

# CONNECTOR RENOVATION OF KICKER MAGNET AT J-PARC 3GeV RCS

Kazuaki Suganuma<sup>#</sup>, Masao Watanabe, Osamu Takeda, Michikazu Kinsho

Japan Atomic Energy Agency

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

## Abstract

This is a report on the dielectric breakdown at connectors for high-voltage coaxial cables and countermeasures. Dielectric breakdown occurred in the polyethylene insulation layer at connector. There were scratches on the surfaces of the polyethylene insulation layers of all cables. These scratches are considered due to electric discharge by air. A connector that can inhibit electric discharge was discussed. As a result, the concentration of electric fields can be prevented by covering the edges of a semiconductive layer with high-dielectric materials.

## キッカー電磁石用コネクタの改修作業

### 1. はじめに

J-PARC<sup>[1]</sup>の 3GeV シンクロトロン加速器(RCS)は、陽子を 50GeV 加速器および物質・生命科学実験施設に送り出している。2009 年 1 月に供用運転を開始した 3GeV シンクロトロン加速器であったが、およそ一年後にキッカー電磁石用コネクタにおいて絶縁破壊が発生した。この影響で、J-PARC ほぼ全ての施設の運転が停止している。加速器の故障は J-PARC 全体の年間スケジュールにも影響するため、早急な復旧（運転再開）が必要であった。しかし、絶縁破壊が発生したコネクタは、原因調査、対策の検討および対策の実施などの課題が山積していた。筆者らは、混在する課題について、短期的な課題と中長期的な課題に分けて検討することを考えた。短期的には、運転の早期再開が重要であった。そこで絶縁破壊のケーブルコネクタ含む、キッカー電磁石に接続している、全 32 本を潔く切断した。コネクタを再施工し、すみやかに運転を再開させた。並行して、中長期的には、絶縁破壊したコネクタを改善する必要があった。絶縁破壊の原因調査のため、静電場計算と供試体を用いた放電電流検出試験を組み合わせ、放電を抑制するコネクタ形状を検討した。結果、半導電層端部を高誘電率材で覆うことで電界の集中を抑えた。また、半導電層端部の位置を先端

側へ移動させることで、内導体と外導体間での電界を緩和させた。これらの改善により放電のないコネクタを実現し、実機に反映させた。本報告では、昨年の静電場計算と放電電流検出試験の報告<sup>[2]</sup>に続き、現場でおこなった改修作業をふくめて報告する。

### 2. キッカーシステム

3GeV シンクロトロン加速器におけるキッカーシステムは、充電電圧 60kV、電磁石印加電圧 30kV、パルス幅 1.2 マイクロ秒、繰返し 25Hz のパルス電磁石システムである。表 1 にキッカーシステムの電源仕様を示す。図 1 にキッカーシステムの系統およびコネクタ位置を示す。

表 1 : キッカーシステムの電源仕様。

台数	8 台
出力波形形状	矩形
繰返し	25Hz
Pulse Forming Network	同軸ケーブル (FHVCX-80, Fujikura)
スイッチング	サイラトロン (CX1193C, e2V Technologies)
伝送ケーブル	PFNに同じ
最大充電電圧 (運転時)	80 kV (60kV)
最大出力電流 (運転時)	4000A (3000A)
特性インピーダンス	10 Ω

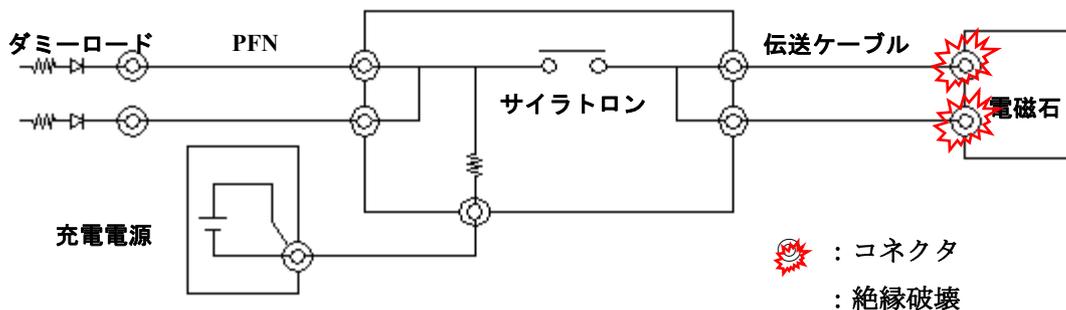


図 1 : キッカーシステムの系統およびコネクタ位置。

<sup>#</sup> suganuma.kazuaki@jaca.go.jp

### 3. 絶縁破壊とコネクタ点検

#### 3.1 コネクタの絶縁破壊

図2に使用前のコネクタおよび絶縁破壊したコネクタの両写真を示す。使用前のコネクタに比べ、絶縁破壊したコネクタは、ポリエチレンが変色し、半導電層の端部を中心にポリエチレン絶縁層が大きく欠損したような状態になっていた。深さ方向は、ポリエチレンがえぐり取られたようになり中心導体が見えていた。また絶縁破壊したポリエチレン表面は黒く炭化していた。外導体および中心導体先端それぞれの表面では銅が腐食し緑青を確認した。

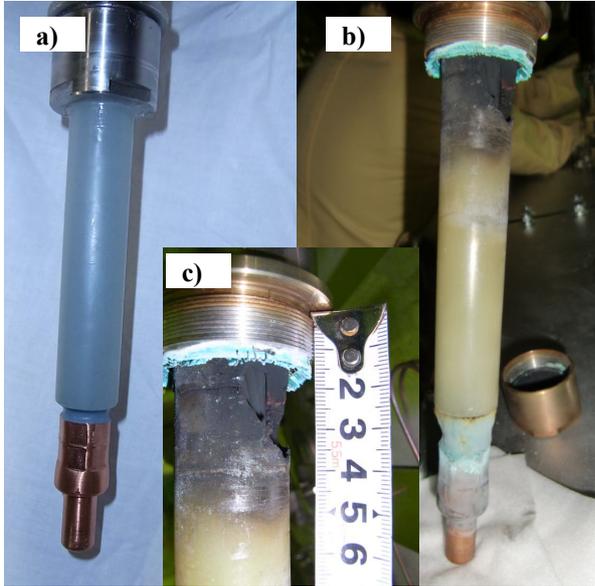


図2：使用前のコネクタおよび絶縁破壊したコネクタの両写真。

a)使用前のコネクタ, b)絶縁破壊したコネクタ, c)絶縁破壊部分の拡大写真。

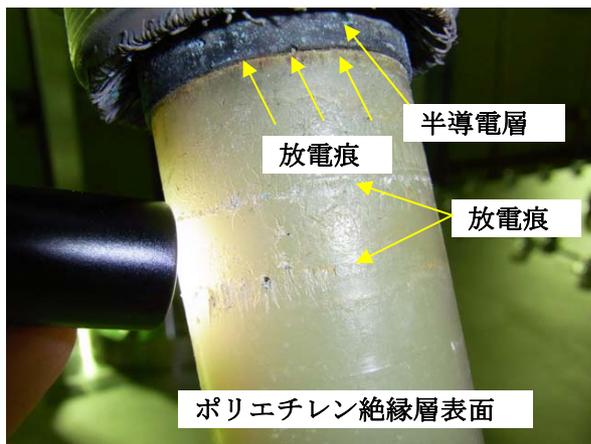


図3：全32本点検記録からコネクタ部写真例。

#### 3.2 現場調査

2010年3月1日から3月8日にかけて、キッカー電磁石に接続しているコネクタ全32本を目視

点検した。つぎに、全32本の点検時に撮影したコネクタ部の写真例を図3に示す。半導電層の端面は、劣化のためボロボロと崩れるものがあった。また端部に小さな無数の傷を確認した。ポリエチレン表面にも無数の傷を確認した。これらは放電によるものである。表2に32本全てのコネクタの点検記録を示す。表にはキッカー磁石の8台中の何台目か識別するための番号、磁石に接続されたケーブルの識別用に小番号、切断、コネクタの再加工の順番を決定するための破損度、ケーブル表面の損傷の状態を記した状態にわけている。ポリエチレンの深さ方向の傷の度合いが、中心導体と外導体の絶縁の距離を決定してしまうため、同軸の中心方向に傷が深い場合は、その状態のコネクタを早急に交換する必要がある。

表2：コネクタ全32本点検結果。

番号	小番号	破損度	状態
1	1	中	---
	2	中	穴傷、浅い
	3	中	---
	4	中	縦傷、浅い
2	1	小	---
	2	小	---
	3	大	穴傷、深い
	4	大	縦傷、深い
3	1	破壊	---
	2	大	縦傷、深い
	3	中	へこみ、浅い
	4	中	縦傷、浅い
4	1	小	---
	2	小	---
	3	破壊	傷、深い?
	4	大	---
5	1	中	縦傷、浅い
	2	中	傷、浅い
	3	大	へこみ、深い
	4	大	へこみ、浅い
6	1	大	へこみ、深い
	2	大	縦傷、浅い
	3	大	---
	4	破壊	---
7	1	中	---
	2	中	傷、浅い
	3	小	へこみ、浅い
	4	小	---
8	1	小	大傷1本、浅い
	2	小	---
	3	小	---
	4	小	---

#### 4. コネクタ改修作業

コネクタを改良するにあたって、まず、絶縁破壊したコネクタ形状の放電測定を実施した。放電を数値化することで、改良コネクタとの比較をするためである。本放電測定は、JEC-0401（部分放電測定）に準拠している。放電の値は放電電荷量（pC）で表した。放電測定によって得られた値を、図4の各コネクタにおける印加電圧と放電電荷量の関係に示す。まず、絶縁破壊が起こったコネクタ形状での放電測定であるが、印加電圧が、およそ 7kV から放電が開始し、1000pC 近い放電電荷量が計測された。参考までに、印加電圧を上げ、2000~3000pC を超えると放電音が聞こえた。つぎに、2010年3月期以降にケーブル先端を切断して再施工したコネクタ形状での放電測定では、放電開始電圧は、およそ 10kV であった。放電が開始する電圧は、絶縁破壊したコネクタよりも上昇している。これは、施工時に空気層の部分にシリコングリスを塗布したことにより空気層で起こっていた放電が、グリス層を塗布したことにより放電開始電圧が上昇したものである。しかしながら、どちらの放電測定でも運転時の電圧よりも低い電圧で放電は起きており、ポリエチレン絶縁層の劣化が進行し絶縁破壊は起こる。加速器休止中におこなったコネクタの目視点検でも、グリス塗布のコネクタは運転から1ヶ月経過したコネクタには変化が見られなかったが、運転から2ヶ月経過したコネクタは塗布したグリスが、表面が白から黄色に変色し、少し乾燥したような感じが見受けられた。このグリスの乾燥と放電測定の値から、今年3月期以降にケーブル先端を切断して再施工したコネクタの状態では、絶縁破壊までの延命にはなるものの長期の運転は問題が残った。そこで、放電が起こらないコネクタの検討をおこなった。現状の構造で放電を抑えるには、半導電層の切断位置と処理方法、

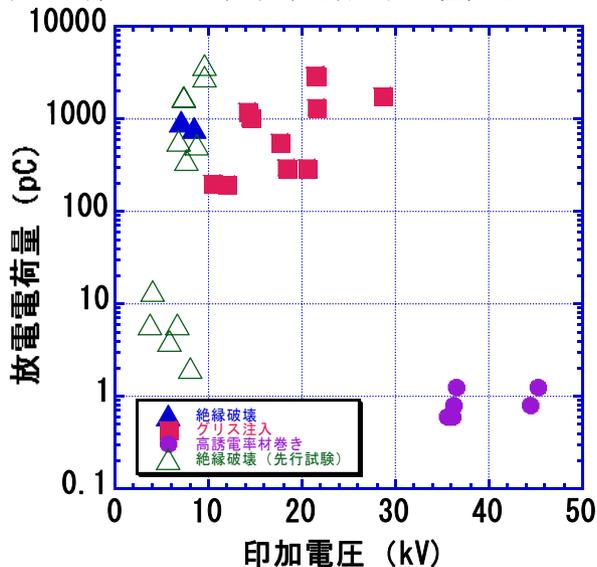


図4：各コネクタにおける印加電圧と放電電荷量の関係。  
 (▲, △)：絶縁破壊したコネクタ， (■)：グリス注入， (●)：高誘電率材巻き。

コネクタ受け側の接地電位である内径の狭さが問題となった。そこで、受け側コネクタのセラミックまで半導電層を延長し、端面を高誘電率材で覆った。放電測定で得た値を図4に示す。印加電圧 35kV にて、およそ 1pC であり、運転電圧 30kV に対して十分放電が抑えられている。図5に改良型コネクタの施工写真を示す。

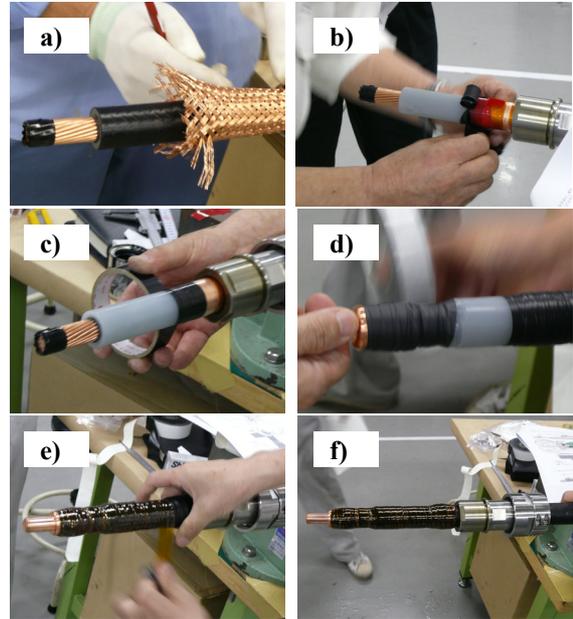


図5：改良型コネクタの施工写真。

- a)同軸ケーブルより外導体のむき出し， b)半導電層のむき出し， c)高誘電率テープの巻付け， d)絶縁テープの巻付け， e)カプトンテープの巻付け， f)完成。

#### 4. まとめ

キッカー電磁石のコネクタ部で絶縁破壊が発生し加速器運転が停止した。絶縁破壊は、空気層において微少放電が連続して起こり、絶縁層表面に傷を付けた。その傷が進行して、破壊（短絡）に至った。運転を継続する必要から、ケーブルを切断しコネクタを再施工。並行してコネクタを改良するため、静電場計算と放電測定を実施。以下の2つにより放電を抑制した。半導電層端部を高誘電率材で覆うことで電界の集中を抑えた。半導電層端部を移動し、電界強度を緩和させた。放電測定から、従来型コネクタはおよそ 7kV 以上で放電発生。改良型コネクタは、30kV で放電はない。改良型コネクタは、9月に実機に施工し、安定に運転を続けている。

#### 参考文献

[1] 山崎良成. “Accelerator technical design report for J-PARC”, KEK-report 2002-13(2002)  
 [2] 菅沼和明他. “J-PARC 3 GeV シンクロトロンにおけるキッカー電磁石用ケーブルコネクタの絶縁破壊と対策”, Proceedings of 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan(2010).