

## OUTGASSING MEASUREMENTS OF J-PARC MR AND 3-50BT VACUUM DUCTS

Masahiko Uota, Yoichiro Hori, Tomio Kubo, Yoshihiro Satoh, Masayuki Shimamoto, Yoshio Saito  
High Energy Accelerator Research Organization  
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

The 50GeV proton synchrotron called MR is a one of accelerator facilities of J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) which is under construction at Tokai town in Japan. In order to achieve the low ring pressure below  $1.E-5$  Pa from the beginning stage of the operation without in-situ baking, some surface treatments are adopted to vacuum beam ducts of the MR and its transport line 3-50BT. The beam ducts are made of stainless steel or titanium and treated by different methods. Outgassing rate measurements of some characteristic beam ducts of the MR and 3-50BT were carried out during 50-100 hour of evacuation. An obtained outgassing rate is enough low for each duct, and it is resulted that surface treatments which adopted to the beam ducts are all effective for our purpose, though only a beam duct without pre-baking has relatively high outgassing rate. Also the observation re-impresses a good vacuum property of titanium and the effectiveness of the pre-baking.

## J-PARC MR及び3-50BT真空系のビームダクトのアウトガス測定

### 1. はじめに

J-PARCは茨城県東海村に建設中の大強度陽子実験施設である。その構成施設のひとつである周長1568mの50GeV陽子シンクロトロンはMRと呼ばれる。リングとダンプライン及び前段加速器からの入射路(3-50BT)を合わせると真空路の総延長は約1900mに及ぶ。

MR及び3-50BTの真空ビームダクトの主要材質はステンレス鋼(316L)とチタン(2種)で、要所要所に絶縁のためのアルミナセラミックスが用いられている。チタンは放射化断面積が相対的に小さいこととセラミックスとのろう付けが容易であることから選択されており、絶縁管及びベローズと3-50BTのビームダクトの大多数がチタン製である。その他のビームダクトは相対的に安価である理由からステンレス鋼製となっている。

J-PARCでは陽子ビームによる真空部品の放射損傷、放射化が不可避である。3-50BT及びMRでは主排気にイオンポンプを用いるが、運転圧力が高いとポンプの寿命を縮め、結果的に放射線作業の機会を増大させることになる。この観点から運転圧力の要求値を各所で $1 \times 10^{-5}$  Pa以下に設定している。特に排気初期においては材料からのガス放出量も大きい。MRでは据付後のベーキングを行わずに運転初期から設定圧力を実現すべく各ビームダクトに適切な表面処理を適用している。材料のガス放出率低減を目的とした表面処理にはいくつかの方法があるが、実際のビームダクトへの適用に当たっては形状などによる制限と経費による制約があり、必ずしも予想通りの効果が得られるとは限らない。ここではMR及び3-50BT用に製作したビームダクトに施した表面処理の有効性を検証するために行ったガス放出率測定について報告する。

### 2. 各ビームダクトの表面処理

MR及び3-50BTに設置する各ビームダクトは完成後に真空ベーキングを行い、乾燥窒素を封入した状態で納品、保管することをスタンダードとした。内面の洗浄、研磨については材質や形状により各種処理法を選択採用している。今回特徴的な三様のビームダクトについてガス放出率を測定した。それらの形状、寸法を図1に示し、製作と表面処理の概要を以下に記述する。

#### 2.1 Bダクト

偏向電磁石用のビームダクト(Bダクト)はステンレス鋼製である。表面処理には電解研磨を採用した。MRの周回には偏向電磁石が96台有り、Bダクトはその総延長がMRの4割にあたる最も典型的なビームダクトである。かつその寸法、形状故に電解研磨に最も難航したのもBダクトであった。製作に当たっては、まず板巻き鋼管を引き抜き矯正した後に熱処理、酸洗を施して素材となるパイプを製作し、これをロール成形にかけてバンド及び断面非円形加工した。この曲管の両端に断面形状変換部とフランジを溶接して完成品とした後に電解研磨処理を行い、250°Cで24時間以上の真空ベーキングを実施した。

#### 2.2 ダンプダクト

MRには2本のビームダンプラインがある。ダンプビームを必要以上に収束することはしないので下流には大口径のビームダクトを準備しなければならない。うち1本のダンプラインの最下流に、内径

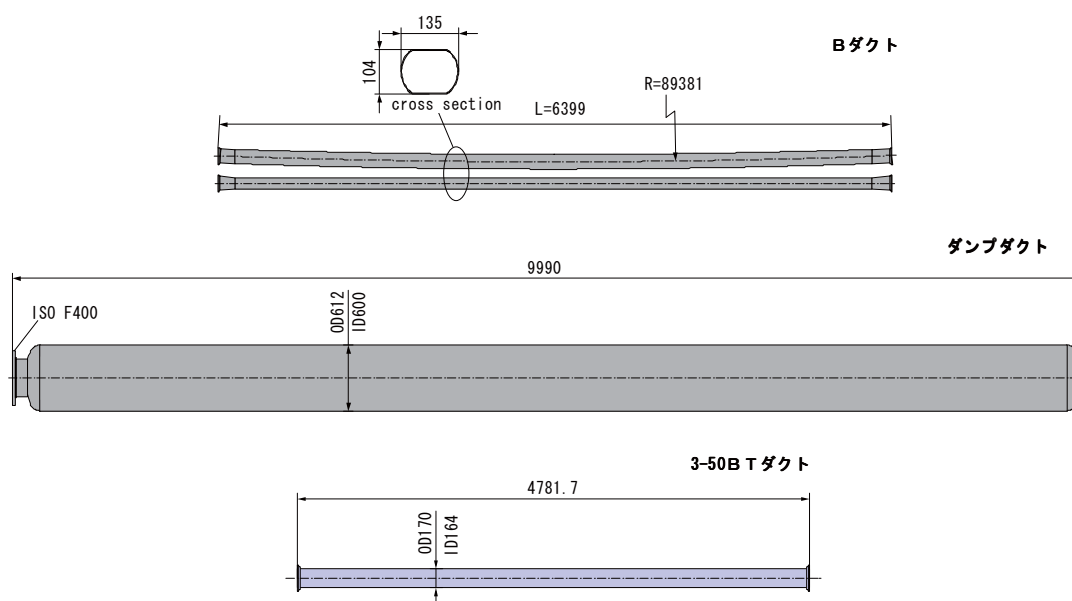


図1：ガス放出率を測定したビームダクトの形状と主要寸法

600mm、長さ約10mのダンプダクトを設置した。このダンプダクトはステンレス鋼製であるが、寸法的に浴槽を用いる電解研磨が実際上適用できなかったため、電解複合研磨を適用した。電解複合研磨とは浴槽を使用しないで機械的(バフ)研磨と電解研磨を同時に行う表面処理法である。製作に当たってはまず3.2m長の巻き鋼管3体とダクト両端のフランジ付き鏡板及び封止鏡板を製作し、前処理として内面をバフ研磨した後にRa=06以下の電解複合研磨を施した。それらを溶接し組み立てた後には溶接焼け除去以外の追加処理は行っていない。また乾燥窒素充填前のプリベーキングも行っていない。

### 2.3 3-50B Tダクト

RCS-MRのビーム輸送路(3-50B T)のビームダクトはモニタなど一部を除いてチタン(2種)製である。チタンはガス放出の少ない表面が容易に得られることがわかってきて超高真空中に好適な構造材として着目を浴びてきている<sup>[1]</sup>。製作に当たっては、板巻き鋼管を引き抜き矯正した後に潤滑剤除去のためのブラスト及び酸洗処理を行い、両端のフランジやペローズを溶接して組み立てた後に制御ガス雰囲気中で表面酸化膜形成処理を施している。積極的な意味での表面研磨は行っていない。完成後に200℃で24時間以上の真空ベーキングを実施した。

## 3. 測定結果と考察

### 3.1 測定方法

ガス放出率の測定は、MRのトンネル内でコンダクタンス変調法により行った。コンダクタンス変調法とは、コンダクタンスを変えたときの圧力の違いからガス流量を測る方法である。圧力測定には熱陰

極真空計を用い結果は窒素換算値のまま読み取っている。四重極質量分析器による残留ガス分析も行っているが、絶対値校正はしていないので傾向を探るに止めている。測定のモードを図2に示す。測定雰囲気は気温約20℃、湿度約30%である。ダクト測定後に測定系のみをガス放出量を測定し、それをバックグラウンド値として正味のガス放出量を求めている。測定は排気開始から50-120時間継続した。ガス放出率はダクト内面の単位面積、単位時間当たりの放出ガス量として算出、評価した。目標はガス放出率が100時間以内を目安として $1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ 以下に達することと排気と共に順調に(排気時間に反比例して)“枯れ”が進行することである。各ダクトの測定結果をまとめて図3に示す。

### 3.2 Bダクト

Bダクトについては比較的初期に製作したダクト(B-37)と後期に製作したダクト(B-98)の2台を測定

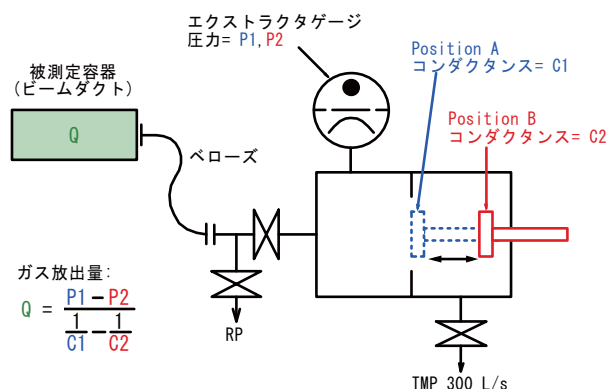


図2：ガス放出測定系

した。製作時期によって細部の取り扱いには違いもあるが、形状及び電解研磨も含めた製作工程は基本的に同じである。いずれも最初の測定(図中B37-0とB98-0)の後に大気導入してそれぞれ4日間、1週間放置し再測定を行った(図中B37-4dとB98-1w)。2台を比較すると後期製作ダクトのガス放出率が全般にやや大きい結果が得られている。また大気開放の影響をみると、B-37ではガス放出率が大きくなっているが、B-98では大気開放時間が長いにもかかわらずむしろ小さくなっている。前者は大気吸着の影響が勝り、後者は排気継続の効果が勝ったものと推測される。厳密に条件を管理して行った試験ではないので、両者の違いがわずかな処方箋の違いによるものなのか、ばらつきなのかはわからないが、いずれのガス放出率も排気と共に減少し30-60時間後に目標値に到達している。かつ排気時間にほぼ反比例して減少が継続しており期待通りの効果が得られているといえる。残留ガス成分では水が支配的であり、水の挙動が全体のガス放出率にも強く反映されていると考えられる。

### 3.3 ダンプダクト

結果を図3に“INJ\_DUMP-0”で示す。Bダクトに比べるとダンプダクトのガス放出率は一桁近く大きい。要因はプリベーキングの有無と考えられる。この点では設置前であってもベーキングの有効性を再認識する結果となった。残留ガス成分ではやはり水が支配的であるが、相対値もBダクトと同様である。 $1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ という値は適切な表面処理を行えばベーキングに頼らずとも達成可能であることが試験容器での測定でわかっている。実機レベルでも重力波検出装置(TAMA300)でさらに長時間の排気後に十分に低いガス放出率を得ている<sup>[2]</sup>。目標値には達しなかったがダンプダクトにおいてもガス放出率はやはり排気時間にほぼ反比例して減少しており、リングでの実際の継続排気等を考慮すれば許容できる値といえる。但し作業機会軽減の観点からは、プリベーキングの実施や排気速度増強等の対策も一考に値する。処理法として今回の結果が妥当なものかどうか、また改善点があるのかどうか等の詳細な検討は今後の課題である。

### 3.4 3-50BTダクト

結果を図3に“BT\_Ti-0”で示す。Bダクトとほぼ同じ結果が得られているが、排気10時間以降のガス放出率減少がやや加速傾向にあり、測定中最も小さなガス放出率が達成されている。残留ガス成分としてはやはり水が支配的であり、水が順調に枯れていることの反映と考えられる。特別な表面研磨無しでステンレスの電解研磨と同等以上の効果が得られた点で、今回の結果はチタンの優れた真空特性を検証したのものとなった。チタンは表面に形成される安定した酸化膜がガス放出率低減に重要な役割を果たしているといわれているが、表面酸化膜が水分子の吸着しにくい(吸着エネルギーが低い)表面を現出しているとすれば大変興味深い。チタンダクトに関し

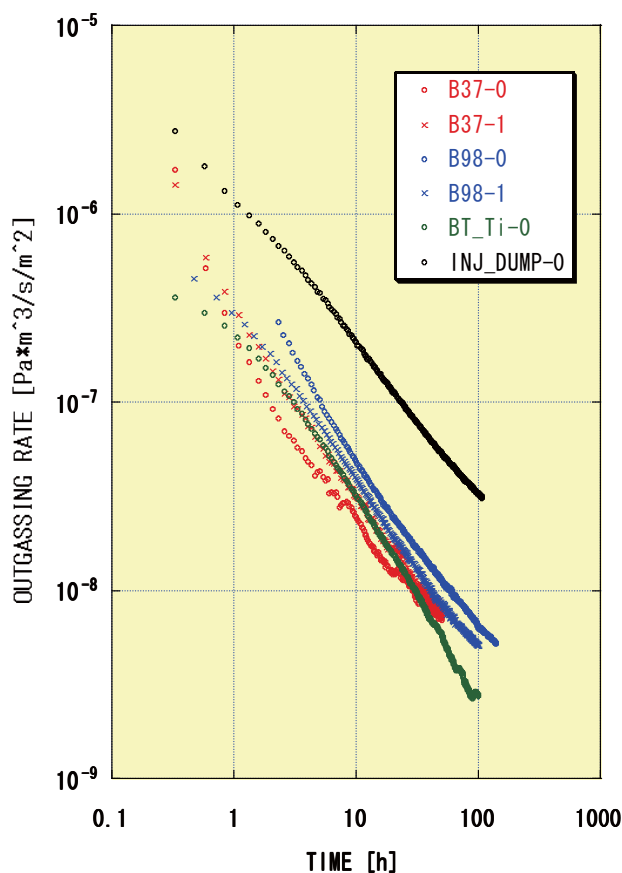


図3：各ダクトのガス放出率の排気時間依存

ては期待通りの結果が得られたといえる。

## 4. 結論

J-PARCのMRと3-50BTに設置したビームダクトについてガス放出率を測定した。ダクトの材質、形状により適用した表面処理法は異なるが、プリベーキングを実施したダクトのガス放出率は排気30-60時間後に目標の $1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ 以下に減じた。ばらつきは2倍程度である。プリベーキングを割愛したダクトでは5-10倍大きな値を示したが、いずれのダクトのガス放出率も未処理の場合よりも十分小さく、“枯れ”も順調に継続している。今回の測定により、MR及び3-50BTのビームダクトに選択、適用した表面処理法はいずれも要求された低減効果に有効であることが検証された。また同時に、チタンの優れた真空特性とプリベーキングが効果的であることが再認識された。

## 参考文献

- [1] 栗栖善揮、他 J. Vac. Soc. Jpn. Vol. 50 (2007) 42 [in Japanese]
- [2] 齊藤芳男、他 J. Vac. Soc. Jpn. Vol. 44 (2001) 481 [in Japanese]