

【論文】

LEGO マインドストームを利用するものづくり教育の試み

丘 華*, 久保 明雄*

Trials on Problem-Based Learning Type of Manufacturing Technical Education with Applications of LEGO Mind Storms

Hua QIU and Akio KUBO

Abstract: As a manufacturing technical education practice, the authors have tried to introduce the problem-based learning into the graduation study course for the last two years. This paper presents the progress and results. In the graduation study course, the students were encouraged to find out a useful theme that can resolve a practical problem and perform the research independently. The teachers provided some advices to help the students if necessary, through periodic discussions in an equal position. The students applied LEGO mind storms as a tool producing a mechatronics device to verify the idea, and furthermore improving the properties of the device through repeated prototypes until the development purpose was achieved. The authors aim at promoting the creative abilities of the students through such the course. From the opinions of the students who passed the course, it can be concluded that the students not only actively struggled but also found satisfactions in the courses. The result also illustrates that LEGO mind storms is an effective tool for the problem-based learning type of manufacturing technical education.

Keywords: Manufacturing Technical Education, Problem-Based Learning, Education Practice, LEGO Mind Storms

1. 前書き

大学における機械工学教育の目的は、ものづくりのエンジニアの育成である。そのため、学生は大学で機械工学の知識を体系的に学習するとともに、実験・実習を通してものづくりの基礎を身に付ける。

ものづくりのセンスを身に付けるためには、次のことが重要であると思われる。まず、製作（または製品開発）の目的を明確にした上で、与えられた条件のもとで、勉強した関連知識を活用しながらいろいろな可能性を調べる。つぎに、目的に応じて種々の可能性を組合せ、いくつかの案をまとめる。さらに、できた案を比較しながらそれぞれの優劣を検討し、その中から最も適当な案を見出す。それから、試作品を作り、実験を通してその性能を改良する。場合によっては、製品の改良にユーザーからの意見を取り入れる必要もある。このようなプロセスの中で特に重要なのは、目的に対して種々の可能性を調べ、多くの案を発することである。それは、ものづくりの創成的な思考法の養成にも直接関係するといわれている⁽¹⁾。

最近、工学部の学生はものづくりに対する興味が薄くなっているという意見がよく聞かれる。私見ではあるが、その原因の一つが卒業研究のやり方に関係しているのではないかと思われる。例えば、大学の一部の研究室では、教員の研究を中心として卒業研究を計画している。卒論生は実行部隊としてその計画に組み込まれる。近年科学技術の進歩は非常に目覚しく、その先端に位置する研究の遂行には多くの最新知識の活用が必要となっている。しかし、現状では、このような最新の知識や技術をすぐに学部教育カリキュラムに組み込むことが不可能である。また、大学の研究にかかわる雰囲気は近年次第に競争的になり、担当教員は研究に必要な知識を詳細に学生に教える余裕がなくなりつつある。そのため、学生は、訳がわからないまま卒業研究を開始し、担当教員の指示をそのまま実行して研究を続けることが時々見られる。このような場合には、学生がようやく研究の内容を理解して自分なりの思考ができるような段階になると、卒業研究はすでに終わりに近くなる。したがって、このようなプロセスの中で、学生がものづくりの楽しさを経験することができず、自由な発想をするチャンスさえ与えられていないと言っても過言ではない。

* 機械工学科

以上のようなことを考慮して、私達は、卒業研究を遂行する際に、学生がものづくりの達成感と面白さが経験でき、また、学生が中心的な役目を果すやり方の必要性を痛感しながら、その具体像の模索を始めた。詳細な内容についてわからないことが多くあるが、私達のビジョンとしては、次のことを目指している。

卒業研究の遂行においては、担当教員と学生が、互いに平等な立場に立って、研究テーマの選択や、実行案の決定や、試作品の改良などについて、ディスカッションをしながら進行する。必要な場合に当たって、教員は学生にヒントを与え、今まで勉強した科目の知識をどう活用するかについて指導をする。ただし、このような指導を強制的に行わず、学生がそれを納得するまで待つ。同時に、教員側の提案や指導に対する学生の反論を積極的に受け入れ、検討する。

このような指導方法の模索の一環として、当研究室では、平成 14 年度から LEGO マインドストームを道具として導入し、学生主体の卒業研究の遂行を試みた。以下、その経過結果を報告する。

2. LEGO マインドストームの導入に関する考え方

LEGO マインドストームは、独自の発想に基づきその発想を組立装置の形まで完成するためのツールとして、LEGO 社から開発されたパーツキットである⁽²⁾。LEGO マインドストームには、歯車、ウォーム、ベルト、プーリなど、多くの基本パーツの他に、簡単な光センサやタッチセンサ、サーボモータや制御ユニットも含まれている。また、基本動作のパターンを組み込むことによって、完成された装置の運動をプログラムで制御することも可能である。したがって、LEGO マインドストームを有効に利用すれば、機械製品と装置の設計や製作について概念的に検討するだけでなく、詳細な構造や基本的な機能の検討も可能であり、また、メカトロニクスの学習にも役に立つと思われる。

一方、付属されるソフトウェアをパソコンにインストールすると、各種のセンサやサーボモータの使い方、プログラムの作成法を独自に学習することができる。また、付属ソフトウェアに含まれた多くの見本装置の構造を検討すると、運動伝達の設計にも有益な参考が得られる。これは、就職活動で卒業研究の時間が限られている学生や、多くの科目を受講している学生にとって、フレキシブルな学習時間ができ、好都合である。さらに、今まで勉強していない知識を自分で調べ、自分でマスターするような勉強の仕方を体得することに対しても役に立つと思われる。

以上に述べた理由に基づき、LEGO マインドストームを卒業研究に導入することを決めた。

3. 指導方法について

学生の創造性が最大限に発揮できることを優先的に考慮し、次のような原則のもとで卒業研究の指導を行う。

(1) 教員と学生は、互いに平等な立場に立って、ディスカッションをする。基本的に、教員が学生にアドバイスを与えるが、案の決定と実行は学生自身で行う。

(2) 学生が積極的に研究活動に取り組む環境を作るために、学生に教員からのアドバイスに反論することを意識的に提唱する。ただし、この場合に、アドバイスを賛同しない理由を明確に述べることで、できれば問題を解決する案を提示することも学生に勧める。

(3) 学生と定期的に（週 1～2 回）ディスカッションを行う。この場で、互いに討論しながら、段階的な進行目標や研究の方針を決めていく。

(4) 研究の進行状態と各段階での目標の達成度を毎回のディスカッションで確認する。必要に応じて適切なアドバイスを与える。

以下、各段階において、主なアドバイスの内容を説明する。

3-1 練習段階 はじめの 2 ヶ月程度の間、学生は LEGO マインドストーム付属のソフトウェアを利用して、サンプル装置を組立てる。基礎を十分マスターした上で、さらに各種のセンサやモータを使用して、自分なりのオリジナル装置を作り、センサやアクチュエータの動作を制御するプログラムを作成する。それと同時に卒業研究としてのテーマを考える。

この段階における指導は、学生の作品に対してより確実にスムーズな動きを工夫すること、センサや動作をより適切なタイミングで行えることなどである。

平成 15 年度では、練習段階の終わり頃、当研究室が学科のオープンキャンパスコンテスト行事を担当することとなった。高校生にもものづくりの楽しさを経験させるために、LEGO マインドストームをはじめ、多数のロボット製作キットを用意し、高校生が自らロボットを完成して競技するという内容を選定した。高校生の製作作業に当たって卒論生に指導役を果せさせた。指導担当の学生は、これまでの自分たちの経験に基づいて、LEGO マインドストームの各種パーツを有効に利用する方法をよく検討し、高校生に示す見本としていくつかの面白い作品を試作した。2 回に亘って行ったオープンキャンパスでは、延べ 300 人近くの高校生が参加していただき、熱意溢れる大盛況であった。指導を担当した卒論生も LEGO マインドストームの活用能力が大幅に伸びた。

3-2 研究テーマの選定段階 本段階に入ると、学生はすぐ医療ロボットや地雷除去ロボットなど、そのとき

のマスコミに話題になっているテーマを多く挙げる。しかし、テーマの絞りや具体的な検討に関してはなかなか進まない。この際、学生に適切なアドバイスを与え、研究意欲を維持させながら考え方を散漫な発想から地道な調査と検討に導くことが非常に重要である。以下、この時期の私達の対応を説明する。

(1) 平成14年度の場合 はじめに学生は医療ロボットやソーラーカーなど、たくさんのテーマを考えていた。私達は、それぞれのテーマについて、現在どのような製品が開発されたか、自分たちで製作しようとする製品に関してどのような特徴と独創性が挙げられるか、というアドバイスを学生に与えた。学生は、試作を重ねながら、インターネットや図書館を通じていろいろ調査を行った。その結果、次第に研究テーマを役に立つ福祉機械の開発に絞った。

そうすると、役に立つためには、現在市販された福祉機械の現状や、高齢化社会の特徴と問題点をまず明確にする必要があるのではないかというアドバイスを与えた。この点に対する学生の調査結果から、高齢者の介護は高齢化社会の福祉問題の中で非常に重要な問題の一つであり、そのために、車椅子は現在販売された福祉機械の中で大きなウェートを占めていることがわかった。この結果に対して、高齢者の介護は社会的な問題であり、高齢者が介護状態になる前の自立生活の期間が長くなればなるほど社会的な負担は軽減されるという意見を学生に話した。この前提の下で、高齢者の自立生活を支援するものであれば、社会的に役に立つ製品だろうというアドバイスをした。

私達の意見を受け入れて、学生はさらに調査を続けた。その結果から、次のことが明らかになった。

(a) 現在多くの種類の車椅子が開発されており、製品を発表した会社の数は100をも超えている。しかし、これらの製品では、高齢者の車椅子使用に必要な階段乗越え能力に対する配慮が足りない。例えば、階段乗越え能力を上げるために、大きなパワーのモータを付けた製品もあったが、その重量はバッテリーなしの状態でも113kgになり、価格はなんと300万円である。

(b) 現在市販されている福祉機械の中で、車椅子は大きなウェートを占めている。一方、それ以外の高齢者の自立生活を支援する目的で開発されたものは少ない。例えば、家庭の中での重量物の移動、特に高所への移動は高齢者にとって大変きついことであるが、それを支援する目的で開発された福祉機械は見当たらない。

(c) 年齢の増加につれて、人間は体力が衰退し、環境に対する反応が鈍くなる。また、高齢者の中で年金生活者が多い。したがって、福祉機械の開発には、これらの特徴に対する配慮が必要である。

以上の結果に基づいて、学生とディスカッションをしながら、次の研究テーマを決めた。

● 家庭内の重量物移動を手伝う福祉機械の機構開発。

このテーマについては、操作の簡便さ、簡素でコンパクトな構造、低コストで製作可能なことなどを重要な開発ポイントとする。

● 段差を乗越え可能な車椅子の機構開発。

このテーマについては、重量と価格を考慮して、簡単な補助機構を付けることにより、車椅子の段差乗越え能力を向上するという点を開発のキーポイントとする。

(2) 平成15年度の場合 前年度の結果をふまえ、本年度の学生は機構の開発のみに限らず、知能的なシステムの開発にも強い意欲を示した。はじめに、学生は補助歩行機や地雷除去装置など多くのテーマを考えた。平成14年度と同様に、私達は、開発しようとする製品及びその性能に於いて、実行が可能であるか、現在類似品や関連品が市販されているか、市販製品と比べ自分たちで製作しようとする製品に新しい原理やコストの低減などの独創性が挙げられるか、というアドバイスをした。また、製品を開発する際に、現在の状況から見てそれがどれだけ社会に必要なか、機能面やコスト面ではどのような利点があるか、などのことをまず明確に把握する必要があるという点に関してもアドバイスを与えた。ディスカッションと調査を重ねながら、学生は次第に次の問題点を明らかにし、考えを絞った。

(a) 現状では、ごみ収集作業は代表的な「3K」作業の一つである。また、それにかかる費用は非常に高く、多くの自治体の財政にとって大きな負担になっている。

(b) 現状では、危険物施設などの火災漏えい事故が多発し、設置式の災害監視装置では死角が存在する。それに対応する有効な手段は見当たらない。

最後に、学生は以上の問題の解決を目指し、次の研究テーマを決めた。

● 巡回型ごみ収集ロボットの原理的開発。

このテーマについては、次の前提条件を想定して進める。まず、現在の住宅街を巡回するごみ収集車の巡回路をベースとし、いくつかの巡回ゾーンに分ける。各巡回ゾーンに、簡単なガイドラインを敷き、ロボットはそれを巡回して、自動的に各家庭から出されたごみを発見して収集し、各ゾーンのごみ置き場に運ぶ。それによって、ごみ収集車の作業箇所は減少され、必要な作業員の人数も少なくて済む。そのため、開発しようとするロボットにごみの発見、ごみの自動回収及び運搬などの基本機能を持たせることを開発のポイントとする。

● 火災の早期発見と消火を目的として、巡回型の消防ロボットの原理的開発。

このテーマの実施目標などに関しては次節に説明する。

ここでの「原理的開発」の意味は、LEGO マインドストームの機能的制限より、完全なロボットを試作することが不可能であるが、その代わりに、独創的なアイデアの検証やロボットに必要な基本機能の構成と実行可能性の検証などを含め、ロボットを概念的な開発ということをしている。

3-3 製作段階 ディスカッションを通して、できた各案と試作品の優劣性について評価を与えながら、より多くの角度から発想するように、学生にアドバイスを与える。また、いままで勉強した各科目の知識を活用して問題を検討するように学生に種々のヒントも提示する。

4. 学生が完成した作品の例

平成14年度に卒業生5名、平成15年度に卒業生3名がそれぞれ二つの班を自主的に結成し、上述のテーマについて研究開発を進めた。学生は何度もの試行錯誤をしながら試作を重ね、設定した目標をほぼ達成する作品を完成した。すべての作品の紹介は紙面の都合より参考文献に譲るが^{(3)~(6)}、以下では、平成15年度の巡回型消防ロボットについて紹介する。

4-1 研究開発の目標 本課題の研究開発目標として以下の項目を設けていた。

(1) 自動巡回機能を持つこと。

これは、現有の産業用自動搬送車ロボットのガイドライン走行技術を利用することを念頭におき、設置コストが比較的安くて済むことを図るからである。

(2) 全方位の火災検出機能を持つこと。

ロボットにセンサ部が自動的に旋回するような構造を導入し、少ないセンサによって全方位の火災検出機能を実現する。また、コンパクトな構造を実現するには火災検出センサとともに消火剤噴射機構を旋回部に設置する。

(3) 効率的な消火機能を持つこと。

噴射するとき消火剤噴射口が左右に揺動できるような構造を導入し、有効消火範囲の増大や延焼防止効果を図る。

4-2 完成したロボット装置の構造 図1と図2は完成した装置の写真である。図中のRCXはマインドストームの付属品で、モータやセンサの動きを制御するプログラマブルマイコンである。装置の主な機能は次の通りである。

● 走行機能 ロボットの左右車輪は2個のモータよりそれぞれ駆動される。各モータに適切な電圧を加えることにより、ロボットは自由に前進、後退、左右の

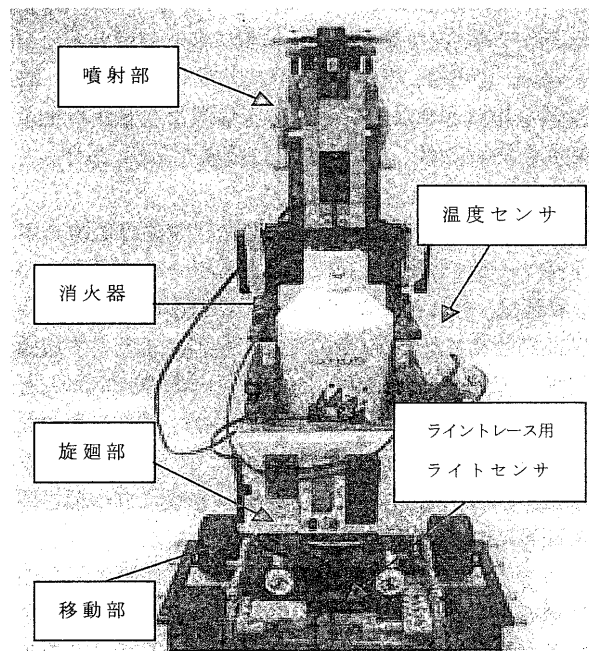


Fig. 1 The prototype fire fighting robot (front view)

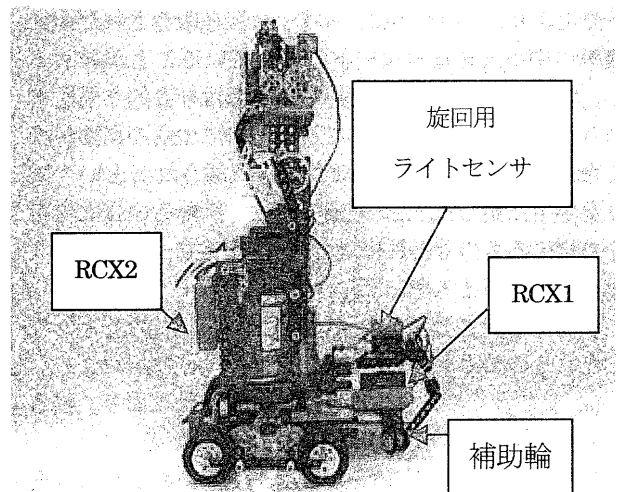


Fig. 2 The prototype fire fighting robot (side view)

回転運動が可能である。ガイドラインの位置はロボット前方に取り付けたラインセンサから検出される。その結果に基づいてガイドラインに沿うように左右のモータが制御される。図3に走行機構の側面図を示す。モータからの動力は歯数8, 40, 24の平歯車を経て左右の車輪に伝わる。また、全体のバランスを保つためにロボットの後部に自由に回転可能な補助輪は取り付けられている。

● 旋回機能 旋回部の基本構造を図4に示す。回転方向が反対になる2個のモータからそれぞれ直結するウォームギヤに動力を伝え、消火器と噴射部を載せた旋回台を回転させる。また、走行機構に取り付けたライ

トセンサが旋回部に取り付けた光源を感知する度にモータの回転方向を反転させる。

● 噴射機能 噴射機構の基本構造を図5に示す。旋回台に取り付けたモータからウォームギヤ、歯数24, 40, 8の平歯車を経て動力を伝え、ラックを垂直に上下運動させる。図には示していないが、ラックの上部に押しバーが設置されている。その押し動作により、消火器を作動させ、消火剤を噴射する。また、ラックの上部に1個のタッチセンサと火災検出用温度センサが取り付けられている。消火器として家庭用簡易消火器（エアゾール式スプレ缶）を使用した。

以上の構造によりロボットはガイドラインに沿って巡回しながら火災検出用温度センサを取り付けた旋回機構が全方位に旋回する。温度センサから火災と判断する高温方位を検出すると、その方向を中心に噴射部はスイング動作しながら消火剤を噴射する。

4・3 ロボットシステムの制御 試作した巡回型ロボット装置の制御には、走行機構と旋回機構をあわせて1個のRCX（RCX1）、噴射機構に1個のRCX（RCX2）を使用した。図6にシステム制御のフローチャートを示す。

● 通常巡回時の制御 走行機構のモータとガイドライン検出用ライトセンサ、旋回部のライトセンサとモータ、噴射機構のタッチセンサがRCX1につながっている。通常巡回の場合、RCX1は旋回機構の360度ごとの反転動作、走行機構のライントレース動作を制御する。一方、火災検出用温度センサは常に周りの温度を監視し温度測定データをRCX2に送る。

● 火災検出時の制御 一旦火災検出センサがある方向の温度がしきい値を超えることを検出すると、RCX2の制御モードは直ちに消火モードに転換される。すなわち、RCX2から噴射機構のラックを下に移動させる指令を出し、ラックの下降につれて押しバーが消火器を押して消火剤を噴射させる。同時に、噴射機構上部に取り付けたタッチセンサが作動され、RCX1に信号を送る。その信号を受けてRCX1は直ちに走行動作を停止させ、旋回部を一時停止させた後、0.5秒ずつの間隔で左右の揺動旋回を繰り返す、消火作業を行う。また、実際の使用を想定し、火災検出時点でRCX2から中央制御装置とするパソコンに火災発生メッセージを送る。

一方、温度センサから検出された温度が通常値に戻ると、鎮火が成功したと判断される。そうすると、RCX2から噴射機構のラックを上を移動させる指令を出し、消火剤の噴射を停止させる。同時に、タッチセンサが作動され、RCX1に信号を送る。この信号がきっかけとなり、RCX1の制御モードは通常巡回動作モードに入れ

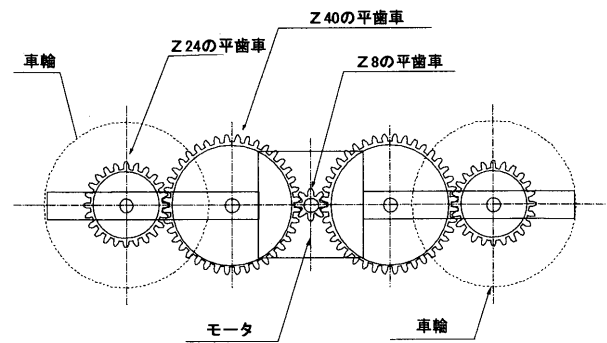


Fig. 3 Moving Mechanism

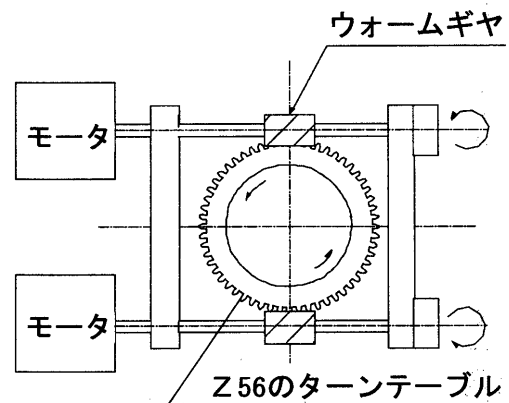


Fig. 4 Circling mechanism

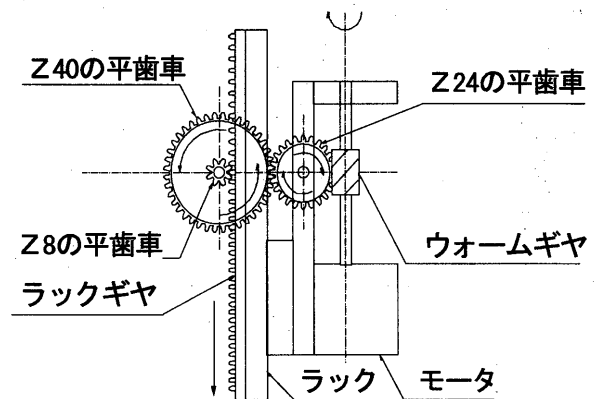


Fig. 5 Jetting mechanism

替えられる。

4・4 検証実験の結果 完成した装置の効果を確認するために、検証実験を行った。図7に実験に使用した巡回ラインコースを示している。まず、ロボットをS点からコース1周だけ巡回させた後、図7に示す位置に熱源を作動させ、点火した。実験時の室温は24.5°Cであるため、温度センサの異常しきい値を30°Cに設定した。図8に検証実験の様子を示す。図(a)は巡回パトロール中の様子であり、図(b)は火災発見した場面である。

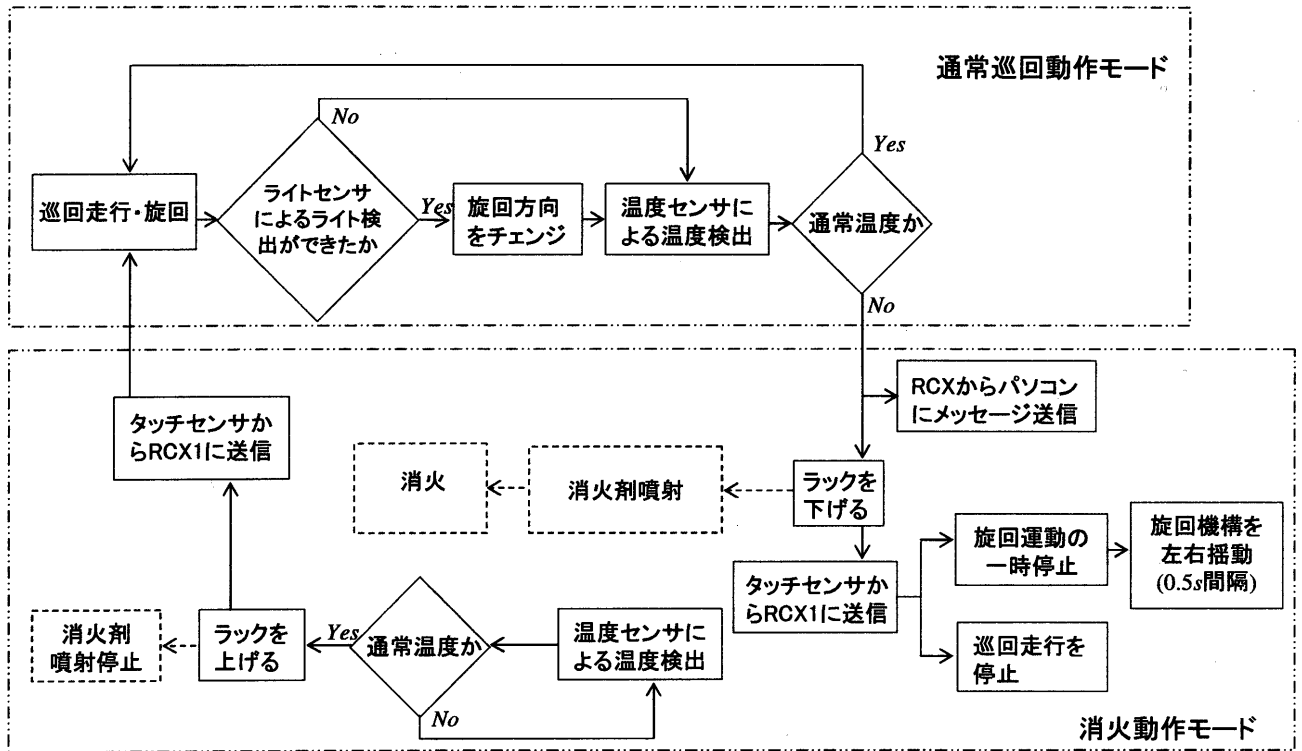
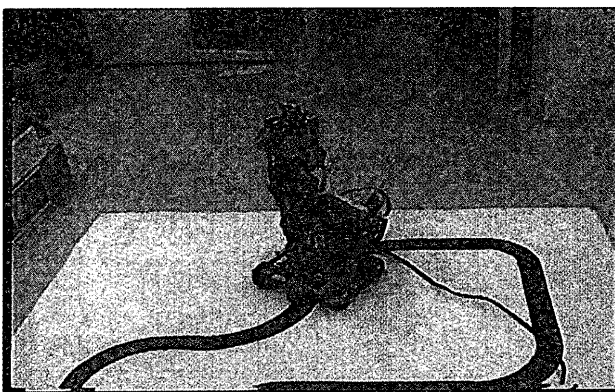
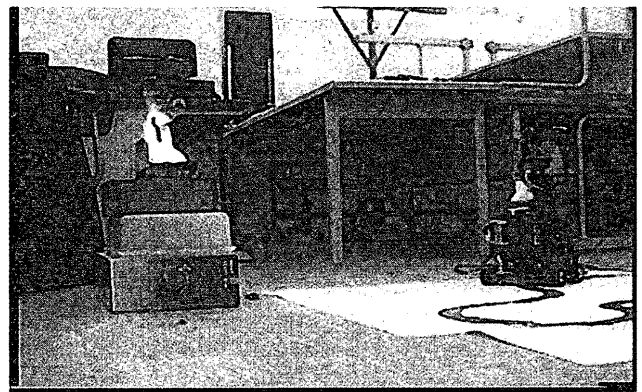


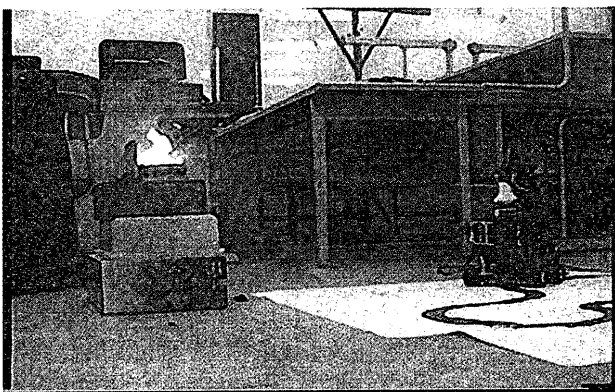
Fig. 6 Control flow chat



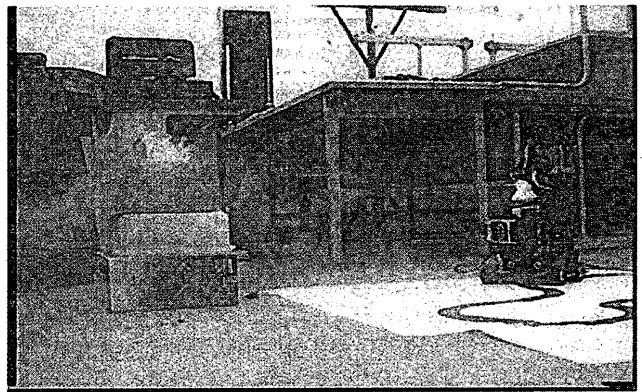
(a) General patrol



(b) Discovering a fire



(c) Operation of extinguishing fire



(d) Putting out the fire

Fig. 8 The scenes of verification experiment

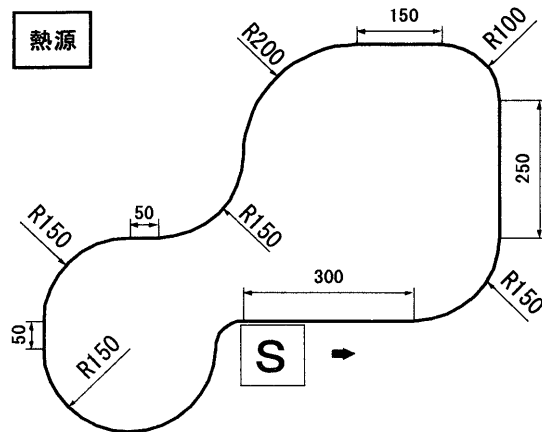


Fig. 7 The patrol course in verification experiment

図(c)は消火剤の噴射による消火作業の場面であり、図(d)は鎮火したところの様子である。図示した結果から、試作したロボット装置は一応設定した研究開発目標を達成できたことが確認された。一方、検証実験の結果から、使用した温度センサの感度が悪く、ピンポイント的な温度検知ができないことと、走行機構に色を識別するライトセンサを使用し、ガイドラインの縁を検出してライントレースを行うため、走行動作に滑らかさが欠けていることなどの改善すべき問題も明らかになった。ただし、これらの問題は LEGO マインドストーム部品の固有問題であるため、今回の卒業研究ではその解決ができなかった。

偶然なことかもしれないが、ごく最近、ある会社が上述の巡回型消防ロボットと非常に似ている発想とコンセプトに基づき、人間の代わりに広い敷地を巡回して、不法侵入や火災監視用の屋外巡回監視ロボットを開発して市販している記事⁷⁾を読んだとき、私達もちよっとびっくりした。

5. 反省とまとめ

(1) 学生からの評価 卒業研究を行った学生から以下の意見が得られた。

● パーツ、センサ、モータに若干の制限が存在するが、LEGO マインドストームを利用すれば自由な発想が迅速に確認できる。メカトロニクスの学習に対して、LEGO マインドストームは非常に有効な道具である。また、作品を製作するときの作業も面白い。

● テーマを決定することから作品を完成するまで、今までの勉強ではなかった充実感があり、卒業研究に没頭することができた。特に、ソフトウェアとハードウェアの両面から知的なメカトロニクスシステムを製作し、

それをうまく動作させることにより満足感があった。

● 完成品を見ると、一応の達成感があった。また、良いものを作るためには、今まで勉強した各科目の知識を融合して活用することの重要性が改めて認識できた。

● 新製品を開発する場合は、その必要性や、ユーザーと市場の可能性などについて詳細に調査することの重要性を知った。

(2) 教員としての反省 2年間実施した学生主体の卒業研究の遂行から、次の反省点が得られた。

● 今回の卒業研究に対して、学生は非常に積極的に取り組んでいるにもかかわらず、はじめの段階では若干とまどい時期があった。この段階を速く乗越えさせるためには、教員からの指示を待つのではなく、自分で問題を発見してそれを解決するための方法を模索するように、学生に適切なヒントを提示しながら啓発的なアドバイスを与えることが重要である。

● 学生が主体で研究を遂行することは基本的であるが、研究の達成度に関しては教員のチェックが不可欠である。特に、作品を完成した後に、学生にその作品に関して学問的に分析してまとめさせることは、勉強効果を一層高める効果があると期待できる。ただし、この点に関しては今回の卒業研究における対応が不十分であった。実は、卒業研究のスケジュールに完成品に関する力学と機構学的な検討が計画されていたが、担当学生の就職活動や、他大学の大学院の入試や、海外留学の手続きなどのことによって、その実施はできなかった。

6. 後書き

以上に示したように、学生の作品の完成度は、決して高いとはいえないが、学生が自ら問題を見つけ出し、自ら関連情報を収集して分析し、さらに自らロボットシステムなどを構築して完成するという面から見ると、創成型ものづくり教育の試みとして今回の卒業研究は一応の成果が得られたと思われる。また、初めに遊びからものづくりに入っていく、次第に真剣に学習するようになり、最終段階では、より優れた装置を完成するために徹夜で奮闘する学生の姿をずっと見ている私達も、学生と一緒に失敗と成功を経験しながら、多くの感動を受けている。この2年間の創成的なものづくりの教育実践から、頑張っていく勇気を私達にも与えてくれた。

文 献

- (1) 塚本真也, 創成型科目における最大の盲点を克服する体系的な教育方法, 機械の研究, 55-1, (2003), pp.161-171.
- (2) <http://mindstorms.lego.com>.
- (3) 大原琢也・佐々木寛・佐藤和也・重岡慎太郎・藤吉

- 浩平, 福祉機器の機構開発に関する研究, 九州産業大学工学部機械工学科平成14年度卒業論文.
- (4) 俣野宗昭・鍋山庸二・稲富俊介, 巡回型ロボットの原理的開発に関する研究, 九州産業大学工学部機械工学科平成15年度卒業論文.
- (5) 丘華・久保明雄, もの作り教育における LEGO マインドストームの活用の試み, 日本設計工学会九州支部研究発表講演論文集, No.31, (2003), pp.5-8.
- (6) 久保明雄・丘華, もの作り教育における LEGO マインドストームの活用の試み (その2), 日本設計工学会九州支部研究発表講演論文集, No.32, (2004), pp.1-6.
- (7) セコム(株), 屋外巡回監視ロボット, 機械の研究, 56-11, (2004), pp.1181-1182.