

宇宙技術の民製展開をめざして

— 1 球型中性子スペクトル計測装置 —

Aim for Commercial Using of the Space Technology

-Single Bonner Ball Neutron Energy Spectrometer-



木村 卓也*1
Takuya Kimura

村瀬 浩史*2
Hirochika Murase

粟屋 伊智郎*3
Ichiro Awaya

高木 俊治*4
Shunji Takagi

平田 知二*5
Tomoji Hirata

河内 清光*6
Kiyomitsu Kawachi

ボナーボールを用いた中性子スペクトル（エネルギー分布）計測装置は熱中性子から 15 MeV までの比較的低エネルギー中性子スペクトルを計測する方式であるが、1998年にスペースシャトルエンデバーに搭載され、さらには2001年日本初の宇宙ステーション搭載装置となった。その後、その中性子スペクトル計測装置としては従来の多球型から、更に小型化をねらった1球型タイプを開発中であるが、今後は宇宙機器としてだけでなく航空、原子力の分野にまで適用範囲を広げていくことを目標にしている。

1. はじめに

地上に比較して数百倍は高い自然放射線環境にある宇宙ステーションにおいて、船壁で発生する2次中性子による宇宙飛行士への影響評価のための中性子エネルギースペクトル計測は重要なテーマであった。

一方、高度飛行の航空機（民間機を含む）や、原子力設備周辺においても同様な計測ニーズがあると考えられる。一例として、中性子発生を伴う事故時に周辺環境の中性子線量を評価する可搬型装置の調査・研究を文部科学省からの委託により、(財)原子力安全技術センターが進めている。

そこで、我々は従来宇宙機器として開発した多球型ボナーボール中性子計測装置を発展させ、位置敏感型比例計数管（PSPC：Position Sensitive Proportional Counter）を組み込み、ボールを1球にすることで小型化、軽量化を実現した装置を製作した。

2. 装置の開発

2.1 中性子スペクトル計測装置の概要

中性子線は透過力が強く人体に当たるとDNAを損傷することから、放射性物質による体内被曝と並んで、健康に対する影響が大きい。そのため、スペースシャトルや宇宙ステーション内の宇宙飛行士の健康管理のため、中性子環境を計測することは重要なテーマで

あった。同様に地上においても、場所によっては中性子環境を計測することには意義があり、宇宙製品を開発した技術が民製展開できると考えられる。

中性子スペクトル計測装置は減速材を用いた方式とシンチレータを用いた方式に大別されるが、前者は熱中性子（0.025 eV）～15 MeV程度の低エネルギーレベルの計測に用いられ、後者は10 MeV～100 MeV程度の高エネルギーレベルの計測に用いられる。

ボナーボール型は減速材を用いた代表的方式であるが、球型のボナーボールの中心部を通る軸上に1本的位置依存型比例計数管（PSPC）を装着し、減速材中で、深さの異なる領域に到達して計数される中性子のエネルギー応答関数の違いを利用して、中性子エネルギー分布を求める原理を利用している（図1）。

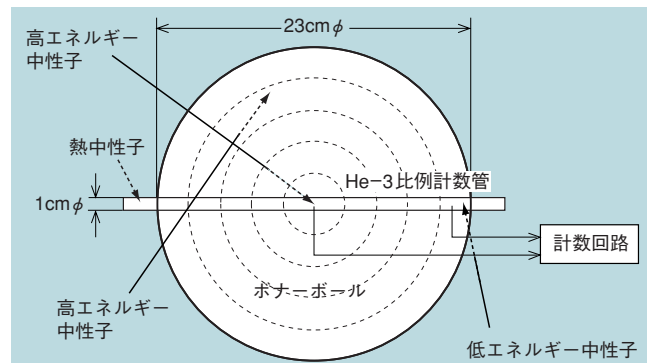


図1 1球型ボナーボール検出器の測定原理

*1 神戸造船所先端製品・機械システム部宇宙機器設計課主席

*2 神戸造船所先端製品・機械システム部宇宙機器設計課

*3 技術本部名古屋研究所パワーエレクトロニクス・制御研究室主席 工博

*4 (株)三菱総合研究所科学・安全政策研究本部主任研究員 工博

*5 (財)原子力安全技術センター研修・訓練部長

*6 (財)原子力安全技術センター特別フェロー 医博

検出器部の中性子減速材であるポナーボールにはポリエチレンを使用し、PSPCには ^3He と CF_4 混合ガスを充填している。本計測装置では小型軽量化を図るため、応答関数の一次独立性を評価し、大きさを検討した結果、ポナーボールの直径は23 cmが最適と判断された。

PSPCで生成された荷電粒子は、 ^3He と CF_4 を電離して電子を発生し、その電子は陽極である芯線に移動し電子なだれを起こして集荷される。芯線上で電子が集荷される位置はほぼ電離作用で生成した電荷分布の重心位置となるため、この検出器では芯線の両端で計測される電荷量から位置を決定する電荷分割方式を採用した。つまりPSPCが最も感度の強かった位置情報を検出できるため、従来の多球（球数：6個）を1球（球数：1個）にすることができ、小型化が可能となった。装置サイズでは従来ベースの多球型483 mm × 493 mm × 715 mmに比較して1球型では製品化時320 mm × 350 mm × 320 mmに収まる見込みである。

2.2 中性子スペクトル計測装置の構成と使用環境

装置は、車載による対民製環境を考慮して下記の規格に適合するよう設計された検出器部と回路部で構成されている。

- 規格 JIS D1601 “自動車部品振動試験方法” 第3種 B (段階45, 静的加速度70 (m/s²)) 相当
- JIS Z0302-1995 (防水包装) 2種 B (散水試験5分) 相当

検出器の左右から検出される信号は回路部で増幅され、最も感度が強かった位置が電圧比として検出される(図2)。装置は2つの筐体に搭載した状態で、車載にて現場(野外を想定)に運搬後、分散配置して測定される。

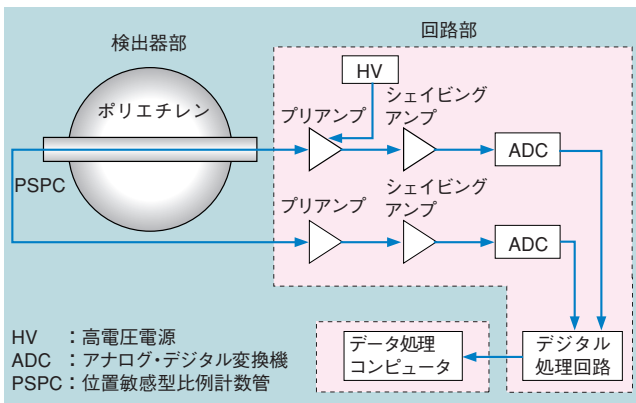


図2 構成ブロック

2.3 各部の特徴

(1) 検出器

検出器部(図3)はPSPC及びポリエチレン減速材球から構成され、PSPCは直径10 mmφ、有

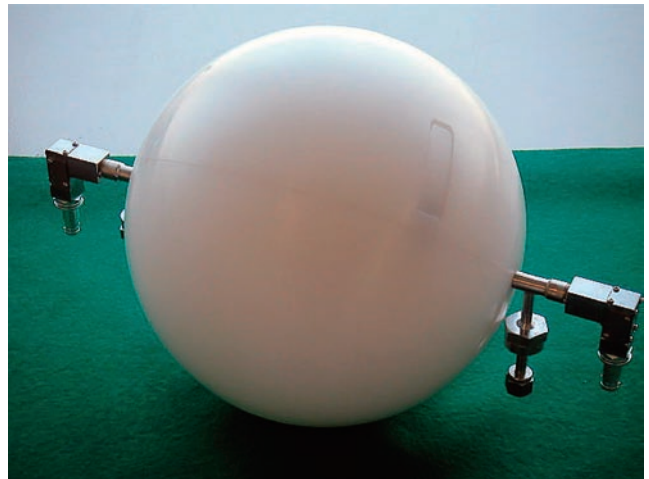


図3 検出器部

感部分276 mm、厚さ0.5 mmのSUS304製円筒形状(図4)で、芯線には位置検出精度を高めるため、電気抵抗の高い直径15μmのニクロム線を使用し、線熱膨張も考慮した耐振仕様とした。なお、PSPCの検出部、特に端部は有感領域以外の予期しない部分で電子なだれが発生しないように、Maxwell-2Dによる電界解析(図5)により、局所的電界集中を避けた形状とした。減速材は直径230 mmφの球形で、熱中性子の影響を除去するため、厚さ0.5 mm



図4 PSPC

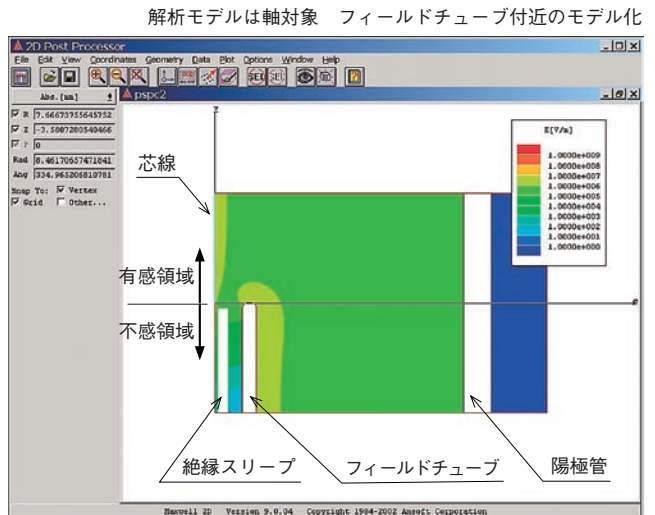


図5 比例計数管内の電界解析結果(印加電圧2KVの場合)

のカドミウムの円筒で覆われている。

(2) 回路部

回路部はプリアンプ部、高電圧電源部、入力処理回路、A/D変換器、デジタル処理回路部から構成され、市販PCとのインタフェースを有する。アンプ類は実績あるハイブリッドICを、高電圧電源は基板実装タイプ電源を採用し、デジタル処理回路を1チップ化し、回路部全体を1枚の基板に集約することで小型軽量化を図った。

(3) 筐体

筐体は検出器部、プリアンプ、高圧電源部を含む筐体1(図6)とメイン回路部及びバッテリーを含む筐体2から構成される。特に2筐体に分散配置した理由は、回路部やバッテリー部による遮へい効果や散乱線の影響を除くためである。筐体には検出器部、回路部を保護するための防湿対策が施され、装置全体の重量は、筐体1と筐体2を含めて約22kgであり、運搬上問題のない重量となった。



図6 筐体1

2.4 標準場による校正

本装置は製作後、(独)産業技術総合研究所の熱中性子標準場及び、単色高速中性子標準場(144 keV, 565 keV, 5 MeV)を用いて標準校正試験を実施し、基本的な感度特性を把握した。

現在は原子力施設周辺環境を想定した中性子場での検証を実施中である。

3. ま と め

中性子スペクトル計測装置として、従来の多球型ボナーボールを更に小型化、軽量化したポータブルサイズの1球型のボナーボール計測装置を製作した。

将来の宇宙ステーションや月面探査などの宇宙機器をはじめ、民間航空や自衛隊の航空機搭載を想定した航空機分野、事故時や環境の安全性評価のための原子力分野に向けて拡販をめざし、これまで特殊な分野とされていた宇宙機器分野の民製展開にこの成果を活用することが考えられる。

本中性子計測装置開発にあたり、(株)三菱総合研究所佐藤理主席研究員、岩井敏主席専門研究員、御指導頂いた(独)産業技術総合研究所の原野英樹氏、松本哲郎氏、瓜谷章教授(名古屋大学)、森千鶴夫名誉教授(名古屋大学)に深く感謝致します。

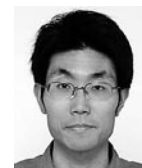
本研究は、旧電源開発促進特別会計に基づく文部科学省からの受託事業として、(財)原子力安全技術センターが実施した、平成17年度“緊急時対策総合支援システム調査”の成果です。

参 考 文 献

- (1) 平田知二ほか、可搬型中性子スペクトロメータの開発(その1) - 概要 -、日本原子力学会2005年秋の大会
- (2) 岩井 敏ほか、可搬型中性子スペクトロメータの開発(その2) - 設計・製作 -、日本原子力学会2005年秋の大会
- (3) 高木俊治ほか、可搬型中性子スペクトロメータの開発(その3) - 応答関数評価 -、日本原子力学会2005年秋の大会
- (4) 粟屋伊智郎ほか、国際宇宙ステーション米国実験棟搭載中性子モニタ装置、日本マイクログラフィティ応用学会誌 Vol. 18 No. 4 (2001)



木村卓也



村瀬浩史



粟屋伊智郎



高木俊治



平田知二



河内清光