

長周期~短周期振動に対応できる 新規制振技術

関西大学 環境都市工学部 建築学科
教授 池永 昌容

2025年9月18日

本技術の、本日の説明範囲

対象物

- ・ 免震構造建物の免震部分に導入
- ・ 総重量10000トン超などの大規模建物

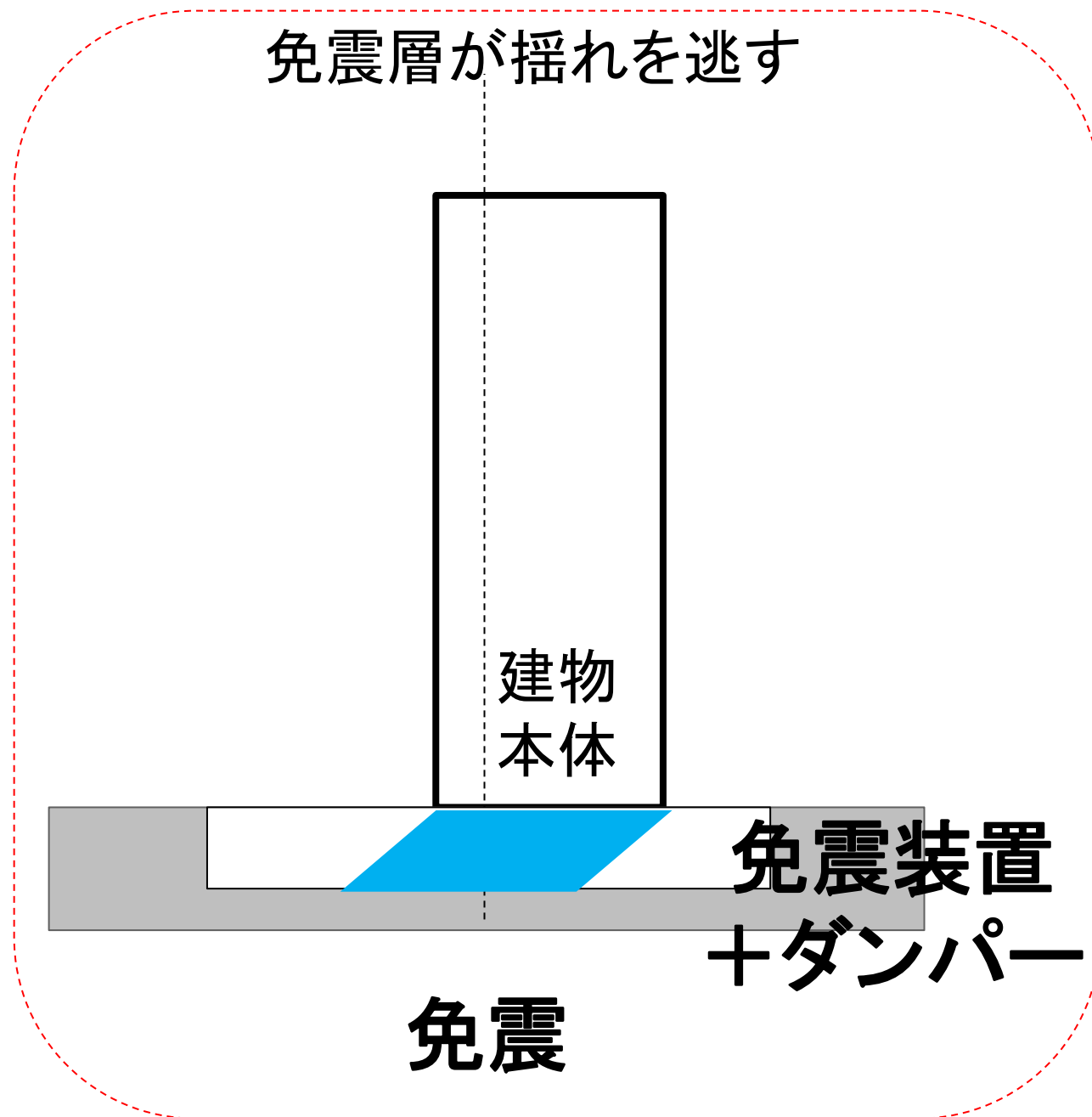
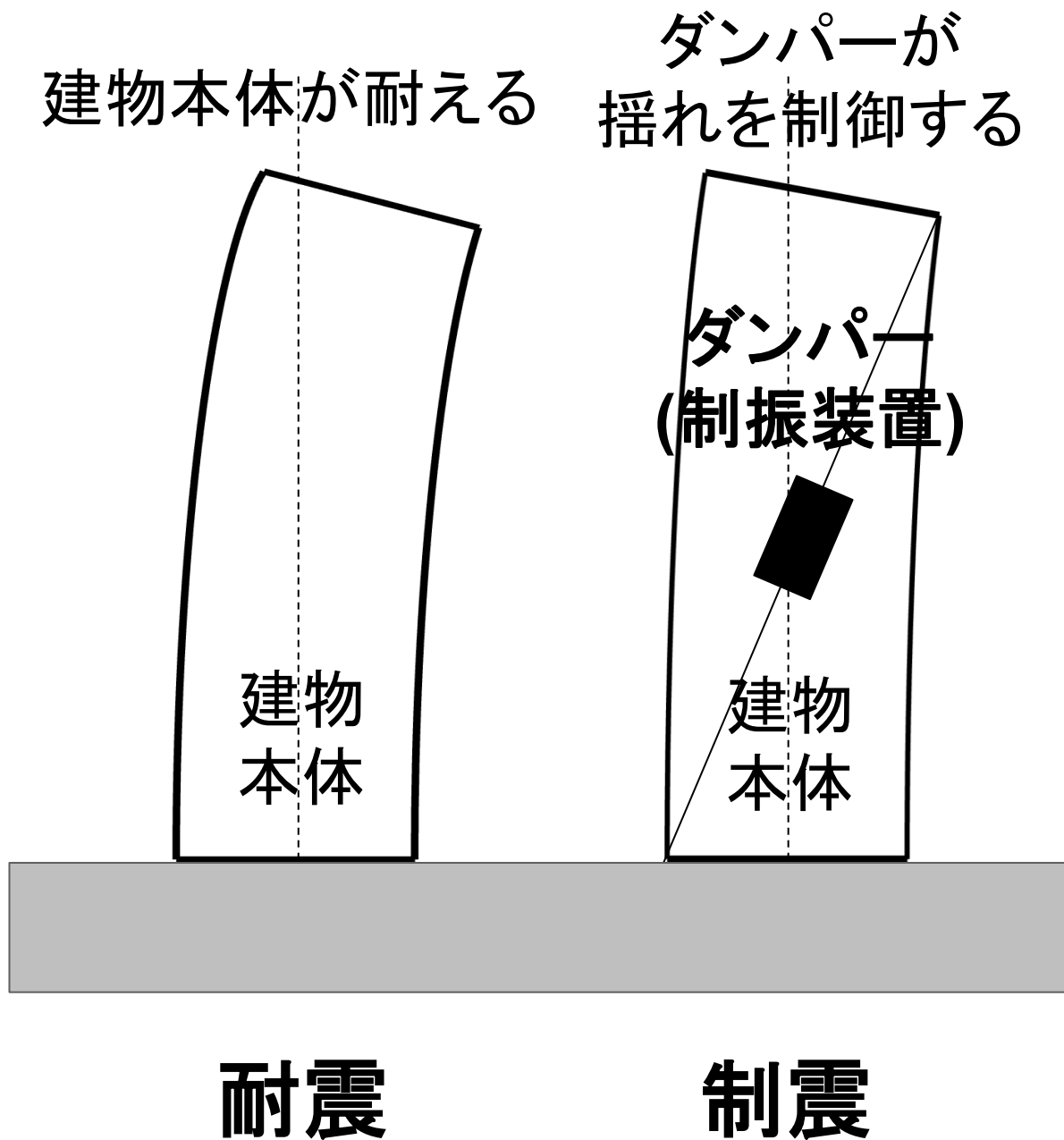
対処すべき問題点

- ・ 地震動（地面の加速度）
- ・ 今回の検討範囲は、地震動の中でも水平方向のみ

目的

- ・ 免震構造物の、地震時の水平方向の揺れを制御する

代表的な地震対策とその原理



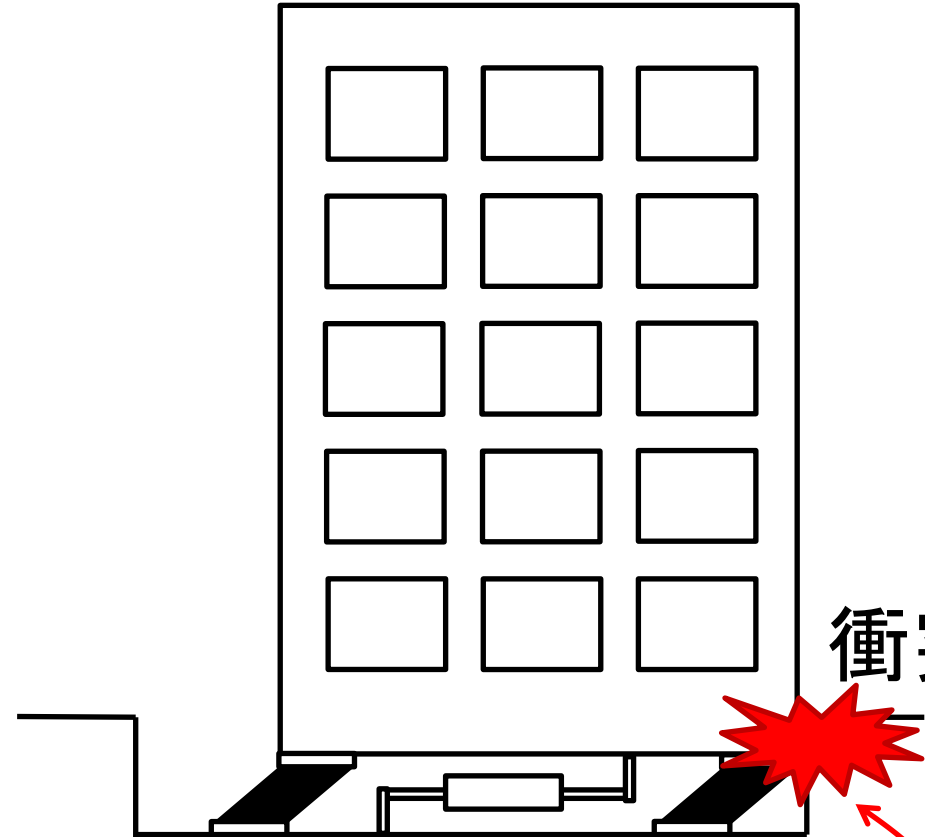
本技術開発で取り組んだ課題

長周期・長時間継続地震動



免震層が擁壁と衝突
する可能性がある

頂部床応答加速度:小



衝突の恐れ

免震層変位:極大

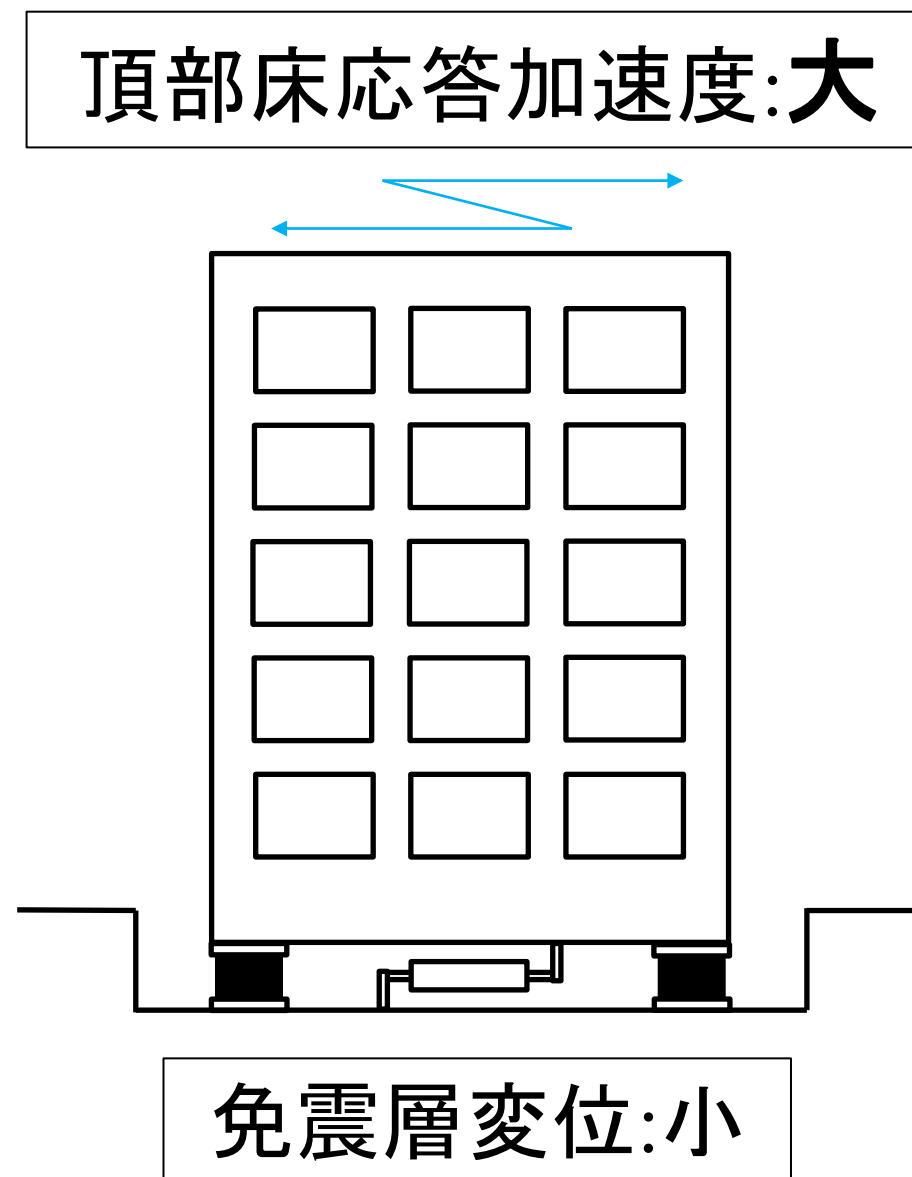
本技術開発で取り組んだ課題

長周期・長時間継続地震動
対策設計すると

中小地震動発生時



免震性能の低下

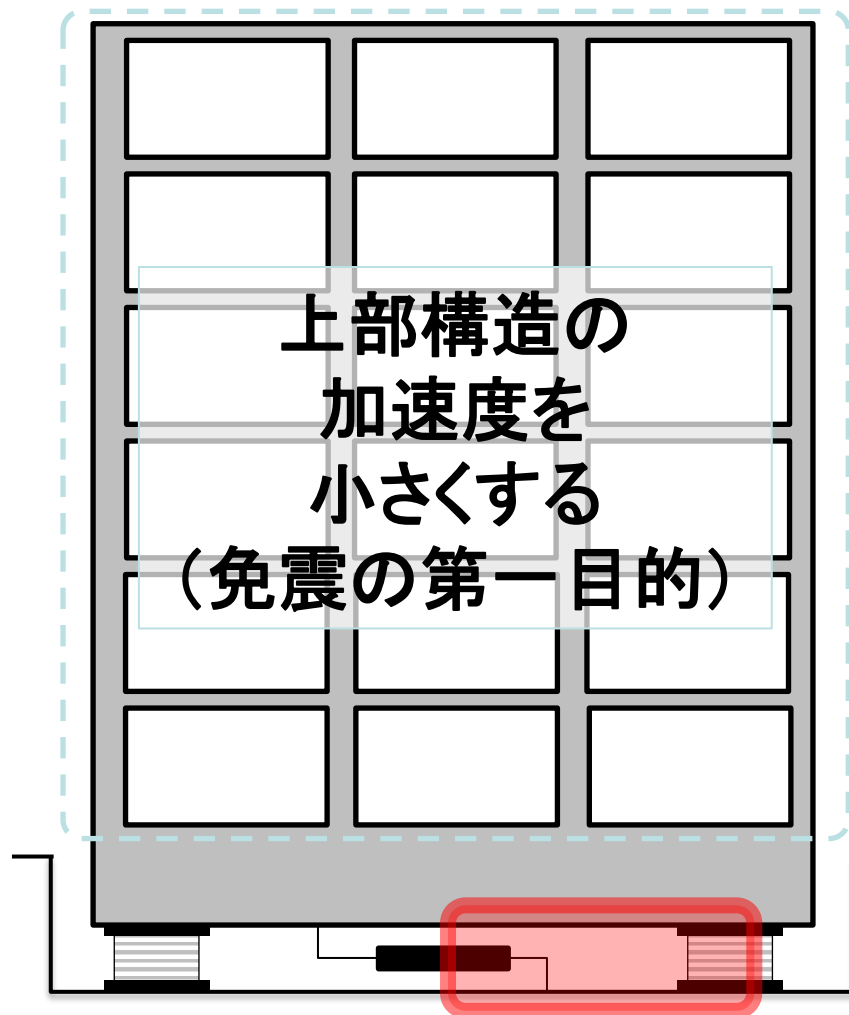


本技術開発で取り組んだ課題

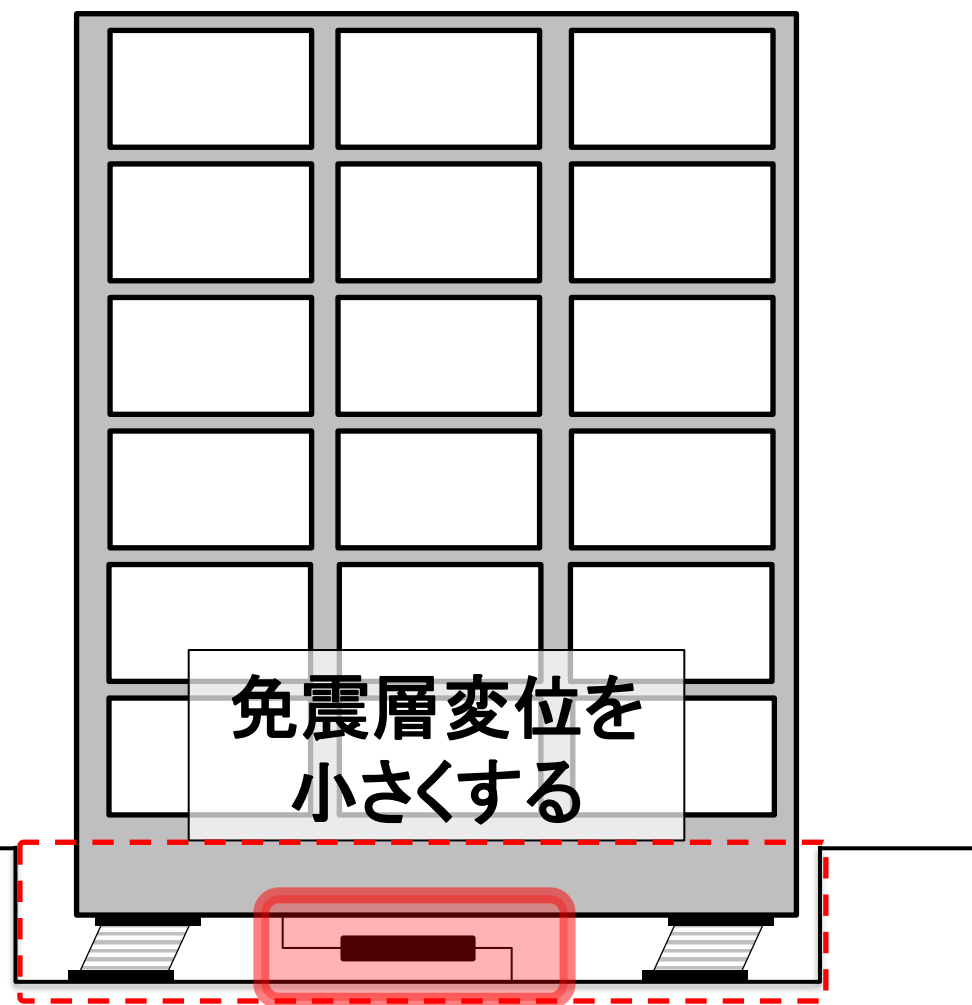
対象：免震構造（建築構造物）

目標：2種類の異なる性能の両立

1. 中小地震時



2. 長周期・巨大地震時



本技術開発の背景

従来の免震用ダンパー

- ・オイルダンパー(粘性ダンパー): 速度依存型
- ・履歴型ダンパー : 物質の塑性化、非線形性を利用
- ・摩擦ダンパー : 摩擦力でエネルギーを消費

性能が変化するダンパーを挙げると...

- ・減衰性能が変化するダンパー(リリーフ付きオイルダンパー)
- ・剛性が変化する履歴ダンパー(履歴型ダンパー・摩擦ダンパー)
- ・外部電力を用いたアクティブ制御ダンパー

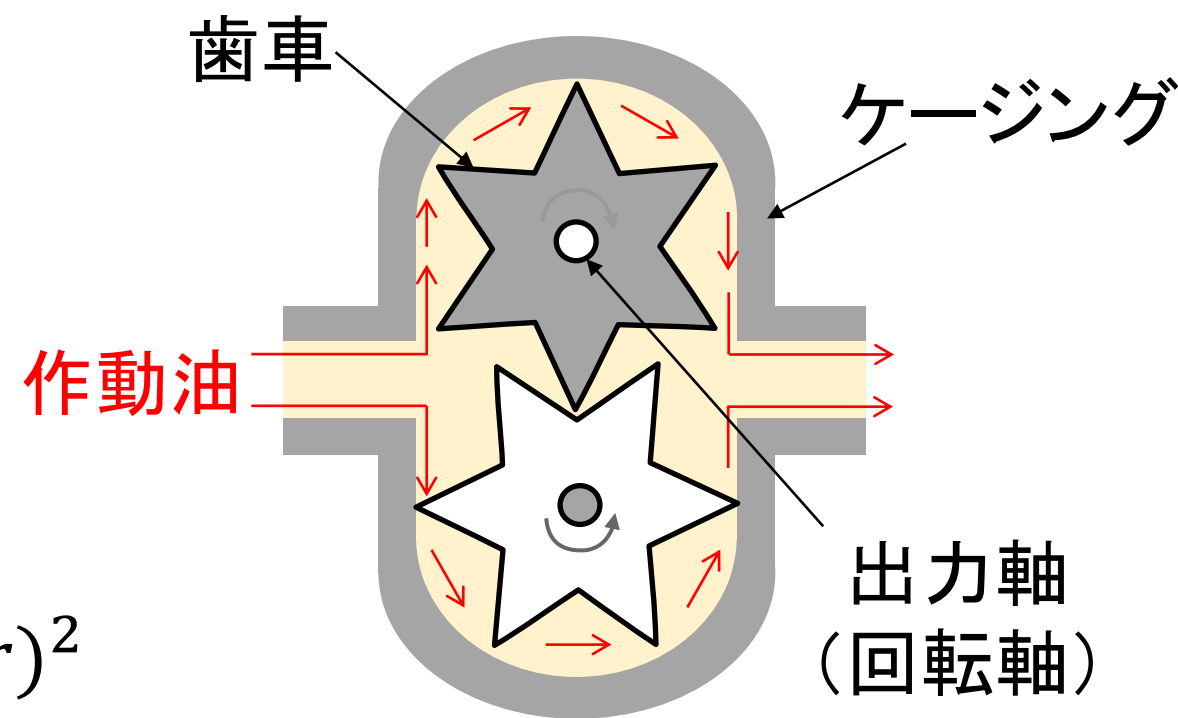
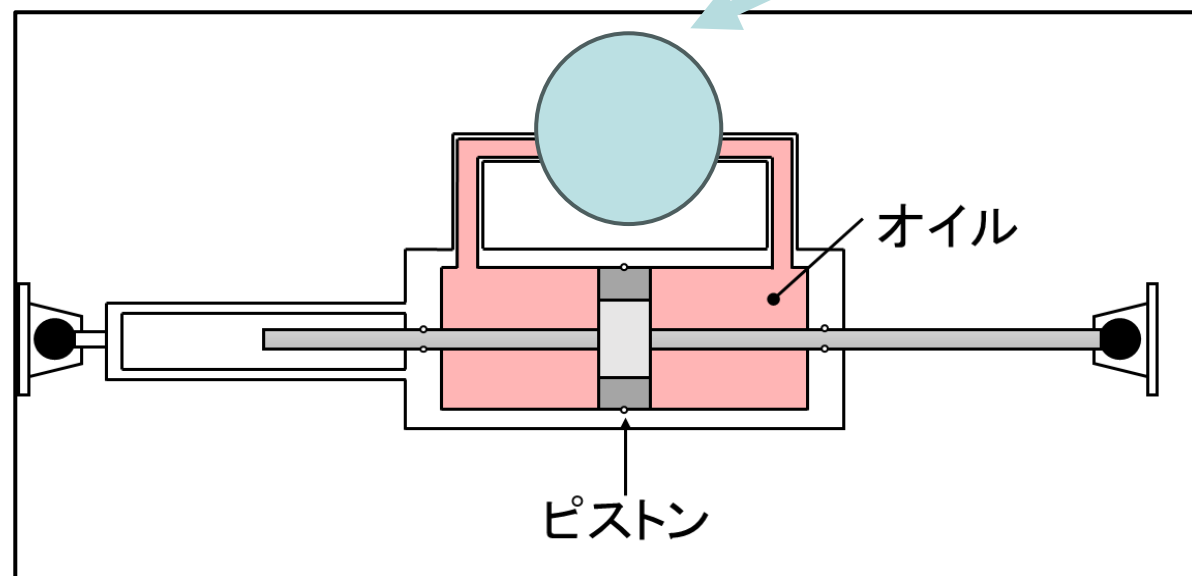
本技術を用いた新ダンパー

- ・質量要素を用いた**マスダンパー** : ダンパー力は加速度に依存
免震ではほぼ使われていない
- ・**質量成分の可逆的変更**を実現
性能が変化するマスダンパーはおそらく皆無

本技術のダンパー① 既存の技術部分

歯車ギアモーターとオイルピストンで回転慣性によって
大質量と同じ挙動を再現する建築用マスダンパー(既存)

歯車ギアモーター



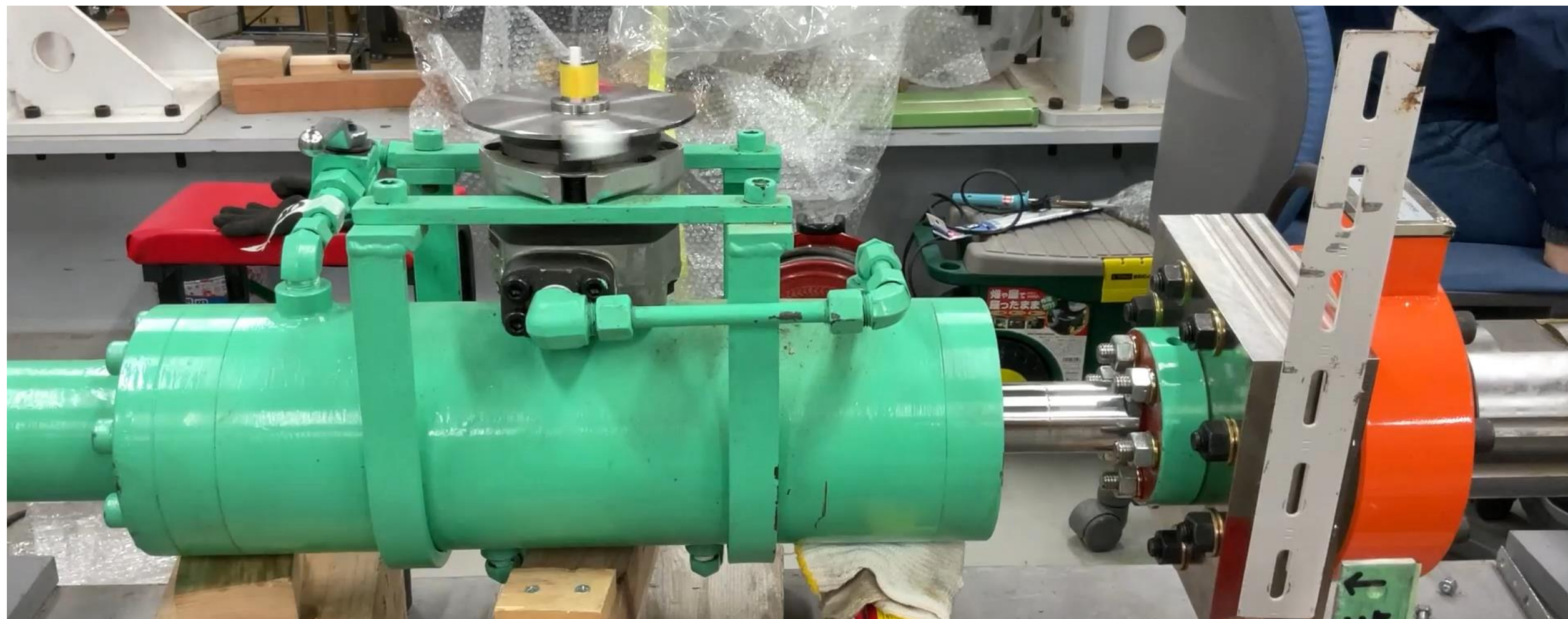
$$\text{等価質量 } m_d = \text{実質量 } m \times (\text{回転半径 } r)^2$$

遠心力を用いることで、回転体実質量の数千～数十万倍の大質量と同じ挙動に

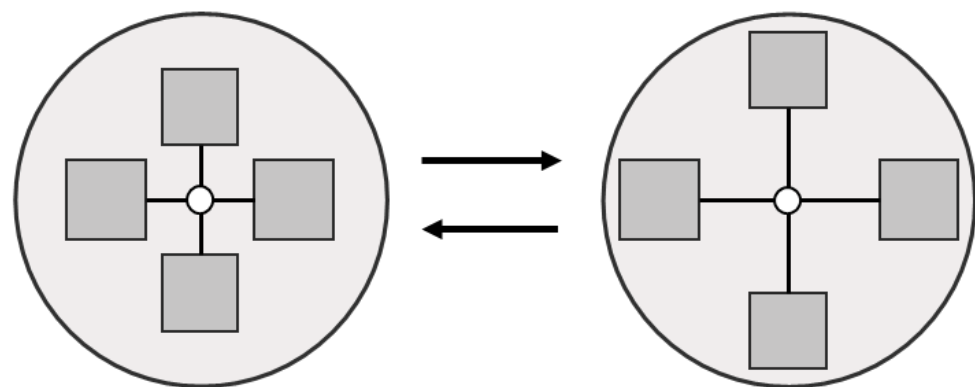
本技術のダンパー① 既存の技術部分

歯車ギアモーターとオイルピストンで回転慣性によって
大質量と同じ挙動を再現する建築用マスダンパー(既存)

歯車ギアモータ

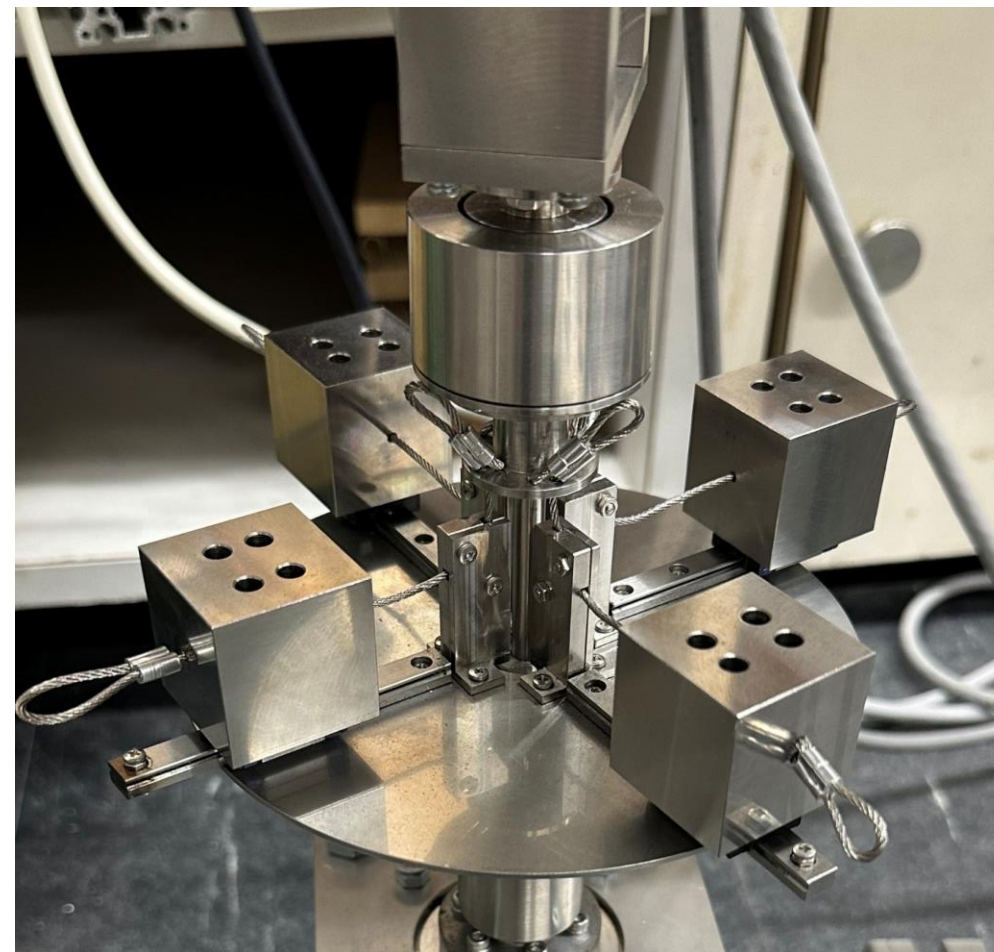


質量成分可変装置(試作模型機)



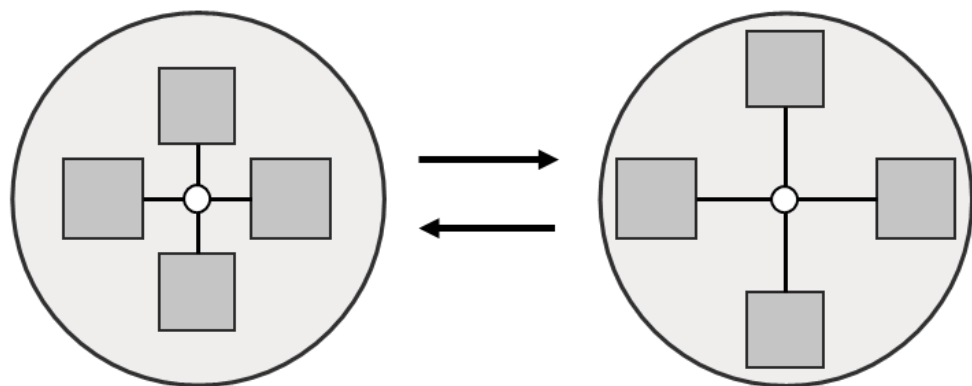
回転慣性質量
小
(2.5トン相当)
6000倍

回転慣性質量
大
(5.0トン相当)
12000倍



錘の回転位置の制御と、
回転運動とを、切り離して制御可能に

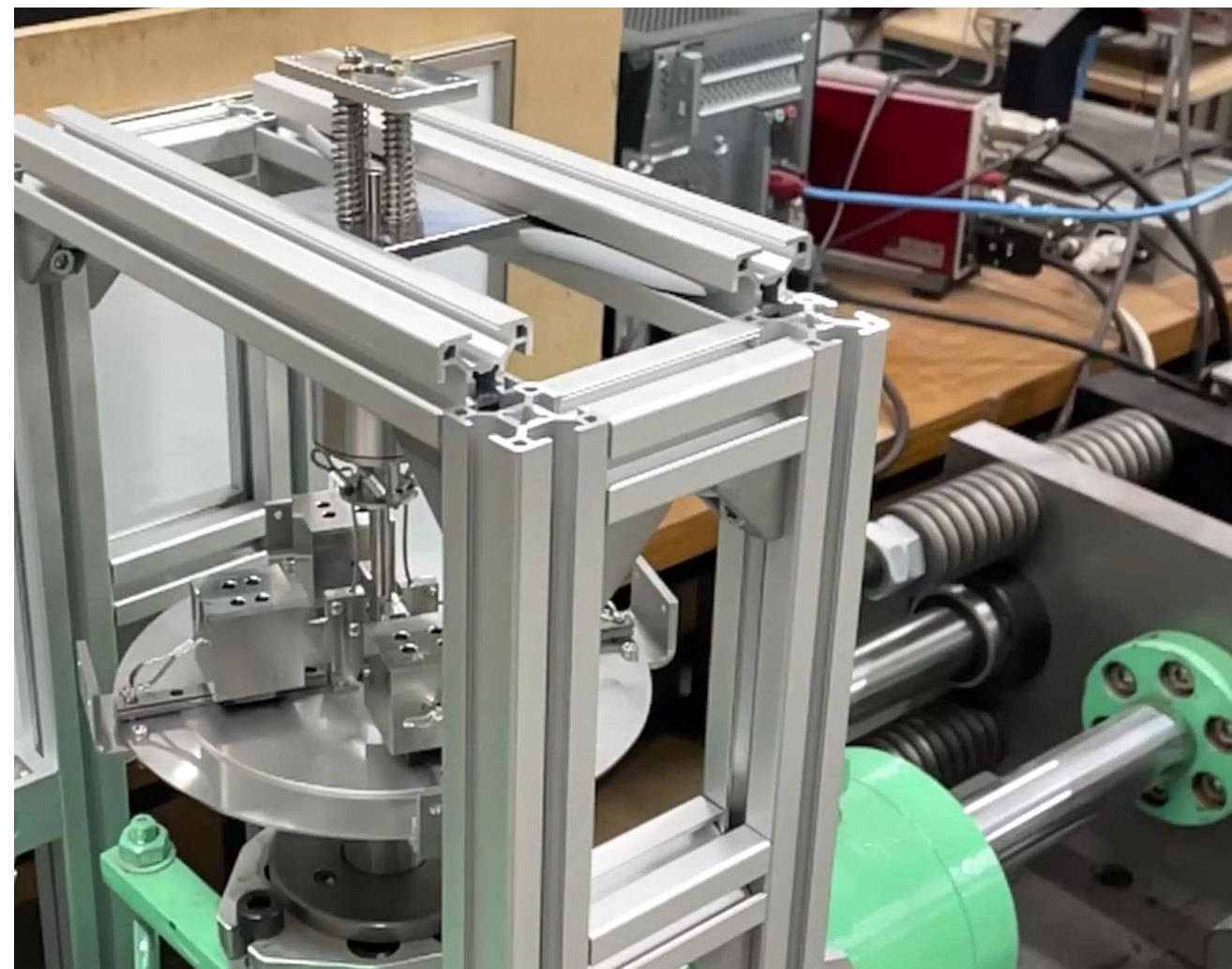
質量成分可変装置(試作模型機)



回転慣性質量
小
(2.5トン相当)
6000倍

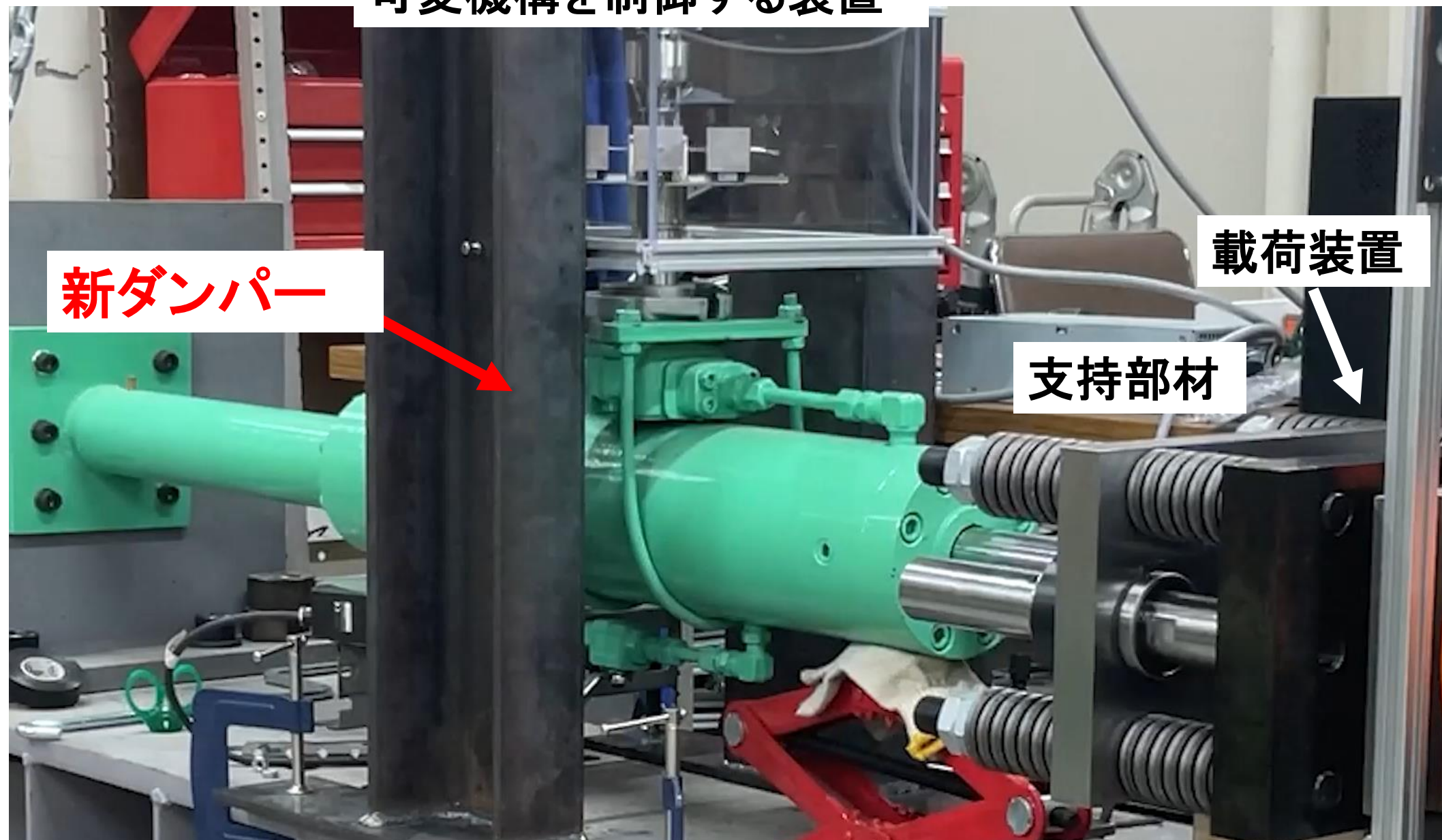
回転慣性質量
大
(5.0トン相当)
12000倍

錘の回転位置の制御と、
回転運動とを、切り離して制御可能に



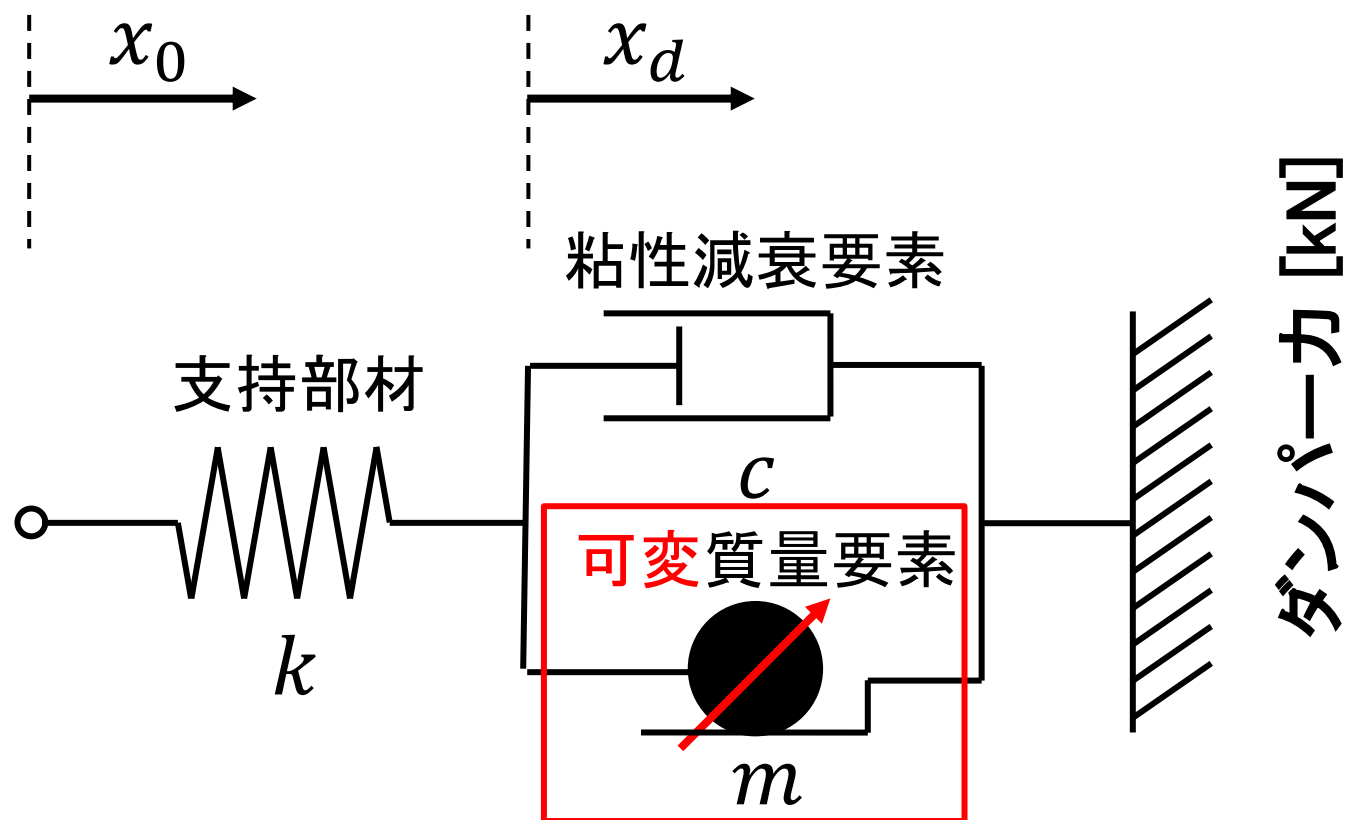
本技術のダンパー③ 試作機の性能確認実験

可変機構を制御する装置

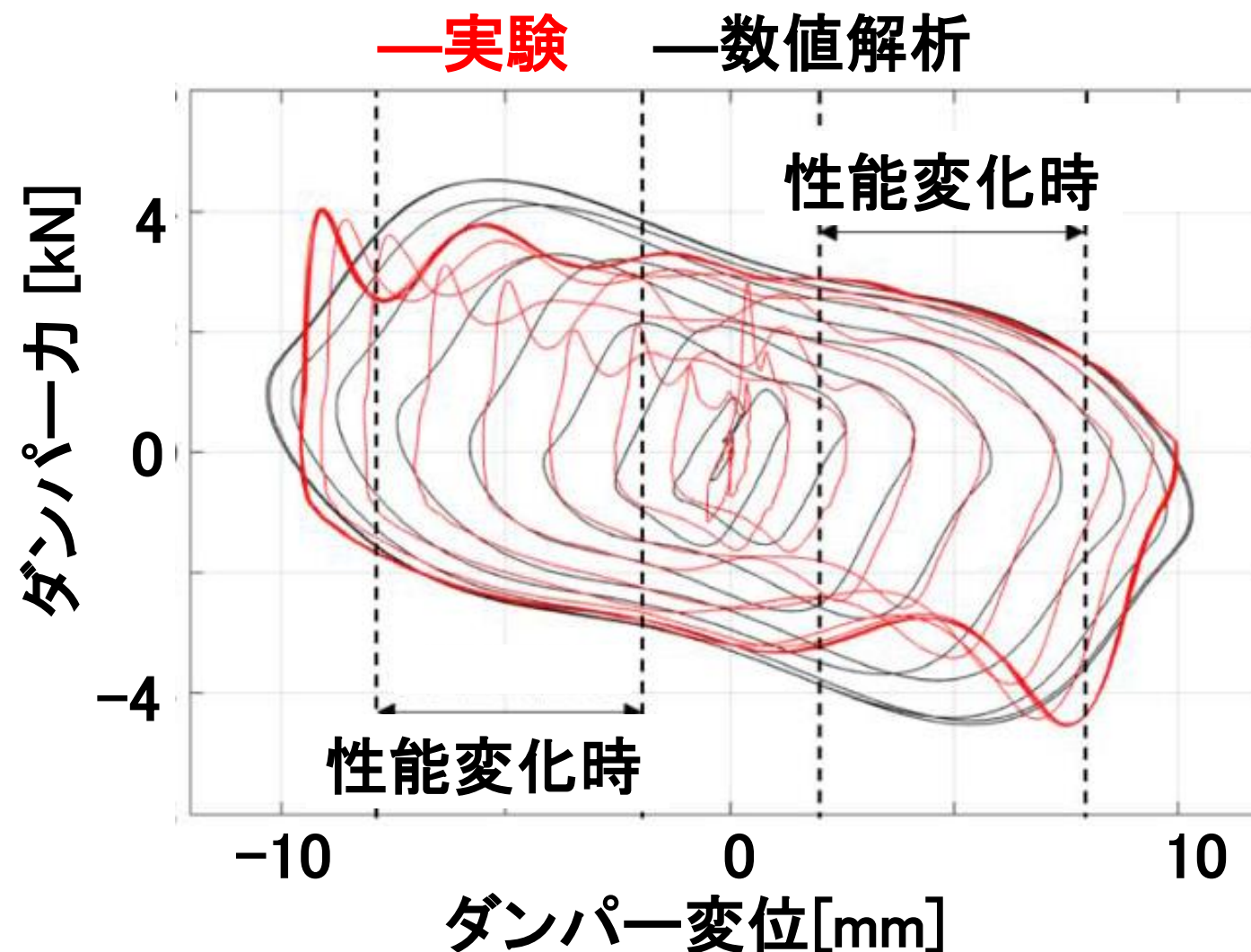


想定通り動くこと、数値解析で再現可能であることを確認。

本技術のダンパー④ 試作機の性能確認実験



質量可変ダンパーの力学的モデル



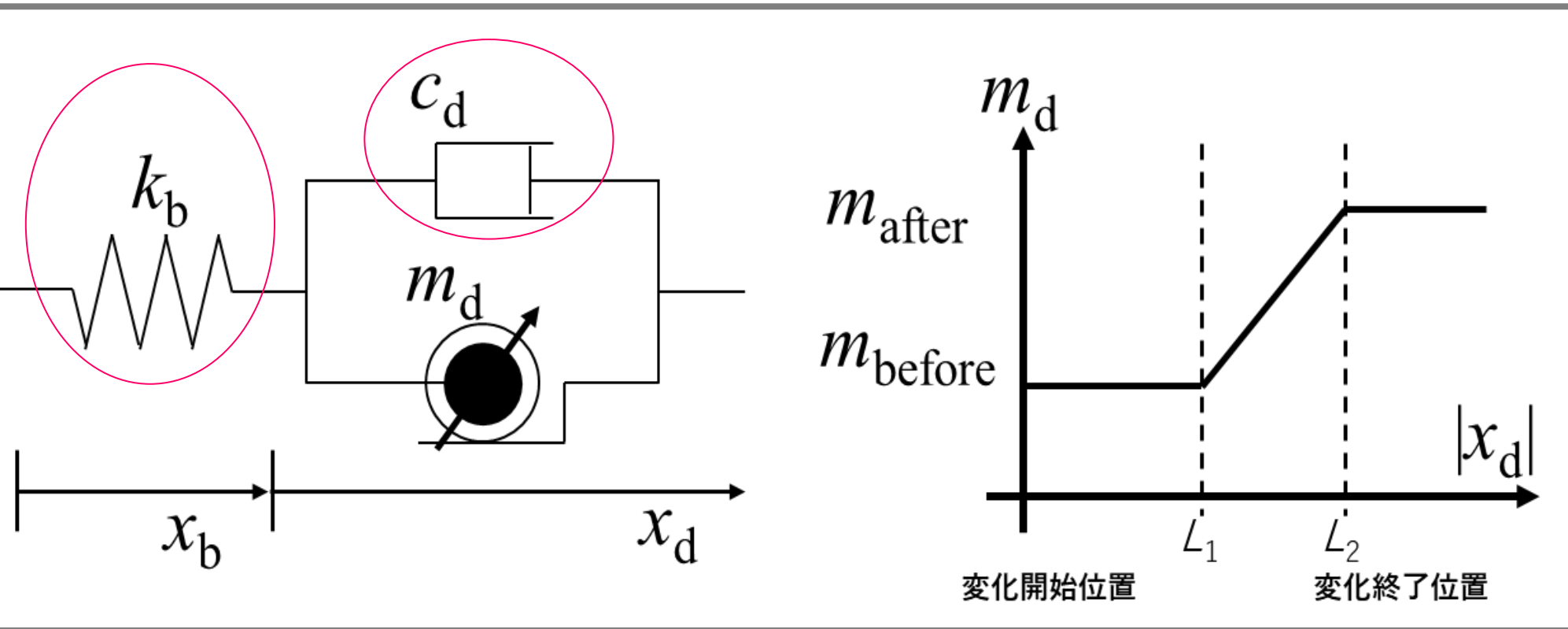
想定通り動くこと、数値解析で再現可能であることを確認。

本技術のダンパー⑤ 建物導入時の設計変数

設計変数が6つあり、設計が難しい

Cd : 通常のオイルダンパー設計法を利用

kb : マスダンパーの設計法を利用



$$\text{付加質量比 } \mu = \frac{m_d}{m}$$
$$\text{付加系振動数比 } \beta = \frac{\omega_d}{\omega_f}$$

$$= \sqrt{\frac{k_b/m_{\text{before}}}{k/m}}$$

$$\text{減衰定数 } h = \frac{C_d}{2\omega_f m}$$

$m_{\text{after}}, m_{\text{before}}$: 本技術で新しく導入した設計変数
➡ 次ページの設計方法

本技術の設計方法①:設計方針



第1段階:性能変化前

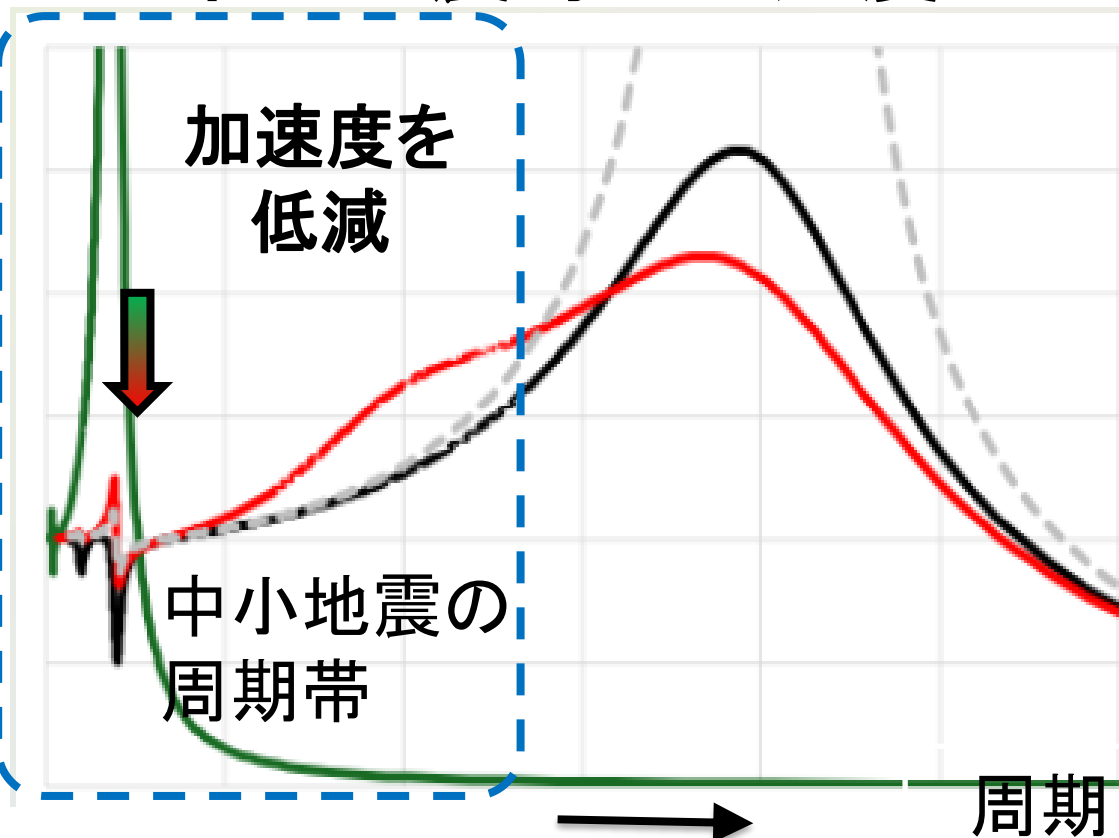


第2段階:性能変化後

本技術の設計方法②: 本技術の振動特性

第1段階

中小地震時の加速度



中小地震の周期帯の加速度を低減
(従来ダンパー同等)

免震+
新ダンパー

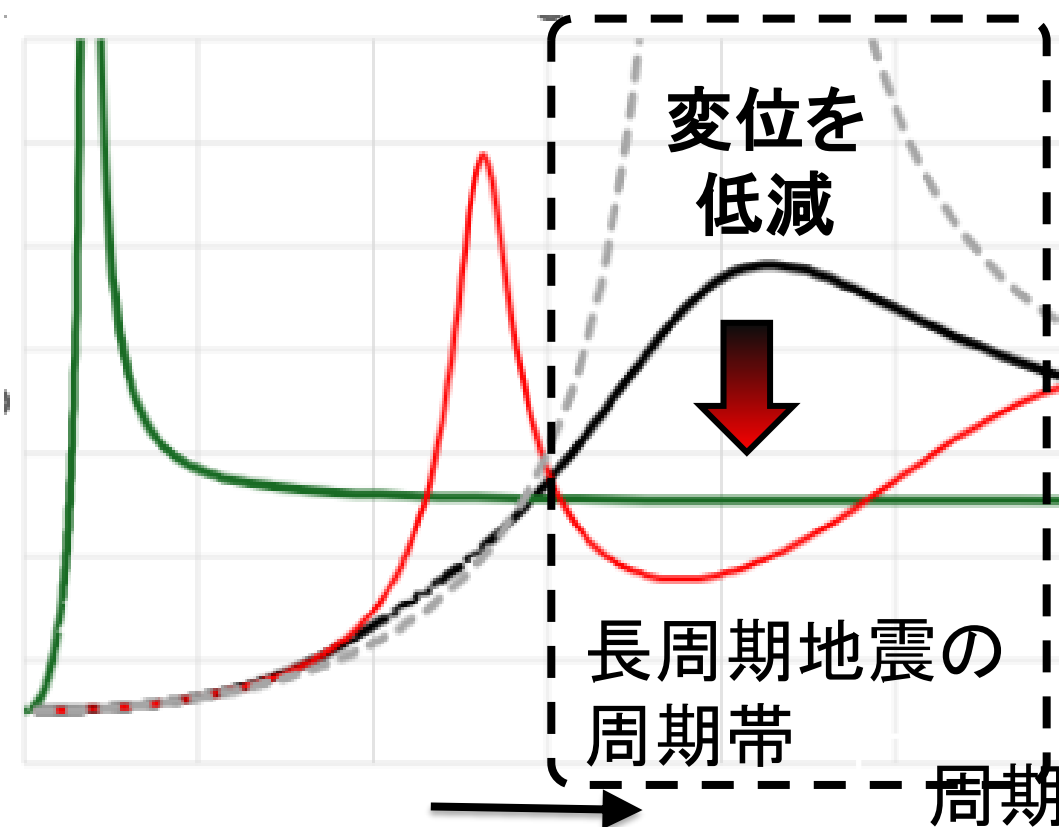
免震+
従来ダンパー

免震あり
ダンパーなし

免震なし
ダンパーなし

第2段階

巨大地震時の変位

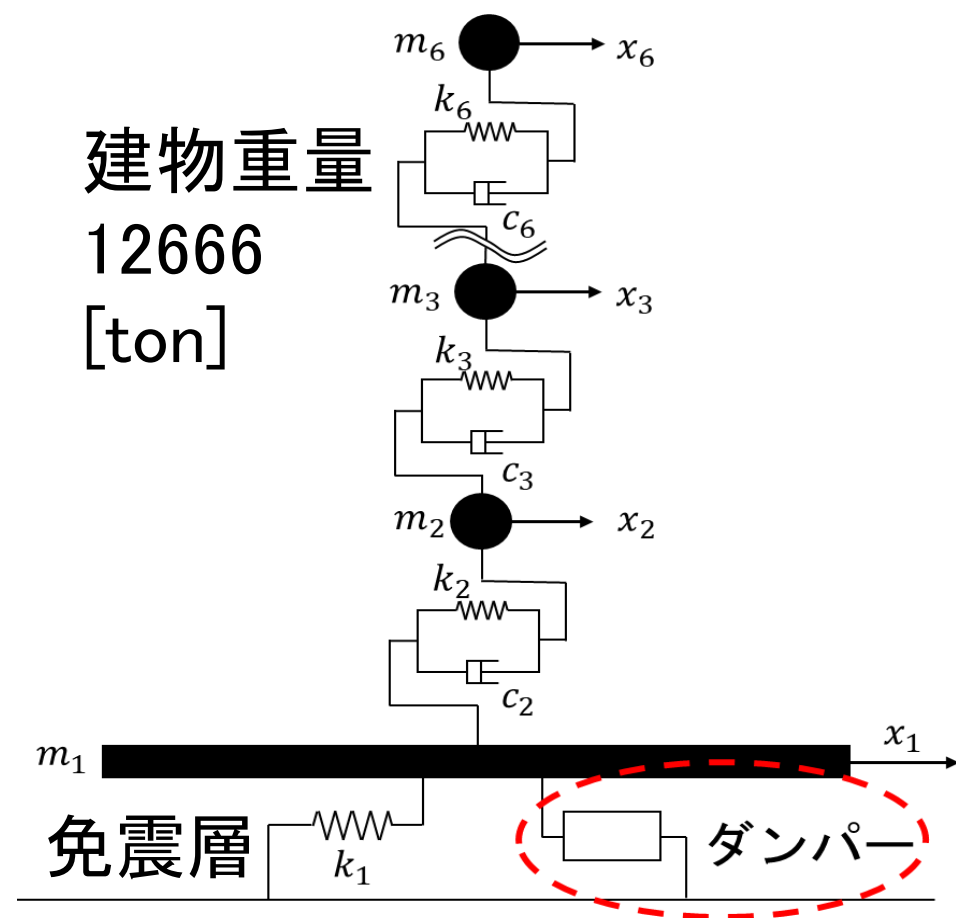


従来ダンパーの弱点である
大規模地震の周期帯の変位を低減

質量の変化を加えることで地震時のダンパー性能の可逆的な急変を実現

本技術の有効性① 検討免震建物モデル (数値解析)

解析モデル



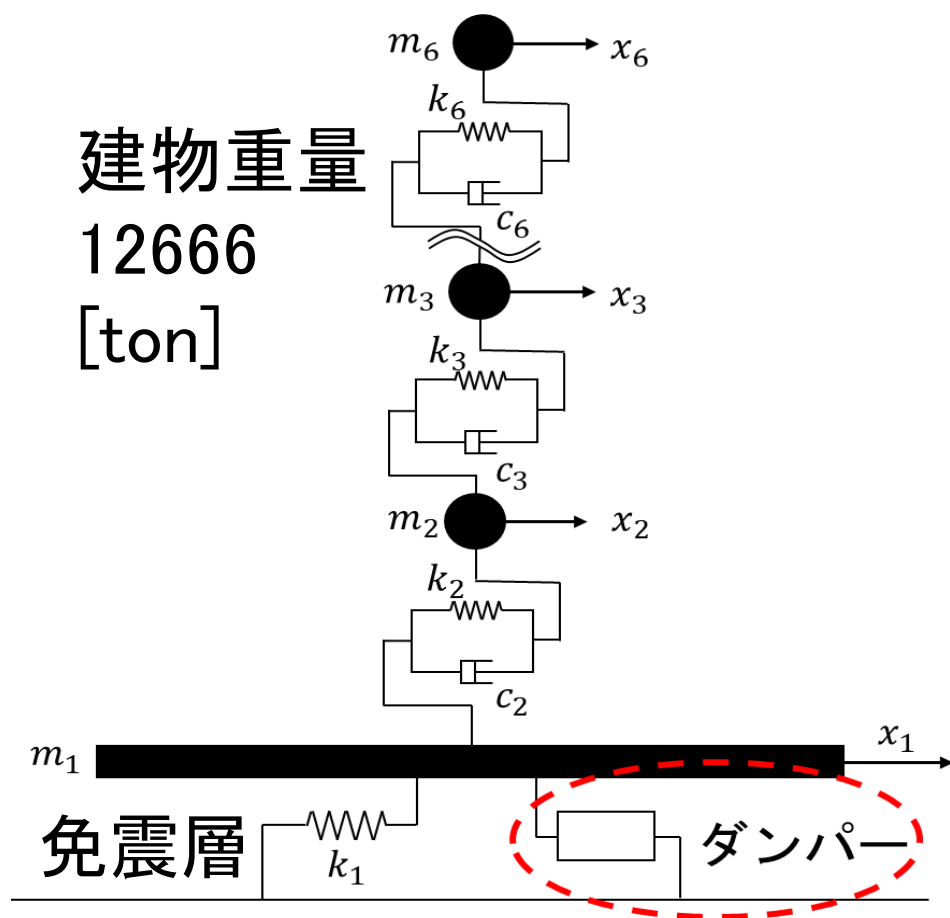
免震層＋RC5階建
(病院建物を想定)

固有周期4[s] (一般的な免震構造)

質点	質量[ton]	層剛性[kN/m]
6	1739	2290650
5	1800	2488300
4	1807	1938750
3	1928	2037850
2	2335	1759650
1	3057	31254
合計	12666	-

本技術の有効性② 本技術の必要性能 (数値解析)

解析モデル



免震層＋RC5階建
(病院建物を想定)

固有周期4[s] (一般的な免震構造)

本ダンパーに必要な性能

慣性質量(性能変化前): 2532トン

建物総重量の20%

慣性質量(性能変化後): 8866トン

建物総重量の70%

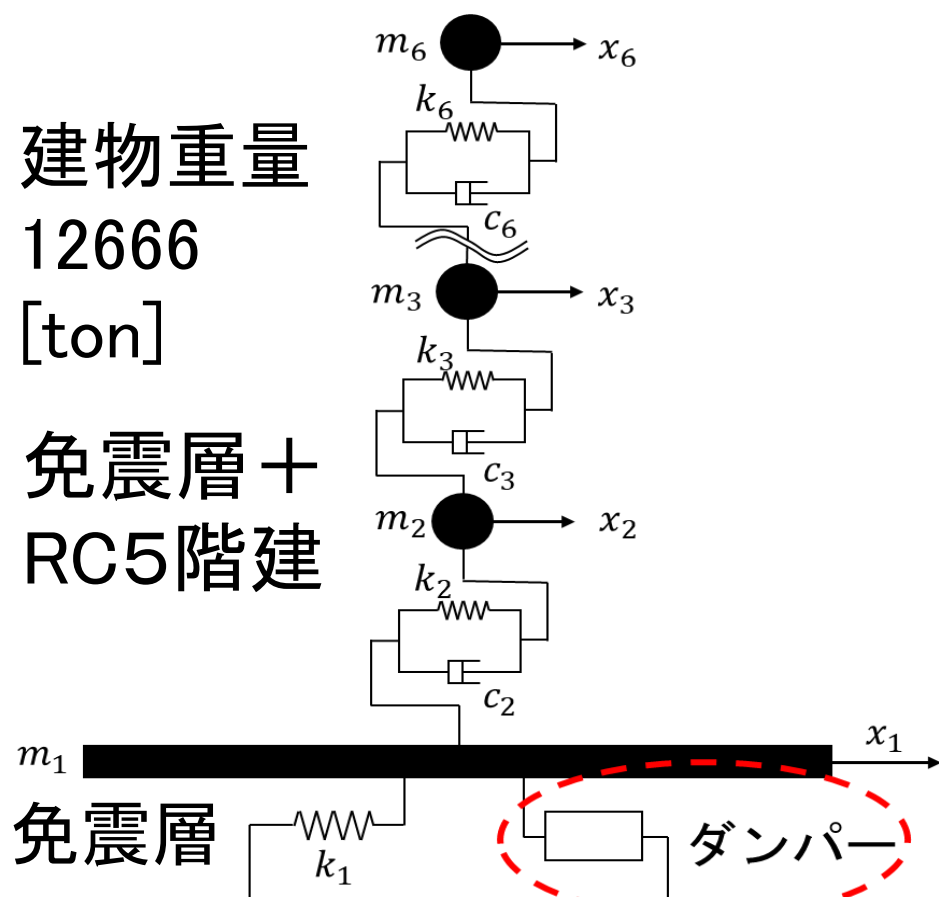
支持部材剛性: 24990 kN/m

(免震層剛性の80%)

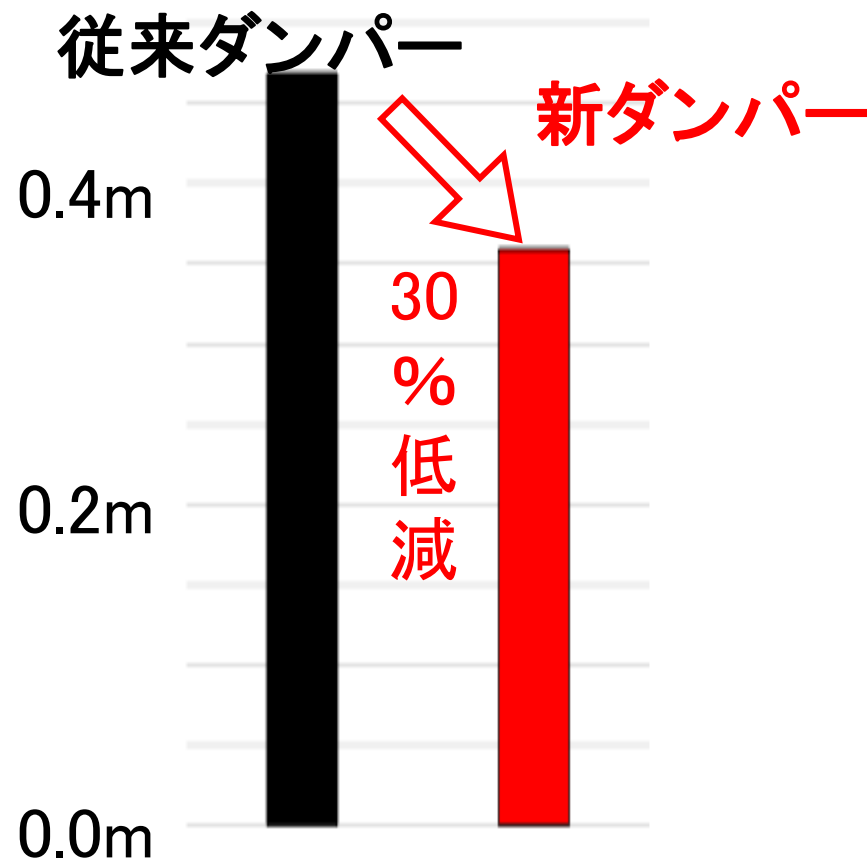
本技術の有効性③ 数値解析結果 本技術と従来技術の比較

南海トラフ地震を想定した大阪港湾部での想定地震動(OS1)時

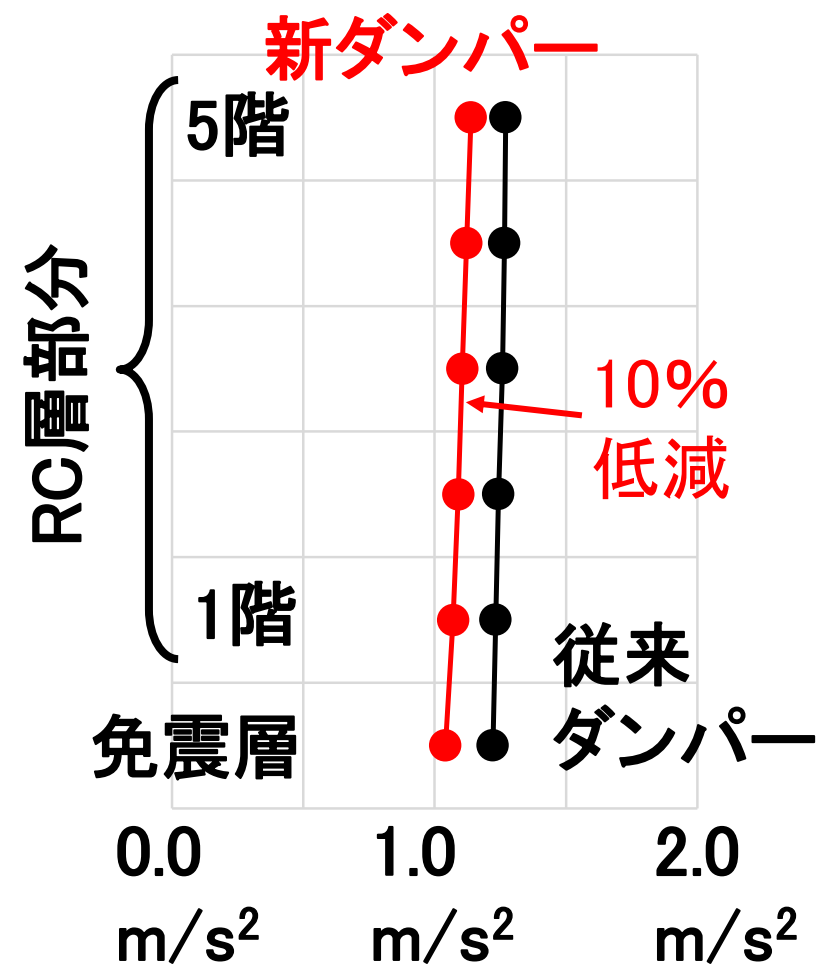
解析モデル



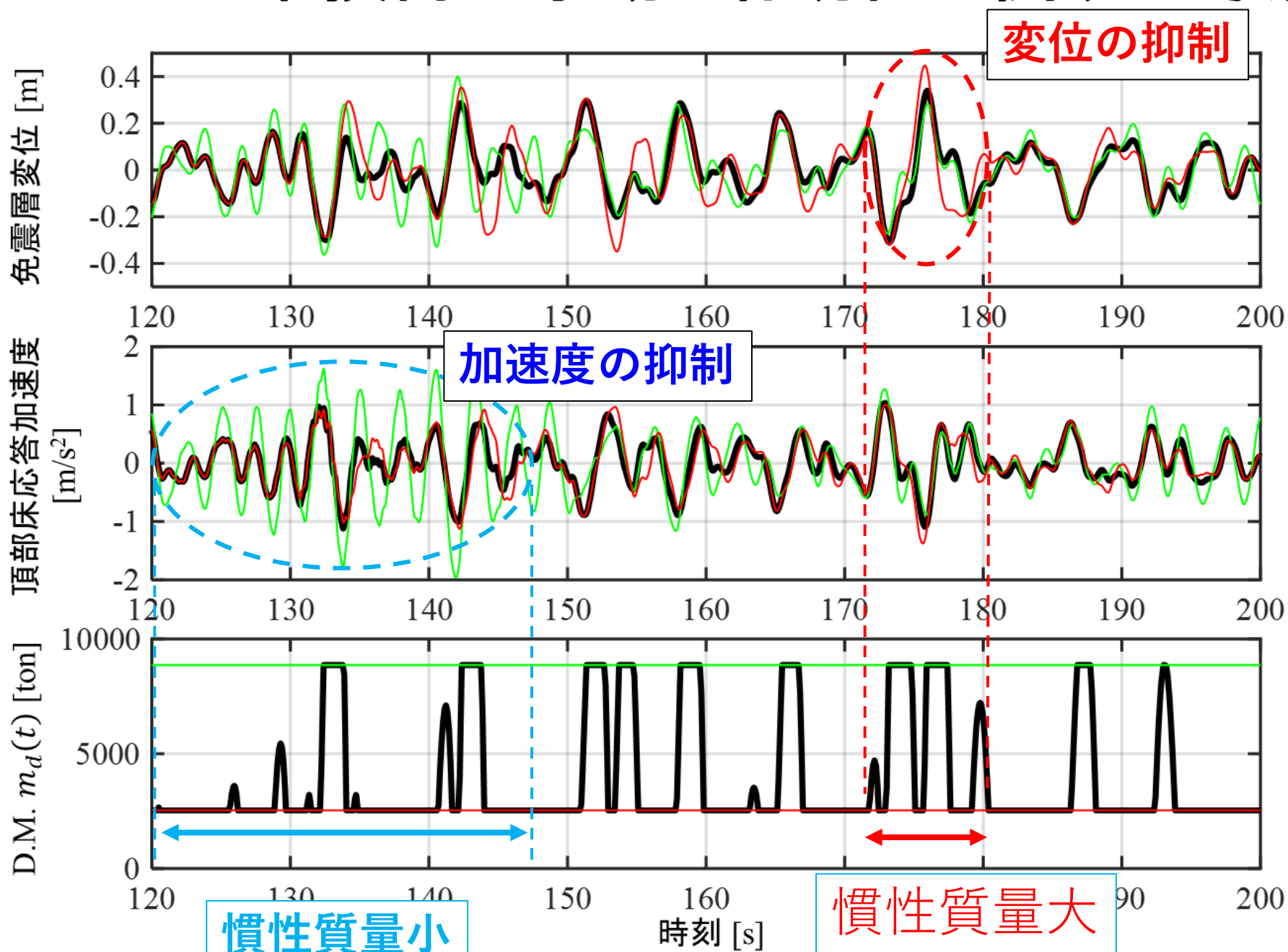
免震層変位



層ごとの加速度



本技術の有効性④ 数値解析結果 本技術の挙動と有効性に関する考察



- 性能変化(ダンパーA)
- 性能変化前固定($\mu=0.2$)
- 性能変化後固定($\mu=0.7$)

想定される用途

- ・ 室内機材の免震化
 - サーバーラック
 - 展示用台
- ・ 免震化が難しい軽量構造物の免震化
 - 木造構造物
- ・ 固有振動数(固有周期)を変化させて
 - 振動障害を回避したい装置

実用化に向けた課題

開発済み

- 回転慣性質量を変化させる装置と挙動を追跡する解析手法

課題

- 油圧装置特有の問題であるオイルハンマーが未解決
 - ➡ オイルハンマー解決のための試作機を製作中
 - 試作機の実験と、数値解析手法の妥当性・精度検証を予定

特に大学では難しい課題

- 実用化に向けた実物大装置の製作
- 実物大時の装置の実験・耐久性検証など

企業への期待

- 建築構造物に使うためには実物大のダンパー製作が必要(等価質量数万トン級)
 - ➡ 実験装置、ダンパーの製作ノウハウなどからも企業との共同研究が不可欠
- その他の分野への展開には装置の小型化が必要
 - ➡ 回転慣性を生み出すギアモータ部品などの
小型化技術を持つ、企業との共同研究を希望
- 以下の問題点に対して、本技術は特に効果を発揮すると考えられる。
 - 振動物を長周期化が困難な構造物
 - 本体重量が軽い・・・木造構造、小型免震装置など
 - 本体剛性は必要・・・サーバーラックなど

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は免震に限らず、振動制御の側面でこれまでにない柔軟な制御が可能 ➡ 振動問題への対応策として検討できる
(建築構造に限られません)
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験、数値解析を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。
- 本格導入にあたっての技術指導、設計手法の提案が可能
 - ・ 最適設計手法の併用なども可

地震対策の構造設計に関わる研究を広く進めていますので、一緒に課題解決に取り組むことも可能です。お困りごとがありましたらお気軽にお声がけいただければ幸いです。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ダンパーおよび建築物
- 出願番号 : 特願2024-033068
- 出願人 : 関西大学
- 発明者 : 池永 昌容、内原 啓吾

お問い合わせ先

関西大学
産学官連携センター

T E L : 0 6 - 6 3 6 8 - 1 2 4 5

e-mail : sangakukan-mm@ml.kandai.jp