

## J-PARC MR チタン ESS の改良及び高電圧試験

### AN IMPROVEMENT AND HIGH VOLTAGE TEST OF TITANIUM-ESS IN J-PARC MR

新垣良次<sup>#, A)</sup>, 木村拓郎<sup>A)</sup>, 松村秋彦<sup>B)</sup>, 武藤亮太郎<sup>A)</sup>, 村杉茂<sup>A)</sup>, 岡村勝也<sup>A)</sup>, 白壁義久<sup>A)</sup>, 富澤正人<sup>A)</sup>,  
柳岡栄一<sup>A)</sup>

Yoshitsugu Arakaki<sup>#A)</sup>, Takuro Kimura<sup>A)</sup>, Akihiko Matsumura<sup>B)</sup>, Ryotaro Muto<sup>A)</sup>, Shigeru Murasugi<sup>A)</sup>, Katsuya Okamura<sup>A)</sup>,  
Yoshihisa Shirakabe<sup>A)</sup>, Masahito Tomizawa<sup>A)</sup> and Eiichi Yanaoka<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

<sup>B)</sup> Nippon Advanced Technology Co.,Ltd.

#### Abstract

Two sets of electro static septa are used for the slow extraction from the main ring in J-PARC. The beam loss occurs inevitably on the septum ribbons in the process of slow extraction, the activation of the devices and its damage becomes a problem. Titanium electrostatic septa (Ti-ESSs) have been fabricated to reduce the residual activity. The first one was installed in MR last year after performing a high voltage test. For the second one, the whole surface of the chamber was finished with buffing before chemical polishing to improve the vacuum characteristics. We report the outcome of improvement and high voltage test.

#### 1. はじめに

J-PARC MR 遅い取り出しラインに設置された静電セプトラムは大強度の陽子ビームをハドロン実験施設へ供給するための装置である。ESS チャンバーは四重極電磁石をはさんで2台で構成される。遅い取り出し過程においては静電セプトラムのセプトラム面にビームの一部が当たる為、装置の放射化や損傷が問題となる。残留線量を低減するためチタン製静電セプトラム(Ti-ESSs)を2013年に製作し試験を行ってきた。電極の表面処理の方法をメカノケミカル研磨からサンチタン処理に変え最終的には140kVの電圧を達成した。昨年度はビーム調整中大強度の陽子ビームがステンレス製ESS(SUS-ESS1)のセプトラムリボンに当たり最前段からの6本のリボンが切断する事象が起こった。急遽これまで試験を行っていたチタンESS1号機をMRへインストールした。オフラインでの高圧試験を行い110kV(ギャップ25mm)達成した状態でMRへインストールした。Ti-ESSの改造点は、(i)セプトラムリボンが切れた場合に電源棟内で検知できるようにしたこと。(ii)リボンが切れた後ビームに干渉しないようバップルを設けたこと。(iii)大強度ビーム対策としてRFシールド取り付けしたことなどである。元々のSUS-ESS1号機の図をFig.1に示す。周回ビームはC型コアの中を通り電場がかかっている外側に入ってきたビームが取り出される。SUS-ESSとTi-ESSの緒元は同じで、その主な緒元をTable1に示す。

2号機(Ti-ESS2)については、真空特性の改善を行うためチャンバーの内表面全体をバフ研磨を施した後(Ti-ESS1は一部のみ)、200°Cベークを実施した。最初は電極とヨークの基本構成で高圧試験を実施した。チタン製ESSの1号機と2号機の改良点や高圧試験に関して報告する。

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

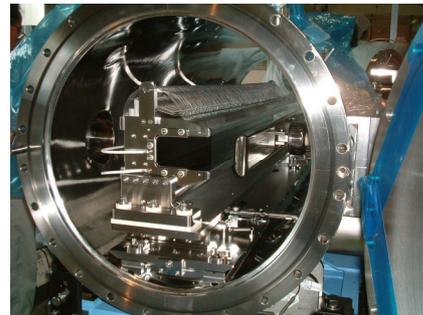


Figure 1: A picture of SUS-ESS1.

Table 1: Ti-ESSの緒元

出射エネルギー	30GeV
偏向角	0.2mrad
運転電圧	104.4kV
Gap	25mm
電場強度	4.2MV/m
ヨーク長	1.5m
電極長	1480mm
W-Re リボン	0.03mmx1mm
ピッチ	3mm
絶縁液	フッロリナート FC40

## 2. Ti-ESS1号機、2号機の改良点

### 2.1 ヨーク周りの改良

ビーム調整中に切れた SUS-ESS のセプタムリボンの内一本が電極に上部に接触した状態で確認された。今回切れた場合にも電極に触れないよう工夫した。改良に当たって 跳ね上げ機構が働いたときに再び戻って電極に接触しないようにバッフルをヨークに取り付けた。改良後の断面写真を Fig. 2 に示す。

実際に切れた場合を想定してオフラインでの試験も実施した。ギャップ 25mm の位置に模擬電極を設けリボンを切断した瞬間その電極に当たらないことを高速カメラで確認し、跳ね上げたりボンは上部のバッフル内に収まることを確認した。バッフルをヨークに取り付けた時の図を Fig. 3 に示す。バッフルの材質はチタン、表面はパフ研磨とサンチタン処理を施してある。先端は 1R の加工をし、厚みは 2mm である。バッフルとヨークの隙間も 2mm である。先端の突起となる部分が電極に近いので電場強度分布の計算を行った。その結果を Fig. 4 に示す。突起の位置はヨーク上下端面より 5mm はなれた位置に設定してある。バッフルの電場強度はほぼヨークの当たり面と同程度となっており 最大強度は電極の角の部分である。

リボン切断時に跳ね上げられたことを検知するため無酸素銅で出来たφ30mmの検地ロッドを取り付けた。検知ロッドにつながった同軸ケーブルは電源棟までつながっており、そこで絶縁をチェックすることで切れたかどうか分かるようになっている。

集電板はヨーク内で発生した電子雲を収集するために設けられた。SUS-ESS では一体物で出来ていたが Ti-ESS では上下の2分割された L 型構造にし 2 台の電源で極性を変えて電圧を設定できる構造に変更してある。

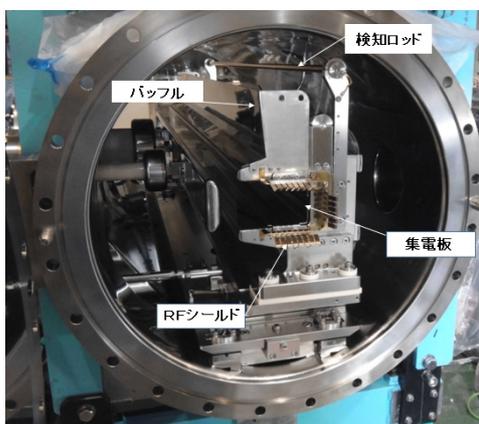


Figure 2: A cross-sectional view of Ti-ESS2.



Figure 3: The structure of the baffle.

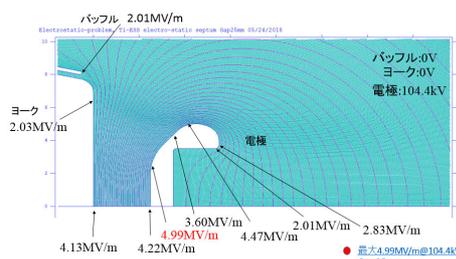


Figure 4: Distribution of the electric field with baffle.

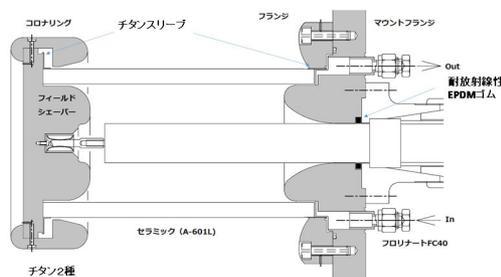


Figure 5: A cross-sectional view of feedthrough in Ti-ESS.

### 2.2 チタン製フィードスルー

SUS-ESS では SUS 製フィードスルーを使っている。設計電圧は 104.4kV である。Ti-ESS ではチタン製フィードスルーを採用した。断面構造を Fig. 5 に示す。セラミックと金属との接合は MoMn でメタライズしたセラミックに数  $\mu\text{m}$  の膜厚で Ni コートしたチタン製スリーブ (襟型、リング型) を真空ロウ付けした後、先端をチタン溶接でフランジおよびファイールドシェーパーと接合してある。ブッシングとして一体となった後はマウントフランジとフランジ部分で締結する。チタン 2 種ボルトは SUS に比べて強度が落ちるので、締結部分のボルト (M8-30) はチタン 64 合金を使用し、かじり防止策として TiN コートを表面に施した。高圧同軸ケーブルの接続部は内導体にねじ止めになっているピンがチタン製ソケットに直接刺さる構造になっている。絶縁液としてはフロリナート FC40 を使用している。放射線の環境にさらされるため 分解物を発生し絶縁性能低下を避ける目的でケミカルフィルターを通して循環させ清浄化を行う。

### 3. 高圧試験の構成

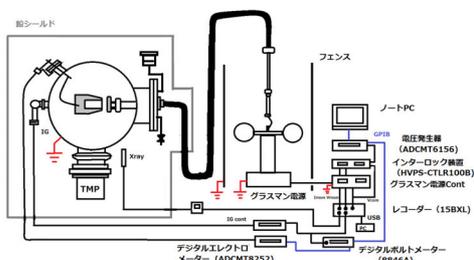


Figure 6: The configuration of high voltage test.



Figure 7: A lead shield and Ti-ESS2.

J-PARC LINAC 棟に設置された Ti-ESS の図を Fig. 7 に示す。真空チャンバー排気系は TMP (480L/s), IP(600L/s)の 2 台で構成され、TMP とチャンバーの間にはゲートバルブが設置されている。

高圧試験は  $10^{-6}$ Pa 台~ $10^{-7}$ Pa 台まで排気してから開始している。高圧試験の際は X 線が発生するので重さ 2 トンの鉛シールドをクレーンで釣ってチャンバー全体にかぶせている。鉛シールドの厚みは 7mm である。

高電圧試験の構成図を Fig. 6 に示す。電圧発生器 (ADCMT6156) により 0~10V の電圧でグラスマン高圧電源を制御している。高圧電源には電流制限設定ができるようになっているが、その制限にかかると定電流モードに切り替わるため電圧が下がることもある。その直後に電圧が戻り放電が起きる場合がある。このリスクを避ける為に、電圧の指令値とモニター値の差をみて、ある設定値以上になったら落ちるようなインターロック装置を使っている。またこのインターロック装置では電流は設定値を超えたらすぐさま電源を落とすことができる。通常電圧電流の設定値は 10kV, 300  $\mu$ A に設定している。電圧指令値、電圧モニター値、電流モニター値、真空度、X 線のアナログ信号は常時レコーダーに記録している。真空はアナログ信号をデジタルボルトメータで読みノート PC にも取り込んでおり、真空度が悪くなった場合に自動昇圧を停止できるようになっている。

電極からヨークに流れる暗電流を測ることは有効である。この測定の際は微小電流計(デジタルエレクトロメータ)をヨークとアースの間に接続する。ただし、RF シールドが付いた状態では計ることが出来ない。

### 4. 高圧試験結果

バップル、検知ロッド、RFシールド、集電板等無しの状態では電極とヨークの基本構成での高圧試験を最初に行った。測定された電圧、電流、真空度、X 線の一例を Fig. 8 に示す。真空はイオンゲージに加えイオンポンプの真空も測定している。10V/0.2s で昇圧を開始し、前日にあげた最大電圧から 5kV 下がったところから 5V/0.2s に落とし、そのまま上げていくと電流、真空、X 線に変化が見られる。この時の電圧をエージング開始電圧と決め、その電圧に達したところからパルス的にあげる。真空度が  $1 \times 10^{-5}$ Pa を目安に昇圧していく。

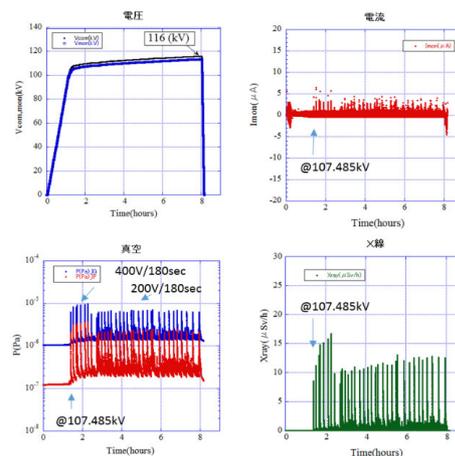


Figure 8: A high voltage test in Ti-ESS.

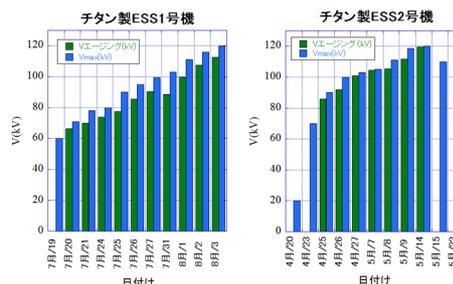


Figure 9: The result of high voltage test in Ti-ESS1 and T-ESS2.

1 日に達成した電圧およびエージング開始電圧を Fig. 9 に示す。1 号機は Gap 25mm に設定して開始しているが 2 号機は最初 Gap 30mm で開始し最後の 2 日は Gap 25mm でエージングを行っている。1 号機のエージング開始電圧は~5kV/1 日で下がっているが、2 号機は逆に毎回若干上がっている。1 号機と 2 号機の違いはまずチャンバーが 1 号機は部分的なバフ研磨に対して 2 号機は全面バフ研磨である。電極支持部には高圧側とアース側に全部で 4 箇所コロナリングがついておりその内部の固定リング (M90) の表面にははじり防止のため一部デブリックコートが施されている。1 号機は高圧部に 1 箇所それが施されていない箇所があり残り 3 箇所は施されている。2 号機はアース部 2 箇所が施されており、残り高圧部

にはTiNコートを施してある。またフィードスルーのブッシングの固定に使っているボルト(Ti64)は1号機2号機ともに同じでTiNコーティングを施してある。以前この部分にデブリックや真空グリースを使用していた。またTi-ESS1のみヨークのベースプレートの固定ボルトにも真空グリースが使用しているがそれはベーキングにより真空度は改善されている。2号機はこのボルトもTiNコーティングに切り替えた。チャンバー、ヨークからのアウトガスの低減と高圧がかかっているコロナリング部からのアウトガスの低減で2号機の方が1号機に比べてよりかれ易くなったと考えられる。

## 5. まとめ

チタン製ESS1号機はリボン切断時対策としてバップルを設け高圧試験で110kV/25mmを達成し無事MRへインストールできた。今年になり問題なくハドロン利用運転に使用している。

2号機についてはヨークと電極の基本構成での試験を実施し、110kV/25mmを達成した。またエージング開始電圧が下がらない良好な結果が得られた。1号機と同じ改造を施し、高圧試験を開始した。