

Development of the radiation resistant Linear Motion Guide

Shunsuke Makimura^{A)}, Joichi Kusano^{B)}, Yasuhiro Miyake^{A)}, Kusuo Nishiyama^{A)}

^{A)} Muon Science Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization (KEK),

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

^{B)} Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

2-4 Shirane, Shirakata, Toukai-mura, Naka-gun, Ibaraki-Prefecture, 319-1195

Abstract

In the J-PARC project, the beamline components will be highly irradiated by the high intensity protons. When these components require a precise and stable linear motion, a linear motion guide can be utilized so as to save time during the maintenance. At the Muon Science Facility, linear motion guides are utilized for the motion of the muon target in vacuum, and the solenoid coil in the atmosphere. A linear motion guide is composed of a rail, a carriage and balls, which are generally made of martensitic stainless steel, SUS440C (Japanese Industry Standard). Therefore, grease is required for lubrication because they are made from the same material. As the contamination of grease is not allowable in vacuum, we introduced SUS440C for the rail and the carriage, and silicon nitride for the balls. An irradiation test of the linear motion guide was performed at Takasaki Advanced Radiation Research Institute (JAEA-Takasaki). On the other hand, because SUS440C is more easily corroded than austenitic stainless steel in the atmosphere, the rust due to irradiated gases will jam the linear motion guide. Hence, we introduced a Raydent treatment (Raydent Industrial CO., LTD¹⁾), which is an electroplating of chromium alloy, to the parts made of SUS440C and use a radiation resistant grease GK-1 (Matsumura Oil Research Corp.²⁾) for lubrication. Then the fabricated radiation resistant linear motion guide was also given an irradiation test at JAEA-Takasaki. In this report, we describe the present status for the development of radiation resistant linear motion guides both in vacuum and in the atmosphere.

耐放射線性Linear Motionガイドの開発

1. 真空用Linear Motionガイドの開発

1.1 アルミホイルラッピングによる照射試験

通常、Linear Motionガイドはレール上をキャリッジが移動するが、レール、キャリッジ間はボールが介在し、転がり摩擦によって円滑な動作を達成する。使用条件によりこれらの構成部品の材質は様々であるが、放射線条件化ではステンレス鋼SUS440Cを用いることが多い。しかしながら、同種材料を用いる場合にはグリースを用いないと動かなくなる可能性がある。高真空で使用する場合には、グリースによる真空槽内への汚染は免れない。MUSEにおいては 10^{-4} Pa台の真空度で使用し、10年で10MGy程度の線量を想定している。使用荷重はキャリッジ1個に対して最大100N程度であり、使用頻度は三週間に一度程度である。これらを考慮し、レール、キャリッジにSUS440C、ボールに窒化珪素を使用したLinear Motionガイド (THK社; HSR15R) を選定し、日本原子力研究開発機構、高崎量子応用研究所コバルト60照射施設にて照射試験を行った。これらの照射施設では窒素酸化物、オゾンなどが発生し、多くの材料が腐食される。真空内照射を想定して、放射化した空気に極力接触しないようにアルミホイルによ

て周囲を覆い照射試験を行った。線量率14.2kGy/時、537時間で計6.9MGyの照射を行ったが、SUS440Cにサビが発生してしまい全く動かなくなってしまった。サビ部分に蛍光X線分析を実施すると酸素が非腐食部と比較して、多く含有されていることが確認できた。結論としてアルミホイルラッピングでは真空内を十分模擬することができないことが判明した。図1に照射前のLinear Motionガイドおよび腐食部の写真を示す。



図1; 耐放射線性Linear Motionガイドと腐食部

1.2 アルゴン置換容器による照射試験

より真空に近い環境を模擬するためにアルゴン置換が可能な容器中にLinear Motionガイドを設置し、グローブボックス内にて数度アルゴン置換を行った。

¹ <http://www.raydent.co.jp/index.html>

² http://www.moresco.co.jp/moresco_web/index.html

グローブボックス内でCFフランジにてアルゴンを封じ切りコバルト60照射施設にて照射試験を行った。線量率12.4kGy/時にて556時間および1289時間、計6.9MGy、15.9MGyの二種類の照射量であった。照射による影響を比較するために、転がり抵抗試験を行った。ストローク100mm、送り速度10mm/秒で駆動し、ロードセルにて転がり抵抗を計測した。図2に照射量によってそれぞれ変化した転がり抵抗を示す。

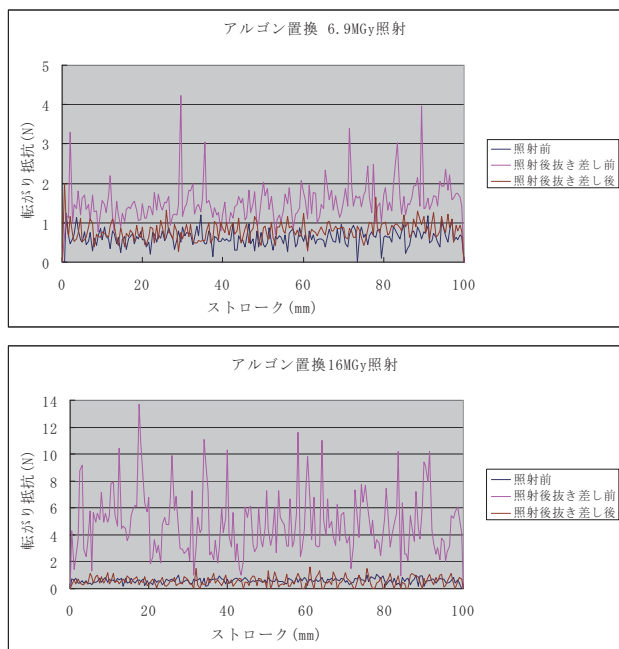


図2；照射による転がり抵抗の変化 (6.9MGy,16MGy)

照射によって転がり抵抗は増加するが、いったんキャリッジをレールから抜いて再び、組み立てると転がり抵抗は照射前の値に戻る。一般にLinear Motionガイドを駆動しないで放置すると駆動できなくなることが多くあるが、ここで再組上げを行うことは使用時に駆動を行うことに相当する。すなわち、照射することによって増加した転がり抵抗は駆動を繰り返すうちに再び照射前の転がり抵抗に回復することを意味している。転がり抵抗の上昇としては容器中の不純物の除去が十分でなかった可能性が考えられる。しかしながら、アルミホイルラッピングの照射結果に対して転がり抵抗の劣化は大幅に改善しており、我々の使用荷重 (HSR15Rの耐荷重2000Nに対して使用荷重100N)、使用頻度 (三週間に一回) を考えると使用可能であることが確認できた。

2. 大気用Linear Motionガイドの開発

2.1 レイデント処理の照射試験

これまで真空内での使用を想定して、Linear Motionガイドの照射試験を行ってきたが、SUS440Cが空気が照射されて発生する窒素酸化物などの腐食性ガスによって腐食されることが問題となった。大

気中でのLinear Motionガイドの使用を考えた場合、レールおよびキャリッジに表面処理を施し、耐腐食性を向上させる事や直接、腐食性ガスに接触しないようにグリースを塗布する事が有効であると推測される。今回、耐腐食性を向上させる表面処理としてレイデント処理 (レイデント工業) を選定した。レイデント処理とはクロム酸化物系電気メッキであり、安定な黒体化処理である。MUSEにおいてはミュオン生成標的を格納する真空容器内にレイデント処理を施しているが、耐放射線性能を確認するために日本原子力研究開発機構、高崎量子応用研究所電子線照射施設1号加速器にて1MV,6mAの電子線による照射試験を実施した。今回、その照射試験結果を参考値として示す。SUS304にレイデント処理を施した2mm厚のプレートに対して線量率7.8kGy/秒、1.39時間、2.22時間、3.6時間でそれぞれ39MGy、61MGy、100MGyの照射を行った。図3に照射試験時の写真を示す。

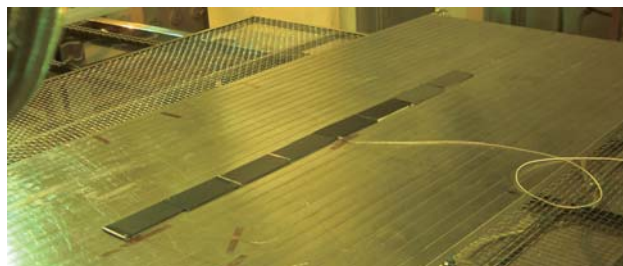


図3 レイデント処理の電子線照射試験

どの照射量の試料も概観はほとんど変化しなかったが、照射量が増えると微粒子が発生しているように観測される。次に付着性を評価するためにJIS5600-5-6クロスカット法を採用した。この手法は5×5格子状にナイフで傷をつけ、スコッチテープにて剥離を確認する。剥離した割合に応じて、レベルを判定する。どの照射量に関してもレベル0 (剥離なし) であった。引き続きビッカース硬度測定を行った。500gf、25秒間加圧にて計測した。表1にビッカース硬度の照射量による変化を示す。比較としてレイデント処理を施さないSUS304の無垢材のビッカース硬度も示す。ばらつきは示すが大幅な変化は見られない。

照射量 (MGy)	SUS	0	39	61	100
Hv	212	212	189	189	210

表1；ビッカース硬度の照射量による変化

電子線照射試験の結論としてレイデント処理は放射線によって非常に影響を受けにくいことがわかった。

2.2 レイデント処理を施したLinear Motionガイドの大気中での照射試験

次に前述のレール、キャリッジにSUS440C、ボールに窒化珪素を使用したLinear Motionガイドのレール、キャリッジにレイデント処理を施した。また同時に腐食性ガスに直接、摺動部が接触しない様にグリースを塗布することとした。グリースとして耐放

射線性グリース～モレスコハイラッドGK-1（松村石油研究所）を選定したが、グリースの種類に関しては今後の検討課題である。レイデント処理のみの耐放射線性の効果を比較するために耐放射線性グリースを塗布したもの塗布しないもの二種類に関してコバルト60照射施設にて照射試験を行った。腐食性ガスの効果を考慮し、アルミホイルラッピングなどは施さなかった。線量率6.3kGy/時にて476時間、計3MGyの照射を行った。図4にレイデント処理を施したLinear Motionガイドを示す。



図4；レイデント処理を施したLinear Motionガイド

前回と同様に照射による影響を比較するために、転がり抵抗試験を行った。ストローク100mm、送り速度10mm/秒で駆動し、ロードセルにて転がり抵抗を計測した。図5に照射によって変化した転がり抵抗（グリース無し）を示し、図6に転がり抵抗（グリース有り）を示す。

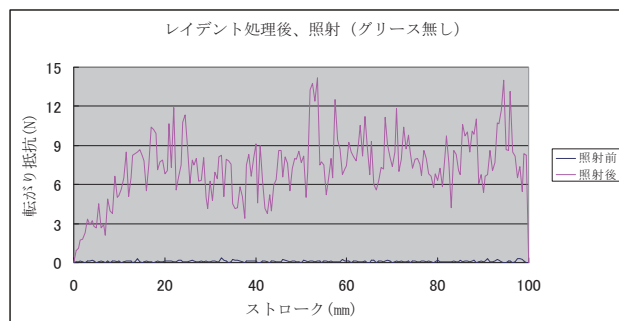


図5；レイデント処理後、3MGy照射による転がり抵抗の変化（グリース無し）

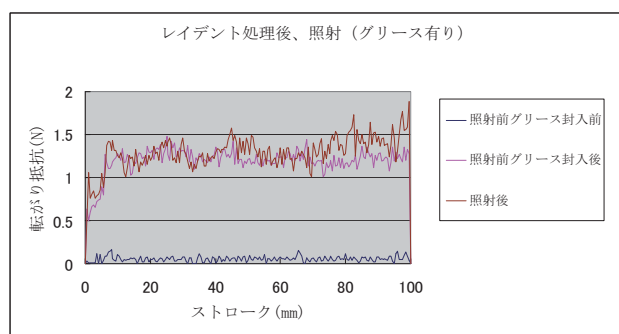


図6；レイデント処理後、3MGy照射による転がり抵抗の変化（グリース有り）

グリースを塗布しない場合は照射によって転がり抵抗は増大するが、駆動できなくなるほどではない。

グリースを塗布した場合には、照射に関係なくグリースを塗布することによって若干、転がり抵抗が増大する。しかし、照射によって転がり抵抗はほとんど変化しない。Linear Motionガイドはレイデント処理を施し、耐放射線性グリースを封入することによって耐放射線性能が向上することがわかった。

3. まとめ

今回、真空内および大気中での使用を想定した耐放射線性Linear Motionガイドの開発を行った。レール、キャリッジにSUS440C、ボールに窒化珪素を使用したLinear Motionガイドは真空内で放射線による影響を受けにくいことが確認できた。また大気中ではレール、キャリッジにレイデント処理を施し耐放射線性グリースを封入することによって、耐放射線性能を向上できることが確認できた。今後の課題として、封入する耐放射線性グリースの種類による転がり抵抗の変化を調査することや、より大きな照射量に対する転がり抵抗の変化を調査することが必要である。

4. 謝辞

本研究において試料の提供、各試験などにご協力いただき、ご助言、ご提案をいただいたTHK株式会社の伊勢氏、細川氏、また照射試験にご協力いただいた日本原子力研究開発機構の森下氏、竹田氏、花屋氏、後関氏、高エネルギー加速器研究機構の上利氏他、多くの方々に感謝申し上げます。