

# LEGO MINDSTORMS による知的ロボットの作成

## Construction of The Intelligent Robot on LEGO MINDSTORMS

堤佳之, 中川啓 (知的システムデザイン研究室)

Yoshiyuki TSUTSUMI, Kei NAKAGAWA (Intelligent Systems Design Laboratory)

**Abstract** At the first, this paper introduces autonomic robots "LEGO MINDSTORMS" which we use for our research. It is sold by LEGO cooperation which is very famous about blocks for children. Next, we report the system which we constructed. For example, the cooperative action and remote control of robots. We think robots will become very important at 21th century. To construct a system of such robots through LEGO MINDSTORMS is our research's concept.

### 1 研究概要

現在,我々の社会ではさまざまな知的人工物が用いられている。しかし,その研究は初期段階にあり,今後の必要性を考慮するとさらに活発な研究が行われることが予想される。我々の研究室でも,照明システムや,コンセプトトランスファーなどの知的人工物の研究が行われている。それぞれ先端に行く研究であるが,それらはあくまで理論上のものである。そこで本研究の目標の一つは実機 理論だけでなく実際に動作するもの を作ることである。

本研究では,LEGO-MINDSTORMS という本来は玩具として発売されている自律ロボットを用い,実機を作成した。我々が低性能なセンサしか持たないLEGO-MINDSTORMS を用いたのは,低性能で安価なセンサを用いて高度な知的ロボットを作成することを目標としているためである。つまり,本研究の目的は汎用性の高いLEGO-MINDSTORMS を使い,実機を作成することである。

### 2 LEGO MINDSTORMS

#### 2.1 LEGO MINDSTORMS とは

MINDSTORMS とは,幼児用ブロックで有名なLEGO社とマサチューセッツ工科大学(MIT)が「学ぶ方を学ぶこと」を目的として共同で開発したプログラミング可能なブロックである。MINDSTORMS では高度なプログラミング環境が用意されている上に,複数のセンサとモータが付属されており,作成したプログラムによって各種センサとモータを制御することにより,自律ロボットを作成することができる。また,MINDSTORMS の大きな魅力は,700以上のブロックを組み合わせる事でユーザーが思い描いたロボットを作成する

ことができることである。すなわち,ロボットの姿,形から,それを制御することまでを可能にしたブロックといえる。

#### 2.2 部品紹介

##### 2.2.1 RCX(Robotic Command Explorer)

RCX とは MINDSTORMS の頭脳となる部品である。RCX ではユーザーは作成したプログラムを RCX に転送しロボットを制御することができる。RCX ではモータを繋ぐための3つの出力ポートと,各種センサを繋ぐための3つの入力ポートがあり,それらをプログラムからコントロールすることができる。また,ユーザー作成のプログラムを5個まで格納することができる。

##### 2.2.2 IR タワー

IR タワーとはプログラムを RCX に転送するためにコンピュータに接続する部品である。IR タワーはコンピュータからの電気信号を赤外線に変換して転送している。また,RCX からセンサの値やプログラム上で使用した変数の値などのデータを獲得することもできる。

##### 2.2.3 センサ

MINDSTORMS の基本キットにはタッチセンサとライトセンサという2種類のセンサがついている。タッチセンサは押されたときに「1」を,はなされたときに「0」の値を検出する。ライトセンサは,すぐ近く(0~2cm程度の距離)のものの明るさを測定するセンサである。(図1)測定値には「0」から「100」までの段階があり,明るいときは大きい値を,暗いときには小さい値を検出する。各種センサはRCXに接続され,その状況に応じた値をRCXに伝える。その他にも,標準付属ではないが角度センサと温度センサも接続が可能である。



図 1: ライトセンサ (左)・タッチセンサ (右)

## 2.3 プログラミング環境

プログラミング環境としては GUI でプログラミングできる RCX Code が用意されているほか、C に似た文法を持つ NQC や Visual Basic から制御するための spirit.ocx, OS から作成することの出来る legOS などがある。次で RCX Code と NQC を説明する。

### 2.3.1 RCX Code

MINDSTORMS には RCX Code と呼ばれる付属のソフトウェアを用いプログラムを作成することが可能である。また RCX Code は MINDSTORMS 付属の環境で GUI で簡単にプログラミングできることが特徴である。RCX Code では前進や後退などのコマンドがブロック化されており、それらのブロックを組み合わせることでロボットの体を作るときのようにブロック感覚でプログラミングできる。対象年齢を幅広くとっている玩具として発売された MINDSTORMS ならではの環境といえる。しかし、入門としては適しているが複雑な制御が出来ないなどの問題点もある。

### 2.3.2 NQC

「Not Quite C」(以下: NQC) とはその名のとおり C 言語に類似した文法を持つプログラミング言語であり、Windows, Macintosh, Linux などの OS に対応している。NQC を用いる事で、RCX Code では出来なかった複雑な動作や、センサの複雑な制御などが可能となる。本研究では、この NQC を用いて制御プログラムを作成した。表 1 に正方形を描いて止まる動作を行わせるプログラム例を示す。

## 3 LEGO MINDSTORMS による協調動作

### 3.1 協調動作とは

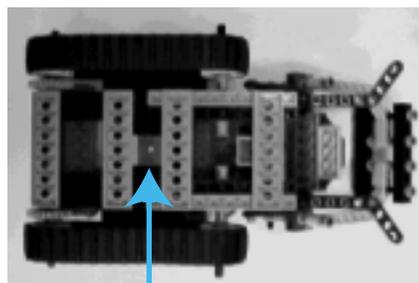
本研究における目的は 2 つある。1 つはロボットの「自律性」である。知的な動作を行うロボットには、この「自律性」は欠かすことができない、重要な要素である。しかし、いかに高度な自律性を有するロボットがあるとしても、1 台では限界がある。もちろん複数台で協調

```

01 task main()
02 {
03   repeat(4) //命令の繰り返し
04   {
05     OnFwd(OUT_A+OUT_C); //前進
06     Setpower(OUT_A+OUT_C, 7); //パワーの設定
07     Wait(100); //1 秒間の動作継続
08     Rev(OUT_C); //左へ旋回
09     Wait(85); //0.85 秒間の動作継続
10   }
11 Off(OUT_A+OUT_C); //停止
12 }

```

表 1: NQC プログラム例



ライトセンサ

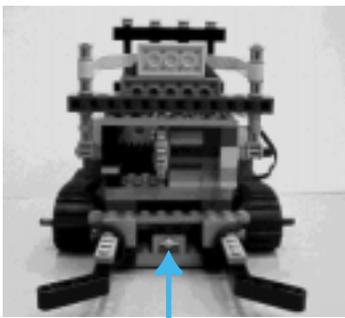
図 2: 下方から画像

して作業を行ったほうが、より効率的な作業を行えると考えられる。そこで、本研究で「自律性」と共に重要視していることが、ロボットの「協調動作」の確立である。複数台が自律的に協調し合い、1 台のロボットでは到底なし得なかった動作を行うことが可能となれば、より効率的になる。これはシステムを向上させる上で重要な要素の一つであると考えられる。

### 3.2 サッカーロボットの作成とその問題点

本研究では、協調作業システムとして複数台のサッカーロボットの作成を行った。図 2, 3 で示すサッカーロボットを 2 台作成し、パスやゴールの検出など、1 台のサッカーロボットでは出来ない動作を、複数台で確立させることを目標にしている。このサッカーロボットには前面にタッチセンサが 1 つ搭載され、ボールの有無を確認する役割を果たしている。また、ロボットとフィールドの接地面付近にライトセンサを 1 つ搭載し、ロボットの現在の位置情報の把握を行っている。

まず初めに行ったのは、迎えあわせに配置されたロボットが IR タワーからの通信を介してパスをするシステムの確立である。このシステム上で、パスという目的



タッチセンサ

図 3: 前方からの画像

の協調動作を確立することが出来たが、新たに次のようないくつかの問題点が浮上してきた。

1. ロボットが現在の位置を把握することが出来ない
2. 人間にとっての眼の部分がないため、ボールの位置を把握することが出来ない
3. RCX の通信に限界があるため、任意の位置での通信が不可能である。そのために協調動作も不可能となる

以上のような問題点が浮上してきたため、次節のような対応策を考え、問題点の克服を目指した。

### 3.3 問題点を考慮した対応策

それぞれの問題を考慮し、次のように対応策を考えた。

1. ロボットの底面部に光センサをつけ、色分け（正確には明るさ）したフィールド上で動かすことにより移動方向を検知し初期位置からの相対位置により絶対位置を得るようにする。
2. 光センサとタッチセンサだけではほぼ実現不可能。温度センサと角度センサを用いることが出来たとしても難しい。
- 3(a) プログラムにおいて通信（メッセージ）を受け取ったらそれに対応する返事を返すようにすれば通信が可能であるかお互いにわかるので、相手がメッセージを受け取ったことがわかるまで送りつづけるようにプログラミングする。
- (b) IR タワーは RCX よりも通信の有効範囲が広いので仲介として IR タワーを通す。
- (c) 二台の RCX の通信を仲介する位置にもう一台の RCX を置く。

## 4 遠隔操作

### 4.1 遠隔操作の必要性

現在、ロボットが活躍している環境として、多くの場合人間が作業困難な場所が想定されるのではないだろうか。たとえば、宇宙空間での作業や、放射能が充満している環境での作業が挙げられる。そうした環境においてロボットが活躍するために重要になってくるのが、ロボットの遠隔操作を可能とするシステムの確立である。人間が立ち入ることができない危険な場所で作業を行うロボットに対して、リアルタイムに情報を送りつづけることで、作業の効率・信頼性はより確実なものとなる。

本研究では、LEGO MINDSTORMS を使いロボットの遠隔操作を行うシステムの作成を行い、結果としてネットワークを介したロボットの遠隔操作のシステムを実現することができた。次節でその具体的な説明を行う。

### 4.2 LEGO MINDSTORMS の遠隔操作

RCX をコンピュータから操作するためには RCX Code や NQC が使えるが、今回は Java によって書かれた dario laverde 氏作成の RCXLoader を参考にし、コードの追加と変更を行っている。今回 Java を用いたのは他の言語に比べプログラムのネットワーク対応が容易である事と、今日一般的になった Java 対応のブラウザによって遠隔操作を実現するためである。これによってインターネットに接続したコンピュータで Java 対応のブラウザが動作すれば世界中のどこからでも RCX を操作することが可能である。

作成したプログラムはサーバー クライアントシステムとなっており、両者間でソケット通信をすることで遠隔操作をしている。クライアントから要求された命令をサーバーが受け取り、サーバーはその命令をコンピュータの COM ポートを通して IR タワーに送り RCX を操作している。RCX はその命令に対する返答をし、それを逆順に送っている。

現在実装されている機能は次の通りである。

- モータの制御
- プログラムの選択、実行
- 命令の実行結果の表示

これから実装しようとしている機能は次の通りである。

- RCX のデータログ（動作記録）の取得と表示
- ロボットの動きを擬似的に表示する
- NQC ソースからプログラムを作成し、RCX への送信をおこなう

## 5 結論と今後の課題

研究概要でも述べたとおり，我々の研究は実機での動作を確立することが目的である．そのために，入手が容易な LEGO-MINDSTORMS を用い様々な動作を試みた．しかし，避けることのできない次の2つの問題に直面した．(1) 低性能なセンサでは限界がある．(2) 通信が容易ではない．

今後として，これら2つの問題点をできるだけ回避するような方法を見出し，目標である自律ロボットの協調動作の確立を目指していく．

### 参考文献

- [1] 吉川剛；MINDSTORMS パーフェクトガイド；翔泳社 (1999)
- [2] 石田豊，たかしまてつを；MINDSTORMS で遊ぼう；毎日コミュニケーションズ (1999)
- [3] エレクトロニクス第 43 巻 3 号；オーム社 (1998)
- [4] <http://www.mi-ra-i.com/JinSato/MindStorms/>；MINDSTORMS 情報局
- [5] <http://www.enteract.com/dbaum/nqc/index.html>；NQC - Not Quite C