

第一章 序論

1.1 はじめに

過去、人工衛星の開発は、大型化の流れにあった（図 1.1-1）^[1]。それに伴い衛星 1 機あたりのコスト、開発期間は大きくなり、失敗が許されないため高い信頼性が求められるようになった。2000 年までの顧客のほとんどは国であり、開発はメーカーや少数の研究機関に限られていた。そんな中、2003 年に東京大学と東京工業大学が 10cm サイズの超小型人工衛星を打ち上げ、超小型人工衛星の可能性が注目されるようになった。

現在、世界中の大学や研究機関において超小型人工衛星（～数十 kg 級の衛星）の開発が盛んに行われている。なかでも”Cube Sat”と呼ばれる数 kg 級の衛星は、ピギーバック衛星として打ち上げることを前提としており、打ち上げ費用を非常に安価に抑えることができるため、大学やその他教育機関などで人工衛星の開発・打ち上げに参加することを可能にしている。これまで打ち上げられた Cube Sat は東京大学の XI シリーズ や鹿児島大学の「ハヤト」など日本の大学衛星だけで 10 機を超えている。これらの超小型人工衛星は大型衛星に比べ、コスト、開発期間において優位性をもっており、これからの宇宙利用に対して新たな可能性を秘めている^[2]。

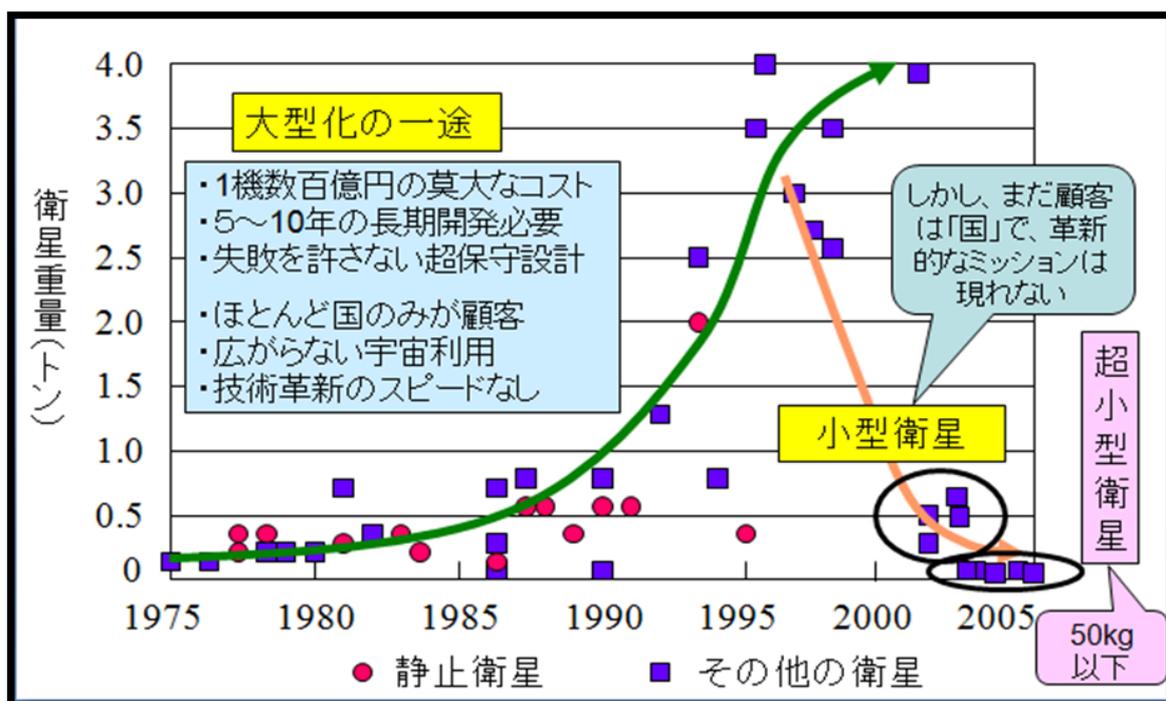


図 1.1-1 人工衛星規模の推移

Fig.1.1-1 Changes in satellite scale

(参考文献 [1] より参照)

1.2 超小型人工衛星の電源システム

人工衛星の電源システムは主に太陽電池、バッテリー、電力制御ユニット（PCU）、電力分配ユニット（PDU）、バッテリー充放電制御回路などから構成される。電源システムの方式は大別するとシャント方式^[3]とシリーズ方式^[4]がある。シャント方式はダイオードのみを介して負荷側に電力を供給するため、効率が良いが専用の充電回路を必要とする。また、衛星バス電圧の安定化のため太陽電池の発電点を固定する必要がある。シリーズ方式は DC/DC コンバータを介して負荷側に電力を供給するため、一般的にシャント方式に比べ効率は悪くなるが、DC/DC コンバータに充電制御、PPT 制御を加えることで、充電回路が不要になり、効率良く発電できる。これまで打ち上げられた衛星はシャント方式がほとんどであるが、小型衛星にはシリーズ方式に PPT 制御を組み合わせた機器が採用された例がある。また、次世代人工衛星用の電力システムとしてシリーズ方式のデジタル電源を用い高速 PPT 制御や電源の分散化などが研究されている^[7]。

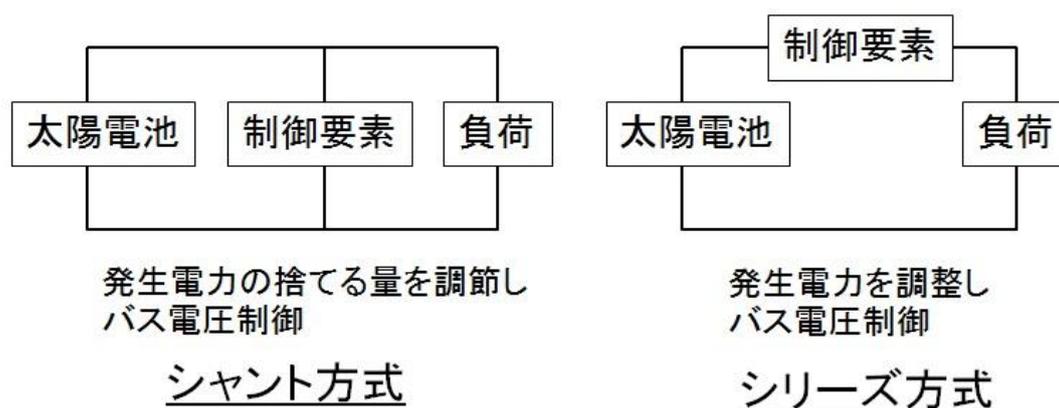


図 1.2-1 シャント方式とシリーズ方式

Fig1.2-1 Shunt system and Series system

超小型人工衛星の電源システムは上記のシステムを簡素化したものが多く用いられている。大型衛星では太陽電池パドルを展開させることで、たくさんの太陽電池を使用することができるが、Cube Sat (10cm×10cm×10cm サイズの衛星) では同様のシステム構成は難しく、衛星本体のパネルに太陽電池を敷き詰める方式が採られている。そのため、搭載できる太陽電池セル数に限りがある。また、衛星のサイズ上、バッテリーや制御回路の搭載スペースも限られてくる。従って Cube Sat の電源システムは高効率化と小型化が課題となっている。

次に、超小型人工衛星の電源システムをレビューする。図 1.2-2 に東京大学の PRISM の電源システムブロック図を示す。図よりシリーズ方式電源をとり PIC を用いて PPT 制御を行い、バッテリー充電は専用 IC で行っていることがわかる。バッテリーはリチウ

ムイオンとリチウムポリマーを搭載している。

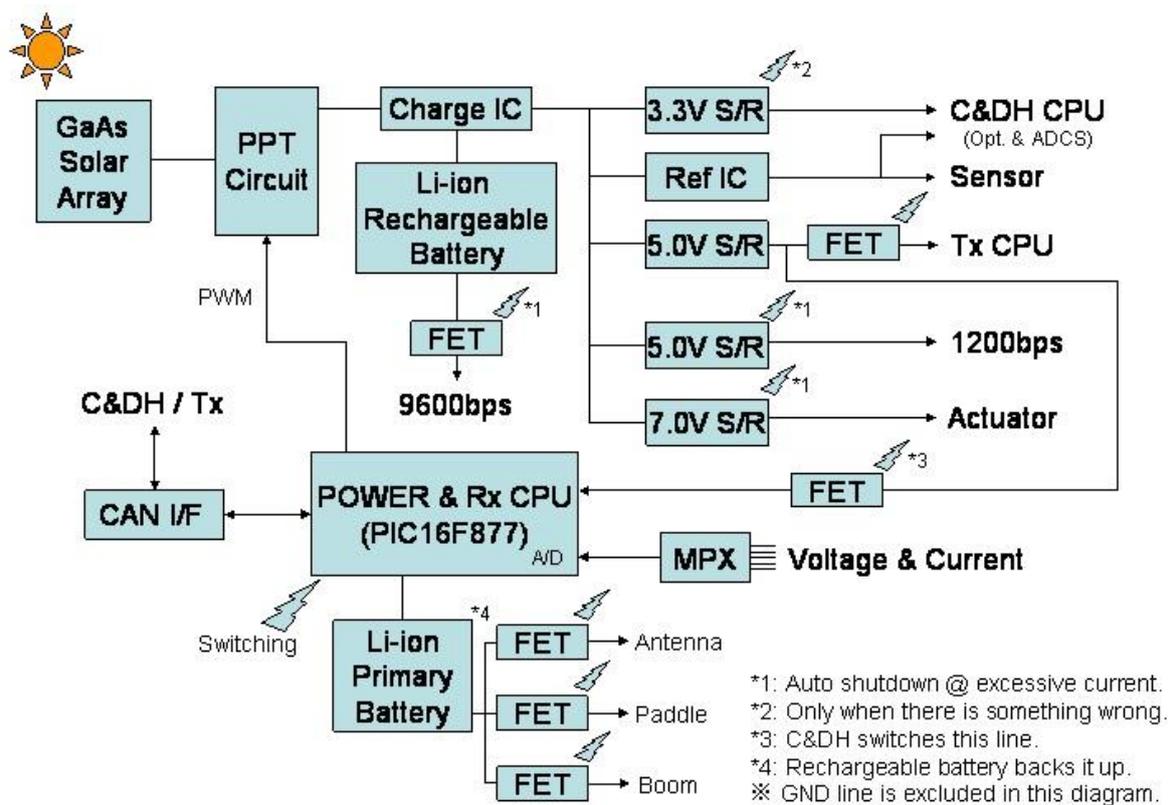


図 1.2-2 “PRISM” 電源システムブロック図

Fig 1.2-2 Block diagram of “PRISM” power supply system
 (参考文献 [7] より)

図 1.2-3 に大阪工業大学のプロイテレスの電源システムブロック図を示す。プロイテレスではシリーズ方式電源に DC/DC コンバータと充電制御 IC を並列に設置している。バッテリーはニッケル水素電池を使用している。

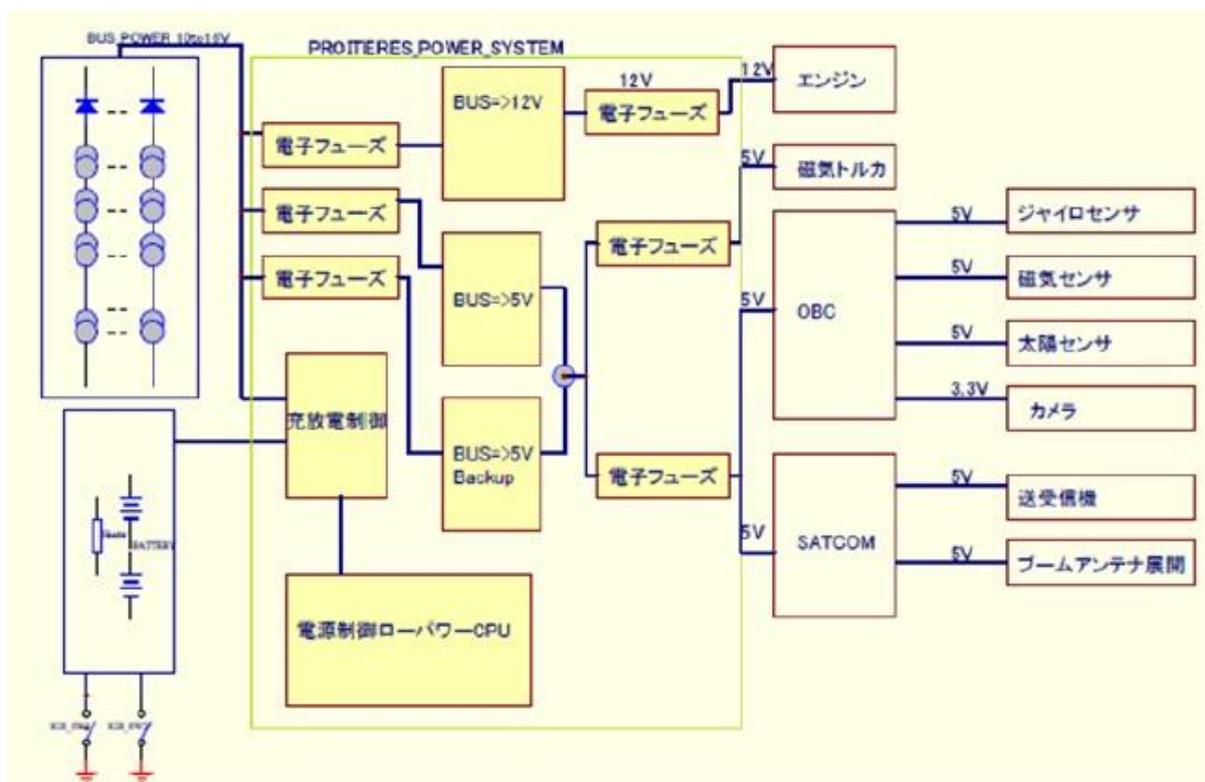


図 1.2-3 “プロイテレス” 電源システムブロック図

Fig 1.2-3 Block diagram of “PROITERES” power supply system

(参考文献 [8] より)

1.3 九州工業大学における衛星開発

九州工業大学における衛星開発プロジェクトが始まったのは 2006 年である。初めて開発した衛星は本校の校章にちなみ「鳳龍」と名付けられた。“鳳龍”（一号機）はバスシステムの検証とカメラ撮影ミッションを目的としていた。インドからの打ち上げを予定していたが打ち上げ延期が続き、鳳龍一号機のフライトモデルが完成したとき、「鳳龍式号機」の JAXA の相乗り衛星への搭載が決定し、開発は鳳龍式号機に移行した。また、本学では衛星開発プロジェクトと同時に CanSat プロジェクトも活動している。CanSat は衛星のバス技術取得を目的としている。

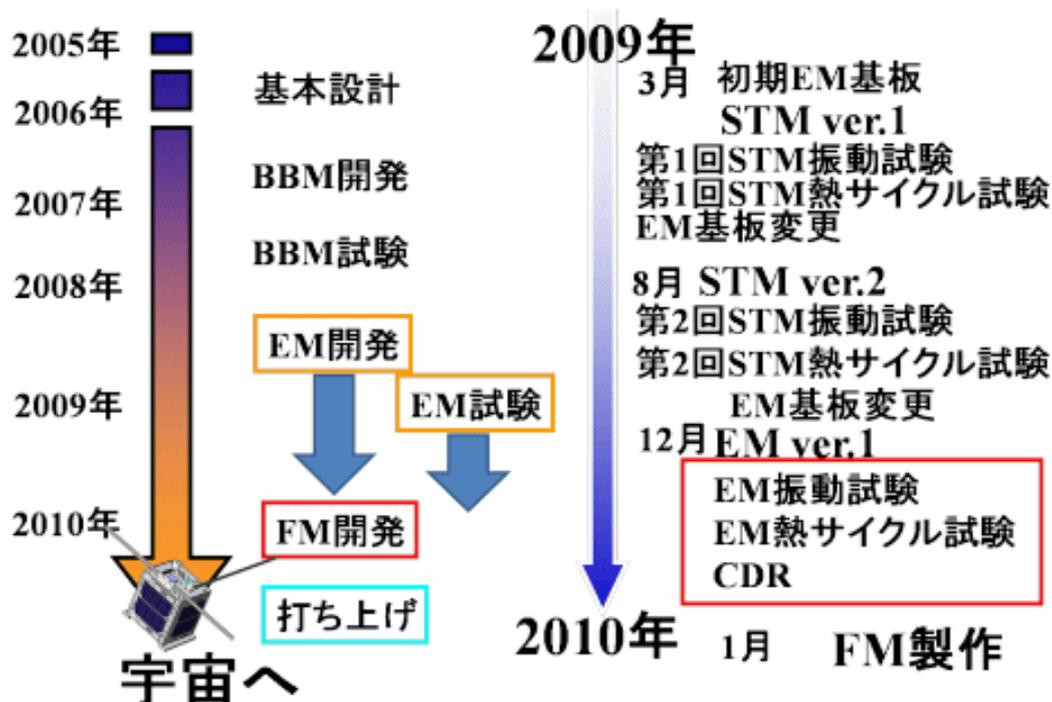


図 1.3-1 “鳳龍（一号機）” 開発の流れ

Fig 1.3-1 Developmental process of “Horyu 1”

鳳龍（一号機）の電源システムを下図に示す。鳳龍（一号機）は非常にシンプルな構成をしており、太陽電池電力が直接負荷に供給され、余った電力がバッテリーに充電される。バッテリーは角型のニッケル水素電池を使用していた。この電源システムの構成をベースとして、機能の追加や修正を行い鳳龍式号機の電源システム開発を行った。

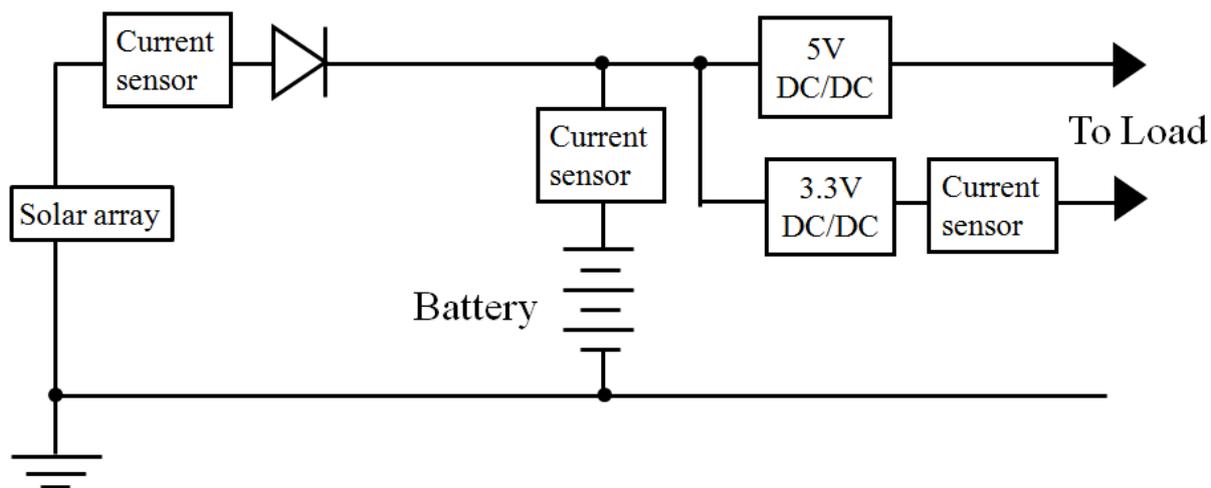


図 1.3-2 “鳳龍（一号機）” 電源システムブロック図
Fig 1.3-2 Block diagram of “Horyu 1” power supply system

1.4 「鳳龍式号機」概要

鳳龍式号機の正式名称は「高電圧技術実証衛星 鳳龍式号機」である（以下鳳龍式号機）。諸元を以下の表に示す。本衛星はバスシステムの実証と 6 つのミッションを行うことを目的としている。300V 発電をメインミッションと位置付け、いくつかの衛星帯電放電技術の実証を行う。また、鳳龍（一号機）で開発したカメラを引き継ぎ、その取得画像を利用し地域貢献事業を行う。JAXA の H2-A ロケットによって相乗り衛星として高度 700km の低地球軌道に打ち上げられる。サクセスクライテリアは次の通りである。

Minimum Success

- ・システム工学教育プログラムとしてのプロジェクト運営
- ・2011 年冬期の H2A 相乗りまでにシステム検証を完了した衛星を開発する

Full Success

- ・衛星バスシステムの軌道上実証
- ・放電を起こさずに定軌道上で 300V 発電を実証

Advanced Success

- ・全ての搭載ミッションの目的達成
- ・カメラ画像を利用した地域貢献

表 1.4-1 鳳龍式号機諸元

Table 1.4-1 Specification of “Horyu 2”

サイズ	350×310×315 mm (X, Y, Z)	
重量	7.1 kg	
運用期間	1 年	
ミッション	発電電圧世界一	低軌道での 300V 発電
	放電抑制の実証	太陽電池のコーティング処理、フィルムによる放電抑制効果の実証
	帯電緩和	電子エミッタフィルムの軌道上実証
	帯電観測	民生用表面電位計の軌道上実証
	デブリ観測	デブリセンサによるデブリ観測
	カメラ撮影	SCAMP による地球画像撮影

図 1.4-1,2 に鳳龍式号機の外観と内観図を示す。衛星外面パネルの約半分はミッション機器が搭載されている。衛星の内部は中央の支柱に各機器の基板が搭載されておりその周りは空洞である。これは、JAXA 相乗り衛星安全要求で 25 年以内に衛星を地球に落とさなければならないためである。軌道寿命は面積重量比に大きく影響するため、軽く、表面積を大きくしている。

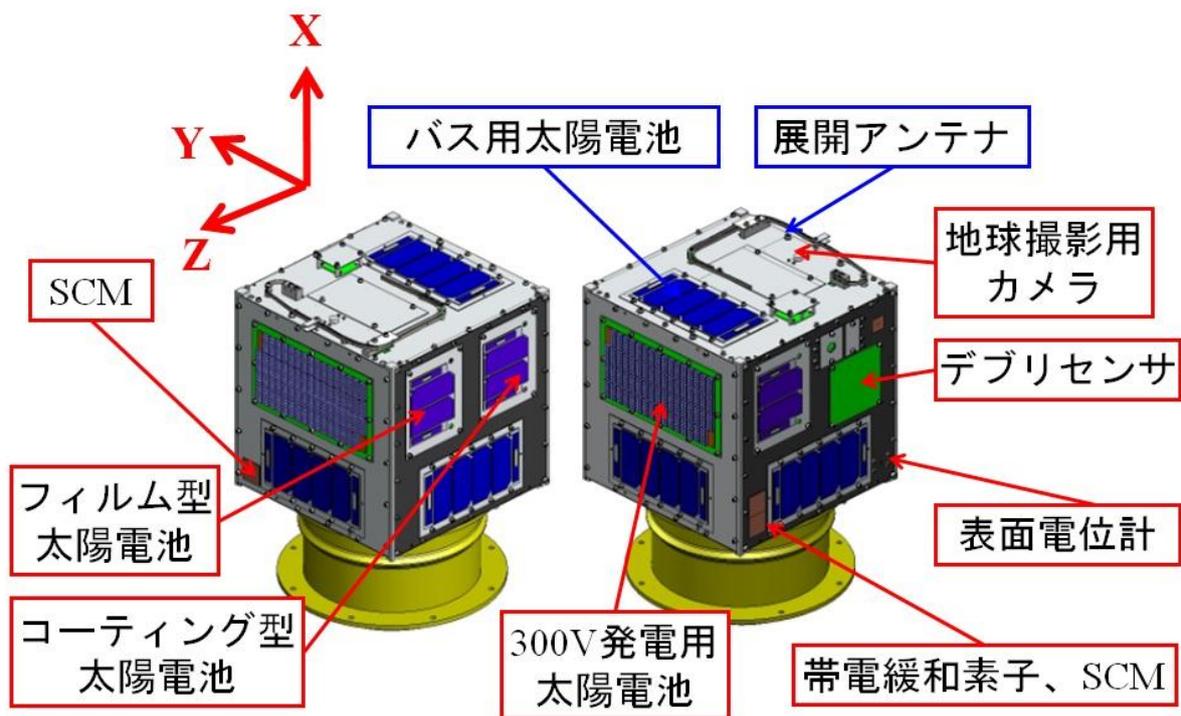


図 1.4-1 “鳳龍式号機” 外観図

Fig 1.4-1 “Horyu 2” overview

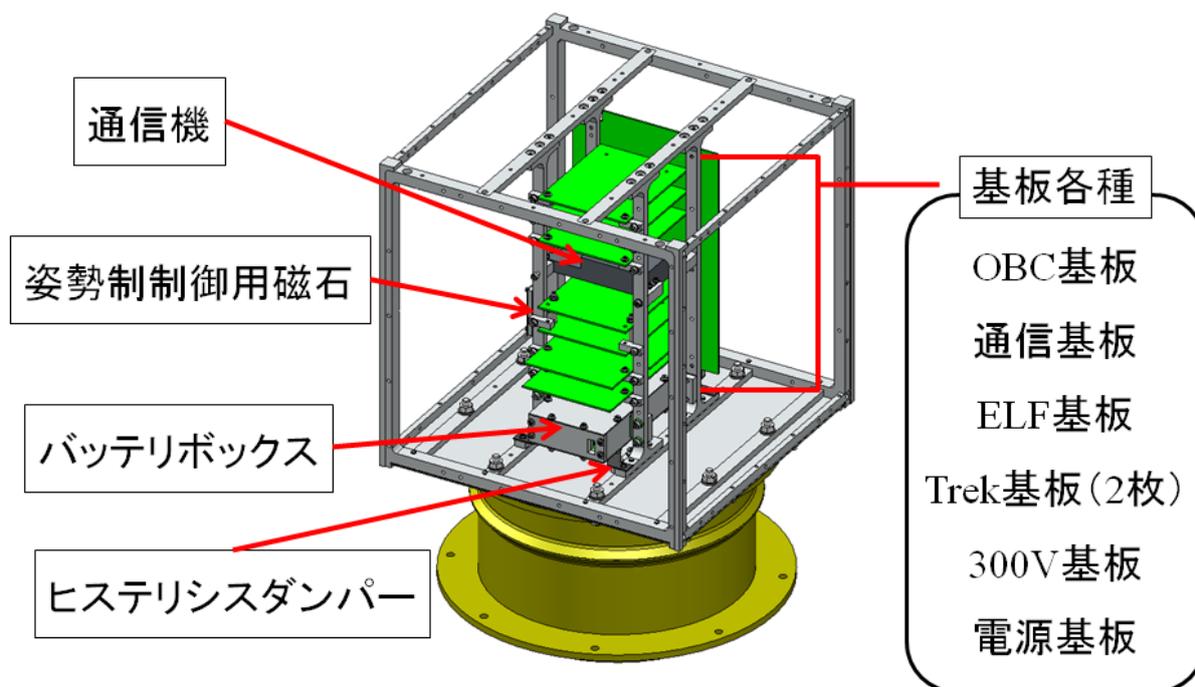


図 1.4-2 “鳳龍式号機” 内観図

Fig 1.4-2 Inside of “Horyu 2”

下図に鳳龍式号機の開発の流れを示す。本衛星は 2010 年 7 月に先行開発（基礎設計）を開始し、ブレッドボードモデル（BBM）、エンジニアリングモデル（EM）、プロトフライトモデル（PFM）、フライトモデルのフェーズを経て開発した。

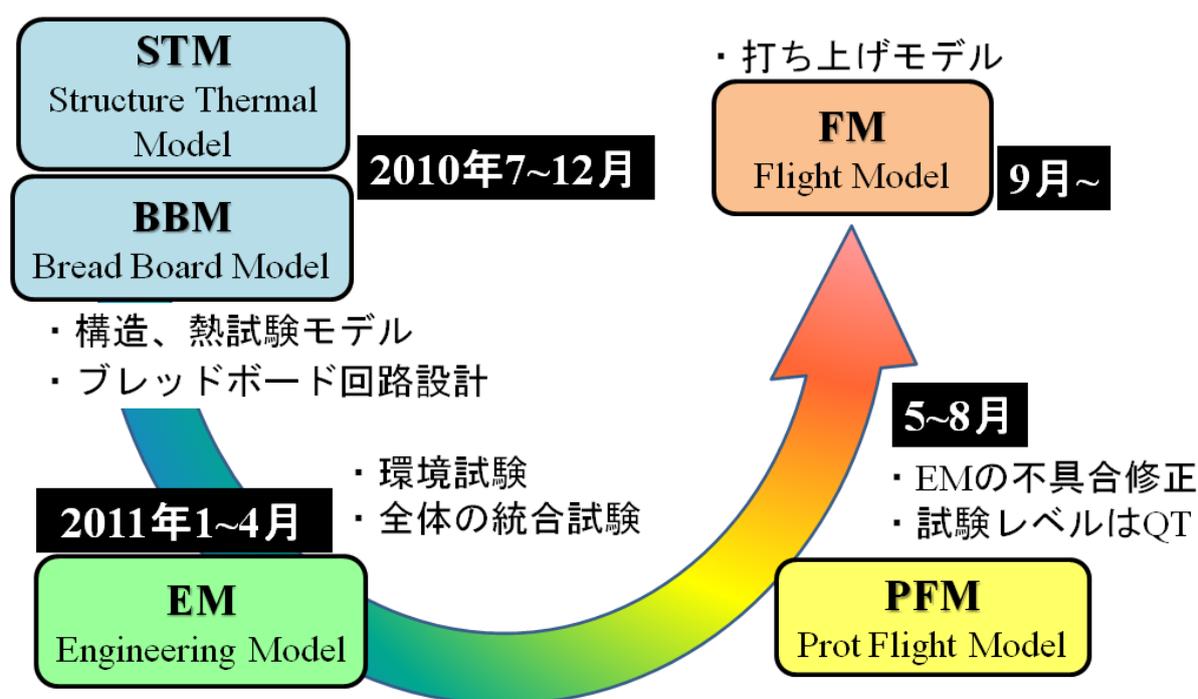


図 1.4-3 開発スケジュール

Fig 1.4-3 Developmental schedule

1.5 研究目的

本研究の目的は鳳龍式号機の電源システムを開発・検証することである。これをブレイクダウンすると以下の 4 つの項目に分けられる。

- ・ 設計要求を満たす電源システムを設計・製作する
- ・ 電源システムの検証（性能、地上での環境試験）
- ・ 衛星の運用（データ取得、システム検証）
- ・ システム工学的設計開発手法の取得

上記の目的を全て満たすよう電源システムの開発・検証を進める。本稿では開発として 2 章に最終設計とコンポーネントの性能・動作結果、3 章にバッテリーの設計・性能について述べる。次に、検証として 4 章に電力収支、5 章に環境試験について述べ、運用については 6 章で述べる。