

第六章 運用に向けて

6.1 運用計画

鳳龍式号機の運用の流れを以下に示す。打ち上げ後の初期運用は通常運用モードとFM ダウンリンクのみ行い、バス系統が正常に動作していることを確認する。正常動作が確認できる、又はミッションを実行できると判断できることを確認後、ミッション運用に移行し、各ミッションを行う。運用は1年で、運用終了時は衛星のキルスイッチをONし、衛星をバッテリー駆動にし、バッテリーを完全放電させ衛星動作を停止させる。

運用の流れ

0. 打ち上げ
1. 初期運用 (約2週間)
 - ・バス機器の実証
2. ミッション運用 (約1年)
 - ・各ミッションの実証
3. 運用終了
 - ・バッテリーの完全放電
 - ・衛星の動作停止

はじめに、初期運用において電源系が行う検証について以下に述べる。初期運用において最も重要なことは最初のFM ダウンリンクを行うことである。FM ダウンリンクは瞬時電力が大きく、バッテリー残量が低い又はバッテリーがAT以下の低温状態である場合、バッテリー電圧低下によりバス機器に供給している電圧が不安定になり、中途半端にバス機器にリセットがかかり、最悪の場合OBCが停止しそのまま復旧しないことも考えられる。そのため、CW ダウンリンクデータにより安全にFM ダウンリンクを行える状態であることを確認する必要がある。CW ダウンリンクではバッテリー電圧・温度・電流のデータがダウンリンクされる。この3つのパラメータを基に、バッテリー残量を算出し、FM ダウンリンクを行える状態であることを確認する。衛星は最大3カ月の放置後に打ち上げられるため、初期バッテリー残量は約80%であると考えられる。これはFM ダウンリンクを行うには十分な残量であるが、衛星のCW ダウンリンクデータによりバッテリーが満充電になったことを確認し、MF ダウンリンクを行うのが最良と考える。仮に、初期バッテリー残量80%だとすると、最も充電されにくい環境においても地上試験結果から3日あれば満充電になる。満充電になるとバッテリーは発熱するため、残量解析だけでなくバッテリーの温度上昇からも満充電を確認でき、より高信頼な判断材料となる。また、満充電になりバッテリー温度が上昇することで、FM ダウンリンク時のバッテリー電圧も小さくなり、より安定したバス電圧を供給できる。ただし、40℃以上の高温はバッテリー寿命を考えるとさけるべきであると考え。バッ

テリ満充電によりバッテリーが高温になりすぎた場合は、FM ダウンリンクを複数回行い、電力を消費してやればよい。

FM ダウンリンクを行うことで電源系の全パラメータ（各面の太陽電池電圧・電流、バッテリー電圧・電流・温度、3.3V・5V 用 DC/DC コンバータ出力電流など）を取得でき、それらから、各機器が正常に動作していることを確認する。とりわけ、太陽電池電圧・電流データからは衛星の姿勢を解析することができる。また、打ち上げ直後からのバッテリー残量の増加時のバッテリー電圧・電流・温度データはバッテリー残量解析の精度を向上させる。

次にミッション運用時に行う電源系の役割について述べる。ミッション運用において最も重要なことは、ミッションに移行できるバッテリー残量・温度であることを判断することである。残量解析については 6.2 項で述べる。バッテリー温度の最適条件は 20~30℃である。もし、この温度より低い場合は満充電にしてバッテリーを発熱させる。また、温度が高い場合は満充電前にミッションを行う。また、約 1 年間の運用中に電源システムでは 6.4 で述べる項目の検証を行う。

運用終了時は、地上からのアップリンクコマンドでキルスイッチを ON にし、バッテリーを完全放電させ、衛星を停止させる。

6.2 バッテリーの残量解析

バッテリーの残量解析は、衛星が蝕の時に限り行う。蝕時に限定することで解析が容易になる。残量解析は衛星が通常運用モードの蝕時に行うため、消費電力が一定である。そのため、温度毎（0°C、20°C、40°C）でバッテリー残量0%から満充電まで電力サイクル試験（消費電力 0.9W）を行い、そのデータをもとに残量を推測する。今後この電力サイクル試験を行い、データ取得を行う予定である。

現段階で考えている解析例を以下に示す。図 6.2-1 に示した図は、AT 低温電力サイクル試験のバッテリー常温ケースのバッテリー電圧－残量特性である。この特性は、日照時の充電電流を一定とすることで簡易化し、時間変化を残量に変換したものである（非常にざっくりしたもの）。この特性図から、例えば蝕に入ってからすぐに衛星が取得したバッテリー電圧データ（4.30V）がダウンリンクで得られたとすると、4.3V とバッテリー電圧データが交わる点を探し、その中から蝕開始からの経過時間が 0 に近いプロットを選択し、そのときの残量を確認する。図 6.2-2 に 4.3V と交わる点を拡大した波形を示す。ここで 4.3V と交わるは 2 つあるが、より蝕開始からの経過時間が 0 に近いのは赤で示した点である。よって、残量は 81%と求めることができる。

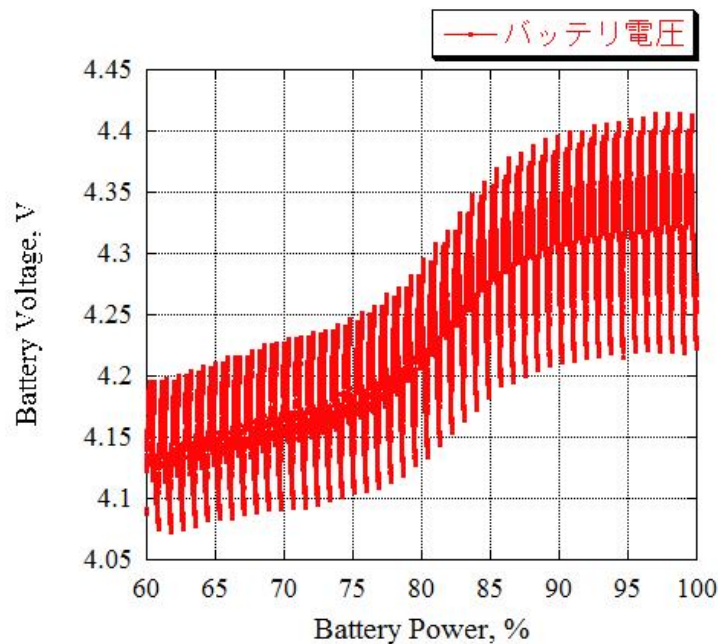


図 6.2-1 バッテリー電圧－残量特性

Fig. 6.2-1 Relation between temperature and voltage of battery (1)

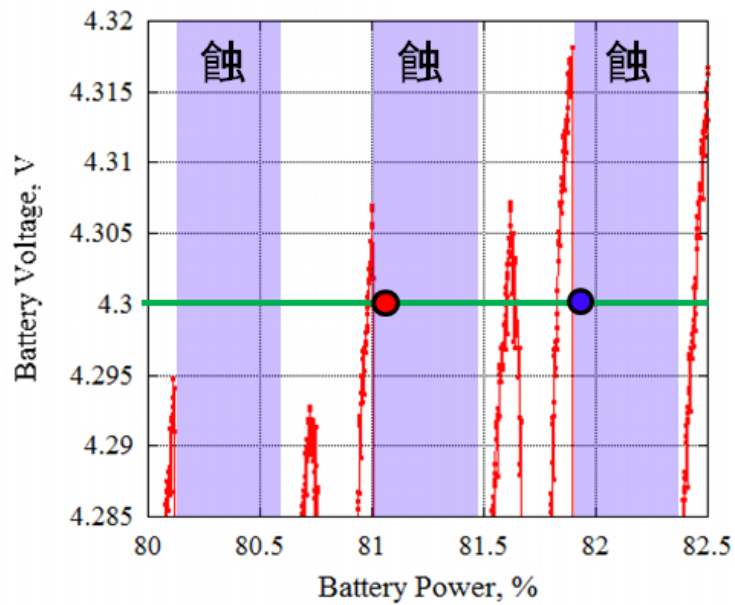


図 6.2-2 バッテリー電圧－残量特性（拡大）

Fig. 6.2-1 Relation between temperature and voltage of battery (2)

上記の手法はすべて地上試験の結果を使用したものであるため、実際の残量と異なる可能性がある。そこで初期運用で取得したデータを地上試験データに反映することでより信頼できる解析結果が得られると考えている。

6.3 電源システムのテレメトリデータの地上解析

本項ではダウンリンクにより、取得したデータの解析について述べる。衛星で取得したデータは本来の値に変換せず、そのままのデータが地上に降ろされる。よって、取得したデータは地上で変換する必要がある。以下にその変換式を示す。

表 6.3-1 センサデータの変換式

Table 6.3-1 Conversion equation of sensor data

センサ名称	変換式	適用範囲
+X 面太陽電池電流 センサ	$I = 0.182 \text{ ADC} - 22 \text{ [mA]}$	$0 \leq \text{ADC} \leq 3100$
+Y 面太陽電池電流 センサ		
-Y 面太陽電池電流 センサ		
+Z 面太陽電池電流 センサ	$I = 0.187 \text{ ADC} - 4 \text{ [mA]}$	
-Z 面太陽電池電流 センサ	$I = 0.182 \text{ ADC} - 27 \text{ [mA]}$	
太陽電池電圧センサ (各面共通)	$V = 2.68 \text{ ADC} - 19 \text{ [mV]}$	$1800 \leq \text{ADC} \leq 3700$
バッテリー電流センサ	$I = 1.596 \text{ ADC} - 3309 \text{ [mA]}$	バッテリー電圧 3.6V 以上 $1200 \leq \text{ADC} \leq 2400$ バッテリー電圧 3.8V 以上 $1200 \leq \text{ADC} \leq 2500$ バッテリー電圧 4.0V 以上 $1200 \leq \text{ADC} \leq 2600$
バッテリー電圧センサ	$V = 1.22 \text{ ADC} + 63 \text{ [mV]}$	$2600 \leq \text{ADC} \leq 3800$
3.3V 用 DC/DC 出力 電流センサ	$I = 0.313 \text{ ADC} - 7 \text{ [mA]}$	$0 \leq \text{ADC} \leq 1500$
5V 用 DC/DC 出力電 流センサ	$I = 0.323 \text{ ADC} - 4 \text{ [mA]}$	$0 \leq \text{ADC} \leq 2700$

6.4 電源システム軌道上実証計画

電源系で軌道上実証項目と評価内容の詳細を以下に示す。

➤ 電源システム各機能の実証

ここでは、電源システムの各コンポーネントの軌道上での正常動作と耐久性、太陽電池と特性の劣化、バッテリーは特性劣化とサイクル数を評価する。過電流防止回路については SEL による電力遮断を検知できないため評価できない。

■ 分離検知スイッチ

● 正常動作

- ✓ 蝕時に衛星の CW ダウンリンクを地上局で取得、又は日照中に衛星の CW ダウンリンクを地上局で取得できバッテリー充電ができていれば、分離検知スイッチは全て正常に ON になったことが確認できる。

● 耐久性（放射線、原子状酸素、熱真空環境）

- ✓ 運用終了時まで、上記の正常動作の確認項目が維持できれば、耐久性を確認できる。

■ 3.3V、5VDC/DC コンバータ

● 正常動作

- ✓ 衛星の CW ダウンリンクを地上局で取得でき、センサデータが健全であれば、正常に動作していることが確認できる。

● 耐久性（熱真空、放射線環境下での一年間の連続動作）

- ✓ 運用終了時まで、上記の正常動作の確認項目が維持できれば、耐久性を確認できる。

■ バッテリー

● 正常動作

- ✓ 日照時に充電、蝕時に放電していることを衛星の CW ダウンリンクデータにより確認する。

● 宇宙環境耐性（熱真空、放射線環境）

- ✓ 運用終了時までバッテリーを使用（正常に充放電）できることを確認する。

● サイクル数

- ✓ 運用中の放電深度を算出し、その状態で充放電サイクルを何回できたか確認する。

● 特性変化（劣化）

- ✓ 運用初期から終了までのバッテリー充放電特性の変化を確認する。

■ 太陽電池

● 正常動作

- ✓ 日照時に発電し、その電力が健全であることを FM ダウンリンクデータにより確認する。

- 耐久性（放射線、原子状酸素、熱真空環境）
 - ✓ 運用終了時まで上記正常動作を維持できれば、耐久性を確認できる。
 - 性能劣化
 - ✓ 運用開始から終了までの発電電力を比較し、発電電力低下量を確認する。
 - 充電回路
 - 正常動作
 - ✓ 日照時にバッテリーに充電でき、バッテリー残量が増加時に CV モード動作比率が大きくなることを FM ダウンリンクデータ（太陽電池発電電圧）により確認する。
 - 耐久性（熱真空、放射線環境下での一年間の連続動作）
 - ✓ 運用終了時まで上記正常動作を維持できれば、耐久性を確認できる。
 - 各種電圧、電流センサ
 - 正常動作
 - ✓ 日照・蝕時に各電圧・電流センサデータが健全な値を示していることを FM ダウンリンクデータにより確認する。
 - 耐久性（熱真空、放射線環境下での一年間の連続動作）
 - ✓ 運用終了時まで上記正常動作を維持できれば、耐久性を確認できる。
- 電力収支検証方法の検証
- ここでは電力収支の検証方法について発電電力と定常バッテリー残量から評価を行う。
- 発電電力
 - ✓ 電力サイクル試験での SAS 電力と運用中の日照中の太陽電池発電電力の変化を比較し、ほぼ一致することを確認する。衛星が沿磁力線制御されていない場合は発電電力が大きく異なる可能性がある。異なった場合は理由を考察する。
 - バッテリー残量
 - ✓ 電力サイクル試験の定常バッテリー残量と軌道上の定常バッテリー残量を比較し、ほぼ一致することを確認する。バッテリーが AT 低温以下の場合以外は満充電になるはずである。
- 消費電力の変動
- ここでは消費電力の変動について評価する。運用開始時から終了時にかけて各モードの消費電力を算出し、どの程度変化するか又は一定であるのかを確認する。