

機械要素振動の その場除去が可能な 小型パッシブダンパ

東京工業大学 工学院 機械系
准教授 田中 智久

2024年9月3日

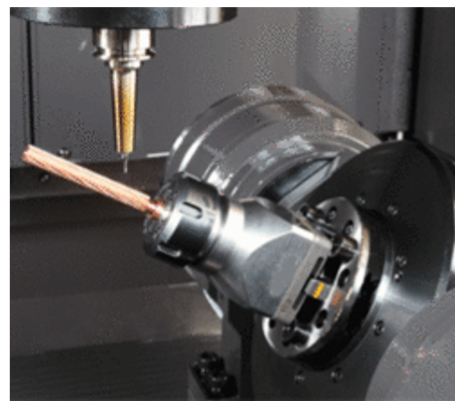
高精度分品生産における除震の重要性

産業界の要求：高精度な工作機械の実現

工業製品の高機能化と低コスト化

- 高精度な金型
- 微細部品の加工
- 高速・高能率な加工

高性能工作機械の実現



加工中の振動問題が存在

- 高速移動による高周波励起，整定時間の増加
- 微小振動が無視できない微細加工領域

➡ 工作機械の減衰性能向上が必要

機械要素の剛性と減衰の設計が重要となる

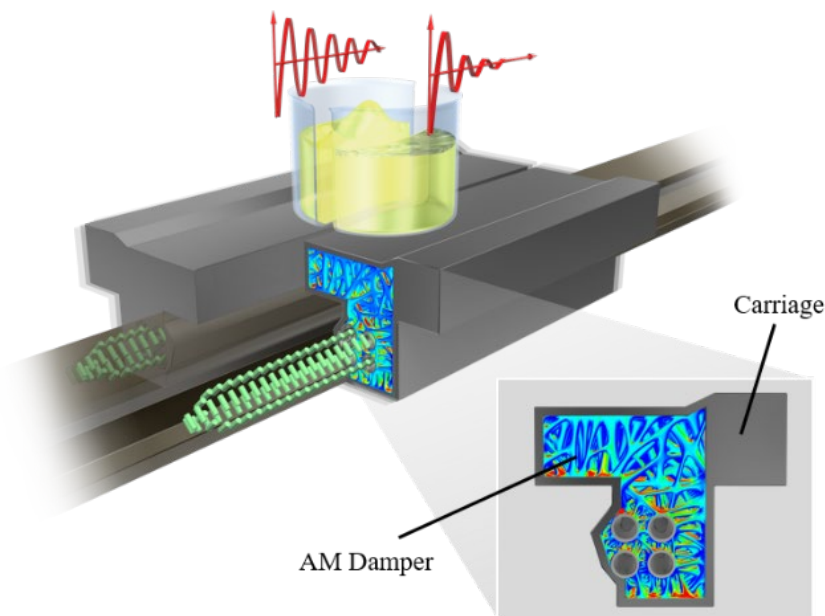
技術開発の背景

従来の機械の減衰性能向上手法と課題

- 構造体の一部を高減衰材料に置き換える
 - 構造体の設計に大きな見直しが必要となる
- パッシブダンパによる受動的振動抑制
 - 特定の振動モードにしか適用できず、工作機械では不十分
- アクティブダンパによる能動的振動抑制
 - 設備が高価であり、製品の低コスト化が難しい

内包型構造体ダンパの提案

- 機械要素の内部にダンパ機能を創成
- 機械要素の剛性と減衰をチューニング可能
- 内部で減衰を発生させるため、弾性振動などへの減衰効果が期待できる

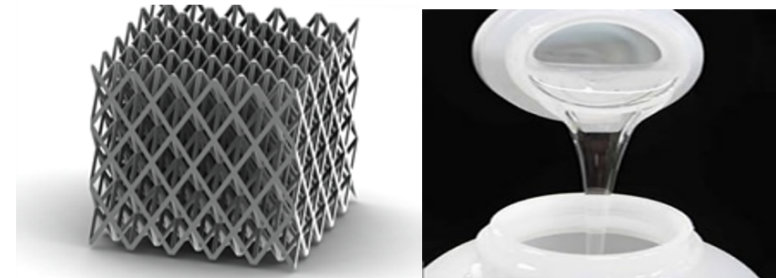


ダンパの構造と減衰原理

構造体と高分子材料を複合した構造体ダンパ

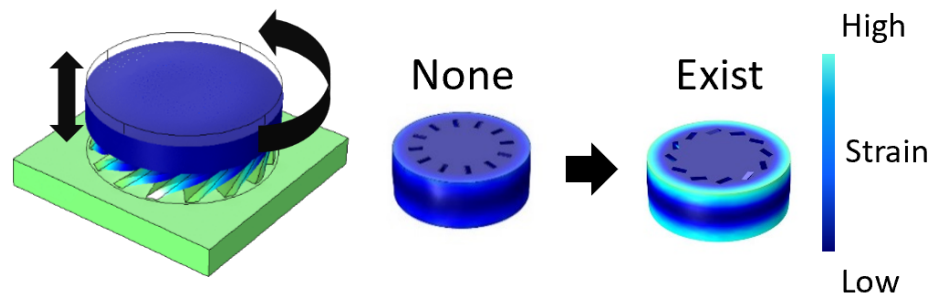
- 金属など、高剛性な構造体と高減衰な減衰材料を複合したダンパ
- 機械要素内部で、剛性を担保しつつ減衰性能を向上させる

Structure + Polymer

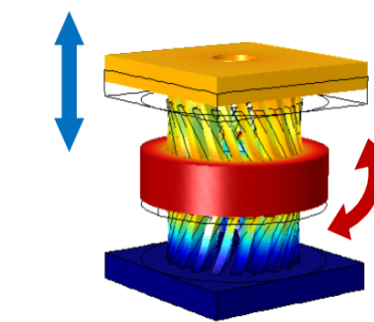


P-DACS (Passive-Damper with Anisotropic Composite Structure)

運動変換機構



伸縮振動



Squeezeモード

Tuning mass回転

- 運動変換による高いひずみ伝達
- 異方剛性設計により剛性・減衰性能をチューニング

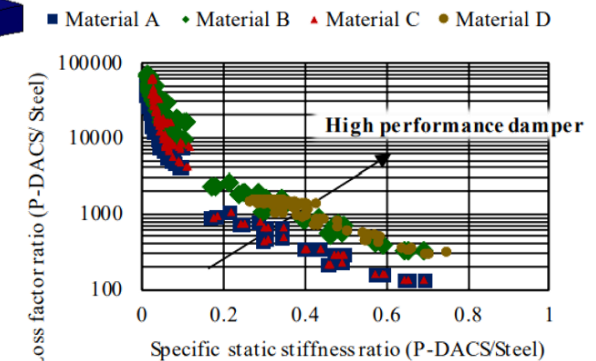


Fig. 5 Relationship between loss factor and static stiffness

P-DACSの製造手順

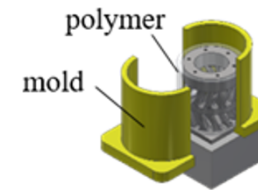
構造体の作製

- 金属構造体
 - 粉末床溶融方式
 - マルエージング鋼などの金属AM造形可能な樹脂
- 樹脂構造体
 - 光造形方式：アクリル
 - 多材料一体造形：ABS

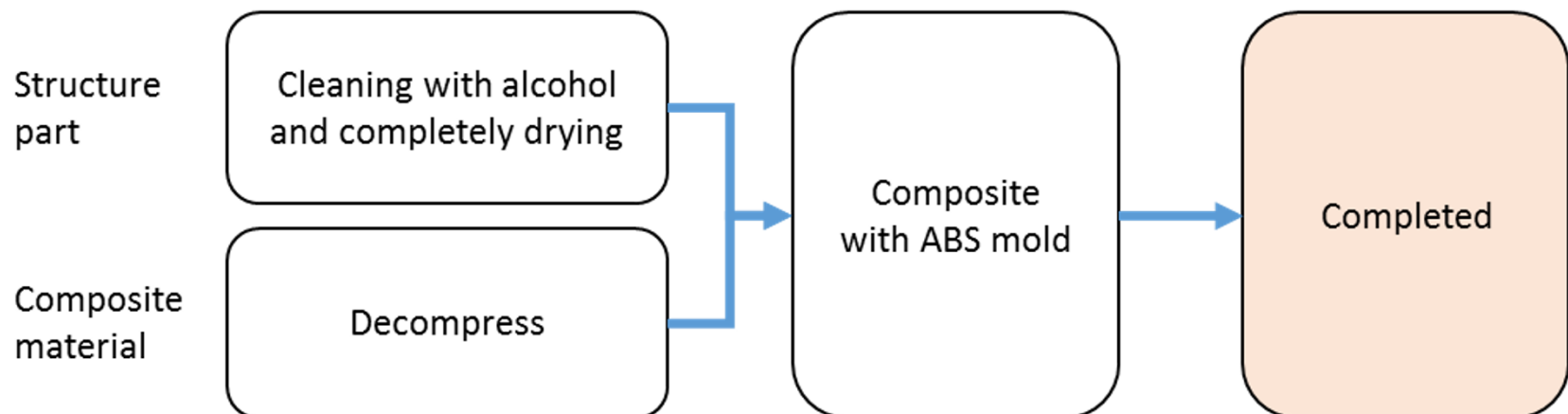


減衰材料の複合

- ABS製の型を使用
- 減圧脱泡で均質化



After solidify
Mold release



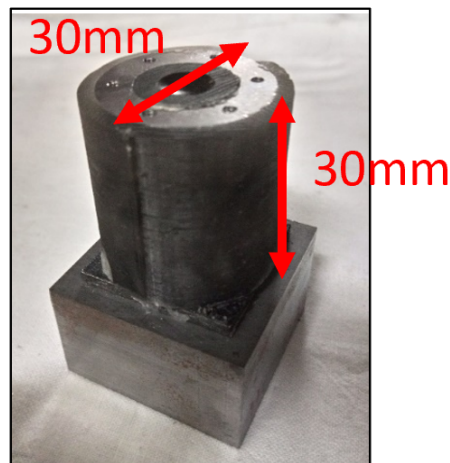
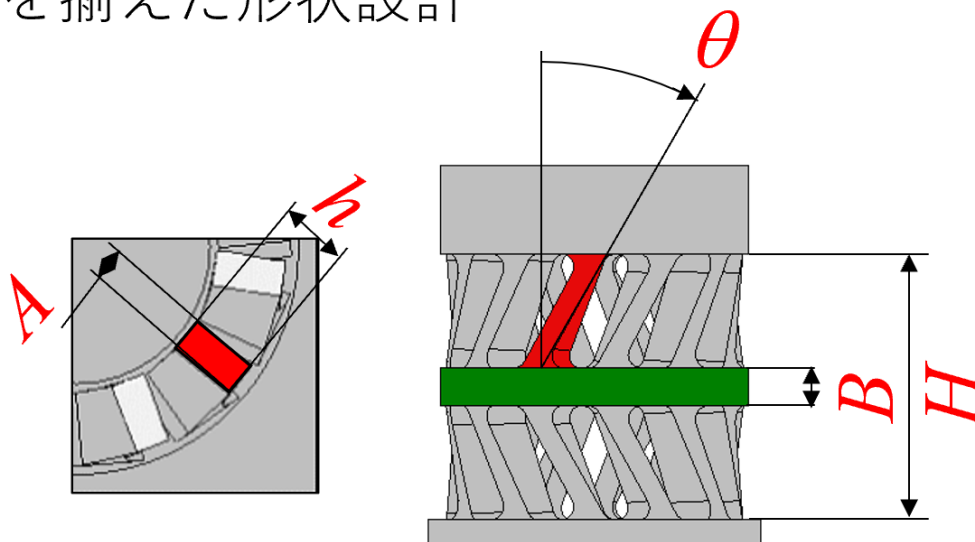
ユニットセル設計

ユニットセル設計の特徴

- 立方体（セル）内部に収まる形状設計
- 機械要素への内包を前提とした外形を揃えた形状設計

新規形状の設計パラメータ

- ユニットセル
 - 一辺30mmのユニット構造
 - 減衰材料を含め外形Φ30mm
- 設計パラメータ
 - Lattice : 本数 n , 傾斜 θ , 縦横比 α
 - Tuning mass : 高さ比 β

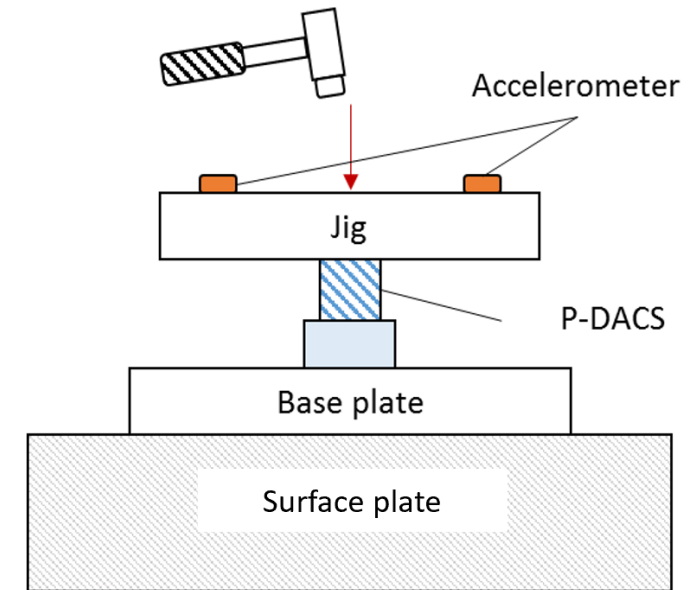


$$\alpha = h/A$$
$$\beta = B/H$$

P-DACS単体の評価:Lattice評価

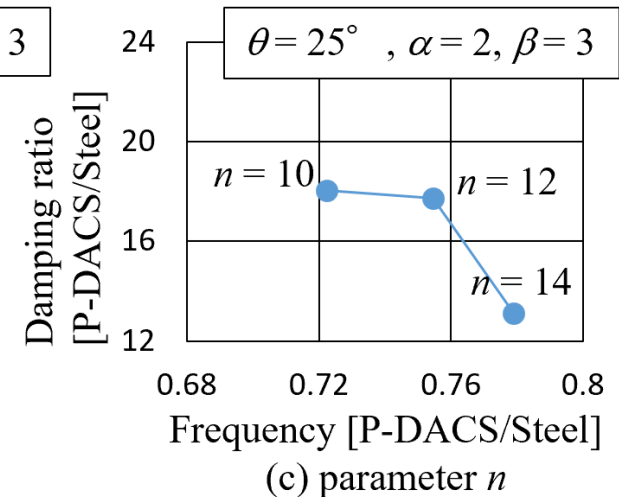
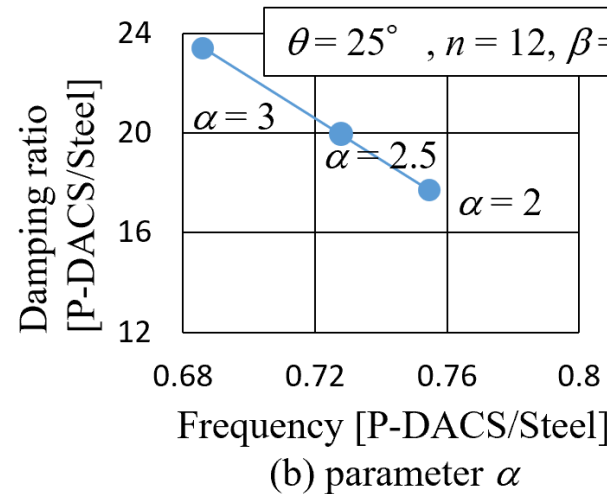
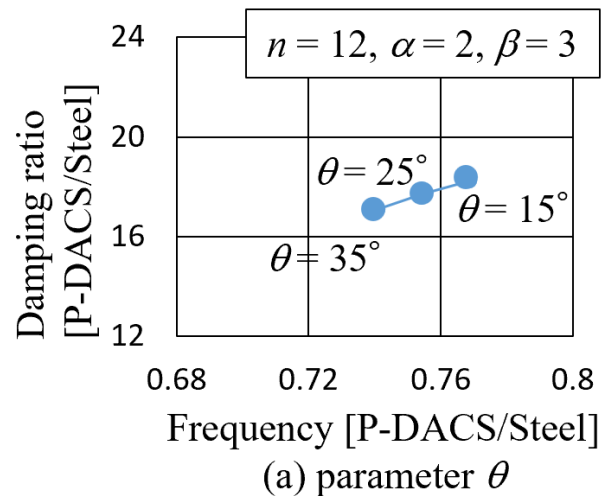
実験装置の構成

- P-DACSをベースプレートを通じて定盤に固定
- 上部に重りを固定して加振・加速度測定
- P-DACSのSqueeze振動モードを対象



実験結果：Lattice設計

- Lattice設計により **動剛性・減衰を設計可能**
- θ は変化量が小さいが高減衰ほど高剛性



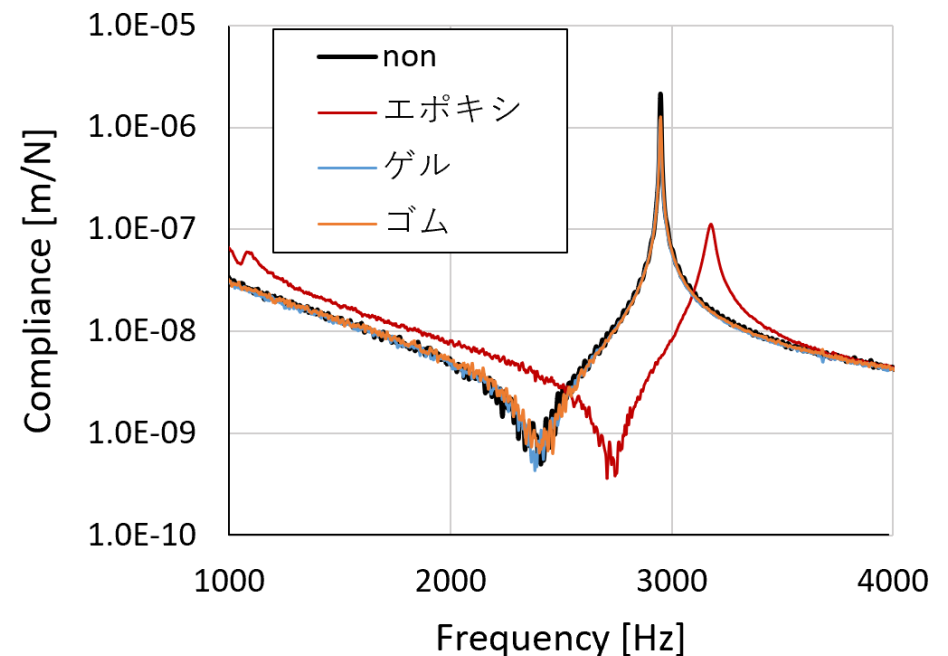
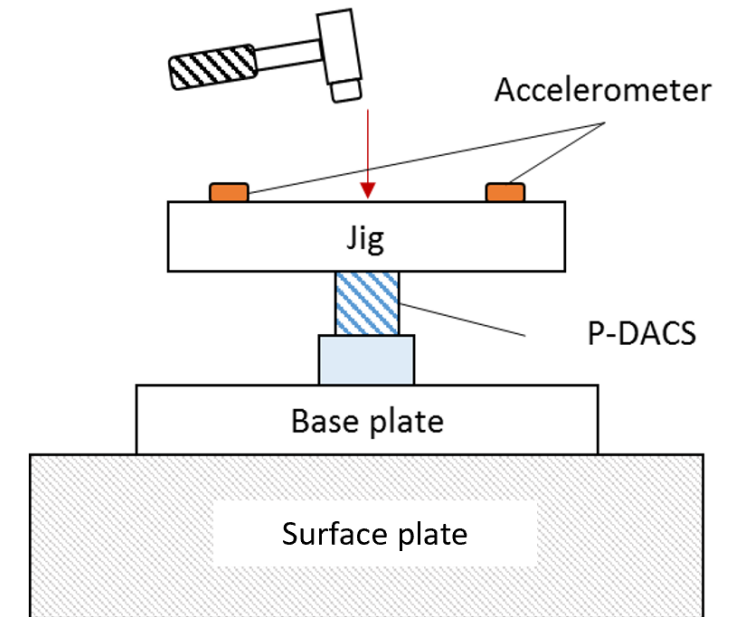
高分子材料による動剛性・減衰の変化

ハンマリング試験

- 複合する高分子材料を変えて周波数応答を測定
- エポキシ系樹脂, シリコン2種を対象

試験結果

- エポキシ系樹脂以外は複合していないものと変化が見られない
- 材料のヤング率比が低いことが主な原因として考えられる



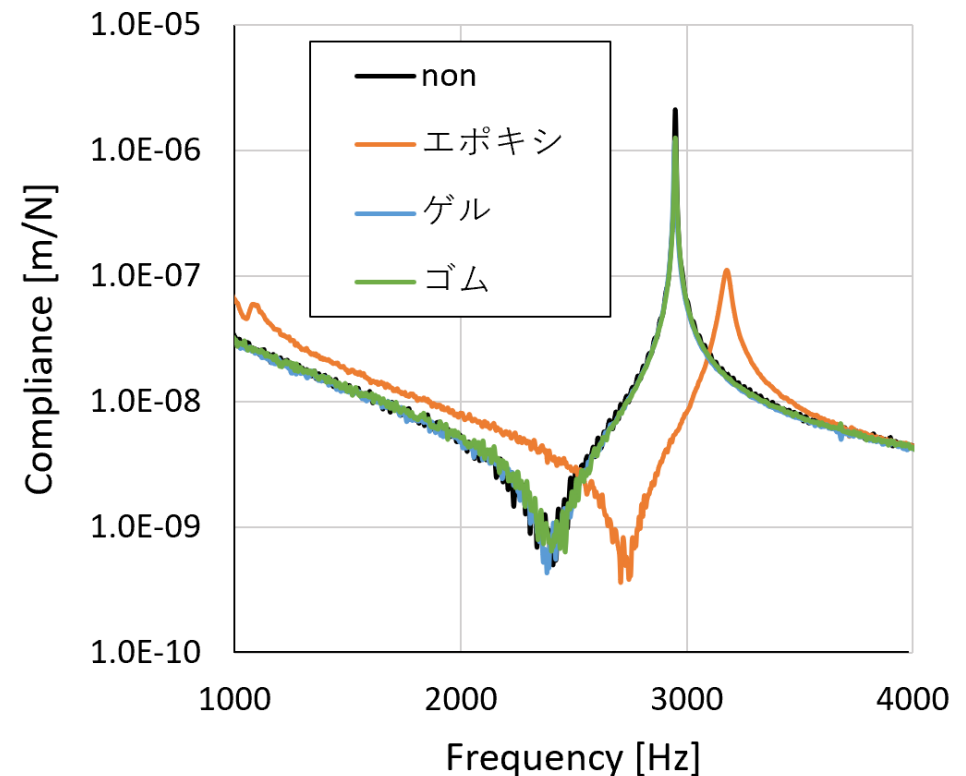
アクリル製構造体による材料の検討

樹脂AM造形による構造体

- 減衰材料のヤング率が構造体より過剰に小さいと減衰しないと仮定
- ヤング率の低いアクリル樹脂で構造体を作成し検討

試験結果

- エポキシ系以外は金属構造体と同様に効果が得られなかった
- ゲル状シリコーンはヤング率がアクリルのおよそ $1/1000$ のためヤング率比の問題と考えられる
- ゴム状シリコーンのヤング率はアクリルのおよそ $1/50$ なのでヤング率の問題とは考えにくい



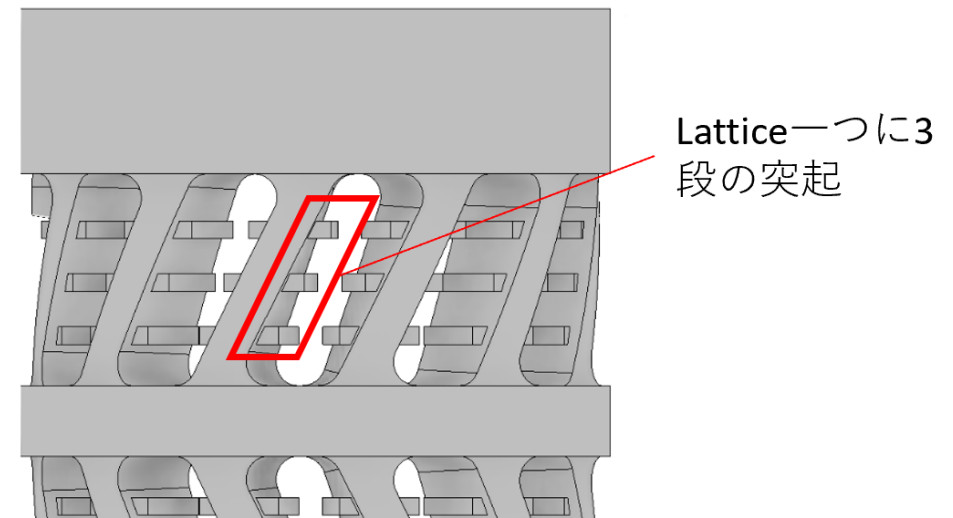
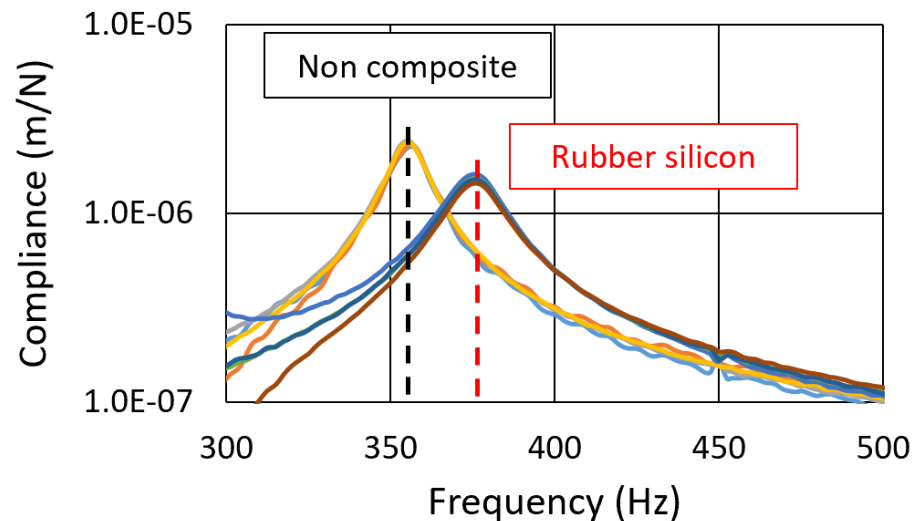
ゴム状シリコーンの検討：界面の摩擦

ゴム状シリコーンについて

- 接着力がなく構造体と容易にはく離してしまう
- 構造体との間に滑りが生じ、ひずみ伝達が行われていないと考えられる

すべりの検証

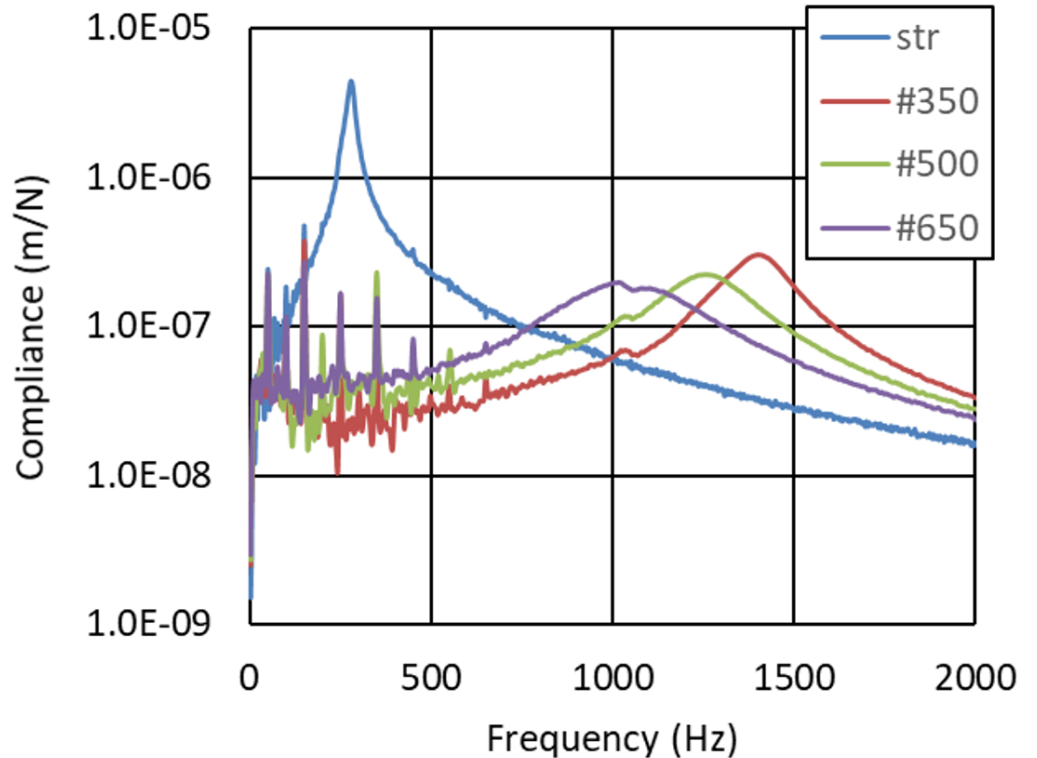
- Latticeに突起を付け、滑りが生じてでもひずみ伝達が行われるよう造形
- 突起により減衰向上効果を確認
- 界面が接着されていなければ減衰材料の効果が発揮されないと考えられる



界面が連続している場合，減衰材料の影響

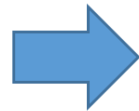
材質

- 構造体：ABS樹脂
 - ヤング率：2000 (MPa)
 - 損失係数：0.02
- 減衰材：ABS + エラストマー樹脂
ヤング率 (MPa) / 損失係数
 - #350：(1550 / 0.2)
 - #500：(1140 / 0.4)
 - #650：(580 / 0.6)
- 多材料光硬化方式により一体造形



減衰特性

- 減衰効果が異なることが確認できた
- 数値計算値と定性的な傾向が一致



界面が接着されていれば物性値から
P-DACSの動剛性・減衰を予測可能

まとめ

結論

- ✓ 高剛性構造体と減衰材を組み合わせたコンパクトなパッシブダンパ P-DACSを提案した.
- ✓ ユニットセル構造 P-DACSの組み合わせにより, システムとして減衰特性のチューニングが可能である.
- ✓ 構造体の形状と減衰材の特性の組み合わせにより, 広い周波数帯に適したチューニングが可能である.

さらなる高度化に向けて

- ✓ 微小狭隘部にP-DACSを組み込む場合の配置, 形状の最適化
- ✓ 減衰材料へのひずみ伝達を効率化する構造体のトポロジー最適化

お問い合わせ先

東京工業大学

研究・産学連携本部 知的財産部門

TEL 03-5734-2445

FAX 03-5734-2482

e-mail sangaku@sangaku.titech.ac.jp