非線形バネSATを用いたワイヤ駆動式動力伝達機構で目指す”柔らかなロボット”の実現

講演番号： 1A1-N-074

セッション名： ワイヤ駆動系の機構と制御
Mechanism and Control for Wire Actuation System

コアタイム： 11:15～12:00

発表者： 白井　達也(鈴鹿高専)
Tatsuya SHIRAI (Suzuka N.C.T.)

非線形バネ *SAT* を用いた関節剛性，トルクおよび位置制御

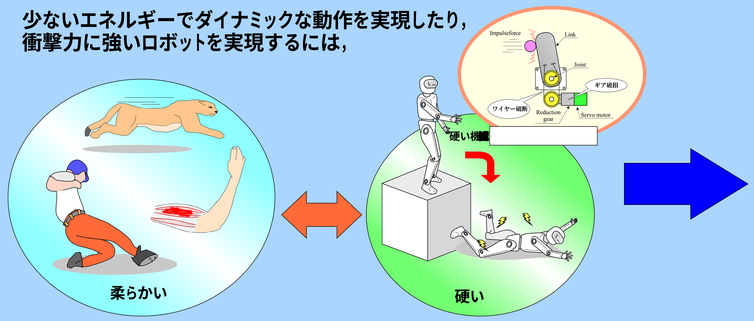
Control of Joint Stiffness, Torque and Joint Angle by Using Non-Linear Spring *SAT*

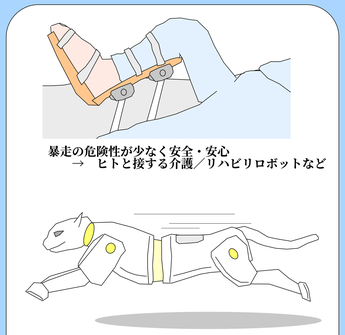
○白井 達也(鈴鹿高専)，伊藤 敬宏(三重大)，田中 駿一(鈴鹿高専)，冨岡 巧(鈴鹿高専)
Tatsuya SHIRAI (Suzuka National College of Technology), Takahiro Ito (Mie Univ.),
Shun-ichi TANAKA (Suzuka N.C.T.), Takumi TOMIOKA (Suzuka N.C.T.)

Abstract: The wire utilized in the wire-driven system is broken when it is received a strong impulse force, since the most of motors used for humanoid robots have the reduce gear which has high reduce gear ratio. If the power transmission mechanism has the mechanical compliance, the impulse force should be absorbed. We had proposed a non-linear spring device *SAT* (Stiffness Adjustable Tendon) to equip mechanical compliance for the power transmission mechanism of robots. In this presentation we show experimentally that the wire-driven system using *SAT* can control its joint stiffness, joint angle and joint torque. For the purpose we had developed a one joint robot system with mechanical compliant joint.

[A] 研究の目的

少ないエネルギーでダイナミックな動作を実現したり，
衝撃力に強いロボットを実現するには，





関節剛性を”柔らかく”も”硬く”も調整できる機構が必要

関連研究

(ラバチュエータ，バネなどに関する研究)

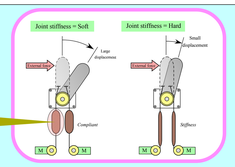
・松下，相良，山下，谷口：「ラバチュエータを用いた一軸ロボットハンドの力制御：離散スライディングモード制御の適用」，日本ロボット学会誌，Vol.11, No.6, pp.461-467,1993.
・小形，磯田，川村：「ウエアラブルロボットのためのゴムアクチュエータ用可変粘性要素の開発」，第19回日本ロボット学会学術講演会，2001.
・大久保，中野，木村：「ばねとアクチュエータによる跳躍機械の構成法」，日本ロボット学会誌，Vol.10, No.7, pp.948-954,1992.

(柔らかなロボット機構に関する研究)

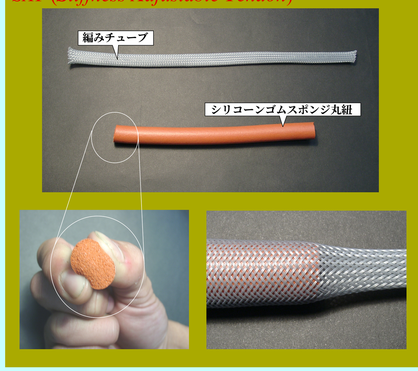
・森田，菅野：「メカニカルソフトネスとコンプライアンス調整」，日本ロボット学会誌，Vol.17, No.6, pp. 790-794, 1999.
・小金澤，山崎，石川："剛性可変機構を有する拮抗筋型腱駆動システムとその制御"，日本ロボット学会誌，Vol.17, No. 7, pp.1003-1010,2000.
・砂崎，林原：「非線形ばねを用いた剛性可変機構の研究」，ロボティク・メカトロニクス講演会'01，2001.
・砂崎，林原："剛性可変機構を用いたリハビリ用CPM装置の開発"，ロボティクス・メカトロニクス講演会'03，2003.

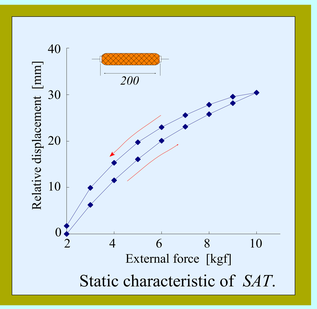
[B] *SAT*の構造と特徴

弾性体（シリコーンゴムスポンジ丸紐）を
伸縮性の被覆（編みチューブ）で覆っただけの簡単な構造



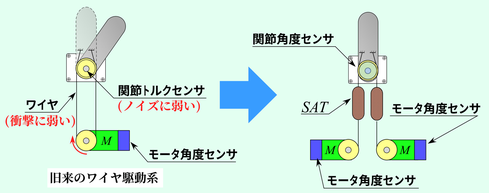
SAT (*S*tiffness *A*djustable *T*endon)





Static characteristic of *SAT*.

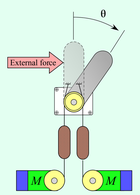
*SAT*を用いたワイヤ駆動式動力伝達機構



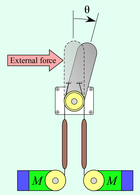
各関節）
・一対の*SAT*を二つのモータで制御
・関節角度センサでリンクの角度を計測
・モータ角度センサで各*SAT*の変位量を計測

比較的安定な）変位センサの出力を利用して，
関節角度制御
関節トルク制御
関節コンプライアンス制御
} が可能

関節剛性の調整



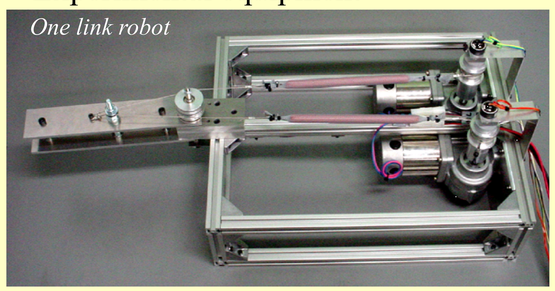
(Compliant)

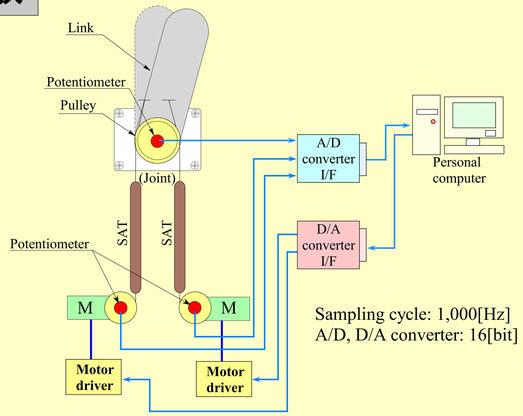


(Stiffness)

[C] 関節剛性，トルク，位置制御実験

Experimental equipment



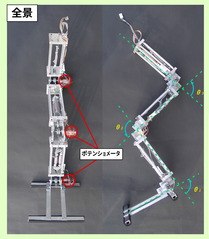


Sampling cycle: 1,000[Hz]
A/D, D/A converter: 16[bit]

・Link length：250[mm]
・DC Geared motor (2pcs.)：
　DC24V，20W，Worm gear/50:1
・Diameter：
　Joint pulley = φ36
　Drum pulley = φ34
・Sensors :
　Potentiometer ×3 (Joint and motors)

2つのバックドライバビリティの低いDCギヤードモータで駆動する1リンクロボットで，*SAT* を用いることで関節剛性のメカニカルな調整と，トルクセンサレスの力制御が実現可能であることを検証する．

[D] ダイナミックな動作が可能なロボットの開発(Landing machine)



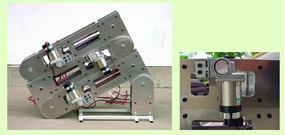
[LM1の目的]
*SAT*を用いたワイヤ駆動型動力伝達機構を用いることで，
衝撃力を伴うダイナミックな動作（高所からの着地）が可能か？

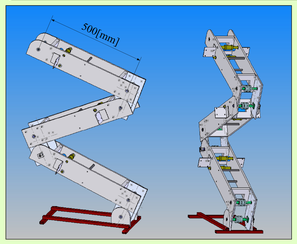
・各リンク間の長さ：300[mm]
・重量：2.1[kgf]
・アクチュエータなし

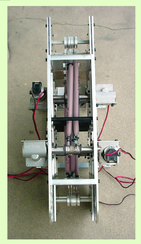
高さ500[mm]からの着地実験

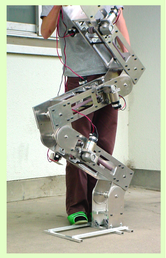
LM2の特徴

(1) 各関節に２個ずつDCギアードモータを搭載
→ 各関節角度／剛性／トルク制御の実現
(2) *SAT*を二系統並列化
→ ワイヤ破断時のためのフェイルセイフ
(3) 各リンク間の長さを300[mm]→500[mm]に大型化
→ （ヒトと同程度の大きさ）



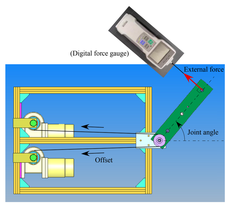


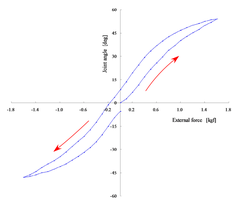


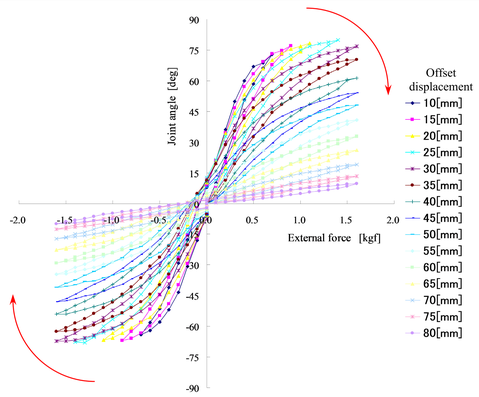


(1)関節剛性の変化

（外力に対する関節角度の変化）



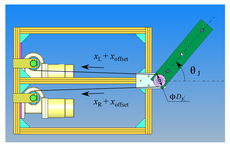




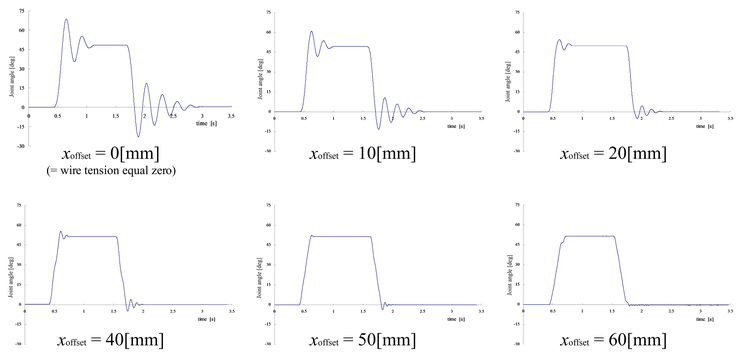
Relationship between external force and joiont angle.

(2)位置制御（開ループ制御）

関節角度 θ_J をフィードバックすると振動
→ ワイヤ変位量を制御する開ループ制御



x_R, x_L：ワイヤ変位量（θ_J=0の時，x_R=x_L=0）
x_{offset}：オフセット変位量（関節剛性の調整）
D_J：関節部プーリ直径
θ_J：目標角度（[rad]）
$x_R = -\theta_J D_J$，$x_L = \theta_J D_J$



x_{offset} = 0[mm] (= wire tension equal zero)
x_{offset} = 10[mm]
x_{offset} = 20[mm]
x_{offset} = 30[mm]
x_{offset} = 40[mm]
x_{offset} = 50[mm]
x_{offset} = 60[mm]

まとめと今後の課題

まとめ

・*SAT*を用いたワイヤ駆動式動力伝達系の非線形特性を確認．
・位置制御（開ループ制御），（簡易）トルク制御の実機による確認．

今後の課題

○位置制御：関節角度フィードバックによる制御則の設計
○トルク制御：角度センサ情報に基づく関節トルクの推定法の確立
○コンプライアンス制御の実現

○ダイナミックな動作を実現する応用ロボットの開発
（Landing Machine2の完成，疾走可能な多脚ロボットの開発）