

## 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 (2014年度 RT 報告)

慶大医/JAXA 寺沢和洋

KEK 佐々木慎一、俵裕子、齋藤究、高橋一智、岸本祐二

JAXA 松本晴久、込山立人、永松愛子、布施哲人、伊藤裕一、勝田真登

神戸大 身内賢太郎

京大 谷森達、窪秀利

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 (2014RT report)

*Kazuhiro Terasawa<sup>1,2</sup>, Tetsuhito Fuse<sup>2</sup>, Yuichi Ito<sup>c</sup>, Masato Katsuta<sup>2</sup>, Yuji Kishimoto<sup>3</sup>, Hisashi Kitamura<sup>6</sup>, Tatsuto Komiyama<sup>2</sup>, Hidetoshi Kubo<sup>5</sup>, Haruhisa Matsumoto<sup>2</sup>, Kentaro Miuchi<sup>4</sup>, Aiko Nagamatsu<sup>2</sup>, Kiwamu Saito<sup>3</sup>, Shin-ichi Sasaki<sup>3</sup>, Kazutoshi Takahashi<sup>3</sup>, Toru Tanimori<sup>5</sup>, Hiroko Tawara<sup>3</sup> and Yukio Uchihori<sup>6</sup>*

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

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

<sup>3</sup> Radiation Science Center, High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

<sup>4</sup> Graduate School of Science, Kobe University, Rokko-dai 1-1, Nada-ku Kobe Hyogo, 657-8501

<sup>5</sup> Graduate School of Science, Kyoto University, Kitashirakawa-oiwakecho, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8502

<sup>6</sup> 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. The detector has both position sensitivity and tissue equivalency. The BBM and FM were manufactured and irradiated with heavy ion beams at HIMAC. The measurement onboard the ISS is planned in the near future.

*Key words;* Space Dosimetry, Dose Equivalent, LET, PS-TEPC,  $\mu$ -PIC, TEPC, RRMD-III, HIMAC

#### 1. はじめに

宇宙滞在期間を決定する要因の一つが宇宙放射線被曝であり、ISS上などで数か月にわたる長期滞在の際には、地上での職業人に適用されている被曝線量限度 (50mSv/year かつ、100 mSv/5years) <sup>1)</sup> を超えて、年齢と性別に依存した設定がなされており、概ね 1000mSv のオーダーである <sup>2,3)</sup>。

被曝の対象となる放射線の種類の内訳は STS-89 での実測で荷電粒子が 8 割、中性子が 2 割となっているが、中性子は 2 次中性子が主で、周辺の物質に依存するほか、測定精度が荷電粒子より劣るため、

注意が必要である <sup>4)</sup>。また、測定精度が滞在期間に直結し、 $\sigma = 50\%$  で半減も想定され <sup>4)</sup>、現状で 30% 以内が推奨されている <sup>5)</sup>。

月や火星への有人ミッションにおいては宇宙滞在の長期化は必至で、被曝線量限度に迫るかそれを超えるような状況が想定される。

現状で、Tissue Equivalent Proportional Counter (TEPC) や Real-time Radiation Monitoring Device-III (RRMD-III) 等の能動型検出器で線量の実測が行われてきたが、中性子への感度、荷電粒子に対する測定精度を考慮することで、両線量計の特徴を生かし、生体組織等価性と位置有感性を兼ね備えた新たな

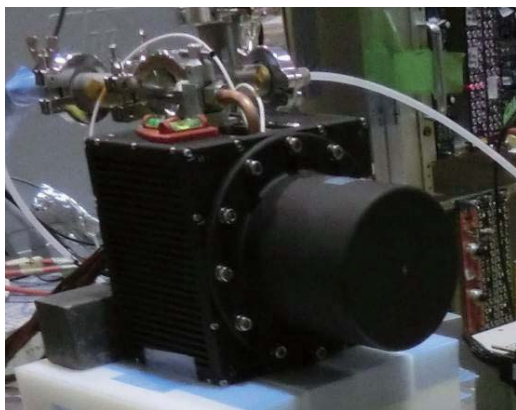


Fig.1 Photo of the BBM. The cylindrical part is the detection volume of PS-TEPC.

線量計として、Position-Sensitive Tissue-Equivalent Proportional Chamber (PS-TEPC)の開発に踏み切った<sup>6)</sup>。

## 2. PS-TEPC について

PS-TEPC は、生体組織等価物質で構成された気体 Time Projection Chamber (TPC)である。3次元的な飛跡と付与エネルギーについての情報を得ることで、線量計測に必要な物理量である LET (0.2~1000 keV/μm-water) を実測している。

2次元位置検出部には、Micro-Pixel Chamber (μ-PIC)<sup>7)</sup>というストリップ電極の一種を使用している。

検出器の有効体積を形成するドリフト面、電場整形リングの各電極を導電性の生体組織等価プラスチック、検出媒体としてのガスとして生体組織等価ガスを使用することで、検出器全体として生体組織等価性を担保している。ガスにはプロパンベースとメタンベースの2種類があるが、安定性を考慮し、メタンベース (CH<sub>4</sub>: 64.4%、CO<sub>2</sub>: 32.4%、N<sub>2</sub>: 3.2%) を最終的に使用することに決定している。

## 3. これまでの結果と今後について

- ・ 有効領域が 10cm×10cm×10cm タイプによる重イオン照射試験による動作実証<sup>8)</sup>
- ・ 2.5cm×2.5cm×5cm タイプの開発と生体組織等価物質によるドリフトケーシングの製作
- ・ Arベースガス (Ar: 90%、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>: 10%の混合ガス) 1気圧での実験
- ・ Arベースガスを使用した場合の測定精度の見積<sup>9)</sup>
- ・ 生体組織等価ガス (プロパンベース、並びにメタンベース)を使用した際の測定精度の見積<sup>10)</sup>

等がこれまでの研究内容である。

測定精度について、LET全体に対して、 $\sigma = 30\%$ 以下を達成できる見込みとなったことを受けて、前年度までに Bread Board Model (BBM)の製作 (検出部のみ) を実施した。その際に、μ-PIC基板について従来の角型を円形に変更し、ドリフト電場をよりスムーズにするために電極部分の配置を見直し、併せてドリフトケーシングも円筒形にした。

BBM についての重イオン照射試験を行い、これまでのプロトタイプ品と同等の測定精度を達成した。Fig.1 に放射線医学総合研究所の HIMAC 施設における照射試験時の BBM の写真を示す。写真前方右側の円筒部分内部にドリフトケーシングがあり、検出部となっている。

更に、検出部と制御部の両方について、Flight Model (FM)の製作を行い、一部ソフトに修正箇所等が見つかったものの、概ね同様の結果を得た。現在、解析が進行中である。今後は各環境試験を行い、来年度以降に ISS 上にて、軌道上での実測を計画している。

## 参考文献

- 1) ICRP Publication 60; Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, New York, Ann. ICRP 21 (1991).
- 2) 宇宙開発事業団; 有人サポート委員会宇宙放射線被曝管理分科会報告書, 平成 13 年.
- 3) JAXA、国際宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士・放射線被ばく管理規定、ISS 搭乗宇宙飛行士の生涯実効線量制限値 (2013).
- 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) NCRP Report No.142, Recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements, (2002).
- 6) Terasawa, K. et al.; Position-sensitive tissue-equivalent proportional counter (PS-TEPC) for space dosimetry, *KEK Proc.* 2005-12 (2005) 63.
- 7) Ochi, A. et al.; A new design of the gaseous imaging detector: Micro Pixel Chamber, *Nucl. Instr. and Meths.*, A471, 264 (2001).
- 8) Nagayoshi, T. et al.; Response of a micro pixel chamber to heavy ions with the energy of several hundreds of MeV/n, *Nucl. Instr. Meth.*, A581 (2007) 110.
- 9) Terasawa, K. et al., Response of a prototype position-sensitive tissue equivalent proportional chamber to heavy ions with energies of several hundreds of MeV/n, *KEK Proc.*, 2011-8 (2011) 189.

- 10) Kishimoto, Y. et al.; Basic performance of a position-sensitive tissue-equivalent proportional chamber (PS-TEPC), Nucl. Instr. Meth., A732 (2013) 591.

## 謝辞

以下の各機関・施設におけます研究課題として採択され研究が実施されていますのでここに感謝申し上げます。

- ・ 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継続版
- ・ 放射線医学総合研究所・HIMAC 施設共同利用研究課題
- ・ 高エネルギー加速器研究機構・共同開発研究課題
- ・ 宇宙航空研究開発機構・宇宙環境利用科学委員会・研究グループ