

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 24 日現在

機関番号：54401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350212

研究課題名(和文) 組合せが可能なロボットアーム・ハンド教材の開発

研究課題名(英文) Development of Combinable Robotic Arm for Teaching Materials

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・教授

研究者番号：80259895

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：回転ユニットと直動ユニットの2種類のユニットを組み合わせることで、4種類のロボットアーム(直交座標型,円筒座標型,極座標型,多関節型)を構築することが可能な教材を開発した。以下に本研究の成果をまとめる。(1)サーボモータを核とした回転と直動の2種類のユニットを製作した。(2)2種類のユニットを組み合わせることで5種類のロボットアームを構成できる。(3)ロボットアームの動作は小型ヒューマノイドロボットのサーボモータを制御する要領で簡単に制御可能である。(4)ロボットアームの動作として動作限界とCP制御の一部である直線補間制御について動作を確認した

研究成果の概要(英文)：It is very important to learn about the arm mechanism of industrial robots. In this study, the combinable robot arm is proposed as a teaching material. Using as servo motor, we developed the rotary unit and linear motion unit. 4 types of robot arms(cylindrical coordination, polar coordination, Cartesian coordination, and anthropomorphic)can be constructed by combining both units. The two units were fabricated using 3D printer as a core servo motor, it is connected by an embedded magnet. Control software was created in reference to the control of a small humanoid robot. As a result of the operation performance test limits and linear interpolation has been found to be operable in some errors are intended.

研究分野：工学教育

キーワード：ロボット教材 ロボットアーム 組み合わせ

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。特にその中核として、産業用ロボットアームが利用されているが、直交型、円筒座標型、極座標型、多関節型などの様々な形態が存在する。

市販されているロボットアーム教材のほとんどは、人間が手で操作することが可能な多関節型のロボットアームである。専用の制御ボードを用いてパソコンに接続して、制御することも可能になっている。数万円以下で購入できるものであるが、多関節型が主であり、他の座標形態のロボットアームに改造することは困難である。またエンドエフェクタも取り替えることがほとんど不可能であり、様々なロボットアームを学習することは難しい。

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、自律型ロボット教材を発展させた教材開発を進めてきた。平成23～25年度で科学研究費補助金によりシーケンス制御とマイコン制御できるミニFA一貫教材の開発を進めてきた。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。

工業高専のような学校現場では、生産技術者を育成することを目的とするために産業用ロボットの代表であるロボットアーム・ハンドの構造、仕組みなどの特徴と共に制御方法を学習することが求められている。多関節ロボットアームだけではなく、様々な形態のロボットアームを学習する教材が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、FA教材開発のノウハウを活かして組み合わせが可能なロボットアーム・ハンドを学習することができる教材開発を目的としている。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)直交型、円筒座標型、極座標型、多関節型など様々な形態のロボットアームを学習することができる。

(2)ロボットアームの先に取り付けるエンドエフェクタを掴むなどの単純なものから人間の手に近いものまで取り替えることがで

き、様々な把持形態を学習することができる。(3)ロボットアームの軌道制御として、連続的なCP制御と各点制御であるPTP制御を学習することができる。

3. 研究の方法

3.1 直動ユニットと回転ユニットの作成

ロボットアームは機構的に直交型、円筒座標型、極座標型、多関節型などに分類されるが、直動と回転を組み合わせたものである。そこで、直動ユニットと回転ユニットを作成することで、それらを組み合わせて各種ロボットアームを構築することが可能となる。

3.2 2種類のユニットを組み合わせた各種ロボットアームの構築

上記2種類のユニットを組み合わせると、次の4種類のロボットアームを構築できる。直交座標型ロボットは直動ユニット3つを、円筒座標型ロボットは直動ユニット2つと回転ユニット1つを、極座標型ロボットは直動ユニット1つと回転ユニット2つを、多関節型ロボットは回転ユニット3つを組み合わせることで構築が可能となる。このように直動ユニットと回転ユニットを組み合わせることで学習できるロボットアーム教材は聞いたことがなく、非常に特徴的な教材と言える。ユニットの接続にはジョイントしやすいカプラなどは作成する。

3.3 エンドエフェクタの選定と作成

任意の物体形状に応じて様々な把持姿勢が存在するが、そのうちのいくつかを選定し、ロボットアームの先に取り付けるエンドエフェクタとして、作成する。挟むだけの簡単なものから、人間の手のような複雑なものまで検討する。モータコントロールボードによってモータ制御数が制限されているために、同時に動作が可能なものを考える。

3.4 ロボットアームのとの接続

次に作成したエンドエフェクタをロボットアームに取り付けて、動作が可能かを検討する。エンドエフェクタと作業対象のワークを含めた総重量を考え、100g程度の運搬ができるものとする。

3.5 ロボットアーム・ハンドの制御

まず、作成したロボットアーム及びエンドエフェクタであるロボットハンドを購入予定の制御用パソコンで動作するかを確認する。

3.6 CP制御とPTP制御の制御方法

産業用ロボットの軌道制御として、CP(Continuous path)制御とPTP(Point to Point)制御がある。前者は連続経路制御といい、2点間の移動経路が一定の軌道上をたどるようにした制御であり、後者は各点制御といい、地点のみを制御し、経路は問題としない制御である。これらを学習するためには、

コンピュータ制御が必要となるため、制御用パソコンによって指令を与え、ロボットアームの先のエンドエフェクタが軌道制御できるようにプログラムを作成する。

4. 研究成果

4.1 組合せ可能なロボットアーム

(1) 回転ユニットと直動ユニット

ロボットアームは大きく分けて回転ユニットと直動ユニットの2種類から構成される。このユニットを近年小型ヒューマノイドロボットで広く利用されている双葉シリアルサーボモータ RS304MD をアクチュエータとして製作する。サーボモータの外観と仕様を図1に示す。



図1 使用したサーボモータの外観と仕様

このモータは双方向高速 TTL データ通信が可能である。従来の PWM 式のサーボモータは角度命令を送信するのみであったが、シリアルサーボモータはモータの角度やトルク情報などをフィードバックさせることが可能であり、並列に接続しこのモータを ID で振り分けて制御する。このためマイコンのポートが少なくても多くのモータを制御することが可能である。

製作した直動と回転ユニットの外観を図2に示す。同図に示した定規は長さ 150mm のものである。それぞれのユニットは 3D プリンタ AFNIA H480 を用いて製作し、数種類を組み合わせることで前述の(分類した)5種類(円筒座標, 極座標, 直交座標, 多関節型, スカラ型)のロボットアームを構成することができる。なお直動ユニットはラックとピニオン歯車を 3D プリンタで製作し、サーボモータに接続している。直動ユニットの仕様を表1に、回転ユニットの仕様を表2に示す。



図2 製作した直動(左)と回転ユニット(右)

表1 直動ユニットの仕様

サイズ[mm]	60×60×120
可動範囲[mm]	60
モータ電圧[V]	5.0
重量[g]	210
最大定格荷重[kgf]	1.8
最大速度[mm/sec]	91.6

表2 回転ユニットの仕様

サイズ[mm]	60×60×65
可動範囲[deg]	180
モータ電圧[V]	5.0
重量[g]	150
最大トルク[kgf·cm]	5.0
最大速度[deg/sec]	375

(2) ユニット部の接合

各ユニットの接合, 分解を容易にし, 接続の向きや取り付け方を多様におこなえるようにするために, 図3に示すように接合部のオスとメスを 3D プリンタでユニット製作時に同時に製作した。接合部オス側は図3(左)のように突起物を備えており, 接合部メス側は図3(右)のような形の穴が開いている。オス側の突起をメス側に斜めにはめ込みねじることによって固定できる仕組みとなっている。この方式で回転ユニットと直動ユニットを製作し, 動作確認をおこなった結果, 問題点がわかった。

- ① ねじれ方向の運動に弱い。
- ② 3Dプリンタで造形するために毎回同じとはいかず, 接続が緩すぎたり, きつ過ぎたりする。

これらの問題点に対する解決策として 3D プリンタの精度にあまり影響を受けないように, 磁力による接続方法を採用した。また, ねじれ方向に対しても強くなるように突起物を設けた。図4に磁石を利用した接続部の外観を示す。

磁石にはネオジウム磁石を使用し, 円筒形のネオジウム磁石の穴の中にネジを埋め込む形態をとった。ロボットアームの重量を支えることができ, かつ人間の力でも簡単に外すことができるようにした。

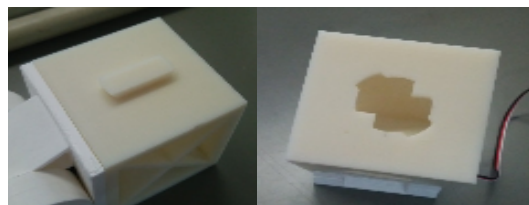


図3 試作した接合部

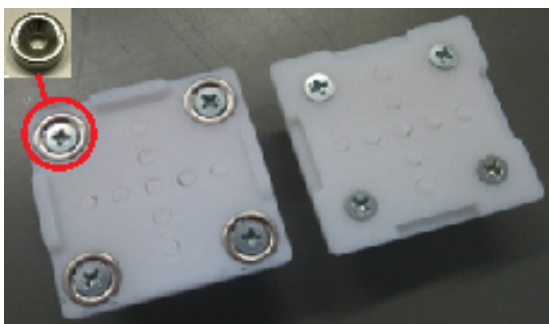

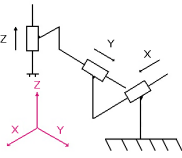

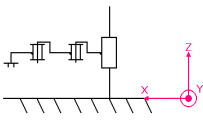


図4 磁石を使用した接合部

(4)構成できるロボットアーム

前述のユニットを用いて実際に構成したロボットアーム（直交座標型，円筒座標型，極座標型，多関節型，スカラ型）を構成した。外観とスケルトン図の一部を表3に示す。なお，スケルトン図にXYZ方向を赤矢印で示している。

表3 ロボットアームの外観とスケルトン図

種類	外観	スケルトン図
直交座標型		
スカラ型		

(5)ロボットアームの制御回路

ロボットアーム制御回路は，ヴィストン株式会社製のアカデミックスカラロボットに使用されている制御基板を利用した。基板単体で市販はされていないが，同等品を自作することは可能である¹¹⁾。図5に制御回路の外観を示す。



図5 制御回路の外観

この制御基板には USB・シリアル変換 IC，USB ポート (miniB)，サーボモータ接続用ピン，電源コネクタが搭載されている。なお，サーボモータは5つまで接続が可能となっている。前述のロボットアームは回転ユニットと直動ユニットを3つまで組み合わせて接続するので，残り2つを手先に取り付けるエンドエフェクタに利用することが可能となる。

(6)ロボットアームのシステム構成

ロボットアームのシステム構成図を図6に示す。ロボットアームのサーボモータの接続コネクタは図7に示したように制御基板に接続され，USB を介して制御用パソコンに接続している。制御プログラムはヴィストン株式会社製の小型ヒューマノイドロボット用制御プログラム RobovieMaker2 を参考に C++により作成した。サーボモータの角度を制御ソフト上のスライダーを動かすことで角度制御ができるようになっている。

モーションファイルのフォーマットは下記のようなになる。本ソフトウェアは動作のログを取る機能（モーションの実行時、一定周期ごとに各関節の角度値を取得し，ファイルに記録する機能）を持っている。このようにして得られた角度値のファイルを，変換処理を行うソフトウェアを用いて，座標値に変換する。

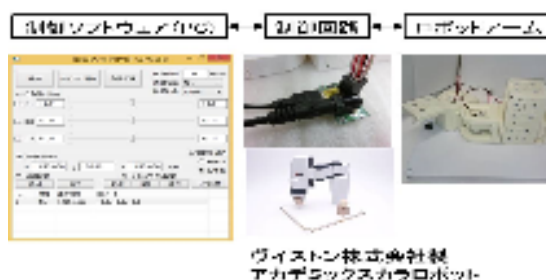


図6 システム構成図

このように本教材において関節角度値から座標値を得ることで，産業用ロボットアームの学習が可能となる。この手法はサーボモータの関節角度値からモーションを作成する小型ヒューマノイドロボットの学習とつながる。

- (アーム構造番号)
 (モーション番号)，(直線補間の有無)，(右手 or 左手型解)，(遷移時間)，(ID1 の角度値)，(ID2 の角度値)，(ID3 の角度値)，(x 座標値)，(y 座標値)，(z 座標値)
 ◆アーム構造番号
 0: 直交座標型，1: 円筒座標型，2: 極座標型，3: スカラ型，4: 多関節型
 ◆直線補間の有無
 0: 補間なし，1: 補間あり
 ◆右手 or 左手型解
 1: 右手型解. -1: 左手型解

【記載例】

```
0
1, 0, -1, 2000, -1228, -1228, 1228, 0.000000, 0.000000, 60.000000
2, 0, -1, 2000, 1228, -1228, 1228, 60.000000, 0.000000, 60.000000
3, 0, -1, 2000, 1228, -1228, -1228, 60.000000, 0.000000, 60.000000
```

4.2 ロボットアームの性能評価

(1) 動作限界範囲

本教材の性能評価として、各ロボットアーム構造の限界範囲までの動作実験をおこなった。手順を以下に示す。

① 本体を起動後、手先座標が選択した構造の動作限界範囲をなぞるようにモーションを作成

② モーションを再生し、ログファイル(関節角度値)を取得

③ ログファイルを座標値ファイルに変換、保存してExcelでグラフ化

スカラ型の実験結果を図7に示す。

各図は左上がXY座標、左下がXZ座標、右下がYZ座標から見た軌跡を表し、右上は2次元散布図を回転させることで、アームの軌跡を3次元的に斜め上から見下ろすように表示している。各図の縦横の幅は-200[mm]~200[mm] (1目盛100[mm])としている。赤のマーカが理論上の軌跡、黄のマーカが実際に動作した軌跡を示す。実際の軌跡が理論値よりも少々小さくなってはいたがおよそ理論通りに動いていることが確認できた。図7のxy平面の円弧状の2つの軌跡の間に渡り線のような軌跡は、可動範囲一杯に一筆で外形をなぞる操作を行っていることによる。

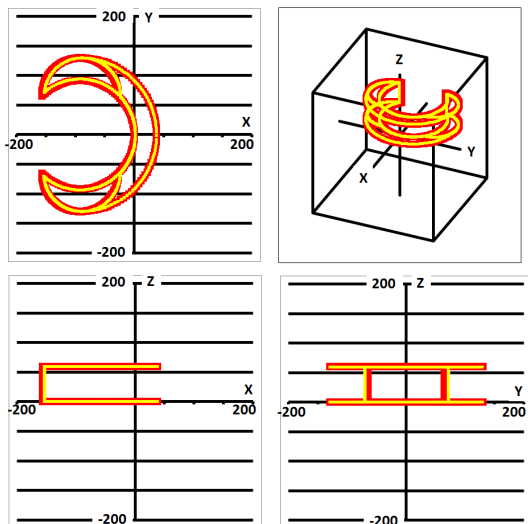


図7 スカラ型ロボットの動作限界

回転ユニットを含む各関節の動作範囲において、本来回転ユニットは-90[deg]~90[deg]まで動作が可能であるが、実質的な可動範囲は-88[deg]~88[deg]であること

がわかった。サーボモータの回転制御は、目的値に近づくにつれて回転トルクが弱まるため、目標値付近に近づいた際、回転ユニットの摩擦によってトルクが失われることで、意図した目標角度まで動作を行えていないのではないかと考えられる。サーボモータRS304MDの各パラメータ設定については工場出荷状態から変更していないが、パラメータの設定を変更することにより動作範囲などの改善も期待される。

(2) 直線補間制御

次にロボットアームの制御において直線補間制御が可能かどうか実験をおこなった。図8にスカラ型の実験結果を示す。

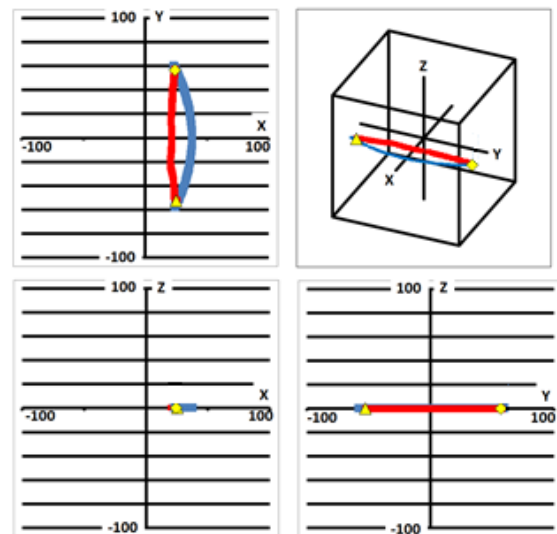


図8 スカラ型ロボットの直線補間制御

図内の内訳は前述と同様であるが、各グラフの縦横の幅は-100[mm]~100[mm]としている。なお直線補間制御の実験結果は青線が補間なし、赤線が補間ありの際の軌跡である。△印が始点、◇印が終点となる。図8の直線補間制御では始点終点の2点間で補間をおこなっている。赤線を見ると直線補間をおこなう様子が確認できた。しかし直線よりは少々歪んでおり、モータを制御するアルゴリズムの修正が必要であると考えられる。この修正は「補間の点数を増やす」ことに限らず、サーボの内部設定を変更することなども考えられる。今回の制御方式では、サーボモータの最小遷移時間単位での差分だけ動かしていたが、この差分の大きさによっても軌跡が影響を受けると考えられる。

4.4 エンドエフェクタの作成

ロボットアームの先端に取り付けるエンドエフェクタとして平行グリッパ(図9参照)、二つ爪、三つ爪、巻き付け型(図10参照)を製作した。

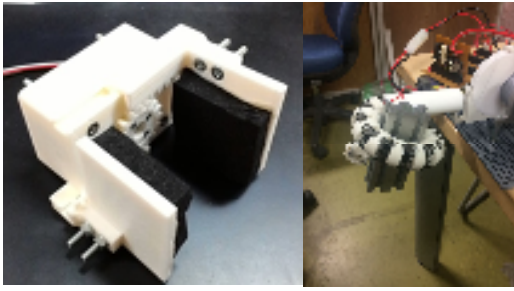


図9 平行グリッパ 図10 巻き付け型

図9の平行グリッパはラック・ギアにより平行把持が可能である。

図10に試作した巻き付け型を示す。らせん状に巻きつくことで長いものを把持することが可能となる。関節部に3つのバネを入れたことにより、把持力があがり、アチュクエーター一つで把持することが可能となる。

4.5 まとめ

回転ユニットと直動ユニットの2種類のユニットを組み合わせることで構成が可能なロボットアーム教材について述べた。以下に本研究の成果をまとめる。

- (1) サーボモータを核とした回転と直動の2種類のユニットを製作した。
- (2) 2種類のユニットを組み合わせることで5種類のロボットアームを構成できる。
- (3) ロボットアームの動作は小型ヒューマノイドロボットのサーボモータを制御する要領で簡単に制御可能である。
- (4) ロボットアームの動作として動作限界とCP制御の一部である直線補間制御について動作を確認した。
- (5) ロボットハンドの先に取り付けるエンドエフェクタとして平行グリッパ、二つ爪、三つ爪、巻き付け型を製作して性能を確かめた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計8件)

- ①金田忠裕、木村勇佑、藪厚生、川崎直哉、組合せ可能なロボットアーム教材の改良、計測自動制御学会第16回システムインテグレーション部門学術講演会(SICE SI2016)講演論文集、札幌、2016、pp. 2908.
- ②金田忠裕、藪厚生、安藤太一、大崎純平、川崎直哉、組み合わせ可能なロボットアームの製作と制御、日本産業教育学会第59回全国大会、京都、2016、p. 160.
- ③新井涼太、井之口孔佑、金田忠裕、藪厚生、巻き付け型ロボットハンドの製作、日本高専学会第22回年会講演会講演論文集、沼津、2016年、pp. 63-64.
- ④新井涼太、金田忠裕、藪厚生、三宅淳、巻き付け型ロボットハンドの製作、計測自動制

御学会第15回システムインテグレーション部門学術講演会(SICE SI2015)講演論文集、名古屋、2015、pp. 2512-2515.

⑤金田忠裕、中村薫人、安藤太一、大崎純平、藪厚生、川崎直哉、組合せ可能なロボットアーム教材のエンドエフェクタの製作、計測自動制御学会第15回システムインテグレーション部門学術講演会(SICE SI2015)講演論文集、名古屋、2015、pp. 1680-1681.

⑥安藤太一、大崎純平、横山智彰、金田忠裕、藪厚生、組合せ可能なロボットアーム教材の製作、日本高専学会第21回年会講演会講演論文集、徳山、2015、pp. 93-94.

⑦大崎純平、安藤太一、深津将生、金田忠裕、藪厚生、川崎直哉、組合せ可能なロボットアーム教材の制御ソフトウェア開発、第34回数理科学講演会、東京、2015

⑧金田忠裕・安藤太一・大崎純平・藪厚生、組合せ可能なロボットアーム教材の試作、計測自動制御学会第14回システムインテグレーション部門学術講演会(SICE SI2014)講演論文集、東京、2014、pp. 346-347.

〔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

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・教授
研究者番号：80259895

(2) 研究分担者

藪厚生(YABU ATSUO)
大阪府立大学工業高等専門学校・
総合工学システム学科・教授
研究者番号：90413806

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし