

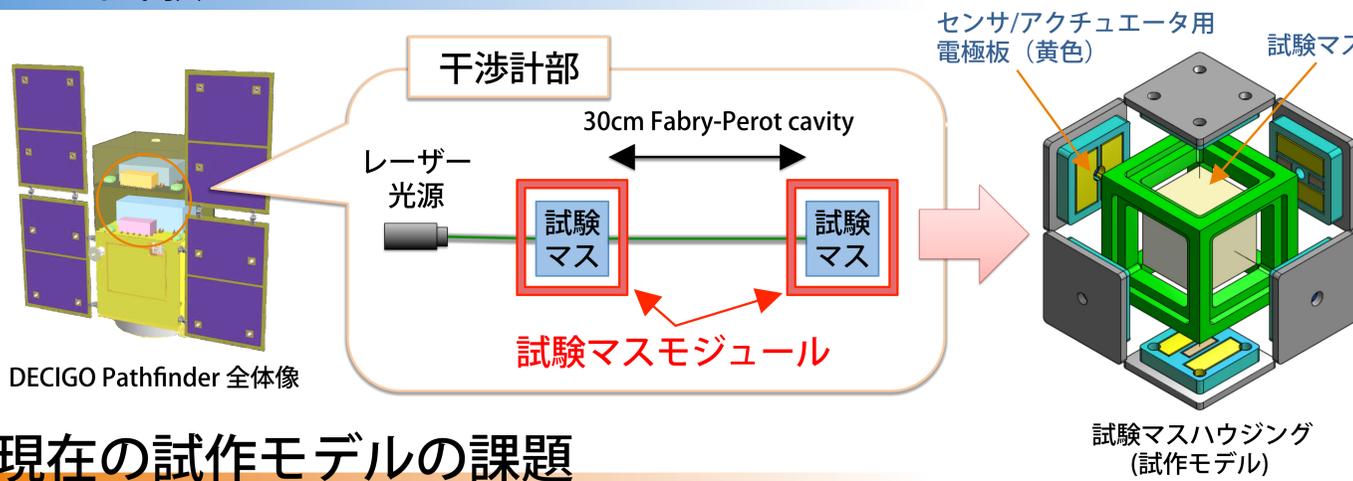
奥富弘基, 阿久津智忠<sup>A</sup>, 安東正樹<sup>B</sup>, 二階堂瑞希<sup>C</sup>, 田中伸幸<sup>A</sup>, 鳥居康男<sup>A</sup>, 佐藤修一<sup>D</sup>, 和泉究<sup>E</sup>, 陳聃<sup>F</sup>, DPFワーキンググループ<sup>G</sup>

総研大, 国立天文台<sup>A</sup>, 東大理物<sup>B</sup>, お茶大<sup>C</sup>, 法政大理工<sup>D</sup>, LIGOハンフォード<sup>E</sup>, 東大天文<sup>F</sup>, DPFワーキンググループ<sup>G</sup>

## DECIGO Pathfinder (DPF) とは?

DECIGO Pathfinder (DPF) は、日本の将来計画である **スペース重力波望遠鏡 DECIGO** の前哨機として推進されている **小型科学衛星** である。DECIGO計画の最終目的は重力波天文学の創成であるが、その実現には膨大な技術の蓄積が必要となるため、前哨衛星DPFでは **DECIGO要求される技術の宇宙空間における実証実験** と、**0.1 Hz 付近の重力波** 及び **地球重力場の観測** を行うことを目的としている。

## DPF 試験マスモジュール



### 試験マスモジュールの役割

- 試験マスの非接触保持
- 試験マスの変位の観測
- **静電センサ**  
電極板 - 試験マス間の静電容量の変化から変位を測定
- 観測周波数帯での外乱の抑制
- **静電アクチュエータ**  
電極板に電圧を印加し、表面に誘起された電荷による静電気力で試験マスをアクチュエート

## 現在の試作モデルの課題

試験マスに直接働く外力雑音

**要求値:  $1 \times 10^{-15} \text{ N/Hz}^{1/2}$  以下 @ 0.1 Hz**

重力波信号の振幅:  $h = 2.5 \times 10^{-14} (0.1/f)^2 [1/\text{Hz}^{1/2}]$  に相当 ( $f$ : 周波数)  
(重力波信号の振幅は安全係数として3倍して換算したもの)

雑音の要因: **残留ガス分子の衝突 (支配的)**, 衛星磁場, 熱輻射圧, ...

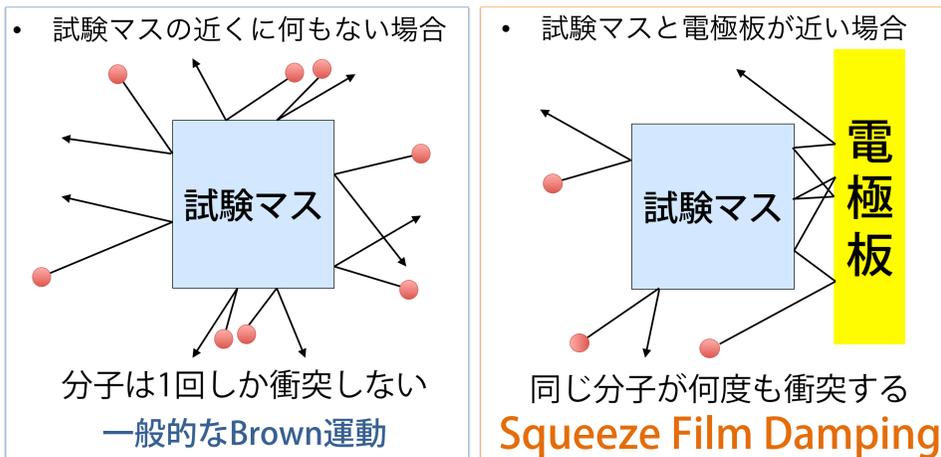
近年の研究から、試作モデルでは試験マスと電極板の間隔が **3mm** と狭いため、一般的な Brown 運動に加えて **squeeze film damping** という新たな効果が効いてくるようになってきた。そのため現在のモデルでは要求値を満たすのが難しいことが判明した。

### Squeeze film dampingを考慮に入れた場合

現在の試作モデルでの外力雑音

計算された推定値:  **$3.6 \times 10^{-15} \text{ N/Hz}^{1/2}$  @ 0.1 Hz**

## Squeeze Film Damping とは?

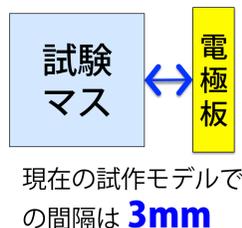


Squeeze Film Dampingの影響を抑えるには…?

➤ **試験マスと壁との間隔を大きくすればいい**

➤ **静電センサ/アクチュエータにとっては間隔が小さいほうがいい**

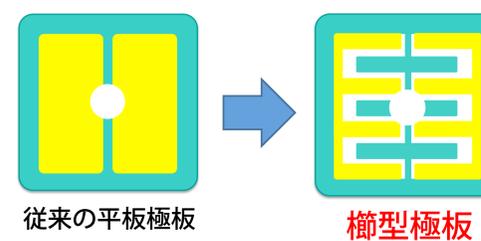
- センサ → 間隔 **小** だと静電容量の変化 **大**
- アクチュエータ → 間隔 **小** だと静電気力 **大**



課題

静電センサ/アクチュエータの性能を維持しつつ、squeeze film dampingの影響をできるだけ抑えるには…?

## 解決策 - 電極板の形状の変更

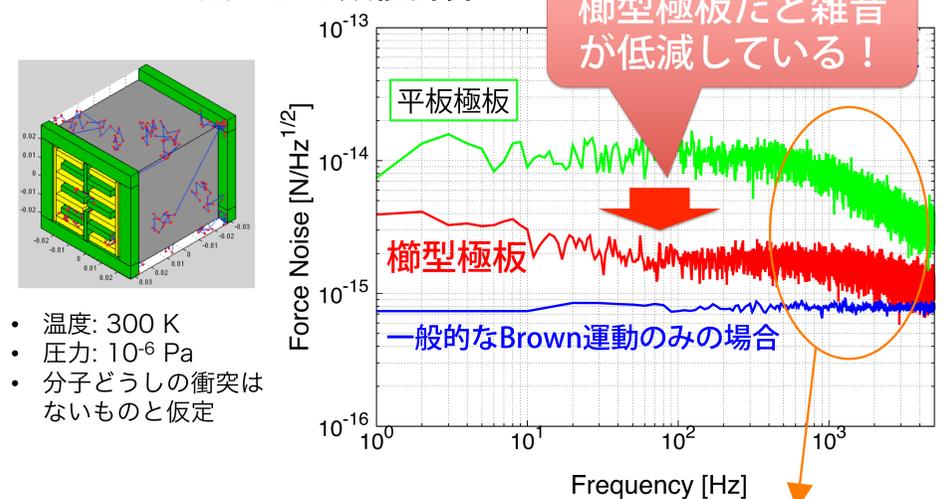


櫛型にするメリット

- 隙間が増えるのでガス雑音 (squeeze film damping) を低減できる
- GNDと交互に配置することで少ない面積でもアクチュエーション力を確保する

## 雑音評価の結果

Monte Carlo法による数値計算



- 温度: 300 K
- 圧力:  $10^{-6}$  Pa
- 分子どうしの衝突はないものと仮定

高周波側でcut-offが起こる → **Squeeze film damping**の影響

- 一つの分子が試験マスと電極板の間の狭い領域から脱出するのに要するタイムスケール (拡散時間) に対応する

## 結論

- 現在の試作モデルと比較して、**櫛型極板の場合には squeeze film dampingの効果を低減できることを計算により確認できた**

## 今後の展望

- 櫛型極板の形状 (櫛歯の数など) は、**ガス雑音とアクチュエーション力の両方を考慮して最終的なジオメトリを決定する**
- 決定したデザインで櫛型極板を製作し、性能測定を行う