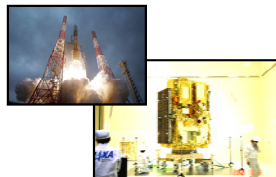


# ジョイントアクセプタンスを用いた宇宙機パネル上搭載機器の簡易音響振動解析

## 1.概要

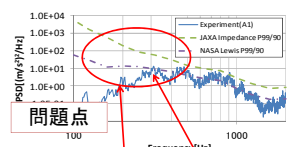
人工衛星などの宇宙機は、ロケット打上げ時の130dB以上の音響加振により、過酷な高周波ランダム振動環境に曝される。このランダム環境条件を設定する方法として、従来は過去の試験データ等による、経験的手法が用いられてきたが、適切な環境条件の設定のため開発工程において設計に手戻りが生じている。



宇宙機のランダム環境条件をより精度良く設定し、設計の手戻りを低減させ、開発期間の短縮・コスト削減をするため、下記に示す従来手法より応答振動予測を行ってきた。

### 従来手法

実験データを基にした経験的予測手法や統計的エネルギー解析(SEA)による簡易的な音響予測による、音響振動解析システム(Jaxa Acoustic Analysis Network system, JANET)を開発し、200Hz以上のランダム振動環境を対象に、宇宙機パネルの音響振動応答予測を実施



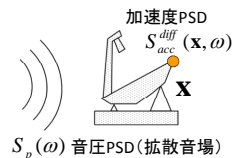
**問題点**  
低周波域では過大予測となる傾向  
個別モードの予測が不可能  
200Hz以下の低周波域ではSEA手法の性質上精度が悪い。

JANETの低周波域補完手法として、

ジョイントアクセプタンスを用いた簡易音響振動予測手法を提案。

## 2.提案手法

低周波域の個別モードピーク値の予測が可能な、ジョイントアクセプタンスを用いた簡易音響振動解析の方法  
サブシステムや小型衛星の構造有限要素法モデルのみを用いて、音場をモデル化しない非線形モデルにて、宇宙機の試験標準に規定されている拡散音場における振動応答のPSD値を計算する手法



### ジョイントアクセプタンス:

$$j_{rr}(\omega) \equiv \frac{1}{A^2} \int_A \int_A \phi_r(\mathbf{x}) C_p(\mathbf{x}, \mathbf{x}', \omega) \phi_r(\mathbf{x}') dx dx'$$

拡散音場音圧に対する構造物の応答のしやすさを表す

### 拡散音場のクロススペクトル:

$$C_p(\mathbf{x}, \mathbf{x}', \omega) = \frac{\sin(k_0|\mathbf{x}' - \mathbf{x}|)}{k_0|\mathbf{x}' - \mathbf{x}|} = \text{sinc}(k_0|\mathbf{x}' - \mathbf{x}|)$$

### ジョイントアクセプタンスを用いた加速度PSD:

$$S_{acc}^{diff}(\mathbf{x}, \omega) = \sum_{r=1}^{\infty} \left( \frac{A^2 4 S_p(\omega) j_{rr}(\omega)}{\Lambda_r^2 |Z_r(\omega)|^2} \phi_r^2(\mathbf{x}) \right)$$

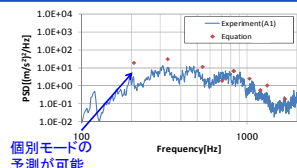
← 供試体表面上の音圧PSDはブロック音圧となるため、遠方音圧PSDの4倍となる

$$\equiv \frac{A^2 S_p(\omega) 4 j_{rr}(\omega)}{\Lambda_r^2 |Z_r(\omega)|^2} \phi_r^2(\mathbf{x})$$

← 応答ピークに注目  
モード重ね合わせを無視  
固有振動数  $\omega_r$

本検討で使用する式(グラフ上:Equation)

前提条件:  
音響と構造の非線形モデルを利用  
構造の隣モードの寄与を無視  
構造による音場の回折を無視

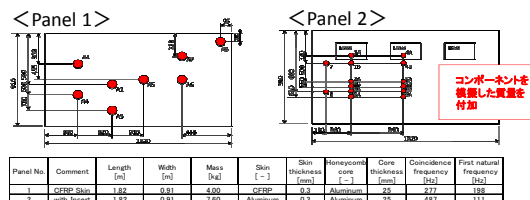


個別モードの予測が可能

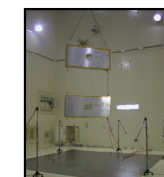
## 3.実験概要

拡散音場において構造振動応答のPSDの算出が可能である提案手法を、宇宙機パネルの拡散音場加振に適用して得た実験結果とJANETを用いた予測結果との比較・検討を行う。

宇宙機パネルを模擬したハニカムパネル1, 2を供試体として音響試験を実施(図1)  
加音レベル: 141.5dB(オーバーオール)  
加速度計側: パネル上の面外方向加速度



Panel No.	Comment	Length (m)	Width (m)	Mass (kg)	Skin thickness (mm)	Honeycomb core thickness (mm)	Core thickness (mm)	Coincidence frequency (Hz)	First natural frequency (Hz)
1	CFRP Skin	1.82	0.81	4.00	CFRP	0.8	Aluminum	25	217
2	with Insect	1.82	0.81	7.50	Aluminum	0.8	Aluminum	25	487

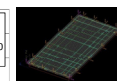
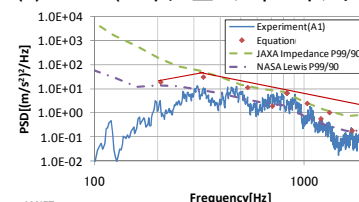


Acoustic Test configuration

Environmental Test Technology Center

## 4.検証

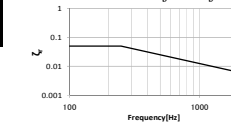
### (1)Panel1 (パネル上コンポーネント非搭載時)



### <減衰の設定>

$$\zeta_r = \frac{\eta_r}{2} \quad \eta_r = 0.1 \quad (f < 250 \text{ Hz})$$

$$25/f \quad (f > 250 \text{ Hz})$$

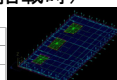
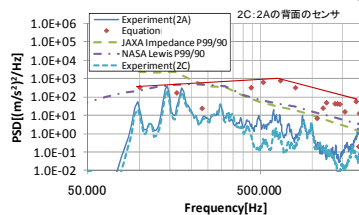


本検討で利用した減衰比

<JANET>  
NASA Lewis法: パネルの隅元と搭載機器の総質量からパネルの等価剛性と等価質量を仮定したパネルの応答をSEAで計算  
JAXA Impedance 法: パネルの応答をSEAで計算し、解析対象とする搭載機器の動質量の平均値を乗じることで搭載機器の応答を計算  
P99/90: 母集団の99%が90%の確率で包絡されるランダム振動レベル

主要モードでは周波数、PSD値が試験結果とよく一致  
解析値の包絡線は2000Hz以下の周波数域で試験結果を包絡し、安全側の予測  
⇒JANETの低周波域補完手法として有効

### (2)Panel2 (パネル上コンポーネント搭載時)



### 課題・展望

モデルの精度向上、より適切な減衰比の設定により予測精度を向上させ、本手法の有効性を確認していくことが課題。  
将来的には本手法を、パネル上コンポーネント搭載部の低周波域における音響振動環境(計測箇所)の予測へ適用、JANET手法と合わせることで、宇宙機開発の信頼性向上、開発工程・コスト削減へ繋げていく。

パネル1と同様に安全側の予測、PSD値に関して改善の余地あり