

ロケット用誘導制御計算機の変遷と展望

林 伸善

要 旨

日本の国産主力ロケットであるH-IIA/H-IIBロケットは、通算20機の打ち上げを行って連続14機の成功を重ね、国際的な信頼を勝ち取り競争力を高めつつあります。

このようななかで、NECが担当している誘導制御計算機（GCC：Guidance Control Computer）は、部品製造中止に伴う宇宙航空研究開発機構（JAXA）殿による再開発の一環で、新GCCの開発を実施しています。新GCCでは新しいMPUを採用し、より高速高性能で小型軽量化を図っています。

本稿では、これまでのロケット搭載計算機の開発経緯を紹介し、この新GCCの特徴と機能性能、及び今後のロケット用搭載計算機システムの取り組みについて述べます。

キーワード

- 誘導制御計算機（GCC）
- ロケット共通MPUボード
- HR5000
- 慣性誘導計算機（IGC）
- 搭載ソフトウェア（OBS）
- TOPPERS/HRP

1. はじめに

ロケット搭載誘導制御計算機は、ロケットが自律して機体の制御を行うための頭脳の役割を果たす機器です。機体状態を示す各センサのデータを取り込み、誘導制御計算機内の搭載ソフトウェア（OBS：On-Board Software）により、ロケットの航法・誘導・制御計算を行います。その結果を個々の制御機器を通じ機体に伝達することで、ロケットを予定の経路上に飛行させ、衛星などのペイロードを目標軌道へ正確に投入します。ロケット搭載誘導制御計算機は、「ロケット打ち上げ時の振動、衝撃、温度環境、及び宇宙空間での放射線環境においても誤動作することなくノンストップで確実に機能し続ける」というクリティカルミッションが要求されます。

NECでは、新しいMPUを採用したH-IIA/H-IIB用次期誘導制御計算機（新GCC）を開発中であり、上記の高信頼性を維持したうえで、より高速、小型・軽量化を図り、更に汎用のPCI規格に準拠したモジュール構造を採用し、将来の機能追加、冗長化などのためにモジュール追加に柔軟に対応できる方式としています。特に新しいMPUボードは、今後のすべてのロケットに使用するロケット共通MPUボードとしてNECが開発を進めており、誘導制御計算機だけでなく、慣性センサなどの他の機器や、JAXA殿が開発中の新しい固体ロケット、イブ

シロンロケットリ用としても採用するために、より厳しい環境条件での開発試験を実施しています。

2. ロケット搭載 誘導制御計算機の開発経緯

2.1 誘導制御計算機の役割

H-IIAロケットは、地上からの誘導制御コマンドを受けずに自律飛行を行います。つまり、ロケットに搭載されている電子機器とソフトウェアにより、自らの位置・加速度と姿勢を感知し、予定された飛行経路を正しく進むように自動修正を行いながら飛行します。

図1にH-IIAに搭載されているアビオニクス系の構成を示します。GCCはこの中心に位置し、ロケットの姿勢基準のジャイロと加速度計を持つ慣性センサユニット（IMU：Inertial Measurement Unit）からの情報を基に、搭載ソフトウェア（OBS）により、位置や速度、姿勢を計算し、誘導制御アルゴリズムに従ってエンジン系やガスジェットへ必要な制御コマンドを送出したり、ロケット分離などのイベントコマンド出力を実施します。また、地上モニタ用のテレメータデータの編集、符号化出力も行います。

図1に示したように、GCCは、ロケット機体の1段、2段に各

2.2 ロケット搭載計算機の変遷と機能性能

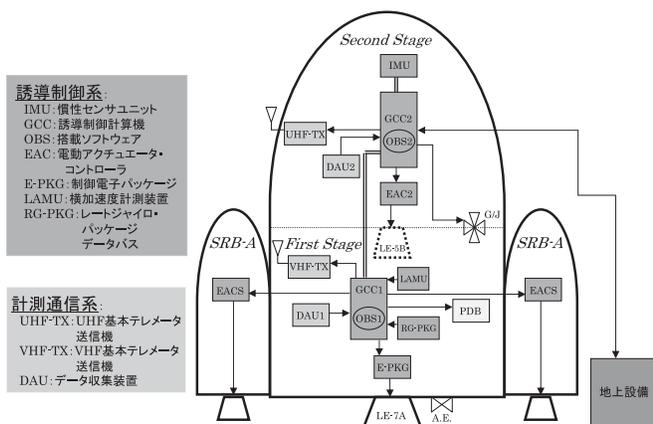


図1 H-IIAロケットのアビオニクス系構成

1台ずつ搭載されており、2段目に搭載されているGCC2が主導権を取りながら、各GCCが、それぞれ各段の制御を分担して実施します。GCC間がデータベースで接続されているのが、H-IIAロケットの誘導制御システムの大きな特徴です。これにより、ロケットの制御能力の向上、ロケット組立整備点検作業の効率化、段間をまたがる信号が削減されることによるロケット全体の信頼性の向上を実現しています。

日本の実用衛星打ち上げロケットの歴史はNロケットより始まりますが、Nロケットの大部分は米国からの技術導入により製作され、搭載計算機においても、米国製の完全なブラックボックスとして運用されていました。

日本技術者の悲願であった実用衛星打ち上げロケットの国産化開発は、Nロケットで培ったロケット運用技術を基に1970年代に開始され、最初のH-Iロケットの開発を経て、H-IIロケットで100%の国産化を達成しました。そして、H-IIAロケットで更なる高機能化と低コスト化を実現しました。

そのなかで搭載計算機も、1977年以降H-Iロケットへの搭載を目指し、初の国産化への挑戦が開始されました。こうしてNECは、わが国最初のNロケットから現在にいたるまで、すべてのロケット搭載計算機を担当してきました。

H-I、H-IIから、H-IIA用の搭載計算機の機能性能概要を表2に示します。

現GCC（現行H-IIA/H-II B搭載用誘導制御計算機）は、H-IやH-IIのIGCと比べ、大幅な機能増加と性能向上を図っており、多種類のインタフェース機能の追加と自己診断機能の充実が特徴です。演算機能部には、マイクロプロセッサとして

表 各ロケット用搭載計算機の機能性能

項目	H-I 用IGC	H-II 用IGC	H-II A/B用 現GCC	H-II A/B用 新GCC
主要機能	・演算機能 ・デジタル装置間 インタフェース機能	・演算機能 ・デジタル装置間 インタフェース機能	・演算機能 ・デジタル装置間 インタフェース機能 ・機体インタフェース機能 ・計測通信制御機能	・演算機能 ・デジタル装置間 インタフェース機能 ・機体インタフェース機能 ・計測通信制御機能
マイクロプロセッサ	ビットスライス型 マイクロプロセッサ	ビットスライス型 マイクロプロセッサ	32bitマイクロプロセッサV70	64bitマイクロプロセッサHR5000
語長	16bit	16bit	32bit	64bit
演算速度	0.26MIPS(H-I 使用率計算)	0.34MIPS(H-II 使用率計算)	2MIPS(ドライストーン)	29MIPS(ドライストーン)
演算方式	固定小数点	固定小数点	浮動小数点	浮動小数点
OS	なし	なし	リアルタイムOS(RX616)	リアルタイムOS(TOPPERS/HRP)
記憶容量	RAM:32Kbyte	RAM:64Kbyte	RAM:2Mbyte ROM:128Kbyte	RAM:4Mbyte ROM:2Mbyte
インタフェース機能 (電源インタフェースを除く)	4種(デジタル回路) ・装置間インタフェースのみ	3種(デジタル回路) ・装置間インタフェースのみ	11種(アナログ回路、 ディスクリット回路) ・装置間インタフェース ・機体インタフェース	11種(アナログ回路、 ディスクリット回路) ・装置間インタフェース ・機体インタフェース
寸法	300mm×450mm×180mm	296mm×370mm×205mm	270mm×360mm×220mm	230mm×343mm×273mm
質量	16kg	14kg	21kg	14kg
消費電力(ノミナル)	60W	45W	52W	50W

ロケット用誘導制御計算機の変遷と展望

NEC製32ビットMPUのV70の宇宙仕様品を採用しています。V70は、インテル社製の80386と同世代のMPUです。現GCCは、演算仕様の相違からH-IIのIGCと単純には比較できませんが、約6倍以上の演算性能向上となっています。

現GCCの後継となる新GCCでは、JAXA殿が開発した最新の宇宙用64ビットマイクロプロセッサHR5000を採用し、処理性能は現GCCの更に10倍以上を実現しています。

3. 新GCCの技術的特徴

H-II A/H-II Bロケット用の新GCCでは、外部インタフェース仕様は現GCC仕様を踏襲しますが、以下の新規事項を盛り込んでいます。

- 1) 最新宇宙用MPU（HR5000）を採用したロケット共通MPUボードを開発
- 2) PCI汎用規格に準拠したモジュール構造を採用

3.1 ロケット共通MPUボードの開発

ロケット共通MPUボードの開発は、今後のロケット搭載電子機器の処理部に共通して使えるものを目指し、できるだけ汎用性を持たせた仕様を設定して開発しています。特に、熱機械環境、EMC条件については、より厳しいものを適用しています。

ロケット共通MPUボードの外観を写真1に示します。このボードは、コンパクトPCI（cPCI）の3U規格に準拠したサイズの非常にコンパクトなものとなっており、将来の高信頼化アビオニクスシステムに向けて、このボードを冗長構成にすることによる高信頼化拡張を図ることも想定しています。

3.2 PCI汎用規格に準拠したモジュール構造を採用

新GCCは、ロケットのアビオニクス機器のあるべき姿の第一ステップとして、各種インタフェースの追加変更などシステムの要求変更に対応できるようにするために、バックプレーンをPCI規格に準拠した仕様として、モジュールの追加/変更が可能な構成となっています。各モジュールはバックプレーンに対して、フロント側からモジュールスロットに挿入固定する構造となっています。新GCCの外観を写真2に示します。



写真1 ロケット共通MPUボード（EM）の外観

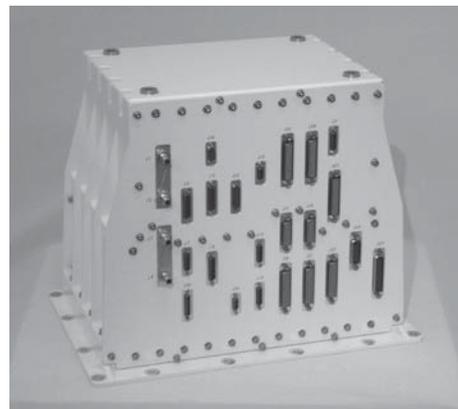


写真2 新GCC（EM）の外観

新GCCでは、テレメータ編集機能、アナログ入出力機能、ディスクリット信号入出力機能、データバスインタフェース機能などの機能モジュールを持っており、これらのモジュールを、システムの要求に対していろいろなバリエーションで組み合わせることにより、H-II A/H-II Bロケットだけではなく、イプシロンロケットなどの他のロケットの要求にも対応できるようになっています。また、今後新規のインタフェース機能要求が出た場合でも、そのモジュール機能部の追加開発で柔軟に対応が可能です。

4. 搭載ソフトウェアについて

GCC搭載ソフトウェアについても、新GCCの開発に伴い、改修開発を実施しています。

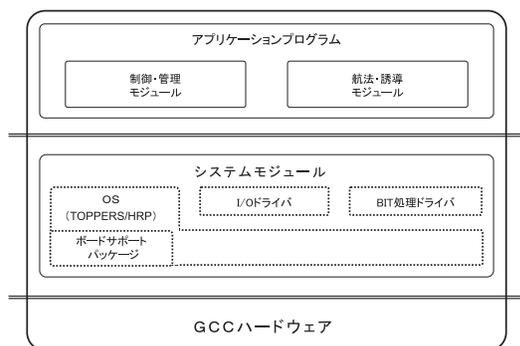


図2 新GCC搭載ソフトウェアの構成

新GCCの搭載ソフトウェアの構成を 図2 に示します。H-II Aの搭載ソフトウェアは、システムモジュール、航法・誘導モジュール、制御・管理モジュールで構成されています。

NECが担当しているシステムモジュールが、GCCハードウェアとアプリケーションプログラムとの仲介の役目を果たし、アプリケーションプログラム側が、GCCハードウェアを直接アクセスする必要がなくなっています。

システムモジュールは、リアルタイムOS、GCCの各インタフェースに対応したI/Oドライバ、及びGCCのハードウェアの故障検知を行うテストプログラム（BIT：Built-In Test program）からなっています。OSには、宇宙用MPUのHR5000に対応してJAXA殿が開発した μ ITRON仕様の高信頼リアルタイムOS TOPPERS/HRP（High Reliable Profile）を採用しています。

搭載ソフトウェアの検証は、各ソフトウェア機能の単体検証、GCCハードウェア上での組み合わせ検証を経て、最終的には、誘導制御系のハードウェア、ソフトウェアをすべて組み合わせた状態でのシステム試験で検証していきます。実際のハードウェアで発生させることができない異常ケースの検証については、ハードウェア部をソフトウェア模擬で実現したフルソフトウェアシミュレーション試験で検証を行います。

NECが担当しているシステムモジュールは今後、更なる高信頼性ロケット用アビオニクスシステムに向けて、冗長管理機能やネットワーク制御機能などを拡張させていくことを計画しています。

5. おわりに

ロケット用搭載計算機のこれまでの変遷と、現在開発中の新GCC、ロケット共通MPUボードについて紹介しました。

新GCCは、2011年度初めまでに開発を完了し、現GCCの後継として使用されます。また、イプシロンロケット用としても、新GCCをベースにしてインタフェース仕様を組み替えた形で使用することが計画されています。また、ロケット共通MPUボードは、GCCだけでなく、IMUにも組み込まれます。

今後、日本では、より信頼性を上げた次期基幹ロケットの開発が検討されています。

NECは今後、これまでのロケット搭載機器開発の経験ノウハウを生かし、ロケット共通MPUボードと新GCCの開発成果をベースとして、次期基幹ロケットへの高信頼アビオニクスシステム実現に向けて、新規技術開発を継続していく所存です。

* TRONは、「The Real-time Operating system Nucleus」の略称です。

* ITRONは、「Industrial TRON」の略称です。

参考文献

- 1) 井上ほか、「イプシロンロケットのアビオニクス」第54回 宇宙科学技術連合講演会
- 2) 鈴木ほか、「H-II Aロケット用誘導制御計算機について」情報処理 43巻3号 2002年3月

執筆者プロフィール

林 伸善
航空宇宙・防衛事業本部
誘導光電事業部
マネージャー

NEC 技報のご案内

NEC 技報の論文をご覧くださいありがとうございます。
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご覧ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報(日本語)

NEC Technical Journal(英語)

Vol.64 No.1 宇宙特集

特別寄稿：宇宙ソリューションで社会に貢献する時代へ
宇宙特集によせて
宇宙事業ビジョンとロードマップ
NECのグローバルな宇宙ソリューション事業への取り組み

◆ 特集論文

ロードマップ実現に向けた取り組み

宇宙技術とIT・ネットワーク技術の融合
宇宙分野におけるグローバル市場への参入戦略
「宇宙利用」のためのサービス事業の推進
先進的宇宙システム「ASNARO」の開発

ロードマップの実現を支える技術と製品(人工衛星/宇宙ステーション)

国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう(JEM)」の開発
金星探査機「あかつき」の開発
小型ソーラー電力セイル「IKAROS」の開発
月周回衛星「かぐや」の開発
地球観測衛星(陸域観測技術衛星)「だいち」の開発
超高速インターネット衛星「きずな」の開発
総合宇宙利用システムの普及を促進する小型SAR衛星技術

ロードマップの実現を支える技術と製品(衛星地上システム)

衛星運用を支える地上システム
衛星データの利用を促進する画像処理システム

ロードマップの実現を支える技術と製品(衛星バス)

リモートセンシング事業を迅速に立ち上げる標準プラットフォーム「NEXTAR」
衛星機器を構成する標準コンポーネント

ロードマップの実現を支える技術と製品(通信)

衛星通信を支える通信技術
世界で活躍する衛星搭載用中継機器

ロードマップの実現を支える技術と製品(観測センサと応用技術)

観測衛星「いぶき」を支えた光学センサ技術と展望
全地球上の雨と雲を観測する電波センサ技術
リモートセンシングデータの向上を実現するSAR画像処理技術
衛星画像を活用した産業廃棄物監視システム

ロードマップの実現を支える技術と製品(基盤技術)

宇宙技術を支える基盤技術や開発プロセス
月惑星探査を支える軌道計画と要素技術
宇宙用耐放射線性POL DC/DCコンバータの開発
宇宙開発向けプリント配線板の認定状況と今後の展開

ロードマップの実現を支える技術と製品(誘導制御計算機)

ロケット用誘導制御計算機の変遷と展望

小惑星探査機「はやぶさ」

小惑星探査機「はやぶさ」の開発と成果

◆ NEC Information

NEWS

NEC C&C財団25周年記念賞表彰式開催



Vol.64 No.1
(2011年3月)

特集TOP