WS12-P01

第12回試験技術ワークショップ ポスター発表 2014年12月11日 JAXA環境試験技術センター

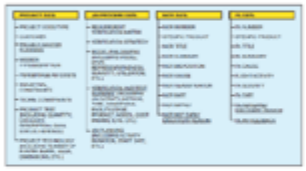
環境試験の有効性検討（Test Effectiveness）-海外の取り組みとJAXAの今後-

Test Effectiveness とは？

◆ 地上試験コストの削減・有効な環境試験項目と試験条件の設定のための検討・研究活動をTest Effectivenessと呼ぶ。
◆ 米国は70年代より、欧州宇宙機関は90年代頃から試験有効性について盛んに議論されており、試験標準の改訂にそれらが反映されている。
◆ 右図にTest Effectiveの立ち位置を示す。検討結果は宇宙機一般試験標準へ反映する。

海外の取り組みは一歩先へ

欧州の例： ESA開発-Test Effectivenessツール
"MATED (Model and Test Effectiveness Database)"



←MATEDの統計データの種類

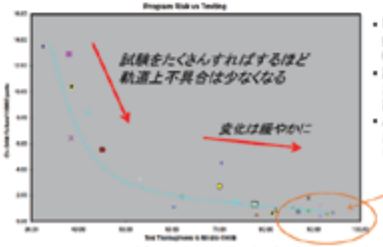
- 衛星の設計情報
- 試験順序/テーラリング/試験条件
- 各試験時の不具合
- 軌道上不具合

◆ MATEDができること
統計的アプローチにより地上試験の有効性のレビューを行い、コスト・開発スケジュールに対してより効率的な試験要求項目を定量的に評価する。

◆ MATEDを使った正弦波振動試験省略～ESA GOCEプロジェクト～
GOCEのPFM正弦波振動試験をMATEDの統計データ処理結果から省略した。正弦波振動によるオーバーテスティングのリスクに対して、ワークマンシップの検出効果は低いと評価したため。

More testing → Less on-orbit failure?

◆ 米国試験標準MIL-STD-1540をどれほど忠実に適用しているか（テーラリング量の観点）について、Environmental Test Thoroughness Index (ETTI)という指標を用いて軌道上不具合との相関を統計的に整理している。



- 「Test Thoroughnessが高い」＝「試験標準を忠実に適用している」ということ。
- 試験をすればするほど軌道上不具合は少なくなることが米国の統計データから分かる。
- ある程度からは、試験と軌道上不具合数の関係は緩やかになる。（試験とは別の要因が支配的に）

米国試験標準の適用準拠率と軌道上不具合数の関係
（出展"ESTABLISHING MINIMUM ENVIRONMENTAL TEST STANDARDS FOR SPACE VEHICLES", Bruce.H, Aerospace testing seminar 2003）

海外とJAXAのTest Effectiveness検討 現状の比較

◆ Test Effectivenessの主対象は、試験条件・試験対象そして試験項目である。
◆ 試験標準の要求試験項目をまとめている「試験項目表」は各衛星プログラムの搭載機器コンポおよび衛星システムにおいて「どの試験が要求されるかorされないか」のベースラインである。
◆ 過去15年の試験項目表の変遷を海外と比較すれば、海外のTest Effectivenessに取り組む前向きな姿勢が見えてくる。一方で、JAXAの要求試験項目表は過去数十年以上変わっていない。

<凡例（Before → After）>
R → —
R → O, ER
O, ER → —
— → O,ER
O, ER → R
— → R
O → ER
R:要求
O:オプション
—:要求なし
ER:検証は要求

表1. 米国試験標準MIL-STD-1540（過去15年間の変化）

	Suggested Sequence	Electrical and Electronic	Antennas	MMA	Solar Array	Battery	Valve or Propulsion Component	Pressure Vessels or Component	Thrusters	Thermal	Optical	Structural Components
Inspection (1)	1.18	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Specification Performance (1)	2.17	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	ER
Leakage (2)	2.7.12	ER	-	R	-	R	R	R	R	R	-	-
Shock	4	R	ER	ER	ER	R (1)	ER	ER	ER	ER	ER	ER
Vibration or Acoustic (2)	5	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	ER
Acceleration	6	ER	ER	ER	ER	ER	-	ER	-	-	ER	ER
Thermal Cycle	8	R	ER	ER	ER	R	ER	ER	ER	ER	ER	ER
Thermal Vacuum	9	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	-
Ohmic	11	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
Pressure	11	ER	-	ER	-	R	R	R	ER	ER (2)	-	-
EMI	11	R	R	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
LFI	11	ER	ER	R	ER	R	R	ER	R	ER	ER	ER
Burst Pressure	11	-	-	ER	-	R	R	R	R	ER	-	-
Static Load	11	ER	ER	ER	ER	R	-	ER	-	-	-	R

米国標準MIL-STD-1540は大幅に変更されてきている。

表2. JAXA試験標準（過去15年間の変化）

[illegible]	[illegible]	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
[illegible]	[illegible]	O	O	O	O	O	-	O	O	-	O
[illegible]	[illegible]	R	R	R	R	R	O	O	O	R	R
[illegible]	[illegible]	O	O	O	O	O	O	O	-	-	-
[illegible]	[illegible]	O	O	O	R	O	-	O	O	O	O
[illegible]	[illegible]	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
[illegible]	[illegible]	R	R (2)	R	R (2)	R	R	R	R	R (2)	R (2)
[illegible]	[illegible]	O	O	R (2)	-	R (2)	-	-	-	-	R (2)
[illegible]	[illegible]	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
[illegible]	[illegible]	O	O	O	O	O	-	-	O	-	O
[illegible]	[illegible]	O	-	O	-	R	R	R	O	O	-
[illegible]	[illegible]	-	-	O (2)	-	R (2)	R	R	R	O	R (2)
[illegible]	[illegible]	R (2)	-	O (2)	-	R (2)	R	R	R	O	R (2)
[illegible]	[illegible]	R	R	O	O	-	-	-	-	-	-

一方JAXA試験標準の変化はゼロ。数十年前と全く変わらない。

効果的で効率的な地上試験を目指して~JAXA環境試験技術センターのチャレンジ~

現状の姿

- 設計技術・解析技術の進歩
- 30機以上の衛星開発実績
- 15年前と変わらない試験要求
- 変わらない試験コストとスケジュール

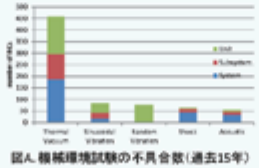
クリアすべき課題（一例）

- 熱サイクル数は最適か？
- ランダム振動環境は適切か？
- 環境模擬方法は最良か？
- 累積疲労損傷の管理は必要か？
- 衝撃試験は必要か？

目指すべき将来の姿

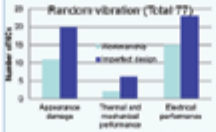
- 試験項目・試験対象・レベルの見直し
- テーラリング手法の技術根拠の整理
- 効率的な新試験法の確立
- *開発コスト最適化（効率化）の実現*

◆ 過去30年の地上試験における不具合分析（一例）

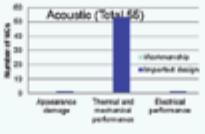


図A. 機械環境試験の不具合数（過去15年）

Q1:不具合を良く洗い出す環境試験は？
A1:熱真空試験、機械環境試験は4試験に差はない。
Q2:ランダム振動試験・音響試験でよく洗い出されている不具合は？
A2:「設計」に関わるものが多い。ランダム振動は電気的不具合・外傷・損傷が多い。一方で音響試験ではワークマンシップエラーはゼロ。機械的挙動（音響では1/F環境条件依存のこと）が多く、電気的な不具合や外傷・損傷はほぼ無し。



図B. ランダム振動試験不具合内訳



図C. 音響試験不具合内訳

◆ 課題1：ランダム振動との比較によるコンポーネント衝撃試験の省略
衝撃試験で検証する耐衝撃環境性について、衝撃損傷ポテンシャルについてランダム振動試験の予測応答ピーク値と衝撃環境条件を比較することで、ランダム振動試験により衝撃試験を省略することができる。
⇒FY25に検討完了。宇宙機一般試験標準および衝撃試験ハンドブックに反映済み。

◆ 課題2：熱サイクル数の削減
熱試験における目的の一つである熱サイクルによるストレススクリーニングについて、過去のサイクル数ごとの不具合種別を統計整理し、有効なサイクル数を疲労モデルと比較して検討する。⇒FY24より検討開始。JAXA設計標準ワーキンググループにて議論中。

◆ 課題3：ランダム振動環境予測・フォースリミット適用拡大
搭載コンポーネントのランダム振動環境は経験的に設定されることが多い。ランダム振動環境の解析予測精度向上により、設計条件の緩和を狙う。また、試験時には実際のフライト環境以上の過負荷による機器損傷を防ぐ「フォースリミット振動試験法」の適用が有効。その適用拡大に向けた取り組みを行っていく。

試験コストの最適化に向けた技術課題をクリアにしていくとともに、新たな試験技術を反映したプログラムの開発フィードバックを得て試験有効性向上を持続的に実現していく。

This document is provided by JAXA.