

発表 3.

火工品を用いない保持解法衝撃試験の試み

三菱電機鎌倉製作所宇宙システム部 世古 博巳 様

MITSUBISHI
三菱電機

Changes for the Better

試験技術ワークショップ

火工品を用いない保持解放衝撃 試験の試み

平成19年12月14日

宇宙航空研究開発機構 施 勤忠, 岩佐 貴史, 土橋 将弘
三菱電機株式会社 吉田佳子, 世古博巳

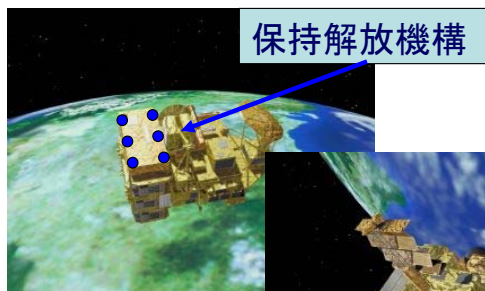
写真提供 宇宙航空研究開発機構(JAXA)

 三菱電機株式会社

MITSUBISHI
三菱電機

Changes for the Better

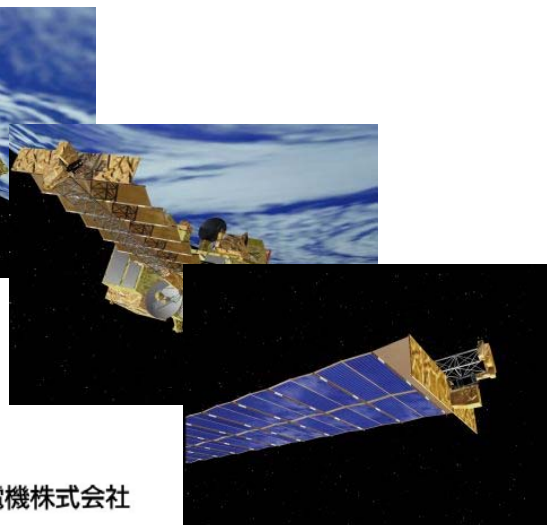
●開発の背景



太陽電池パドルは, 解放前, 保持解放機構によって畳んで収納されている。

保持解放機構を解放させることで, 太陽電池パドルを展開する。

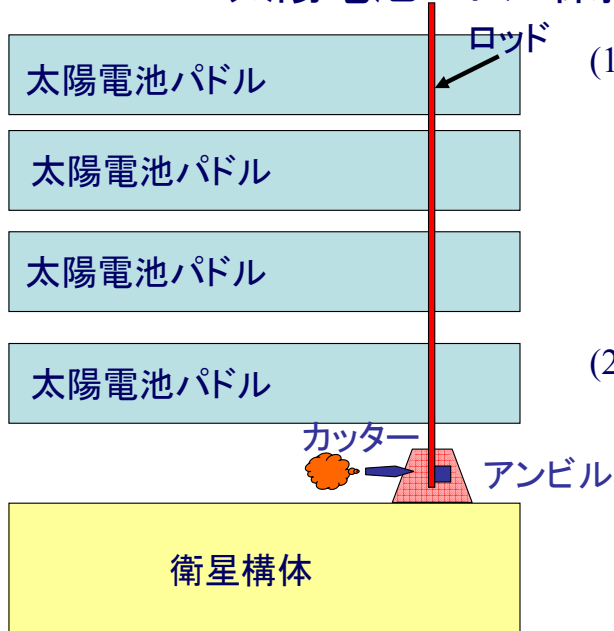
 三菱電機株式会社



MITSUBISHI
三菱電機

Changes for the Better

太陽電池パドル保持解放方法



(1) 太陽電池パドルは、畳んでロッドで串刺しにし、そのロッドを保持解放機構が保持している。保持解放機構は衛星構体にボルト締結されている。

(2) 保持解放機構内には市販のロッドカッターが内蔵されている。ロッドカッターは火薬爆発により、カッターを射出し、アンビルとカッターでロッドを挟み切る。

三菱電機株式会社

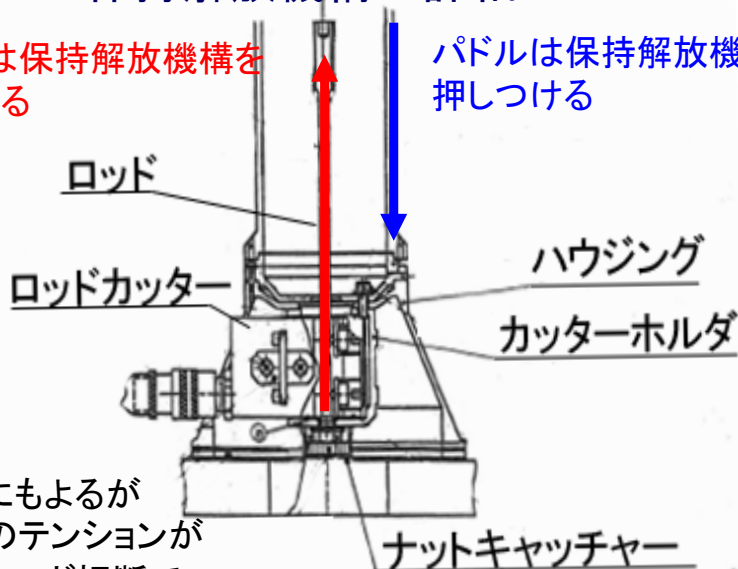
MITSUBISHI
三菱電機

Changes for the Better

保持解放機構の詳細

ロッドは保持解放機構を引っ張る

パドルは保持解放機構を押しつける



パドルの大きさにもよるが保持時、数千Nのテンションがロッドに発生し、ロッド切断でテンションが解放される。



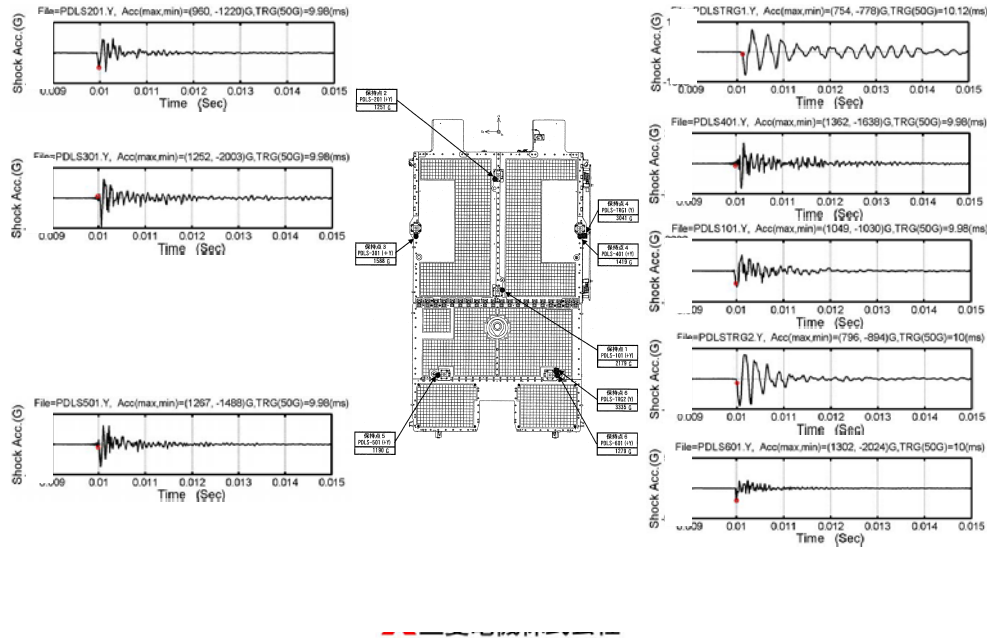
衝撃力の発生

三菱電機株式会社

MITSUBISHI
三菱電機

Changes for the Better

保持解放機構近傍の加速度

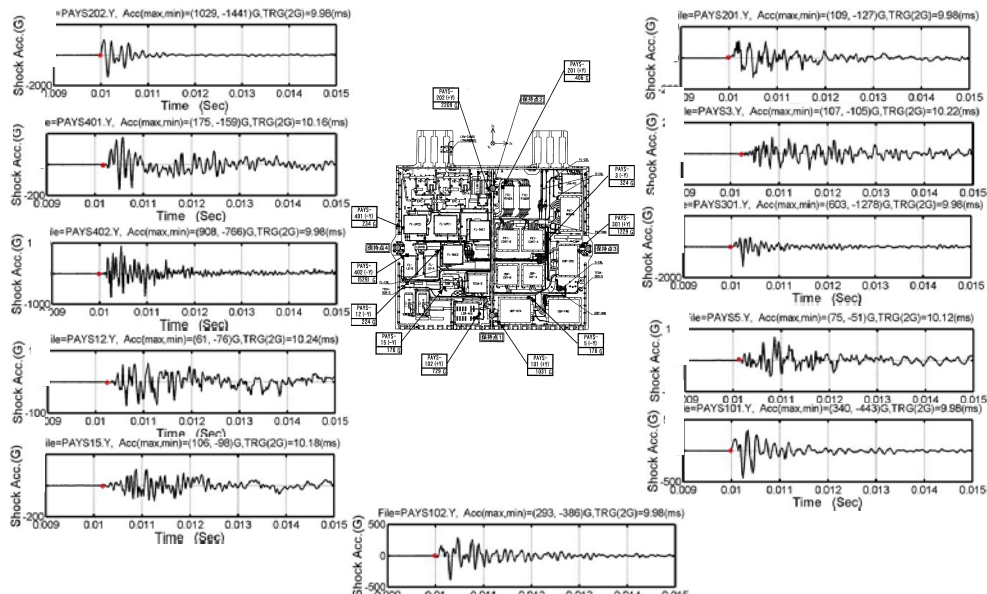


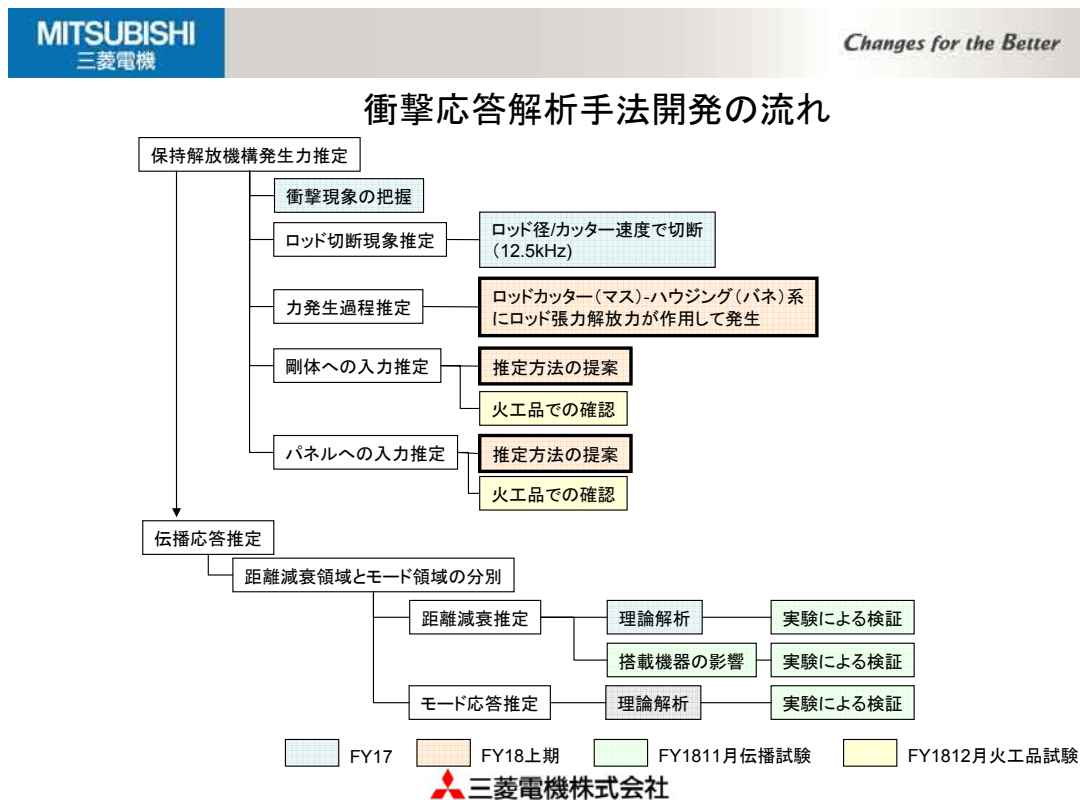
MITSUBISHI
三菱電機

Changes for the Better

保持解放機構の衝撃の衛星構体への伝播

搭載機器に衝撃的加速度が生じる.





●試験実施内容

保持解放機構で発生する力の推定するために、火工品を用いない試験を実施した。

(1) 剛体への入力測定

- ・保持解放機構の条件を変えて力に支配的な部位を特定
- ・剛体への入力モデル

(2) パネルへの入力測定

- ・剛体への入力モデルからの推定

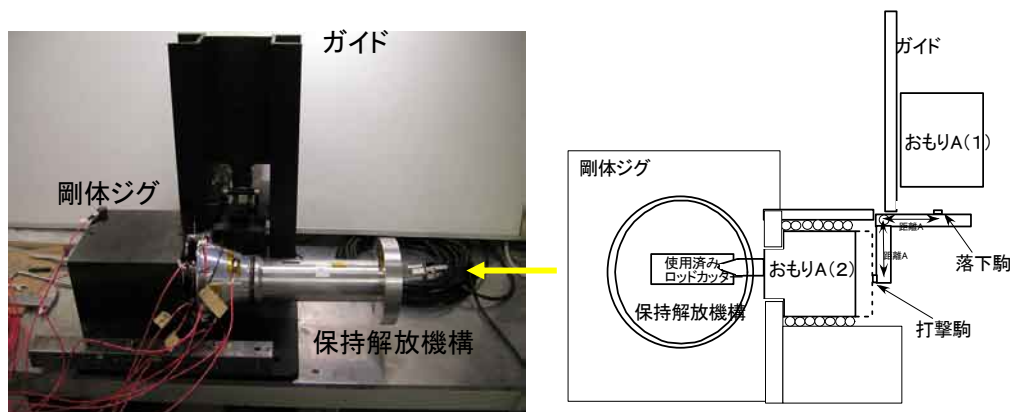
三菱電機株式会社

MITSUBISHI
三菱電機

Changes for the Better

ロッド切断機構

ガイドに沿って錘を落とし、水平方向の力に変換して、カッターを押し出して、ロッドを押し切る。



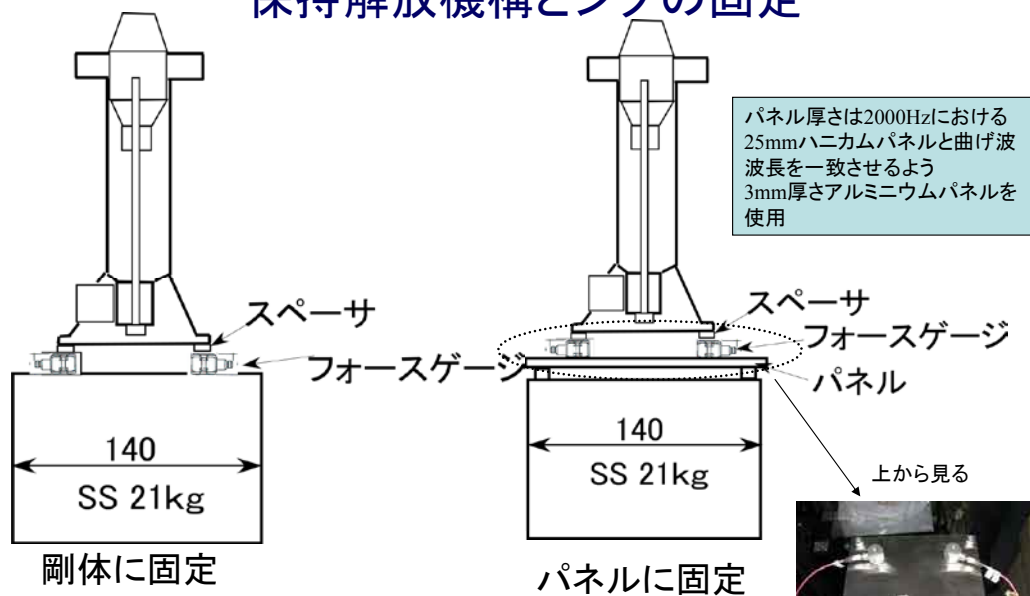
ロッドカッター(火工品)と力積を同一とし、錘質量分速度を落とした。
(火工品速度:200m/s, 本機構:1m/s)

三菱電機株式会社

MITSUBISHI
三菱電機

Changes for the Better

保持解放機構とジグの固定



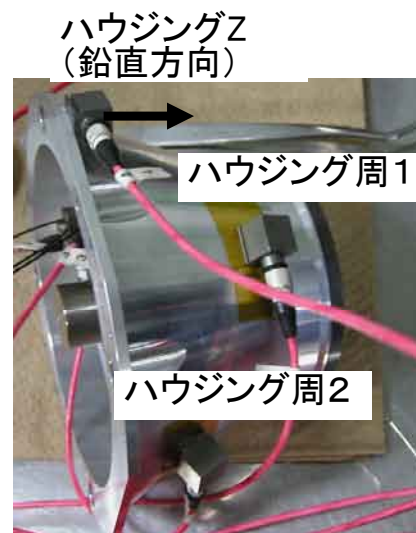
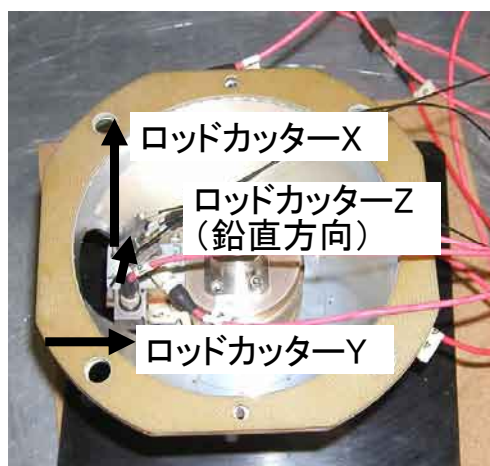

三菱電機株式会社

試験のながれ

- ・剛体に取り付けて各部加速度を計測
 - ①カッター無し→機構の質量落下衝撃の影響を観察
 - ②カッターあり, ロッドなし→カッター衝突衝撃の影響を考察
 - ③ロッドテンション400Nでロッド切断
 - ④ロッドテンション200Nでロッド切断
 - ⑤パイプに質量追加してロッド切断
 - ⑥ハウジングに質量追加してロッド切断
 - ⑦足にゴムワッシャーを取り付けてロッド切断
- ・パネルに取り付けて各部加速度を計測
- ・ニッパーでロッドを切断すると, 切断時間が長くなり, 切断過程でロッドテンションが解放されて衝撃力は観測されなかった.
→Low Shockとなる.

 三菱電機株式会社

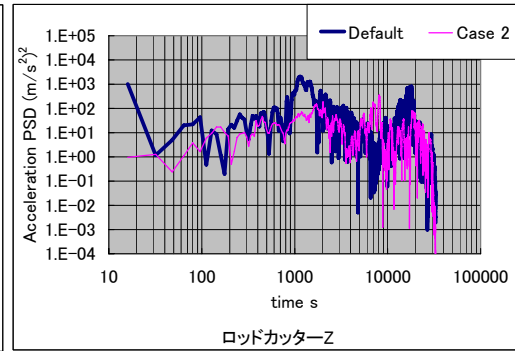
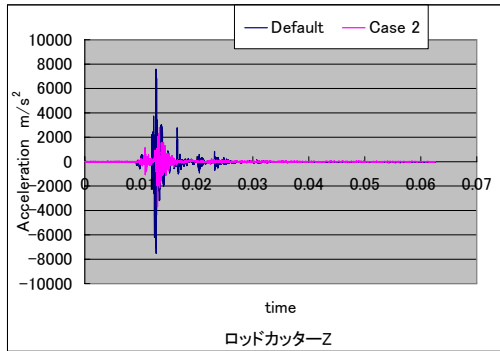
加速度測定位置


 三菱電機株式会社

MITSUBISHI
三菱電機

Changes for the Better

加速度測定結果例

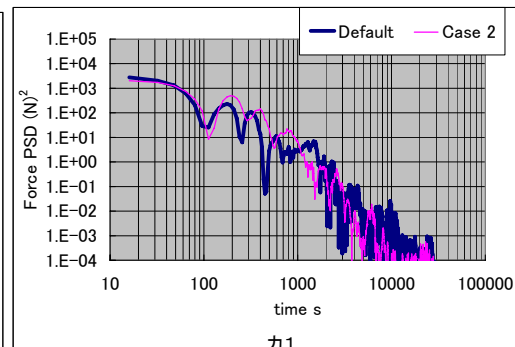
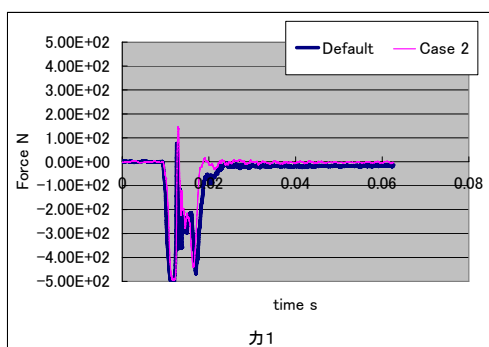


三菱電機株式会社

MITSUBISHI
三菱電機

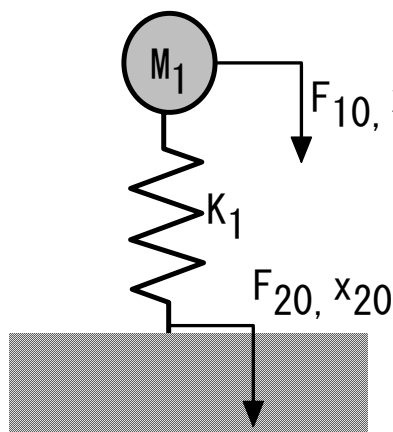
Changes for the Better

力測定結果例



三菱電機株式会社

力の推定



$$F_{10} = M_1 \ddot{x}_{10} + K_1 x_{10} = -\omega^2 M_1 x_{10} + K_1 x_{10}$$

$$F_{20} = K_1 x_{10} = \frac{K_1 F_{10}}{-\omega^2 M + K_1} = \frac{F_{10}}{-\frac{\omega^2}{\omega_1^2} + 1}$$

$$F_{20} = \frac{F_{10}}{-\frac{\omega^2}{\omega_1^2} + 1 + \eta \frac{\omega}{\omega_1}}$$

$$\text{ピークレベル: } F_{20} = \frac{F_{10}}{\eta}$$

 三菱電機株式会社

ハーフサイン入力の場合

作用時間をT, 最大振幅をAとすると, 周波数fに対する力のフーリエ変換F(f)は次式で表される.

$$F(f) = \frac{\cos(\pi f T)}{1 - (2fT)^2} \frac{2}{\pi} A T$$

高速フーリエ変換 (FFT) の場合は窓関数毎の連続関数として認識するため, 時間窓の最大時間 T_m より

$$F(f) = \frac{\cos(\pi f T)}{1 - (2fT)^2} \frac{2}{\pi} A \frac{T}{T_m}$$

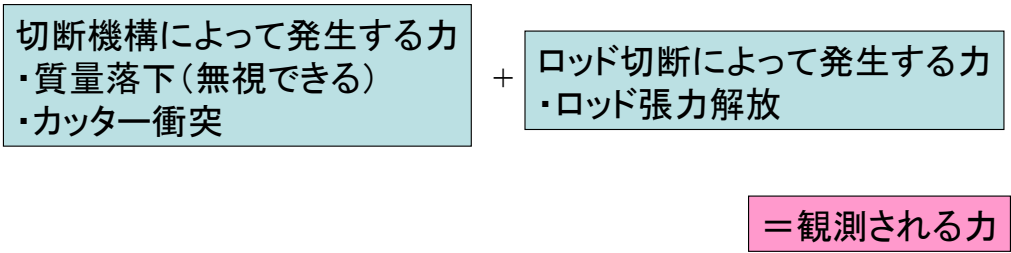
連続体の場合, 多自由度となるため, **第一次固有振動数以上で損失係数 η を用いて**

$$|F(f)| = \frac{\cos(\pi f T)}{1 - (2fT)^2} \frac{2}{\pi} A \frac{T}{\eta T_m}$$

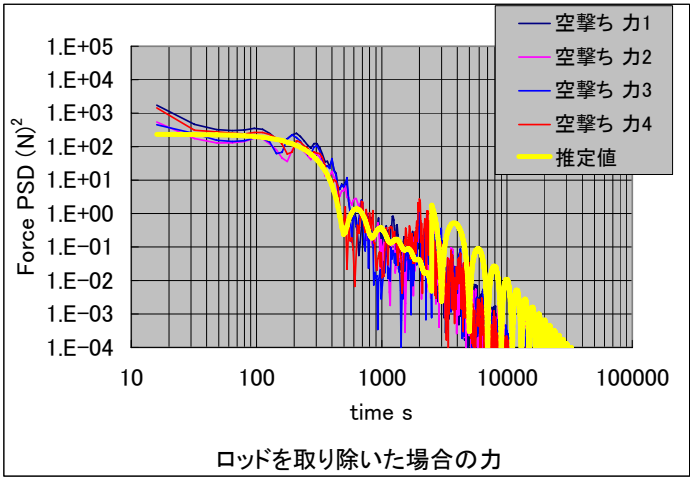
パワースペクトル密度関数 $P_F(f)$ は二乗をとって次式となる.

$$P_F(f) = \left[\frac{\cos(\pi f T)}{1 - (2fT)^2} \frac{2}{\pi} A \frac{T}{\eta T_m} \right]^2$$

 三菱電機株式会社



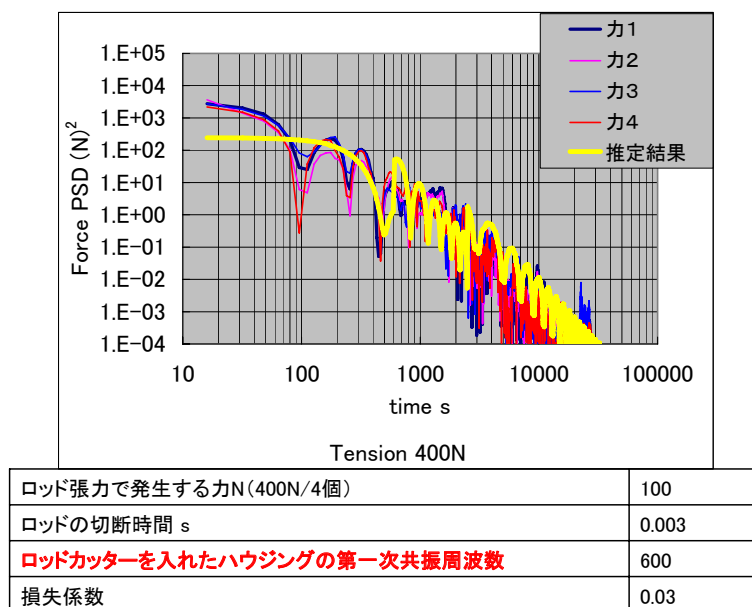
カッターの衝突により発生する力



カッターとアンビルの衝突力(読み取り値) N	500
力の作用時間(読み取り値)s	0.003
ロッドカッターをはずしたハウジングの第一次共振周波数 Hz	2500
損失係数	0.05

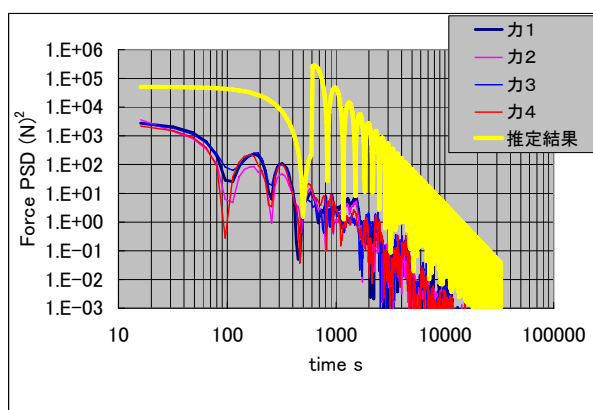


ロッド張力解放により発生する力



三菱電機株式会社

ロッド張力400N→7350Nとした場合 張力解放により発生する力(推定値)

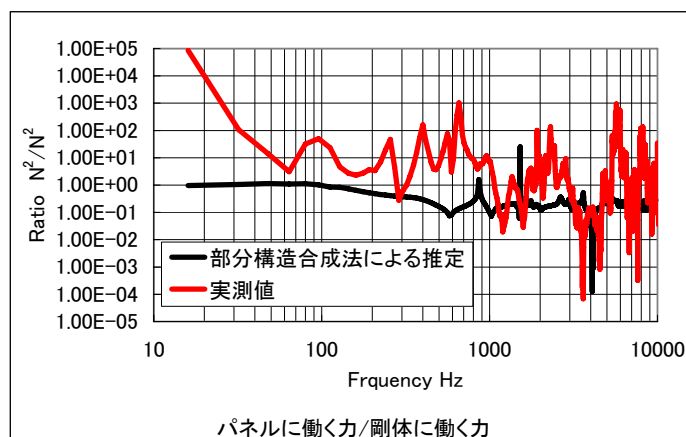


今後ロッドカッターによる計測で確認する。


三菱電機株式会社

その他実験から得たこと

剛体に働く力とパネルに働く力の関係

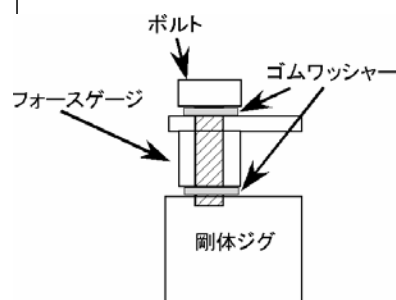
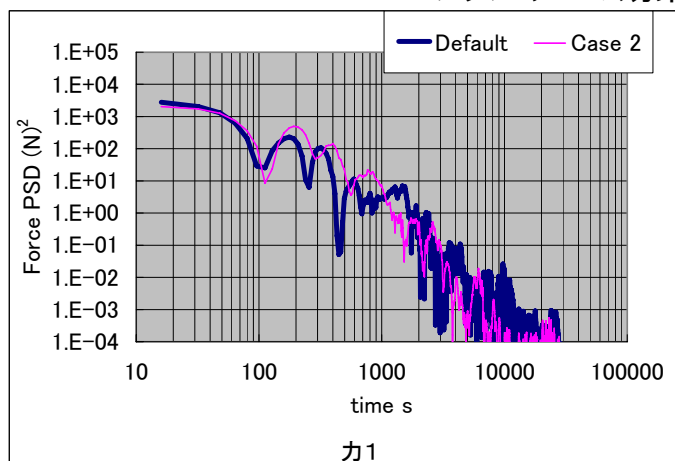


部分構造剛性法による推定結果よりも実測値は1に近い。
 →パネルへの入力は、剛体への入力をほぼ利用できる。


 三菱電機株式会社

その他実験から得たこと

ゴムワッシャーの効果



ゴムワッシャーの挿入により、1000Hz以上で
 力の減少が見られた。→衝撃防振の効果

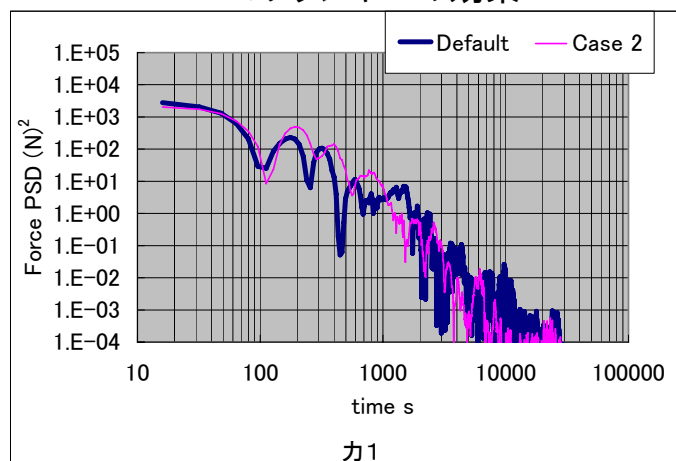
 三菱電機株式会社

MITSUBISHI
三菱電機

Changes for the Better

その他実験から得たこと

ゴムワッシャーの効果



ゴムワッシャーの挿入により, 1000Hz以上で力の減少が見られた. →衝撃防振の効果

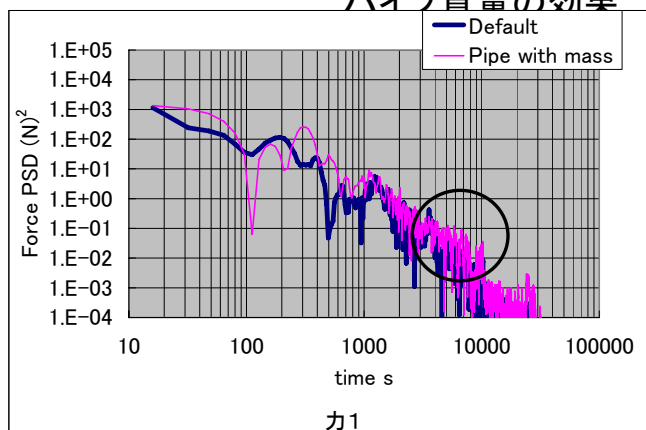
三菱電機株式会社

MITSUBISHI
三菱電機

Changes for the Better

その他実験から得たこと

パイプ質量の効果



パイプに粘土を付加して質量を823gramから1179gramとすると, 力の5000Hz~6000Hzの成分が通常よりも3~9倍に増大した. 太陽電池パドルの慣性が力に影響する可能性がある.

三菱電機株式会社

●まとめ

- (1) 火工品を用いない衝撃試験で、保持解放機構と剛体の間に発生する力を測定した.
- (2) ロッド切断による発生力をハーフサインと仮定し、構造系の第一次固有振動数以上で損失係数で割り算することで、剛体に働く力が推定できた.
- (3) パネルへの入力は剛体に働く力にほぼ等しい.
- (4) 衝撃防振や、取り付けている物体の質量の影響を確認した.

●今後の予定

- (1) 本提案手法で予測した7350N張力ロッド切断時の応答について、ロッドカッター試験で確認する.
- (2) ハニカムパネル1点加振時の各部応答観察から、伝播応答解析手法を開発する.
- (3) 衝撃発生力と伝播応答解析手法を組み合わせ実機の衝撃応答を予測する.
- (4) 予測プログラムを開発する.

質疑応答

質問者①

問 1：今日はありがとうございました。ちょっと教えていただきたいのですが、今回ロッドカッターを使われたということですが、分離機構としてはセパレーションナットというのも別なところでよく使われていると思うのですが、例えば、今回の予測手法を適用したりすることも検討されたりしているのかどうか、その辺をお教えいただければと思うのですが。

答 1：検討されるには至っていないのですが、今回取った手法が確立されて、実際の火工品とか分離機構のメカニズムを考えて、実際に衛星本体に入っていく力を求めて、その力を衝撃系としてパドル、上機ボード、伝播、といった問題に結びつけるということができれば、その手法がセパレーションナットについても適用できるのではないかと、いう風に思っております。

質問者②

問 2：「まとめ」の前のページに「パイプ質量の効果」というページがあったかと思うのですが、その一番下の、「太陽電池パネルの慣性が力に影響する可能性がある」というくだりのところのご説明をお願いしたいのですが。

答 2：そうですね、たまたまパイプに質量を付加して、実際の厳しさについてはあまり影響はないのではないかと考えていたのですが、実際パイプを使用してみますと、力の影響が増して来たということでしたので、反力のようなものが影響しているのではないかと考えております。

質問者：これは1回の試験ではなくて何回か試験をされて同じような傾向が出たということでしょうか。

発表者：そうですね。何回か試験をした結果、同じ傾向が見られました。

質問者③

問 3：とても面白い方法で分離されると感心しているのですが、これをやった場合、スペースデブリの問題はまったく発生しないのでしょうか、それとも火工品よりは少ない、ということなのでしょうか。ちょっと興味があったものですから、その点をお聞きしたいのですが。宜しくお願いします。

答3: 今回の方法は地上試験に用いるもので、実際は火工品を使って切ります。フライト品を地上で試験する場合、火工品が結構高価なものですので、簡単に言えば実験できないものですから、それに代わる代替の方法として考案した方法ですので、宇宙環境に使うためのものではありません。あくまでも地上でデータを取得するという目的を前提とした手法です。

質問者: 地上試験用なんですか。

発表者: そうです。

質問者: そうですか。この方法は宇宙では使えないのですね。

発表者: 宇宙では、多分使えないと思います。その場合は規格品を使います。というのも、カッタを飛ばすために大きい錘を使って立式に載せるということをやっていますから、宇宙で使うのはかなり難しいです。

質問者: デブリが出ないような分離方法みたいなものは、将来的にはないのでしょうか。

発表者: そうですね、私の方では火工品の改造についてはお答えできませんけれども、ただこれによって試験が容易になるといいますか、安く出来て、専用の設備と資格を持った人しかできないという火工品を使用する際の制約をなくして、他の手法で出来るっていうことですね。

質問者④

問4: 衝撃試験を火工品を使って行う場合、火工品自体のバラツキの影響もあるかもしれませんが、同じコンフィギュレーションで同じ条件でやっても結構ばらつくことがあると思います。今回この研究では、そういうばらつきのようなことなども考慮しながらデータを取られて、評価されているのでしょうか。それから、最終ゴールとしての衝撃応答予測についてですが、予測の精度はどれぐらいを目指しているのか、ということについてはいかがでしょうか。

答4: まず、ばらつきに関しましては、何回か試験を行いまして、全く（ばらつきが）ないというわけではありませんが、実験をする時ばらついて評価にならないほどの大きなばらつきはない、ということを確認しています。それから、予測精度に関しましては、まだお

およその目標値を決めてはおりませんが、個人的な感想からいいますと、だいたい 3dB ぐらいは予測の精度としてあればいいのではないかと考えておりますが、厳しい目標かも知れないと思います。

質問者⑤

問 5: ゴムワッシャーの話がありましたが、実際のフライトで使われているゴムワッシャーというのはございますでしょうか。あと、その実績につきましても、お聞きしたいのですが。

答 5: 今回使ったものはフライト仕様のものではないのですが、火工品を使うときに緩衝材としてゴムワッシャーみたいなものを使っておりますので、そういうものはあります。多分今回とあまり差はないのではないかと思います。