



## 2009年試験技術WS

Environmental Test Technology Center

### JAXA機械環境試験技術研究に関する最近の取り組み

1. 環境試験技術研究の構想
2. 環境試験技術研究の概要(主要)
3. 最新の研究開発紹介
4. 海外試験技術及び設備の紹介

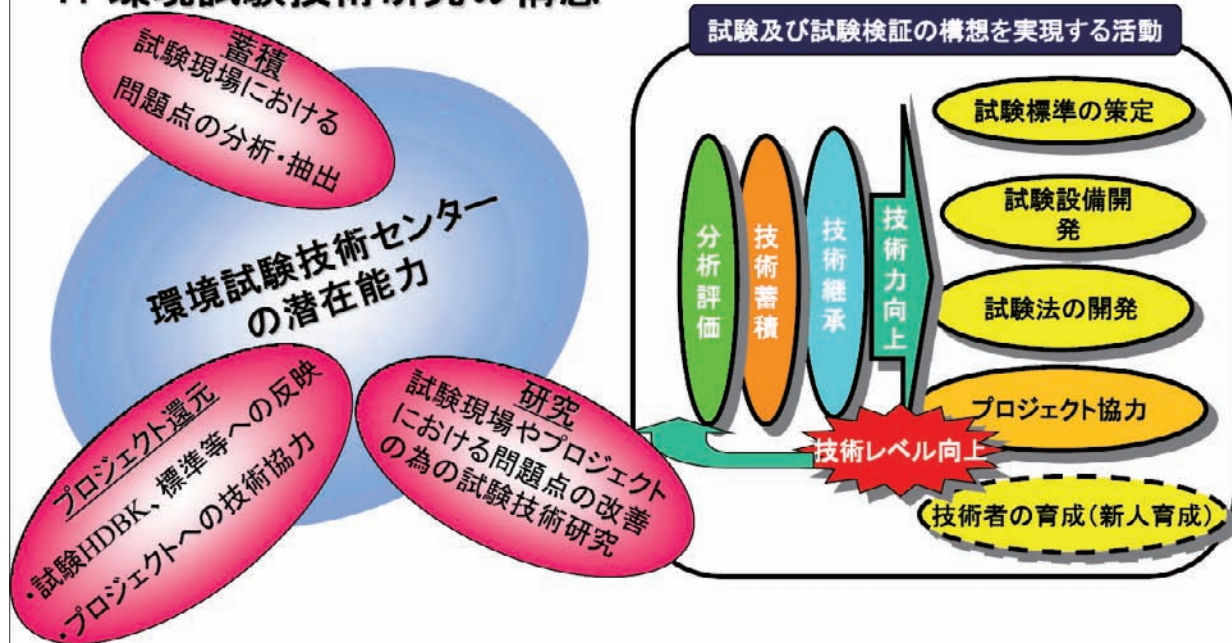
JAXA環境試験技術センター 施 勤忠  
(Tel:050-336-26457, Email: shiqinzhong@jaxa.jp)



## 2009年試験技術WS

Environmental Test Technology Center

### 1. 環境試験技術研究の構想





## 2009年試験技術WS

Environmental Test Technology Center

## 2. 環境試験技術研究の概要(主要)

- ・ 環境負荷時の応答予測解析の検討
  - ・ 音響振動予測解析システム(JANET:JAXA Acoustic Network System)の拡張
  - ・ JAXA-Fill Effect振動応答手法による音響負荷条件設定手法
  - ・ 衝撃応答予測法(V-band発生衝撃の簡易予測手法)
- ・ 試験結果の評価手法の検討
  - ・ 衝撃試験ゼロシフトデータ補正システム(運用中)
- ・ 試験手法の検討
  - ・ フォースリミット振動試験法(JERG-2-130-HB004)
  - ・ 音響試験とランダム振動試験の有効性(紹介)
- ・ 標準化
  - ・ 衝撃試験ハンドブック(JERG-2-021A)
    - JERG-2-021Bは今年度実施(衝撃応答予測法追加)
  - ・ 音響試験ハンドブック(JERG-130-HB002)
  - ・ フォースリミット振動試験ハンドブック(JERG-2-130-HB004)
    - JERG-2-130-HB004A(事例集2件を追加)
  - ・ 振動試験ハンドブック(JERG-2-130-HB003) 審議開始、今年度制定する予定
  - ・ 熱真空試験ハンドブック(JERG-130-HB005)

3



## 2009年試験技術WS

Environmental Test Technology Center

小項目	第一期中期計画			第二期中期計画				
	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度
詳細実績・計画								
衝撃試験ハンドブック	→	→	→	→	→	→	→	→
	(NC版)△	(NC版)▲	△(A改訂版)	(B改訂版)△(B改訂版)▲				(C改訂版)△
音響試験ハンドブック	→	→	→	→	→	→	→	→
		(NC版)△	(NC版)▲		(A改訂版)△(A改訂版)▲			
熱真空試験ハンドブック	→	→	→	→	→	→	→	→
			(NC版)△(NC版)▲	(A改訂版)△	(A改訂版)▲			
フォースリミット試験ハンドブック	→	→	→	→	→	→	→	→
			(NC版)△	(NC版)▲	(A改訂版)▲			統合
振動試験ハンドブック	→	→	→	→	→	→	→	→
				(NC版)△	(NC版)▲		(A改訂版)△	(A改訂版)▲
衛星一般試験標準	→	→	→	→	→	→	→	→
							(A改訂版)△	(A改訂版)▲

△: 外部審査付議  
▲: 制定

➢ 第二期中期計画期間中に、5つの試験ハンドブック(衝撃・音響・熱真空・振動・フォースリミット振動)の整備・改訂、および衛星一般試験標準のA改訂版制定を実施する予定

➢ 試験ハンドブックに関しては3年～5年周期、衛星一般試験標準に関しては5年～10年周期での改訂を実施する予定

4



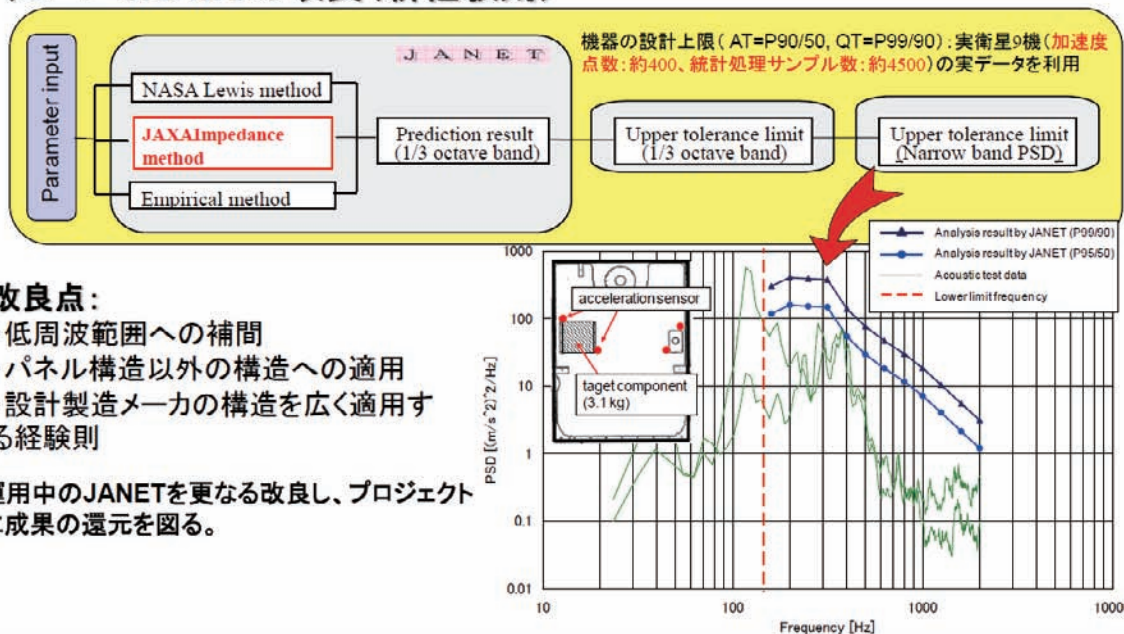


## 2009年試験技術WS

### Environmental Test Technology Center

## 3. 最新の研究開発紹介

### (3.1 JANETの改良(新経験則))



5

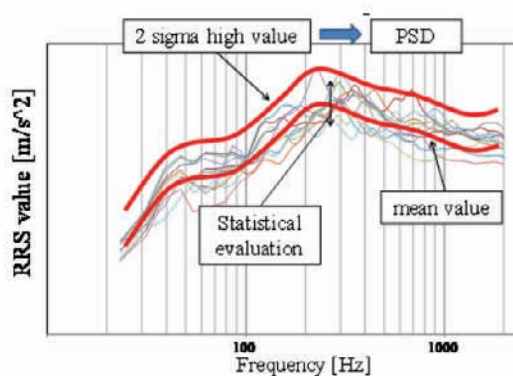
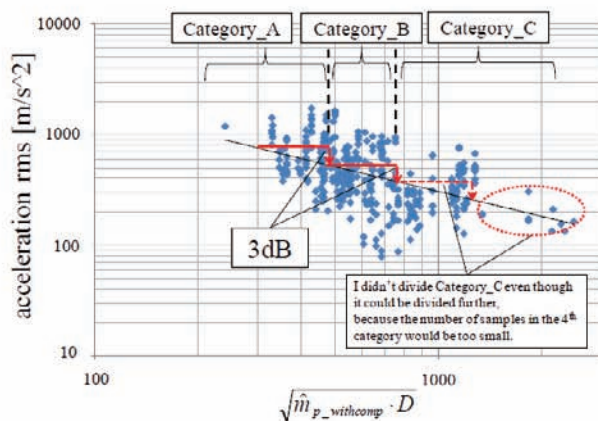


## 2009年試験技術WS

### Environmental Test Technology Center

加速度と構造パラメータの関係(SEA)、実効値(RMS)をベースに3dBを分割、3つのカテゴリとした。

$$\langle a_0^2 \rangle = \frac{\pi c_0 \langle p^2 \rangle}{2 \rho_0} \times \sqrt{\frac{1}{\hat{m}_{p\_withcomp} D}} \times \frac{1}{1 + \eta_2 / \eta_{12}}$$



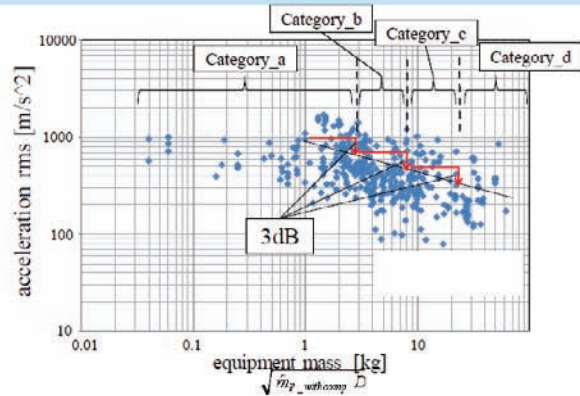
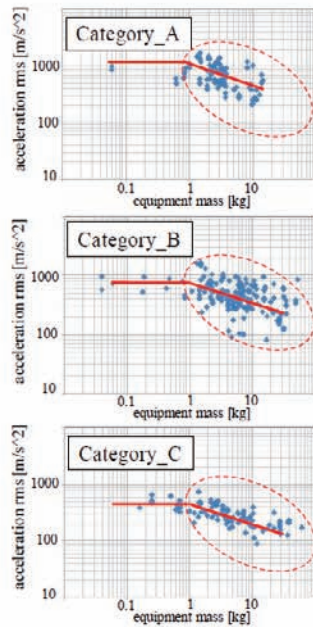
6



## 2009年試験技術WS

## Environmental Test Technology Center

## 更に、従来の質量則を追加



	$X < 480$	$480 \leq X < 760$	$X \geq 760$
$m_e < 3\text{kg}$	Category_A_a (53)	Category_B_a (45)	Category_C_a (37)
$3\text{kg} \leq m_e < 8\text{kg}$	Category_A_b (36)	Category_B_b (66)	Category_C_b (37)
$8\text{kg} \leq m_e < 23\text{kg}$	Category_A_c (18)	Category_B_c (41)	Category_C_c (17)
$m_e \geq 23\text{kg}$	Category_A_d (0)	Category_B_d (23)	Category_C_d (17)

括弧内の数値はサンプル数

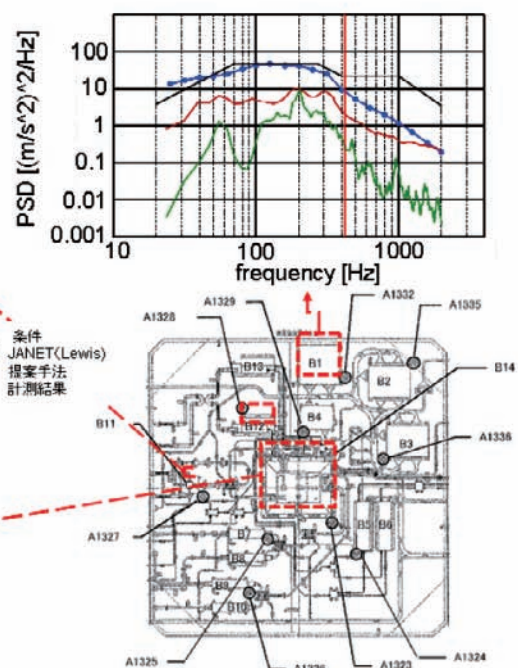
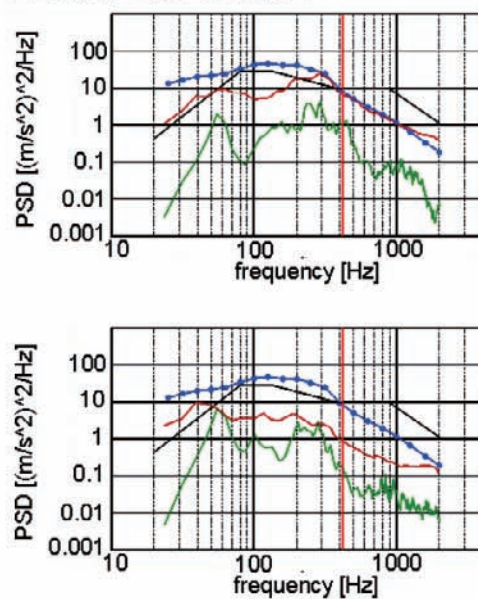
7



## 2009年試験技術WS

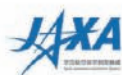
## Environmental Test Technology Center

## 新経験則の解析結果



8

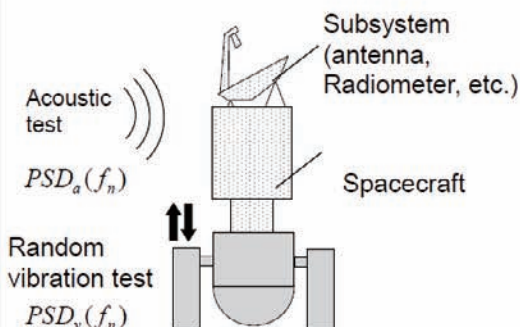




## 2009年試験技術WS

### Environmental Test Technology Center

## 3.2 音響又はランダム振動試験の選択手法



High frequency vibration environments

	Source of Vibration	Type of test
System	Acoustic loading	Acoustic
Subsystem	Acoustic / random vibration transmitted from system	Acoustic/Random
Component	Random vibration acoustically induced from spacecraft panel	Random

Which loading is more severe on subsystem?

(音響): 衛星システム、燃料・酸化剤・高圧ガスタンク、太陽電池パドル、大型展開アンテナ、フィーダリングアンテナ、時刻装置アンテナ、給電部放熱パネル、送信・受信給電ユニット  
(ランダム): 音響試験対象以外

音響試験がランダム振動試験よりも大きな負荷となる条件は

$$\frac{m}{S} < \frac{\sqrt{PSD_a(f_n)}}{\sqrt{PSD_v(f_n)}}$$

(音響試験ハンドブック(JERG-130-HB002)より)

- ・振動と音響の連成を最大(連成係数が最大)
- ・ベース加振は構造の最大加振効率(有効質量=剛質量)

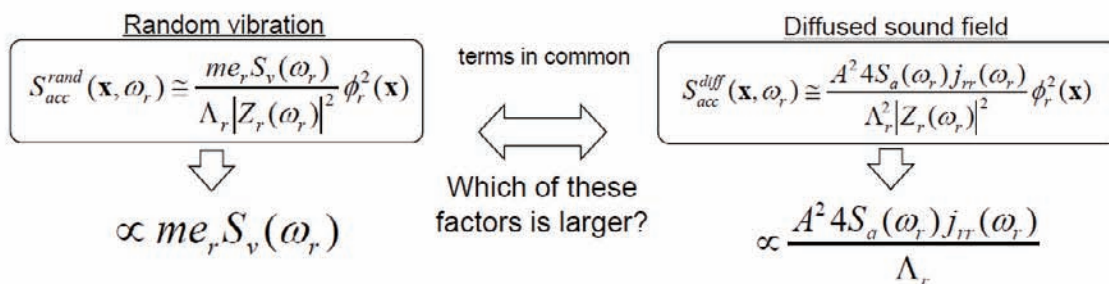
9



## 2009年試験技術WS

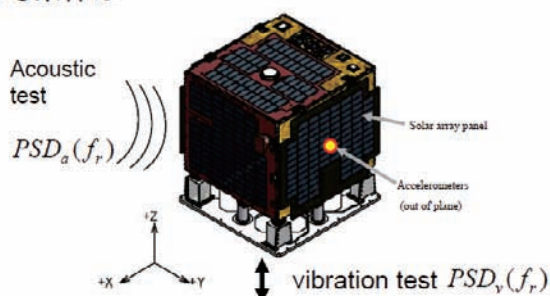
### Environmental Test Technology Center

従来(JERG-130-HB002)の手法を精度向上する手法(音響連成、加振効率をモード毎を考慮)



音響試験がランダム振動試験よりも大きな負荷となる条件は  
(モード毎に音響連成、加振効率を求め)

$$\frac{A^2}{me_r \Lambda_r} \geq 0.5 \frac{\sqrt{S_a(\omega_r) j_{rr}(\omega_r)}}{\sqrt{S_v(\omega_r)}}$$



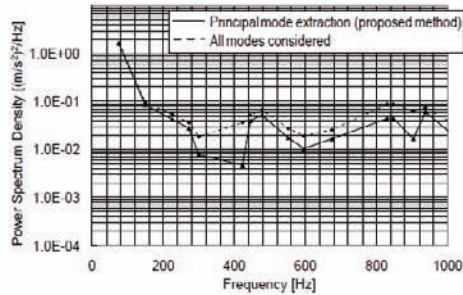
10



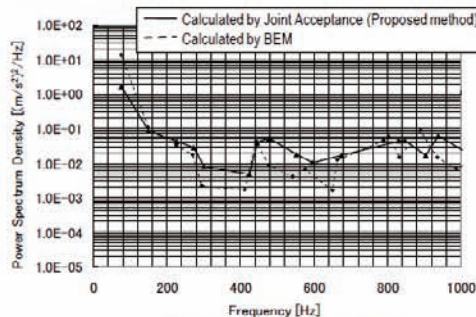
## 2009年試験技術WS

## Environmental Test Technology Center

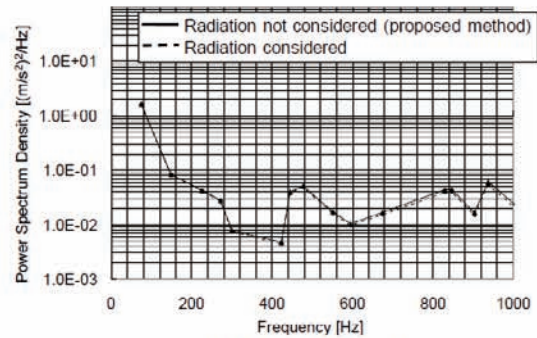
## 簡易化手法(隣接モードの影響、構造放射、回折などを無視)の検証



隣接モードの影響を無視(低モード密度領域に影響小さい)

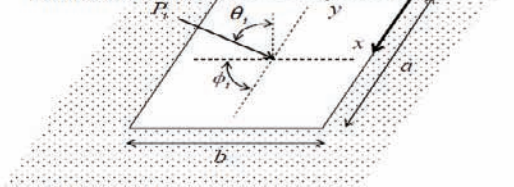


ブロックプレッシャ(2倍)を使用



構造放射の影響が小さい

Diffused field



Its four sides are simply supported

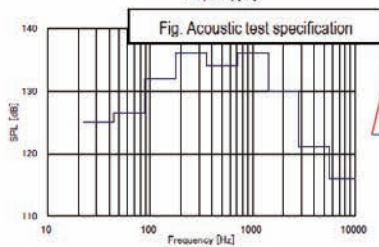
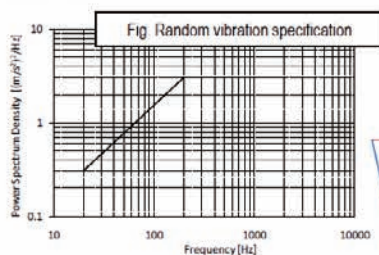
11



## 2009年試験技術WS

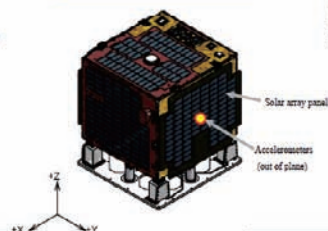
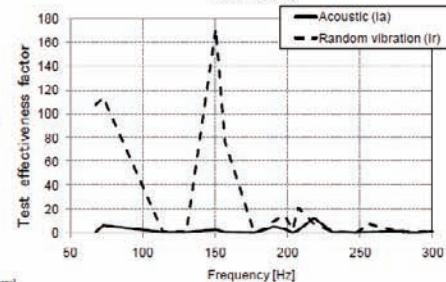
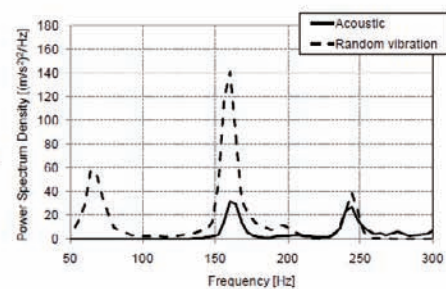
## Environmental Test Technology Center

## 計算例



Acoustic and random vibration test results

Calculated Test effectiveness factors



12





## 2009年試験技術WS

### Environmental Test Technology Center

## 4. 海外の試験技術及び設備の動向

### 4.1 MIL-STD-1540Eの概略

・最新版MIL-STD-1540E(Rev.A)

・改定(制定)理由:

>1995年の‘Acquisition Reform’に従い、コスト削減のため過酷な試験要求(1540B)は“商用プロジェクトの経験”に置き換えられた。その結果、軌道上の不具合が多発し、多大な損失が発生。

>これらのコスト/リスクをバランスよく、コスト/リスクなど要求との関係を区分。

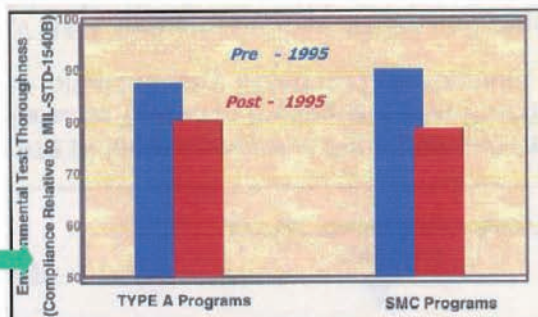
・内容:

>宇宙機及びこれらのサブシステム、ユニットに関する地上試験criteriaの標準

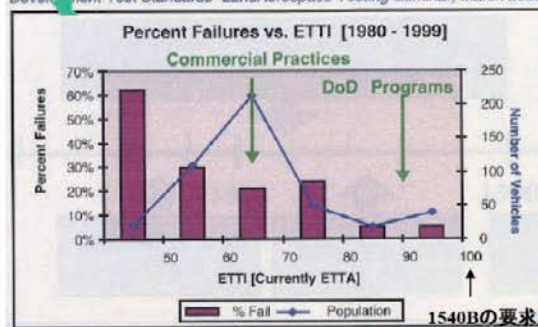
>一般性であり、Conservativeの要求であり、プロジェクト毎Tailoringが必要(Tailoring指針はMIL-HDB K340B、2010年release)

>調達品のベースライン文書(Tailoring必要)

>現在、TR-2004(8583)-1Rev.A(Sept.,2006)又は、SMC-S-016(June,2008)としてRelease



Source: C. Davis and W.F. Tosney "An Overview of National Security Space System Development Test Standards" 22nd Aerospace Testing Seminar, March 2005



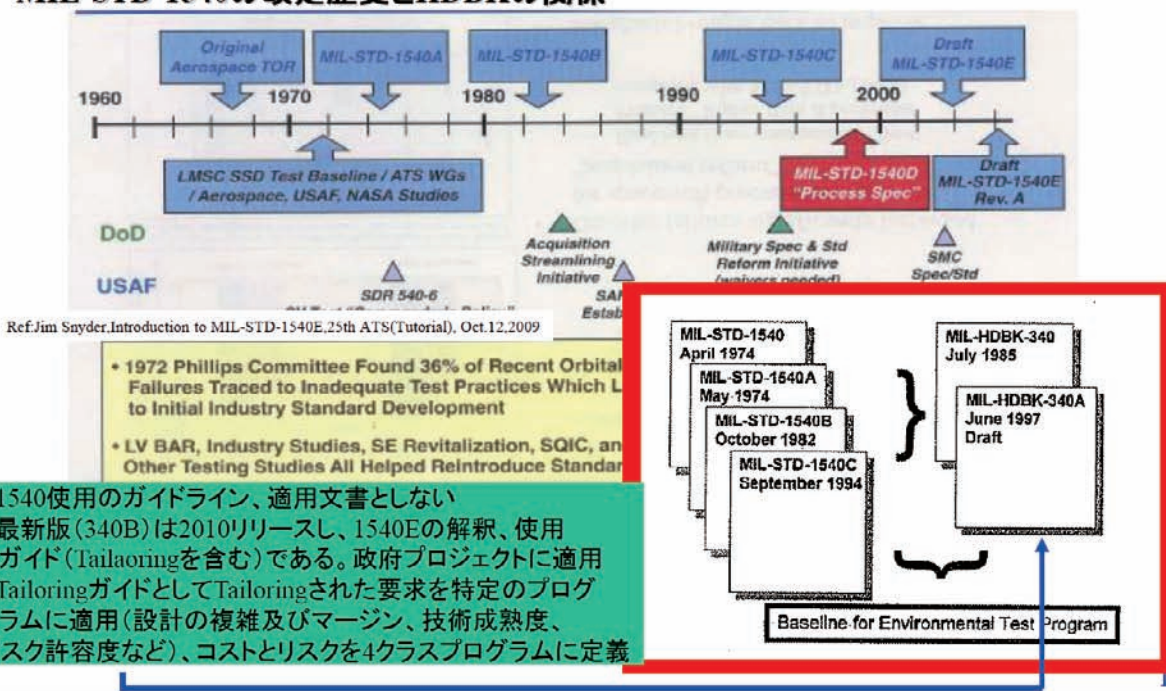
13



## 2009年試験技術WS

### Environmental Test Technology Center

### MIL-STD-1540の改定歴史とHDBKの関係



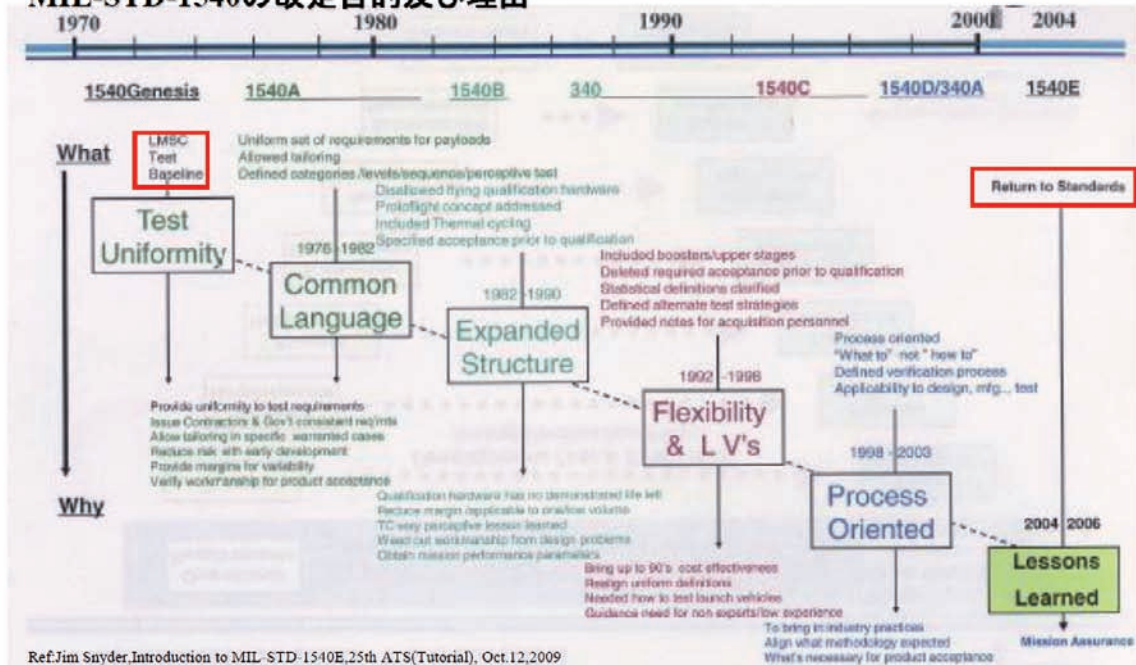
14



## 2009年試験技術WS

### Environmental Test Technology Center

#### MIL-STD-1540の改定目的及び理由



15

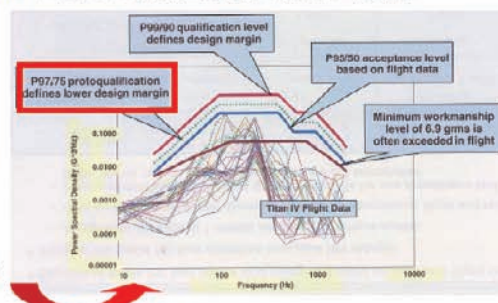


## 2009年試験技術WS

### Environmental Test Technology Center

#### MIL-STD-1540Eの主な新しい点

- ・設計はQual. Levelで、試験検証方法(ベースライン)には断らない。
- ・Protoqual.開発方式を正式に追加、強調された。  
Protoqual.はレベル及び時間(P97/75)を減らしてFlightに使用、製作数は3機以内
- ・技術的な内容を1540Cより深く記述。
- ・試験要求の定義と表現の変更(“Requirement”、“Shall”はなし)。
- ・ユニット、サブシステム、システムに関する規定はそれぞれ分けて記述。
- ・要求項目では曖昧さの表現“Optional”を“Evaluation Required”に変えて、検証方法を明確に定義。
- ・各機器レベルに対して厳しい熱試験要求を緩和。
- ・EMCのAT要求を明確。
- ・特定な機能性能試験の定義を改善。
- ・ソフトウェア試験要求を導入。
- ・ランダム振動試験及び熱試験の要求に関する選択を簡略化
- ・ユニットに対するランダム振動試験の最小試験レベルを見直。



16





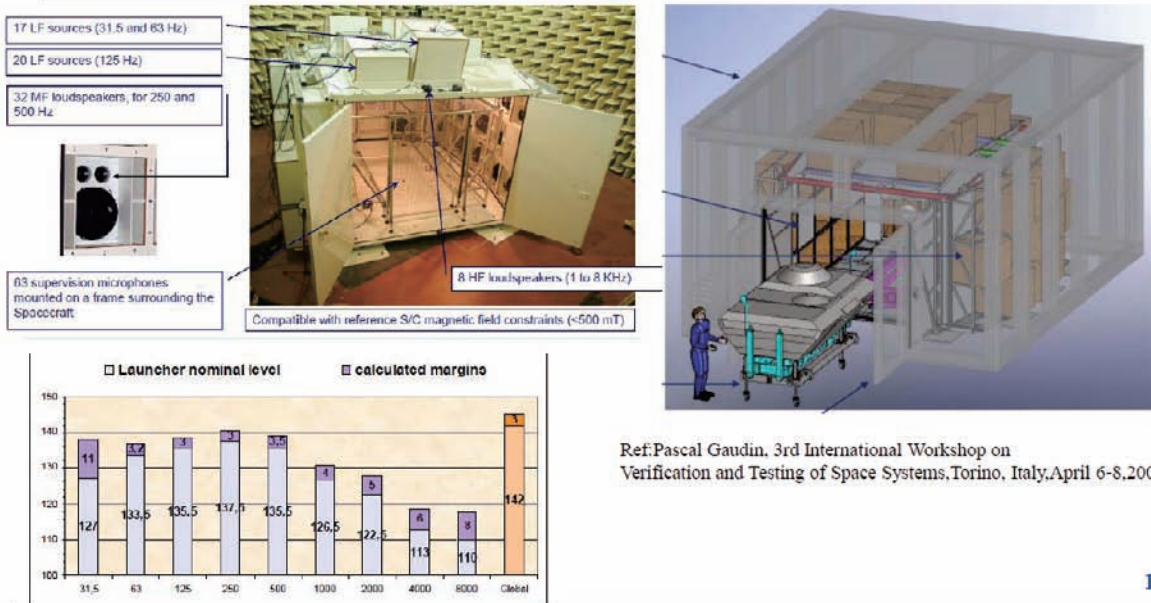
## 2009年試験技術WS

### Environmental Test Technology Center

#### 4.2 海外試験設備の紹介(その1)

特定(シリーズ)衛星用の簡易音響チャンバー(Thalas)を使用し、整備コストを低減

・サイズ=8m<sup>3</sup>、SPL=142dB+,-1.5dB、設計製作期間=約1年



17



## 2009年試験技術WS

### Environmental Test Technology Center

#### 4.2 海外試験設備の紹介(その2)

有人宇宙船の試験要求に備えて大振幅加振機の検討(NASA-Glenn Research Center)

・有人宇宙船遭遇する振動環境(POGO等): 打ち上げ、再突入、Maneuverの中止

(NASA-HDBK7005)

・宇宙機に対して高度なIntegrityが要求される。

・加振機に広い周波数範囲において高加速度の正弦波加振能力(>45,000Kgf)が要求される。

=>複数のシェーカを使用し、加振能力を上げる(Multi-drives)、MIMO(Multi-inputs/multi-outputs)制御が要求される。

課題:

・テーブルの大きな質量、重心オフセットによって各シェーカに大きな慣性モーメントや転倒モーメントが負荷。

・負荷を集中しないように各シェーカの制限値以下に抑える必要

・供試体との連成によって加振波形に歪み(高周波数成分が現れ)

18



## 2009年試験技術WS

## Environmental Test Technology Center

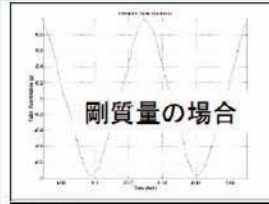


Figure 2.3.1: Table accelerometer response to 16 Hz uniform excitations under a *rigid* test article.

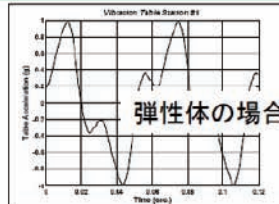


Figure 2.3.2a: Table accelerometer response to 16 Hz uniform excitations under a *flexible* test article.

← サーボ補正による高周波を低減策

弾性供試体との連成による高周波が乗る

加振機をモデル化にしてシミュレーション

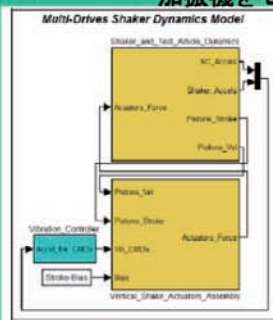


Figure 2.0: Simulation diagram of a multi-drives shaker

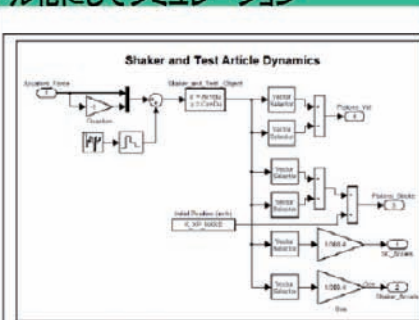


Figure 2.1: Simulation state-space model of shaker and test-article combined modal dynamics.

Ref: Dzu K. Le, DYNAMICS AND CONTROL COMPLEXITIES OF SHAKER FOR HUMAN-RATED SPACECRAFT, 25<sup>th</sup> ATS, Oct 12-15, USA

19



## 2009年試験技術WS

## Environmental Test Technology Center

ご静聴ありがとうございました！



## 質疑応答

### 質問者①

海外の試験設備で、簡易音響チャンバという話がありましたが、使い方としてメリットとデメリットがあれば教えて頂きたいと思います。

### 発表者

メリットは2点あります。1点目はコストです。オーダーとしてJAXAの設備の1/5～1/10の予算で作ることができます。もう1点は期間です。設計、調達、製造まで1年以内で行うことが可能です。一般的に開発では、予算も時間も限られているということで、簡易音響チャンバには十分なメリットがあります。

デメリットとしては、色々なシミュレーションをした結果、チャンバ内の音響分布が直接音場になるということです。まだ製作完了していませんが、チャンバ内には50数個のスピーカーが配置されていて、低周波帯で直接音場になるということが、設計時に一番気になっているところです。その確認方法としては、設計者がモデルを使って有限要素解析により、音場分布が均一分布であることを計算で出していますが、あくまでも解析上の話であり、実際には拡散音場にならない低周波もかなりあると懸念しています。

デメリットをまとめると、簡易音響チャンバ内がロケットで定義された拡散音場ではなく直接音場になるということ、特に低周波領域でその様な現象が起こるということです。

### 質問者②

簡易音響チャンバですが、目的は何でしょうか。例えば、衛星を移動させないで、ある場所で試験をやりながら次の音響試験を同じ場所で行えるなど、実際の整備コストの削減がどこまでできるでしょうか。

### 発表者

音響設備を持っていないがシリーズ衛星が受注されている場合、大きな課題としては、JAXAと同じ大規模な設備を整備するにはお金と期間がかかり、他の場所に行って試験をするとコストがかかってしまうという点です。彼らが考えているのは隣がチャンバなど試験の現場の近くに配置することで、コスト削減を目指しています。

しかし、この簡易音響チャンバは一般の衛星に対応できず、受注した衛星が主な供試体となる。また、横にして入る形のものしか対応できないという結果になっています。

### 質問者②

JAXAにおいては大きなメリットはないということですか。

発表者

JAXA においてメリットがあるかどうかは何とも言えません。

例えば、あるメーカーがシリーズ衛星を受注されて、将来どうなるかわからないが音響試験がやりたいとなった場合、簡易方法としては選択肢としては2つあり、1つはオービタル社がやっているスピーカーを重ねる方式ですが、防音対策ができていないため建物の中に人が入れないので夜中しか試験ができません。また、簡易小型チャンバでは外の音響環境が 72dB と防音対策もしていますが、先ほど述べた様に対応した衛星しか搬入することができないので、一般の設備としては適用できません。