

OS名 : D-0S2-J 動吸振器・制振デバイス

会場 : 講演室4 (6階6006室)

講演日時 : 2024年9月5日(木) 12:00~12:20

Dynamics and Design Conference 2024

@神奈川大学みなとみらいキャンパス

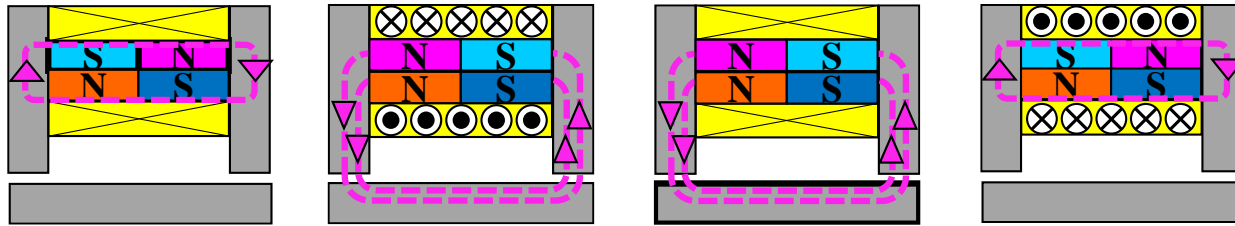
永電磁石を備えた動吸振器の 自由度切り替え動作による 減衰要素小型化の検討

**Downsizing of damping element
by switching degree-of-freedom of dynamic absorber
with electropermanent magnet**

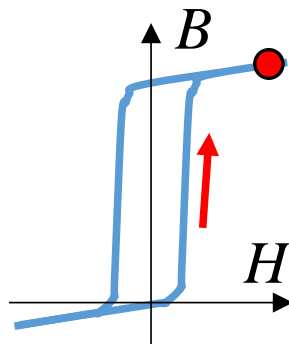
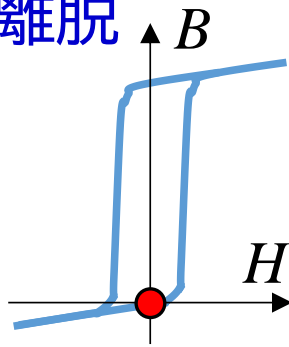
○加藤 雅之, 北山 文矢 (茨城大学)

研究背景(永電磁石:EPM)

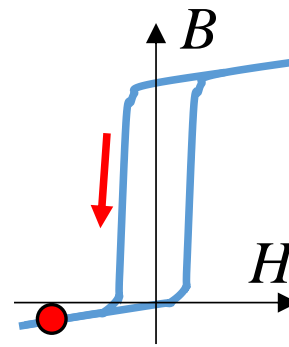
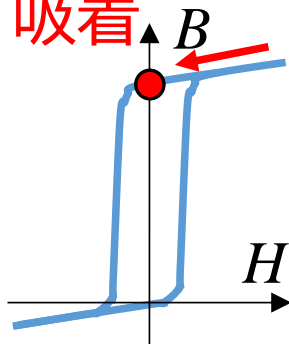
保磁力の異なる2種の永久磁石を併用する特殊な電磁石



離脱



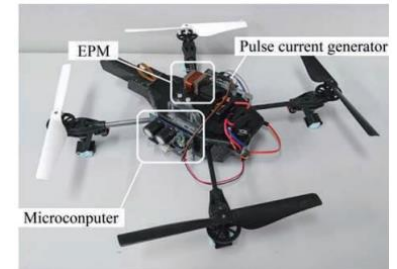
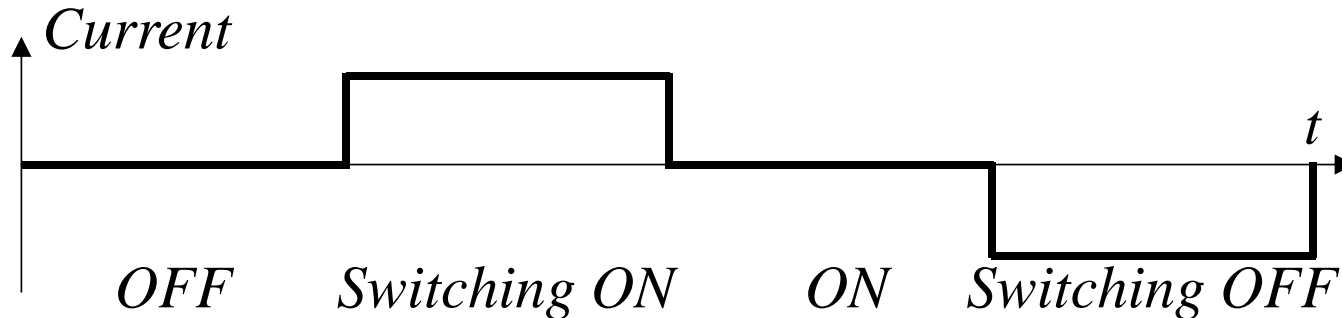
吸着



Low-coercivity magnet
(AlNiCo)



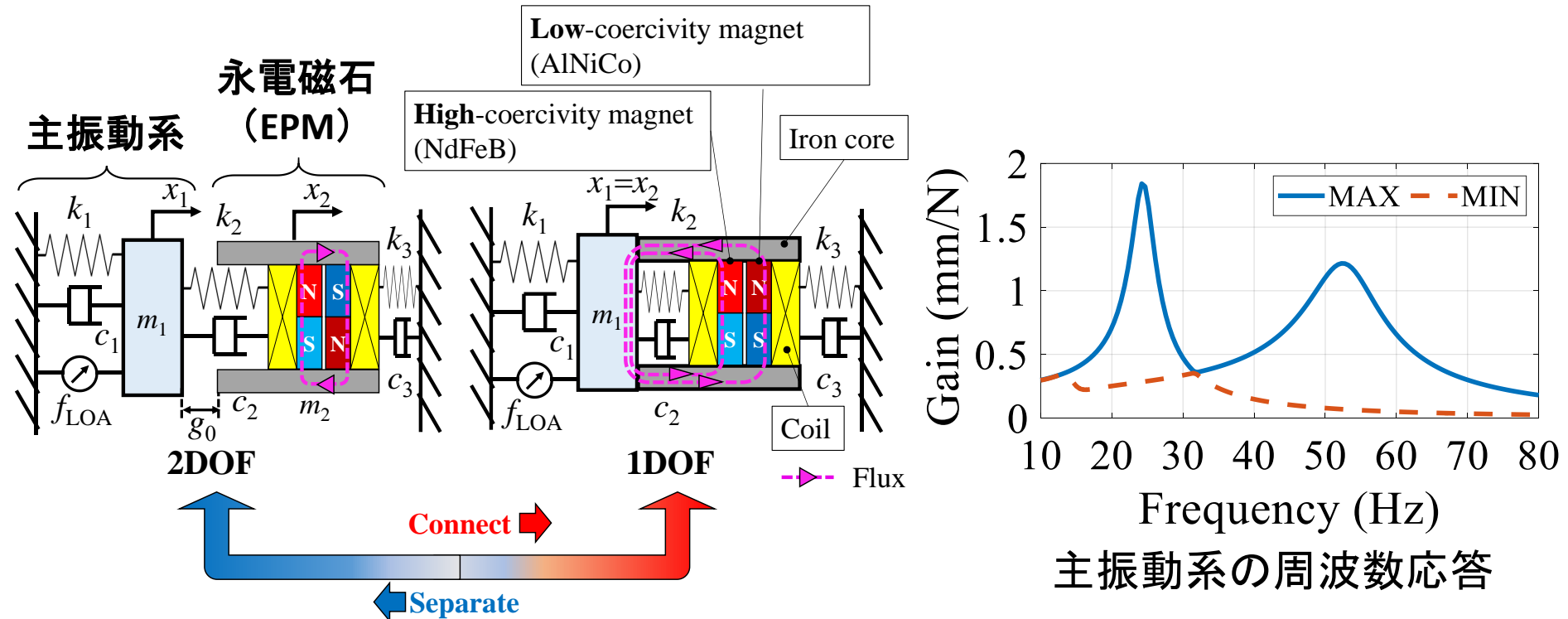
High-coercivity magnet
(NdFeB)



永久磁石と電磁石の性質を兼ね備える
(アルニコ磁石の磁化反転時にのみ瞬時的に電力消費)

広帯域化手法の成果

➤ 永電磁石を用いた自由度切り替え機構による広帯域手法を提案



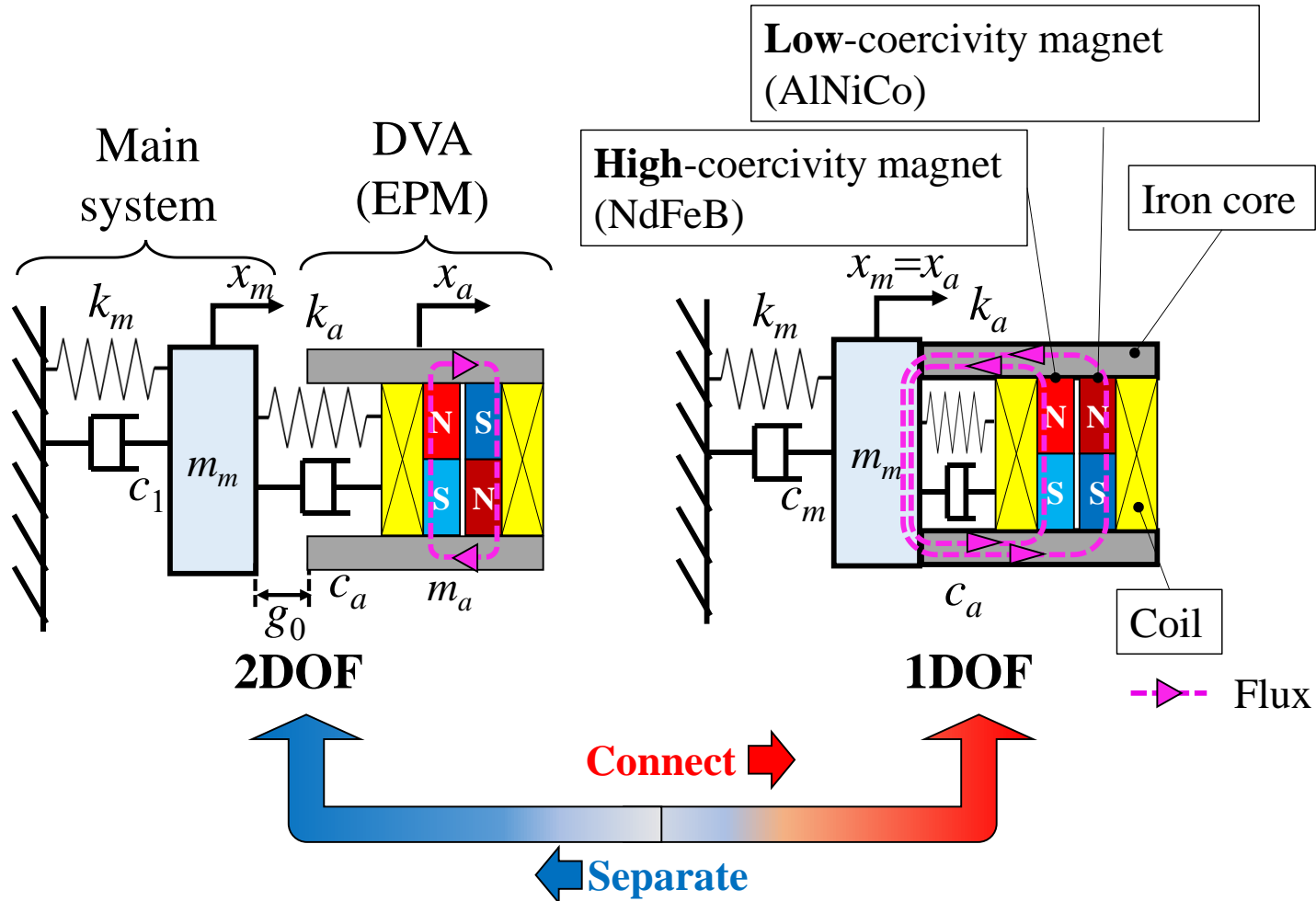
MAX: 振動アクチュエータ (*IEEE Trans. Magn.*, 2023) や振動ハーベスタ (CEFC2024)

MIN: セミアクティブ動吸振器 (**本発表**)

目的: 定点理論や最小分散規範など既存理論を打破する新たな設計指針の確立

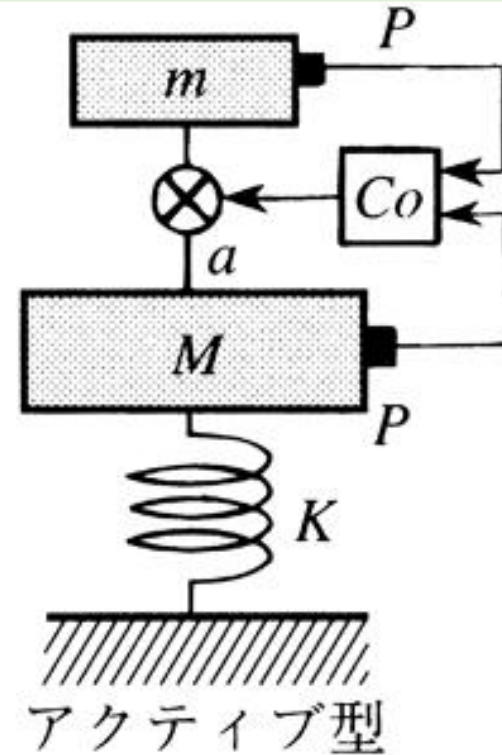
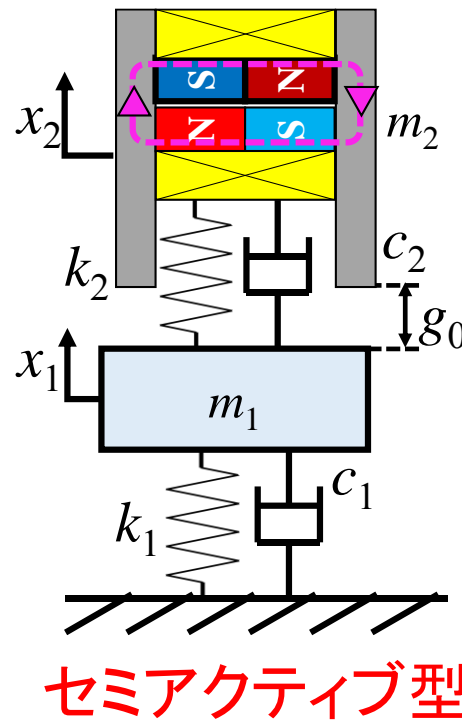
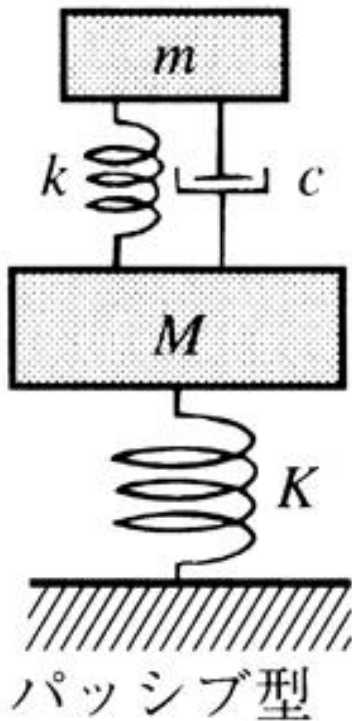
成果: 制振性能の向上 & 外部付加ダンパ (≒ オイルダンパなど) の小型化が可能

自由度切り替え型動吸振器の基本構造



ごく短時間(数十ms程度)のパルス通電によりアルニコ磁石を着磁
 磁路が切り替わることにより磁気吸着力をON/OFF
 2自由度振動系と1自由度振動系を自由に行き来

本動吸振器の立ち位置



<https://www.jsme.or.jp/jsme-medwiki/doku.php?id=13:1009008>
 日本機械学会機械工学事典，“動吸振器”（アクセス日：24/06/18）

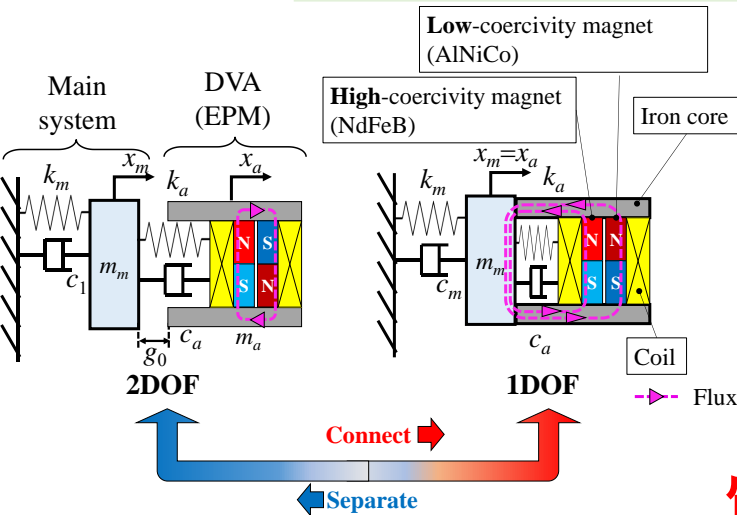
セミアクティブ型動吸振器と位置づけ

根拠①：永電磁石は系の自由度を切り替えるだけ

根拠②：系の自由度はセンサレス推定可（MAGDA2023など）

根拠③：主振動系の周波数情報もセンサレス推定可（同上）

自由度切り替え型動吸振器の周波数応答



- 2自由度振動系
 - 従来の減衰付きパッシブ型動吸振器
- 1自由度振動系
 - 従来の1自由度強制振動系

質量比 固有振動数比

$$\omega_a = \sqrt{\frac{k_a}{m_a}}, \omega_m = \sqrt{\frac{k_m}{m_m}}, \mu = \frac{m_a}{m_m}, \alpha = \frac{\omega_a}{\omega_m}, \beta = \frac{\Omega}{\omega_m} \quad \text{減衰比}$$

$$c_{ca} = 2\sqrt{m_a k_a}, c_{cm} = 2\sqrt{m_m k_m}, \zeta_a = \frac{c_a}{c_{ca}}, \zeta_m = \frac{c_m}{c_{cm}}, x_{st} = \frac{f_0}{k_m}$$

$$\left| \frac{X_m}{x_{st}} \right|_{2DOF} = \sqrt{\frac{(\alpha^2 - \beta^2)^2 + (2\zeta_a \alpha \beta)^2}{A^2 + 4B^2}} \quad \left| \frac{X_m}{x_{st}} \right|_{1DOF} = \frac{1}{\sqrt{(1 - \beta_c^2)^2 + (2\zeta_c \beta_c)^2}}$$

$$A = \beta^4 - \{(\mu + 1)\alpha^2 + 4\zeta_a \zeta_m \alpha + 1\} \beta^2 + \alpha^2$$

$$B = -\{\zeta_m + (\mu + 1)\zeta_a \alpha\} \beta^3 + (\zeta_m \alpha + \zeta_a) \alpha \beta$$

最小分散規範による制振性能評価

➤ 評価指針: 主振動系パワースペクトル(振幅の二乗)の積分値

のMIN

$$\left| \frac{X_m}{x_{st}} \right|_{2\text{DOF}} = \sqrt{\frac{(\alpha^2 - \beta^2)^2 + (2\zeta_a \alpha \beta)^2}{A^2 + 4B^2}} \quad \left| \frac{X_m}{x_{st}} \right|_{1\text{DOF}} = \frac{1}{\sqrt{(1 - \beta_c^2)^2 + (2\zeta_c \beta_c)^2}}$$

$$A = \beta^4 - \{(\mu + 1)\alpha^2 + 4\zeta_a \zeta_m \alpha + 1\} \beta^2 + \alpha^2$$

$$B = -\{\zeta_m + (\mu + 1)\zeta_a \alpha\} \beta^3 + (\zeta_m \alpha + \zeta_a) \alpha \beta$$

$$I_{\min} = \int_0^2 \min \left(\left| \frac{X_m}{x_{st}} \right|_{2\text{DOF}}^2, \left| \frac{X_m}{x_{st}} \right|_{1\text{DOF}}^2 \right) d\beta$$

➤ I_{\min} を最小化するようなパラメータ(α および ζ_a)を数値探索

固有振動数比

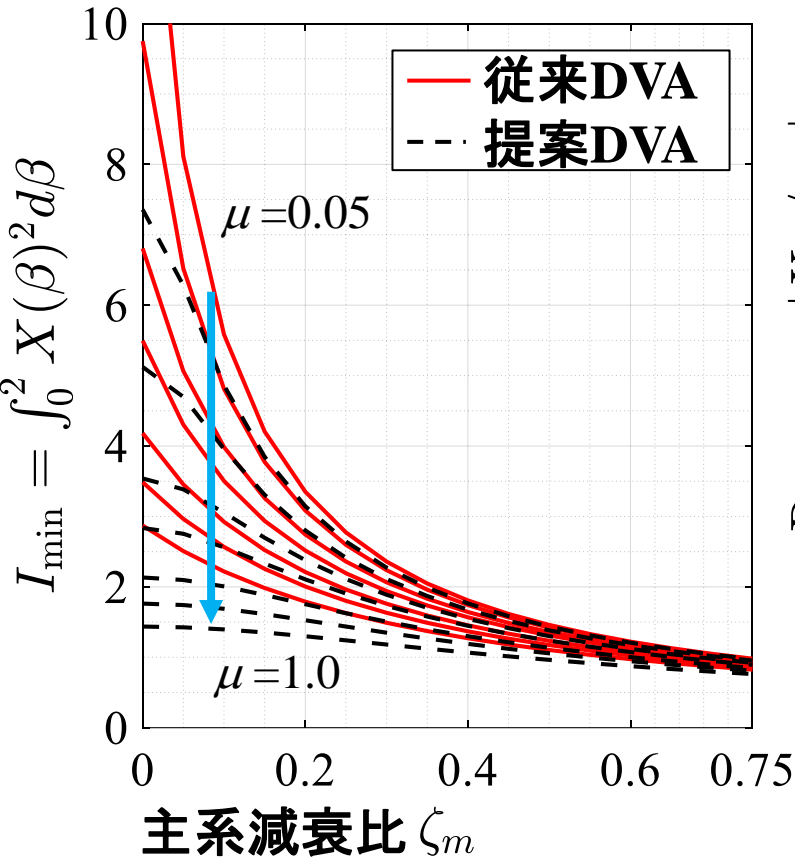
動吸振器の減衰比

➤ 従来理論*に対する①制振性能や②最適パラメータの差異を比較

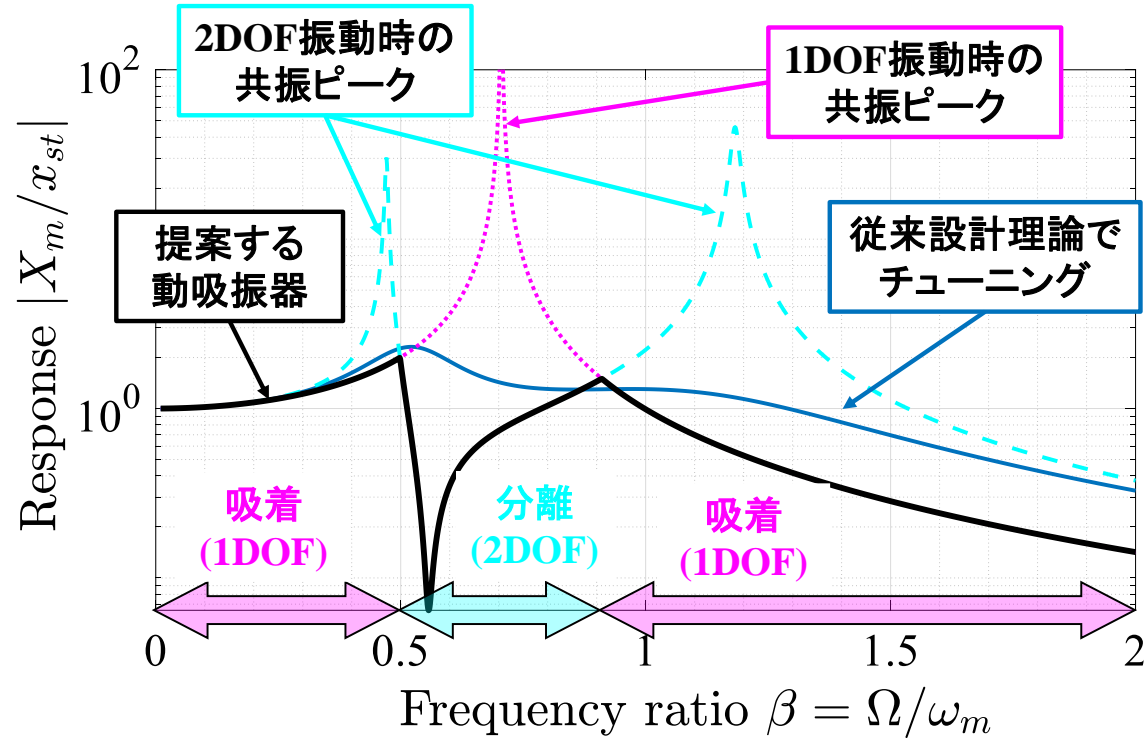
* 浅見, 桃瀬, 細川, “主系の減衰を考慮した動吸振器の設計式について(最小分散規範に基づく設計法)”, 日本機械学会誌C, 59巻566号, 1993

制振性能の計算結果

- 質量比 $\mu = \frac{m_a}{m_m}$ も同時に変化(0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0)



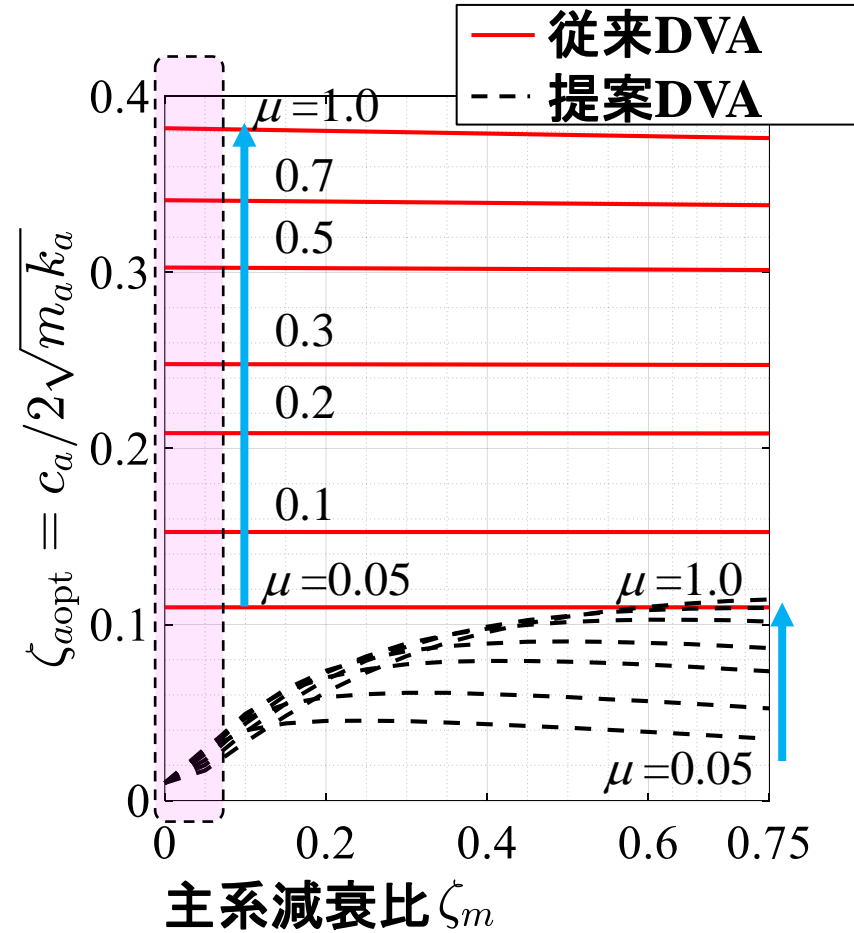
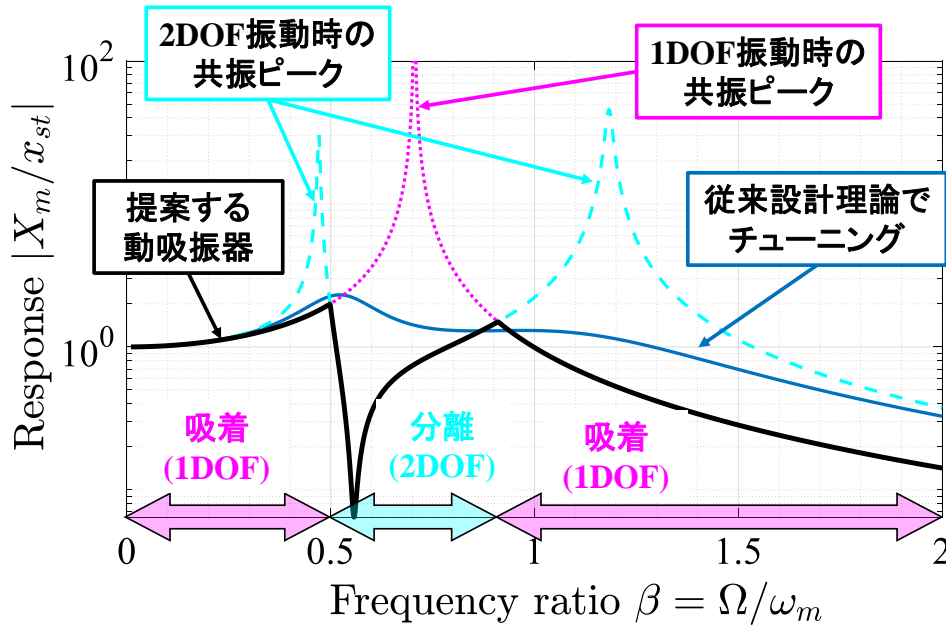
主系減衰比0, 質量比1のとき
 I_{\min} を約50%低減



急峻な共振峰にチューニング
 自由度切り替え動作により回避
 反共振による制振性能向上

最適パラメータの計算結果

➤ 質量比 $\mu = \frac{m_a}{m_m}$ も同時に変化



主系減衰比が低い領域で
外部ダンパの小型化を実現

比較

	ζ_m	μ	α	ζ_a	I_{\min} 制振性能
従来DVA	0.0	1.0	0.61	0.38	2.87 (100%)
提案DVA	0.0	1.0	0.56	0.01	1.44 (50.1%)
提案DVA	0.0	0.3	0.79	0.01	2.83 (98.8%)

質量比 固有振動数比

$$\omega_a = \sqrt{\frac{k_a}{m_a}}, \omega_m = \sqrt{\frac{k_m}{m_m}}, \mu = \frac{m_a}{m_m}, \alpha = \frac{\omega_a}{\omega_m}, \beta = \frac{\Omega}{\omega_m}$$

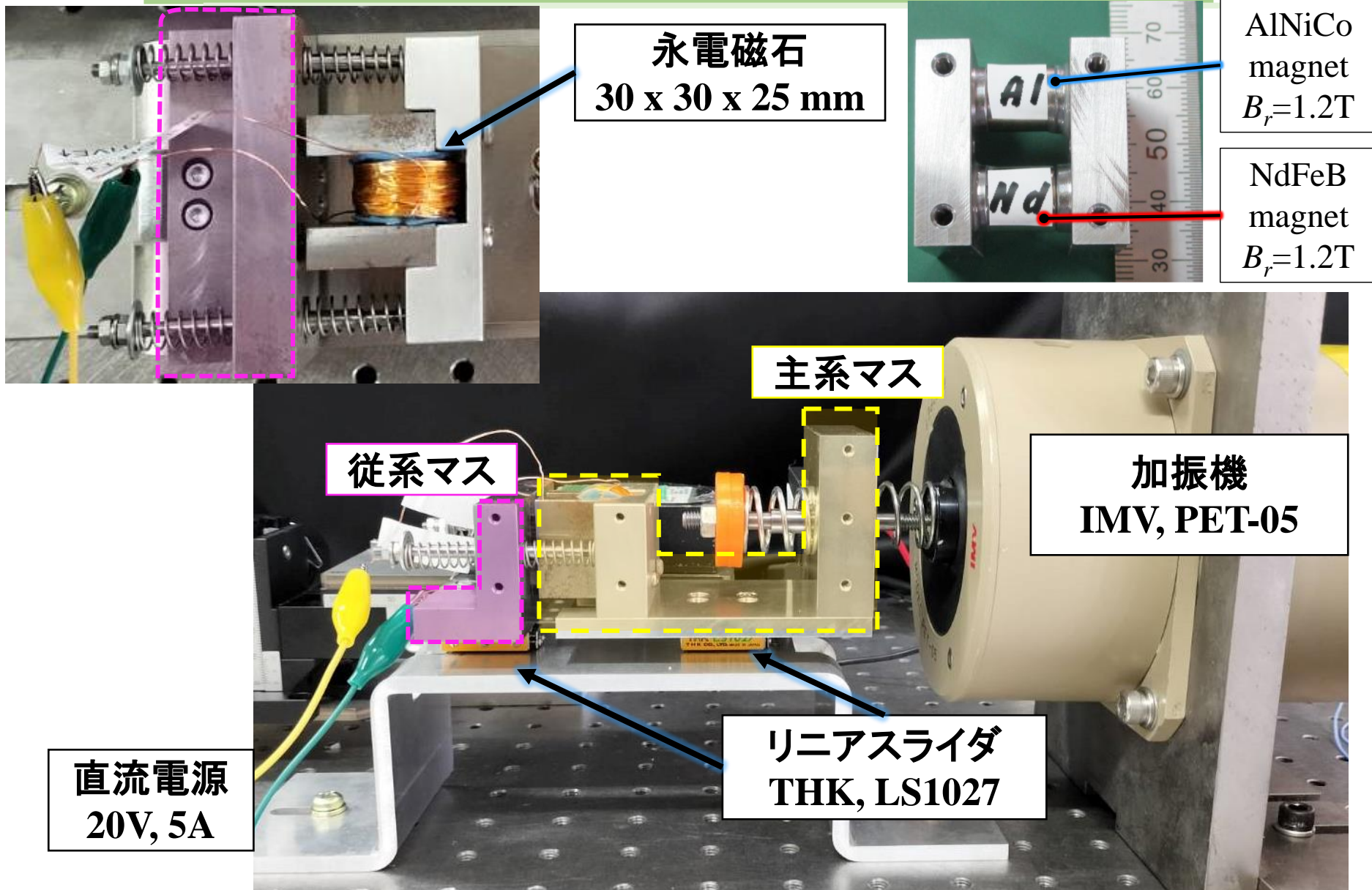
減衰比

$$c_{ca} = 2\sqrt{m_a k_a}, c_{cm} = 2\sqrt{m_m k_m}, \zeta_a = \frac{c_a}{c_{ca}}, \zeta_m = \frac{c_m}{c_{cm}}, x_{st} = \frac{f_0}{k_m}$$

従来DVAに
対する比率

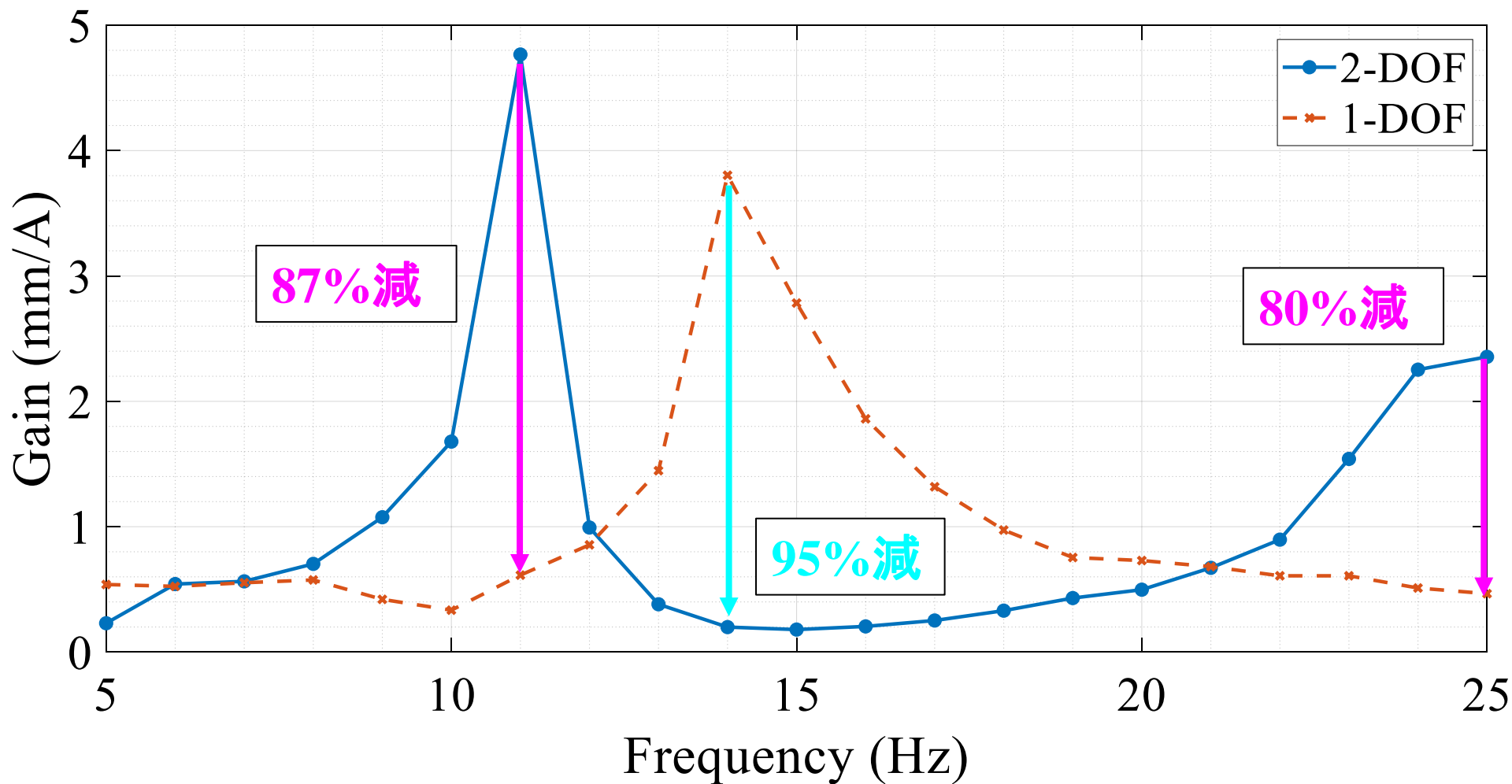
	m_a	k_a	c_a
従来DVA	1	1	1
提案DVA	1	0.84	0.024
提案DVA	0.3	0.51	0.01

実験検証



実験結果(周波数応答特性)

- 加振機に印加する交流電圧振幅は一定
- 加振機の電流(≒強制外力)を測定し、電流あたりの振動変位算出

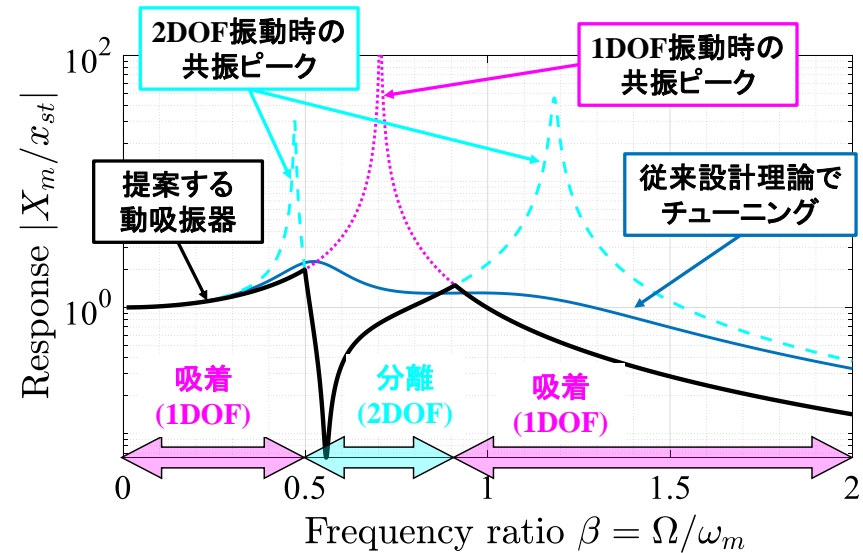


まとめと今後の展望

◆永電磁石を用いた自由度切り替え型動吸振器を提案

- 周波数応答の二乗積分値(最小分散規範 I_{\min})を最小化するパラメータを探索
- 制振性能の向上と外部ダンパの小型化(条件次第では軽量化)を実現可能
- ✓ 意図的に急峻な共振峰を生成, 自由度切り替え動作による強い反共振効果

- パラメータ変動に対するロバスト性評価
 - 主振動系のパラメータ変化に対して
 - 切り替え周波数のずれに対して
- 応用先を想定したチューニング



謝辞

本研究は公益財団法人三豊科学技術振興協会の令和4年度研究助成

”省電力な電磁式着脱機構を駆使した機械振動抑制のチューニングレス化”による支援を受けた。