

4Z-1

地球資源衛星1号搭載ソフトウェア検証システムの開発

宇宙開発事業団 鈴木 孝 中島明彦
三菱電機(株) 上杉利明 浅見令美 佐藤正則

1. 搭載ソフトウェア概要

平成4年1~2月期にH-Iロケットで打ち上げ予定の地球資源衛星1号(ERS-1: Earth Resources Satellite-1)はデジタル型の高精度三軸姿勢軌道制御方式を適用した地球観測衛星である。図-1にその外観を示す。

本衛星のサブシステムの一つである姿勢軌道制御系(AOCS: Altitude and Orbit Control Subsystem)は、デジタル計算機を内蔵した姿勢軌道制御電子回路を中心に構成されている。

デジタル計算機はビットスライス型LSI(AMD2901)を用いたマイクロプログラム方式16ビット計算機であり、ハードウェアとファームウェア共に宇宙環境下での放射線による障害の対策を施したカスタマイズの衛星搭載計算機である。図-2にその外観を示す。諸元は、0.1MIPS、固定小数点演算、命令数74、ROM16KW、RAM2KWである。

搭載計算機に格納されるソフトウェアは、計算機インタフェースを介して、センサデータを入力し、AOCSの制御アルゴリズムの計算、フェールセーフアルゴリズムの計算等を行い、再び計算機インタフェースを介して、アクチエータデータ及びコンポーネントオンオフデータを出力する。図-3にその機能ブロック図を示す。

軌道上での搭載ソフトウェアのバグが衛星の運用に非常に大きな影響を与えることは明らかであり、このためにもいかに搭載ソフトウェアを設計製造段階で検証し、その品質を保証するかが大きな課題となっている。

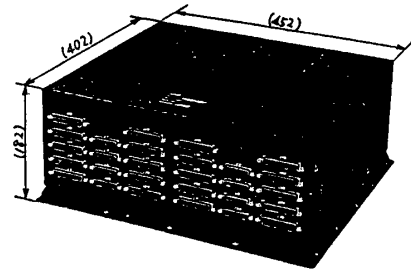


図-2 姿勢軌道制御電子回路外観

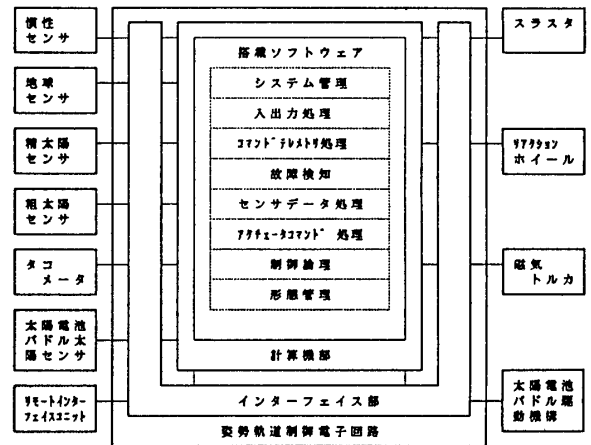


図-3 AOCS機能ブロック図

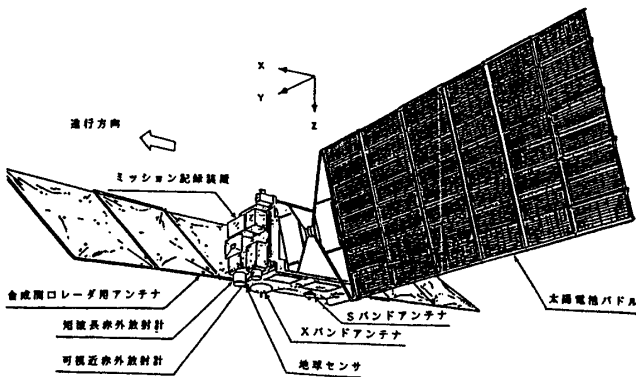


図-1 ERS-1外観

2. 搭載ソフトウェアの検証方法

(1) 検証方法の比較

設計段階での搭載ソフトウェアの検証の目的は誤りの早期発見と品質の作り込みであり、その方法は各設計段階でのレビュー等がある。

次に製造段階での搭載ソフトウェアの検証の目的は要求機能の動作確認であり、その方法は大別して二つある。搭載計算機(ターゲットマシン)を用いてソフトウェアの検証を行う実機デバッグ方式と、開発用計算機(ホストマシン)上で搭載計算機の動作を模擬するソフトウェアシミュレータを用いて検証を行うシミュレータデバッグ方式である。前者は搭載計算機をそのまま用いることから処理速度及びI/Oタイミング等の検証が容易なことに利点があるが、搭載計算機が完成しないとソフトウェアの検証が行えないという開発期間の制約が大きなこと、デバッグの作業効率が低いことが欠点である。後者は搭載計算機の開発とソフトウェアの検証がほぼ並行して行えることに利点があるが、シミュレータが搭載用計算機とそその外部機器とのハードウェアインタフェースを完全に模擬しているかの検証が難しいことが欠点である。

(2) ERS-1の検証方法

ERS-1 AOCS 搭載ソフトウェアの開

The development of verification tools for on-board software of ERS-1

Takashi SUZUKI 1, Akihiko NAKAZIMA 1, Toshiaki UESUGI 2, Yoshimi ASAMI 2, Masanori SATO 2

1 National Space Development Agency of Japan, 2 MITSUBISHI Electric Corporation

発においては、シミュレータデバック方式により開発計算機上で十分な搭載ソフトウェアを検証した後、ハードウェアインタフェースの確認のため搭載計算機とのインテグレーションを行う段階的な検証方法を採用した。また、開発用計算機上で、搭載ソフトウェアを動作実行し動的な衛星の姿勢制御シミュレーションを実施するソフトウェア閉ループ試験を行い、制御設計検証用に開発された数学的シミュレーションプログラムの実行結果と比較する方法を採用した。これらの方法を採用した理由は以下のとおりである。

- a. 衛星の打ち上げ後の搭載ソフトウェアの修正が困難なことから、AOC Sとしては搭載ソフトウェアの品質が保証されている必要があると共にAOC S全体の機能及び性能を十分に検証する必要がある。そのためには衛星運用に従った動的なデータによる搭載ソフトウェアの検証が効果的であること。
- b. 開発段階早期で各設計へのフィードバックが可能なこと。
- c. 制御設計検証で使用したプログラムの出力と搭載ソフトウェアの出力を即時比較することによりソフトウェア設計の妥当性が明確になること。

3. 搭載ソフトウェアの検証システムの開発

ERS-1 AOC S 搭載ソフトウェアの開発のために、シミュレータデバックを実施するICS、閉ループシミュレーションを実施するSIPT、及び数学的シミュレーションを実施するSSPにより検証システムを構築した。その検証システム構成図を図-4に示す。以下各プログラムについて述べる。

(1) ICSの開発

ICS (Interpretive Computer Simulator) とは搭載計算機の動作を開発用計算機上 (MELCOM MX3000) で模擬するソフトウェアである。ICSはクロスアセンブラ、クロスリンカとシミュレータデバックで構成される。搭載ソフトウェアの品質向上につながるその特徴を以下に示す。

- a. C言語で記述し、移植性及び命令追加等の拡張性を向上させている。
  - b. AOC Sの開発と運用は長期に渡るため、試験のトレース及び自動化の機能を強化している。
  - c. 固定小数点演算のためのスケールファクタの自動計算とチェック機能を有し、検証効率を向上させている。
  - d. 閉ループシミュレータとリンクするためのプログラム間インタフェース機能も有する。
- また、処理速度性能は搭載計算機処理速度の約60倍である。

(2) SIPTの開発

SIPT (Simulation Program Three Axis Control) とは、センサならびにアクチュエータの動作を模擬し、衛星ダイナミクスの計算と、地球と太陽のエフェリス及びキネマティクスの計算を行う閉ループシミュレータである。本検証システムではICS及びSSPとリンクし、ICS上の搭載ソフトウェア (もしくはSSP) からアクチュエータデータを入力し、上記処理を行った後、センサデータをICS上の搭載ソフトウェア (もしくはSSP) に出力する。

(3) SSPの開発

SSP (Scientific Simula

tion Program) とは、制御設計の検証のために開発した数学モデルである。SSPは搭載ソフトウェアを高位言語で記述したプログラムであり、その機能、モジュール構造及び使用変数は搭載ソフトウェアと同様に作成されている。但し、搭載ソフトウェアはダイナミックレンジ及び分解能に有限語長による制約があるが、SSPはその制約がないところが大きな相違である。本検証システムではSSPの計算結果を搭載ソフトウェアのリファレンスとして使用する。

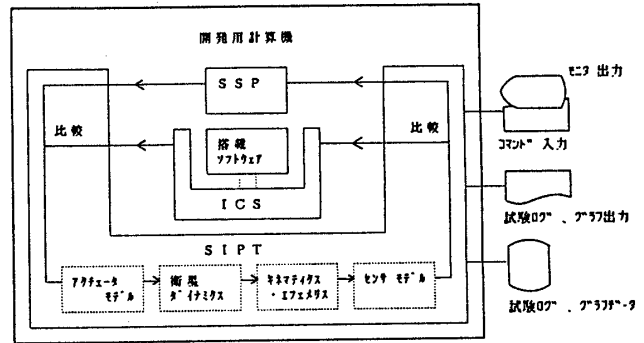


図-4 a 検証システム構成 (搭載計算機完成前)

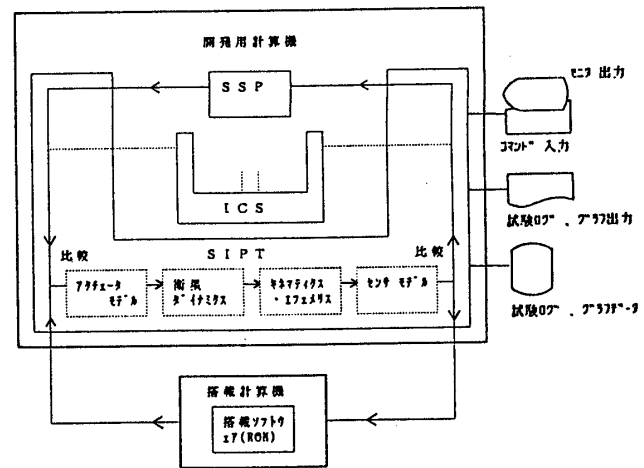


図-4 b 検証システム構成 (搭載計算機完成後)

4. まとめ

現在、ERS-1 AOC S 搭載ソフトウェアの開発はプロトタイプ用のプログラム組合せ試験が終了したところである。今までの検証結果から、本検証システムの評価を以下に述べる。

- a. 本検証システムにより、プログラム単体試験及び閉ループ試験が効率よく行われ、開発期間の短縮に大きな効果があった。
- b. 本検証システムより、搭載計算機完成前の搭載ソフトウェアの検証が単にプログラム動作の検証だけでなく、動的なソフトウェア閉ループ試験による検証も可能となり、ソフトウェアに要求された機能及びサブシステムの性能をすべて確認できた。
- c. SSPにより取得したリファレンスデータと搭載ソフトウェア試験結果の比較により搭載ソフトウェア設計の妥当性が早期に確認でき、また、信頼性の向上に大きく寄与した。