

PRESENT STATUS OF ELECTROSTATIC SEPTA IN J-PARC MR

Yoshitsugu Arakaki ^{#A)}, Masahito Tomizawa^{A)}, Ryotaro Muto^{A)},
Katsuya Okamura^{A)}, Yoshihisa Shirakabe^{A)}, Shigeru Murasugi^{A)},
Daisuke Horikawa^{B)}, Tetsushi Shimokawa^{C)}

^{A)} High Energy Accelerator Reserch Organization, Japan
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaragi, 305-0801

^{B)} The graduate University for Advanced Studies, Japan
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaragi, 305-0801

^{C)} Saga University Faculty of Science and Engineering, Japan
1 Honjo, Saga, Saga, Japan

Abstract

Two electrostatic septa (ESS) are used for the slow extraction in J-PARC MR. We use fluorinert in a feedthrough and cable connection device as for an insulation. Since decomposition product is generated in a high radiation environment, we introduce the circulation system in ESS. Irradiation test was performed in order to obtaining production rate of hydrogen fluoride (HF) caused by γ radiation. The radiation dose was also measured by alanine dosimeters attached to the feedthrough. We found that it is acceptable to maintain the adsorbent in circulation system. Present status of ESS operation in the slow extraction is also presented in this paper.

J-PARC MR 静電セプタムの現状

1. はじめに

J-PARC MR では 30GeV に加速した大強度陽子ビームを遅い取り出しの手法[1]を用いてハドロン実験施設へ供給している。MR 静電セプタムはステンレス製 C 型ヨーク (1.5m) に張られた断面が 0.03mmx1mm のタングステンレニウムリボンを約 500 本 3mm ピッチで張り、それと対向するチタン電極との間で高電場を作りビームを蹴り出す[2]。加速器運転調整時にはヨークの平行および回転移動の位置調整でビームロスが最小限になるような調整を行っている。

高圧同軸ケーブルを電極に接続するためのフィードスルーには絶縁液としてフロリナート FC40 を使用している。フロリナートは放電や放射線で分解物を生成するので循環して活性アルミナフィルターを通し清浄化するシステムを導入している[3]。ビームの大強度化に伴って放射線による分解物の発生量も増えてくるので、機器の性能維持と安全性を確保する上で、発生量を見積もることは重要である。高崎量子応用研究所にてフロリナートの γ 線による照射試験を行った。また MR トンネル内にて遅い取り出し運転期間中アラニン線量計を設置し、フロリナートが入ったフィードスルーと中継器タンクでの吸収線量を測定した。その結果、300kW ビームを供給する場合でも、フィルターの吸着剤 (活性アルミナ) の容量よりも低い値であった。また、遅い取り出し RUN 時の静電セプタムの現状についても報告する。

2. 静電セプタム

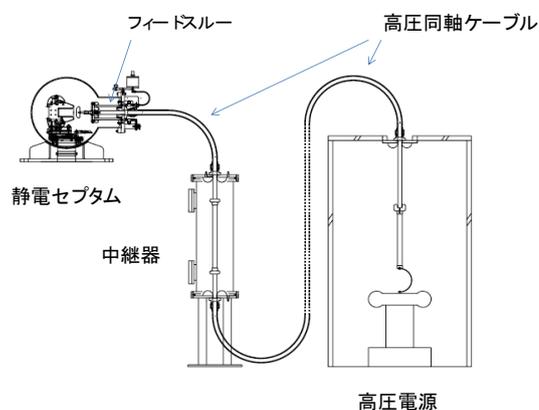


図 1:電氣的構成図

MR 静電セプタムは Q 電磁石を間に挟んで 2 台設置されている。電氣的構成図を図 1 に示す。

電源棟からおおよそ 100m の同軸ケーブルをトンネル内に設置された中継器まで接続しそこから 12m~15m の長さで本体と接続している。静電セプタムのフィードスルーと中継器には電気絶縁を目的としてフロリナート FC40 がそれぞれ 1.2L と 77L 充填されている。

[#] arakaki@post.kek.jp

電気的特性を図2に示す。電圧が80kVを超えたあたりから次第にDC電流が増えるのがわかる。真空中を伝わって流れる暗電流はヨークとアース側にデジタルエレクトロメータを設置して測定した結果、2nA (@104kV)程度なので、DC電流の大部分はケーブルのコネクタ付近でリークしている考えられる。加速器運転時のDC電流は8 μ A程度である。

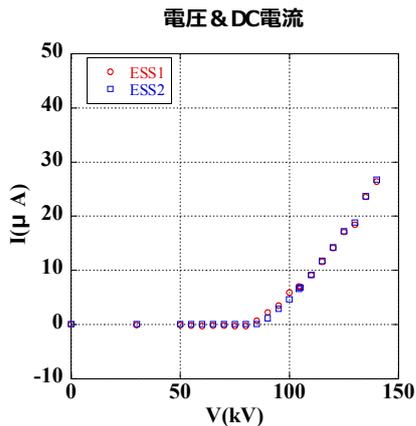


図2：電圧電流特性

3. HF発生量の評価

3.1 ⁶⁰Co γ 照射試験

フロリナートの分解が起こる一般的な要因として熱による分解、放電による分解、放射線による分解が考えられる。我々の場合、トンネル内での液体の温度上昇は8度程度なので熱分解で発生するHFの量は気にならない。ビームの大強度化に伴ってESSでの吸収線量が高くなるのが想定されるので、3M社の協力のもとに放射線によるHFの発生量を調べることにした。フロリナートFC43もUS3M社のデータと比較するために同時に行った。テスト容器はICF70ニップル(長さ120mm)と1/4パイプ付ICFフランジで制作した。両端はキャップで封止するシンプルな構造になっている。脱脂洗浄後、超純水で超音波洗浄(30分)その後自然乾燥してフロリナート(100mL)を詰めた。温度による圧力上昇を吸収する為10mm程度の空気層を設けてある。N₂ガスでバブリングを行った後液体の中に含まれる水分量はFC40(4.46ppm), FC43(4.81ppm)とカタログ値(7ppm)よりも低い値であった。照射試験は2室(6セル, 7セル)で行った。その様子を図3に示す。テスト容器は等線量率線に沿って設置し、高さは線源⁶⁰Coの高さの半分の位置(22.5cm)に設定した。容器の真上にアラニン線量計(測定範囲: 10Gy~100kGy, 精度: $\pm 3\%$)も設置して測定した。照射時間は7セルが30分、6セルが1時間+30分(インターバル15分)で行った。線量の高い容器の一つに熱電対をつけて温度測定も

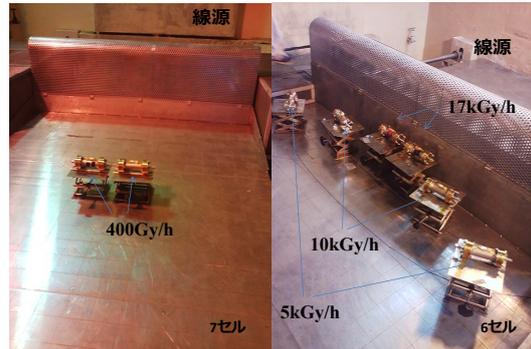


図3：照射試験

行った。温度上昇は16.4 $^{\circ}$ Cでほぼフロリナートの比熱で決まる値になっている。照射後フロリナートの液中に発生しているHFの量を測定する方法はフロリナートに同量の蒸留水を加え2時間程度振盪機にかけ水にHFを抽出する。その際にHイオンとFイオンに分かれるのでFイオン電極でそのイオン濃度を測定する。測定された吸収線量とFイオン濃度の関係を図4に示す。多少バラツキはあるが発生量は線量とともにほぼ直線的に増えている。

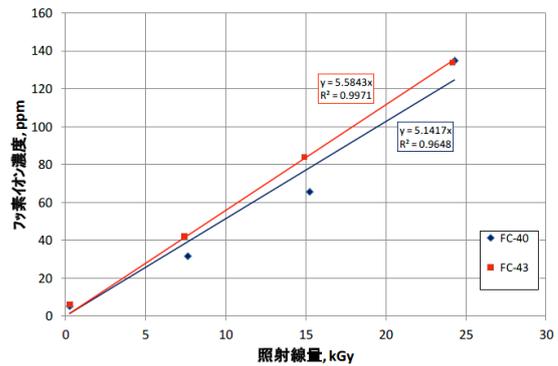


図4：測定結果

3.2 ESS近傍での吸収線量の測定

遅い取り出し運転の間ESSのフィードスルーと中継器に線量計を貼り付け線量測定を行った。ESS上流に設置されている中継器は比較的低線量と思われるので検出素材に酸化アルミニウムを用いたOSL線量計(測定範囲: 0.1mGy~10Gy, 精度: $\pm 5\%$)を使用している。ESSはセプタムリボンに直接ビームが当たる為、その周りは比較的高線量になる。アミノ酸の一種であるアラニンに吸収線量に比例したラジカル量を測定して測るアラニン線量計を用いた。設置場所はESSのフィードスルーと中継器、ビームに対して上流下流のそれぞれ2か所に設置した。測定値はその2か所の平均で求めた。測定の結果を表2に示す。ESS1はビームの直撃を受けるのでESS2に比べて高い線量になっている。中継器はESSから離れた上流に位置するので比較的低線量の結果になっている。

表 2 : 吸収線量の測定値

	RUN40	RUN43
ESS1	432Gy	1062Gy
ESS2	80Gy	125Gy
中継器 1	0.407Gy	0.764Gy
中継器 2	0.465Gy	0.927Gy

この測定結果と照射試験の結果を基にしてビームが大強度になった時の ESS 循環系および中継器循環系で発生する HF の量を評価することができる。RUN43 が 6kWx ビーム供給時間(300H)として ESS1 で約 1kGy なので目標値 300kWx300H だと 50kGy の線量となる。その時に ESS フィードスルーで発生する HF の量は ESS1, ESS2 合わせて 645mg となる。フィルター交換の目安が 1.7g なので十分対応できる値である。しかし ESS1 の濃度が最大 260ppm と高く腐食や絶縁劣化の原因になるので循環しながら運転することが必要となる。循環系を図 5 に示す。循環系は密封になっており、線量が低い部分の液体が大部分なので循環させると希釈の効果で膨張タンクに来る液体は ESS 本体よりも濃度は低くなる。安全対策としては気層部分の HF 濃度を特殊ガスモニターで調べた上でサンプルを採って液中の HF 濃度を管理している。

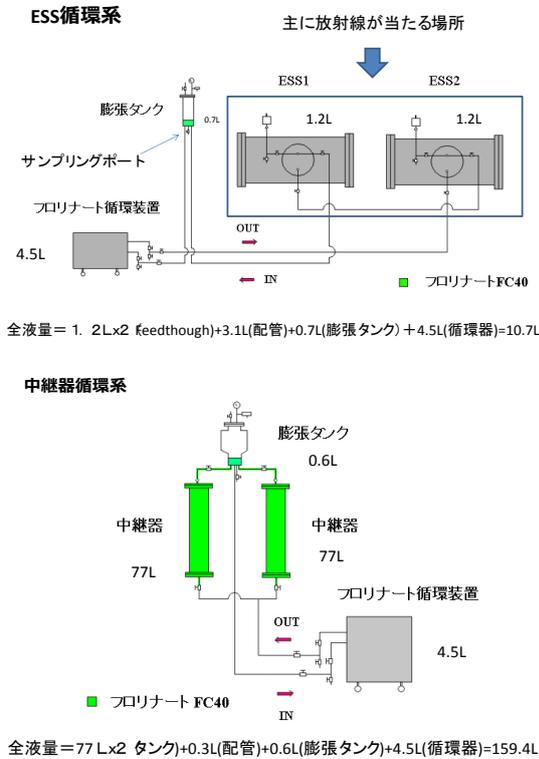


図 5 フロリナート循環系

4. ESS 運転の現状

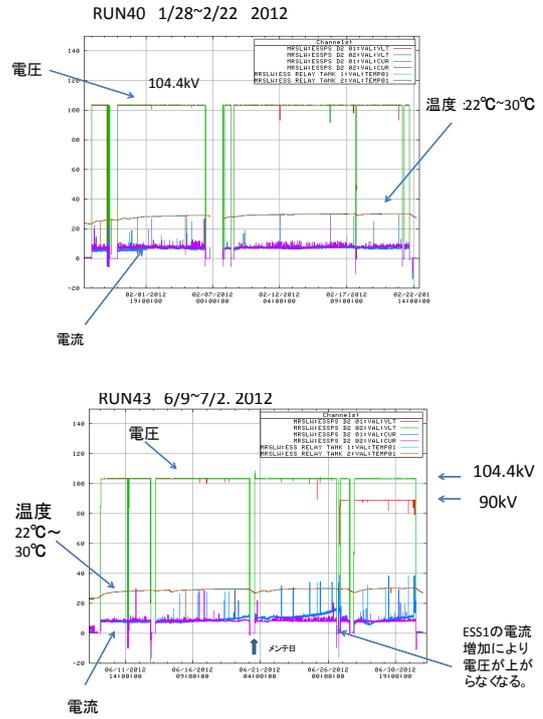


図 6 ESS 運転

図 6 に今年行われた遅い取り出し時の ESS 運転状況を示す。電圧は長時間に渡って比較的安定しているが 5H~30H おきの頻度でスパイク状の電流増加が見られる。RUN43 においては途中電流が増加した為 90 kV まで時間をかけて上げ運転した。取り出し効率に変化はなかった。

スパイク状の電流増加は以前より時々観測されていた。電流制限を 40 μ A に設定しているのを超えたところで電源が定電流モードに切変わり電圧が低下している。電圧が下がって立ち上がり早いと放電が起こるのでその時は真空にもその影響が現れる。図 7 にその様子を示す。電圧に対応した所で真空が悪くなっているのがわかる。

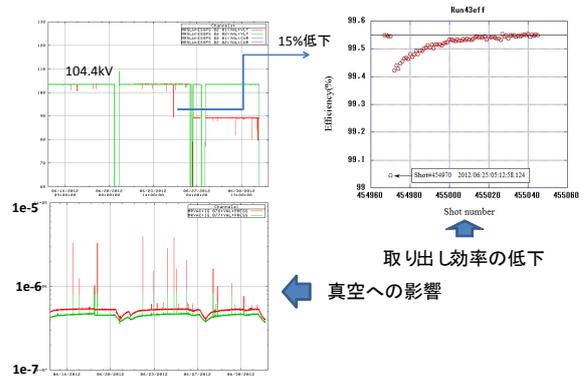


図 7: 電圧瞬時低下の影響

通常状態では真空は悪くなっていないので原因は真空中ではないと推測する。また非常に小さな値であるが取り出し効率が 0.5% 程度の低下が見られた。

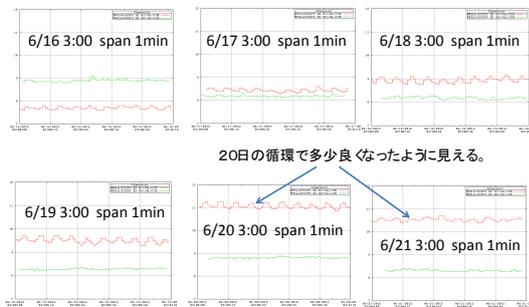


図 8 : ESS 電流のビームからの影響

図 8 はハドロンにビーム供給している時の ESS の電流を 60 秒のスペンで見たまものである。ESS1 のみ 6 秒周期のビームに同期して電流が変化している。途中メンテ日に 3 時間程度循環を行っているので多少その変化がわかる。

のフィルター交換の目安となる。

ESS の通電時はスパイク上の電流によって真空への影響および取り出し効率の低下などを引き起こす。

ESS フィードスルーの絶縁劣化の原因究明と対策が急がれる。

参考文献

[1] M.Tomizawa, et al., “APPROACH FOR HIGH INTENSITY SLOW EXTRACTION FROM J-PARC MAIN RING”, TheseProceedings.

[2] Y.Arakaki, et al., “ELECTROSTATIC SEPTUM FOR 50GEV PROTON SYNCHROTRON IN J-PARC”, Proceedings of IPAC2010 in Japan, Kyoto, May. 23-28, 2010

[3]Y.Arakaki,etal,“CIRCULATION SYSTEM OF FLUORINERT IN J-PARC ESS” 7th Proceeding of Particle Accelerator Society of Japan.

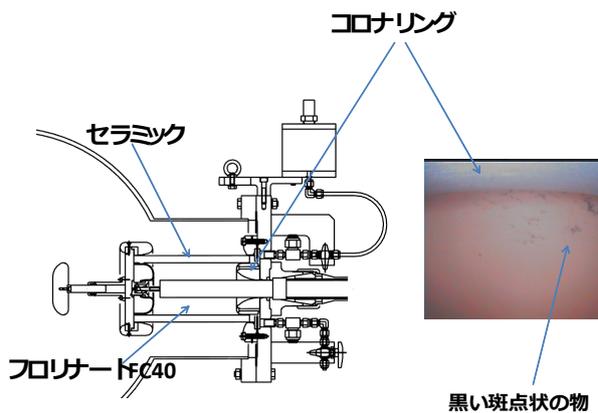


図 9: フィードスルー

運転終了後、ESS1 と ESS2 でケーブルの交換を行い通電してみたが状況が変わらなかった。ESS 循環系のフロリナートを抜き、フィードスルーの中を観察した。その結果、ESS1 のみ黒い斑点のような物が見つかった。その時の写真を図 9 に示す。電流増加の原因はフィードスルーの内側に出来た付着物が絶縁劣化を引き起こしていた可能性がある。この付着物がどのような経緯で出来たのか今後詳しい調査を行う予定である。

5. まとめ

照射試験と線量測定を行いフロリナート循環系での HF 発生量の評価を行った。大強度に向けて