

ハイブリッドロケットの電源供給及び設備に関する
技術ドキュメント

目次

ハイブリッドロケットの電源供給及び設備に関する 技術ドキュメント	1
1、概要	3
〔1〕 開発目標.....	3
〔2〕 電源系概要	3
(1) 内部電源系 (Internal Power Supply)	3
(2) 外部電源系 (External Power Supply)	3
(3) 主電源系 (Main Power Supply)	4
〔3〕 変圧部概要	4
〔3〕 主要諸元.....	4
2、設計	5
〔1〕 前提条件並びに事前検討事項.....	5
〔2〕 電源選択切り替え部	6

1、概要

本書では、2021 年度上半期にて開発を行ったハイブリッドロケットに対する電源供給システム(以下、「本システム」と示す。)について記す。本章においては、本システムの概要を示す。

〔1〕開発目標

本システムの開発にあたり、目標を以下の通り定める。

- ① 十年間の運用を見据え長期間にわたり仕様を変更する必要が生じないこと
- ② ハイブリッドロケットの電源として安定性と冗長性を備えること
- ③ ヒューマンエラーを防ぐこと

〔2〕電源系概要

(1) 内部電源系 (Internal Power Supply)

内部電源系は、ハイブリッドロケットに搭載される電池から供給される電源である。内部電源系は、本システムにおいて、主となる電源であって常に供給されなければならない電源である。

バッテリーは、リチウム電池一次電池を用いる。理由としては、使用温度範囲が広いこと¹、高い電圧が得られること、大容量であること²、電圧降下が少ないこと、比較的軽量であることが挙げられる。リチウム電池一次電池のなかでも、当プロジェクトでは CR123A を採用している。

(2) 外部電源系 (External Power Supply)

外部電源系は、ハイブリッドロケットの外部からアンビリカルケーブルを通して供給される電源である。外部電源系は、内部電源系より優先的に供給される電源であり、シーケンス開始まで内部電源をバックアップすることにより内部電源の損耗を防ぐ³。

外部電源系のバッテリーは、主となる電源として AC100V を従となる電源としてリチウム電池を採用する。AC100V を利用する主な理由は、射点において最も安定的に確保できる電源である為である。バックアップ電源を搭載する理由は、輸送中など AC100V を確保できない環境においても電源を確保し続ける為である。

電池を単独採用しない理由としては、供給電圧を常時監視する必要があり、また必要に応じて電池交換が必要になり、これは運用の人的コストの増大、電池交換作業による一時電源断及び、取り付け作業の誤りにより内部搭載の各種計器を破損する可能性がある為⁴である。

¹ 一般に、-40℃から 70℃程度。当プロジェクトは、冬季に北海道大樹町で打ち上げを行っている都合上、-20℃台での運用を想定する必要がある。

² マンガン乾電池に比べおよそ 10 倍の電力容量がある。

³ 一般に打上ウインドウは数時間の間隔で展開されるため、内部電源系のみで稼働させると電源枯渇による電池の交換作業が生じる。

⁴ 高い安全性が要求される作業においては、可能な限り誤りの生じる可能性がある作業は取り除くべきである。たかが電池の入れ違いであっても、例えば誤作動により不知火が作動すれば最悪死亡事故につ

(3) 主電源系 (Main Power Supply)

主電源系は、内部電源系と外部電源系から供給される電源を選択し供給する電源である。この主電源系が各レギュレータに電圧を供給することで、必要に応じた電圧を生成する。

〔3〕変圧部概要

変圧部は、主電源系から供給される電源を各種機器に供給する電圧に変換するための回路である。標準構成として、12V 系、9V 系、5V 系が搭載可能であり、オプションとして 3.3V 系も搭載可能である。

〔3〕主要諸元

主要諸元を以下に示す。

表 1 主要諸元

	パラメータ	条件	MIN	TYP	MAX	単位
内部電源系	定格電圧		14	15	15	V
	最低動作電圧 ⁵	NJM7812 採用時かつ、同レギュレータの $I_o=1.0[A]$ 以内の時 三端子レギュレータの入出力間電位差特性を参照のこと		13.8		V
	絶対最大定格 ⁶		0		36	V
外部電源系	定格電圧		20	24	24	
	最低動作電圧 ⁷	内部電源系電圧=14[V] 内部電源系電圧+0.1[V]を取る		15.8		V
	絶対最大定格		0		36	V
内部給電系	定格電圧		14		24	V
	最低動作電圧	NJM7812 採用時かつ、同レギュレータの $I_o=1.0[A]$ 以内の時 三端子レギュレータの入出力間電位差特性を参照のこと		13.8		V
	絶対最大定格				36	V

ながる恐れがある。

⁵ 正常に各種レギュレータが動作するために必要な電圧。

⁶ この電圧範囲を外れる電圧を印加すると機器が破損する。

⁷ 外部電源系は最低動作電圧を下回ると内部電源系から主電源系に電源が供給される。

2、設計

本章では、本システムの設計及び思想、意図について述べる。

〔1〕前提条件並びに事前検討事項

まず、本システムにおいての電圧の必要要件を定める。現在当団体が製作するハイブリッドロケットにおいて使用している電源は、12V と 9V である。一般的な IC チップの電源として必要な電圧を検討すると、3.3V、5V がある。また、一般的な工業用部品（電磁弁）の電源として必要な電圧を検討すると、12V、24V がある。以上から、内部で必要な電圧を考えると、工業部品においては、24V の部品は 12V の部品で代用可能な場合が多い為、本システムにおける生成する電源は、3.3V、5V、9V、12V とする。

次に、電源の供給方法を検討する。従来の電源供給システムでは、電池の電圧を信頼することで、その 4 直列のリチウム電池を作り、必要な電圧となるように電池の個数を変えることで必要電圧を生成してきた。しかしながら、この方法はより高度化するセンサーを採用する中で、電源電圧の安定性を欠くこととなり、精度の高い電圧を生成することができない。また、電池の損耗状態が電池により異なってしまうため、一部の電池が切れた場合には供給できなくなる恐れがある。本システムにおいては、安定性を重要視していることから、一つの電源を三端子レギュレータにて、各電圧に変圧することによって各部へ電源供給する手法を採用する。

続いて、主電源系の電源電圧を決定する。本システムにおいては、入手性等を考え三端子レギュレータとして、新日本無線の NJM78 シリーズ及び NJM78M シリーズを採用することとなった。供給電圧が最も必要となる、12V 出力の三端子レギュレータである、NJM7812 はデータシートより、入出力電位差特性が $I_o=1.0[A]$ のときにおいて、おおよそ 13.8[V] である。ゆえに主電源系の最低動作保証電圧は 13.8[V] となる。

内部給電系を検討する。内部給電系は、13.8[V] 以上の電圧が必要となる。供給方法としては、5 直列により、15[V] を供給する手法、並列回路を作成しスイッチング昇圧を行う方法が考えられる。スイッチング昇圧は、ノイズを生じる可能性が非常に高く、他の計器の誤動作や測定に影響を及ぼす可能性が考えられる点、回路が大規模複雑化する点から搭載するデメリットのほうが多い為、本システムにおいては 5 直列を採用した。ゆえに、内部電源系電圧は 15[V] となる。

内部給電系、外部電源系の切り替え回路である電源選択切り替え部について検討する。従来の外部のスイッチにより電源を切り替える手法は、作業の複雑化を招き、ケーブルも複数用いていた。運用の簡易化及び電源供給の自動切換えが可能であれば、供給元の電源及びアンビリカルケーブルの抜き差しで済むようになり運用が簡略化する。ゆえに、本システムにおいてはアナログデバイセズの Power Path コントローラ IC である LTC4416 を採用し、電源の自動切換え回路を採用した。

外部給電系を検討する。外部給電電圧は、Power Path コントローラ IC を採用することから内部給電

系とある程度差のある電圧を採用する必要がある。また、変圧器が既製品として入手しやすいことが求められる。この場合、16V、24V が考えられる。16V は内部給電系との差が 1V 程度しかないため、24V を採用する。

〔2〕電源選択切り替え部

電源切り替え回路の回路図を以下に示す。

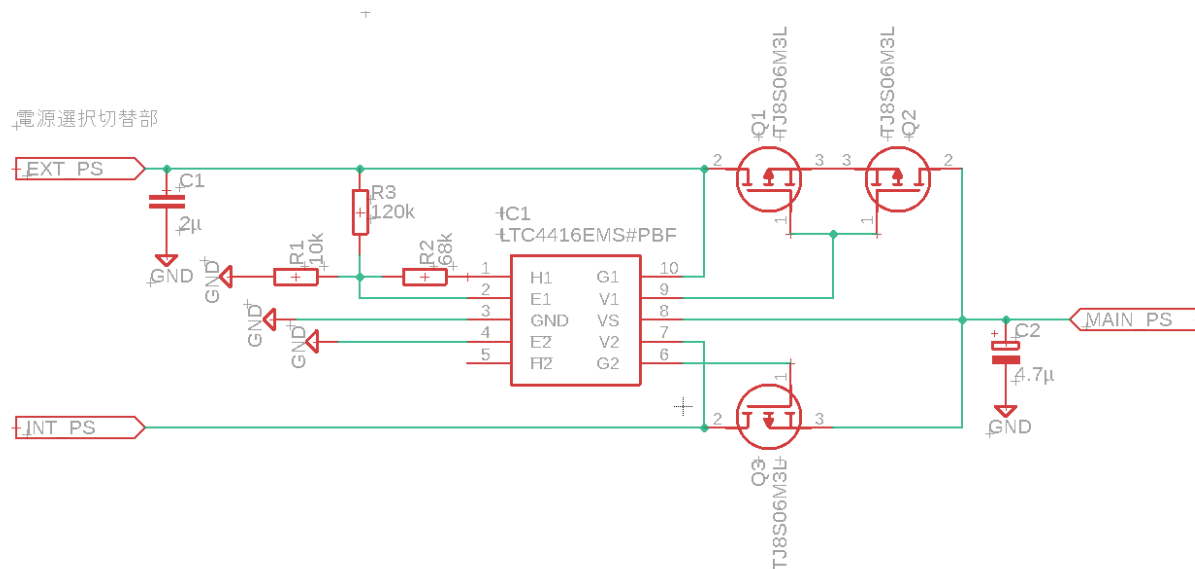


Fig. 1 電源選択切り替え部回路図

本システムにおいて、前項に述べた通り内部電源系電圧は 15[V]、外部給電系電圧は 24[V]を採用した。電源が切り替わる電圧は 16V を目標とし、E24 系列の抵抗の中から選択する。LTC4416 のデータシートより、「V1 が V2 よりも高い」アプリケーション情報の式より V_{FAIL} 及び V_{RESTORE} を求める⁸。同条件から抵抗値を計算すると R1 が 10[k Ω]、R2 が 68[k Ω]、R3 が 120[k Ω]となる。 V_{FAIL} は、15.8[V]となる。

⁸ データシートに示された式のうち、演算子||は並列接続の合成抵抗を示す。計算は、 $R1 || R2 = (R1 * R2) / (R1 + R2)$ となる。

3、運用

〔1〕電池の固定

リチウム一次電池は、ランチクリア時や開傘時の衝撃による電池ケースからの脱落を防ぐために対策を行う必要がある。ハイブリッドロケットに搭載するリチウム一次電池はそのまま使用せず、必ず布製絶縁テープを外周に二周巻いたうえで電池ケースに組み込む。但し、地上にて使用する外部給電系の電池にはこの対策は必要ない。これは、「テープをまかない時と比べて2倍程度電池ケースから電池が抜ける際に力が必要なことが、電池にばねばかりをつけて引っ張った自団体の調査で分かっている」とされているためである。しかしながら、本調査は実施時の資料が無い為、必要に応じて再度実験を行うべきであると考えられる⁹。

⁹ 実験資料や技術ドキュメントを残さないと、過去に行った実験や検討を再度行う必要が生まれる。