

Development of IPM for J-PARC MR

Kenichirou Satou^{1,A)}, Takeshi Toyama^{A)}, Yoshinori Hashimoto^{A)}, Masaki Tejima^{A)}, and Hiroyuki Harada^{B)}

^{A)} KEK/J-PARC

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195

^{B)} JAEA/J-PARC

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195

Abstract

In addition to the Vertical type residual gas Ionisation Profile Monitor (V-IPM), we have developed a horizontal type IPM (H-IPM) for the Main Ring synchrotron (MR) of J-PARC. For the H-IPM, some improvements were made to suppress a flash over discharge by which the present operation voltage of the V-IPM is limited under 40 kV. By degreasing the triple junction electric field and by making the slit on the ceramic bushing, the operation voltage was improved to that of over 50 kV. In this paper, the details of the H-IPM are reported.

J-PARC MR用IPMの開発

1. はじめに

J-PARCのMR加速器には非破壊でビームプロファイルを観測するために残留ガスプロファイルモニター(IPM)を計3台導入する予定である。遅い取り出しライン(SX)には垂直タイプのIPMが水平タイプ2台に先駆けて設置され、初期のビームコミッションに使用された^[1]。設計段階の定格運転電圧は45kVであったが、高圧印加電極の支持セラミックブッシングの耐電圧不足により、40kV以上で沿面放電が発生し、現在の運転電圧は放電の危険性を考慮し30kVとしている。J-PARCのような大強度ビームにおいては、ビーム自身の空間電荷効果によって測定プロファイルが広がってしまう^[2]。プロファイルの広がりを補正するためには、運転電圧の高電圧化が必要不可欠である。

本年3月に水平タイプIPM(H-IPM)1台を製作し、既設V-IPMのすぐ上流にインストールした。H-IPMでは運転電圧の改善のため1)沿面放電時の電子の供給源となる3重点の電場強度を弱める、2)ストレートタイプのブッシングに溝を設け、ブッシング表面における電子増幅を妨げる対策を行った。この対策により耐電圧50kV以上(電源の関係上50kV以上は未実施)を達成し、本来の設計性能を確保した。

写真1にH-IPMの電極部を示す。各メッシュ電極にMCPおよび電子源を設置している。通常のプロファイル測定時には電子源側メッシュ電極に正電圧を印加する。一方、負性の加速電圧を印加することによりMCPに電子を照射させることもできる。電子源にバイアス電圧をかけ電子源を動作させた上で電子加速を行い、検出器の校正を行っている。

以降では新たに開発したH-IPMの詳細について報告する。

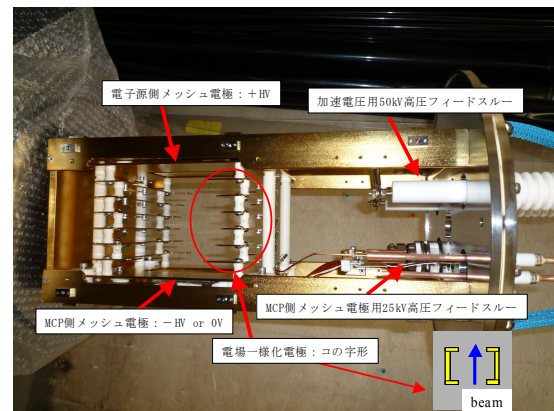


写真1 H-IPMの電極部

2. MCP

信号検出および増幅素子として浜松ホトニクス社製のマイクロチャンネルプレート(MCP)を採用した。2枚重ねのシェブロンタイプで、有効エリア: 81×31mm、チャンネル径: 15 μ m、バイアスアングル: 19 $^\circ$ 、開口率: 60%、ゲイン: 10⁶以上である。電流はチャンネル幅2.5mm(2.4mm電極+0.1mmスペース)全32chの1次元ストリップアノードでピックアップする。設置位置の β 値および η 値はそれぞれ14.4、0mである。よって測定可能エミッタンス範囲は111 π mm \cdot mradである。

3. 電子源

MCPの経年変化によるゲイン変動を校正するためにPHOTONIS社製電子源、ElectrogenTM[3]を設置した。MCPと同様の構造であるが、バイアス電圧を印加す

¹ E-mail: kenichirou.satou@j-parc.jp

ることにより電子が放出する。形状は81×31mmの矩形であり、MCPの有効幅81mmをすべてカバーする。バイアス2kV印加で100 μ A程度の均一な電子電流が得られる。

4. セラミックブッシングの耐電圧改善

4.1 3重点の電場強度

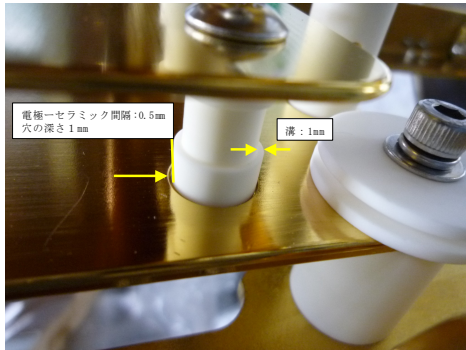


写真2 セラミックブッシングの接合部

セラミックブッシングを用いた電極構造物の耐電圧性能を向上するためには、絶縁物（セラミック）、電極、真空との境界、いわゆるトリプルジャンクション（3重点）の電場強度を下げるのが重要である。この3重点から放出される電子が沿面放電の引き金になっている。3重点の電場強度を下げるため、電極に深さ1 mmの円筒状の穴を設け、セラミックブッシングをその穴に差し込むことにした（写真2）。電極とセラミックブッシングの間に空間を設けることにより、3重点の周りに等電位面の壁が設けられることになり、3重点の電場強度が減少する。

図1は円筒壁とセラミックブッシング間の距離をパラメータに電場強度の減少度を調べた結果である。POISSONコードを使用し、回転対称の2次元モデルで計算した。電場の計算精度はメッシュサイズに依存するため、3重点の電場を精度よく計算できない。

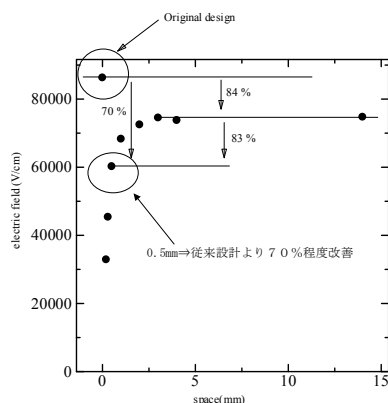


図1 3重点電場の緩和

そこで3重点からセラミックブッシングに沿って0.8 mm上方の位置の電場を参照した。スペースが減少する毎に電場強度が減少していることが分かる。電極やセラミックの製作精度、組み付け精度を考慮し、0.5 mmを採用した。このとき従来設計（V-IPMのもの）と比べると70%程度に電場強度を抑えられることが期待できる。

4.2 溝つきストレートブッシング

3重点から放出される電子は絶縁物沿面に衝突するごとに2次、3次電子を生成し、増幅過程を経て沿面放電に至る。つまり、絶縁物沿面近傍の電場分布を適度に乱し、増幅しにくい構造とすればよいのである。溝有り無しのストレートブッシングの耐電圧比較については、その他のブッシング形状とともに文献^[4]でなされている。本装置では長さ7または8mm、深さ1mmの溝をストレートブッシングに入れた。

5. 電極構造と印加電圧の最適化

両メッシュ電極間に均一な電場を作るために、電場一様化電極を設置した。設置した電極は写真1にあるようなコの字形の電極である。電極の形状は各段の形状を調整し、箱型電極にビームダクト径と同じ Φ 130 mmの円をくりぬいた形状と同等のものになっている。

おのおのの電極には抵抗分割法で電圧を印加することにした。分割抵抗には日本ファインケム社製の高真空高電圧用RGタイプ抵抗器を採用した。

3次元モデルを用いて印加電圧の最適化を行った。計算には3次元計算コードのCST studio suite: particle studioを使用した。図2のように電極モデル内に線状のイオン発生源を設置し、(x, y)の2次元変化に対してイオン到達位置を模擬した。各電極の設定電圧（分割抵抗値）を変え、イオン発生源位置とイオン到達位置が一致する最適値を調査した。真空抵抗値のバリエーションに制限があるため電子源側メッシュ電極と直近の電場一様化電極の間をフリーパラメータとし、その他の電極間抵抗を100M Ω とした。計算の結果、最適値は44M Ω であったが、実際には40M Ω のものを使用した。

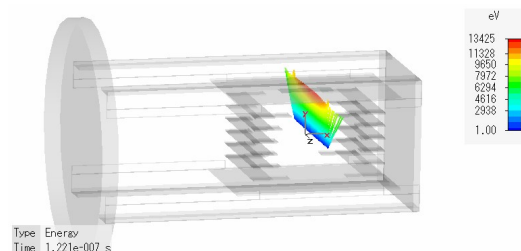


図2 3次元モデル粒子トラッキング計算例

6. ベーキングおよび放出ガス特性

トンネルへのインストールに先立ち、放出ガスの低減のためベーキングを行った。MCPに設置されているG10製のアノードが変質することを避けるためベーキング温度を100℃に制限した。ベーキング時間は延べ150時間である。ベーキングにより主要ガス成分である水がおおよそ100分の1に減少した。この水はMCPおよびEGAのチャンネル壁、配線に使用したカプトン絶縁同軸ケーブルに付着していたものと思われる。

ベーキング終了後にQ-Massによる放出ガス成分の分析を行った。主要ガスは水素、水、窒素であり、それぞれの割合は約3:6:1であった。

7. ビームベースの校正

5項にあるように電極に印加する電圧バランスを3次元ビームトラッキング計算で決定した。設計の妥当性を確認するためにインストール後にビームを使用した校正を行った。

試験ではステアリング電磁石でローカルバンブを作り、IPM位置でビームが10mmシフトさせた。得られたプロファイルの重心とシフト量の相関を調査した。図3は得られた相関図である。図からわかるようにバンブによるシフト量に対し5%程度の変位と、0.4mm程度のオフセットが測定されたが、測定誤差の範囲で一致していると言える。

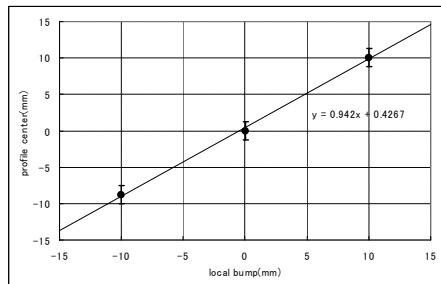


図3 ビーム位置とIPM測定結果との相関

8. Turn by turnプロファイル測定

図4にビームコミッションにおける運用例を示す。図は入射1ターン目から14ターン目までの連続的なプロファイル変動を示している。左の図は入射ミスマッチにより4極振動と2極振動が誘起されていることが分かる。このようにIPMはエミッタンス測定のみならずターン毎のプロファイル変動を観測できることから、特に入射調整に最適であることが分かる。右の図は入射調整後のプロファイルである。調整により振動が消え、マッチングが取れて

いることが確認できる。

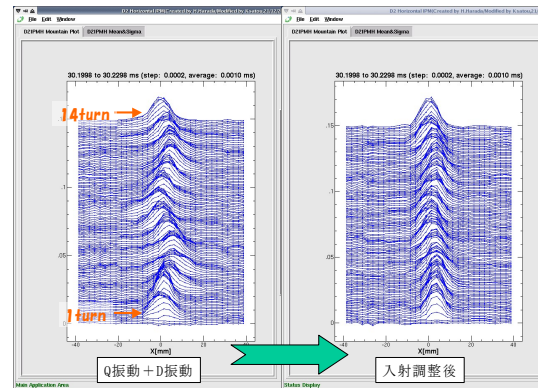


図4 入射エラーによるビーム振動の測定例

9. まとめ

V-IPMで明らかになった耐電圧不足問題を、3重点の電場強度の低減とセラミックブッシングの形状見直しにより改良し、新設計のH-IPMでは目標値である50kVを達成した。

3次元粒子トラッキング計算により電極形状と印加電圧を最適化し、さらにビームを使った試験で確かめた。試験の結果、イオン生成位置とMCPへの到達位置は誤差の範囲内で一致していた。

J-PARCのような大強度ビームのプロファイルを正確に測定するためには50kVの運転電圧でも厳しいことが指摘されている^[2]。正確な測定には、1)磁場を用いた電子収集、もしくは、2)運転電圧の向上、がビーム強度増強とともに早晚必要となってくるだろう。今後もビーム増強に向け絶縁耐力の向上を行っていく予定である。

参考文献

- [1] K. Satou et al., "BEAM PROFILE MEASUREMENT OF THE J-PARC MR RING", Proceedings of the 5th Accelerator Meeting in Japan, Higashi-Hiroshima, Aug. 6-8, 2008
- [2] K. Satou et al., Developments of Residual Gas Ionization Profile Monitors for J-PARC RCS and 50 GeV MR, Proceedings of the 3rd Accelerator Meeting in Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006
- [3] ELECTROGENTM, the electron generator array made by BURLE Electro-Optics, Inc., <http://www.burle.com>.
- [4] 川田則幸ほか, "真空中における沿面放電耐力向上に関する研究", 三菱重工技報 第33巻 第2号 冷熱特集