

# ワイヤ駆動式ロボットの関節剛性調整機構 SAT の提案

## Proposal of Joint Stiffness Adjustment Mechanism SAT

○ 学 三浦 史晴 (鈴鹿高専) 正 白井 達也 (鈴鹿高専) 正 富岡 巧 (鈴鹿高専)

Fumiharu Miura, Tatsuya Shirai and Takumi Tomioka:

Suzuka National College of Technology, Shiroko, Suzuka-Shi, Mie

**Abstract:** The wire utilized in wire-driven system is broken when it is received impulse force, since the motor used for robots has the reduce gear which has high reduce gear ratio. If the power transmission mechanism has the mechanical compliance, impulse force will be absorbed. In this paper, we propose a nonlinear spring device which named SAT (*Stiffness Adjustable Tendon*) so that we can adjust the mechanical joint compliance for tendon-driven mechanism. The SAT has very simple structure. Furthermore, we propose a tension sensor which named the muscle spindle sensor for measuring the tension of SAT. We examine the relationship between the tension and the displacement of SAT in order to make clear the non-linear spring characteristic of SAT. We also inspect the utility of muscle spindle sensor.

**Key Words :** SAT, Joint Stiffness, Wire-Driven System

## 1 はじめに

ロボットに用いるモータ動力系は、高精度な位置決めを実現する、あるいは大きなトルクを得るために、一般に高い減速比を有する減速器を用いる。したがって、ロボットのリンクに強い衝撃を受けた場合、衝撃力の大半はモータに伝わらずワイヤやギア列で受け止めることになる。これら機械的に硬い機構を持つロボットは、関節に取り付けたトルクセンサ出力を用いてトルク制御を行うことで柔らかな動作を実現する。しかし、Fig.1(a)のように高所から飛び降りたり転倒するなどして、制御系の動作限界を超える瞬間的な衝撃力を受けた場合はサーボモータが追従できず、最悪の場合ワイヤやギアを破損する恐れがある。それに対して機構的に柔らかいロボットの研究が、近年盛んに行われるようになってきた<sup>1)2)</sup>。機械的に柔らかい関節機構は衝撃力を吸収できるが、動特性が悪くなり、正確な位置決めを行うのが困難になる。状況に応じて関節剛性を硬くも柔らかくも調整できることが望ましい。本研究では非線形バネ特性を持つ新しい構造のバネ要素 SAT (*Stiffness Adjustable Tendon*) を提案し、その物理的特性を実験的に解析する。一対の SAT を Fig.1(b) のようにワイヤ動力伝達系の経路上に配置し、独立した1対のサーボモータにより張力を制御することで、関節剛性の調節と関節角度の位置制御を実現する。

## 2 SAT の構造

### 2.1 非線形バネ部

Fig.2 に SAT の構造を示す。網チューブ中にウレタンスポンジ製の丸棒を挿入したソーセージ状のシンプルな構造である。Fig.2 中の網チューブの内径は  $\phi 8 \sim \phi 20$ 、ウ

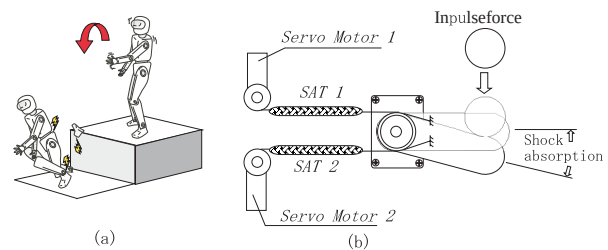


Fig.1 Basic idea of SAT

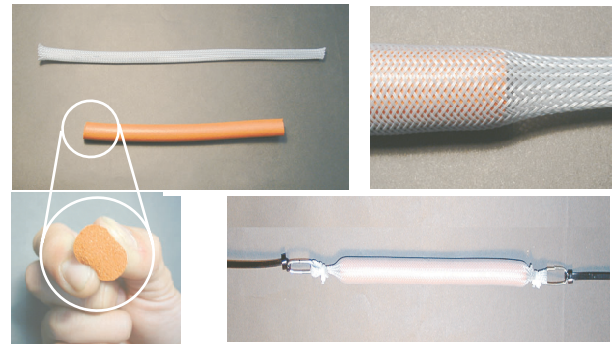


Fig.2 Structure of SAT

レタンスポンジは  $\phi 16$ 、SAT の全長は  $200 [mm]$  である。SAT 両端に張力をかけると網チューブは伸びると同時に内径が縮まり、内部のスポンジを圧縮する。弾性体であるスポンジは元の形状に戻ろうとして網チューブを押し広げる。この圧縮力と復元力がつり合う長さまで SAT は伸びる。これが SAT の動作原理である。

### 2.2 筋紡錘センサ

Fig.3 は、SAT に掛かる張力を測定するために開発した張力センサの構造である。本研究ではこのセンサを筋紡錘センサ (Muscle Spindle Sensor) と呼ぶ。圧力導電性ゴムシートの両面を銅箔製の電極で挟み込んだ構造で、こ

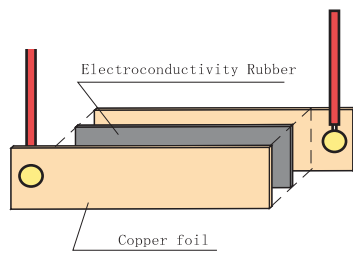


Fig.3 Structure of Muscle Spindle Sensor

れをスポンジ丸棒内に埋め込んで使用する。張力を受けてウレタンスポンジが圧縮されると、内部にサンドイッチされた圧力導電性ゴムシートが変形し、電気抵抗値が減少する。一般的な張力センサのように歪ゲージを用いないためアンプが不要なため安価かつノイズの影響も受けにくい。

### 3 SAT の物理的特性

#### 3.1 静特性

Fig.4(a) は、張力に対する SAT の変位量の測定結果である。横軸はワイヤ張力、縦軸は変位量を表す。張力と変位量の関係が非線形であり、張力の増加に応じて剛性が高くなっていくことが分かる。この実験は無負荷状態から張力を  $5[kgf]$  まで増やした後に再び無負荷状態まで戻す操作を 5 回繰り返した平均値である。張力を増やしていく過程と戻していく過程とで特性が異なるヒステリシス特性を持つことが分かる。Fig.4(b) は、張力と筋紡錘センサ出力の関係を表すグラフである。張力に応じてセンサ出力が変化していることが分かる。これらの実験結果にもヒステリシス特性が表れている。

Fig.4(c) は、張力を  $0 \rightarrow 5 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 5[kgf]$  と変化させた時の SAT の変位量を計測した結果である。張力が  $0[kgf]$  から  $5[kgf]$  まで増えていく時の軌跡とそれ以降の軌跡は異なる。注目すべき点は、張力が  $1, 2, 3, 4[kgf]$  から  $5[kgf]$  へ増える時の軌跡と、 $5[kgf]$  から  $1, 2, 3, 4[kgf]$  へ減少する軌跡がほぼ一致しており、ヒステリシス特性がほとんど見られない点である。この結果より、初期荷重を常に  $1[kgf]$  以上掛けていればヒステリシスの影響がほとんど現れないことが分かる。

#### 3.2 動特性

Fig.5 は、無負荷の状態の SAT に対し、衝撃力として瞬間的に  $1[kgf]$  の張力を加えた時の SAT の伸びと筋紡錘センサ出力の時間変化を調べた結果である。SAT の変位量に合わせて筋紡錘センサの出力もほぼ同じ変化をしている。また、振動収束後 ( $1.5[s]$ ) の筋紡錘センサ出力は静荷重での張力  $1[kgf]$  を加えた時の出力にほぼ収束した。

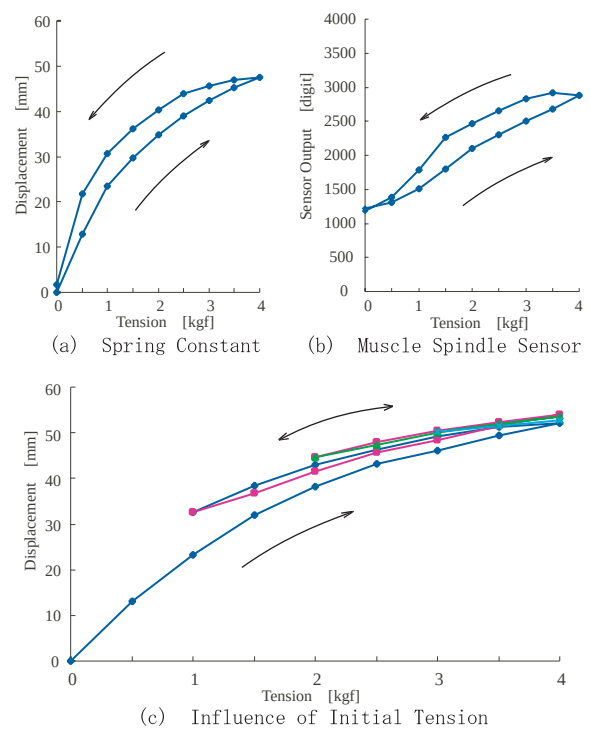


Fig.4 Experimental result of SAT (Static characteristic)

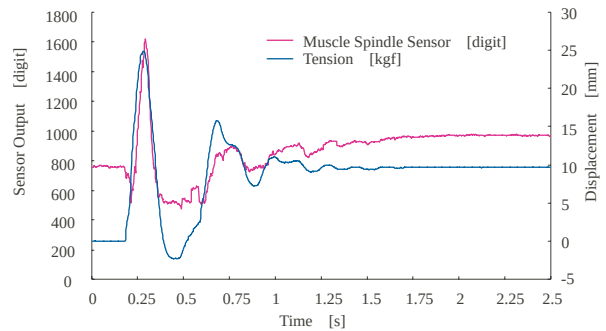


Fig.5 Experimental result of SAT (Dynamic characteristic)

### 4 まとめと今後の課題

実験結果より、SAT は非線形バネ特性を持つこと、筋紡錘センサは構造がシンプルであるにもかかわらず SAT に掛かる張力を検出可能であること、SAT は常に荷重の掛かった状態で用いればヒステリシスの影響をほとんど受けないことが明らかになった。今後は SAT を組み込んだロボットアームを開発して関節剛性の調整機能の効果を検証すると共に、正確な位置決めを実現するための制御法の確立を目指す。

### 参考文献

- 1) 森田, 菅野: “メカニカルソフトネスとコンプライアンス調整”, 日本ロボット学会誌, Vol. 17, No. 6, pp. 790-794, 1999.
- 2) 砂崎, 林原: “非線形ばねを用いた剛性可変機構の研究”, ロボティクス・メカトロニクス講演会'01 講演論文集, 2001.