

位置有感生体組織等価物質比例係数箱（PS-TEPC）の開発とそれによる宇宙ステーション内での線量当量計測技術の確立（2010年度WG報告）

JAXA 布施哲人、永松愛子、大森昭義、松本晴久、込山立人

慶大医/JAXA 寺沢和洋

早大/JAXA・宇宙環境G 道家忠義

KEK 佐々木慎一、俵裕子、齋藤究、高橋一智

京都大学 身内賢太郎、窪秀利、谷森達

放医研 内堀幸夫、北村尚

Development of Position Sensitive Tissue Equivalent Proportional Chamber (PS-TEPC) and establishment of a technique for space dosimetry on the International Space Station (2010 WG report)

Tetsuhito Fuse¹, Tadayoshi Doke^{1,3}, Tatsuto Komiyama¹, Haruhisa Matsumoto¹, Aiko Nagamats¹, Akiyoshi Omori¹, Kazuhiro Terasawa^{1,2}, Hidetoshi Kubo⁴, Kentaro Miuchi⁴, Toru Tanimori⁴, Kiwamu Saito⁵, Shin-ichi Sasaki⁵, Kazutoshi Takahashi⁵, Hiroko Tawara⁵, Hisashi Kitamura⁶, and Yukio Uchihori⁶

¹ Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), Sengen 2-1-1, Tukuba, Ibaraki, 305-8505

² School of Medicine, Keio University, Hiyoshi 4-1-1, Kouhoku-ku, Yokohama, Kanagawa, 223-8521

³ Advanced Research Institute for Science and Engineering, Waseda University, Kikuicho 17, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-0044

⁴ Graduate School of Science, Kyoto University, Kitashirakawa-oiwakecho, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8502

⁵ Radiation Science Center, High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

⁶ National Institute for Radiological Sciences (NIRS), Anagawa 4-9-1, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8555

Abstract: Position Sensitive Tissue Equivalent Proportional Chamber (PS-TEPC) has been developed for space dosimetry. An experiment by Si, He, Ar, H beams was performed at the HIMAC of the NIRS to understand the response of the detector. We have started concept desing of the flight model to advance onborad experiment.

Key words; Space Dosimetry, Dose Equivalent, LET, PS-TEPC, μ -PIC, TEPC, RRMD-III, HIMAC

研究の背景と意義

国際宇宙ステーション（International Space Station : ISS）日本実験棟「きぼう」が完成し、きぼうでの宇宙実験、日本人宇宙飛行士の長期滞在が始まっている。宇宙空間での放射線環境の把握については、以前から課題になっているところではあるが、宇宙飛行士の健康や安全管理のため、今後ますますより正確な放射線の計測、エリアモニタリングが必要となってきている。

ISSでの宇宙放射線被曝は、銀河宇宙線、捕捉粒子線、太陽フレアに伴う粒子線からもたらされる。

銀河宇宙線は陽子とヘリウムから鉄イオンまでの重イオンで構成される。宇宙船壁との相互作用によって発生する中性子等の2次粒子による被曝線量も無視できない。このようにエネルギー領域が広く多種多様な宇宙放射線の環境が、正確な計測を困難にしている。このような特殊条件を加味し、測定誤差としては30%以下が推奨されている¹⁾。しかし、後述する通り、現状のリアルタイムモニタリング装置の誤差が30%以下を満たしているかは疑問の余地があり、また、宇宙における滞在期間が宇宙放射線被曝線量によって規定されるなど、より正確な計

測が求められる。

これまでに、いくつかの実時間測定可能な線量計が開発され、スペース・シャトルや国際宇宙ステーション (International Space Station、ISS) 上での実測が行われてきた。荷電粒子についてはある程度精度のよい測定が行われてきたが、中性子については未だ十分な精度が達成されていない。

現状 NASA が標準線量計として採用している Tissue Equivalent Proportional Counter (TEPC)²⁾は、文字通り生体組織等価物質で構成されるため、中性子に対しても感度を持つ点で有利であるが、位置検出機能がないために、粒子の一樣等方入射の仮定の下に算出される応答関数から、検出器内での入射粒子の経路長の平均を取り、線量測定に必要な物理量である、Linear Energy Transfer (LET) を取得している。この近似のため、原理的な系統誤差が 51% という大きな値になってしまっている³⁾。

そこで、TEPC を位置有感にした、Position Sensitive TEPC (PS-TEPC)の開発に着手し、これまで、その経過について報告している⁴⁾。

装置の概要

装置の外観を Fig.1 に示す。位置検出、並びにエネルギー測定のために、Micro-PIXel Chamber (μ -PIC)⁵⁾ というストリップ電極の一種を使用し、Time Projection Chamber (TPC) として動作させることで、3 次元的な飛跡の取得を行っている。

Fig.2 に示すように、隣り合う 4ch 分のストリップをつなげたため、読み出しの 1ch 分は、1.6 mm 分の間隔に相当する。 μ -PIC 自身の有効面積は $2.5 \times 2.5 \text{ cm}^2$ であり、2 次元位置検出面における読み出しは、1 次元あたり 16ch 分である。また、電子のドリフト方向の長さは 5 cm である。

封入するガスは C_3H_8 ベースの生体組織等価ガス (C_3H_8 : 55%、 CO_2 : 39.6%、 N_2 : 5.4% の混合ガス) をを圧力 1 atm で使用する。

本年度は、放射線医学総合研究所の HIMAC からのイオンビーム (Si 800MeV/n、He 230MeV/n、Ar 650MeV/n、H 230MeV/n) による照射実験を行い、検出器の校正や、データ解析プログラムの精度向上を行った。飛跡の解析結果例を Fig.3 に示す。

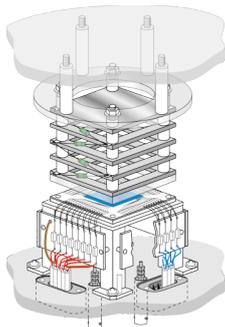


Fig.1 Appearance of PS-TEPC

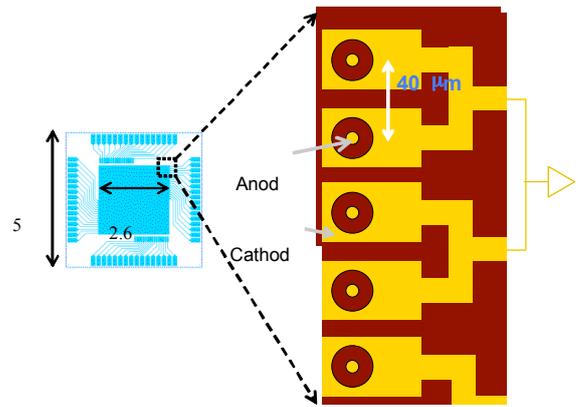


Fig.2. Schematic drawing of μ -PIC

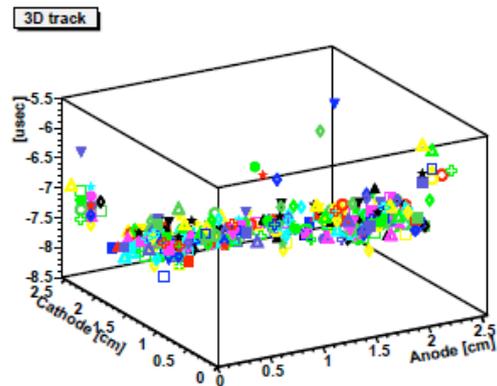


Fig.3 3D track imaging by PS-TEPC

フライトモデルの概念設計

本年度はビーム照射実験による検出器の開発と並行して、ISS 搭載実験として認定されるための作業として、フライトモデルの概念設計を行った。

PS-TEPC は昨年 3 月「きぼう」船内実験室第 2 期利用後半期間の候補テーマとして選定された。本年度完了予定である概念設計後、フライト実験準備移行審査を経て、フライトモデル開発に着手する計画である。全体のスケジュールは Fig.4 の通りであり、HTV4 もしくは 5 での打上げを想定している。

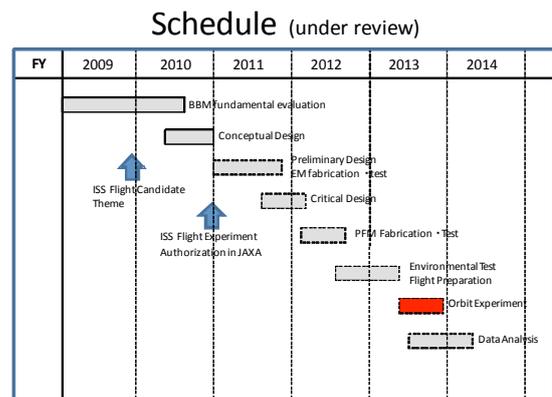


Fig.4 Flight Experiment Schedule

フライトモデルの構成は、 μ -PIC を含むセンサー

部分である Detector Unit, ADC を含む取得データのデジタル化、処理、保存を行う Control Unit、データ処理の結果得られた線量率等を表示する Display Unit からなる (Fig.5)。

この3つの Unit から構成される PS-TEPC フライトモデルは、HTV2 で打上げ予定である多目的ラックを利用して実験を行う。多目的ラックとは 28VDC の電源インターフェース、及びイーサネットによるデータ送受信のインターフェースを持つ。電源・データインターフェースを持つ Control Unit は多目的ラックのワークボリューム (WV) 内に設置し、センサー部分になる Detector Unit は Control Unit とケーブルで接続される。Detector Unit は WV の内外に設置可能となるようポータブルに近い形状とする。これにより、センサー部分にある程度動かすことが可能となり、多目的ラック周辺の放射線環境の、場所依存による変化を見ることを計画している。

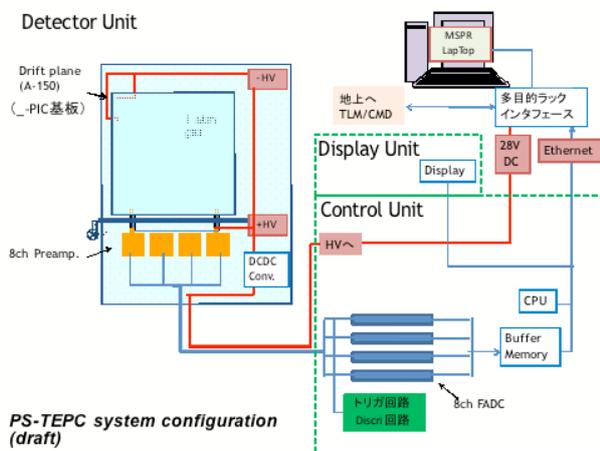


Fig.5 PS-TEPC Flight Model configuration

今後は、フライトモデルの概念設計完了後、具体的な装置の設計を進めていくことになる。また、フライトモデルの設計と並行して、Detector Unit の仕様について最適化を行う。具体的には、中性子についての測定や、ビーム照射実験によるキャリブレーションを継続するとともに、GEM による応答特性評価などにより、Deposit Energy が低いものから高いものまで安定した動作をするための、センサー部の最適化を行う必要がある。

謝辞

本研究は、宇宙航空研究開発機構、(財)日本宇宙フォーラムが推進している「宇宙環境利用に関する地上研究公募」プロジェクトの一環として行っており、実験研究の装置を使用し、継続しております。ここに感謝申し上げます。

また、放射線医学総合研究所の HIMAC 施設の共同利用の一環として行われております。実験実施のために、ご協力いただきました HIMAC 関係者皆様

に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) NCRP Report No.142, Recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements, (2002).
- 2) Badhwar, G.D. et al.; Measurements on the shuttle of the LET spectra of galactic cosmic radiation and comparison with the radiation transport model, *Radiat. Res.* 139, 344 (1994).
- 3) Doke, T. et.; Measurement of Linear Energy Transfer Distribution at CERN-EU High-Energy Reference Field Facility with Real-Time Radiation Monitoring Device III and Its Comparison with Dosimetric Telescope, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **43**, 3576 (2004).
- 4) Terasawa, K. et al.; Development of Position Sensitive Tissue Equivalent Proportional Counter (PS-TEPC) for Space Dosimetry, *Space Utiliz. Res.*, **25**, 57 (2009).
- 5) Ochi, A. et al.; A new design of the gaseous imaging detector: Micro Pixel Chamber, *Nucl. Instr. and Meths.*, **A471**, 264 (2001).