玩具のシステム化と工学研究への適用*

小野里雅彦**

Systematized Toys and Their Applications to Engineering Research /
Masahiko ONOSATO

Key words: toy, systematization, computer control, engineering research,
LEGO

1. はじめに

私たちが抱く玩具のイメージは、研究機器の対極であろう。研究機器が高価で複雑、精密で堅牢であるのに比べて、玩具は安価で単純、粗雑で壊れやすいと考えられている。また、何より玩具は子供の遊び道具であり、大人の研究者が仕事には使えない、との理解が現状であろう。

しかしながら、そうした玩具への先入観を覆すものが近年、現れてきている。それは、マイクロコンピュータ、センサ、アクチュエータなどが組み込まれ、複雑な構造と多様な機能を柔軟に構成できる玩具である。本稿ではこうした玩具を総称してシステム玩具と呼ぶことにする。

以下では、まず、玩具のシステム化の経緯について概説する。次に、現在のシステム玩具の代表と言える LEGO 社のシステム玩具について説明する。最後にシステム玩具を工学研究に利用している事例をいくつか紹介する。

2. 玩具のシステム化の歴史

玩具の世界では、自由に組立てと分解ができる積み木遊びが、古くから世界中の子供たちに愛されてきた。直方体や円筒などの基本的な形状からなる積み木を並べ、重ねることにより色々な構造物を作ることができる。しかし、積み木同士が相互に結合されていないため、積み上げられた

構造物は簡単に壊れてしまう。

1949年にデンマークに本社をおく LEGO 社¹⁾が積み木とは違った玩具の発売を始めた。これは、プラスチック製の規格化されたサイズをもつ直方体のブロックを要素としており、ブロックの上面と下面にはそれぞれ結合用の突起と穴がついた。ブロック同士をはめ合わせることで結合することができ、さまざまな形を組み上げることができた。こうしたブロック玩具は、積み重ねたブロックの高さが正確にそろえることが重要である。そのため、LEGO 社のブロックではミクロンオーダーの精度でプラスチック成形用金型が製作されているという。

レゴブロックはその後、製品のシリーズ化に伴い、色々な形状と機能を持ったパーツを増やしていった。平歯車、かさ歯車、ラック&ピニオン、ウォーム&ホイール、差動歯車、プーリ、シャフト、カム、クランクなどの機構用のパーツも豊富に準備されるようになり、現在では、かなり複雑なメカニズムを組み立てることも可能である。

エレクトロニクスの分野は専門知識が要求され、素人、とくに子供には理解することが難しい領域である。この領域を子供へと開放したのはおそらく日本が最初であろう。ブロック化された抵抗、トランジスタ、コンデンサなどの電気・電子素子をブロック玩具のように結合させることでアンブやラジオなど、様々な電気・電子回路を自由に構成できるものが日本の電子ブロック機器製造株式会社により開発された²⁾。1965年に電子ブロックという商標で販売され、1972年には科学技術庁長官賞を受賞している。

電子ブロックでは電気・電子素子に規格化された形状と端子を導入してモジュラー化を行い、はんだ付けなしに電気・電子回路を組み上げることが可能とした(図1)。これにより、子供でも試行錯誤しながら電気・電子回路の基礎を学習することができ、多くの子供たちにエレクトロニクスへの興味を抱かせるきっかけを作った。

* 原稿受付 平成 11 年 11 月 12 日

** 正 会 員 大阪大学大学院工学研究科(吹田市山田丘 2-1)

1985 年東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻修士課程修了, 同年東京大学工学部助手, 1987 年神戸大学工学部助手, 1989 年大阪大学工学部助手を経て, 1994 年大阪大学助教授, 博士(工学), 仮想生産, 設計支援, レスキュー工学の研究に従事

図1 電子ブロック (提供：電子ブロック機器製造(株))

コンピュータプログラミングを子供の世界に持ち込んだのは、米国マサチューセッツ工科大学 (MIT) 教授の Seymour Papert が最初であろう。Papert は自然言語に似た構文規則と、カメの移動軌跡で描画するタートルグラフィックス (turtle graphics) とよばれる対話的なグラフィックス環境を備えた対話的プログラミング言語 Logo を開発した。Logo を用いることで子供たちは、自由にコンピュータを操り、その中に独自の世界—マイクロワールド—を試行錯誤を繰り返しながらつくりあげていく。こうした自己学習による問題解決能力の獲得—コンストラクショニズム (constructionism)—を実現した。

Papert と LEGO 社の共同研究から生まれたのがレゴブロックを Logo によって制御する LEGO/Logo の概念である。その具体化として、レゴグループの中で教育プログラムを担当する LEGO dacta 社³⁾ が教育機関向けに販売を行った LEGO dacta technology model (日本名：レゴロボテクノ倶楽部) が、コンピュータ制御が可能なシステム玩具の先駆けであろう。このシステム玩具は、6つの入力ポートと6つの出力ポートをもつコントロールボックスを中核として、それを RS-232C 経由でパーソナルコンピュータに接続することで、Logo で書かれたプログラムからモータを制御したり、センサ情報を読み取ることができた。LEGO dacta モデルではモータやセンサ類の接続コネクタは標準化され入出力ポートに簡単に取り付けることができるとともに、こうしたデバイス類を扱うソフトウェアもあらかじめ Logo の関数として準備されていた。

1998 年夏に米国と英国で販売が開始され、コンピュータ系の雑誌やビジネス誌などでも取り上げられるなど日本国内でも大きな反響を巻き起こした LEGO MindStorms “Robotic Invention System” (RIS)⁴⁾ は、この LEGO dacta モデルの思想と技術を発展させたものと言える。RIS では RCX とよばれるコントロールボックスの入出力ポートを3つずつに減らす代わりに、マイクロコンピュータを内蔵させることにより、動作時にはパーソナルコンピュータとは独立できるようになっている。また、プログラム開発環境にはグラフィカル・ユーザ・インタフェース

図2 LEGO の主要構造部品

(GUI) を導入し、マウス操作のみでほとんどのプログラムを作ることができる。ちなみに、MindStorms とは Papert が 1980 年に著した子供とコンピュータに関する著書⁵⁾ のタイトルであり、RCX の原型は同じく MIT で開発された “Programmable Brick” であると言われている。

このように、ブロック玩具のもつ構造のモジュラー性、電子ブロックが実現したエレクトロニクスのもジュラー性、そして対話型プログラミング開発環境のもつ制御のモジュラー性を総合することにより、子供でも自分の発想したメカニズムを組立て、制御できるシステム玩具へと進化してきた。こうしたシステム玩具は LEGO 社のほか、他のいくつかの会社でも商品化がなされており、情報教育と結びついた玩具のひとつの将来性を示していると考えられる。

次に、LEGO 社のシステム玩具を例にとり、その構造や機能についてももう少し詳しく見ていくことにする。なお、LEGO MindStorms に関しては解説書⁶⁾ やインターネット上での情報公開⁴⁾⁷⁾ がなされているので、詳細はそれらを参照いただきたい。

3. LEGO にみるシステム玩具の概要

3.1 構造・機構部品

レゴブロックには非常に多くの種類の部品が存在するが、構造部品として重要なのは、ビーム、プレート、シャフト、コネクタである (図2)。ビームは結合用の突起の数により長さが規格化されている。また、側面にも貫通穴を持っており、シャフトを保持したり、コネクタを介して側面での結合ができる。プレートはビームのちょうど 1/3 の高さを持ち、面的な結合に用いられる。シャフトは断面が十字をしており、ギア類の空回りを防いでいる。コネクタ類はビームやシャフト同士を結合するのに使われる。コネクタの使用により、壊れにくい構造を作ることができる。

機構部品としては、各種の歯車やカム、クランクのほか

図3 LEGO MindStorms RIS のメカトロニクス部品と
LEGO dacta 用コントローラ (右奥)

か、キャタピラや色々なサイズのタイヤなどが用意されている。入手はやや難しくなるがエアポンプと切替弁、エアシリンダなどの空気圧用部品も利用可能である。

3.2 メカトロニクス部品

動力源としては9V DC モータがあり、正逆転とPWM制御による8段階の速度制御を行うことができる。センサは光センサとタッチセンサがRISに付属しているほか、温度センサと回転センサが利用可能である。センサはすべて同一の2本1組の配線で接続される。光センサのような能動的なセンサは、発光のためのパワー供給用と受信される明るさの信号用の2組の配線が本来、必要であるが、RISでは1組の配線を時分割使用することで、タッチセンサのような受動的センサと同じ1組の接続コネクタに統一されている。

RISのコントローラであるRCXは、8bitマイクロコンピュータ、メモリ、モータドライバ用IC、センサ用IC、赤外線通信素子などを搭載し、単3乾電池6本を内蔵して動作する。入力、出力ともそれぞれ3ポートずつを持ち、コネクタ部もレゴブロックと同じ突起と穴により接続される。ホストとなるパーソナルコンピュータとは赤外線により通信し、プログラムのダウンロードを行う。また、2つのRCX間で赤外線通信を行うことも可能である。

これらの部品も構造部品と同様にサイズが規格化され、レゴブロックとしてデザインされている。図3にRISのメカトロニクス部品と機構部品の主要なもの、ならびにLEGO dactaのコントローラ(Interface B)を示す。

3.3 ソフトウェア

RISには図4に示す標準プログラミング環境が付属し、マウスで命令のブロックをライブラリから選択し、次々に画面上でつなげていくスタイルでプログラムを作成する。

図4 LEGO MindStorms RIS の標準プログラミング環境

命令の基本はモータのON/OFF、回転方向の指定・逆転、パワーの指定、タイマやカウンタの設定などである。センサ信号による処理は主プログラムに対する割込みとして記述される。たとえば、「入力ポート3の光センサがある値以上になったときに出力ポートAのモータを逆回転にせよ」といった具合である。このプログラミング環境を用いると、床面に描かれた線にそって車を走らせるラインレースの制御プログラムも簡単に作ることができる。

ただし、標準プログラミング環境では変数を用いたプログラムを作成できない。それに対して、LEGO社よりWindowsのActiveXコントロールとしてSpirit.ocxが提供されており、VisualBasicなどのプログラミング言語を用いることができる。また、熱心なユーザによりRCX用の独自のプログラム開発環境も作成され、フリーソフトウェアとしてWWW上で公開されている。

さらには、レゴブロックにはモデリングとグラフィックスのソフトウェアが存在する。LEGO社の販売するLEGO CADやフリーソフトウェアのLEditやMLCadを使うと、コンピュータ上でレゴブロックを組み立てることができる。部品はデータベース化されており、LDLISTというフリーウェアで検索できる。組立てられたモデルは、これもフリーウェアのレイトレースソフトウェアPOV-Rayにより本物そっくりの画像を出力できる。

4. LEGO にみる玩具の工学研究への利用例

以上の説明により、現在のシステム玩具がもはや我々の考える玩具の域を大きく越えていることがご理解いただけたと思う。ここではシステム玩具であるレゴブロックの工学研究への適用事例をいくつか紹介する。

(1) Aarhus 大学 LEGO Lab. (デンマーク)

ここは、デンマークに本社をおくLEGOグループとデンマーク政府からの出資金で運営されている研究室であり、RISの開発にも深くかかわっている。RISを使った

図5 人間型 LEGO ロボット
Elektra (Aarhus 大学)

ロボティクスの開発や教育への適用について研究を行っている。レゴで作った高さ 75 cm のヒューノイド型ロボット Elektra はなかなか壮観である⁸⁾ (図5)。

(2) MIT Media Lab. (米国)

LEGO MindStorms の原型となる Programmable Brick を開発した研究所であり、現在は、Crickets とよばれる入出力ポートを有した小型コンピュータを開発している⁹⁾。これにはレゴのセンサ部品などを組み込むことができるようになっており、コンピュータ利用の新しい形態を模索する研究を行っている。

(3) 東京大学 (大園・高増研究室)

パラレルメカニズムを用いた 3 次元測定機 (パラレル CMM) のプロトタイプを LEGO MindStorms と Roger's Connection という玩具を組み合わせで構築している¹⁰⁾ (図6)。こうしたプロトタイプを作成することにより、パラレルメカニズムの理解と発想の検証に大きな効果が期待できる。

(4) 立命館大学 (平井研究室)

タスクに適合した構造へと変化させることのできる、再構成可能ブロック型メカニズムの研究に対して、LEGO を適用し、3 自由度マニピュレータを構成している¹¹⁾。一部、オリジナルのブロックを開発して使用している。

(5) 京都大学 (吉川・横小路研究室)

マスタ・スレーブシステムによる組立作業の操作性評価を行う際の、標準作業対象として LEGO ブロックを用いることを提案している¹²⁾。これは、入手が容易で精度が一定しており、さらに人間のスキルレベルとの対比を行うことができるという理由による。この報告では幼児用のサイズの大きな LEGO duplo が用いられている。

(6) 大阪大学 (生産システム学領域研究室)

著者の研究室ではメカニズム、ソフトウェア、タスクを再構成できる機械である、Reconfigurable Machine Sys-

図6 LEGO によるパラレルメカニズムの試作 (東京大学大園・高増研究室)
左：実試作機，中：LEGO による試作，右：LEGO モデルのグラフィックス表示

tem の研究を行っている。そのプロトタイプを LEGO dacta ならびに MindStorms を用いて構築した¹³⁾¹⁴⁾。また、LEGO dacta を使って仮想生産システムと実機コントローラとの情報のやりとりのインタフェースを構築したり、自律分散型生産システムのプロトタイプ of the constructionなどを使用している。

5. おわりに

以上、システム玩具を中心に、その紹介と研究活動への適用可能性について述べてきた。システム玩具は安価で単純だが、拡張性と精密さを持つという、これまでの玩具にも研究機器にもない、優れた特性を有している。そして何よりも、研究開発を行う際に、実際に自分で手を動かして色々と試行錯誤してみる、という貴重な体験を与えてくれる研究支援機材として、工学研究にシステム玩具が今後、幅広く利用されることを期待している。

参考文献

- 1) LEGO 社 HP, <http://www.lego.com/>
- 2) 電子ブロック機器製造株式会社 HP, <http://www.jade.dti.ne.jp/~dbk-co/index.html>
- 3) LEGO dacta HP, <http://www.lego.com/dacta/>
- 4) LEGO MindStorms HP, <http://www.legomindstorms.com/>
- 5) S. Papert : Mindstorms: Computers, Children, and Powerful Ideas, Basic Book, New York, (1980).
- 6) 古川 剛編 : LEGO MINDSTORMS パーフェクトガイド, 翔泳社, (1999).
- 7) MindStorms 情報局, <http://www.mi-ra-i.com/JinSato/MindStorms/>
- 8) LEGO Lab. HP, <http://legolab.daimi.au.dk/>
- 9) The Epistemology and Learning Group HP at MIT Media Lab., <http://el.www.media.mit.edu/groups/el/>
- 10) 高増 潔, 平木雅彦 : パラレル CMM とそのプロトタイプング, 1999 年度精密工学会秋季大会産学交流フォーラム in Sendai 資料集, (1999) 134.
- 11) 坪井辰彦, 平井慎一 : 再構成可能メカニズムの構築におけるリンク機構の試作と試作品の評価, 日本機械学会ロボティクス/メカトロニクス '99 講演会予稿集 CD-ROM, (1999).
- 12) 横小路泰義, 小川 亮, 吉川恒夫 : ハンド・アーム統合型マスタ・スレーブシステムの操作性評価, 第 17 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, (1999) 837.
- 13) 大西修平, 小野里雅彦, 岩田一明 : Reconfigurable Machine System に関する研究, 1997 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (1997) 323.
- 14) 森野正裕, 小野里雅彦, 寺本孝司 : 作業の使命と状況に適合した Reconfigurable Machine System のシンセシス, 日本機械学会第 9 回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集, No. 99-18, (1999) 129.