

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 3 月 31 日現在

機関番号：13904

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760194

研究課題名（和文）

複数の IPMC の協調による応答緩和特性の影響の軽減とその小型グリッパへの応用

研究課題名（英文）：Suppression of relaxation phenomenon by cooperative control of multiple IPMC actuators and the application for the gripper

研究代表者

佐野 滋則（SANO SHIGENORI）

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：10321770

研究成果の概要（和文）：

複数の IPMC(高分子アクチュエータの一種)を使用し協調させることで、IPMC が持つ応答緩和特性の影響を軽減することを提案した。2つの方法(ゆらぎ成分追加型, 交替型)を提案し, その有効性を確かめた。その結果, ゆらぎ成分追加型では, 一定の力を保持する時間が増加することが確認された。交替型では, シミュレーション上では無限に保持することが可能であったが, IPMC が持つ逆応答の影響のため, 改良が必要であることがわかった。

研究成果の概要（英文）：

This paper presents a method to improve the IPMC relaxation phenomenon. To reduce the relaxation phenomenon, I propose a method of by coordinating work of multiple IPMC actuators. I propose two types of controller design: fluctuation type and switching type. Simulation and experiment at result confirm the effectiveness of the proposed method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：高分子アクチュエータ, IPMC, 人工筋肉, 協調制御

## 1. 研究開始当初の背景

ロボットが数多く開発されてきており, 制御工学の分野でもそのようなロボットの制御に関する研究が進められてきた。また近年, 電場応答性高分子 (EAP) を利用した人工筋肉の開発も進められてきた。EAP は電圧で制御可能で, ピエゾなどの圧電素子に比べ, 非常に大きなひずみを生ずる。本研究では, EAP のひとつである IPMC を使用すること

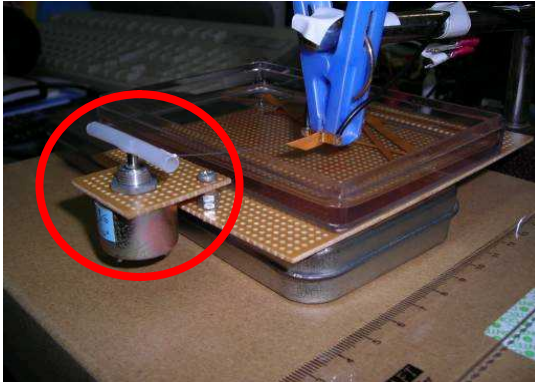
とする。IPMC は比較的安価に作成することができ, パワーがないものの比較的高速な応答性を有し, 低電圧駆動することができるという利点があり, 様々な分野での利用が期待されており, 実際に様々な機構が提案されている。

しかし, IPMC は一定変位を保持し続けるのは困難であるという問題点を有する。これは, 現状のままでは位置決め制御に IPMC を

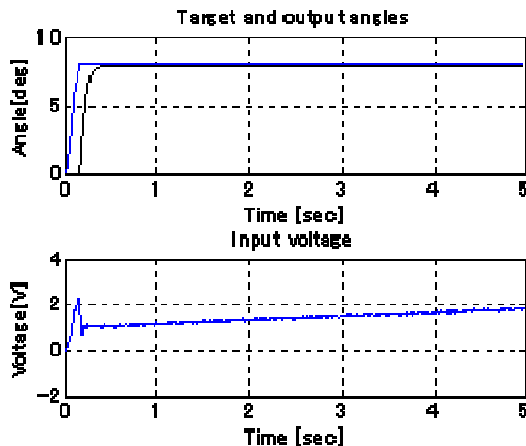
利用することはできないことを表しており、解決しなければならない問題である。しかしながら、これまでの IPMC に関する研究は、IPMC を使った様々な機構に関する研究が主であり、位置決め制御や力制御などを考えているものは少ない。

## 2. 研究の目的

本研究では一定変位を保持し続けるのが困難であるという IPMC がもつ問題点を機構を工夫することで回避することを目指す。この問題点は、IPMC がもつ応答緩和特性に起因する。応答緩和特性とは、IPMC に一定電圧をかけ続けると、IPMC がコンデンサのような電気特性を持つために次第に電流が流れなくなり、変形の担い手であったイオンがもとの位置に戻ろうとすることにより生じ、IPMC の先端に発生する力や変位が減少するという特性である。下の写真の機構に対して、丸部分の角度をポテンショメータで測定し、PI 制御を用いて、一定角度に保つ実験をおこなった。



その結果を以下に示す。上図は目標角度と実際の角度、下図は指令電圧を表す。これら

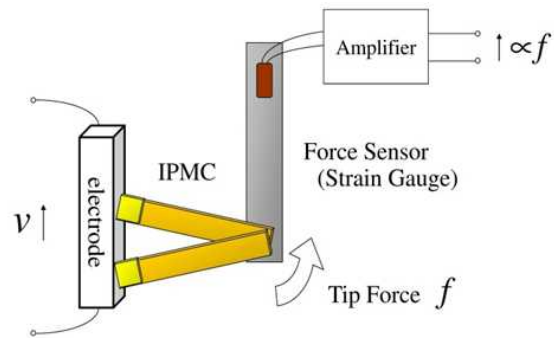


の図でわかるように、目標角度に達した後、目標角度を維持しているものの指令電圧は徐々に上昇する傾向にあった。さらに長時間維持しようとする、制限電圧を越えてしまう。これが応答緩和特性の影響であり、この影響を軽減することが本研究の目的で

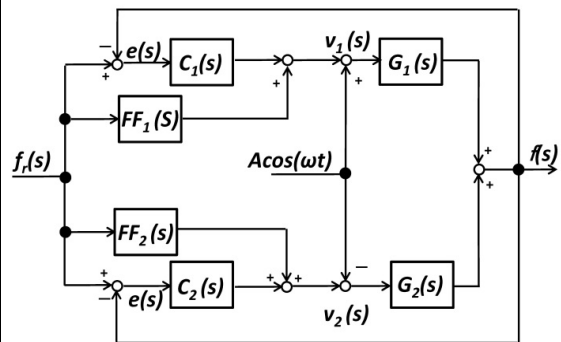
ある。

## 3. 研究の方法

本研究では、下の図のような実験装置を製作

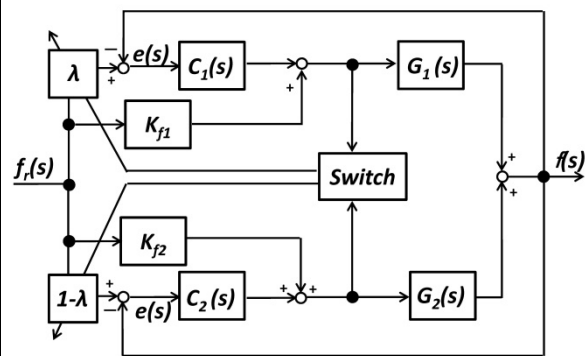


し、2枚の IPMC が発生する力の合力を測定する。この実験装置を用いて、一定の発生量を維持する実験を行った。この実験装置を使用し、2つの方法(ゆらぎ成分追加型, 切替型)で一定の発生力を維持させるシミュレーションと実験を行った。



まず、ゆらぎ成分追加型のブロック線図を以下に示す。目標値に応じたフィードフォワード入力 (FF1, FF2) に、実際の発生力と目標値の差をもとに PID 制御器によって算出されたフィードバック入力を加えることで指令電圧を求める。得られた信号に、ゆらぎ成分である余弦波の信号を 2 枚の IPMC に逆位相に与える。

一方、切替型のブロック線図を以下に示す。

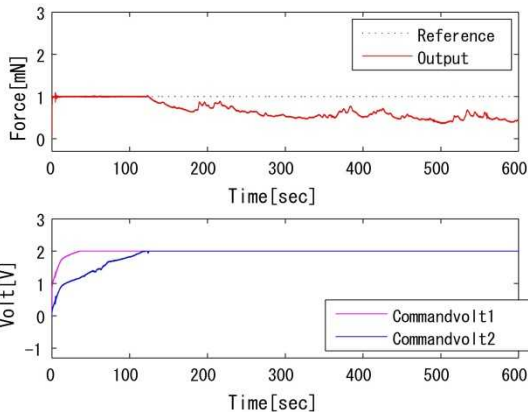


スイッチング機構を用いて、 $\lambda$  を 0 と 1 の間

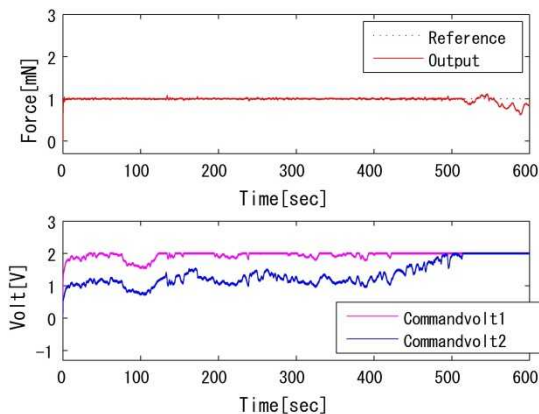
で変化されることで、 $\lambda=0,1$  の時は 1 枚の IPMC のみで力を発生される。その間では、2 枚の IPMC から発生する力の合力が、常に一定の発生力を維持するようにスケジューリングを行う。

#### 4. 研究成果

ゆらぎ成分追加型では、2 倍以上の維持時間を確保できた。ゆらぎ成分を追加せず、2 枚の IPMC の合力が 1mN となるように制御した結果を下図に示す。図のように、毎回 100



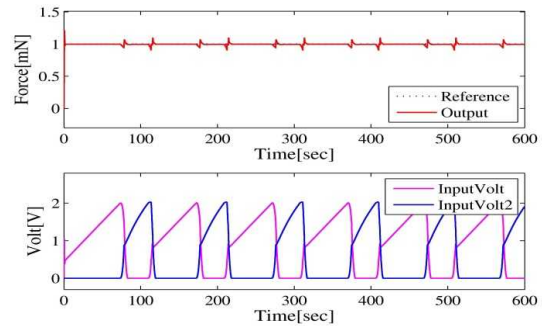
秒程度しか保持できていなかった。次に、ゆらぎ成分を追加した場合の結果を以下の図に示す。加えたゆらぎ成分は 100Hz で振幅が 0.02V である。その結果、図のように 500 秒



程度保持することができることもあった。与えるゆらぎ成分の振幅や周波数の依存性を調査するために変化させたところ、それらの大きさによらず、保持時間に関して、ある程度の効果は得られる。しかし、周波数の小さい時や振幅が大きい場合には、2 枚の IPMC の個体差による不確かさの影響で、実際の発生力がゆらぎ成分の影響を受けてしまい、ゆらぎ成分に依存した振動を起こしてしまう。2 枚の IPMC に加えるゆらぎ成分を振幅を変えることで、調整が可能であるが、この影響をよりなくするためには、IPMC の周波数特性において、ゲインの小さな高周波の信号や、実際の運動に与える影響が小さな振幅の小さい信号が望ましい。

一方、切替型において、シミュレーション

した結果を以下の図に示す。シミュレーション



結果においては、切替時に若干ノイズがのるものの、一定力を維持することが可能である。しかし、実験では時間が経過するごとに切替のタイミングが早くなり、最終的には保持時間の向上にはつながらなかった。切替に要する時間や切替時の  $\lambda$  の形状を変えても効果は得られなかった。さらに調査したところ、これは、IPMC が持つ逆応答特性に起因するものだと考えられる。そのため、さらなる制御系の改良が必要だと考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 佐野 滋則, 高木 賢太郎, 佐藤 侑, 内山 直樹, イオン導電性高分子アクチュエータのロバスト PID 力制御, 日本機械学会論文集 C 編, 査読有, 第 78 巻, 2012, 82-91

[学会発表] (計 5 件)

- ① Kentaro Takagi, Suguru Hirayama, Shigenori Sano, Naoki Uchiyama, Kinji Asaka, Reduction of the stress-relaxation of IPMC actuators by actuating input and with a cooperative control Robust PID force control of IPMC actuators, SPIE Smart Structures/NDE, 2012 年 3 月 14 日, San Diego, America
- ② 平山 卓, 佐野 滋則, 高木 賢太郎, 内山 直樹, 複数の IPMC アクチュエータの協調制御による応答緩和特性の抑制, 第 12 回システムインテグレーション部門講演会 (SI2011), 2011 年 12 月 24 日, 京都大学(京都)
- ③ 平山 卓, 佐野 滋則, 高木 賢太郎, 内山 直樹, IPMC アクチュエータの協調制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011, 2011 年 5 月 28 日, 岡山コンベンションセンター(岡山県)

④ 平山 卓, 佐野 滋則, 高木 賢太郎, 内山 直樹, IPMC アクチュエータのロバスト PID 位置制御, 第 11 回システムインテグレーション部門講演会 (SI2010), 2010 年 12 月 23 日, 東北大学(宮城県)

⑤ Shigenori Sano, Kentaro Takagi, Susumu Sato, Suguru Hirayama, Naoki Uchiyama, Kinji Asaka, Robust PID force control of IPMC actuators, SPIE Smart Structures/NDE, 2010 年 3 月 12 日, SanDiego, America

[その他]  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐野滋則 (SANO SHIGENORI)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・

助教

研究者番号 : 10321770

(2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

(3) 連携研究者

( )

研究者番号 :