

[P7-32]

FABRICATION OF 600MHz 5-CELL SUPERCONDUCTING CAVITY AT JAERI

O. Takeda[†], N. Ouchi, N. Akaoka, J. Kusano, M. Mizumoto,
K. Saito*, H. Inoue*, J. Shibuya**, K. Ohara** and T. Ota**

Japan Atomic Energy Research Institute
2-4 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan

* High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801, Japan

** Toshiba Corporation
2-4 Suehiro-cho, Tsurumi-ku, Yokohama, 230-0045, Japan

Abstract

A development of superconducting (SC) cavity has been carried out for a high intensity proton accelerator at JAERI. A design work of cavity shape, fabrication and measurements of single-cell cavities and fabrication of $\beta=0.5$ 5-cell cavity were made in collaboration with KEK already. The paper describes the fabrication of $\beta=0.886$ 5-cell SC cavity

原研における 600MHz 5 連超伝導キャビティの製作

1. はじめに

原研では、中性子科学研究計画¹⁾用大強度陽子加速器の高エネルギー部に使用する予定の超伝導加速空洞の開発を行っている。これまでに(1) $\beta=0.5$ 単セル空洞の試作・試験、(2) $\beta=0.886$ 単セル空洞の試作・試験、(3) $\beta=0.5$ 5セル空洞の試作、(4)5セル空洞用プリチューニング装置の製作を行ってきた²⁾³⁾⁴⁾。今回、 $\beta=0.886$ 5セル空洞を試作したので報告する。

2. 設計形状

製作した 5 セル空洞のセル形状を図 1 に、SUPERFISH を用いた解析で得られた主な高周波特性を表 1 にそれぞれ示す。 $\beta=0.886$ 単セル空洞の試作に使用したのと同じプレス型を使うことを前提としたので、基本的なセル形状は単セル空洞と同一となっている。ただし、軸上の最大加速電界強度を一定とするために、両端のセルの赤道部直線長を他の 3 個のセルよりも 2.3[mm]短い 2.7[mm]としている(ハーフセル)。SUPERFISH での解析によれば、電界強度のばらつきは 2%以内となる。各セルの直径は 445[mm]、両端のセルに接続するビームパイプの長さはフランジ端面まで 200[mm]で、空洞の全長は 1497.8[mm]である。

3. 空洞製作

空洞はこれまでと同様に、高純度ニオブ板を 500 トンプレス機の深絞り加工でハーフセルに成形し、電子ビーム溶接でセル赤道部、ビームパイプ、フランジを溶接して所定の形状に仕上げた。

使用したニオブ板は東京電解製で、RRR > 200、厚さは 3[mm]である。

表 1 主な高周波特性(解析値)

共振周波数, [MHz]	600.0
カップリング	0.019
R/Q, [Ω]	443
Γ , [Ω]	235
Ep/Eacc	2.0
Hp/Eacc, [Oe/[MV/m]]	47.4

3.1 プレス加工

単セルの製作では、プレス機による深絞り加工の際に型と材料が噛んでしまい材料を取り外しにくくなるということがあったので、今回これを防止するためにプレス型の改造を行った。改造点は以下の 3 点である。(1)メス型の、材料が流入する肩の部分の R を 15[mm]から 30[mm]へ大きくする。(2)オス型とメス型の間のクリアランスを 0.3[mm]広げる。(3)材料の滑りをよくするために材料との当たり面にクロム鍍金を施す。これらの改造の結果、材料と型が噛んでしまうことはなくなりスムーズに作業は終了した。ただクリ

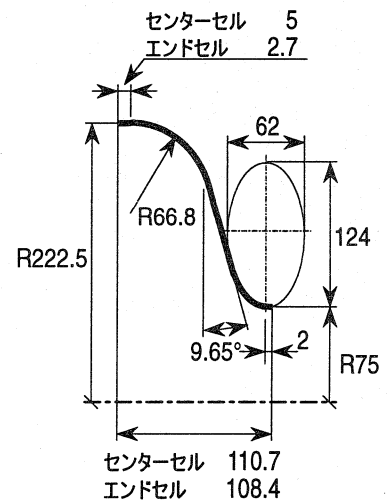


図 1 セル内面形状
エンドセルが両端のセル

[†] 外来研究員, (株)東芝

アランスを大きくしたためか、セル赤道部に多少の皺が発生した。

3.2 トリム加工

溶接縮みを1パス1[mm]と想定し、ハーフセルの設計値に対し赤道部、アイリス部ともに0.5[mm]ずつ長い寸法でトリム加工を行った。トリム加工は雌雄二つの治具にワークを挟み込んで行うが、今回なかなか治具をフィットさせることができなかった。これはプレスしたセルの赤道部にほとんど直線部がなく、外に向かってラップ状に広がり雌治具にあたったためである。トリム加工後の3次元計測によれば、赤道部直径は設計値445[mm]に対して平均で445.4[mm]、断面形状の測定で先端が開いていることを確認した。断面全体では計形状からのずれは最大でおよそ1[mm]、赤道部の真円度には0.5[mm]のグループと1.2[mm]のグループがあり、真円度1.2[mm]のグループは楕円状に変形していた。またスプリングバックの影響により、ハーフセル長は平均で0.4[mm]設計値よりも長くなった。

セルの赤道部先端がラップ状に広がったのは改造でプレス型の赤道部直線部分の長さが短くなったためと考えられる。したがって、これを防止するためにはプレス型の赤道部直線部分の長さを十分にとる必要がある。

3.3 電子ビーム溶接

赤道部は内面から、アイリス部は外面から電子ビームを当て、溶接を行った。赤道部の溶接には、KEK 工作センターのものと同タイプ⁴⁾の溶接機を使用し、125[kV]、27(平均)[mA]の条件で溶接を行った。アイリス部の溶接には KEK のものと比較して電圧の低いタイプ溶接機を使用したため、本溶接に先立ちニオブの板材を用いて溶接条件のサーベイを行い、電圧30[kV]、電流90[mA]から100[mA]で良好な結果を得た。最後にアイリス部を模擬するため、予備のビームパイプを用いて条件を確認した。最初の溶接では慎重を期して電流を90[mA]としたが、不十分だったために100[mA]で再度照射し十分な溶け込みを得た。以降の溶接では溶接部分の板厚の実測値を考慮して95[mA]と97[mA]の条件を使い分けた。溶接縮みは赤道部で平均0.8[mm]、アイリス部で平均2.2[mm]であった。

完成した5連空胴を、同時に製作した銅製空胴モデルとともに図2に示す。

4. 形状測定

完成した空胴について、原研でも測距計付きのトランシットを用いて形状測定を行った。まず片側のフランジ面を基準面とし、このフランジの側

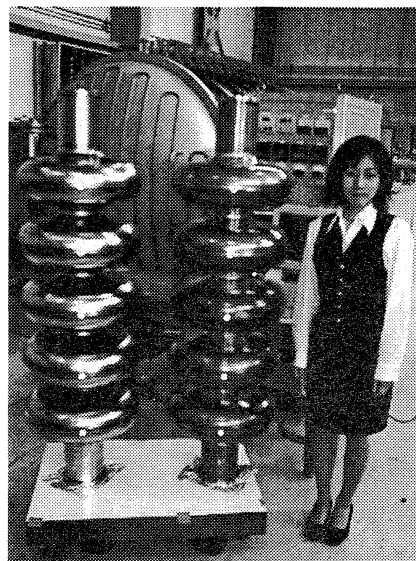


図2 完成した $\beta=0.886$ 5連空胴
左：Nb製、右：銅製

面に90度等配でフランジ面に対して垂直にケガキを入れ、ケガキの延長線と各セルの赤道面、もう一方のフランジ面との交点に測距用ターゲットを貼る。図2でセル赤道部に丸く光って見えるのがターゲットである。次に、ターゲットがトランシットに正対するように空胴を定盤の上に立て、トランシットを基準としたターゲットまでの距離と高さを測定する。空胴を90度ずつ回転させ、すべてのターゲットについて測定を行い、フランジ面と各セルの赤道部の仮想中心を求めた。

基準としたフランジの中心に立てた垂線を基準の軸とすると、もう一方のフランジの中心はこの軸から水平距離にして11.8[mm]ずれていることが判った。工場での検査結果から得られた値は11.4[mm]で良く一致している。さらに、この軸をz軸として、rz平面内での仮想中心の位置を見ると、各セルとフランジの中心をつないだ軸が、途中で折れ曲がり傾いていることがわかった。ただしフランジ面やセルの赤道面の傾きを無視してフランジの中心を結んだ軸を基準に考えると、各セルの仮想中心の軸からのずれは最大でも4.1[mm]である。また、フランジの中心間距離は1496.3[mm]であった。

5. プリチューニング

多セル空胴では製作誤差による共振周波数のずれや、加速電界分布の不均一性を矯正するためにプリチューニングが必要である。製作が完了した段階での本空胴の共振周波数は601.125[MHz]、セル間の最大加速電界強度のばらつきは最大で27%であった。各モードの周波数を図3に軸上の加速

電界分布を図4に示す。

超伝導空洞では、各セルを必要なだけ塑性変形させ共振周波数を調整することにより、プリチューニングを行う。原研で製作したプリチューニング装置の部分拡大図を、図5に示す。装置は空洞水平据え置き型で、パルスモータで駆動される可動アームと固定アームとでセルをはさみ、軸方向に伸縮させる。アームを移動させることにより、任意のセルを伸縮させることができる。アームの空洞との当たり面は、空洞の設計形状にフィットするように加工してあるので、形状の異なる空洞をプリチューニングする場合にはそれぞれ専用のアームを準備する必要がある。現在のアームユニットは $\beta=0.5$ の空洞用なので、 $\beta=0.886$ の空洞用のアームユニットを製作中である。

プリチューニングのために必要な変形量は、空洞をLC共振器の等価回路で表し各セルの製作誤差を回路定数に対する一次の摂動と考えることにより、分散曲線、ビーズパターベーション法による加速電界分布の測定結果から周波数変化の形で導くことができる^[5]。予備試験として、先に製作

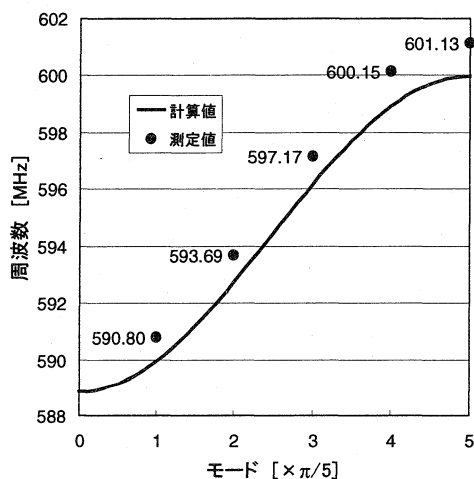


図3 分散特性

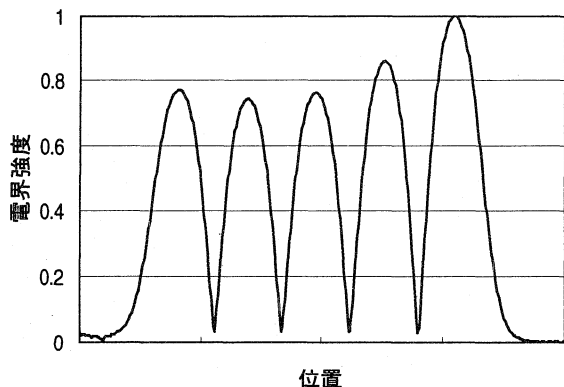


図4 製作完了後に測定した軸上の加速電界分布
縦軸は最大値を1として表現している

した $\beta=0.5$ 銅製5セル空洞に本手法を適用しプリチューニングを実施した。セルの実際の変形量を制御するのは難しいが、何度か繰り返すことによりプリチューニングが可能になったことがわかった。

$\beta=0.886$ のアームユニットへの交換が完了し、プリチューニングを実施する予定である。

6. まとめ

大強度陽子加速器用超伝導加速空洞の開発のため新たに $\beta=0.886$ 5セル空洞を試作し、形状測定、加速電界分布測定まで実施した。製作では、プレス加工時にセル赤道部に多少のしわが発生したが、完成した空洞に特に大きな問題はなかった。フランジの中心間距離は1496.3[mm]、共振周波数は601.125[MHz]、セル間の最大加速電界強度のばらつきは最大で27%であった。現在、プリチューニング装置を $\beta=0.886$ 用に改造中であり、改造が完了したところでプリチューニングを行う予定である。

7. 参考文献

- [1] 中性子科学研究センター，“中性子科学研究計画における研究開発”，JAERI-Tech, 99-031, 1999
- [2] N. Ouchi et al., “Development of Superconducting Cavities for High Intensity Proton Accelerator at JAERI”, Proc. of the ASC-98, Palm Desert, USA (1998) to be published.
- [3] J. Kusano et al., “Present Status of Superconducting cavity Development for High Intensity Proton Linac”, Proc. of the 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, Japan 16-18 September 1998, p124-126.
- [4] H. Inoue et al., “Fabrication of 600MHz 5-Cell Structures and High β Single Cell Structures at KEK Mechanical Engineering Center”, Proc. of the 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, Japan 16-18 September 1998, p298-300
- [5] H. Padamsee et al., “RF Superconductivity for Accelerators”, John Wiley & Sons, Inc., New York (1998)

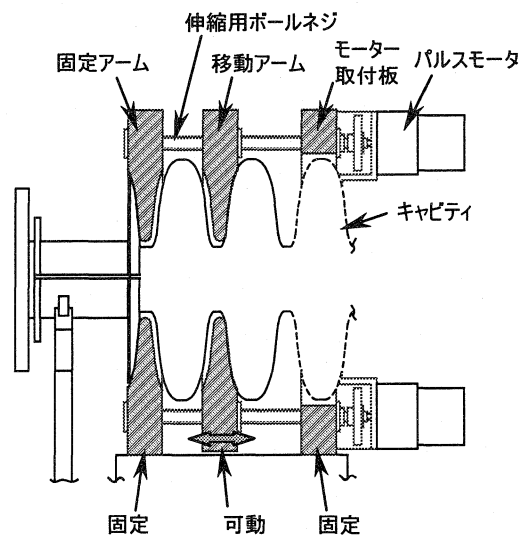


図5 プリチューニング装置の部分拡大図