

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 (2009年度WG報告)

慶大医 / JAXA・J-SBRO 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

JAXA・宇宙環境 G 松本晴久、込山立人、東尾奈々

放医研 内堀幸夫、北村尚

Development of Position Sensitive Tissue Equivalent Proportional Counter (PS-TEPC) and establishment of a technique for space dosimetry on the International Space Station (2009 WG report)

Kazuhiro Terasawa^{1,2}, Tadayoshi Doke^{3,4}, Nana Higashio³, Hisashi Kitamura⁷, Tatsuto Komiyama³, Hidetoshi Kubo⁵, Haruhisa Matsumoto³, Kentaro Miuchi⁵, Kiwamu Saito⁶, Shin-ichi Sasaki⁶, Kazutoshi Takahashi⁶, Toru Tanimori⁵, Hiroko Tawara⁶ and Yukio Uchihori⁷

¹ School of Medicine, Keio University, Hiyoshi 4-1-1, Kouhoku-ku, Yokohama, Kanagawa, 223-8521
E-mail: terasawa@z6.keio.jp

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

³ Aerospace Research and Development Directorate, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), Sengen 2-1-1, Tukuba, Ibaraki, 305-8505

⁴ Advanced Research Institute for Science and Engineering, Waseda University, Kikuicho 17, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-0044

⁵ Graduate School of Science, Kyoto University, Kitashirakawa-oiwakecho, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8502

⁶ Radiation Science Center, High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

⁷ National Institute for Radiological Sciences (NIRS), Anagawa 4-9-1, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8555

Abstract: Position Sensitive Tissue Equivalent Proportional Counter (PS-TEPC) has been developed for space dosimetry. An experiment by Iron beams with the energy of 500 MeV/n was performed at the HIMAC of the NIRS to understand the response of the detector. The energy resolution of 9.9 % (FWHM) was obtained for the energy deposited in the detector.

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

宇宙における滞在期間は、唯一、宇宙放射線被曝線量によって限定されている。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おり、荷電粒子については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。測定誤差としては30%以内が要求されている¹⁾。本研究は1台で荷電粒

子と中性子の両方を従来よりもよい精度で測定できる線量計の開発を目的としている。

宇宙放射線による被曝は地表における自然被曝と大きく異なり、高エネルギー荷電粒子線とそれに伴う二次粒子線から受ける被曝である。すなわち、主に、陽子とヘリウムから鉄までの重イオン、中性子である。

現状で 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⁾。

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。

これまでに開発したプロトタイプにおいては、エネルギー測定に全ストリップからの和の信号を使用していたため、結果に対する詳細な検討を行えずにいた。そこで今回は、Fig.1 に示すように、隣り合う 4ch 分のストリップをつなげ 1ch 分とし測定を行った。各ストリップの間隔は 0.4 mm であるので、今回の最終的な読み出しの 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。

封入するガスとして、最終的には、 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) を使用する予定であるが、今回は、経験の豊富な Ar ベースのガス (Ar: 90%、 C_2H_6 : 10% の混合ガス) を圧力 1 atm で使用した。

この検出器を用いて、放射線医学総合研究所の HIMAC からの鉄イオンビーム (500 MeV/n) による照射実験を行った。ビームスポットサイズを約 5 mm とした。

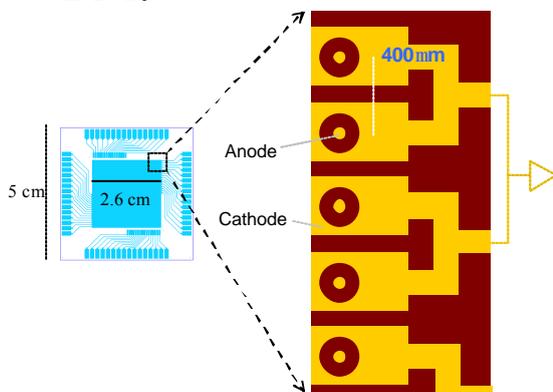


Fig.1 Schematic view of the μ -PIC

その結果、cathode ストリップからの読み出しを使用した場合に、半値幅で 9.9 % の分解能を達成することができた (Fig.2)。これは、従来のシリコン検出器望遠鏡の Real-time Radiation Monitoring Device (RRMD)-III による同イオン同エネルギーに対する結果の 4.5%⁶⁾ と比べると、値としては、2 倍程度になっているが、RRMD-III の測定誤差が全体で 10% 程度であることを想定すると⁷⁾、PS-TEPC による測定誤差が荷電粒子に対しては、前述の 30% 以内を達成できる可能性を示唆している。今後、生体組織等価ガスを使用することや、他の粒子に対する測定も継続して行う予定である。最終的には、中性子についての測定も行う。

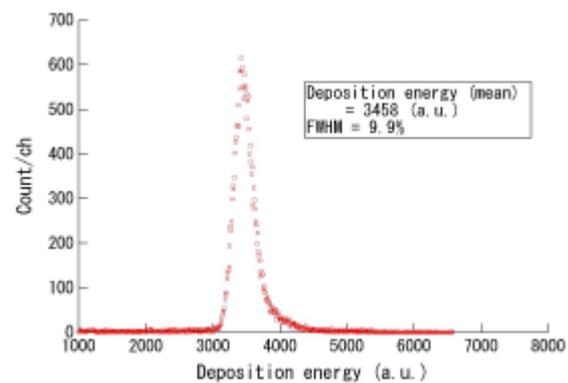


Fig.2 Distribution of energy deposited in the detector for the irradiation of Fe beam with the energy of 500 MeV/n

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ました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).
 - 6) Doke, T. et al.; Report of RRMD-III in the first ICCHIBAN Experiment, *HIMAC Technical Report* **078**, 24 (2004).
 - 7) 寺沢和洋; 宇宙放射線線量計測の現状, 第22回放射線検出器とその応用, KEK (2008).