

J-PARC用材料・機器の耐放射線性： RBセラミックス使用のリニアモーションガイド

日本原子力研究開発機構：草野譲一 高エネルギー加速器研究機構：渡辺勇一
東北大学大学院工学研究科：堀切川一男、山口 健 プレファクト(株)：白田良晴

はじめに

原子力機構(JAEA)と高エネ研(KEK)は共同で、茨城県東海村に大強度陽子加速器施設(J-PARC)を建設し、既に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(GeV領域)・大強度(1MW)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加速器トンネル内に強い放射線(中性子線、 γ 線等)を発生する。施設全般の長期間安定運転が可能となるように、放射線の影響による機能低下を最小限にとどめる優れた素材や機器を選定す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『米ぬかを原材料とするRBセラミックスを用いたリニアモーションガイド』は、通常使用されているボールやグリースを全く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係数等を計測し、50MGyまでの動作健全性を確認した。

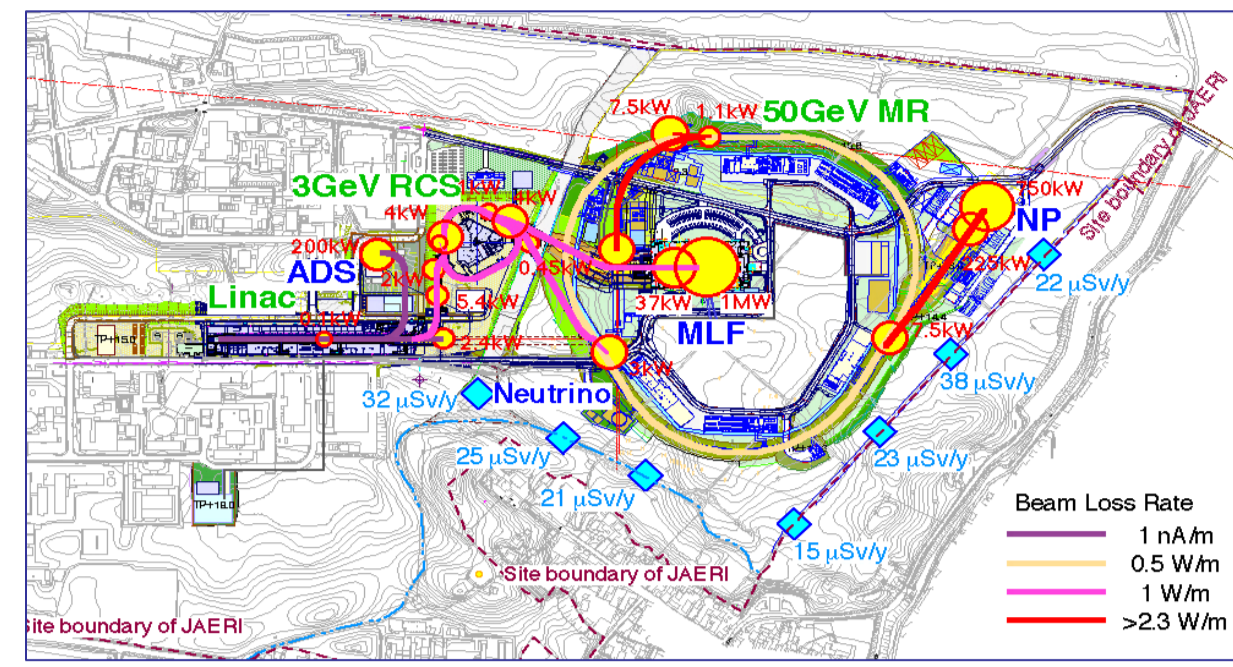


図1 J-PARC施設内の高放射線エリア

目的と用途

1 RBガイドの注目理由

- ①メンテナンスフリーの材料
- ②転がり駆動ではなく、面接触での摺動
- ③面接触であることから接触圧力が小さくなるため、耐荷重が高い

高放射線環境でのメンテナンスフリーの機器は、作業員の放射線被ばくを低減に大きく寄与する。

セラミックス材は腐食性ガスの環境中でも使用が可能と思われる、閉じられた空間で強い放射線がある場合のNOx発生が想定される環境中でも安定に動作すると期待できる。

2 J-PARCにおけるリニアモーションガイドの主たる用途

- ①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
- ②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・重量機器の駆動に必要な機能に対し、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、斜め駆動なども実機でも導入されており、ガイドレールの固定方法が重要である。

3 γ 線照射試験の目的

- ①RBセラミックス自体の耐放射線性の調査
- ②レール、キャリッジの組み合わせ(Assyとしての耐放射線性の調査)
- ③RBセラミックスとキャリッジ接合が接着で固定

→基本的にセラミックスの耐放射線性は高いが、RBセラミックスの製造方法(米ぬかの焼成およびフェノール樹脂固め焼成プロセス)から、本質的な耐放射線性の確認が必要

→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、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張で膨らむことがあれば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セラミックス式リニアモーションガイド実機の接合状態での耐放射線特性の確認が必要

各特性試験の結果と考察

1 照射と摺動試験の結果

(1) γ 線照射試験条件

- RBGサンプル (図5にサンプル形状を示す)
 - 数量：4体(γ 線照射用:3体、未照射ref.体:1体)
 - 形式：Type LGS012 (レール長：140mm)
- γ 線照射 (図6に γ 線照射時の状況を示す)
 - 原子力機構高崎 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
 - 延べ照射時間：3,357時間
 - γ 線照射積算線量：最大51MGy

(2) RBG摺動試験結果

図4に γ 線照射に伴う摺動特性の変化を示す。

- 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。
- 計測された摩擦係数は、未照射のRef.品と殆ど差が無く、数値的には一部固定条件設定の影響と思われる突出値を除き0.2以下であり安定であった。
- 摺動特性測定は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 20~60%) 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不明。
- 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傾向にある。
- 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)

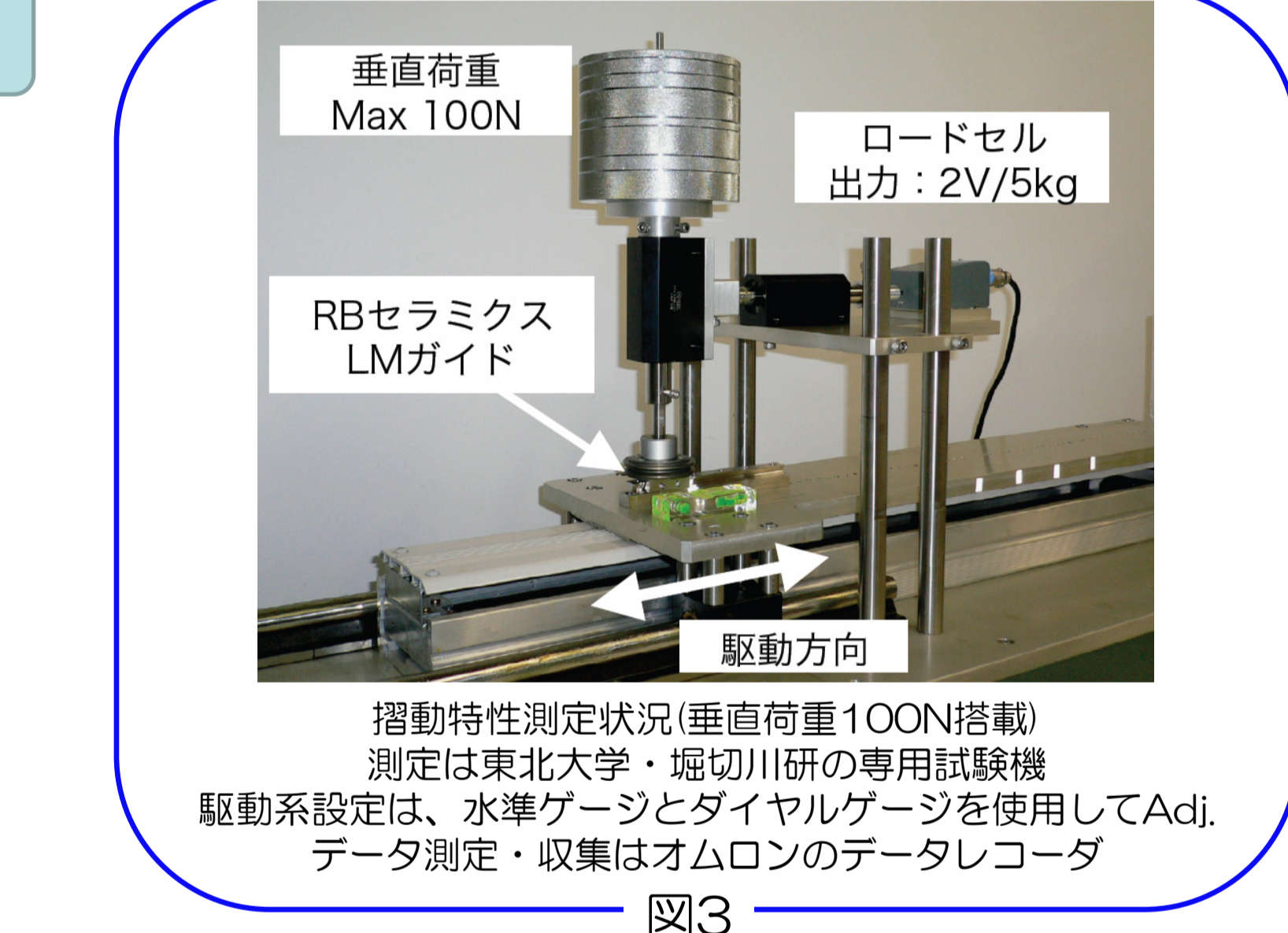


図3 摺動特性測定状況(垂直荷重100N搭載)

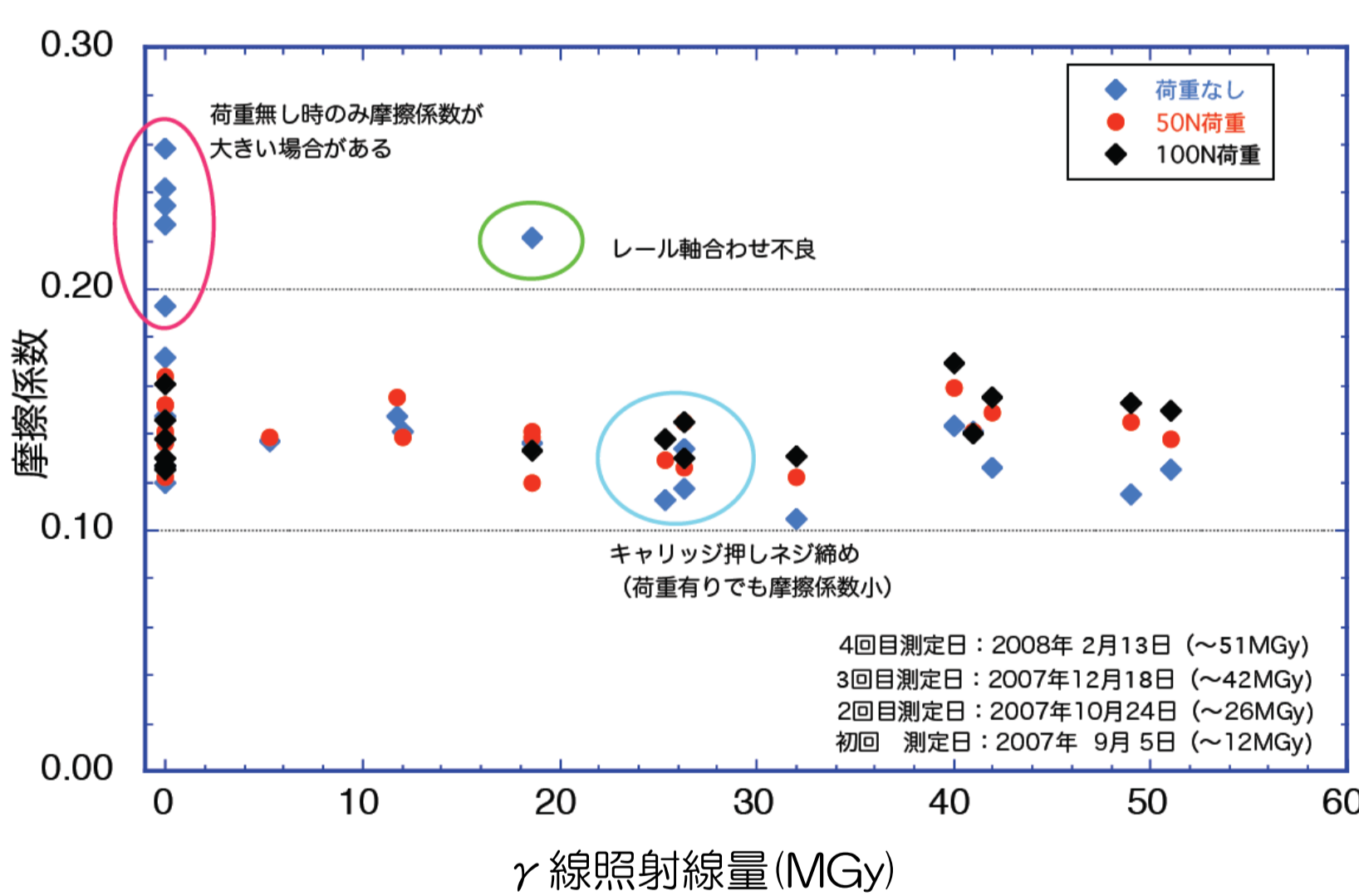
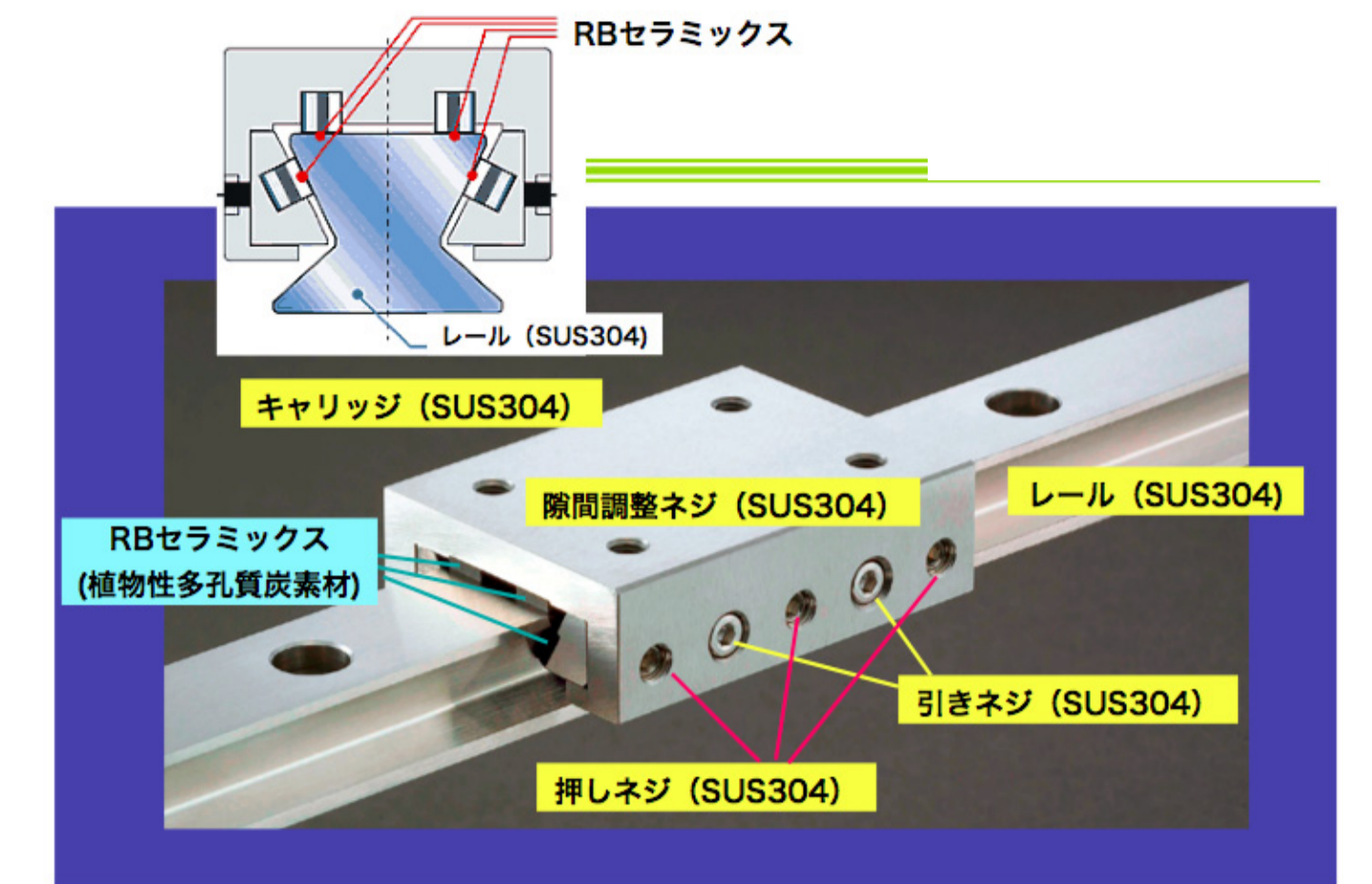


図4 RBC-LMG摩擦係数 γ 線照射量依存性

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」はレール・キャリッジにSUS304を使用することにより、大気中で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、RBガイドの放射線環境での使用実績はこれまで無かったため、耐放射線機能実証の意味を込めて γ 線照射とその後の機能確認試験を行った。



標準品はセラミックスとSUS304で構成

図2 RBガイドの構造と材質

試験結果のまとめ

- 50MGyまでの γ 線照射による摺動特性・摩擦係数への影響は見られない。
- 照射サンプルの剪断試験結果から、RBセラミックスは50MGyまでの範囲において構造・強度の変化・劣化は見られない。
- RBセラミックスをキャリッジに固定するエポキシ系接着剤は照射積算線量の増加と共に緩やかに付着強度が低下する傾向にある。
- RBセラミックスの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、その殆どは水・空気であり真空系を汚すガスは見られない。



図5

評価と今後の課題

- 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ことから、極めて高い耐放射線特性を有していると言える。
- RBガイドは大気中・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、一方、高真空環境における摺動特性は現状では未解明であり、高真空環境での摩擦係数および摩擦粉の発生など特性詳細の把握を進め、J-PARC加速器真空系への導入を図りたい。



図6

2 真空中ガス放出特性試験の結果

図7に未照射サンプルの真空排気試験時の残留ガス・マススペクトルを、図8に真空排気特性図を示す。

- 初期のガス放出量が極めて多い。
- 初期のガス圧は高いものの、排気時間経過と共に圧力は低下する。
- 排気途中のガス分解等によるガス放出は少ない。(ガラス容器系と同じ減圧勾配)
- 系へ放出されるガスの殆どが水・M=18であった。(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が見られたが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ると判断できる。
- 今回の真空排気試験の結果、内部トラップガスの問題は無いと云えるため、真空中におけるRBガイドの摩擦係数に大きな問題が無ければ、真空系への導入は有望である。
- 仮に高真空条件で摩擦係数が上昇すると判明した場合も、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、使用可能な範囲は十分得られると思われる。

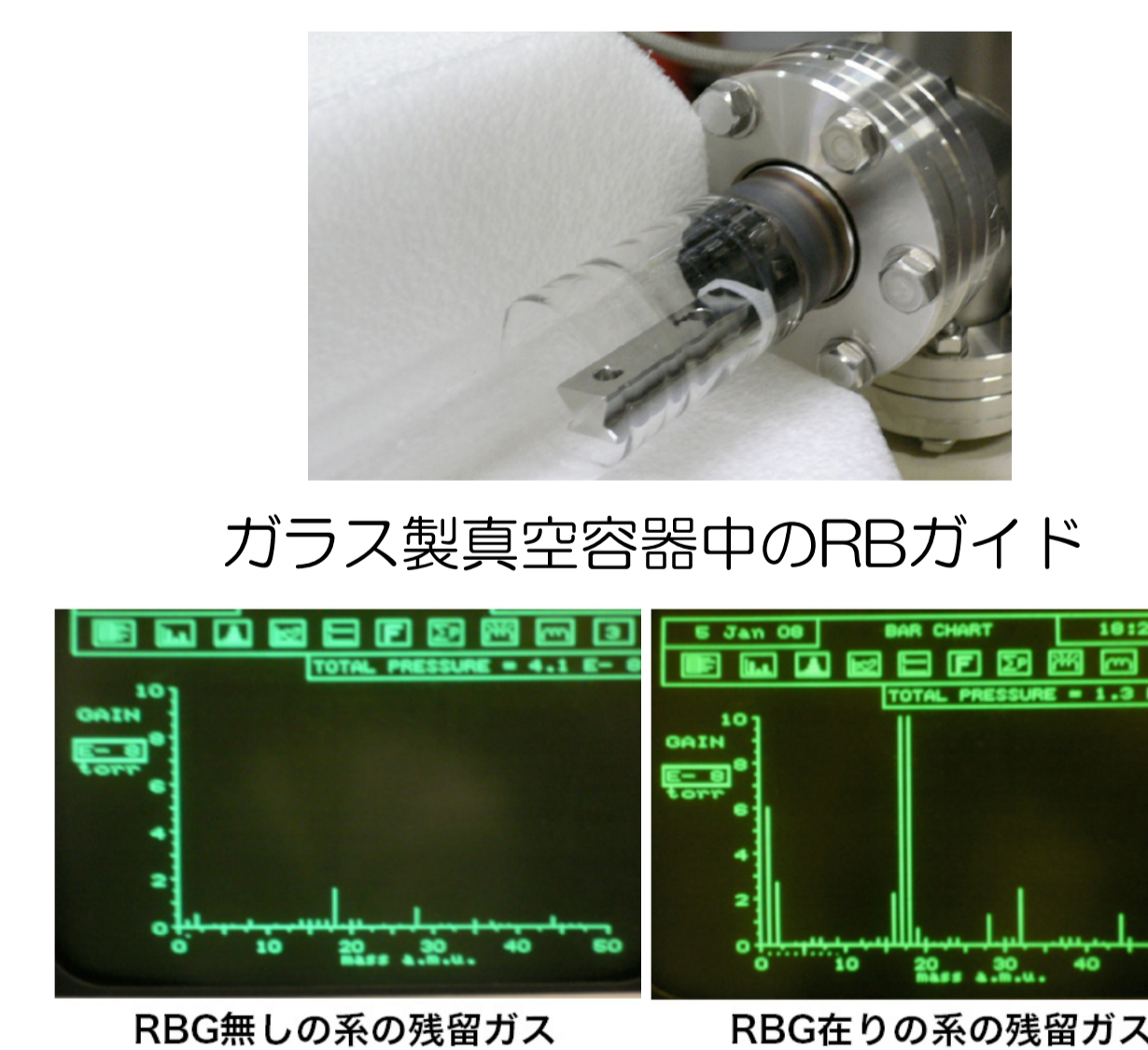


図7 キャリッジ+RBセラミックスの真空中ガス放出特性の測定

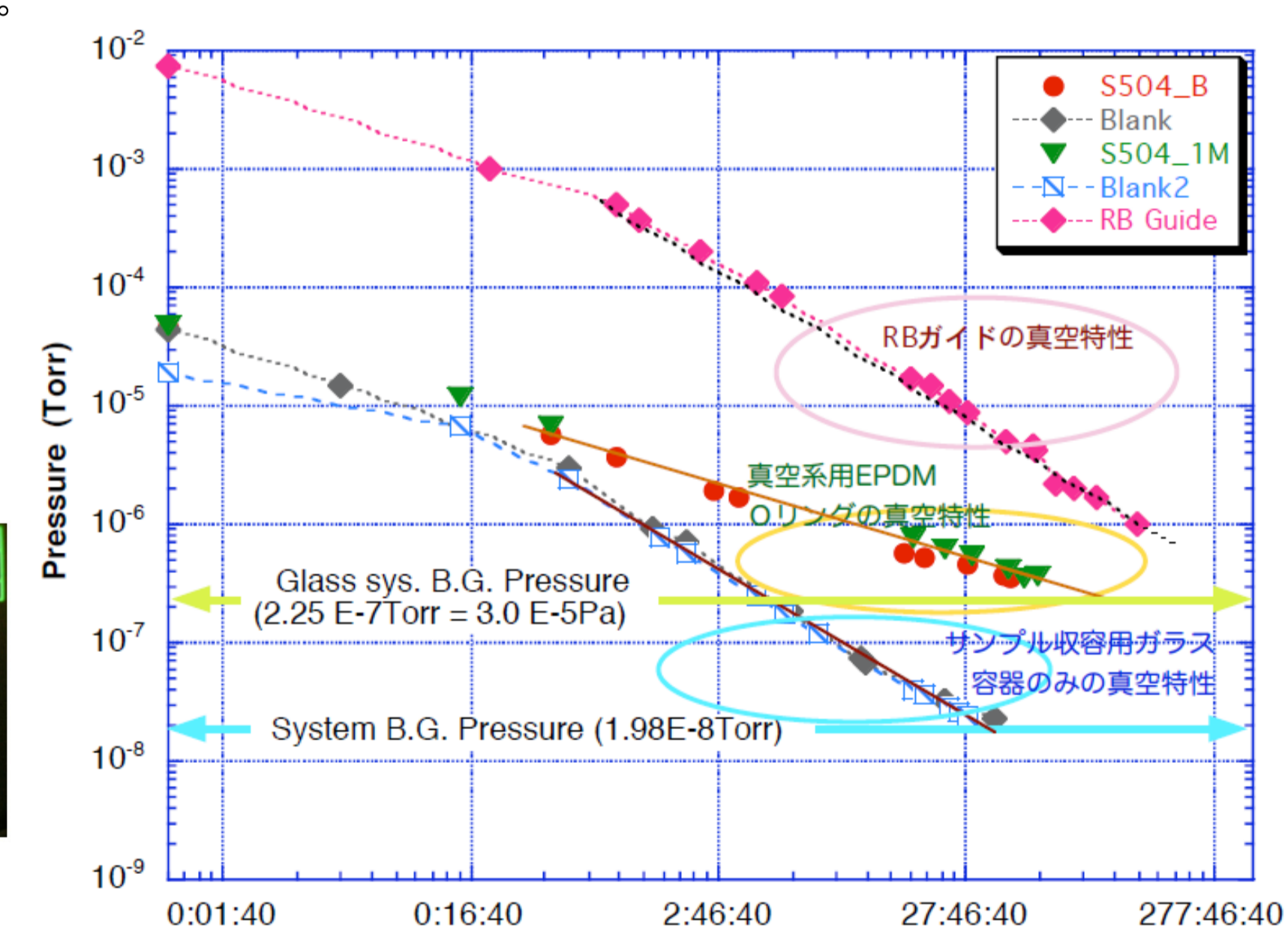


図8 RBG放出ガス測定系の排気・圧力変化

3 キャリッジ+RBセラミックス接着剤の剪断試験の結果

図9に剪断試験後のRBセラミックス接着部の拡大写真を、図10にRBセラミックス破断面拡大写真を示す。

- 接着部観察結果からは、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。
- 未照射サンプルでは基材破壊(adherend failure)を起こしており、RBセラミックスの部分で割れている。未照射品のエポキシ系接着剤の接着強度はRBセラミックス破壊強度を上回っており、十分な接着力を有している。
- 50MGy照射品は接着破壊(interfacial failure：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硬化劣化し、接着力が低下したものと考えられる。
- 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。
- 接着剤の色は、未照射品はほぼ透明だったものが照射品は褐色に変色している。褐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。
- 一方、図9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照射品の表面状況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は起きておらず、放射線に対し安定な構造体であることが窺える。照射後摺動特性試験の摩擦係数に変化が見られないことと考えると考えられる。

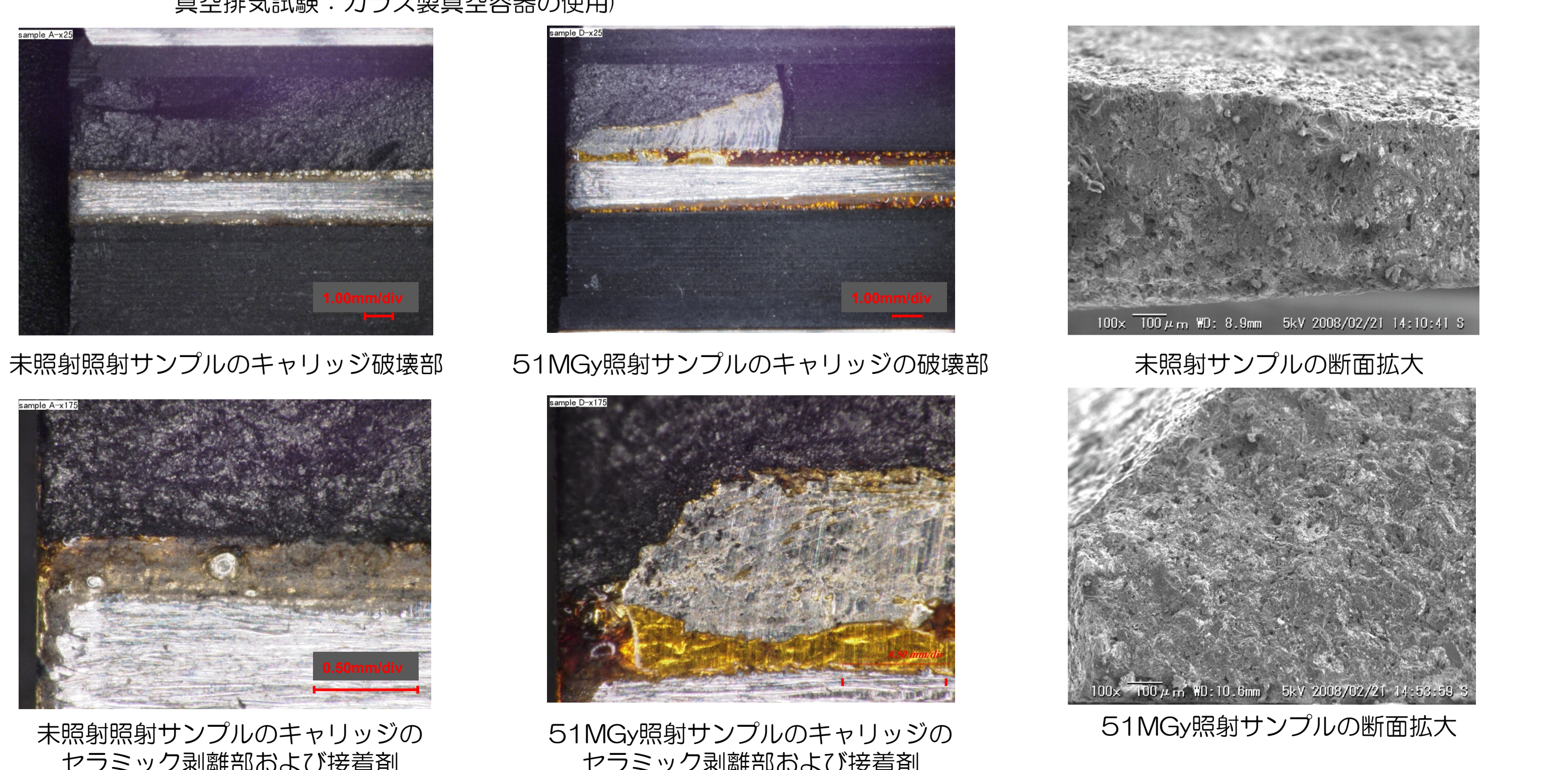


図9 キャリッジ+RBセラミックス接着部の剪断強度試験結果写真

図10 RBセラミックス断面拡大写真