

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14681

研究課題名（和文）振動子ネットワークを用いたファンクショナルリズムな振動制御系設計

研究課題名（英文）Functionalistic vibration control system design using oscillator network

研究代表者

本宮 潤一（Hongu, Junichi）

鳥取大学・工学研究科・講師

研究者番号：80781690

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：振動制御問題に適した振動子とそのネットワーク構造を考察し、複雑な振動応答に同期するためには、振動子どうしが結合したマクロな集団よりも、振動子単体が多くの素子で構成されるミクロ構造が重要であることを明らかにした。また、ミクロ構造を持つ振動子の設計法を整理し、二つの論文を国際誌に掲載した。一つは閉ループ内の振動子の本質的な役割、もう一つは振動子と分数階微分の関係について議論したものである。さらに、振動子ネットワークによる振動制御を実装するための振り子装置を製作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果を通して、システム設計を構造-機能主義的に行う場合、その機能や用途に応じて、その構造を観察する尺度（ミクロからマクロまで）を変更する必要があることがわかる。これは、工学上の多くの問題に当てはまる法則であり、複雑かつ巨大な系の根幹を理解するために、システム設計者がその尺度をうまく調整するが重要であること示唆している。これが本研究の学術的意義である。

研究成果の概要（英文）：Considering a suitable network structure for vibration mitigation problems, we found that the structure of oscillator networks does not have a macro-structure, but a single oscillator that composes the network should have a micro-structure for the problems. Then, we summarized the design method of the oscillator having the micro-structure and published two papers in an international journal: one discusses the essential role of an oscillator in a closed-loop system, and another one discusses the relationship of an oscillator and fractional derivative. Furthermore, to install the designed oscillator network, the experimental apparatus of the pendulum system was manufactured.

研究分野：機械力学

キーワード：振動制御 非線形振動子 ネットワーク構造

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、機械・構造物の設計は本来の機能の加えて、堅牢性や対故障性が求められており、システムは巨大かつ複雑になっている。一般に、こうしたシステムの設計には、技術バラシによる局所的な最適化手法あるいは費用対効果を考慮した大域的な最適化手法が適用されるが、一度最適化されたシステムを拡張・スリム化することは困難である。したがって、技術者が巨大で複雑なシステム設計に携わるとき、その基幹を理解するためのまったく別の視点が必要である。

(2) 新しい視点として構造-機能主義（ファンクショナリズム）があり、これは身分階級や三権分立などの比較的变化しにくい社会構造が社会全体にどのように作用しているかを解明する、ミクロからマクロまで社会の複雑性を把握するための統一的な枠組みである。また、こうした社旗構造を表現する手法としてネットワークが利用される。よって、設計者が、構造-機能主義的に、システム内の特定のネットワーク形状からその機能を連想することができれば、システムの根幹への理解を促進させ、システム内のどこを増やしどこを削るかを見出す手助けとなる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、動吸振器を用いた振動制御問題を通して、所望の機能を持ったネットワーク構造を技術者自身が自由にデザインするための基盤を築くことである。ネットワーク構造とは頂点と枝のみで構成される比較的变化しにくいネットワークの骨格のことであり、ここでは、機能を具現化する機械装置として動吸振器を用い、ネットワーク構造と制振効果(機能)の観点からその制御器設計を試みる。また、本研究では、ネットワークを構成する最小要素として同期特性を有した非線形振動子を用いた。

3. 研究の方法

3年間の研究計画で、振動制御問題を通して、高機能性・多機能性を持った振動子ネットワークの形状を明らかにする。このとき、①高機能性と②多機能性で明らかになったネットワーク形状を部品(パーツ)として捉え、それらを組み合わせることで③拡張性や④堅牢性について議論していく。このとき、振動子ネットワークの最小要素である単一振動子の設計法や振動子ネットワークによる制御の安定性も同時に議論していく。

4. 研究成果

(1) 振動制御問題に適した振動子とそのネットワーク構造を考察し、複雑な振動応答に同期するためには、振動子どうしが結合したマクロな集団よりも、振動子単体が多くの素子で構成されるミクロ構造が重要であることを明らかにした。ここでは、まず、ネットワークを構成する最小要素である単一振動子の設計に取り組み、機械・構造物の種々の振動応答に同期するために、その汎用的な設計手順を確立した。具体的には、あるサイクル運動をする系が1周期間に引き起こすイベント数とそのタイミング(位相)を用いた単一振動子の設計法である。この設計法を適用した結果、イベント数に対応した複数の素子を持つ振動子、すなわち、ミクロ構造を持つ振動子(図1)が生成されることが分かった。したがって、複雑な振動応答と同期するという機能を有した振動子ネットワークは、それ自身がミクロ構造を持つ振動子単体によって構成できることが明らかになった。

(2) ミクロ構造を持つ振動子の設計法を整理し、二つの論文を国際誌に掲載した。一つは閉ループ内の振動子の本質的な役割、もう一つは振動子と分数階微分の関係について議論したものである。

(2)-1 閉ループ内の振動子の本質的な役割【引用文献①】

本研究の目標は振動子ネットワークによる振動制御システムの構築であり、このとき、制御対象と制御器との間で閉ループ系が構成される。一方、この閉ループ系に内包された振動子の本質的な役割や閉ループの安定性は明らかとなっていなかった。そこで、我々は前述のミクロ構造を持つ振動子の素子数を無限大まで考えることで、振動子が信号の瞬時位相と瞬時振幅に関する推定器と同じ働きをすることを証明した。同時に、振動子を含む閉ループの安定性をナイキスト法によって証明した。これにより、振動子ネットワークによる制御システムの理論的な枠組み(位相振幅制御)が確立された。

(2)-2 振動子と分数階微分の関係【引用文献②】

ミクロ構造を持つ振動子を振動制御に用いるとき、その同期特性はイベント数に依存する。一般的な制御においても、連続時間で表現される制御アルゴリズムを離散時間で実装しているが、

時間分解能に対して、位相分解能（イベント数）は非常に少なくなる。そこで、分数階微分を用いて位相分解能を向上させる手法を考案し、数値計算により、分数階微分の効果により、マイクロ構造を持つ振動子の同期特性が改善されることを示した（図 2）。これにより、所望の振動子ネットワークの最小要素としての、マイクロ構造を持つ振動子の設計法が確立された。

(3) ミクロ構造を持つ振動子どうしを結合させたマクロなネットワークの構造設計に取り組んだ。具体的には、ネットワークモデルの一つであるホップフィールド・ネットワークを参考に、パターン選択の機能を有した相互結合型のネットワークを考察した（図 3）。このネットワークは、複数のユニットによって構成され、各ユニットはマイクロ構造を持つ振動子の相互結合によって構成されている入れ子構造を有している。

(4) 振動子ネットワークによる振動制御を実装するための振り子装置を製作した（図 4）。この振り子装置は、振り子回転角に応じてモータによるトルク制御を行う閉ループ系であり、励振制御・制振制御どちらにも対応したものとなっている。この装置は、今後、振り子式のアクティブ動吸振器に改造する予定である。

<引用文献>

- ①Hongu, Junichi, and Daisuke Iba, Nonlinear oscillator design based on phase reduction method for closed loop system, International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, 36(8) (2022), 1958-1997.
- ②Hongu, Junichi, and Daisuke Iba, Relation of nonlinear oscillator design based on phase reduction method and fractional derivative, International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, 36(11) (2022), 2854-2879.

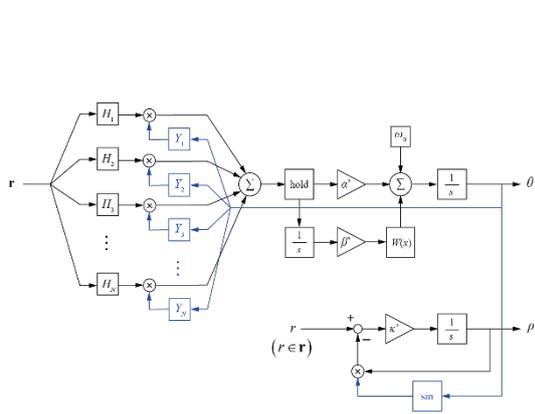


図 1 ミクロ構造を持つ振動子

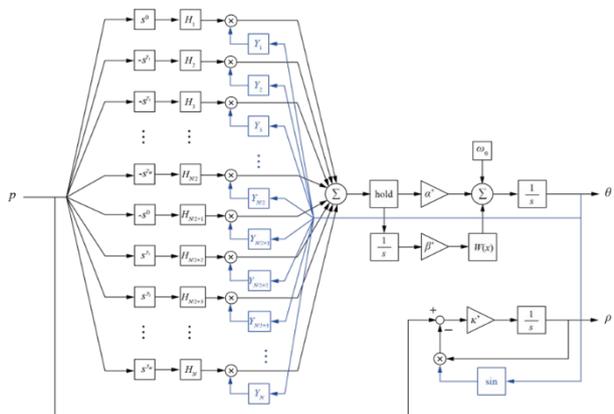


図 2 分数階微分を用いた振動子

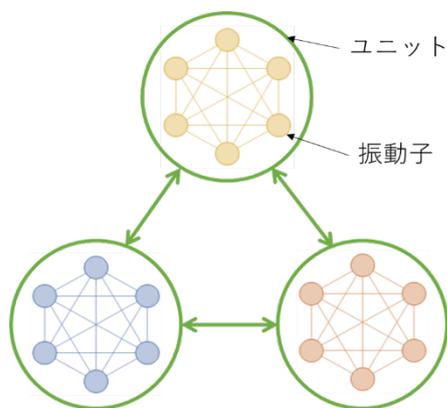


図 3 振動子ネットワーク

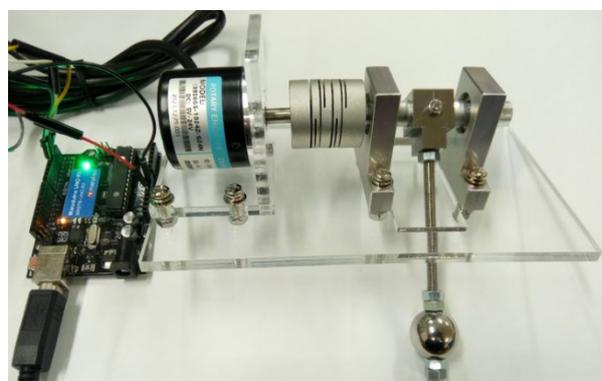


図 4 振り子装置

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hongu Junichi, Iba Daisuke	4. 巻 36
2. 論文標題 Nonlinear oscillator design based on phase reduction method for closed loop system	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Adaptive Control and Signal Processing	6. 最初と最後の頁 1958 ~ 1997
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/acs.3440	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hongu Junichi, Iba Daisuke	4. 巻 36
2. 論文標題 Relation of nonlinear oscillator design based on phase reduction method and fractional derivative	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Adaptive Control and Signal Processing	6. 最初と最後の頁 2854 ~ 2879
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/acs.3488	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------	---------