

DEVELOPMENT OF THE 9-CELL SUPERCONDUCTING CAVITY FOR ILC AT TOSHIBA

T. Ota[#], J. Shibuya, M. Yamada, T. Tosaka, N. Kuroiwa, K. Mori, M. Takasaki, Y. Kanai,
S. Nomura, T. Nagafuchi, J. Watanabe, K. Sato
TOSHIBA Corporation, 2-4 Suehiro-cho, Tsurumi-ku, Yokohama, JAPAN

Abstract

TOSHIBA has been developing the superconducting cavity for International Linear Collider (ILC) in collaboration with High Energy Accelerator Research Organization (KEK) since 2009. We fabricated the second 9-cell superconducting cavity in 2011 and have tested it twice at KEK-STF in 2012. We achieved the accelerating gradient of $E_{acc}=35.1$ MV/m at the second test. The present development of the superconducting cavity for ILC at TOSHIBA will be presented in this conference.

東芝における ILC 向け超伝導空洞の開発

1. はじめに

将来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 30km 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いる。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。2010 年に HOM カプラー無し の 9 セル超伝導空洞試作 1 号機を製作した。KEK の Superconducting rf Test Facility (STF 棟) にて空洞内の表面処理を行い、性能試験 (縦測定) を実施した。この結果、溶接部の欠陥で発熱が観測され、加速電界 8.6MV/m でクエンチに至った^[1]。これを受け、2011 年は ILC 向け超伝導空洞の仕様である最大加速電界 35MV/m の到達を目指して HOM 無し 9 セル超伝導空洞試作 2 号機を製作し、縦測定を行った。

2. 9 セル超伝導空洞試作 2 号機

9 セル超伝導空洞試作機の主な仕様を表 1 に示す。図 1 は HOM 無し 9 セル超伝導空洞試作機の外形図、図 2 は完成した試作空洞 2 号機を示す。

2.1 試作空洞 2 号機の製作

試作空洞 1 号機は溶接部の欠陥で発熱してクエンチに至った。これらの欠陥は、空洞の内表面を電解研磨した後に赤道部のビード上に露出した。そこで、試作空洞 2 号機の製作前に再度電子ビーム溶接の条件出しを実施した。溶接部の板厚をより厳しく管理すると共に、周溶接の練習を重点的に行った。

試作空洞 2 号機ではシームレスのビームパイプを

製作した。Nb 円板を 3 回の深絞り加工によって長いカップ形状に成形した後、インプットカプラーポートあるいはピックアップポート用にバーリング加工した。図 3 にインプットカプラーポート用にバーリング加工したビームパイプを示す。また、インプットカプラーポートもビームパイプと同様に Nb 円板を 3 回の深絞り加工により成形した。

表 1 : 9 セル超伝導空洞試作機の主な仕様

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

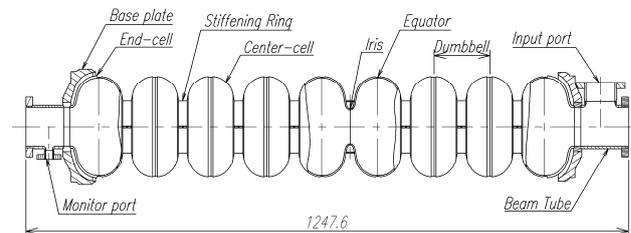


図 1 : HOM 無し 9 セル超伝導空洞試作機の外形図



図 2 : HOM 無し 9 セル超伝導空洞試作 2 号機

[#] tomoko.ota@toshiba.co.jp



図 3：バールング加工後のビームパイプ

2.2 空洞の内面検査と表面処理（1回目）

完成した試作空洞 2 号機の内表面を京都カメラ^[2]で観察した後、以下に示す表面処理を行った。これらは KEK で行っている標準的な処理である。

- 初回電解研磨：研磨量 100 μm 。
- 真空熱処理：空洞を Ti 箱に入れた状態で 750 $^{\circ}\text{C}$ ×3 時間。
- プリチューニング。
- 最終電解研磨：研磨量 20 μm 。
- 温水超音波洗浄：50 $^{\circ}\text{C}$ ×30 分間。
- 高圧超純水洗浄：8MPa×7 時間。
- ベーキング：120 $^{\circ}\text{C}$ ×48 時間。

初回電解研磨の後に実施した空洞の内面検査の結果を図 4 に示す。2 セル、6 セル及び 7 セルの赤道部のビード上に凹状の欠陥が観察された。また、8 セルには赤道部のビードから少し離れた箇所にも凸状の欠陥が観察された。これらの欠陥は発熱やフィールドエミッションの原因になる可能性があるが、どのような欠陥が空洞の性能に悪影響を与えるのかを把握するため、これらの欠陥を除去せずに 1 回目の縦測定を実施した。

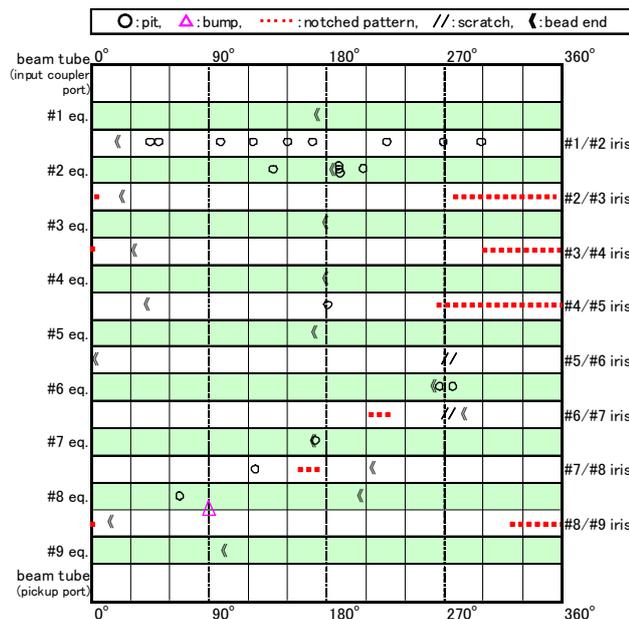


図 4：測定前の内面検査の結果

2.3 縦測定（1回目）の結果

測定時、空洞の赤道部には温度測定用のカーボン抵抗、アイリス部には放射線測定用のピンダイオードが取り付けられる^[3]。今回は欠陥と発熱の関係を把握するため、前述した主な欠陥の近傍にカーボン抵抗を追加した。

空洞は超流動ヘリウムにより冷却され、4K と 2K にて測定した。図 5 の◇は 4K、△は 2K の測定結果を示す。また、図 6 は各モードで観測された発熱箇所を示す。 π モードでは 7 セル赤道部の 173 $^{\circ}$ で観察された欠陥の近傍で発熱し、最大加速電界 31.2MV/m でクエンチに至った。また、 $3\pi/9$ モードでは 8 セルの 90 $^{\circ}$ で観察された欠陥の近傍で発熱が観測された。5 $\pi/9$ モードでは 1 セル赤道部の 240 $^{\circ}$ で発熱が観測され、4 $\pi/9$ モードでは 9 セル赤道部の 0 $^{\circ}$ ~60 $^{\circ}$ で発熱が観測されたが、内面検査では当該箇所に欠陥は確認されなかった。また、2 セル及び 6 セルの赤道部ビード上に観察された欠陥の近傍では発熱は観測されなかった。

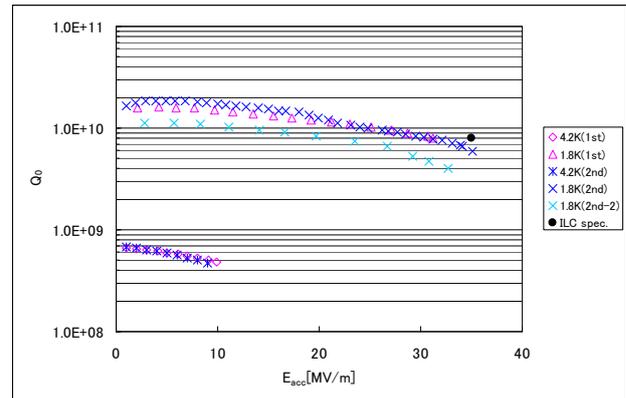


図 5：試作空洞 2 号機の縦測定（ π モード）の結果

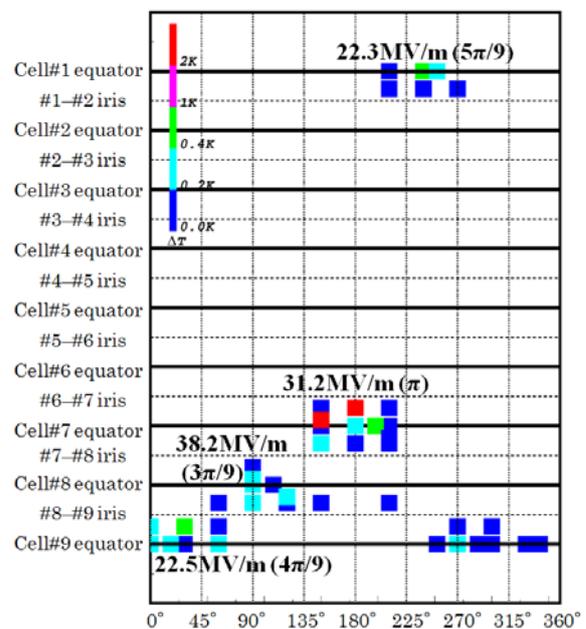


図 6：1 回目の縦測定で観測された発熱箇所

2.4 空洞の内面検査と表面処理（2回目）

縦測定後、空洞の内表面を観察し、主な欠陥のレプリカを作成した。 π モードの発熱箇所近傍で観察された7セル赤道部の欠陥を図7に示す。図の左は京都カメラの画像、右はレーザー顕微鏡の画像を示す。 $3\pi/9$ モードの発熱箇所近傍で観察された8セルの欠陥を図8、全てのモードで発熱は観測されなかったが2セル赤道部で観察された欠陥の一つを図9に示す。また、レーザー顕微鏡を用いてこれらの欠陥の大きさを測定した結果を表2に示す。7セルの欠陥と2セルの欠陥の直径はほぼ同じだが、7セルの欠陥の方が深いことが分かった。

これらの欠陥を局所的に研磨して除去した後、以下に示す表面処理を行い、2回目の縦測定を行った。

- 最終電解研磨：研磨量 $20\mu\text{m}$ 。
- 温水超音波洗浄： $50^\circ\text{C} \times 15$ 分間。
- 高圧超純水洗浄： $8\text{MPa} \times 7$ 時間。
- ベーキング： $140^\circ\text{C} \times 48$ 時間。

2.5 縦測定（2回目）の結果

図5の*は4K、×は2Kの測定結果を示す。また、図10は各モードで観測された発熱箇所を示す。 π モードでは power limit により最大加速電界は 35.1MV/m で制限された。1回目の結果より高い加速電界が得られ、欠陥除去の効果を確認できた。 $3\pi/9$ モードでは1セルと9セルの赤道部で発熱が観測された。 $4\pi/9$ モードでは4セル赤道部 320° で発熱してクエンチし、 $5\pi/9$ モードでは5セル 60° 近傍で発熱してクエンチに至った。各モードの測定後、再度 π モードを測定した結果（図5の×）、 30MV/m の直前で多量の放射線が観測され、Power limit により最大加速電界は 32.7MV/m 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。

3. まとめ

9セル超伝導空洞 HOM 無し試作2号機を製作し、縦測定を実施した結果、ILC 向け超伝導空洞の仕様である最大加速電界 35MV/m を達成した。今後は、HOM カプラーを試作するなど、引き続き超伝導空洞のR&Dを進めていく。

謝辞

本R&Dに関し、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", TUPO023, SRF2011, FNAL, Chicago, USA (2011).
- [2] Y. Iwashita et al., Phys. Rev. ST Accel. Beams 11, 093501 (2008).
- [3] Y. Yamamoto et al., "A New Cavity Diagnostic System for the Vertical Test of the 1.3 GHz Superconducting 9-cell Cavities at KEK-STF", p1002-1004, PAC09, Vancouver, BC, Canada (2009).

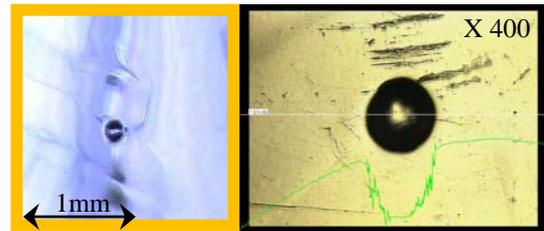


図7：7セル赤道部 173° に観察された凹状欠陥

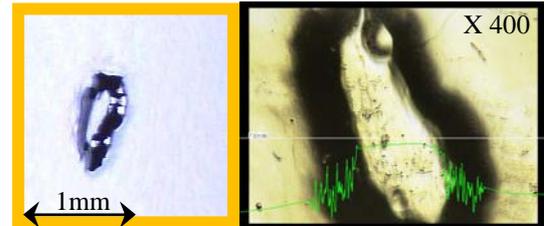


図8：8セル 90° に観察された凸状欠陥



図9：2セル赤道部 183° に観察された凹状欠陥

表2：欠陥の測定結果

欠陥の位置	欠陥の大きさ[μm]	欠陥の写真
2セル赤道部 183°	$\phi 170$ 、深さ 20	図9
7セル赤道部 173°	$\phi 180$ 、深さ 40	図7
8セル赤道外 90°	$\phi 300$ 、高さ 90	図8

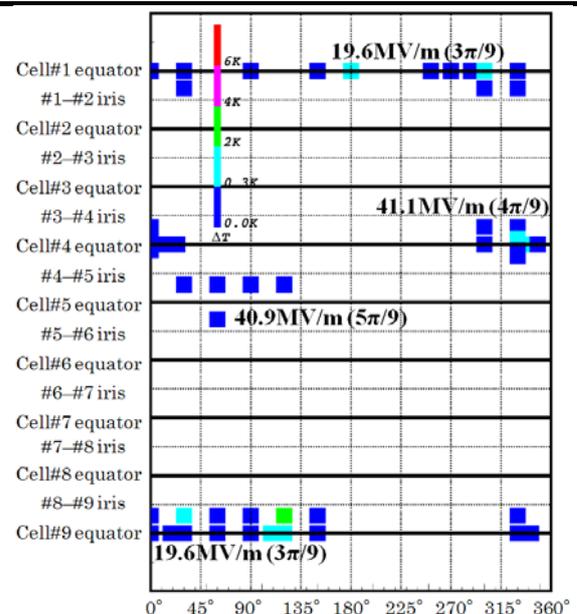


図10：2回目の縦測定で観測された発熱箇所