

*3 機械・宇宙部宇宙機器設計課

が流れる。この電流を外部に設けた回路で計測することで捕捉された中性子のエネルギーを計測することができる。この原理に基づくセンサ部はシャトルミッションSTS-89（1998年1月にスペースシャトル内で最初の中性子計測実験が行われた）における計測実験で使用され、方式の妥当性は既に検証されている⁽³⁾。

3. 装置の構成と機能

3.1 装置の概要

装置の外観を図2に示す。本装置は、大きく分けて、ディテクタユニット、コントロールユニット、ハードドライブの3つのユニットから構成されている。ディテクタユニットは宇宙開発事業団で開発され、STS-89シャトル・ミールミッションでフライト実績がある。この中には検出器とその周辺回路が内蔵されている。コントロールユニットは、宇宙開発事業団との契約に基づき、当社で新たに開発したものである。宇宙ステーションの米国実験棟に搭載するために、NASA側

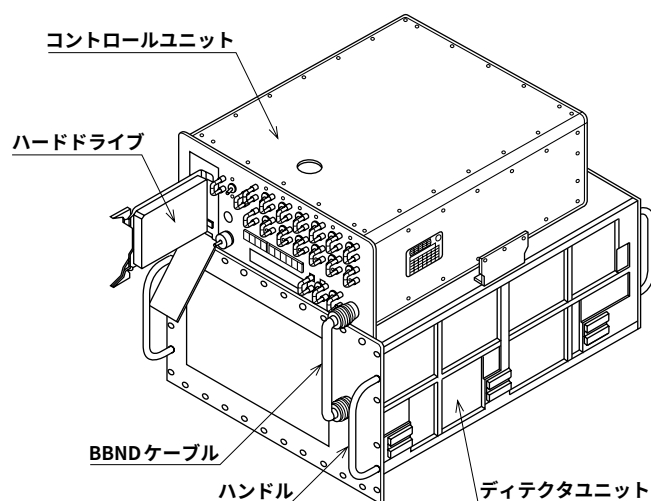


図2 BBND外観 BBND全体の外観図を示す。
BBND appearance

の要求仕様に従って製作されている。このユニットはディテクタユニットからデータを収集し、ハードドライブにデータを記録する機能を持っている。記録されたデータは宇宙ステーション内に設置してあるワークステーションを通して地上にダウンリンクされるようになっている。全体の機能ブロックを図3に、主な仕様を表1に示す。以下、構成部品を個別に説明する。

3.2 ディテクタユニット

中性子を検出するセンサユニットである。図4に示すように6個のボナーボール検出器から構成されている。検出器の大きさが異なっているのは厚みの異なる減速材で比例計数管を取り囲んでいるためである。これにより、個々の検出器のエネルギー感度を変えてエネルギースペクトルを計測することが可能になっている。また、6個の検出器のうち、2個については、検出器外部に存在する熱中性子の影響をカットするために、ガドリニウムを遮蔽材として検出器の周りを囲んでいる。これは外部熱中性子の存在がどの程度影響するかを遮蔽材のない他の検出器と比較することによって把握するためである。ユニットのフロント及びリアパネルには米国実験棟での据え付けを考慮してハンドルが2個ずつ取り付けられている。

3.3 コントロールユニット

コントロールユニットはディテクタユニットとハードドラ

表1 BBNDの仕様
BBND specification

重量	約57kg
外形寸法	483mm×493mm×715mm
消費電力	最大60W
データ記録容量	約4GB (約56日)×5台
計測エネルギー範囲	0.025eV～15MeV ($4 \times 10^{-21}\text{J} \sim 2.4 \times 10^{-12}\text{J}$)
計測最大イベント数	10 000個/s

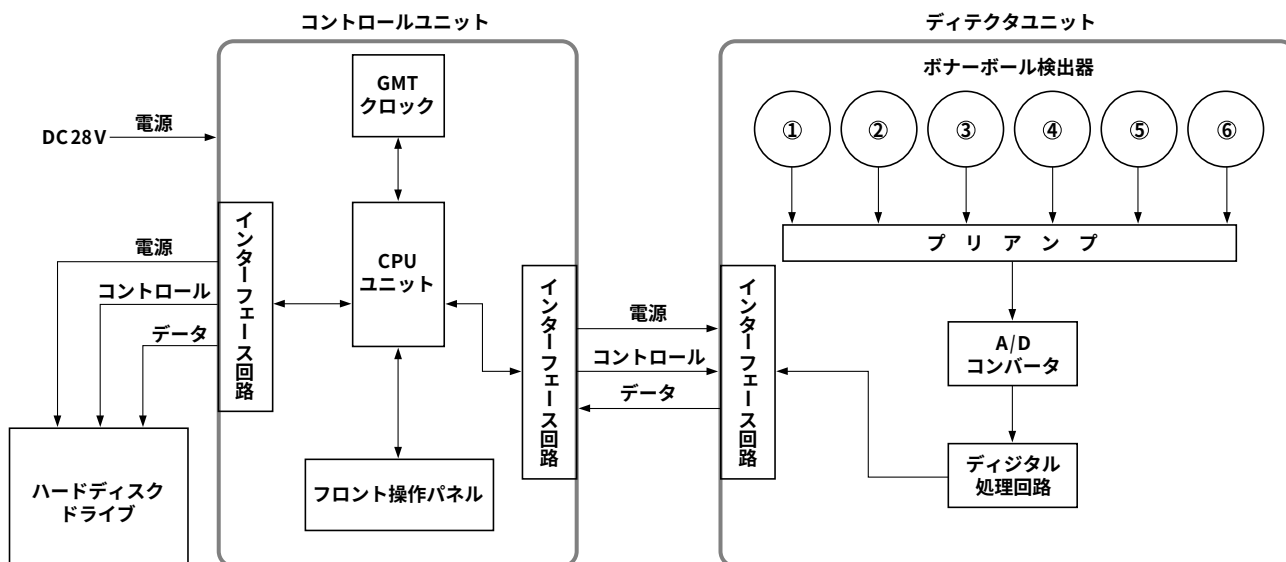


図3 BBND機能ブロック ハードドライブ、コントロールユニット、ディテクタユニットの内部構成を示す。
BBND functional block diagram

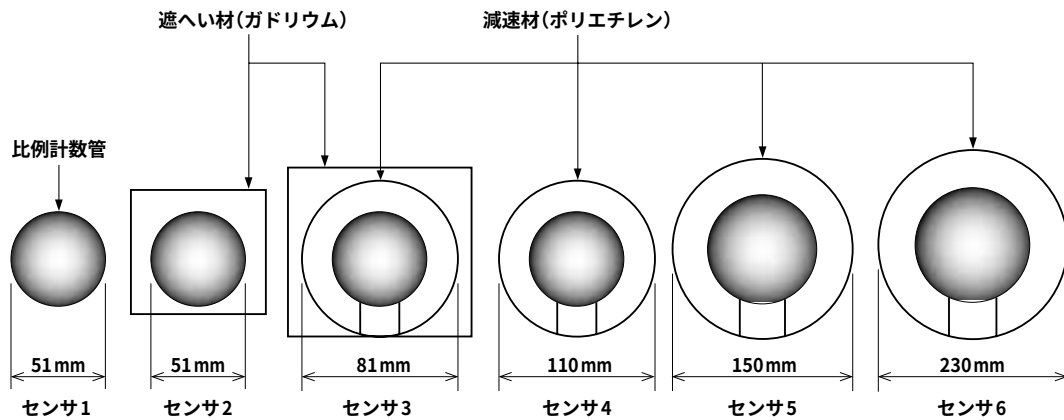


図4 検出器の構成 ポナーボールによる中性子検出器の構成を示す。
Bonner Ball sensor configuration

イブを制御し、データを記録するためのユニットである。ディテクタユニットに対しては電源の制御、計測データの入力及び状態の監視等を行い、異常が検知された場合は症状に対応した処理を行う機能を有している。ハードドライブに対しては、ディテクタから入力したデータ及びそのデータチェック結果にGMT（Greenwich Mean Time：グリニッジ標準時）を加えて所定のフォーマット対応のデータに処理した後、ハードドライブにそのデータを書き込む。これにより、GMTを介して取得データと軌道上位置の参照ができるようになっている。データファイルは1日毎に作られ、作成日や順番が分かるようなファイル名称が付けられる。ステーション内の供給電源は建設途上ということもあり、一時的に停電する可能性があるが、停電から復帰したときに宇宙飛行士の操作を必要とせずに記録を再開できるように、電源投入時にハードドライブがセットされているかを検出し、セットされている場合は自動的に記録モードに移行する機能を有している。軌道上では放射線の影響でCPUやメモリにデータエラーが起きることがある（シングルイベントアップセット）。コントロールユニットは機器の制御やデータの加工・記録等を行うため、CPUやメモリ等の周辺デバイスには耐放射線性能の高い部品を使用し、ハングアップ等が極めて起こりにくいハードウェア構成としている。

3.4 ハードドライブ

ハードドライブの記憶容量は4 GBであり、約56日分の計測データを蓄えることができる。ハードドライブは5個用意されており、全体で8ヶ月以上の記録が可能である。ハードドライブは、図5に示すように、本体がプレートに固定されており、そのプレートにNASA側のワークステーションとインターフェースするためのコネクタが取り付けられている。プレートにはスロットに一定量押し込んでロックするためのレバーが2個取り付けられている。運用期間中は、取得データのダウンリンクのために、ハードドライブはコントロールユニットからNASA側のワークステーションに移し替えられる。ハードディスク自体は民生品であるが、数回のシャトルミッションで使われて実績のあるメーカーのものから選んでいる。NASAの要求に基づき、制御基板に新たにコーティング処理を施したり、コネクタやケーブルを難燃性の指定部品に



図5 ハードドライブ ハードドライブの外観を示す。
Hard drive



図6 BBNDチェックアウト ケネディ宇宙センターにおいて打ち上げ前の最終チェックが行われた。
BBND checkout at KSC

交換するなどの改造を行っている。

4. ミッションの内容と状況

4.1 打ち上げ

中性子モニタ装置（BBND）は、ケネディ宇宙センター（KSC）にて打ち上げ前の最終チェック（図6 [NASA提供] 参照）を受け、2001年3月8日6時42分（米国東部時間）



図7 BBNDセットアップ BBNDはスペースシャトルからISS米国実験棟へ搬入され、宇宙飛行士により設置された。
BBND setup

にケネディ宇宙センターから、スペースシャトル（STS-102 ディスカバリー号）により打ち上げられた。

4.2 設置と計測

スペースシャトルが国際宇宙ステーション（ISS）へドッキングした後、BBNDはシャトルからISS米国実験棟に搬入、設置された（図7 [NASA提供] 参照）。その後配線作業を行い、3月23日（米国東部時間）に起動作業が終了し、中性子計測実験が開始された。起動後、クルーによるステータ

スチェックが行われ、正常に作動していることが地上に連絡された。以後、順調に稼動してデータを記録し続けている。起動してから約106日分（地球約1700周分）のデータが記録された2台のハードドライブが7月24日23時39分にスペースシャトルアトランティス号によってケネディ宇宙センターに帰還し回収された。回収された2台のハードドライブのデータはNASAのサーバを経由して日本に転送された。データ解析の結果、装置の状態は良好であり計測も順調に行われていることが確認された。

5. あとがき

本装置は8月現在も順調に稼動しており、8ヶ月間にわたる計測を行った後、11月に帰還する予定である。取得したデータは有人宇宙活動のための重要な基礎データとして活用される。また、これらのデータは、9月下旬から宇宙開発事業団より内外の研究者に一般公開されることになっており⁽⁴⁾、宇宙放射線環境に関する一層の研究の進展が期待される。

今回のミッションでは主にエネルギーが15 MeV以下の中性子を計測しているが、15～100 MeVの中性子も被曝への寄与が高いといわれている。今後は、高エネルギー対応型の中性子モニタ装置を開発し、より詳細な船内中性子環境の計測に貢献していきたい。

参考文献

- (1) <http://jem.tksc.nasda.go.jp/utiliz/index.html> 宇宙環境利用の展望
- (2) Glenn. F. Knoll, 放射線計測ハンドブック, 日刊工業新聞社 (1991)
- (3) Matsumoto, H. et al., Real-time measurement of low-energy-range neutron spectra on board the space shuttle STS-89(S/MM-8). Radiation measurements Vol.33 (2001) pp.321-333.
- (4) <http://sees.tksc.nasda.go.jp/> 宇宙環境計測データベース