

WS10-P01

第10回試験技術ワークショップ(2012/11/15)

音響励起ランダム振動予測手法のSPICA搭載機器への適用



-Purpose-

ロケット打上げ時、フェアリング内に格納されている宇宙機は、**激動な広帯域ランダム振動環境**に晒される。この振動は**ロケットエンジン排気流と周囲空気の干渉により生じる音響が、直接または池よて反射された流体に共振**されることにより発生する。また、ロケットの飛行速度が音速に達する前後、ロケットの機体外壁には**非定常な乱流や衝撃波**が発生、フェアリング外壁が流体加振を受けランダム振動を励起し、内部の宇宙機が激しい音響環境を受ける。

環境試験技術センターでは、SEA、FEA等の**アプロキシメイトで宇宙機搭載機器のランダム振動環境予測手法**を検討して来た。これらの予測手法を次世代赤外線天文衛星 SPICAの搭載機器加振に適用、概念設計段階におけるSPICA搭載機器のランダム振動環境条件を適切に見積もることを目的とし、予測解析を実施、評価した結果について紹介する。

-Object-



Fig.1 Overview of SPICA

望遠鏡	口径 3.2m、温度 6K以下
観測対象	極低温天体、コア質量 50M以上、国際宇宙
観測波長域	700nm以上、赤外線
観測時間	約 3年(観測期間)および観測機寿命
打ち上げ機	約 3年(観測期間)および観測機寿命
軌道	ハド-軌道

次世代赤外線天文衛星SPICA

(Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics)

- > 口径3.2mの大口徑望遠鏡を備える
- > 放射冷却および機械式冷凍機により絶対温度4.5Kの極低温にまで冷却
- > 中間～遠赤外線領域で極めて優れた感度/高い空間分解能の赤外線天体観測を可能

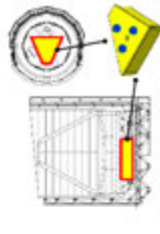


Fig.2 Overview and Location of SPICA-FPA

<観測対象>
SPICAに搭載される赤外線観測装置 SPICA(Focal Plane Instrument Assembly)上の遠赤外線観測装置 SAFARI (SPICA FAR-infrared Instrument) 搭載機器 フェーズAのランダム振動環境

-Method-

• Joint Acceptance

低周波領域の励起モードピーク値の予測が可能な、簡易な音響励起解析の手法である。サブシステムや小型衛星の**構造共振法モデル**のみを用いて、装置全体をモデル化しない非線形モデルにて、励起環境における音響励起のPSDを計算する。計算過程で用いるJoint Acceptanceは構造の必要のし易さを指す値となる。

$$S_{\theta}(x, \omega_s) \approx \frac{4k^2 S_{\theta}(\omega_s) \omega_s^2 \omega^2(x)}{A^2 - k^2 \omega^2}$$



• Combined FEA-SEA

中周波域に適用した手法であり、平面はFEA、キヤビティはSEAを用いてモデル化、直線構への適用(FEA+SEA)と曲面構への適用(SEA+FEA)が等しいとする相長性を特徴。ハワード-平衝を考慮し、SEAがサブシステムがランダムに激化する以上の平面加振を要する手法(自由振動)である。

$$\langle S_{\theta} \rangle = \frac{B_{\theta}(\omega_s)}{A_{\theta}(\omega_s)} D_{\theta}^2 \ln(D_{\theta}^{(1)}) D_{\theta}^{(2)}$$

※観測手法以外にも低周波領域の観測手法として、音場モデル化する境界要素法(BEM:Boundary Element method)がある。

• SEA(Statistical Energy Analysis)

高周波域に適用した手法であり、解析対象の構造物(又は音響空間)を複数のサブシステムに分割し、サブシステム間のエネルギーフローを考慮し対象サブシステムのエネルギー出力を算出する。出力されるエネルギーは、サブシステム内で空間励起及び構造共振の両方であり、構造の位置に対する伝達や支配的モードのモードによる伝達の異なる伝達係数がある。

$$\langle \theta^2 \rangle = \langle \theta^2 \rangle - \frac{2\pi^2 c_{\theta}(\omega_s)}{\rho V \omega_s} \frac{R_{12}}{(R_1 + R_2)}$$

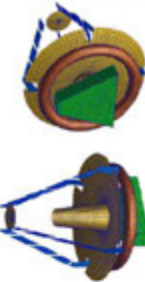


-Procedure-

本検討では、FPIA上SAFARI搭載面インターフェース3点のHIA A1レベル音響負荷時の面外2軸方向ランダム振動応答を求めたため、BEM、SEA、Joint Acceptance、FEA-SEA結合法の4手法を用いて数値解析を行った。SEA応答には内部応答の運動を考慮した空間マージン(M99/90th、54dB)およびPSD変換によるPSDマージン(3.5dB)を加える。

M99/90は1%の確率で集束の99%を包摂するも値を意味する。入力条件はHIA A1レベルとし、構造数学モデルから得られるモード形状を用いて(SAFARI搭載面ハネのみ抽出)、SAFARI搭載面インターフェース3点(Fig.3)における面外2軸方向ランダム振動応答を算出した。

次に、ランダム振動応答解析結果の包絡線からランダム振動環境条件を作成し、予測される最大実効値を算出した。最後に、作成した環境条件とSPICA SIA(Scientific Instrument Assembly、Fig.5)に示すFPIAと望遠鏡STA(SPICA Telescope Assembly)を合わせたモデルのBEM解析結果と比較し、環境条件の妥当性を検討した。



※SPICA SIA解析結果は望遠鏡STAの解析結果を用いて算出した。

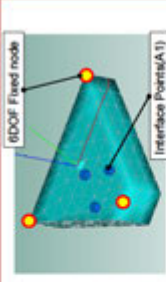


Fig.3 Overview of SPICA FPA Model

Parameters	Symbol	Value
Area	A	1.82 m ²
Mass	M	207.9kg
Material	x	Aluminum alloy
Pressure 1 ratio	y	0.33
Young's modulus	E	6.82e+10 Pa
Sound speed	c	340 m/s
Diameter	φ	0.1 m (Average)
Damping Ratio	ζ	0.01 (all)
Node number	N	214
Mesh size	s	20 - 42
Boundary condition	-	fixed 3 nodes (A&B&C)

<解析ソフトウェア>
有限要素解析:MSC Nastran2012.1
BEM:VA One 2012.9 ISO面の直交性の組合せ、バリエーション
SEA:Autodesk 2009.1 [土質土質以上を考慮し、2500Hz以上を有効]
※Joint AcceptanceおよびCombined FEA-SEAでは有限要素解析ソフトMIDAS2010を用いて後述の作成したコードで解析を行った。
Joint Acceptanceは2500Hz以下を有効とした。

-Results-

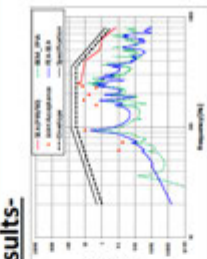


Fig.4 Analysis result envelope and the random vibration specification (FPA model)

SAFARIの搭載面インターフェース3点のランダム振動応答(予測値)、応答の包絡線(envelope)を求め、包絡線に構造数学モデルの不確かなる考慮し30dBのマージンを加えてランダム振動環境条件(Specification)を作成した。作成した環境条件より最大実効値(RMS値)を見積もることが出来る。

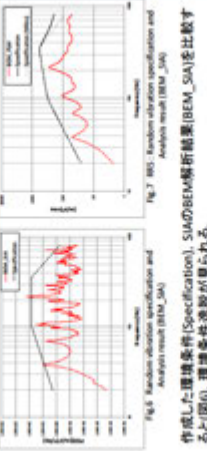


Fig.5 Random vibration specification and analysis result (SEA)

作成した環境条件(Specification)、SIAのBEM解析結果(BEM_SIA)と比較すると類似し、環境条件差が認められる。環境条件は RMS(Random Response Spectrum)にて差の評価を行う。ここでは、作成した環境条件が適切であるか評価するため、BEM解析結果と環境条件を比較し、環境条件が適切であるか評価する。BEM解析結果と環境条件を比較し、環境条件が適切であるか評価する。BEM解析結果と環境条件を比較し、環境条件が適切であるか評価する。

作成した環境条件(Specification)、SIAのBEM解析結果(BEM_SIA)と比較すると類似し、環境条件差が認められる。環境条件は RMS(Random Response Spectrum)にて差の評価を行う。ここでは、作成した環境条件が適切であるか評価するため、BEM解析結果と環境条件を比較し、環境条件が適切であるか評価する。BEM解析結果と環境条件を比較し、環境条件が適切であるか評価する。BEM解析結果と環境条件を比較し、環境条件が適切であるか評価する。