

# ソーシャルロボット「マグボット」のデザイン

小池 星多

小池研究室では、ソーシャルロボット「マグボット」を製作して実際に社会で使用する実践、研究を行っている。ソーシャルロボットとは、人間の生活の中で使用され、人間をサポートするロボットのことである。マグボットは、低価格でユーザーにとっても作りやすく、オープンソースハードウェアで作られているのでユーザーの使用環境に柔軟に機能を付加して対応できる。また、マグボットの製作情報やユーザー同士のコミュニケーションの場をネット上に提供している。本論では、この実践、研究を通してソーシャルロボットに必要なコンセプト、デザイン、ハードウェア、ソフトウェアの構成について考察する。

キーワード：ロボット、ソーシャル、デザイン、Raspberry Pi

## 1 はじめに

本稿では、社会で実際に使用するソーシャルロボットのデザインについて考察する。(注1)

## 2 ソーシャルロボットとは

ソーシャルロボットとは、工場で稼動する生産用ロボットとは異なり、人間の生活の中で人間をサポートするロボットのことである。ソーシャルロボットは、人間とコミュニケーションするために音声合成で話したり、音声認識で言葉を認識したりすることができる。二足歩行やヒューマノイド型であることは必ずしも必須ではない。学校や病院、店舗、介護施設などの現場で働いている。現在、実際に使用されているソーシャルロボットの一部として以下のものがある。

- ・ PaPeRo (NEC) コミュニケーション型ロボット、学校、高齢者用 (注2)
- ・ Palo (産業総合技術研究所) 高齢者の施設。(注3)
- ・ PALRO (富士ソフト) 高齢者施設用ロボット。(注4)

## 3 これまでの小池研究室のソーシャルロボット研究

### 3.1 東京都市大学二子幼稚園での研究 (2003-2007)

小池研究室では、これまで NEC との共同研究で NEC のロボット PaPeRo を使用した研究を行ってきた。PaPeRo は、NEC が開発しているコミュニケーション

ロボットで音声合成、音声認識、タイヤによる移動、センサーなどの高性能の機能を持っている。その PaPeRo をコミュニティの中で活動させて人間とロボットの関係について研究してきた。2002 年から 2007 年まで東京都市大学二子幼稚園において PaPeRo を幼稚園の生活に入れて、PaPeRo と幼稚園のコミュニティの相互変容の研究を行った。[1]

### 3.2 東京都市大学附属小学校での研究 (2008-2010)

幼稚園での活動後、東京都市大学附属小学校において、同じく NEC との共同研究で、小学生が SCRATCH (注5) を使用して PaPeRo をプログラムして、PaPeRo が登場する演劇を考えて製作するプロジェクトを行い、小学生のグループにおける共創のプロセスについて研究した。[2]

## 4 プロプロイェタリなロボットの限界

これらの研究では、著者らは企業から高機能のロボットの貸与を受けてロボットを現場で活動させることができた。しかし、一方で問題もあった。現場では、ユーザーの観察やユーザーの要望からロボットのハード、ソフトを変更して、ロボットを現場に適応させる必要があった。しかし、企業から貸与されたロボットはプロプロイェタリ (注6) で企業の知的所有権で保護されているので、著者らがロボットを勝手に改造することはできなかった。

著者から機能の変更について企業に要望を出したこともあったが、企業のロボット開発も企業内のスケジュールで進めているので、それらを企業が対応することも

KOIKE Seita  
東京都市大学 メディア情報学部 社会メディア学科 准教授

難しかった。企業は、可能な限り著者に便宜を図ってくれたが、ロボットをユーザーの生活に柔軟に対応させることは難しかった。

## 5 ロボットの自主的開発構想

そのような状況の中でプロプロイェタリではない、柔軟にハードやソフトを変更できるロボットの必要性を感じた。2005年くらいからそのようなロボットを研究室で自作しようと構想した。しかし、当時は、著者自身がハード、ソフトの知識が乏しかった。また音声合成、音声認識などのソフトも非常に高価で、ロボットのハードの制御もPICとアセンブラを使用する必要があり、ロボットを自作することは難しかった。

## 6 オープンソースハードウェアの登場

2008年くらいから安価なオープンソースハードウェアのArduino（注7）が普及するようになり、Arduinoを使用したロボットなどの電子工作の製作例をネットに掲載する人たちが現れた。著者はそれを見ることによってArduinoを使ってロボットを作れるのではないかと考えるようになった。ネット上には、Arduinoを使用した電子工作のプログラムのソースコードが公開されていて、Arduinoの使用方法を学ぶのに役にたった。またArduinoはオープンソースハードウェアなので企業の知的所有権に触れることなく自由に改造可能なロボットを作ることができる。オープンソースハードウェアとネットの見る事ができるようになったことで、ロボットを自作する環境が整った。

## 7 マグボットの誕生

著者は2010年からロボットの開発を開始した。ロボットの開発にはオープンソースハードウェアやインタ

ーネット上の製作情報が大きく貢献した。外装に百円ショップの雑貨を使用し、Arduinoとモータードライバー、工作用モーターを使ってキャタピラで動かそうとした。当初、小型ウィンドウズPCを内蔵しようとしていたが、重量が重くなり、うまく動かなかった。ここで発想を転換して、PCを無理に内蔵しなくてもロボットの外部のPCからロボットを制御すればよいと考え、外部PCからリモコンする方式に切り換えた。（写真1）

2011年には、外部PCの音声合成ソフトからの音声をBluetoothでロボットに内蔵したBluetoothスピーカーに飛ばした。また、PCに開いたサーバーからロボット内部のArduinoをZigBee（注8）使ってシリアル通信で命令を送ってマグボットを制御できるようにした。（写真2）

2012年にアメリカ州立インディアナ大学に客員研究員として滞在した。滞在したインディアナ大学のHuman Robot Interaction 研究室の協力を得て開発を続けた。ロボットには当初名前がなかったが、アメリカ滞在時に外国人にも親しめる名前を考えて、頭部にマグカップを使用していたことからマグボット（Mugbot）と命名した（写真3）。制御PCをウィンドウズからMacに切り替え、Macの音声合成システムを使用することにした。MacからZigBeeを使ったシリアル通信でマグボットのArduinoを制御した。また、キャタピラからタイヤで走行できるようにした。

アメリカ滞在時に世界的な規模で開催されている物づくりの展示会 Maker Faire Detroit 2012（注9）にマグボットを出展し、最高賞のブルーリボンを4つ獲得した。（写真4）

帰国した2013年からはタイヤをなくし、外部のPCのサーバーを使用するのではなく、マグボットにRaspberry Pi（注10）を内蔵した。Raspberry Pi内に



写真1 2010年のロボット 小型PCを内蔵しようとしていた



写真2 2011年のロボット Maker Faire2011に出展 外部PCから制御



写真3 2012年のマグボット インディアナ大学にて  
タイヤで走行



写真5 2013年のマグボット タイヤをなくして  
Raspberry Pi を内蔵



写真4 Maker Faire Detroit 2012での展示 最高  
賞のブルーリボンを4つ獲得

サーバーを開いて外部のPCや、スマートフォン、タブレットからアクセスしてマグボットを制御できるようにした。(写真5)

## 8 ソーシャルロボットのコンセプト

著者の研究から、著者の考えるソーシャルロボットに必要なコンセプトを解説する。

### 8.1 ユーザー中心

ソーシャルロボットはユーザーが使用するものであるので、開発者の目標や思い込みではなく、ユーザーの活動や要望をフィールドワークしてそれらを反映させてデザインする。

### 8.2 ユーザー参加

参加型デザインとしてロボットの開発者だけではなく、ユーザーもロボットのデザインに参加する。そしてロボットについての具体的な提案やアイデアをユーザーの視点から開発者に伝えていく。

### 8.3 プロトタイピング

ユーザーにロボットを使用してもらい、ユーザーからの要望を得ながらユーザーの生活環境に合うようにロボットのハードウェアやソフトウェアを変更するプロトタイピングを行う。プロトタイピングによって、ロボットをユーザーの要望に近づけていくことができる。

### 8.4 オープンソース

ロボットが知的所有権で保護されていると、ロボットのハードウェアやソフトウェアを変更するプロトタイピングを柔軟に行うことは難しい。ロボットのハードウェアやソフトウェアに汎用品やオープンソースのものを使用する事によって自由なプロトタイピングができるようになる。また、ソーシャルロボット自身のソフトウェアなどの情報もオープンソースによって公開する。

### 8.5 ユーザーにとって作りやすい

ユーザーにとってロボットを作りやすくし、製作情報を提供することによって、ユーザー自身もロボットを自分で作り、自分の環境に合うように改造できる。

### 8.6 コミュニティ

ユーザーと開発者、ユーザー同士が情報共有できるWebサイトや、SNSなどを用意することによって、開発者をユーザーがコミュニケーションしてユーザーと開発者、ユーザー同士でロボットに関する問題を解決できるようにする。

## 9 マグボットのデザイン

以上のようなソーシャルロボットのコンセプトによって、小池研究室が開発しているマグボットについて解説する。マグボットの仕様は2013年3月現在のものです。

ある。

### 9. 1 オーバービュー

マグボットの大きさは、直径 160mm、高さ 240mm である。マイコンに、Arduino と Raspberry Pi を使用。Raspberry Pi には Linux をインストールして Raspberry Pi から Arduino に信号を送る。Arduino からは、目や口の LED や、首、頭を動かすサーボモーターを制御する。

有線、無線で外部の PC、タブレット、スマートフォンから Raspberry Pi にアクセスしてロボットの音声合成やハードウェアを動かすことができる。(図 6)

### 9. 2 外装

マグボットの外装は、頭部に 100 円ショップで販売しているレンジマグを、胴体にも同じく 100 円ショップの乾燥椎茸ケースを使用している。100 円ショップの雑貨を使用することによってマグボットの製作を簡略化し、安価に製作できることをアピールする。また物に命が宿るといふ日本古来のアニミズムを象徴させている。外装はほとんど加工しないで素材を生かすようにしている。乾燥椎茸ケースは逆さにして使用。透明なので内部に Raspberry Pi や Arduino を使用していることを可視化できる。

### 9. 3 ハードウェア

目と首は、サーボモーター 2 個使用して上下左右に動かすことができる。目と口には LED を使用して、口の LED は発話時に点滅する。頭部のレンジマグを回転

させるために胴体上部のサーボに円盤を取り付け、サーボの回転に伴って円盤も回転する。この円盤の上にレンジマグを乗せている。頭部は取り外しできるようにして、ユーザーがレンジマグを手にとれるようにしている。(写真 7)

マイコンは、Raspberry Pi Model B と Arduino Leonardo を使用している。胴体の底部にユニバーサルプレートを使って Raspberry Pi と Arduino を垂直に設置し、内部を空洞にしてスピーカーやバッテリーを内蔵できるようなペースを作った。また、胴体を底部から外すことができるようにして、メンテナンスやプロトタイプングをしやすくした。電源は、標準形は、USB ハブを介して Raspberry Pi に電源を送り、さらに Raspberry Pi の USB から USB ハブを介して Arduino に接続する。スピーカーは Raspberry Pi のイヤホンジャックに接続する。(電源、ネットワーク、スピーカーの別の選択肢については後述。)(写真 8)

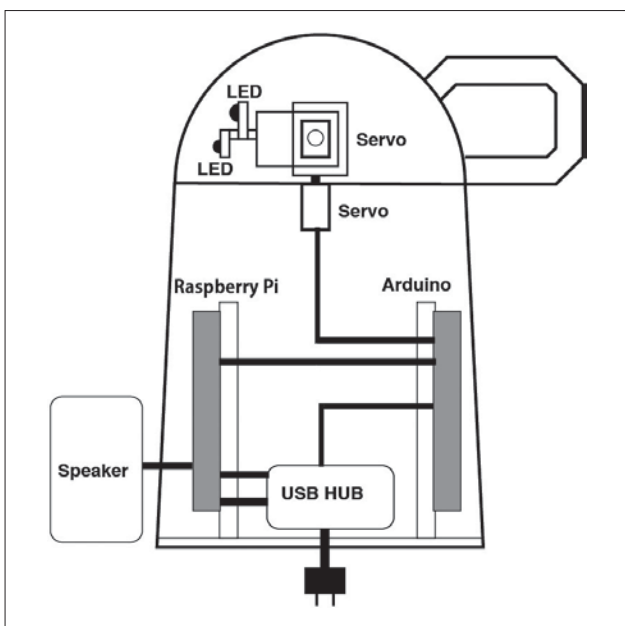


図 6 マグボットのオーバービュー

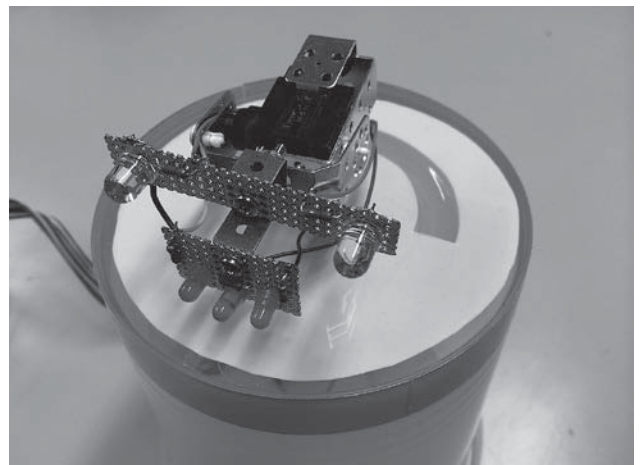


写真 7 マグボットの頭部

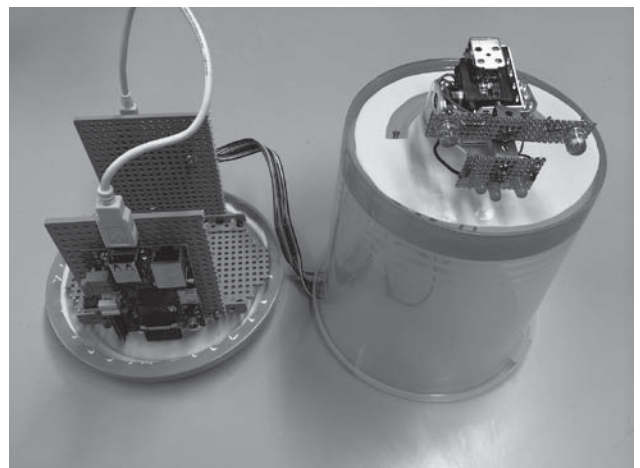


写真 8 マグボットの内部

### 9. 4 ソフトウェア

Arduino は C/C++ で書かれたプログラムで LED やサーボを動かし、Raspberry Pi には Apache サーバー、Ruby で書かれたサーバーと HTML5, CSS3, JavaScript, JQuery Mobile (注 11)

で書かれたロボットの制御インタフェースを設置した。Raspberry Pi と Arduino は USB 経由でシリアル通信を行う。Arduino には、シリアル通信で特定の文字が送られて来た時の特定の動作がプログラムされている。制御インタフェースから Ruby サーバーには WebSocket で通信し、Raspberry Pi から Arduino はシリアルで通信し、Arduino からサーボ、LED を直接操作する。音声合成は Raspberry Pi に OpenJtalk (注 12) をインストールして Ruby サーバー経由で使用する。(図 9)

### 9. 5 制御インタフェース

ロボットの制御インタフェースは、JQuery Mobile を使用して、スマートフォン、タブレット、PC でファ

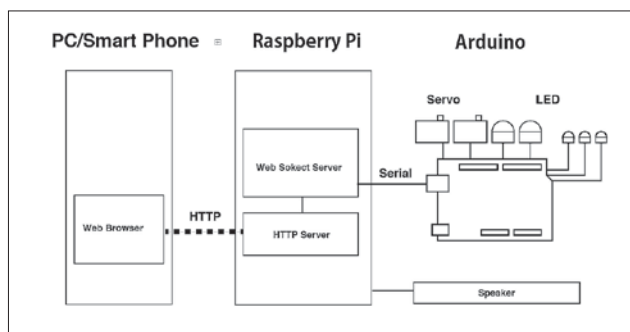


図 9 マグボットのブロックダイヤグラム

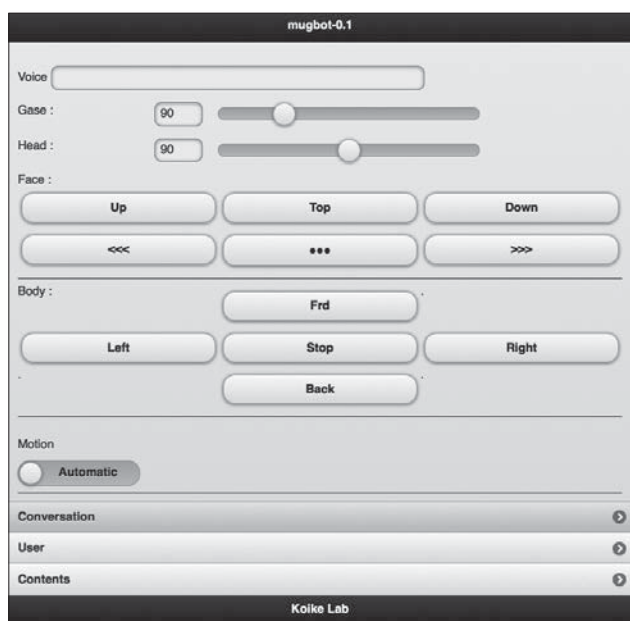


図 10 マグボットの制御インタフェース

イルを開いた時にそれぞれの画面の大きさにインタフェースが自動的に適応するようになっている。画面のフォームから入力した文字を音声合成で発話したり、プリセットで設定した文章を発話することができる。またスライダーで目や首を動かすことができる。(図 10)

### 9. 6 製作時間

ハードウェアのみであれば 4 時間程度で完成する。小学生も製作できる。

### 9. 7 コスト

使用部品の構成にもよるが、1 台 13,000 円から 20,000 円程度。

### 9. 8 マニュアル

マグボットの製作方法のマニュアルを公開予定。[3]

### 9. 9 Web の開設

マグボットの製作方法や活動報告の場として Web サイト [www.mugbot.com](http://www.mugbot.com) (図 11) や <https://www.facebook.com/SocialRobotics> を開設している。

## 10 制作上の工夫

### 10. 1 安価な材料の使用

外装には 100 円ショップの雑貨、ケーブル類も 100 円ショップのスマートフォン用の USB ケーブルを使用してコストを押さえた。

### 10. 2 汎用品の使用

マグボットには、Raspberry Pi や Arduino という入手しやすく安価なハードウェアを使用した。また、PC、



図 11 マグボットの情報 Web サイト [www.mugbot.com](http://www.mugbot.com)

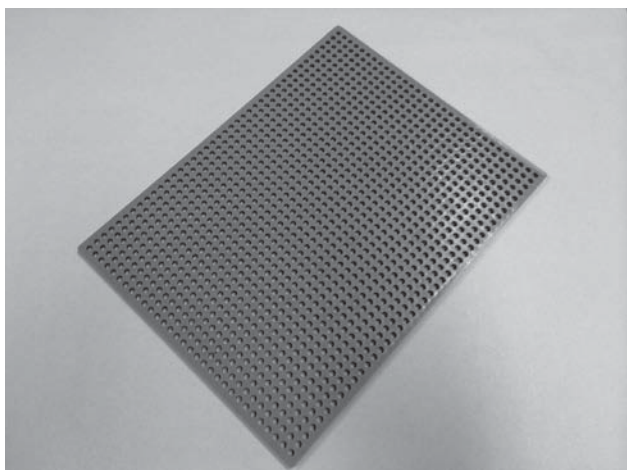


写真 12 ユニバーサルプレート

スマートフォン用の汎用品を使用することで低コスト化し、接続をしやすくした。例えば電源にはPC用バスパワーUSBハブ、スピーカーを使用した。バッテリーも過電流に対する安全装置のついたスマートフォン用のものを使用して安全に配慮した。欠点としては、部品大きさがロボットの内部に格納できるサイズに制限されることや、ロボット内部の配線が乱雑になる。

### 10. 3 情報量の多い部品の使用

Raspberry Pi や Arduino は世界的に使用され、ユーザーも多く制作例やソースコードが多くネットに掲載されている。これらの部品をマグボットに使用することで、ユーザーが情報を得てマグボットを改良しやすくなる。

### 10. 4 ユニバーサルプレートの使用

マグボット内部に工作材料である多数穴のあいたユニバーサルプレートを使用した。ユニバーサルプレート

は、ニッパーで切断しやすい。プレートを半分に切ったものなどを部品として使用することによって製作時間を短縮した。(写真 12)

### 10. 5 製作手順の整理

マグボット製作マニュアルを作る事ためにマグボットを何台も製作し、プロトタイピングを繰り返し、製作手順を見直して効率よく短時間でマグボットが製作できるようにした。また、ミスをしやすい部分については、マニュアルで指摘するようにした。

### 10. 6 製作の誤差を吸収する

製作者の工作レベルがマグボット製作に影響を及ぼさないように配慮した。例えば、頭部のレンジマグを動かす円盤は、製作時に誤差があっても円盤の上部に設置する頭部が回転できれば問題ない。制作上の誤差を吸収するような「遊び」の部分を作った。(写真 13)

### 10. 7 拡張性

必要に応じて Arduino にセンサーなどを設置する拡張性の余地を持たせた。

### 10. 8 プロトタイピングのしやすさ

胴体を外して容易に内部の部品にアクセスできたり、Arduino のピンには配線を手付けしていないので、柔軟に配線を変更できたり、プロトタイピングしやすいうようにした。(写真 14)

## 11 運用形態の選択

マグボットの電源は、バスパワーの USB ハブか、スマートフォン用のバッテリーを使用できる。またスピーカーには、AC 電源で動作するものか、バッテリー付きのものが使用できる。マグボットと PC などをつなぐネ

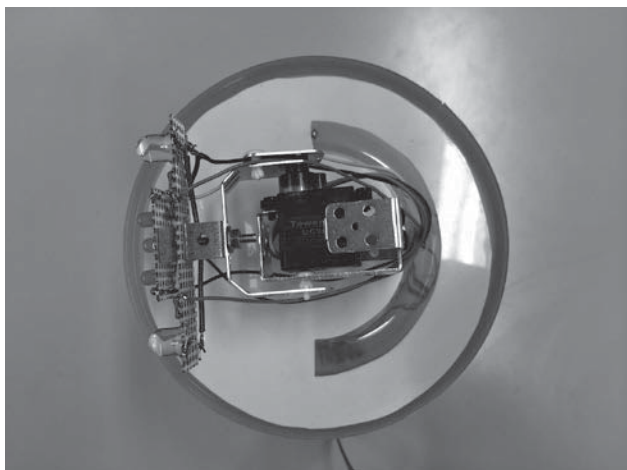


写真 13 誤差のある円盤

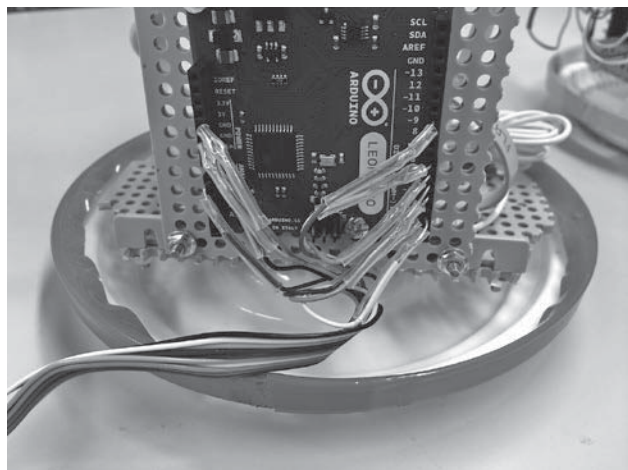


写真 14 Arduino の配線

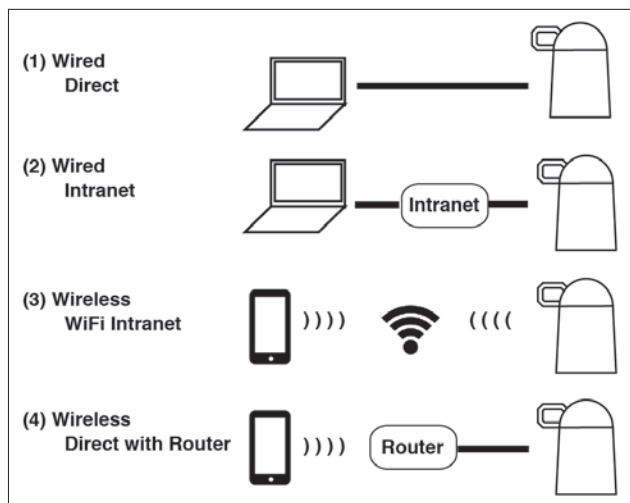


図 15 ネットワークの選択肢

ネットワークには以下のものがある。(図 15)

- (1) 有線 LAN でマグボットと PC を直接接続.
- (2) 既存の有線ネットワークにマグボットと PC を接続
- (3) 無線 LAN ドングルで既存のネットワークにマグボットと PC, スマートフォン, タブレットを接続.
- (4) 小型無線 LAN ルーターをマグボットに接続し, それに PC, スマートフォン, タブレットを直接接続.

## 12 マグボットを使用した活動

小池研究室では、これまでマグボットを以下のような展示や実際に現場でユーザーに使ってもらう活動を行っている。展示以外に小学生への科学体験教室の活動が多い。マグボットの科学体験教室での活動は当初想定していなかったが、予想以上に要望が多い事がわかった。

- 2011 年 11 月 Maker Faire Tokyo 2011 (展示)
- 2012 年 06 月 科学体験教室 Child17ren's Discovery Museum (ブルーミントン インディアナ州)
- 2012 年 08 月 マグボット製作ワークショップ (インディアナ大学)
- 2012 年 07 月 Maker Faire 2012 Detroit (展示)
- 2013 年 03 月 Human Robot Interaction 2013 (国際学会発表, 東京)
- 2013 年 07 月 東京都市大学オープンキャンパス (展示)
- 2013 年 08 月 東京都市大学科学体験教室 (写真 16)
- 2013 年 10 月 オープンソースカンファレンス 2013 Fall (展示)
- 2013 年 11 月 Maker Faire 2013 Tokyo (展示) (写



写真 16 東京都市大学 科学体験教室の様子(2013 年)



写真 17 Maker Faire Tokyo 2013 での展示



写真 18 タマラボで子ども達がマグボットで遊ぶ様子

真 17)

- 2014 年 02 月 コワーキングスペース「タマラボ」(写真 18)

- 2014 年 02 月 科学体験教室 (川崎市立南菅小学校)

### 13 マグボットを使用した今後の研究の展望

2013年度までにマグボットの基本形を完成させることができた。2014年度は、これまでの科学体験教室、イベント参加に加え、具体的なフィールドである学校、病院、介護施設、コワーキングスペース、店舗などで実際にマグボットを使用してユーザーの要望からマグボットの機能を変更していく。また、マグボットを製作するワークショップを展開して、マグボットを製作して使用するコミュニティの構築を行い、ソーシャルロボットの社会的意味について考察していく。

#### 注

- (注1) 本研究は、小池星多;学術研究助成基金助成金、基盤研究(C)、ソーシャルロボットのデザイン方法の研究、2013によって行われている。
- (注2) PaPeRo NECが開発したコミュニケーションロボット。 <http://jpn.nec.com/robot/>
- (注3) Palo 独立行政法人産業技術総合研究所が開発したアザラシ型ロボット。  
<http://www.parorobots.com>
- (注4) PALRO 富士ソフトが開発したロボット。  
<http://palro.jp>
- (注5) SCRATCH MITのメディアラボが開発した、タイルを組み合わせてプログラミングする言語。  
<http://scratch.mit.edu>
- (注6) プロプライエタリ(proprietary) 企業などに知的所有権が独占されていること。
- (注7) Arduino (アルドゥイーノ) イタリアで開発されたオープンソースハードウェアとプログラミング環境。デザイナーがメディアアートなどを製作できるツールとしてデザインされた。  
<http://www.arduino.cc>
- (注8) ZigBee (ジグビー) 近距離の無線規格
- (注9) Maker Faire アメリカで始まった、ものづくりのイベント。世界各地で開催されている。  
<http://makerfaire.com>
- (注10) Raspberry Pi イギリスのRaspberry Pi財団によって開発されたシングルボード小型コンピュータ。Model Aが25, Model Bが35ドルという安価で、教育現場や電子工作などで使用することを目的としている。  
<http://www.raspberrypi.org>
- (注11) JQuery Mobile JavaScriptのフレームワークであるJQueryをスマートフォンなどに適応したもの。  
<http://jquerymobile.com>
- (注12) OpenJtalk フリーの音声合成エンジン。  
<http://open-jtalk.sp.nitech.ac.jp>

#### 参考文献

- [1] Seita Koike, Masayuki Sugawara, Sayaka Yamanouchi, Hiroki Kutsukake, Kie Sato, Yoshihiro Fujita, Junichi Osada; Social Robot Design, HCI 2009 International, CD-ROM, 2009
- [2] Seita Koike, Takeshi Ogino, Sari Takamura, Tatsushi Miyaji, Yuki Miyajima, Daishi Kato, Koyo Uemura, Kazuo Kunieda, Keiji Yamada; Co-creation Process of Collaborative Work with Communication Robot, HCI 2011 International, CD-ROM, 2011
- [3] 布村千夏 2014 ソーシャルロボットのデザイン (1) 東京都市大学卒業研究 2014