

金属磁性体コア (FT3L) を用いた RF 空洞の開発 (2015) DEVELOPMENT OF THE RF CAVITY WITH FT3L MA CORES (2015)

長谷川 豪志 *^{A)}、大森 千広 ^{A)}、戸田 信 ^{A)}、原 圭吾 ^{A)}、吉井 正人 ^{A)}
野村 昌弘 ^{B)}、山本 昌亘 ^{B)}、島田 太平 ^{B)}、田村 文彦 ^{B)}

Katsushi Hasegawa*^{A)}, Chihiro Omori^{A)}, Makoto Toda^{A)}, Keigo Hara^{A)}, Masahito Yoshii^{A)}
Masahiro Nomura^{B)}, Masanobu Yamamoto^{B)}, Taihei Shimada^{B)}, Fumihiko Tamura^{B)}

^{A)}High Energy Accelerator Reserch Organization, KEK

^{B)}Japan Atomic Energy Agency, JAEA

Abstract

In the J-PARC MR, the upgrade scenario by increasing the repetition rate is in progress and this scenario requires 560kV acceleration voltage. It is the two times higher acceleration voltage for the RF cavities. For this reason, all RF cavities are going to be replaced to the new designed cavity, which is using FT3L cores with an impedance characteristic higher than the conventional FT3M core. The development and mass production of FT3L core and design of the new cavity have progressed. Last summer, we installed the first new cavity using FT3L cores of mass production in MR and it was used in operation by this June. From this operation, we can get some infomations, which are small decrease in the resonance frequency and data of anode power supply when the beam power has increased. We report the current status and future plans of the new cavity replacement plan.

1. はじめに

J-PARC ではビーム増強計画が進められており、リニアックでは 2013 年夏に入射エネルギーを 180MeV から 400MeV まで増強した。また RCS でもビーム調整が進められており、設計値である 1MW 相当の粒子数を加速する事に成功している [1]。MR でも入射ビームの増強と繰り返しを 0.4Hz から 1Hz まで早くする事で 750kW 達成を計画している。これは RF 加速電圧として現状の 2 倍の 560kV が必要となる。

MR では 1 台当たり 3 つの加速ギャップを持つ RF 空洞を 9 台インストールし、基本波もしくは 2 倍高調波空洞として運用していた。RF グループでは高インピーダンスコア (FT3L) を用いた 5 ギャップ RF 空洞 7 台と 4 ギャップ RF 空洞 2 台の新しい RF 空洞を設計し、置き換える事で必要な加速電圧をまかなう計画とした。この計画に沿って大型 FT3L コアの製作試験を行い、2012 年夏からは現状空洞に 2 タンク 6 枚分をインストールして長期の運転試験も行ってきた。これらの結果を基に、2013 年からはメーカーによる FT3L コアの増産や空洞本体の設計も開始し、2014 年夏には先行して 1 台の 5 ギャップ RF 空洞をインストールする事を本学会で報告した [2]。以下に、現在までの進捗状況を述べる。

2. RF 空洞の増強計画

RF 空洞の増強は、2014 年夏から 3 年間の予定で順次 5 ギャップ RF 空洞もしくは 4 ギャップ RF 空洞への置き換えを計画している。

2.1 FT3L RF 空洞のインストール計画

図 1 は、2014 年から 3 年間の RF 空洞入れ替え計画を示している。四角内の数字が空洞当たりの加速ギャップ数を示しており、3 ギャップ RF 空洞が FT3M コアを

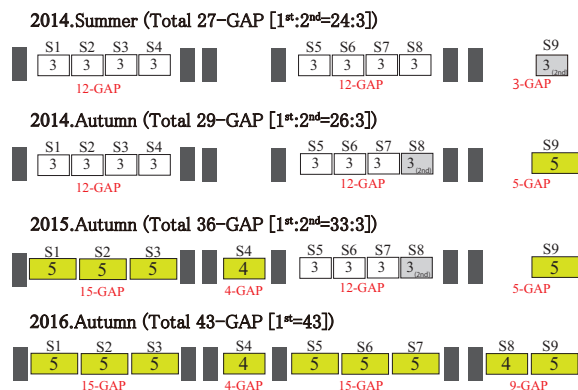


Figure 1: The replacement plan of cavities.

用いた RF 空洞、5(4) ギャップ空洞が FT3L コアを用いた RF 空洞を示している。

2014 年夏に 5 ギャップ RF 空洞 (9 号機) を先行してインストールし、運転実績を重ねてきた。今夏の当初インストール予定では、4 号機から 8 号機の 5 台 (5GAP-3 台、4GAP-2 台) をインストール予定であったが、FT3L カットコアの製作工程等の関係から 1 号機から 4 号機の 4 台 (5GAP-3 台、4GAP-1 台) に変更した。新型の空洞はすべて基本波で使用し、残っている FT3M 空洞を基本波もしくは 2 倍高調波空洞とバックアップ空洞として使用する。来年の夏には、すべての空洞が新空洞に置き換わり、すべて基本波での使用を予定している。2 倍高調波用空洞については、別途開発が進められている [3]。

2.2 FT3L コア及び新型空洞の製作状況

FT3L コアの量産は、予定していた 280 枚全てが終了している。このうち、240 枚についてカットコア製作が進められ、7 月 31 日現在で 224 枚まで終了している。残り 16 枚も 9 月中旬には終了予定である。また、残り

*katsushi.hasegawa@kek.jp



Figure 2: New RF Cavity.

40枚のカットコア製作も今年度中に行う予定である。新型空胴9台については、昨年度末までに9台全てが納品された。図2は、納品された新型空胴8台で、手前側6台が5ギャップ空胴、奥側2台が4ギャップ空胴である。一台は昨年夏MRトンネル内にインストール済みである。

3. 新型空胴の運転状況

昨年夏、最初の1台について空胴の組み立て確認と量産コアの健全性確認のため通電試験をHENDEL棟で実施した後、トンネル内に設置して約9ヶ月間運転に使用してきた。通電試験結果とインストール後の連続通電で分かってきた事について述べる。

3.1 通電試験での不具合とその対策

昨年HENDEL棟で行った最初の通電試験では、コア間に冷却水を流すための流路確保用EPDM製舟形コマを使用していて接触している部分で融着やコーティングの変色、一部のコアでは焦げとコーティングの浮きも見られた。そのため、以下の対策を行い、健全性の試験を行った。

- 舟形コマの材質、形状変更
EPDM(10mm巾)からFRP(8mm巾+C0.5)にする事でコア表面での接触面積の減少および密着防止。
- 舟形コマの配置場所変更
カットコアは、カット面の内(外)周部分でC面を3cm程とっているため発熱が小さい。よって、コマの位置をすべてこの部分に移動する。
- ギャップ側配置コアへの冷却強化
ギャップ側コアとギャップ絶縁板の距離を3mmから4mmに変更。冷却水バッファータンク出口のスリット巾変更(-5mm)またはスリット板取り外し。
- 全体の冷却水強化
試験通電のギャップ数を3つまで減らすことで全体流量を確保。
- FT3M空胴のデザイン踏襲
スリット形状、舟形コマ配置、材質等。

追試試験では、これらの対策を組み合わせた4種類、FT3M空胴型、対策無しのタンク1個を含めて6タンク(3ギャップ)で2014年8月3日~9月3日の日程で約360時間の通電試験を行った。

通電試験後の目視検査では、変更無し及びFT3M空胴型のタンク内コアでは変わらずコーティングの変色や浮きが見られたが、対策を組み合わせた4種類では異常は見られなかった。よって改良として以下の変更を行った。

1. 冷却の強化
冷却水用スリット板の取り外し
2. 舟形コマの変更
材質と形状:FRP(8mm巾+C0.5)、位置:内(外)周部の発熱が小さい位置、厚み:ギャップ側のみ4mm。

図3は、改良後のタンク内(ギャップ側)である。FRP板にある白いけがき線が改良前のEPDM舟形コマの位置であり、FRP舟形コマは内(外)周部に配置されている。

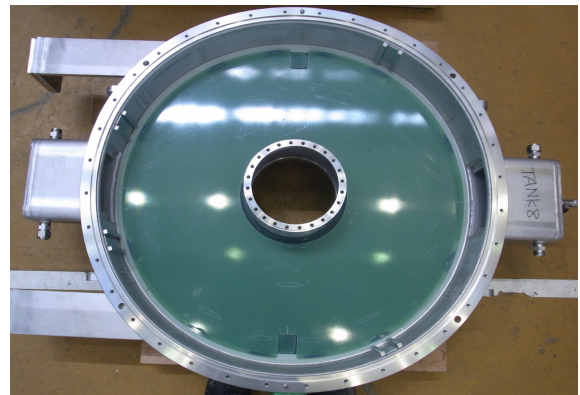


Figure 3: The inside of the tank.

3.2 連続通電

昨年10月から5ギャップ空胴1台を先行してインストールし、運転に使用してきた。図4は、今年7月までのインピーダンスと周波数の変化を表している。インストール直後の11月前後に、2度ほど周波数調整を

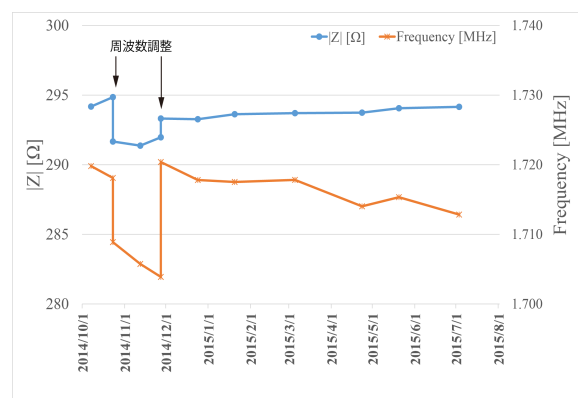


Figure 4: Trend of cavity impedance and frequency (Cav#9L).

行っている。12月以降では、これまでの他の空洞と同様にインピーダンスはほぼ一定で安定に推移している。しかし、共振周波数は徐々に低下してきており7ヶ月間で約5KHz程低下していた。インピーダンスの低下が見られないことからコアの損傷等の深刻な問題はないと考えているが、原因は現在調査中である。

4. 空洞周波数変化への対策

4.1 過去の測定データとの比較

MRのRF空洞では、2009年後半からコアのカット面が錆びつき、損傷してインピーダンスが低下する問題があった^[4]。図5は錆問題が表面化する以前の空洞4台の1年間の周波数変化を、図6はそれ以降の錆対策を施したコアを使用している空洞#2の2010年11月～現在までの周波数変化を示している。錆対策以前のコアを使用している2009年は、周波数が安定して推移している。しかし、対策後のコアを使用した空洞#2では今回と同じく最初の1年間で約5kHz程低下していた。さらに低下幅は小さくなりながら約3年にわたって徐々に低下していたが、周波数調整後の直近1年間では安定している。

錆対策前後の違いは、対策前がカットコア間に10mm厚のFRPコマを挟んで固定しているのに対し、対策後はカット面全てを弾力性のあるRTVシリコンゴム数mmとFRP板で覆い固定している事である。コアの外周は

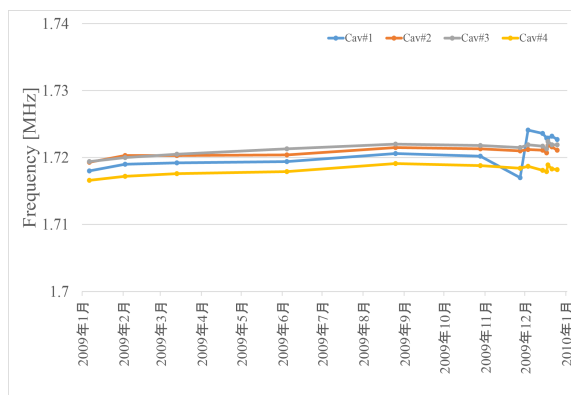


Figure 5: Trend of cavity frequency (Cav#1~#4).

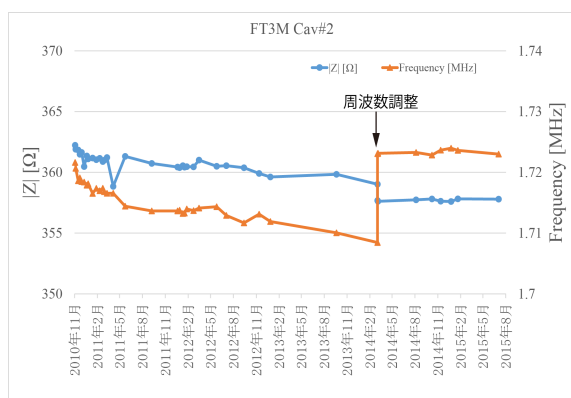


Figure 6: Trend of cavity impedance and frequency (Cav#2).

SUSバンドで固定している事から、運転中の熱負荷などでカット面に力がかかりRTV部分がつぶされカットコア間距離が狭くなっているのではないかと考えている。

4.2 対策

対策として、定期的なインピーダンス測定時に必要なら真空コンデンサの入れ替えで共振周波数を再調整する事を考えている。その際、コンデンサ容量の調整量としては50pF以下であるため、使用しているコンデンサの組み合わせでは難しい場合も考えられる。そこで、調整用として可変容量真空コンデンサの導入も検討しているが、信頼性の問題もあり積極的に導入するかは検討中である。

また、極力RTVの弾力性部分を排除する事も考えた。図7は、今回インストールするコアのカット面である。中心部に0.5mm厚のFRP板を置き周りにRTVを配置した後、1mm厚のFRP板を貼り付けている。更にQ値調整で間にFRP板を挟むが、中心部分は弾力性のないFRP板であるためコア間距離は一定に保つことができると考えている。

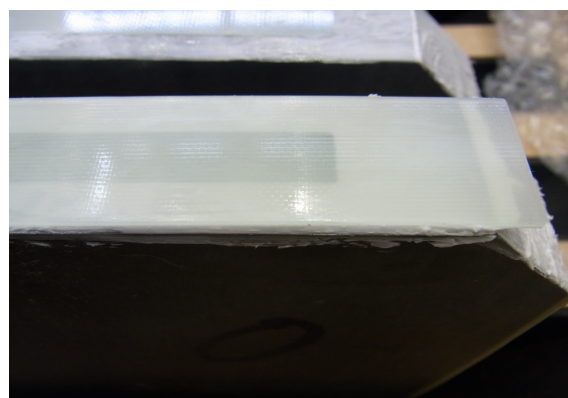


Figure 7: Configuration of cot core surface.

5. 今後の予定

インストール予定の空洞4台はすでに組み立てが終了している。8月18日から新型空洞4台を順次MRトンネル内に移動し、据え付け、アライメントを開始する。その後、水配管、ケーブル繋ぎ込み、周波数調整などを行い、9月中旬には通電試験を行う予定である。10月の運転再開以降インピーダンス測定を現状より短い期間で行い、FRP板貼り付けによる周波数変化対策に効果があったのかの検証も行う予定である。

参考文献

- [1] H.Hotchi, Proc. of IPAC 2015, TUBB3(2015).
- [2] K.Hasegawa, et al. 第11回加速器学会年会プロシーディングス, pp. 621(2014).
- [3] C.Ohomori, et al. "AIR-COOLED MAGNETIC ALLOY CAVITY FOR J-PARC DOUBLED REP.-RATE SCENARIO", Proceedings of the 5th International Particle Accelerator Conference IPAC '14, Dresden, Germany, Jun. 15-20, 2014.
- [4] K.Hasegawa, et al. 第9回加速器学会年会プロシーディングス, pp. 1192(2012).