

ディスロケーション関節を有するロボットアームの製作

小川透(岡山大) 永谷圭司(岡山大) 田中豊(岡山大)

Dislocation Structure for Robot Arm

*Toru OGAWA (Okayama Univ.), Keiji NAGATANI (Okayama Univ.),
Yutaka TANAKA (Okayama Univ.)

Abstract— Recently, robots' activity is required in environments with human. In such kind of environment, safety to human is the most important for robots, and researches of passive compliance (mechanical softness) are attracted recently. In this research, we had designed and developed joint for manipulator with passive compliance, which uses friction between fluoride rubbers of two sheets. In this paper, we explain a design concept and mechanism of the joint. We also report a validity of the joint by a simple experiment, and introduce a robot manipulator using these joints.

Key Words: Passive compliance, Dislocation joint, Friction, Satellite Arm

1. はじめに

近年、人間と環境を共にし、協調して動作を行うロボットの導入が望まれている。このようなロボットは、動作中、誤って人間や周囲の作業環境にダメージを与えないことが重要である。しかしながら、ロボットが全ての可能性を予想し、人間や作業環境に衝突することなく動作を行うことは不可能である。そこで、衝突した場合にも衝撃を吸収する機構が必要であり、これを実現する手段として、機構そのものに柔らかさを持たせるパッシブコンプライアンスの重要性が注目されている。

一般には、パッシブコンプライアンスを発生させる機構としてバネが使用されることが多い。森田らは、薄板バネを用いることでコンプライアンス調節可能な関節機構 MIA (Mechanical Impedance Adjuster) を開発した¹⁾。しかしながら、関節にバネを用いる機構では、駆動開始や停止時に関節が振動するという問題が生じる。

本研究では、この問題点を改善する関節の開発を目指し、プロトタイプ関節を試作した。この関節は、2枚のフッ素ゴム間の摩擦を利用し、ある一定以上の外力が働いた場合に2枚のフッ素ゴム同士がすべることにより、衝突時の衝撃を吸収することができる。また、この関節の有用性を確認するため、この関節を組み込んだロボットアームを試作した。

本稿では、今回試作した関節の構造を説明し、性能評価を行う。また、この関節のロボットアームへの適用方法について述べる。

2. ディスロケーション関節

2.1 ディスロケーション関節の概要

ロボットアームなどにコンプライアンスを発生させるために、関節にバネを用いた場合、関節の静止時には、Fig.1-(a) に示すように、関節にかかる力に比例して関節の曲がり角度が大きくなる。この場合、関節の駆動開始や停止時に、関節が振動するという問題が生じる。そこで、本研究では、Fig.1-(b) に示す通り、関節にかかる力がある値以上になるまで関節角度を保つ

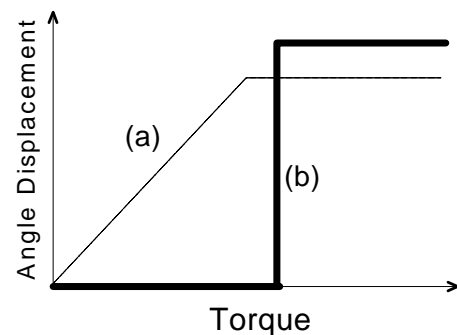


Fig.1 Relation between angle displacement and torque

関節の実現を目指すこととした。この関節は、回転方向に対して、ある一定以上の外力がはたらいた場合に、衝突の力を軽減するものである。これは、人間で言うところの脱臼のような動作であるため、この構造を有する関節をディスロケーション関節と名付けた。以下に、本研究で設計・試作したディスロケーション関節の構造を示す。

2.2 ディスロケーション関節のメカニズム

本研究で製作した関節は、2枚のフッ素ゴム同士がすべることにより、機構的なやわらかさを実現している。このフッ素ゴムの一方をシャフトに固定し、もう一方を駆動源を有する反対側の骨格に固定する。したがって、原動側と従動側の2つの骨格は、この2枚のフッ素ゴムを通じて固定されている。また、この2枚のフッ素ゴム同士を、スプリングにより押し付けることで、モータの伝達トルクが従動側のフッ素ゴムに伝わり、関節を曲げることができる。

また、衝突などにより関節に力がかかり、2枚のフッ素ゴム間の摩擦力をこえる力がはたらいた場合、2枚のフッ素ゴム同士がすべり始める。したがって、2枚のフッ素ゴムを押さえつけるスプリングを調節することで、フッ素ゴム間の摩擦力をコントロールすることが可能である。

Fig.2 に製作した関節の構造及び、外観を示す。

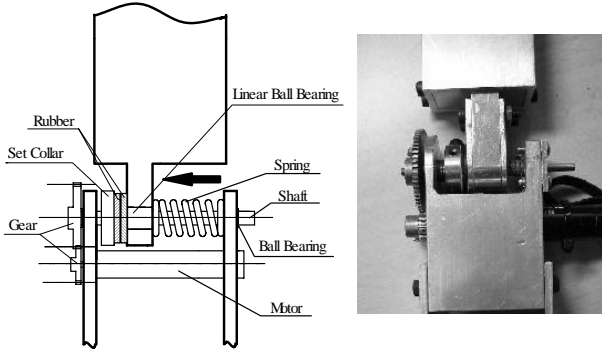


Fig.2 Structure and photo of dislocation joint

2.3 最大静止摩擦トルクの検証

デイスロケーション関節において、関節の曲がり力を妨げる力がどの程度働いた場合に、2枚のフッ素ゴム同士がすべり始めるかを把握することは、重要な点である。(以後、フッ素ゴム同士がすべり始める瞬間に関節の曲がり力を妨げる方向に働く力を最大静止摩擦トルクと呼ぶ。)そこで、製作したデイスロケーション関節が、どの程度の最大静止摩擦トルクを有するか検討するため、下記に示す解析を行い、押さえつける力とトルクの関係式を導き出した。²⁾³⁾⁴⁾

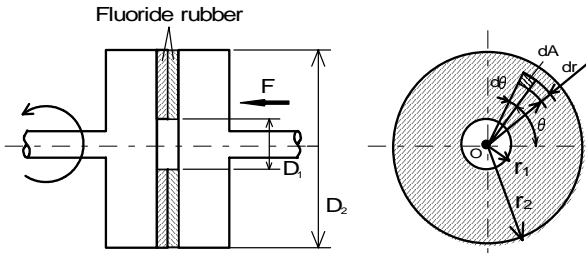


Fig.3 Model of a friction side

Fig.3に摩擦面のモデルを示す。円板の内径を D_1 、内半径を r_1 、外径を D_2 、外半径を r_2 、円板を押し付ける力を F 、接触角の面圧強さを p 、2枚のフッ素ゴム間の静止摩擦係数を μ 、接触面上の微小面積 dA とすると、伝達トルク T は、

$$T = \int dT = \int r \mu p dA \quad (1)$$

で表される。ここで、 $dA = r d\theta dr$ より、

$$T = \int_{r_1}^{r_2} \int_0^{2\pi} r \mu p r d\theta dr \quad (2)$$

$$= \int_{r_1}^{r_2} \int_0^{2\pi} \mu p r^2 dr d\theta \quad (3)$$

$$= 2\pi \mu p \int_{r_1}^{r_2} r^2 dr \quad (4)$$

$$= \frac{2}{3} \pi \mu p (r_2^3 - r_1^3) \quad (5)$$

となる。ここで、接触面圧力 p は

$$p = \frac{F}{\pi (r_2^2 - r_1^2)} \quad (6)$$

であるから、これを (5) に代入し

$$T = \frac{2}{3} \pi \mu \frac{F}{\pi (r_2^2 - r_1^2)} (r_2^3 - r_1^3) \quad (7)$$

$$= \frac{2}{3} \mu F \left(\frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^2 - r_1^2} \right) \quad (8)$$

を得る。ここで、

$$\frac{2}{3} \mu F \left(\frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^2 - r_1^2} \right) \cong \frac{1}{2} (r_1 + r_2) = r_m (\text{平均半径}) \quad (9)$$

の近似を用いると、

$$T = \mu F r_m \quad (10)$$

となり、また、平均半径を D_m とすると

$$\frac{D_1 + D_2}{2} = D_m, \quad \frac{D_m}{2} = r_m \quad (11)$$

であるから、これを代入すると

$$T = \mu F \frac{D_m}{2} \quad (12)$$

が得られる。以上より、押さえつける力とトルクの関係は、(12) 式で表すことができる。

試作した関節について (12) 式を適用すると、2枚のフッ素ゴム間の静止摩擦係数 μ を 0.50、平均半径 D_m を 10.5[mm] として、スプリングが押さえつける力 15[kgf] の時、回転軸からの距離が 100[mm] の地点での最大静止摩擦トルクは 79[kgf·mm] となった。

2.4 測定実験

解析結果の検証を行うため、実際の関節を用いて最大静止摩擦トルクの測定実験を行った。Fig.4に測定方法を示す。関節の回転軸から 100[mm] の地点にフォースゲージを垂直にあて固定する。その状態から動力源であるモータを回転させ、フォースゲージが示す値の最高値を記録する。この実験を 20 回行い、その平均値を求めると、0.74[kgf] となり、最大静止摩擦トルクは、74[kgf·mm] となった。

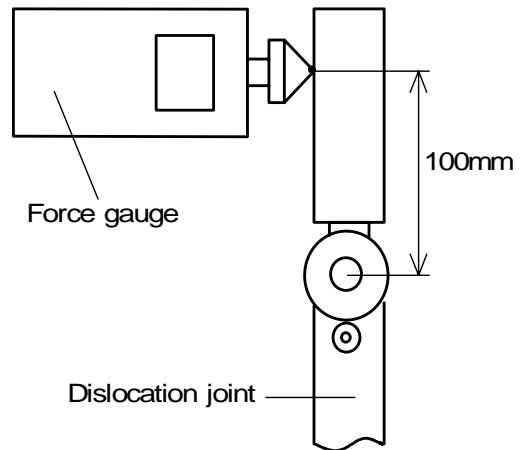


Fig.4 Measuring Method

2.5 考察と問題点

前述の解析結果と測定実験によって得られた数値とを比較すると、多少の差があったが、ほぼ近い値が得られた。これにより、2枚のフッ素ゴムを押さえるスプリングを調節することで、最大静止摩擦トルクをコントロールすることが可能であるといえる。しかしながら、この関節をロボットアームに適用した場合、そのロボットアームの姿勢の取り方や、把持する対象物の重さによって、関節に対する負荷のかかり方が異なってくる。このため、予め自重と把持物体による負荷以上の力に耐えられるように、スプリングを調整しておくことが必要である。

3. ディスロケーション関節の適用

3.1 サテライトアームの概要

本研究では、メインマニピュレータの補助的な作業を行う小型マニピュレータを製作している。この小型マニピュレータは、メインマニピュレータの周りを回転し、メインマニピュレータと協調動作を行うもので、主に、ペットボトルのふたの開閉を行うなどの機能的な動作を目指している。この小型マニピュレータは、メインマニピュレータの周りを回転することから、サテライトアームと名付けた。本研究では、このサテライトアームを製作する上で、作業対象にダメージを与えないように、前述のディスロケーション関節を組み込むこととした。

Fig.5に、本研究で設計・製作した、サテライトアーム及びメインアームの外観を示す。

メインアームは、アーム全体の手先部分のみを実装しているため、曲げ関節および回転関節の2自由度が実現されている。一方、サテライトアームについては、曲げ関節が2つ、メインアームに対する回転関節が1つの3自由度を持つ。また、メインアームは直径75[mm]の円形で、サテライトアームの全長は330[mm]である。

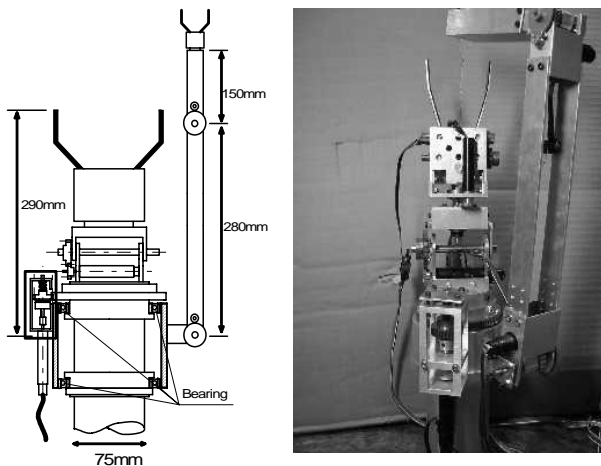


Fig.5 An overview of satellite arm

3.2 回転部のディスロケーション構造

サテライトアームは、メインアームに対して回転するため、回転部にもディスロケーション構造を取り入れた(Fig.6)。これは、前述の2枚のフッ素ゴムの摩擦を利用した関節とほぼ同じ構造で、サテライトアーム

の回転を妨げる外力が働き、2枚のフッ素ゴム間の摩擦力をこえるような力が働いた場合、2枚のフッ素ゴム同士がすべるようになっている。

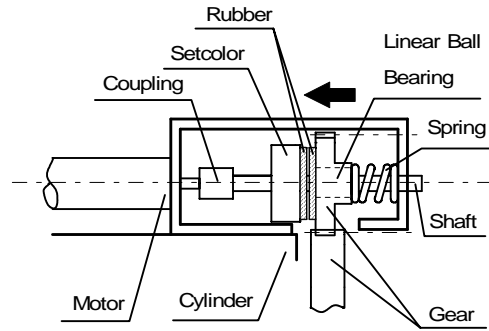


Fig.6 Dislocation structure of a rotation portion

3.3 サテライトアームの動作確認

今回製作したサテライトアームを手動で制御することで動作確認を行った。サテライトアームの回転関節、曲げ関節ともに、スプリングの押し力を調節すれば、2枚のフッ素ゴム同士のすべりはじめをコントロールでき、ほぼ理想的な動作を確認できた。しかしながら、サテライトアームの根元の第1関節目には、大きな負荷がかかるため、スプリングで強く押さえていても、容易にすべり始めるという問題があった。

4. まとめ

本研究では、2枚のフッ素ゴム間の摩擦を利用し、ある一定以上の外力が働いた場合に、2枚のフッ素ゴムがすべることにより、機構的な柔らかさを持つディスロケーション関節を設計・製作した。また、この関節の性能評価を行うため、解析及び測定実験を行い、その有用性を確認した。

また、この関節のロボットアームへの応用について検討し、ディスロケーション構造を持つサテライトアームの設計・製作を行った。

参考文献

- 1) 森田寿郎, 富田信義, 植田武男, 菅野重樹: 関節の機械インピーダンスを調節可能な力制御ロボットアームの開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 16, No. 7, pp. 125-130 (1998).
- 2) 稲田重男, 川喜田隆, 本荘恭夫: 機械設計法, コロナ社, 255-256 pp. (1983).
- 3) 林則行, 富坂兼嗣: 機械設計法, 森北出版, 74-77 pp. (1970).
- 4) 清原隆徳: 工業力学および機械設計の基礎, 徳島県教育印刷株式会社, 465-466 pp. (1992).