

Radiation resistance of Vacuum Equipment in J-PARC RCS

Keigo Mio^{A)}, Norio Ogiwara^{B)}, Yusuke Hikichi^{B)}, Motoharu Marushita^{C)},
Hideyuki Arai^{C)}, Keiichi Gotoh^{C)}, Daiji Nishizawa^{C)}, Hisayoshi Hurukohri^{D)}

^{A)} JAEA(IHI corporation when examining) ^{B)} JAEA(Japan Atomic Energy Agency)
Tokai-Mura, Naka-Gun, Ibaraki pref, 319-1195, JAPAN

^{B)} IHI corporation

1, Shinnakahara-cho, Isogo-ku, Yokohama 235-8501, JAPAN

^{D)} Fujikura Ltd.

1-5-1, Kiba, Koto-ku, Tokyo 135-8512, JAPAN

Abstract

Gamma-Ray irradiation tests of vacuum system equipment were carried out to evaluate radiation resistance for J-PARC 3GeV RCS(Rapid-Cycling Synchrotron). Intense of radiation fields will be expected since large intensity proton beam current of RCS. Regarding Steady operation and radiation protection, radiation hardness is required approximately 10MGy to 100MGy. Cable, Feed-through-connector, Cooling-fan, Baking heater, piping Sealants have been tested. All the examination objects were evaluated to have radiation hardness at least 10MGy and expected to operate with stability under radiation field of 3GeV RCS.

J-PARC RCS 真空システム関連機器の耐放射線性試験

1. はじめに

J-PARC 3GeV RCS真空システムは、大強度陽子加速に伴う高放射線場下において、安定稼動すること、ならびに、保守作業の被曝低減の観点から、高い耐放射線性が必要である。特に、シンクロトロン(主)トンネル内では、運転期間を30年とした場合に想定される放射線量は、10 MGy~100 MGyである。

上記理由から、主トンネル内に設置される真空機器等の耐放射線性を実証することを目的として、照射試験を行ったので、その結果を報告する。

2. 照射試験対象・方法

主トンネルで使用する真空機器の内、耐放射線性がの試験が必要な機器は、金属以外の樹脂などが使われた機器であることを考慮し、試験対象として、ケーブル、スパッタリングイオンポンプ(SIP)、ターボ分子ポンプ、冷却ファン、ベーキングヒーター(マントルヒーター)、配管シール材を選定した。照射はコバルト60によるガンマ線照射とし、JAEA高崎量子応用研究所、第1照射棟にて行った。

耐放射線性試験として、それぞれの対象機器に応じて、照射前と照射後の試験項目を設定し、耐放射線性を評価した。なお、ターボ分子ポンプについては別に報告^[1]される。

3. 試験結果

3.1 ケーブル

主トンネルで使用するケーブルは、10MGyの耐放射性を有し、かつ高難燃性、ノンハロゲンである必要がある。この条件を満たすケーブルとしてPEEK(ポリエーテルエーテルケトン)樹脂を絶縁材とした

ケーブルを開発した。開発したケーブルの種類は、低圧(~200V)動力用、信号用多芯、高圧用(~10kV)同軸の3種類に大別され、照射試験はこの分類ごとに準備したケーブル、及びPEEKの基礎特性を調査するためのPEEKチューブを対象に行った。

3.1.1 伸び率、抗張力試験

本試験は、絶縁体を模擬した内部が空洞の円筒状構造(外径1.6φ内径0.8φのチューブ)の試料で行った。試験結果を図1及び図2に示す。伸び率及び抗張力共に、10MGyまでは特性を維持しているが、30MGyでは照射前の性能をほとんど失っている。

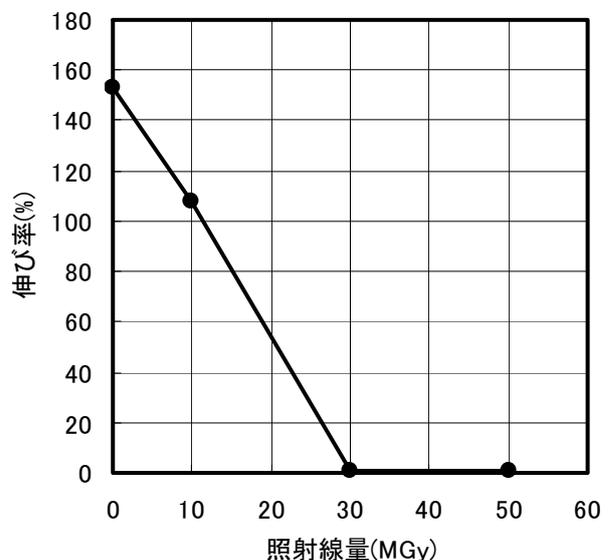


図1 PEEKチューブの伸び率の照射特性

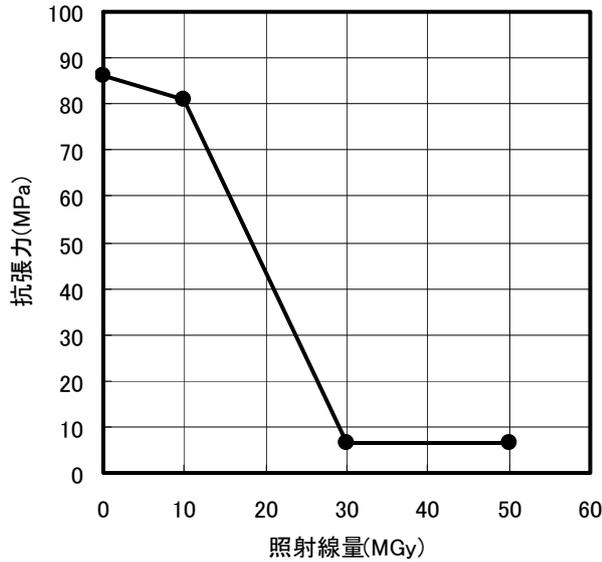


図2 PEEKチューブの抗張力の照射特性

3.1.2 電気的特性試験

低圧（～200V）動力用、信号用多芯及び高圧（～10kV）用同軸ケーブルを用いて照射による電気的特性の変化を調査した。ケーブル仕様を以下に、電気的特性試験結果を表1に示す。

- ・低圧（～200V）動力用（TMPの動力）
 導体：すずめっき軟銅より線3芯 1.25mm²
 絶縁体：PEEK 厚さ0.15～0.20mm
 遮へい：すずめっき軟銅線・網組み遮へいがい装：SUS316編素線
- ・信号用多芯（TMP制御ケーブル）
 導体：すずめっき軟銅より線49芯 0.5mm²
 絶縁体：PEEK 厚さ0.15mm
 遮へい：すずめっき軟銅線・網組み遮へいがい装：SUS316編素線
- ・高圧（～10kV）用同軸（SIP高圧ケーブル）
 導体：すずめっき軟銅より線 0.5mm²
 絶縁体：PEEK 厚さ0.8～1.0mm
 遮へい：すずめっき軟銅線・網組み遮へいがい装：SUS316編素線

10MGyまでは、3種類すべての検査項目について問題は表れなかったが、30MGy照射試料において、照射損傷による抗張力劣化に起因すると考えられる絶縁材亀裂部での地絡により耐電圧試験が不合格となった。

3.1.3 耐延焼性試験

本ケーブルを用いて照射による耐延焼性の変化を試験した。耐延焼性試験方法はJISC3521(1986)「通信ケーブル用難燃シース燃焼特性試験方法」によつ

た。30MGyまでの試験を行ったが、いずれも耐延焼性の劣化などの問題は発生しなかった。

表1 電気的特性試験結果

線量	種類	試験結果
0	信号用多芯	直流抵抗：37.9Ω/km 耐電圧1.5kV/min：良 絶縁抵抗：18000MΩ・km
	低圧動力用	直流抵抗：15.1Ω/km 耐電圧1.5kV/min：良 絶縁抵抗：63000MΩ・km
10MGy	高圧用同軸	絶縁抵抗：4.1E12Ω/10m
	信号用多芯	直流抵抗：37.9Ω/km 耐電圧1.5kV/min：良 絶縁抵抗：2500MΩ・km
20MGy	高圧用同軸	絶縁抵抗：2.3E12Ω/10m
30MGy	低圧動力用	直流抵抗：15.2Ω/km 耐電圧1.5kV/min：30秒にてケーブル曲がり箇所、絶縁亀裂部で地絡 絶縁抵抗：5.200MΩ・km
	高圧用同軸	絶縁抵抗：5.6E12Ω/10m

表2 耐延焼性試験結果

線量	種類	試験結果
0	信号用多芯	残炎時間：0分0秒 損傷距離：280mm 判定：合格
10MGy	信号用多芯	残炎時間：0分0秒 損傷距離：350mm 判定：合格
30MGy	低圧動力用	残炎時間：0分0秒 損傷距離：200mm 判定：合格

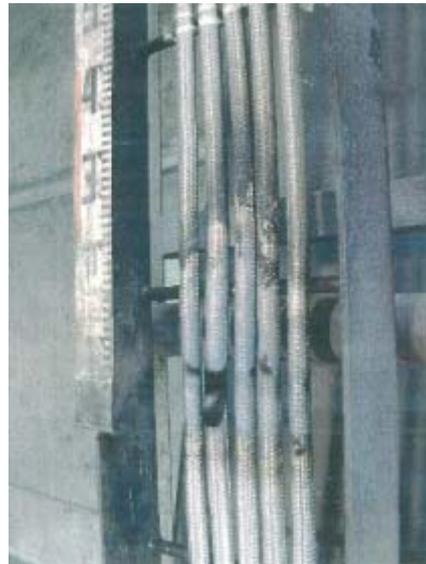


図3 耐延焼性試験後のケーブル例

3.2 スパッタリングイオンポンプ(SIP)

SIP本体は耐放射線性は十分あると考えられたので、本機器に関しては高圧導入端子（フィードスルー）の照射試験を行った。表3に結果を示す。

10MGy照射の結果、問題は生じなかった。

表3 高圧導入端子試験結果

線量	試験項目	試験結果
10MGy	真空リーク	検出されない
	高圧絶縁試験	20MΩ以上 (7kV)
	動作試験	SIPに装着して動作させ、真空度、放電電流問題なし

3.3 冷却ファン

冷却ファンはTMPなどの冷却に使用するが、DCモーターは半導体などが使用されているので耐放射線性は期待できない。そこで半導体などを使用していないACモーターを選定し、ベアリング部分に耐放射線性のグリスを充填したファンを開発し、試験を行った。

試験結果を表4に示すが、標準仕様、耐放性グリス使用ファン共に10MGy以上の耐放性が確認された。また、停止直前まで回転数の有意な減少は観測されなかった。

表4 冷却ファン試験結果

試験ファン種類	停止した線量 停止理由
標準仕様ファン	15MGy ベアリング固着
耐放性グリス使用ファン	59MGy 巻線抵抗増大

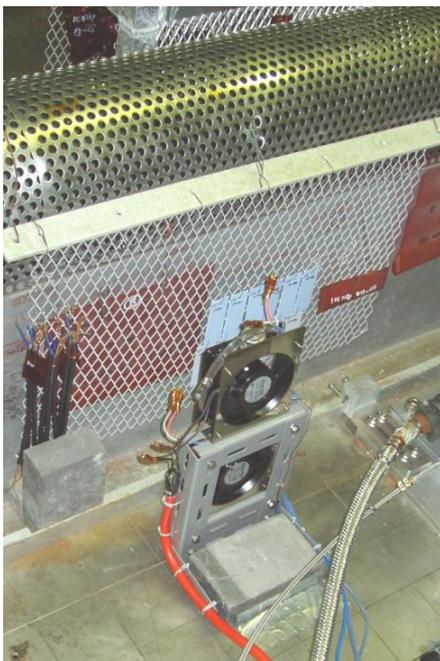


図4 冷却ファン照射試験状況

3.4 ベーキングヒーター

ベーキングヒーターはSIPあるいはコールドカソード真空計のベーキングに使用する。ガラス繊維製の保温材とヒーターで構成されている。試験結果を表5に示す。15MGy照射後において、材料のガラス繊維に褐色の着色があったが、性能の劣化は見られなかった。

表5 ベーキングヒーター試験結果

線量	試験種類	試験結果
15MGy	ヒーター抵抗値	有意な変化なし
	絶縁抵抗	良
	耐電圧(1000V 1分)	合格
	空焚き試験	良

3.5 配管シール材

圧空作動式ゲートバルブなどの圧空配管はできるだけ溶接構造としているが、交換などが想定される電磁バルブなどにはねじ込み継ぎ手を使用している。この継ぎ手に使用する液体シール材の耐放射線性を調査した。シール材で接続した継ぎ手（15Aねじ込みキャップ）を照射し、照射後に気密漏洩試験を実施した。表6に結果を示す。10MGy以上の耐放性が確認された。

表6 配管シール材試験結果

線量	試験種類	試験結果
13MGy	LOCTITE567/243/262	合格
	エキメタル（ベロメタルジャパン株）	合格
	エポキシ系接着剤	合格

試験方法：窒素ガス1MPaにて保持5分、発泡試験

4. まとめ

J-PARC 3GeV RCS真空システム機器の内、主トンネル内に設置される、ケーブル、スパッタリングイオンポンプ(SIP)フィードスルー、冷却ファン、ベーキングヒーター（マントルヒーター）、配管シール材の耐放射線性を実証することを目的として、コバルト60によるガンマ線照射試験を行った。それぞれ機器に応じて、照射前と照射後の試験項目を設定し、耐放射線性を評価した。

その結果、今回評価した機器に関してはいずれも10MGy以上の耐放射線性を確認することができ、主トンネルに設置して、安定に運転することが可能であることが実証された。

参考文献

- [1] 和田 薫 “Development of the Radiation-hardened Magnetically Suspended Compound Molecular Pump”, 4th Vacuum And Surface Sciences Conference of Asia and Australia, Oct.28-31 2008, Matsue Japan.