

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 4 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04942

研究課題名(和文)同調回転慣性質量トランスデューサーの開発とその検証実験

研究課題名(英文)Development and experimental verification of tuned inertial mass electromagnetic transducers

研究代表者

浅井 健彦 (Asai, Takehiko)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：90775793

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,500,000円

研究成果の概要(和文)：錘を回転させることで大きな慣性質量効果を生じさせることが出来る回転慣性質量に同調ハネを接続し、共振効果により振動エネルギーを効率的に電気エネルギーへと変換出来る同調回転慣性質量トランスデューサーを開発し、構造物に取り付けた場合の制振性能と発電効率の検証を数値解析シミュレーションと実験により行った。さらに、回転慣性質量を可変にすることで、より広い周波数域に対しても有効に作用する可変型同調回転慣性質量トランスデューサーの開発も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、外乱を受けて振動する構造物の振動エネルギーを吸収して、電気エネルギーへと高効率に変換することが出来る装置の開発を行った。本装置の応用先としては、例えば地震動を受けて振動する構造物の振動を抑制する制振装置や、海洋波により振動する浮体から発電を行う波力発電装置が挙げられる。このように、本研究により、防災だけでなく、エネルギーハーベスティング装置として新たな再生可能エネルギー源の創出にも貢献出来る成果を得ることが出来た。

研究成果の概要(英文)：We developed tuned inertial mass electromagnetic transducers (TIMETs) consisting of a rotational inertial mass, which can produce amplified mass effect, and a tuning spring. The TIMET can convert vibration energy to electrical energy effectively by taking advantage of the resonance effect. The effectiveness of the TIMET was verified through numerical simulation studies and experiments. Moreover, we developed a variable rotational mass mechanism which makes the device effective in wider frequency range.

研究分野：構造物の振動制御

キーワード：同調回転慣性質量トランスデューサー 振動制御 制振 エネルギーハーベスティング

1. 研究開始当初の背景

1995年の兵庫県南部地震、2011年の東北地方太平洋沖地震、さらには2016年に発生した熊本地震により、我が国は甚大な被害を被ることになった。これらの地震による被害を教訓に、近い将来に高い確率で発生が予想されている東海、南海、東南海地震等に備え、建築・土木構造物における振動制御技術のさらなる高度化が求められている。

地震動を受けた構造物の制御手法の一つとして、アクティブ制振が挙げられるが、近年、「地震時における外部エネルギー源の確保の困難さ」という短所が指摘されており、これがアクティブ制振技術の広範な普及に向けたボトルネックとなっている。そこで研究代表者は、この課題を解決するため、図1に示すような、モーターを発電機として作用させることでkWレベルの発電が可能となるトランスデューサーと呼ばれる装置を用いたエネルギーハーベスティング技術の建築・土木構造物への応用に取り組んできた。これにより、外乱を受けた構造物の振動エネルギーを電気エネルギーへと変換することが可能となる。トランスデューサーはこのように振動エネルギーを吸収するダンパーとしての役割だけでなく、吸収した電気エネルギーによりモーターを発動機として作用させ、構造物に制御力を与えるアクチュエータとしての役割を担うことも可能である。これにより、外部電源に依存しない自己発電型振動制御システムを構築することが出来る。研究代表者は過去の研究で、振動低減能力と発電効率の両方を同時に制御可能なアルゴリズムを導出している。

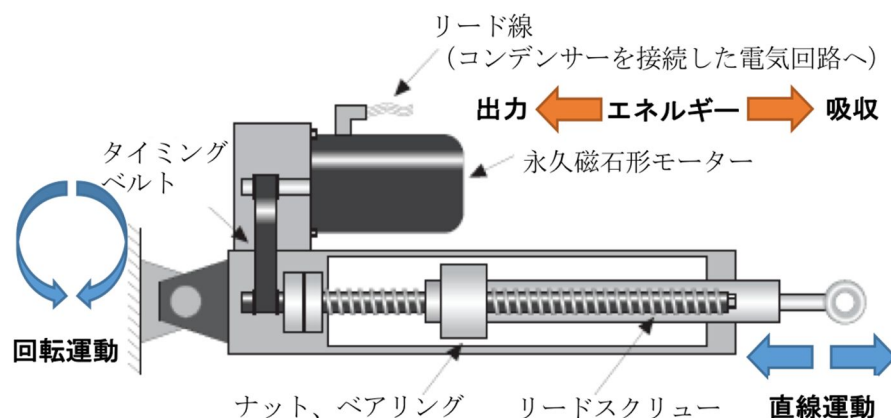


図1: トランスデューサー

このトランスデューサーによる発電効率の向上を目指し、研究代表者は、近年、研究と実用化が進められている、共振効果を利用することで高い減衰効果を実現している同調回転慣性質量ダンパーの原理を応用した同調回転慣性質量トランスデューサーを着想するに至った。トランスデューサーと同調回転慣性質量トランスデューサーのモデルを図2に示す。同調回転慣性質量トランスデューサーは通常のトランスデューサーと比較し、大きな慣性質量をもち、さらに構造物とはバネを介して接続させる。このバネ定数を適切に設定することで、共振効果を生じさせ、高いエネルギー吸収効率を実現させる。

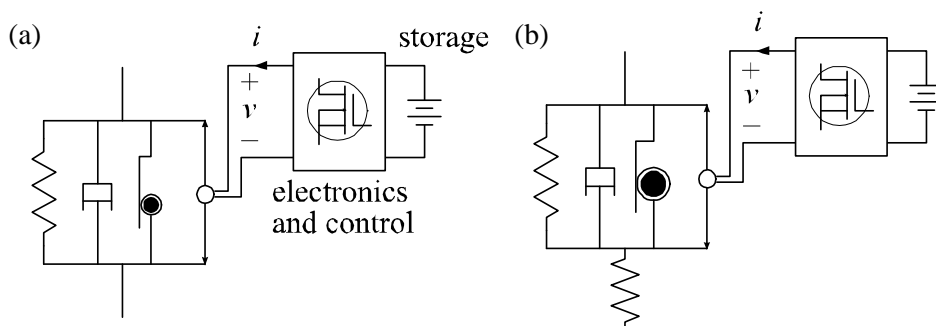


図2: (a)トランスデューサーモデル、(b)同調回転慣性質量トランスデューサーモデル

しかしながら、エネルギーハーベスティング技術においては、装置のさまざまな箇所が発生する摩擦などに起因するエネルギー損失が最大の課題であり、そのエネルギー損失を数学モデルを用いて正確に表現することは非常に困難である。そのため、提案する装置の有効性を実証するためには、装置を試作し、実験による検証を行うことが必要不可欠である。

## 2. 研究の目的

本研究では、この同調回転慣性質量トランスデューサーの試作と改良を行うことで、装置の精度の向上とその正確な数学的モデルの構築を目指す。そして、建築・土木構造物に応用した際の振動応答低減能力、発電効率の検証をリアルタイムハイブリッドシミュレーション(サブストラクチャー)実験と振動台実験を行うことで検証する。

本研究を通して、従来のパッシブ制振、アクティブ制振の両方の利点を保持したまま、両方の弱点を補った、新しい制振システムの構築を目指す。そして、地震動や強風を受ける建築・土木構造物における発電可能性を検討し、災害に強いだけでなく、環境と調和した新しい都市の形を提案する。

## 3. 研究の方法

研究期間内に実施した研究課題とその研究方法は次の通りである。(1)試験体の試作と改良を行い、よりエネルギー損失の少ない装置を開発し、その数学的モデルを構築する。(2)試作した装置を用いてリアルタイムハイブリッドシミュレーション実験を実施し、さまざまな構造物における効果を検証する。(3)同調回転慣性を可変に出来る機構を構築し、可変型の同調回転慣性質量トランスデューサーを開発し、より広い周波数帯域で対応可能にする。

## 4. 研究成果

本研究を通じて、提案する同調回転慣性質量トランスデューサーの有効性を数値解析シミュレーションと実験の両方から実証することが出来た。また、さらなる性能の向上を達成するため、より広い周波数帯域に対応可能な、可変型の同調回転慣性質量トランスデューサーの開発も行い、高速フーリエ変換や、モデル予測制御といった制御アルゴリズムにより、同調回転慣性質量値を適切に制御することで、これまでの装置よりも性能が向上することを、数値解析シミュレーションと実験の両方で良好な結果を得ることが出来た。

また、本研究の新たな応用先として、図3に示すような、海洋波により振動する浮体の振動エネルギーから電気エネルギーを高効率で取り出すことが可能な波力発電装置にも取り組み、大きな成果をあげることが出来た。さらには、本装置を設置した浮体式洋上風車も提案しており、波力発電と振動制御の両方を同時に達成出来ることも確認している。

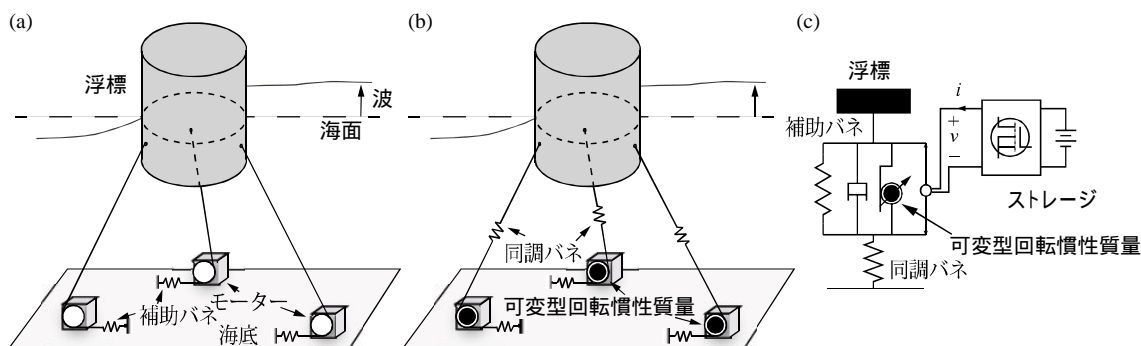


図3：可変型同調回転慣性質量機構をもつ稼働物体型の波力発電装置

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5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 Sugiura Keita, Watanabe Yuta, Asai Takehiko, Araki Yoshikazu, Ikago Kohju	4. 巻 26
2. 論文標題 Experimental characterization and performance improvement evaluation of an electromagnetic transducer utilizing a tuned inerter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Vibration and Control	6. 最初と最後の頁 56 ~ 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/1077546319876396	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 -
1. 著者名 Asai Takehiko, Watanabe Yuta	4. 巻 153
2. 論文標題 Outrigger tuned inertial mass electromagnetic transducers for high-rise buildings subject to long period earthquakes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Engineering Structures	6. 最初と最後の頁 404 ~ 410
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engstruct.2017.10.040	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 -
1. 著者名 Asai Takehiko, Araki Yoshikazu, Ikago Kohju	4. 巻 25
2. 論文標題 Structural control with tuned inertial mass electromagnetic transducers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Structural Control and Health Monitoring	6. 最初と最後の頁 e2059 ~ e2059
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/stc.2059	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 -
1. 著者名 Asai Takehiko, Takino Minoru, Watanabe Yuta, Sugiura Keita	4. 巻 7
2. 論文標題 Hardware-in-the-Loop Testing of an Electromagnetic Transducer With a Tuned Inerter for Vibratory Energy Harvesting	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ASCE-ASME J Risk and Uncert in Engrg Sys Part B Mech Engrg	6. 最初と最後の頁 10908
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/1.4049231	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 -

1. 著者名 Takino Minoru, Asai Takehiko	4. 巻 -
2. 論文標題 Development and performance evaluation of an electromagnetic transducer with a tuned variable inerter	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Vibration and Control	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/10775463221074078	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6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Keita Sugiura
2. 発表標題 Experimental verification of a tuned inertial mass electromagnetic transducer
3. 学会等名 SPIE Active and Passive Smart Structures and Integrated Systems XII (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡辺悠太
2. 発表標題 アウトリガー同調慣性質量トランスデューサーの振動制御性能と発電効率
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡辺悠太
2. 発表標題 同調回転慣性質量トランスデューサーの解析モデルの導出と地震応答解析
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀧野 稔
2. 発表標題 可変型同調回転慣性質量トランスデューサーの発電効率の実験的検証
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武富 祐樹
2. 発表標題 同調回転慣性質量トランスデューサーを用いた 自己発電型制振システムの実現可能性の検討
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浅井健彦
2. 発表標題 モデル予測制御による同調回転慣性質量トランスデューサーの最適制御
3. 学会等名 第 17 回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2021)
4. 発表年 2021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
研究協力者	渡辺 悠太  (Watanabe Yuta)		

6. 研究組織（つづき）

	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	杉浦 啓太  (Sugiura Keita)		
研究協力者	瀧野 稔  (Takino Minoru)		
研究協力者	武富 祐樹  (Taketomi Yuki)		

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