

LEGO MINDSTORMS™ の工学教育への導入の検討と提案 Study for LEGO MINDSTORMS™ Application to Engineering Education.

今成 一雄

Kazuo IMANARI

1. はじめに

平成 3 年版科学技術白書¹⁾で、学生の理工系・ものづくり離れが懸念されてからというもの、関係各署では様々な対応が求められてきた。マスメディアや各自治体・学校では各種ロボットコンテストやコンクール・発表会等が実施されてきた²⁾。本校でも中学生向けの学校紹介や Jr. (ジュニア) 科学リーグ、公開講座等を実施し、理工系への興味を誘導してきた³⁾。更には、入学後も“ものづくり”への興味が削がれない様に、NHK ロボットコンテスト (以下、ロボコンと称する。) やプログラミングコンテストに代表される学外コンテストへの積極的な参加指導や学内ロボコン実施など、様々な方法で学生に働きかけてきた⁴⁾。

その最中、1998 年 9 月にデンマークの LEGO 社から LEGO MINDSTORMS™ がアメリカで発売された。発売当時は日本には正規輸入がされておらず、また従来の LEGO ブロックよりも高価なため、一般的な商品ではなかった。2000 年を過ぎた頃になると、正規代理店からの輸入販売も開始され、広く一般の店頭にも並び始めた。丁度この頃から、専門学校や私立大学でロボット工学を専門に学ぶコースが設置され⁵⁾、LEGO MINDSTORMS™ が、その特長を生かされて

教材として採用されるようになってきた。本研究室でも同時期に LEGO MINDSTORMS™ を入手し、その可能性について探ってきた。そして今や、LEGO MINDSTORMS™ 専門のロボコン⁶⁾や、科学館での公開講座⁷⁾が開催され、一般に良く知られるものとなり、現在に至っている。

本紀要では、これまで実施してきた検証結果をまとめ、工学教育への応用の可能性や新しい提案について報告する。

2. 学生実験カリキュラムとテーマ

まず、電気情報工学科で実施されている学生実験のカリキュラムについて、確認しておく。本学科は平成 13 年 4 月に電気工学科から改組しており、現時点 (平成 16 年 9 月) ではまだ改組は完成していない。しかし、ここでは先を見越した議論するために、改組が完了したものとして、学科完成後のカリキュラムを対象にする。

表 1 は、電気情報工学科のカリキュラムに組み込まれている学生実験の時間数一覧である⁸⁾。通常、学生実験は、1 クラス 40 名程度を 3~5 人で構成される複数の実験班に分割する。そして、10~12 テーマの実験を、ローテーションを組んで並列に実施する。よって 1 つの実験テーマは、1.5~3.5 時間で終了するよ

表 1 学生実験時間数一覧

授業科目	配当単位数 (時間数)			
	1 年	2 年	3 年	4 年
電気情報工学実験	2 (通年 60)	2 (通年 60)	2 (前期 60)	2 (前期 60)
プロジェクトワーク			2 (後期 60)	
コース別実験				2 (後期 60)

表 2 各実験の代表的なテーマ

学年	期間	テーマ数	テーマ例
1 年	前期	7	テスターの製作、オシロスコープの使い方、電流磁界、光の特性 他
	後期	9	回転磁界、電磁力、RLC 回路の特性、ヘルツの実験、波形の観測 他
2 年	前期		(機械工場実習)
	後期	9	ブリッジ回路、電位差計、半導体素子の静特性、電力測定、PSpice 他
3 年	前期	11	論理回路、シミュレーション、変圧器、直流機、計測制御 他
4 年	前期	10	トランジスタ増幅器、自動計測、発電機、シーケンス制御 他
	後期	3	(コース別実験) CASL プログラミング、各種シミュレーション 他

う内容を組み立てる必要がある。十分な準備・配慮をしても、実験時間を 0.5~1.5 時間程度延長して実施することも度々である。この点が実験のテーマの選定や、実施上の大きな制約になる。この点の解決策として、電気情報工学科は、基礎教育期間である 3 年生後期に“プロジェクト・ワーク”を開設している。これは半期を掛けて、1つのテーマに各人が取り組み、最後にその成果が競技会・発表会等の方法を通して評価される実習であり、本学科を特徴付ける講義のひとつである。よって、この講義はカリキュラム上で 30 時間／テーマという長期間が確保されている。4 年生になると、クラスはコース分けされ、後期の学生実験は各コースの特徴が盛り込まれた、専門色の濃いコース別実験となる。実験テーマは各コースに委任されている。

表 2 は、学生実験で取り扱っている主な実験テーマの一覧である。学生実験の位置付けが、“座学で学習した事項の確認”という性格を持っているため、テーマのほとんどが、装置の取扱や素子・回路の特性測定である。その中で、4 年生前期のテーマ“トランジスタ増幅器の設計・製作”は極めて特殊なテーマで、トランジスタアンプの設計・製作・特性測定・評価・再設計を 1 テーマとしている。1 テーマで、ものづくりを系統立て最後まで実施しているテーマは、他には無い。それ故、本テーマは通常の時間では収まりきらず、予習復習という形で、実験日の前後 1 週間、都合 2 週間掛けて実施している。これは学生と指導教官の双方にとって、少なからず負担になっていることも事実である。また、実験の

実施毎に必要なとされる消耗品（電子部品、配線材、耐久消耗品等）の負担も無視できない。

3. LEGO MINDSTORMSTM 9, 10, 11)

LEGO MINDSTORMSTM（以下、MINDSTORMS と称する。）は、1998 年 9 月にデンマークの LEGO 社によって、アメリカで発売された。

LEGO 社は、現在の会長兼 CEO、Kjeld Kirk Kristiansen 氏の祖父で大工であった Ole Kirk Christiansen 氏がデンマークのビルンに設立した会社である。1949 年、Ole Kirk 氏は現在の LEGO Block の前身となる、自動結合ブロックとプラスチックの結合ブロックを発売し、1954 年には、LEGO SYSTEM OF PLAY の 10 の特色として知られるようになるコンセプトを定義した。具体的には以下の 10 項目である。

- 1) 無限に広がる遊び方の可能性。
- 2) 男女を問わない。
- 3) あらゆる世代が楽しめる。
- 4) 健康的で静かにかつ長時間遊べる。
- 5) 年間を通じて楽しめる。
- 6) 想像力
- 7) 創造性
- 8) 発展性に優れている。
- 9) エレメントを多く使うほど価値が増し、買い足しができる。
- 10) 細部にこだわった作りを楽しめる。

そして日本でも、LEGO 製品は 1962 年以来継続して販売されている。製品寿命が長いこ



図 1 ROBOTICS INVENTION SYSTEM 2.0

とで、自らそのコンセプトが正しいことを証明した製品と言える。

また、LEGO 社は学習および技術に関するいくつかの研究機関と提携している。MINDSTORMS は、マサチューセッツ工科大学 (MIT) メディアラボとの提携によって開発された LEGO Block とコンピュータとを融合した製品のブランド名であり、前述のコンセプトも継承されている。

MINDSTORMS は、対象年齢とシステムの規模（機能やパーツ数）の違いにより数種類のもので発売され、更には発売時期の違いによって複数のバージョンが存在しているが、ここでは、現在入手可能な ROBOTICS INVENTION SYSTEM 2.0 (以下、RIS と称する。) を取り扱う (図 1)。RIS は、マイクロコンピュータを内蔵し電源・入出力インターフェースを備えたコントロールユニット RCX を中心に 700 個余りの様々な形状・大きさの LEGO ピースで構成されている。対象

表 3 RCX の仕様

マイクロプロセッサ	H8/3292 (8bit)
インターフェース	センサポート ×3
	出力ポート ×3
	赤外線通信ポート ×1
	LCD ×1
電源	単 3 乾電池 ×6
外形寸法	95×63×40 mm (12×8×4 スタッド)
重量	115 g

年齢は、12 歳以上に設定されている。図 2 は RIS で用意されている LEGO ピースを示す。図中で一際大きく目を引くピースが RCX である。RCX が持つ 3 系統の出力インターフェース（出力ポート）には、付属のケーブルを介してモータが接続される。同様に、3 系統の入力インターフェース（センサポート）には各種センサが接続される。表 3 は、RCX の仕様を示す。RIS には定格電圧 9V のモータとタッチセンサ・ライトセンサとが用意されているが、別売りで定格電圧の低いモータや回転センサ・温度センサも準備されている。

RCX は外部通信用の赤外線ポートも備えられており、パーソナルコンピュータとの間



図 2 RIS の LEGO ピース群

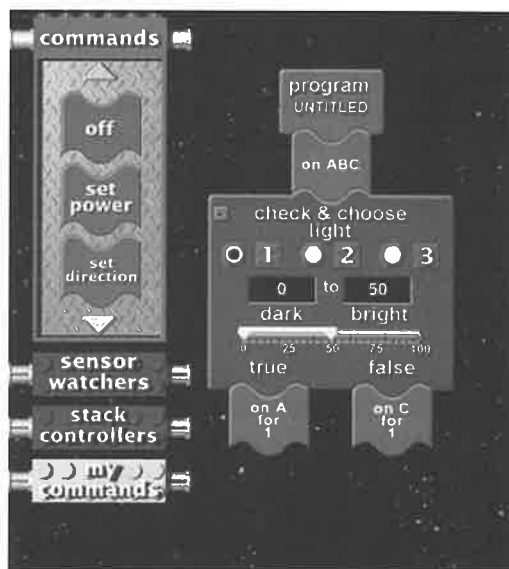


図 3 標準プログラム RCX CODE の 1 例

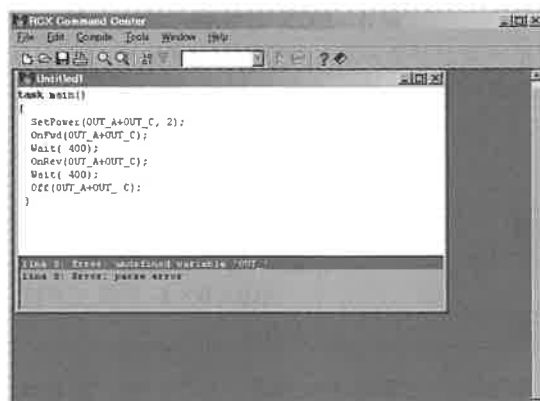


図4 NQC の1例

でプログラムやデータの送受信が行える。つまり、RIS では RCX を中核にして作成した作品にプログラムを転送することで、任意の自律動作が可能となる。RCX のプログラミングは、RIS 付属の統合環境やフリーソフトウェアを使用する。図3は、付属の標準プログラム RCX CODE の1例である。ユーザは Graphical User Interface (GUI) を通して、あらかじめ準備されている機能を組合わせて、プログラムを作成する。よって、専門的な知識は必要とされない。同時に、当然のことながら機能は限られており、Robotics 教育の入門用の色合いが非常に濃い。一方、Dave Baum 氏が開発したフリーウェア NQC (Not Quite C) も利用できる¹²⁾。その名称が示す通り、C 言語に非常に似通った構造や文法を持つテキストベースの言語である。図4は、その1例である。プログラミングには C 言語が理解できる程度のスキルが要求されるが、RCX のハードウェアレベルのプログラムが可能となっている。

4. 付属 tutorial に沿った試用による評価・考察

2002 年から、本研究室の学生に RIS を 1 セットずつ貸与し、付属説明書と付属 CD とで用意された tutorial に従って試用してもらった。まず、MINDSTORMS の基礎を一通り習得し、自らオリジナルの作品が製作できるようになるまでの到達時間を調査した。個人のスキルの差やメンバ構成の差による到達

表4 試用による目標到達時間の比較

年度	学生数	達成所要時間(h)
(2000)	1	10)
2002	3	10
2003	3	12
2004	4	6

時間への影響は、現実の実験・実習での使用においても発生するファクターと考えられるので、ここでは敢えて正規化していない。表4は、試行結果を示す。LEGO Japan による RIS の紹介¹³⁾では、“・・・作動するロボットを 1 時間以内に組み立てることもできますし、・・・”とあるが、試用ではこれを大幅に上回る時間が必要とされることがわかる。LEGO 社の設定する達成目標と今回の達成目標との差異が不明なので断言はできないが、それでも“1 時間”は短か過ぎ、十分な成果は上げられないと考える。実験テーマのひとつとして組み込む場合、この点が大きな問題となる。

5. MINDSTORMS の工学教育導入上の問題点

試用に引続き、学生に RIS を 20 日間ほど貸与し、自由にオリジナルな作品を創ってもらった。その後、ブレインストーミングを行い、MINDSTORMS の特徴を提起・検討した。以下にその結果を列挙する。

- 1) 基本的に規格化されている LEGO Block であるため、組立が容易である。
- 2) (1)と同様の理由で)再現性が高い。
- 3) (1)と同様の理由で)機械的強度に不安がある。
- 4) (1)と同様の理由で)細かく小さい作品は製作できない(大きくなってしまう)。
- 5) (4)に類似するが)複雑な機構を有する作品は、必然的に大きくなる。
- 6) (一般的なロボット製作と比較して)センサ・機構部品が用意に取扱える。
- 7) (一般的なロボット製作と比較して)プログラムが用意に作成できる。
- 8) (Hardware, Software 両面において)直ぐに結果が反映される。

- 9) 可動部を中心にして設計する必要がある。
- 10) パーツ形状を十分に把握していないと、製作できない形状・機構が発生する。
- 11) パーツの色が単調で、完成品が美しい。
- 12) 作品が、左右対称形状に成り易い。
- 13) RCX の入出力ポート数が少ない。
- 14) RCX の RAM 容量が少ない。
- 15) 主電源が単 3 乾電池で、不経済である。
- 16) モータの取付自由度が低い。
- 17) 全ての動きは、モータの回転運動が基本である点に大きな制約が生じる。
- 18) センサの種類が十分とは言えない。
- 19) 赤外線通信機能の性能に満足出来ない。
- 20) RCX から送信できる情報量が少ない。
- 21) IR タワーの通信可能範囲が狭い。
- 22) RCX 単体で 1 作品を創ることを前提としているため、個々の作品が独立して動くだけで面白みに欠ける。
- 23) 発売から時間が経ちユーザが非常に多いため、情報が氾濫している。
- 24) 一通り遊ぶと、飽きる。

特徴 1) ～5) (特徴 A) は、ブロックの材質 (ABS 樹脂) とブロックサイズの規格化に由来するもので、いうなれば LEGO Block の本質といえる部分である。よって欠点も含まれているが、MINDSTORMS を扱う上では、受容せざるを得ない点である。一方で、全てのパーツが再利用可能で再現性が高い特徴は、教育現場において、非常に有益である。

特徴 6) ～8) (特徴 B) は、MINDSTORMS が Robotics 教育に根ざして企画されたことを端的に示していると言える。特に、試行が作品に直に反映される、結果をリアルタイムに確認できる点は、実習を主体とした工学教育において大きなアドバンテージと成りえる。

特徴 9) ～12) (特徴 C) は、MINDSTORMS を使用して作品を作り上げる上でのキーポイントとなる点で、オリジナル作品の完成度を大きく左右するようである。

そして特徴 13) ～22) (特徴 D) は、MINDSTORMS を工学教育に応用する上で、非常に重要な点であり、これがこの製品の工

学教育教材として価値を決定するといえる。つまり、遊びとしての教材であるならば十分であるが、その枠を一步踏み出そうとすると、多くの不満が噴出するのである。前述したように Robotics 入門教材であり、対象年齢も低いことから、それ以上のことを望むこと自体が間違いであるかもしれない。しかし一方で、幾つかの問題点を解決すれば、玩具の枠を踏み出せる可能性を秘めていることも事実である。後の章でこの解決策を提案・検討する。

最後に特徴 23) ～24) (特徴 E)、見落とされがちであるが、非常に重要な警告が含まれている。それは最近の学生の、“すぐに解答を求め、十分に検討をしようしない気質”に関係する。模範解答が氾濫しているのである。雑誌には制作上の様々なテクニックが掲載され¹⁴⁾、個人のホームページには、各人が趣向を凝らした作品が紹介されている¹⁵⁾。試用評価に参加した学生からも、“製作しようと暖めたアイデアが既に他で紹介されていることがあり、製作前に気持ちが削がれてしまった”旨の意見が上っていた。時代に逆行するようだが、教育に導入する際には、学生には出来るだけ情報を与えない方が良く考える。

以上まとめると、MINDSTORMS を工学教育へ導入する場合、特徴 A,B,C を十分に理解し、特徴 E に注意して指導する必要がある。また、特徴 D の問題点を解決せねば、工学教育には導入できないと言える。

6. 提案と検討

以上の検討結果より、本学科における MINDSTORMS の実験・実習教育への導入の可能性と対策とを提案し、その教育的効果について検討する。

1) 導入対象カリキュラム

時間の制約から一般の工学実験の 1 テーマとして扱うには無理があると言わざるを得ない。そこで候補として挙げられるのは 3 年後期のプロジェクト・ワークと 4 年後期のコース別実験である。プロジェクト・ワークは、長期に渡って実施されるので、学生の興味を持続させる

必要がある。RIS の標準セットのままでは、創造性に限りがあり、その持続は難しいと言えるだろう。コース別実験のテーマは、専門性が色濃く反映された内容にする必要上、RIS を標準セットのまま利用することは出来ない。よって、どちらにしても後述の 3) 機能の拡張を検討する必要がある。

2) 情報の公開

実習開始時点で与える情報は、RIS に同梱されているマニュアルと CD-ROM のみに留めておき、それ以上のものは一切与えるべきではない。前述のように既に情報が氾濫しているため、その模造を始める学生に対してはしっかりとした指摘や指導が重要である。

3) 機能の拡張

① 拡張セットによる対応

MINDSTORMS には、別売りで数種類の拡張セットが用意されている (図 5)。それぞれに特殊な形状の LEGO Block が含まれてはいるが、造詣に影響を与えるだけで本質的な機能の拡張性は期待できない。

② RCX の物理的仕様拡張 (特徴 13, 14)

入出力ポート数が、複雑な動作をする機構の制御や広範囲な外部データの処理を行うには少なすぎる。そのため、作品の動作が単調または機械的に連動したも

のに限られてくる。機械工学の教材としては十分であるが、プログラム制御教材として捕らえると、大きな制限と成る。

図 6 は、1 番目の解決案である。2 台の RCX の入出力ポート 2 組をクロス接続してデータの送受信によりポートを拡張する方法である。ただし、RCX 1 台の増設でポート 1 組しか拡張できないため現実的ではない。

図 7 は、2 番目の解決案である。出力ポートの 1 つを制御線としたポートのマルチプレクス化である。制御線のレベルを調整することで実用的なポート数への拡張が可能ではあるが、一方で十分なノイズシールドの要求や RCX CODE の使用が困難になるなどの問題が発生する。

最後の提案は、RCX に装備されている赤外線通信ポートを使用した、RCX 間通信による機能拡張である。これは RCX の配置の問題、RCX それぞれに個別のソフトウェアが必要になるなどの課題が発生する。しかし、ある程度高いレベルが設



図 5 拡張セットの 1 例

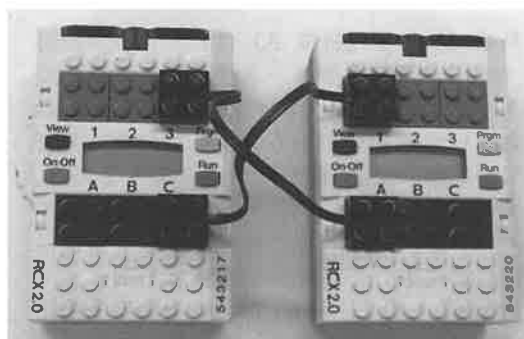


図 6 クロスポートによる拡張

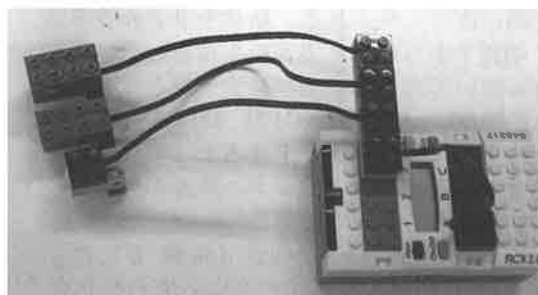


図 7 マルチプレクスポート

定された実習においては、これは課題の一部と成り得るので最も現実的であると考ええる。

③ 電源（特徴 15）

大量に乾電池を準備するのは、経費の面からも現実的ではない。最初期の RIS 1.0 の RCX は、AC アダプタを接続するコネクタが装備されていたが、現在市販されているモデルでは残念ながら省略されている。しかし、電池ケースから配線を引出すことで対応は可能である。

④ モータの自由度（特徴 16, 17）

創造性の幅を広げる上で、リニアモータパーツは欲しい。しかし、可動子の位置決め機能の組込みやそれを制御するソフトウェアの準備、RCX CODE での取扱方法など MINDSTORMS の根幹に手を加える必要が出てくる。機械効率（損失）と機構部のサイズを問題にしなければ、現在用意されている部品で対応・実現は、可能ではある。

⑤ センサ（特徴 18）

RIS に同梱されている標準的なセンサはタッチセンサとライトセンサである。タッチセンサは名称通り、接触(on-off)を検知する。ライトセンサは、フォトトランジスタ・赤色 LED と駆動回路とがブロック内に組み込まれたセンサで、LED の反射光または外部からの入射光の強さを検出できる。その検出可能範囲は数 cm と短い。この他、別売りで温度センサと回転センサが用意されている。回転セン

サは軸受として用い、軸の回転を 22.5deg とかなり低い分解能で検出する。以上概観したように、RIS で用意されているセンサは、その機能が玩具の域にあるため、工学教育用教材としては十分なものではない。特にライトセンサ・回転センサは、高機能な可動作品を創作する上で非常に重要なものである。そこで、本研究では、2種類のセンサを提案した。

図 8 は、PSD センサユニットを利用した高分解能中距離センサである。計測可能範囲：10～25cm、分解能：10cm の性能をもつ。ライトセンサと互換性があり、RCX CODE で利用できる点が大きな特徴となっている。一方で、電源を内蔵したボタン電池に依存している点が欠点である。本センサを装備した 4 輪自動車の制御実験では、誤差・再現性共に優れた結果を示した。詳細については、後日継続の報告にゆずる。

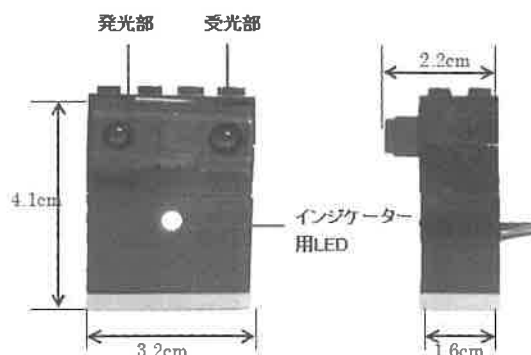


図 8 PSD センサユニット試作品

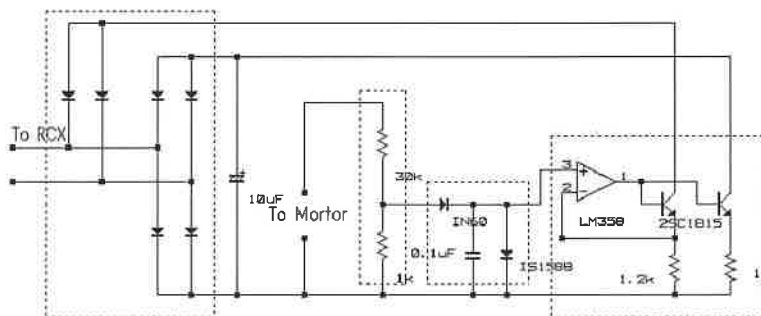


図 9 試作モータセンサ回路図

図 9 は、モータをジェネレータとしてセンサ化した、モータセンサの試作回路図である。本センサを応用した免震装置の実験では、回転センサと比較して、応答特性・分解能共に優れた結果を残している。詳細については、後日継続の報告にゆずる。

⑥ 赤外線通信機能（特徴 19, 20）と IR タワーの通信可能範囲（特徴 21）

RCX には赤外線ポートが装備されているが、これは基本的にパソコンに接続された IR タワーとの間で、プログラムやデータを送受信するもので、近～中距離・静止状態を前提に開発されている。そのため、移動体作品とパソコン間のデータ転送を行う場合、死角やデータ転送レート・誤り率等が重要な問題点として浮上する。この対策として、IR タワーの複数台並列設置による全方位データ転送が、最も安易な解決策として提案できる。しかし、この場合は干渉が発生する可能性があり、その解決方法が求められる。また依然として、移動体作品間のデータ転送の問題が残される。この問題点に関しては、今後の検討の余地が十分にある。

⑦ 作品の自由度（特徴 22）

MINDSTORMS の作品は基本的に単体完結・単体動作を前提にしている。そのため、作品の広がりや機能に制限が存在すると言える。そこで解決策として、複数台の作品による分散協調動作を提案す

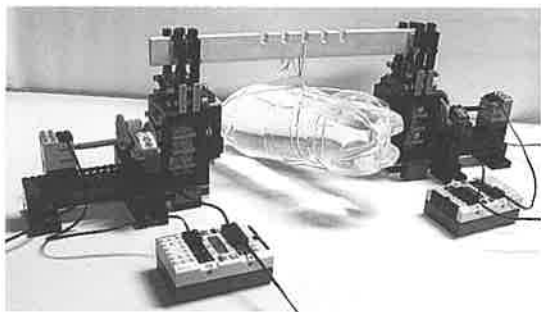


図 10(a) 分散協調システム事例 1

る。作品単体には最小限の機能のみが求められるので、制作上の制限は緩められる。また、協調プログラムの変更のみで、様々な結果が期待できる。一方で、前記項目⑥の問題の解決が関連してくる。

図 10(a)は、分散協調動作の可能性を検討したシステム事例である。2 台の RCX 制御のアームが RCX 間通信により梁の重心を検出する。RCX 自身は静止しており、2 台の RCX の位置関係に変化はない。よって、この事例では赤外線通信を阻害する要因は存在しない。本システムは、リアルタイム動作こそさせられなかったが、確実に重心を検出し、RCX 間の協調動作実現の可能性が高いことを確認した。

同図(b)は、2 台の自律ロボットによる分散協調動作の検証システム例である。典型的な例として擬似スポーツが想定されている。本システムでは、移動による通信環境の変化とリアルタイム性の要求が含まれる。RCX のメモリ容量や搭載センサ数が少ないため、複雑な固体の判別・位置検出や固体情報のブロードキャスト機能は、外部のオブザーバシステムに組み込むことにした。よって、分散協調システムの基本的な性能は、オブザーバシステム（競技フィールド）の完成度

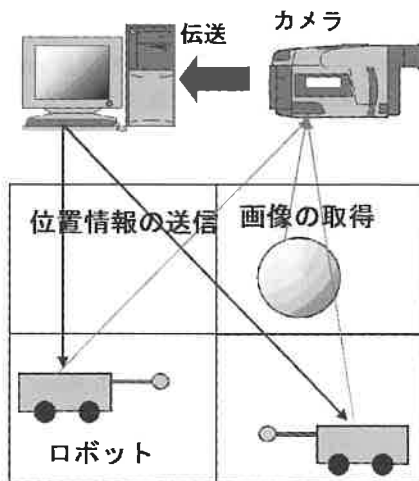


図 10(b) 分散協調システム事例 2

に大きく依存する。一方で、競技に参加する個々のロボットの機能やソフトウェアは簡素化できる。

これら事例については、現在様々な角度から試作・検討中である。

7. まとめ

ここでは、LEGO MINDSTORMS™ の工学教育教材としての可能性と将来性とを評価・検討し、またその付加価値を高めるための提案をした。

LEGO MINDSTORMS™ は、玩具の領域においては、Robotics 教育導入教材としてその効果が大いに期待できる。一方、工学教育の領域では、様々な問題点が噴出・懸念され、その効果はあまり期待できない。これは、製品企画上の対象年齢に拠るもので、如何ともし難い事実である。しかし、以下の工夫を施すことでその付加価値を上げ、工学教育に耐え得る教材へと昇華させられる可能性がある。

- 1) 実習カリキュラムにおいて、十分な試行や思考が出来る時間を確保すること。
- 2) 書籍やインターネット上の第 3 者の作品の関する情報は出来るだけ与えず、各人に十分に試行・解決させるよう仕向けること。
- 3) センサーに代表される電子パーツを充実させ、比較的精度や分解能の高い制御が出来るようにする。
- 4) 創作した作品を使つての競技をさせるのであれば、そのための高度な環境（競技フィールド）を用意すること。

上記 3), 4) の点については、具体的な方策を提案した。今後は継続して提案と試作・試行を行い、その詳細な結果を報告していく。

最後に、本報告をまとめるに当たり、実験・議論に参加・協力してくれた卒業研究生諸氏に感謝する。

の確保”，平成 3 年版科学技術白書。

- 2) オーム社，“Online ROBOCON Magazine 全国ロボコンマップ”，http://www.ohmsha.co.jp/robocon/robocon_map/main.htm.
- 3) 小山工業高等専門学校，“小山高専・公開講座”，<http://www.oyama-ct.ac.jp/syomu/koukaikouza/jyohooend.htm>.
- 4) 小山工業高等専門学校，“各種コンテスト”，<http://www.oyama-ct.ac.jp/gakusei/contest2/index.htm>.
- 5) 日本工学院，<http://www.neec.ac.jp/tech/hac/ar/index.html>. 他
- 6) LEGO MINDSTORMS Users Group JAPAN，“LEGO MINDSTORMS フェスティバル”，<http://www.legomug.gr.jp/festival7/>.
- 7) 日本科学未来館 MeSci，<http://www.miraikan.jst.go.jp/index.html>
- 8) 小山工業高等専門学校，“専門科目の学年別開設単位数”，平成 16 年度 学生便覧，p.p.19-20，(2004).
- 9) レゴ ジャパン，LEGO MINDSTORMS JAPAN Home page，<http://mindstorms.lego.com/japan/aboutus/lego/history.html>.
- 10) 古川 剛編，“LEGO MINDSTORMS パーフェクトガイド”，翔泳社(1999).
- 11) Joe Nagata，“Joe Nagata の LEGO MINDSTORMS™ ロボット入門”，オーム社(2000).
- 12) NQC (Not Quite C) Home Page，<http://news.lugnet.com/robotics/rcx/nqc/>
- 13) レゴ ジャパン，LEGO MINDSTORMS JAPAN Home page，<http://mindstorms.lego.com/japan/aboutus/mindstorms/mindstorms.html>.
- 14) ロボコンマガジン，オーム社. 他
- 15) Jin SATO，マインドストーム情報局，<http://www.mi-ra-i.com/JinSato/MindStorms/index.html>. 他

「受理年月日 2004 年9月27日」

参考文献

- 1) 文部科学省，“第 1 部 第 2 章 第 3 節 2.人材

