

第5章 軌道上ミッションシナリオ

5.1 ミッションシナリオ

ここでは表面電位計の軌道上でのミッションシナリオについて述べる。表 5.1 にミッションシナリオをまとめる。まずミッション運用準備として、ミッションの ON/OFF 確認やプローブが帯電していない状態（オーロラ帯以外の軌道上）での表面電位計の出力の確認を行う。ミッション運用準備が完了したら、ミッション運用に移行する。まずは表面電位計+ELF モードを実行し、表面電位計プローブがオーロラ帯通過時に帯電していることを確認する。また ELF 素子からの電子放出により表面電位計の出力電圧が変動することを確認し、ELF の健全性を確認する。もう一つのミッション運用は表面電位計+SCM+ELF である。このモードでは、プローブと SCM でそれぞれ見積もった帯電電位を比較し、地上試験で得た関係式と照らし合わせる。ここで地上試験と異なる結果が得られた場合、複数回のダウンリンクデータから両者の帯電電位の関係性を求める。このモードにおいても ELF から電子放出が起きた際にプローブと SCM の帯電電位に変動があるかどうかを確認する。プローブと SCM は衛星構体電位を基準として測定しているため、ELF からの電子放出による衛星構体電位の変動にともない、プローブと SCM の帯電電位も変動するはずである。ミッション運用①と②で表面電位計、SCM、ELF それぞれの健全性を確認する。

表 5.1 表面電位計ミッションシナリオ

1	ミッション運用準備	オーロラ帯以外で表面電位計を動作させ ON/OFF 動作が正常に行えることを確認
		プローブが帯電していないときの表面電位計出力を確認
2	ミッション運用① Trek + SCM モード	オーロラ帯で表面電位計、ELF 同時を動作
		Trek の帯電電位の変化を確認
		表面電位計の出力の変動と、ELF からの電子放出の間の関係性を確認する
3	ミッション運用② Trek + SCM + ELF モード	オーロラ帯で表面電位計、SCM、ELF 同時を動作
		Trek と SCM の帯電電位の変化を確認
		表面電位計、SCM の帯電電位の変動と、ELF からの電子放出の間の関係性を確認する

5.2 表面電位計動作条件

ここでは表面電位計システムをどうさせることが出来る条件について述べる。表面電位計を動作させるにあたり考慮すべき点は以下の5つである。表 5.2 に表面電位計の動

作条件をまとめる。

① 電力的制約

表面電位計システムの消費電力は 1.3W、動作時間は 15 分間である。衛星システムのバッテリー容量から、表面電位計を動作させることができる最低限のバッテリー残量は 31%であると算出した (Trek + ELF モード)。これはミッション終了と同時に蝕に入り、30 分間バッテリーで通常運用を行うことを想定して算出している。実際の運用ではあらゆるリスクを考慮してマージンを持たせた運用を行う。そのため表面電位計ミッションを行うのはバッテリーが定常状態に落ち着いてからとする。

② 姿勢 / 軌道的制約

極域 (オーロラ帯) 通過時

③ 熱的制約

表面電位計基板は真空環境下で -60~70°C の温度範囲は正常に動作することを試験によって確認している。そのため、熱的な制約は特に要求しない。ただし、表面電位計は 15 分間の動作で基板の温度が局部的に約 20 度上昇する。そのため、万が一、衛星内部温度が 50°C 以上となっている場合は表面電位計のミッションは行わない。

④ OBC システムから受ける制約

表面電位計は予約コマンドにより実行されるため、その他のミッションの予約コマンドが送られている状態では動作させない。

⑤ 通信システムから受ける制約

通信システムから受ける制約は特にない。重要なデータなどはミッション機器を動作させる前にダウンリンクさせておく。

表 5.2 表面電位計の動作条件

電力的制約	バッテリーが定常状態である
姿勢・軌道的制約	極域を通過する
熱的制約	衛星内部が 50°C 以下である
OBC 的制約	予約コマンドが入っていない
通信的制約	システムの重要なデータが保存されていない

5.3 表面電位計の動作タイミング

ここでは軌道上における表面電位計の動作について述べる。表面電位計は衛星がオーロラ帯を通過する際に遭遇するオーロラ電子による帯電を対象としたミッション機器であることは第 4 章でも述べた。つまりオーロラ帯を通過する際に表面電位計システムが ON 状態となり、通過後に OFF となるように OBC から制御される。このような動作

を実行するためには、北九州上空通過時に鳳龍式号に送信するコマンドで、『コマンド受信から X 分後に表面電位計が ON になり、ON になってから Y 分後に OFF になる』という命令を送らなければならない。これは予約コマンドと呼ばれ、コマンド受信からミッション動作までの時間、とミッション起動からミッション終了までの時間を指定することができる。表面電位計の場合はコマンド受信から 8 分と 24 分でオーロラ帯に突入するため、コマンド受信からミッション起動までの時間 X は 8 分または 24 分である。また衛星のバッテリー容量と表面電位計の消費電力の兼ね合いから表面電位計の連続動作は 15 分としているため、表面電位計を ON してから OFF するまでの時間 Y は 15 分である。15 分間に衛星はオーロラ帯をほぼ通過することができるため、この時間はミッションを遂行するのに十分な時間であるといえる。これらの時間の算出方法を以下に示す。

北九州の緯度	:	33 度
表面電位計が動作する範囲	:	極域の 60 度
鳳龍式号が地球を 1 週するのに必要な時間	:	100 分

鳳龍式号が 30 度分移動するために必要な時間

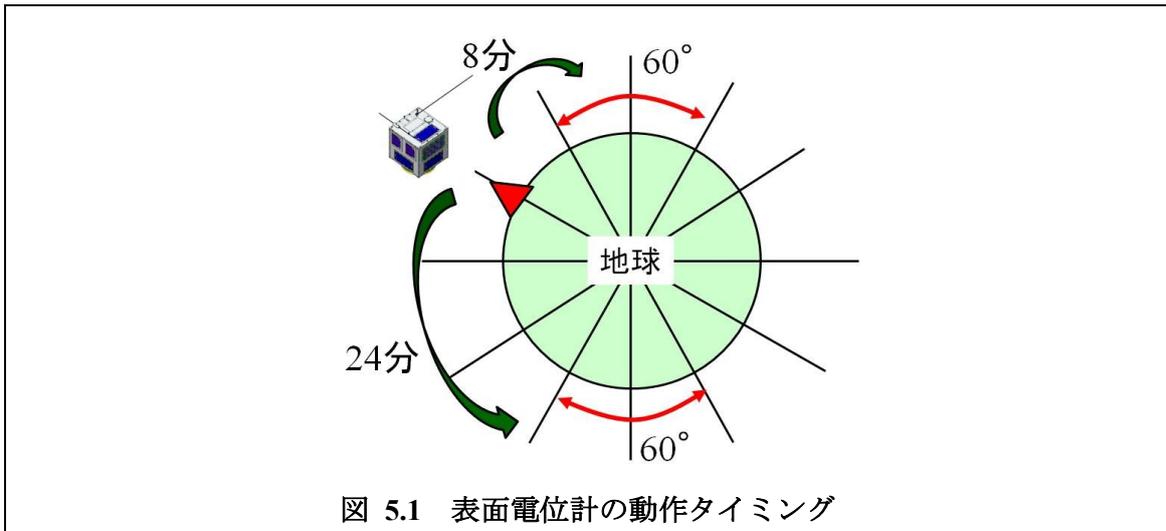
$$(100 \text{ 分} / 360 \text{ 度}) \times 30 \text{ 度} = 8.3 \text{ 分} = 8 \text{ 分 } 18 \text{ 秒}$$

鳳龍式号が北九州上空を通過後、オーロラ帯に突入するまでの時間

南→北：約 30 度 … 8 分 18 秒

北→南：約 90 度 … 24 分 54 秒

本ミッションではオーロラ帯に入る前と後の表面電位計の出力変化を観測する。そのため、オーロラ帯に突入するまでに要する厳密な時間よりも若干速いタイミングで表面電位計を動作させ、表面電位計が ON の状態でオーロラ帯へ突入させる。図 5.1 に表面電位計の動作タイミングを示す。



鳳龍式号の起動条件より、蝕中に南側のオーロラ帯を通過する。バッテリー容量などの面からも安全運用を行うためには日照中にミッションを起動した方が良いと考えられる。そのため初期のミッション運用では北側のオーロラ帯を通過する際に表面電位計を動作させることとする。

5.4 ダウンリンクデータの処理

ここでは衛星からダウンリンクされたデータの処理について述べる。衛星からダウンリンクされたデータはレベルシフト回路を介して、AD コンバータに入力され AD 変換された値である。表面電位計の出力電圧を AD 変換する AD コンバータはリファレンス電圧として 5V が供給されている。そのため AD コンバータの出力値を電圧値に変換するために以下の手順が必要になる。

$$V = (V_{\text{ADC}} \times 5 / 4.096) / 1000 \quad [\text{V}] \quad \dots (5.1)$$

V_{ADC} : AD コンバータの出力値

V : AD コンバータの出力値変換した電圧値

また AD コンバータの出力値を変換した電圧値からプローブの帯電電位を算出するための手順は以下の通りである。

$$V_{\text{Probe}} = 1369 (V - 2.87) \quad [\text{V}] \quad \dots (5.2)$$

V_{Probe} : プローブの帯電電位

V : AD コンバータの出力値変換した電圧値

2.87 : 表面電位計が OFF 状態の時のレベルシフト回路の初期出力

表面電位計が OFF 状態のときは ADC にはレベルシフト回路の出力電圧が入力される。その値が 2.87V であり、AD コンバータの出力値は 2350 である。この値を (5.1) 式に代入することで電圧値に変換され、2.87V を得ることができる。

またプローブの帯電電圧と SCM の帯電電圧の間には (4.1) 式の関係があることを試験的に確認した。

$$V_{SCM} = 0.95 \times V_{Probe} - 0.87 \quad \dots (4.1)$$

ただしこの結果は、SCM の帯電電位を Trek341 により測定したため、いくつか誤差の要因を含んでいる可能性が高い。そのため、実運用時と同じ見積もり方法で SCM の帯電電位を見積もりプローブと SCM の帯電電位の関係性を再確認する必要がある。

5.5 ミッション成功の判断

ここではミッションの健全性をどのように判断するかについて述べる。表面電位計のミッションの達成項目を以下に示す。

① 表面電位計の ON/OFF 動作

これは最も基本的な ON/OFF 動作が指定した時間通りに行われるかどうかを確認する項目である。この動作はオーロラ帯以外の地点で確認し、ON/OFF 制御が問題なく制御できることを確認した後、これ以降の検証を実施する。

② オーロラ帯通過時のプローブ電位の変化

これは表面電位計が ON 状態でオーロラ帯に突入した際に、オーロラ電子によるプローブの帯電変化をダウンリンクデータから確認するという項目である。地上試験の検証結果が正しければ、プローブは大きく負に帯電するはずである（順電位勾配の場合は負電圧を、逆電位勾配の場合は正電圧を出力する）。

③ SCM の帯電電位との比較

オーロラ電子によるプローブの帯電を確認できたら、SCM の帯電電位と比較を行う。地上試験から得たプローブと SCM の帯電電位の関係式が軌道上でも適用できるかどうかを確認する。適用できなかった場合は、ダウンリンクデータから両者の関係を明らかにする

④ ELF 動作時のプローブ電位の変化

ELF から電子放出が起きた際に衛星構体電位が変動する。プローブも SCM も衛星構体電位を基準に電位測定を行っているため、ELF、SCM、表面電位計が全て正常に動作していれば、ELF から電子放出が起きると同時に、プローブと SCM の帯電電位が変動するはずである。

表面電位計ミッションとしては、③SCM の帯電電位との比較の達成が、表面電位計の正常動作および健全性の確認になり、ミッションの成功と言える。