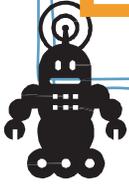


小中学生を対象とした ロボット競技会と総合理科教育



山下 博之 科学技術振興機構 / NTT データ

□ ボカップを始めとするロボット競技会が盛んである。それらでは、使用ロボットの制御や形態、参加対象はさまざまである。本稿では、特に、小中学生を対象としたロボット競技会 FIRST LEGO League (FLL) を採り上げる。FLL は、指定課題のリサーチ・プロジェクトの成果発表とロボット競技とを組み合わせた総合的な教育プログラムである。FLL のロボット競技では、市販のロボットキットを用いて製作したプログラム制御のロボットを用いて、制限時間内で、指定個所を押す・引く、物体を運ぶといったミッション群の遂行により与えられる得点を競う。さらに、FLL 参加チームにコーチの一人としてかかわった筆者の体験に基づき、小中学生の総合的な理科教育の在り方等について展望する。

◆ ロボット競技会の実施状況

古来、人間のロマンの象徴的存在であったロボットであるが、科学技術の進展とともに身近なものとなってきている。この傾向と相俟って、自作ロボットの性能等を競う競技会が盛んになってきており、本章では、そのサーベイを行う。

◆ ロボットの普及

ロボットは昔から人間の夢の象徴である。とりわけ、子供たちにとって強い興味の対象である。このことは、玩具やアニメ等によく表れている。

近年、メカトロニクス技術や情報処理技術等の進展に伴い、この夢が現実化してきている。産業分野では従来、工場等で自動車組み立て等をこなす実用ロボット（産業用ロボット）が活用されてきたが、2000 年前後から、本田技研工業の ASIMO（アシモ）やソニーの QRIO（キュリオ）等、二足歩行の人型ロボットが多数発表されている。最近では、家庭内にも普及し始め、ソニーの AIBO（アイボ）に代表されるペット用途や、家事支援用途等がある。この3月には、ついに、二足歩行ロボットキット G-ROBOTS がエイチ・ピー・アイ・ジャパンから発売された。これは、高級玩具ともいえる。こうして、ロボットは、コンピュータと同じ歴史を辿りつつある。すなわち、パーソナル化である。

このような背景の中で、ロボットは、教育用としても注目されてきており、そのためのキットも市販されている。ここまでくると、自分たちの創作したロボットの機能や性能を競いたいというのは、ごく自然の流れである。

◆ ロボット競技会

創作ロボットの機能や性能を競う競技会は、1980 年代から開催され始めている。ロボットの概念は非常に広く、したがって、ロボット競技会についても、その対象とするロボットや競技内容はさまざまである。

まず、いくつかの観点から、ロボット競技会で使用されるロボットを分類してみる。

(1) 制御方法による分類

- (a) 手動制御…リモコン／ラジコンによる指示に基づく動作
- (b) 自動制御…人手を介さずに動作するものであるが、そのレベルにより、さらに細分可能である。境界はあいまいであるが、本稿では、次のように2つに大別する。
 - (b-1) 自動制御…（固定の）プログラム論理に基づく判断・動作
 - (b-2) 自律・自動制御…汎用知識ベースに基づく状況判断(推論)・動作

(2) 形態による分類

- (a) (車輪走行)車両型
- (b) 多足歩行動物型
- (c) 二足歩行人型

(3) 使用部品による分類

- (a) 専用キット
- (b) 汎用／任意部品

また、競技内容や参加対象等からもロボット競技会を分類することができる。

以上の観点から、主なロボット競技会を整理すると、表-1 のようになる。

比較的初期の頃は、手動制御ロボットを使う競技会が

競技会名称	競技概要	使用ロボットの概要			参加対象	参加国	創設時期	運営主体	Web ページ URL
		構成部品	制御方法	形態					
全日本マイクロマウス大会	迷路を走破してゴールに達する時間を競う	任意	自律・自動	車両型	制限なし	世界 (開催は日本)	1980年	(財)ニューテクノロジータン	http://www.robomedia.org/directory/jp/game/
アイデア対決・全国高等専門学校ロボットコンテスト(高専ロボコン)	堀やシーソー等のさまざまな障害を克服しながらオブジェを運ぶ等の速さをトーナメント方式で競う	任意 (総価格制限あり)	手動(1)+自動 (最大2)	任意	高等専門学校生	国内	1988年	高等専門学校連合会、NHK、NHKエンタープライズ	http://www.official-robocon.com/top.html
全日本ロボット相撲大会	土俵上で押し出しを目指した相撲を行う	任意 (重量によりクラス分け)	手動/自動	任意	高校生、一般	国内	1989年	富士ソフト(株)	http://www.fsi.co.jp/sumo/
IDCロボットコンテスト大学国際交流大会(IDCロボコン)	約10日間でマシンのアイデア考察から設計・製作までを行い、その成果を最終日のコンテストで競う	任意	手動	任意	大学生	世界	1990年	東京工業大学(IDCロボットコンテスト実行委員会)[2006年]	http://www.official-robocon.com/top.html
NHK大学ロボコン	ボールを運ぶ、投げる、ブロックを運ぶ等による目的を達成する早さを、予選リーグ方式と決勝トーナメントで競う	任意	手動(1)+自動 (最大3)	任意	大学生	国内	1991年	NHK、NHKエンタープライズ	http://www.official-robocon.com/top.html
全国高等学校ロボット競技大会	リングを所定の場所に掛ける等の課題を実行する正確さと速さを競う	任意	手動 (複数可)	任意	高校生	国内	1993年	文部科学省、他	固定のページなし http://www.spec.ed.jp/fair/zenkoku/kou/robot/ [2006年]
マイコンカーラリー(MCR)	カーブや起伏のあるコースを走破する時間を競う	任意 (マイコン搭載)	自動	車両型	高校生、一般	国内	1996年	全国工業高等学校長協会	http://www.mcr.gr.jp/
ロボカップ	複数台でサッカー競技を行う	任意	自律・自動	車両型、二足歩行型等の複数カテゴリ	制限なし (ジュニアクラスもある)	世界	1996年	Robocup Federation [世界] RoboCup 日本委員会 [日本]	http://www.robotcup.org/ [世界] http://www.robotcup.or.jp/ [日本]
ロボットグランプリ	大道芸、ラインを周回しながら標的を突く能力、所定の作業能力を競う	任意	種目により、自動/手動	車両型	制限なし	国内	1997年	(社)日本機械学会	http://www.RobotGrandPrix.com
FIRST LEGO League (FLL)	物体を移動する、操作する等の定められた複数のミッションを制限時間内に遂行することを競い、技術プレゼンテーション等も含む	市販キット(レゴマインドストーム)	自動	車両型	9~14歳 (ジュニアクラスもある)	世界	1998年	米国NPO法人FIRSTとLEGO社との連携 [世界] NPO法人青少年科学技術振興会(FIRST Japan) [日本]	http://www.firstlegoleague.org/ [世界] http://www.firstjapan.jp/ [日本]
レスキューロボットコンテスト(レスコン)	災害の模擬被災者を救助する正確さと速さを競い、技術プレゼンテーションも含む	任意 (無線機器は貸与)	手動+自動 (複数可)	任意	制限なし	国内	2000年	レスキューロボットコンテスト実行委員会	http://www.rescue-robot-contest.org/
ETソフトウェアデザインロボットコンテスト(ETロボコン)	レゴブロックで作られた車が定められたコースを走るレース、UML等によるソフトウェアの設計技術も競う	市販キット(レゴマインドストーム)	自動	車両型	制限なし	国内	2002年	(社)組込みシステム技術協会(JASA)	http://www.etrobo.jp/
ABUロボコン	NHK大学ロボコン(本競技会の日本国内予選)と同じ	任意	手動(1)+自動 (最大3)	任意	大学生	アジア諸国中心	2002年	アジア太平洋放送連合(ABU)	http://www.official-robocon.com/top.html
ROBO-ONE	対戦相手のロボットを倒す格闘技	任意	自律・自動	二足歩行型	制限なし	国内	2002年	ROBO-ONE委員会	http://www.robo-one.com/
World Robot Olympiad (WRO)	ラインをトレースしつつ、ボールをゴールに入れる、障害物コースを走行する、荷物を運ぶ等といったレース	市販キット(レゴマインドストーム)	自動	車両型	小学生(4年以上)、中学生、高校生	世界	2004年	World Robot Olympiad Committee [世界] WRO Japan 実行委員会 [日本]	http://www.wrobo.org/ [世界] http://www.wroj.org/ [日本]
全日本ロボットアメリカンフットボール大会	複数台でアメリカンフットボール競技を行う	任意	手動/自動	任意	高校生	国内	2005年	富士ソフト(株)	http://www.fsi.co.jp/foot/

表-1 主なロボット競技会一覧

中心であったが、その後、自動制御ロボットを使う競技会が増加し、最近では、自律・自動制御の二足歩行人型ロボットを使うものも出現している。また、多くの競技会は、高校生以上を参加対象とするものである。その中で、市販のロボットキットを使用する競技会に、小中学生を対象とするものが見られる。

以下、本稿では、小中学生を対象とするロボット競技会の代表例の1つとして、FIRST LEGO League (FLL)¹⁾を採り上げる。

小中学生向けの総合科学教育としてのロボット競技会

FLLは、小中学生向けの総合科学教育プログラムであり、本章では、その概要を説明する。

◆教育プログラムとしてのFLL

FIRST LEGO League (FLL)¹⁾は、米国のNPO法人FIRST (For Inspiration and Recognition of Science and Technology)とLEGO社とが連携し、1998年から始められた、子供たちのための“教育プログラム”である。当初は米国内でスタートしたが、徐々に各国に拡がり、日本は、2004年から参加している。日本での運営は、NPO法人青少年科学技術振興会(FIRST Japan)²⁾が行っている。参加資格は、新年時点で9～14歳(地域によって若干異なる)の子供であり、10人まででチームを構成する。日本では各地区予選を経て全国大会において、世界大会に出場する代表チームを選抜する。世界大会には、米国内各州と各国からの代表チームが参加する。なお、米国では、6～9歳を対象とするJFLL (Junior FLL)という大会もある。

ここで、“教育プログラム”と書いたのは、FLLが単にロボット競技だけの大会ではないからである。FLLは、リサーチ・プロジェクトとロボット競技の2項目から構成される。

リサーチ・プロジェクトでは、毎年世界で社会的に話題となっている課題が設定され、子供たちは、その課題について調査し、自ら問題の解決策を考え、その結果を周りの人たちと共有する活動が求められる。ちなみに、FLL2004では、“No Limits”というタイトルで障害者支援が、FLL2005では“Ocean Odyssey”というタイトルで海洋環境問題が、FLL2006では“Nano Quest”というタイトルでナノテクが、それぞれ課題として設定された。課題は、毎年新年早々に発表されるが、FLL2007の課題もすでに、“Power Puzzle”というタイトルで代替エネルギー問題と設定されている。

ロボット競技では、LEGO社から市販されているロボ

ットキット“マインドストーム (MINDSTORMS)”³⁾を用いて製作したプログラム制御のロボットを使用する。そして、リサーチ・プロジェクトの課題にちなんだ、指定個所を押し・引く、物体を運ぶといったミッションが複数設定されており、制限時間内の、その遂行状況に応じた得点が与えられる。

◆FLL 競技会の内容

FLLの競技会では、(a)リサーチ・プロジェクトの成果に関するリサーチ・プレゼンテーション、(b)ロボットに関するテクニカル・プレゼンテーション、(c)チームの活動に関するチームワーク・プレゼンテーション、(d)ロボット競技、の4種を行い、それらの総合得点を競う。

(a) リサーチ・プレゼンテーション

リサーチの具体的なテーマ、調査に基づく問題の抽出、問題解決のためのアイデア、コミュニティでのリサーチ結果の共有活動等について、5分間程度で説明する。調査・創造・共有が活動の3本柱である。

(b) テクニカル・プレゼンテーション

ロボットの構造、プログラム、ミッションの遂行方法(戦略)等を5分間程度で説明する。会場には競技用と同じフィールドが配置されており、実際にロボットを動かして説明することもできる。

(c) チームワーク・プレゼンテーション

FLLの活動において、チーム内でどのような役割分担を行い、どのようにしてプロジェクトを遂行したか、問題の解決にあたり、チームメンバがどのように協力したか、等を評価するものである。5分間程度での評価であるが、日本大会と世界大会とでは評価方法が異なる。前者ではチームが活動内容を発表することによるが、後者では、FLL2005の場合、その場でチームに与えられた課題を遂行する様子を審査員が観察することにより行われた。このときの課題は、レゴブロックを用いて橋を造ること、であった。

(d) ロボット競技

9個のミッションが設定され、それらを2分30秒以内でどこまで遂行できるかを競う。ミッションの難易度に応じた得点が設定され、合計点が競技の得点となる。時間をあけて3回のラウンドを行い、最も高い得点が採用される。具体的内容については、次章で詳説する。

得点の内訳は、FLL2006日本大会の場合、3つのプレゼンテーションが各200点、ロボット競技が400点で、合計1,000点満点であった。また、FLL2005ヨーロッパ大会およびFLL2006米国大会の場合、すべて25%の比重であった。プレゼンテーションの比重が比較的高い。

		RCX	NXT
CPU		H8 (8bit)	ARM7 (32 bit)
メモリ	RAM	32Kbyte	64Kbyte
	フラッシュ	なし	256Kbyte
センサ	タッチ	○	○
	光	○	○
	回転(角度)	○(単独)	○(モータと一体)
	サウンド	×	○
	超音波	×	○
モータ出力		3ポート	3ポート
センサ入力		3ポート	4ポート
インタフェース		赤外線	USB, Bluetooth
接続		丸凹凸型コネクタ	モジュラー型コネクタ

表-2 マインドストーム RCX と NXT とのハードウェア比較

対象ロボットと競技の内容

FLLの対象とするロボットは、自動制御の車両型であるが、使用部品等に一定の条件が課されている。本章では、その詳細を示すとともに、毎年9月に発表される競技内容(ミッション)について、事例をもとに説明する。

◆対象ロボット

(a)ハードウェア

・マインドストームの基本構成

マインドストームは、コントローラと、モータや各種センサの機能部品、および多様なブロック等により構成される。コントローラはCPUとメモリを含み、モータへの出力インタフェース、センサからの入力インタフェースを有する。コントローラの電源は、単三乾電池(または充電電池)6個である。

・マインドストームのタイプ

マインドストームとしては、FLL2005まではRCXタイプのみであったが、FLL2006より高性能版のNXTタイプの使用も可能となった。両タイプのハードウェア比較を表-2に示す。表に示す以外に、モータやセンサの各機能部品の制御精度も向上しており、たとえば、モータのパワーレベル設定は、RCXの0~5に対し、NXTでは0~100となっている。

・ロボットに使用可能な部品

ロボットに使用できる部品は、RCXタイプの場合、1つのコントローラと3つのモータ、および、タッチセンサ2個、光センサ2個、回転センサ3個、ランプ1個のほか、無制限のレゴブロック(レゴブロックセットに含まれるものであれば、ゴムやベルト等も使用可能。ただし、接着や加工等は不可)である。NXTタイプの場合、さらに、サウンドセンサおよび超音波センサを各1個使用可能である。

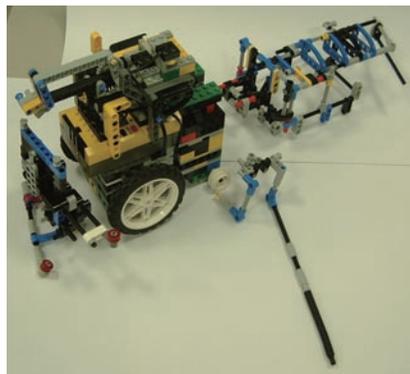


図-1 ロボット本体とアタッチメントの例

・ロボットの基本構造

後に説明するロボット競技のミッションの内容から、ロボットは、基本的に車両型である。駆動用モータは、実際の車のように1個でも可能であるが、走行方向制御の容易さから、2個を使って左右の車輪に接続するのが普通である。ギアを介して接続すると、ギア比によって、速度とパワーの制御を行うことができる。

もう1個使えるモータは、ミッションの操作のために、ロボットの上部等に設置して、クレーンのようにアームを動かしたりするために用いることが多い。

通常、走行距離を測定するために、回転センサを車輪に接続する。また、ライントレースのために、光センサを底部等に配置する。タッチセンサは、前方あるいは後方に配置して壁等の障害物にぶつかったことを検知するために用いたり、後に述べるように、スタート時のプログラムの分岐制御に用いたりする。

すべてのミッションを遂行可能な、人間の手のような汎用のロボットを作ることはできないので、ミッションに応じた操作機構(アタッチメント)を製作し、ミッションごとに取り替える。

ロボットの本体およびアタッチメントの例を、図-1に示す。図中央の本体の前後および手前にある3個の構成物がアタッチメントである。

(b)ソフトウェア

ソフトウェアには、“ファームウェア”と称する制御プログラムと、ユーザプログラム群とがある。これらは、コントローラのメモリ上にダウンロードされ、動作する。同時に動作するユーザプログラムは1つのみであり、コントローラのスイッチで選択する。

ユーザプログラムは、フローチャートのように、用意された機能ブロックを線で結び、必要なパラメータ等を設定することにより作成する。プログラムの簡単な例を図-2に示す。機能ブロックには、モータの駆動(パラメータ:回転方向、パワー値)、センサ値の読み込み、タ

イマ、条件分岐等がある。また、サブルーチンも使用できる。

なお、より低レベルのプログラミング言語もあるようであるが、FLL では使用しない。

プログラムの基本構造は、スタート後にロボットを想定ルート通りに走行させながら、ロボット上部のアーム等を動かすものである。その間、所定の契機で、センサの値を読み取って、走行方向の転換やアーム等の動作開始・終了等のための条件判断を行う。以下に、主な動作の制御方法を示す。

・方向転換

左右のモータの制御による。たとえば、両モータの回転方向を逆にしたり、モータに設定するパワーレベルの値に大小の差をつけたりする。パワーレベルの値が低いと、単位時間あたりの回転数は小さい。

・所定距離の走行

タイマを用いる方法と、回転センサを用いる方法とがある。

前者は、タイマで指定する時間だけモータを動かすものである。この方法では、電源電圧の変動に伴うモータの回転数変動や、走路面の状態によるスリップ等により、誤差が生ずることがある。この誤差は、長い距離になると、無視できないケースが多い。

後者は、回転（角度）センサを読み取って得られるモータの回転数の値を用いて、ギア比とタイヤの径とから、計算により走行距離を測るものである。RCX タイプの回転センサでは、360度を16段階（1段階は22.5度）に分割している。この方法は、タイマに比べて誤差は少ないが、何らかのトラブルによりタイヤが回転できなくなってしまった場合、制御不能に陥るリスクがある。

・ライトレース

光センサを用いる。光センサの読み取りにより、入力する光の波長に対応した値を得ることができる。したがって、走路面に白黒等のコントラストの明確なラインがある場合、光センサを読み込みながら走行させ、白が連続すると黒の方へ、黒が連続すると白の方へ、それぞれ方向を変えることにより、ラインのエッジに沿って走行させることができる。このとき、センシング時間間隔と走行スピードとの関係に注意する必要がある。なお、NXT タイプの光センサは、カラーの識別も可能な精度を有している。ただし、光センサは、センサー走路面の

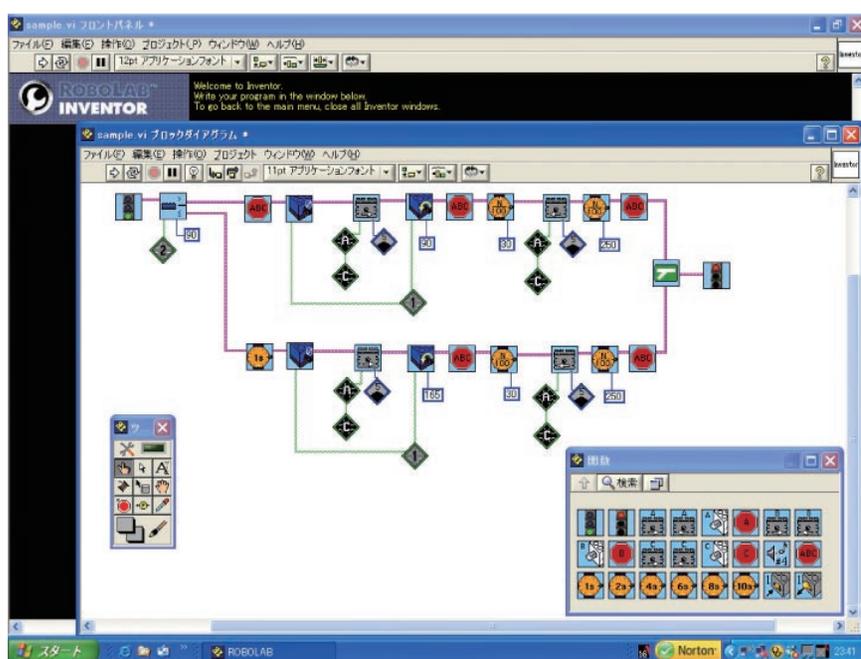


図-2 ROBOLAB によるプログラム作成画面

距離や外部の照明の状況等に対して影響されやすいため、工夫が必要である。また、実際の競技に際しては、会場でスレシホールド値のチューニングを行う必要がある。

(c)プログラミング環境

ユーザプログラムは、PC上で作成し、コントローラにダウンロードする。

開発環境としては、RCXタイプ向けには、ROBOLABと称するシステムが用意されている。NXTタイプ向けには、ROBOLAB 2.9あるいはNxtPL (NXT Programming Language)がある。もちろん、ROBOLAB 2.9は、RCXタイプでも使用可能である。ROBOLABおよびNxtPLのプログラミング画面を、それぞれ、図-2および図-3に示す。

コントローラにダウンロードできるプログラムの量は、コントローラの搭載メモリサイズに依存するが、RCXタイプの場合には、プログラム数についても、5個までという制約がある。

◆競技内容

(a)フィールド

ロボット競技は、周囲を高さ10cmほどの壁に囲まれた一畳ほどのフィールド内で行われる。このフィールド上にほぼ同じ広さの「フィールドマット」が敷かれ、その上に後述のミッションを構成する各種の障害物 (Mission Models) が設置される。これらの障害物もレゴブロックを用いて組み立てられる。フィールドの一角には40cm平方（実際には、スタート時のロボットの高さも40cm以下に制限されている）のベースがあり、この部分が、ロボットのスタート位置となる。フィールドの概観を

図-4に示す。同図の右手前にベースがある。競技会では、図-5に示すように、このフィールド2面を点対称の関係となるように並べ、2チームの対戦形式で行う。

(b)ミッション

競技では、9つのミッションが設定される。それらは、所定の個所を押したり引いたり、物体を移動したり、回収したりするものであり、その遂行により得点が与えられる。得点は、ミッションの難易度に応じて設定されており、すべてのミッションを完遂すると400点となる。以下に、FLL2006におけるミッションについて説明するが、その年のリサーチ・プロジェクトのテーマ(FLL2006では"Nano Quest")にちなんだ内容となっている。

• **個々の原子操作 (Individual Atom Manipulation)**

揺れる台の上に、背の高い白い原子と背の低い赤い原子とが、各8個交互に並んでいる。このうち、3個以上の白い原子を台から落とすものである。ただし、赤い原子を落とすと、無得点となる(図-6)。

• **におい(Smell)**

におい分子(小物)2個をある場所から指定の場所に移動するものである。もとの場所から出すだけでも、ある程度の得点が与えられる(図-7)。図の奥にあるピザの皿から手前にある顔まで移動するが、いったんベースに持ち帰ってもよい。

• **耐染みの織物 (Stain-Resistant Fabric)**

黄色い傾斜台に入っている8個の不純物(小片)を落とし、下の籠に入れるものである。籠は、ベースから運ぶ

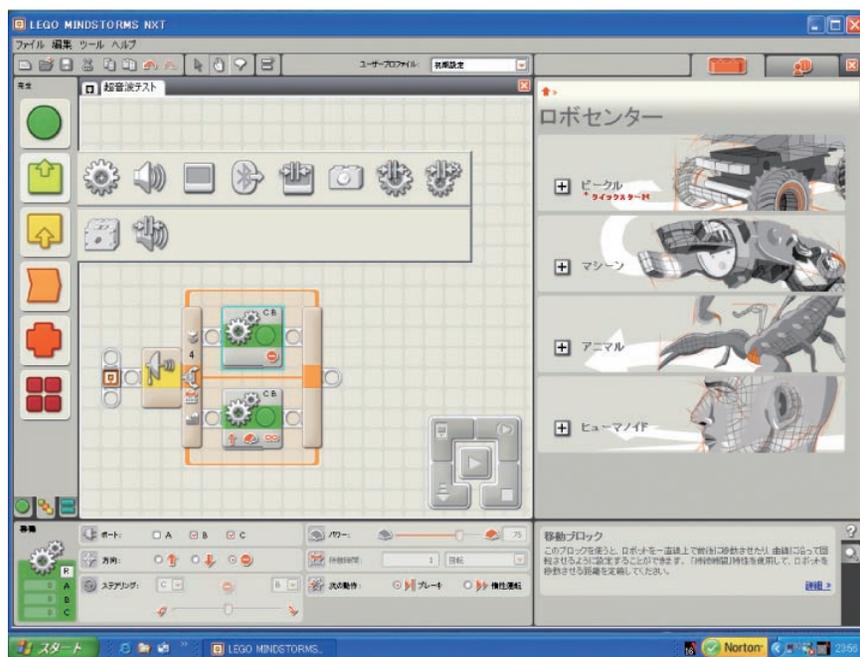


図-3 NxtPLによるプログラム作成画面

必要があり、指定の位置に置かねばならない。傾斜台を空にするだけでも、ある程度の得点が与えられる(図-8)。図では籠が見えていないが、傾斜の右側にカバーで覆われている。

• **原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscopy)**

磁石で接続されたバーを台から切り離すものである(図-9)。図は切り離された直後の状態を表す。

• **自己組織化 (Self-Assembly)**

障害物の端にあるバーを押すものである(図-10)。図の奥の方に見える下向きのバーを向こう側から押している。

• **賢い薬 (Smart Medicine)**

バッキーボールを骨まで運び、所定の場所に落とすものである(図-11)。図はちょうど落とし終えた状態を表し、左側にボールが見える。

• **ナノチューブの強さ (Nanotube Strength)**

トラックを押してリフトに載せ、底部のバーを押して



図-4 フィールドの概観 (FLL2006)

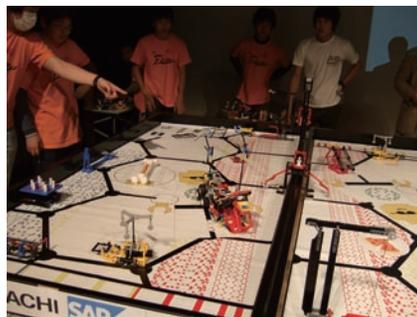


図-5 競技会でのフィールド配置

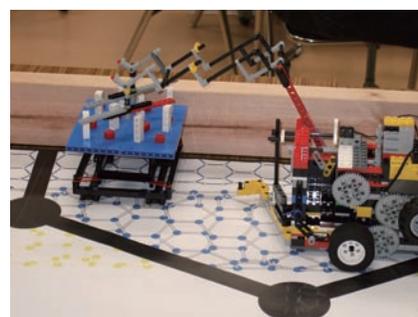


図-6 「個々の原子操作」ミッション



図-7 「におい」ミッション

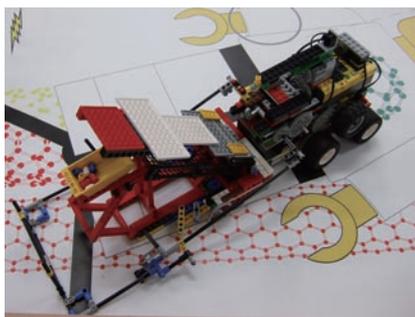


図-8 「耐染みの織物」ミッション

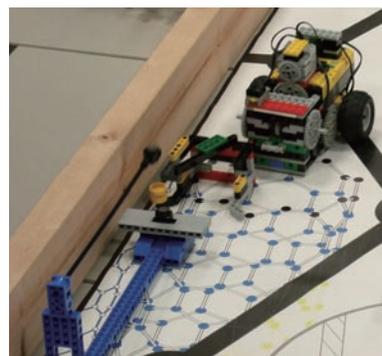


図-9 「原子間力顕微鏡」ミッション

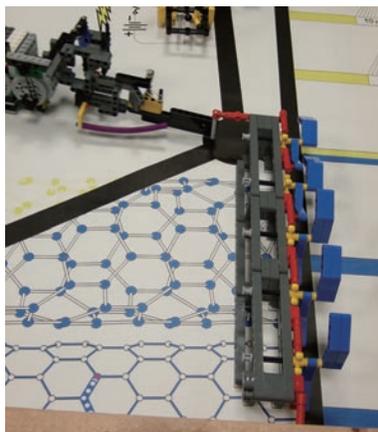


図-10 「自己組織化」ミッション



図-11 「賢い薬」ミッション

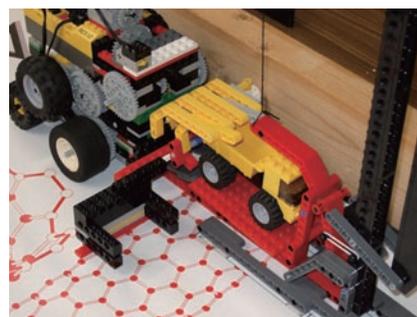


図-12 「ナノチューブの強さ」ミッション

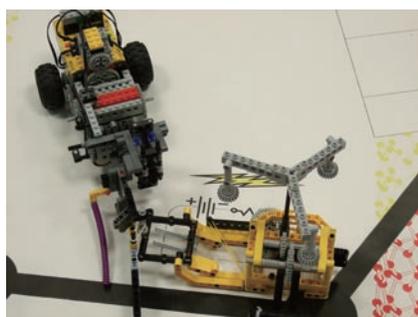


図-13 「分子モータ」ミッション



図-14 「スペースエレベータ」ミッション



図-15 ベースにおけるロボット操作

リフトを持ち上げるものである(図-12)。図はリフトを持ち上げる直前の状態を表し、バーはロボットの下の位置にある。

・分子モータ (Molecular Motor)

ATP 分子(小物)を障害物まで運び、所定の枠内に落とすものである(図-13)。図は、左側の黒枠の中に落とそうとしている様子を表す。

・スペースエレベータ (Space Elevator)

図-5に示すように、2つの競技フィールドの中心に配置されたエレベータの下部の足を両チーム側から押すことにより、人が乗っている籠を下ろす(反対側の籠を上げる)ものである。したがって、このミッションは、対戦相手も遂行しないと得点とはならない。そこで、一

方のチームのみが何らかの手段により強制的に籠を下ろす(上げる)ことも許容されている(図-14)。図は足を押した状態を表すが、同時に、右側のアームにより強制的に手前の籠を上げようとしている。

(c)ロボットの操作

各ミッションの遂行では、ベースからロボットをスタートさせ、障害物のところまで走行した後、所定の操作を行い、ベースに戻るようにする。その後、次のミッションのためにアタッチメントを交換し、次のプログラム番号を選択し、再びスタートさせる(図-15)。こうして、2分30秒の制限時間内でのミッションの遂行により獲得する得点を競う。なお、ロボットを操作できるのはベースの中だけであり、トラブルのためにロボットを回収

する等、その他の場所で手を触れた場合には、ペナルティ（減点）が科せられる。

ここで、ミッション数9に対し、ロボットのコントローラ(RCX タイプの場合)にダウンロードできるプログラム数は5までしかない。したがって、この差を吸収する工夫が必要となる。たとえば、同一のプログラムで複数のミッションを遂行できるようにアタッチメント等を製作する、一度に複数ミッションを遂行する、スタート時にタッチセンサを押しているか否かを読み取り、その値に応じて対応する処理を行うようプログラム中で分岐する、等の工夫を行う。

プログラム上の制約への対策のみでなく、できるだけ短時間で多くのミッションを遂行するためにも、ミッションの遂行順序が重要なポイントとなる。また、一度に複数のミッションを遂行したり、交換時間短縮のためにアタッチメントを共通化したりすることも重要である。たとえば、図-10に示す“自己組織化”のミッションは、奥の方に少しだけ見えている“分子モータ”のミッション(図-13参照)に引き続いて遂行している。

◆競技を通して得られる技術的知見

このロボット競技を通して、次のような技術的知見を得る(実体験する)ことができるが、それは“ものづくり”についての一端を学ぶことともいえる。

- **部品、あるいは部品間インタフェースの規格化**：ロボット本体とミッション対応のアタッチメント群との接続のためには、共通のインタフェースを定める必要がある。また、このインタフェースには、部品交換時間短縮のための着脱の容易さと、壊れにくさという、相反する条件を調和させることが求められる。
- **規模と信頼性との関係**：レゴによるロボットは、動作中の衝撃等が起因して、時間経過とともに接続部分が緩くなることしばしばであり、走行中に部品が離脱することもある。この確率は、部品点数が多くなるとともに増大する。
- **誤差の存在**：プログラム上は正しくとも、誤差により、期待した距離を進まなかったり、期待した角度を曲がらなかったりする。しかも、その程度は毎回異なる。
- **摩擦の影響**：ロボットの重量が大きいと、プログラム上は正しくとも、期待通りに進まないことがある。あるいは、走路面に付着しているゴミにより、タイヤがスリップすることがある。誤差や摩擦によりロボットの方向転回角度が狂うと、障害物のある場所まで辿り着くことができなくなり、致命的となることが多い。
- **電源電圧の変動**：乾電池の電圧は、新品のときには定格の1.5v以上であるが、使用し始めのうちに急激に低下した後、しばらくすると緩やかに減衰していく。これ

に伴い、ロボットの走行距離や転回角度等が変動する。

- **プログラムの管理（バージョン、改修手順、等）**：練習中は、ロボットの動作確認とプログラムの変更の繰り返しであるが、少し前のプログラムに戻したいことがある。プログラムの版管理方法を定めておかないと、こういう場合に困る。
- **ロボット改修の管理**：ロボットについても、動作確認と改修の繰り返し過程、特に、ある程度固まった状況において、少し前の状態のロボットに戻したいことがある。レゴブロックは組立て・分解が容易なため、安易にどんどん変更しがちであり、前の状態を忘れてしまうことがある。複製を作っておくとか、写真に撮っておくとかしないと、こういう場合に困る。
- **リスク管理**：ロボット競技では、ミッションの遂行が筋書き通りに進行しないことが時々ある。たとえば、ミッションの半分だけ成功した状態でペースに戻ってくるような場合である。このような場合、ミッションの残りを再度トライするか、あきらめて次のミッションに移るか、得点や残時間等を考慮して瞬時に判断する必要がある。さらに、あらかじめ想定される事態に対しては、リカバリ用のアタッチメントやプログラムを用意しておいたり、想定される状況に応じたオプションを用意しておいたりすることが考えられる。このような対応は、経験(練習)の積み重ねにより可能となる。以上の知見に対し、影響を小さくする工夫・アイデアが生まれる。たとえば、状態を知らせるために音を出す、プログラムで電圧値を読み取り、その値に応じて制御を変える、ロボットの前方に走行方向と垂直に正N角形の“タイヤ”を装備し、その一辺分の回転に相当する角度だけ方向転回する、といったことである。

理科教育に向けて

これまで述べたように、FLLは、ロボット競技だけにとどまらない総合的な科学教育プログラムである。本章では、FLL2005およびFLL2006の参加チームにコーチの一人としてかかわった筆者の体験に基づき、競技会の模様を紹介するとともに、理科教育の展望を述べる。

◆FLL大会の様相

(1)大会の概要

FLL世界大会(World Festival)は、毎年、米国で開催されている。FLL2005世界大会は、2006年4月、3日間の日程でアトランタにて開催された。この大会には、世界各国から選抜された82チームが参加したが、うち、米国チームは53であった。これは、FLLが米国を中心に発展してきた歴史から、米国内の各州の代表が参加し



図-16 リサーチ・プレゼンテーションの様相 (FLL2005)



図-17 チームワーク・プレゼンテーションの様相 (FLL2005)

ているからである。日本は、FLL2004 から参加し、国内予選を経て世界大会に代表 1 チームを派遣したが、FLL2005 以降、2 チームずつ派遣している。FLL2005 には、全世界で、31 カ国、7,460 チーム、60,000 人以上の子供たちが参加したという。

FLL2005 から、ヨーロッパでも世界大会が開催され始めた。こちらの方は、米国チームの数が少ない分、アトランタ大会よりやや規模が小さい。FLL2007 では日本での開催も検討されている。日本は、ヨーロッパ大会にも、アトランタ大会とは異なる 2 チームを派遣している。日本大会は、初年の FLL2004 ではわずか 16 チームの参加であったのが、FLL2006 では 108 チームに拡大しており、FLL2005 からは地区予選と全国大会の 2 階層となっている。

(2) FLL2005 世界大会の様相

筆者らのかかったチームは、FLL2005 世界大会 (アトランタ) に出場した。国内予選終了後、プレゼンテーション内容を翻訳し、子供たちにはとにかく暗記してもらって臨んだ。以下では、各項目についてのトピックスを紹介する。

・リサーチ・プレゼンテーション(図-16)

日本では常識的な、序論・本論・結論といったプレゼンテーションを行ったところ、その場で審査員から、子供たちの活動内容や体験(本論)よりも独自のアイデア(結論)を中心にプレゼンテーションすべきであった、という意見を述べられた。評価基準に応じたプレゼンテーションの戦略が重要である。

・テクニカル・プレゼンテーション

説明を用意して臨んだものの、話し始めるとすぐに審査員から、「実際に動かしてみよう」と言われた。「百聞は一見にしかず」ということであろうが、形式に囚われない審査という印象を受け、子供たちはリラックスして説明できたようである。また、ここでも、他チームのロボットにはないユニークなアイデアの部分に質問が集中していた。この評価の観点には、関連する賞(Award)の種類にも表れており、日本大会ではテクニカ

ル・プレゼンテーション賞のみであるのに対し、本大会では Innovative Robot Award, Robot consistency Award, Programming Award の 3 種が設定されていた。

・チームワーク・プレゼンテーション(図-17)

前述のように、プレゼンテーションという形態ではなく、実技試験のような、その場で課題を実施する形態であった。この項目に関しては、FLL 主催者側も悩んでおり、質疑応答のみの形態等、毎年種々の方法を試しているようである。チームワークの評価とは、本来、チーム活動全体を対象とするものであり、ある意味では、プロジェクト管理に関する評価ともいえる。これを限られた時間で評価することは、確かに難しい。内容報告を聞いて判断するか、成果(リサーチ・プロジェクトの結果とロボット競技の得点)によって判断するか、縮図を見て評価するか、しばらく試行錯誤が続くかもしれない。ちなみに、日本大会では、プレゼンテーション形態である。

・ロボット競技

全般的に、歴史ある米国チームが強かった。ただし、ロボット競技では、中国の 2 チームがすべて満点を獲得していたのが、強く印象に残っている。なお、米国チームの中にも満点を獲得したチームがいくつかあった。

・交流

各チームは、“ピット(Pit)”と称する、3m 四方ほどのスペースを与えられ、そこに各国・チームにちなんだ、趣向を凝らした飾り付けを行う。そして、各チームのピットを相互に訪問し合い、記念品を交換する等、交流を深めていた。また、4~5 チームがまとまってスーパーチームを作り、協力してロボット競技を行う“Alliance Expo”が行われる等、交流のための企画も用意されていた。国際感覚の醸成には有効である。

なお、最優秀賞は、米国チームの 1 つが受賞した。

(3) FLL2006 の状況

FLL2006 からは、ロボットに NXT タイプのマインドストームの使用が可能となったが、日本大会で使用していたのは、数チームのみであった。国内の発売時期がやや

遅かったのと、前年の資産（ロボット本体および制御プログラム）を有効利用することが得策と考えたチームが多かったものと思われる。FLL2005の場合と同様に、小学生のみのチームに比べ、中学生を含むチームはやはり強い。

FLL2006日本大会においては、これまでは公開されていなかった各項目の評価基準と得点の内訳（審査員用の採点シート）が、参加チームに対して事前に伝えられた。得点の内訳は、世界大会(米国)ではこれまで公表されていないが、評価項目・基準については、詳細な内容が米国運営団体のWebページに掲載されている。

また、メンター／コーチがプレゼンテーションの場に立ち会うこと、およびロボット競技のステージに登ることが認められなかった。すべてを子供たちだけで行うことを徹底するためとのことであるが、教育プログラムにおいてはメンター／コーチにもそれなりの役割があり、議論のあるところであろう。なお、FLL2005世界大会では、立ち会いはもちろん、プレゼンテーションでは（ボランティアの通訳は付いていたが）質疑応答時の補足説明やビデオ撮影も認められていた。

全国大会(Japan Open)は地区予選を勝ち抜いた22チームが参加して3月に行われた。ロボット競技の最高得点は398点であり、FLL2005が350点であったことを考慮すると、日本の実力は着実に向上してきている。

世界大会は、2007年4月中旬にやはりアトランタで開催され、日本チームは優れた成績をあげた。筆者らのかかわっているチームは、5月中旬にノルウェーで開催されるヨーロッパ大会に出場することとなっている。

なお、FLLのロボット競技やプレゼンテーションの映像は、YouTubeに世界中から数多く投稿されている。

理科教育の展望

FLLの理念は、「活動を通して、アイデアを出し、問題を解決し、障害を乗り越える」こととされている。FLLに参加する子供たちは、ロボット競技を通して、創造力を養い、ロボットのハード・ソフト技術を学ぶ。同時に、リサーチ・プロジェクトを通して、指定テーマの学習を行う。また、チームとしての競技であることから、協調性、コミュニケーション能力やリーダーシップ能力を、発表を通してプレゼンテーション能力を養うことができる。さらに、活動全体を通して、プロジェクト管理の一端についても体験できる。

これらが、多くのロボット競技会や科学オリンピック等とは異なる、教育プログラムとしてのFLLの最大の特徴である。子供たちは、ロボットの製作や競技に際しては、わくわくしながら、一生懸命取り組む。マインドス

トームを教材として使用している学校（大学、大学院を含む）が多いのは、このような理由によるものと思われる。FLLが、これにリサーチ・プロジェクトを組み合わせている点は、きわめて巧妙と言えよう。欲を言うならば、プレゼンテーション審査結果のフィードバックが期待される。ロボット競技は、結果について明快に知ることができるが、プレゼンテーションの評価結果はほとんど分からない。改善のためには、評価結果が不可欠である。

FLLを教育プログラムと捉え、その設計者の意図に沿った最大限の教育的効果を得ようとするならば、実践の現場では、醸成しようとする個々の能力に応じた工夫が必要となる。たとえば、コミュニケーション能力について言えば、正確な意思疎通が重要となる契機をあらかじめ想定し、活動中に適宜設定する振り返り時に、想定した契機においてどのような意思疎通・情報交換が行われたかを確認すること等である。そして、ここでの実体験と、普通の学習（座学）とのリンクを設けることにより、さらなる教育的効果が期待できる。ただし、これは、競技において高い成績を収めることと相反するかもしれない。

大学生や社会人の場合には、“場”を与えることにより、彼ら自身が学習する。しかし、小中学生の場合には、単に“場”を与えるだけでは学習を期待できないことが多く、“気づき”を促し、自ら発見するようにし向ける必要がある。いずれの場合にも、本人の自覚が効果を高めることは言うまでもない。また、大学生の場合には、好きなことや得意なところを伸ばすことが重要と考えられる。しかし、小中学生の場合には、好き嫌いや得手不得手にかかわらず、一通り経験しておくことが重要である。

研究者や技術者は、子供たちが科学技術に興味を持つようにその内容を伝えることは十分できる。しかし、上記のような能力を高めるための工夫は、教育の専門家の力を借りるのがより有効であろう。

参考文献

- 1) FIRST LEGO League International : <http://www.firstlegoleague.org/>
- 2) NPO 法人青少年科学技術振興会 : <http://www.firstjapan.jp/>
- 3) レゴマインドストーム公式サイト : <http://www.legoeducation.jp/mindstorms/>

(平成19年3月23日受付)

注)レゴ(LEGO)、ROBOLAB、マインドストーム(MINDSTORMS)は、LEGO Groupの登録商標です。FIRST LEGO League(FLL)は、FIRSTとLEGO Groupの登録商標です。

山下 博之(正会員)
yamah@ieee.org

1981年京都大学大学院修士課程(情報工学専攻)修了。同年、日本電信電話公社(現NTT)入社。以後、研究所において、高機能通信プロトコル、分散協調処理、著作権管理、コンテンツ流通等に関する研究開発・標準化活動に従事。2003年10月に(株)NTTデータに転籍。2004年1月より科学技術振興調整費プログラムオフィサーとして(独)科学技術振興機構に出向中。IEEE、電子情報通信学会各会員。