一番星へ行こう！ 日本の金星探査機の挑戦 その2 ～ PLANET-C構造モデル試験 ～

奥泉信克[1]

（**要旨**）2007年9月から10月にかけて実施した金星探査機PLANET-Cの構造モデル試験について報告する．H-2Aロケットによる打ち上げ中に作用する音響や振動，衝撃に対して，探査機が十分な耐性を有することを確認することが試験の目的である．構造的に実機とほぼ等価な構造モデルを2007年8月までに製作し，9月から組み立て作業，音響試験，振動試験および衝撃試験を行った．一連の試験は大きな問題なく終了し，音響，振動，衝撃に対する特性を計測し，必要な強度や剛性があることを確認した．2008年3月には打ち上げ時の準静的加速度を模擬した静荷重試験を実施する．

1. はじめに

2007年9月初めから10月中旬にかけて，JAXA相模原キャンパスおよび筑波宇宙センターにおいて，金星探査機PLANET-Cの構造モデル試験を実施した．試験の主な目的は，H-2Aロケットの打ち上げから探査機が分離されるまでに作用する音響や振動，衝撃などに対する探査機の耐性を確認することである．探査機の打ち上げは2010年に予定されている．

2. PLANET-C探査機の構造

PLANET-C探査機の構造を図１に示す．衛星や探査機の主構造は構体と呼ばれる．PLANET-C構体の外形はおよそ1040×1450×1400 mm の直方体形状で，打ち上げ時の質量は約500kgである．構体内部中央には円錐台形状のスラストチューブがあり，その下端がロケット側に結合される．スラストチューブの内部に，燃料タンクや酸化剤タンク，軌道制御用のスラスタが搭載される．スラストチューブの周囲には，上部パネルと底面パネルおよび4枚の側面パネルがバルクヘッドを介して結合され，構体全体に作用する荷重をスラストチューブで支持する構造となっている．各部材はアルミまたはCFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic, 炭素繊維強化プラスチック) を表面板とするアルミハニカムコアサンドイッチパネルである．各種の理学観測装置や搭載機器は側面パネルと上部パネルに搭載される．

3. 構造モデル試験

構造モデル試験では，機械的に実機とほぼ等価な構造モデルを用いて一連の試験を行う．搭載機器は質量と形状を模擬したアルミ製のマスダミーで置き換えられる．2007年8月に構造モデルの製作が完了し，9月初めからJAXA宇宙科学研究本部において組み立て作業を行った．各パネルへの機器ダミーの組み付け，パネルの組み立て，さらに約300個に及ぶ加速度センサの取り付けを2週間かけて行い，引き続いて以下の4種類の試験を実施した．

1. 宇宙航空研究開発機構

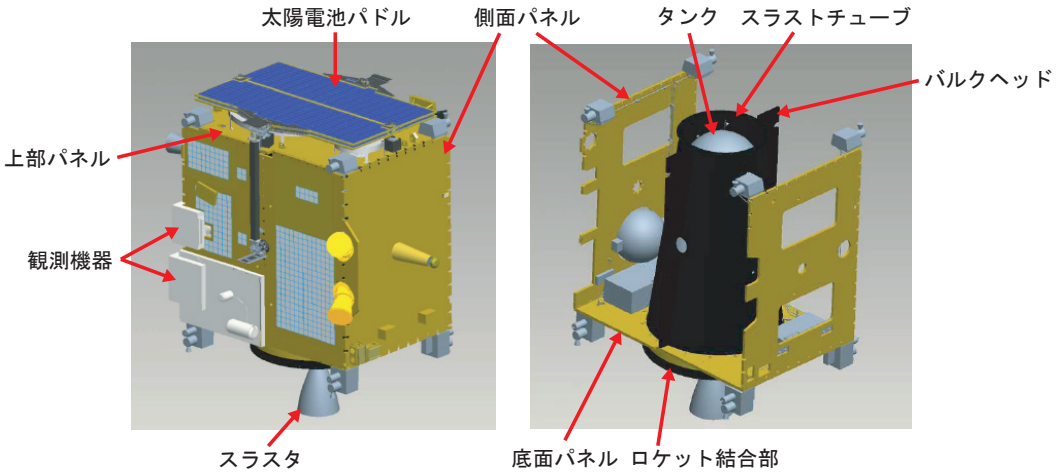

図1: PLANET-C探査機構造. 左が組み立て終わった状態, 右が組み立て途中.

3.1 音響試験

ロケットの打ち上げ時から大気中飛行中に生じる音響によって，構体には高周波のランダム振動が発生する．JAXA筑波宇宙センターの大型音響試験設備では，打ち上げを模擬した音響を実際に発生させることができる．PLANET-C構造モデルを筑波宇宙センターに運んで音響試験を行い，構体の耐性を確認すると同時に各搭載機器に対するランダム振動環境を計測した．計測結果にもとづいて，搭載機器を単体で試験するためのランダム振動条件が設定される．試験終了後，構造モデルをJAXA相模原キャンパスに戻し，以下の試験を実施した．

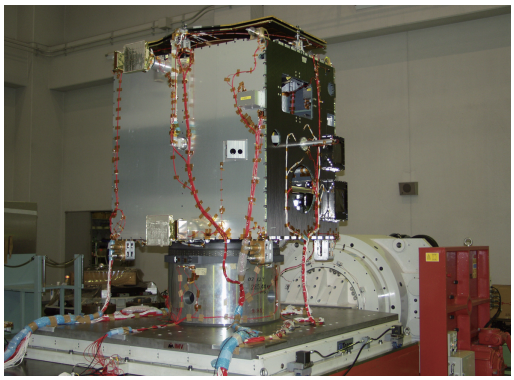

図2: 横方向の加振機に固定され振動試験中のPLANET-C構造モデル．構体と加振テーブルの間の円柱はアルミ製のPAFダミー．奥に見える白い装置が動電型加振機.

3.2 振動試験

ロケットとの共振を避けるため，探査機の横方向と機軸方向の最低次固有振動数は一定値以上であることが要求される．探査機の振動特性や強度は，設計段階において数学モデルの解析で検討してあるが，解析の精度は十分とはいえないため，実機で確認しておく必要がある．そのためJAXA相模原キャンパス内の大型動電型振動試験装置を利用し，構体を低いレベルでランダム加振する振動特性試験を行い，周波数応答を取得して固有振動数が要求を満足することを確認した．

次に，ロケット打ち上げ直後や大気中飛行中の突風時，ロケットの第1段と第2段との分離時，第2段エンジンの燃焼中に，ロケット側から探査機に低周波の振動が作用する．低周波振動に対する構体の耐性を確認するため，正弦波振動試験を実施した．振動試験中の構造モデルの写真を図2に示す．構体は低周波域に共振点を持つため強度的に最も厳しい試験だったが，無事に試験を終了し，強度上問題ないことを確認した．

また，将来のフライトモデル試験では，全ての作業を相模原キャンパスで行うため，筑波での音響試験は実施しない．そのためランダム振動試験を行って，音響試験の代替となる加振条件について検討した．

3.3　PAF分離衝撃試験

スラストチューブ下端はマルマンバンドと呼ばれる帯状の締結具によってロケット側のPAF (Payload Attach Fitting, 衛星とロケット間の継手) に結合される．マルマンバンドを火工品 (火薬の爆発力によってボルトなどを切断する機構) によって解放することによって探査機とロケットが分離される．PLANET-C用のPAFは新規開発のため，設計通りに正常に分離することの確認，火工品の動作によって構体各部に発生する高周波衝撃加速度の計測を目的として，試験用PAFとマルマンバンドを用いて分離衝撃試験を実施した．図3にPAF分離衝撃試験時の概観を示す．試験の結果，正常な分離を確認し，衝撃加速度を計測することができた．

3.4　太陽電池パドル保持解放衝撃試験

PLANET-Cは2翼の展開型太陽電池パドルを装備する．太陽電池パドルは，打ち上げ時には折り畳まれて高張力のワイヤを用いて上部パネルの上に固定され，展開時にはワイヤを火工品によって切断することによって解放される．そのため，火工品による保持解放衝撃試験を実施し，問題なく動作することを確認するとともに，構体各部に伝播する高周波衝撃加速度を計測した．これらの衝撃試験の計測結果は，各搭載機器単体で行われる衝撃試験条件の設定に利用される．

4.　おわりに

一連の構造モデル試験は，いくつか細かなトラブルはあったものの10月中旬に無事終了した．今回実施した振動試験と衝撃試験の他に，2008年3月には静荷重試験を実施する．静荷重試験は，打ち上げ時の準静的加速度を模擬した荷重を油圧アクチュエータにより構造モデルに直接負荷し，強度を確認する試験である．それが終わると構体の強度が最終的に確認できる．それまでの間，構体パネルは改修され，熱真空試験に供される．これらの試験を経た後，問題がなければ構体パネルはフライトモデルに利用され，2010年に金星への旅路に就く．

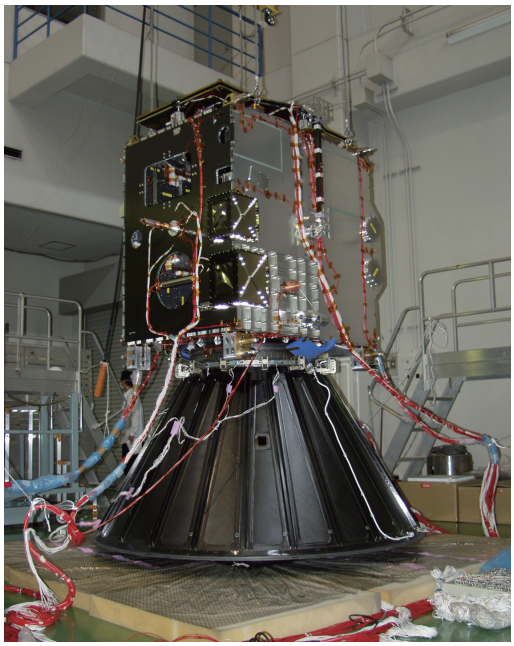

図3：　PAF分離衝撃試験の外観．構造モデルの下の黒い円錐台状の構造が試験用PAF．マルマンバンドを分離すると下に敷いたマットに落下する．