

[F17p29]

## Fabrication of 600MHz 5-Cell Structures and High $\beta$ Single Cell Structures at KEK Mechanical Engineering Center

Hitoshi INOUE, Kenji SAITO, Nobuteru HITOMI, Shuichi NOGUCHI, Masaaki ONO,  
Eiji KAKO, Toshio SHISHIDO, Yoshishige YAMAZAKI,  
Nobuo OUCHI\*, Jyoichi KUSANO\*, Motoharu MIZUMOTO\*, Nobuo AKAOKA\*

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

\* : Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)  
2-4, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

### Abstract

A proton superconducting linac is considered for a new JAERI project, which is proposed for the neutron science and nuclear waste transmutation. KEK and JAERI have kept a collaborative work on R&D of superconducting rf cavities since last 3 years. In the last year, KEK fabricated two 600 MHz low  $\beta=0.5$  niobium sc cavities by in-house for JAERI. These cavities showed excellent performances by cold tests at JAERI:  $Q_0 > 1 \times 10^{10}$  and  $E_{p,max} > 30$  MV/m. For a next R&D step, we decided to fabricated 600 MHz 5-cell structures of  $\beta=0.50$  (one copper cavity and one niobium cavity) and 600 MHz high  $\beta=0.886$  structures (two copper cavities and one niobium cavity) by KEK in-house. Here, we present fabrication experience for these cavities.

## 600MHz 5 連空洞 ( $\beta = 0.50$ )及び 600MHz高 $\beta$ ( $= 0.886$ ) 単セル空洞の KEK所内製作

### 1. はじめに

原研では、強力中性子源を用いて中性子物質科学研究 (Neutron Science Project: NSP) を展開するために大強度陽子リニアックの建設を検討中である[1]。この加速器は、加速エネルギー1.5GeV、最大ビームパワー8MWを想定している。また、この加速器では、敷地の制約、運転電力コスト削減などの理由から、100 MeV以上の陽子エネルギーで超伝導空洞を採用することを第1オプションとしている。大強度陽子リニアックに超伝導空洞を採用することは、世界的に例のない新しい提案であり、その基礎技術確立のために平成7年からKEKと原研との間で共同研究が開始された。KEK工作センターでは、Lバンド超伝導空洞で所内製作の経験を十分持っているのでその技術をベースに、平成8年度には $\beta=0.5$ の単空洞をKEKで2台製作した。それらの空洞は原研での性能試験により、十分な目標性能を達成している。こうした経緯から今回更に、 $\beta=0.50$ の5連空洞(銅空洞1台、ニオブ超伝導空洞1台)、さらに新しい $\beta$ への挑戦として高 $\beta=0.886$ の高 $\beta$ 単空洞(銅空洞2台、ニオブ超伝導空洞を1台)を製作することになり、現在、その製作がKEK工作センターで進行中である。すでに銅によるモデル5連空洞とモデル高 $\beta$ 単空洞(2台)、ニオブ製高 $\beta$ 空洞が完成し、残るニ

オブ製低 $\beta$ 5連空洞も近日中に完成の予定である。今回はこれらの空洞の製作についての経験を報告する。

### 2. 空洞の形状、RF特性パラメーター

最初に今回製作した $\beta=0.50$ の低 $\beta$ 5連空洞の形状を図1に、 $\beta=0.886$ の高 $\beta$ 空洞のそれを図2に示す。また、これらの空洞のRF特性パラメーターを表1にまとめて示す。

表1. 今回製作した空洞のRF特性パラメーター

	5 連空洞	単セル空洞
周波数 [ MHz ]	600.127	594.221
$\beta$	0.50	0.886
R/Q [ $\Omega$ ]	77.1	182.9
$\Gamma$ [ $\Omega$ ]	137.4	235.7
$E_p/E_{acc}$	4.7	2.0
$H_p/E_{acc}$ [ $O_e$ ]/[MV/m]	94.8	47.1
$E_{acc}/SQR(PQ)$	14.3	40.0

### 3. 空洞製作

製作方法は、Lバンド超伝導空洞と同じ方法を採用し

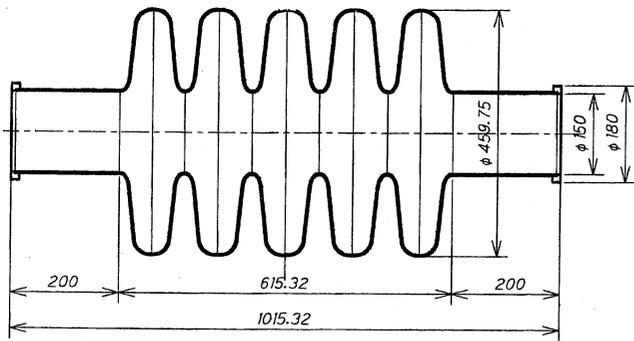


図1.  $\beta = 0.50$  の低 $\beta$  5連超伝導空洞の形状

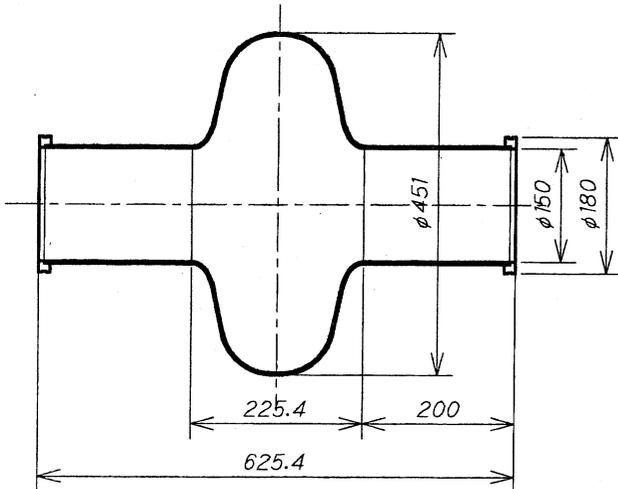


図2.  $\beta = 0.886$  高 $\beta$  単セル空洞の形状

た。以下にその製作法を示す。

1) ハーフセルの成型、トリム加工

ハーフセルの成型には深絞り成型を採用した。この方法は熟練を必要とせずまた、他の成型法に比べて成型時間が短く、成型コストも安い。深絞り成型法は図3に示すように平板を雄型と雌型の間置き、雄型を雌型に押し付けて成型するプレス成型法である。図3は、600MHzの高 $\beta$  ( $=0.886$ ) 空洞用に今回、KEKで設計した型である。製作は、大型NC旋盤がKEKにないので外注した。雄、雌型、押さえリングで構成される。成型ではこれらの型はボルトでプレス機に固定される。これらの型の材料に関して、前回の $\beta = 0.50$ の単セル空洞の製作ではANP79 (A7022相当) を使用したが、その後東芝の重電技研の構造解析[2]で、その材質ではプレス圧で雌型の赤道部、アイリス部が径方向に弾性変形し成型精度が落ちる事が分かり、ヤング率の高い炭素鋼 (SC480) を使うことを提案された。今回金型の材質にはS45Cを選択し、NC旋盤で加工した。成型には500 Tonプレス機を使用した。最初の成型では、銅板では問題なかったが、Nb材 ( $\phi 560 \times 3t$ ) ではアイリスの突き出し部が半分以上切れてしまった。一方、日立製作所 (日立工場) でL-バンド空洞のプレスの際に、ブランクのセンター孔を大きくする ( $9\phi \rightarrow 50\phi$ ) 方が、成型性が向上するとの結果を得たので、二回目の成型ではセンター孔を20mmから70mmに大きくした。また、硬度測定の結果、いくぶん材料が硬い

ことが分かり原研の真空炉で再アニール ( $750^\circ\text{C} \times 3$ 時間) を施した。その結果、二回目のプレスでは4時間半の間に15枚のセルをプレスすることが出来た。また、センター孔を大きくしたことでアイリス部の減肉が約10%に改善された。トリム加工後のハーフセル断面形状及び、赤道部の真円度の三次元測定結果を図4、5に示す。製作精度は断面形状で1mm、赤道部の真円度は451mmの径に

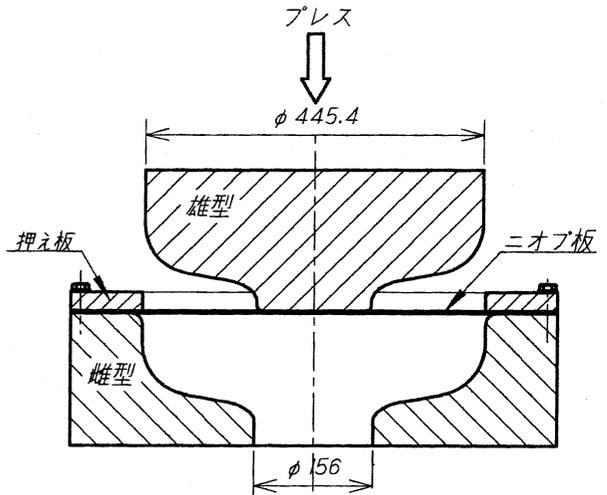


図3. 600MHz 高 $\beta$  ( $0.886$ ) 空洞用深絞り型

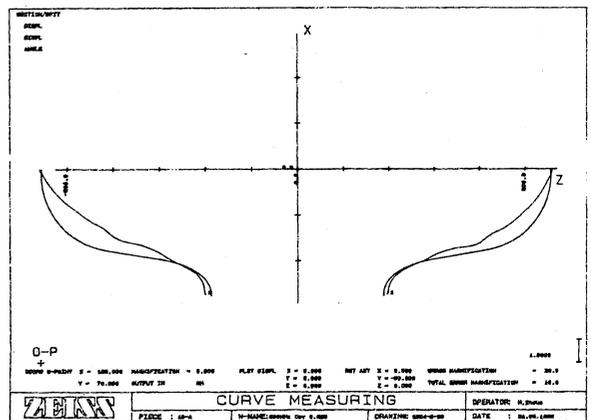


図4. トリム後のハーフセル断面の三次元測定結果

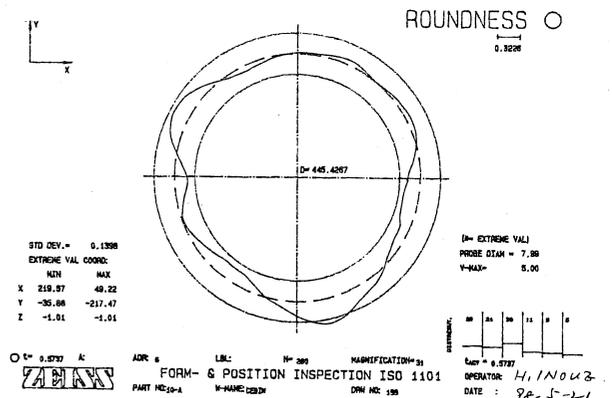


図5. トリム後のハーフセル赤道部の真円度の測定

対して0.6mm程度の製作精度である。

## 2) ビームパイプの製作

ビームパイプは、3mmのNb板をロールで丸めた後、合わせ面を電子ビームで溶接して直管を作り、それをフランジと溶接することにより製作した。溶接前に溶接部を化学研磨をして溶接部にコンタミを巻き込まないに注意を払った。直管は、そのままでは真円度が出ないので、内側をプラグを通すことによって、真円度を出す。三次元測定によるビームパイプの真円度測定結果は、150mmの径に対して0.3mm程度であった。

## 3) 電子ビーム溶接

溶接は、ニオブ材が高融点材料(2468℃)であること、ニオブは高温において酸化性が強く材料劣下を起こし易いなどの理由から、電子ビーム溶接を採用している。10<sup>-4</sup>~10<sup>-5</sup>Torr台の真空チェンバーの中で品物をゆっくり(約7mm/sec)回転させながら電子ビームを当てることによって溶接している。

赤道部の溶接は二つのハーフセルを赤道部で外側から点づけ仮溶接した後、一度チェンバーの真空を破り、セルを20度傾けて内面から赤道部に電子ビームを当てられるようにセットし直して、再び溶接する。この時の溶接条件は、電圧が120KV、ビーム電流が26mA、ビーム焦点はビフォーフォーカス(この方がアフターフォーカスよりも溶け込みが深い)である。アイリス部の溶接は、2.7mm(減肉率10%)のセル側と3mmのビームパイプをそのまま突き合わせ溶接した。この部分の溶接は、外打溶である。この溶接では板厚の厚いビームパイプ側にずらして電子ビームを照射すること、また、内面への十分な溶け出しを得るためには赤道部の溶接条件よりも電圧をいくぶん高めし、その分電流を抑えぎみに設定することが重要である。ここでは、電圧を140KVとした。

図6に以上述べた工程によって完成された低β(=0.50)5連空洞の写真を示す。空洞製作に要した正味の作業時間は、単セル空洞で930分、5連空洞で2400分であった。その内訳を表2に示す。

## 4. まとめ

高β空洞は深絞り成型では突き出しが大きく、600MHz空洞のような大物に対して可能かどうか懸念されたが、大きな問題もなく無事製作することができた。但し、空洞断面での製作精度は1mm程度と悪いので今後、型の形状設計に工夫が必要である。また、β=0.5の低β空洞の製作法については多連空洞の経験が得られ、十分の実績ができたと考えている。

## 参考文献

- [1] 第1回「中性子科学研究計画」に関するワークショップ論文集、1996年3月、日本原子力研究所東海研(編) 安田秀志他
- [2] K. Ohara et. al., "超電導空洞の深絞り成形"、平成10年度 塑性加工春季講演会、1998年5月13-15、吹田市。

表2. 空洞製作に要した実加工時間の内訳

作業工程	実加工時間(分)
ハーフセル1枚の製作	
プレス成型	20
トリム成型	60
バリ取り	20
ビームパイプ2本の製作	
溶接部の正寸カット	30
ロール作業	20
シームの電子ビーム溶接	60
1本の半分カット	30
芯出し作業	30
両端面加工	30
バリ、裏ビード取り	120
フランジ2枚の製作	
旋盤加工	120
電子ビーム溶接作業	
セルの赤道部(内、外)	120
パイプとフランジ(一組)	100
アイリス部(二箇所)	70

\*ニオブ空洞の場合、これらの作業の他に電子ビーム溶接前に溶接部の化学研磨によるクリーニング作業が加わる。



図6. 完成した600MHz低β5連空洞(銅モデル空洞)