

SMA 拮抗駆動系におけるヤコビ行列を用いた位置と剛性制御

○石橋 良太*1)

1. はじめに

人体に代表される骨格筋の拮抗腱駆動系では、腱の幾何学的な配置関係により系の剛性帯域が定まることが知られている。人体における腱の配置関係は、関節の伸展等の運動により変化するものの、等尺性収縮のような手先変位を伴わない運動の場合にはほぼ一定と考えられる。他方、もしも腱の幾何学的関係を動的に調整できれば、腱駆動ロボットや身体と協調して動作する機器等において系の剛性帯域を幾何学的に可変できることを意味する。

2. SMA アクチュエータ系

SMA アクチュエータは、小型軽量で出力重量比が高く静粛であることから、さまざまな用途への展開が期待されている。他方、SMA アクチュエータは温度などに依存した強い非線形性とヒステリシスを有する時間遅れ系であり、補償のための機構や制御系を要する。また、小型化等に際しては、発生力、変位、抵抗値や温度の計測の簡便化が必要である。本研究では、SMA アクチュエータを拮抗構造となるよう配置した機構を構成する。手先の位置制御は、手先と SMA 原点との間のヤコビ行列のみを用い、目標位置での内力項をフィードフォワード的に与え、センサレスに達成する。SMA アクチュエータは、手先位置で V 字に折り返す構造に配置し (図 1)、折り返し角調整によりヤコビ行列を可変し、系の剛性帯域を幾何学的に調整する。角度調整は、平行リンクを用いた機構により単一アクチュエータで高精度に達成する。したがって、マルテンサイト変態/逆変態は位置制御のみへ用いることができる。

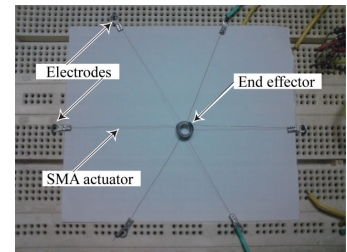


図 1. V 字 3 本 SMA システム

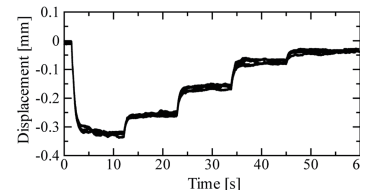


図 2. 位置制御結果 (RSJ2011)

3. 実験方法と結果

図 2 は目標位置をステップ状に可変した際の位置制御結果 (5 試行) であり、目標位置でのヤコビ行列のみで位置制御可能であることを示す。図 3 は手先を静止した状態でそれぞれの V 字角の二等分線方向へ手先変位を与えた際の反力であり、V 字角はそれぞれ 30、60、120[deg]である。このとき、呈示場は異方的に可変であることが分かる。図 4 は本原理に基づく可変剛性機構であり、図のように機構を可変し剛性調節できる (図 5a→b→c)。

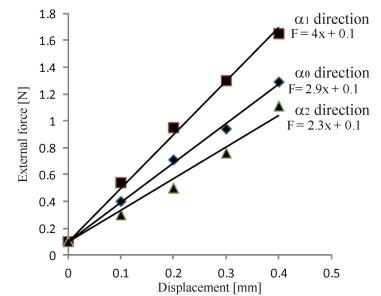


図 3. 剛性制御結果 (SICE2012, 55th 自動制御連合講演会)

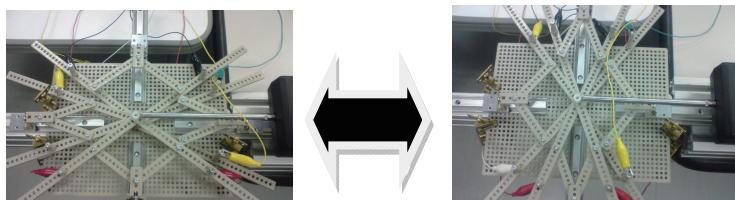


図 4. V 字 SMA による可変剛性機構 (RSJ2012, SI2012)

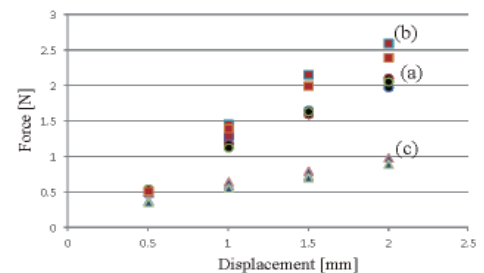


図 5. 可変剛性機構による剛性制御結果

4. まとめ

本研究では、SMA を用いた拮抗腱駆動系の位置と剛性制御法を述べた。位置制御はヤコビ行列のみを用い、剛性調節は機構的に達成する。したがって、通電加熱による諸作用は全て位置制御のみへ用いることができるため、簡便で精度良い制御が達成できる可能性を持つ。

*1)首都大学東京