

## 東芝における ILC 向け超伝導加速空洞の開発

### DEVELOPMENT OF SUPERCONDUCTING CAVITY FOR ILC AT TOSHIBA

太田智子<sup>#</sup>, 山田正博, 高崎正浩, 金井芳治, 戸坂泰造, 黒岩信好, 森和彦,  
野村俊自, 渡辺順子, 佐藤潔和

T. Ota<sup>#</sup>, M. Yamada, M. Takasaki, Y. Kanai, T. Tosaka, N. Kuroiwa, K. Mori,  
S. Nomura, J. Watanabe, K. Sato

TOSHIBA Corporation

#### Abstract

TOSHIBA has been developing superconducting cavities for International Linear Collider (ILC) in collaboration with High Energy Accelerator Research Organization (KEK) since 2009. Two 9-cell superconducting cavities were fabricated by TOSHIBA. Surface preparations and RF tests of these cavities were performed at Superconducting RF Test Facility (STF-KEK). The second cavity achieved the maximum accelerating gradient of  $E_{acc,max}=36.1$  MV/m (at  $Q_0=7.3 \times 10^9$ ) and satisfied the specifications of ILC at the third test. In 2012, we fabricated a Higher Order Mode (HOM) coupler of an input coupler port side and measured the frequency characteristics. Development status of the superconducting cavity for ILC at TOSHIBA will be presented in this conference.

#### 1. はじめに

将来の加速器計画である国際リニアコライダー (ILC) は、2 台の直線加速器から構成される全長約 30 km の加速器を建設し、現在達成し得る最高エネルギーで電子と陽電子の衝突実験を行う計画である。ILC 加速器の建設期間は 7 年と計画されており、この実現を目指して、国際協力を含め各国において活発な研究開発が進められている。

東芝は 2009 年より高エネルギー加速器研究機構 (KEK) との共同研究を開始し、ILC 向け超伝導空洞の開発を行ってきた。本開発の目的は、ILC 向け超伝導空洞の量産化に関する技術課題と品質管理を明確にすることである。これまでに HOM カプラー無し の 9 セル超伝導空洞試作機を 2 台製作し、KEK の Superconducting RF Test Facility (STF 棟) にて表面処理と性能試験 (縦測定) を実施した。この結果、試作空洞 2 号機は 2 回目の縦測定で最大加速電界  $E_{acc,max}=35.1$  MV/m ( $Q_0=6 \times 10^9$ ) を達成した。<sup>[1][2]</sup>

#### 2. 試作空洞 2 号機の性能測定

##### 2.1 試作空洞 2 号機

9 セル超伝導空洞試作機的主要仕様を Table 1 に示す。Figure 1 は HOM 無し 9 セル超伝導空洞試作機の外形図、Figure 2 は試作空洞 2 号機を示す。

2 号機はこれまでに 2 回の表面処理と縦測定が行われた。これまでに実施した表面処理の内容を Table 2、縦測定の結果を Figure 3 に示す。空洞完成後に京都カメラ<sup>[3]</sup>を用いて内表面を観察した結果、複数のセルの赤道部ビード上に凹状の欠陥が確認さ

れた。また、8 セルの赤道部ビードから少し離れた部分に凸状の欠陥が観察された。

Table 1: Main Specifications of a 9-cell Cavity

Frequency	1.3 GHz
Active length	1.038 m
Iris diameter	70 mm
Beam tube diameter	80 mm
R/Q	1036 $\Omega$
Geometry factor	270 $\Omega$

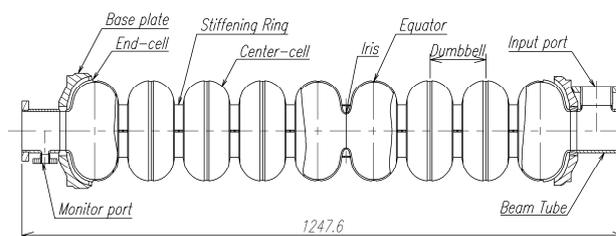


Figure 1: Drawing of 9-cell superconducting cavity without HOM couplers



Figure 2: 9-cell superconducting cavity (the 2<sup>nd</sup> cavity)

<sup>#</sup> tomoko.ota@toshiba.co.jp

これらの欠陥は発熱やフィールドエミッションの原因となる可能性があるが、どのような欠陥が空洞の性能を制限するのか把握するため、欠陥を除去せずに1回目の縦測定を実施した。この結果、 $\pi$ モードは7セル赤道部ビード上の欠陥(凸状)の近傍で発熱が観測され、 $E_{acc}=31.2$  MV/m でクエンチに至った。Figure 4 に縦測定中に観測された発熱箇所を示す。

縦測定後、主な欠陥のレプリカを作成し、レーザ顕微鏡を用いて欠陥の大きさを測定した。この結果、発熱箇所(7セル赤道部)近傍の欠陥の大きさは $\phi 180 \mu\text{m}$ 、深さ $40 \mu\text{m}$ であったが、発熱が観測されなかった部分の欠陥の大きさは $\phi 170 \mu\text{m}$ 以下、深さ $20 \mu\text{m}$ 以下であった。これより、欠陥の深さが発熱に関係する可能性が高いと考えられる。また、8セルの欠陥の大きさは $\phi 300 \mu\text{m}$ 、高さ $90 \mu\text{m}$ であった。

KEKの局所研磨装置<sup>[4]</sup>を用いて主な欠陥を機械的に除去した後、2回目の表面処理と縦測定を実施した。この結果、 $\pi$ モードはRF power limitにより $E_{acc}=35.1$  MV/m ( $Q_0=6 \times 10^9$ )で制限された。1回目の結果より高い加速電界が得られ、欠陥を除去した効果を確認することができた。他のモードを測定後、再び $\pi$ モードを測定したところ、 $E_{acc}=30$  MV/m直前で多量の放射線が観測され、RF power limitにより $E_{acc,max}=32.7$  MV/m ( $Q_0=4.1 \times 10^9$ )で制限された。フィールドエミッションが発生したと考えられる。

## 2.2 3回目の表面処理と縦測定

2回目の縦測定後、空洞の内表面を観察した。この結果、3セル/4セル、6セル/7セル、7セル/8セルのアイリス部に凹状の欠陥が見られた。これらを局所研磨で除去した後、3回目の表面処理と縦測定を実施した。この結果、 $\pi$ モードは2セル赤道部で発熱が観測され、 $E_{acc,max}=36.1$  MV/m ( $Q_0=7.3 \times 10^9$ )でクエンチに至ったが、ILC向け超伝導空洞の仕様である $E_{acc,max}=35$  MV/m ( $Q_0=8 \times 10^9$ )を満たした。また、放射線は観測されなかった。

Table 2: Surface Preparations for the 2<sup>nd</sup> Cavity

Preparation	1 <sup>st</sup> test	2 <sup>nd</sup> test	3 <sup>rd</sup> test
Local grinding	—	○	○
EP1	100 $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$
Annealing	750°C × 3 hr	—	—
Pre-tuning	○	○	—
EP2	20 $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$	5 $\mu\text{m}$
Degreasing with FM-20	50°C × 30 min	50°C × 15 min	50°C × 15 min
HPR	7hr	7hr	7hr
Baking	120°C × 48 hr	140°C × 48 hr	140°C × 48 hr

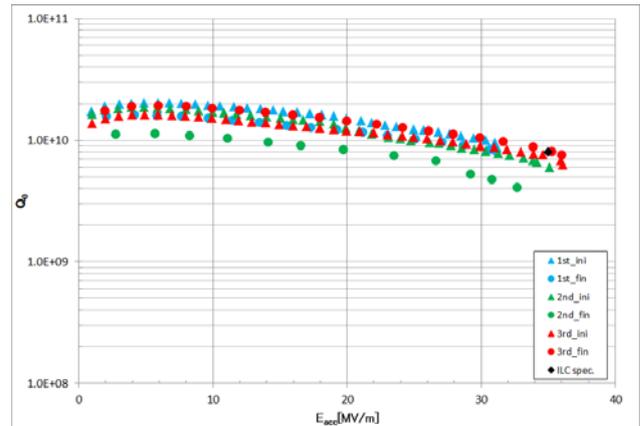


Figure 3: RF test results of the 2<sup>nd</sup> cavity

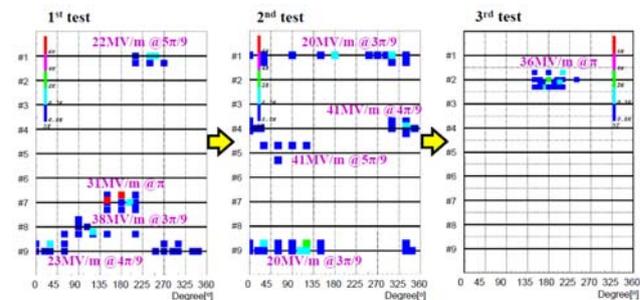


Figure 4: Transition of heating location of the 2<sup>nd</sup> cavity

## 3. HOM カプラーの試作

### 3.1 HOM カプラーの試作

KEKより支給されたNb材(東京電解)を用いてインプットカプラーポート側のビームパイプに取付けるHOMカプラーを試作した。Table 3に支給材の一覧を示す。

外導体は、円板から3段階の深絞り加工によりカップ形状に成型した(Figure 5, left)。次に、このNbカップをバーリング加工して、モニターポートを溶接するための突出し部を成型した(Figure 5, right)。バーリング加工後、各部品と溶接する箇所の開先を機械加工した。

内導体、モニターポート及びノブはそれぞれの支給材から機械加工した。これらの部品と外導体を電子ビーム溶接(EBW)により接合した。試作したHOMカプラーをFigure 6に示す。

今後はビームパイプをバーリングし、HOMカプラーを溶接した後、モニターポートにフランジ(NbTi)を溶接する。

### 3.2 周波数の測定

KEKのマイクロ波測定用空洞を用いて試作したHOMカプラー単体の周波数を測定した(Figure 7)。この結果、周波数は1372.63 MHzであり、設計値(1290 MHz)より高い値であったが、チューニン

可能な範囲と考えられる。

今後は HOM カプラーの寸法を測定し、内導体が外導体に対して傾き無く溶接されているか確認する。

Table 3: List of Nb Material for HOM Coupler

Parts	Size
Outer conductor	$\phi$ 130 mm $\times$ t3 mm
Inner conductor	125 mm $\times$ 40 mm $\times$ t10 mm
Monitor port	$\phi$ 22 mm $\times$ 100 mm
Nob	$\phi$ 14 mm $\times$ 100 mm



Figure 5: Nb cup by deep drawing (left) and Nb cup by burring (right)



Figure 6: HOM coupler of the input coupler port side

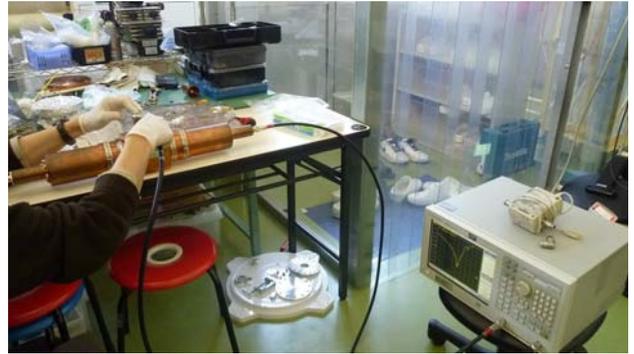


Figure 7: Measurement of frequency characteristics (at KEK)

#### 4. まとめ

ILC 向け 9 セル超伝導空洞 HOM 無し試作 2 号機について 3 回目の縦測定を実施した結果、最大加速電界 36.1 MV/m ( $Q_0=7.3 \times 10^9$ ) を達成し、ILC 向け超伝導空洞の仕様を満たした。また、HOM カプラーを試作し、HOM カプラー単体の周波数を測定した。今後は量産化技術の確立を目指して超伝導空洞の R&D を進めていく。

#### 謝辞

本 R&D において、ご指導及びご協力いただきました KEK の加古永治氏、野口修一氏、宍戸壽郎氏、山本康史氏、渡邊謙氏、佐伯学行氏ほか関係各位に深く感謝致します。

#### 参考文献

- [1] T. Ota et al., "Development of the Superconducting Cavity for ILC at TOSHIBA", p418-420, SRF2011, FNAL, Chicago, USA (2011).
- [2] T. Ota et al., "Development of the 9-cell Superconducting Cavity for ILC at TOSHIBA", p1113-1115, 第 9 回日本加速器学会年会, 大阪大学(2012).
- [3] Y. Iwashita et al., Phys. Rev. ST Accel. Beams 11, 093501 (2008).
- [4] K. Watanabe et al., "Cavity Inspection and Repair Techniques", p598-602, SRF2011, FNAL, Chicago, USA(2011).