

(別紙1)

事業の実施内容及び成果に関する報告書

1 事業名

2025年度省スペースかつ高性能な電磁式セミアクティブ動吸振器の研究開発補助事業

2 事業の実施経過

① セミアクティブ型動吸振器の定式化および数値計算による制振性能最適化

2025年 6月13日 最適化計算の完了

7月 3日 国際学会での成果公表

8月19日 国内学会での成果公表

② 高層建築物ミニモデルにセミアクティブ型動吸振器を搭載した実証実験

2025年 6月20日 ミニモデル製作に向けた既存技術調査

8月26日 大ストローク駆動可能な新型動吸振器の基礎理論構築

2025年 11月11日 国内学会での成果公表

2026年 3月 1日 大ストローク駆動型動吸振器の実証実験

③ セミアクティブ型動吸振器の分散配置によるモータ電磁振動抑制技術の開発

2025年 6月19日 電磁振動抑制技術開発のためのハンマリング試験

9月16日 電磁振動の数学モデルを用いた提案技術の妥当性検証

9月22日 購入したFFTアナライザの動作確認

2026年 1月20日 実スケールでの実現性検証解析

2026年 3月13日 国内学会での成果公表

3 実施内容及び成果

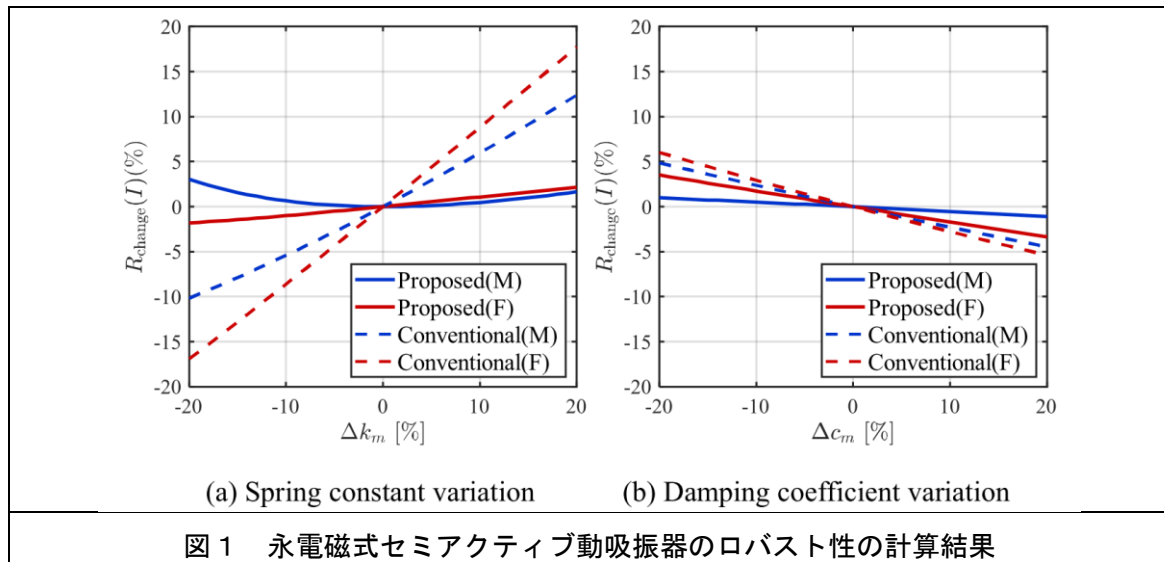
(1) 実施内容および成果

① セミアクティブ型動吸振器の定式化および数値計算による制振性能最適化

永電磁式セミアクティブ型動吸振器を提案し、その数学モデルを構築した。数値計算ソフトMATLABを用いて振動最小化を目的関数とする最適化計算を実行した。従来の最適化理論に基づき本動吸振器を設計した結果、減衰比を抑制しつつ制振性能の向上が確認され、ダンパ小型化の可能性が示唆された。自由度切り替えのタイミングが設計値から逸脱した場合の制振性能への影響を検証した結果、ロバスト性を高くするための本動吸振器固有の設計方針が得られた。また設計パラメータの最適値からの変動に対する制振性能への影響を

(別紙1)

評価した結果、従来動吸振器と比較して同等以上のロバスト性を有することが確認された。例として 図1に主系のばね定数と減衰係数の変動に対する制振性能指標の相対変化率を示す。全範囲において相対変化率は±数%に留まり、本動吸振器が経年劣化による性能変化が小さいことが明らかとなった。



② 高層建築物ミニモデルにセミアクティブ型動吸振器を搭載した実証実験

実験室で収まる程度のミニモデルを製作するにあたり、既存技術を調査した。構造物の振動ストロークは最大数mm程度と非常に大きいため、既存のセミアクティブ動吸振器では振動抑制を切り替えることが困難であることが判明した。振動ストロークによらず高い制振性能を維持できる、新しい方式（直交吸着方式）を考案し基礎理論を構築した。

考案した直交吸着方式の基本構造を図2に示す。本方式では、主系に運動方向へ延長された磁性体の片持ち梁を設け、永電磁石の吸着面を初期構造の状態から梁側に90°回転させた構造を有する。このとき、無負荷状態では、梁と永電磁石間にギャップ g_0 が確保されるように設計する。永電磁石がON状態であるとき、磁気吸引力によって梁が永電磁石側にたわみ、両者が吸着する。吸着面における垂直抗力が正であり、かつ吸着位置にずれが生じない場合のみ、両者は一体となって振動し、1DOFモードを構成する。永電磁石がOFF状態へ移行すると、梁は復元力によって元の形状へ戻り、永電磁石と分離することで、2DOFモードへ移行する。

初期構造では吸着方向と運動方向が平行であったのに対し、本方式では両者が直交しているため、吸着のエアギャップ g_0 と動作ストローク s を独立に設計できる。その結果、初期構造と比較して、エアギャップを小さく維持したまま長ストローク化が可能となる。

(別紙1)

直交吸着方式の実証装置の写真を図3に示す。

本装置は、リニアガイド上を摺動するブラケットと振動マスで構成される。ブラケットには永電磁石、振動マスには片持ち梁をボルト固定した。振動マスは、マス部材(SUS304)、強磁性の片持ち梁(SPGC)、リニアブッシュ、およびリニアガイドブロックから構成されており、これらを含めた振動マス部の総質量は265 gである。ブラケットから延設したシャフトを振動マス内のリニアブッシュに貫通させることで、振動マスの並進運動を拘束せず、安定した直線運動を実現している。シャフトには同一寸法かつ同一ばね定数の2つの圧縮ばねを配置し、振動マスを両側から挟持する構成とした。これにより、両振幅方向においてばねを主として圧縮方向で作用させ、安定したばね特性を確保している。また、固定用ナット位置の調整により、ばねの初期圧縮量を任意に設定できる。ブラケットに入力された振動は、これらのばねを介して振動マスに伝達される。

ブラケットは、加振装置により直接加振される。加振装置には、サーボモータの回転運動をスライダクランク機構で直線往復運動に変換し、ブラケットに強制変位を与える機構を用いた。したがって、本装置は基礎に強制変位が入力される1自由度マスばねダンパ系とみなせる。

永電磁石にはSIMOTEC製の市販のスイッチングマグホルダ(SH-20B, 最大吸着力80N)を用い、手動スイッチにより正逆方向の通電が可能な切り替え回路を介して電源に接続した。合成ばね定数 $k \times 2 = 0.98 \text{ N/mm}$ のばねを用い、加振装置により周波数約5 Hz, 振幅20 mmの強制加振を行った際の、ブラケットおよびマスの変位の時間応答を図*に示す。上から順に、永電磁石のON状態、OFF状態、OFFからONへの遷移時、およびONからOFFへの遷移時の挙動を示している。なお、ブラケットの変位は、加振装置による強制振動入力を表している。OFF状態では、マスは強制振動に対しておよそ1/10周期程度の位相遅れを伴って振動しており、分離状態における相対運動が確認された。一方、ON状態では、永電磁石と梁が吸着することでブラケットとマスが一体となって振動しており、吸着状態への移行が確認できた。新構造では永電磁石と吸着対象のギャップを常に極めて小さく保った状態でモード切り替えを行うため、吸着力に制約のある小型永電磁石でも安定したモード切り替えが実現できる。以上より、直交吸着方式は初期構造に対して明確な優位性を有する。

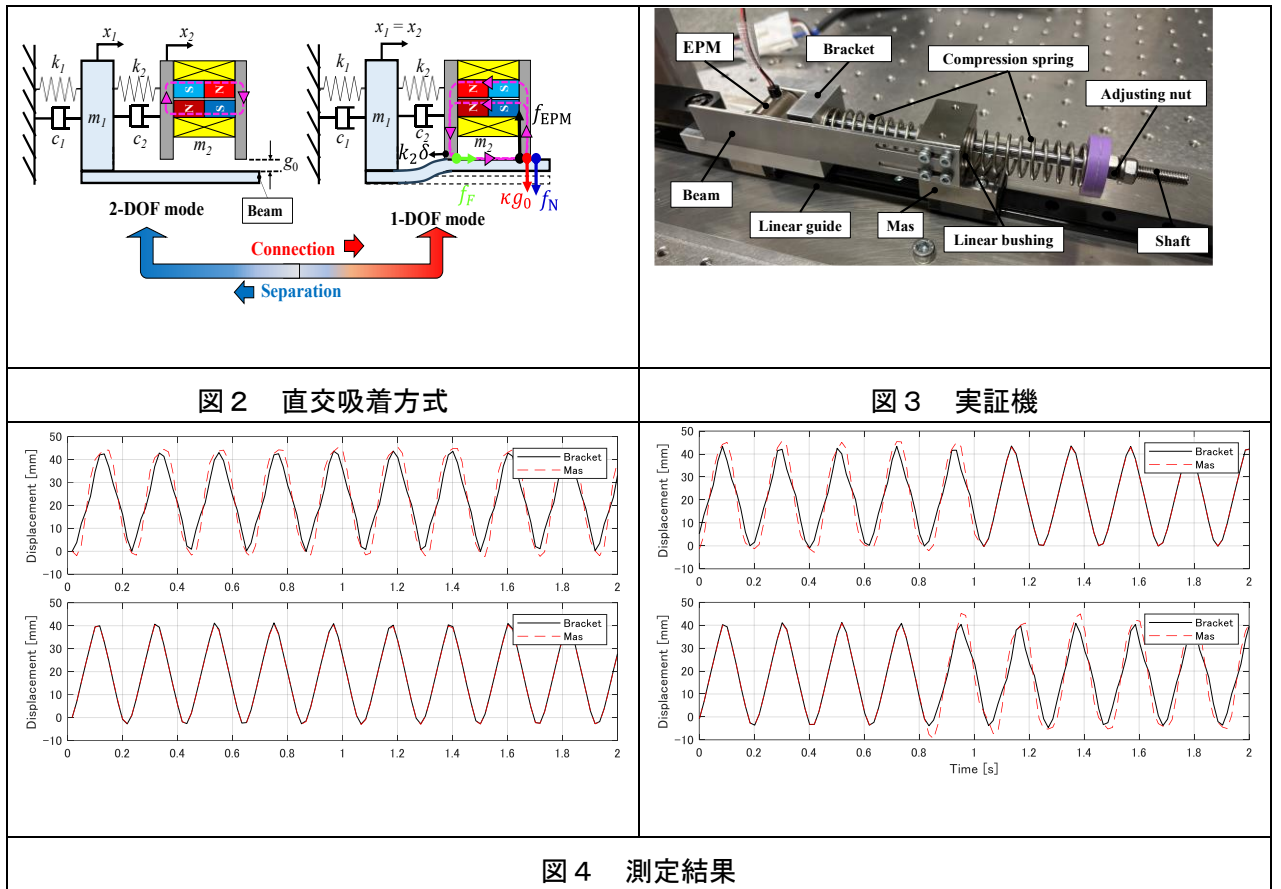


図4 測定結果

③ セミアクティブ型動吸振器の分散配置によるモータ電磁振動抑制技術の開発
 提案した永電磁式セミアクティブ動吸振器をステータ外周部に設置した全体構成およびその抑制原理を図5に示す。ステータの軸方向に節がある振動モードはモータの運転域外と仮定し、ステータは軸方向に一様な円環鉄心で簡略化している。ステータ外周部のセミアクティブ動吸振器は所定の角度差で配置されている。周方向に回転する電磁加振力分布は空間に固定された2つの定在波の和で考えることができ(図5の青破線および緑破線に相当)、それぞれの定在波加振力を抑制するために1対の動吸振器が必要となる。図5の例では空間2次の電磁加振力を抑制するために45deg.の角度差で設置されている。セミアクティブ動吸振器は低保磁力磁石(アルニコ磁石)、巻線、ヨークから構成されている。図5左では低保磁力磁石の磁束密度がゼロ付近で動作し、ヨークを経由してステータコアに鎖交する磁束はごくわずかである。この状態においては、セミアクティブ動吸振器は単なるパッシブ動吸振器として動作し、ステータの固有振動数付近での電磁振動を抑制する。着磁巻線にパルス電流を通电し、低保磁力磁石を磁化する。発生した磁気吸引力によりセミアクティブ動吸振器はステータコアに吸着する。両者のエアギャップは極めて小さい

(別紙1)

め通電終了後も吸着状態は維持される。動吸振器は無効化され単なる不均一質量要素として作用し、ステータの固有振動数をシフトする働きがある。逆極性の着磁電流を印加し、低保磁力磁石の磁化を再びゼロ付近に制御することで、セミアクティブ動吸振器は剥離し、パッシブ動吸振器として再び動作する。ステータの振動特性に応じて両動作モードを切り替えることでより広帯域な振動抑制が実現可能である。

数値計算ソフトを用い、周波数ごとの定常応答の振動変位の波高値から周波数応答を算出した結果を図6に示す。横軸は無次元化された周波数、縦軸は無次元化された振動変位の2乗である。パッシブ動吸振器を設置することで、共振点近傍の電磁振動を抑制できることがわかる。しかし、共振点の両側に別の共振ピークが出現する。これは円環鉄心と動吸振器の連成振動に起因する。セミアクティブ動吸振器の場合は、これらの共振ピークが生じる周波数帯域で動吸振器を無効化し力学系を切り替えることでより低振動な応答特性を選択でき、ピークを抑制できる。以上のように、提案する永電磁式セミアクティブ動吸振器の有効性を理論的かつ数値的に証明することに成功した。

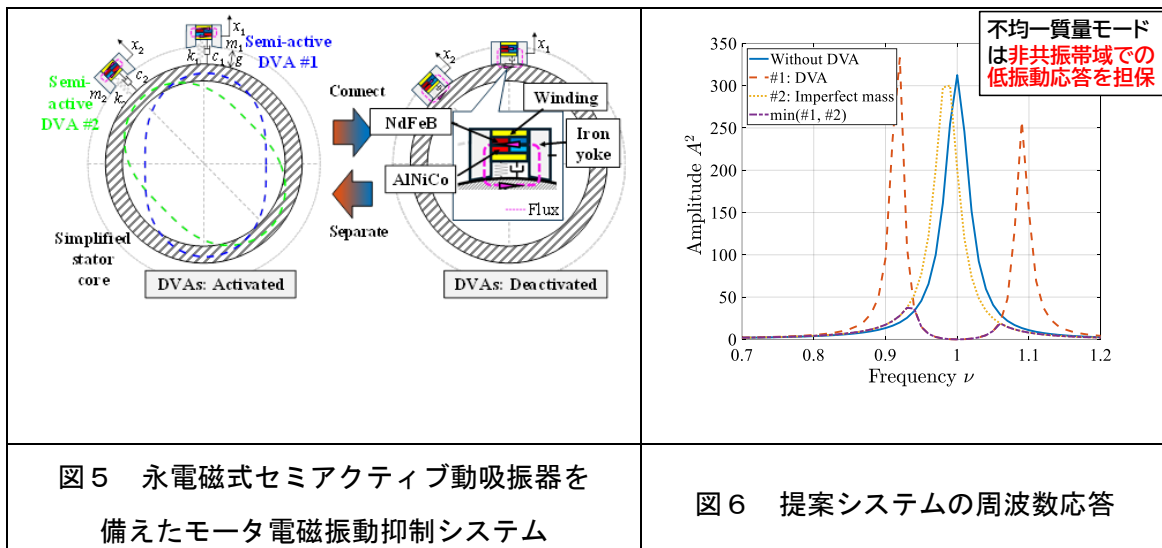


図5 永電磁式セミアクティブ動吸振器を備えたモータ電磁振動抑制システム

図6 提案システムの周波数応答

前記した広帯域振動抑制システムは理論的かつ数値的側面からの検証であったため、実用化に向けた実現性検討を行った。振動抑制対象のステータ寸法は外径264mm、内径224mm、軸長64mmの様な単純円環に決定した。構造解析ソフトRecurDYNを用いて円環の固有値解析を実施し、円環二次モードの固有振動数が843Hzであることが判明した。次に、ステータとの吸着・分離状態を切り替えるための永電磁石の磁気回路設計を行った。永電磁石のヨーク幅およびヨーク高さを設計変数としたパラメトリック解析を磁界解析ソフトJMAG-Designerで実行した結果を図7に示す。結果より、ヨーク幅12mm、ヨーク高さ25mmのとき磁気吸着力は310N、永電磁石質量は75gと算出された。前記した固有振動数843Hzと質

(別紙1)

量75gをもとに、セミアクティブ動吸振器に取り付けるばねのばね定数は2100N/mmと算出された。動吸振器を無効化する動作モードでは、圧縮されたばねから受ける復元力よりも高い磁気吸着力が要求されることから、そのエアギャップ上限を算出したところ、0.14mmであった。ステータ外周部に生じる電磁振動による変形量変位はたかだか数十 μm であることが知られており、動吸振器とステータの衝突などの意図せぬ動作が懸念されないことを示唆しており、提案するセミアクティブ動吸振器の実現性が検証された。

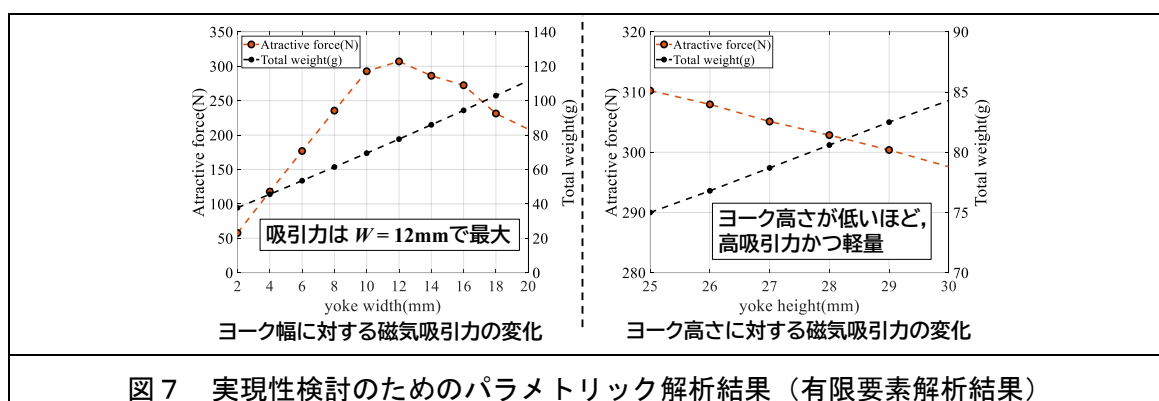


図7 実現性検討のためのパラメトリック解析結果 (有限要素解析結果)

(3) 成果を公表している研究室ホームページ上のURL

<http://www3.u-toyama.ac.jp/act/JKA2025.pdf>

(4) JKA補助事業バナーを表示している研究室ホームページ上のURL

<http://www3.u-toyama.ac.jp/act/index.html>

(5) 特許権、実用新案権等を申請又は取得したときはその内容

該当なし

4 今後予想される効果

① セミアクティブ型動吸振器の定式化および数値計算による制振性能最適化設計次第では、従来型のパッシブ動吸振器に比べ小型・軽量、かつ、経年劣化などのパラメータ変化に対して高ロバストであり、優位性が高いことがわかっている。ただし、磁石や巻線などの外部装置を追加しているため、使用環境や条件を考慮し、実用化を進めていきたい。

(別紙1)

② 高層建築物ミニモデルにセミアクティブ型動吸振器を搭載した実証実験

大ストローク動作が可能な方式（直交吸着方式）を発案できたため、単に動吸振器としての応用に限らず、振動フィーダーやリニア波力発電などの広帯域化機構として利用できる可能性がある。

③ セミアクティブ型動吸振器の分散配置によるモータ電磁振動抑制技術の開発

昨今は電気自動車やドローンなどの電動化技術に対して、モータの静粛性の要求があるため、広い帯域での振動・騒音を抑制できる本技術は幅広い応用先が期待できる。

5 その他

該当なし