

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：14303

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26889049

研究課題名(和文)2層構造エネルギー自己供給型制振ユニット

研究課題名(英文)Two-layer self-powered active seismic isolation device

## 研究代表者

三浦 奈々子(MIURA, NANAOKO)

京都工芸繊維大学・機械工学系・助教

研究者番号：80735340

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではエネルギーを自己供給することで稼動可能なアクティブ制振ユニットの構造系(ばねやダンパー)と制御系の同時設計に着目した設計方法を提案した。

(1)シミュレーションによる制御理論の構築・検証：構造について免震装置を2段に重ねた2層構造のモデルを考え、構成要素(ばねやダンパー)の最適化と制御則の検討を行った。

(2)実機実験による検証：実機の構成について、スライダとラック・アンド・ピニオンを用いた構成として実現した。外乱や制御の制約条件、物理的制約条件についての知見を得、実用化を見据え制御理論を改良した。

研究成果の概要(英文)：In this study, a self-powered active seismic isolation device which achieves active control using regenerated vibration energy is proposed. This device doesn't require external energy to produce control force. The purpose of this study is to propose the seismic isolation device having charging function and to optimize the control system and passive elements such as spring coefficients and damping coefficients using genetic algorithm. As a result, optimized model shows good performance in terms of vibration reduction and electric power regeneration by numerical analysis and experiment.

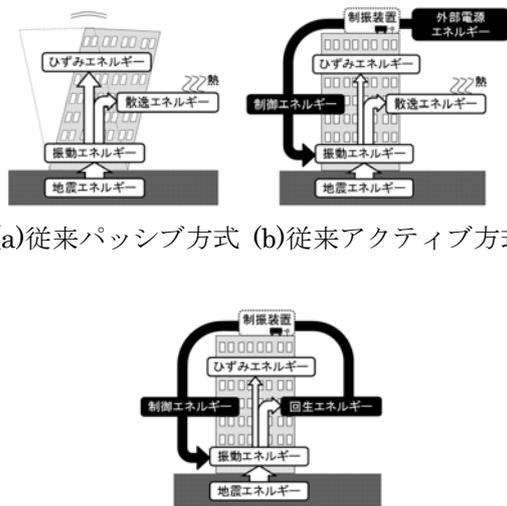
研究分野：振動制御

キーワード：地震応答 振動制御 免震

1. 研究開始当初の背景

大地震への備えとして振動制御技術は注目されており、様々な制御方式、制御装置が開発されてきている。本研究では地震により停電が発生した場合にもアクティブ振動制御を行うことができるように、エネルギーに着目し制御を考える。エネルギーに着目した研究には、例えば、エネルギー不足に対するフェイルセーフの考え方から、振動系における運動エネルギーをポテンシャルエネルギーに変換してアクティブ制御に利用し、このポテンシャルエネルギーが不足する場合にはセミアクティブ制御を行うグローバルセミアクティブ制御の提案 (Ichchou, et al.: A reduced energy supply strategy in active vibration control, Smart Materials and Structures, Vol.20, No.12, pp. 1-11, 2011) がある。また、機械システムの振動制御の分野では、例えば、須田ら (須田他: 再生された振動エネルギーを利用するアクティブ制御に関する研究, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 63, No. 613, pp. 3038-3044, 1997 等) の研究グループにより振動からエネルギーを回生してアクティブ制御に利用するセルフパワード・アクティブ制御が提案されている。なお、近年、米国でもこの分野の研究が盛んとなり Energy Harvesting Control と呼ばれている。

地震によるエネルギーの遷移について図 1 に示す。(c)が本研究で考えるエネルギーを自己供給することで稼働するアクティブ方式である。すなわち、図 1(a), (b)で熱として廃棄される散逸エネルギーを回収し、制御に用いる。本研究で取り扱うエネルギー回生の考え方は自動車のサスペンションや電車の回生ブレーキ等で実用化されている技術である。これを構造物の振動制御に応用する。



(c) 提案アクティブ方式  
図 1 地震によるエネルギーの遷移

申請者は現在までにエネルギーを回生させるのに有利と考えられる福島ら (福島: 制御対象のエネルギー収支に着目した機械力学系の最適制御, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 72, No. 722, pp. 3106-3114, 2006 等) の提案するエネルギー最適制御を建築分野に応用する方法についての研究を行ってきた (三浦, 高橋: エネルギー最適制御に基づく建物・設備連成系の振動制御, 第 13 回「運動と振動の制御」シンポジウム, Paper No. D15, pp. 1-10, 2013). そこでエネルギー回生と振動応答の低減の両方の性能を高めるためには図 2 のようにシステムを 2 層構造とすることが有効であることを示している (三浦, 高橋: セルフパワード・アクティブ 2 層化免震床, 日本機械学会論文集, Vol. 80, No. 813, pp. 1-12, 2014).

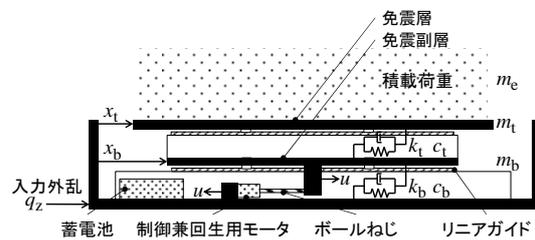


図 2 提案制振ユニット

2. 研究の目的

エネルギーを自己供給することで稼働可能なアクティブ制振ユニットの提案に向けて、振動抑制すべき周波数帯域と蓄電池に蓄電する際の効率を考慮した制御系・構造系の設計を目的とする。地震動の周波数帯域は機械振動と比較して低周波数であり、蓄電に効率の良い周波数帯域は高周波数であるため、地震による振動エネルギーの回生は困難である。本申請課題では、構造系 (パッシブ要素) と制御系の同時設計に着目することにより、上記周波数帯域の問題を解決する制御系設計を提案する。

3. 研究の方法

本研究ではエネルギーを自己供給することで稼働可能なアクティブ制振ユニットの提案を目的とし、その制御系と構造系の同時開発を行った。

本研究は(1)シミュレーションによる制御理論の構築・検証と(2)実機実験による検証によって行った。(2)実機実験による検証は、外乱や制御の制約条件、物理的制約条件についての知見を得、実用化を見据え制御理論を改良・検証する目的も含む。

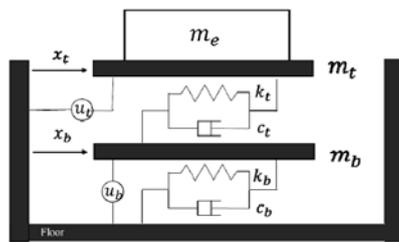
平成 26 年度にはシミュレーションによる制御理論の構築・検証を行った。平成 27 年度には平成 26 年度に構築した制御理論と提案した構造について実機実験による検証を行った。

#### 4. 研究成果

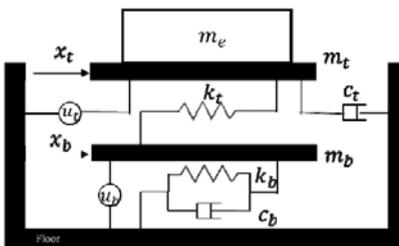
本研究ではエネルギーを自己供給することで稼動可能なアクティブ制振ユニットの構造系（ばねやダンパー）と制御系の同時設計に着目した制御系設計を提案した。

(1) シミュレーションによる制御理論の構築・検証により、振動抑制と発電に適した制振ユニットの構成方法を明らかとした。

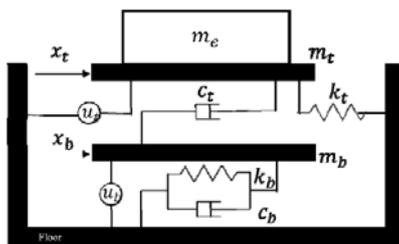
構造について免震装置を2段に重ねた2層構造のエネルギー自己供給型制振ユニットのモデルを考え、構成要素（ばねやダンパー）および制御・充電用モータの取り付け位置についての検討を行い、適すると考えられる図3に示すような3パターンについて遺伝的アルゴリズムを用いて構造パラメータと制御則の最適化の検討を行った。表1にその1ケースについての結果を示す。表1において網掛け部分は応答として優れていることを示している。これより、充電を効率的に行い、振動応答を抑える構造としては(b) c分離が好ましいとした。



(a) 単純重ね合わせ



(b) c分離



(c) k分離

図3 2層構造の構成方法の検討ケース

表1 2層構造の構成方法の検討結果

	(a) 単純重ね合わせ	(b) c分離	(c) k分離
RMS( $x_t$ )	0.0019	0.001	0.00064
RMS( $\ddot{x}_g + \ddot{x}_t$ )	0.0009	0.0008	0.0017
Max. disp $x_t$	0.11	0.1	0.13
Max. acc. ( $\ddot{x}_g + \ddot{x}_t$ )	0.09	0.09	0.12
Energy consumption	-2.3	-6.1	3.2

標準波（短周期）や観測地震動（短周期・長周期）を用いた検討により、発生する可能性のある地震動の周波数帯域の広さに対して提案する2層構造は共振による大振幅応答を回避できる可能性があることを示した。

また、その際、エネルギーを自己供給することで稼動可能なアクティブ制振ユニットを1層で実現できる一定の可能性についても明らかとなった。図4に1層デバイスの解析モデルを示す。このモデル（1 m<sup>2</sup>の免震デバイス上にサーバー1台の質量が載っていることを仮定）では充電のみを行わせた場合に7.1 W程度の電力が得られることを示した。また、入力地震動の最大加速度3.55 m/s<sup>2</sup>（平均）を0.83 m/s<sup>2</sup>（平均）に低減する効果を示した。

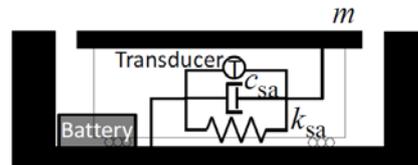


図4 1層デバイスの解析モデル

(2) シミュレーションで提示したシステムを実機で構成する方法を提示した。

実機の構成について、申請時の装置の構成案（図2参照）とは異なり、スライダーとラック・アンド・ピニオンを用いた構成として実現した。装置を図5に示す。また、(1)のシミュレーション結果を受け、モータの取り付け位置も申請時の装置の構成案から変更した。

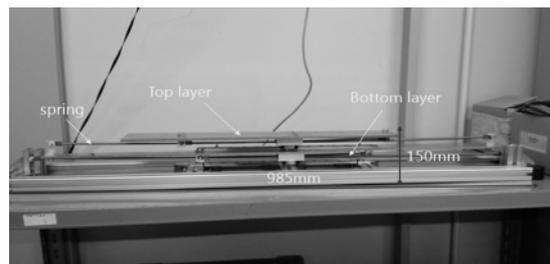


図5 実験用試験体

2つのモータ ( $u_b, u_t$ ) はともにフレームに固定されている。また、ばね要素に引張りばねを用いているため、フレームは加振方向に985 mmと長い構造となっている。

作成した実験用試験体の応答から、外乱や制御の制約条件、物理的制約条件についての知見を得、実用化を見据え制御理論(評価関数)の改良を行った。

(3) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

巨大地震の多発する日本においては、地震による振動応答の抑制および、停電時の電力確保は重要な課題であり、本研究によりその両者の解決に貢献できるものとする。

国外において、地震がそれほど重要な課題でない地域では、機械振動や交通振動に応用できるものとする。今後の展望として、外力として考える振動を地震以外にも拡張し検証していく予定である。

(4) 今後の課題

本実験においてはコンデンサ等の充電デバイスは用いていない。本研究では、提案装置は地震が終わった直後には地震発生時(初期値)以上の充電状態に戻すことができることを示した(図6参照)。

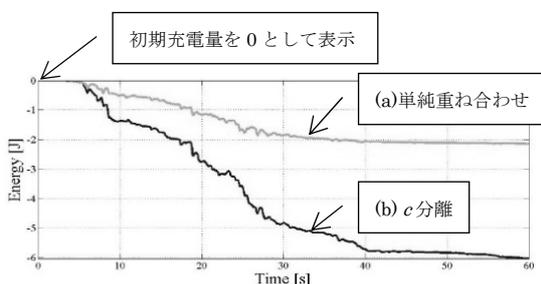


図6 エネルギーの時刻歴

しかし実際にコンデンサ等での充電・放電を考えた場合、他の環境発電技術を併用し、地震時に速やかに稼働開始できる(充電がゼロでない状態を維持する)システムとすることも今後必要となってくると考えられる。

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0件)

[学会発表] (計5件)

- ① Nakakoji, H. and Miura, N.: Structural design of active seismic isolation floor with a charging function, SPIE Smart Structures/NDE, Paper No. 9799-55, pp. 1-7, 2016. 3. 22, Las Vegas (America).

- ② Yamaguchi, T., Miura, N. and Takahashi, M.: Seismic isolation device having charging function by a transducer, SPIE Smart Structures/NDE, Paper No. 9799-112, pp. 1-11, 2016. 3. 22, Las Vegas (America).

- ③ Miura, N. and Takahashi, M.: An energy regeneration seismic isolation device using a transducer as a damper, 11th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 94141, pp. 1-6, 2015. 7. 23, Victoria (Canada).

- ④ 堀切嘉月, 三浦奈々子: エネルギー自己給電式免震装置の構造系と制御系の設計, 土木学会西部支部研究発表会, Paper No. I-055, pp. 109-110, 2015. 3. 7, 琉球大学千原キャンパス(沖縄県・西原町千原).

- ⑤ 三浦奈々子, 高橋正樹: セルフパワー式免震装置における制御手法の併用, 第15回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, Paper No. 3I4-5, pp. 1-4, 2014. 12. 17, 東京ビッグサイト(東京都・江東区有明).

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]

防振システム工学研究室ホームページ  
<http://www.viblab.kit.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三浦 奈々子 (MIURA, Nanako)  
京都工芸繊維大学・機械工学系・助教  
研究者番号: 80735340

(2) 研究分担者 ( )

研究者番号 :

(3) 連携研究者 ( )

研究者番号 :