

Diamond polished cut cores for the J-PARC MA RF cavities

Katsushi Hasegawa¹, Masahiro Nomura¹, Alexander Schnase¹, Fumihiko Tamura¹, Masanobu Yamamoto¹,
Masahito Yoshii², Chihiro Ohmori², Keigo Hara², Makoto Toda², Akira Takagi², Shozo Anami²,
Eizi Ezura², Kenji Ueno², Yoshisato Funahashi²

¹JAEA, Shirakata shirane2-4, Tokai-mura, Ibaraki, Japan 319-1195

²KEK, Oho1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki, Japan 305-0801

Abstract

Magnetic alloy cut cores that allow the adjustment of the Q-value, are used for high voltage operation in the J-PARC MR RF cavities. We introduced the new scheme "Diamond Polishing" for reduction of the cut core surface roughness. In this report, we describe the status of diamond polishing of cut core surfaces and the result of long term high power tests using these diamond polished cut cores.

J-PARC RF 空洞用金属磁性体カットコアのダイヤモンド研磨

1. はじめに

J-PARC RF 空洞では、高電圧運転のため従来のフェライト磁性体コアから金属磁性体 (MA) コアの空洞を採用している。また、空洞の Q 値を自由に調整する手法としてカットコアの技術を用いている [1]。

コアのカット法としてこれまでは、高圧力水を用いた Water Jet(WJ) 法、砥石を用いた切断法を行ってきた。しかし、WJ 法では切断面の粗さや切断面の層間短絡が原因で RF を印可したときにギャップ近傍に局所的な発熱が観測された。また、砥石切断では、切断面の表面処理にエッチング工程が含まれるために、そこに残留する酸が表面酸化の問題になっていた [2, 3]。

そこで、新しい手法として導入したのが、細かなダイヤモンド粉末を用いた研磨法である。この手法の利点は、製造過程でオイルや酸を用いないため残留物によるリスクがないことである。この手法は、WJ で切断した切断面を研磨する手法であるが、MA コアの層間絶縁の善し悪しは、研磨量と仕上げ面の状態に困っている。本報告では、ダイヤモンド研磨を行ったコアについての製作について述べる。また、このコアを用いた 1000 時間印可テストを行ったのでその結果についても述べる。

2. これまでに行ったコアのカット法での問題点

まず始めにこれまでで行ってきたコアのカット法である WJ 法、砥石切断とエッチングについて簡単に問題点をまとめる。

2.1 Water Jet 法

コアをカットする最初の工程として高圧力水を用いた WJ 法を用いている。WJ 法は、コアの数 mm を切断し表面の平坦度は 0.5-1.0mm 程度である。この状態で、RF を印可するとギャップ近傍で層間短絡に起因すると考えられる局所的な温度上昇が観測された。よって、カット面の平坦度を改善する別な方法が必要となる。

2.2 砥石切断とエッチング

WJ 法での層間短絡を改善する方法として、砥石で切断し、エッチングする方法を 2005 年から試みた。この方法における平坦度は、およそカット面で 0.2mm 程度である。このコアを用いて RF 印可テストを行うと WJ 法の際に起こった局所的な温度上昇は観測されなかった。この方法におけるカット面の顕微鏡写真を図 1 に示す。MA リボン (広い幅の部分) とシリカ (狭い幅の部分) がよく分離できていることが見て取れ、層間絶縁が改善されている。

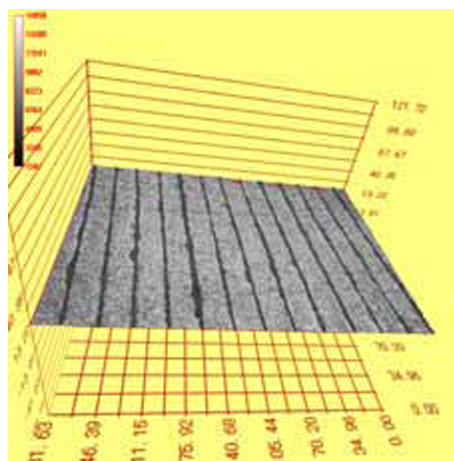


図 1: 砥石切断とエッチングを行った表面の顕微鏡写真。MA リボン (広い幅の部分) とシリカ (狭い幅の部分) がよく分離できていることが分かる。

しかし、エッチングの際使用する酸が MA コアの内部に入り込み残留することで表面酸化を引き起こす事が問題となっている。コアには防錆用のコーティングがされているためエッチング後の加熱で酸を乾燥させようとしても層間内部に入り込んでいるため完全な除去はできない。

3. カット面のダイヤモンド研磨

これまで行ったテストの結果から、コアのカット面には層間絶縁が保たれる平坦度と表面を酸化しないような扱いが求められる。そこで、WJ法で切断した表面平坦度を改善する新しい方法としてダイヤモンド研磨を試みた。この方法の利点は、表面を研磨する過程で油や酸を用いないため残留物によるリスクがない事である。

3.1 研磨装置とカットコア

コアの研磨は、木更津の(株)春川鉄鋼で行った。図2に研磨装置と設置されたカットコアを示す。

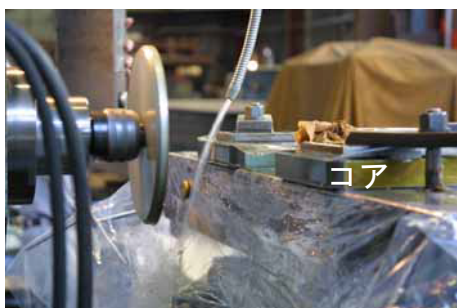


図2: カットコアを研磨装置に設置した状態。

今回試験に用いたコアは、最初カット面にエポキシ含浸をしない状態で研磨を行った。これは1枚目は研磨できたが、2枚目で研磨面に傷がつきこれ以降も同じ状態になることが予想されたため、これ以降はエポキシ含浸を行うこととした。また、現在はWJ法の後に研磨を行っているが、先に述べたようにWJ法での表面平坦度が0.5-1.0mm程度と粗いため、最終的なダイヤモンド研磨で目的とする平坦度(～数百 μm)まで研磨を行うのは工程が多くなる。よって、WJ法の後に機械切削もしくは砥石切断を行うことで研磨工程を少なくすることを検討している。

3.2 ダイヤモンド研磨後の状態

図3は、ダイヤモンド研磨を行ったあとの顕微鏡写真を示している。MAリボン(厚さ18 μm)とリボンの間がよく分離しており、RFを印可したとき発熱がなかった砥石とエッチング法での表面状態(図1)と比較しても遜色ない表面状態であることが分かる。

次に、ダイヤモンド研磨したコアを気中でRFを印可し、温度変化を観測した。図4と図5は、ダイヤモンド研磨したコアの温度変化を示している。また比較の為、砥石切断とエッチングを行ったときのコアの温度変化の状況を図6に示す。それぞれ白丸内がギャップ間である。図4と図6では、局所的な温度変化が観測されずギャップ間が温度変化からは分からない。しかし、ダイヤモンド研磨を行ったコアのなかで図5のように局所的な温度上昇によりギャップ間が判別できるコアもあった。今回研磨を行った6枚のカットコアの内、2枚では温度上昇が観測されず、3枚では局所的な温度上昇がわずかに観測され

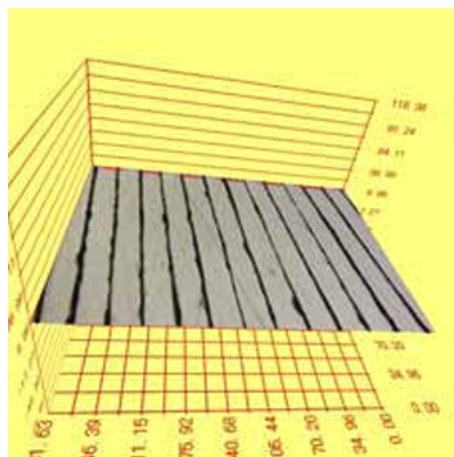


図3: ダイヤモンド研磨を行ったあとの顕微鏡写真。層間がよく分離しており、砥石とエッチング法での表面状態(図1)と比較しても遜色ない表面状態である。

た。残る一枚では、明らかに研磨不十分であることが見て取れ、発熱も大きかった。

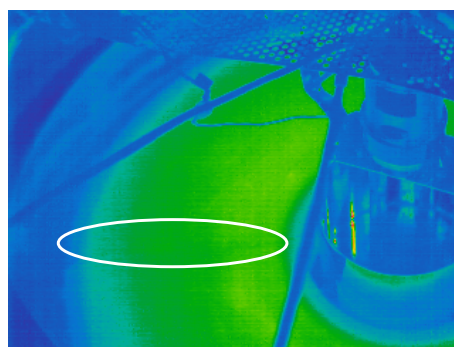


図4: ダイヤモンド研磨後、気中でRFを印可したときのコアの温度変化の様子。白丸内がギャップを示している。局所的な温度変化は見られない。

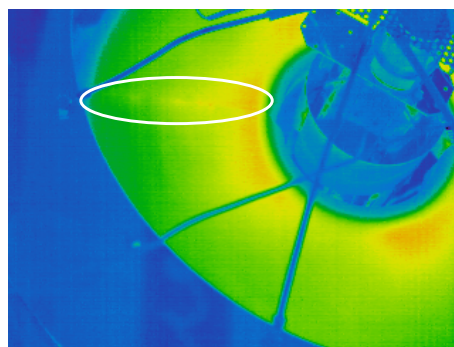


図5: ダイヤモンド研磨後、気中でRFを印可したときのコアの温度変化の様子。白丸内がギャップを示している。局所的な温度上昇でギャップ間が分かる。

これらの発熱が観察されたコアについては、再度研磨することで温度上昇が改善するかを試みた。再

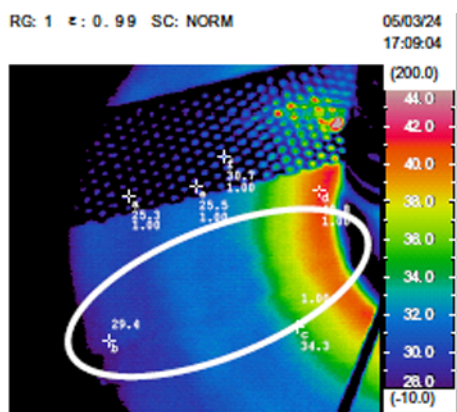


図 6: 砥石切断及びエッチングを行ったコアに気中で RF を印可した時の温度変化の様子。白丸内がギャップを示している。局所的な温度変化は見られない。

研磨の結果、局所的な温度上昇が観測されなくなり改善されたコア (図 7) がある一方、未だ発熱したコアがあったことから最終的な研磨の条件出しが必要である。条件出しの一つとして、顕微鏡で表面状態を観測しながら研磨することを現在試みている。

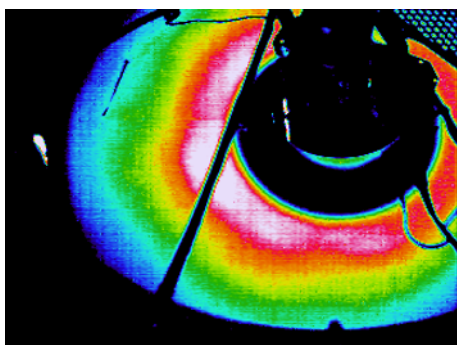


図 7: 再研磨したコアの気中での RF 印可による温度変化。コアの左側にある黒い縦線の下側がギャップの位置を示している。極端な発熱箇所は観察されず改善されている。

4. 1000 時間電圧印可試験

次に、カット面のダイヤモンド研磨を行い局所的な発熱のなかったコアを空胴に設置し高電圧の印可実験を行った。空胴は、約 300 時間ごとに解体し目視によるコアの観察を行い、合計で 1000 時間まで行った。図 8 は、約 600 時間強印可後のコアのカット面を示している。真ん中のスペーサーが当たっている場所以外の面が多少さびて変色しているが、コアに大きな変化は見られない。

図 9 は、1000 時間印可試験の結果である。横軸に時間、左縦軸に空胴電圧、右縦軸に駆動段電圧、また 40GeV と 50GeV の時に必要とされる電圧レベルを示している。空胴電圧の変化は、ドライブ電圧の変化に比例しているため空胴自体のインピーダンスの変化はないと考えられる。

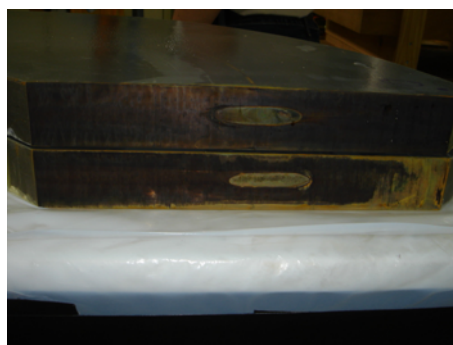


図 8: 約 600 時間強印可後のコアのカット面。真ん中のスペーサー以外の面が多少さびて変色している以外はコアに大きな変化は見られない。

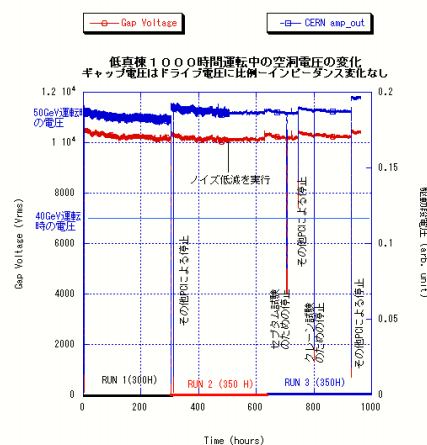


図 9: 1000 時間電圧試験の結果。横軸に時間、左縦軸に空胴電圧、右縦軸に駆動段電圧、また 40GeV と 50GeV の時に必要とされる電圧レベルを示している。空胴電圧の変化は、ドライブ電圧の変化に比例しているため空胴自体のインピーダンスの変化はないと考えられる。

5. まとめ

MA コアのカット面をダイヤモンド研磨する事で表面状態の改善を試みている。研磨の結果、平坦度は問題ないと考えられる。しかし、RF を印可することで発熱するコアも見られたことから最終的な研磨の条件出しを現在進めている。ダイヤモンド研磨され発熱しなかったコアについては、1000 時間の印可試験で空胴のインピーダンス変化がない事を確認した。

参考文献

- [1] C.Ohmori, et al., "High field gradient cavity for JAERI-KEK joint project", Proc. of EPAC2002, p.257-p.261
- [2] M.Nomura, et al. "Development of cutting technique of Magnetic alloys core", Proc. of the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, p.540-p.542
- [3] C.Ohmori, et al., "New cutting scheme of magnetic alloy cores for J-PARC synchrotrons", Proc. of EPAC2006