

Development of J-PARC Ring RF Cavity

Masahiro Nomura^{1,A)}, Fumihiko Tamura^{A)}, Alexander Schnase^{A)}, Masanobu Yamamoto^{A)}, Katsushi Hasegawa^{A)},
Shozo Anami^{B)}, Eizi Ezura^{B)}, Keigo Hara^{B)}, Makoto Toda^{B)}, Chihiro Ohomori^{B)},
Akira Takagi^{B)}, Masahito Yoshii^{B)}

^{A)} Centre for Proton Accelerator Facility, Japan Atomic Energy Research Institute
2-4 Shirakata-Shirane, tokai, Ibaraki, 319-1195, Japan

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

Abstract

We have been developing J-PARC Ring RF Cavities. 300 hours high power tests were performed four times and some cores had damaged. From those high power test results, we find low ribbon resistance is related to such kind of damage. We improve the ribbon resistance by changing the vertical winding process to horizontal one. Now we start 1000 hours high power test with this new type cores.

J-PARC シンクロトロンRF空洞の開発

1. はじめに

J-PARCシンクロトロンRF空洞の加速空洞は、6個の水タンクからなり、各水タンクには3枚の金属磁性体コアが装填されている。冷却方式は水による直接冷却方式を採用し、加速ギャップは3カ所である。図1に加速空洞の写真を示す。この加速空洞の特長は、高い加速電圧(45kV/Cavity)を達成する為に金属磁性体コアを採用している点である。このような高加速電圧の条件で金属磁性体コアを用いた例は無い為、300時間の連続通電試験等を行い金属磁性体コアの開発を進めている。今回の発表ではRCS用の非切断コアの長期通電試験の結果について述べる。MR用の切断コアの切断技術の開発については他の発表^[1,2]を参照されたい。



図1 加速空洞全体図

2. 金属磁性体コアの製造

金属磁性体コアの製造に関しては層間絶縁の改善が大きな課題であった。そこで、これを改善する為に、縦型による製造方法から横型による製造方法に変更し、コアを巻く時の張力の制御をより細かく行える様にした。更に、コアを製造するリボン自体の層間絶縁に関する品質管理も行うようにした。これらの結果、初期に比べ層間絶縁が大幅に改善されたコアを安定して製造できるようになってきた。また、防錆コーティングに関しては、初期のコアは表面付近を覆う高い粘性のエポキシ系樹脂の防錆コーティングのみであったが、防錆コーティングの剥がれを防ぐ、変形に対する強度を高める、コア内部に空気を残さない等の改善を行う為、途中から低粘度のエポキシ系樹脂をコア内部に含浸する工程を加えた。この様に、コア製造に関しては性能を向上させる為に数回製造過程の変更を行った。コアの製造履歴をまとめたものを図2に示す。

3. 連続通電試験

3.1 試験概略

連続通電試験としては、300時間試験と1000時間試験の2種類の試験を考えている。300時間試験の目的は、コアの選別であり製造した全コアについて行う。この試験では特に、層間絶縁が良くない図2に示したタイプDのコアについての試験を重要視している。1000時間試験は、300時間試験の結果や後で述べるインダクタンスを付加したインピーダンス

¹ E-mail:nomura.mashiro@jaea.go.jp

製造方法	時期	SN	レコード面のシリカ	含浸・防錆	タイプ
縦型コア巻機 リボン1条巻き 張力：強い	2003 ~ 2005.10	NGT04-001 ~ NGT05-165 165	有り 158, 161-165: 無し	001-054 低粘度樹脂無し 056- 低粘度樹脂有り + 防錆コーティング	D
横型コア巻機 リボン2条巻き 張力：強い	2005.10 ~ 2005.12	NGT05-166 ~ NGT05-186 21	166-170, 173,176,178: 有り 他は無し	低粘度樹脂有り + 防錆コーティング	C
横型コア巻機 リボン2条巻き 張力：弱い	2005.12 ~ 2006.3	NGT05-187 1	無し	低粘度樹脂有り + 防錆コーティング	B
横型コア巻機 リボン2条巻き 張力：弱い + 使用リボンの 抵抗値管理 (80%)	2006.3~	NGT06-188 ~ 06-204 17	無し	低粘度樹脂有り + 防錆コーティング 製作進行中	A

赤字：枚数

図2 コアの製造履歴

の測定結果等により実用に耐えると判断したコアを用いて信頼性を高めるのが主な目的である。

試験条件は、定格運転時にかかる最大電圧を引加し、デューティを調整しコアでの消費電力を定格運転時のそれと同様にしている。また、この連続通電試験は月曜朝から金曜夕方まで連続して行い、その前後でインピーダンスの測定を行いコアの健全性の確認を行っている。

現在までに既に、300時間の試験を4回行い、現在1000時間を行っている最中である。

3.2 2回目までの試験結果

2回目の試験を終えた段階で、コア5枚に損傷が起こった。損傷の一例を図3に写真で示す。

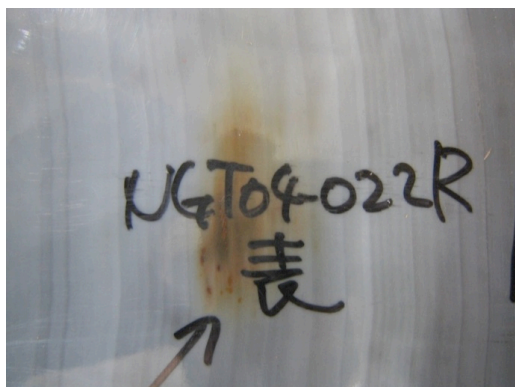


図3 コア損傷部。

2回目の試験が終了した段階で、損傷コアを装填した水タンクのインピーダンスを調べている時に、以下に示す重要な関係に気がついた。それは、2回目の試験では3枚のコアに損傷が起きたが、それらのコアを装填していた水タンクの通電前のインピーダンスを調べてみると、損傷の起きたコアを装填していた水タンクのインピーダンスが他の損傷が起きていないコアを装填した水タンクのインピーダンスと比較して低いことが分かった。コアの水タンクへの装填は、各水タンクのインピーダンスが均等になる様に予め、各コア単体のインピーダンスをLCRメータを用いてOne-Loopで測定し、その結果を基にシャッフリングしたにも関わらずである。この現象を調べる為に、次に述べるインダクタンスを付加した測定を行った。

インダクタンスを付加したインピーダンスの測定

コア単体とコア3枚を装填した水タンクでのインピーダンスの測定の違いは、後者の場合はコア1枚のインピーダンスと比較すると、その値が一桁以上大きい為に測定には現れない水タンクの内胴体と外胴体との間のインピーダンス、具体的にはコアの層間抵抗の影響が出ると考えられる。そこで、この考えを確かめる為に図4に示す様なインダクタンスを付加したインピーダンスの測定を行い、DCで測定した層間抵抗値との相関を調べてみた。結果を図5に示す。図5を見ると明らかに相関が見られ、DCで測定された層間絶縁の悪さはRFでも影響しているこ

とが分かる。

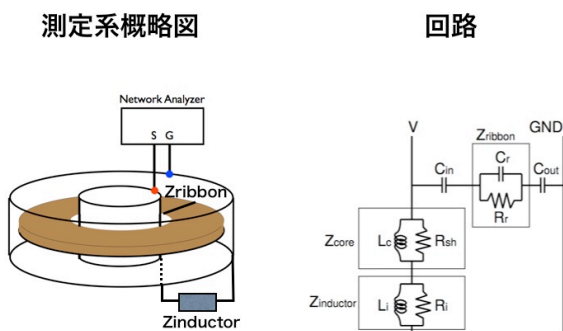


図4 インダクタンスを付加した測定

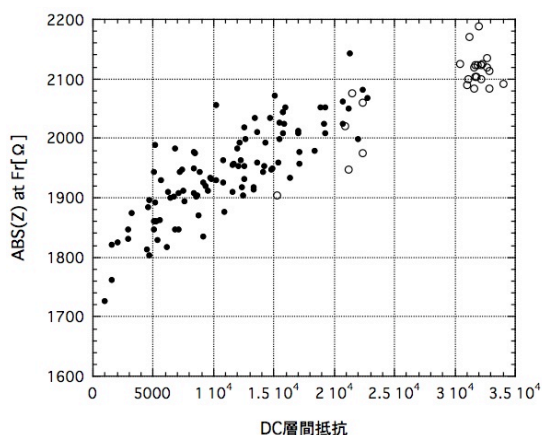


図5 インダクタンスを付加して測定したインピーダンスとDCによる層間抵抗値との関係。縦軸はインダクタンスを付加して測定したインピーダンスを表し、横軸は、コア内周と外周の層間抵抗値を示す。

つまり、損傷の起きたタンクの通電前のインピーダンスが低いと言うことは、層間絶縁の良くないコアが含まれていたことを意味している。そして、損傷したコアの防錆コーティングを剥がし、層間抵抗の測定を行った結果、損傷箇所と層間抵抗値の低い位置が対応していた。

考察

損傷の原因としては、半径方向に強い電場のかかる加速ギャップ側で損傷が起きていることから考えて、電場が影響していると考えられる。また、DCで測定した層間抵抗値とインダクタンスを付加して測定したRFで見たインピーダンスとに相関が有り、層間抵抗値の低い位置で損傷が起きていることを考え合わせると、コアのリボン間でのレアショート部分の発熱と推測される。

3.3 3回目以降の試験結果

インダクタンスを付加したインピーダンスの測定結果を基に、3回目以降の300時間連続通電試験では、2回目の試験で損傷の起きたコアよりも高いインピーダンスのコア、つまり、より層間絶縁のしっかりしたコアを加速ギャップ側に配置した。その結果、3回目の試験では2回目の試験と比較して、通電前後でのインピーダンスの低下を低く抑えることができ、損傷の程度もコア自体の損傷は抑えることができ、防錆コーティングの変色程度、変色部分の大きさは1mm程度まで小さく抑えることができた。

4. 今後

現在これらの試験結果を受け、より層間絶縁の高いコア、図2に示したタイプAのコアを加速ギャップ側に配しての1000時間の長期通電試験を開始した。タイプAのコアが実用に耐えられるかを確かめることは非常に重要である。また、前回の試験で防錆コーティングが変色したコアもこの試験で引き続き使用しており、変色の部分が大きな損傷に発展するかどうかを調べるのも重要なことである。

謝辞

長期間の通電試験は、J-PARC加速器グループ全員の協力無くしては行えませんでした。忙しい最中、実験シフトに協力して下さいました全員に感謝いたします。

参考文献

[1] Katsushi Hasegawa. "Diamond polished cut cores for the J-PARC MA RF cavities", Proceedings of the 31th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, August 2-4, 2006
[2] Masahiro Nomura. "Development of cutting technique of Magnetic alloys core", Proceedings of the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tosu, July 20-22, 2005