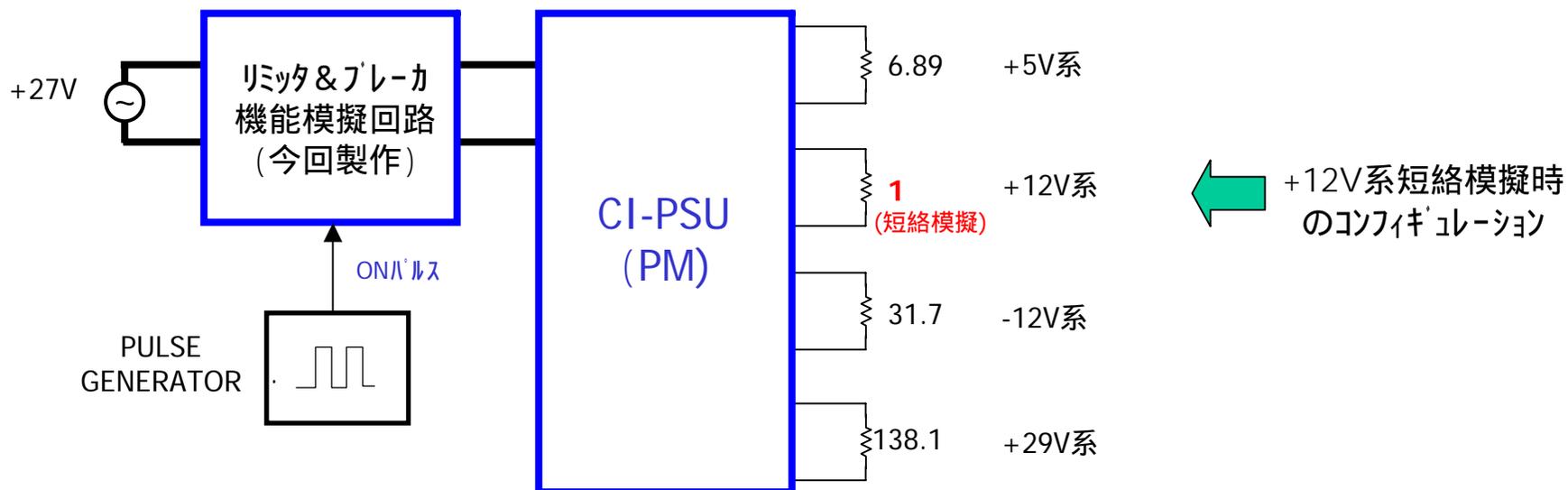


**第 1 8 号科学衛星 (PLANET - B)「のぞみ」の
通信系・熱制御系機能不具合
についての補足資料**

平成 1 6 年 4 月 6 日

宇宙航空研究開発機構

電気系事故(02/04/26)後の地上評価試験(その1)



| 短絡状況 | | 1次入力 | 2次出力 | |
|-------|------------|----------|--------|---------|
| 短絡箇所 | CI-PSU入力電流 | ON時間 | +5Vmax | +12Vmax |
| +12V系 | 約18A | 1.6 msec | 2.3 V | 3.9 V |
| | 約9.0A | 2.0 msec | 2.8 V | 5.8 V |
| | 約4.5A | 3.0 msec | 3.5 V | 7.8 V |
| -12V系 | 約18A | 1.7 msec | 2.7 V | 6.4 V |
| | 約9.0A | 2.0 msec | 3.0 V | 7.2 V |
| | 約4.5A | 3.2 msec | 3.6 V | 8.4 V |
| +29V系 | 約18A | 1.8 msec | 2.7 V | 6.0 V |
| | 約9.0A | 2.0 msec | 3.0 V | 7.2 V |
| | 約4.5A | 3.2 msec | 3.7 V | 9.0 V |
| +5V系 | 約18A | 3.8 msec | 2.1 V | 11 V |
| | 約9.0A | 4.3 msec | 2.7 V | 12 V |
| | 約4.5A | 4.4 msec | 3.2 V | 13 V |

実験内容

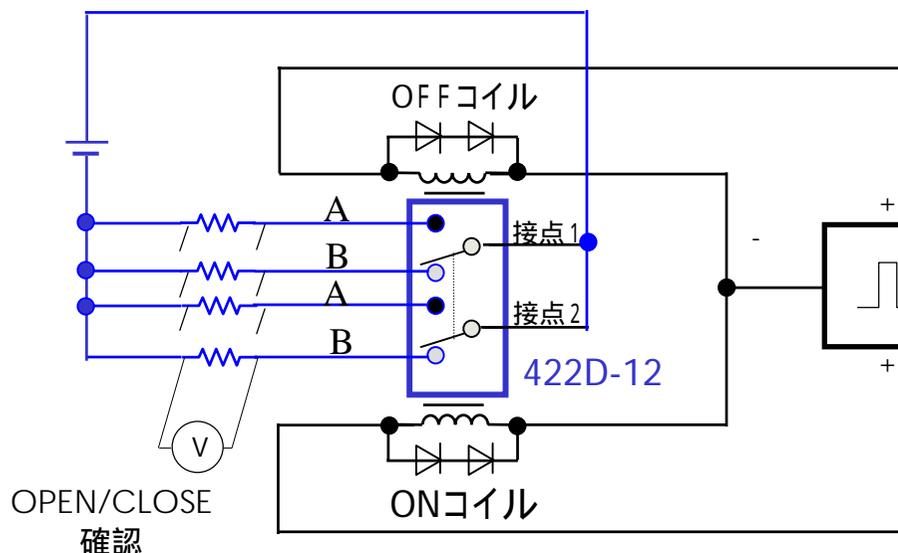
- ・CI-PSUと同型PSU(PM)及びリミッタ & ブレーカ機能模擬回路にて軌道上の状況を再現。
- ・連続ONを印加。
- ・短絡箇所、抵抗を変え、シャットダウン特性を確認。

実験結果

- ・連続ON印加でもCI-PSU動作は正常のまま。
焼き切りオペが可能
- ・この実験からはどの出力が短絡したかを特定する事は出来なかった。
- ・デッドショートに近くてもTCIが偽コマンドを出す電圧に達する。

CI-PSUと同型PSU(PM)での連続ON実験

電気系事故(02/04/26)後の地上評価試験(その2)



TCIからのON/OFF同時コマンドの発生に伴うリレーの動作に関する実験

TCIからの偽コマンドはここへのトリガーに相当

PULSE GENERATOR

(パルス幅:2msec)

OPEN/CLOSE 確認

| CM後の STATUS | RL1 | | RL2 | | RL3 | |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 接点1 | 接点2 | 接点1 | 接点2 | 接点1 | 接点2 |
| A | 561 | 167 | 126 | 132 | 199 | 57 |
| B | 8 | 0 | 0 | 178 | 124 | 124 |
| 中間 | 0 | 402 | 249 | 65 | 65 | 207 |
| 状態変化 | | | | | | |
| A B | 0 | 0 | 0 | 5 | 2 | 2 |
| B A | 9 | 1 | 5 | 6 | 4 | 0 |
| A 中間 | 0 | 4 | 9 | 4 | 1 | 4 |
| B 中間 | 0 | 9 | 3 | 0 | 3 | 7 |
| 中間 A | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 中間 B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

実験内容

- ・3個の供試体(接点は6箇所)。
- ・1個につき400回前後のON/OFF同時励起を実施し、接点の状況を確認。

実験結果

- ・「どちらの接点にも接触していない」という状態がある。
- ・「どの状態になりやすいか」という傾向には**個体差が大きい**。
- ・確率は低い**が「状態変化」は十分起こりうる**。

自律化機能を利用したピーコン復活運用

同型リレー(422D-12)の接点同時駆動実験

電気系事故(02/04/26)後の地上評価試験(その3)

リレー、コマンド動作限界電圧の調査

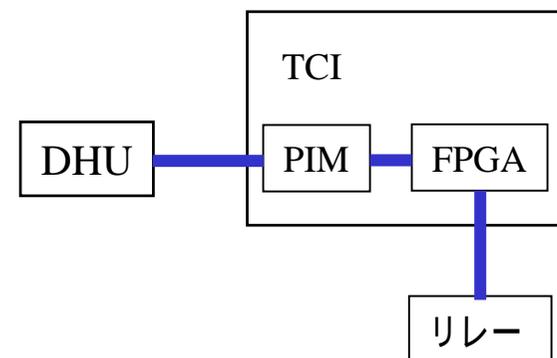
| | |
|--------------|---------------|
| PIM動作試験 | +5V系電圧と各機能の関係 |
| ・ONコマンド出力確認 | +3.2V以上でパルス出力 |
| ・OFFコマンド出力確認 | +3.2V以上でパルス出力 |
| ・応答バス生成機能確認 | +3.7V以上で正常動作 |

| | |
|------------------|--|
| リレー動作試験(422D-12) | 駆動パルスと12V系最小動作電圧の関係 |
| ・試料1 | <ul style="list-style-type: none"> ・+5.6V@2msec ・+6.1V@1msec ・+8.5V@0.5msec |
| ・試料2 | <ul style="list-style-type: none"> ・+6.7V@2msec ・+7.2V@1msec ・+9.5V@0.5msec |

実験内容

- ・不完全な電源立上がりを想定し、PIM()やリレーの動作限界電圧の調査を実施した。

正規のコマンド発行による2次側リレー動作の可能性

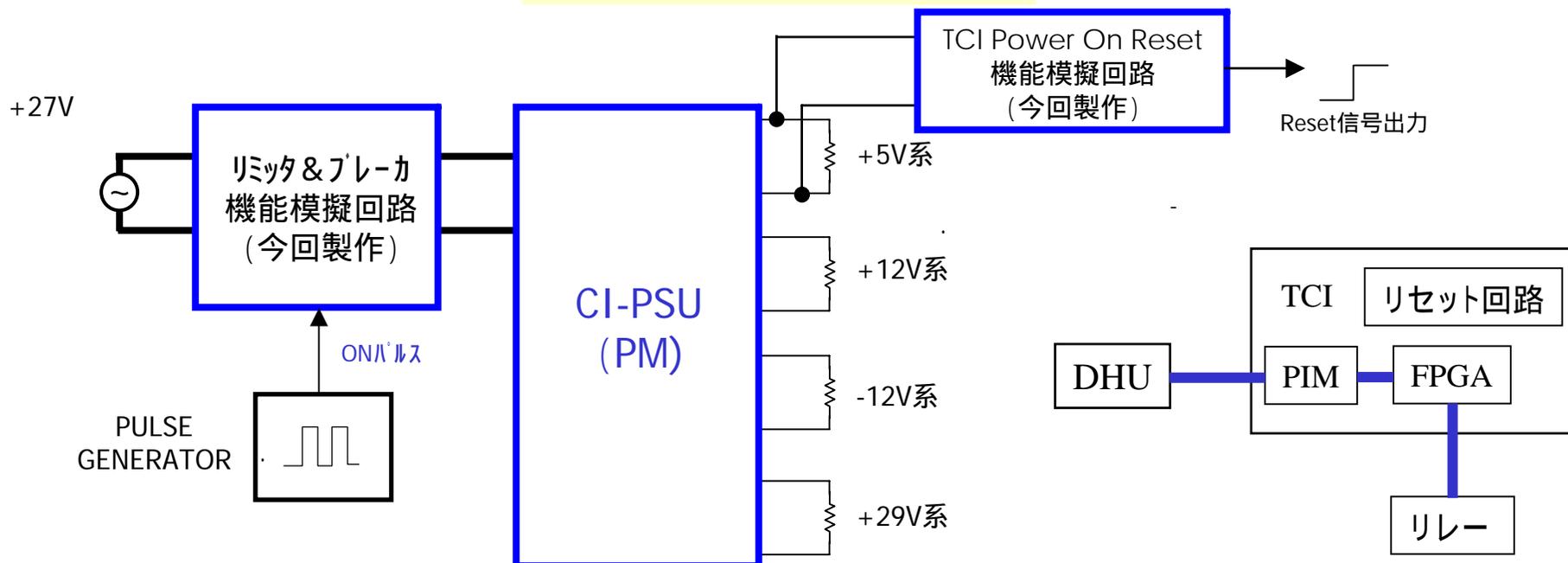


PIM = Periferal Interface Module

- ・データバスに接続し、機器とシステムとのコマンド・テレメトリインタフェースを実現する一種のターミナル。

電気系事故(02/04/26)後の地上評価試験(その4)

TCI立上がり可能性の調査



実験内容

- ・TCIにはPower On Reset回路が具備されており、電源が正常ONの場合にのみ立上がる設計となっているが、電源立上がりが不完全な際に、万が一にもTCIが立ち上がる可能性がないかを試験にて確認した。
- ・リミッタ回路とPSU (PM)の評価試験セットにTCIリセット回路試作品を接続し、そのReset信号出力の有無を確認した。

実験結果

- ・Power On Reset回路は正常に動作する。
すなわち残念ながらTCIが立上がる可能性はないことが確認された。

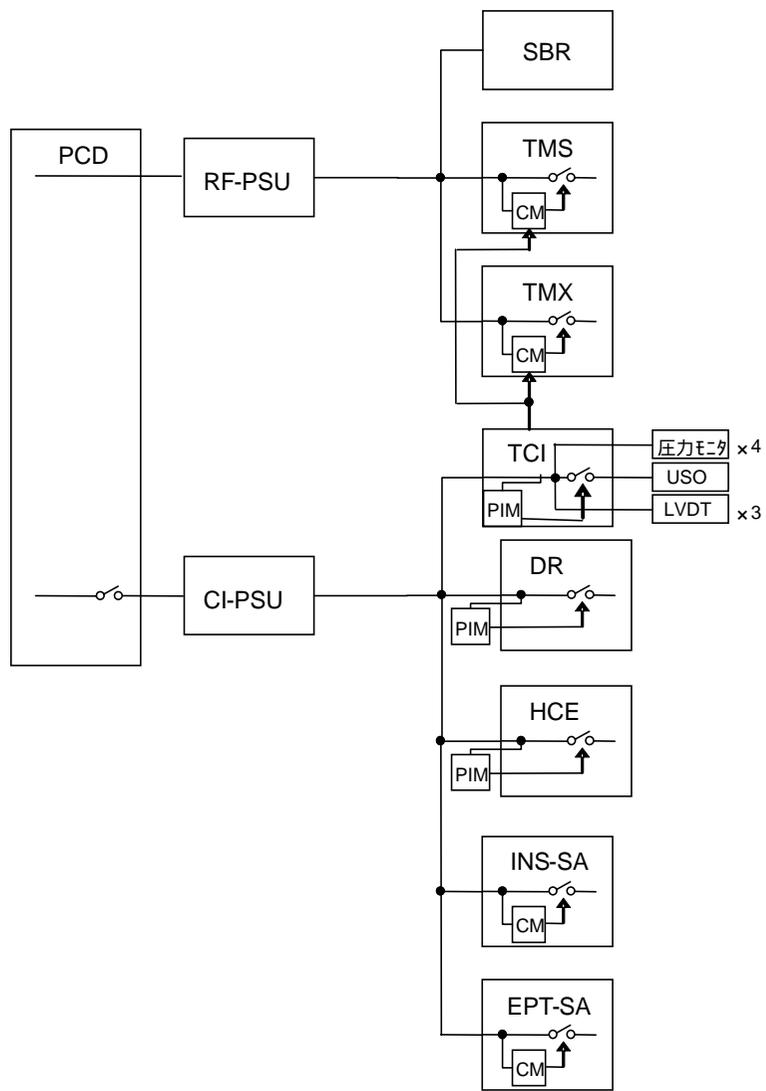
正規のコマンドの発行の可能性は無い

電源構成のトレードオフ経緯

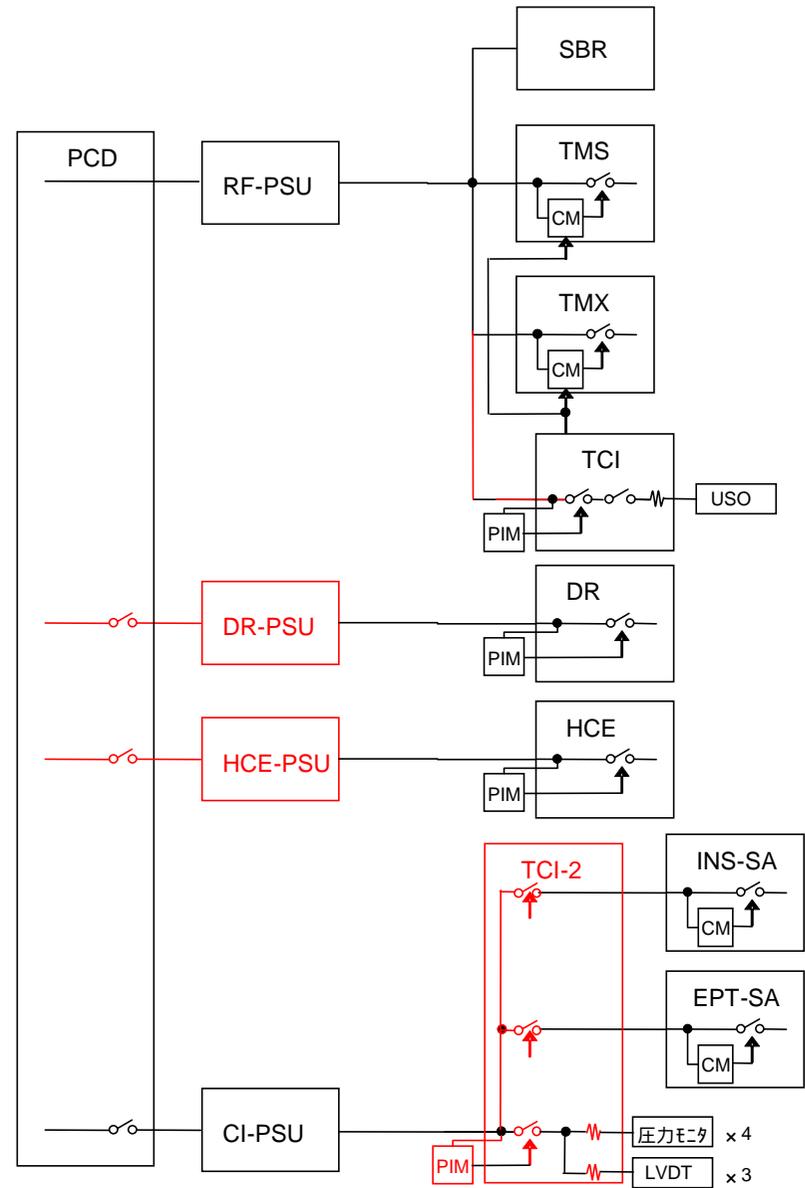
設計の出発点はこのぞみ以前の科学衛星全てに採用されていた単一系の集中電源方式であった。250Wの小さな電源であり、分散電源化だけでも大きな変化だった。

| ケース | 集中電源 (設計ベース) | のぞみ (現設計) | のぞみ (改善案3) |
|----------------|-----------------|---|------------------|
| 重量 | 8.2kg | 4.6kg | 7.6kg |
| 電源系 故障分離 | × 単一系 | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">この差である程度満足してしまっていた。</div>  15系統 | 17系統 |
| | | のぞみ(現設計) | のぞみ(改善案3) |
| 電源共用化 リスク評価 | HCE 故障時 | × 衛星全損(1) | ×() 衛星全損(1) |
| | DR 故障時 | リアル観測は継続可 | リアル観測は継続可 |
| | TCI(通信系) 故障時 | × 衛星全損(2) | ×() 衛星全損(2) |
| | TCI(推進系) 故障時 | (×) 故障確率低い(3) | ほぼ問題なく運用継続可 |

- 1-実際にはOMS噴射後であれば、衛星姿勢制限により運用継続可能であった。
- 2-実際には、1ビット通信等で少なくとも工学的意義は部分的にでも達成可能だった。
- 3-わずか数項目のモニタであったため、HCEやTCI(通信系)の故障に比べれば故障確率ははるかに低いと判断し、対象がBLACK BOXだったにも関わらず、故障分離対策を怠った。



のぞみ系統図:現状



のぞみ系統図:改善案3
上記保護抵抗 + 機器毎に電源具備
(3.0kg増)

1ビット運用の成果

HK情報の入手

地上で動作が確認できる唯一の「通信ON/OFFコマンド」を用いて、ハウスキーピング(HK)パケットに含まれる下記情報が入手可能となった。

- ・共通系機器 ステータス : 320項目
- ・共通系機器 アナログデータ : 105項目
- ・ミッション系機器 ステータス : 303項目
- ・ミッション系機器 アナログデータ : 140項目

テレメトリ機能喪失後も安全な運用を成立させる可能性を生んだ。

異常姿勢での通信

高性能スペクトラムアナライザを用いた積分受信を行うことで、地上装置での受信限界(約-160dBm)を大きく下回る-190dBm程度の微弱な電波であっても1ビット通信を実現した。

この結果5月以降も衛星との通信を確立する事が出来た。

ソフトウェアでの対応

自律テーブル機能

のぞみにはわずか128バイトのデータ書き換えで下記判定を実現する自律機能が搭載されていた。このおかげで、書き換えによる他機能への影響を気にすることなく1ビット通信を安全かつ迅速に実施できた。

| バイト位置 | 構成 | 内容 |
|-------|-----------|------------------------|
| 1 | 制御フィールド | 有効無効、連続・単発、対象(定数、前HK)等 |
| 2 | マスク/データ長 | マスクパターンまたは比較データ長 |
| 3 | 条件 | >、<、=、≠ & ±バイアス値 |
| 4 | 自律化OG No | #0-#15 |
| 5-6 | HKテレメトリ位置 | |
| 7-8 | バイアス/比較定数 | 定数、比較ビットパターン等 |

× 16条件

自律判定頻度の向上

DHUを書換え、上記自律テーブル機能による判定頻度を64秒に1回から4秒に1回に向上させた。この書換えは1ビット通信下で衛星をリセットさせ再立上げする難運用により実施された。

テレメトリ収集タイミングでのコマンド発行

DHUが各機器のテレメトリを収集する為のデータが格納されているエリアを書換え、

各機器に決められたコマンドを繰り返し出す様、改造した。これによりコマンド発生頻度を60 μ sec (通常の1000倍)に向上させることに成功した。

他衛星への自律機能搭載状況

のぞみと同等の機能搭載

LUNAR-A、ASTRO-EII、ASTRO-F、SOLAR-B

今後打上げが予定されている上記衛星には、全てにのぞみと同等の自律機能が搭載されている。

はやぶさ

のぞみに次ぐ深宇宙探査機として、のぞみ機能に加え下記機能を具備している。

1) レポートパケット機能

自律動作結果等を、その都度専用のパケットで通知する。運用省力化を図る場合はレポートパケットのみで運用する。

2) HKテレメトリ再生時のサンプルレート選択

粗いレートのデータで注目点を探し、その後必要な部分だけ高サンプルレートデータを入手するといった運用が可能。

3) システムタイマー機能

汎用タイマー。指定時間後にコマンドを実行する機能。

将来の深宇宙探査機

1) 低ビットレート通信機能の設計初期段階からのつくりこみ

2) はやぶさ機能評価を踏まえたさらなる改良・発展

今回可能性が低いとされた原因候補も含む「今後の対策」

| 原因候補 | 対策 |
|----------------------|--|
| シングルイベントアップセット (SEU) | <ul style="list-style-type: none"> ・定期的なパトロール、リフレッシュ機能の具備 ・重要レジスタの3重冗長化 ・ロバストな制御ロジック(無効データの自動判別等) |
| シングルイベントラッチアップ (SEL) | <ul style="list-style-type: none"> ・高耐性部品選択 ・不必要な常時ON部品の排除 ・構造上ラッチアップしない部品の開発 |
| 帯電 | <ul style="list-style-type: none"> ・接地されていない導電層の排除 |
| 高圧放電 | <ul style="list-style-type: none"> ・放電影響のシステムからのアイソレーション施策 (2次グラウンドによる包囲、1次・2次のアイソレーション等) ・印加電圧可変機能の搭載 |
| トータルドーズ | <ul style="list-style-type: none"> ・環境に適合した部品選択 <p>トータルドーズによる初期症状は、電流の微増であり、機能喪失まではなかなか至らない。初期段階で徒にカレントリミッタ等が動作してしまわぬ様な配慮も必要。</p> |
| ブラックボックス | <ul style="list-style-type: none"> ・故障分離策の優先的配置 ・ブラックボックス化回避の努力 |

黒: のぞみで既に実施されていたこと。 青: 今後実施することが望ましいこと。