

非線形バネ SAT の柔軟関節ロボットへの応用

鈴鹿工業高等専門学校 ○白井 達也, 富岡 巧

Application of Non-Linear Spring SAT to Flexible Joints Robots

○Tatsuya SHIRAI and Takumi TOMIOKA, Suzuka National College of Technology

Abstract: The power transmission mechanism of a humanoid robot will be damaged when it's received a strong impulsive force, since the most of motors used for the robot has the reduction gear which has high reduction ratio. In order to equip mechanical compliance for the power transmission mechanism, we had developed a non-linear spring device named SAT (Stiffness Adjustable Tendon). In this paper, we had shown three applications of SAT. We had developed a one legged robot to verify that the robot equipped with the mechanical compliance can achieve the dynamic motion. We also had shown experimentally that flexible joints robots using SAT can control its joint stiffness, angle and torque. For the purpose we had developed a one linked and a three linked robot which have mechanical compliant joints.

1. 緒言

近年、様々なヒューマノイドロボットが開発されてきたが、その大半は跳んだり、走ったりといった衝撃力を伴うダイナミックな動作が苦手である。高減速比なサーボモータを用いた“機構的に硬いロボット”は、制御によって柔らかく振る舞っているに過ぎず、動作限界を超える衝撃力が働いた場合、動力伝達機構（ギア、ワイヤなど）を破損する恐れがある。ヒトと接する機会の多いサービスロボットや介護・リハビリロボットは、衝突安全性の観点からセンサを用いずに関節剛性を調節可能であることが期待されている。兵頭らは非線形バネ要素 NST(Nonlinear Spring Tensioner)を開発し、腱制御手首機構へ応用した[1]。小金澤らは非線形弾性特性機構 NLEM (Non-Linear Elastic Module)および NLEM にアクチュエータを組み込んだ ANLES (Actuator with Non-Linear Elastic System)を提案した[2]。林原らは開発した剛性可変機構を CPM 装置に応用し、有用性を確認した[3]。本発表では、これらの非線形バネ要素に比べて構造が単純な新しい非線形バネ要素 SAT (Stiffness Adjustable Tendon)を開発し、ロボットへの応用を行なった結果を報告する。

2. 非線形バネ SAT

Fig.1 に示すように、SAT は弾性素材のシリコーンスポンジ製の丸棒を編みチューブで覆い、両端を封止したシンプルな構造が特徴である。SAT 両端を左右方向に引っ張ると編みチューブは伸びると同時に内径が小さくなる。編みチューブの内径が小さくなると弾性体は周囲から圧縮され、弾性体は元の形状に戻ろうとして反発力を発生し、編みチューブの内径を押し広げようとする。この圧縮力と反発力が釣り合う長さまで SAT

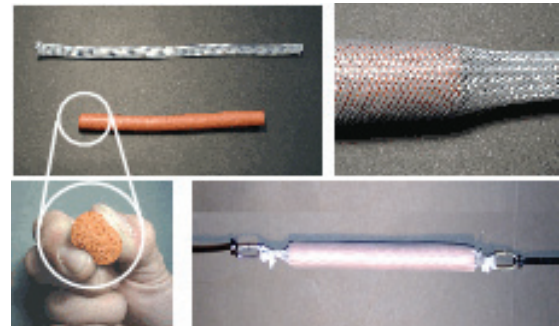


Fig.1 Structure of SAT

は伸びる。SAT は(1)伸びれば伸びるほど剛性が増加する非線形バネ特性を持つ上に、(2)金属製の部品を用いないため錆びない、(3)伸縮する際にコイルスプリングのように隙間に物が挟まること無い、(4)特殊な素材を用いず、(5) 製造するための特別な設備を必要としない。Fig.2 に SAT のバネ特性を実験により調べた結果を示す。横軸は変位量、縦軸は印加した張力である。長さ 0.1[m] の SAT 二本を直列接続した結果と長さ 0.1[m] および 0.2[m] の SAT 単体の特性である。変位量が増すにしたがって張力が非線形に増大していくこと、線形バネ同様に直列接続すると特性が単純に加算されることが分かる。

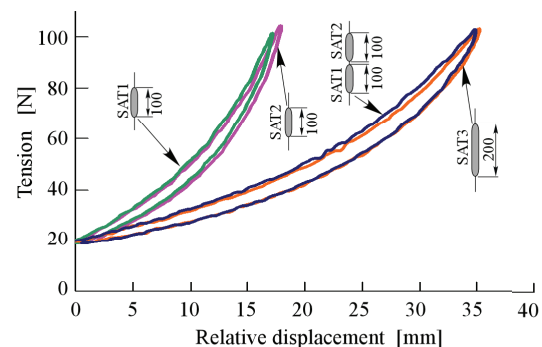


Fig. 2 Static characteristics

3. 柔軟関節ロボットへの応用

SAT を動力伝達機構に組み込んだ柔軟関節を有するロボットが、現在のロボットの苦手とするダイナミックな動作を実現可能であることを示すために、Fig.3 に示す一脚式の三関節ロボット Landing Machine (以下、LM) を開発した。各リンク長は 0.3[m]、Fig.3(a)に示すように各関節角度を計測するためのポテンシオメータは搭載するが、モータは一切搭載していない。関節剛性はネジ巻き取り式の手動調整機構である。Fig.3(b)は高さ 0.5[m]から LM を落下させて着地した時の各関節角度の変化、Fig.3(c)はその時の映像である。2 回ほど振動した後、衝撃を吸収して着地に成功した。

Fig.4 は、LM とは異なり、モータによる関節剛性調整機構を制御可能な 1 関節の柔軟関節ロボットを用いた実験結果である。開発した 1 リンクロボットは二個の DC ギヤードモータで一組の *SAT* をそれぞれ独立に牽引する。各モータの回転角度、リンクの回転角度を合計三個のポテンシオメータで計測可能である。Fig.4(a)の初期姿勢から、Fig.4(b),(c)に示すように $\pm \pi/4[\text{rad}]$ 回転させた。関節剛性が硬い場合と柔らかい場合のリンク角度の挙動を Fig.4 (d-1), (d-2)に示す。なお、リンク角度をフィードバックして角度制御を行うと Fig.4(d-2)のように関節剛性が柔らかい場合は発振してしまうため、モータ角度を制御する開制御での実験結果である。

Fig.5 は 1 リンク柔軟関節ロボットを 3 リンクに拡張した三関節柔軟関節ロボットの全景である。合計六個の DC ギヤードモータを用いて各関節の剛性を調整可能であること、その結果として手先の剛性楕円を制御可能であることを実験およびシミュレーションにより確認した。

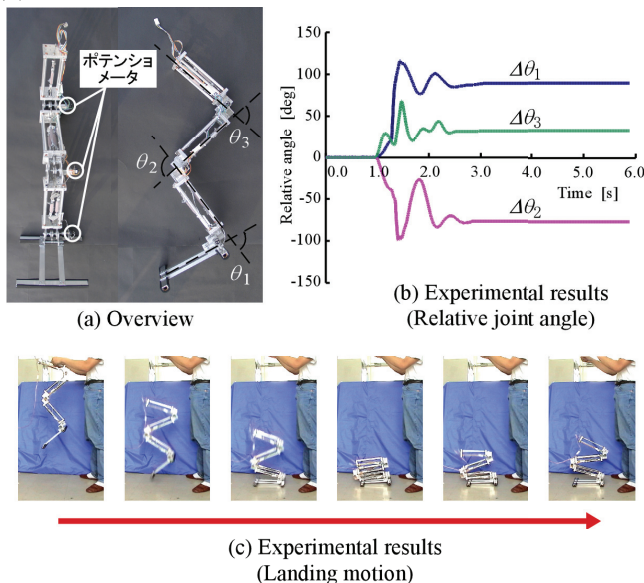


Fig.3 Landing Machine (LM)

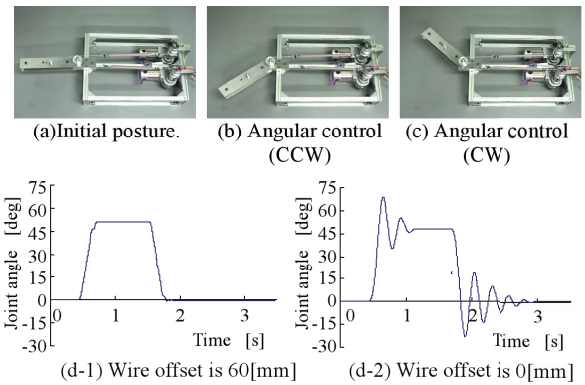


Fig.4 One-linked robot

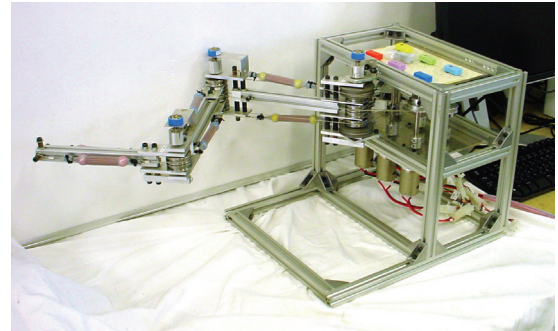


Fig.5 Three-linked robot

4. 結言

現在のロボットが苦手とするダイナミックな動作を実現するために開発した非線形バネ要素 *SAT* を三種類のリンク式ロボットに応用した。開発した柔軟関節ロボットは、衝撃力の吸収が可能であること、関節角度だけではなく、関節剛性を機構的に柔らかくも硬くも調整可能であること、関節トルクセンサを用いずに関節トルクも制御可能であることを確認した。さらに多関節ロボットにおいて手先の機械的剛性もコントロール可能であることを実験およびシミュレーションにより確認した。

参考文献

- [1]兵頭, 小林: “非線形バネ要素を持つ腱制御手首機構の研究”, 日本ロボット学会誌, Vol.11, No.8, pp.1244-1251, 1993.
- [2]小金澤, 清水: “非線形弾性システムを有するアクチュエータを用いた腱駆動多自由度関節の機械式剛性制御”, 日本ロボット学会誌, Vol. 22, No.8, pp.1043-1049, 2004.
- [3]砂崎, 林原: “剛性可変機構を用いたリハビリ用 CPM 装置の開発”, ロボティクス・メカトロニクス講演会' 03 講演論文集, 2003.