間の設定などができるようになっている。

これらラダー図の構成要素としては、通常の接点 (a 接点/b 接点) とコイルに加えて、オンディレイタイマ、カウンタ、カウンタリセットなどを実装しており、入門者向けの教科書で取り上げられるような基礎的なレベルのラダー図を構成することができる。また、ラダーロジックを構成中に生じるエラー (例えば、接点が配置されているにもかかわらず対応するコイルが存在しない場合など) を自動的に検出し、図 11 のように通知する機能も実装した。その他、ラダー図編集のためのコピー&ペースト機能、範囲選択、ラダー行の挿入/削除、ファイル保存/読み込みなどの機能を実装している。

ラダー図が完成した後には、“C コードを生成ボタン”を押すことで図 12 に示すような画面が表示され、ラダー図と等価な制御を行なう C 言語コードを得ることができる。

学習者はこのコードを C-code に貼り付け、コンパイル・転送することで、FA システムをシーケンス制御に沿って動作させることができる。

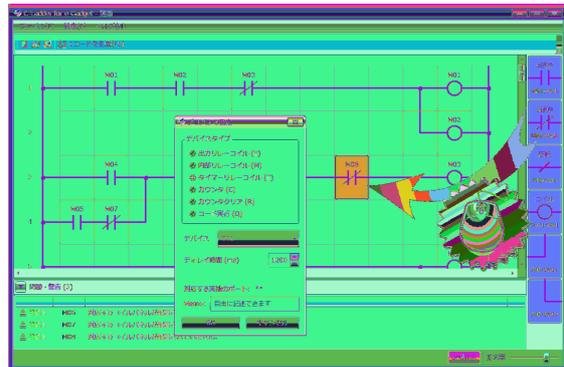


図 9 C-ladder の実行画面

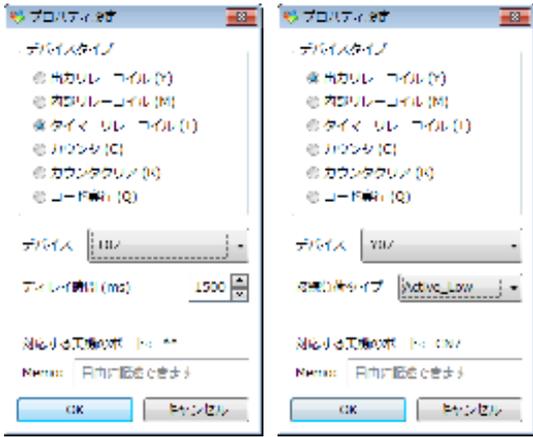


図 10 ラダー構成要素の詳細設定画面

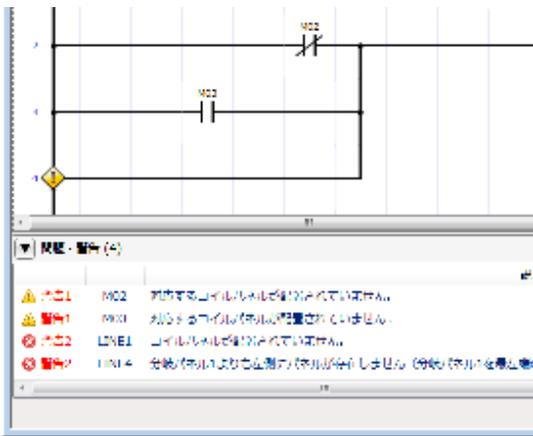


図 11 ラダーロジックエラーの
自動検出・通知

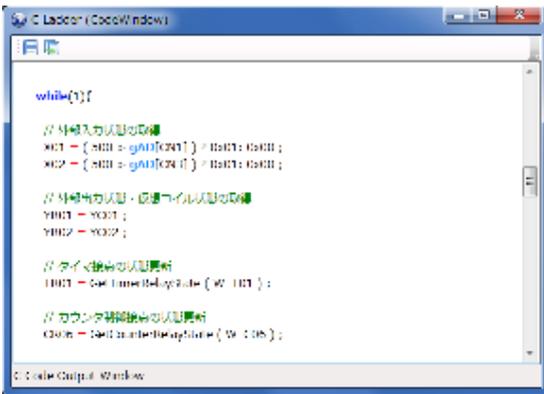


図 12 C 言語コードの出力

(3) 疑似運転

開発した各種周辺機器を利用していくつかの模擬 FA システムを作製し、それを C-ladder によるシーケンス制御で疑似運転させ、学習用教材としての機能性、使用性、信頼性について検証を行なった。

作製した模擬 FA システムの一例としてベルトコンベアを使ったシステムを図 13 に示す。ベルトコンベアをはじめとしてスイッチ

やセンサ、表示器などは全てモジュール化されており、規格化された 3 線もしくは 4 線のコネクタ付ケーブルで接続できるため比較的短時間でシステムを組み上げることができる。

このシステムでは、コンベアを流れてくる荷物をカウントして 7 セグモジュールに表示し、さらに指定の高さを超える荷物が流れてくると図 14 に示すようにバーが動作しコンベア外に荷物を除外するような運転を行なわせた。

このような模擬運転を学生によるモニターテストで実施し、ハードウェアおよびソフトウェアの両面からブラッシュアップし、学習用教材としての完成度を高めた。そして、それらの結果に基づき、高専の学生実験で使用できる教材テキストを作成した。作成したテキストの一部を図 15 に示す。

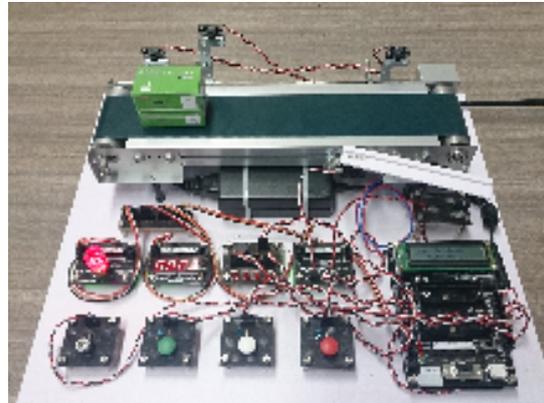


図 13 ベルトコンベアを使った
模擬 FA システム



図 14 模擬 FA システムの動作例



図 15 提案教材を利用した学生実験指導書

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① T. KANEDA, Y. YOSHITANI, T. UMEMOTO, A. YABU, T. DOI and M. SEMI, Development of Educational Materials for Construction of Mechatronics Systems and Their Application, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.23, No.5, Oct. 2011, pp.638-344(. 査読有)

[学会発表] (計7件)

- ① 金田忠裕, 和田健, 藪厚生, 蟬正敏, e-Gadget 用自動倉庫の作製, 計測自動制御学会第11回システムインテグレーション部門学術講演会(SICE SI2011)講演論文集(2011.12), pp.1452-1453, 京都.
- ② 小濱吉弘, 蟬正敏, 藪厚生, 金田忠裕, e-Gadget 用ロボットハンドの製作, 計測自動制御学会第11回システムインテグレーション部門学術講演会(SICE SI2011)講演論文集(2011.12), pp.2362-2363, 京都.
- ③ 和田健, 金田忠裕, 寺本敦紀, 自律型移動ロボット教材とシーケンス制御を結合したFA一貫教材の開発I—ラダー図を用いた制御プログラムツールの開発—, 日本高専学会第18回年会講演会講演論文集(2012.8), pp.85-86, 三重.
- ④ 小濱吉弘, 蟬正敏, 藪厚生, 金田忠裕, e-Gadget を用いたロボットアームモジュールの教材開発, 日本高専学会第18回年会講演会講演論文集(2012.8), pp.229-230, 三重.
- ⑤ 金田忠裕, 小濱吉弘, 和田健, 藪厚生, 蟬正敏, FA教材用ロボットアームの開発, 計測自動制御学会第12回システムインテグレーション部門学術講演会(SICE SI2012)講演論文集(2012.12), pp.1211-1212, 福岡.
- ⑥ 金田忠裕, 和田健, 川崎直哉, 工業高等専門学校におけるメカトロニクス教材に関する一考察, 日本高専学会第19回年会講演会講演論文集(2013.8), pp.59-60, 高知.
- ⑦ 和田健, 金田忠裕, 自律型移動ロボット教材とシーケンス制御を結合したFA一貫教材の開発II—ラダー図を用いた制御プログラムツールの開発—, 日本高専学会第19回年会講演会講演論文集(2013.8), pp.161-162, 高知.

[図書] (計0件)

[産業財産権] (計0件)

- 出願状況 (計0件)
○取得状況 (計0件)

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金田忠裕 (KANEDA TADAHIRO)
大阪府立大学工業高等専門学校・
総合工学システム学科・准教授
研究者番号: 80259895

(2) 研究分担者

和田健 (WADA TAKESHI)
大阪府立大学工業高等専門学校・
総合工学システム学科・講師
研究者番号: 00469587

(3) 連携研究者

なし