

## A DUMMY BEAM PIPE WITH IMPROVED GAP CONNECTIONS FOR A HIGH POWER TEST CAVITY FOR J-PARC RCS MA CORES

Taihei Shimada <sup>#,A)</sup>, Masanobu Yamamoto<sup>A)</sup>, Masahiro Nomura<sup>A)</sup>, Alexander Schnase<sup>A)</sup>, Fumihiko Tamura<sup>A)</sup>, Keigo Hara<sup>A)</sup>, Katsushi Hasegawa<sup>A)</sup>, Chihiro Ohmori<sup>A)</sup>, Makoto Toda<sup>A)</sup>, Hiromitsu Suzuki<sup>B)</sup> and Masahito Yoshii<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> J-PARC Center, KEK and JAEA, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, JAPAN

<sup>B)</sup> IFMIF, JAEA, Rokkasho-mura, Kamikita-gun, Aomori-ken, 039-3212, JAPAN

### Abstract

The beam pipes in J-PARC RCS have a quite large aperture (247 mm) in order to handle a high power proton beam of 1 MW with acceptable loss. The beam pipe diameter is larger than that of accelerators with lower intensity for comparable energy range. When we disassemble and later reassemble the test cavity in between the high power test runs for the MA cores, it is quite hard work to take out, and reinstall the beam pipe. Therefore, instead of using an original beam pipe, risking that it becomes unusable for accelerator operation due to scratches or discharges, we developed a light weight dummy beam pipe and dedicated copper connection parts for the acceleration gaps, which are easy to take apart and to assemble. This dummy beam pipe assembly can operate at high power conditions. The gap is 68 mm, and the maximum voltage is 15 kV at a frequency up to about 2 MHz. Accordingly, the copper parts, which are used to connect the acceleration gaps to the cavity tanks for the installed cavity systems were redesigned, so that the time required for assembly or disassembly is reduced. This is especially important, as the cavities in the accelerator tunnel are in a high radiation environment caused by high power RCS operation.

## J-PARC RCS 用 MA コアのハイパワー試験用ダミービームパイプの製作及び高周波電力導入用銅部品の改良

### 1. はじめに

J-PARC 3 GeV 陽子シンクロトロン(RCS, Rapid Cycling Synchrotron)は、ビーム出力 1 MW を達成する為にビーム損失を許容限界以下にする必要があるため、他の低出力陽子シンクロトロンと比べてビームパイプが大口径である。例えば、KEK-PS のビームパイプの内径が約 160 mm である<sup>[1]</sup>のに対し、RCS の RF 部では 247 mm である。口径が大きくなると機器の取り回しが困難になり、作業性が悪化する。また、大強度加速器では、ビーム出力の増強によって機器が放射化する可能性があり、ビームラインに近接しての作業が制限されることが懸念される。本研究では、金属磁性体(MA, Magnetic Alloy)コアのテストベンチでのハイパワー試験やトンネル内での高周波加速空洞に関する作業を効率化・時間短縮するために必要な二つの改善及び改良を行った。

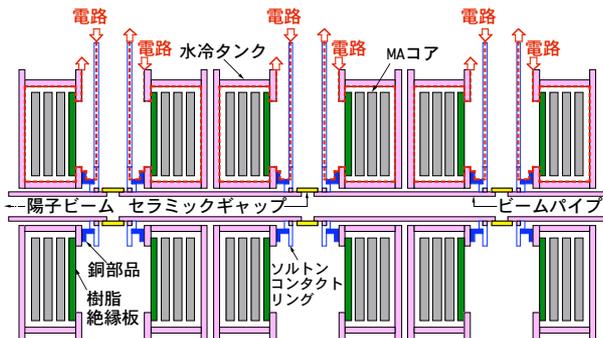


図 1 : 高周波加速空洞模式図(縦断面図)<sup>[2]</sup>

### 2. ダミービームパイプ

コアの健全性を事前に確認する為に、全てのコア(216 枚+α)に対してテストベンチで実機用の加速空洞を使用したハイパワー試験を行っている。試験の途中及び試験終了後にコアを取り出して特性を計測する。空洞は図 1 に示す様な構造なので、コアの装荷や取り出しの度にビームパイプを脱着しなければならない。これは図 2 に示す様なクレーンを使用した作業で、セラミック部が破損するリスクがある。また、ハイパワー試験では、しばしば放電が起き、ビームパイプが破損する可能性もある。



図 2 : 実機ビームパイプの差し込み引き抜き作業

# shimada.taihei@jaea.go.jp

そこで、ビームパイプの着脱を簡単に行う為に、さらに、高価な実機用ビームパイプを温存する為に、軽量かつ安価なダミービームパイプを設計製作した。表 1 に設計パラメータ及び図 3 に外形図を示す。

表 1 : ビームパイプ設計パラメータ

	実機	ダミー
全長	1950 mm	1950 mm
内直径	247 mm	130 mm
真空仕様	有	無
ギャップ長	30 mm	68 mm
ギャップ部絶縁体	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Ceramics	FRP G-10
絶縁体固定法	溶接	ねじ止め
質量	約 60 kg	約 20 kg
パイプ材質	SUS316L	アルミ合金
ギャップ電圧	15 kV	15 kV
高周波周波数	1~2 MHz	1~2 MHz

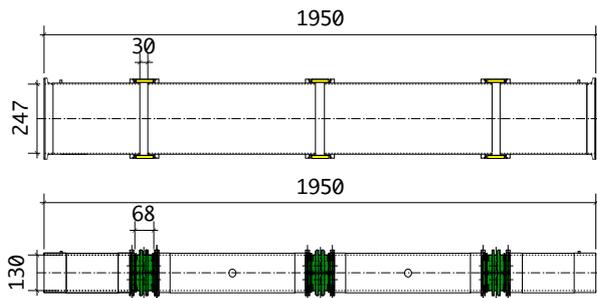


図 3 : 実機ビームパイプとダミービームパイプ

パイプの直径は、J-PARC Main Ring(MR)用のソルトンコンタクトリングを流用する為に 130 mm と決定した。この空洞はパイプ内を真空にしなくてもパワーを投入できるので、ダミービームパイプでは真空仕様を外した。実機ビームパイプのギャップ部は、図 4 に示す様に電極間からセラミックを離れた構造であるが、ダミービームパイプでは、図 5 に示す様に電極間に G-10 のブロックを挿入した構造とした。ギャップ長は、実機では 30 mm であるが、ダミービームパイプでは 68 mm とした。その理由は、電極間の電場勾配の高い部分に G-10 が挿入されている構造で、さらに G-10 の誘電損失はアルミナより 5 倍大きく発熱が懸念されたので、電場勾配を緩和する為に、可能な限りギャップ長を大きくした。

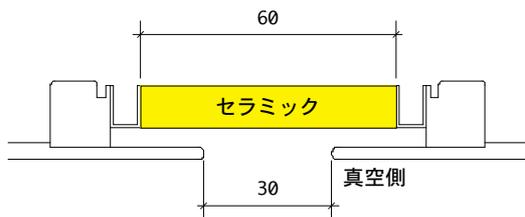


図 4 : 実機ビームパイプの加速ギャップ部

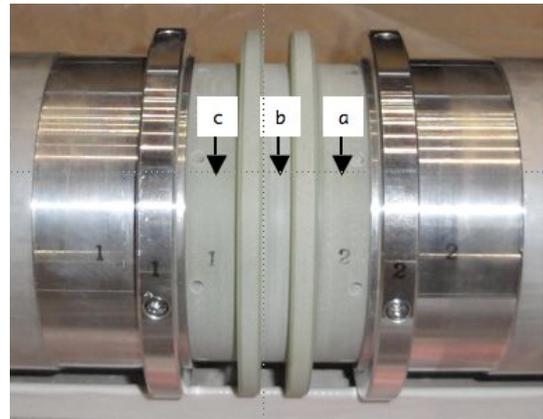
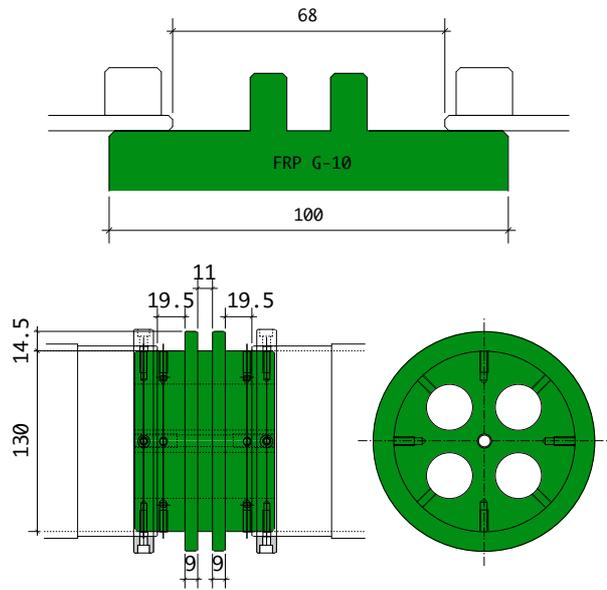
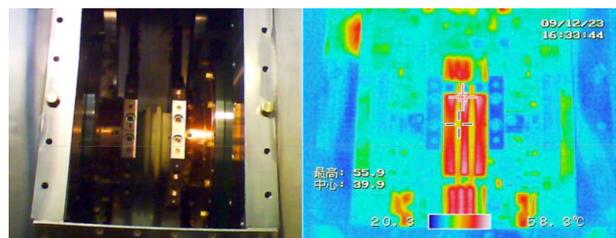


図 5 : ダミービームパイプの加速ギャップ部

これらの設計の結果、ダミービームパイプは、実機ビームパイプと比べ、質量で約 3 分の 1、コスト比で約 10 分の 1 となった。

懸念されていた G-10 部の温度上昇のサーモグラフによる測定結果の一例を図 6 に示す。高周波印加中、G-10 が発熱していることがわかる。周波数約 1.6 MHz, 1 sec ON, 2 sec OFF の繰り返しという典型的な運転パターンにおける G-10 の温度上昇を熱平衡に達するまで測定した結果、図 5 の a, b, c の各点において、最大温度上昇はそれぞれ、34 °C, 38 °C, 34 °C 程度と実用上問題ないことが確認された。

このようにしてダミービームパイプを実用化した。



可視光画像

赤外線画像

図 6 : 高周波印加中の G-10 の表面温度分布

### 3 銅部品

銅部品は、図 1 に示す様に高周波電流を水冷タンク内筒に流す回路となっている部品である。周波数 1~2 MHz、電流数十アンペアに対し、厚さ 2 mm の銅板で作られている。空胴の解体・組立やコアの座屈探査<sup>[1]</sup>の為に、しばしば、銅部品やソルトンコンタクトリングの脱着を行う。取り外し手順は、銅部品を水冷タンクに固定している 16 個の M8 の六角ボルトを外し、次に銅部品をソルトンコンタクトリングに固定している 22 個の M5 のなべねじを外し、ソルトンコンタクトリングを二分して取り外す。取り付け手順はその逆である。図 7 に示す様にビームパイプ直近の狭いところでの作業であり、特に取り付けは時間のかかる煩雑な作業である。加速器出力の向上に伴う残留放射能からビームパイプ直近での作業時間が制限された場合、問題となる作業である。

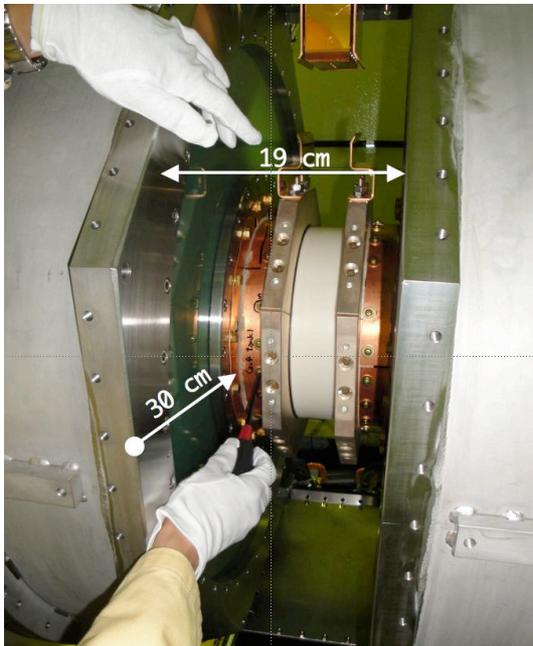


図 7 : 銅部品着脱作業の様子

当初の銅部品は、図 8 の様にソルトンコンタクトリングの分割面をまたいで四分割されていたので、組み立ての際、分割面を跨がない銅部品をコンタクトリングに取り付けておき、この状態でビームパイプにはめ込み、それから分割面を跨ぐ残りの銅部品を取り付けていた。狭い空間で、銅部品を小さななべねじで締結するのは、極めて困難な作業であった。

そこで、図 9 の様なソルトンコンタクトリングの分割面に合わせて二分割にした銅部品を新たに設計し製作した。この方式では、分割されたソルトンコンタクトリングに銅部品をあらかじめ取り付けておけるので、銅部品と水冷タンクの間での締結に専念でき、作業性は大幅に向上し、作業時間は半減した。

二分割型は四分割型と比べ銅部品の剛性が高くなり、電氣的密着が確保されないのではないかと懸念された。サーモグラフを使用して、定格運転中の温度を測定したが、異常な発熱は見られなかった。



図 8 : 四分割型銅部品



図 9 : 二分割型銅部品

### 4. まとめ

実機用ビームパイプのかわりに、人が持てるほど軽いダミービームパイプを設計製作し、コアのハイパワー試験で使用した。その結果、ビームパイプの脱着の作業効率が上がり、さらに、高価な実機用のビームパイプを温存することを可能にした。

二分割型の銅部品を設計製作し、四分割型の銅部品と交換した結果、組み立ての作業性が大幅に改善し、作業時間を半減できた。RCS の大強度化によって将来起こる可能性のある RF 部の放射化に対し、作業時間を短縮しておくことは重要である。今後、MR の銅部品も二分割型に交換する予定である。

### 参考文献

- [1] 亀井亨等, "40 GeV 陽子シンクロトロンの高周波加速空胴(設計と実験)", SJC-A-69-4, JUN. 1969.
- [2] High-intensity Proton Accelerator Project Team, "ACCELERATOR TECHNICAL DESIGN REPORT FOR HIGH-INTENSITY PROTON ACCELERATOR FACILITY PROJECT, J-PARC", JAERI-Tech 2003-044.
- [3] A. Schnase, et al., "Core buckling position measurement for J-PARC RCS cavity", Particle Accelerator Society Meeting 2009 Proceedings, p. 1077, 2009.