

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：50104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04301

研究課題名(和文) 圧電フィルムによる形状変形を活用した柔軟マニピュレータの省エネルギー駆動法の確立

研究課題名(英文) Development of Energy-Saving Driving Method for a Flexible Manipulator Using Shape Deformation by Piezoelectric Film

研究代表者

阿部 晶 (Abe, Akira)

旭川工業高等専門学校・システム制御情報工学科・教授

研究者番号：30313729

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、サーボモータと圧電フィルムの2つのアクチュエータから構成される1リンク柔軟マニピュレータの位置決め制御問題を扱い、省エネルギー、かつ、残留振動を抑制させる新たなフィードフォワード制御法を提案した。そして、シミュレーションおよびモデル実験を実施し、提案手法の有効性を検証した。この検証から、サーボモータの巡回軌道と圧電フィルムの入力電圧波形の同時最適化は、サーボモータの単体駆動よりも省エネルギー化が図られることを確認した。ゆえに、2つのアクチュエータの駆動による省エネルギーフィードフォワード制御法を確立することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低剛性なロボットマニピュレータを柔軟マニピュレータとして扱い、その振動制御に関する研究が国内外で盛んに行われている。しかしながら、そのほとんどが振動抑制のみに着目しており、省エネルギー化との両立を目指したフィードフォワード振動制御に関する研究は充分になされていない。したがって、本研究の成果である圧電フィルムとサーボモータの2つのアクチュエータによるさらなる省エネルギー駆動と振動制御の両立は、産業用ロボット等の省エネルギー化に寄与できるといえよう。

研究成果の概要(英文)：This study deals with the positioning control problem of a one-link flexible manipulator consisting of two actuators which are a servomotor and a piezoelectric film, and then proposes a new feed-forward control method to suppress simultaneously the driving energy and residual vibration. Simulation and experiments were performed to verify the effectiveness of the proposed method. From this verification, it was confirmed that simultaneous optimization of the trajectory of servomotor and the input voltage of the piezoelectric film saves more energy than the only optimization of the trajectory. Therefore, we were able to establish an energy-saving feedforward control method by driving two actuators.

研究分野：ロボティクス, 知能機械システム

キーワード：柔軟マニピュレータ 圧電フィルム 振動制御 フィードフォワード制御 省エネルギー

1. 研究開始当初の背景

近年の産業用ロボット等で広く用いられるマニピュレータは高速駆動が求められている。一方、高速駆動に伴い、望ましくない振動が生じてしまう。このような観点から、弾性変形を考慮したロボットマニピュレータの振動制御に関する研究が盛んに行われている。一方、そのほとんどが振動抑制のみに着目しており、省エネルギー化との両立を目指したフィードフォワード振動制御に関する研究は充分になされていない。また、日本国政府は2018年6月に「未来投資戦略2018」と題した成長戦略を発表し、エネルギー転換・脱炭素化に向けたイノベーションの推進を掲げている。ここで、パリ協定を踏まえて温室効果ガスの国内での大幅削減を目指すとともに、世界全体の排出削減に最大限貢献することを目標としている。ゆえに、ロボットマニピュレータのさらなる省エネルギー駆動の実現は、ものづくり立国の我が国においてニーズの高い課題といえよう。

2. 研究の目的

本研究では、2つのアクチュエータの駆動から内在する柔軟性を積極的に活用することで、柔軟マニピュレータの省エネルギー駆動におけるブレークスルーを創出することを目的とする。具体的には、サーボモータと貼付された圧電フィルム(MFC)の2つのアクチュエータから構成される柔軟マニピュレータのPTP(Point-To-Point)制御問題を扱い、省エネルギー、かつ、残留振動が抑制させる新たなフィードフォワード制御法を確立させる。

3. 研究の方法

(1) 実験装置の開発と数学モデルの導出

開発した1リンク柔軟マニピュレータの実験装置の写真を図1に示す。長さ×幅×厚さ = 510 mm×64 mm×1 mmの真鍮製のはりを柔軟マニピュレータとして用い、固定端から16 mmの位置の片側に圧電フィルムを貼付した。圧電フィルムとしては、柔軟な性質を有するMacro Fiber Composite (MFC: M-8557-P1)を使用した。この実験装置における柔軟マニピュレータのモデルを図2に示す。ここで、 θ および w はそれぞれマニピュレータの旋回角、変位である。このモデルから理論解析を実施し、柔軟マニピュレータの運動方程式を導出した。得られたマニピュレータの運動方程式のパラメータを、開発した実験装置による同定実験から決定した。

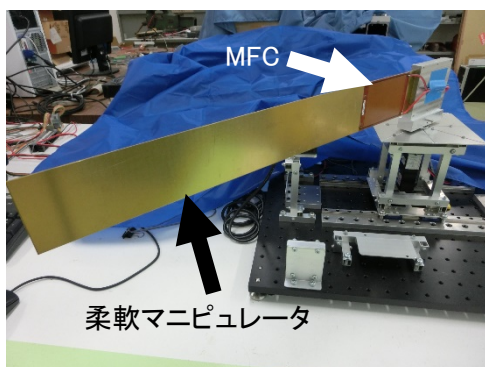


図1 実験装置の写真

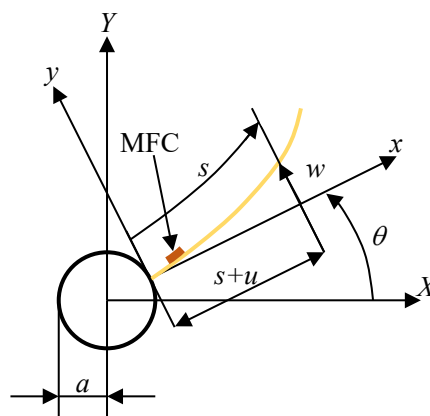


図2 柔軟マニピュレータのモデル図

(2) 省エネルギーフィードフォワード制御の確立

柔軟マニピュレータを指定された駆動時間 T_E で目標角度 θ_E まで回転させる PTP 制御問題を扱った。そして、位置決め後に発生する残留振動を抑制させ、かつ、駆動エネルギーを最小化する2つのアクチュエータの動作計画を実施した。具体的には、評価値として旋回開始から位置決

め後 1 s までのモータの駆動トルクの総和を採用し、メタヒューリスティクスに基づく最適化手法から圧電フィルムへの入力電圧波形と回転関節角の軌道，すなわち，動作の最適化を試みた。

4. 研究成果

提案手法の省エネルギーフィードフォワード制御のシミュレーションと実験結果の比較を図 3 に示す．図(a), (b), (c)および(d)はそれぞれマニピュレータの旋回角速度，マニピュレータ先端の変位，圧電フィルムへの入力電圧，モータの駆動トルクを示している．駆動条件は目標角 $\theta_E = \pi/4$ rad，位置決め時間 $T_E = 1.0$ s を採用している．この図からシミュレーションと実験結果は十分に一致しており，圧電フィルムを貼付した柔軟マニピュレータのモデリングが適切であることが認められる．マニピュレータ先端の変位の時系列データである図(b)に示されるように，提案手法では残留振動が完全に抑制されており，2つのアクチュエータの用いた振動制御が効果的であることがわかる．

次いで，本手法の省エネルギー効果について検討する．表 1 は 3 つの駆動条件($T_E = 0.9$ s, $\theta_E = \pi/4$ rad)，($T_E = 1.0$ s, $\theta_E = \pi/4$ rad)，($T_E = 1.1$ s, $\theta_E = \pi/2$ rad)において駆動エネルギーの実験値を比較したものである．表中の従来手法は圧電フィルムを用いず，マニピュレータの旋回軌道のための最適化の結果である．なお，実験結果から駆動条件($T_E = 0.9$ s, $\theta_E = \pi/4$ rad)，($T_E = 1.1$ s, $\theta_E = \pi/2$ rad)においても両手法とも残留振動が抑制されていることを確認している．表 1 に示されるように，全ての駆動条件において提案手法のものは従来手法よりもその値は小さく，エネルギー削減効果が表れている．したがって，提案手法は残留振動を抑制するとともに，さらなる省エネルギー化が図られるといえる．

本研究では，サーボモータと貼付された圧電フィルムの 2 つのアクチュエータから構成される柔軟マニピュレータの PTP 制御問題を扱い，新たな省エネルギーフィードフォワード制御を提案した．シミュレーションおよび実験結果からモータの単体駆動の最適化よりも，圧電フィルムへの入力電圧波形とモータの旋回駆動の同時最適化の方が，省エネルギー化が図られることを明らかとした．ゆえに，柔軟マニピュレータの位置決め制御において，駆動中の変位を巧みに作用させると省エネルギー化が図られるという新たな知見が得られた．

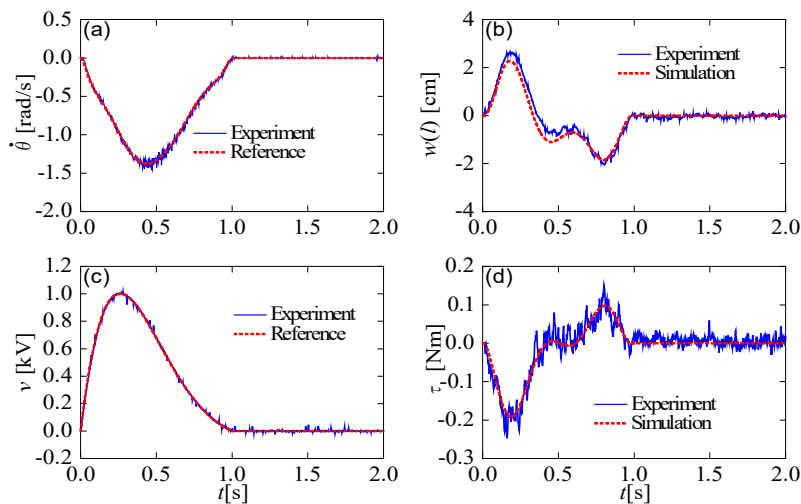


図 3 提案手法のシミュレーションと実験結果の比較

表 1 駆動エネルギーの比較 [J]

θ_E [rad]	T_E [s]	従来手法	提案手法
$\pi/4$	0.9	6.23×10^{-2}	5.85×10^{-2}
$\pi/4$	1.0	5.35×10^{-2}	5.09×10^{-2}
$\pi/2$	1.1	1.73×10^{-1}	1.60×10^{-1}

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 阿部 晶
2. 発表標題 MFCを貼付した柔軟マニピュレータの位置決め制御
3. 学会等名 日本機械学会Dynamics and Design Conference 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部 晶
2. 発表標題 圧電フィルムを活用した柔軟マニピュレータの新たなフィードフォワード振動制御
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部 晶
2. 発表標題 圧電フィルムを貼付した柔軟マニピュレータのフィードフォワード振動制御
3. 学会等名 第7回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------