

# 小型移動ロボット用汎用伸縮アームの開発

## Development of a General-purpose Expandable Arm for a Small Mobile Robot

橋本 達矢 (筑波大) 大矢 晃久 (筑波大)  
小柳 栄次 (桐蔭横浜大) 油田 信一 (筑波大)

Tatsuya HASHIMOTO, University of Tsukuba  
Akihisa OHYA, University of Tsukuba  
Eiji KOYANAGI, Toin University of Yokohama  
Shin'ichi YUTA, University of Tsukuba

**Abstract**— If a small mobile robot can do tasks manipulating objects, its working area expands enormously. In this research, we developed an expandable sliding arm which enables a mobile robot to push or pull objects. The mobile robot arm can manipulate objects such as elevator buttons, light switches and mail-box drawers. The expandable arm has 3 degrees of freedom; a rotary degree of freedom at the base, a stretching degree of freedom and a rotary degree of freedom at the end-effector. The stretching section is composed of 4 links. The length of the contracted arm is 388mm and the total length of the expanded arm is 1218mm. Our mechanical arm has linear motion guides in the stretching section, DC motors for driving, Harmonic-drive to reduce the speed and a solenoid to push switches and buttons at the end-effector.

**Key Words:** Mobile robot, Expandable sliding arm, Linear motion guide, Harmonic-drive, Solenoid

### 1. はじめに

近年、ロボットはその活躍の場を様々な環境に広げつつある。例えば、家庭にはエンターテインメント性やセキュリティ機能などを備えたホームロボットが入ってきている。家庭のように比較的狭い空間での動作には、小型移動ロボットが適しており、今後その需要は高まると考えられる。

現在、ホームロボットの中には、家庭内の画像を携帯電話に送信したり、家電をリモコン操作したりする機能を備えたものがある。このように小型の移動ロボットでは、通信技術を用いて人間の役に立つものが多く見られるが、対象への物理的接触を伴うタスクが可能なものは少ない。もし小型移動ロボットに対象への物理的接触を伴うタスクが可能になれば、その使用の幅は大きく広がる。

物理的接触を伴うタスクとしては、把持、押す、引く等の動作が考えられる。この中で把持に関しては、対象の質量や体積、形状、材質など考慮すべき点が数多く存在し、実現するためには複雑なシステムが必要である。移動マニピュレータにより把持動作を行った例が幾つかある<sup>1)2)</sup>が、装置が大がかりであるため、小型の移動ロボットで実現したものは少ない。一方、押す、引くという動作は、手先の位置を上手く決定することができれば、比較的容易に実現することができる。また、可動範囲や耐荷重をある程度制限することにより、移動体の小型さを損なわないコンパクトなメカニズムにすることが可能だと考えられる。よって本研究では、小型移動ロボットで押す、引くなどの動作を実現することができる汎用アームの開発を目標とする。

本稿では、アームの仕様およびその設計・製作について述べる。

### 2. アームの仕様

#### 2.1 実現したいタスクの具体例

##### 2.1.1 「押す」

- エレベータのボタン操作

小型や中型の移動ロボットを用いたナビゲーションに関する研究が数多く行われているが、階の

移動を行わないものがほとんどである。エレベータを用いて、自律的に階の移動が可能なものがある<sup>3)</sup>が、ボタン操作のために大がかりなマニピュレータを搭載している。ロボットにコンパクトなアームを設置することによって、エレベータを用いた階の移動ができれば、小型をはじめ多くの移動ロボットの活動範囲を大きく広げることが可能である。

- 電灯のスイッチ操作

巡回ロボットによる消灯や、ベッドに寝ている人の指示により部屋の電灯を消すことができると便利である。

##### 2.1.2 「引く」

取っ手部分にアームの先端を引っ掛けて引くことにより引き出しを開ける。ロボットが引き出しを操作できれば、遠隔地からメールボックス等の確認を行うことが可能になる。

#### 2.2 使用するロボット

本研究では、小型の移動ロボットで押す、引くという動作を実現するためのアームの開発を目標としている。開発したアームは、実際にロボットに搭載して評価実験を行う予定である。このロボットには小型の移動ロボット(全長 370mm、全幅 322mm、全高 420mm)を使用することとした。

#### 2.3 ロボットへの搭載

小型の移動ロボットに搭載することを考え、汎用アームのシステム全体をコンパクトで軽量化したい。そのためには、手先やアームを軽量化し、モータのように重量のある部品は根元付近に配置するなどの工夫が必要である。また、開発するメカニズムは、ロボットの移動の妨げにならぬよう、前後左右へ突出しないように設置する。設置位置はロボット上面とし、床から 40cm 程度の高さとなる。

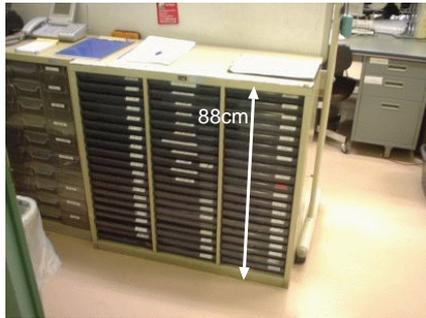


Fig.1 Mail-box



Fig.2 Light switches

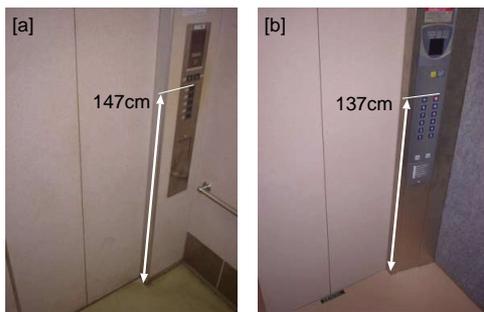


Fig.3 Elevator buttons ([a]:College of Engineering Systems, [b]:Laboratory of Advanced Research B, University of Tsukuba)

## 2.4 アームの可動範囲

アームの可動範囲を決めるため、操作対象がどのような位置に存在するかを調査した。

まず、筆者の研究室で使用されているメールボックスを Fig.1 に示す。メールボックスの引き出しは、床面から 88cm 以内の位置にあり、使用するロボットの近傍である。

次に、電灯のスイッチを Fig.2 に示す。電灯のスイッチは、一般に一つのパネルに 1~3 つのスイッチが配置されており、その設置位置は床面から 130cm の高さのものがほとんどである。

Fig.3 にエレベータのボタンを示す。ボタン位置は、床面から 110~150cm の高さに設置されている。

以上より、本研究では床面から 150cm の高さのものまでを操作可能なアームを開発することとした。

## 2.5 アームの自由度

小型移動ロボットにマニピュレータを搭載する場合、ロボットの移動系の自由度を活かすことで、システム全体をコンパクトにする手法が多く用いられている。本研究でも、台車の移動系における自由度を使い、アーム

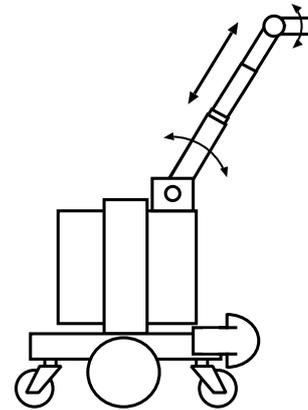


Fig.4 Image of the arm

の自由度を減らすことでコンパクトなシステムを実現する。

本研究で使用する台車はノンホロノミックな移動体であり、直接制御できるのは前後進と旋回の 2 自由度のみである。一般に、三次元空間内の対象を操作する場合、ロボットには 6 自由度が必要となるため、アームには 4 自由度を持たせることが考えられる。しかし、本研究では押す・引くという比較的単純な動きを行うことから、アームにはヨー方向の自由度は不要と考えた。従って、アームには床平面上以外の 3 自由度を持たせることとした。

## 2.6 手先にかかる最大荷重

対象を操作するため、アームの手先は対象に接触する。この時、手先には荷重がかかるため、この荷重に耐えられるような仕様にする。

バネばかりを用いて、対象を操作するときどれくらいの力が必要かを測定した。測定対象は、エレベータのボタン、電灯のスイッチ、メールボックスの引き出しとした。この実験から、ボタンやスイッチの操作には 500gf 程度の力があれば十分であることが分かった。一方、引き出しは中が空の状態ならば 200gf 程度の力で操作することができたが、中に入っているものの質量によって引くときに必要な力が変わってくる。

コンパクトなメカニズムで大きな力を発生させることは困難であることから、本研究では 500gf までの力で操作可能なものを対象とすることとした。

## 2.7 アームの構造

これまでに述べた仕様を満たす具体的なアームの構造を検討した。先に述べたように、アームは小型の移動ロボットに搭載できるようコンパクトでなければならぬ反面、非常に広い可動範囲を求められる。この仕様を満たすものとしては多関節のマニピュレータも考えられるが、本研究では、はしご車等で用いられているような伸縮するアームを開発することとした。伸縮アームを使用する利点としては、以下のことが挙げられる。

- 使用しないときは収縮させることにより、コンパクトにすることができる。
- 関節が少ないため駆動用のモータが少なく済み、低コスト・軽量化を計ることができる。また、逆運動学による関節の角度算出が容易である。

以上の条件から考案したアームの外観を Fig.4 に示す。スイッチ操作や引き出しの取っ手へ引っ掛けるためのエンドエフェクタをアーム先端に備える。アーム

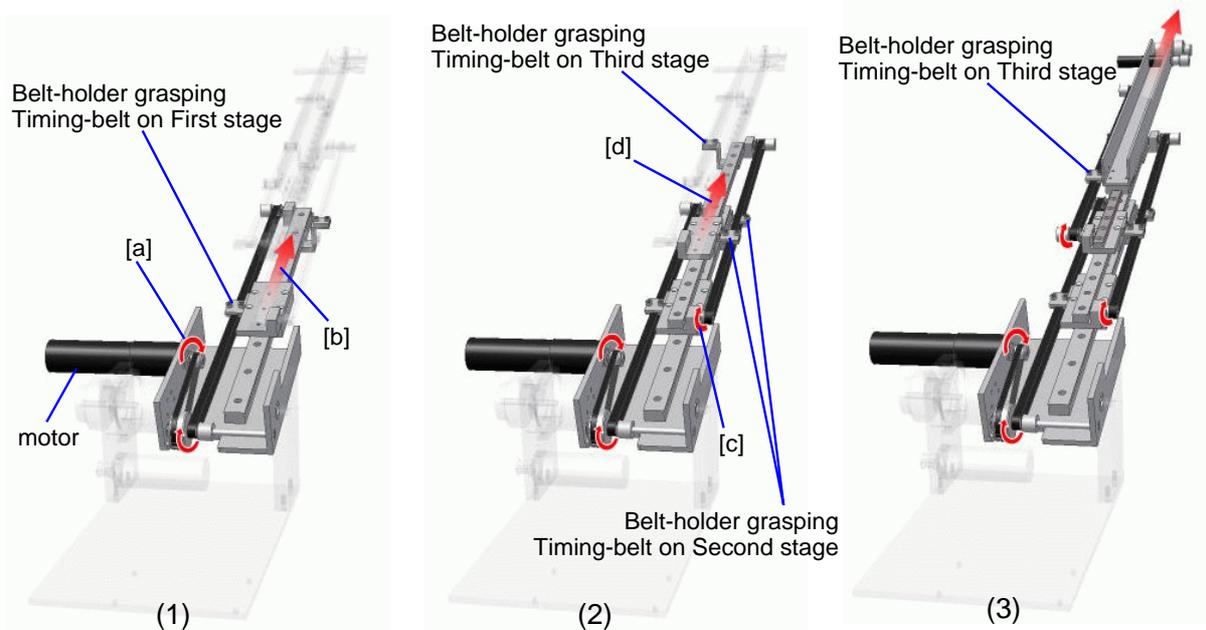


Fig.5 Structure of the stretching section

には、伸縮による自由度のほかに、ロボットへの固定部分に1つ、エンドエフェクタとの間に1つ、共にピッチ方向への自由度を持たせることとした。

## 2.8 伸縮機構

伸縮機構の概要を Fig.5 に示す。アームは、収縮時 40cm 以下・伸長時 110cm 以上になるものとし、40cm 程度のリンク 4 段で構成する。この伸縮アームでは、1 段目から 2 段目を押し出す動力を利用して 3 段目、4 段目を押し出す仕組みになっている。

アームを伸ばす際の詳細を以下に記述する。

- 1 段目に配置されたベルトをモータの動力で回転させると ( Fig.5 の [a] )、ベルトの一部に固定されたスライダがレール上を移動する ( Fig.5 の [b] )。
- 1 段目のスライダ上に 2 段目のスライドレールを設置し、その両端に配置したプーリにベルトを掛ける。この 2 段目のベルトの一部を 1 段目に固定することで、1 段目のベルトを回して 2 段目のレールを押し出す際に、2 段目のベルトを回転させることができる ( Fig.5 の [c] )。この回転を利用して、2 段目のレール上のスライダを 1 段目同様に移動させる ( Fig.5 の [d] )。
- 以上の仕組みを繰り返すことで、3 段目および 4 段目も 2 段目の動きに連動して伸縮する。

この伸縮機構の利点は、1 段目から 2 段目が押し出されるのに同期して 3 段目および 4 段目が押し出されていくので、アーム先端の位置計算が容易なことである。

## 3. アームの製作

2 章で述べた仕様を満たすアームを製作した。

### 3.1 アームを構成する要素

#### 3.1.1 スライドレール

伸縮部には、伸縮時の摩擦が少なく、かつガタが少ないものが望ましい。そこで、Fig.6 に示すスライドレールを用いることとした。スライドレールは、軽量・コ



Fig.6 Linear motion guides (RSR9N,RSR12N,RSR15N)

Table 1 Specifications of Linear motion guides

	1st Stage	2nd Stage	3rd Stage
Model number	RSR 15N	RSR 12N	RSR 9N
Moment rating	63.1Nm	28.9Nm	18.4Nm
Length of rail	350mm	370mm	375mm
Weight	417g	270g	147g

ンパクトでありながら、様々な荷重に対して安定した精度と剛性を得ることができる。

アームにかかる荷重より、安全率を考慮した上で各段に用いるスライドレールを選定した。荷重に耐えられる十分な剛性を持ち、かつ軽量のタイプのものが望ましいことから、Table1 に示すスライドレール (THK 製) を用いることとした。

#### 3.1.2 ベルト、プーリ

ベルトには、タイミングベルト (つばき製) を用いる。タイミングベルトは、ワイヤに比べ剛性が高く、高精度の位置制御に適している。

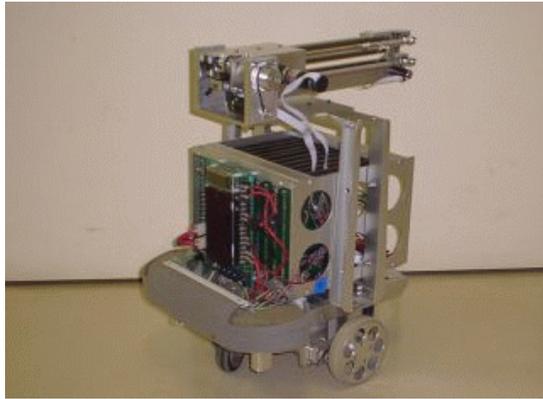


Fig.7 Contracted arm on mobile robot

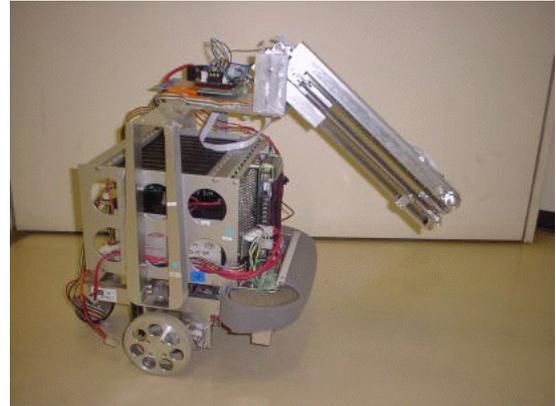


Fig.8 Brought arm

Table 2 Specifications of Developed arm

Length of Contracted arm	388mm
Length of Expanded arm	1218mm
Movable space of Arm	225 °
Movable space of End-effector	270 °
Motor	3-DC motors
Max. expanding velocity	25cm/sec
Weight	2.8kg

ベルトは、メカニズムをコンパクトにするために小さく曲げられるものが良い。しかし、小さい径に曲げると心線が折れてしまうという問題があり、曲げ限度の直径はベルトピッチの4倍以上である。そこで、最もピッチの小さいベルトピッチ 2.0mm のタイミングベルトを用いることとした。

また、プーリ (つばき製) もメカニズムをコンパクトにするため、出来るだけ径の小さいものを使用することとした。

### 3-1.3 ハーモニックドライブ

ハーモニックドライブは、金属の弾性体を歯車に応用した機構により精密な位置決めが可能な減速機である。コンパクトで高い減速比が得られ、ギアヘッドに比べバックラッシュが少ないという利点がある。

このハーモニックドライブを、アームの根元と、エンドエフェクタの根元に使用した。

### 3-2 製作したアームの仕様

以上の部品と加工したアルミ材等を用いて、アームを組み上げた。Fig.7 に、ロボットに搭載した伸縮アームを示す。また、製作したアームの仕様を Table2 に示す。

この伸縮アームは、通常は Fig.7 に示すようにロボットの上部に搭載され、移動の妨げにならぬように格納されている。引き出しの操作は、Fig.8 に示すようにアームを前方に振りかざし、エンドエフェクタを取っ手に引っ掛けることで実現する。一方、電灯のスイッチやエレベータのボタン操作は、Fig.9 に示すようにアームを真上に起伏させ、対象の位置まで伸長させることで実現する。開発した伸縮アームを高さ 42cm の移動ロボット上に搭載することにより、床面から 160cm の高さまで対応できる。

また、エンドエフェクタには直動機構としてソレノイドを備え、これによりスイッチやボタン操作を行う。



Fig.9 Expanded arm and End-effector

エンドエフェクタは、使用しないときは4段目の中に折り畳むことができる。

## 4. おわりに

本稿では、エレベータのボタン、電灯のスイッチ、メールボックス等の引き出しを操作することを目標タスクとして設定し、これを実現するためのアームの仕様を検討した。そして、仕様に基づいて構成要素を選定し、アームの製作を行った。

今後は開発した伸縮アームの制御と、カメラ等を用いた手先の位置修正を行っていく予定である。

## 参考文献

- 1) 矢野, 伊藤, 三浦, 白井: “パーソナルサービスロボットの開発”, ロボティクス・メカトロニクス講演会'03, 2P1-1F-B4 (2003).
- 2) 相澤, 小菅: “生活支援ロボットシステム-MARY-”, 日本ロボット学会創立 20 周年記念学術講演会, 3D25 (2002).
- 3) 吉田, 永谷, 田中: “自律移動マニピュレータによるエレベータを用いたフロア間移動の実現 -アクションプリミティブによる動作設計と実装-”, ロボティクス・メカトロニクス講演会'04, 2A1-L1-53 (2004).