

## 第 20 章 「きぼう」電力系サブシステムの開発成果

### 1. 序論

「きぼう」日本実験棟は、STS-124/1J フライトで 2008 年 6 月に打上げられ運用を開始した。

「きぼう」の電力分配系統機器開発は 1985 年から開始され、各種設計フェーズを経て 1996 年に開発を完了しており、以降フライト品製造、「きぼう」本体への組込みを経て 2003 年に「きぼう」本体がケネディ宇宙センターに搬入され、各種射場作業を経て打上げ、軌道上運用に至っている。<sup>2)</sup> この電力分配系統機器の開発成果については開発過程に

おいて既に多くの論文で詳細に報告されている。<sup>3) ~ 10)</sup>

「きぼう」の電力分配系統は、有人宇宙システムを維持するために必要な電力を高い信頼性の下にシステム機器に対して分配し、かつ不特定多数の実験機器の接続に対応した電力品質を維持し、適切な故障分離機能を備えた直流半導体遮断器からなる保護協調系統を構築している。

本章では「きぼう」の電力系サブシステムを構築する電力分配系統の開発成果(系統設計及び電力運用管理)とこれまでの軌道上実運用で得られた知見について紹介する。



第 1 図 PDU (Type-II) の外観

### 2. 開発経緯

第 1 表に「きぼう」の電力分配系統機器開発の経緯を年表形式で示す。

第1表 開発経緯

年代	開発フェーズ	イベント	開発の経緯	
1985	予備設計	△ チャレンジャー事故 安全設計大幅見直し	・適切なバス電圧検討 (AC20kHz or DC高電圧) ⇒ DC120Vに決定	
1986			・遮断方式検討 (リレー, 半導体遮断機) ⇒ 半導体遮断機を選定 (呼び名: RPCとした)	
1987			・大電力半導体遮断器を試作、遮断動作の挙動等、課題抽出 ⇒大幅なリソース削減が課題	
1988			・最適な系統構成の検討 (電力系統モデルによる保護協調系統特性検証)	
1989	基本設計	リソース削減活動	・回路設計+評価用RPC BEM試作、限流駆動回路方式を確立⇒RPC駆動用HICに反映。	
1990			・部品開発開始 (FET (RPCに適用), 高電圧セラミックキャパシタ, RPC駆動用HIC)	
1991			・特性評価モデル製造 (RPC, DC/DC, PDU)	
1992	詳細設計	△ ミールとシャトル トラックシステム	・特性評価モデル試験 (RPC限界試験, DC/DC JEM認定, PDU)	
1993			・JEM用標準DC/DC設計ガイドライン制定	
1994			・リソース削減設計/ORU化構造見直し ⇒PDU ORU化新構造モデル (EMから適用)	
1995			・JEM適用トランスコイル開発	
1996			・部品開発完了 キャパシタ: NASDA-QTS-1054制定 FET 2SK2271: ADS制定 トランスコイル: NASDA-QTS-1050制定	
1997	維持設計	△ U.S. ノード 打上げ	・国際間検証 (STEP-1) にて電力系統のJAXA/NASA共同検証を実施。	
1998			・JEM全体システム試験: EM機器によるSTEP-1.5及びフライト機器によるSTEP-2検証。	
1999			・与圧部用フライト品製造: PDU-I, II (FM), PDB-I, II (FM), ELM-PDB(FM), HCTL(PFM) ・曝露部用フライト品製造: EF-PDB(PFM),	
2000	補用品製造	△ JEM KSC射場作業 宇宙飛行士の滞在開始	・補用品設計: JEM用開発部品の枯渇問題等があり、代替部品による設計変更に伴い補用品設計を実施。	
2001			・与圧部用補用品製造: PDU-II 構成ORU (RPCM1, RPCM2, CTL), HCTL, ELM-PDB, PDB1	
2002			・曝露部用補用品製造: EF-PDB, SPB, HCE	
2003			・KSC射場作業開始	
2004			・RPCの高機能化検討: 将来型JEMに向けたRPCの小型高機能化検討を実施。	
2005			・RPCのISO規格化: RPC開発の経緯に基きISO/TC20/SC1 WGにて日本がコンベナーとなりRPCの国際規格制定を推進。	
2006			・JEM搭載用RPC (FM) (左) と高機能化RPC (BEM) (右) 何れも10A定格	
2007	補用品追加製造	△ JEM打上げ	・補用品追加製造: 2010年以降、シャトルがリタイヤする事に伴う補用品計画変更による。多くの部品枯渇問題対応が課題。	
2008			・JEM補給部/与圧部打上げ、運用開始。	
2009			・JEM曝露部打上げ、運用開始。	
			略号	RPC: Remote Power Controller PDU: Power Distribution Unit PDB: Power Distribution Box RPCM: RPC Module HCTL: Heater Controller JEM: Japanese Experiment Module「きぼう」
				SPB: Survival Power Box HCE: Heater Control Equipment EM: Engineering Model PFM: Proto-Flight Model FM: Flight Model

## 2.1 予備設計フェーズ

1985年より検討を開始、適切なバス電圧検討からスタートして保護協調システムを構築するための試作実験検証を経て、バス電圧をDC120Vに決定、直流半導体遮断器（呼び名：RPCとした）から成る電力分配系統の構想を固めた。

## 2.2 基本設計フェーズ

1989年～1991年。RPCの設計、試作評価及び「きぼう」の品質要求に適合するFET、高電圧セラミックキャパシタ、RPC駆動用HIC、トランスコイル等の主要部品開発を開始。また、電力分配系統機器全般に渡ってリソース削減活動を開始した。

## 2.3 詳細設計フェーズ

1992年～1996年。RPCの限界試験、DC/DC「きぼう」認定、リソース削減設計の中でORU化構造見直しを行った。また部品開発を完了し、PDU及びPDBのエンジニアリングモデル（EM）の製造／試験を実施した。

## 2.4 維持設計フェーズ

1997年～1999年。国際間検証（STEP-1）にて電力系統のJAXA/NASA共同検証を実施。またEM機器による「きぼう」全体システム試験（STEP-1.5）及びフライト機器による「きぼう」全体システム試験（STEP-2）を行った。並行して各種電力分配系統機器のフライトモデルの製造を行った。

## 2.5 補用品製造

2000年～現在に至る。KSC射場作業が開始され「きぼう」の打上、運用開始に至る。並行して補用品の製造を進めている。補用品製造においては開発の長期化により「きぼう」用に開発した部品の枯渇問題等が生じてお

り、代替部品による設計変更を伴っている。また将来型「きぼう」に向けたRPCの小型高機能化検討を実施、更にRPC開発の経験に基づき日本がコンベナーとなってISO/TC20/SC1WGにてRPCの国際規格制定を推進した。

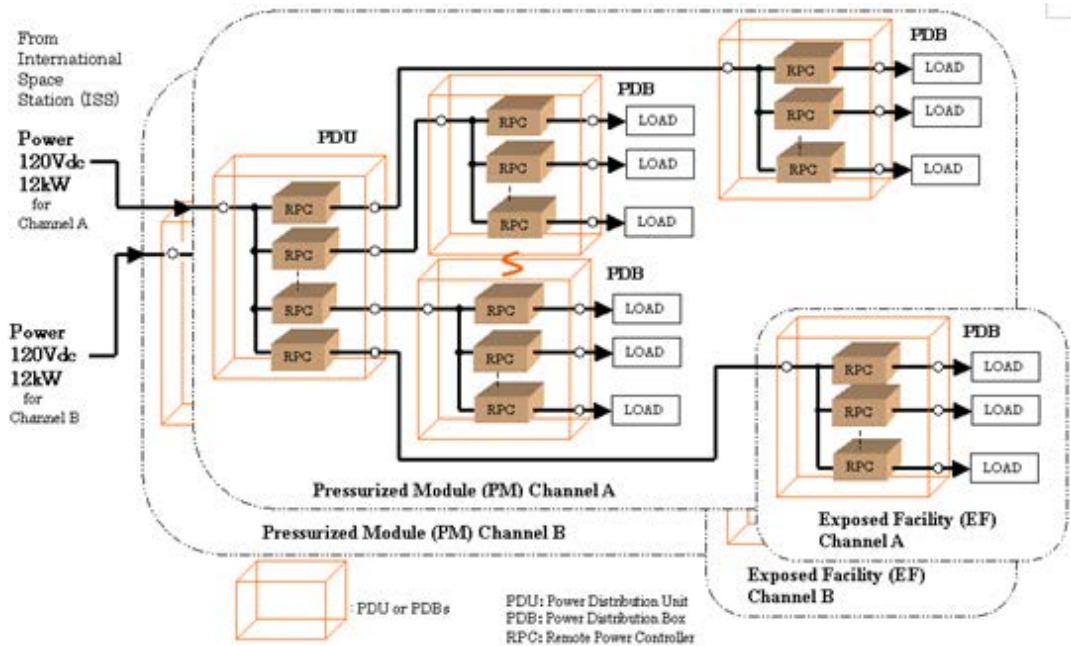
## 3. 「きぼう」の電力分配系統構成

「きぼう」の電力分配系統は、第2図に示すように、A系／B系の2系統からなり夫々の系統は国際宇宙ステーション（ISS）からバス電圧DC120V（12kW）を受電し、直流半導体遮断器（以下RPC）を経由してシステム機器および各種実験機器に電力を分配する。<sup>5)、7)、9)</sup>

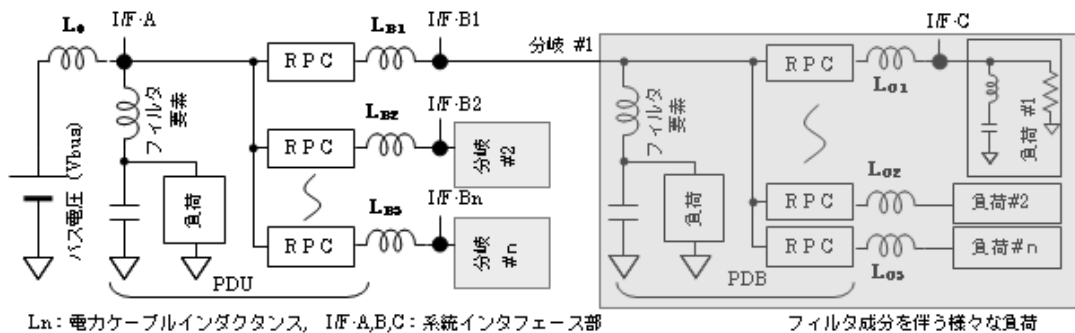
RPCは分電盤（以下PDU）及び配電箱（以下PDB）と呼ばれる複数のRPCの集合体として実装され、このPDU及びPDBは、船内実験室及び船外実験プラットフォームから成る巨大なシステムの中で広範囲な場所に多数配置されている。第1図にPDU（Type-II）の外観を示す。

この様な巨大なシステムの中に構築され、PDU及びPDBによる多くの電力分岐点を伴う電力分配系統においては、電力ケーブルは長く複雑に引回され大きなインダクタンス成分を伴い、各所に接続される機器（系統負荷）のインダクタンス及びキャパシタンスから成るフィルタ要素（主にDC/DCコンバータの入力フィルタ）が加わって複雑な回路網が形成されている。

第3図にこの回路網を等価回路で示す。この回路網に起因する共振現象およびバス電圧トランジェントの発生が様々な電力品質の低下を招く原因となるため、系統設計及び電力運用管理の中で対策が成されている。<sup>1)、3)～6)、8)</sup>



第2図 「きぼう」の電力分配系統



第3図 電力分配系統の回路網等価回路

#### 4. システム設計

「きぼう」の電力分配系統の運用中に遭遇する事象に対応した電力品質維持に係る設計の特徴を以下に紹介する。

##### 4.1 負荷異常時の対応

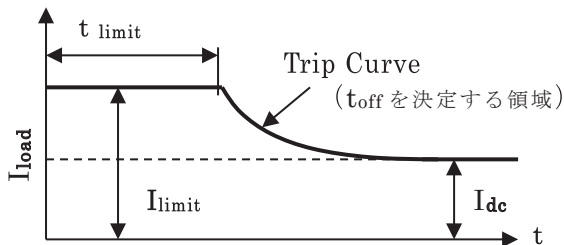
###### a. 過負荷異常

例えば第3図に示す電力分配系統の回路網等価回路において、系統インターフェース部 (I/F-C) に接続された実験機器が定格電流を超えて動作する状態 (過負荷) が継続する場合、過負荷電流による電力ケーブルの焼



損または絶縁被覆の劣化を防止するため、この実験機器の上流にある RPC が遮断動作する。

第 4 図に RPC の遮断特性を示す。



第 4 図 RPC の遮断特性

この遮断特性において、負荷電流 ( $I_{load}$ ) が直流遮断レベル ( $I_{dc}$ ) を超えた状態 (過負荷状態) が継続する場合、その電流と継続時間が図中の Trip Curve に至ったところで RPC は遮断動作する (故障分離)。

この過負荷状態から故障分離に至るまでの時間 ( $t_{off}$ ) は式 (1) で表される。

$$t_{off} = I_t / [(I_{load} - I_{dc}) \times A] \quad (1)$$

式 (1) において、 $I_t$  と  $A$  は設計定数であり負荷電流レベルに応じて過負荷状態を一定時間許容する事で過渡的な過電流で RPC が遮断する事 (Nuisance Trip) を防止している。

#### b. 負荷短絡

第 3 図に示す電力分配システムの回路網等価回路において、I/F-B1 で短絡故障が起きた場合、短絡故障部位の上流にある RPC は図 4 に示す RPC の遮断特性により、短絡電流を  $I_{limit}$  に制限 (限流) する。

その結果、過大な負荷短絡電流により I/F-A のバス電圧が低下する事が防止されるため、故障した分岐 (分岐#1) 以外の隣接

系統 (分岐 #2~#n) には正常なバス電圧が継続して供給され通常動作環境が維持される (隣接負荷の保護)。

また RPC は限流遮断時間 ( $t_{limit}$ ) の経過を待って遮断動作に至り、短絡故障部位は切離される。なお、過電流状態が過渡的なものであり、設計値として定めた  $t_{limit} = 15 \pm 5ms$  を経過する前に定格電流状態に復帰した場合は、RPC は遮断動作する事無くオン状態を継続する事で、Nuisance Trip が防止される。第 5 図に限流と故障分離動作及び隣接負荷が保護される様子を、「きぼう」の電力分配システムの検証試験において確認された波形データを用いて示す。

データにおいて、I/F-B1 の短絡故障箇所に流れる故障電流は、上流 RPC の限流電流値 ( $I_{limit} = 100A$ ) に制限され、凡そ  $t_{limit} = 14ms$  で限流遮断されており、故障負荷の上流にあたる I/F-A のバス電圧は変動幅をわずか 1V 程度に留め DC123V のバス電圧が維持され、隣接負荷 (I/F-B2~n) には安定したバス電圧が供給されている事が確認される (第 5 図・(a)、(c))。

また、負荷短絡発生から RPC が限流動作を開始するまでの間は、急激な短絡負荷電流の上昇によりバス電圧の過渡的な低下が発生するが、RPC の高速限流応答特性により、凡そ  $30 \mu s$  でバス電圧は定常レベルに復帰している (第 5 図・(b))。

同様に、I/F-C に接続されている実験機器が短絡故障を起こした場合においても、この場合は I/F-B1 のバス電圧が保護される事で、その下流の隣接負荷 (分岐#1 内の負荷#2~n) が保護される。

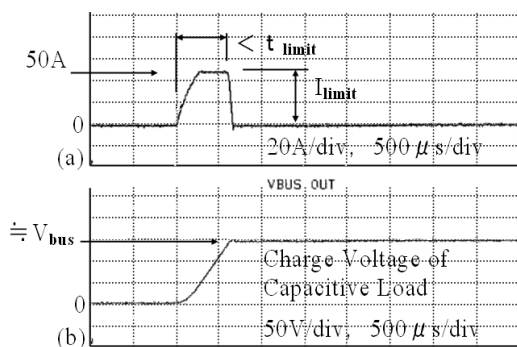


の対応に見られる Nuisance Trip 防止措置として設けられている限流遮断時間 ( $t_{\text{limit}}$ ) 及び限流電流値 ( $I_{\text{limit}}$ ) と、負荷の容量 ( $C_{\text{load}}$ ) を式 (3) に示す範囲で設定する事で対策している。

$$C_{\text{load}} < (I_{\text{limit}} \times t_{\text{limit}}) / V_{\text{bus}} \quad (3)$$

第 7 図に容量性負荷を接続したときの負荷入力端における波形データを示す。

図において、容量性負荷が限流動作を行う RPC により充電され、その充電電圧がバス電圧 (DC120V) に達したところで限流動作が停止、RPC はオン状態となり容量性負荷の接続が完了する。もしも充電電圧がバス電圧に達するまでの時間が  $t_{\text{limit}}$  を超える場合 RPC は遮断動作に至る。



第 7 図 容量性負荷の接続

#### 4.3 遮断機能喪失時の対応

RPC が遮断機能を喪失 (短絡故障) した状態で、かつその下流に接続されている負荷 (例えば図 3 に示す電力分配システムの回路網等価回路における、I/F-C に接続されている負荷) が短絡故障を起こした場合、I/F-B1 の上流にある RPC が遮断動作する様、上下流の RPC 間で  $I_{\text{dc}}$  及び  $I_{\text{limit}}$  の設定値がコーディネートされている (上流 RPC の設定値 > 下流 RPC の設定値)。その結果分岐 #1 が切離され、分岐 #2 ~ n の継続動作が可

能になる (保護協調)。

このような保護協調システムにおいて重要なバス機器においては冗長に配置する事で、高い信頼性を維持する事を可能にしている。

## 5. 電力運用管理

「きぼう」の電力分配システムを運用する上で電力品質維持に係る管理手法について特徴的なものを以下に紹介する。

### 5.1 電力分配 (ブラウンアウトの防止)

「きぼう」の電力分配システムの受電電力は 12kW (電流 = 100Amax) であるが、分配系統数は船内実験室の A 系だけでも凡そ 89 系統あり、各系統出力の定格電流合計値は入力電流許容値をはるかに超える値となっている。これは身近な例においては一般家庭の屋内配線に見られる AC コンセントの配置と同様に汎用性を考慮した設計によるものである。

従って電力運用管理においては系統内上下流 RPC の遮断特性を考慮して計画的な電力分配管理を行う必要があり、特に負荷の過渡的な過電流発生時又は短絡故障時に想定されるブラウンアウト (バス電圧が不安定に低下する現象・・・トランジェントに比べて長時間継続) の発生を防止するために、式 (4) に示す条件を満足する運用管理が行われる。

$$I_{\text{limit}} (U_p) > I_{\text{limit}} (D_w) + \sum I_{\text{load}} (\#1 \sim n) \quad (4)$$

式 (4) において、

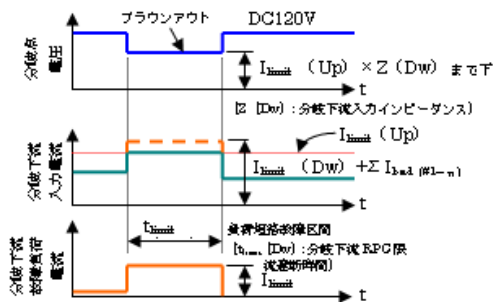
$I_{\text{limit}} (U_p)$  : 分岐上流 RPC の限流レベル

$I_{\text{limit}} (D_w)$  : 分岐下流 RPC 限流レベル (max 値)

$\sum I_{\text{load}} (\#1 \sim n)$  : 分岐下流負荷定常電流の合計値

第 8 図にブラウンアウトの発生原理を示す。

図において、例えば図 3 に示す電力分配システムの回路網等価回路において I/F・C に接続されている負荷が短絡故障を起こして、その上流の RPC が限流動作を行い、分岐#1 の入力電流が上流 RPC の  $I_{\text{limit}} (U_p)$  を越える条件になった場合、I/F・B1 の上流 RPC は限流動作に至り、I/F・B1 の電圧は  $I_{\text{limit}} (U_p)$  と分岐#1 の入力インピーダンス ( $Z (D_w)$ 、印加電圧に依存) の積で決定されるレベルまで低下してブラウンアウトに至る。一般的には DC/DC コンバータの様な入力 I/F 部において定電力負荷となる機器は、バス電圧の低下に伴って入力電流が上昇し、見かけ上の抵抗値 ( $Z (D_w)$ ) が低下 (負性抵抗特性)、ブラウンアウト発生時は急激な電圧低下が生じる。その後バス電圧の低下によって DC/DC コンバータの動作範囲を外れ、 $Z (D_w)$  は定電力負荷から定抵抗負荷に移行してブラウンアウトの進行が抑制される。



第 8 図 ブラウンアウトの発生原理

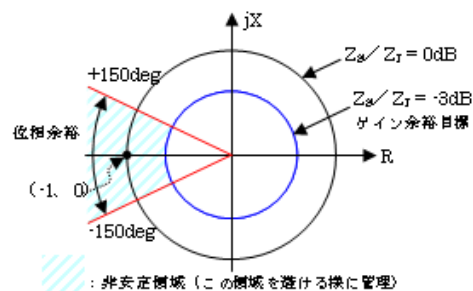
## 5.2 安定性

第 3 図に示す電力分配システムの回路網等価回路に見られる様に、電力分配システムは負荷の抵抗成分 ( $R$ ) に加えてインダクタンス成分 ( $L$ ) とキャパシタンス成分 ( $C$ ) から成る回路網で構成されているため、それらの定数の組合せによって LC 共振現象を起こし、バ

ス電圧に不安定な継続振動が重畳して機器の誤動作を引き起こす可能性がある。また、DC/DC コンバータの様な定電力制御負荷における負性抵抗特性によってバス電圧を不安定にする要因も伴う。

この様な現象の発生を予防するために様々な解析及び管理手法が報告されている。<sup>1)、4)、6)</sup>

「きぼう」の電力分配システムにおいてはシステムインターフェース部又は負荷接続ポイントから見た上流システムのインピーダンス ( $Z_s$ ) と下流インピーダンス ( $Z_L$ ) 相互のゲイン及び位相関係が、第 9 図に示す非安定領域を外れる様にする事をひとつの目安として管理している。しかしながら、電力分配システムの回路網におけるインピーダンスは、電力ケーブルの直列インダクタンス要素に加えて各負荷に含まれる入力フィルタ (主に DC/DC コンバータ) 等による周波数毎に変化する直列及び並列共振現象及び負荷の電力制御動作に伴う負性抵抗要素が加わり、複雑なゲイン/位相特性を示す。そのため安定性評価が困難な場合があり、特にクリティカルな特性を示すインターフェースポイントにおいてはバス電圧に矩形パルス電圧を重畳して過渡応答を観測し、共振による電圧の振動が安定に収束する事を確認する直接的な評価方法が併用される。



第 9 図 ゲイン・位相余裕(ナイキスト平面)



## 6. 運用評価

「きぼう」の2012年までの運用中に取得されたデータより、電力系サブシステムの主要機能である故障分離動作および開発段階での設計条件として定めた温度環境に係る評価を行った結果を以下に述べる。

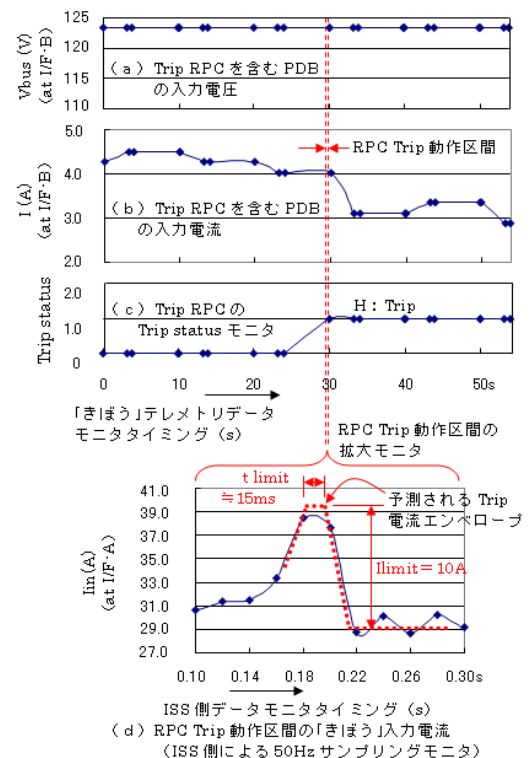
### 6.1 故障分離

「きぼう」の運用を開始して現時点までに2度の故障分離動作が確認されている。1度目は2011年7月にI/F-Bにおいて発生した負荷の短絡故障に対してPDU内のRPCによって、2度目は2012年3月にI/F-Cにおいて発生した負荷の短絡故障に対してPDB内のRPCによって故障分離動作が行われた(PDU、PDBの配置およびI/F-A、B、Cについては第2～3図を参照)。これらの動作はPDUに備えられたI/F-B1～nの系統電流テレメトリ機能およびPDUとPDBに備えられたI/F-A、I/F-B1～nのバス電圧テレメトリ機能、更にISS側が提供する「きぼう」入力電流の高速(50Hz)サンプリングデータから3.1項に示す負荷短絡時の対応動作が行われた事が確認される。

第10図に、2012年3月にI/F-Cにおいて発生した故障分離動作を、各テレメトリデータを用いた分析結果として示す。

図において、データ(b)はPDUに備えられたI/F-B1～nの系統電流テレメトリから得られた下流に故障系統を伴うPDBの入力電流、データ(c)は故障分離動作を行ったRPC(Trip RPC)の遮断状態モニタ(Trip status、Trip時：H)である。これ等のデータにおいて、Trip statusがLからHに替わった区間で故障分離動作が行なわれ、PDBの入力電流は故障系統の遮断による電流の低下が確認できる。しかしデータのサンプリ

ング間隔が荒いため遮断時の限流電流( $I_{limit}$ )までは確認できない。また、データ(d)はISS側でモニタされているI/F-Aにおける「きぼう」の入力電流であり、これは50Hz(20ms間隔)の高速サンプリング周期でモニタされているため、「きぼう」の全負荷電流に重畳して凡そ15msの限流時間( $t_{limit}$ )と10Aの限流電流( $I_{limit}$ )から成る遮断動作時の電流がほぼ確認できる。データ(a)は故障系統の上流バス分岐点にあたる同PDBの入力電圧を示しており、データのサンプリング間隔が荒いため詳細な評価は困難であるが、故障分離動作に伴うバス電圧変動は殆ど生じる事無く、隣接系統への影響が抑制されている事が推測できる。



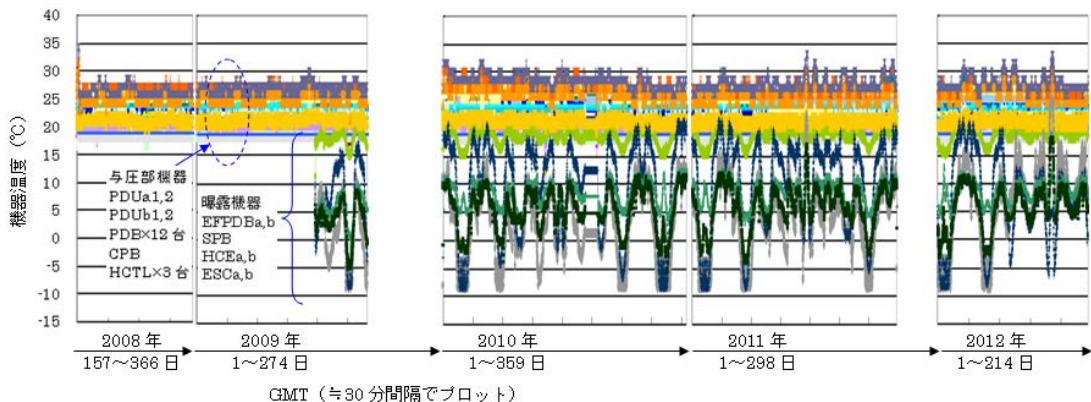
第10図 運用中に発生した  
故障分離動作分析結果

## 6.2 温度環境

電力系サブシステム各部に配置された PDU 及び PDB の機器温度データから、運用中の機器の温度環境を確認した。データは「きぼう」の運用を開始して現時点までを 30 分置きに計測したものであり、機器の動作温

度範囲及び温度サイクル周期が確認でき、機器設計条件範囲内で運用されている事が確認できる。

第 11 図に、代表的な機器温度記録を示す。



第 11 図 「きぼう」電力分配システム機器の温度記録

図およびデータより与圧部機器は凡そ $+15^{\circ}\text{C} \sim +35^{\circ}\text{C}$ の範囲で、機器毎にほぼ一定の温度が保たれている。運用中の機器毎の温度変動幅は、温度テレメトリ解像度による誤差範囲に収まる程度であり、温度サイクルは殆ど無く、設計条件としての AT 温度範囲 ( $-15^{\circ}\text{C} \sim +49^{\circ}\text{C}$ ) 及び QT 温度範囲 ( $-26^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ ) に対して十分なマージンを有し、温度によるストレス印加の要因が無い環境で運用されている事が確認できる。

曝露機器は、図およびデータより凡そ $-8^{\circ}\text{C} \sim +23^{\circ}\text{C}$ の範囲で動作している事が確認できる。機器毎に動作温度範囲が異なり、EF-PDB 及び SPB は ATCS (Active Thermal Control System : 能動熱制御系) 11) 12) で温度制御されているため、 $+15^{\circ}\text{C} \sim +23^{\circ}\text{C}$ の範囲に保たれているが、HCE は PTCSP

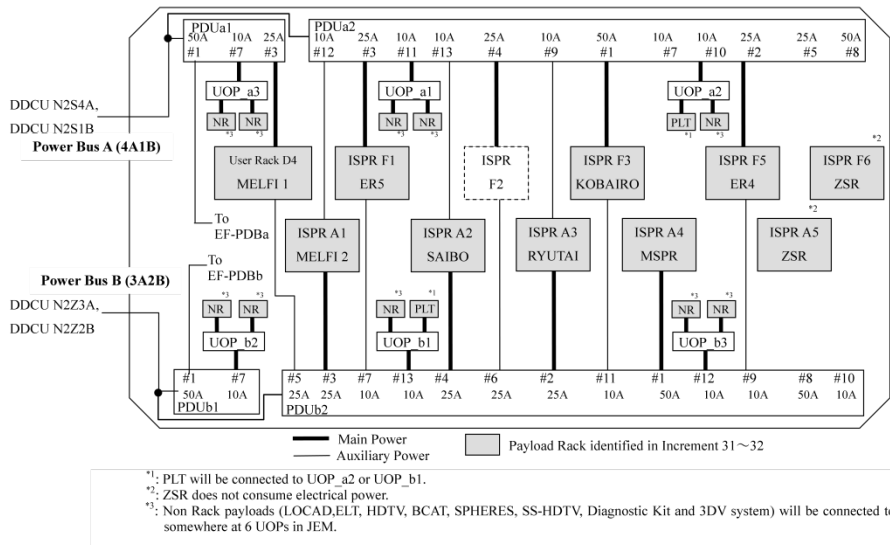
(Passive Thermal Control System : 受動熱制御系) 11) 12) の制御により外部熱環境 ( $\beta$  角) の影響を受けて凡そ 2 ヶ月の周期で  $-8^{\circ}\text{C} \sim +23^{\circ}\text{C}$  の温度サイクル環境で動作している。設計条件としての AT 温度範囲 ( $-9^{\circ}\text{C} \sim +39^{\circ}\text{C}$ ) 及び QT 温度範囲 ( $-20^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ ) に対して十分なマージンを有し、温度サイクル周期は非常に緩やかである事より温度によるストレス印加の要因が殆ど無い環境で運用されている事が確認できる。

## 7. 運用解析

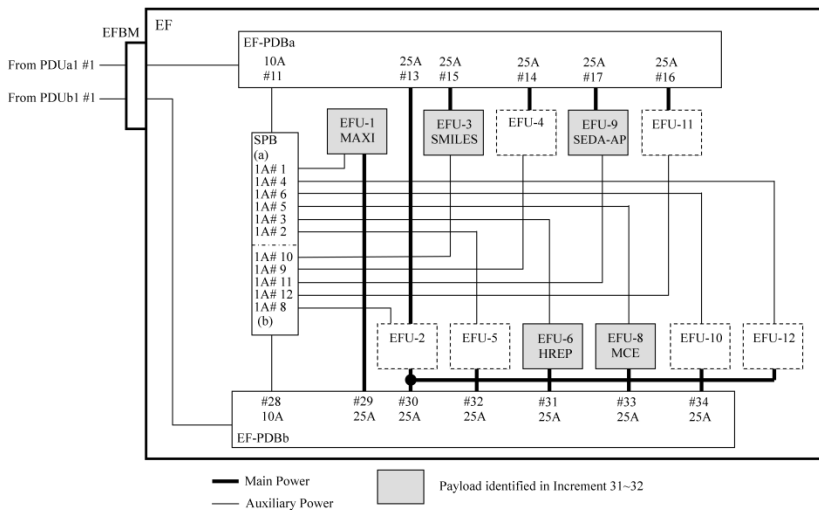
「きぼう」の運用を行う上で必要となる電力系サブシステムに関わる運用解析について以下に紹介する。解析は各インクリメントにおいて搭載される実験ペイロードのコン

フィギュレーションに応じ、「きぼう」エレメント（「きぼう」システム+実験ペイロードを合わせた呼称）レベルの統合解析として

実施されている。「きぼう」電力系統における実験ペイロードの接続コンフィギュレーションの一例を第 12 図に示す。



第 12 図 (1/2) 実験ペイロード接続コンフィギュレーション例 (与圧内)



第 12 図 (2/2) 実験ペイロード接続コンフィギュレーション例 (曝露)

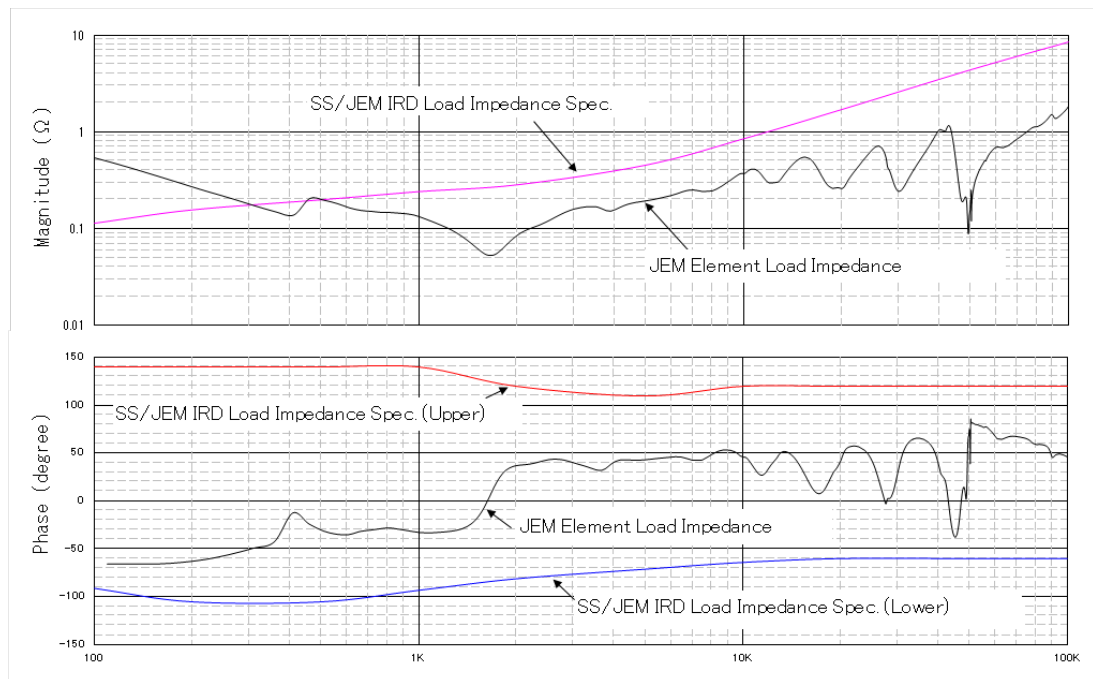
## 7.1 電力安定度解析

I/F Aにおける上流系統（USOS 側）のインピーダンス（ZS）と下流（「きぼう」側）インピーダンス（ZL）相互間のゲイン及び位相関係が非安定領域とならないことを確認する。

評価は「きぼう」エレメントレベルでのZLがSS/JEM間インターフェース要求定義書（IRD：Interface Requirement Document）が規定する規格内であることの確認をもって行う。（ZL規格はZSとZLの関係として第9図の非安定領域とならないよう、ゲイン余裕が3dB以上あること、あ

るいは、位相余裕が $\pm 150^\circ$ を超えないこと、として定められている。）統合解析は、「きぼう」システムの各種検証結果、及び、最終的には電力系国際間検証（Step-2）取得データをベースに作成された「きぼう」システムのR、L、Cから成る等価回路モデルに、個々に検証された実験ペイロードの等価回路モデルを追加したものを用いて行う。また、ツールとしてはMicroCapを用いている。

解析結果の一例を第13図に示す。同図において、300Hz以上にてゲインは規格を下回るが、その周波数帯の位相は規格内であるため安定度は保たれる。



第13図 電力安定度解析結果例

## 7.2 電力リソース解析

各実験ペイロードの運用計画立案のため、「きぼう」システムの消費電力と実験ペイロードの消費電力が、「きぼう」エレメントに

おける使用可能な電力を超えることが無いかなかの確認をする。「きぼう」エレメントレベルの消費電力解析は、原則として次のステップで実施する。



## (ステップ 1)

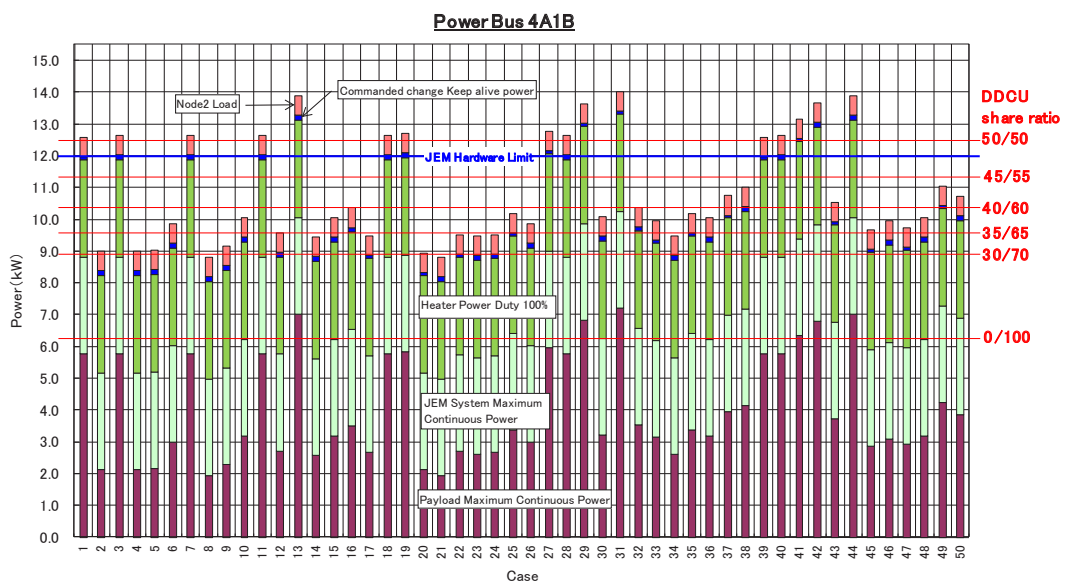
軌道上で同時運用が想定される実験ペイロードの組合せケース毎に、実験ペイロード群の消費電力合計を算出する。

## (ステップ 2)

ステップ 1 で求められた組合せケース毎の実験ペイロード群の消費電力に「きぼう」システムの消費電力を加算した値と、「きぼう」のハードウェアリミット（各バス最大 12kW）とを比較する。又、加算された電力値にさらに Node2 で消費する電力（「きぼう」と I/F A にてパラレル接続された Node2 側負荷あり）を加算した値と、「きぼう」上流の DDCU の供給可能電力とを比較する。（DDCU の供給可能電力はその時々 DDCU の運用モードにより変化するため、実運用における目安として、この DDCU 各運用モードの供給可能電力に対する評価を

行っている。）

結果の一例を第 14 図に示す。安全側の評価として、第 14 図においてヒータデューティは 100%、「きぼう」システム機器及び実験ペイロードの消費電力は共に定常的な最大値を用いている。よって、評価結果として、消費電力が各上限値を超えないケースについては運用計画として問題なしと判断できるが、超えるケースについても安全側の評価であるためすぐさま運用計画として禁止、とはできない。このため、各上限値を超えるケースに対し、『ヒータ電力及び各機器の稼動状態を踏まえ、「きぼう」エレメントないしは Node2 負荷を含めた消費電力が各上限値を越えないよう考慮が必要』、ということを用運用上のガイドラインとし、運用計画として配慮している。



第 14 図 電力リソース解析結果例

## 8. まとめ

1985 年、「きぼう」の電力分配系統機器開発立上げ段階において、DC120V（12kW）バス電力を分配、故障分離する手段としてメカニカル遮断器の適用検討からスタートした。

当時は、衛星電源系のバス電圧は 28～50V 程度であり、リレーによるバスの開閉、ヒューズによる故障分離を行っていた。同様な感覚で検討を立上げたところ直流高電圧、大電流ラインを高速に応答して遮断する事の難しさや諸問題を痛感した。次のステップとして半導体遮断器の適用を決定、RPC の開発に着手した。RPC の開発においては最適な遮断特性について模索する事から始まり、ユーザフレンドリ、Nuisance Trip の防止、RPC 自身のデバイス保護と高速応答特性の実現等の要素を伴い、ソフトオン／オフ、限流遮断特性を有する RPC として搭載品の完成に至っている。この RPC の定格決定においては下流に NASA の実験ラックが接続される事に伴い、NASA 側の RPC との協調も考慮した遮断特性を定めシリーズ化を行った。

またこの RPC による保護協調系統を成す「きぼう」の電力サブシステムの開発においてはバストランジェント、ブラウンアウト、系の安定性評価等の概念を習得しつつ、リソース削減を伴う最適な構成として最終的に図 1 に示す「きぼう」の電力分配系統に至っている。

この開発成果を新たな開発目標（2030 年頃に実現を目指す月面基地建设、続いて火星有人基地等に向けた電力系統）に向けて継承発展させたい。