

# パンタグラフ機構を有する移動ロボットによる高所作業の実現 - 操作者とのインタラクションによる本の返却動作 -

Mobile Robot with the Pantograph Mechanism accesses the height  
- Return Operation of Book by Interaction with Operator -

○ 大野 泰生 (岡山大学) 正 永谷 圭司 (岡山大学) 正 田中 豊 (岡山大学)

Yasuo OHNO, Okayama University, 3-1-1, Tsushima-naka, Okayama  
Keiji NAGATANI, Okayama Univ. Yutaka TANAKA, Okayama Univ.

Usually, it is difficult for mobile manipulators to reach high positions because of a size limitation of the manipulator. To expand its work space, we developed a pantograph mechanism to be mounted to mobile manipulator. To verify an advantage of the mechanism, we implemented a task "Returning a book to high position of a bookshelf", and succeeded in performing the task with an operator's support. In this paper, we introduce our mobile robot with the pantograph mechanism, and show the implementation of the task.

*Key Words:* Pantograph Mechanism, Graphical User Interface, Interaction.

## 1 はじめに

人の補助作業を行うことを目的とした屋内移動ロボットは、作業範囲を確保するために、マニピュレータまたは、リフト機構を用いることが多い<sup>(1)</sup>。よって、ロボットの作業範囲を拡張するためには、より大きな機構を搭載する必要がある。しかしながら、現実問題として、人の存在する屋内環境で作業を行う移動ロボットは、できるだけ小型であることが望ましい。

そこで本研究では、リフト機構としてパンタグラフ機構を採用した移動ロボットを製作することとした。パンタグラフ機構は、初期状態ではコンパクトに縮み、作業時には、伸びることで広い作業範囲を確保することができる。この機構を搭載し、上下方向に作業範囲を拡張可能で、なおかつコンパクトなロボットの製作を行った。また本研究では、そのロボットの有用性を確かめるため「本棚の高所に本を返却する」というタスク(図1参照)を設定し、この動作を実現した。

本稿では、開発した機構について説明し、タスクの実現を通じて、このロボットの有用性を検証する。

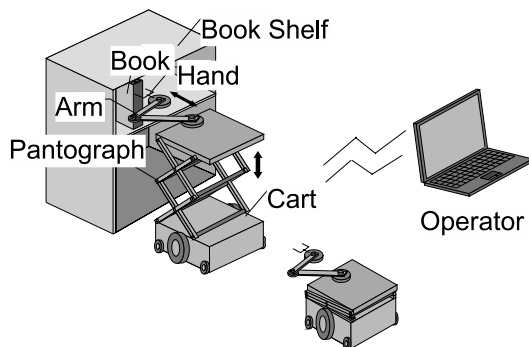


Fig. 1 A series of figures of operation

## 2 高さ調節を行うパンタグラフ機構

### 2.1 パンタグラフ機構の動作原理

パンタグラフ機構は、底辺の2点を中心方向に縮めることで縦方向に伸びる機構である<sup>(2)</sup>。例えば、図2の、ABの中心方向へ点Bに力を加えてスライドさせることで、パンタグラフ機構は、上方向に伸長させることができる。また、多段にすることで、最大長を長くできるという利点を持つ。

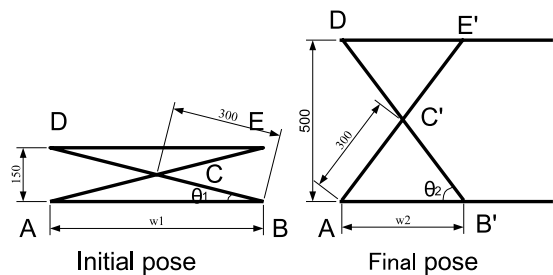


Fig. 2 Configuration image of pantograph

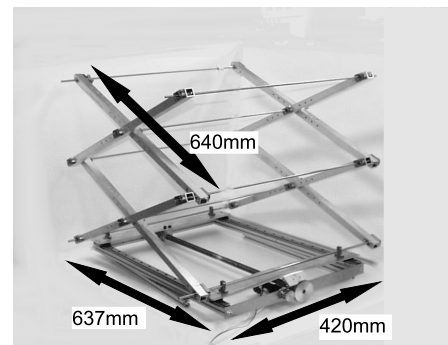


Fig. 3 Developed pantograph mechanism

### 2.2 製作したパンタグラフ機構

本研究では、1600[mm]の高さで作業できるように、パンタグラフ機構を2段用いることとした。製作したパンタグラフ機構を図3に示す。この機構を高さ300[mm]の移動ロボットに搭載することで、初期状態600[mm]の省スペースを実現しつつ、1600[mm]の高所へのアクセスを可能とするロボットを製作することができた。

### 2.3 パンタグラフ機構の運動学

パンタグラフ機構の底辺の伸縮と高さ方向の伸びの関係は、幾何学的な計算により簡単に求まる<sup>(2)</sup>。そこで、製作したパンタグラフ機構を伸長動作させ、理論値と実際の伸びを比較した。その結果を、図4のグラフに示す。

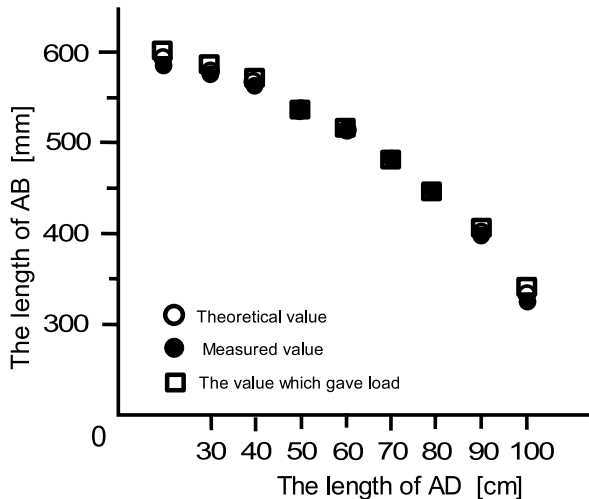


Fig. 4 Graph of changing rate of height

この図より、今回製作したパンタグラフ機構では、概ね期待通りの動作をしているが、最大伸張時と最小伸張時に、伸びの大きさが理論値より小さくなることがわかった。さらに、パンタグラフ機構に、上方から負荷をかけた場合、この誤差が、さらに大きくなることもわかった。原因として考えられるのは、この機構に負荷がかかった場合、シャフトに歪みが生じたためと考えられる。今後、シャフトの強化を行い、上部を軽量化する予定である。

#### 2.4 可搬重量とパンタグラフの最小高の検討

図2に示すパンタグラフ機構の初期位置において、ABDを0°にすると、点Bの中心方向に力を加えてもパンタグラフ機構を上下に伸長動作させることができず、その角度付近では、伸張動作に非常に大きな力を必要とする。そこで、今回製作したパンタグラフ機構の可搬重量を、搭載するアーム/ハンドを含めて4[kg]と設定し、初期状態の高さを実験的に求めることとした。その結果、4[kg]以上の力を発生させることができるADの最小高は、150[mm]となることがわかった。

### 3 パンタグラフ機構の有用性の検証

#### 3.1 タスクと前提条件

製作したパンタグラフ機構の有用性を確認するため、パンタグラフ機構を搭載したロボットに、高所への本の返却タスクを実現させることとした。なお、このタスクでは、以下の前提条件を設定した。

1. ロボットは、本の把持が可能なアーム、ハンドを有する。
2. ロボットは、パンタグラフ機構を用いて、アーム、ハンドの高さ調節を行う。
3. 走行ならびに本の返却動作は、オペレータと共同で行う。

#### 3.2 対象とするロボット

対象とするロボットは、高さ調節を行うパンタグラフ機構、本の押入れを行うアーム、本の把持を行うハンド、走行を行うための移動機構を有する必要がある。そこで、これらの機構を有するロボット「PAN」を開発した。このロボットの概観を図5に示し、以下にそれぞれの機構を説明する。



Fig. 5 Target Robot - PAN

#### 3.2.1 本の押入れを行うアームの機構

パンタグラフ機構には、可搬重量に制限があるため、軽量なアームを作成する必要がある。また、そのアームには、本棚に本を押し入れる作業を行うため、ハンドが姿勢を変えずに、水平方向に伸びる機構が求められる。そこで、本研究では、タイミングベルトを用いて、3関節を1つのアクチュエータで動作させることが可能な軽量アームを製作した(図6)。これにより、アームの先に搭載したハンドが、水平方向に姿勢を変化させずに移動するため、本棚に本を押し入れる動作を容易に行うことが可能となった。さらに、アーム全体を関節を回転させる機構を、アームの根元に付加した。なお、これらの機構の動作に用いるモータは、根元に設置することで、アームの負荷を軽減することができた。

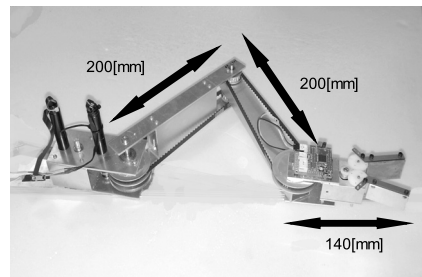


Fig. 6 Overview of an arm

#### 3.2.2 本の把持動作を行うハンドの機構

アームの先端に搭載するハンドのアクチュエータには、軽量化を図るため、小型のRCサーボモータを用いた。このモータは、細かい位置制御は不可能であるが、「二指で本を把持する」といった単純な動作については、十分な機能を有する。

また、このハンドには、光学測距方式センサユニット PSD センサ(シャープ製)をハンドの中心に2つ設置した。1つは、本までの距離検出に利用し、もう1つは、棚の高さを検出のため、45°傾けて設置した。

#### 3.2.3 走行制御を行う移動機構

パンタグラフ機構を搭載する移動台車には、テクノクラフト社製の車輪型台車を用いた。この移動台車は、2つのDCモータで左右の車輪を独立に駆動するパワーホイールドステアリングを用いることで、軌跡制御を実現している。また、無線通信機能、バッテリー、コントローラとしての制御用PCを搭載した自立ロボットである。

### 3.2.4 コントローラ

ロボットコントローラには、制御用 PC に EmCORE-v619L2/R, インターフェースボードに RIF-171-1, モータドライバボードに TiTech ドライバを使用した。また、これらを統括制御するソフトウェアには、本研究室で研究開発が進められている Mon-kit<sup>(4)</sup> を利用した。

### 3.3 操作システム

自律ロボットが、屋内で人の補助作業を行うために動作する場合、予期できない状態に対応させることは難しい。そこで本研究では、作業時にオペレータとロボットがインタラクションを行う操作システムを開発することとした。これにより、オペレータから作業対象の指定を行うことが可能となるため、確実な動作を行うことが期待できる。また、予定外の状況に際しても、オペレータがその後の指示を与えることができるようになる。本研究では、この操作システムを、GUI(Graphical User Interface) を用いて構築した。

この GUI を用いた具体的な把持操作の流れを以下に示す。(1) ロボットから送られてきたカメラ画像を表示し、その画像内の対象物をオペレータがクリックする(図 7-(E) 参照)。(2) ハンドに取り付けた距離センサと、クリックされた位置より、対象物の位置を計算する。(3) 計算した位置情報を基にハンドを移動させ、対象物までハンドを伸ばす。

また、この GUI には、ネットワークカメラより送信されたロボットの周囲の画像情報をオペレータに動画配信することで、オペレータは、ロボットの挙動を逐次確認することができる。

以上より、この GUI を用いることで、ロボットとオペレータがインタラクションを行い、より確実なタスク実現を行うことが可能となる。

### 3.4 タスクの実装と今後の課題

前節までに述べてきた、パンタグラフ機構を搭載した移動ロボットと GUI を利用し、「高所への本の返却タスク」を実現した。この動作の流れを以下に示す。

1. ロボットは、オペレータがいる位置で、返却する本を受け取る。
2. ロボットは、オペレータの指定した経路を自律的に追従する。ただし、その間、ロボットに搭載したネットワークカメラで得られた画像をオペレータに配信することで、オペレータは、ロボットの動作と周囲の状況をリアルタイムで認識することができる。
3. 指定された本棚の前に到着したロボットは、パンタグラフ機構を利用して、本を返却する棚の高さとアームの高さを一致させる。ただし、目標とする高さも、オペレータが指示するものとする。
4. 開発した GUI を用いて目標返却位置をオペレータが指示し、アームを動作させ、本の返却を行う。

以上の動作を実環境で実行した様子を図 7 に示す。まず (A) オペレータがロボットに本を手渡し、(B) 指定された経路に沿って走行した。(C) 目的地に到達した後、(D) パンタグラフ機構の伸張を行った。(E) 返却位置の指定をオペレータが指示した後、(F) 返却動作を完了した。

この動作検証により、以下に示す知見が得られた。まず、ネットワークカメラの動画配信により、オペレータがロボットの周辺環境を認識することができたため、ロボットを安全に自律移動させることができた。さらに、物体認識用 GUI により、オペ

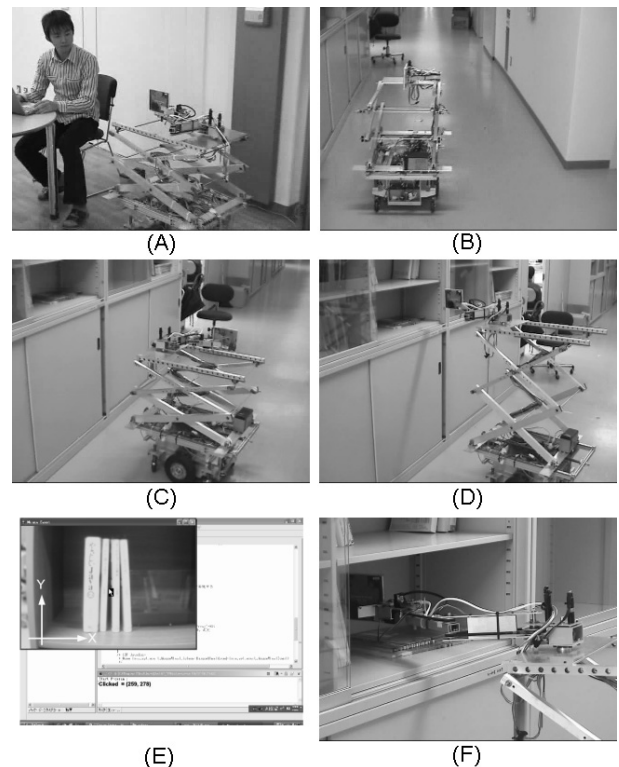


Fig. 7 A series of robot's motion

レータとロボットがインタラクションを行いつつ、確実に本の返却を行うことができた。

ただし、今回の実験では、本の大きさや返却位置の状態など、予め指定したものが多く、応用が効かないと予想される。そこで、今後の課題としては、本の大きさなどによらず、本の返却や把持が行えるように、GUI の改良を行う。

### 4 まとめ

本稿では、本研究で開発した小型移動ロボットに搭載可能なパンタグラフ機構について説明した。また、この機構を有する移動ロボットを利用して、「高所の本棚への本の返却動作」というタスクを実現し、有用性の検証を行った。

今後は、ロボットの自律的な走行経路計画や、障害物検知センサを用いた障害物回避動作などを実現し、ロボットの知能化を進める。また、オペレータに現在位置を表示する GUI を作成し、確実な動作の向上を目指す。

### 【参考文献】

- (1) 永谷圭司, 油田信一: タスクオリエンテッドアプローチによる自律移動マニピュレータの研究-ドアの通り抜けを含む屋内の自立走行の実現-, 日本ロボット学会誌, Vol.17 No.6 pp.111-121(1999)
- (2) 近藤泰郎 編著・小林邦夫 著: よくわかる機械力学, オーム社, 21-24 pp.(1999)
- (3) 網干光雄: パンタグラフの接触力変動に与えるトルク線波動の影響に関する研究, 日本機械学会論文集, Vol. 64, No. 622, (1998)
- (4) 入江雅洋, 明賀陽平, 永谷圭司, 五福明夫: PC/AT 互換機を用いた自律移動ロボットシステムの構築と走行制御に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会'01 予稿集, 1P1-G5 (2001)