

Radiation Resistivity Characteristics of a Linear motion guide using the Rice-Bran-Ceramic slider

Yuichi Watanabe^{1,A)}, Joichi Kusano^{B)}, Kazuo Hokkirigawa^{C)}, Takeshi Yamaguchi^{C)}, Yoshiharu Shirata^{D)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization

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

^{B)} Japan Atomic Energy Agency

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

^{C)} Tohoku University

01-6-6 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, SENDAI, Miyagi, 980-8579

^{D)} PREFACT Co.,LTD

2552 Nokawa, Hikone, Yamagata, 999-3727

Abstract

High power proton beam in the J-PARC accelerator raises heavy radiation in the accelerator's tunnel in case of beam manipulation at the injection or the extraction section. Stable operation with reliable devices is one of the important themes of the J-PARC although the high dose situation. This report shows a result of gamma ray irradiation examination about a linear motion guide using a unique slider, called RB-ceramic slider, to stand the high dose condition. The drive performance has been confirmed no deterioration through the dose of up to 50MGy.

RB(米糠)セラミックスを用いたリニアモーションガイドの耐放射線性

1. はじめに

日本原子力開発研究機構(JAEA)と高エネルギー加速器研究機構(KEK)が共同で、茨城県東海村に大強度陽子加速器(J-PARC)を建設し、現在一部運転が開始されている。J-PARCで加速される陽子ビームは、高エネルギー・大強度の故に加速器入射部等のビーム輸送中の軌道変更およびビーム整形に伴うロスビームにより強い放射線(中性子線、 γ 線等)を発生する。施設全般が安定して長期間の運転が可能となるように優れた素材や機器を用いて、放射線の影響による機能低下を最小限にとどめることは重要な課題である。今回、耐放射線特性の評価を行ったRBセラミックスを用いたリニアモーションガイドは、一般的なボールやグリスを用いないセラミックス摺動型の直動機器である。このRBセラミックスリニアモーションガイドに γ 線を照射し、積算線量レベル毎の摩擦抵抗等を計測した結果、50MGyまでの動作健全性を確認した。

2. RBガイド

RBセラミックス(RB:米ぬかを資源有効利用のために採用してセラミックス化したもの)を摺動部に使用した「RBガイド:RBG」は大気中の使用条件であれば保守の必要性が無いという大きな特徴を有

するものであり、高放射線環境での使用に対し非常に魅力的なものである。しかしながら、RBガイドの放射線環境での使用実績はこれまでになかったため、機能実証の意味を込めて、放射線照射とその後の機能確認試験を行い、一定の評価が得られたため、ここに報告する。

3. 目的と用途

3.1 RBガイドの注目理由

- ・メンテナンスフリーの材料
- ・転がり駆動ではなく、面接触での摺動
- ・荷重に対する面圧が比較的大きい

最大の理由はメンテナンスフリーにある。高放射線環境で定期的な保守作業が必要という事は作業者の放射線被ばくを伴うものであり、使用環境を考慮した慎重な計画が必要となるが、メンテナンスフリーの機器は、この意味で大きなメリットがある。また、セラミックスということからは腐食性ガスの環境中でも使用が可能と思われ、J-PARCの閉じられた空間で、強い放射線がある場合のNOxが想定される環境中でも安定に動作することが期待できる。

3.2 J-PARCにおけるリニアモーションガイドの主な

¹ E-mail: yuichi.watanabe@kek.jp

る用途

- ・ 加速器ビームラインの駆動挿入型ビームモニタの駆動ガイド
- ・ 遠隔操作による保守、交換を予定する機器 (電磁石・遮蔽体等)の位置制御ガイド

高放射線環境にある精密機器・重量機器の駆動が必要な機能に対し、安定したストロークを提供することが重要であり、環境条件としては大気中から高真空環境まで期待されている。駆動方向は水平方向が基本となるが、垂直、斜め駆動なども想定され、J-PARC実機でも導入されている。ガイドレールの固定方法がより重要と考えられる。

3.3 γ 線照射試験の目的

- ・ RBセラミックス自体の耐放射線性が未知
- ・ Assyとしてのレール、キャリッジの組合せの耐放射線性が未知
- ・ RBセラミックスとキャリッジ接合が接着で固定



図1

レール、キャリッジという構造材はSUS304であり基本的に耐放射線性は高いが、多孔質物質であるRBセラミックスの摺動材が、仮に放射線ダメージでRBセラミックス内部トラップガスの膨潤で膨らむ場合は摺動特性に影響を与える恐れがあると判断。

接着剤そのものの耐放射線性に関するいくつかのデータはあるがRBガイド実機の接合状態での耐放射線特性は不明。

4. 各種特性試験の結果と評価

4.1 照射と摺動試験の結果

- ・ サンプル
数量：4体(γ 線照射用:3体、未照射のref.体:1体)
形式：Type LGS012
レール長：140mm
- ・ γ 線照射
日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所コバルト照射施設で実施
空間線量率：12kGy/h~14kGy/h
照射期間：2007/7/27~2008/2/5
総照射時間：3,357時間
 γ 線照射線量：最大51MGy

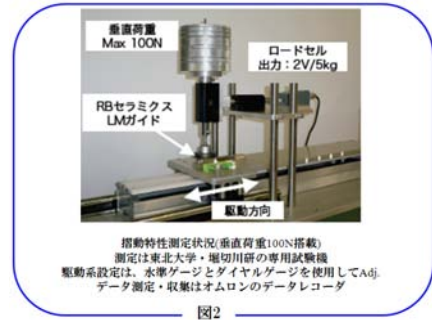


図2

図-3に γ 線照射に伴う摺動特性の変化を示す。

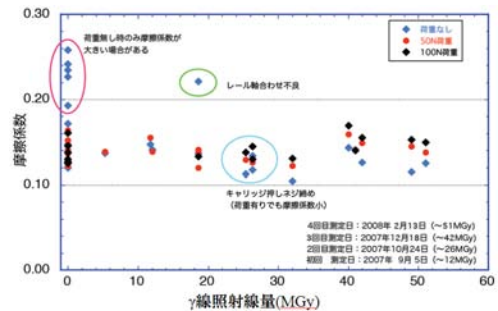


図3 RBC-LMG 摩擦係数 γ 線照射量依存性

- ・ 結論から述べると、50MGyまでの γ 線照射による摺動特性への影響は見られなかった。
- ・ 観察された摩擦係数は、未照射のRef.品と殆ど差が無く、数値的にはサンプル固定条件設定不良の影響と思われる一部の突出値を除き0.2以下となった。
- ・ 摺動特性測定の時期は9月から2月までに亘り、測定室内の室温はほぼ一定(22~23℃)であるが、湿度は季節により大きく変化した(RH 60%~20%)。この湿度変化が摩擦係数にどの程度の影響を与えたかは良く分からない。
- ・ 上記の湿度の影響が仮に殆ど無いと仮定すると、 γ 線照射量が40MGyを超えたレベルから、荷重を加えた場合の相対的な摩擦係数がやや上昇気味にある。
- ・ 興味深い点は、未照射のRef.サンプルにおいて、無負荷時の摩擦係数が時に0.2を上回り、見かけ上の摩擦が大きくなるような測定結果が得られている。26MGyサンプルの測定時に径方向押しネジを堅い方向に締めたが、直進性が保たれている場合は摩擦係数に差は現れなかった。(μ=0.13~0.14の範囲)

4.2 真空中ガス放出特性試験の結果

真空試験にはRef.サンプルをガラス容器に入れて排気特性を計測、併せて放出ガスをQマスで測定した。

- ・ 初期のガス圧は高いものの排気経過時間と共に圧力は着実に低下する。



図4

- ・排気途中のガス分解等によるガス放出は少ないと見られる(ガラス容器と同じ減圧勾配)。

— EPDM製Oリングとの真空特性比較 —
(炭化水素系ガスの有無の確認)

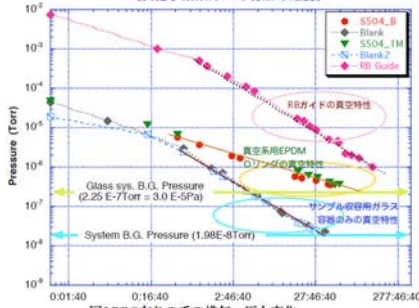


図5 RBG在りの系の排気・圧力変化

- ・系へ放出されるガスの殆どが水:M=18であった。(その他、炭化水素系のガスは見られない)。
- ・他のガススペクトルとしてM=28,44が見られるがCO,CO₂と思われる。
- ・以上のことからRBG内に吸蔵されているガスは空気=N₂+O₂およびH₂Oと見られ、他の汚染ガスはトラップされていないと判断できる。
- ・真空特性の結論として、真空中におけるRBガイドが摩擦係数の課題をクリアできれば、真空系への導入の際の発生ガスの問題は無いと云える。仮に高真空条件で摩擦係数が上昇すると仮定しても、現実的に必要な駆動トルクとその時の摩擦粉の発生程度により、使用可能な条件は十分得られると思われる。

4.3 キャリッジ-RBセラミックス接着材の剪断・接着強度試験の結果

図6に剪断試験後のRBセラミックス接着材の拡大写真を示す。

- ・剪断試験の破面観測結果からは、未照射サンプルと50MGy照射品では破断発生位置が異なることから、接着の強度変化が起きていることが分かった。
- ・未照射サンプルは基材破壊を起こしており、RBセラミックスの部分で割れている。このことはエポキシ系と云われている接着剤の接着強度は、RBセラミックスの剪断強度を上回っており十分な接着力を示している。
- ・50MGy照射品は接着破壊(界面破壊)を起こしており、キャリッジとRBセラミックスの接着境界面からの分離となっている。このことは、γ線の照射により接着剤が変質=硬化劣化し、接着力が低下したものと考えられる。
- ・写真で見られる接着剤の色は、未照射品は透明に近い色合いだったものが照射品は鉛色に変色している。但し、SUSとRBセラミックスの接着面部分

の色は比較的透明に近いことから、鉛色の変色部分は接着剤のみ出し部分が空気と触れるための放射線誘起の酸化劣化が進んで起きている現象と思われる。

- ・照射品サンプル間でも、40MGyレベルサンプルと50MGyサンプルの剪断状況は若干の差があり、50MGyサンプルの接着材破断の状況が明瞭である。従って、接着力低下はγ線照射量依存の傾向が見られる。

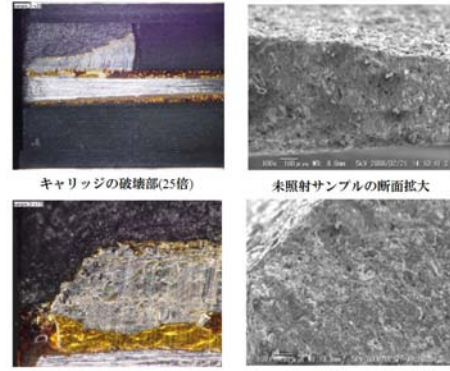


図6 49MGy照射品

図7 RBセラミックス表面

- ・一方、図7のRBセラミックス表面の拡大写真からは、未照射サンプルと50MGy照射品の表面に違いは見られない。このことはRBセラミックスの多孔質構造に変化が起きていると見えない。放射線に対し安定な構造体であることが窺える。摺動特性試験の摩擦係数に差が見られないことの理由と考えられる。
- ・同様に、この構造体はγ線の積算照射量が50MGyという高い数値にも経時特性が変化せず、安定であると同時に、照射線量率が10kGy/hを超える高い空間線量率の照射に対しても外観および摺動特性に変化を示さなかったということから、極めて高い耐放射線特性を有していると云える。

5. まとめと今後の課題

- ・50MGyまでのγ線照射による摺動特性・摩擦係数への影響はみられない。真空中ガス放出については初期のガス放出量は極めて多いが、殆どは水であり、真空系を汚すガスは見られない。
- ・大気中・高放射線環境における使用に関しては、殆ど問題がないことが実証されたが、高真空環境における特性は現状では未解明であり、高真空環境下の摺動特性詳細の把握と低摩擦駆動特性の実現を進めたい。

6. 謝辞

- ・今回の延べ4回におよぶ駆動特性測定の際に、多忙な時期にも関わらず、毎回、丁寧なセットアップと長時間の測定のサポートをいただきました東北大学堀切川研究室の相内亮慶氏に、最終段階の剪断試験では高橋克志氏にお世話になりました。厚く御礼申し上げます。