

# Fabrication of Kicker Magnet for 3GeV RCS in J-PARC

Kazuaki Suganuma<sup>#</sup>, Norio Ogiwara, Michikazu Kinsho  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirane, Shirakata, Tokai, Ibaraki, 319-1195

## Abstract

We'll give a presentation on making kicker magnet in J-PARC 3GeV RCS. When the earthquake on 11 March 2011, it worried that kicker magnet was broken by the earthquake. We started making reserve magnet in order to hold the lateness to a minimum. On making, we need the decrease of out gassing rate and do the treatment and the vacuum-firing. We'll also give a presentation on a means to keep the vacuum condition.

## J-PARC 3GeV RCS 用キッカーマグネットの製作

### 1. はじめに

J-PARC 3GeV RCS(Rapid Cycling Synchrotron)におけるキッカーシステムは、電圧 60kV、電流 3kA、パルス幅 1.2 $\mu$ 秒、繰返し 25Hz のパルス電磁石システムである<sup>[1]</sup>。181MeV から 3GeV に加速した陽子を物質・生命科学実験施設および 50GeV シンクロトロン加速器に蹴り出している。2011年3月11日に発生した東日本大震災の対応策として、キッカーシステムのうち、磁石部分であるキッカーマグネットの予備機の製作を開始した。製作にあたっては、真空中でのガス放出の低減を目指し、各材料の処理をおこなっている。また、保管方法についても見直しをおこない真空維持を考慮した予備機を目指した。

### 2. 主要材料と各材料の真空対応処理

表1にキッカー予備機の主要材料および各材料の処理を示す。また、図1にキッカーマグネット予備機の組立ての作業風景および主要材料の位置関係を示す。キッカー予備機は、真空に対応するための処理のひとつとして、すべての部材に真空熱処理を実施している。以下に各材料の真空に対応するための処理について述べる。

#### 2.1 アルミ材

アルミ材は、電極板に使用している。ピットフリー<sup>[2]</sup>の電界研磨を施した後、真空中で 150 $^{\circ}$ C、48時間の熱処理を実施する。

#### 2.2 SUS材

SUS材は、キッカーマグネットの上部フランジおよび底部板に使用している。既存のマグネットで使用した SUS304 から今回、SUS316L に変更している。予備機では、素材の段階から真空中での 850 $^{\circ}$ C、24時間の熱処理をおこない、その後、機械加工を実施、研磨後、真空中での 450 $^{\circ}$ C、48時間の熱処理を実施する。

#### 2.3 フェライト

フェライトは既存のマグネットおよび予備機ともに TDK 社製、PE14 を使用している。既存のキッカーマグネットでは、真空中にて 200 $^{\circ}$ C、300時間の熱処理を実施したが、今回製作のキッカー予備機用フェライトは、真空中にて 450 $^{\circ}$ C、48時間の熱処理に変更している。

#### 2.4 その他の材料

その他の材料として、銅およびセラミックが挙げられる。銅材は、給電のために使用している。研磨を施した後、真空中にて 450 $^{\circ}$ C、48時間の熱処理を実施する。セラミックは絶縁および電極の位置決めとして使用している。洗浄後、真空中にて 1100 $^{\circ}$ C、2時間の熱処理を実施する。

表1：キッカー予備機の  
主要材料と各材料の処理一覧

Material	Treatment
Al alloy (A5052)	Pit-free electrical polishing +150 $^{\circ}$ C 48h bake
SUS316L	450 $^{\circ}$ C 48h bake
Ferrite	450 $^{\circ}$ C 48h bake

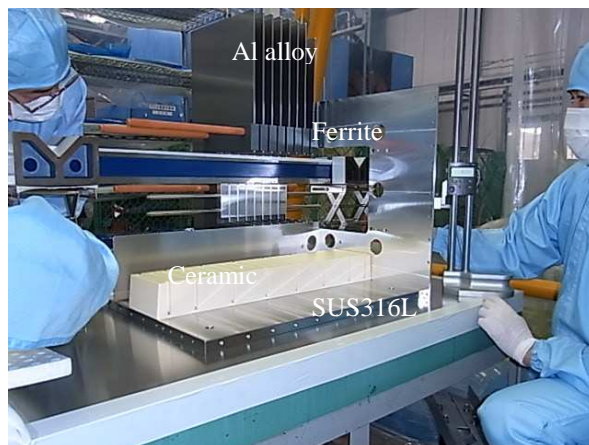


図1：キッカーマグネット予備機の  
組立て作業の様子

<sup>#</sup> suganuma.kazuaki@jaea.go.jp

### 3. 製作上の注意点

#### 3.1 フェライトの真空熱処理温度の見直し

既存のキッカーマグネット材料において、SUS304 およびアルミ材に比べ、フェライトの放出ガス量がおよそ2桁高い。予備機の製作にあたって、フェライトの真空熱処理の温度の見直しをおこなった。真空熱処理の温度を決定するにあたって、TDS(Thermal Desorption Spectroscopy)を実施した。その測定値から、真空中での熱処理を450℃、48時間とした<sup>[3]</sup>。図2に未熱処理のフェライトおよび450℃48時間の真空熱処理の、それぞれのフェライトのTDSの測定値を示す。熱処理の見直しによって、具体的な作業手順を以下のように改めた。アセトンで15分間の超音波洗浄を実施後、450℃、48時間の真空熱処理を実施、加熱炉内を高純度アルゴンガスでベント後、熱処理後のフェライトを一旦個別に真空パック保管し、組立て時に改めて開封している。図3にフェライトの真空熱処理の作業風景を示す。キッカー予備機1台あたりのフェライトの熱処理バッチ数は、3バッチ必要であった。加熱炉で一度に処理できるフェライトは、フェライトの重量で決まっている。

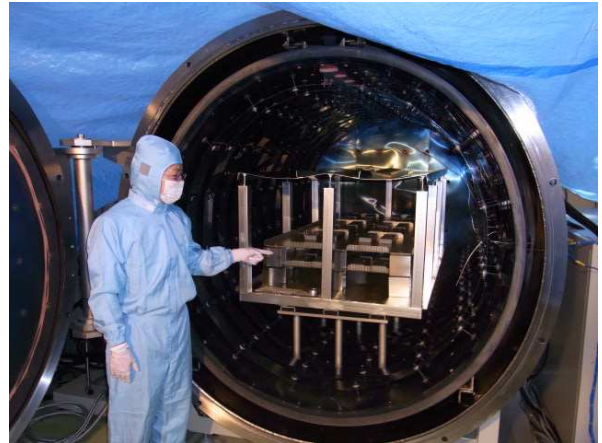


図3：フェライトの真空熱処理作業の様子

#### 3.2 フェライトの磁気特性確認

熱処理後のフェライトの磁気特性を調べた。図4にB-Hカーブおよび周波数と振幅透磁率の関係を示す。測定に使用したサンプルは、B-Hカーブ測定用は、外径φ11mm、内径φ19mm、厚み8mm、振幅透磁率測定用は、外径φ6mm、内径φ3mm、厚み2mmである。それぞれの測定において、450℃、48時間熱処理後の磁気特性に変化は見られなかった。

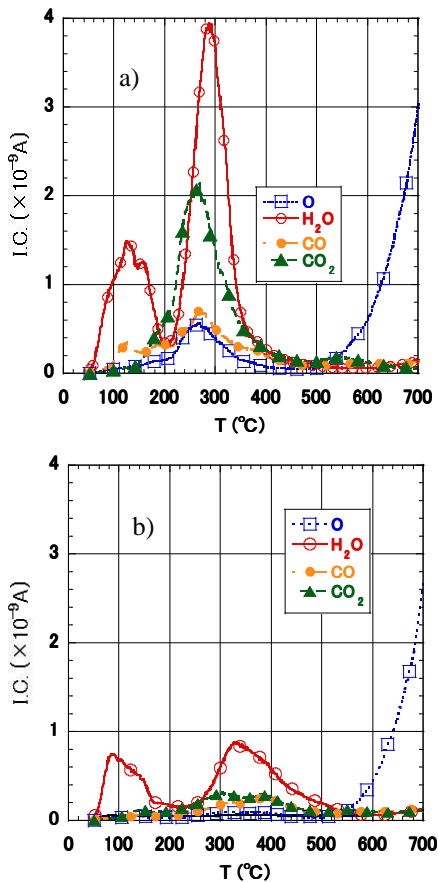


図2：フェライトPE14のTDS測定結果、a)真空熱処理なし、b)450℃48時間の真空熱処理実施+大気曝露

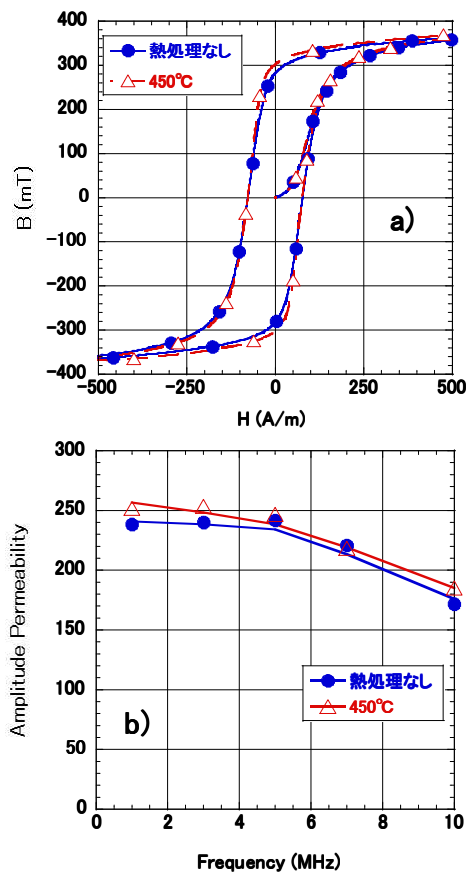


図4：熱処理前後の a) B-H カーブ、b) 周波数と振幅透磁率の関係

### 3.3 ベーキング機能付保管容器の整備

ベーキング機能付の保管容器を整備して、製品完成後（脱ガス後）のキッカーマグネットの真空の状態を維持管理することとした。脱ガス後に高純度アルゴンガス雰囲気での保管または、負圧状態での保管が可能となった。図5にベーキング機能付保管容器の外観写真および内部ヒーターの様子を示す。このベーキング機能付保管容器の特長は、マグネットを保管容器の内蔵物として保管した状態で150℃のベーキングが可能なことである。また、赤外線ランプと遮熱板を組み合わせ、マグネットのみの加熱が可能で、外表面にほとんど熱が伝わらない構造となっている。150℃ベーキングに必要な電力は、1kW程度に抑えられている。

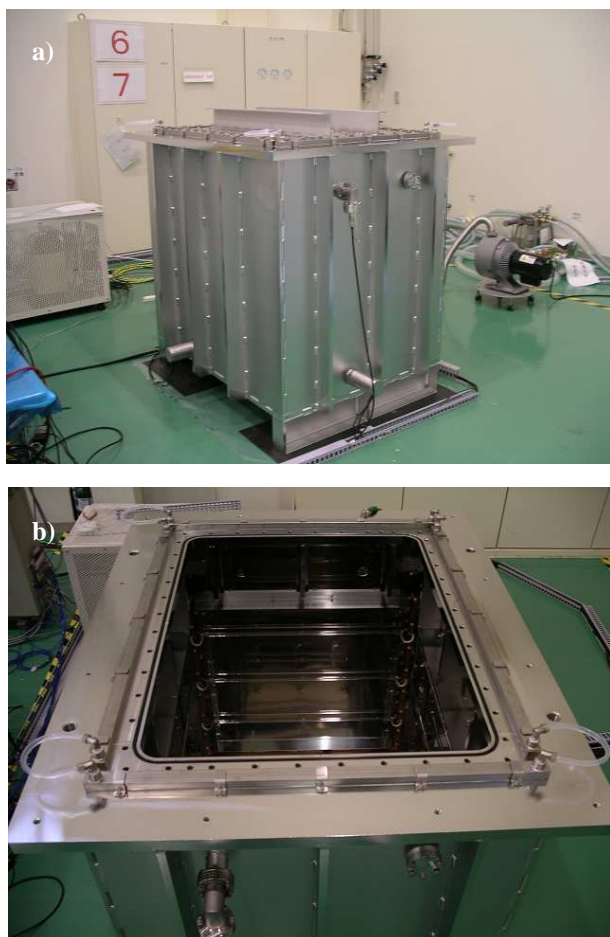


図5：ベーキング機能付保管容器、a)保管容器全体写真、b)内部のヒーター取付けの様子

### 3.4 真空熱処理過程でのセラミックの汚れ

セラミックの真空熱処理過程で、表面に汚れを発見した。図6にセラミックの汚れの様子を示す。製作開始当初の工程では、大気炉1200℃にて焼だし後、650℃、48時間の真空熱処理であった。650℃の熱処理後に汚れが現れたため、真空熱処理の温度を1100℃に上げたところ、汚れは無くなった。セ

ラミック表面の汚れは、セラミックから鉄分除去のために使用した洗浄液（フェリトール）が、その後の中性洗剤および水洗などによる洗浄が不十分だったためセラミック表面に残り、真空熱処理によってシミとして現れたと考えられる。

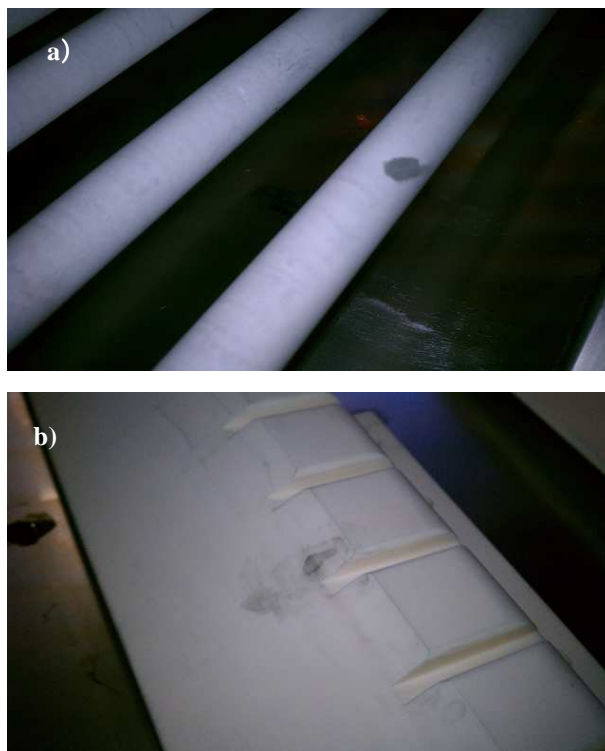


図6：セラミックに付着した汚れの様子、a)支持棒、b)電極固定板

## 4. まとめ

以下に本報告のまとめを記す。

- 震災後にキッカーマグネット予備機の製作を開始した。
- 予備機は放出ガス量の低減を目指し、すべての材料に真空熱処理を実施している。
- TDSの測定値をもとに、フェライトの真空熱処理温度を変更した。
- キッカー予備機は、現在製作を進めており、この夏に完成予定である。
- ベーキング機能付の保管容器を整備し、脱ガス後に高純度アルゴンガス雰囲気での保管または、負圧状態での保管が可能となった。キッカー予備機完成後の真空状態の維持管理が容易になると期待できる。

## 参考文献

- [1] J. Kamiya et al., Phys. Rev. ST-AB 12 (2009) 072401.
- [2] K. Tajiri et al., J. Vac. Sci. Technol. A 16 (1998) 1196.
- [3] N. Ogiwara et al., Proceedings of IPAC2012, New Orleans, Louisiana, USA.