

# 熱真空試験の有効性検討 (Test Effectiveness) ~ サイクル数見直しに向けた挑戦

## Test Effectivenessとは？

- ◆ 試験の結果(試験で洗い出された不具合や軌道に持ち込まれた異常)を分析することで、その試験の有効性(=コスト効果)を評価し、次の開発に生かしていく活動。
- ◆ 米国は70年代より、欧州宇宙機関は90年代頃からTest Effectivenessについて強気に議論されており、試験標準の改訂にそれらが反映されている。
- ◆ 試験結果を統計的に分析してアプローチャをとるため、ブラックボックスな事象(ワークマンシップエラーの検出効果等)に対しても有効な検討手法である。



## 海外での取り組みとそのアウトプット

- ◆ 米国ではTest Effectivenessに関する研究を40年以上継続しており、その成果は米国試験規格MIL-STD-1540に反映され、多数のプロジェクで適用されている。  
ETIによる試験条件の評価  
1970年代より、各環境試験レベル・時間と不具合洗い出し効果の定量化に関する研究に着手し、MIL-STD-1540への適用度を示す指標、Environmental Test Thoroughness Index (ETI)を作り上げた。ETIは各開発フェーズで評価され、試験規格への準拠率に対する截止めとして機能している。
- ◆ システムAT音響試験の省減  
システム音響試験での不具合発生率から、システムAT音響試験を削減する場合のクライテリアを規定。
- ◆ 熱サイクル数、バーンイン率の緩和  
試験条件の適正化を目的に、試験での不具合洗い出し実績の統計分析に関する研究を行っている。研究の結果、コンポーネントPFT熱真空試験のサイクル数が27から20に削減された。またバーンイン試験の時間が300時間から200時間に削減された。  
熱サイクル数と累積不具合率の関係。PFT=97.5%のスクリーニングの元、PFTサイクル数が27から20に削減された。  
バーンイン時間と累積不具合率の関係。200時間でほとんどの不具合を洗い出している。
- ◆ 欧州では1990年代よりTest Effectiveness活動に着手。コストによる試験最適化を目的に、MATCD (Model and Test Effectiveness Database)という試験条件・不具合に関する巨大なデータベースを作成した。近年ではMATCDのデータを用いて、環境試験の削減、熱サイクル数の適正化、射場への輸送後試験の省略、正弦波振動試験の加振軸の削減等、全24のテーマを研究している。ESAの試験標準に適用された例はまだないものの、徐々に成果を出し始めている。

第13回試験技術ワークショップ ポスター発表 2015年12月18日 JAXA環境試験技術ユニット

## 日本におけるTest Effectivenessによる挑戦

- ◆ 日本ではJAXA環境試験技術ユニットが2012年ごろからTest Effectivenessに関する研究に着手。
- ◆ 熱真空試験に関しては、下記のテーマについてTest Effectivenessによるアプローチで検討を進めている。

### Theme 1 コンポーネント熱真空試験 サイクル数の見直し

サイクル数の適正化を目的に、JAXAが過去に開発した15種の衛星コンポーネント熱真空試験不具合を統計的に分析することで、サイクル数に対する試験効果(不具合スクリーニング効果)とその信頼度を算出。

- ・ 現行の8サイクルでは90%の信頼度で85%の不具合を検出可能(左図)。
- ⇒ 熱サイクルは不具合スクリーニングに対して有効。
- ・ 健全コンポーネントの割合は8サイクルで99%(90%信頼度)に到達(右図)
- ⇒ コンポーネントによっては、熱サイクルで検出可能な不具合がそもそも少ない場合もある。(認定済みコンポ、Non-electrical comp. etc)

不具合の検出数と検出時期から、不具合の累積検出率(TE)と、健全なコンポーネントの割合(スクリーニング率)を算定

### Theme 2 コンポーネント試験項目の見直し

試験項目表:コンポーネント種別ごとに試験の要求/非要求を定めている(下記表は一部の抜粋)

制定時から見直しが行われておらず、技術的な根拠が明確になっていないか  
コンポーネント種別ごとに熱真空/熱サイクル試験の目的(耐環境性の確認、潜在的欠陥の検出)に合致するか否かを検討した上で、試験要否の見直しを行う。

<見直しの一例(赤字)>

入居電池	スラスタ
ハトル	
QT	QT
AT	AT
熱真空	R
熱サイクル	R

R:要求, O:オポジション, -:要求無

本図電池ハトルはAT試験がオポジションであったが、耐環境性の確認が必要であり、真空環境でスクリーニングされる欠陥が発生する可能性があるため(セルの揮発不良等)熱真空試験を要求(R)に変更することを検討中。  
スラスタは熱真空試験を要求していたが、スラスタが最も過酷な環境に晒されるのは噴射時であり、噴射試験を行わないと耐環境性の検証ができないことから、噴射試験にて代替できる旨を記載することを検討中。

### Theme 3 システム熱真空試験条件の見直し

試験標準で規定しているサイクル数(4サイクル)及び試験時間(さらに2、深し72時間)による不具合の検出効果が評価されておらず、試験条件の根拠が不明確である見直しを行う。

過去の試験時に発生した不具合(衛星7機分、19件の不具合)を分析したところ、試験時間が検出に寄与した不具合は0件だった。試験時間の規定は不具合検出に寄与していないと考えられるため、緩和を検討中。

第13回試験技術ワークショップ ポスター発表 2015年12月18日 JAXA環境試験技術ユニット