

アクチュエータ束により駆動される Loosely Coupled Mechanism の運動解析

○ 吉村 尚洋, 柴田 瑞穂, 平井 慎一 (立命館大学)

Analysis of Loosely Coupled Mechanism Driven by Actuator Bundles

○ Takahiro YOSHIMURA, Mizuho SHIBATA, Shinichi HIRAI (Ritsumeikan Univ.)

Abstract: This report describes effects of a *loosely coupled mechanism* and actuator bundles. This flexible link like a human joint is intrinsically stable due to soft materials: a viscoelastic object and artificial muscles. We measure the motion of the link pulled by actuator bundles and simulate this motion. These results imply that actuator bundles yield the stability of the link.

1 緒言

近年, 人間の関節を模した滑らかに動く回転関節が研究されている。しかしながら, 筋肉や軟骨部などの柔軟要素を積極的に利用し, その特性を解明しようと試みる研究はなされていない。筆者らは人間の関節を元に, 軟骨や筋肉に相当する要素を持つリンク機構を提案している。このリンク機構を *loosely coupled mechanism* (LCM) と呼ぶ。LCM は一般的なジョイントとは異なり, 人間の軟骨部を想定した粘弾性体を介して, ソケットとリンクが柔らかく接続されている。リンクは人工筋肉の収縮により引張られることで, 屈曲運動する。また, 外力に対してリンクは容易に並進・回転する。

これまでに形状記憶合金 (shape memory alloy; SMA) コイルを用いた LCM の角度制御を実現した。さらに, 単体では発生力の小さい SMA をアクチュエータ束として複数並列に使用することで, 全体として発生力を大きくすることができた [1]。Fig.1 にアクチュエータ束によって駆動される LCM を示す。このとき各 SMA には, それぞれ個別に制御回路やゲインを用意し, 大きさの違う駆動電圧を与えた。いくつかの SMA は異なるタイミング・速さで収縮することもあったが, 多くの場合, 協調してリンクを屈曲させ, 制御が振動的になることはなかった。

ここで, 複数の SMA が特別な制御なしに協調的に作用する点に着目し, 本論文ではアクチュエータ束により駆動される LCM の運動を解析する。はじめに, 複数の SMA コイルで動かされるリンクの運動を計測する。次に, この実験に相当する運動シミュレーションを, SMA モデルを用いて構築する。これらの実験とシミュレーションの結果から, 本機構におけるアクチュエータ束および粘弾性体のはたらきについて検討する。

2 アクチュエータ束によるリンクの運動実験

アクチュエータ束を収縮させたときのリンクの運動を実験により確認する。計測方法は, 細かい運動について検討できるように, 高速度カメラにて 1000 Hz で撮影するものとした。また, ここでは 8 本の SMA コイル (トキコーポレーション製 BMX200) を並列に配置し, アクチュエータ束とし

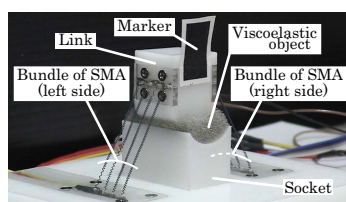


Fig.1 Loosely coupled mechanism driven by actuator bundles

た。Fig.2 はこのアクチュエータ束により駆動される LCM の概観である。この図では見えないが, リンクの裏側には表側と拮抗するように 8 本の SMA コイルが配置されている。また, 重力が下方向にはたらいている。図に見えている 8 本の SMA コイルは 1 つの電極に接続されており, 全ての SMA コイルには同じ電圧が加わる。ここに 4.5 V の定電圧を加えると SMA コイルは収縮し, リンクは図の手前方向に屈曲した。Fig.3 に撮影したリンクの動きの概観を示す。図で左から 4 本目の SMA コイルは収縮せず, たわんでいることがわかる。左側 4 本の SMA コイルがリンクに与えるモーメントの和が小さくなり, 図において半時計回りにリンクが回転することが考えられるが, 実験では初期角度を維持したまま屈曲している様子が確認できる。

次に, 電極をリンクから外し, 粘弾性体を介した接続部および拮抗配置された SMA コイルを取り除いた。したがってこの実験では, 電極はアクチュエータ束に繋がっただけの状態になる。Fig.4 にこの概観を示す。ここで先程と同じように電圧を加えると SMA コイルの収縮により, 電極は重力に逆らって図の上方に移動した。Fig.5 に電極が移動する様子を示す。実験の結果, 8 本の SMA コイルがばらばらに収縮することを確認した。先の実験と異なり, 電極が左右に移

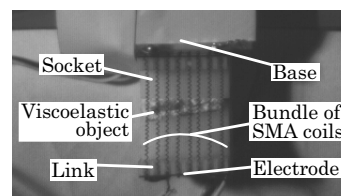


Fig.2 Experimental setup for measuring motion of the link

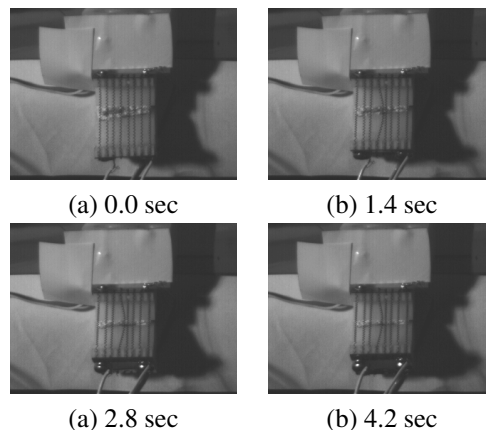


Fig.3 Motion of the link pulled by actuator bundles

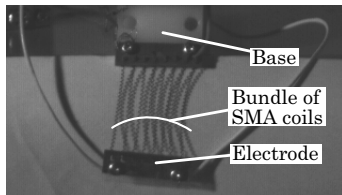


Fig.4 Experimental setup for measuring motion of the electrode

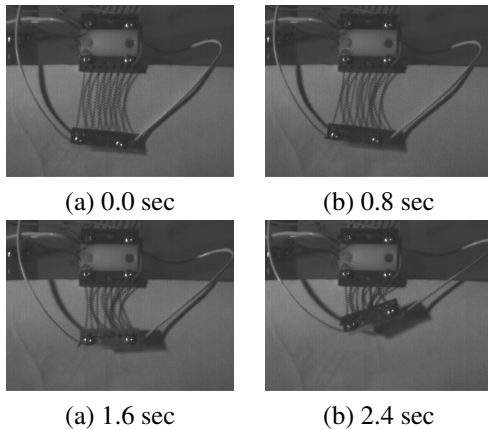


Fig.5 Motion of the electrode pulled by actuator bundles

動・回転しながら上方に移動する様子が図から確認できる。また、この左右移動・回転の様子は実験する度に異なった。このように粘弾性体と拮抗 SMA が接続されているか否かで、リンクと電極の運動は大きく異なった。電極はアクチュエータ束と重力に引張られているだけであるのに対し、LCM では他に 2 つの外力がリンクに加わる。1 つは拮抗型に配置された SMA コイルである。リンクが手前に屈曲するとき、この SMA コイルは引き伸ばされるので、バネとして引張力を発生する。もう 1 つは粘弾性体の変形によるものである。こちらも LCM の屈曲によって変形し、力を発生する。

3 運動シミュレーション

SMA コイルによって駆動されるリンクの運動シミュレーションについて述べる。SMA のモデリングには生田らのモデル [2] と Madill らのモデル [3] を参考にした。Fig.6 に作成したシミュレーション画面を示す。ここでは運動空間を 2 次元平面とし、前章の実験におけるリンクおよび電極を棒状の剛体として考えた。棒の両端には、一方を固定された SMA コイルが接続されている。簡単にシミュレーションの流れを説明する。SMA に電圧を与えると温度が上昇し、相変態が起こる。この相変態に伴い SMA は剛性が高くなるので、SMA コイルはその時の位置・姿勢に基づき、棒に対して引張力を発生する。図の点線は、SMA コイルが完全に収縮した場合の棒の位置を示す。実際の LCM では拮抗 SMA コイルおよび粘弾性体から力を受けるが、ここでは棒の並進・回転運動に弾性力と粘性力を与えるように簡略化した。また、2 本の SMA コイルで初期長さや抵抗などのパラメータを異なる設定にした。

2 本の SMA に同じ電圧を与えると、パラメータの違いから異なるタイミングおよび速さで収縮した。Fig.7 にシミュレーションした際の様子を示す。このとき、棒の運動に関

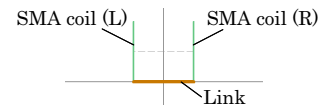


Fig.6 Simulational setup

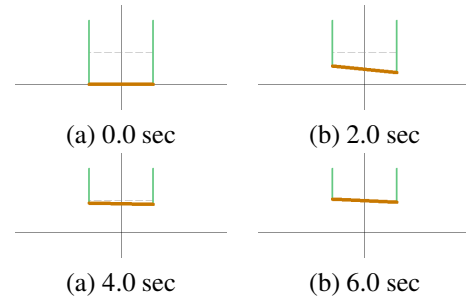


Fig.7 Simulated motion of link

する弾性係数および粘性係数を大きく設定すると、Fig.3 の結果のように、棒は滑らかに図の上方に移動した。2 本の SMA は協調してリンクに作用したといえる。一方、弾性係数および粘性係数を小さく設定すると、Fig.5 に示した結果のように、棒がふらふらと傾きながら移動する様子が確認できた。様々なパラメータで試行した結果、粘性係数の他に、棒の回転運動に関する弾性係数がこの傾きを抑制している傾向が強いことがわかった。

以上のことから、粘弾性体および拮抗配置された人工筋肉がもたらす粘性力および弾性力が、一見不安定なリンクを滑らかに屈曲させていると考えられる。また、Fig.2 に示したように SMA コイルを並列に配置すると、リンクに対して回転バネのようにはたらくといえる。回転弾性力が棒の傾きを抑制する効果をもつことから、アクチュエータ束を Fig.2 のように配置することが、協調して滑らかに LCM を屈曲させる作用を生み出していると考えられる。

4 結言

本論文では LCM におけるリンクの運動と、アクチュエータ束のはたらきについて、実験とシミュレーションの両面から検討した。その結果、粘弾性体やアクチュエータ束の存在が、リンク屈曲時に不安定に傾く動きを抑えているといえる。また、アクチュエータ束の配置がこの振動の抑制に効果的にはたらいっているのではないかと考えられる。このことが確認できれば、アクチュエータ束を用いて全体の発生力を高めながら、振動的にならないようにリンクを駆動できることが期待される。

参考文献

- [1] 吉村, 柴田, 平井: "アクチュエータ束により駆動される Loosely Coupled Mechanism の角度制御", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007, CD-ROM, 2007.
- [2] K. Ikuta, M. Tsukamoto, and S. Hirose: "Mathematical Model and Experimental Verification of Shape Memory Alloy for Designing Micro Actuator", *Proc. of IEEE Micro Electro Mechanical Systems*, pp.103-108, 1991.
- [3] D. R. Madill and D. Wang: "Modeling and L2-Stability of a Shape Memory Alloy Position Control System", *IEEE Transactions on control systems technology*, Vol.6, No.4, pp.473-481, 1998.