

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月22日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700200

研究課題名（和文） 幾何ベースロボットマニピュレーションの研究

研究課題名（英文） Geometry-Based Robotic Manipulation

研究代表者

前田 雄介（MAEDA YUSUKE）

横浜国立大学・工学研究院・准教授

研究者番号：50313036

研究成果の概要（和文）：本研究では、ロボットによる物体の拘束およびあやつりを、力学に基づいてではなく、幾何学に基づいて実現する、幾何ベースロボットマニピュレーションに関する研究を行った。力センシングや力制御を必要としないあやつり方法として、「三次元多指ケーシング」「ケーシングベース把持」「環境を利用したケーシングマニピュレーション」の研究を行い、幾何ベースロボットマニピュレーションの基礎理論の構築を行った。

研究成果の概要（英文）：In this project, we studied geometry-based robotic manipulation, in which robots constrain objects and manipulate them based on not mechanics, but geometry. In order to establish a fundamental theory of geometry-based robotic manipulation, we investigated 3D multifingered caging, caging-based grasping and caging manipulation with the environment; these are manipulation methodologies that do not require force control or force sensing.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：知能ロボティクス，ケーシング，マニピュレーション，把持，ロボット，多指ハンド

## 1. 研究開始当初の背景

近年のロボット技術の進歩に伴い、多種多様な物体のマニピュレーションをロボットに行わせることへの期待が高まっている。これまでに、マニピュレーションを高度な力制御を用いて実現しようという研究が多数行われてきた。しかし、力センサが高価であることや、制御パラメータの設定の困難さなどから、産業界での力制御の利用はあまり進ん

でない。現状では、ロボットを動作させるには位置制御を用いるのが圧倒的に確実かつ楽である。このため、位置制御を用いながらも、ロボットのマニピュレーションの多様性をより高めるための方策が求められていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、位置制御を用いながらも、ロ

ボットのマニピュレーションの多様性をより高めるための方策として、「幾何ベーストロボットマニピュレーション」という考え方を提案する。これは、対象物とロボットの形状や位置関係などの幾何学的情報をもとに物体の拘束およびあやつりを実現しようというものである。本研究では、ロボットのボディで物体をある限定された閉領域(cage)内に幾何学的に拘束するケーシング(caging)の考え方をベースに、力センシングや力制御を必要としない新たな手法を開発し、それらの総称としての「幾何ベーストロボットマニピュレーション」の基礎理論を構築することを目指した。

### 3. 研究の方法

本研究では、以下の3つの手法を対象に、基礎理論の構築ならびに実機での手法の実証を行った。

#### (1) 三次元多指ケーシング

ケーシングされた物体は、幾何学的に完全に把持された form closure の場合とは異なり、完全には拘束されていない。しかし、一定の範囲より外には動けない。そこで、物体をいったんケーシングしてしまえば、アームを自由に動かして物体を操ることができる。ケーシングは幾何学的な拘束であり、また完全には物体を把持しないため、その実現には力制御は必要ない。このことは、力制御より位置制御のほうが容易な現状の「かたい」ロボットにとっては好都合である。

従来研究では、ケーシングの成立条件やマニピュレーション計画などが調べられているが、多指ハンドの指先や移動ロボットによる二次元平面内でのケーシングを対象とするものがほとんどで、三次元空間内での問題を扱った研究はまれである。それに対して本研究では、指先だけでなく、多指ハンドの掌や指リンクも含めた、三次元空間内のケーシング(図1)に関する研究を行う。

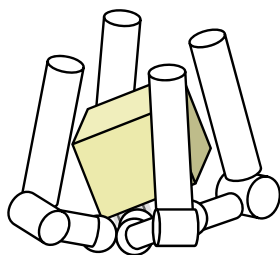


図1 三次元多指ケーシング

#### (2) ケーシングベース把持

上述のケーシングでは、対象物を完全には把持していないため、位置決めという点で問題となることがある。そこで、ケーシングの考え方を利用しつつ、物体の把持を実現する

「ケーシングベース把持」(図2)を提案する。これは、ロボットを、「骨」に相当する剛体構造と、「肉」に相当する柔軟部から構成し、「骨」によってケーシングを成立させつつ「肉」の部分で物体を拘束することで、あくまで位置制御に基づきながら把持を実現するという手法である。

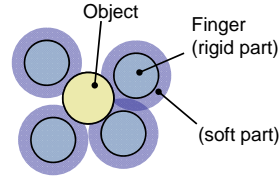


図2 ケーシングベース把持

#### (3) 環境を利用したケーシングマニピュレーション

壁や床などの環境を利用して、物体をケーシングすることも可能である(図3)。そうすれば、狭いところで通常のケーシングができないときでも物体を拘束できたり、あるいはロボット(指)の数を減らしたりすることが可能となる。しかし、このような環境を利用したケーシングについてはこれまで研究が行われてこなかった。その一つの要因として、通常のケーシングでは、物体をいったん拘束してしまえば、あとはロボットの平行移動によってあやつることが可能であるのに対して、環境を利用した場合は必ずしもそうではないことが挙げられる。これは、把持と「グラスプレス・マニピュレーション」(物体を完全には把持せずに、環境との接触を利用して押す・転がすなどしてあやつる方法)との関係と同様である。このため、環境を利用した場合は、ケーシングの完成よりもその後のあやつりの可否が問題になる。

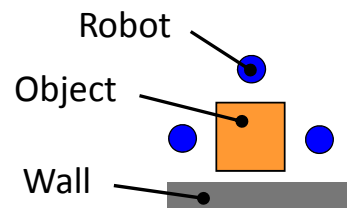


図3 環境を利用したケーシングマニピュレーション

### 4. 研究成果

(1) 三次元多指ケーシングについては、自律ロボットによりケーシングを行うシステムを開発した。これは、物体に貼付されたマーカーをカメラで観測することにより物体およびその位置・姿勢を認識し、動作計画アルゴリズムでアーム・多指ハンド系の動作を自動生成することで物体をケーシングするものである。

実機ロボットにより物体を自律的にケーシングさせた様子を図4に示す。ここでは

ARToolkitPlus のマーカーを利用し、カメラで物体に貼付したマーカーおよびその位置・姿勢を認識している。また、そこに書かれた ID からデータベース上の物体の形状情報等を取得し、動作計画アルゴリズムにてケーシングの動作を生成・実行している。計画時にケーシング成立の条件にマージンを設定することで、位置・姿勢認識の誤差を吸収することに成功している。



図4 アーム・ハンドシステムによる  
三次元多指ケーシングの実行

(2) ケーシングベースト把持については、把持を成立させるための条件として「剛体部ケーシング条件」「柔軟部変形条件」を定式化するとともに、二次元・三次元の例について、具体的な条件の導出を行った。複数の円形ロボットによる円形・長方形・三角形などの物体の二次元ケーシングベースト把持、多指ハンドによる球形・直方体・垂鈴状物体などの三次元ケーシングベースト把持について考察し、実機による実証を行った(図5,6)



図5 二次元ケーシングベースト把持の実験



図6 三次元ケーシングベースト把持の実験

(3) 環境を利用したケーシングマニピュレーションについては、マニピュレーションが可能になる条件を考慮に入れた、物体を運ぶためのロボット動作の計画アルゴリズムを開発した。この計画アルゴリズムでは円形ロボットによる円形物体のケーシングマニピュレーションのための動作を自動生成できる。このアルゴリズムによって生成された動作を実機移動ロボットに適用し、壁のある環境内でのマニピュレーションが可能であることを確認した(図7)。



図7 環境を利用した  
ケーシングマニピュレーションの実験

また、環境を利用したケーシングマニピュレーションの考え方を応用して、多指ハンドの手の中で物体を初期位置から目標領域まで移動させる、「In-Hand ケーシングマニピュレーション」についても研究を行った。2本指の実機ハンドを用いて、円形物体を手の中で移動させることが可能であることを確認した(図8)。



図 8 In-hand ケージングマニピュレーションの実験

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- ① 横井 亮, 前田 雄介, 小林 達也, 環境を利用した平面内ケージングマニピュレーションの定式化と計画, 日本機械学会論文集 C 編, 査読有, 76 巻, 2010, pp. 2671~2677

〔学会発表〕(計 5 件)

- ① 前田 雄介, Caging-Based Grasping by a Robot Hand with Rigid and Soft Parts, 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2012 年 5 月 17 日, セントポールリバーセンター (アメリカ・ミネソタ州セントポール)
- ② 前田 雄介, 多指ハンドによる三次元ケージングベースト把持, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, 2011 年 9 月 7 日, 芝浦工業大学豊洲キャンパス (東京都江東区)
- ③ 浅村 知洋, 環境を利用した二次元ケージングマニピュレーションの実現, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011, 2011 年 5 月 27 日 岡山コンベンションセンター (岡山県岡山市)
- ④ 前田 雄介, ケージングを用いた幾何ベーストマニピュレーション, 第 16 回ロボティクスシンポジア, 2011 年 3 月 15 日 指宿シーサイドホテル (鹿児島県指宿市)
- ⑤ 前田 雄介, 環境を利用した二次元ケージングマニピュレーションの計画, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 2010 年 6 月 16 日, 旭川大雪アリーナ (北海道旭川市)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

前田 雄介 (MAEDA YUSUKE)  
横浜国立大学・工学研究院・准教授  
研究者番号: 50313036

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: