

# SLATS搭載センサのランダム振動へのフォースリミット法の適用と音響試験に基づく妥当性評価

## 概要 Abstract

振動試験において宇宙機システム、サブシステム、コンポーネントは、負荷される加速度スペクトル(振動試験において各機体において規定される振動レベル)に起因する過剰な負荷を受け、IFフォースによるリミッティング(機体の共振周波数において過剰な負荷がかかるように当該周波数における加速度スペクトルにピークを生じさせる)により、加速レベルに起因する過剰な負荷を緩和する振動試験の適正化手法の一つである。

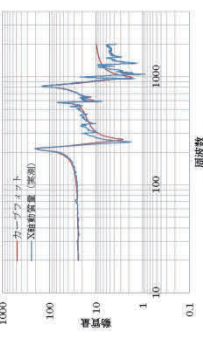
## 1.フォースリミットの原理

振動試験時、加振台と機体とのIF部において規定された加速度スペクトルを適用し、加振台が「剛」であることにより、インピーダンスマッチにより共振点付近で大きな応答(フォース)が発生する(実際の加工環境ではそのようなフォースは発生しない)にも関わらず、フォースリミット試験では、IFフォースの印加を制御(フォースリミット)することにより共振点をピークに抑制し、ピークを抑制し、過負荷を抑制することが可能である。

## 3. SLATS搭載SHIROPOの複雑2自由度法によるフォースリミット法

① Load系 (SHIROPO)パラメータ算出  
Load系の剛質量および動質量から共振周波数、有効質量、動質量、16kg(load系を質量測定により求める、)動質量を算出する。  
load系を共振して変化したIFフォースとIF加速度により求めらる。  
共振周波数、有効質量、動質量算出および、  
動質量を、次式にて二次方程式で算出することにより求めらる。

$$M(\omega) = \frac{F_0(\omega)}{A_0(\omega)} = M \left( 1 + \sum_{k=1}^{m-k} \frac{\eta^2}{M(1-\eta^2)^2 + 2\zeta_k \eta} \right)$$



有効質量の大きい1, 5, 6次のモードをリミット対象モードとする

## ② Source系 (SLATS)パラメータ算出

Source系の剛質量および動質量を算出。  
剛質量: 384kg(スラスタ質量400kgからSHIROPO質量16kgを除いたもの、大きく設定することで安全側となる。)  
動質量(共振周波数、有効質量、動質量): 6自由度固定したSLATSシステム固有値算出結果から算出する。

## まとめ

単体ランダム振動試験時のSHIROPOのSLATS搭載IFにおけるフォースを算出した結果(14. システム音響試験結果に基づく緩和条件の妥当性評価)の表、各軸において単体ランダム振動試験時の十分な高い負荷をかけた。したがってフォースリミット条件は妥当である。【参考】フォースリミット試験ハンドブック

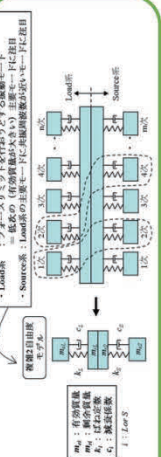


## 環境試験技術ユニット 戸高大地

## 2. 複雑2自由度法

複雑2自由度法は、リミット対象とするLoad系振動モードとSource系に接続するSource系振動モードを連成させ、Load系とSource系のIFに発生するIFフォースを算出する方法である。

算出するIFは、Load系とSource系のIF部におけるそれぞれの動質量パラメータ(共振周波数、有効質量、動質量、Q値)を用いて算出されるものであり、システム音響試験やランダム振動試験の入力条件により正規化された値である。



## 4. システム音響試験結果に基づく緩和条件の妥当性評価

SHIROPOランダム振動試験時におけるフォースリミット条件の妥当性を評価するためには、単体ランダム振動試験とSLATS搭載ランダム振動試験におけるIFフォースを比較することが合理的であるが、音響試験においてSHIROPOのSLATS搭載IFフォースを直接測定することは困難である。そのため、内部加速度に対するIFフォースの比率が、音響試験とランダム振動試験で同じであると仮定して、音響試験におけるIFフォースの算出を行った。フォースリミットの妥当性を評価するために、システム音響試験におけるSHIROPO搭載インターフェース単体ランダム振動試験時に行ったフォースリミットの妥当性を評価するため、システム音響試験におけるSHIROPO搭載インターフェース単体ランダム振動試験時に行ったフォースリミットの妥当性を評価した。IF音響は、単体ランダム振動試験のIFフォースの包絡線(IF音響)およびその時の内部加速度の包絡線(A内部加速度)と、音響試験における内部加速度応答(内部加速度音響)を用いて下式より算出した。

$$F_{IF} \text{音響} = A_{内部加速度} \text{音響} \times \frac{F_{IF} \text{単体} \text{ (limit)}}{A_{IF} \text{音響}}$$

IFフォースの大きさは、SHIROPOの入力加速度に依存する。音響試験と単体ランダム振動試験時では、入力加速度が異なるため、リミット値の妥当性を評価するために、IFフォースを入力加速度でAIFで正規化する。

$$F_{norm} \text{単体} \text{ (limit)} = \frac{F_{IF} \text{単体} \text{ (limit)}}{A_{IF} \text{音響}}$$

$$F_{norm} \text{音響} = \frac{F_{IF} \text{音響}}{A_{IF} \text{音響}}$$

下表に各軸の対称共振点におけるランダム試験時のリミット条件における正規化フォース、音響試験時の正規化フォースおよびそれら二つから求めたリミット値マージンを示す。また、下図に正規化したX軸の各フォースを参考として示す。

対称共振点	15%	50%	70%	90%
X軸	15%	50%	70%	90%
リミット周波数範囲[Hz]	300	400	500	600
Fnorm 単体 (limit)	600	600	600	600
Fnorm 音響	8.2	13.2	13.2	13.2
リミット値のマージン	8.2	13.2	13.2	13.2
リミット周波数範囲[Hz]	200	420	520	600
リミット周波数範囲[Hz]	350	520	600	1700
Fnorm 単体 (limit)	6300	2500	1700	1700
Fnorm 音響	9.5	6.7	3.7	3.7
リミット値のマージン	100	300	650	650
リミット周波数範囲[Hz]	200	650	750	2300
Fnorm 単体 (limit)	4600	3400	2300	2300
Fnorm 音響	8.2	11.3	9.1	9.1
リミット値のマージン	8.2	11.3	9.1	9.1

