

Outgassing measurement of J-PARC RCS ceramic ducts

Yoshihiro Satoh^{A)}, Michikazu Kinsho^{B)}, Zensaburo Kabeya^{C)}, Tomio Kubo^{A)}, Yoshio Saito^{A)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization

Tsukuba, Ibaraki 305-0801

^{B)} Japan Atomic Energy Agency

Tokai, Ibaraki 315-1195 Japan

^{C)} Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

Mihara, Hiroshima 729-0393 Japan

Abstract

In order to avoid the eddy-current effect due to a rapid-cycling magnetic field in the J-PARC proton synchrotron ring (348 m in circumference), several tens of ceramic chambers (3.5-m long and 500 mm in diameter, at their maximum) are to be installed. The 99.7% alumina ceramic ducts of sub-meter long, having a racetrack and a circular cross sections, were sintered and jointed by braze. A TiN film of 15 nm thick was formed inside the chambers for suppressing secondary electron emission, and electroformed copper stripes were plated outside for lowering the beam-impedance. Outgassing rates were measured for a few of the chambers by a conductance-modulation method.

J-PARC RCS セラミックチャンバのガス放出速度測定

1. はじめに

茨城県東海村で建設が進められている大強度陽子加速器 (J-PARC, Japan Proton Accelerator Research Complex) は、リニアック、3 GeV シンクロトロン (Rapid Cycling Synchrotron, RCS), 50 GeV シンクロトロン (Main Ring, MR) で構成されている。このうちの RCS は、加速の繰返し周波数 25 Hz で運転され、陽子ビームの軌道を制御するための偏向、四極、六極電磁石磁場もそれぞれ 25 Hz で変化する。これらの電磁石中に置かれる真空チャンバの材料として、変動磁場による渦電流の影響を避けるため絶縁体であるアルミナセラミックが採用された。RCS の真空チャンバは、周長 350 m のうちの約 200 m がこのセラミックチャンバで構成されている。

セラミックチャンバには高純度アルミナ材を用い、その内面には二次電子放出抑制のため TiN コーティングが施されている。また、大気側の外面には、厚さ 0.5~0.7 mm の銅が電鍍によりストライプ状に形成され、ビームに対して RF シールドの役目を果たしている。偏向電磁石用チャンバは、レーストラック形断面 (内径 188×246 mm) で長さは 3540 mm である。四極、六極電磁石用チャンバは円形断面 (内径は最小で 299, 最大で 379 mm) を持ち、長さは最小で 740, 最大で 1500 mm である。入射部では、さらに矩形断面 (内径 461×271 mm)、あるいはラケット形断面 (内径 500 mm) のチャンバも必要である。このような長尺、大口径のセラミックチャンバを精度よく一本のもので作ることは困難であるため、まず、長さ数 100 mm 程度のユニットダクトを製作し、ロウ付け接合により長尺チャンバとした。

これらのセラミックチャンバは、TiN のコーティング、ロウ付け、銅電鍍の形成などの工程を経て製

造されるため真空排気に与える影響の予測は立てにくい。今回、実際に使用されるセラミックチャンバの真空特性を確認するためにガス放出速度の測定をコンダクタンス変調法で行ったので報告する。

2. セラミックチャンバ

セラミックチャンバは、以下の工程により製作される^[1]。

- 1) 高純度アルミナ (99.7%) 素材を用いたユニットダクトの製作 (成型, 焼成, 研磨, 酸洗)。
 - 2) 残留応力および汚染を除去するためのアニール処理 (1300°C 大気中)。
 - 3) ロウ付け部や RF シールドの下地となるメタライズ処理 (1400°C 水素雰囲気)。
 - 4) メタライズ層を保護するためのニッケルめっき (電解液中), および純水洗浄。
 - 5) ダクト内面への TiN 薄膜 (膜厚 10~15 nm) の Hollow-Cathode-Discharge によるコーティング (300°C 真空中/Ar+N₂雰囲気)。
 - 6) ユニットダクトどうし, および Ti スリーブのロウ付け接合 (830°C 真空中)。
 - 7) Ti フランジの Ti スリーブへの溶接。
 - 8) 高純度無酸素銅 (厚さ 0.5~0.7 mm) の電鍍による RF シールドの形成 (26°C 電解液中)
- 各工程の終了後には、窒素置換した袋に封入し保管、搬送を行い表面の汚染防止に注意を払っている。

ニッケルめっき工程の際にダクトの内側も電解液にさらされるが、後の TiN コーティング処理、ロウ付け接合処理で高温での真空排気を経験する。また、RF シールドの形成工程でもチャンバは電解液中に浸漬されるが、封止フランジを取付けることにより

表1 セラミックダクトとユニットダクトの形状

チャンバ名	B	Q1	Q2-1	Q2-2	Q3	Q2-S
電磁石	偏向電磁石		四極電磁石			六極電磁石
数量	24	10	9	6	33	12
断面形状	レーストラック			円形		
外径 [mm]	長径: 261, 短径: 203	394	314	314	274	314
内径 [mm]	長径: 246, 短径: 188	379	299	299	259	299
フランジ間長さ [mm]	3540 (15° bend)	1500	1600	1000	1300	740
ユニットダクト長さ [mm]	783.4	680.3	729.3	430.3	579.5	600.3
ユニットダクト数	4	2	2	2	2	1

チャンバ内部への電解液の侵入を防いでいる。

RCSに用いる真空チャンバのそれぞれの形状と、チャンバを形成するユニットダクトの形状とを表1に示す。また、図1に、偏向電磁石用チャンバの完成した状態を示す。

加速器で使われる真空チャンバ製作の最終工程にはベーキング処理を行うことも多いが、今回製作したセラミックチャンバでは、150 °Cを越えると電鍍銅の結晶粒成長が起り始めるのでベーキング処理を行っていない。ベーキングが必要になった場合も100 °C程度の処理になる。

3. 測定と結果

ガス放出速度の測定は、コンダクタンス変調法を用いて行った。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放出速度を測る方法である^[2]。装置の概略を図2に示す。圧力の測定には、エクストラ真空計を用いた。

コンダクタンスは、円形の開口部と円板との位置関係からモンテカルロ法より求められ、Position Aでは0.04 m³/s(C1), Position Bでは0.2 m³/s

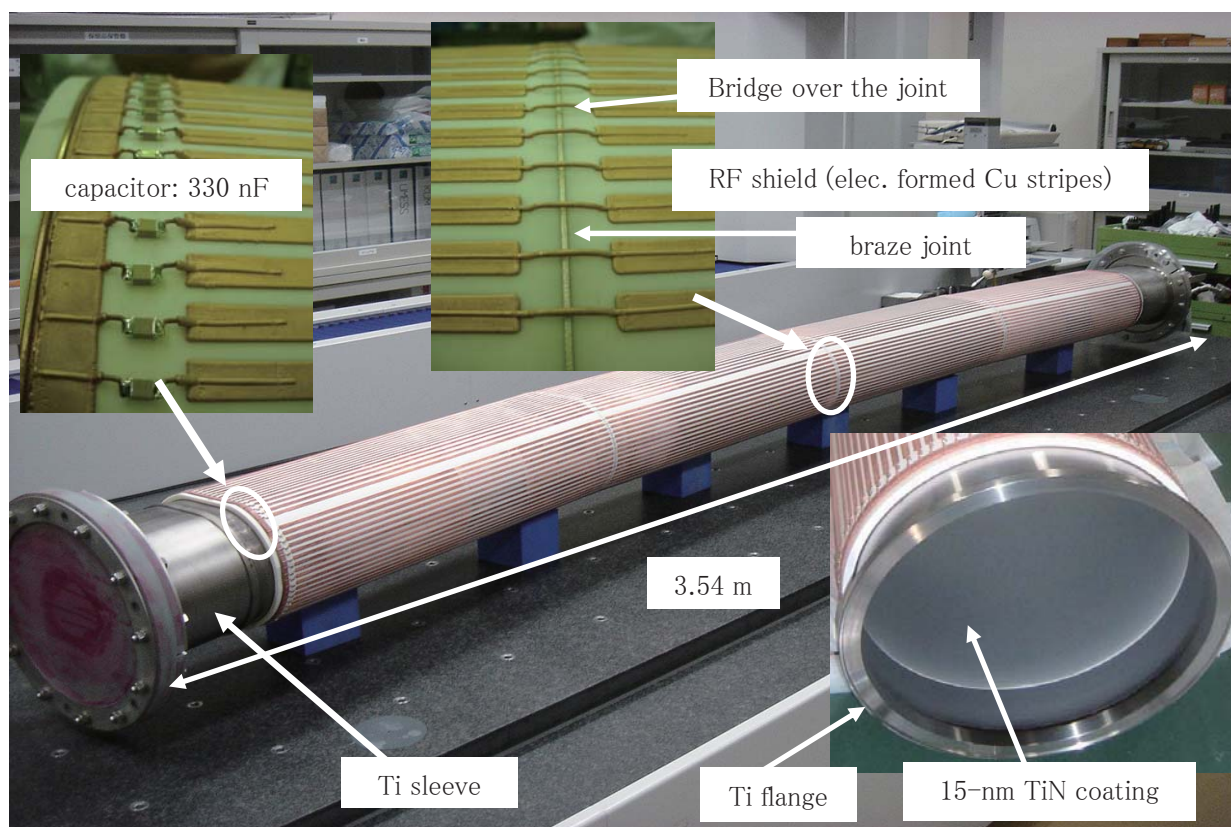


図1. 偏向電磁石用アルミナセラミックチャンバの構造

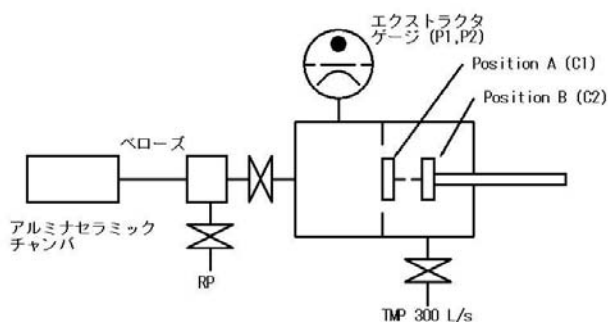


図 2. コンダクタンス変調法測定装置

(C2)である (20°C, 窒素換算). 排気には, ターボ分子ポンプ (300 L/s) を用いた. 装置とセラミックチャンバは, ベローズで接続した.

通常の排気は, Position Bで行っている. 自動制御により, 15分間隔で, Position B (P2a) → Position A (P1) → Position B (P2b)の順で圧力の測定を行い, ガス放出速度 Q は,

$$Q = \frac{p_1 - p_2}{\frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_2}} \quad (1)$$

で計算される.

なお, チャンバを取り付けた状態でガス放出速度の測定を行った後, チャンバを取り外した状態で測定を行い, この値をバックグラウンドとし, 差し引いた値を試料のガス放出速度としている.

ガス放出速度 (単位面積当り) の測定結果を図 3 に示す. いずれの場合も残留ガスの主成分は水であった. 偏向電磁石用チャンバ (B-11) については, 2回の排気を行いガス放出速度を比較した. 1回目は, 納入時の状態から大気開放直後の測定であり, 2回目は, 1回目測定終了後チャンバ内を窒素置換して一週間経過後に再度大気開放した直後の測定である. 50時間排気後のガス放出速度は, 1回目の 2.4×10^{-8} [Pa m³ s⁻¹ m⁻²] に対して, 2回目の排気ではやや減少して 1.6×10^{-8} [Pa m³ s⁻¹ m⁻²] となった. これは, 一度排気することで除去できるような水分子の吸着がチャンバ内に残っていたからと考えられる.

また, 四極電磁石用チャンバ (Q2-2-2) では, 納入後の最初の測定で, 50時間排気後のガス放出速度は, 1.1×10^{-8} [Pa m³ s⁻¹ m⁻²] となり, B-11の2回目より低い値となった. これは, 形状の違いからくる製作方法や取り扱いの差が, 製作後から納入までに吸着する水分子の吸着量に影響を与えているためと思われる.

ベーク後に一旦大気にさらしたステンレス鋼製ダクト (複合電界研磨処理を行ったもの) の50時間後のガス放出速度の 1×10^{-8} [Pa m³ s⁻¹ m⁻²] と比較して, 今回のセラミックチャンバはこれに近い低い値であった.

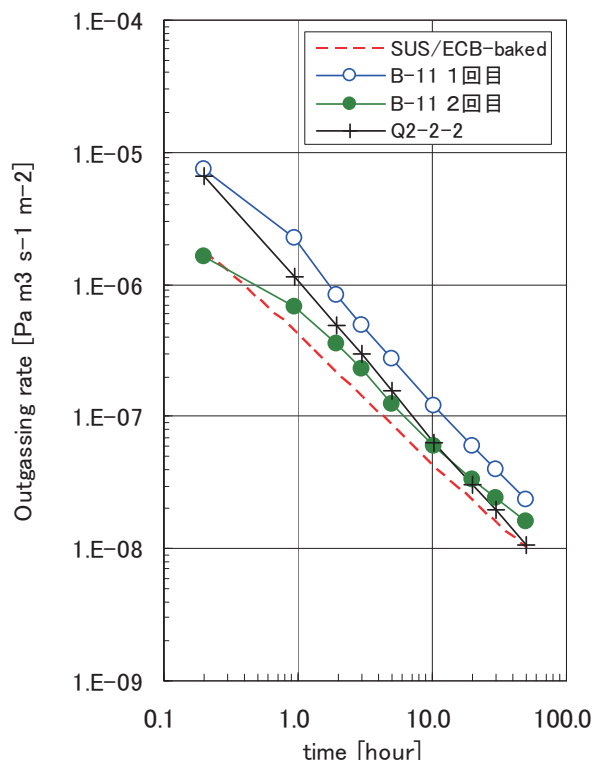


図 3. ガス放出速度測定結果

4. まとめ

RCSで実際に使われるセラミックチャンバのガス放出速度の測定を行った. 偏向電磁石用チャンバ, 四極電磁石用チャンバともに排気50時間後のガス放出速度は, 10^{-8} [Pa m³ s⁻¹ m⁻²] 台であることが確かめられた. アルミナセラミックは, 化学的に安定な素材であること, また, チャンバ製造のロウ付け工程で真空加熱を行っていることなどが, ガス放出が低い理由と考えられる. しかし, 1度真空排気を経験することによりガス放出速度が低減することから, 長尺・大口径のチャンバでは, 工程から工程への搬送や, 工程の環境の影響を受け易いと考えられる.

参考文献

- [1] 壁谷善三郎, 金正倫計, 齊藤芳男: 真空 49 (2006) 343.
- [2] 湊道夫, 伊藤好男: 真空 36 (1993) 175