

JAXA 宇宙環境計測実験室におけるペレットロン加速器の運用

金子貴博²、東尾奈々¹、松本晴久¹、大友洋光²、平尾敏雄²、広瀬孝幸²

1：宇宙航空研究開発機構

2：菱栄テクニカ株式会社

1. はじめに

宇宙空間において、太陽宇宙線、銀河宇宙線、バンアレン帯起源の地球を取り巻く宇宙放射線が宇宙飛行士及び衛星の活動に影響を及ぼしている。宇宙飛行士や衛星が宇宙放射線環境下で安全に活動するためには宇宙環境の把握が不可欠である。JAXA 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 宇宙環境グループでは計測技術の研究や計測機器の開発を行っており、様々な衛星に宇宙環境計測装置を搭載し放射線計測を行なうことで放射線環境の把握に努めている。そして宇宙環境において使用される放射線機器の研究、開発のためにペレットロン加速器が導入された。

弊社 (菱栄テクニカ株式会社) は加速器導入当初から加速器の運用、保守、管理を行なう形で業務支援している。本稿では宇宙環境グループ殿が保有するペレットロン加速器とそれに付随する設備の概要⁽¹⁾について述べる。

2. ペレットロン加速器の概要

2000年に米国 NEC 社のペレットロン加速器が筑波宇宙センター内に導入され、開発機器 (宇宙環境計測機器) に対して電子線、陽子線を照射することで開発を行なってきた。本加速器の仕様を表 1、加速器の構成

表 1. 加速器の仕様

加速電圧範囲	0.4~2.0MV
加速粒子	電子、陽子、イオン(He~Ar)
ビーム強度	~10nA
照射方法	スポット、スキャン照射 (最大 60mm×60mm)
照射環境	真空中 (10^{-4} ~ 10^{-6} Pa)

を図 1 に示す。

これまで加速粒子は主に電子と陽子を中心として運用してきたが、現在は窒素イオンの運用に向けて準備を進めている。また本加速器には 10^{-4} ~ 10^{-6} Pa の真空範囲で照射を行なうことが可能な真空チャンバが設置されており、0.4~2.0MeV 以下のエネルギー領域において実宇宙環境を模擬した照射装置となっている。ビームは、イオン源で発生した荷電粒子が加速管にて加速され、マグネットで 90 度偏向されて真空チャンバへ輸送される仕組みとなっている (図 1)。これまでは輸送経路におけるマグネット通過後のファラデーカップ (FC) やプロファイルモニタで照射されるビームの状態を確認していたが、昨年度はさらにマグネット直前にも FC や荷電粒子検出器 (SSD) を新設し、ビームの状態をより詳細に確認できる設備とした。

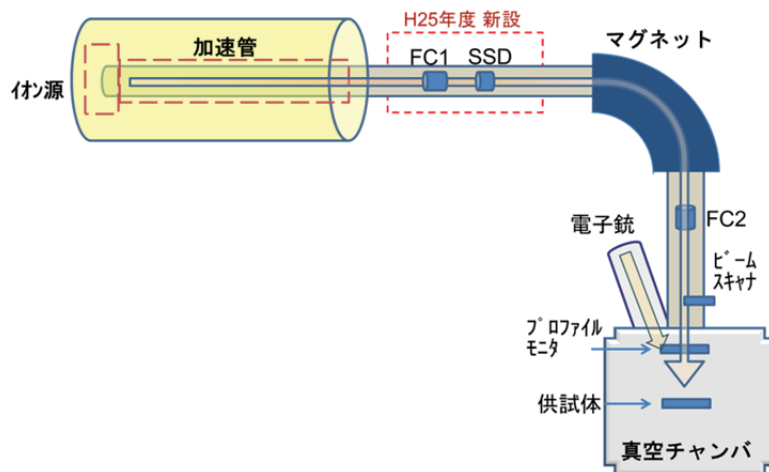


図1. 加速器の構成

本装置には、更に 5keV から 50keV の電子を発生できる 50kV スイープ電子銃が備えられており、0.1fA から 10nA の範囲で供試体に対してイオンビームと電子ビームを同時に照射できる複合照射が可能となっている。

ビームライン終端の真空チャンバ内には供試体を設置するための直線ステージを用意している (図2)。このステージは3軸で稼働することができ、ビームラインに対して X、Y、Z 方向に $\pm 40\text{mm}$ 移動できる。また、Y 軸を中心に角度を $\pm 40^\circ$ 振ることが出来る (図3)。また、真空チャンバ内に設置した供試体に対する電圧印加及び信号ラインは、チャンバ壁に設けた様々なコネクタを有するインターフェースフランジに接続することで行なうことができる。

3. 照射試験の流れ

本設備を用いた照射試験では、セットアップ、真空引き、ビーム調整、照射試験、撤収作業というのが一連の流れとなる。セットアップでは真空チャンバへの供試体

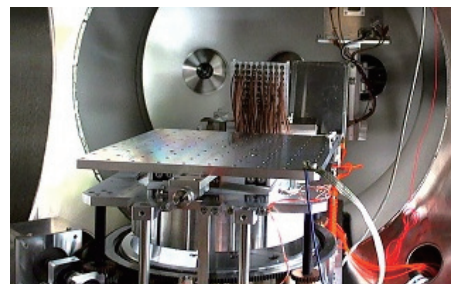


図2. 4軸ステージ

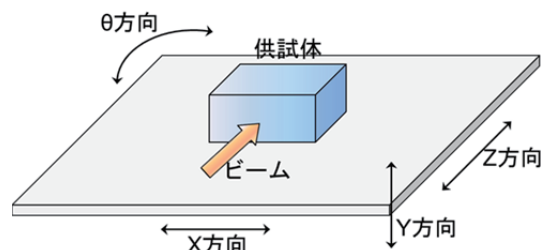


図3. 4軸ステージの稼働方向

の設置や信号ライン等の接続、動作の確認等を行ない、その後チャンバの真空引きを開始する。本設備では $10^{-4} \sim 10^{-6}\text{Pa}$ という高真空状態で試験を実施できる。照射試験当日は加速器を立ち上げ、加速電圧、ビーム強度、分布等をユーザの要求する条件で調整し、照射を実施する。

照射試験終了後は供試体回収と共に汚染検査を実施しており、支援においては放射

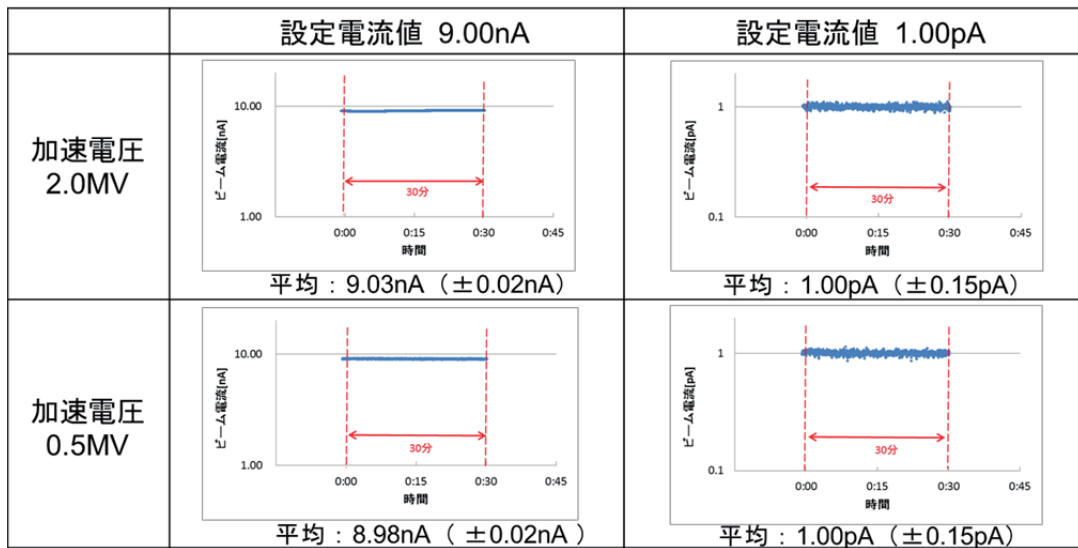
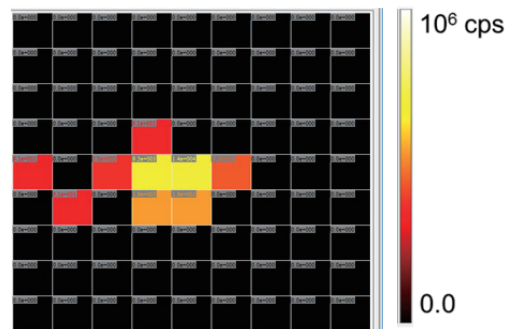


図 4. 電子ビームの電流値変動



(a). 発光体画像 (2.0MeV)



(b). プロファイルモニタ (2.0MeV)

図 5. 電子ビームの形状と分布

線管理を徹底して行っている。

4. 電子ビームの情報

本設備において照射されるビームのうち、電子ソースにおけるデータを紹介する。

4.1 電子ビームの電流安定度

宇宙放射線計測用装置の開発において、加速器における入射粒子数の安定性は重要なパラメータである。加速電圧が 2.0MV と 0.5MV の時の電子ビームにおける電流値の変動を図 4 に示す。電流値は図 1 の加速器構成における FC2 で計測しており、設定電

流 9nA と 1pA に対する 30 分間の電流値の変動を確認している。その結果、図 4 に示す通り、どの条件においても電流値は 30 分間設定電流値を維持できており、平均値も設定値とほぼ同じ値であった。このように本加速器においては設定した電流で安定した照射が可能となっている。

4.2 電子ビームの形状と分布

計測装置開発において、供試体の照射領域に対応したビームの形成を知ることは必要である。2.0MeV と 0.5MeV における電子ビームにおける位置や形状、分布を確認し

たものを図 5 に示す。まず図 5(a)は真空チャンバのステージ上に設置した発光体でビームの位置、形状を確認したものである。発光体は照射試験前に供試体の置かれる位置に設置し、ビームの状態を事前に確認、調整するために使用している。スポットに調整したビームの位置やスキャンした場合のビームの広がりを確認しながら調整することができ、照射試験では同じ条件でビームを再現して照射することができる。

一方で図 5(b)はプロファイルモニタにより確認されるビームの分布を示しており、cps 単位の低いレート 1×10^4 cps 以下のビーム分布を確認することができる。プロファイルモニタはビームライン上における供試体の直前に設置されており、照射試験時に実際に照射されるビームのカウント数や分布を確認するために使用している。図 5(b)のように 1 cm^2 あたりのカウント数と分布の確認、調整が可能となっている。ここで調整することにより要望にあったビームを供試体へ照射することができる。従って本加速器では高いレートだけでなく、低いレートまで細かく調整されたビームの把握、調整が可能となっている。

5. まとめ

本加速器では 2.0MeV 以下の低エネルギー領域において、安定したビームの提供やビームの位置、形状、分布、カウントレート等の精密な調整把握が可能となっており、特に cps 単位での直流照射が可能という点においては国内でも貴重な装置である。

現在は電子と陽子のみの運用としているが、窒素などその他のイオン源も現在開発中であり、今後は更にユーザの要望に沿っ

た提供ビームの精度向上を図る予定である。

参照

- (1) 東尾奈々、立原祐司、松本晴久、「JAXA ペレトロン加速器の現状」、第 26 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会 報告書