

CIRCULATION SYSTEM OF FLUORINERT IN J-PARC ESS

Yoshitsugu Aarakaki ^{#,A)}, Masahito Tomizawa^{A)}, Rytarou Mutou^{A)}, Katsuya Okamura^{A)}, Shigeru Murasugi^{A)}

Yoshihisa Shirakabe^{A)} Masaaki Nishikawa^{B)} Daisuke Horikawa^{C)} Sakai Izumi^{C)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba city, Ibaraki, 305-0801

^{B)} Nippon Advanced Technology Co. Ltd 146-24 Shirane Shirakata, Tokai, Ibaraki 319-1106

^{C)} University of Hukui 3-9-1 Bunkyo, Hukui, Hukui 910-5807

Abstract

The electro-static septum(ESS) comprise the cathode plate and thin ribbons which are stretched to the yoke in J-PARC. Two electric septa are used upstream of septum magnets. Fluorinert FC40 are chosen as an insulation liquid for the feedthrough and cable connection device. Since the viscosity is small, it is easy to handle, additionally, in case that the feedthrough is broken by the spark, it would reduce the risk of contamination of the vacuum. The demerit of fluorinert is that the degradation product such as hydrogen fluoride (HF) is created under the high radiation environment. The circulation system was introduced in order to eliminate HF. We report the circulation system of fluorinert and the result of the filtration.

J-PARC 静電セプタムにおけるフロリナート循環システム

1. はじめに

J-PARC 静電セプタムはヨークに張られたおよそ 500 本のリボンとチタン電極の間に高電圧をかけ荷電粒子を取り出す装置である。その装置に関してさまざまな R&D や実機の試験を行ってきた。ビームロスを低減するためにセプタム厚を薄くし、厚さ 30 ミクロンの極薄リボン型セプタムを開発した。また セプタムのアライメントを高精度で測定する共焦点式レーザー変位計を用いた測定ステージを開発し、長さ 1.5m のヨークにわたって、ビーム方向から見たセプタムアライメントを測定した。その結果、実効厚 0.1mm 以下を達成した^[1]。この値はシュミレーション上 1%以下のビームロスに相当する^[2]。一方、断面は実機サイズで長さが半分の静電セプタムを製作し高電圧試験を実施した。初期の段階では高圧フィードスルーのセラミックが放電でピンホールができ、真空槽にフロリナートが漏れ出した^[3]。また、放電で 80 μ ワイヤーが切れカソード電極に接触するなどのトラブルで試験が中断することもあった。ワイヤーの張り替えとカソード電極の材質を SUS304 から Ti に変えた後、デザイン値の 170kV (50GeV 相当) が達成された。また リボンセプタムに取り換えての試験も同様に成功した。その後、2009 年 1 月には J-PARC 初の遅い取り出しに成功し、ビームを MR からハドロンホールへ供給した。

静電セプタムのフィードスルーや放電のエネルギーを吸収する抵抗器を含んだ中継器の中に絶縁液としてフロリナート FC40 を使用している。静電セプタムはリボンにビームがあたるのでその近くにあるフロリナートは高い放射線にさらされる。フロリナートはそのような環境下で特定化学物質となるフッ化水素 (HF) などの分解物を生成する。その為、基準値^[4]を超えないような濃度に管理しなければならない。ポンプで液体を循環させ、活性アルミナに

よって分解物を吸着させるケミカルフィルターで HF を除去するシステムを導入した。ESS 及び中継器のフロリナート循環システムとフィルトレーションの結果について報告する。

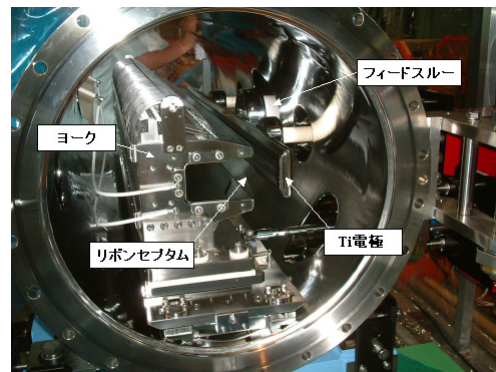


図 1 : 静電セプタム

表 1 : ESS の緒元

ビームエネルギー	30 GeV (50GeV)
蹴り角	0.2 mrad
電場強度	4.2 MV/m (6.8MV/m)
電圧	104.4 kV (170kV)
デザインギャップ	25 mm
ヨーク長	1.5 m
リボンサイズ	0.03 mm x 1 mm
リボン間距離	3 mm
絶縁液	フロリナート FC40

[#] arakaki@post.kek.jp

2. フロリナート循環システム

ESS 近傍は放射線が強いことから HF の生成量は多くなることが想定される。効率よくフィルトレーションを行うために比較的液量の少ない ESS 1 と ESS2 をシリーズに配管した。また、液量の多い中継器はメンテナンス時に 1 台ずつ液を抜けるようパラで配管した。図 2 にフロリナート循環の経路図を示す。循環系の下流には膨張タンクを設けてあり、密封系である。また、高電圧機器なので気泡が溜まると放電の原因につながるため、循環によって気泡は膨張タンクの気相部分に溜まる仕組みとなっている。ポンプの制御は、インバーターを導入し、周波数を変えて流量を調整できるようにした。ポンプの振動を抑える為、通常 ESS は 25Hz(0.34L/min)、中継器は 35Hz(0.6L/min)で運転している。

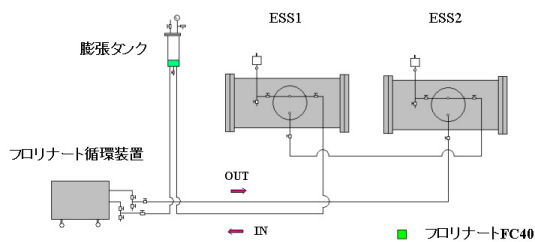


図 2 : ESS 及び中継器の循環システム

表 2 : 循環系の緒元

	ESS	中継器
容量	11 L	160 L
最大流量	0.8 L/min	0.8 L/min
最大圧力	0.08 MPa	0.045 MPa
最小圧力	0.04 MPa	0.03 MPa

2.1 フロリナート循環装置

循環装置は可能な限り耐放射線仕様で製作した。目詰まり等による圧力異常または液漏れの際は EPICS アプリ上でもステータスが見れるようになっている。フィルターユニットは 3 種類のフィルターから構成される。ケミカルフィルター、有機物除去フィルター、ダスト除去フィルター (2 μ メッシュ) である。ケミカルフィルターは ϕ 1mm の活性アルミナ球の吸着材で、1.7g の吸着量が交換の目安になっている。メンテナンス時には液体を抜いてユニットごと交換できる。

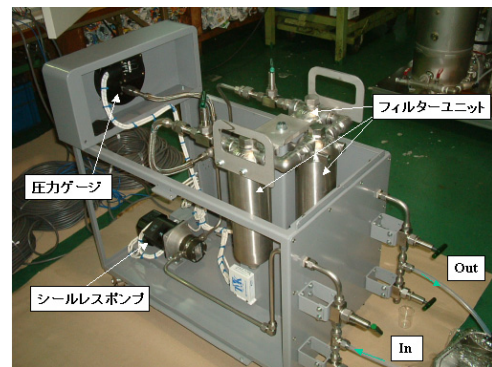


図 3 : フロリナート循環装置

2.2 ESS フィードスルー

ESS の高圧の導入部は外形 ϕ 127mm、厚さ 13.5mm 長さ 220mm の円筒形のセラミックに高圧ケーブルを差し込む構造である。シールは耐放射線性ゴムを使用している。円筒の中は絶縁液としてフロリナート FC40 を満たしている。循環の経路は液体が下から入って上から出ていく。メンテナンス等で液体を抜く場合はその逆である。

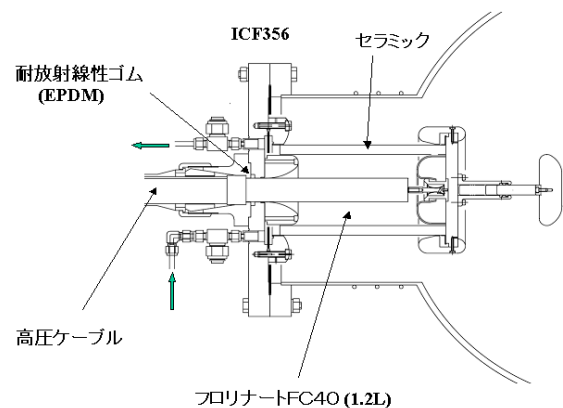


図 4 : ESS 高圧導入部

2.3 膨張タンク

フロリナートは冷却の目的で使用しているのではなく、絶縁が目的である。通电の際の電流も $\sim 10\mu\text{A}$ と小さく、加速器運転中はポンプも止めている為、液体の温度はトンネル内の雰囲気温度で決まる。実験中はトンネル内温度上昇に伴って、液体が膨張するので、圧力上昇を吸収する為の気相を設けた膨張タンクを製作した。図5に膨張タンクの構造を示す。

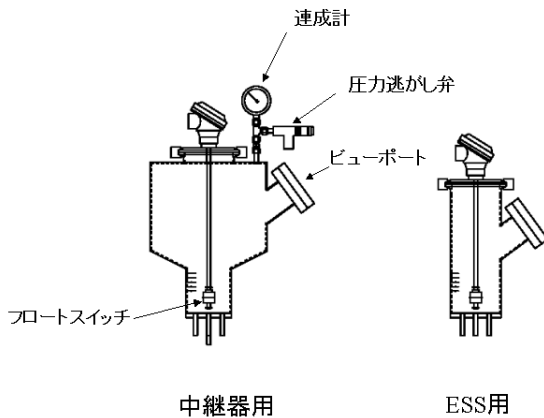


図5：膨張タンク

容器の内側に液面がわかるようにケガキ線でメモリを入れてあり、現場での確認用のビューポートを取り付けた。循環系の耐圧はESSが1気圧で中継器が2.5気圧である。容器の気相部分の容量は中継器及びESSでそれぞれ12L, 1.5Lとし、圧力上昇としてはESSは0.5気圧上昇/30°C、中継器1気圧上昇/30°Cとなるようになりに安全を見て設計している。機器の保護のため、圧力逃がし弁は ~ 1 気圧に設定している。フロートスイッチは液面が下がった時にトンネル外でわかるように取り付けた。液面が底面から40mm以下でスイッチを切ることができる。

2.4 中継器

MRトンネルの中にESSの近くで高圧ケーブルを中継する為の中継器が設置されている。放電の際に、機器へのダメージを防ぐため、 $1\text{M}\Omega$ の抵抗をステンレスタンクの中に内蔵して、タンクの中はフロリナートで充填されている。中継器の構造を図6に示す。充填する際、抵抗器の中の気体が残る場合があり、コロナリングには抵抗との接合部に $1\text{mm} \times 24\text{mm}$ の隙間を設けた。さらに、そこから抜けた気泡は上部のコロナリングの中心に集るので、上部フランジにも同様にエアー抜きを付ける改造を行った。その隙間は $1\text{mm} \times 6\text{mm}$ である。特にそのコロナリングの中心は電場が集中する箇所なので、計算コードPOISSONによる計算を行いフロリナートFC40の絶縁耐力 18MV/m 以下であることを確かめた。電場強度は最大で 13MV/m (250kV時)である。高圧ケーブルとフランジのシール構造はウィルソン

シールで、シール材は耐放射線ゴム(EPDM)を使用している。圧力試験も実施し、耐圧は 0.25MPa である。

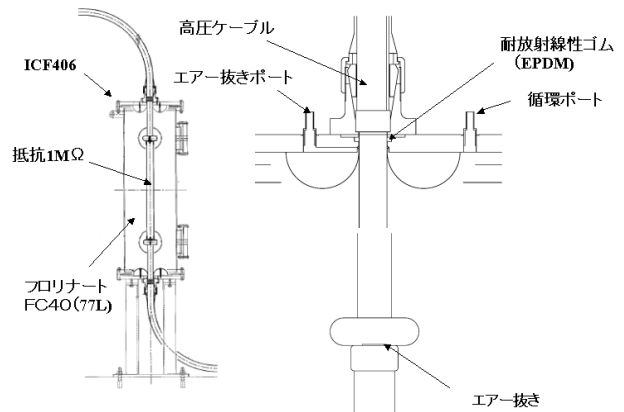


図6：中継器

3. フロリナート循環の結果

表3：循環後のフッ素イオン濃度

ESS	RUN34 後 3時間循環	中継器	RUN34 後 33時間循環
検出限界	(0.05ppm)以下		0.07ppm

RUN34後に循環を行った時の結果を表3に示す。循環時間はフロリナートが6~7周循環する分に相当する。ESS循環系のフィルトレーションは良好な結果が得られた。中継器の方も検出限界に近い値であるが時間がかかっている。中継器は比較的放射線の弱いESSよりも上流側に設置してある。実際ドシメーターによる吸収線量の測定結果では60倍~90倍中継器の方が低い結果であった。しかし、中継器タンクの容量はフィードスルーの容量の64倍あるのでHFの発生量は、同程度となる可能性がある。今後フロリナートの液量を減らす為にコンパクト中継器の開発を行っていく予定である。

参考文献

- [1] Y.Arakaki, et al., "ELECTROSTATIC SEPTUM FOR 50GEV PROTON SYNCHROTRON IN J-PARC", Proceedings of IPAC2010 in Japan, Kyoto, May. 23-28, 2010
- [2] M. Tomizawa, et al., DESIGN OF SLOW EXTRACTION FROM 50-GeV PROTON SYNCHROTRON, EPAC2002 Proceedings, p. 1058
- [3] Accelerator Group JAERI/KEK Joint Project Team., ACCELERATOR TECHNICAL DESIGN REPORT FOR J-PARC, Japan Atomic Energy Research Institute, JAERI, High Energy Accelerator Research Organization, KEK, p. 519.
- [4] <http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80326a16j.pdf>