

7章 ソフトウェア検証

7.1 フライトソフトウェア検証試験

本試験では、300V系CPUのフライトソフトウェアが適切にコーディングされていることを検証する試験である。300V系単体のソフトウェア検証なので、図7.1のように300V系のIFボードを使用して試験が行われた。また、300V系とOBCとのソフトウェアインターフェースに関しては7.2テーブルサット試験で検証する。

放電試験モードには正常終了(60分)と放電回数30による終了の2種類がある。本試験では2種類の終了条件を模擬してデータが正常に保存されること、正常に終了することを確認した。

また、フラッシュのデータの破損が確認されたEM放電試験(2回目)のノミナルTJアレイ(1回目)を模擬してプログラムに不具合はなく、放電ノイズによるデータ破損であることを確認する試験も行っている。

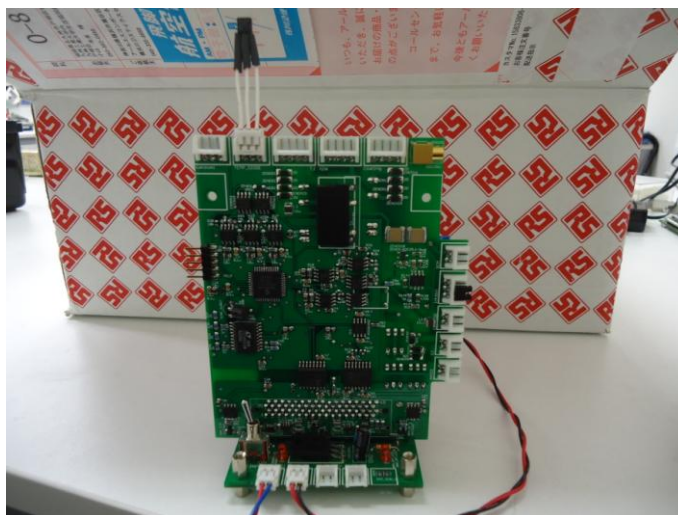


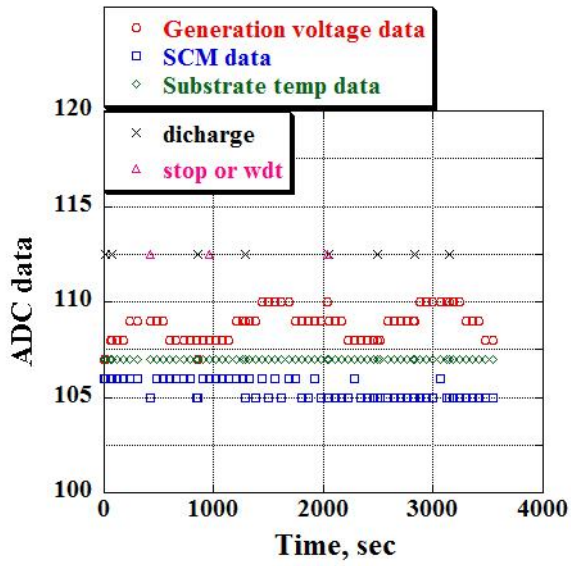
図7.1 フライトソフトウェア検証試験のセットアップ

Figure 7.1 Setup of flight software verification test

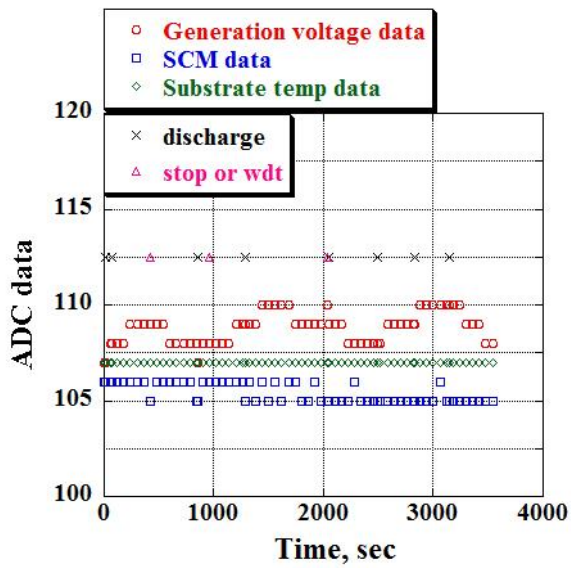
放電試験モード(正常終了)

本試験では、放電模擬や誤動作の模擬を定期的に数回行った。ただし、放電回数と誤動作の合計は30回にならないようにしている。発電電圧測定回路及びSCM回路には制限抵抗を介して約200Vの高電圧を印加している。

試験結果を図7.2に示す。グラフからも分かるようにモニタリングによって得られたデータとフラッシュのデータが一致していることから正常にデータが保存されていることが分かる。また、60min経過した後、試験終了コマンドが送信されたことも確認できた。



モニタリング



フラッシュ

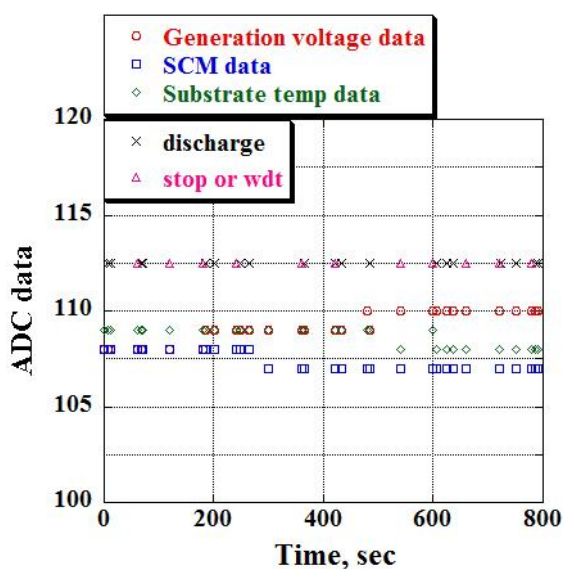
図7.2 放電試験モード(正常終了)

Figure 7.2 Discharge test mode (Normal end)

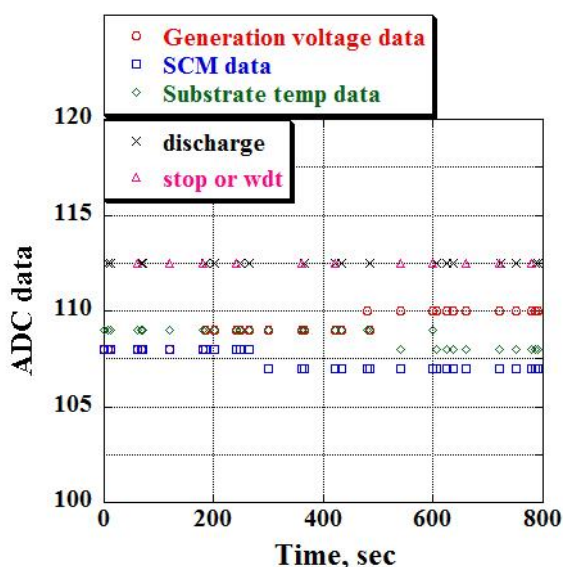
放電試験モード(放電回数30による終了)

本試験では、放電模擬や誤動作の模擬を定期的に数回行った。ただし、放電回数と誤動作の合計を30になるようにしている。発電電圧測定回路及びSCM回路には制限抵抗を介して約200Vの高電圧を印加している。

試験結果を図7.3に示す。グラフからも分かるようにモニタリングによって得られたデータとフラッシュのデータが一致していることから正常にデータが保存されていることが分かる。また、放電回数が30になったら、試験終了コマンドが送信されたことも確認できた。



モニタリング



フラッシュ

図7.3 放電試験モード(放電回数30による終了)

Figure 7.3 Discharge test mode (End due to 30 discharges including malfunctions)

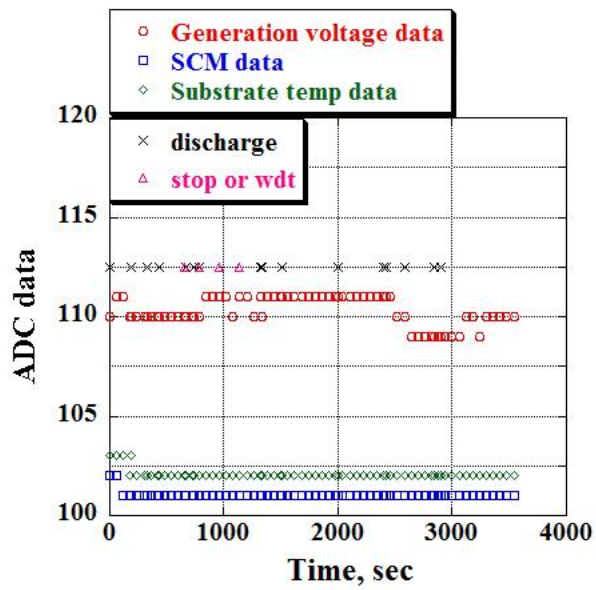
放電試験模擬

本試験はデータ破損が観測されたEM放電試験(2回目)のノミナルTJアレイ(1回目)のモニタリングデータに基づいて放電や誤動作の模擬を行っている。ただし、発電電圧測定回路及びSCM回路には制限抵抗を介して約200Vの高電圧を印加している。EM放電試験(2回目)のノミナルTJアレイ(1回目)のモニタリングデータの詳細を以下に示す。

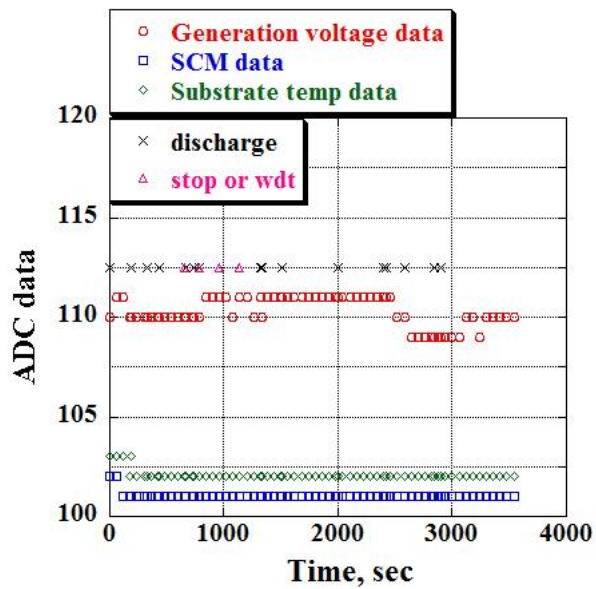
| | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Start time 0 min | Start time 11 min | 16,0,0,0,0,1 |
| Discharge number 0 | Discharge number 5 | Discharge test on Nominal |
| 0,0,0,0,0,1 | 11,0,0,0,0,1 | TJ cell |
| Discharge test on Nominal | Discharge test on Nominal | 16,0,0,115,178,123,0 |
| TJ cell | TJ cell | 17,0,0,116,178,128,0 |
| 0,0,0,111,176,2,0 | 11,0,0,115,178,126,0 | 18,0,0,116,178,130,0 |
| Discharge number = 01 | Discharge number = 06 | 300V Flight Model |
| Discharge data = 3f | Discharge data = 38 | |
| 0,2,1,111,177,38,0 | 11,23,1,115,178,129,0 | Start time 19 min |
| 1,0,0,111,177,133,0 | 12,0,0,115,178,129,0 | Discharge number 11 |
| 2,0,0,112,177,134,0 | Discharge number = 07 | 19,0,0,0,0,1 |
| 3,0,0,112,178,130,0 | Discharge data = 38 | Discharge test on Nominal |
| Discharge number = 02 | 12,24,1,115,178,130,0 | TJ cell |
| Discharge data = 3f | 300▪ Flight Model | 19,0,0,116,178,124,0 |
| 3,12,1,113,178,132,0 | | 20,0,0,116,178,123,0 |
| 4,0,0,113,178,132,0 | Start time 13 min | 21,0,0,116,178,113,0 |
| 5,0,0,113,178,132,0 | Discharge number 8 | 22,0,0,116,178,130,0 |
| Discharge number = 03 | 13,0,0,0,0,1 | Discharge number = 0c |
| Discharge data = 38 | Discharge test on Nominal | Discharge data = 3f |
| 5,27,1,113,178,131,0 | TJ cell | 22,7,1,116,178,127,0 |
| 6,0,0,114,178,127,0 | 13,0,0,115,178,117,0 | Discharge number = 0d |
| 7,0,0,114,178,125,0 | Discharge number = 09 | Discharge data = 38 |
| Discharge number = 04 | Discharge data = 07 | 22,60,1,116,178,127,0 |
| Discharge data = 3f | 13,42,1,115,178,132,0 | 23,0,0,116,178,127,0 |
| 7,58,1,114,178,131,0 | 14,0,0,115,178,129,0 | 24,0,0,116,178,124,0 |
| 8,0,0,114,178,130,0 | 15,0,0,115,178,122,0 | 25,0,0,116,178,125,0 |
| 9,0,0,114,178,127,0 | 300▪ Flight Model | Discharge number = 0e |
| 10,0,0,115,178,129,0 | | Discharge data = 38 |
| 300V Flight Model | Start time 16 min | 25,17,1,116,178,127,0 |
| | Discharge number 10 | 26,0,0,116,178,132,0 |

| | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 27,0,0,116,178,124,0 | Discharge data = 3f | 48,0,0,117,178,132,0 |
| 28,0,0,116,178,134,0 | 40,7,1,117,178,131,0 | Discharge number = 14 |
| 29,0,0,117,178,135,0 | Discharge number = 11 | Discharge data = 3f |
| 30,0,0,117,178,137,0 | Discharge data = 38 | 48,6,1,117,178,132,0 |
| 31,0,0,117,178,136,0 | 40,36,1,117,178,131,0 | 49,0,0,117,178,128,0 |
| 32,0,0,117,178,136,0 | 41,0,0,117,178,126,0 | 50,0,0,117,178,126,0 |
| 33,0,0,117,178,138,0 | 42,0,0,117,178,131,0 | 51,0,0,117,178,126,0 |
| Discharge number = 0f | 43,0,0,117,178,126,0 | 52,0,0,117,178,125,0 |
| Discharge data = 38 | Discharge number = 12 | 53,0,0,117,178,124,0 |
| 33,23,1,117,178,129,0 | Discharge data = 3f | 54,0,0,117,178,126,0 |
| 34,0,0,117,178,124,0 | 43,43,1,117,178,129,0 | 55,0,0,118,178,130,0 |
| 35,0,0,117,178,127,0 | 44,0,0,117,178,130,0 | 56,0,0,118,178,124,0 |
| 36,0,0,117,178,130,0 | 45,0,0,117,178,118,0 | 57,0,0,118,178,126,0 |
| 37,0,0,117,178,124,0 | 46,0,0,117,178,125,0 | 58,0,0,118,178,123,0 |
| 38,0,0,117,178,132,0 | 47,0,0,117,178,126,0 | 59,0,0,118,178,118,0 |
| 39,0,0,117,178,126,0 | Discharge number = 13 | Packet number 11 |
| 40,0,0,117,178,130,0 | Discharge data = 38 | |
| Discharge number = 10 | 47,13,1,117,178,129,0 | |

試験結果を図7.4に示す。グラフからも分かるようにモニタリングによって得られたデータとフラッシュのデータが一致していることから正常にデータが保存されていることが分かる。よって、フラッシュのデータ破損はプログラムのバグではなく、放電ノイズによるデータ破損であると判断した。また、60min経過した後、試験終了コマンドが送信されたことも確認できた。



モニタリング



フラッシュ

図7.4 放電試験モード(放電試験模擬)

Figure 7.4 Discharge test mode (Simulation of discharge test when loss of data occurred)

フィルム劣化試験モード

フィルム劣化試験モードでは照度の値が最も大きい物を20個選んで保存を行う。この保存は20分置きに合計3回行われる。光源にはハロゲンランプを用いて、定期的にフォトダイオードに光を照射した。

PCによるモニタリングでは図7.5の結果が得られた。このグラフから保存されるデータ候補は試験開始直後であると考えられる。試験開始直後を拡大したグラフを図7.6に示す。このグラフから保存されるデータ候補は約25~30secの間であると予想できる。

フラッシュに保存されているデータの解析結果を図7.7に示す。このグラフから保存されている時間データが26~28secで照度の出力データが130程度であることからモニタリングデータを一致していることが分かる。以上の結果からフィルム劣化試験モードのソフトウェアは適切にコーディングされていると判断した。

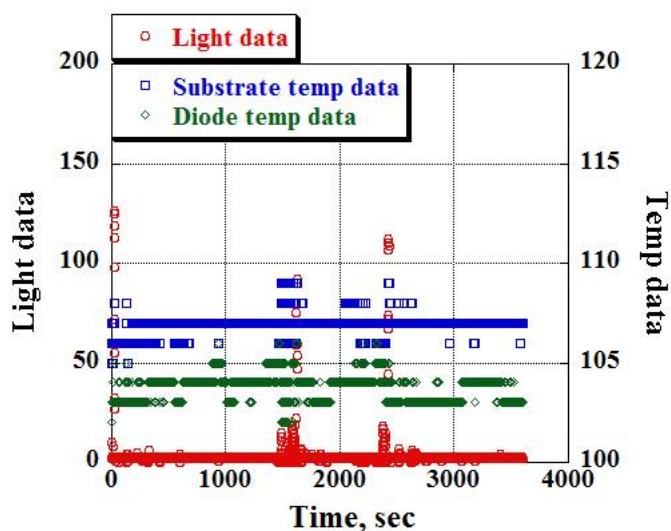


図7.5 フィルム劣化試験モニタリング

Figure 7.5 Monitoring data of film degradation test mode

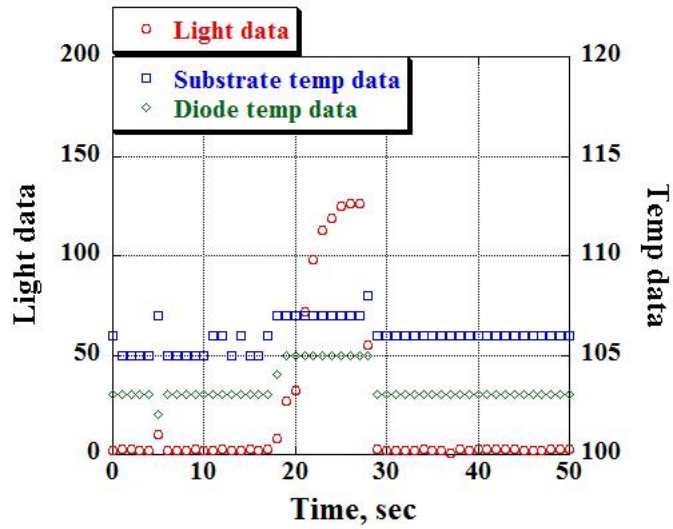


図7.6 フィルム劣化試験モニタリング(試験開始直後拡大)

Figure 7.6 Monitoring data of film degradation test mode (Zoom of data just after test started)

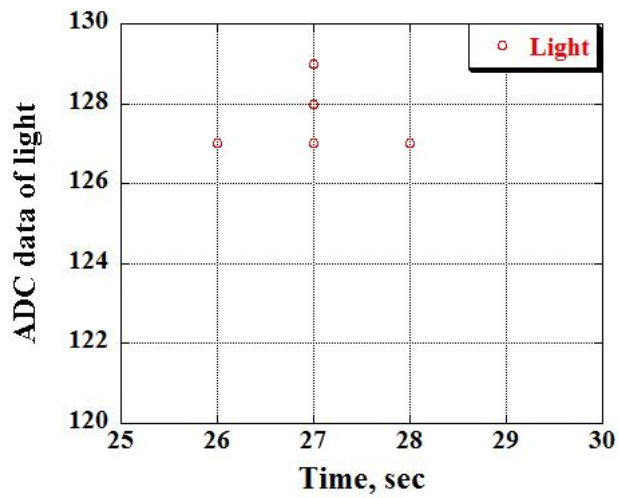


図7.7 フラッシュデータ解析(フィルム劣化試験)

Figure 7.7 Analysis of flash data (film degradation test)

7.2 テーブルサット試験

テーブルサット試験は、300V系CPUとOBCのソフトウェアインターフェースを検証する試験である。この試験では図7.6のようにフライト同等の基板を統合して行われ、またソフトウェアに関してはフライトソフトウェアが使用されている。衛星と地上局のインターフェースは通信機を用いず、通信基板及び地上局のモデムを介してデータの送受信が行われた。試験項目は、試験開始コマンド、終了コマンド、フラッシュメモリである。以下に試験結果を示す。

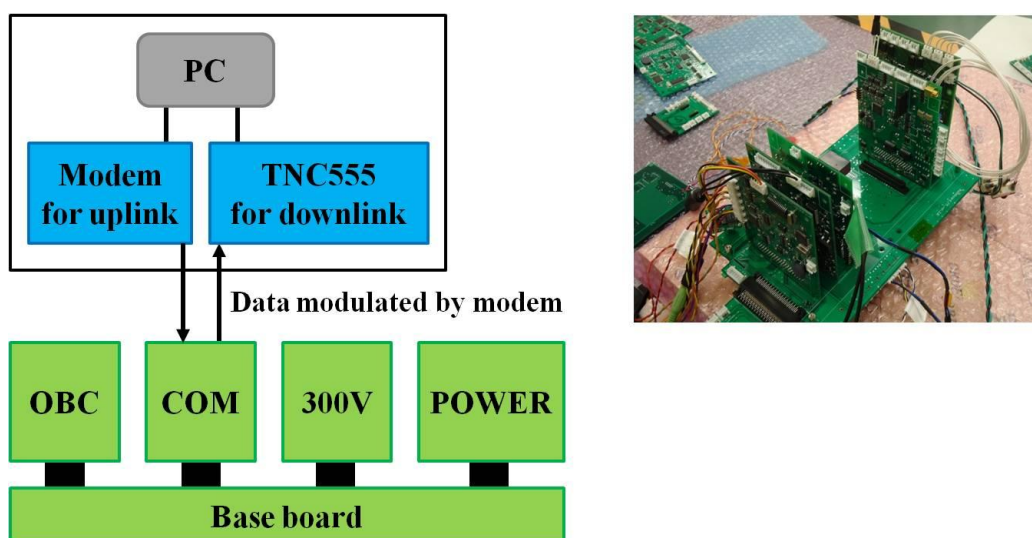


図7.6 テーブルサット試験のセットアップ

Figure 7.6 Setup of tablesat test

(a) 試験開始コマンド

表7.1 試験開始コマンドの動作確認

Table 7.1 Operation check of test start command

| 試験モード | コマンド ライン1 | コマンド ライン2 | コマンド ライン3 | 開始された 試験モード |
|------------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
| 初期動作確認 | ON | OFF | OFF | 初期動作確認 |
| フィルム劣化 | ON | ON | ON | フィルム劣化 |
| 300V 発電モード | OFF | ON | OFF | 300V 発電 |
| オーロラ帯 | OFF | ON | ON | オーロラ帯 |
| ノミナル TJ アレイ | ON | ON | OFF | ノミナル TJ アレイ |
| フィルム TJ アレイ | OFF | OFF | ON | フィルム TJ アレイ |
| コーティング TJ アレイ | ON | OFF | ON | コーティング TJ アレイ |

(b) 試験終了コマンド

各試験モードにおいて、決められた試験時間で正常に試験を終了することができ、300V系CPUから試験終了コマンドが送信され、OBCで受信することを確認できた。また、試験の途中で300V系CPUの誤動作を模擬するために300V系側の電源ラインを短絡することを行った。この状態をつくると試験コマンドラインに使用されている素子(磁気カプラ)の性能上、意図しない試験終了コマンドが送信されてしまう。しかし、300V系CPUは正常に復帰し試験を再開することが確認できた。

(c) フラッシュメモリ

フラッシュメモリのソフトウェアインターフェースを検証する試験では、セクタ割り当て通りに試験データが書き込まれていること、またダウンリンクによりデータを取得できることを確認した。

セクタ割り当てのソフトウェアインターフェースに関しては、表 6.25 の通りセクタ割り当て通りの箇所にデータを保存していることを確認できた。

表7.2 各試験モードのセクタ割り当てのソフトウェアインターフェース確認

Table 7.2 Check of software interface of Sector arrangement in each test mode

| 試験モード | セクタ割り当て(設計) | 保存されたセクタ |
|------------------|-------------|----------|
| 初期動作確認モード | 3 | 3 |
| フィルム劣化試験モード | 14, 15 | 14, 15 |
| 300V 発電モード | 4, 5 | 4, 5 |
| オーロラ帯放電試験モード | 12, 13 | 12, 13 |
| ノミナル TJ アレイモード | 6, 7 | 6, 7 |
| フィルム TJ アレイモード | 8, 9 | 8, 9 |
| コーティング TJ アレイモード | 10, 11 | 10, 11 |

ダウンリンクによりデータを取得できることを確認する試験では、300V系側で放電試験を模擬するために、高電圧を印加したり、放電や誤動作の模擬をしたりして試験が行われた。高電圧印加の外部回路は図 7.7 に示している回路、放電模擬は図 6.15 の回路を用い、誤動作の模擬は300V系側の電源を短絡することで模擬した。試験手順を以下に示す。

1. 高電圧印加(30V以下)及び放電模擬の外部回路を接続する
2. 300V系CPUのモニタリング回路を接続する
3. 室温をメモする
4. 放電試験モード(ノミナル TJ アレイモード)をアップリンクする
5. 300V系CPUのモニタリングを行い、正常に放電試験モードが行われたことを確認する

6. 高電圧を印加する(高電圧電源を ON にする)
7. 印加電圧をメモする
8. 定期的(10 分に 1 回)に放電を模擬する(放電を模擬した箇所、時間をメモする)
9. 定期的(20 分に 1 回)に PIC を誤動作させる(誤動作させた時間をメモする)
10. 試験開始から 1 時間後、OBC に試験終了コマンドが送られたことを確認する
11. 試験データをダウンリンクする
12. ダウリンクされたデータとメモしたデータと比較を行う

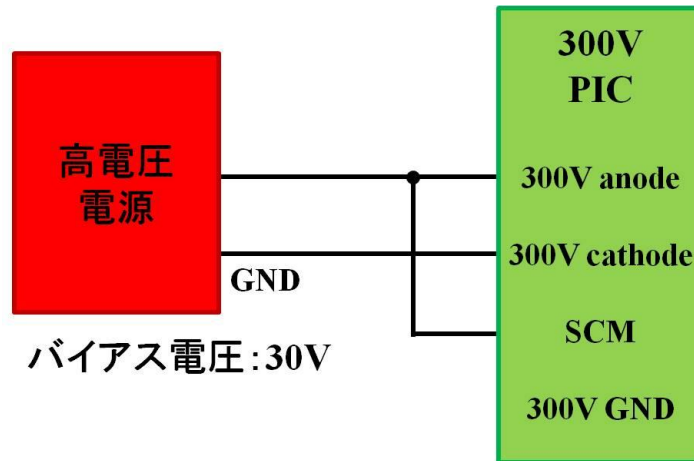


図7.7 テーブルサット試験での高電圧の外部回路
Figure 7.7 High-voltage outside circuit in tablesat test

300V 系のモニタリングは CPU のメモリ上全てのセンサデータを模擬することができないので、高電圧電源を値や放電模擬や誤動作の回数、放電模擬の箇所をメモすることで行われた。モニタリングの結果を表 6.26 に示す。

表7.3 テーブルサット試験のモニタリング結果
Table 7.3 Monitoring results in tablesat test

| バイアス電圧と室温 | | |
|--------------|--------|------|
| バイアス電圧(発電電圧) | 30V | |
| バイアス電圧(電位) | 30V | |
| 室温 | 28degC | |
| 放電模擬と誤動作模擬 | | |
| 発生事項 | 時間 | 放電箇所 |
| 放電模擬 | 11:26 | 300V |
| 放電模擬 | 20:40 | TJ |
| 誤動作模擬 | 22:00 | - |
| 放電模擬 | 30:34 | 300V |
| PC からのノイズ | 38:41 | - |

| | | |
|-------|-------|------|
| 放電模擬 | 40:36 | TJ |
| 誤動作模擬 | 41:00 | - |
| 放電模擬 | 49:43 | 300V |
| 放電模擬 | 53:19 | TJ |
| 誤動作模擬 | 54:00 | - |

※PCからのノイズは、PCのバッテリーが切れそうだったので、電力を供給したところ放電発生と検知されたことから、PCからのノイズであると判断している。

ダウンリンクで得られたデータを図7.8に示す。モニタリングによって得られたデータと比較すると一致していることが確認できた。よって、フラッシュメモリのソフトウェアインターフェースが正常にコーディングされているという結果が得られた。

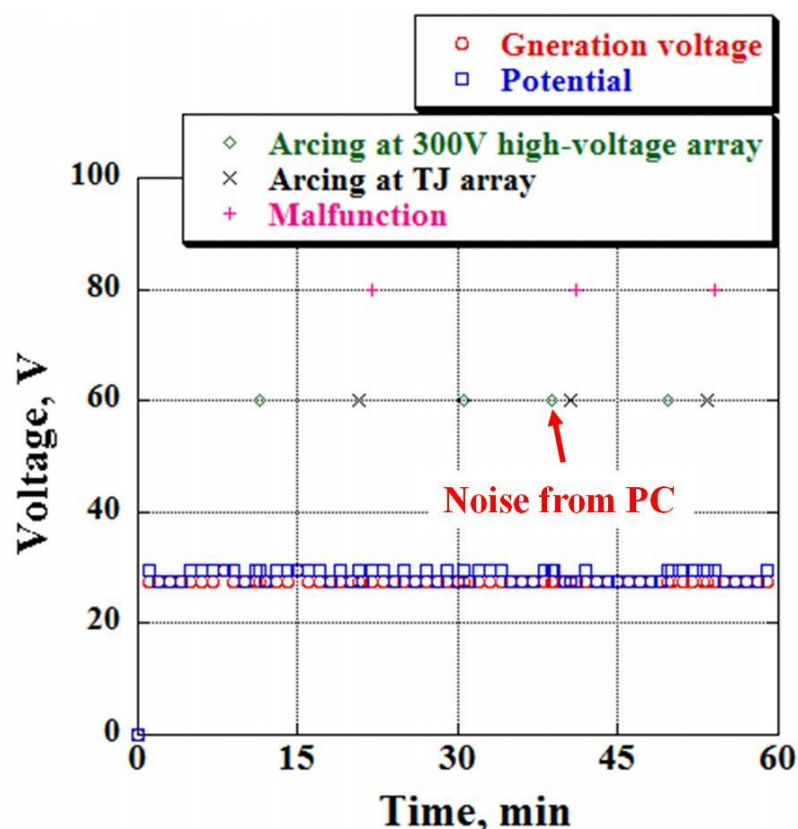


図7.8 ダウンリンクデータ(テーブルサット試験)

Figure 7.8 Downlink data (Tablesat test)