

## ■ はじめに

宇宙滞在によって受ける放射線被ばく線量は地表より2オーダーも高く、宇宙機船内環境における線量測定の重要性は大きい。特に国際宇宙探査協働グループ (ISECG) によって長期ビジョンとして打ち出されている月面や小惑星への長距離有人探査を考えると、計測器としてのサイズ、重量や測定精度に対する制限が厳しくなるため、近い将来、高精度かつコンパクトな線量計が必要となることは想像に難くない。そこで、我々は宇宙機船内用の高精度かつコンパクトな空間線量計として、位置有感型比例計数箱 (PS-TEPC) の開発を行っている。

PS-TEPCは $\mu$ -PICと呼ばれるピクセル型電荷読み出しデバイスを用いた有感体積 $26 \times 26 \times 50\text{mm}^3$ のTime projection chamberであり、入射放射線の封入ガスに対するエネルギーデポジットだけでなく、その3次元飛跡を取得することが可能である。宇宙放射線による被ばく線量は通常、LET (Linear Energy Transfer) の関数として与えられる線質係数と吸収線量との積 (線量当量) により評価される。PS-TEPCは取得したエネルギー情報と3次元飛跡からLETを直接測定できるため、その分精度の良い線量計測が可能になると考えている。

PS-TEPCは既に国際宇宙ステーション (ISS) 日本モジュール「きぼう」船内実験室第二期利用後半期間科学分野候補として採択され、2015年にはISS機上へ搭載し動作実証試験を行う予定である。本ポスター発表ではPS-TEPCの構造や動作原理を紹介し、試作機による性能評価について述べる。

## ■ 活動内容

### 1. PS-TEPCの構造

図1にPS-TEPCの構造を示す。PS-TEPCはDrift planeとShaping frames,  $\mu$ -PICにより構成される。Shaping framesの中心には $26 \times 26\text{mm}^2$ の穴が空いており、Drift planeと $\mu$ -PICに挟まれた $26 \times 26 \times 50\text{mm}^3$ の直方体形状の空間が有感体積となる。封入ガスとしては生体組織等価ガスを使用しており、測定データから線量への換算が比較的容易に行える。

### 2. 測定原理

Drift planeと各Shaping frameに適切な高電圧を印加することにより有感体積内に一様なドリフト電場を形成する。宇宙機船内環境における被ばくの主要因である荷電粒子が有感体積に入射すると、封入ガスを電離し飛跡に沿

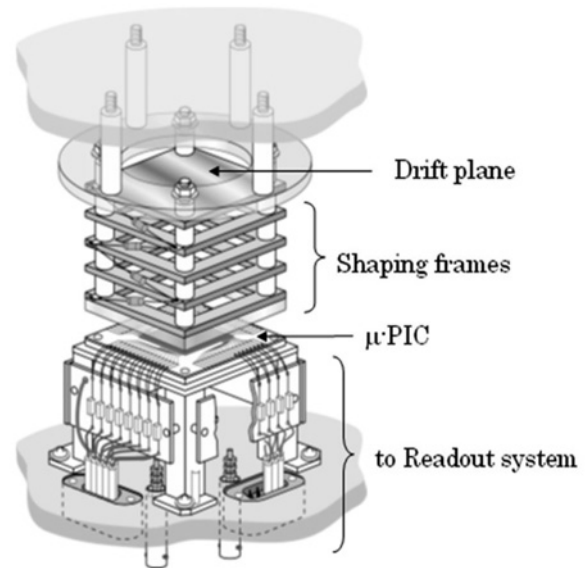


図1: PS-TEPC (試作機) の構造

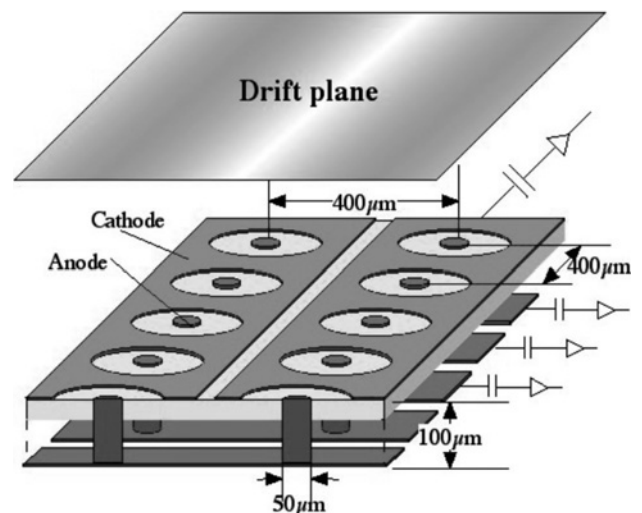


図2:  $\mu$ -PICの模式図

代表発表者 **岸本 祐二 (きしもと ゆうじ)**  
 所属 **高エネルギー加速器研究機構  
放射線科学センター**  
 問合せ先 **〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1  
TEL: 029-864-5489 FAX: 029-864-1993  
高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター**

■キーワード: (1) 線量計測  
(2) 国際宇宙ステーション  
(3)  $\mu$ -PIC

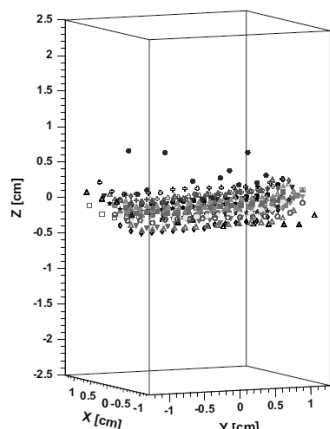


図3: 鉄イオンビーム照射時の3次元トラックイメージ

った形の電子雲が形成される。電子雲はドリフト電場により図中下方へと輸送され $\mu$ -PICへ到達する。 $\mu$ -PICは京都大学宇宙線研究室で開発された電荷読み出しデバイスであり、図2のようなパターンを持つ基板である。基板には $400\mu\text{m}$ ピッチで直径 $50\mu\text{m}$ のAnode電極が配置されており、その周りに直径 $250\mu\text{m}$ の穴が開いたCathode電極が配置されている。Anodeに高電圧を印加することで一つ一つのピクセルが比例計数管の様になり、収集した電荷量に比例した信号取得が可能である。AnodeはCathodeと直交するストリップに繋がっており、全ストリップの信号を解析することで $\mu$ -PIC平面上における電荷収集位置の取得が可能となる。ドリフト距離は出力信号のタイミング情報から再現することができ、入射粒子の飛跡を3次元で再現することが可能である。これらの情報を用いることで、1イベント毎のLET(=エネルギーデポジット/飛跡長)を精度良く決定できる。

### 3. 動作実証と性能

PS-TEPCの試作機に重粒子ビームを照射した試験から測定原理の実証を既に行っている。図3は図中左側から $500\text{MeV/n}$ のエネルギーを持つ鉄イオンビーム(ビーム径約 $1\text{cm}$ )をPS-TEPCに照射した際に取得した3次元トラックイメージである。1イベント毎に色を変えて重ね書きしてあり、一定方向に揃ったトラックがビーム径程度に広がっている様子が再現できている。また、図4は同様に鉄イオンビームを照射したデータから求めたゲインカーブである。指数関数によるフィット曲線(点線)に良くフィットしており、 $\mu$ -PICが比例領域で動作していることが確認できている。

図5は複数種のイオンを照射したデータから、LET測定値の理論値(計算値)に対する線形性を調べたものである。点線が測定値と理論値が等しくなる場合を示しており、点線に沿ってデータ点が分布していることが確認できる。これは宇宙機船内環境で被ばくに寄与するLET範囲( $0.2\sim 600\text{keV}/\mu\text{m-water}$ )の広く渡ってPS-TEPCが線形性を持ち、LETが直接測定できる線量計として機能することを示している。他の動作実証や性能試験についての詳細はポスター発表にて述べる。

### ■ 関連情報等(特許関係、施設)

本研究は放射線医学総合研究所の共同利用研究として、重粒子線がん治療装置(Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba:HIMAC)を利用して行われたものである。

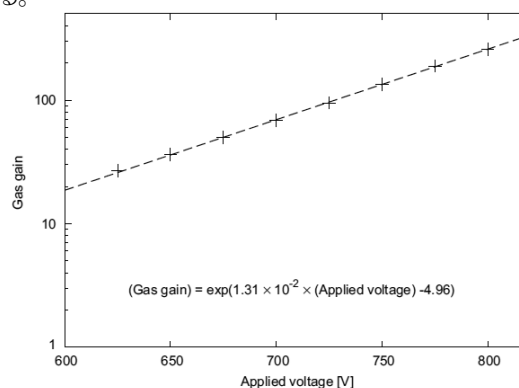


図4: ゲインカーブ

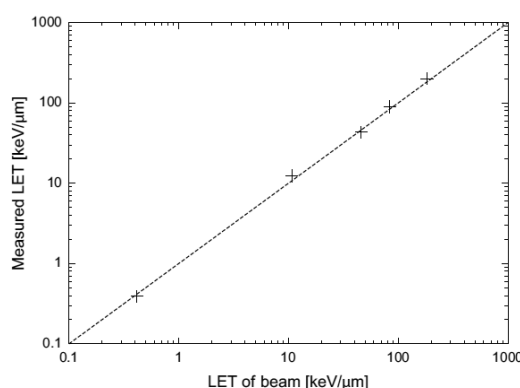


図5: LET 測定値の線形性