


発表 1.

HTV 機械環境条件の設定方法と試験検証

HTV プロジェクト 内川 英明 開発員





HTV機械環境条件の設定方法と 試験検証

JAXA HTVプロジェクトチーム
内川 英明
2007年12月14日

第5回 試験技術ワークショップ

1

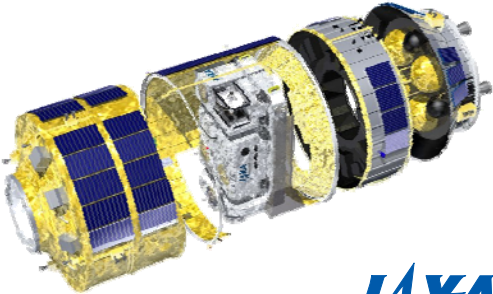
H-II Transfer Vehicle (HTV)の概要

2


- HTVのミッション
国際宇宙ステーション(ISS)に、与圧、非与圧カーゴを最大6トン、輸送すること。
- 打上予定
H-IIA能力向上型によって、平成21年度、種子島宇宙センターから打ち上げ予定。


表1 HTV諸元

全長	約10m	搭載補給品重量	6t(最大)
最大直径	φ4.4m	目標軌道 (ISS軌道)	高度350km ～460km
打上時総重量	16.5t (最大: カーゴ含)		軌道傾斜角 51.6度



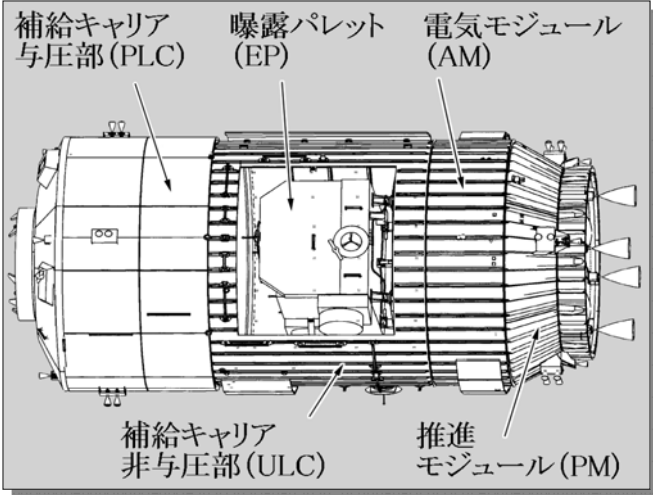
第5回 試験技術ワークショップ






H-II Transfer Vehicle (HTV)の概要 (続き)

3




補給キャリア 曝露パレット 電気モジュール
与圧部 (PLC) (EP) (AM)

補給キャリア 推進
非与圧部 (ULC) モジュール (PM)

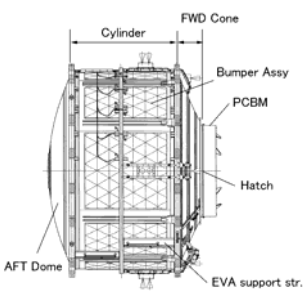


第5回 試験技術ワークショップ

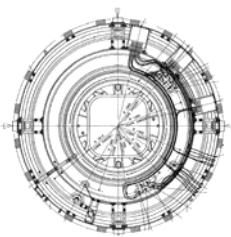



H-II Transfer Vehicle (HTV)の概要 - 補給キャリア与圧部 (PLC) -

4

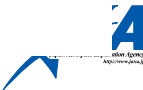


Cylinder, FWD Cone, Bumper Assy, PCBM, Hatch, AFT Dome, EVA support str.






- 補給キャリア与圧部の役割は、ISSへ結合後、クレーンがIVAによってそのままISS内に持ち込む**与圧カゴ**を輸送すること。
- JEMやJEM補給部**与圧区**の構造設計を踏襲。
- 内部(与圧空間)に空気を満たしているため、宇宙空間での飛行中内圧を受けることである。このため圧力容器となっている。
- 与圧壁厚はシリンダ部で $t=3.2\text{mm}$ であり、強度・耐力等が標準ではなく隕石・デブリに対する防御対策で決まった。
- 開発方針の特徴としてJEM構造設計結果、知見を活用するという観点からSTMをそのままプロトフライトモデル(PFM)に改修・利用した。
- 設計・製造はJEM構造の経験が豊富な三菱重工業(株)が行っている。

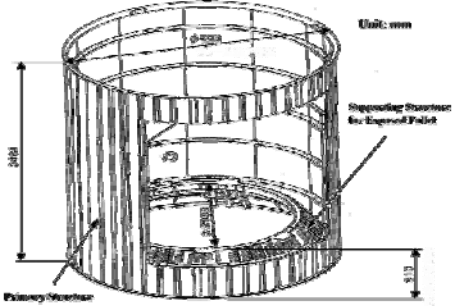



第5回 試験技術ワークショップ


5



H-II Transfer Vehicle (HTV)の概要 - 補給キャリア非与圧部(ULC) -





- 特徴は曝露パレットを出し入れするための**大きな開口部**を持つこと。
- 1次構造はスキン、フレーム、ストリングで構成されており**ロケット構造を踏襲**している。
- 開口部の両脇には開口部によって伝達されない垂直荷重を受けるための**ロンジロン**が入っている。
- 設計・製造はロケット構造に実績のある**三菱重工業(株)**が行っている。

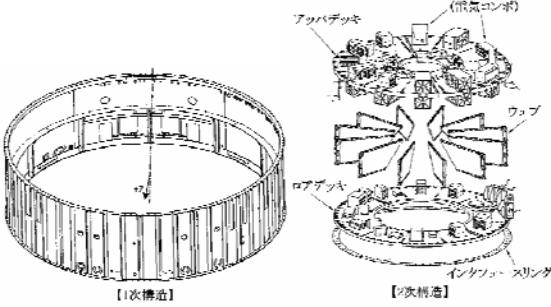
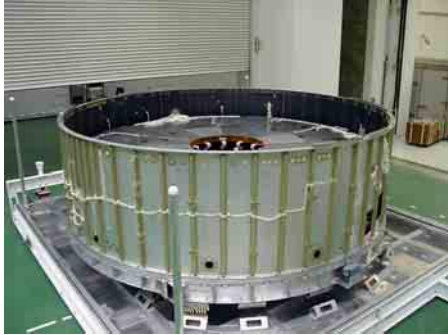


第5回 試験技術ワークショップ


6



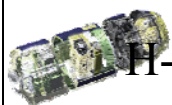
H-II Transfer Vehicle (HTV)の概要 - 電気モジュール(AM) -

- 1次構造は非与圧、推進モジュールと同様にスキン、フレーム、ストリングで構成されている。
- 特徴として**アルミニウムコア、スキン**を用いた2次構造があり、**バッテリー、電気機器を支持する**。
- 2次構造を開発しているのは**三菱電機(株)**で衛星構造の設計思想が強い。1次構造は**三菱重工業(株)**が設計・製造を行っている。

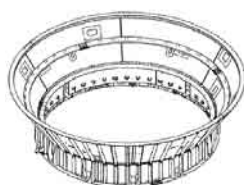


第5回 試験技術ワークショップ

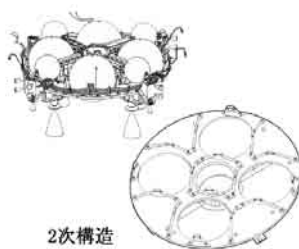


H-II Transfer Vehicle (HTV)の概要 - 推進モジュール (PM) -

7



1次構造



2次構造



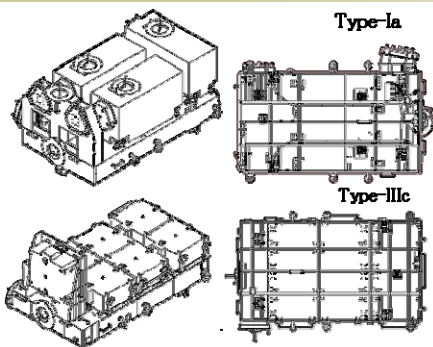
- 1次構造の特徴として、**お椀型のくびれ部**がある。これは上部が約φ4mの要求に対し、ロケットとのI/F分が約φ3mであることによる。
- 2次構造は主に推薬タンク、気蓄器、推進スラスタを支持するためのもので、中央部に円筒型シリンダ、そこから十字方向にビーム(クロスビーム)をもちタンク取付用のトラスを支持する部分はCFRPスキン、アルミコアのハニカムパネルとなっている。
- 推進モジュール下端には推薬タンクへの隕石・デブリの衝突を防ぐためのシールド(バンパ)が取り付けられる。
- 本モジュールは1次構造を他と同様に三菱重工業(株)、2次構造は三菱重工業(株)と(株)IHIエアロスペースが設計・製造を行っている。

第5回 試験技術ワークショップ



H-II Transfer Vehicle (HTV)の概要 - 曝露パレット (EP) -

8



(写真: I型 (STM))

- 曝露パレットは補給キャリア非与圧部内に搭載されて打ち上げられる。
- ISSへ到着後、ISSのロボットアームによって引き出されI型はJEMの曝露部に、III型はISSへ直接、接続する。
- カargoである船外実験装置等をハンドリングした後、再びロボットアームにて補給キャリア非与圧部に再挿入される。
- 曝露パレット構造は、**井桁にスキンをはった主構造**と垂直に取り付けられたフォワード構造 (I型のみ)に分けられる。
- その他、カargo取付、JEM曝露部への取付、ロボットアームでのハンドリングのための各種機構品を持つ。
- I型のカargoは、最大500kg×3台の計1.5トン分を搭載することができる。
- 設計・製造は、JEM曝露部で実績のある(株)IHIエアロスペースが行っている。

第5回 試験技術ワークショップ





H-II Transfer Vehicle (HTV)の概要

- 曝露パレット(EP) -


9

- 曝露パレットの特殊事情として、
 - 曝露パレット自体が、搭載カーゴの形態によっていくつか種類がある。また将来的にも増える可能性もなくはない。
 - さらにある1つの曝露パレットに対して搭載されるカーゴは毎フライト変わる。
 - 曝露パレットとカーゴの重量比は、(曝露パレット:カーゴ)=(1:3)(約500kg:約1500kg)であり、構造に比べて搭載されるカーゴ重量が大きい。
- 即ち、各曝露カーゴに対する環境条件はそれぞれ異なると考えたほうが妥当である。





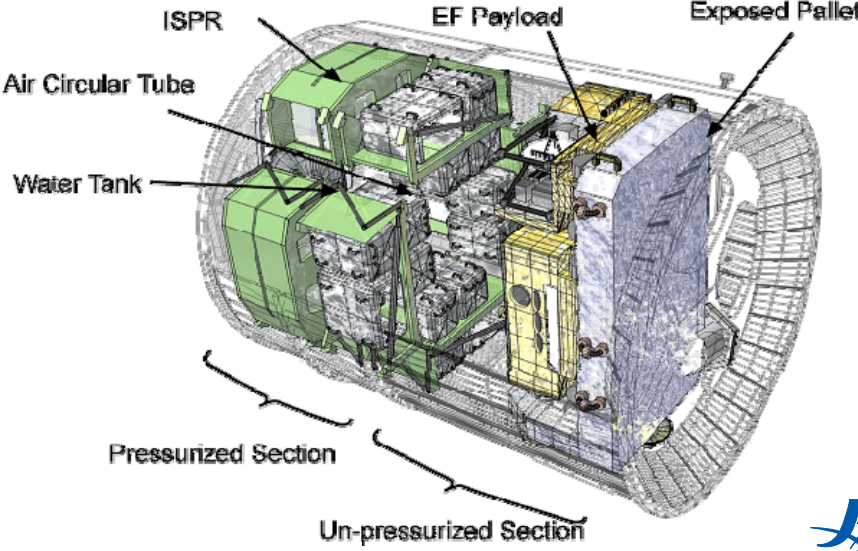
第5回 試験技術ワークショップ




H-II Transfer Vehicle (HTV)の概要


- カーゴ -

10





第5回 試験技術ワークショップ



HTV機械環境条件規定の遷移

13


STM音響試験、衝撃試験、モーダルサーベイ結果によるモデルコリレーション+CLAなどのトリガー

↓


経験式、過去の実績等により規定
(精度悪い)

試験結果により必要に応じて修正
(精度良い:但し入力条件が正しいと仮定)

→ 時間軸




第5回 試験技術ワークショップ




JAXAの立場としての環境条件設定の考え方

14

- **JAXA規定**としては以下の環境条件を規定する。
 - **他システムとのI/Fに係る環境条件**を規定する。
 - 例:カーゴI/F、ロケットI/F
 - **契約を跨ぐI/Fに係る環境条件**を規定する。
 - 例:非与圧部-暴露パレットI/F(MHI-IA)
- **モジュール内の環境条件は、各社の裁量に任せる(JAXA規定をしない)。**
 - 極端に言えば、JAXA要求は「他システムとのI/F、他社との約束を守った上であれば、打ち上げ環境に耐えればどう設計・製造しても構わない」という要求。但し、重量制約、熱的制約等の制約は別途ある。
 - むしろ、不要な規定をするほうが非効率である。



第5回 試験技術ワークショップ

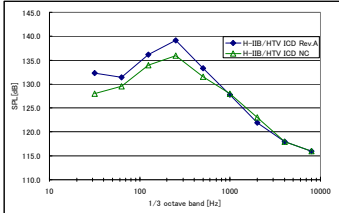



音響・ランダム振動

15


- HTVにとっての音響・ランダム振動源は、ロケットICSで規定されるフェアリング内音響条件。
 - ロケットICS(初版:2001年8月)では、OverAll=140.5dBであったが、Rev.A(2006年10月)では、Fill Effectを考慮したOverAll=142.7dB(Fill Effect無しの場合140.5dBも併記)となった。
- HTVで規定している音響環境条件は：
 - 外表面搭載機器に対するフェアリング内音響条件(例:SAP)
 - 与圧内部音響条件(殆ど標定にならない。カーゴ条件として規定)。
 - 非与圧部内部音響条件(主に非与圧カーゴ向け)。
- HTV各部位に於けるランダム振動条件は：
 - フェアリング内音響加音によって発生するとしており、分離部からの機械的バスのランダム振動の規定はない。
 - 原則、音響試験実施前は過去の実績等による推測により(精度悪い)、音響試験後は音響試験結果を用いている。尚、コンポ等で開発スケジュール上、既に旧条件でQTを実施しており、その旧条件が音響試験結果よりも高い場合はそのままの場合もある。

1/1 Oct Freq. [Hz]	[From]		[To]	
	H-IB/HTV ICD NC	Rev.A	H-IB/HTV ICD	Rev.A
31.5	128.0		132.3	
63	129.5		131.4	
125	134.0		136.2	
250	136.0		139.2	
500	131.5		133.3	
1000	128.0		127.8	
2000	123.0		121.9	
4000	118.0		118.0	
8000	116.0		116.0	
O.A.	140.5		142.7	





第5回 試験技術ワークショップ

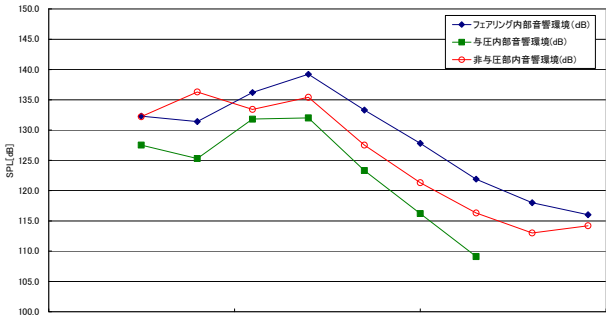


音響・ランダム振動


(各部音響条件)

16


音響環境条件



1/1 Octave Band Center Frequency	フェアリング内部音響環境 (dB)	与圧内部音響環境 (dB)	非与圧部内部音響環境 (dB)
31.5	132.3	127.5	132.2
63	131.4	125.3	136.3
125	136.2	131.8	133.4
250	139.2	132.0	135.4
500	133.3	123.3	127.5
1000	127.8	116.2	121.3
2000	121.9	109.1	116.3
4000	118.0		113.0
8000	116.0		114.2
O.A.	142.7	136.3	140.9
Duration	60sec		

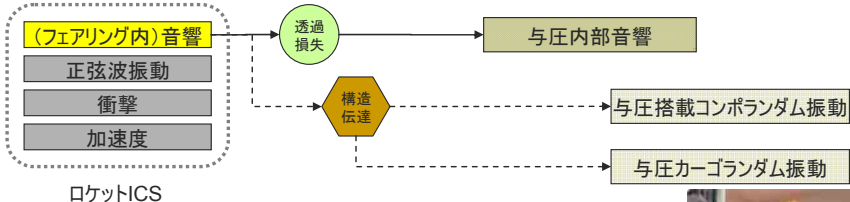


第5回 試験技術ワークショップ



音響・ランダム振動 与圧部


17




ロケットICS

- (フェアリング内)音響
 - 正弦波振動
 - 衝撃
 - 加速度
- 透過損失
- 構造伝達
- 与圧内部音響
- 与圧搭載コンポランダム振動
- 与圧カーゴランダム振動


- HTV与圧部は、JEM与圧部と類似の構造物である。
- よって、JEM与圧部(EM)音響試験の結果を用いて内部音響環境及び各コンポ、与圧カーゴのランダム振動環境を予測。
- この予測には、HTV与圧部とJEM与圧部の板厚の差を考慮(透過損失計算)。
- 与圧部はSTM音響試験を実施していない(JEM構造との類似性により)。初めての音響試験はPFM音響試験(2008年夏予定)である。
- よって、現段階での音響・ランダム振動条件は、実際にHTVのSTM、PFMを用いた試験結果に基づいたものではなく、試験結果次第では条件の改定も考えられる。



JEM与圧部(EM)音響試験




第3回 試験技術ワークショップ



音響・ランダム振動 非与圧部、電気M、推進M(1/2)

18

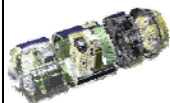
- 現時点でのHTV非与圧部内部音響・ランダム振動条件は、2006年に実施したSTM音響試験結果による。
- STM音響試験前の非与圧部内音響条件は、安全側にみてフェアリング内部音響と同じとみなしていた(開口部により内部と外部は同一環境とみなした)。
 - STM音響試験結果は、63Hz帯を除き、非与圧部内部音響環境は、外部環境より低いことが確認できた。



HTV(STM)音響試験



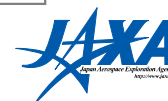
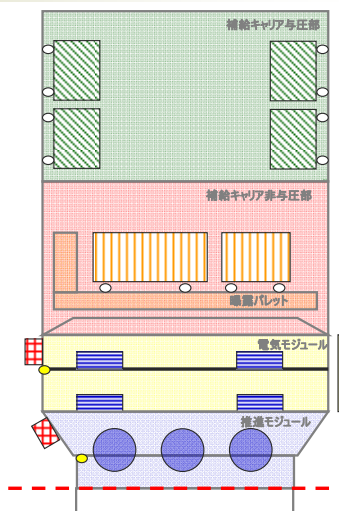
第5回 試験技術ワークショップ



音響・ランダム振動 非与圧部、電気M、推進M(2/2)

19

- STM音響試験前の各部位ランダム振動条件は
 - 1次構造上については、H-IIロケットの試験実績を用いて推定し、搭載コンポ重量5kg以上/5kg未満にて規定。
 - 2次構造上(HTV内部)搭載コンポについては、開発各社判断によるところがあり一概には言えないが、概ね評価上安全側に考えて、1次構造と2次構造上のI/F点の値をそのまま用いて(構造減衰を無視)、搭載コンポの重量によるマスタングを考慮して規定。



第5回 試験技術ワークショップ



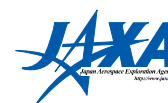
音響・ランダム振動 曝露パレット

20


- 音響環境条件は、非与圧部内部音響環境条件を適用し、若干のカーゴ形態の変更によっては変わらないと見なし、STM音響試験の結果を用いている。
- 各部位ランダム振動条件は
 - STM音響試験前の1次構造と2次構造上のI/F点の値をそのまま用いて(構造減衰を無視)、搭載コンポの重量によるマスタングを考慮して規定。
 - 現状はSTM音響試験の結果を用いている。尚、カーゴ環境については搭載カーゴの重量によって調整している。
- 尚、今後の曝露パレットの形態の多様性を考慮し、曝露パレット単体で音響試験を実施しても問題ないことを確認している。
 - これは、STM音響試験(組み込み形態)と、右図に示す単体での音響試験を実施し、音響入力に対する応答の比較を行った上で、各部位のランダム振動応答は音響加音によるものが支配的であることを確認したことによる。



曝露パレット(EM)単体音響試験




第5回 試験技術ワークショップ




衝撃


21

- HTVにとっての**衝撃源**は、H-IIB分離部とHTV推進MのI/F部にある**分離ナット(火工品)**と、曝露パレットと非与圧部の結合機構(TSM)の解放(非火工品)による発生衝撃。
 - 分離ナットによる発生衝撃はロケットICSで規定。事前に分離ナット単体の試験を行いデータ取得。
 - TSMによる発生衝撃は火工品を用いておらず発生衝撃も小さいのでローカルな範囲に限定。
- STM衝撃試験前の**衝撃環境条件**は：
 - 衝撃源に対し、NASA文献(Aerospace Systems Pyro-technic shock data)による距離減衰と分岐による衝撃減衰の式を用いて推測。
- STM衝撃試験後の**衝撃環境条件**は試験結果を用いている。





第5回 試験技術ワークショップ



衝撃

STM衝撃試験前の規定

(KAE-01006HTV環境条件設計基準より)

22

No.	取付位置 ^①			衝撃レベル(m/s ² G _{RMS})参考値(G _{RMS}) ^{②③}		取付機器類 ^④ (参考)		
	モジュール ^⑤	取付構造 ^⑥	衝撃源からの距離 ^⑦ (mm) ^⑧	100~800 Hz ^⑨	800~4000 Hz ^⑩			
1 ^⑪	推進モジュール ^⑫	シリンダ部(1次構造) ^⑬	0 < d < 300 ^⑭	+8 dB/oct ^⑮	39200{4000}	推進系バルブ類 ^⑯ メインスタスタ, RCSスタスタ ^⑰ 推進系バルブ類 ^⑱ 推進系バルブ類 ^⑲ 推進系バルブ類 ^⑳ 推進タンク ^㉑		
2 ^⑪			300 < d < 462 (< 600) ^⑭		19600{2000}			
3 ^⑪		推進系組立 ^⑳	0 < d < 300 ^⑭		27500{2800}			
4 ^⑪			300 < d < 600 ^⑭		13700{1400}			
5 ^⑪		クロスビーム ^㉒ (2次構造) ^㉓	600 < d < 1200 ^⑭		6860{700} ^㉔		4810{490}	メインスタスタ, RCSスタスタ ^㉕ 推進系バルブ類 ^㉖
6 ^⑪			1200 < d < 2400 ^⑭		3430{350}			
7 ^⑪		推進系組立 ^㉗	ハニカムパネル ^㉘ (2次構造) ^㉙		(300 <) 462 < d < 600 ^⑭		13700{1400}	推進系バルブ類 ^㉚
8 ^⑪					600 < d < 1200 ^⑭		6860{700}	
9 ^⑪		供給サブモジュール ^㉛ パネル(2次構造) ^㉜	1200 < d < 2400 ^⑭		600 < d < 1200 ^⑭		3430{350}	供給系バルブ類 ^㉝ VDE ^㉞
10 ^⑪					1200 < d < 2400 ^⑭		4810{490}	
11 ^⑪		コーン部(1次構造) ^㉟	1200 < d < 2400 ^⑭		(300 <) 462 < d < 600 ^⑭		2400{245}	15700{1600}
12 ^⑪					600 < d < 1200 ^⑭		7850{800} ^㉟	
13 ^⑪	シリンダ部(1次構造) ^㊱	1200 < d < 1419 (< 2400) ^⑭	1200 < d < 1419 (< 2400) ^⑭	3920{400}	RCSスタスタ ^㊲			
14 ^⑪			(1200 <) 1419 < d < 2099 (< 2400) ^⑭	3140{320}				
15 ^⑪	電気モジュール ^㊳	下部デッキ ^㊴	1200 < d < 1419 (< 2400) ^⑭	2510{256}	アンテナ, センサ類 ^㊵ ストロボライト ^㊶			
16 ^⑪			2400 < d ^⑭	1260{128}				
17 ^⑪	上部デッキ(2次構造) ^㊷	2400 < d ^⑭	(1200 <) 1419 < d < 2400 ^⑭	2750{280}	飛行制御電子機器等 ^㊸ バッテリー ^㊹			
18 ^⑪			(1200 <) 2099 < d < 2400 ^⑭	2200{224}				
19 ^⑪			2400 < d ^⑭	1100{112}				


注(1): 衝撃源(HTV/H-IIA 分離面)から当該機器までの構体伝達経路を考慮した最短距離とする。^⑪

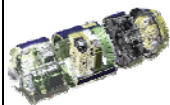
注(2): 分離衝撃源(分離ナット: 19.05 cm(3/4")サイズ)の衝撃レベル(39200m/s²(4000G))は、従来品(15.875 cm(5/8")サイズ)の衝撃レベルに基づく現状での推定値。^⑫

各部位の衝撃レベルは、原則として距離減衰および構造分岐を考慮して設定した。^⑬

注(3): メインスタスタ部および推進モジュール装着の RCS スタスタ部については、ブラケット減衰を考慮して、4900 m/s²(500G)とする。^⑭

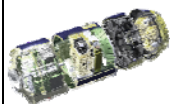
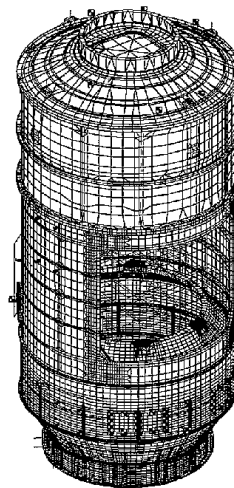
第5回 試験技術ワークショップ



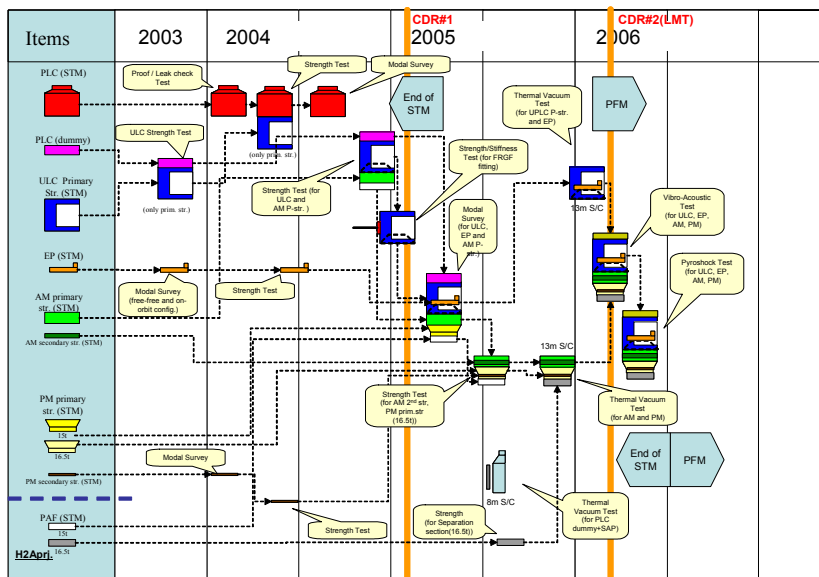


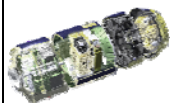
正弦波振動

- HTVにとっての正弦波振動源は、H-IIB分離部からHTV推進M下端に伝達される正弦波振動入力。
 - H-IIBによるCLAによって得られる。
- HTV各内点の正弦波振動環境は、解析(CLA:内点リカバリ)によって得られる。
 - 但し、全てのコンポ/F点で条件を出しているわけではない。殆どのコンポーネントは、固有振動数を100Hz以上に設計しており、一部のものが対象となる(SAP等)。
- HTVは総重量16.5トンあり、現状の振動試験設備では正弦波振動試験を実施できないこと、及び各フライト号機の形態の可変性を考慮し、正弦波振動に関しては解析検証のアプローチを採っている。即ち、CLAによる。このため、CLAに用いる構造数学モデルの精度が重要となる。
- このため、HTVではモーダルサーベイ試験を実施し、ほぼシャトルが要求しているクライテリアと同等の基準にてコリレーションを実施した。



STM各試験実施結果





今後の予定

■ 与圧(PFM)音響試験(2008年8月予定)

- コンフィギュレーションは、補給キャリア与圧部(PLC)に、治具として非与圧部(STM)を結合。与圧内部には、いくつかのラック(PFMまたはEM)を実際に搭載し、環境計測を行う。
- PFTの目的に加え、STM音響試験を実施しなかったためSTMの目的も併せ持つ。
- よって、本試験結果によって場合によればカーゴ環境等のアップデートを行う。
- 加速度計測点は400ch以上。

■ 非与圧、電気M、推進M、曝露パレット(PFM)音響試験

- コンフィギュレーションは、音響試験と同じ。
- 加速度計測点は、約200chを予定。

■ フライトデータ計測

- HTV技術実証機フライト時に、ランダム振動4ch、正弦波振動1chのフライトデータ計測を行う。本データ及びSTM試験、PFM試験結果を踏まえて、環境条件のアップデートについて検討を行う予定。H-II/Bロケット技術テレメトリ経由。



質疑応答

質問者①

問 1: フィルエフェクトの件についてお聞きしたいのですが、いままでの発表の中で、JEMの実績を使って音響をコンサバティブ的な予測をしていらっしゃいますが、フィルエフェクトがわずか2.5dBほど上昇したことによって、コンサバティブの範囲に入らない機器が出るかどうか、というのが一つと、そのことによって、設計変更まではいかないにしても、検討されている機器があるとすれば、そのコストがどれくらいかかるのかなど、もし例があれば、教えていただければと存じます。

答 1:

コストについては、はっきりとした数字は今すぐにはできませんが、ロケット側の CDR 時点での条件変更は、HTV にとっては CDR が完了し、機体及び各コンポの認定試験/プロトフライト試験が終了した段階であり、その時点での環境条件の上昇というのは対応に苦慮しました。当然、上がったことによる影響を全コンポーネントに対してサーベイ（調査）をしまして、すべてではないのですが、当然その何割かは影響を受けるということが分かりました。上がった分に関しては、それでももともとコンポーネントとしての能力は持っているから十分であるとか、これでも上がってもいいという製造元の合意を得ます。海外ではそこでまたお金が必要だったりするのですが、そういうことをしているということと、ものによっては、例えば地球センサなどはどの衛星でも共通化されている部品なので、追加試験、つまり Δ QT するのはお金もかかるし大変なので、マスダンピングのためのデッド・マスを負荷して、コンポに入力されるランダム振動レベルを落とすなどの処置をしました。あとは、これから QT をする予定だったものについては、試験条件を上げてやってみるとか、(QT を) やっているものについても、 Δ QT をやるとか、そういうことをいろいろやった上で、現状は全部クリアしています。

質問者②

問 2: 衝撃環境状況の設定のところについて教えていただきたいのですが、peak の値というのは経験値から設定されたようなのですが、8dB/OCT の 8 という数字については、これも経験的にということでしょうか。

答 2: (背景については) よくわかりませんが、衝撃の場合、大体決まっていますね。大体 8 か 6 ぐらいです。

質問者: 8 を採用されている場合が多いですね。

発表者: そうですね。何でそういう風に決まったか、ということにつきましては、ちょっ

と私にはわかりません。

問 3：もう一点よろしいですか。「音響・ランダム振動」、16 ページの表の中央の数字、これがカーゴに与えるように設定したランダム状況という風に解釈してよろしいのでしょうか。

答 3：与圧カーゴですね。与圧カーゴに対しては音響とランダム、両方規定しています。どちらを試験条件に評価として使うかは、カーゴによりますが。

質問者：それで、この 4000Htz、8000Htz っていう数字なんですけれども、これは…。

発表者：基本的に、ISS の世界だと 2000Htz までしか出ないんです。ですから、与圧カーゴに対して 2000Hz 以上規定しても無駄なので削っています。すると曝露系の方もいらなと言われてましたので、これも削りました。あると逆にどうすればいいのだろうと、特に音響・振動を知らないお客さんの間で混乱が生じますので、消しています。