

## High voltage performance of Residual Gas Ionization Profile Monitors for J-PARC MR

Kotoku Hanamura <sup>#,A)</sup>, Kenichirou Satou <sup>B)</sup>, Takeshi Toyama <sup>B)</sup>, Satoru Otsu <sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Mitsubishi Electric System & Service Co.,Ltd

2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-0045

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK J-PARC)

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

### Abstract

Two Residual Gas Ionization Profile Monitors(IPMs) are installed in J-PARC Main Ring. Installation of IPM-H is scheduled for this summer. We have checked high voltage performance of each electrode under the vacuum condition of typically  $1.5 \times 10^{-6}$  Pa. In this paper, the test results are described.

## J-PARC MR IPM の高電圧性能試験 (50kV 超の高電圧化に向けて)

### 1. はじめに

J-PARC の MR 加速器には非破壊型ビームプロファイルモニタとして、残留ガスプロファイルモニタが、遅い取り出しライン (Slow Extraction: SX) に垂直タイプ IPM (V-IPM) と水平タイプ IPM (H-IPM) の 2 台が設置されており (図 1)、垂直と水平成分のプロファイル測定が可能である。今回高電圧性能試験を行った H-IPM はアーク部 (デイスバージョンあり) に今夏に設置される予定である。

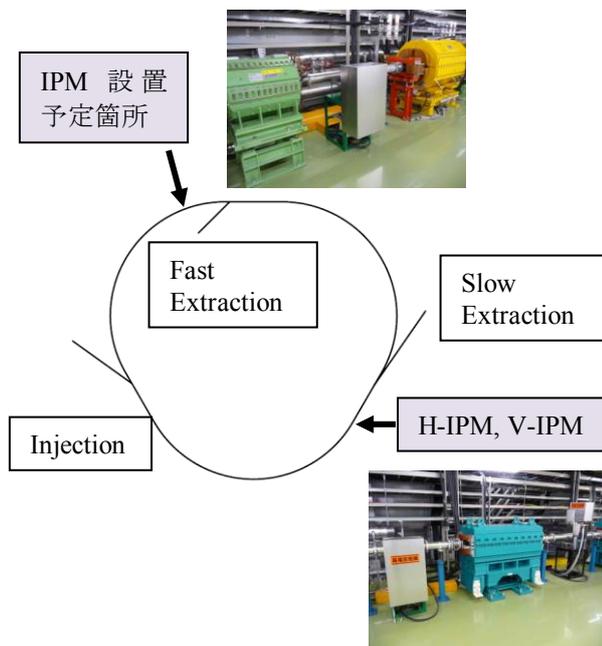


図 1 : MR IPM の配置

MR における大強度ビームのプロファイル測定は、

ビームコアのポテンシャルが数 kV に及ぶため、空間電荷によるプロファイルのゆがみ (ビームサイズの測定誤差) が深刻である。

プロファイルのゆがみを低減するには、いかに強い外部電場をかける<sup>[1]</sup>かが重要である。運転電圧の高電圧化を可能にするために施した放電対策とその効果、IPM 電極の各部位とテストピースを使用した高電圧印加試験の詳細を報告する。

### 2. 放電対策

#### 2.1 三重点における電場集中の緩和

絶縁物 (セラミック) ・電極 ・真空が接する三重点近傍の電場強度が高くなり、放電が発生しやすい。この境界で電子が放出されると、電子なだれが発生し沿面放電に至る。

電極に深さ 1mm、電極とセラミックブッシング (アルミナ 99.5%含有) の間隔が 0.5mm になるように円筒状の穴を設けた。この穴により三重点における電場強度の 30%程度の低減化が図れる。<sup>[2]</sup>



写真 1 : IPM 電極の拡大写真

#### 2.2 セラミックブッシング

各電極を支持している  $\phi 12\text{mm}$  のセラミックブッ

<sup>#</sup> hanamura@post.kek.jp

シングに深さ 1mm の溝を入れ、幅は 7mm と 8mm のものを使用し、電子なだれを防いでいる。(セラミックブッシングの寸法は図 4 を参照)

### 3. テストスタンド

IPM 電極の耐電圧試験を行うために、KEK 東海キャンパス HENDEL 棟 1 階にテストスタンドを設置した。テストスタンドの構成は電極を真空内に設置するための真空槽、電極に高電圧を印加するための電圧電源、真空槽内を真空に保つためのターボ分子ポンプとスクロールポンプ、真空度のモニタを行うための真空ゲージ、及び各種コントローラで構成されている。真空槽には、耐電圧試験を効率的に行うために高圧導入端子を 6 ヶ所用意し、1 回のセットアップで最大 6 ヶ所の電極間の耐電圧試験が可能である。

また、真空槽内に設置する IPM 電極とテストピースの組立を行うためのクリーンブースを配置した。テストスタンドの構成機器を表 1 に示す。

表 1: テストスタンドの構成機器

機器	製品
電圧電源(正極性)	松定プレジジョン HAR-50P6 (出力 電圧 50kV, 電流 6mA)
電圧電源(負極性)	松定プレジジョン HAR-50N6 (出力 電圧 50kV, 電流 6mA)
高電圧電源 コントローラ	松定プレジジョン PLE-36-1.2
真空ゲージ	LEYBOLD ITR90 (測定範囲 $5 \times 10^{-8}$ Pa ~ $1 \times 10^5$ Pa)
スクロールポンプ	アネスト岩田 ISP-250C
ターボ分子ポンプ	島津 TMP-303M
ターボ分子ポンプ コントローラ	島津 EI-S04M
データロガー	GRAPHTEC GL200A

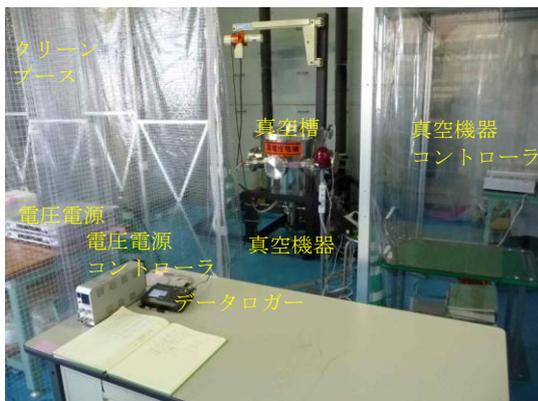


写真 2: テストスタンド外観

## 4. 耐電圧試験

### 4.1 試験方法

IPM 電極に約 30 秒間隔で 0V から 200V 毎に放電するまで電圧を上げていく。単発の放電が発生した場合、約 1 分間電圧を維持させ、新たな放電が発生

しなければ、更に電圧を上げていく。約 1 分間に 3 回以上連続放電が発生した時に、2kV 程度電圧を下げ約 1 分間保持し、再び同じ条件で電圧を上げていく。1 分あたり連続 3 回以上の放電が 3 回発生した時点で試験は終了。放電するまで安定に電圧印加できていたところを耐電圧とした。その後、極性の異なる電圧電源で同じ試験を行う。これはイオン収集用と電子収集用の耐電圧を調査するためである。

印加電圧値・真空槽内の真空度・測定対象に流れる電流値をモニタ(図 2)しながら、IPM 電極本体各部位とテストピースを用いた耐電圧試験を行った。

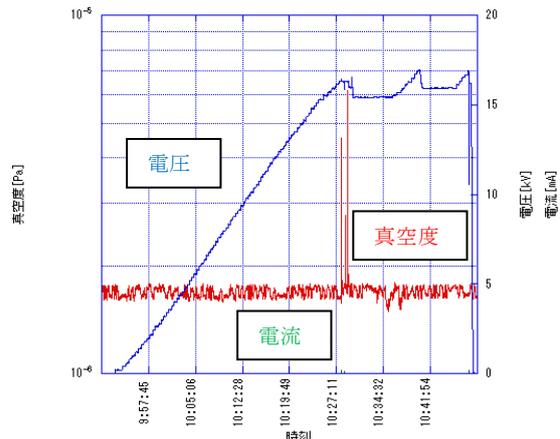


図 2: 測定データ

### 4.2 IPM 電極本体の耐電圧試験

各電極と高電圧導入端子を写真 3 の様に裸銅線(断面積  $8\text{mm}^2$ )で結線し、電極各部位の耐電圧試験を行った。

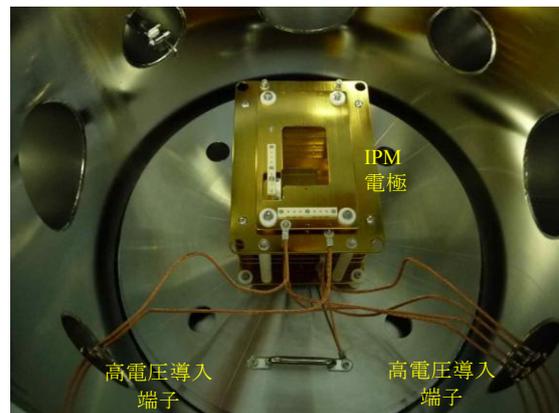


写真 3: 真空槽内に設置した IPM 電極

### 4.3 テストピースの耐電圧試験

放電対策の効果を比較するために、テストピースを用いて耐電圧試験を行った。テストピースを直接、真空槽に設置すると GND による電場分布の乱れを起す可能性があるため、真空槽内に浮かせてテストピースを設置した(写真 4)。

電極は放電対策が施された円筒状の穴の有るものと無いもの、セラミックブッシングは溝の有るものと無いものを用い、4 つを組み合わせ試験を行った(図 3)。

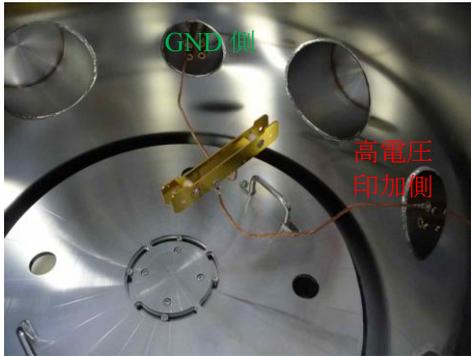


写真4：真空槽内に設置したテストピース

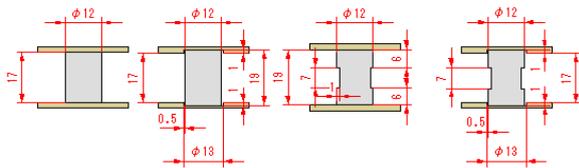


図3：セラミックブッシング（溝）と電極（円筒状の穴）の組み合わせ

## 5. 耐電圧試験結果

IPM 各電極には図4の様に番号を振り、表2にIPM電極本体各部位、表3にテストピースの耐電圧試験の結果を示す。耐電圧試験は通常  $1.5 \times 10^{-6}$  Paの真空環境下で行われた。

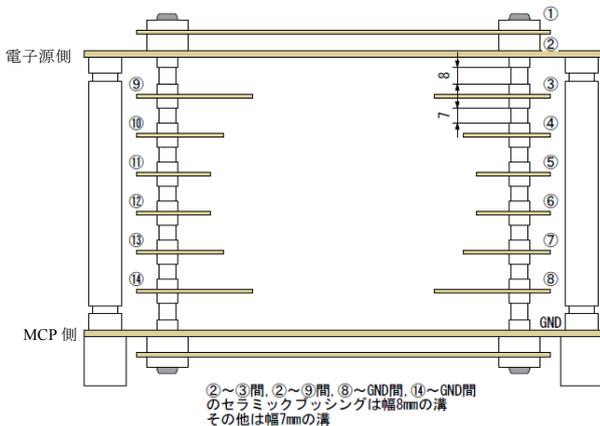


図4：IPM電極の概略図

表2：IPM電極各部位の耐電圧試験結果

電極間	+ [kV]	- [kV]	電極間	+ [kV]	- [kV]
1→2	8	15			
2→3	15	17	2→9	13	11
3→4	10	※16	9→10	11	10
4→5	14	※16	10→11	10	12
5→6	10	16	11→12	12	11
6→7	13	11	12→13	12	10
7→8	13	13	13→14	10	11
8→GND	10	16	14→GND	9	11

※に示した測定データは電極間での放電より先に真空槽の高電圧導入端子部（大気側）で放電が発生した。真の耐電圧は16kV以上である。

表3：テストピースの耐電圧試験結果

セラミック ブッシュ：溝	電極： 円筒状の穴	+ [kV]	- [kV]
無	無	17	19
無	有	17	18
有	無	※▼15	20
有	有	17	▼19

測定データはテストピースでの放電より先に真空槽の高電圧導入端子部（大気側）で放電が発生した。真の耐電圧は表3の結果以上である。（※を除き）▼で示したデータは電圧が上がり難いもの。

## 6. 考察

### 6.1 IPM電極の耐電圧試験結果に関して

表2の結果からウィークポイント（14→GND間）が明らかになった。この部位に関しては、他部位との比較から構造的な問題よりむしろセラミック表面の汚れが原因だと思われる。洗浄とベーキングを行うことで耐電圧性能の向上が見込める。

図4右側（③～⑧）と左側（⑨～⑭）で耐電圧に差が見られた。電極細部の確認とセラミックブッシングと電極の組立精度（セラミックブッシングと電極に施した円筒状の穴の間隔）との関係調査を行う。関係性が認められれば組立調整を検討する。

### 6.2 テストピースの耐電圧試験結果に関して

真空槽の高電圧導入端子部（大気側）で放電が発生したため、放電対策の有効性は見極められなかった。30kV以上印加可能な装置での測定を検討する。これにより放電対策の有効性が判断できると思われる。

通常は10数kVまで、放電は発生しない。表3の▼に示したテストピースは、約7kV程度で放電による真空悪化が連続的に発生した。これはセラミックブッシングの制作時期の違い（溝無しは新規に作製、溝有りは1年前に作製）と保管状態が良くなかったため、セラミックブッシングの汚れに起因すると考えられる。

## 7. まとめ

表2の結果から、現状のセラミックブッシングで耐電圧が概ね10kVあることが判った。電極の構造は図4の様に7段になっているので10kV×7で50kV超の耐電圧が期待できる。

今後は、耐電圧試験の結果をもとにウィークポイントの改修を行う。IPMの組立て、ベーキング、総合的な高電圧性能試験を行い、今メンテナンス時にインストールする計画である。

## 参考文献

- [1] 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, TO10
- [2] K. Satou et al., Development of IPM for J-PARC MR, Proceedings of the 6th Accelerator Meeting in Japan, Tokai, Aug. 5-7, 2009, WPBDA04