WS11-P03

第11回試験技術ワークショップ ポスター発表 2013年11月28日 JAXA環境試験技術センター

次世代赤外線天文衛星SPICA搭載機器のランダム振動環境の予測解析

-Purpose-

SPICAプロジェクトでは、現在プロジェクト化に向けたリスク低減活動を行っており、SPICAへ搭載を計画している欧州の観測機器に対し適切なランダム振動環境条件を提示する必要がある。本稿では、プロジェクトからの依頼に基づき、ロケット打上げ時に音響加振を受けるSPICA搭載機器に対し、音響振動予測手法であるFEA-SEA統合法を用いた。機器搭載面インターフェース点におけるランダム振動環境の予測解析・検討結果を紹介する。本検討では、ランダム振動環境の予測解析に加えて、搭載機器の内部応答に対するフォースリミット条件の適用を含めて環境条件の検討を行い、過負荷に対する低減量を見積もった。

-Object- 次世代赤外線天文衛星SPICA (SPace Infrared telescope for Cosmology and Astrophysics)

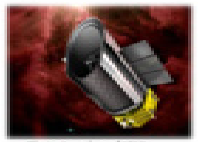

Fig.1 Overview of SPICA

- 口径3.2mの大口径望遠鏡を搭載
- 技術冷却および機械式冷凍機により絶対温度6K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)

＜解析対象＞
SPICAに搭載される焦点面観測装置FPIA (Focal Plane Instrument Assembly)上の遠赤外線観測装置SAFARI (SpicA FAR-infrared Instrument)搭載面インターフェース点のランダム振動環境 (Fig.2 Blue Points)

Table 1 Specification of SPICA Mission

望遠鏡	口径3.2m、温度6K以下 [illegible]
観測波長域	コア波長域5~210μm
観測機冷却	打ち上げ時常温 軌道上 放射冷却および機械式冷却機
打上げ重量	約3.7トン
軌道	太陽-地球系のラグランジュ点L2周りのハロー軌道

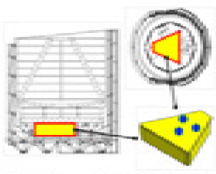

Fig.2 Overview and Location of SPICA-FPIA

-Method-

FEA : Finite Element Analysis (有限要素解析), SEA : Statical Energy Analysis (統計的エネルギー解析)

・Random Vibration Specification – Combination FEA-SEA-

ランダム振動環境条件の検討で用いたFEA-SEA統合法は、宇宙機構体パネル等の決定論サブシステムをFEA、拡散音場等の統計的サブシステムはSEAを用いてモデル化し、構造から音響への放射(FEA⇒SEA)と音響からの構造負荷(SEA⇒FEA)が等しいとする相反性を利用し、各サブシステム間のパワーフロー平衡を考慮し、統計的サブシステムがランダムに変化する時の平板応答を求める手法(自由度毎)である[1]。

Fig.3 Flat Panel in Diffuse Sound Field

(動剛性行列) ※平板剛性＋放射抵抗

$$D_{tot} = D_d + D_{dir}$$

(応答変位パワースペクトル密度)

$$\langle S_{xx} \rangle = \frac{8\pi c_0 \langle p^2 \rangle}{\rho_0 \omega^3} D_{tot}^{-1} \operatorname{Im}(D_{dir}) D_{tot}^{-H}$$

[1] [illegible]

・Force Limit Specification

フォースリミット条件の算出では、搭載機器(以下、Load系)の動質量を用いて、機器インターフェース(I/F)点における最大予測フォース値を算出する方法を検討した。Load系I/F点を剛固定として固有値解析を行い、求めた搭載機器の各モードの有効質量により、Load系の動質量$\underline{M}_1$は以下の式を用いて求めることができる[2]。また、Load系に加わるI/FフォースF_0は、I/F加速度A_0と動質量$\underline{M}_1$の積で表される。I/F加速度は実応答(FEA-SEA統合法の結果)を用いる。算出されたI/Fフォースの最大値がフォースリミット条件$F_{PSDspec}$となる。

(動質量)

$$\underline{M}_1(\omega) = \frac{F_0(\omega)}{A_0(\omega)} = M_1\left\{1 + \sum_{k=1}^{n}\left(\frac{m_{ek}}{M_1}\frac{r_k^2}{(1 - r_k^2) + j2\zeta_k r_k}\right)\right\}$$

M_1: Load系の総質量, m_{ek}: Load系のk次モードの有効質量, r_k: 周波数比$(=\omega/\omega_k)$, ω_k: Load系のk次モードの固有角周波数, j: 虚数単位, ζ_k: Load系のk次モードの減衰比

(最大予測I/Fフォース)

$$F_{PSDspec} = \max\left(\underline{M}_1 \times A_0(response)\right)$$

I/F加速度A_0にランダム振動環境条件を代入することにより、試験時における適切な負荷量を見積りフォースリミット条件を検討することができる。

[2] 宇宙航空研究開発機構, [illegible] フォースリミット振動試験ハンドブック

-Procedure-

・Random Vibration Specification

本検討では、FPIA上SAFARI搭載面インターフェース3点のH-IIA ATレベル音響負荷時の面外Z軸方向ランダム振動応答を求めた。解析に用いた構造数学モデルはFPIAの単体モデルである(搭載機器SAFARIおよび機器結合部IOB(Instrument Optical Bench)はバネマスモデルにて表現)。境界条件はモデル上6点(FPIA搭載時のインターフェース点)、図4赤印)を6自由度剛固定とした。モデルの総質量は245.8kgである。以降のランダム振動応答解析では、固有値解析結果として出力された固有値およびモード形状(モード質量=1として正規化)を用いた。FEA-SEA統合法では、評価点を含む平面上のモード形状のみを取り込んで計算を行う。SAFARI搭載面インターフェース3点のランダム振動応答、全応答の包絡線(Envelope)、包絡線に構造数学モデルの不確かさを考慮し+3dBのマージンを加えてランダム振動環境条件を算出した。

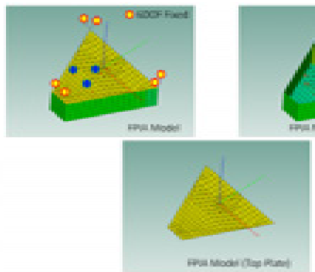

Fig.4 SPICA FPIA Finite Element Model

Table 2 Parameters used for analysis

Parameters	Symbol	Value
Area(Top Face)	A	1.82m²
Mass	M	245.8kg
Material	-	aluminium alloy
Young's modulus	E	6.82e+10 Pa
Sonic speed	c_0	340 m/s
Air density	ρ	1.27 kg/m³
Element Length		0.1 m(Average)
Poisson's ratio	ν	0.33
Node number	-	315
Frequency range	-	20 - 800Hz
Mode number	-	48
Damping Ratio	ζ	0.01 (all mode)

＜解析ソフトウェア＞
固有値解析：MSC Nastran2012.2
FEA-SEA統合法：汎用数値計算ソフトMATLAB2012.0を用いて独自に作成したコードで解析を行った。

・Force Limit Specification

対象モデルであるSPICA FPIAをLoad系(搭載部)とSource系(被搭載部)に分ける。本検討では、Load系をSAFARI+IOB、Source系をFPU(IOB+SAFARI以外の観測装置)とする。Load系は、Source系の上面パネル上に3点で結合する構造である。Load系を結合点6自由度剛固定として固有値解析を行った。この結果よりZ方向で最も有効質量の大きい3次モード(169.17Hz)をLoad系のリミット対象モードとした。

-Results-

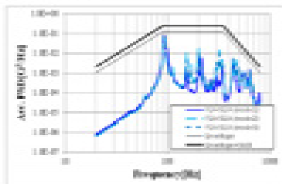

Fig.5 Analysis-result the response and envelope(3nodes)

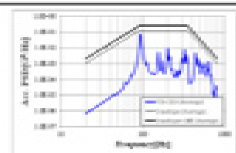

Fig.6 Analysis-result the response average and envelope

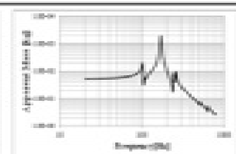

Fig.7 Apparent Mass(Load)

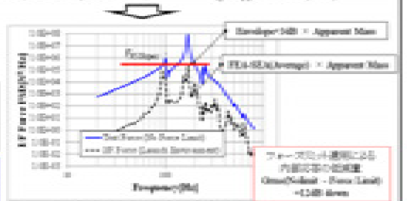

Fig.8 Comparison results of I/F Force (no limit and force Limit)

SAFARIの機器搭載面I/F3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さを考慮し+3dBのマージンを加えてランダム振動環境条件を策定した。作成した環境条件より最大質荷値(RMS値)を見積もることができる。

FEA-SEA統合法と搭載機器の動質量を用いたI/Fフォースの算出結果より、最大予測フォース値を見積もり、試験時の過負荷を予測することが出来ることがわかる。今後は、本手法により求めたリミット条件の妥当性を検討するため、詳細解析結果等との比較を行い、概念設計段階における簡易予測手法としての適用範囲を明確にしていく。

This document is provided by JAXA.