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：1P1-B25

セッション名：フレキシブルメカニズム

コアタイム：13:00～14:00

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

非線形バネ*SAT*を用いた三リンク柔軟関節ロボットの開発

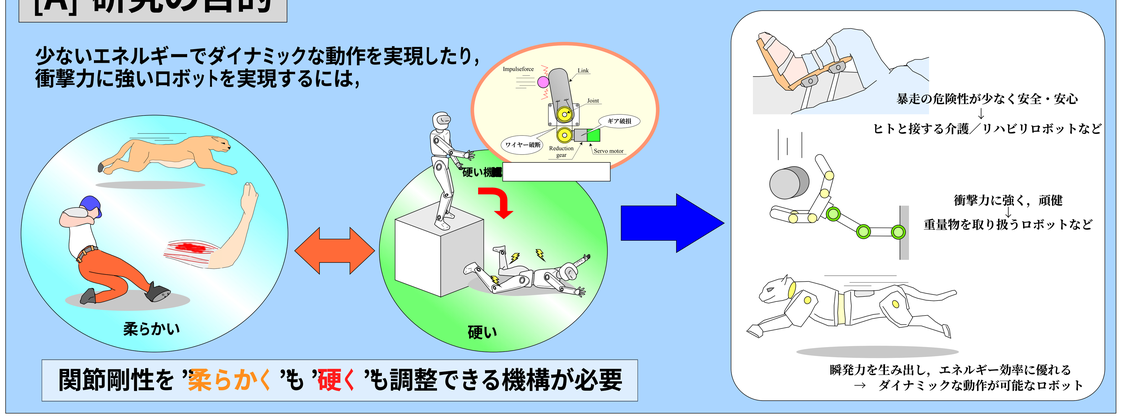
Development of a Three-Link Robot by using Non-Linear Spring *SAT*

○白井 達也(鈴鹿高専)，廣瀬　岳士　(中川製作所)，冨岡 巧(鈴鹿高専)
Tatsuya SHIRAI (Suzuka N. C. T.), Takeshi HIROSE (Nakagawa co.),Takumi TOMIOKA (Suzuka N.C.T.)

Abstract: When most of conventional robot receives impact force, its power transmission mechanism such as gears and wires is damaged. The cause is that the robot has stiff joint so that the robot equips reduction gear which has high-reduction gear ratio. We aim to solve the problem. If the power transmission mechanism has flexibility, the impact force will be safely absorbed however, a precise positional control becomes difficult. Therefore, it is desirable that the joint stiffness can be adjusted according to the situation. We have developed a three-link robot which has the mechanical joint stiffness adjustment mechanism by using non-linear spring named *SAT* (Stiffness Adjustable Tendon). The three-link robot has three joints which are able to adjust joint stiffness by using two motors at each joint. We verified that the joint stiffness at each joint can be adjusted mechanically. Furthermore we verified the stiffness at finger tip can be controlled by utilizing *SAT* for the power transmission system of wire-driven robot.

[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.

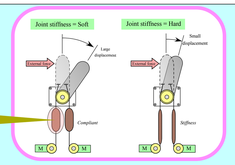
・小金澤，山崎，石川："剛性可変機構を有する拮抗筋型腱駆動システムとその制御"，日本ロボット学会誌，Vol.17, No. 7, pp.1003-1010,2000.

・砂崎，林原：「非線形ばねを用いた剛性可変機構の研究」，ロボティクス・メカトロニクス講演会'01，2001.

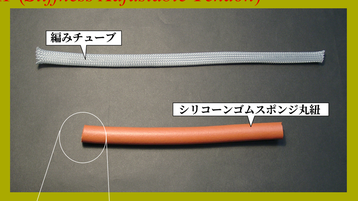
・砂崎，林原："剛性可変機構を用いたリハビリ用CPM装置の開発"，ロボティクス・メカトロニクス講演会'03，2003.

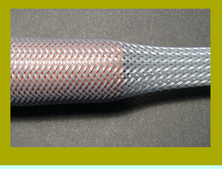
[B] *SAT*の構造と特徴

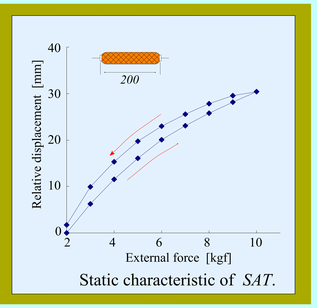
弾性体（シリコーンゴムスポンジ丸紐）を
伸縮性の被覆（編みチューブ）で覆っただけの簡単な構造



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

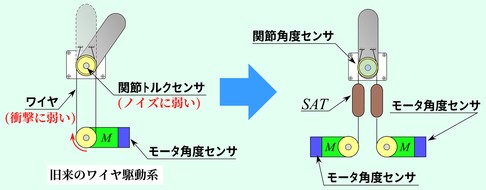






Static characteristic of *SAT*.

*SAT*を用いたワイヤ駆動式動力伝達機構

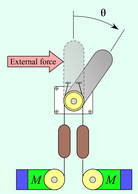


各関節）
・一対の*SAT*を二つのモータで制御
・関節角度センサでリンクの角度を計測
・モータ角度センサで各*SAT*の変位量を計測

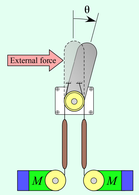
比較的安定な）
変位センサの出力
を利用して，

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

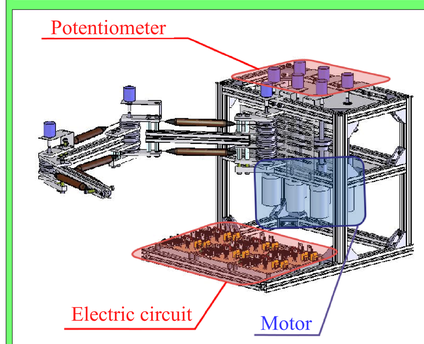


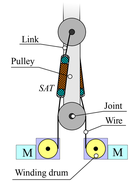
(Compliant)



(Stiffness)

[D] 柔軟関節 3リンクロボット

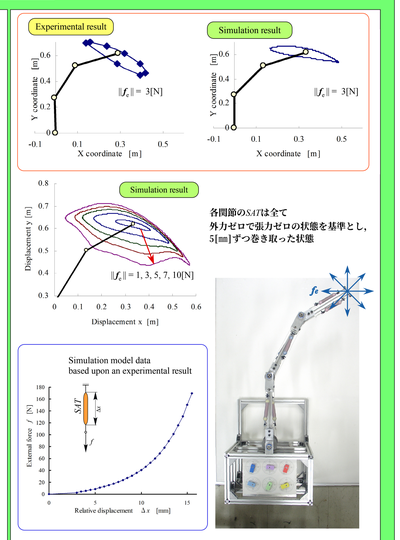


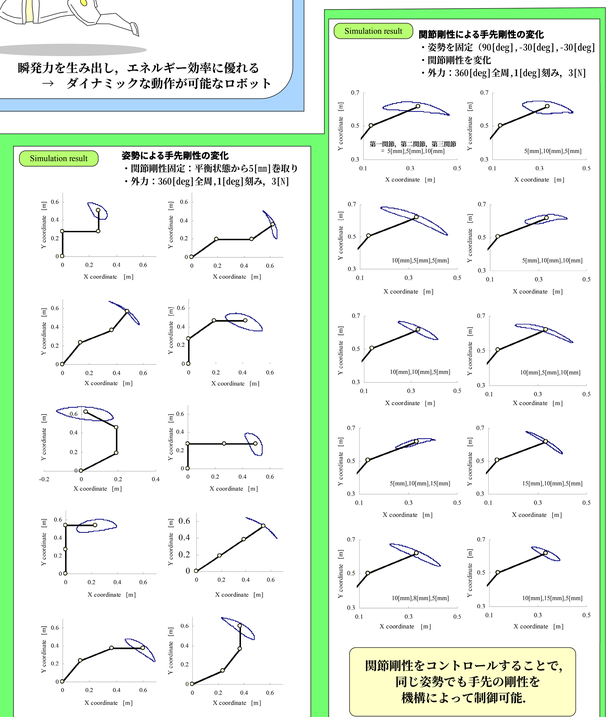


Dimensions of three link robot

アクチュエータユニット外形(縦)×(幅)×(高さ)	200[mm]×340[mm]×320[mm]	
アーム	第一リンク長さ	270[mm]
	第二リンク長さ	270[mm]
	第三リンク長さ	235[mm]
関節プーリ直径	第一プーリ直径	56[mm]
	第二プーリ直径	36[mm]
	第三プーリ直径	36[mm]
ドラム直径	第一関節用	16[mm]
	第二関節用	16[mm]
	第三関節用	36[mm]
SAT(ウレタンスポンジ紐)	φ15[mm]，長さ 50[mm]	

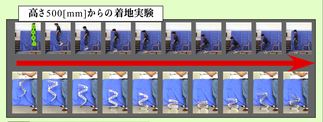
DC-Geared motor specifications
・型番：　540K300 (タミヤ社製)　・無負荷時回転数：221[rpm] (モータ)
・減速比：1:200　・最大効率時のトルク：1.18×10⁻³[Nm]
・電源：　DC7.2[V]

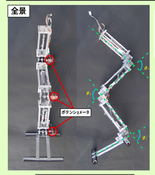




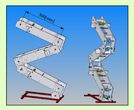
関節剛性をコントロールすることで，
同じ姿勢でも手先の剛性を
機構によって制御可能.

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





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

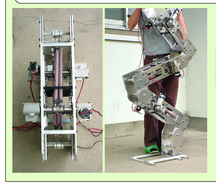


LM2の特徴

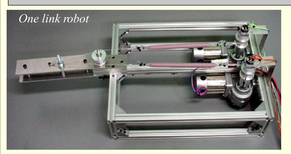
(1) 各関節に２個ずつDCギアードモータを搭載
→ 各関節角度／剛性／トルク制御の実現

(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

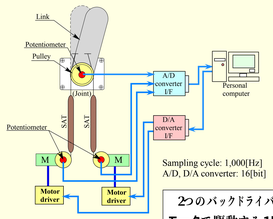
(3) 各リンク間の長さを300[mm]→500[mm]に大型化
→　ヒトと同程度の大きさ）



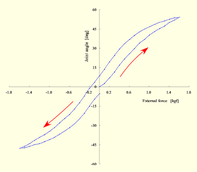
[C] 柔軟関節 1リンクロボット



・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)



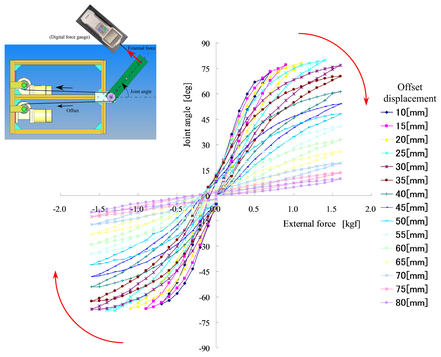
Sampling cycle: 1,000[Hz]
A/D, D/A converter: 16[bit]



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リンクロボットを用いて，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した.

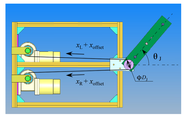
(1)関節剛性の変化

（外力に対する関節角度の変化）



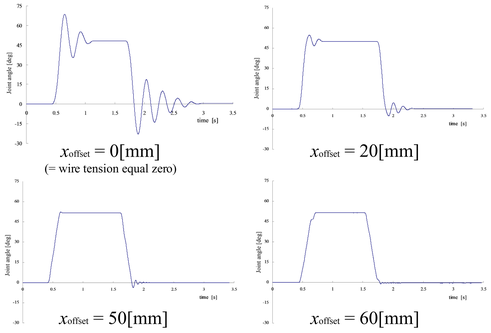
Relationship between external force and joiont angle.

(2)位置制御（開ループ制御）



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]）
$x_R = -\theta_j D_j$，$x_L = \theta_j D_j$

関節角度θ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_{offset} = 0[mm]
(= wire tension equal zero)

x_{offset} = 20[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

・非線形バネ*SAT*の特性をモデル化
・三リンク柔軟関節ロボットを製作し，シミュレーション結果と比較
・関節剛性をコントロールすることで手先剛性を制御可能であることをシミュレーションで確認

今後の課題

○実機による手先剛性の制御
○実機による位置制御，トルク制御，コンプライアンス制御の実現
○制御則の開発
○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，重量物キャッチングロボットの開発）