

小規模飛翔体搭載用ネットワーク型通信システムの実証実験

坂井智彦, 関妙子, 羽生宏人 (宇宙航空研究開発機構)

1. はじめに

本研究では, Ethernet & IP ベースの通信を用い, 搭載内のデータベース, 搭載と地上間との通信, 地上システムにおける区別のない統一したネットワークの構築に取り組んでいる. Ethernet が地上 LAN におけるデファクトスタンダードになり, その流れを受け自動車, 航空機, ロケットの各分野においても Ethernet の採用が進んでいる. また一方で, 最近 Raspberry Pi や Beagle Bone に代表される低価格な ARM 基盤の普及が著しい. これらはフル規格の Linux を搭載し, Ethernet ポートを備えている. 他にも多数の I/O ポートを持っており, 早晚マイコンにとって代わり組み込みシステムの定番になると思われる. このような環境の中, まず小規模実験を対象とし, いち早く Ethernet & IP ベースの通信網を構築することを目的とする.

2. 目的・課題

搭載内, 搭載-地上間, 地上における統一したネットワークを構築するためには, IP ベースのネットワークがもっとも適している. 部品の選択肢も多く, これらの COTS 技術を活用し強化することで統合を進める. ロケットの通信システムに適用する場合, 大きく 3 つの課題がある. 1 つ目が現在の通信形式が, 固有の固定長フォーマットのため IP プロトコルに対応していない点である. そのため IP ベースの通信機を新たに開発する. 2 つ目が地上系も合わせて対応する必要があるが, 地上系を刷新するのは負荷が大きい. そのため地上局が不要な衛星回線を併用する. 3 つ目が搭載内で使用するためには, 通信遅延, 同期, 故障からの復帰などの対策が必要となる. 組み込み用の専用プロトコルと, 通信全体を統一するための汎用プロトコルとの両立が必要となる. また Ethernet を用いることで, ロケットの高度化を進めやすい環境を整える. なおロケットの通信インフラはこれまで大規模プロジェクトを対象に整備が進められてきたこともあり, 本取組ではまず小規模・インハウス実験を中心に整備を始める. 表 1 に本取組のターゲットを示す. 最終的に大規模なミッションから小規模なミッションまで幅広くカバーできる通信環境を構築することを目的とする.

表 1. 本開発のターゲット

	地上局との通信	衛星回線	データベース
大規模ミッション	コマンド受信機 テレメータ送信機 レーダトランスポンダ	(インマルサット)	MIL-1553B (Ethernet(専用))
小規模ミッション	S 帯小型双方向通信機	イリジウム	Ethernet(汎用)

3. S 帯小型双方向通信機

JAXA の大型ロケットでは, 飛行安全に関わる搭載装置は独立かつ冗長に配置する必要がある. そのためコマンド受信機, テレメトリ送信機, レーダトランスポンダと機能ごとに分かれて搭載する. 現在ロケットの自律化を図り, レーダトランスポンダを無くす方向で進めているが, コマンド受信機は欠かせない. 搭載容量の限られた小規模なミッションでは, これらコマンド, テレメトリ, レンズ機能を通信用モデムとして一つにまとめる. コマンド, テレメトリは IP ベースの双方向通信とし, 合わせて通信コードを用いて高精度の測距を行う. 地上側も対抗する通信用モデムのみコンパクトなシステムとなる. その他, 誤り訂正・再送機能の強化を行う. 以下に主要諸元を示す.

S 帯小型双方向通信機主要諸元

- ・周波数: S-Up/S-Down
- ・送信電力: 2W
- ・変調方式: MSK
- ・通信方式: 全二重
- ・通信速度: 2Mbps, 100kbps
- ・誤り訂正: ビタビ+リードソロモン, 再送機能
- ・ユーザ I/F: TCP/IP, UDP/IP, Serial
- ・測距: 同期コード誤差+シンボル同期位相
- ・サイズ: 110×80×70mm
- ・消費電力: 10W 以下

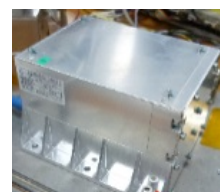


図 1. S 帯小型双方向通信機(イメージ)

4. イリジウム衛星通信

地上局が不要な通信方式として衛星回線を使用する。近年、航空機・衛星に搭載用の装置が発売され始めており、一例として衛星との TT&C 用にインマルサット衛星を用いた SB-SAT(Swift-Broadband for Satellites)が挙げられる。ALSET 空中発射システムでは、これを改良しロケットに搭載することを検討している¹⁾。一方小規模なミッションでは、コンパクトな通信モジュールを用いたイリジウム衛星通信が適している。ISAS では過去観測ロケット・気球実験で搭載した実績がある。両装置ともオプションとして GPS 受信機を搭載することが可能で、装置単体でテレメトリ・コマンド・位置情報の取得機能を満たす。イリジウム通信機能の強化として以下の項目について取り組む。

・遅延時間の改善

イリジウム通信モジュールを用いた際の課題の一つとして、通信遅延が大きくまたばらつきが大きいことである。SBD 通信を用いたこれまでの実験では、平均して 10 秒弱要している²⁾。原因の一つとしてインターネットを経由するためであり、これをモジュール間の直接通信に替えることで遅延の軽減を行う。

・コマンド受信対応

現行の 9602 モジュールからより小型の後継の 9603 モジュールを使用する。これを 1 枚のボード上に 3 台搭載することでロバスト性を確保する。

・ユーザインターフェース

LAN コントローラを取付け、TCP/IP(UDP/IP)と Serial 通信両方対応とする。

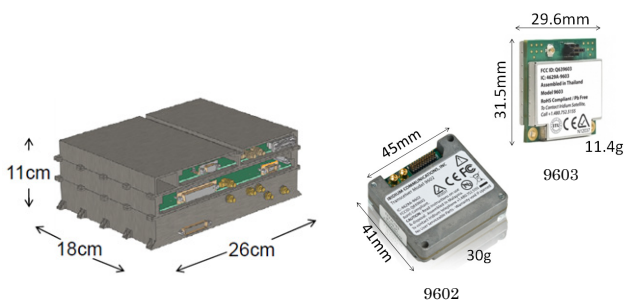


図 2. SB-SAT 通信端末(左)並びにイリジウム通信モジュール(右)

5. Ethernet バスの評価

ロケット分野における Ethernet バスは、Falcon ロケットで既に使われており、Orion ロケットや JAXA 輸送本部で専用のプロトコルを用いた方式を検討中である。また航空機アビオニクスでは、多数の

Ethernet ポートを持った OBC(On Board Computer)が存在する(図 3)。ただしこれらはいずれも海外製である。本取組みでは、専用のプロトコル、専用のアプリケーションを使わずに、小規模ミッションに適した汎用装置を整備する。TCP/IP とソフトウェアを用いたミッション系(情報系)と、UDP/IP とハードウェアで構成したバス系(制御系)に分ける。ミッション系には OS を搭載し、地上と搭載とをまたがる大規模なネットワークとし、さらに上位のさまざまなアプリケーションが使用できるようにする。一方でバス系はハードで構成し遅延を抑制する。Ethernet コントローラは FPGA の容量を圧迫するため、外付の TCP/UDP のプロトコルスタックを内蔵した LAN コントローラを使用する。ネットワークは最低限の構成に限定する。バス機器は毎回固定なため、統廃合を進めてコンポーネント数を削減し、I/F ポイントを極力減らす方向である。

Linux を搭載した ARM ボードと L2SW を用いてソフトウェアルータを構築し、遅延時間の評価を行っている。許容される遅延時間は、ロケットの標準的な制御タスクである 100Hz(10msec)を考慮し、End-to-End で 3msec 以内である。優先制御(QoS)を実装して遅延時間を保証し、画像等の大容量のデータとの共存を図る。遅延時間の評価後は、通信機との I/F、異常装置の検出、冗長管理などの機能の実装を進める。ハード面では、複数の Ethernet ポートを備えた OBC を製作し、ルータ機能のみでなく高度なヘルスマネジメント機能が実装可能なコンピュータとし、ロケットの自律化に向けた基盤を整備していく。

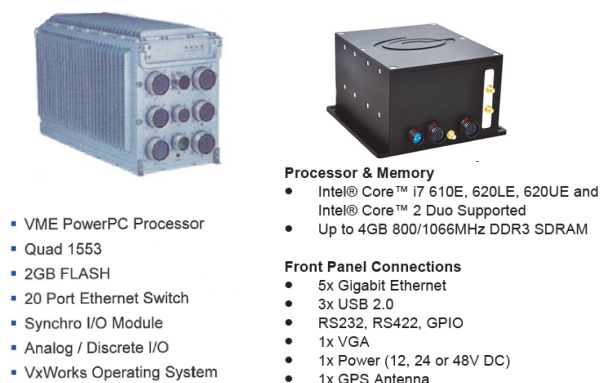


図 3. 複数の Ethernet ポートを持った航空機アビオニクス例

6. 実証実験計画

気球実験を用いて上記の 3 つの装置の機能確認を行う。図 4 に示すシンプルな組込みシステムを作り、ゴンドラに搭載して以下の評価を行う。

- ・ SSH を用いた機器の制御
- ・ FTP を用いたデータの取得
- ・ GPS との比較による測距機能の評価
- ・ HTTP を用いた Web 上での機器の ON/OFF
- ・ PING によるデータ遅延時間の計測など

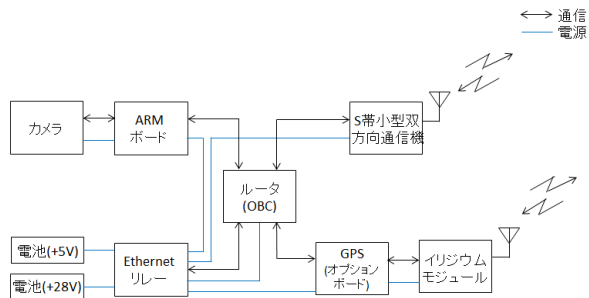


図 4. 実証実験システムブロック図

7. おわりに

Ethernet & IP をベースとした通信ネットワークの整備を始めた。地上局との通信には、テレメトリ・コマンド・レンジング機能を一つにした S 帯小型双方向通信機を、衛星回線通信には、イリジウム衛星を用い性能の向上に取り組んでいる。またアビオニクスデータベースに Ethernet を用いた評価を進めている。S 帯小型双方向通信機は、株式会社アドニクスの小島要さんと検討を重ね、イリジウム通信については、ISAS の山田和彦さん、永田靖典さんのアドバイスのもと作業を進めている。Ethernet の評価については、日本シー・エー・ディ株式会社の東山裕徳さん、種田元樹さんとの共同研究の形で取り組んでいる。上記の方々にこの場を借りて感謝すると共に、これからも協力をお願いしたい。

通信という土台を整備することで、今後ロケットの自律化・ヘルスマネジメントなどの高度な機能の実装に繋がっていく。いち早く通信網の整備を行い、今後の多様なミッションに貢献できる基礎を構築する。

参考文献

- 1) 財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構, "平成 23 年度産業技術研究開発(空中発射システムの研究開発)成果報告書", 2012.3

- 2) 永田靖典, 山田和彦, 鈴木宏二郎, 安部隆士, "観測ロケットによるイリジウム SBD 通信を用いたテレメータ・コマンドシステムの実証実験", 宇宙航行の力学シンポジウム, 2012.12