

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14615

研究課題名（和文）自己組織化により運動形態を自律的に選択可能な多重動吸振器の開発

研究課題名（英文）Dual-dynamic-absorber switching motion patterns using neural network

研究代表者

本宮 潤一（HONGU, Junichi）

鳥取大学・工学研究科・助教

研究者番号：80781690

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、専用にデザインされた神経系によって、自ら運動形態を選択可能な動吸振器の開発を目指すものである。初年度は、二重動吸振器を製作しその動特性を検討した。また、次年度は、2つの運動モードの切り替えを司る神経系をデザインするという課題に取り組んできた。そして、最終年度において、二重動吸振器を対象とし、構造物の振動モードに合わせて動吸振器の2つの運動パターンを決定するという機能を持ったネットワークの骨格を提案した。比較的小規模なネットワークであっても、複雑ネットワークの特徴であるハブが存在し、極めて重要な仕事をするを明らかにしている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、機械装置の知能化を目指し、「自己組織化をいかにして取り込むか」ではなく「自己組織化をいかにデザインするか」にまで焦点を当てるところに意義がある。これにより、自由自在・狙い通りの自己組織化現象をデザインすることが可能になれば、複雑な機構を持つ工作機械・自動車・航空機といった様々な機械への応用が期待でき、本研究の及ぼす工学への影響は大きい。また、これまでに、マルチモード制振には多重動吸振器が有効とされてきたが、受動機構の運動形態の変化に着目した制御手法は存在しない。さらに、外部環境の変化に対して適切な運動形態を選択することで、省エネルギー・高効率なシステムになることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：To switch the motion of the multi-dynamic absorber, this study focuses on the algorithm of gaits of animals. Developing a dynamic absorber, which can switch its motion pattern by using especially designed nerves system is the final goal of this study in the 2017-2019. First year, we have manufactured a dual-dynamic absorber with two-pendulum and discussed its dynamics. Second year, we have attempted to design the nerves system switching two motion patterns of the dual dynamic absorber. Last year, we have proposed a new network structure to install in the controller of the dual dynamic absorber system. This network structure has two-hubs which correspond to two motion patterns, and utilizes the characteristic of a hierarchical network and an interconnection network. As a results of this study, we have cleared that the hubs in a network has important role to motion pattern changes of the dual-dynamic absorber.

研究分野：機械力学

キーワード：機械力学・制御 制振 動吸振器 自己組織化 ネットワーク

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在、高度に発達した産業社会の中で、機械装置の堅牢性・信頼性・メンテナンス性・環境負荷低減に対する要求は増々厳しくなっている。それらの要求を満足するためには、設計段階で可能な限りの状況を想定しておくことは当然のことながら、機械装置の保守点検と外部環境に合わせた適切なチューニングが必要となる。しかしながら、オートメーション化が進む今、専門の技術者がいることは稀であり、アクセス性の面から困難な場合もある。そこで、機械装置には、自らの状態を把握しその行動意思決定する能動的な機能を持たせること、すなわち、知能化が必要になる。

機械装置の知能化に、遺伝的アルゴリズムやニューラル学習など、生物から着想を得た調整手法がある。これらの方法は、ある条件下の単一目的のためには有効であるが、環境適応性や耐故障性にはもろく、拡張性に劣るという問題が残っている。例えば、最適値の計算には時間が掛かるため、機械装置の運転中にパラメータ変動が生じて、すぐにそれに対応することができない。つまり、瞬時の判断が求められる動的制御には不向きである。実際、生物がそれらの優れた性質を持ち合わせているのにも関わらず、我々はそのほとんどを活用できていない。

一方、近年、生物学の分野で、生物の柔軟な動作には脳や細胞が持つ非線形性を持った要素が集団として作り出す動的秩序(=自己組織化)が深く関わっているとされ注目が集まっている。こうした自己組織化が生み出す現象の一つに歩行運動がある。生物はその脊髄に歩行リズムを生成する神経回路網を持っており、筋骨格からの感覚フィードバックに応じてその歩行リズムを変化させることで不確定な路面上を柔軟に歩行し、さらに、その歩容を変更することができる(図1)。

この高い環境適応性は神経回路網を構成する細胞(神経振動子)が引き込みや同期といった非線形性を有していることで説明することができ、それらの性質を工学的に応用することができれば、生物の持つ高機能性・多機能性・環境適応性・耐故障性・拡張性などを機械装置に持たせることができるはずである。

### 2. 研究の目的

本研究は、機械装置の知能化の一環として、自己組織化を古典的な制振デバイスである動吸振器に応用し、その過程として得られる自己組織化をデザインする手法、そして、結果として得られる優れた環境適応性を明らかにすることを目的とする。本研究の成功により、狙い通りの自己組織化現象をデザインすることが可能になれば、動的制御が必要な他の機械装置への応用に期待できる。

### 3. 研究の方法

動吸振器に自己組織化現象を応用し、自己組織化をデザインするための理論体系の構築と工学的応用した際に得られる環境適応性の調査を行うために、本研究は三年間の研究計画を立て、理論に関する情報収集・実験装置の製作、自己組織化のデザイン手法検討・加振実験、システムの諸性質に関する数学的整備・他の機械装置への応用を行っていく。

### 4. 研究成果

#### (1) 初年度

初年度は、複数の運動形態を持つ動吸振器の一例として、振り子式動吸振器を製作しその動特性調査を行った(図2)。この試験機は2つの振り子をバネ連結した構造をしており、片方の振り子が駆動系に結合されており、モータへの入力電圧を周期的に変化させることで、振り子に強制振動を与える。このとき、両振り子の回転角度をロータリエンコーダによって測定する。この動吸振器の特徴は、遅い周期では振り子の運動モードが、早い周期では結合バネの運動モードがそれぞれ生成されるように設計されていることである。製作した実験装置について、運動形態の変化、時系列波形、周波数応答の調査を行った結果、低い周波数から順に同相、反共振、逆位相のモードが生じていることが明らかになった。また、振り子の腕の長さや連結バネの取り付け位置を適切に変化させることで、任意の周波数で任意の運動モードを生成できるようチューニングできることも同時に明らかになった。これらの結果は、運

脊髄の神経回路網

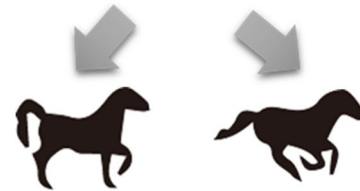
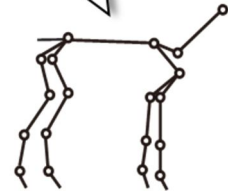
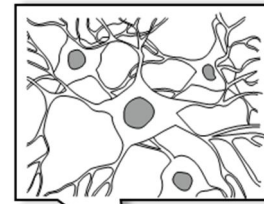


図1 歩行運動と神経細胞

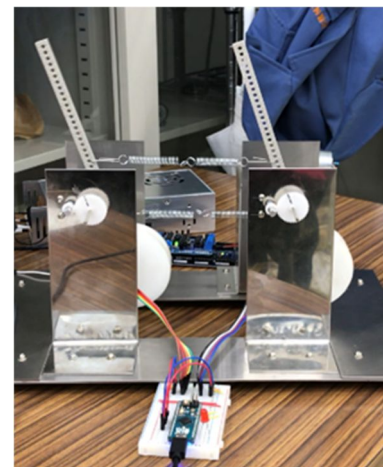


図2 二重振り子動吸振器

動形態の切り替えを司る神経系のデザインに必要な不可欠な情報であり、次年度の研究に対して大変有益な結果を得られた。

### (2) 次年度

次年度は、動吸振器の制御に適した神経ネットワークを設計するために、ネットワーク構造や結合係数などの構成要素が神経系の出力に及ぼす影響を調査する必要があった。そのため、ネットワーク構造として、まず、階層型ネットワークを選択し、振動子集団の平均場と集団を構成する振動子の個体差のばらつき度合いとの関係を調査した(図3)。具体的に、振動子集団のばらつきを確率分布関数で表現し、逆関数法を用いて疑似乱数を発生させることで振動子に個体差を持たせた。結果として、振動子集団の平均場は、その集団を構成する振動子のばらつき度合いによって変化し、一様分布で個体差を与えた場合に平均場の応答が最も小さくなることが明らかになった。この成果は、国内会議で発表している。また、二階建て構造物を模擬した検証実験用構造物縮小モデル(図4)の実験モード解析を行い、振動特性(固有振動数、バネ定数、減衰係数)を同定した。

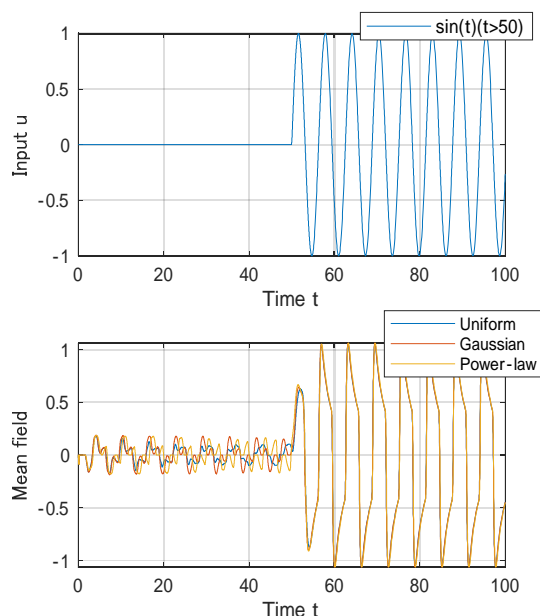


図3 振動子集団の平均場と個体差の関係  
(上図：入力，下図：出力)



図4 二階建て構造物

### (3) 最終年度

最終年度において、二重動吸振器の実験装置を改造するとともに、この実験装置(図5)を対象として、構造物の振動モードに合わせて動吸振器の2つの運動パターンを決定するという機能を持ったネットワークの骨格(図6)を提案した。また、これを Dynamics & Design Conference 2019 にて発表している。この研究報告では、2つの周波数帯域に対応する前述の階層型ネットワークとそれら2つの内どちらが支配的であるかを判定するための相互抑制型ネットワークを組合わせて用いることで、所望の機能を持ったネットワークが得られることを示した。このとき、単純な機能を持ったネットワークを組み合わせて用いることで機能を拡張できること、また、比較的小規模なネットワークであっても、複雑ネットワークの特徴であるハブが存在し、極めて重要な仕事をするを明らかにしている。

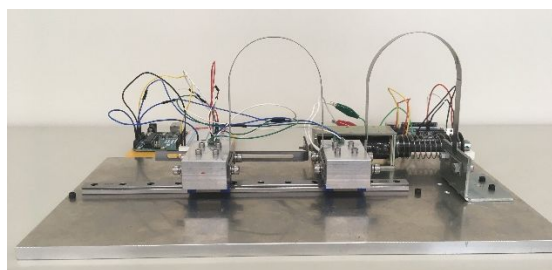


図5 二重動吸振器の実験装置

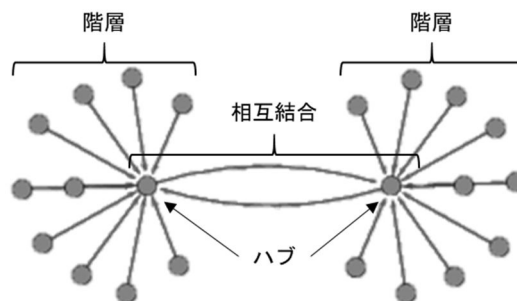


図6 ネットワークの骨格

これらの研究成果から、狙い通りの自己組織化現象をデザインするための基礎を築くことができ、動的制御が必要な他の機械装置への応用が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 J. Hongu, D. Ibab, T. Wadaa
2. 発表標題 Active mass damper using phase and amplitude of mean field of oscillators
3. 学会等名 Proc. of SPIE, Smart Structures and NDE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田 拓也, 本宮 潤一, 小出 隆夫, 田村 篤敬
2. 発表標題 振動子集団の平均場の位相と振幅を用いたアクティブ制御 (振動子ネットワーク構造がその平均場に及ぼす影響)
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第49回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田地 翔一, 射場 大輔, 徳村 秀哉, 本宮 潤一, 森脇 一郎
2. 発表標題 構造物の応答の絶対値によって興奮緊張性入力 を刺激された神経振動子の振幅制御
3. 学会等名 日本機械学会 2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Junichi HONGU, Daisuke IBA, Takao KOIDE, Atsutaka TAMURA
2. 発表標題 Tuning Method and Synchronization Property of Neural Oscillators
3. 学会等名 MoViC 2018 The 14th International Conference on Motion and Vibration Control (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J. Hongu, D. Iba
2. 発表標題 Active mass damper using neural oscillator for generating a limit cycle of target structure
3. 学会等名 Seventh World Conference on Structural Control and Monitoring (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideya TOKUMURA, Daisuke IBA, Jyunichi HONGU, Ichiro MORIWAKI
2. 発表標題 Neural oscillator network extracting dominant frequency from earthquake-induced acceleration responses of structure
3. 学会等名 Seventh World Conference on Structural Control and Monitoring (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鳥居篤弥, 本宮潤一, 小出隆夫, 田村篤敬
2. 発表標題 運動形態を選択可能な多重動吸振器の開発 (バネ連結の振り子式動吸振器の動特性調査)
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国学生会 第48回学生員卒業研究発表講演会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideya Tokumura, Daisuke Iba, Junichi Hongu, Souhei Shima, Ichiro Moriwaki
2. 発表標題 Output analysis of swarm of neural oscillators stimulated by earthquake-induced acceleration responses of a structure
3. 学会等名 Proc. of SPIE, Smart Structures and NDE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J. Hongu, D. Iba
2. 発表標題 Active Mass Damper System for High-Rise Buildings Using Neural Oscillator and Position Controller (Generation Method for Desired Stroke of Auxiliary Mass Using Synchronous Detection)
3. 学会等名 Proc. of SPIE, Smart Structures and NDE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J. Hongu, D. Iba, T. Koide, A. Tamura
2. 発表標題 Generation Method for Sinusoidal Desired Value by Regulating Phase Dynamics of Active Structural Control
3. 学会等名 The 13th International Workshop on Advanced Smart Materials and Smart Structures Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 萩原良道(監修), 本宮潤一他34名	4. 発行年 2018年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 272
3. 書名 生物の優れた機能から着想を得た新しいものづくり バイオミメティクスからの発展	

〔産業財産権〕

〔その他〕

JUNICHI HONGU LAB <a href="http://hongukit.wixsite.com/hongu">http://hongukit.wixsite.com/hongu</a>
--

## 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
研究協力者	射場 大輔  (IBA Daisuke)  (10402984)		