

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：14101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22700787

研究課題名(和文)ものづくり教育のためのロボット開発プラットフォームの開発

研究課題名(英文)Development of Robot Development Platform for Manufacturing Education

研究代表者

杉浦 徳宏 (Sugiura, Tokuhiro)

三重大学・総合情報処理センター・准教授

研究者番号：50335147

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ものづくり教育の一環として、大学における課外のロボコン活動を実証実験フィールドとして、数年に渡る継続的なロボット開発教育に必要なシステムの開発を行った。具体的には、(1)ロボット創造開発用3D CADとしての SketchUp の導入と評価、(2)基板加工用CAMソフトウェアの開発、(3)実機とシミュレータで同一ソースを利用可能なロボットダイナミクスシミュレータの開発、の3点を行った。これらを組み合わせることにより、総合的なロボット開発プラットフォームを実現した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed the general system which was necessary for sustainable robot developmental education as a part of the manufacturing education. We developed the followings. (1) Introduction and evaluation of SketchUp as the 3D CAD for robot creation development. (2) CAM software for processing electric circuit cards. (3) Robot dynamics simulator which can use the same software for both real robots and simulated ones.

We apply this system to the club for robot contests as extracurricular activities in our university.

研究分野：総合領域

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：ものづくり 移動ロボット 教材開発

1. 研究開始当初の背景

昨今、理系離れが深刻化し社会的問題となっており、その改善のためさまざまな取り組みが行われている。本研究者らは、理系離れの中でも工学系離れの一つの理由として、すべての基本であるものづくりの魅力と社会的意義が、高校生以下の若い世代に対して十分に伝達されていないと考えている。次に、工学系大学生について、意識調査により、学年が上がるごとに学習意欲が低下する傾向が見られ、その要因の一つとして、学生の要求に十分に見合った教育を提供できていないことがあげられている。さらに、卒業後すなわち実社会や産業界から要望される人材は、基礎学力重視から、技術、コミュニケーション能力といったより現実的な方向にシフトしており、座学、学術性優先の現在の大学での工学教育は、その要求に対してマッチしていない部分があり、改善の余地があると考えている。

これらを鑑み本研究者らは、工学系大学教育の改善及び正規カリキュラムの補完という観点で、大学内にロボコンクラブを設立し、基本的には課外活動として、ロボコンを通じてものづくり教育を実践できるような環境を構築し、試行錯誤を行ってきた。具体的には、2001年にクラブを設立し、以後「NHK 大学ロボコン」へ参加してきた。最近では、2007年～2009年と3年連続でベスト4入賞し、学生の能力向上についての結果が反映されているものと考えている。

2. 研究の目的

本研究者らの活動では、学生に強いモチベーションを与えるため、「NHK 大学ロボコン」をターゲットとしている。本ロボコンでは、手動操作するロボットと、完全自動化された複数のロボットを開発する必要がある。昨今では、人との協調作業といったテーマも取り入れられ、要求される制御

レベルとしても大学の研究レベルに近づいている。また、本ロボコンでは1年をかけて準備を行うが、数ヶ月に渡る練習や改良のための実験に耐えるため、ロボットは堅牢で高信頼であることも要求される。従って、大学4年生程度の学習レベルと、産業用に近いロボット開発実践能力が必要とされる、見かけ以上に要求レベルの高いコンテンツである。

しかし、単にクラブを構成し、学生の自主性に任せてしているだけでは、高い基礎学力をもった学生であっても、能力向上は限定的であることがわかっている。従って、ある程度長期的な教育カリキュラムを構成し、学生が徐々にステップアップできるような環境を提供する必要がある。本研究者らは、三ヵ年計画を立て、大学の正規カリキュラムと整合性を図りながら、次のような教育カリキュラムを構成してきた。まず、ロボット開発では、主に、機械、電気、情報の3分野の基礎及び、応用を学習する必要があるので、これら3分野を学習領域として分割する。1年次には全分野の基礎的な部分を広く学習し、2年次以降で各分野のスペシャリティ制をとる。3年次には、スペシャリティを継続するか他分野1つを選択し、弱点を補強する。

これら活動を実践する中で、最大の問題点は、学習と労働コストのバランスである。労働コストとは、学習以外のロボットの実製作や実稼働にかかる労働コストである。具体的には、機械系では、部材の加工や、組み立て、調整の部分である。電気系では、基板設計や組み立て、調整である。情報系では、実機への実装と稼働テストである。労働コストが増大すると、学習と実践を繰り返す、「学習～実践ループ」の速度が遅くなり、ひいてはモチベーションの低下を招く。長期的で持続的な学習を維持するには、労働コストを下げ、学習～実践ループを素

早く回せるような開発環境が必要である。

本研究では、試行錯誤回数を減らすためシミュレーション（シミュレータ）の積極導入を図る。しかし、シミュレーションの利用そのものが煩雑であることは本末転倒であり、既存品ソフトウェアで対応不可能な部分については、開発を行うこととする。以上により、本研究では、大学院進学後や、就職後にスムーズに研究開発を遂行できるような人材育成をめざし、2～3年の長期に渡るものづくり実践を通して工学学習を深められる、総合的なロボット開発プラットフォームの開発を目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、長期に渡る持続的な学習支援として学習～実践ループ速度を改善するため、次のような段階的な研究開発と実践、及び評価を行う。

(1) 学習と労働コストの定量的評価

(2) 改善策の提案。各分野において以下の3つを柱とする研究開発

ロボット開発用 3DCAD として SketchUp を用いた構造開発の導入

基板加工 CAM による基板製作システムの開発

実機とシミュレータで同一ソースを利用可能なロボットダイナミクスシミュレータの開発

(3) 実践と評価

4. 研究成果

ここでは、本研究で得られた成果のうち、SketchUp と工業用 3D CAD の比較、基板加工 CAM ソフトウェアの開発、ロボットダイナミクスシミュレータの開発、の3点について述べる。

4.1 SketchUp と工業用 3D CAD の比較

ものづくりにおいて 3D CAD が有用である

ことは言うまでもない。しかし、3D CAD の利用シーンとして、ものづくり教育用と、工業生産用では大きな違いがある。最大の違いは、後者が最終的に工業生産・大量生産される場合の製図機として用いられることが多いのに対し、前者は試行錯誤しなからの「創造設計」であることである。創造設計においては、柔軟性や自由度が大変に重要である。この点で、一般的な製造業用 3D CAD は、必ずしも適していないと本研究では考え、一般的な製造業用 3D CAD とは操作性が大きく異なる Trimble 社 SketchUp(本研究当時は、Google 社 SketchUp)を 3D CAD として利用することを考えた。そこで、これらを明らかにするためそれぞれにおける設計工程数について簡単な比較実験を行った。

300mm×400mm×200mm の直方体状フレームを 15mm 角のアルミパイプによって組む場合の設計工程数を SketchUp と一般的な工業用 3D CAD である SolidWorks とで比較した。設計工程数の指標として、所要時間、マウスの移動量・クリック数とキータイプ数を計測した。被験者 3 名はいずれも 18 歳～22 歳の工学部男子学生であり、一般的なコンピュータ操作には習熟している。被験者 AB は SketchUp の操作にはある程度慣れているが、被験者 C は不慣れであり、30 分程度の個人指導後、実験を行った。また、SolidWorks については 2 名とも不慣れであり、付属のチュートリアルを 1 時間行い、その後、1 時間分程度の個人指導後に実験を行った。

結果を表 1 に示す。SolidWorks は、SketchUp に比べ、所要時間、マウス操作量ともにおよそ 3～4 倍となっている。この原因は、SolidWorks では、部品定義と部品の組立（アセンブリ）が明確に分かれていることにあり、組立時に直接的に部品を柔軟に変更することができないことにある。

SketchUp では部品定義とアセンブリは分かれておらず、部品を直接的に変化させることができるため、作業工程数は小さくなる。また、SolidWorks ではアセンブリにおいて拘束（合致）を適切に設定する必要があり、その作業量も多かった。

以上、創造設計においては、試行錯誤しながら最終的なロボットを設計していくが、その際には部品の大きさや組み合わせを柔軟に変化させられることが必要であり、SketchUp が適しているとわかった。

表 1 設計工程数結果

(a)SketchUp の場合

被験者	所要時間	マウス		キー
		移動量	クリック数	タイプ数
A	2:34	4m	62	115
B	2:56	7m	66	150
C	6:56	24m	98	88

(b)SolidWorks の場合

被験者	所要時間	マウス		キー
		移動量	クリック数	タイプ数
B	14:43	67m	295	86
C	21:13	84m	302	66

4.2 基板加工 CAM ソフトウェア PCBECam の開発

本研究では基板加工 CAM ソフトウェア「PCBECam」の開発を行った。PCBECam は、電子回路基板エディタから出力したガーバーファイルを読み込み、CNC フライス盤で読み込み可能な G-CODE を生成するソフトウェアである。尚、電子回路基板エディタには、高戸谷 隆氏開発のフリーソフト PCBE を採用した。また、CNC フライス盤には、ホビー用のオリジナルマインド社

mini-CNC PRX 1510 を用いた。基板加工 CAM ソフトウェアを独自開発した理由は、基板加工における業界標準形式であるガーバーファイルではなく、一般的な CNC フライス盤で扱える G-CODE を出力したほうが汎用性が高く、また、ホビー用 CNC フライス盤に適した切削条件を埋め込むためである。特に後者について、ホビー用 CNC フライス盤は鋼製や精度が十分でないため、安定した基板加工機として使うためには、切削条件として経験と勘に基づくノウハウが必要である。独自開発することで、このノウハウを考慮した G-CODE を出力することが可能になり、安定して加工することが実現できた。

また、独自開発したもう一つの理由が、機械系学生に CNC フライス盤操作を学習してもらうためである。基板開発は電気系学生が行うが、CNC フライス盤操作は機械系学生が行う。機械系学生にとっては教材として生の G-CODE が見え、それに基づいた、汎用の CNC 操作を行うことは学習環境として大きな意義がある。

図 1 に開発した PCBECam の画面を示す。図では、エンドミルパス及び制御点表示モードとしており、エンドミルパスと制御点をそれぞれ、実線と青い四角形で、また、エンドミルによる切削後の推定パターンを緑で表示している。図 2 に実際に加工した基板の写真を示す（基板左上部の拡大表示が図 1 に対応する）。

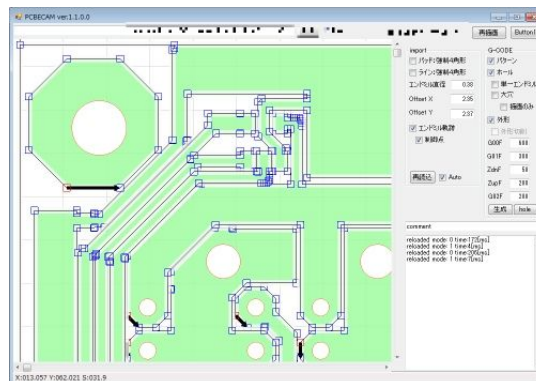


図1 PCBECam 画面 (エンドミルパス・制御点表示モード)

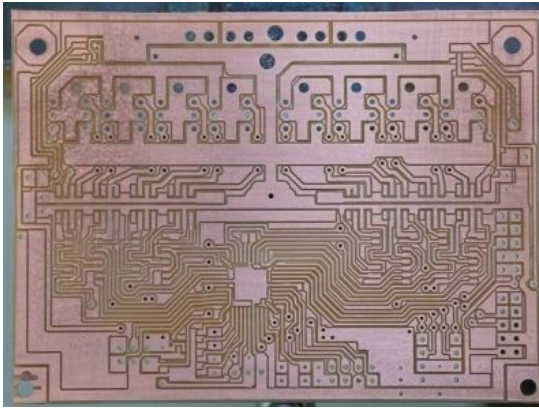


図2 CNCフライス盤による加工後の基板 (0.4mmスクエアエンドミルによる切削)

4.3 ロボットダイナミクスシミュレータの開発

ロボット開発作業において、もっとも難易度が高く、また、試行錯誤による労働コストが高いのが最終的にロボットの動作を決定するプログラミングである。この部分については、ある程度の労力が必要であることは避けようがないが、最大限コストパフォーマンスを高めるような開発支援環境を用意することが大変重要である。そのため、本研究では、ロボットダイナミクスシミュレータを開発した。本シミュレータの基本設計理念は、

(1)実機とシミュレータで同一のソースを利用可能とする

(2)「ブラックボックス」の排除である。また、利用目的は、

(a)初学者のロボット制御プログラミング学習用

(b)応用として新たな制御則や新たなデバイスを導入する場合の開発用の2つがある。

(1)についてはある程度のプリプロセス定義(#if)やシミュレータ専用関数によって実機とシミュレータで条件分岐させる必要があるものの、基本的に同一ソースを

利用可能とした。(2)の「ブラックボックス」とは内部プログラムが公開されていないモータドライバ等である。初学者にとってある程度のブラックボックス化は必要であるものの、最終的には回路図や周辺制御ソフトウェア等のすべてがオープンになっていることが学習環境として必要と考える。

本シミュレータでは、独立2輪型(いわゆるPWS方式)移動ロボットの平面内移動を対象とし、動的な運動をシミュレートする。センサとしては、デジタル光センサ(白黒判定のみ)、アナログ光センサ、オドメトリ取得用ロータリーエンコーダをそれぞれ数種類シミュレートする。アナログ光センサは、主にライトレース走行時に用いる床の光の反射量を電圧出力するものである。外部のモータドライバについては、別途マイコンが搭載されており、制御回路や制御方式によってロボット全体の制御性が大きく変化するため、その部分をシミュレートしている。

実機とシミュレータで同一のソースを利用可能とするために、ロボット制御用ワンチップマイコン内のADコンバータやタイマ、カウンタ等の周辺モジュールや割り込みを論理的にシミュレートする。例えば、アナログ光センサを接続したADコンバータの場合には、ロボットとセンサ、床面の白線の物理的な位置関係から反射量を計算し、ADコンバータ用レジスタに当該数値をセットする。

これらの環境により、例えば、ライトレース走行を行う場合に、デジタル光センサとアナログ光センサでは大きく制御性が異なることを学ぶことができる。また、PID制御における各パラメータ調整にも実機による試行錯誤が必要であるが、シミュレータにより事前にある程度の「あたり」を出すことができる。また、応用としてPID制御をベースとした新しい制御則を開発する

ことや，新たに高出力モータを導入した場合にどのようなパフォーマンスが得られるのかといった仮想実験を行うことも可能である．

以上のように本シミュレータは，初学者にとってのロボット制御学習とロボットの性能向上を目指した応用開発の両方のプラットフォームとして利用可能となっている．

図3,4に本シミュレータの動作画面を示す．図3は，グリッド状のフィールド内をオドメトリによる自己位置姿勢推定とライントレースによる走行を組み合わせた例である．尚，この実験では，実機でパラメータチューニングしたプログラムをシミュレータ上で動作させている．図中のベクトルは，車輪速度や速度指令値等を示している．図4は，PIDによる速度制御において，いわゆる台形制御を行った場合のグラフ部分を抜粋したものである．本シミュレータでは任意の変数をグラフ化することができるため，ここではロボットの移動速度の指令値，台形制御用に内部生成される速度指令値，実速度の3つのグラフを描画させた．尚，シミュレータ側での物理シミュレートには限界があるため，シミュレータ側で限界まで調整したプログラムを実機で動作させても成功しないことが多いが，実機側でチューニングしたプログラムは，わずかな調整によりシミュレータ上で実機と同様に動作する場合が多いことがわかった．

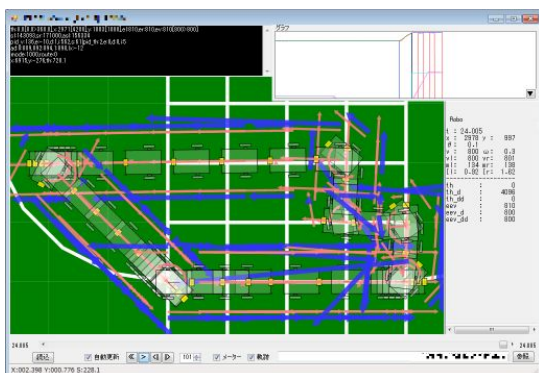


図3 ロボットダイナミクスシミュレータ

画面

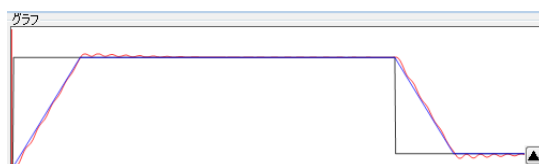


図4 ロボットダイナミクスシミュレータのグラフ部抜粋(速度指令値(矩形部),台形制御用の速度指令値,速度)

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)

〔その他〕

本研究の実証対象としている三重大学ロボコン部は，NHK大学ロボコン2010、同2011、同2012の本戦に出場した．

6. 研究組織

(1)研究代表者

杉浦 徳宏 (TOKUHIRO, Sugiura)

三重大学・総合情報処理センター・准教授
研究者番号：50335147