

## 4.4 MELCO 静止標準衛星バスの 機械環境試験について

三菱電機株式会社 鎌倉製作所  
宇宙システム部 機械技術第二課  
早田 康三 氏


MITSUBISHI  
三菱電機

Changes for the Better

# MELCO静止標準衛星バスの 機械環境試験について

## (擬似推薬非搭載コンフィギュレーション によるPFT検証方法の紹介)

三菱電機(株) 鎌倉製作所  
宇宙システム部 機械技術第二課  
早田 康三


 三菱電機株式会社

MITSUBISHI  
三菱電機

Changes for the Better

## 目次


1. MELCO静止標準衛星バス(DS2000)の説明
2. PFT(機械環境試験)で擬似推薬非搭載コンフィギュレーションとした場合の利点
3. PFT(機械環境試験)で擬似推薬非搭載コンフィギュレーションとした場合の影響(欠点)
4. PFT(機械環境試験)で擬似推薬非搭載コンフィギュレーションとした場合の検証計画
5. まとめ

 三菱電機株式会社

MITSUBISHI  
三菱電機

Changes for the Better

## 1. MELCO静止標準衛星バス(DS2000)の説明 (Mitsubishi ELectric COrporation)



三菱電機株式会社

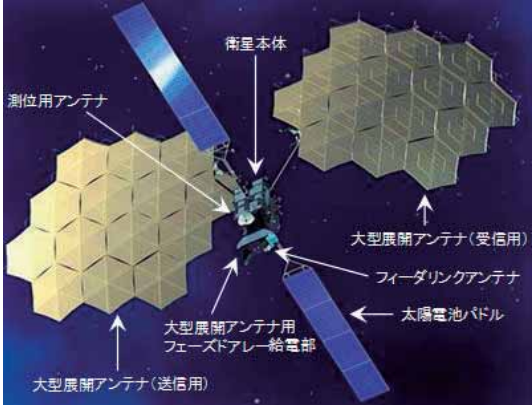
MITSUBISHI  
三菱電機

Changes for the Better

## 1. MELCO静止標準衛星バス(DS2000)の説明

DS2000とは、JAXA殿の技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)をベースとした、静止衛星用MELCO標準バスを指す。

- ETS-Ⅷシステム仕様
  - 質量:5.8トン(打上時)  
2.8トン(衛星ドライ)
  - 発生電力:7.5kW以上  
(3年後)



ETS-Ⅷ 外観図

三菱電機株式会社

MITSUBISHI  
三菱電機

Changes for the Better

## 2. PFT(機械環境試験)で擬似推薬非搭載 コンフィギュレーションとした場合の利点


利点1: 擬似推薬(脱イオン水)充填時や、乾燥作業時のコンタミ混入リスクが回避できる。

利点2: 擬似推薬搭載作業を省略することで、ヒューマンエラーのリスクを低減できる。

利点3: 擬似推薬搭載・排出作業の省略によって、工程短縮が図れる。

↓

品質向上、費用低減、工期短縮の効果

 三菱電機株式会社

MITSUBISHI  
三菱電機


Changes for the Better

## 2. PFT(機械環境試験)で擬似推薬非搭載 コンフィギュレーションとした場合の利点

先で述べた利点により、MELCOでは、DS2000系のシステムPFTにおいて、機械環境試験時のコンフィギュレーションを擬似推薬非搭載としている。

↓

- 擬似推薬を非搭載のコンフィギュレーションとしたことで、生じる影響(欠点)は何か？

 三菱電機株式会社


MITSUBISHI 三菱電機 Changes for the Better

### 3. PFT(機械環境試験)で擬似推薬非搭載 コンフィギュレーションとした場合の影響(欠点)

- 擬似推薬質量は打上質量のおよそ半分を占めるため、構造面でのフライト品質検証計画に影響を及ぼさないようにすることが重要。

↓


- 機械環境試験項目毎(静荷重、正弦波振動、音響、衝撃、熱)に影響を整理

 三菱電機株式会社

MITSUBISHI 三菱電機 Changes for the Better

### 3. PFT(機械環境試験)で擬似推薬非搭載 コンフィギュレーションとした場合の影響(欠点)

試験項目	影響
静荷重試験	二次構造を除いて衛星構造がETS-VIIIと同様であるため、PFTでの試験計画はない。 (ETS-VIII STMにおいてQTを実施済)
音響試験 衝撃試験	音響・衝撃試験におけるモニタ点となるパネル上の応答には、ほとんど影響しない。
熱真空試験	熱真空試験は、軌道上環境を模擬した試験であるため、擬似推薬非搭載としている。

 三菱電機株式会社

MITSUBISHI 三菱電機 Changes for the Better

### 3. PFT(機械環境試験)で擬似推薬非搭載 コンフィギュレーションとした場合の影響(欠点)

試験項目	影響
正弦波 振動試験	<p>①主構造(セントラルシリンダ)自身に擬似推薬質量分の荷重が負荷できない。(可能性大) また、推薬タンク、および衛星主構造(セントラルシリンダ)のタンクインタフェースにおいて、荷重が負荷できない。</p> <p>②擬似推薬搭載時の動特性の検証ができない。</p> <p>③供試体質量の軽量化により、動特性が変化し、共振時の衛星内部の応答レベルが変化する。</p>

↓

正弦波振動試験において3点の影響が発生。

三菱電機株式会社

MITSUBISHI 三菱電機 Changes for the Better

### 4. PFT(機械環境試験)で擬似推薬非搭載 コンフィギュレーションとした場合の検証計画

正弦波振動試験において3点の影響が発生。

↓

MELCOでは、品質検証計画に影響を及ぼさないようにするため、次の対処方針としている。

三菱電機株式会社

MITSUBISHI  
三菱電機

Changes for the Better

#### 4. PFT(機械環境試験)で擬似推薬非搭載 コンフィギュレーションとした場合の検証計画

①主構造(セントラルシリンダ)自身に擬似推薬質量分の荷重が  
負荷できない。(可能性大)  
また、推薬タンク、および衛星主構造(セントラルシリンダ)の  
タンクインタフェースにおいて、荷重が負荷できない。

<対処方針>

- ・推薬タンクに対しては、単体での振動試験を実施。
- ・主構体に対しては、推薬タンクインタフェース、および他の構造  
インタフェースに荷重負荷治具を結合させ、準静荷重条件レ  
ベルの静荷重試験を実施。

→静荷重の負荷を追加することで、①の影響を回避する。

三菱電機株式会社

MITSUBISHI  
三菱電機

Changes for the Better

・静荷重試験コンフィギュレーション

主構体の推薬タンクインタフェース、  
および、主構体分離面への  
荷重負荷を目的とした静荷重  
負荷コンフィギュレーション

試験コンフィギュレーション図  
(配布資料非開示)

三菱電機株式会社

MITSUBISHI 三菱電機 Changes for the Better


#### 4. PFT(機械環境試験)で擬似推薬非搭載 コンフィギュレーションとした場合の検証計画

②擬似推薬搭載時の動特性の検証ができない。

<対処方針1>

- ・STM等で実施された擬似推薬搭載ケースによる試験結果と解析予測を比較することで、動特性評価をしておく。  
(DS2000にとってはETS-VIII PFTが擬似推薬搭載ケースとなる。)

→推薬搭載時のシステム構造数学モデル(タンク+主構造)が適切にモデル化されていることが確認できる。

三菱電機株式会社

MITSUBISHI 三菱電機 Changes for the Better


#### 4. PFT(機械環境試験)で擬似推薬非搭載 コンフィギュレーションとした場合の検証計画

②擬似推薬搭載時の動特性の検証ができない。(続き)


<対処方針2>

- ・実際に打上を行なう衛星においては、振動試験時と等価な擬似推薬非搭載コンフィギュレーションの解析モデルによる解析予測と試験結果で比較を行ない動特性検証を実施。

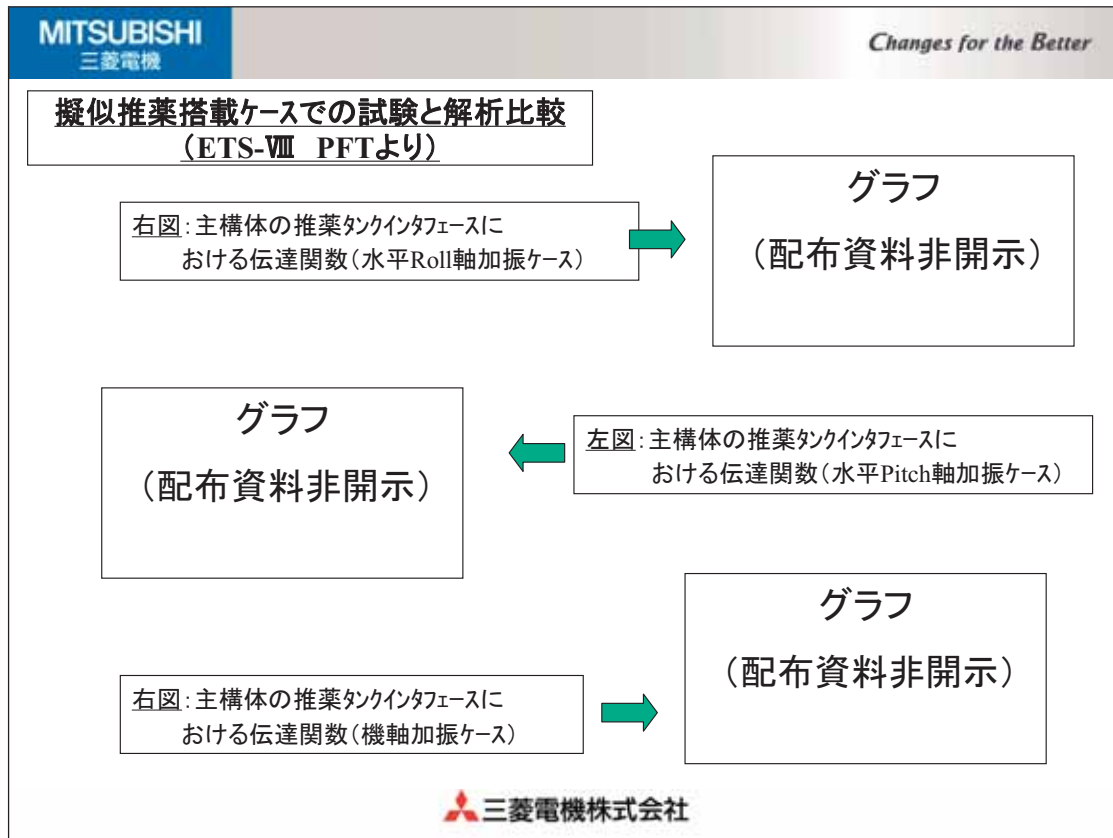
→過去STMと実際の打上衛星で異なる構造部位の動特性検証が可能となる。



対処方針1、2の手順を踏むことで、②の影響を回避できる。

三菱電機株式会社





MITSUBISHI 三菱電機 Changes for the Better

**4. PFT(機械環境試験)で擬似推薬非搭載  
コンフィギュレーションとした場合の検証計画**

③供試体質量の軽量化により、動特性が変化し、共振時の衛星内部の応答レベルが変化する。

<対処方針>

- ・内部応答レベルの変動があったとしても、最終的に、システムPFT、サブシステムPFT、コンポーネントPFTといった試験実績、もしくは各部の設計条件レベルとCLA(衛星-ロケット結合荷重解析)結果を比較し、フライト品質を有することの確認ができれば良いため問題ない。

→上記方針により、③の影響を回避できる。


三菱電機株式会社

MITSUBISHI  
三菱電機

Changes for the Better

③供試体質量の軽量化により、動特性が変化し、共振時の衛星内部の応答レベルが変化する（補足1）

正弦波振動試験のPFT加振レベル(H-II A)は  
機軸直交方向:0.875G(5~18Hz)、0.75G (18~100Hz)  
機軸方向 :1.25G (5~30Hz)、1.0G (30~100Hz)  
であり、静加速度成分を含む打上レベル(CLA値)とは一致しない。  
したがって、擬似推薬の搭載状態に拠らず、衛星内の全ての構造部位を必ずしも荷重負荷できる訳ではない。

 三菱電機株式会社


MITSUBISHI  
三菱電機

Changes for the Better

③供試体質量の軽量化により、動特性が変化し、共振時の衛星内部の応答レベルが変化する（補足2）

したがって、試験コンフィギュレーションによらず、衛星内の各部分が構造面でのフライト品質を有することを確認するため、以下の分類による試験検証計画を立案しておくことが重要。

I :「システムPFT実績」  
II :「サブシステムPFT実績」  
III :「コンポーネントPFT実績」  
IV :「設計条件」  
(注)IVは、過去フライト実績ある構造部位に限る。

 三菱電機株式会社

## 5.まとめ

擬似推薬非搭載コンフィギュレーションによるPFT(機械環境試験)を実施することで、品質向上、コスト低減、工期短縮といった利点がある。このため、MELCOでは、DS2000系静止衛星のPFTで本案を採用している。

ただし、本案による試験実施に当っては、以下の点を考慮する必要がある。

- ・主構造、タンクインタフェース、タンク単体に別途、荷重負荷を行なうこと。
- ・過去、STM相当の衛星において、擬似推薬搭載コンフィギュレーションによる試験実績があること。(動特性の確認)
- ・衛星内の各部分が構造面でのフライト品質を有することを確認するための試験検証計画を立案しておくこと。

## 質疑応答

### 問 1

静荷重試験のコンフィギュレーションのところで確認したいのですが、この図ではシリンダー部しか写っていないんですけども、ここに負荷される荷重は推薬の質量分のみでしょうか、それとも衛星全体でしょうか。

### 答 1

二つのポイントを考えておまして、まずはタンク自体には少なくとも「タンクの質量×想定される加速度」が発生することを予想した荷重は最低限入れることを考慮しています。さらに荷重を引くポイントが限定されますので、主構体であるセントラルシリンダに対して、フライト・コンフィギュレーションで予測される荷重分布や応力分布を予測しまして、それを発生させるように、各ジャッキに荷重を設定しております。つまり、タンクにより発生するタンク・インターフェースの荷重も考慮しておりますし、衛星分離面等に打ち上げ時、発生する荷重も考慮した試験を行っております。

### 問 2

この前の試験で、構体の評価を目的とした衛星全体の静荷重試験をされていると思うのですが、ここで示されている荷重自体は同じなのでしょうが、たとえばタンクのポイント等には、実際にはフルコンフィギュレーションの静荷重試験のそれよりも少々大きめの荷重を負荷して分離面の荷重評価を行いたいということでしょうか。

### 答 2

おっしゃる通りです。

### 問 3

静荷重試験の目的についてですが、ETS8 からセントラルシリンダの変更があったため、設計認定としてもともとやらなければいけないもりの静荷重試験だったのででしょうか、それとも複合材構造としてのフライト品のプルーフ試験という意味合いのほうが強かったのでしょうか。先ほどお話にありましたように振動試験で強度認定をやるうとは思われないはずなので、位置付けとしてはどちらなのでしょうが？

### 答 3

設計検証もできているので、あくまでプルーフ試験という位置付けではありますが、本来、PFT で発生していた荷重（負荷実績）が変化する点や、本来ウェットでやるべき試験をドライで試験をするといった形に変更している点などがありますので、それらを補

足する意味で試験をすべきであると考え、この試験を追加しています。ウェットで試験をするのであれば、本来この試験は削除してもいいのではないかと考えております。

#### 問4

では、一応プルーフの位置付けということでしょうか。ということは、衛星の設計上の終局荷重まではかけないということでしょうか。

#### 答4

はい、かけません。降伏条件だけです。

#### 問5

もう一つ質問をさせていただきたいのですが、ダミー推薬なしの状態での試験をなさった結果とその解析結果をもとに、ウェットの状態を予測されているというお話ですが、実際には空の状態を取った試験データ等をもとに、モデルをチューニングした後、ウェットの予測を立ててみて、その後実際にウェットで試験を行ってみたらその予測通りだったという、手法全体を検証されたことは過去におありですか。ETS8の時は、ドライ状態のデータを取られなかったというお話をうかがったのですが、ETS8が空の状態のデータを使ったモデルの結果を、ウェットの状態へ転用しても必要な精度は確保できているというような知見や参考となる別の試験はあったのでしょうか。

#### 答5

ETS8の時は、残念ながらドライ状態で実施した試験というのはございません。しかし、一例としてこうした静荷重試験での、変位から構造数学モデルの妥当性を見るというような手法をとっております。従いまして、完全にお答えすることはできないのですが、一つの衛星でドライとウェットを直接見るようなことはできておりませんが、こういった静荷重試験で別の見地からコリレーションを行ったり、開発試験で少し違ったコンフィギュレーションの解析結果を検討したり、他機種のコリレーションから、その時々で絶えずコリレーションを行ったり、ということをごこれまで行って参りました。現在は、解析モデルのモデル化の技術を駆使してDS2000というモデルを作り込み、ドライ試験のドライ・コンフィギュレーションを使って解析モデルと比較するという方法に絞ったコリレーションしか行っておりません。一つの衛星でワンルックというように、直接見比べることはできない状況になっております。

## 問 6

解析で推薬の影響ってというのはマスのあるなしのみで、推薬なしのときの解析モデルに関する推薬の数値のモデル化というのは、マスのみをモデル化したものであるというように考えてよろしいのでしょうか。

## 答 6

モデル化する際のマスの入れ方という意味では単純に質量だけではなく、専門用語になりますが「流体的な」要素を入れることでモデル化を実施致しております。

## 問 7

流体として考えて解析をしていらっしゃるということですか。

## 答 7

はい、そうです。