

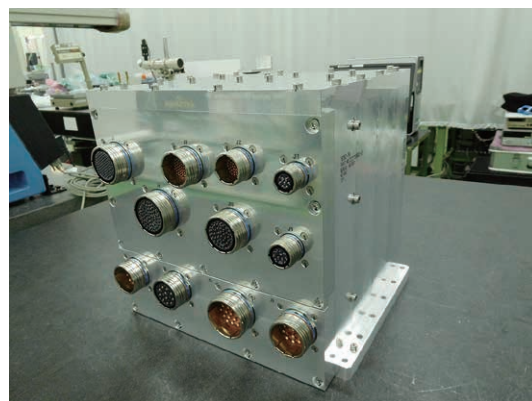
アビオニクスがコンパクトに！

機械式から半導体式へ 強化型イプシロンロケット用小型軽量 電力シーケンス分配器 (PSDB)

機械式スイッチは安全だが大きくて重い，半導体スイッチなら小型軽量化が可能だが誤動作が不安．この課題を，宇宙機器評価ノウハウをもつ IHI グループが解決して実現した小型軽量アビオニクス．



強化型イプシロンロケット (イプシロンロケット 2 号機)
©JAXA



開発した半導体 PSDB

大きくて重い電子機器

ロケットにより宇宙空間まで運ばれる人工衛星や探査機は，ペイロードと呼ばれる．このペイロードを少しでも多く搭載するため，ロケットを構成する構造や機器には徹底的な小型軽量化が求められる．

2013 年 9 月に打ち上げられたイプシロンロケット試験機のアビオニクス (航空機やロケット特有の飛行制御電子機器) には，ひときわ大きな機器があっ

た．質量が 20 kg もあるこの機器は，電力シーケンス分配器 (PSDB : Power Sequence Distribution Box) と呼ばれ，イプシロンロケットにおいて重要な機能を担っている．

しかし，2016 年 12 月，鹿児島県内之浦から打ち上げられた強化型イプシロンロケット (イプシロンロケット 2 号機) には，大きくて重い PSDB の姿はもうなかった．ここでは，強化型イプシロンロケット開発のなかで実施された PSDB 小型軽量化について紹介する．

機械式リレー PSDB

イプシロンロケットの PSDB は、地上設備からの電力（打ち上げ前）やロケット搭載電池から供給される電力を、搭載機器や電気着火式の火工品（火薬により作動する装置）に分配する機能をもつ。火工品への電力分配機能は、ロケットモーターの点火や燃焼後のロケットモーターの分離など、飛行に関わる機能のみならず、異常時に安全のためにロケットを破壊する機能もつかさどっている。

従来、PSDB 内の火工品に電力を供給するスイッチには、電力を確実に遮断するため物理的に非接触となる機械式リレーを用いてきた。この理由は、万が一スイッチに問題が生じると火工品の誤着火につながり、多大な被害を及ぼす可能性があるためである。

しかし、機械式リレーにも幾つか課題があった。

- (1) 部品構造自体が大きく重い
- (2) 機械的可動部があるため、飛行中の過酷な環境下で十分な耐環境性（衝撃／振動）を確保する

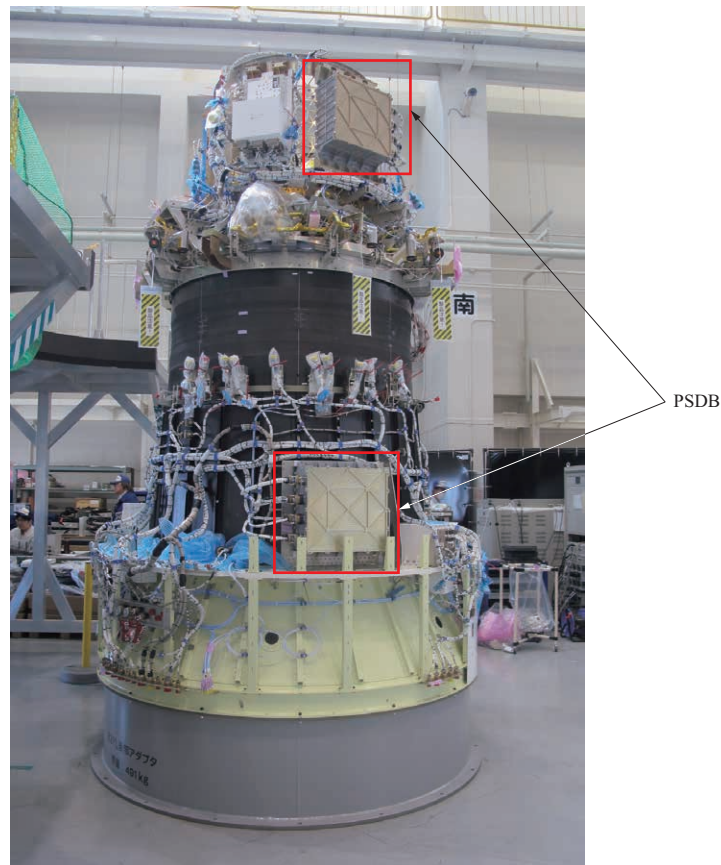
には、機器や搭載構造へ追加対策が必要

- (3) 機械的可動部があるため、ほかの電子部品と比較して信頼性が低い

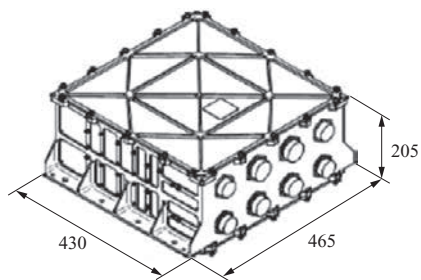
このため、機械式リレーは PSDB を大型・重量化させる要因となっており、小型軽量化の実現を困難にさせていた。この状況を打破すべく、株式会社 IHI エアロスペース（IA）は、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）指導のもと、IHI グループの明星電気株式会社と協力し、小型軽量化に取り組んだ。

半導体スイッチ PSDB

従来より、機械式スイッチを半導体スイッチに置き換えれば、PSDB を小型化できるのは明らかとなっていた。しかし、半導体スイッチには、ノイズにより微小な漏れ電流が流れる可能性があることや、宇宙空間における放射線耐性の低さによる誤動作の可能性が有ることなどの課題があった。そのため、火工品に対しての確実な安全性を重視して、基幹ロケットのような

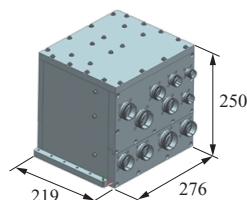


艀装中のイプシロンロケット試験機
（PSDB は 3 段 × 1 台、2 段 × 2 台の計 3 台搭載される）



リレー方式 PSDB (試験機)

	試験機実績質量
PSDB2A/2B	20.0 kg
PSDB3	19.4 kg



半導体化 PSDB (2号機)

	2号機実績質量
PSDB2A/2B	10.6 kg
PSDB3	10.4 kg

PSDB 外觀図 (単位: mm)

高信頼性が求められるロケットのスイッチとして適用された実績はなかった。しかし、強化型イプシロンロケットの開発においては、打ち上げ能力の向上が必須であった。打ち上げ能力の向上に直接関わる機器のなかで、大幅な軽量化の余地がある PSDB の半導体スイッチ化の開発に着手することにした。

国産半導体スイッチの登場が後押し

これまで、宇宙用機器に採用実績があるような高性能な半導体スイッチは、輸入品に頼るしかなかった。輸入品を機器設計に取り入れると、十分なメーカーのフォローが得られず、開発に苦労する面があった。しかし、JAXA との共同開発で、国内半導体メーカーが高耐性の宇宙用半導体スイッチの開発に成功した。

宇宙ではたった 1 度高エネルギー放射線が当たるだけで、半導体チップが焼失してしまう現象があったが、そのメカニズムの解明が困難で、従来はやむなくスイッチ本来の性能を犠牲にし、放射線耐性を上げる対策をとっていた。

開発された半導体スイッチは、これまで不明だった放射線による影響のメカニズムを解析により把握することに成功している。その結果、十分な放射線耐性をもちながら、本来の性能を犠牲にしない半導体チップの製造を実現している。

このように安全に関わる重要な部品の入手性や使用に当たっての利便性が向上したことが、あらたな PSDB 開発の後押しとなった。

小さくて軽い PSDB

開発目標は、従来の PSDB の全機能を機械式リレーから半導体を主とした小型電子部品に置き換えて実現し、機械式リレーと同等以上の安全性を確保しつつ 1/2 程度の小型軽量化を図ることである。安全性の確保と小型軽量化を成立させるための議論が始まった。

まず、安全性の確保については、火工品関連技術（安全性技術や、火工品の知見）を基に、予見される懸念事項や対策の検証方法について十分に検討した。

注力事項は、

(1) 耐ノイズ性向上

過酷なノイズ混入試験とそれに耐える設計。

(2) 飛行環境における確実な動作

誤動作に対する安全性設計、宇宙空間での耐放射線性向上。

新採用の部品が飛行中の過酷な振動・熱環境に十分な耐性をもつことの確認のため、電子部品のはんだ付け部といったマイクロ部分まで確実な構造解析による評価。

である。

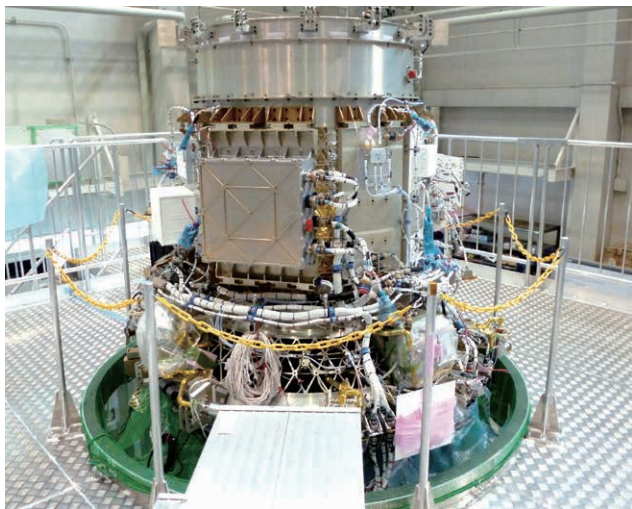
これらの設計や検証は、IA がロケットメーカーとして培ったノウハウを大いに活用した。

次に、小型軽量化については、小型かつ高密度を狙い設計を行った。

(1) 表面実装部品の採用

PSDB に使用する電子部品には表面実装部品を積極的に採用した。特に主要部品である半導体ス

(a) 機械式リレー方式 PSDB (イブシロンロケット試験機)



(b) 半導体 PSDB (イブシロンロケット 2 号機)



3 段機器搭載構造に機装された PSDB

イブシロンロケット 2 号機ミッションチェックアウト (MCO) 試験の様子
©JAXA

イッチやダイオードには、近年開発された大電力用の表面実装パッケージの部品を多く使用している。

この方法によれば部品の占有スペースが小さくなるとともに、はんだ付け用のスペースが不要になるので小型軽量化に有効である。

(2) 配線スペースの削減

表面実装部品の採用による部品の高密度実装化に加え、従来、ケーブルの束であった内部配線をフレキシブルな帯状の基板に置き換えることによって、内部配線の占有スペースを大幅に削減した。

ロケットメーカーの誇り

このようにして、安全性を満足し、かつ小型軽量化に成功した。従来品に対し質量は 20 kg から 10.6 kg へと半減し、機器サイズも半分になった。また、機械的可動部を削減したことで機器全体の信頼性が向上している。

ロケット全体で計 3 台の PSDB 軽量化により 20 kg 程度（超小型衛星 1 機分程度）の打ち上げ能力向上を実現した。

本開発で獲得した、半導体回路の安全性設計技術や回路技術を今後のロケット開発などに活用し、IA はこれからも、ロケットメーカーとしての宇宙開発・発展に貢献していく。

問い合わせ先

株式会社 IHI エアロスペース
基盤技術部 電子技術室
電話 (0274) 62-7695
<https://www.ihi.co.jp/ia/>