

シールロボットの機能獲得に関する研究

熊野 和恵 山本 吉伸 安西 祐一郎

慶應大学 理工学部

我々は日常生活の中で様々な物理的作業を行なっている。この作業を支援するためには物の機能の制御が必要である。ネットワークを通じて日用品の機能の制御を行ない、物同士を協調的に動作させることができれば様々な支援が可能になると期待される。そこで、通信機能と可動部を持つハードウェア（シールロボット）を日用品の表面に取り付け、それを通じて日用品の機能の制御を行う。このように、物やロボットが他の物の機能を制御できるようになることを機能制御と呼ぶ。本論文ではこのシールロボットを実装して、機能獲得の有効性について検討を行なった。

The Acquisition of Functions by Shi-ru Robots

Kazue KUMANO Yoshinobu YAMAMOTO and Yuichiro ANZAI

Dept of Computer Science Keio University 3-14-1 Hiyoshi Kohoku-ku Yokohama

We want computing systems to support our daily work dynamically. This paper presents the concept of 'the acquisition of functions' that is for tools to behave like robots, by communicating with networks and cooperating with other robots. It makes possible to control functions of tools by installing hardware, called *shi-ru robot*, on surface of the tools. We discuss the concept with some implementations.

1 はじめに

今日計算機システムによる情報処理作業の支援は盛んに行なわれている。しかし、我々の活動は情報活動ばかりではない。掃除、洗濯などの複雑な作業から、ドアの開閉、カップにお湯を注ぐといった単純な作業までさまざまな物理的作業を我々は毎日のように行なっているのである。

計算機システムにより物理的作業の支援を行なえるようになれば、我々の日常生活はより快適になるであろう。例えばネットワークを通じて指示を送ると、ゴミ箱を自分の方に移動させることができたり、カップがポットの所に移動してポットがお湯を注ぐ、といった物同士の協調作業が行なえることが期待される。

我々はこのような作業を支援するために、機能獲得の考え方を導入した。本論文では、まず初めに機能獲得の説明を行なう。また機能獲得の実装例としてシールロボットの実装を行ない、機能獲得を実現して、検討を行なう。

2 高性能ロボット

現在、多くの高性能なロボットが研究開発されている。また、複数の自律ロボットに協調作業をさせる研究もなされている [4]。これらの技術を応用すれば高性能な移動ゴミ箱ロボットとかコップロボットを実現することは可能で、様々な支援ができると期待される。しかし実際にゴミ箱ロボットやコップロボットを作ると仮定すると、それらの設計時には以下のような問題が起こると予想される。

- 使うと予想される機能を初めからすべて装備しなければならない。つまり、使わない機能も装備しなければならない。したがって、無駄が多くなる。
- 新たな機能を加えるたびにロボット全体を設計し直さなければならない。それに伴い、それまで使っていた物（又はロボット）を破棄しなければならない。

- 個々の設計が違うロボット同士を協調作業させるのは制御が大変である。

よって、作業を行なう上で、個々のロボットの機能の高性能さに頼るのではなく、より基本的な機能のロボットを使いながらも、現存する物の機能を拡大することで目的の達成（物理的作業の支援）を図る。

3 物のロボット化

ここで、情報処理作業のように計算機だけで実行できる作業に対して移動や加熱のように計算機だけでは実行できない作業のことを物理的作業と呼ぶことにする。例えば調理など熱を使う作業や、ドアの開閉・ゴミ箱の移動など実際に力を使う作業がそれである。

我々は何らかの「物の機能」を利用して物理的作業を行なっている。つまり加熱を行なうためにはオープン、給湯をするためにはポット、など作業に必要な機能を持っている物を制御したり、あるいはドア、ゴミ箱、カップなどを手を使って移動させたりしている。

物理的作業を行なうにはこれらの機能の制御が重要である。

3.1 物の機能の利用

我々が利用している物の機能には以下の二種類がある。

- 電子的機能
- 形状機能

電子的機能とは電器製品のように電子制御によって発揮される物の機能を意味する。形状機能とは物の形状の持つ機能のことを指し、ゴミ箱、コップ、ドアなどの機能はこれに当たる。

3.2 機能制御

ここでは、物に運動機能を付加し、さらにコンピュータネットワークに接続することを

ロボット化と呼ぶことにする。計算機システムにより物の機能を制御するには物のロボット化が必要である。

すべての物をロボット化すると以下のことが可能となる。

- ネットワークを通じての作業の制御
- 物に対して力学的な動作を伴う作業
- 物同士を協調的に動作させる作業

そこで、物のロボット化のために、現存する物の機能を利用する、機能獲得の考え方を導入する。

4 機能獲得と機能付加

物 A が物 B の機能を制御下におくことを機能獲得という。この機能獲得の考え方を使えば、物にハードウェアを取り付け、ネットワークを通じての物の移動などの作業を可能にすることができる。つまりハードウェア（ロボット）を物に取り付けることにより物のロボット化が行なえる。また、このハードウェアを制御することによって、より単純に物の制御を行なうことができる。

物 C にハードウェア（ロボット D）を取り付ける。このハードウェアが物 C の機能をその制御下におく、つまり物 C の機能を機能獲得すると、このハードウェアを制御することで物 C の機能を制御することができる。このハードウェア（ロボット D）を使って物の機能を機能獲得すると、物をロボット化することができる。

カップがポットの所に自分で移動する、するとポットがカップにお湯を注ぐ、という作業は以下のようにして実現できると考えられる。

まず、移動ロボットの上にカップをのせると、カップがポットの所に自分で移動するようになる。つまりカップロボットになったかのように見える。この例では移動ロボットがカップを制御下においているというよりは、カップが

移動機能を持ったように見える。そこでこのような現象、ロボットの機能を物に持たせることを機能獲得の一種として、機能付加と呼ぶことにする。移動ロボットをカップに取り付けることによりカップに移動機能を持たせる。これは機能付加である。(図1下)

つぎに、ポットについてはポットの機能、つまり給湯機能の制御が必要である。機能獲得を使ってこの制御を行なうには、ポットにボタン押しロボットを取り付け、ポット上部を押し、給湯機能を制御する。(図1上)

つまり電子的機能を有する物、テレビやポットは人間用のインターフェースであるスイッチ類（ボタンやツマミ）を介して制御を行なう。すなわちスイッチをハードウェア（ロボットなど）によって物理的にオンオフすることにより電子的機能の制御を行なう。こうすることにより、より単純な制御を行なえるようになる。

このハードウェア、すなわち機能付加と機能獲得を実際に行なうロボットをシールロボットと呼ぶ。シールロボットを使うことにより前述の作業が実現できると考えられる。

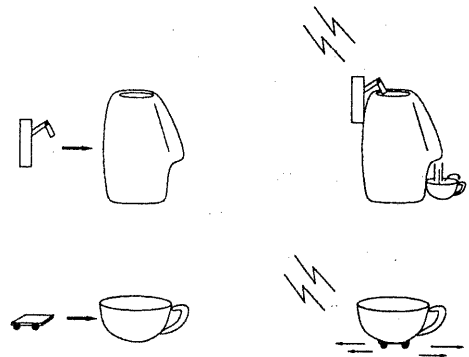


Fig. 1: 機能獲得と機能付加

5 シールロボット

シールロボットは物に運動機能を付加するためのアクチュエータ（モーターなどの可動デバイス）と通信機能を備えている。シール

ロボットを物に取り付けることによって、物に移動機能を持たせたり、物同士に協調作業を行なわせたりすることが可能になる。つまりシールロボットによって「コップロボット」や「ポットロボット」(図2)を実現できると考えられる。

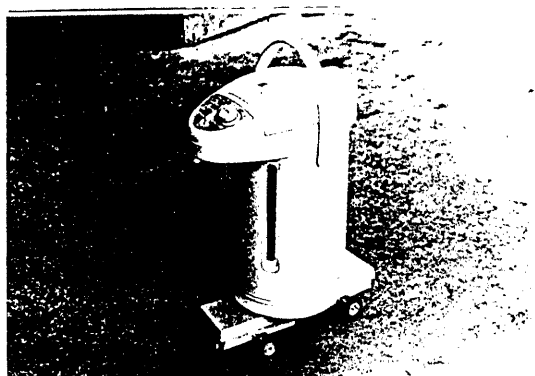


Fig. 2: 移動ポットの概念

5.1 シールロボットの設計

シールロボットの必要条件は次のようなものであると考えられる。

- 計算機ネットワークや他のロボットと通信を行なうための「通信機能」
- 物に可動能力を与える「アクチュエータ」
- 制御信号を受けてアクチュエータを制御したり、協調作業を円滑に行なうための情報処理機能
- 小型軽量であること

将来、環境情報を通信により得ることが出来るようになれば、シールロボットすべてにセンサを搭載する必要はなくなる、との考えからセンサは必要条件として挙げなかった。

シールロボットを「物」の表面に取り付けることにより、「物」の機能を物理的な動作によって直接的に制御することができる。例えば、洗濯機の“ボタンを押す”、タイマーの“つまみを回す”などの動作を行うことができる。この

ような能力を実現するためにアクチュエータは必須となる。

シールロボットは日常生活で使用することを前提としているため、サイズの制約が条件となる。ある程度の小型(最大でも1メートル立方ぐらい)かつ一人で持ち上げられるぐらいの軽量であることが必要条件となる。取り付ける物の大きさによっては数センチ立方程度に押えられることが望ましい。

5.2 シールロボットの実装

上記の条件を満たすシールロボットを実装した。以下は、試作システム「J1」の諸仕様である。

Table 1: シールロボット J1 の試作

重量:	約 500g
寸法:	幅×奥行き×高さ 12 × 15 × 6cm, 車輪直径 4cm
制御部:	CPU Z-80, CTC × 4, PIO × 2, SIO × 2, ROM 256 Kbit, RAM 256 Kbit
センサ:	タッチセンサ × 4
駆動部:	ステッピングモータ × 2
通信部:	RS232C を用いた有線通信
電源:	外部電源を使用

本試作システムは小型のシールロボットについてサイズの制約内でどれほどの移動精度、運搬能力、処理能力が実現できるかを試験する目的で実装を試みた(図3)。また複数のシールロボットによる運搬作業実験を行なった。

試作シールロボット「J1」は、演算部、小型タッチセンサ、駆動回路から構成されており、移動機能を有している。物の下に取り付け易い形状をしている。小型化のため制御回路が

単純な小型ステッピングモータを使用した。

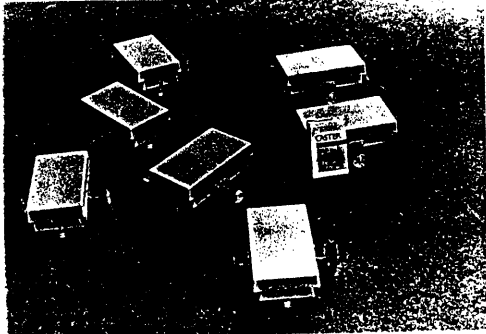


Fig. 3: 試作シールロボット「J1」

本来、シールロボットは機内に演算装置・電源装置などがすべて収められているべきである。本実装では小型化実現を目的の一つとしていたため、大容量の電源部を搭載することは困難であった。そのため実験に際して搭載電源がすぐに消費してしまうという問題がでてきた。このため外部電源を使用し有線で供給することとした。また無線通信機能も搭載せず、有線によるロボット-ワークステーション間の有線通信を用いて制御を行った。

この他、障害物に接触すると停止するよう四隅にタッチセンサを搭載した。センサはシールロボットの構成要件ではないが、走行実験を行なう際に必要であると考え搭載した。図4はシールロボット J1 の内部構成である。

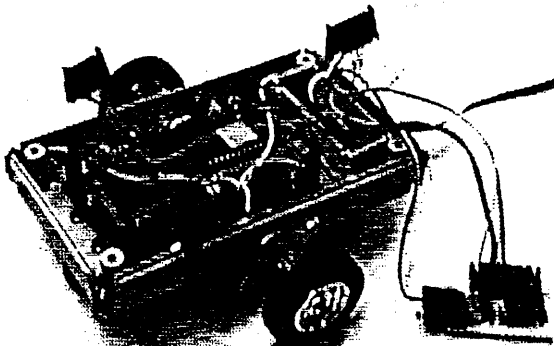


Fig. 4: J1 の構成

本システムは、一台では非力な運搬能力しか持ち得ないが、複数台を並べて走行させることにより大きな「物」に移動能力を持たせることができる。

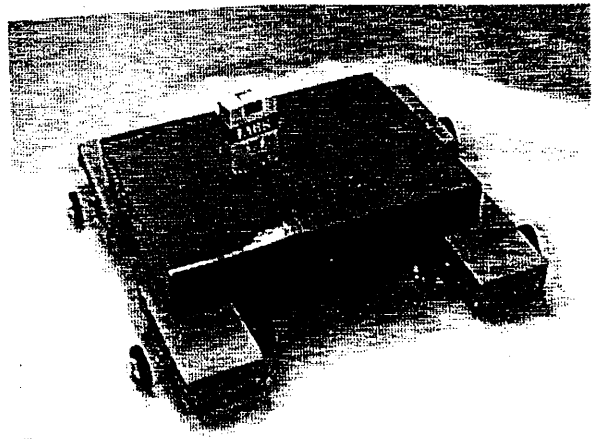


Fig. 5: シールロボットの組合せによる能力

四台のシールロボットによる実験を行なった。シールロボットで協調作業を行なうための試作実験として、一台のみでは実現できない運搬能力を実現する実験を行なった。四台のシールロボットを段ボールケース下部に取り付け、それらを同期的に移動させた。ただし、制御はワークステーションにより集中制御を行なった。(図5)

6 シールロボットによる機能獲得

シールロボットを使って物の移動以外の作業の支援を試みた。前節で示した実装ではシールロボットは物に移動機能を持たせた。これはシールロボットによる機能付加である。ここでさらにシールロボットに機能獲得を行なわせて、物の機能の制御を行なう。

6.1 「押す」「回す」という動作

我々は「押す」「回す」という動作を使うことにより様々な作業を行なえる。

例えば電器製品のスイッチなどはこれらの動作を使えばほとんどのものが制御可能である。つまり「押す」「回す」の動作は日用品を制御するための基本動作であると言える。

シールロボットにより「押す」「回す」という動作を実現できれば様々な物が制御できる。つまり様々な作業の支援が可能になるであろう。

シールロボットで押す、回すの基本動作が実現できれば多くの用途に使うことができる。

例えばシールロボットを使ってこれらの動作を実現するには図6のような方法が考えられる。板上の直方体の中をシールロボットが移動する。すると、ロボットの重さで板の重心が移動して下の物体Aを「押す」。(図6)

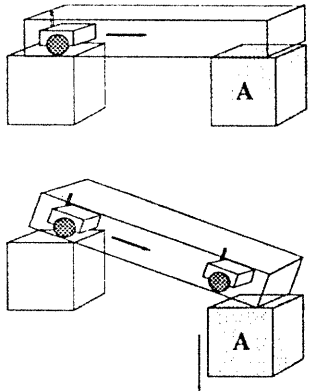


Fig. 6: 板を使った押す動作

球の中にシールロボットを入れる。球の中でシールロボットが移動すると球が「回る」(図7)。この動作はシールロボットを使って、球の「回転する」という形状機能を制御することにより実現される。つまりシールロボットによる球の形状機能の機能獲得である。

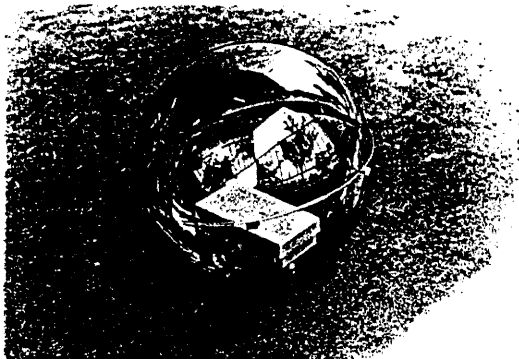


Fig. 7: 回る動作

6.2 シールロボットによる機能獲得の実現

機能獲得の実装例として、試作シールロボット J2 に球を使って回る動作を行なわせた。(図8)

Table 2: シールロボット J2 の試作

重量:	約 1kg
寸法:	幅×奥行×高さ, 16 × 8 × 12cm, 車輪直径 8cm
制御部:	CPU Z-80, CTC × 4, PIO × 2, SIO × 2, ROM 256 Kbit, RAM 256 Kbit
駆動部:	ステッピングモータ × 2
通信部:	ワイアレスコネクタ × 1
電源:	6V リチウム電池 × 2

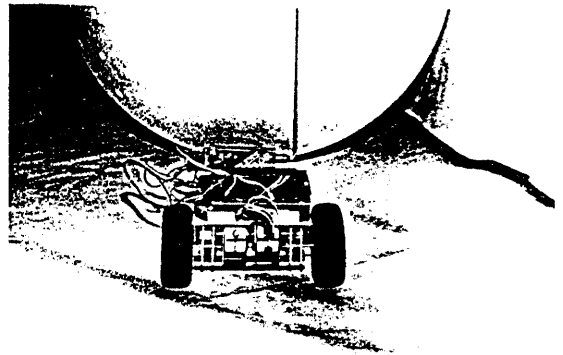


Fig. 8: 試作シールロボット「J2」による基本動作の実現

本論文で提案するシールロボットは基本的な能力しか保有していない。しかし、

1. すでに存在する「物」をそのまま利用できる。
2. 同じロボットを異なる「物」に取り付けられる。
3. 「物」を計算機システムから制御することが可能になる。

4. 通信機能によって他の「物」との協調活動が可能である。

という利点を持っている。

現存する「物」にそのまま取り付けられるということがシールロボットの特徴であり、シールロボットを取り付ける相手（ロボットも含めてあらゆる「物」）を変化、設計し直す必要がない。このため作業に必要な最低限の機能のみを持つシールロボットを取り付ければ十分であり、新たな機能の要求があれば、新しいシールロボットに付け変えられる。つまり必要に応じて柔軟な利用ができる。例えばシールロボットを家具の下に取り付けた場合、コンピュータから制御を行うことで、このシールロボットが移動し家具を動かすことが出来たり、または移動機能に加え光センサーのついたシールロボットを植物の鉢の下に取り付けた場合、常に日の当たるところに移動させることが出来るようになるであろう。

各シールロボットは多様な「物」に取り付けられるため、汎用性もある。したがって、広範な応用が可能になると期待される。

7 おわりに

本論文では、計算機システムによる物理的作業の支援を行なうために機能獲得の考え方を述べた。また機能獲得を行なうロボットの実装例として、シールロボットの試作実験を行なった。

シールロボットの実装の結果いくつかの課題が残された。一番の課題は電源供給に関する問題である。球の中のように密閉された所では電源を外部から供給できない。電池の交換を行えるような設計では制約が多くなるであろう。太陽電池を使うことが望ましいが、明るい所でしか作業できなくなる。有効な電源供給方法を検討する必要がある。

次の課題はセンサである。センサはシールロボットの必要条件ではなく、また実装が容易な場合もある。しかし機体内には搭載しなくても、環境情報を取り入れるために必要なこと

もある。今回の試作実験では球の中から外の環境を知るためには球の外部にセンサが必要であった。しかしその実装方法について有効と思われる手段が見つからなかった。シールロボットは他の機体から環境情報を得られる、としているが今回その実験は行なっていない。どの程度情報を得られるのか今後さらなる研究の余地がある。

今回シールロボット同士の協調作業は行なわなかった。シールロボット同士の協調行動はマルチエージェントロボットシステム [1][2] の研究と同様今後期待される研究課題となるであろう。将来すべての物がシールロボットを取り付けることによりロボット機能を持つようになり、ネットワークを使った物同士の協調的な作業が可能になり、さらには、Ubiquitous[3] シールロボット（人々がそれがロボットであることを意識しないロボット）となることが期待される。

機能獲得について今回の試作実験によって、球の形状機能の機能獲得の例証には成功したといえる。今後他の機能、特に電子的機能についても実験を行ない、機能獲得の有効な応用について研究を進めたい。

参考文献

- [1] 浅間一: マルチエージェントロボットシステム研究の動向と展望, 日本ロボット学会誌, Vol.10, No4, pp428-432, 1992
- [2] Y.Ohmori, Y.Nakauchi, and Y.Anzai. The task allocation algorithm for multiple mobile robots environment. In 2nd International Conference on Automation, Robotics and Computer Vision, volume 3, pp.RO-12.7.1-5, 1992.
- [3] M. ワイザー: 21 世紀のコンピュータ, 日経サイエンス 11 月号, pp.60-70, 1991
- [4] 油田信一: 複数の自律移動ロボットの協調行動, 日本ロボット学会誌, Vol.10, No4, pp.433-438, 1992