

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K04577

研究課題名(和文) 深海用ソフトロボティクスの実現へ向けて -非線形同期制御を使った人工筋肉の研究-

研究課題名(英文) Development of soft robot for the deep sea - using non-linear control for the artificial muscles -

研究代表者

田原 淳一郎 (Tahara, Junichiro)

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：30280366

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：非線形同期を使った人工筋肉の制御について研究を実施した。人工筋肉は構造が簡単である事、柔らかい物体を保持する事が容易に出来るため多様な手法が提案されている。しかし制御は非線形性が高く問題が多い。だが、実現出来れば海洋機器や海洋ロボットへ応用が期待される。そこで今回は人工筋肉を数種作成しこれらを非線形同期を用いて周期的な運動を実現する手法を提案する。今回は非線形同期としては Van del Pol 方式を採用した。それぞれに筋肉を同期する手法を調査した。エアシリンダーを使った手法においては問題無く同期が可能であった。一方で人工筋肉ではセンサの問題があり実現出来ていない。現在も研究は進行中である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

シリコンで作成された人工筋肉をエア・水圧等を使った制御でロボットハンドや脚・フィン等を実現するための制御手法についての研究を実施した。シミュレーションにおいては非線形同期を使って三相同期や同期・逆相同期等が発生する事を確認できた。また実験装置としてエアシリンダーで閉リンクを構成しシミュレーションと同様な動作を実現できた。次にマッキベン型の人工筋肉が生産性が良いことに注目し基礎試験を実施した。本研究は将来において活躍が期待される水中ロボットのアクチュエータの制御手法として期待できることが示された。

研究成果の概要(英文)：We conducted research on the control of artificial muscles using nonlinear synchronization. Various methods have been proposed to control artificial muscles because they are simple in structure and can easily hold soft objects. However, control is highly nonlinear and problematic. However, if it can be realized, it is expected to be applied to marine equipment and marine robots. Therefore, we propose a method of creating several types of artificial muscles and realizing periodic motion using nonlinear synchronization. This time, the Van del Pol method was used for nonlinear synchronization. We investigated the method of synchronizing the muscles with each method. The method using air cylinders was able to synchronize the muscles without any problem. On the other hand, the artificial muscle method has not been realized due to sensor problems. The research is still ongoing.

研究分野：海洋ロボティクス

キーワード：非線形同期 人工筋肉 ソフトロボティクス Van del Pol 振動子

1. 研究開始当初の背景

非線形振動子を連結させ周期的な振動を引き起こし人工筋肉を動作させる。この人工筋肉を用いて水中ロボットのフィンやロボットハンド等へ活用し新しい水中アクチュエータとしての活用を検討する。ソフトロボットは一般のモータ等を使ったロボットと異なり制御が困難になると考えられるため非線形同期を使った新たな手法を提案する。

2. 研究の目的

水中用のアクチュエータをソフトロボティクスで実現するための基礎的な知見を得る。非線形同期を使い人工筋肉を複数の振動子で動作させる手法についての調査研究を行う。

3. 研究の方法

まず、非線形同期を用いて複数の振動子を同期する手法を開発する。Van der Pol (VDP) 振動子を用いる。また、以下の3つの手法で実施を行った。

1) 非線形振動子の接続と同期

これらの振動子を複数つないだ場合における接続の方法を調査する。数式的には連続値を用いた情報のリンクが望ましいが今回は水中での応用を考えセンサや電子機器で容易にデータを扱う0,1のON・OFF信号で非線形振動子が同期するか確認する。ここではVDPを用いる。次に作成した振動子を用いて接続し同期を行う手法としてSWARM的に振動子が同期する振動子を選択して行く手法について調査した。シミュレーションで2つの移動ロボットにVDPと同期信号を使った時の行動を確認する。

2) 空気圧制御と非線形同期

エアシリンダを用いて非線形同期で制御可能か調査する。これは制御しにくい人工筋肉ではなく制御が実施しやすいエアシリンダとバルブで実施する。

3) ソフトアクチュエータの製作

人工筋肉としてシリコンチューブを使ったマッキベン型の人工筋肉とシリコン素材で自由な形状が可能なシリコンゴムモールドで作成し調査を行う

4. 研究成果

1) 非線形振動子の接続と同期

ここではVDPを用いた制御手法を用いて同期試験をおこなった。VDPとパルス信号をVDP間の情報とする事でシミュレーションと実験を行った。その結果、両方で同期を確認する事が出来た。また本手法で人工筋肉で同期をする際に自律的にソフトアクチュエータを動作させる事が可能かを調査したが良好な結果が得られなかった。一方で本機構を移動体の衝突防止に使うと良好な結果を得ることができた。(論文、図1)

また、そのほかにも複数の移動体の群れ制御の際にグループ化して粘菌の動作が可能になるかシミュレーションを実施した。その結果、複数の異なったパラメータの非線形振動子が同期していき群れをなすこと等が確認できた。(論文、図2)

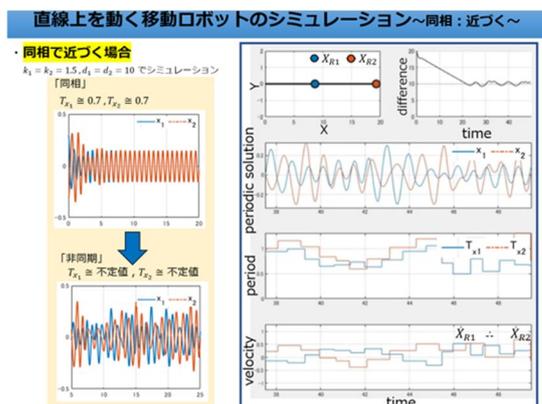


図1 パルス結合VDPを用いた衝突回避

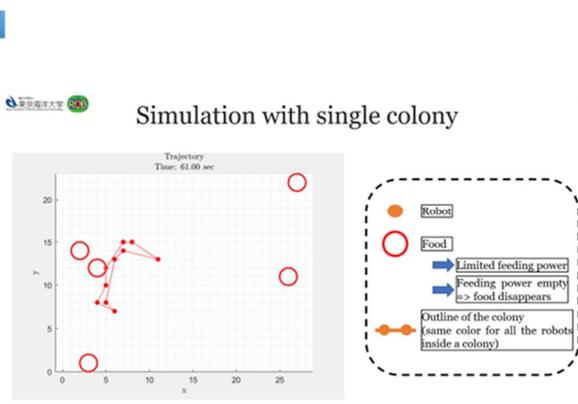


図2 VDP振動子の群れ生成シミュレーション

2) 空気圧制御と非線形同期

非線形同期を使って閉リンクの動作で同期するか否かを確認する。3本のエアシリンダで構成された三角形の閉リンクを用いる。このときセンサとしてリニアセンサを用いた。このときエアシリンダの非線形性に注目し制御を行った。アクチュエータの制御手法や構成は論文を基本とした。

このとき非線形振動子を三相同期モード、同相同期モードで同期が可能か調査した。シミュレーションと実験装置で試験した結果。その結果すべてのモードでエアシリンダを同期する事が可能になった。(図3)

このことはエアシリンダ(図4)を非線形同期により多様な周期運動を制御出来ることが理解出来た(図5)。これによりリンク状に非線形振動子を接続するだけでなく、閉リンクでも可能である事が可能であるため、ロボットの脚や腕・指といった構造を実現出来ることが確認できた。

VDP振動子

各シリンダに対応するVDP振動子の式は以下のものである。

$$\ddot{x}_n - \varepsilon_n(1 - \dot{x}_n^2)\dot{x}_n + \omega_n^2 x_n + Km_n u_{np} = 0$$

この時外部からの入力を u_{np} とすると

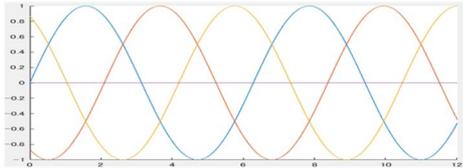
$$u_{n0} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^2 (\text{sgn}(\overset{\text{シリンダの長さ(長短)}}{L_n(t) - 75}) - \text{sgn}(\overset{\text{シリンダの長さ(長短)}}{L_i(t) - 75})) \text{ 三相モード}(p=0)$$

$$u_{n1} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^2 (\text{sgn}(\overset{\text{シリンダの動き(伸縮)}}{L_n(t) - L_n(t-1)}) - \text{sgn}(\overset{\text{シリンダの動き(伸縮)}}{L_i(t) - L_i(t-1)})) \text{ 同相モード}(p=1)$$

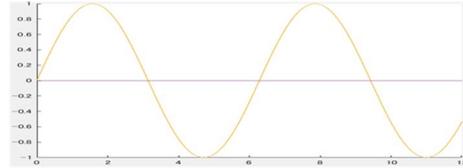
となる。

ここでの三相とはそれぞれの振動子の変位の和が0に近づくような同期方法である。具体的には3相交流のようなそれぞれの波の位相が等しくずれているような同期のことである。

逆に同相の場合、それぞれの振動子の変位の差が0に近づくような同期方法である。



三相(p=0) 変位の和(紫)が0



同相(p=1) 変位の差(紫)が0

図3 VDPによるエアシリンダの同期制御手法

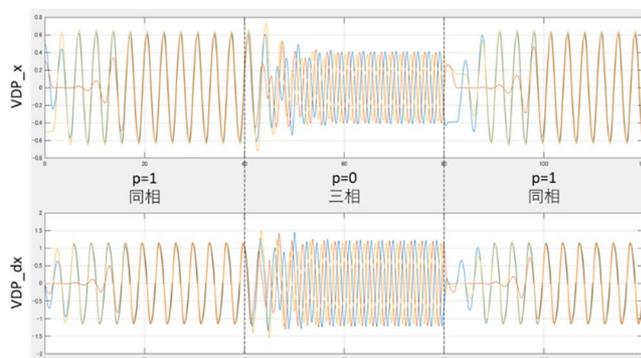
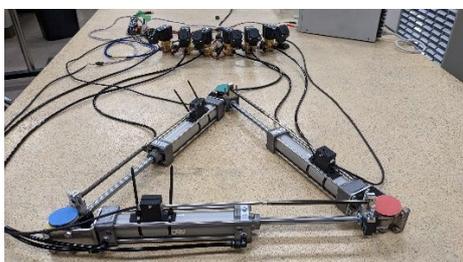


図4 エアシリンダ リンクロボット 図5 同相、三相、同相と同期モードを変化させた場合

3) ソフトアクチュエータの製作

人工筋肉に適したシリコン筋肉を調査した、3Dプリンタでシリコン型を作成しケストラルグリッパ(図6)を作成した。シリコンゴムモールド製の人工筋肉は任意の形状を作成出来る反面、製作に時間がかかる事が確認できた。

本研究で複数の人工筋肉を制御するには効率の良い作成方法が重要になる。

よって、シリコンチューブを使ったマッキベン型的人工筋肉(図7)を製作する手法に切り替えた。マッキベン型は曲げ方向や伸縮方向の形状を決定する要素にスリーブを用いる必要がある。多様なスリーブを作成調査したが最も良好な結果を得たのは低伸縮素材にナイロン布、高伸縮素材に1Wayタイプの平織りゴムを組み合わせた(図8)のタイプであった。これらの素材を縫い付け筒状にした物の中にシリコンチューブを入れ、両端をチューブ継ぎ手で接続する。この改良型マッキベン型人工筋肉は容易に長さや接続方法を変更出来る事が確認出来た。このときの実験配管図を図9に示す。

現在、マッキベン型的人工筋肉を3つ作成し2)で行った手法で実験を実施中であるが曲げ伸縮を適切に計測するセンサが無いため未だ非線形同期を使った制御までは実現出来ていない。しかし、マッキベン型人工筋肉は容易に製作が可能である。現在は作成したマッキベン型的人工筋肉を3本結合し閉リンクを作成し任意の方向に制御可能なアクチュエータを作成中である。

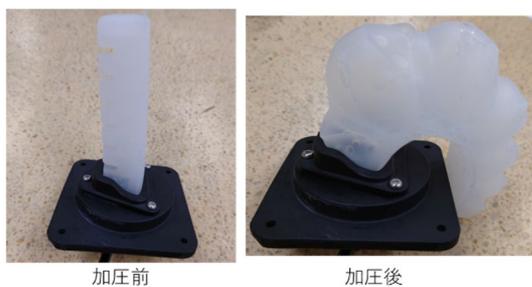


図6 ケストラルグリッパ

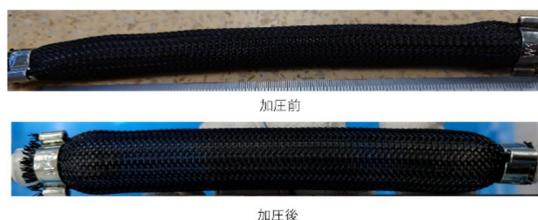


図7 マッキベン型人工筋肉

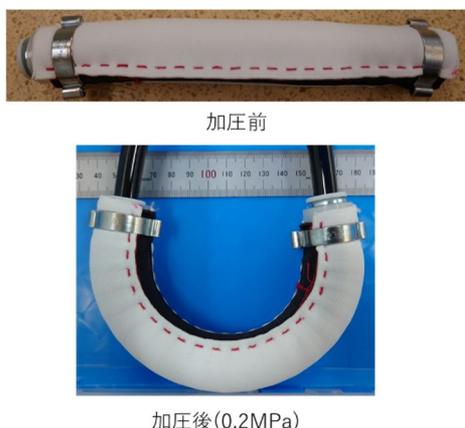


図8 改良型マッキベン型人工筋肉

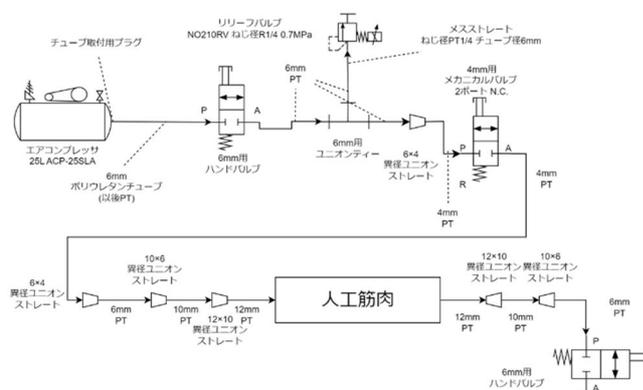


図9 実験用配管図

5. 論文等

[論文](1報)

M.Koike, H.Ginya, F.Zhang, J.Tahara, Three-Axis Vibration Suppression Control Of Pneumatic Isolation Table With Single Servo Valve Using Cyclic Control Input, Proc. of The IASTED International Conference on Mechatronics and Control (MC2019), 2020/01 MC2019, DOI 10.2316/P.2019. 860-006

[学会発表](2報)

小野聡太郎, 田原淳一郎, 小池雅和, 加藤哲, 梶原秀一, パルス結合型 van der Pol 方程式を用いた移動ロボットのシミュレーション、第8回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム、2021年3月、3E2-3

Julie Fromager, Junichiro Tahara, Morito Makoto and Shun Fujii, Simulation of swarm robot synchronization using VDP oscillator, AROB-ISBC-SWARM2023, 2023/1, pp.873-878

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田原 淳一郎 (Tahara Junichiro) 東京海洋大学 学術研究院 教授

(2) 研究分担者

小池 雅和 (Koike Masakazu) 東京海洋大学 学術研究院 准教授

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 M.Koike, H.Ginya, F.Zhang, J.Tahara	4. 巻 MC2019
2. 論文標題 Three-Axis Vibration Suppression Control Of Pneumatic Isolation Table With Single Servo Valve Using Cyclic Control Input	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of The IASTED International Conference on Mechatronics and Control (MC2019)	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2316/P.2019.860-006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 小野聡太郎, 田原淳一郎, 小池雅和, 加藤哲, 梶原秀一
2. 発表標題 パルス結合型 van der Pol 方程式を用いた移動ロボットのシミュレーション
3. 学会等名 第8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 2021年

1. 発表者名 Simulation of swarm robot synchronization using VDP oscillator
2. 発表標題 Julie Fromager, Junichiro Tahara, Morito Makoto and Shun Fujii
3. 学会等名 AROB-1SBC-SWARM2023（国際学会）
4. 発表年 2023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
研究分担者	小池 雅和 (koike masakazu) (70756337)	東京海洋大学・学術研究院・准教授 (12614)	

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
---------	---------