

架線パンタグラフ系における低速走行時の 摩擦振動のメカニズムと制振手法

鉄道力学研究部 集電力学研究室

研究員 天野 佑基

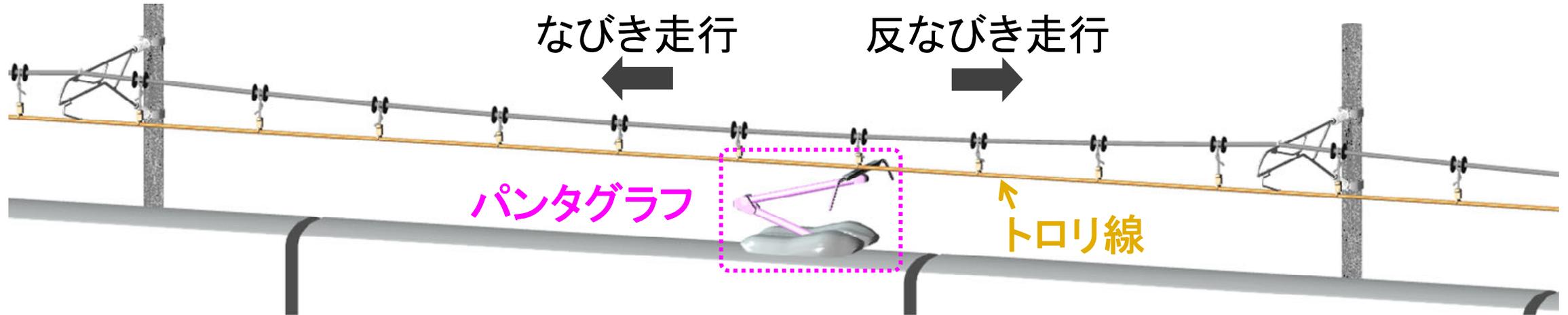
本日の発表

- ◆ 導入
- ◆ 実験
- ◆ シミュレーション
- ◆ メカニズム
- ◆ 対策
- ◆ まとめと成果の活用

本日の発表

- ◆ 導入
- ◆ 実験
- ◆ シミュレーション
- ◆ メカニズム
- ◆ 対策
- ◆ まとめと成果の活用

車両への電力供給



- ・パンタグラフはトロリ線と接触・しゅう動
高速・高効率運転を実現

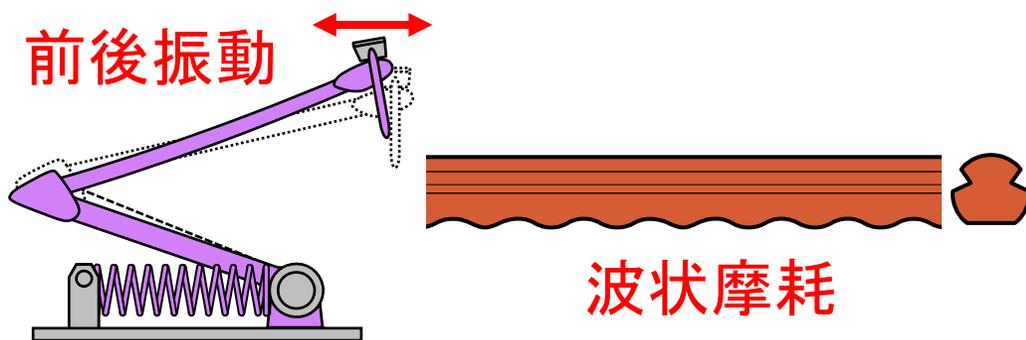
- ・双方向に走行
高い運用効率を実現

- ・低い平均接触力(100N程度)
トロリ線の摩耗を予防

現場における摩擦振動

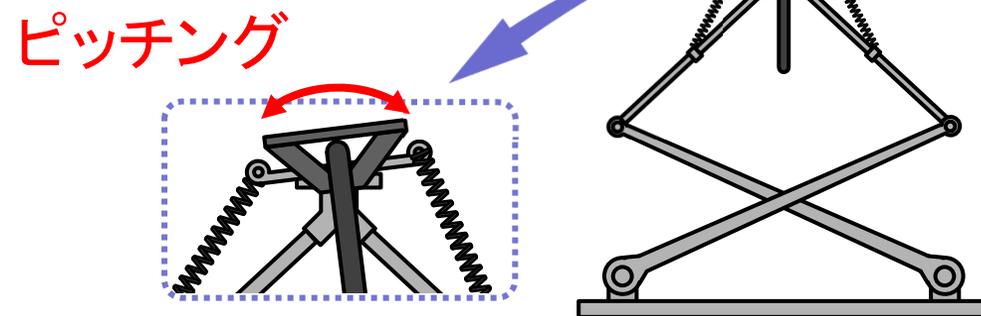
新幹線⁽¹⁾

- ・パンタグラフが摩擦力により、発車直後の低速時に前後振動
- ・トロリ線に波状摩耗(20~50cm)



在来線⁽²⁾

- ・摩擦力によるピッチング現象
- ・集電不能による列車遅延
- ・12年間で39件発生



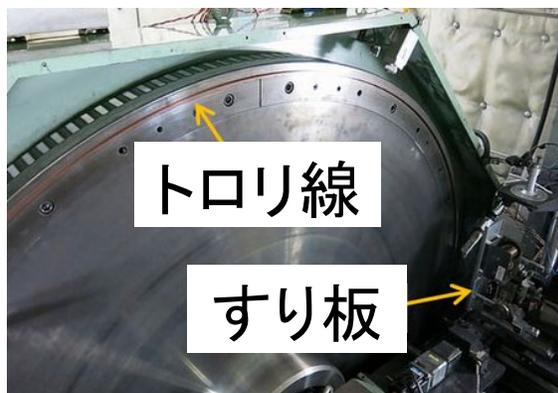
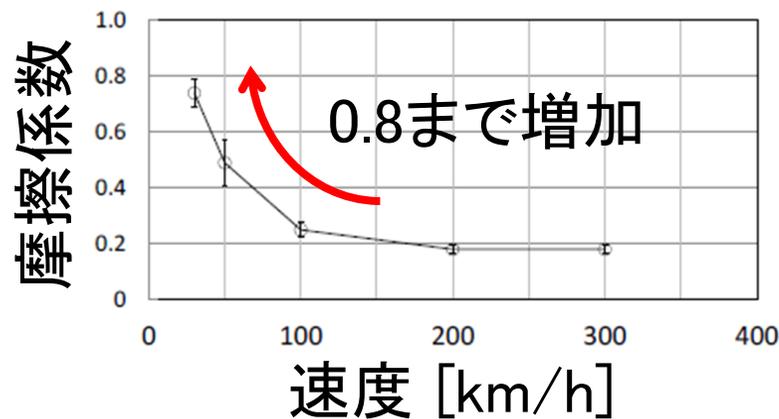
(1) 有本他、電車線の集電[III]、電気鉄道、1974

(2) 坂本他、ED76形式パンタグラフのピッチング対策、R&m、2012

先行研究・目的

摩擦関係⁽³⁾

300km/hの履歴



力学関係⁽⁴⁾

- ・シミュレーションの実施
 - ・摩擦係数が0.1以上で発生
 - ・実験による検証なし
- 通常時は約0.3

現象に対する**実験・メカニズムの検討なし**
→ 実験・シミュレーションの両面から検討

目的

現象解明・防止対策の確立

(3) 根本他、銅合金トロリ線…、J-Rail、2019

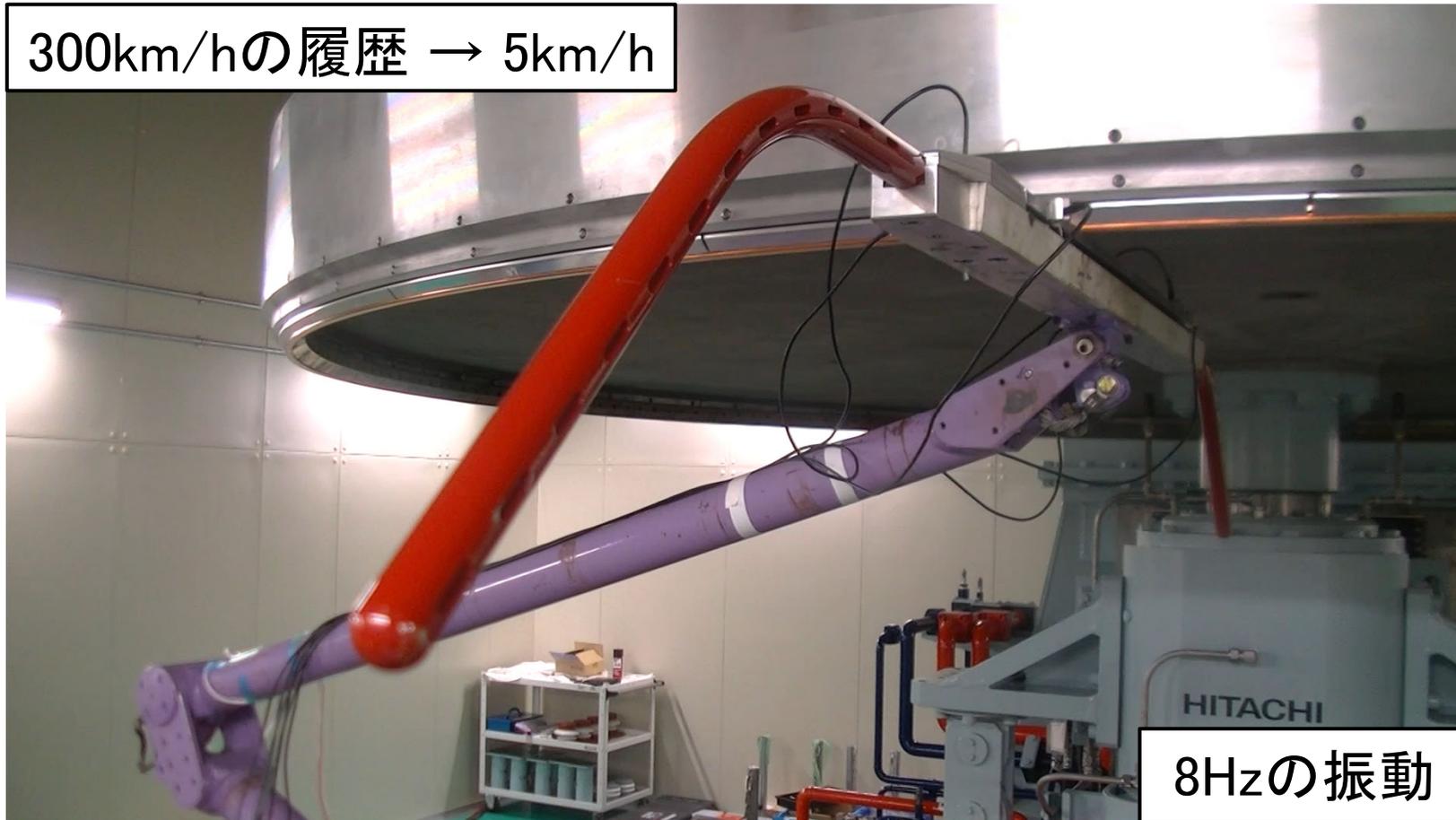
(4) Qian et al, Friction…、J. Vib. Acoust., 2013

本日の発表

- ◆ 導入
- ◆ **実験**
- ◆ シミュレーション
- ◆ メカニズム
- ◆ 対策
- ◆ まとめと成果の活用

現象の再現

300km/hの履歴 → 5km/h



新幹線用パンタグラフ

発生条件

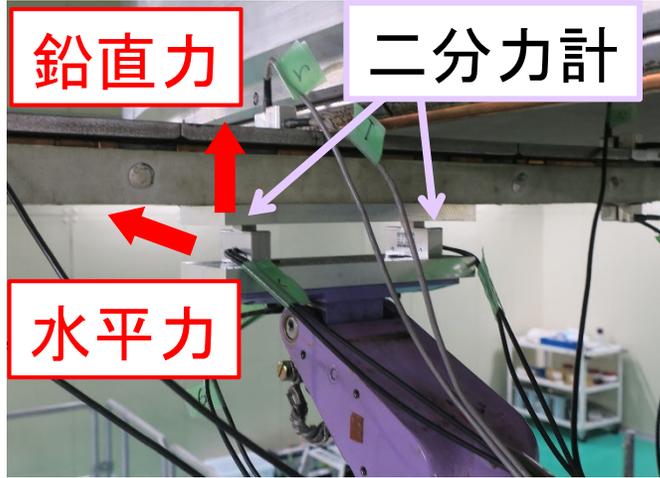
- ・摩擦係数大きい
- ・反なびき走行

30cmの波状摩耗に相当
→ 現場の摩擦振動を再現

8Hzの振動

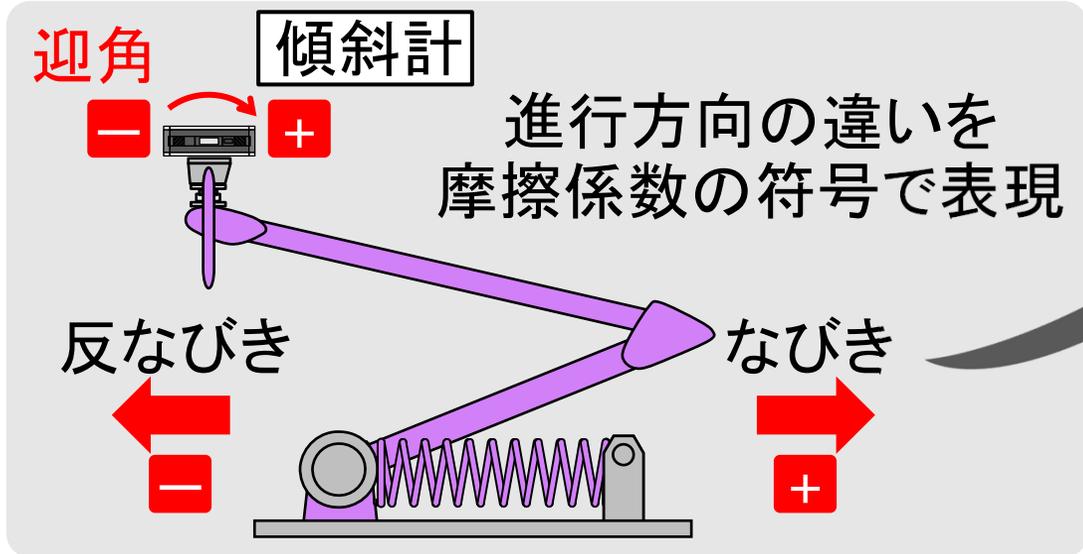
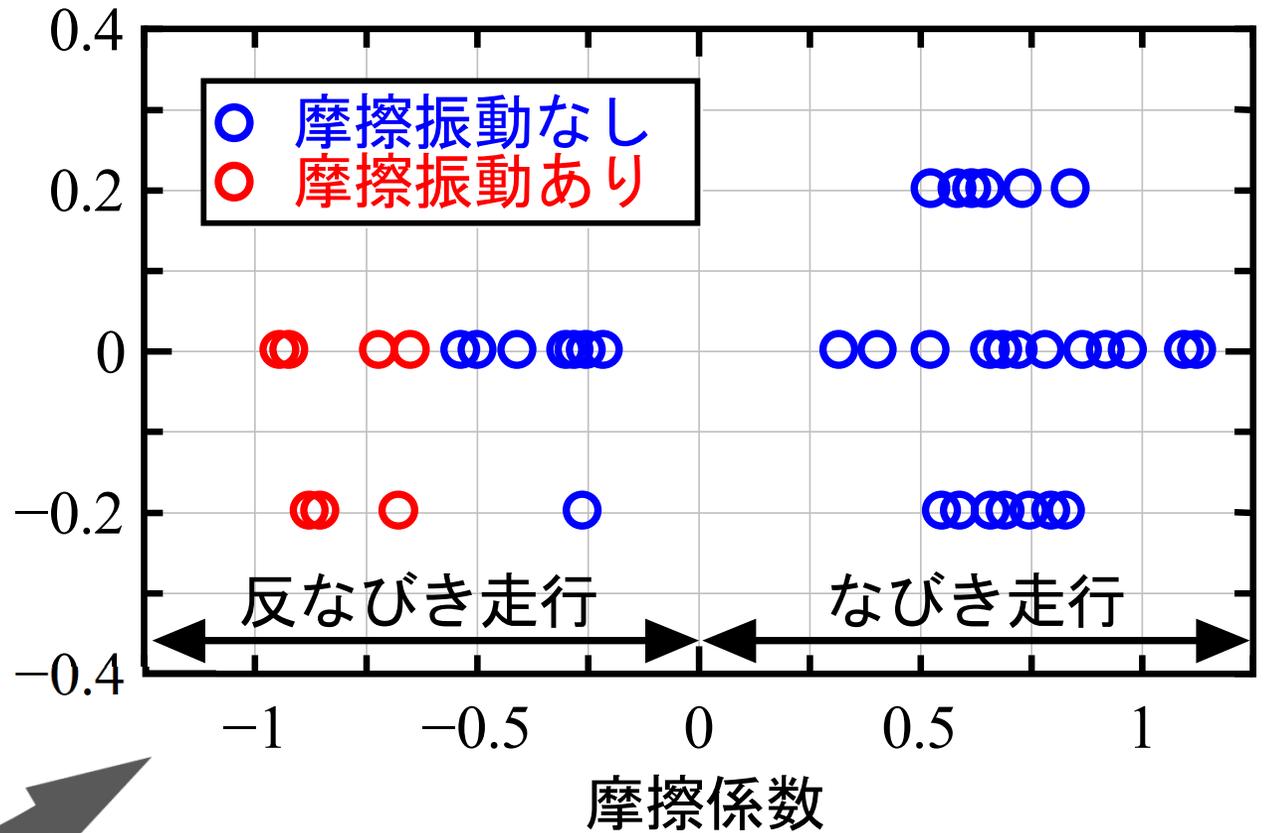
摩擦振動の振動数・モード形状を把握

現象の特徴



摩擦係数
推定手法
を開発

迎角 [deg]

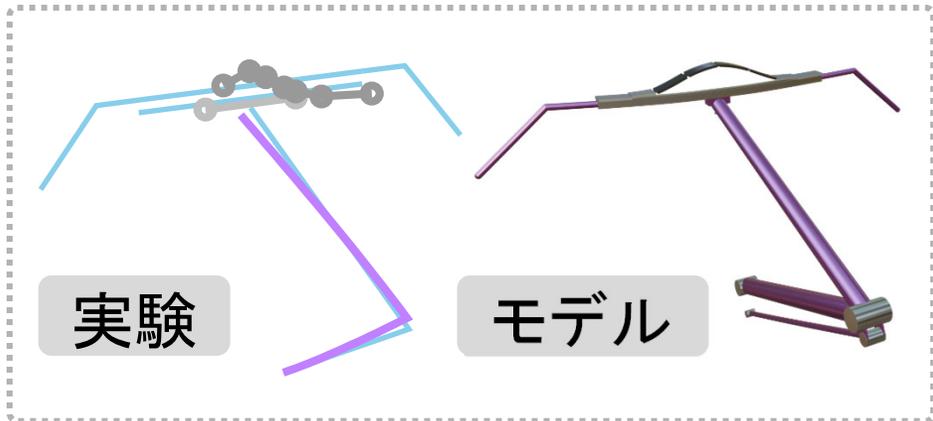
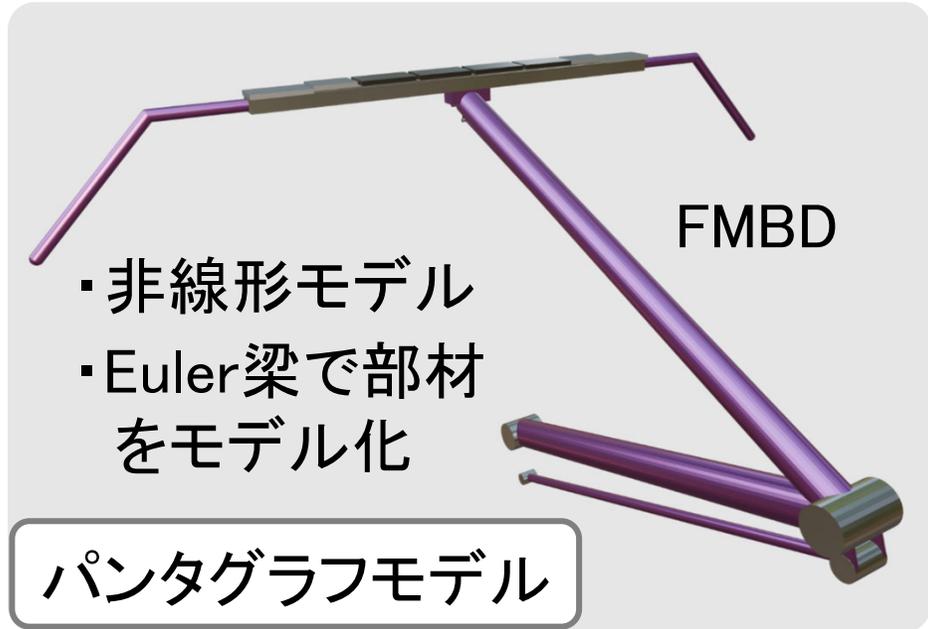


- ・迎角の感度なし
- ・反なびき、摩擦係数が0.7以上で発生

本日の発表

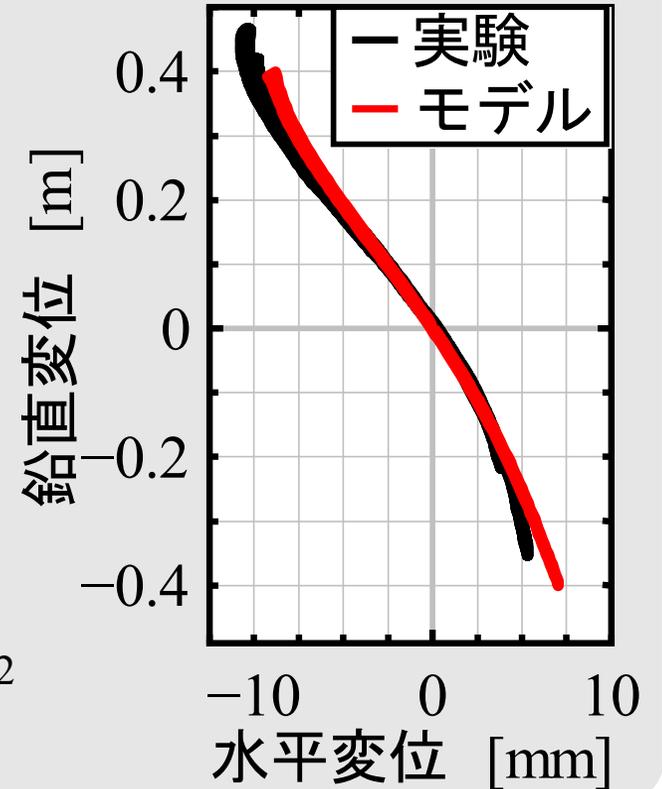
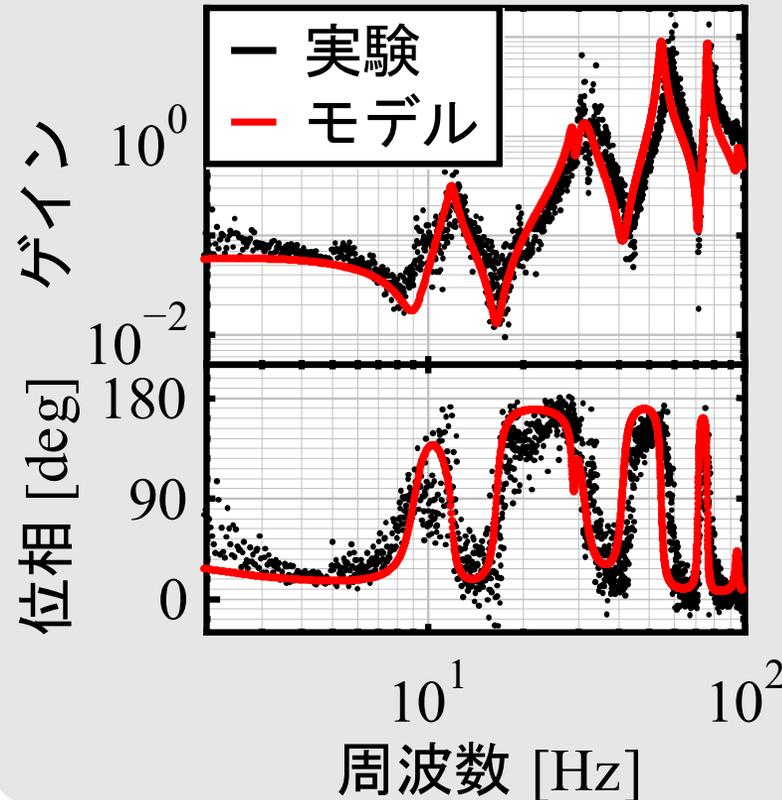
- ◆ 導入
- ◆ 実験
- ◆ シミュレーション
- ◆ メカニズム
- ◆ 対策
- ◆ まとめと成果の活用

パンタグラフのモデル化

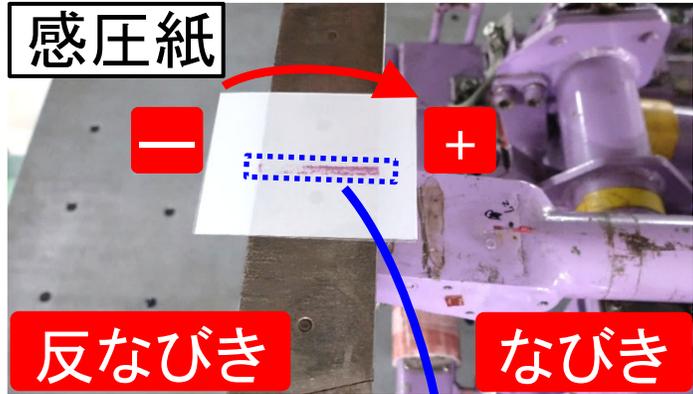


実験による検証

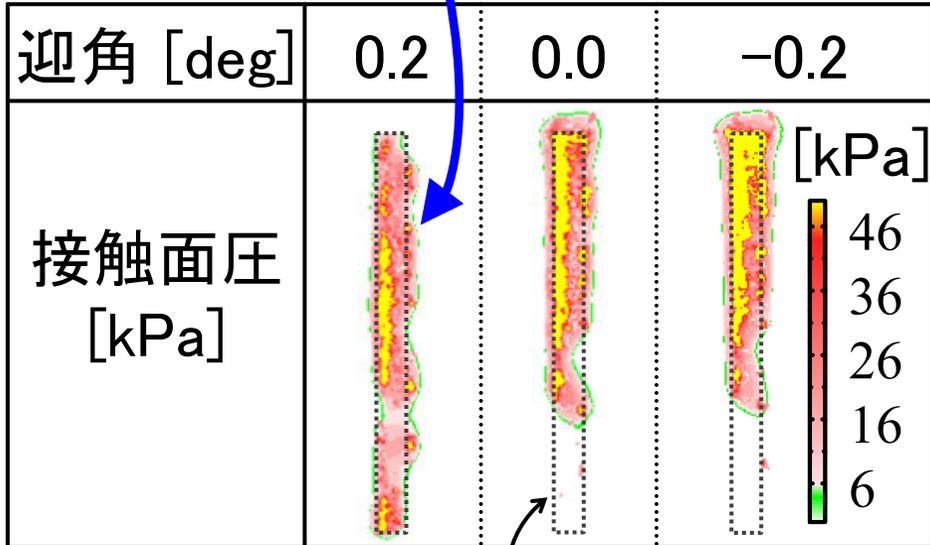
- 周波数応答 (線形)を100Hzまで検証
- 大変形 (非線形)を検証



接触部のモデル化



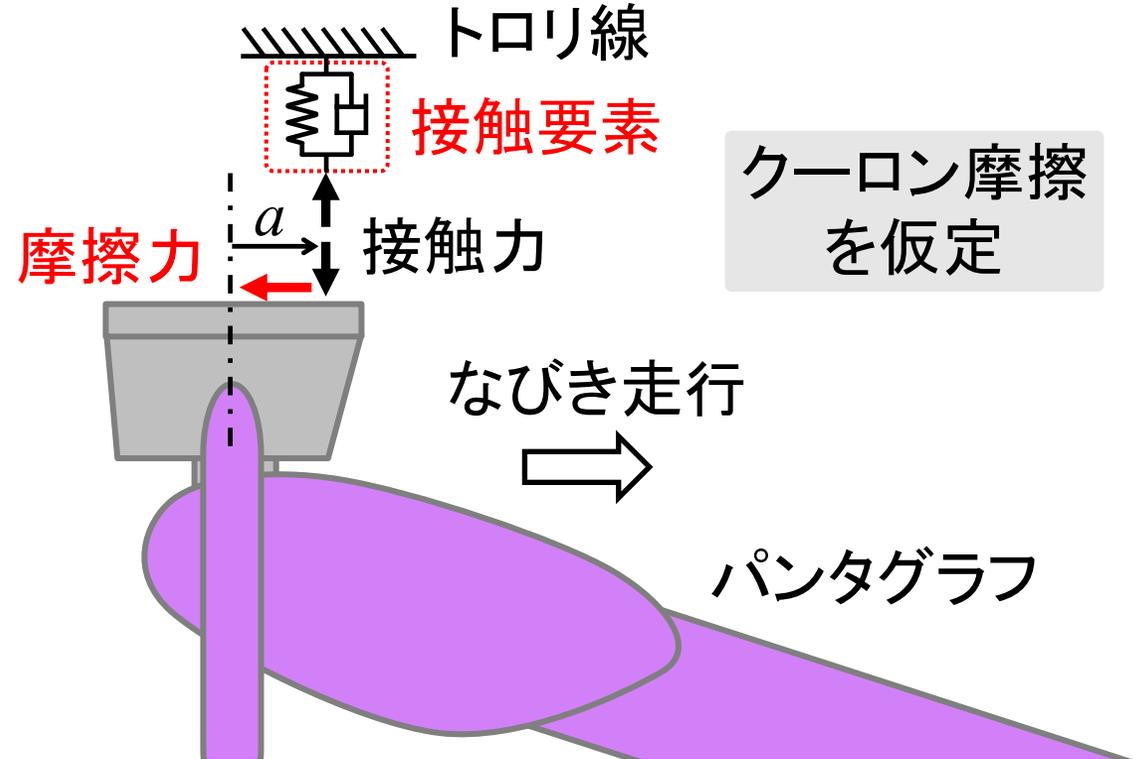
迎角で面圧の分布が変わる



全面接触範囲

なびき

反なびき

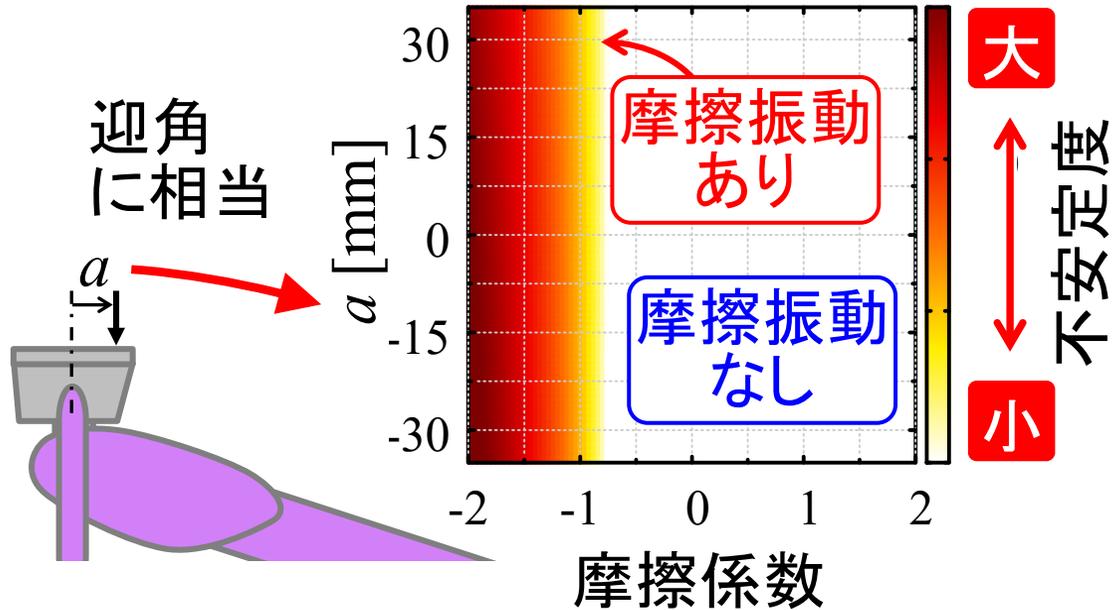


面圧の偏りをモデル化

中心から a ずらした位置に集中荷重を作用

モデルによる安定性解析

複素固有値解析



- ・迎角の感度なし
- ・反なびき、摩擦係数が0.8以上で発生

摩擦振動発生時のモード形状

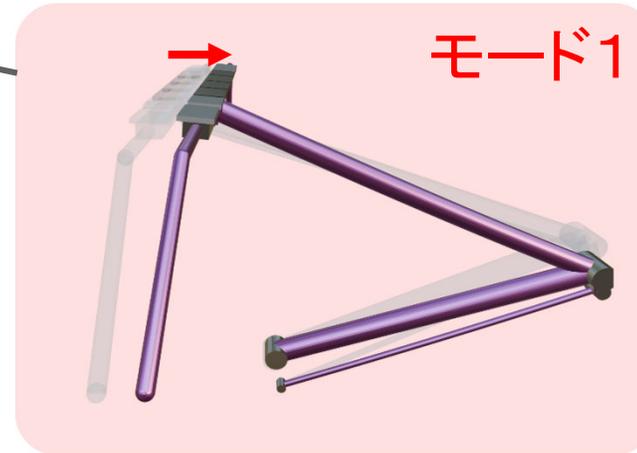
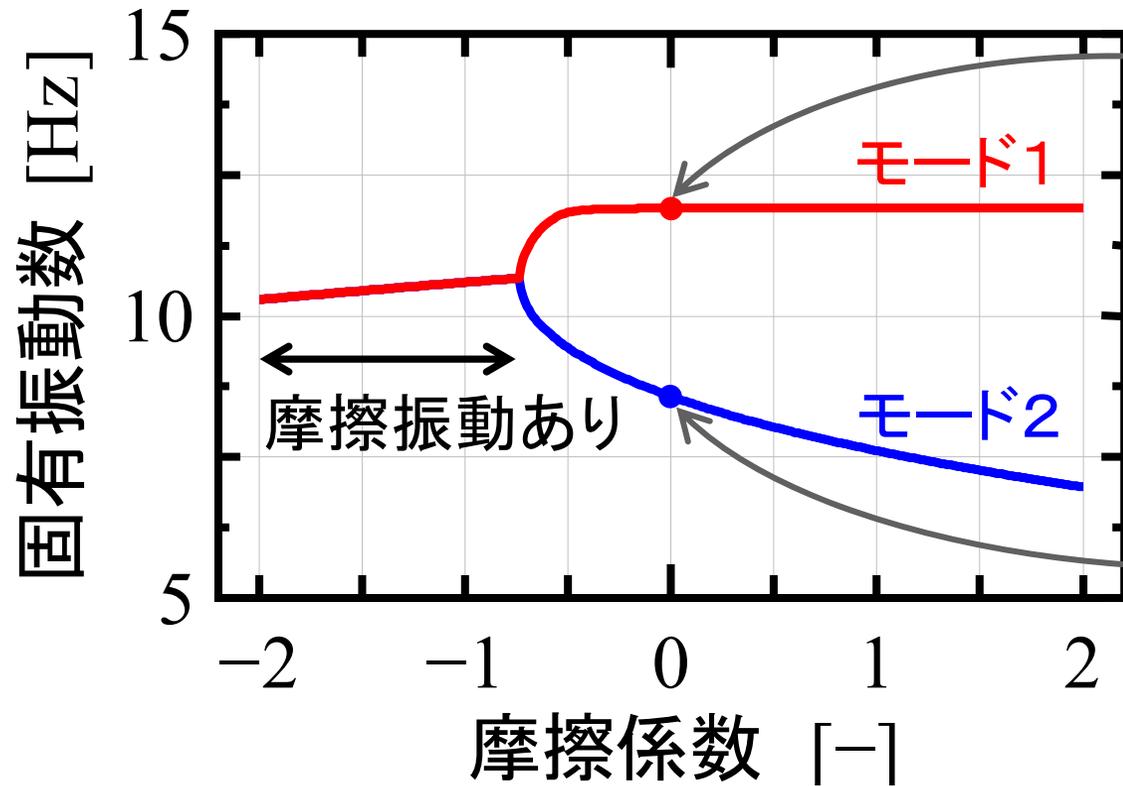


振動数・モード形状・発生条件が実験と一致
→ モデルを用いてメカニズムの調査が可能

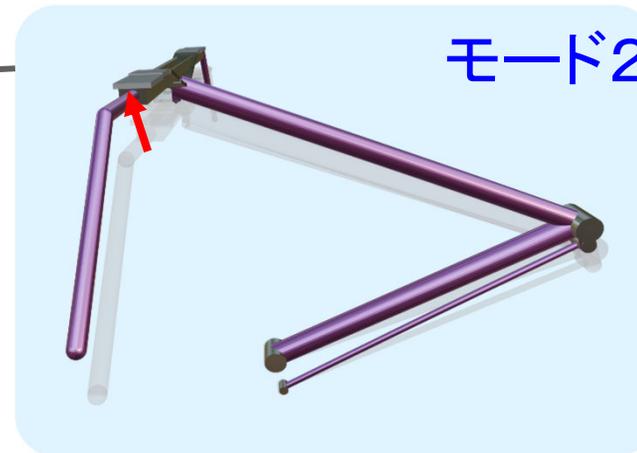
本日の発表

- ◆ 導入
- ◆ 実験
- ◆ シミュレーション
- ◆ **メカニズム**
- ◆ 対策
- ◆ まとめと成果の活用

モード連成による摩擦振動



枠組の**水平**
方向の変形
が支配的



枠組の**鉛直**
方向の変形
が支配的

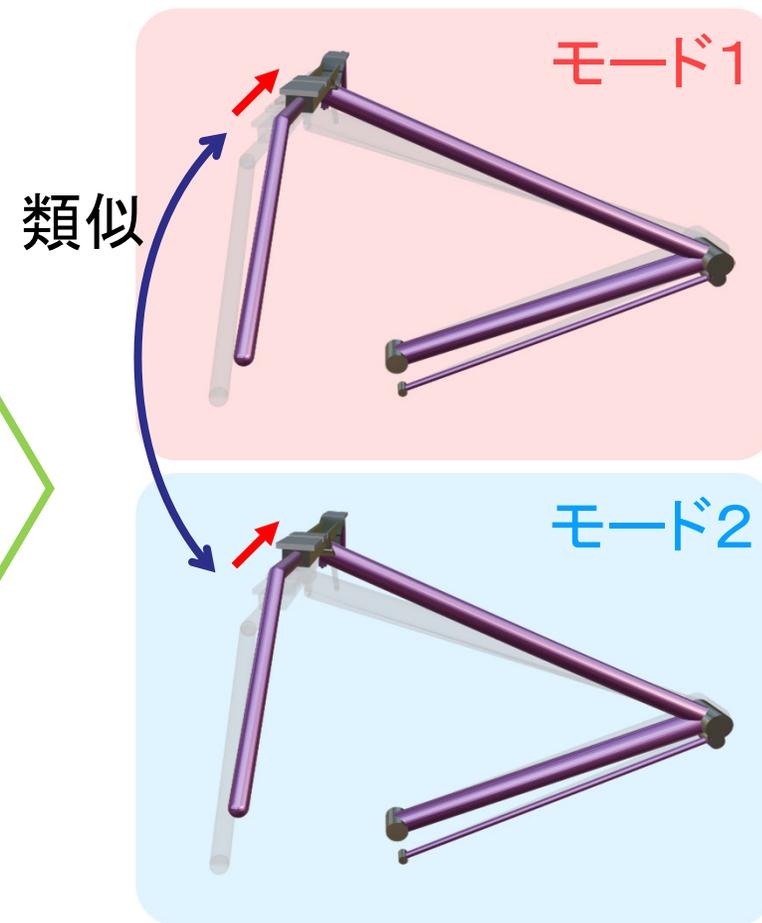
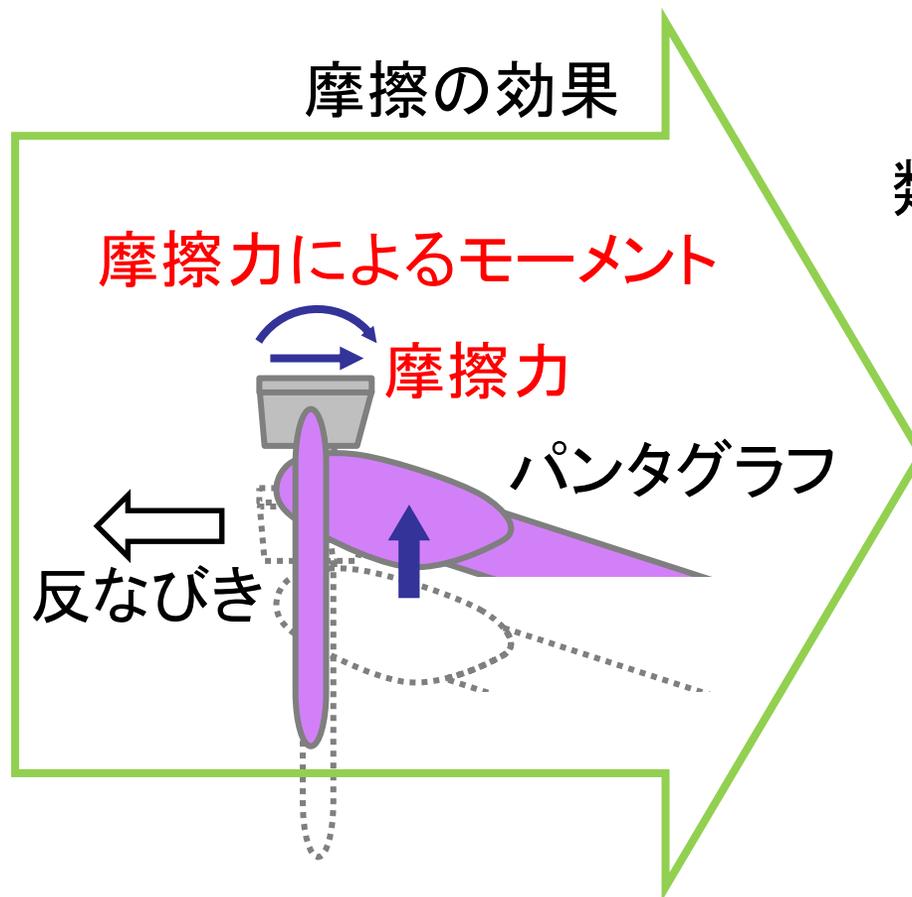
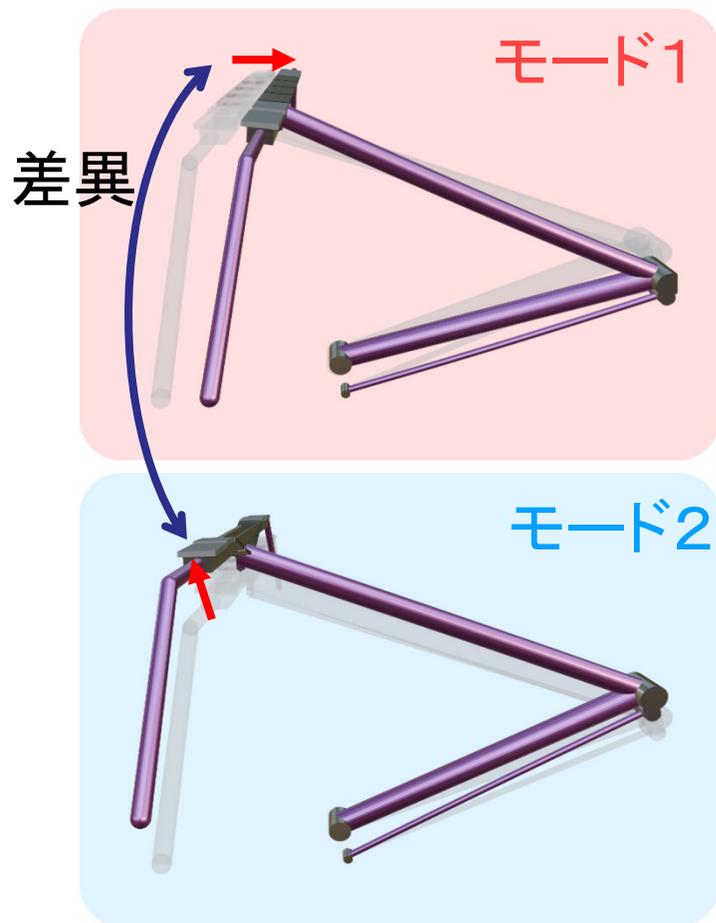
2つのモードの固有振動数が一致して共振
→ **モード連成**と呼ばれる

モード連成のメカニズム

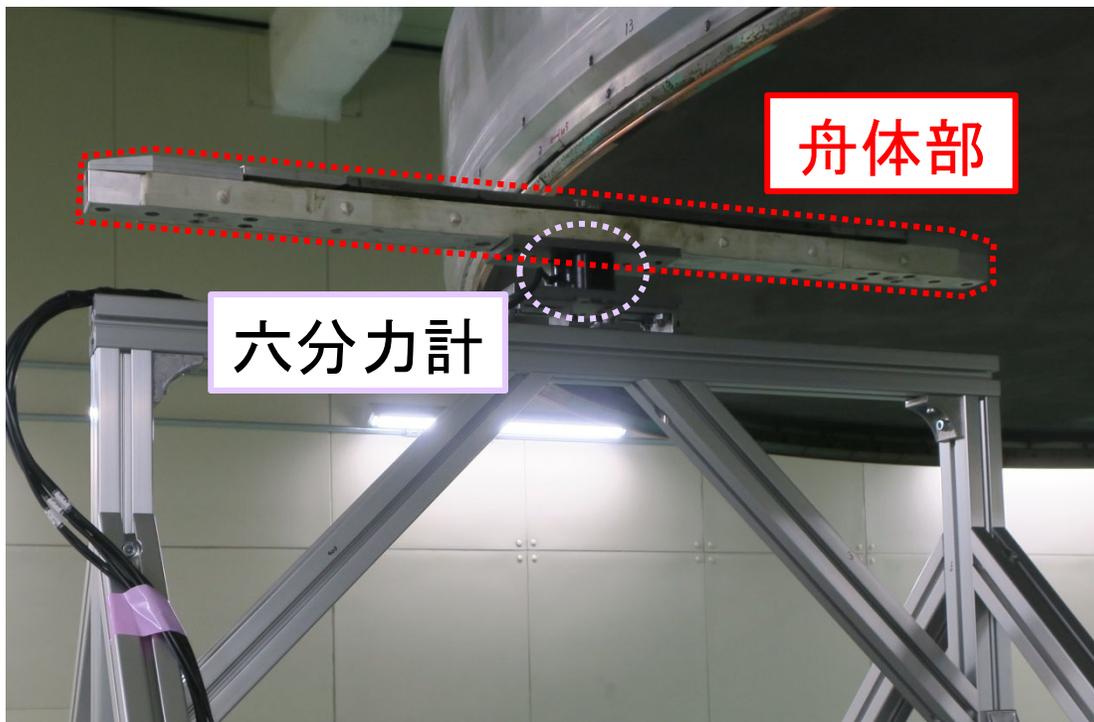
摩擦なし

モード形状が類似
→ 固有振動数が類似

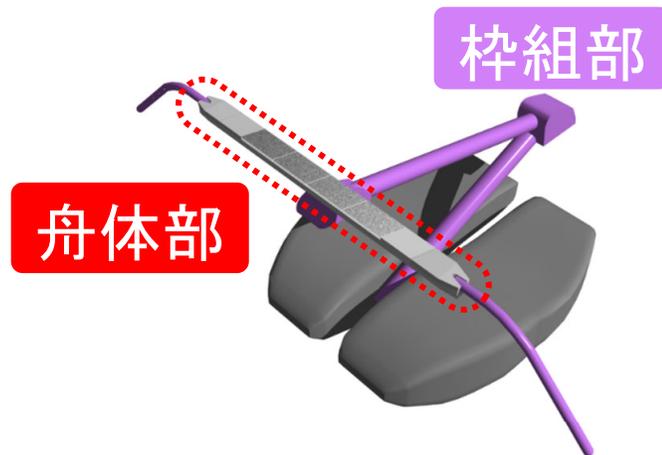
摩擦あり(反なびき)



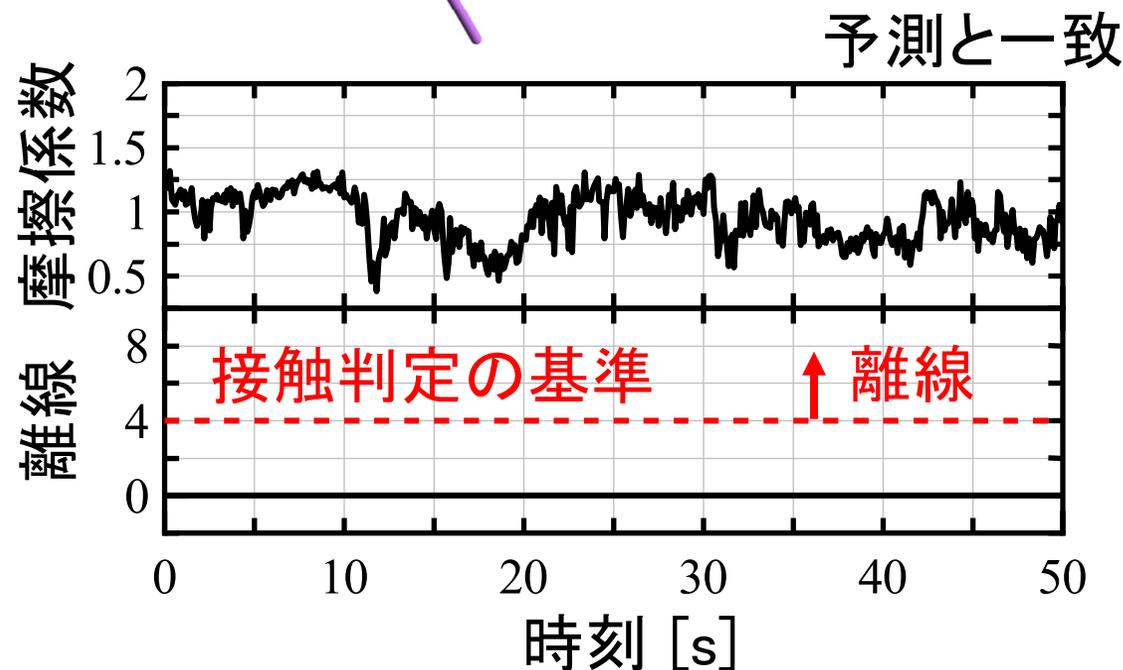
メカニズムの検証



- ・舟体部をアルミフレームに固定
- ・摩擦係数を六分力計で推定



予測
杵組部を無くせば
摩擦振動は生じない

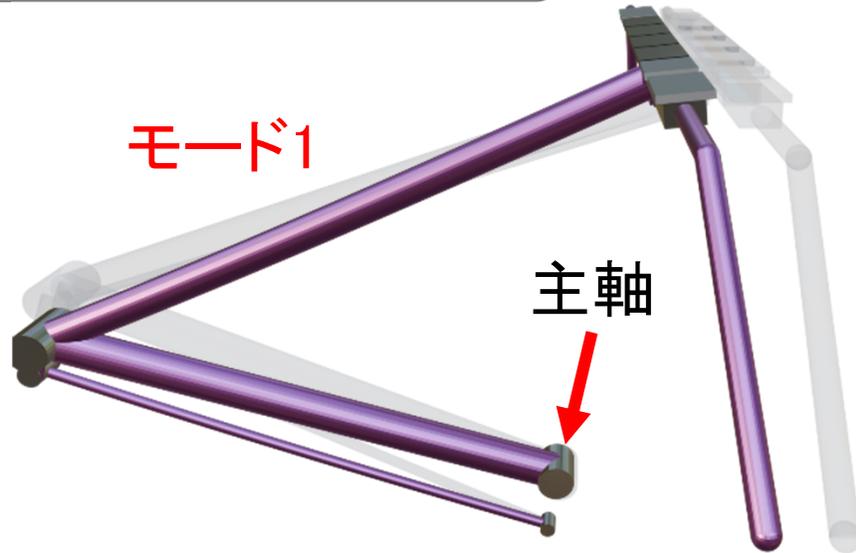


本日の発表

- ◆ 導入
- ◆ 実験
- ◆ シミュレーション
- ◆ メカニズム
- ◆ **対策**
- ◆ まとめと成果の活用

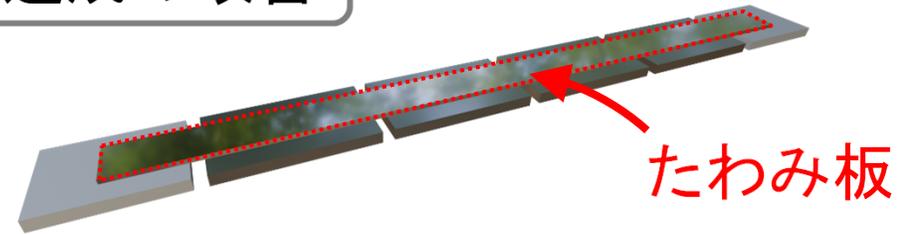
メカニズムに基づいた防止対策

連成するモードの消去

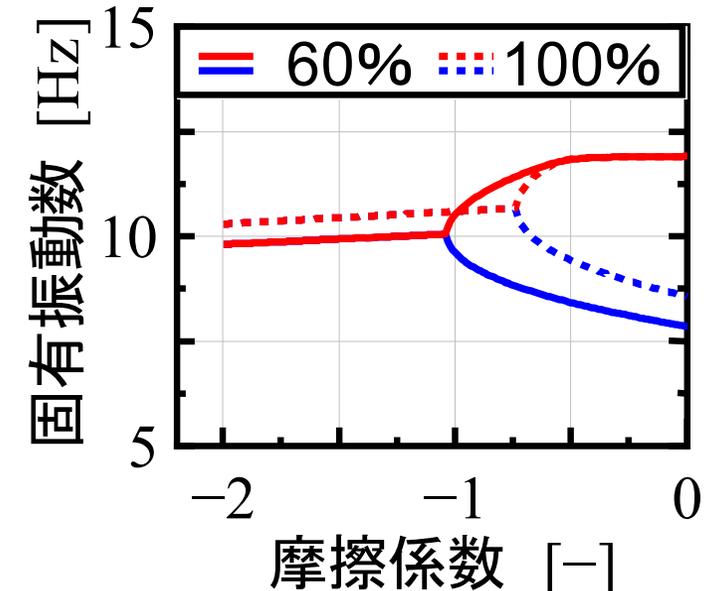


- ・モード1は主軸の支持剛性に影響
- ・支持剛性の増加により、モード1は消滅
→ 摩擦振動の低減をモデルで確認

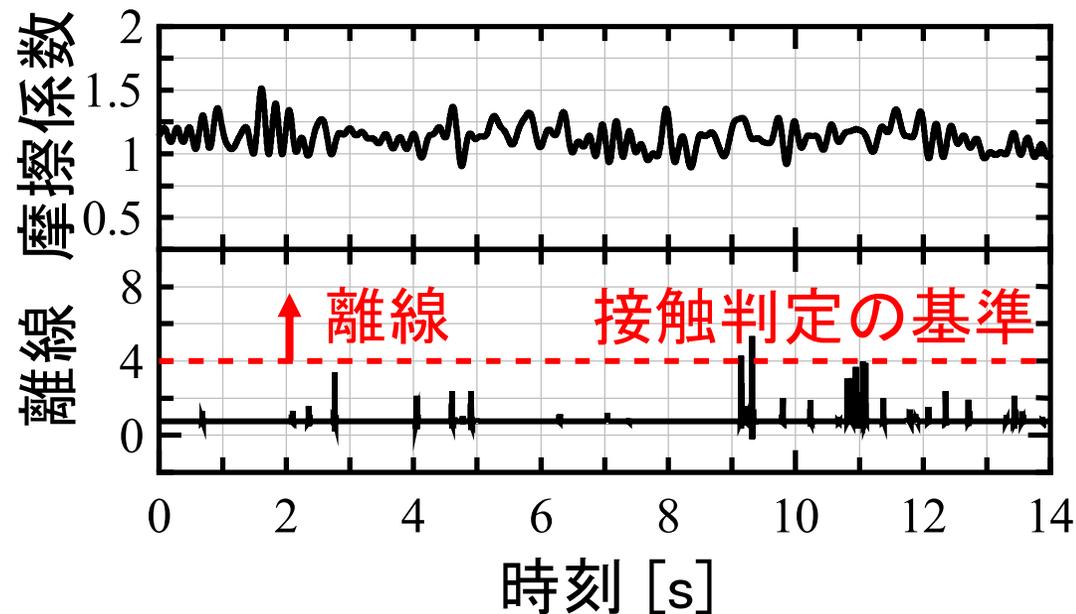
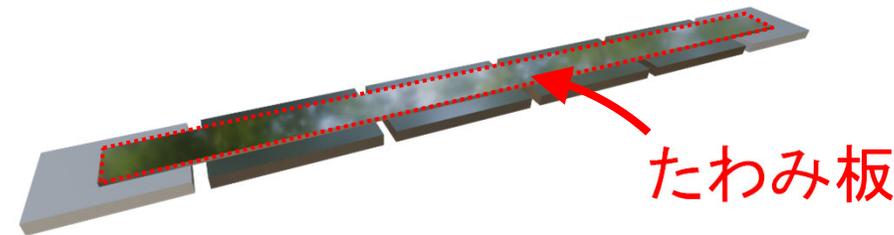
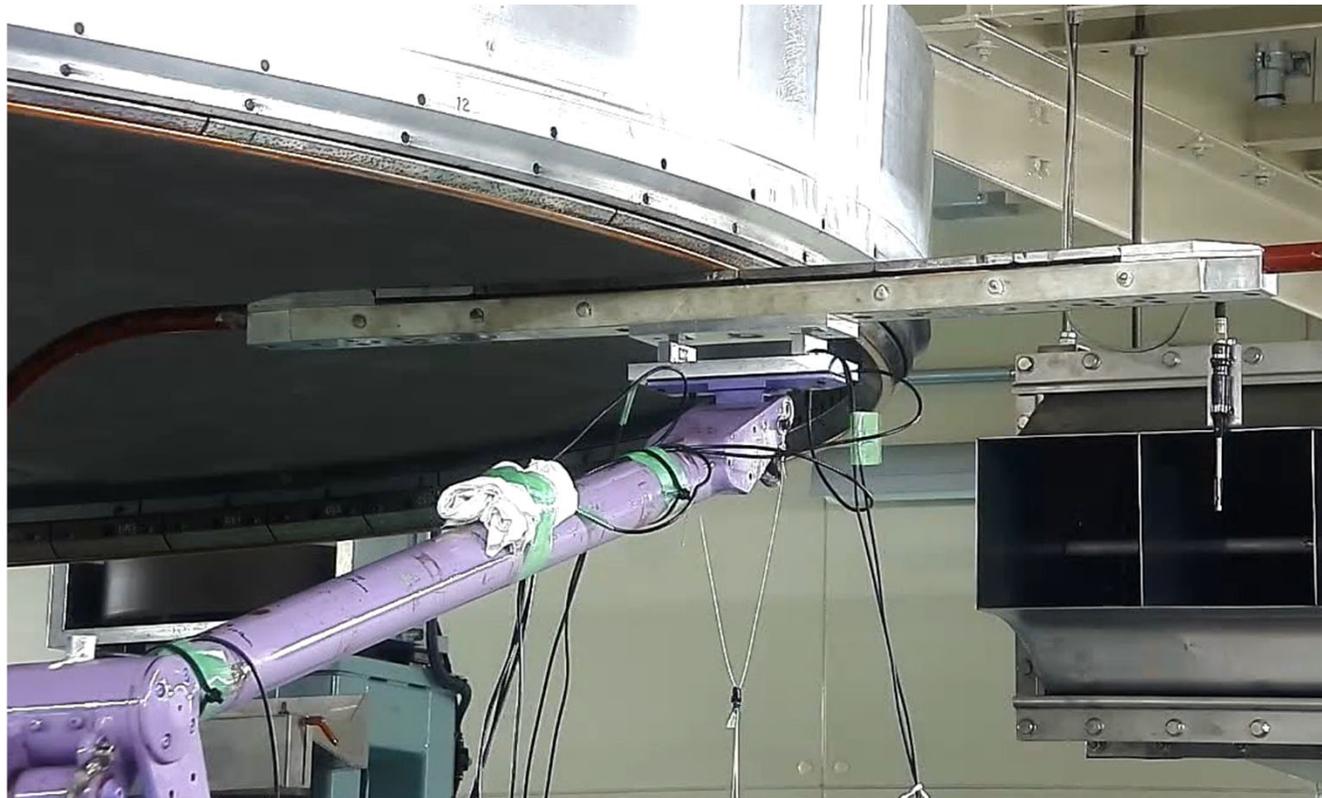
モード連成の改善



- ・モード2はたわみ板の剛性に影響
- ・モード2の固有振動数を調整
→ 連成を予防



モード連成の改善による対策



たわみ板の曲げ剛性を低下させた
→安定化(シミュレーション結果も同様)

本日の発表

- ◆ 導入
- ◆ 実験
- ◆ シミュレーション
- ◆ メカニズム
- ◆ 対策
- ◆ **まとめと成果の活用**

まとめ

- ◆高精度なパンタグラフモデルを構築した
- ◆モデルが摩擦現象の特徴を再現できることを確認した
- ◆モデルを用いてメカニズムを解明し、実験で検証した
- ◆防止対策を提案し、シミュレーション・実験で検証した

成果の活用

鉄道事業者に対して、摩擦振動を低減する方策についての知見を提供できる

→ 波状摩耗の抑制への寄与、安定輸送への寄与

参考文献

天野佑基, 小林樹幸: パンタグラフと電車線のスムーズな接触を実現する,
RRR, Vol.81, No.5, pp.52-57, 2024

Yuki Amano, Shigeyuki Kobayashi, Hiroshi Yabuno, Yoshitaka

Yamashita, Hiroki Mori: Mechanism and suppression of friction-induced
vibration in catenary-pantograph system, Nonlinear Dynamics, Vol.112,
pp.14959-14980, 2024