

# Loosely Coupled Joint の試作とモデル化

## Prototyping and Modeling of Loosely Coupled Joint

柴田 瑞穂 日野太輔 上段数馬 平井 慎一  
立命館大学ロボティクス学科

Mizuho SHIBATA, Daisuke HINO, Kazuma Uedan, Shinichi HIRAI  
Dept. of Robotics, Ritsumeikan Univ.

**Abstract:** This paper describes prototyping and modeling of a loosely coupled joint. The loosely coupled joint is composed by a ball joint including viscoelastic material and prismatic actuators. Since the viscoelastic material exists between a ball and a socket of the ball joint, the position of center of rotation varies during rotation of the joint. This phenomenon is a feature of the loosely coupled joint, and differs from a traditional ball joint. We confirm this phenomenon using the developed prototypes.

**Keywords:** Flexible joint, Viscoelastic material, Modeling

### 1 緒言

近年、人間の関節を模した滑らかに動く回転関節を研究が行われている [1, 2, 3]. 岡田らは、肩関節の動きを模した、閉リンク 3 自由度構造の関節機構を開発した [1]. しかし、この関節機構では人間の軟骨に相当する部分は考慮されていない. Mizuuchi らは、人間の脊椎にあたる部分の機構を提案し、背骨を有するヒューマノイドを開発した [2]. 脊椎部にはゴムを使用しており、この部分が人間の軟骨に相当するが、軟骨部が持つ運動の特徴は明らかにされていない. Vaz らは、軟骨部を非線形の粘弾性体として表現し、人間の腕関節を運動を記述するモデルを構築した [3]. しかし、このモデルでは、人間の腱に相当する部分が考慮されていない. そこで本論文では、人間の軟骨部分にあたる部分に粘弾性体を、腱にあたる部分に直動アクチュエータを用いた関節機構を作成し、その特徴を調べる. 本論文では、この関節機構を loosely coupled joint と名づける. この関節機構では、ボール部とソケット部に粘弾性体が存在するために、従来のボールジョイントと異なり、回転中心が変化しながら関節が回転する. アクチュエータとして McKibben 型空気圧人工筋および SMA コイルを用いた loosely coupled joint を試作し、この現象を確認する. また、ジョイントの運動を記述するモデルを作成する.

### 2 概念

Fig.1 に、平面内を運動する loosely coupled joint の概要を示す. 図に示すように、loosely coupled joint は、ボール部を有するリンク、ソケット部、人間の軟骨に相当する粘弾性体部、人間の腱に相当する直動アクチュエータからなる. 平面内を運動する loosely coupled joint では、直動アクチュエータを 2 個配置する. それぞれの直動アクチュエータの長さを調整することで、リンクを回転させる. このとき、ボール部とソケット部に粘弾性体が存在するために、従来のボールジョイントと異なり、回転中心が変化しながら関節が回転する.

### 3 モデル化

Fig.2 に、平面運動における loosely coupled joint のモデルを示す. loosely coupled joint に使用する直動アクチュエータは、入力に対して縮みが生じるとともに、人間の腱のようにアクチュエータ自身が伸びる構造を持つものを使用する. アクチュエータ 1, 2 の伸びを  $d_1, d_2$ , 発生力を  $\vec{F}_1, \vec{F}_2$  とする. 発生力  $\vec{F}_1, \vec{F}_2$  はアクチュエータの伸びに比例すると仮定し、その係数をそれぞれ  $k_1, k_2$  とおく. またこの発生力は、ボール部とそれぞれのアクチュエータの接点から接線方向に線形に発生すると仮定する. 粘弾性体の変位を  $d_b$ , 発生力を  $\vec{F}_b$  とおく.

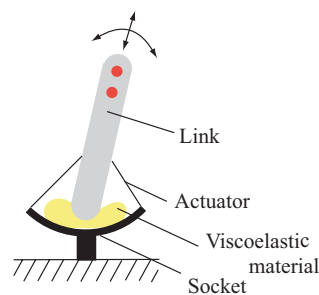


Fig.1: Concept of loosely coupled joint

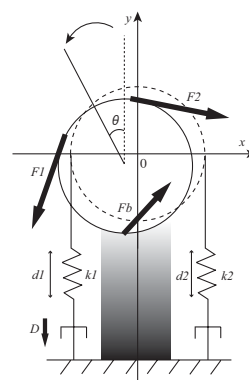


Fig.2: Model of loosely coupled joint (2D)

発生力  $\vec{F}_b$  は、ボール部と粘弾性体の接触面に分布的に発生すると仮定する. ボール部の回転角を  $\theta$  とおく. また、ボール部の半径を  $r$  とする. 直動アクチュエータの縮み量を  $D$  とすると、変位の関係は、

$$D = d_1 + d_2 + 2d_b \quad (1)$$

となる. 力のつりあいより、

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_b = 0. \quad (2)$$

アクチュエータ 1 の発生力の関係から、

$$|\vec{F}_1| = k_1 d_1. \quad (3)$$

アクチュエータ 2 の発生力の関係から,

$$|\vec{F}_2| = k_2 d_2. \quad (4)$$

ボール部と粘弾性体の接触面領域を  $c$ , 微小面  $ds$  に働く圧力を  $p$  とすると発生力  $\vec{F}_b$  は,

$$\vec{F}_b = \int_c \mathbf{p} ds. \quad (5)$$

さらに静止状態では, 回転モーメントが発生しないので,

$$r|\vec{F}_1| - r|\vec{F}_2| + \int_c r \mathbf{p} ds = 0. \quad (6)$$

粘弾性体が発生する力のモデリングに関しては, 今後の課題とする.

## 4 試作および動作実験

### 4.1 空気圧人工筋を用いた loosely coupled joint

Fig.3 に, アクチュエータとして McKibben 型空気圧人工筋を用いた loosely coupled joint を示す. 粘弾性体には, メラミンフォームを用いた. McKibben 型空気圧人工筋は, 伸びの変位が小さいので, 人間の腱の伸びを実現するために, McKibben 型空気圧人工筋とリンクの間にバネ係数 2180N/m のゴムを配置している. リンク長は, 232mm である. Fig.4 にリンクの先端位置の推移を示す. 先端位置は, CCD カメラによって計測した. Fig.4 の点線は, ジョイントが剛体で構成されている場合の理想の軌跡である. Fig.4 から, 回転中心が変化していることが確認できる.

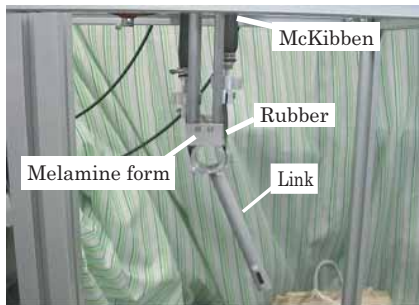


Fig.3: Loosely coupled joint using McKibben

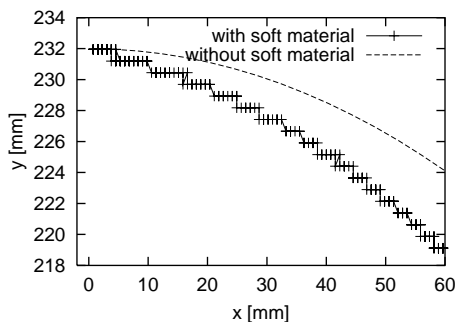


Fig.4: Experimental result (McKibben)

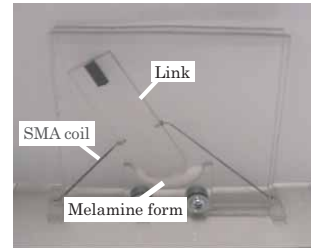


Fig.5: Loosely coupled joint using SMA coil

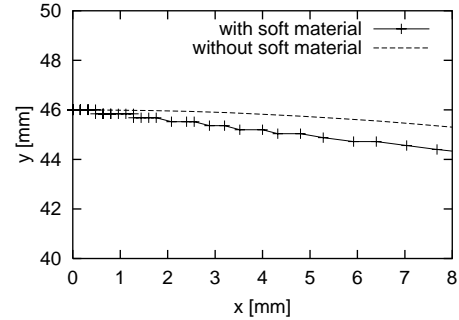


Fig.6: Experimental result (SMA coil)

### 4.2 SMA を用いた loosely coupled joint

Fig.5 に, アクチュエータとして SMA コイルを用いた loosely coupled joint を示す. 粘弾性体には, メラミンフォームを用いた. SMA コイル自身が伸びるので, McKibben 型空気圧人工筋を用いた loosely coupled joint と異なり, ゴムは配置していない. リンク長は 46mm である. Fig.6 にリンクの先端位置の推移を示す. Fig.6 の点線は, ジョイントが剛体で構成されている場合の理想の軌跡である. 先端位置は CCD カメラで計測した. Fig.6 から, 回転中心が変化していることが確認できる.

## 5 結言

本論文では, 人間の軟骨部分にあたる部分に粘弾性体を, 腱にあたる部分に直動アクチュエータを用いた関節機構を作成し, loosely coupled joint と名づけた. この関節機構では, ボール部とソケット部に粘弾性体が存在するために, 従来のボールジョイントと異なり, 回転中心が変化しながら関節が回転する. アクチュエータとして McKibben 型空気圧人工筋と SMA コイルを用いた loosely coupled joint を試作し, この現象を確認した. また, ジョイントの運動を記述するモデルを作成した.

## 参考文献

- [1] 岡田, 中村: "サイバネティック・ショルダの開発 人間の肩の動きを模倣した 3 自由度機構", 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.5, pp.74-82, 2000.
- [2] I. Mizuuchi, R. Tajima, T. Yoshikai, D. Sato, K. Nagashima, M. Inaba, Y. Kuniyoshi and H. Inoue: "The Design and Control of the Flexible Spine of a Fully Tendon-Driven Humanoid Kenta", *Proc. of IEEE Int. Conf. on Intelligence Robots and Syatems*, pp. 2527-2532, 2002.
- [3] Anand Vaz, and Shinichi Hirai: "A Simplified Model for a Biomechanical Joint with Soft Cartilage", *Proc. 2004 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics*, 2004.