

[P 30–35]

# FIRST MEASUREMENT OF L-BAND SUPERCONDUCTING CAVITY FABRICATED IN TOSHIBA

Ota T., Takeda O., Tanabe Y., Takaishi K., Yamada M., Miura H., Kawatsu S.,  
Noguchi S.\*, Saito K.\*, Yamazaki Y.\*, Takata K.\*

Toshiba Corporation

2-4, Suehiro-cho, Tsurumi-ku, Yokohama, 230 JAPAN

\* : National Laboratory for High Energy Physics (KEK)

1-1, Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305 JAPAN

## ABSTRACT

In 1995 we started to collaborate with KEK about superconducting cavities. In the last year, we fabricated two L-band single-cell niobium superconducting model cavities in our company, and measured at KEK. As a result, the maximum accelerating gradient of 32.9MV/m was obtained at 1.85K.

## Lバンド超電導モデルキャビティの性能測定

### 1. はじめに

ビームを効率良く加速するため、加速器用のキャビティには高い加速電界が求められている。超電導キャビティは、従来の常電導キャビティより一桁以上高い加速電界を得ることができることから、次世代の加速器として注目されているリニアコライダーへの実用化を目指して、各研究機関において積極的な研究開発が行われている。

当社も超電導キャビティに関する基礎研究を行っており、95年度よりKEKとの共同研究を開始し、本格的な開発を始めた。昨年度は、2台のLバンド単セル超電導キャビティを社内で試作し、KEKにおいて性能測定を行った。ここでは、Lバンド単セル超電導キャビティの製作及び測定結果について報告する。

### 2. Lバンド超電導キャビティの製作

#### 2.1 仕様

製作したLバンド単セル超電導キャビティの形状を図1に示す。図に示すように、キャビティは赤道部が円、アイリス部が楕円の形状をしている。本キャビティについて、材料をCuとした場合の高周波特性を解析コードSUPERFISHを用いて計算した。この結果を表1に示す。

#### 2.2 材料

東京電解(株)製のNbを使用した。純度は99.85%以上、RRR=200以上、伸びは25%以上であった。

#### 2.3 成型

t=2.5mm、φ280mmのNb円板をアルミ超合金製の型を用いてプレス加工(500tプレス機を使用)し、ハーフセルを成型する。次に、トリム治具を使って正寸カットする。成型されたハーフセルの赤道部における真円度の精度は約0.3mmであった。ビー

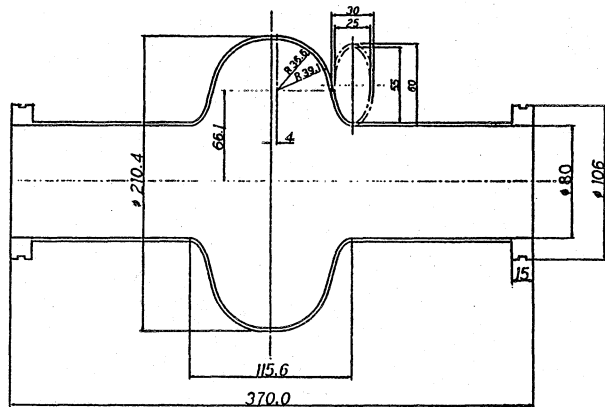


図1 Lバンド超電導キャビティの形状

表1 Lバンド超電導キャビティの仕様

周波数	1295.43 [MHz]
Q値	29380
G(形状因子)	274
Rsh/Q	102 [Ω]
Eacc/ P·Q	87.35
E <sub>max</sub> /Eacc	1.78
H <sub>max</sub> /Eacc	43.8 [Oe/MV/m]

ムパイプはNb平板をロール加工した後、電子ビーム溶接で接合する。次にアルミ超合金の通し棒を通してパイプの真円度を出す。成型したビームパイプの真円度の精度は約0.4~0.6mmであった。

#### 2.3 溶接

電子ビーム溶接を用いて各パーツの接合を行った。NEC製(加速電圧150kV、ビーム電流40mA)の電

子ビーム溶接マシンを使用した。ハーフセルどうしの溶接は滑らかな溶接シームを得るために、セルを30°傾けて、アイリス部の穴から電子ビームをセル内面の接合部に斜め打ちして溶接する。この時、ビームは外面まで貫通しない熱伝導ビーム溶接法を採用し、溶接条件は加速電圧115kV、ビーム電流23mAとした。なお、チャンパー内の真空度は $3 \times 10^{-4}$ Torrであった。この時の溶接縮み代は、0.3~0.4mm程度であった。なお、ビームパイプ、ビームパイプとフランジ、ビームパイプとセルの溶接については、貫通ビーム溶接法を採用した。完成した2台のLバンド超電導キャビティを図2に示す。

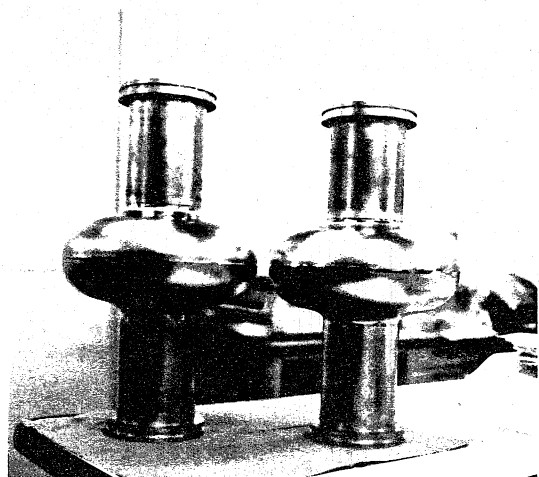


図2 製作したLバンド超電導キャビティ

#### 2.4 表面処理

超電導キャビティの表面抵抗は常電導キャビティの表面抵抗と比較して5~6桁小さく、表面状態がキャビティの性能に大きく作用する。よって、表面処理により表面欠陥が少なく、清浄な表面を得ることが重要である。

本キャビティの表面処理の工程を表2に示す。まず、KEKにおいてバレル研磨を行う[1]。1号器(T-1)は、アイリス部の溶接シームが滑らかではなかったため、2号器(T-2)よりも大量に研磨した。続いて、横型電解研磨装置を使って内面の電解研磨を行う[2]。処理条件は、電流密度50mA/cm<sup>2</sup>、研磨液温30~35°C、処理時間約5時間である。Nbは電解研磨中にH<sub>2</sub>ガスを吸収し、その影響でキャビティのQ値は著しく低下する[3]。これを防ぐため、電解研磨後に真空アニールを行いH<sub>2</sub>ガスを脱ガスする。この時、炉内の残留ガスがキャビティ表面に吸着してNbの純度が低下するのを防ぐため、キャビティをTi箱の中にセットして処理する。処理条件は、温度800°C、処理時間5時間である。この後、高圧洗浄を行う[4]。高圧洗浄は、キャビティ内表面に残留するゴミを積極的に除去する洗浄方法である。処理条件は、0.2μmフィルターを通した純水(電気抵抗率10~14MΩ·cm)を用い、圧力80~90kgf/cm<sup>2</sup>、処理時間1.5時間である。最後

に、0.1μmフィルターを通した純水(電気抵抗率10~14MΩ·cm)でシャワー洗浄を行う。

なお、バレル研磨以外の処理は全て野村鍍金株式会社において行った。

表2 表面処理工程

	T-1	T-2
バレル研磨	79.7g 39μm(アイリス部)	26.6g 40μm(赤道部)
脱脂	○	○
外面化学研磨	40μm	30μm
内面電解研磨	100μm	100μm
真空アニール	○	○
高圧洗浄	○	○
シャワー洗浄	○	○

### 3. Lバンド超電導キャビティの性能測定

#### 3.1 組み立て

キャビティにRF input couplerとRF pick-up monitorを取り付ける作業をKEKのクリーンルーム(クラス10)内で行う。キャビティのフランジはインジウムでシールし、150kgf/cm<sup>2</sup>のトルクで管理する。組み立て後は、85°Cで1日ベークする。

#### 3.2 測定結果

測定はKEKの縦測定用テストベンチを使用して行った。図3は、T-2について、液体ヘリウム温度(4.2K)から1.45Kまで冷却しながらキャビティの表面抵抗R<sub>s</sub>を測定した結果である。図に示すように、キャビティの表面抵抗は温度に大きく依存し、温度を下げるとR<sub>s</sub>は指数関数的に減少するが、最終的には温度に依存しない残留表面抵抗R<sub>res</sub>が残る。T-2の残留表面抵抗R<sub>res</sub>は約3nΩであり、非常に小さいことが分かった。また、同様にしてT-1の残留表面抵抗R<sub>res</sub>を求めた結果、R<sub>res</sub>≒7nΩであった。

図4は、Q値と加速電界の関係を示したものである。T-1の測定では、E<sub>acc</sub>=15~17MV/mにおいてマルチパッキングに直面したが、その後はprocessされた。E<sub>acc</sub>=27MV/mあたりからX線が発生し始め、最大加速電界32.9MV/mでクエンチした。

T-2については2度の測定を行った。1回目の測定では、E<sub>acc</sub>=16~17MV/mにおいてT-1と同様にマルチパッキングが起こった。その後processされたが、Q値が低下した。E<sub>acc</sub>=20MV/mから再びマルチパッキングが発生し、Q値が著しく低下、最大加速電界28.0MV/mでクエンチした。この時、X線カウンターではX線が検出されず、フィールドエミッションが起こったとは考え難い。

T-2は、内面電解研磨の時にトラブルが発生し、キャビティ内面がエッチングされて、表面にピットや酸化膜のようなものが形成された。特にビームパイプの表面に著しい酸化膜が見られた。図5は、CCDカメラを用いた内視鏡[5]でビームパイプの表面を観察した写真である。T-2の性能がT-1より良くなかったのは、これらのピットや酸化膜がキャビティの発熱の原因として疑われる。そこで、こ

これらのピットや酸化膜を除去するために化学研磨によりキャビティ内面を30 $\mu$ m研磨し、その後、純水による高圧洗浄、シャワー洗浄を行って、再び測定した。

しかし、測定結果は、図4から分かるように前回とほぼ同じであった。Eacc=17~19MV/mにおいてマルチパクティングが起り、その後processされたが、Q値が低下した。Eacc=27MV/mから再びマルチパクティングが発生し、Q値が著しく低下、最大加速電界31.1MV/mでクエンチした。この時も、X線は検出されなかった。測定後にキャビティ内面を観察した結果、ピット及び酸化膜は完全には除去されていなかった。次回は、これらのピット及び酸化膜を完全に除去した後、再度測定を行い、発熱の原因がこれらのピットや酸化膜であるか否かを確認する予定である。



図5 キャビティ(T-2)の表面観察結果

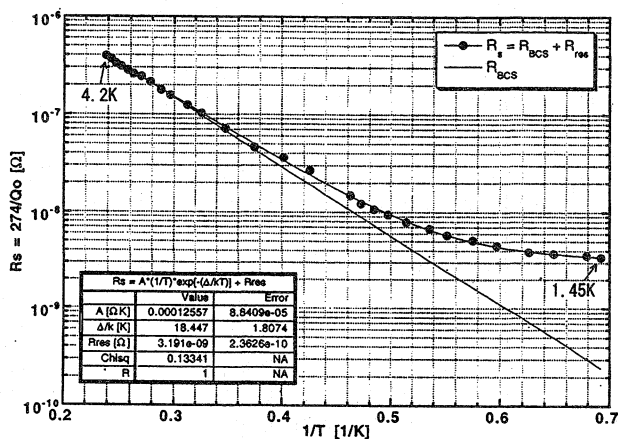


図3 表面抵抗Rsの温度依存性

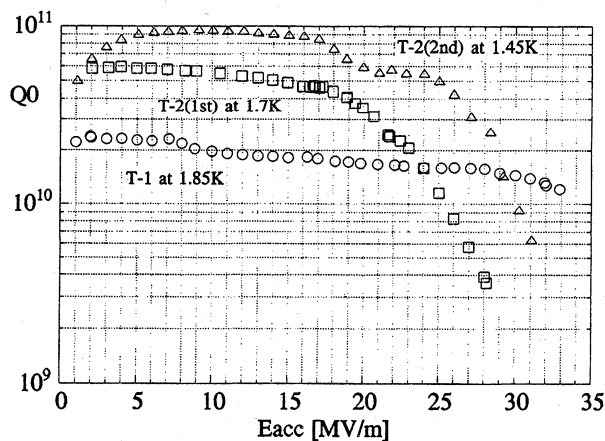


図4 Q値と加速電界Eaccの関係

#### 4. まとめ

社内においてLバンド単セル超電導キャビティを2台試作し、性能測定を行った。この結果、2台とも到達加速電界30MV/m以上を達成し、特に1号器においては最大加速電界32.9MV/mが得られた。今後はクエンチした原因について調査し、さらに高い加速電界を目指す。また、マルチセルキャビティの製作に取り組む予定である。

#### 謝辞

キャビティの性能測定の際、適切なアドバイス、有益な意見をいただいたKEKの小野先生、加古先生、宍戸先生、キャビティ製作の際ご指導、ご協力いただいたKEK工作センターの舟橋先生、井上先生、キャビティの表面処理を担当していただいた野村鍍金株式会社の鈴木さん、福田さん、樋口さんに深く感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] T. Higuchi et al. "Investigation on Barrel-polishing for Niobium Superconducting Cavities", Proc. of the 19th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1994
- [2] K. Saito et al. "R&D of Superconducting Cavities at KEK", Proc. of the 4th Workshop on RF Superconductivity, 1989
- [3] K. Saito et al. "Q0-Degradation due to Hydrogen in High Pure Niobium Cavities", Proc. of the 18th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1993
- [4] H. Miwa et al. "Application of High Pressure Rinsing for Superconducting Niobium Cavities", Proc. of the 17th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1992
- [5] K. Saito et al. "Inspection System with a CCD Camera for L-band Superconducting RF Cavities", in this meeting