J-PARC キッカ電磁石構成材料のガス放出低減処理*

神谷潤一郎^{*1}・荻原 徳男^{*1}・金正 倫計^{*1}・高柳 智弘^{*1}

Reduction of Outgas from the Components of the J-PARC Kicker Magnet

Junichiro KAMIYA^{*1}, Norio OGIWARA^{*1}, Michikazu KINSHO^{*1} and Tomohiro TAKAYANAGI^{*1}^{*1}Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai Research Establishment
2-4 Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195

(Received October 28, 2004, Accepted February 12, 2005)

The extraction kickers in Rapid Cycling Synchrotron (RCS) of Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) are installed in the vacuum chamber against electrical discharge. Therefore, outgas from the components have large effects on the vacuum system of the accelerator. We have succeeded in reducing the outgas from the components, which are made of ferrite core and aluminum alloy, by baking them before construction of the magnet. The ferrite cores were baked at 200 deg C in the vacuum about 300 hours, while the components made of aluminum alloy at 150 deg C about 70 hours. Main outgas from both materials was known to be water by mass spectroscopy, and the pressure after baking has been decreased by two or three order of magnitude. We also report the reduction method for outgas while the magnet is stored in.

1. 序

キッカ電磁石は大強度陽子加速器施設 (J-PARC) 3 GeV シンクロトロン加速器の出射ラインに設置され、加速されたビームをリング軌道からビーム輸送系へ蹴り出すという役割を担っている。キッカ電磁石の励磁には60 kVの高電圧を用いるため、放電対策として電磁石全体を真空容器中に設置する。そのため構成材料からのアウトガスは真空に大きな影響を及ぼす。これまでキッカ電磁石の鉄心材料であるフェライコアについては品種、およびベーキング処理についてガス放出速度の測定がなされてきた¹⁾。その結果、3 GeV シンクロトロンの出射用キッカ電磁石で用いるフェライトコア PE14 については380℃空气中加熱処理が有効であった。しかしながら実際にはこの処理を行ってもガス放出速度に非常にばらつきがあることがわかってきている。そのため我々は、質量分析計によりアウトガス成分をモニターしながら、真空中ベーキングを行うことが、アウトガス放出速度を低減する上で最も重要な処理であると考えた。

本論文において、上記処理によるフェライトコアのアウトガス放出速度の低減について報告する。また、キッカ電磁石の他の主構成材料であるアルミのガス放出低減処理条件も合わせて報告する。さらに電磁石保管中に表面に吸着するであろう水分等の処理方法についても述べる。

2. キッカ電磁石

キッカ電磁石の概念図を Fig. 1 の(a), (b)に示す。電磁石の鉄心形状はフェライトコアをC型に組み、向い合せた双子型である。コアはアルミ高圧電極板によって挟まれ、高圧電極板間にアルミ接地電極板が挿入される。Fig. 1 の(a)は左側の電極板は省略しているが実際には左右対称である。またC型の内側に電磁石のコイルとなるアルミ導体駒が挿

Fig. 1 Conceptual diagrams of the kicker magnet.

入される。電極板により静電容量、コイルによりインダクタンスが発生し分布定数回路の1セルを形成する。全20セルが1台のキッカ電磁石を形成する。電磁石1台のフェライ

* 平成16年10月28日 第45回真空に関する連合講演会で発表

^{*1} 日本原子力研究所 東海研究所 (〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4)

トコアの総表面積は約 5 m^2 、アルミは約 35 m^2 である。

3. ガス放出低減処理

3.1 フェライトコア

フェライトコアはTDK社製PE14を用いている。コアは成形、焼成、研磨加工後、12時間程度常温水中に浸漬し洗浄する。その後 400°C で12時間大気中ベーキングを行い、再び12時間浸漬し乾燥処理をした後、窒素置換包装し納入される。

しかし上記処理をしたコアのガス放出速度を測定すると大きくばらつきがあった。具体的にはキッカ電磁石1号機用から3号機用コアについて、真空引き開始から9時間の時点で 2×10^{-5} から $1.5 \times 10^{-4} \text{ Pa m/sec}$ と桁違いに異なっていた。そのため電磁石組立て前に、真空中ベーキングを行うことでアウトガスの低減処理を行った。アウトガス放出速度は 10^{-6} Pa m/sec 未満を目標値とした。フェライトコアからのアウトガス成分は、これまで定量的に測定がなされていなかったため、四極子形質量分析計を用いて質量分析を行いながらベーキングを行った。後述のようにアウトガス主成分は水であったためにベーキング処理温度は 200°C とした。

ベーキング処理は電磁石製作会社であるNEC/TOKINの処理炉で行った。処理炉は体積 0.83 l のSUS製容器を用い、排気系には排気速度 1300 l/s のターボ分子ポンプを用いた。ベーキングにはシリコンラバーヒーターを真空容器の外側から貼り、グラスウールで保温した。真空計はイオンゲージを使用した。実機1台分のコア120個を真空中ベーキング

した結果をFig. 2に示す。左上および左下のグラフはガス放出速度および真空炉内温度をそれぞれ示している。時間軸の原点はヒーターをONにした時間とした。右側の3つのグラフはガス放出速度のグラフ内A, B, Cの時点における、四極子形質量分析計による質量スペクトルである。質量分析の結果によりコアからのガスの主成分は水であることが分かった。処理前には水素の200倍以上あった水は、ベーキングにより水素と同程度まで減少した。本処理により、ガス放出速度は目標値以下の $4 \times 10^{-7} \text{ Pa m/sec}$ まで減らすことができた。ベーキング処理の終了点は、今回はヒーター通電より300時間であった。しかし前述のようにフェライトコアによりアウトガス放出速度にばらつきがあることから、ベーキングの終了点を時間で決めることはせず、Fig. 3のBのように水が水素と同程度まで減少するまでベーキングを行うこととした。

本処理後組立てまでの間、フェライトコアは真空包装して保管することにより、大気中水分等の付着を防ぐ。

3.2 アルミ

アルミ部材にはA5052を用いている。表面処理はピットフリー電解研磨を施している²⁾。ピットフリー電解研磨とは酸性電解液を振動羽によって対流させることで、反応ガスがアルミ表面につきピットを形成することを防ぐ処理である。本処理により厚さ 200 nm 程度の酸化膜が形成されることが報告されている。また参考文献²⁾よりピットフリー電解研磨したアルミについてもベーキング処理を行うことがアウトガスを低減する上で重要であることがわかる。そのため電解研

Fig. 2 Outgassing rate and mass spectrums of ferrite.

Fig. 3 Outgassing rate and mass spectrums of aluminum.

磨をしたアルミ部材は電磁石組立て前に真空中150°Cでベーキングを行った。真空中ベーキングの処理炉はフェライトコアを処理したのと同じものを使用した。結果を Fig. 3 に示す。グラフの示す内容は Fig. 2 と同様である。アルミ部材からのアウトガスも主成分は水であった。ベーキングによる効果は数10時間で現れ、ガス放出速度を 8×10^{-8} Pa m/sec に低減することができた。

アルミ部材からのガス成分においては、質量数 M/E が 40, 50番台が目立つのが特徴的である。本排気系はオイルフリーの系を用いたので、排気系の油等に基づくガス成分とは考えにくい。また別の高真空系でのアルミ部材サンプルの測定においても、これらの成分は検出された。このことから、アルミビットフリー電解研磨の過程で、表面層内部に閉じ込められた化合物が検出されたものと考えられる。これらの成分は、Fig. 3 からわかるように、ベーキングにより効果的に低減することができた。

ベーキング後のアルミ部材は電磁石組立てを行うまで真空容器内でアルゴン包装して保管する。

3.3 組立て後の処理

以上の処理により部材のガス放出低減を実現した。しかしながら電磁石組立ての際や、組立て後に磁場測定を行う際に大気にさらされるため、表面に水分が付着する恐れがある。このような水分が後のベーキングにより低減できるかの検証を行った。上記3.1項の処理をしたフェライトコアを4ヶ月間大気中保管し、アウトガス測定を行った。装置は体積31.3 l、内表面積0.62 m² の SUS チャンバー内を43.04 l/s のオリフィスで連結したものであり、スループット方式により計測

Fig. 4 Comparison of ferrite's outgassing rate just after baking with that of outgassing rate after four months storage.

を行う³⁾。結果を Fig. 4 に示す。実線黒丸は3.1項の処理をした直後のコア2個(表面積0.085 m²)の測定結果である。最終到達ガス放出速度は 8.6×10^{-7} Pa m/sec であり、Fig. 2 の処理炉での結果と桁数で一致している。点線白丸は4ヶ月

月間大気中保管したフェライトコアの測定結果である。大気にさらしたことにより、ガス放出速度が増えている。その後、資料を100℃で24時間ベーキングを行った。100℃でのベーキングにより大気保管前のガス放出速度と同程度まで改善する事ができた。実機では電磁石を入れる真空容器にベーキングヒーターを取付け、加速器トンネル内で随時ガス放出低減処理が可能な系を組む予定である。

4. ま と め

J-PARC 3 GeV シンクロトロン出射用キッカ電磁石構成材料からのアウトガスについて、ガス放出低減のための処理条件の決定を行った。主構成材料のフェライトコア及びアルミについて質量分析の結果からガスの主成分は水であること

がわかった。フェライトコアは200℃、アルミは150℃で真空ベーキングを行うことにより、ガス放出速度を低減することができた。組立後の表面への水分等の付着は真空中100℃ベーキングにより対処できることを示した。

〔文 献〕

- 1) 久保富夫, 佐藤吉博, 齋藤芳男, 村杉 茂, 中村英滋: 第10回加速器およびストレージリングにおける超高真空研究会 Mar 2004.
- 2) K. Tajiri, Y. Saito, Y. Yamanaka and Z. Kabeya: J. Vac. Sci. Technol., A 16(3), May/Jun 1998.
- 3) 荻原徳男, 道下恭典, 金正倫計: 第44回真空に関する連合講演会講演予稿集13P-12.