

静止衛星“DS2000”搭載用機器 —統合化・軽量化による低周回/“DS2000”共通機器の確立—

吉田 誠* 石島義之**
深川周和* 舛分宏昌**
石井明彦*

"DS2000" Bus Components—Establishment of LEO/GEO Bus Components by Integration and Lightweighting—
Makoto Yoshida, Noritaka Fukagawa, Akihiko Ishii, Yoshiyuki Ishijima, Hiroaki Kusawake

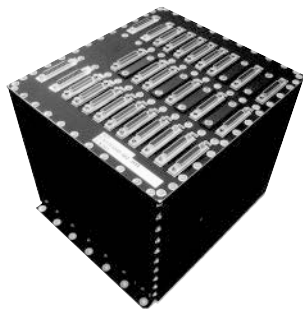
要 旨

三菱電機は、(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)などによる衛星開発プログラムや電子機器国産化を担当し、さらに国内外の商用衛星開発を通じて、機器の改良を進めてきた。

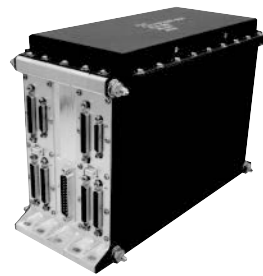
JAXAは、10年後も静止衛星として十分な国際競争力を持ち、JAXAで今後計画している静止地球観測ミッションなどに対応できる静止衛星システムの開発を目的として“次期高性能静止衛星システムの研究”を実施した。その研究の中で、三菱電機は、衛星制御系(Satellite Control Subsystem: SCS)機器と電源系(Electric Power Subsystem: EPS)機器の開発を担当し、機能の統合化・機能のソフトウェア化によって機器の更なる小型軽量化を進めた。開発は2008年度より開始し、エンジニアリングモデルの設計・製造を実施して2010年度に開発試験を完了し、各

機器が所望の機能・性能を持っていることを確認した。

本稿では、開発した機器のうち、衛星制御プラットフォーム(Satellite Control Platform: SCP)、ペイロードインタフェースモジュール(Payload Interface Module: PIM)、電力制御器(Power Control Unit: PCU)、電力分配制御器(Power Distribution Control Unit: PDCU)のそれぞれについて構成や特長、開発の成果等について述べる。いずれの機器も従来に比して大幅な小型軽量化を達成しており、今後の静止衛星“DS2000”の競争力強化につながるものと考えている。また、本稿では述べることができなかったが、統合ドライバ回路(UDE)も三菱電機で開発を担当した。静止/低軌道衛星の共通機器として開発されており、陸域観測技術衛星2号(ALOS-2)に搭載される予定である。



衛星制御プラットフォーム(SCP)



ペイロードインタフェースモジュール(PIM)



電力制御器(PCU)



電力分配制御器(PDCU)

静止衛星“DS2000”搭載用電子機器

上段左からSCP外観、PIM外観、下段左からPCU外観、PDCU外観である。

1. ま え が き

衛星の中核となるバス機器の更なる小型軽量化・機能の統合化を目指して、JAXAが実施した“次期高性能静止衛星システムの研究”で衛星制御系搭載機器と電源系搭載機器の開発を担当し、2010年度に開発試験を完了した。

本稿では、開発した各機器の構成や特長、適用されている技術や開発の成果等について述べる。

2. 宇宙用電子機器の開発

2.1 衛星制御プラットフォーム

衛星制御プラットフォーム(SCP)は、姿勢軌道制御、データ処理、衛星管理の機能を受け持つ中核機器であり、共通の計算機で各機能の処理を行う統合化設計を継承しつつ、様々な機能強化や、小型軽量化、低コスト化、短工期を目指した開発を行った。

2.1.1 SCPの機能

SCPは、衛星制御系(SCS)を構成する衛星バス機器として、主として次の機能を持つ。

(1) 姿勢軌道制御機能

各種センサ出力を収集して演算を行い、各種アクチュエータを制御し、衛星の姿勢軌道制御を行う。

(2) データ処理機能

受信機経由で地上からコマンドを受信し、衛星搭載機器へコマンドを配信する。衛星搭載機器からテレメトリ情報を収集・編集し、送信機経由で地上に伝送する。

(3) 衛星管理機能

衛星搭載機器からテレメトリ情報を収集・分析し、ヒーター制御など自律的な衛星システム管理を行う。

2.1.2 SCPの開発成果

SCPは、主/従切替え時のハンドオーバー機能、ホットスタンバイ機能によるミッション継続性確保、軌道上メンテナンスの容易化等の機能強化の仕様を設定し、設計及び検証を実施した。また、搭載機能のソフトウェア化、インタフェース標準化、さらには機能集約、機構設計の刷新による小型軽量化を達成し、低コスト化、短工期化の目処を得た。

SCPのシステムブロック図を図1に、主な仕様を表1に示し、主な特長について次に述べる。

(1) 計算機の最新化

SCPの構成上の要であるプロセッサは、JAXAが新規に開発したHR5000を採用し、処理能力の向上によって、姿勢軌道制御、データ処理、衛星管理の各機能で、姿勢軌道制御精度や運用の容易性を向上させ、処理情報量の増加への対応を可能とした。テレメトリデータ処理の一部機能をソフトウェア化し、ハードウェア規模を減らすことによって、軽量化も行った。

(2) ホットスタンバイ機能

ホットスタンバイ機能とは、従系側を動作状態(ホット)で待機(スタンバイ)させ、異常発生時の従系計算機の起動時間を待たずに処理を継続することを可能とするものであり、クリティカルな運用フェーズで有効となる。また、従系側の処理状況をテレメトリとして収集できるため、異常が発生し切替えを実施した後の系をホットスタンバイとし、異常原因の分析を、運用と平行して実施できる。

(3) ハンドオーバー機能

ハンドオーバー機能とは、主系が行っていた演算設定パラメータや軌道伝播(でんぱ)値などの演算結果や衛星時刻データを、切替え後の主系が引きついで使用できる機能である。切替え発生時の姿勢軌道制御を継続でき、さらには搭載するミッション機器の継続的運用も確保できることになる。

(4) プログラムのEEPROMへの実装

各機能のソフトウェアをEEPROM(Electronically

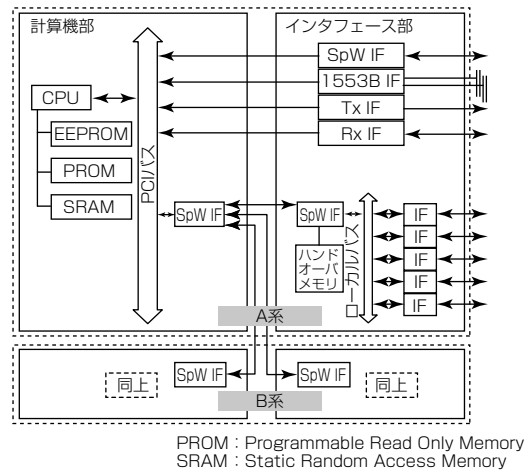


図1. SCPのシステムブロック図

表1. SCPの主な仕様

項目	主な仕様	
プロセッサ	JAXA HR5000	
システムクロック	40MHz	
メモリ	EEPROM: 1MB	
	ROM: 128KB	
	RAM: 4MB	
インタフェース	①TRXインタフェース コマンド受信機インタフェース(RS422) テレメトリ送信機インタフェース(RS422)	
	②衛星システムデータバス MIL-STD-1553B A系及びB系	
	③AOCS機器インタフェース CSSH×2, IRU×3, RWA×4, UDE×2 ^(注1) , STT×3 ^(注1) ESA×2及びFSSA×2はオプションで搭載可能	
	④その他インタフェース DCMD: 96ch(AOCS機器のオンオフを含む) SMCMD: 6ch AATLM: 48ch PATLM: 16ch ABTLM: 32ch PBTLM: 32ch SDTLM: 2ch SpaceWire: 2ch	
	電源バス	100Vバス
	消費電力	最大: 37.0W(従系コールドスタンバイ時) 最大: 41.8W(従系ホットスタンバイ時)
	質量	13.5kg ノミナル
	外形寸法	(L)261×(W)309×(H)258(mm)

(注1) UDE及びSTTは、MIL-STD-1553B経由でのデータインタフェース

Erasable and Programmable Read Only Memory)上にて実装することによって、従系のソフトウェアパラメータ(制御フィルタゲインや、軌道情報等)やプログラムロジックの搭載時期を開発工程の後方に実施することが可能となるため、工期の短縮が可能となる。

2.2 ペイロードインタフェースモジュール

ペイロードインタフェースモジュール(PIM)は、SCPと衛星搭載機器間のコマンド/テレメトリ伝送の中継機能の役割を持つ機器である。

PIMはシステムハーネスによって衛星搭載機器と多数のI/Fを持っているため、PIMを分散配置することは衛星搭載機器とのハーネスの距離を短縮することが可能になる。衛星システム全体の軽量化に貢献することを目的として、分散配置に適した小型軽量化したPIMの開発を行った。

2.2.1 PIMの機能

PIMの機能は、次のとおりである(図2)。

(1) テレメトリ/コマンド中継機能

SCPとMIL-STD 1553Bバスでインタフェースしており、SCPとパケットインタフェースを持たない衛星搭載機器とのコマンド配信/テレメトリ収集の中継処理を行う。

(2) コマンド配信機能

地上からのパケットコマンドをSCPから1553Bバスで受信し、衛星搭載機器へコマンド配信する。

(3) テレメトリ収集機能

衛星搭載機器からテレメトリ情報を収集し、パケット化して1553BバスでSCPを経由して地上に伝送する。

2.2.2 PIMの開発成果

PIM開発に際して、PIM I/F Controller SoC(System on Chip)の開発、ハードウェアの標準化、ソフトウェアのEEPROM実装などの新規技術の開発を行い、小型軽量化、低コスト化、短工期化を実現した。主な特長について次に述べる。

(1) PIM I/F Controller SoCの開発

従来、複数のデバイスで実現していた機能をCPU中心として、Space Wire, 1553BバスなどのPIMの持つI/F機能をワンチップ化したSoCを開発した。この開発によって、部品数削減による小型軽量化を実現しただけでなく、各I/F機能をCPUによって直接制御できるため、機種ごとに異なる仕様にも柔軟に対応でき、設計・検証コストの削減に貢献する。また、PCI(Peripheral Component Interconnect), シリアル3線I/F等のI/Fも持っており、SCPを始めとした他の衛星バス機器でも使用可能とした。

(2) 小型・標準ハードウェアの開発

機能配分を再整理し、機種性を含む機能をソフトウェアに集約してPIMハードウェアの標準化を行い、設計工期短縮化を実現した。また、標準化したハードウェアは、次の小型軽量化の施策を行い、従来機器から56%の軽量化(9.0kg→3.9kg)を実現した。

- (a) 小型部品の積極的採用
 - (b) 電気部品の表面実装部品化と高密度実装
 - (c) 複数デバイスで実現していた機能のSoC化
 - (d) 機構部品の小型化/適正化
- (3) プログラムのEEPROMへの実装

ソフトウェアをEEPROM上に実装することによって、ソフトウェアプログラムの搭載時期を開発工程の後方に実施でき、工期短縮を実現する。また、ハードウェア標準化によって、機種ごとの設計変更はソフトウェアに集約され、設計変更によるリスクはほぼソフトウェアに限定されることになるが、ソフトウェア変更が容易にできることから、不具合時のロスコストを極小化でき、メンテナンス性向上も可能となる。

2.3 電源系機器

DS2000に搭載される電源系は、国内初^(注2)の100V安定化電源を採用しており、電力制御器(PCU), 電力分配制御器(PDCU), 爆管制御器(ODC), バッテリーインタフェースモジュール(BIM), バッテリー(BAT)で構成している。図3に構成ブロック図を示す。

(注2) 2006年12月18日現在, 当社調べ

2.3.1 DS2000電源系の特長

DS2000に搭載される電源系の主要な特長を次に述べる。

(1) 100Vバスの採用

ETS-VIII以前の国内静止衛星は、50Vバスが主流であったが、10kWを超える負荷電力要求に対応し、商用衛星分野への事業拡大を図るため世界の主流である100Vバスを採用

(2) 柔軟な拡張性

3~12kWの衛星負荷電力を供給するため、電力供給部

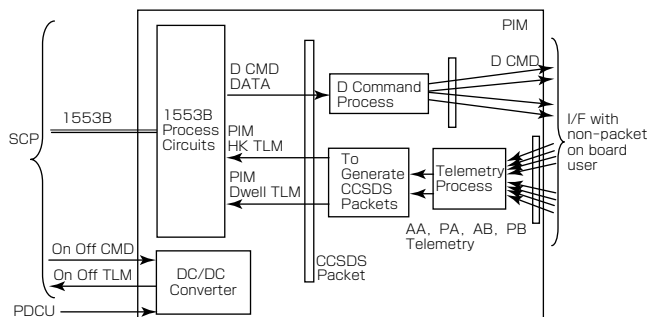


図2. PIMの機能ブロック図

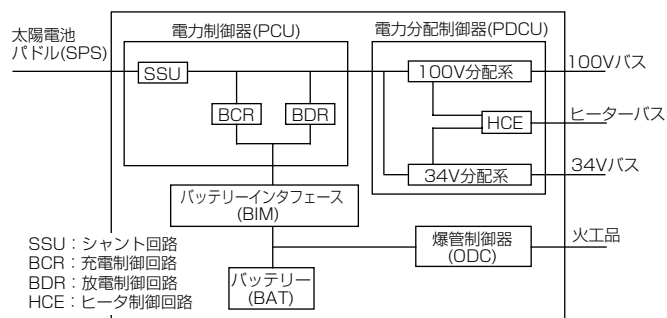


図3. DS2000電源系の構成ブロック図

表2. 従来電源系の質量内訳 (12kW級MELCO商用) (単位:kg)

機器名称	搭載台数	単体	小計
PCU	2	47.00	94.00
PDCU1	1	16.70	16.70
PDCU2	1	27.80	27.80
ODC	1	8.38	8.38
BIM	2	4.68	9.36
合計			156.24

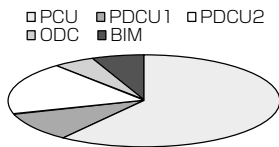


表3. 採用した新技術

採用した新技術	効果
メタルフォイルコア基板の採用	高放熱化, バスパールレス化
パワー段のトランス・コイルにシートトランス・コイルを採用	磁性体部品の小型軽量化
バスキャパシタにフィルムコンデンサを採用	バスキャパシタの小型化, 低ESR化
部品の表面実装化	PCAの小型軽量化
ライトアングルコネクタの採用	自動実装化による組立性の改善
グロメット付コネクタの採用	接着レス化による組立性の改善, 軽量化

表4. 取り入れた工夫

取り入れた工夫	効果
スライス形状の小型化	小型軽量化
シャント1段当りの取扱い電流を2.64Aから5.28Aへ倍増	シャント段数の低減による軽量化
ブロッキングダイオードのシングル化→ブロッキングダイオード短絡時の過電流リミッタ機能の追加	ブロッキングダイオードを2直列化の廃止→シングル化することで発熱量を低減
BCR, BDRの同期運転の廃止→EMC試験で問題ないことを確認	小型軽量化
バス部とバッテリー部とのインタフェースのスライスを分けた	バスパールレス化し基板化
6.7Amax充電/スライスから8.9Amax充電/スライスへ変更	1モジュールで175AHバッテリーへの対応が可能とすることでスライス数を削減
8.5A出力定格/モジュールを13.1A出力定格/モジュールへ変更	1モジュール当りの電流容量を増やすことでスライス数を削減

をモジュール化し, 必要に応じて増減させることで幅広いミッション要求に対応可能

(3) 機能統合

従来, 独立コンポーネントとして太陽電池の余剰電力制御を行っていたシャント装置(SSU)をPCUと一体化したことで, システムハーネスの軽減, 電力ロスの低減, 試験の効率化, 工期短縮を実現

(4) 運用性の向上

従来, 電源系で行っていたバッテリー管理機能, ヒーター制御機能はハードウェアによる固定運用であったが, 先に述べたSCS系との連係動作によって, 任意の指令値がソフトウェアによって選択できるフレキシブルな運用が可能

2.3.2 軽量化電源機器の開発対象の選定

DS2000電源系機器からの小型軽量化開発に当たっては, 軽量化の効果と実現性を考慮し開発機器の選定を行った。表2にバッテリー(BAT)を除く従来型の10kW級MELCO商用衛星での電源系機器の質量内訳を示す。PCUが最も占有率が高く, PDCUとの合計で全体の約90%を占めており, この2品種を軽量化することで大きな成果が得られるとの分析から, 開発対象機器をPCU及びPDCUに絞り込み, 開発リソースを集中させることで効率的な開発を行う方針とした。

2.3.3 軽量化実現のために採用した新技術と工夫

質量削減のために採用した新技術ならびに取り入れた工夫の一例をそれぞれ表3及び表4に示す。

表5. PCUの開発仕様

	6.5kW級(基本)	12kW級(拡張)
バス電圧	100±3V	100±3V
バス制御方式	安定化バス	安定化バス
シャント段数	16	20
シャント電流/段	5.28A/段	5.28A/段
シャント電力@100V	8.5kW最大	10.6kW最大
充電制御方式	CC-CV	CC-CV
充電電流(フル)	5.2A	8.9A
BAT I/F	LIB対応	LIB対応
寸法(max)	380×355×240(mm)	380×435×240(mm)
質量(max)	24.2kg	29.7kg

表6. PDCU1の開発仕様

	6.5kW級(基本)	12kW級(拡張)
供給電力(100V系)	4 kW	7 kW
供給電力(34V系)	670W	670W
供給電圧(100V系)	96.0~103.0V	96.0~103.0V
供給電圧(34V系)	34.0±1.0V	34.0±1.0V
電力分配(100V系負荷)	40ch	80ch
電力分配(34V系負荷)	20ch	20ch
電力分配(100V系ヒーター)	36ch	36ch
電力分配(34V系ヒーター)	98ch	98ch
推進系圧力センサ	6 ch	6 ch
寸法(max)	355×305×215(mm)	355×335×215(mm)
質量(max)	14.5kg	15.5kg

2.3.4 開発仕様の設定及び検証方法

PCU及びPDCUの開発に当たっては, 最もニーズが多い6.5kW級の電源系の構築を基本とし, 同時にハンドリング電力が約2倍の12kW級にも対応可能な設計としている。

表5にPCUの開発仕様, 表6にPDCU1の開発仕様について, それぞれ基本ケース/拡張ケースを対比する形で示す。

また, 検証試験については, 開発費用と開発期間を考慮し, PCU及びPDCUの6.5kW級の基本ケースについてエンジニアリングモデル(EM)を一式について製造・試験を行い, 拡張ケースについては, 基本ケースで取得された結果をもとに解析・評価を実施する方針とした。なお, 拡張性検証のため, 機械環境試験時はダミーを付加して試験を実施した。

2.3.5 電源系機器の開発成果

EMによる開発試験の結果, 表5及び表6に示す6.5kW級(基本)に示す要求仕様について, すべて満足する良好な結果が得られ, 質量についてもPCUは21.0kg(仕様は24.2kg以下), PCU1は13.2kg(仕様は14.5kg以下)となり, 要求仕様を満足する結果が得られた。また, 軽減効果を評価するため, 6.5kW級(基本)の開発成果から12kW級(拡張)の質量を予測した結果, 73kg(PCU(2台):51.0kg, PDCU1:14.0kg, PDCU2:8.0kg)となり, 従来の138.5kg(表2)に比べて, おおむね半減(従来比:約52.7%)が達成できる見通しを得た。

3. む す び

JAXAが実施した“次期高性能静止衛星システムの研究”の中で三菱電機が開発を担当した衛星制御系搭載機器と電源系搭載機器の開発成果について述べた。いずれの機器も従来に比して大幅な小型軽量化を達成しており, 今後の静止衛星DS2000の競争力強化につながるものと考えている。これらの機器については今後の商用衛星へ搭載していく計画である。