共振周波数調整型アイソレータの設計手法の開発

動機

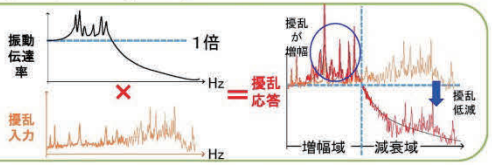
背景

- 次期ミッションにおいて1衛星に複数のミッション機器を搭載するシステムの実現性を検討するにあたり、各ミッション機器に対する擾乱低減方法の検討の必要性が生じている。
- 環境試験技術ユニットでは、主として打上げ環境緩和を目的とし、振動環境低減装置の開発検討をFY27より実施。詳細な数値解析モデルを作成し、検証を進めていた。
- 一般的な擾乱低減化手法として、防振ゴムを機器の四隅に配置する方法が用いられてきたが、振動絶縁装置を使用したことで生じる低周波域での共振周波数をどのように設計するかという課題が存在していた。

研究課題の設定

アイソレータによって高周波数の振動が低減できるのは自明だが、増幅域における共振周波数設計の難しさが技術課題となっている

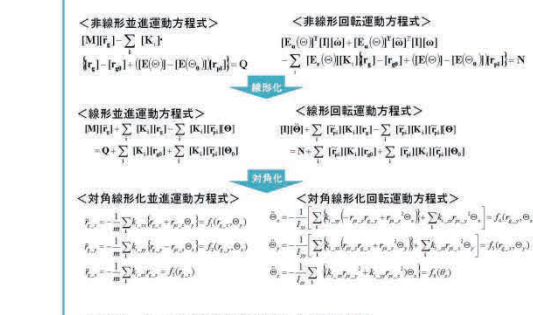
アイソレータの共振周波数設計の容易さを向上させる設計手法を確立する



研究

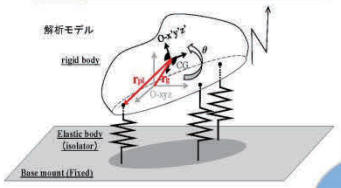
設計手法の構築

1剛体、複数ばね（剛体上あらゆる場所に配置可能）を用いてモデル化し、ラグランジュの運動方程式を導出。更に導出した運動方程式を線形対角化（個々の運動方程式を独立化）することで、共振周波数の調整に必要な設計パラメータを示した。



6自由度共振周波数の主要設計パラメータ

6自由度運動	共振周波数[Hz]	アイソレータ側パラメータ
x並進運動	$\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\sum_i k_{i_xx}}{m}}$	$\sum_i k_{i_xx}$
y並進運動	$\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\sum_i k_{i_yy}}{m}}$	$\sum_i k_{i_yy}$
z並進運動	$\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\sum_i k_{i_zz}}{m}}$	$\sum_i k_{i_zz}$
x回転運動	$\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\sum_i k_{i_xx}r_{pi_z}^2}{I_{xx}}}$	$\sum_i k_{i_xx}r_{pi_z}^2$
y回転運動	$\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\sum_i k_{i_yy}r_{pi_z}^2}{I_{yy}}}$	$\sum_i k_{i_yy}r_{pi_z}^2$
z回転運動	$\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\sum_i k_{i_xx}r_{pi_y}^2+\sum_i k_{i_yy}r_{pi_x}^2}{I_{zz}}}$	$\sum_i k_{i_xx}r_{pi_y}^2+\sum_i k_{i_yy}r_{pi_x}^2$



＜アイソレータユニット共振周波数設計のための必要条件＞

アイソレータの機能により少なくとも1つの慣性乗積を主軸の値よりも十分小さくすること
（感受性機器の設計とアイソレータ設計によりIxx、Iyy、Izz>> Ixy、Ixz、Iyzとする）

慣性主軸を投影した座標（θ回転）をもとに、アイソレータの配置は以下の条件を満たすこと

$$\sum_i k_{i_xx} r_{pi_x} r_{pi_y} = \sum_i k_{i_yy} r_{pi_x} r_{pi_y} = 0$$

かつ

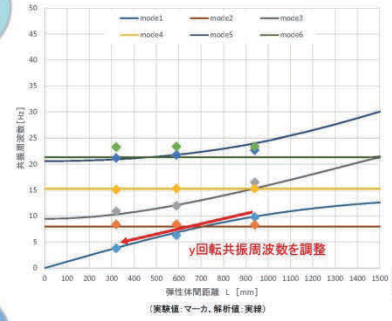
$$\sum_i k_{i_yy} r_{pi_x} r_{pi_y} = \sum_i k_{i_xx} r_{pi_x} r_{pi_y} = 0$$

設計手法の実証

構築した手法に対し、試作モデルを製作し、実機相当の供試体を用いた地上試験により実証。抽出した設計パラメータを変更することで、共振周波数を調整できることを示した。

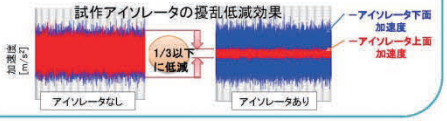
共振周波数の推移

項目	並進運動共振周波数[Hz]			回転運動共振周波数[Hz]		
	x並進	y並進	z並進	x回転	y回転	z回転
評価A 弾性体間距離940mm	22.7	23.4	15.3	8.2	8.3	16.5
評価B 弾性体間距離590mm	21.8	23.4	15.3	8.4	6.3	12.0
評価C 弾性体間距離320mm	21.2	23.3	15.1	8.4	3.8	10.9



（実験値：マーカ、解析値：実線）

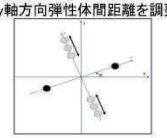
△手法実証のため試作した振動アイソレータと供試体



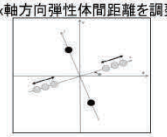
開発

開発した手法の検証は完了した。そこで、開発として研究中に得られた知見を再整理し、ハードウェア開発へフィードバックをかけた。
また、技術的な発展を考慮し、特許出願を行った。

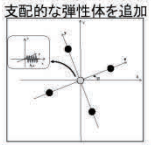
X回転共振周波数調整
⇒y軸方向弾性体間距離を調整



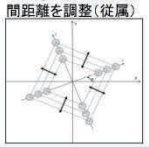
y回転共振周波数調整
⇒x軸方向弾性体間距離を調整



X・Y・Z並進共振周波数調整
⇒中央（座標原点）に各軸が支配的な弾性体を追加



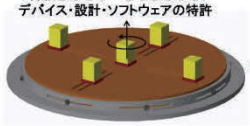
z回転共振周波数調整
⇒ x、y軸方向弾性体間距離を調整（従属）



特許化

解決策も盛り込みハードウェアへ落とし込み

共振周波数調整型 振動絶縁装置
（特願2016−145581）
デバイス・設計・ソフトウェアの特許



設計初期から成立性を保証でき、設計の出戻りが少ない
開発の進捗に合わせ製造後の最終的な計測値に基づき共振周波数をシフトさせることで、軌道上での共振を確実に回避できる。よって**概念検討の段階から衛星システムとして擾乱問題に対する成立性を担保することが可能**

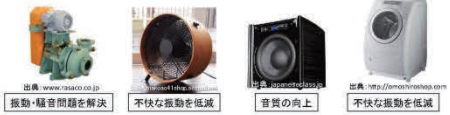
アイソレータユニットの小型化が可能
擾乱感受性機器の重量も利用して、アイソレータが持つ共振周波数をシフトさせることができる。よって、アイソレータが持つ原理上不可避なデメリットを回避しながら**機器を小型化することが可能**である。

応用

宇宙以外も踏まえた応用

振動・騒音問題の解決 → 生活者ひとりひとりの抱える問題を解決
趣味領域（オーディオ）での活用 → 生活の「質」の向上
他分野での振動問題を解決 → 他分野の技術革新・サービス創出に貢献

◆ 振動源機器の脚への適用
産業機械、モーター、オーディオ、洗濯機…等



◆ 振動感受機器の脚設計への適用
車載カメラ、航空機カメラ、免震（建築）…等

This document is provided by JAXA.