

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目： 若手研究(B)
 研究期間： 2008 ～ 2009
 課題番号： 20760148
 研究課題名(和文) 非ホロノミック拘束を利用した巧みな物体マニピュレーションを実現する運動制御
 研究課題名(英文) Motion Control for Object Manipulation Using Nonholonomic Constraints

研究代表者
 中島 明 (NAKASHIMA AKIRA)
 名古屋大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号： 70377836

研究成果の概要(和文)：

本研究では、「非ホロノミック拘束」と呼ばれる性質を利用して、より巧みなマニピュレーションの実現を目指した。まず、安定な把持のため、ソフトフィンガーによる把持・操りを考え、変形を数式によりモデル化し、実験により有効性を確かめた。さらに、指にバネの特性を持たせるコンプライアンス制御による安定把持条件と、制御則を導出して、実験により有効性を示した。一方、アーム・ハンドの押し作業による物体の操りのため、把持物体の壁への押し付け作業での協調制御則を導出し、数値シミュレーションによる確認を行なった。

研究成果の概要(英文)：

We tried to achieve the robust stable grasp with soft-fingers, which can produce larger friction forces on the object. The deformation model of the soft-finger has been established and verified by experiments. Furthermore, a motion control method where the deformation is considered has been proposed as the preliminary of the object manipulation with the nonholonomy. For the improvement of the grasp stability, the compliance control has been introduced. The stiffness coefficients and the position of gravity of the object have been related to the grasp stability by the analysis. A compliance controller with a disturbance observer has been proposed in order to overcome the large frictions of the joints of the fingers. The conditions and controller were verified by experiments. On the other hand, for the pushing manipulation with the nonholonomy, the cooperative control of the arm-hand system has been developed in the case where the grasped object is pushing to a wall. The controller is based on the manipulability ellipsoids of the arm and hand. The arm and fingers can avoid the singular orientations by the controller.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 ・ 機械力学・制御

キーワード：非ホロノミック，多指ハンド，ソフトフィンガー，コンプライアンス制御，安定把持

1. 研究開始当初の背景

多指ハンドによる物体の把握・操り，ロボットアームによる搬送といった物体のマニピュレーション作業は，福祉介護や災害現場への導入を目指し，さらなる高機能化が求められている．そこで本研究では，ロボットと物体の接触状態の「非ホロノミック拘束」と呼ばれる性質を利用して，より巧みなマニピュレーションの実現を目指し，以下の項目を実施する．

2. 研究の目的

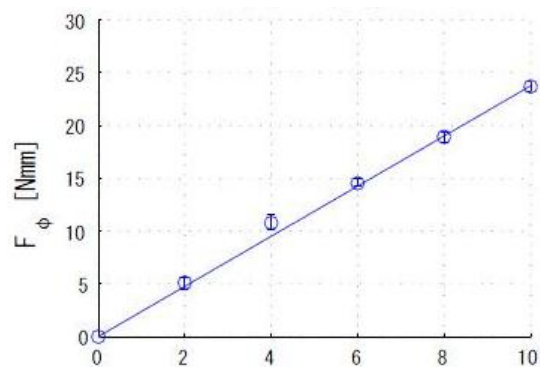
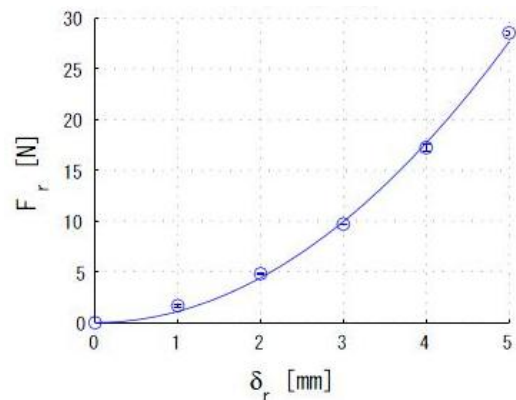
非ホロノミック拘束は数学的に積分不可能な等式であり，運動の経路に依存して状態が変化する．したがって，目標状態に到達する経路は一意ではなく，制御入力生成が難しい．従来，移動体の非ホロノミック車両系においては様々な手法があるが，マニピュレーション系において考慮すべき可動範囲，軌道の連続性，摩擦，接触保持などを扱った経路計画手法は国内外でも未だ確立されていない．本研究は，マニピュレーション問題における非ホロノミック性の実現を実現する新たな制御手法を構築するものである．

3. 研究の方法

多指ハンドによる把握・操りにおいて非ホロノミック性を利用するためには，指と把持物体のロバストな接触を確立する必要がある．そのため，指先を摩擦係数の小さい剛体ではなく，変形により接触面積が確保できるソフトフィンガーによる把持接触を解析・モデル化した（図1）．



図1：ソフトフィンガー



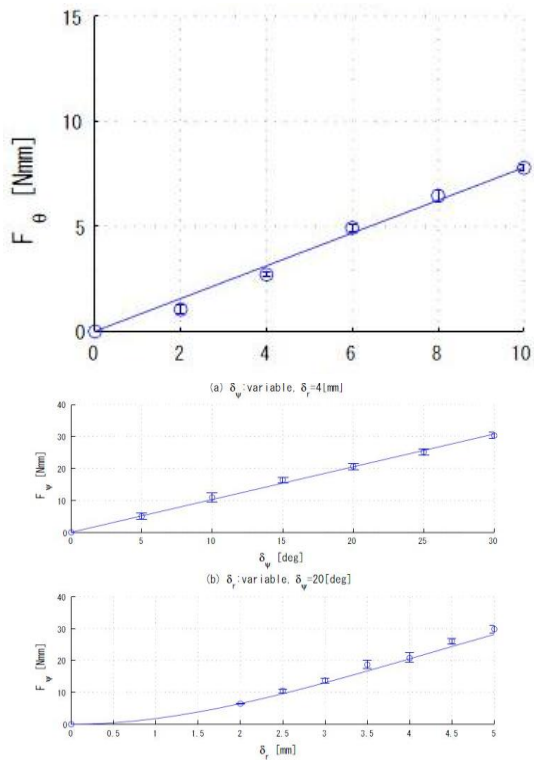


図 2：変形力の実験結果

そして実験による妥当性を検証し、モデルの有効性を立証した (図 2)。また、それによる安定な把持・操りの制御則を導出した。一方で、関節角にコンプライアンス特性を付加することで、安定性が向上する。把持物体が外乱に対して安定であるバネ係数と重心位置の条件を導いた。また、得られたバネ係数を実現するコンプライアンス制御を、関節角の摩擦を外乱オブザーバにより補償することで実現した (図 3)。以上の有効性を、実験により確認した (図 4)。

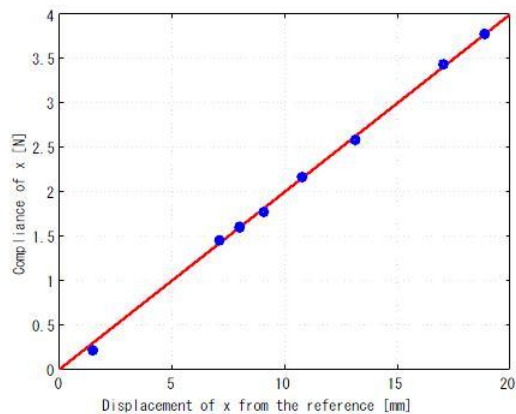


図 3：コンプライアンス制御の実験結果

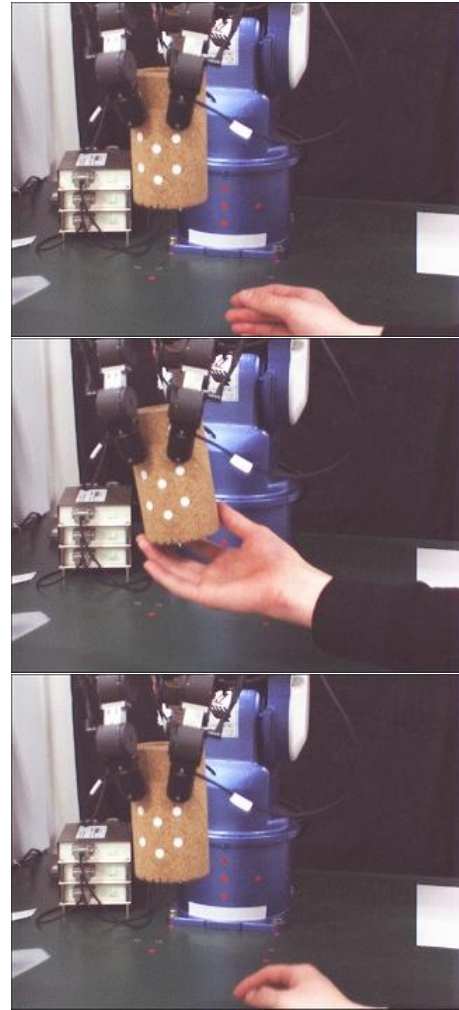


図 4：安定把持の実験結果

その際、指先の転がりの非ホロノミック性による接触点の移動が起ることを確認した。今後は、この移動を運動計画に陽に反映させることが考えられる。

押しつけ作業において非ホロノミック性を利用する準備として、アーム・ハンドシステムによる押しつけ作業の強調制御則を扱った。アームとハンドの可操作性楕円体により、特異姿勢を回避できる制御則を導出し、シミュレーションにより効果を確認した。今後は、押しつけ作業に適用した系において、押しつけ物体の運動制御を扱うことが考えられる。

4. 研究成果

主要な結果については、説明の都合上、前節にて示した。指先が柔軟な場合の安定性や操りの扱いは、利点が多い反面、変形により複雑になり、これまで踏み込んだ解析はあまりなされていなかった。本研究の成果により、変形の挙動が明らかになり、それにより、その挙動を考慮した安定把持と運動制御が可能となる。一方、コンプライアンス制御による安定把持では、数学的な条件はいくつか導出されているが、把持物体の重力の効果がなされていなかった。また、実験機に適用する際の実際的な問題（摩擦など）を明確に扱った文献も見あたらない。本研究はこの点に詳細に取り組み、実現可能かつ安定性の高い有効な手法を提案している。

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）

①Akira Nakashima, Takeshi Shibata and Yoshikazu Hayakawa : Control of Grasp and Manipulation by Soft-Finger with 3-Dimensional Deformation, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 2(2), 2009, 91-102, 査読有り
〔学会発表〕（計4件）

①吉松雄太, 中島明, 早川義一 : 多指ハンドロボットのコンプライアンス制御による安定把持, SICE第10回制御部門大会, 2010年3月18日, 熊本大学 (熊本県)

②Akira Nakashima and Yoshikazu Hayakawa : Stability Analysis of Grasped Object by Soft-Fingers with 3-Dimensional Deformation based on Moment Stability, 48th Conference on Decision and Control, 2009年12月18日, Shanghai (China)

③中島明, 酒井竜児, 早川義一 : 把持対象物の押付作業におけるアームとハンドの協調制御, 機械学会東海支部第58期講演会, 2009年3月18日, 岐阜大学 (岐阜県)

④Akira Nakashima, Li Jingtai and Yoshikazu Hayakawa : Stability Analysis of Grasped Object by Soft-Fingers based on Moment Stability, 47th Conference on Decision and Control, 2008年12月11日, Cancun (Mexico)

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中島 明 (NAKASHIMA AKIRA)

名古屋大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号 : 70377836