

第3章 衛星システムとのインターフェイス調整

3.1 衛星システムとのインターフェイス

ここでは衛星システムとのインターフェイスについて述べる。図 3.1 に表面電位計システムと衛星システムの電氣的インターフェイスを示す。表面電位計システムがインターフェイスを持つ衛星システムは電源系と OBC 系である。表面電位計基板には電源系から DC5V が供給されており、表面電位計基板内の半導体スイッチ（図 3.1 中の SW1,SW2）によって通常は電力が遮断されている。表面電位計システムを起動する際には OBC 系から SW1 へ電圧信号（High 信号）が送られ、SW1 が ON した後 SW2 が ON 状態となり、表面電位計基板へ電力が供給される。表面電位計システムを終了する際には、OBC から再び電圧信号（Low 信号）が送られ、SW1、SW2 がそれぞれ OFF 状態になり電力供給を遮断する。半導体スイッチが 2 直列に接続されているのは、半導体スイッチの故障により表面電位計システムが終了できなくなることにに対する冗長設計のためである。また表面電位計からのセンサ出力はレベルシフト回路を介して OBC 系へ渡され、A/D コンバータでデジタル変換される。レベルシフト回路は電圧調整のために設けられており、その詳細は 3.2.2 項に記述する。

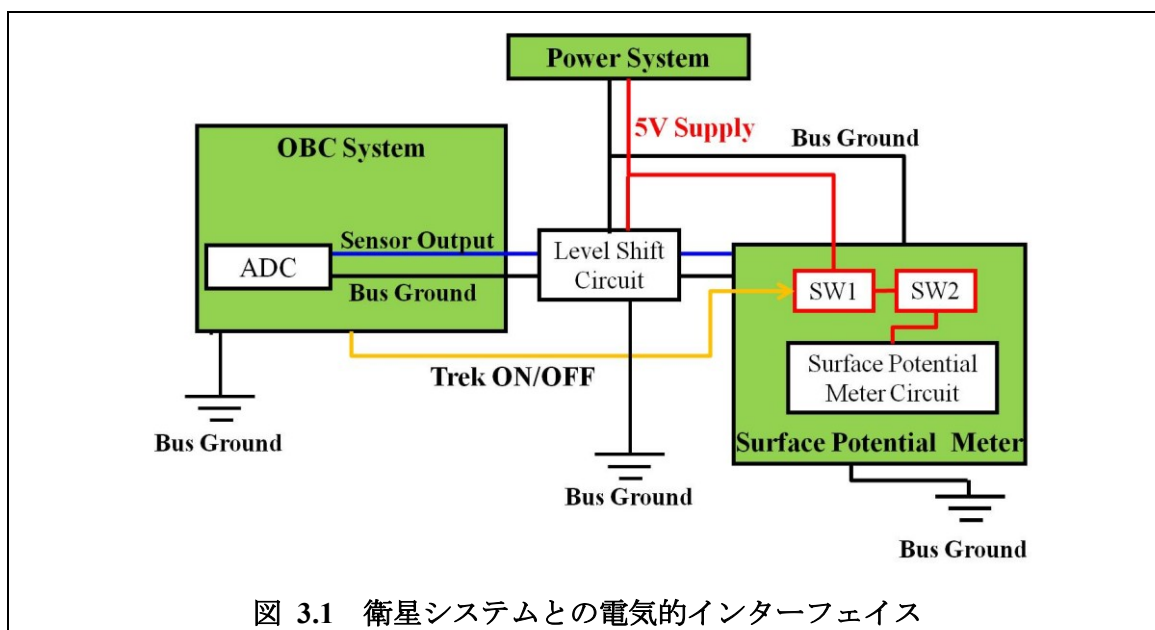


図 3.1 衛星システムとの電氣的インターフェイス

3.2 衛星システムとのインターフェイス調整

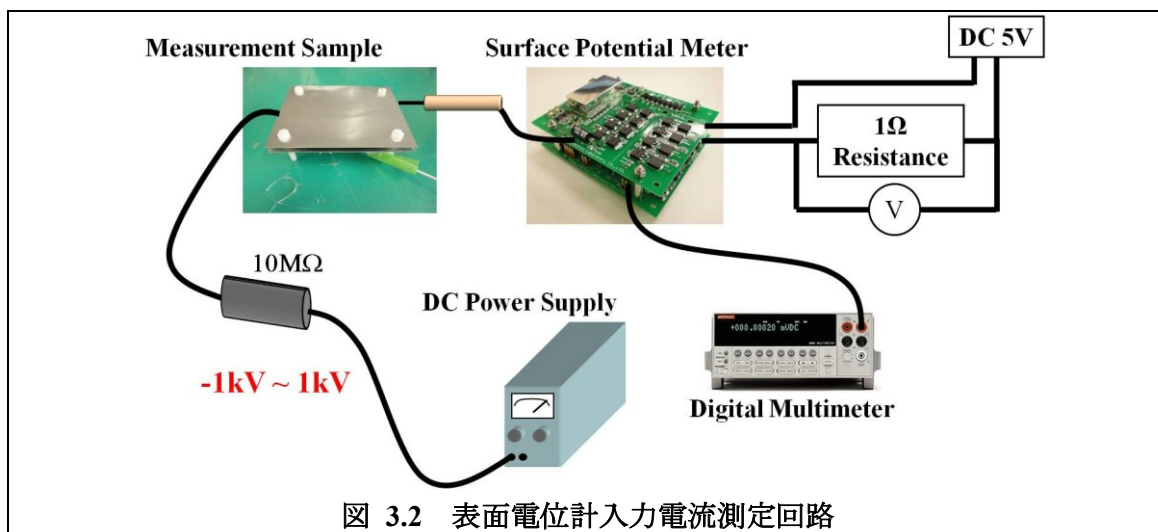
3.2.1. 入力電流の制御

衛星システムとの統合の際に表面電位計の入力電流が電源系の過電流防止回路により検知され、表面電位計システムや OBC への電力供給がストップするという事態が発生した。そのため表面電位計基板への入力電流を測定し、衛星システムと正常に統合が

できるよう対策を施した。

[試験内容]

図 3.2 のように、表面電位計基板への電力供給ラインに 1Ω 抵抗を挿入し、その両端電圧を測定することで入力電流の測定を行った。なお試験環境は大気常温環境で、表面電位計プローブへ $\pm 1\text{kV}$ をバイアスした状態で入力電流の測定を行った。



[試験結果]

図 3.3 に入力電流の測定結果を示す。表面電位計への入力電流は変動しており、表 3.1 に示すような特性を持った電流であることが確認できた。

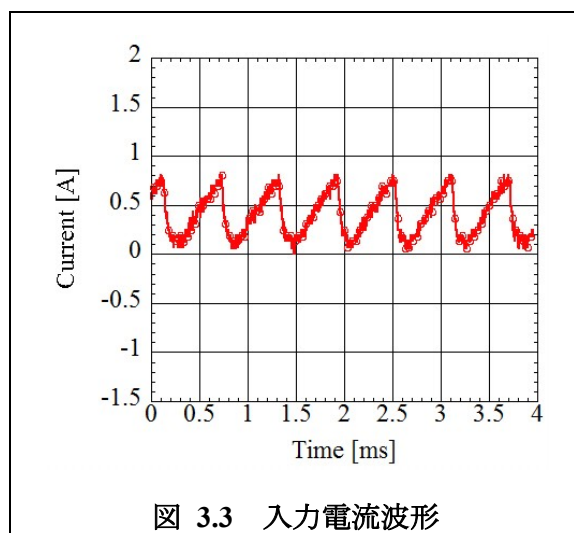


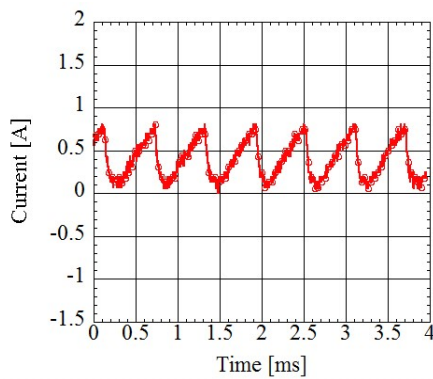
表 3.1 入力電流の特性

周波数	2 kHz
平均値	0.40 ~ 0.45 A
最大値	0.81 A
最小値	0.12 A

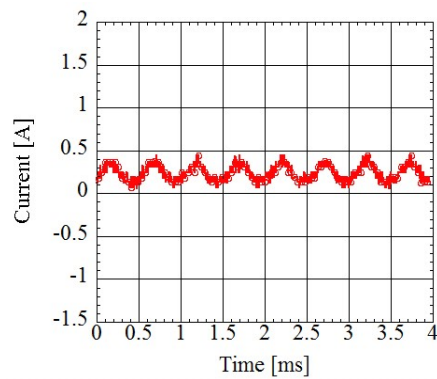
図 3.3 に示すような入力電流が流れると、電源系の過電流防止回路が動作し表面電位計システムや OBC 系の動作がストップしてしまう。そのため表面電位計の電力供給ラインに電流制限用コイルを挿入し、入力電流の変動を抑える対策をとった。コイルの選定は回路解析ソフトを用いて行い、470, 1000, 1500 μ H の 3 種類のコイルを選定した。図 3.4 に選定したコイルを示す。また図 3.5 にコイル挿入後の表面電位計の入力波形を示し、そのパラメータを表 3.2 に示す。

	直径 : 12mm
	高さ : 14.5mm
	重量 : 7g
	インダクタンス 480, 1000, 1500 μ H

図 3.4 電流制限用コイル



a) L=0 (コイルなし)



b) L=470 μ H

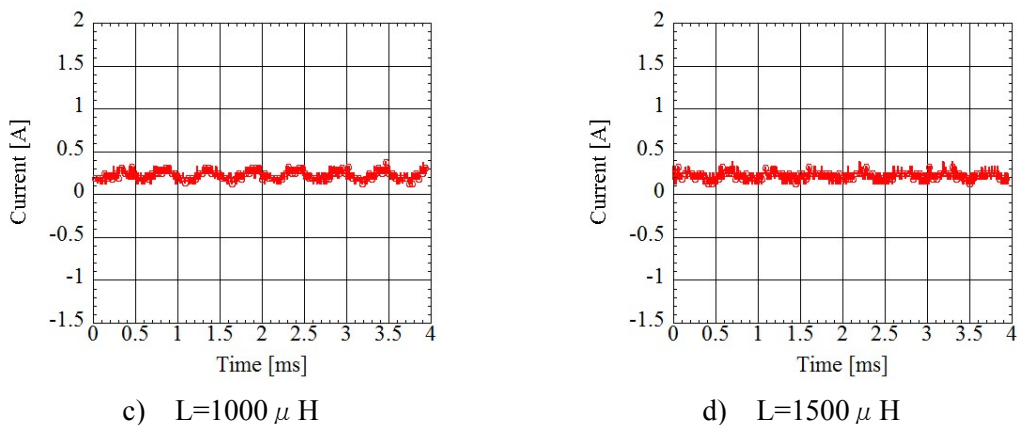


図 3.5 コイル挿入による入力波形の変化

表 3.2 コイル追加後の入力電流の変化

	L 未挿入時	$L=470 \mu\text{H}$	$L=1000 \mu\text{H}$	$L=1500 \mu\text{H}$
周波数	2 kHz	2 kHz	2 kHz	-
平均値	0.40 ~ 0.45 A	0.24 A	0.23 A	0.22 A
最大値	0.81 A	0.44 A	0.25 A	0.25 A
最小値	0.12 A	0.06 A	0.18 A	0.19 A

表 3.2 から明らかであるように、コイルの追加によって入力電流の平均値と変動が抑制されている。また上記の入力電流の状態でも表面電位計が正常に動作していることを $\pm 1\text{kV}$ の電圧を正常に測定できていることから確認した。上記の結果の中から $1500 \mu\text{H}$ のコイルを電力供給ラインに追加し衛星システムとの統合試験を行った。その結果、表面電位計への入力電流を過電流防止回路が動作しないレベルまで下げ、OBC、表面電位計ともに正常に動作することを確認した。

3.2.2. 表面電位計出力電圧の制御

ここでは表面電位計の出力電圧の調整について述べる。本研究で使用している表面電位計は測定電圧の $1/600$ の電圧値がセンサ出力として出力される。測定レンジが $\pm 3\text{kV}$ であるためセンサ出力は $\pm 5\text{V}$ となる。しかし表面電位計出力を受け取る A/D コンバータは仕様上、負の電圧を扱うことができない。そのため $\pm 5\text{V}$ の表面電位計出力電圧を、A/D コンバータが扱える $0 \sim 5\text{V}$ に変換する必要がある。その電圧変換回路をレベルシフト回路 (Level Shift Circuit : LSC) と呼び、その働きを図 3.6 に、また設計した回路を図 3.7 に示す。図に示すようにレベルシフト回路は 2 つの反転増幅回路と反転加算回路、ローパスフィルタから構成されている。

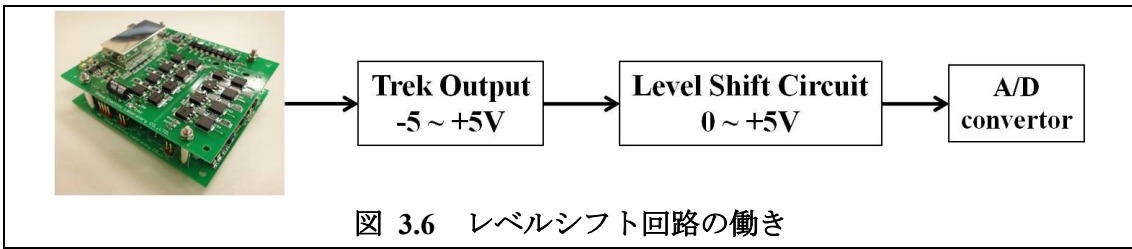


図 3.6 レベルシフト回路の働き

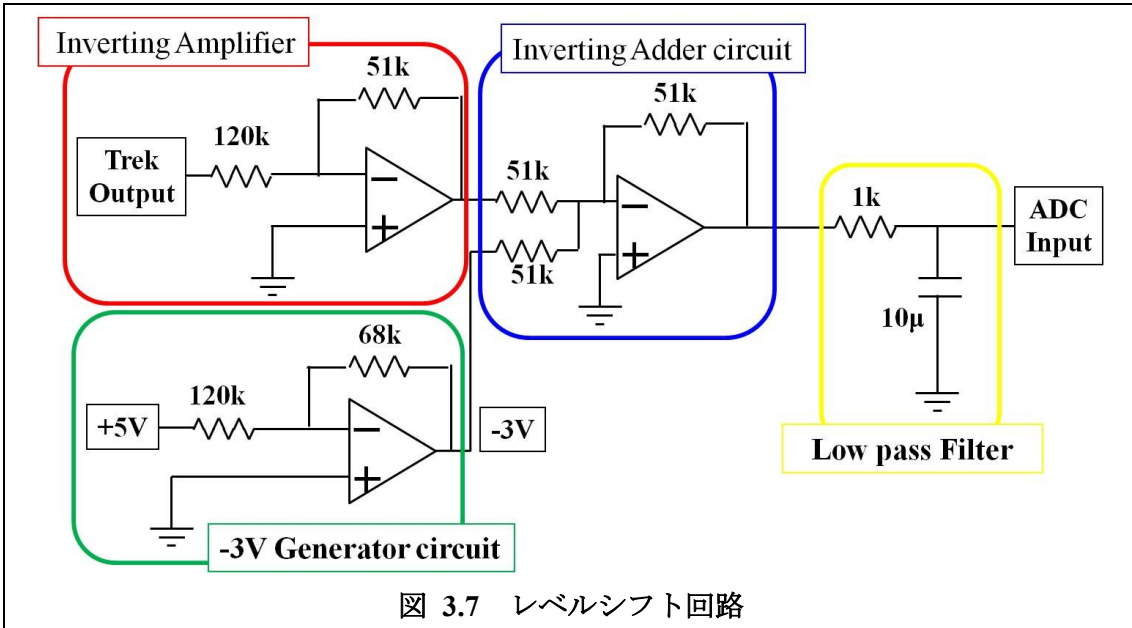
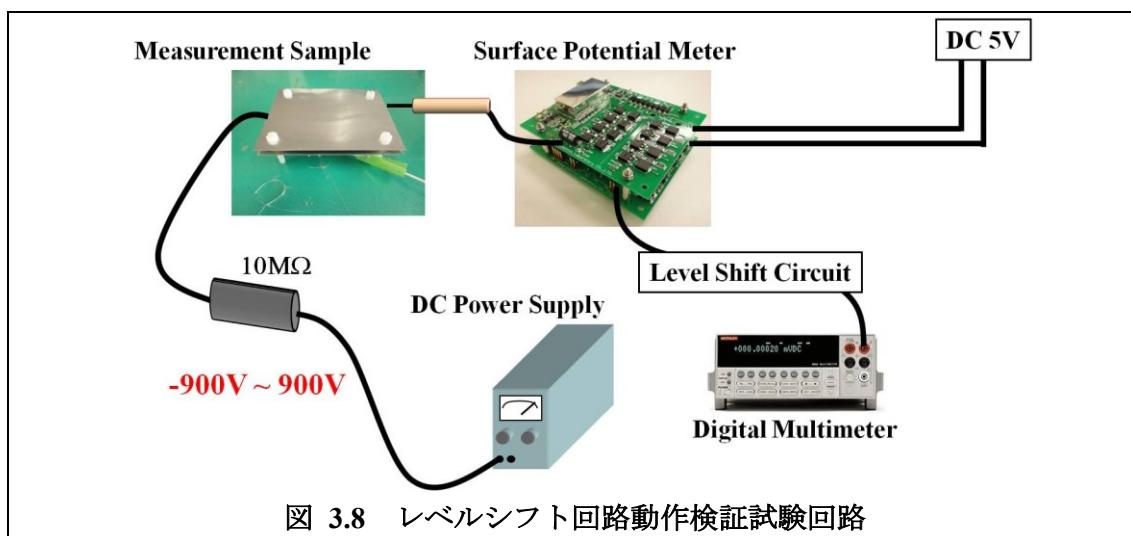


図 3.7 レベルシフト回路

設計したレベルシフト回路を用いて表面電位計の出力電圧が正常に電圧変換できていることを確認するために行った検証試験について述べる。

[試験内容]

図 3.8 に示す試験回路を組み、レベルシフト回路が正常に動作することを検証した。表面電位計の出力を設計したレベルシフト回路に入力し、レベルシフト回路の出力電圧をモニタリングした。なお試験環境は大気常温環境で、表面電位計プローブへは±900Vをバイアスした。その結果を図 3.9 に示す。



[試験結果]

図 3.9 にレベルシフト回路の動作検証試験結果を示す。表面電位計基板からの出力を、レベルシフト回路前とレベルシフト回路後で測定し、同一グラフ上にプロットしてある。図からも明らかなように、レベルシフト回路前の表面電位計の出力電圧を見ると、バイアス電圧が負の場合、負電圧が出力されている。しかしレベルシフト回路後の出力電圧を見ると、バイアス電圧が負の場合でも出力電圧は正となっている。この結果より得られた、レベルシフト回路を介した場合の近似式を以下に示す。

$$V_{\text{Bias}} = 1400 (V_{\text{output}} - 2.69) \quad \dots(3.1)$$

(1)式を用いて±3kV バイアスした場合のレベルシフト回路の出力電圧を計算した。その結果をグラフ化し図 3.10 に示す。この結果より表面電位計の測定レンジである±3kV をプローブにバイアスしても、A/D コンバータの仕様である 0~5V に収まることを確認した。

※ 上述した (3.1) 式は、レベルシフト回路検証段階のものであり、実際にレベルシフト回路を底面基板に搭載し、FM かみ合わせ試験で得たグラフの近似直線の式は後ほど示す。

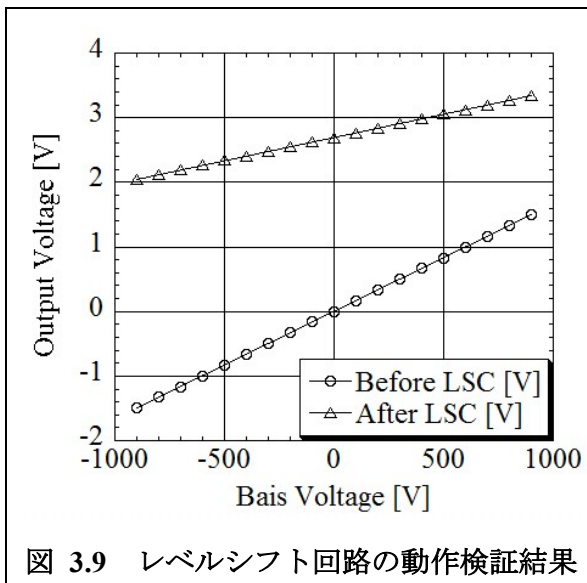


図 3.9 レベルシフト回路の動作検証結果

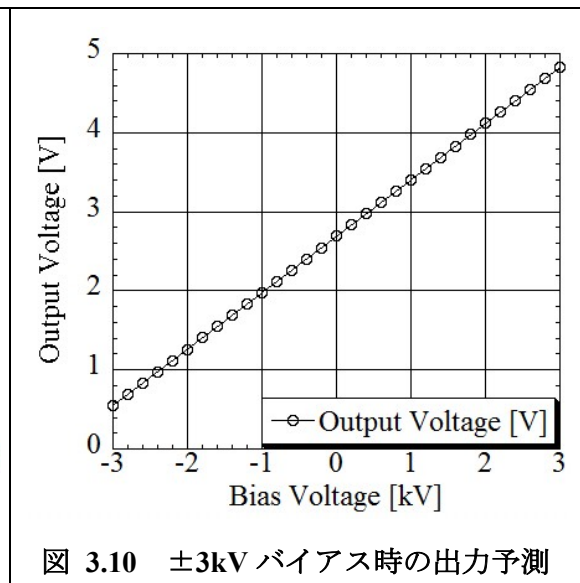


図 3.10 ±3kV バイアス時の出力予測

3.2.3. ロケット打ち上げ振動・衝撃対策

鳳龍式号は H2A ロケットに搭載されて打ち上げられる。そのロケット打ち上げの際に機械的振動が加わる。また衛星がロケットから分離される際にも衛星には大きな分離衝撃が加わるため、表面電位計基板上の素子に対して振動対策を施す必要がある。エンジニアリングモデル開発フェーズに行った振動試験では、振動対策が不十分であったため、振動試験中に基板上のコンデンサが脱落するという事象がおこった。そのため、表面電位計の振動対策を施した後、再度、振動・衝撃試験を行い、表面電位計基板が打ち上げ振動および衛星分離衝撃に耐えうることを確認した。図 3.11 と 3.12 に表面電位計基板に施した振動・衝撃対策を示す。図のように基板上的の脱落の恐れがある素子に対して、素子の下にガラスエポキシのステージを設置する。その後、基板、ガラスエポキシステージ、素子を宇宙用接着剤 (RTV-S691) で固着する。

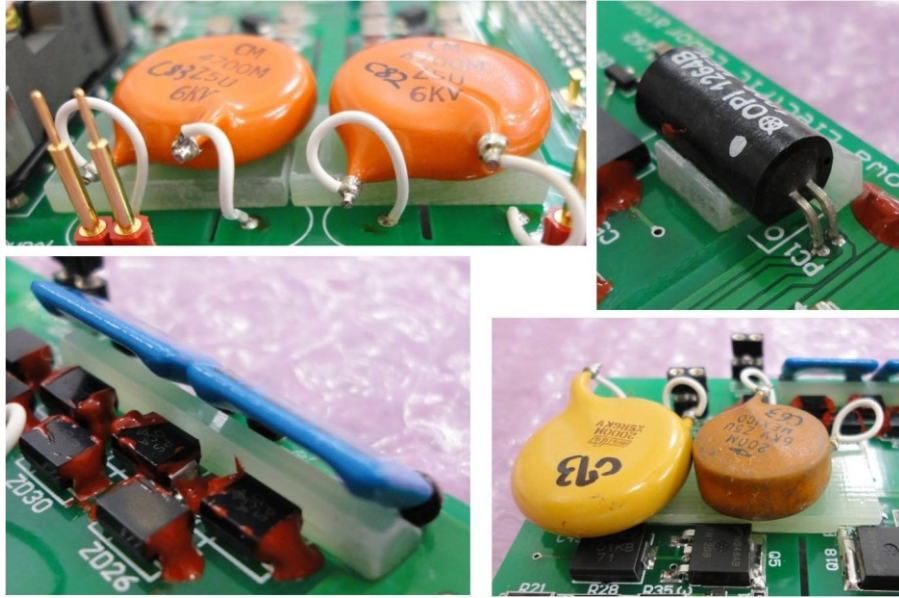


図 3.11 表面電位計基板上の振動衝撃対策 -1-

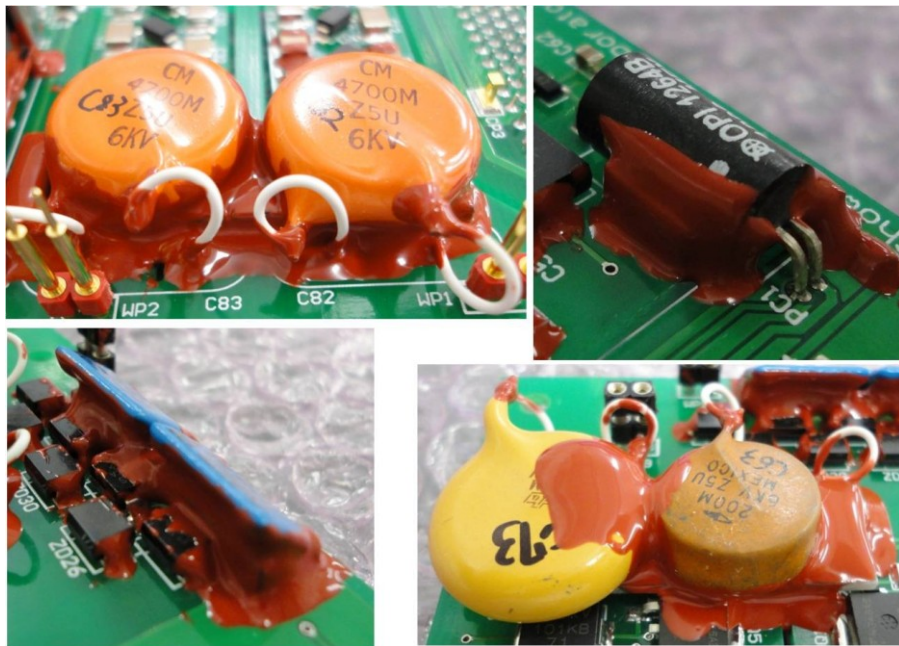


図 3.12 表面電位計基板上の振動衝撃対策 -2-

3.2.4. 放電対策

本研究で使用する表面電位計基板は基板内で数キロボルトオーダーの電位差が発生する。そのため、製品版の表面電位計基板では十分な絶縁距離を保ち、基板内での放電が発生しないよう設計されている。しかし鳳龍式号への搭載のためには基板の小型化が必須条件であり、図 3.13 に示すサイズまで小型化を進めた。その結果基板内の絶縁距離を保つことができていない個所が存在している可能性がある。上記の理由により、表

面電位計基板内での放電対策として図 3.14 に示すような手法をとった。基板上の高電圧印加部分を宇宙用接着剤 (RTV-S691) でコーティングした。この状態で表面電位計の動作検証試験を行い、放電対策前後で性能に変化が無いことを確認した。



図 3.13 放電対策 -1-

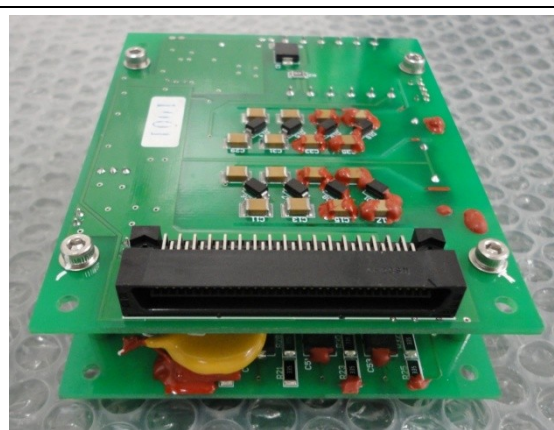


図 3.14 放電対策 -2-

3.2.5. 衛星システムとの統合試験

これまでに記述したインターフェイス調整、耐宇宙環境化を施した基板を用いて、衛星システムに組み込んだ状態での電気かみ合わせ試験を行った。図 3.15 に電気かみ合わせ試験で使用した基板を示す。ベース基板上に、衛星バスシステムである OBC 基板・通信基板・電源基板を接続し、表面電位計基板 (図中の Trek 基板) を組み込む。この状態で図 3.16 のように表面電位計プローブの先端に±3kV をバイアスし、表面電位計出力をモニタリングする。表面電位計の出力データはベース基板上に搭載されたレベルシフト回路を介し A/D コンバータで A/D 変換され、デジタルデータとして PC 上に表示される。図 3.17 に電気かみ合わせ試験結果を示す。X 軸がプローブへのバイアス電圧 (V_{Bias})、Y 軸が AD コンバータからの出力電圧 (V_{Output}) である。このグラフを直線近似し、近似直線から V_{Bias} について求めると以下の式になる。

$$V_{Bias} = 1369 (V_{Output} - 2.87) \quad \dots(3.2)$$

この試験ではプローブへのバイアス電圧 (V_{Bias}) はプローブの帯電電位 (V_{Charge}) を模擬しており、AD コンバータの出力電圧は実際には衛星からのダウンリンクデータである。上記の式より表面電位計プローブの帯電電位を求めることが可能である。この電気かみ合わせ試験結果より、表面電位計システムが衛星システムに統合可能であることを確認した。

なお、表面電位計システムの耐宇宙環境性の評価基準としては、表面電位計の出力倍率 (表面電位計単体では 1/600、レベルシフト回路を介すと 1/1369 と表面電位計 OFF 時の ADC 出力電圧 2.87V) が各環境試験前後、および環境試験中に変動しないことを確認する。

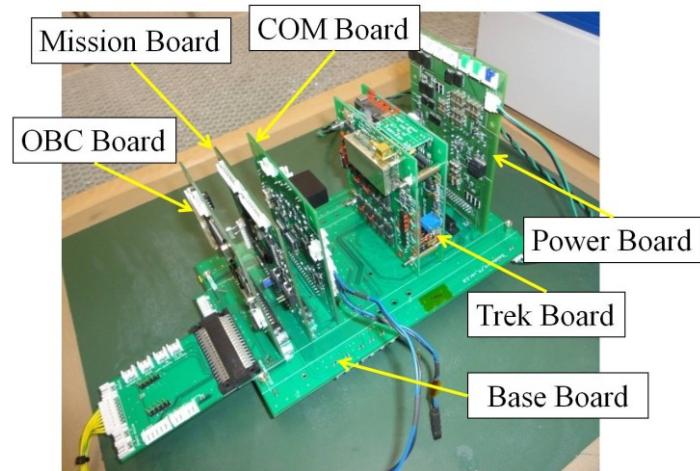


図 3.15 電気かみ合わせ試験で使用した基板

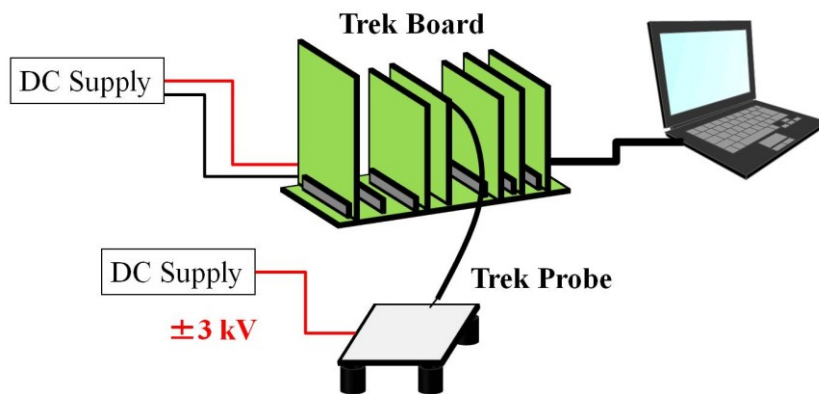


図 3.16 電気かみ合わせ試験

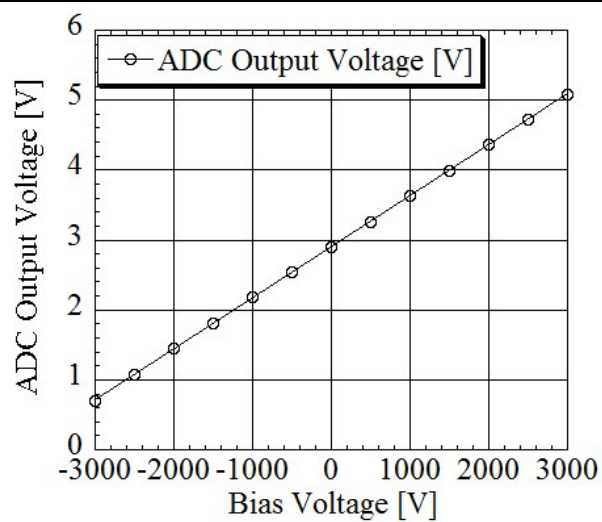


図 3.17 電気かみ合わせ試験結果