

Development of the SCRF cavity for ILC at TOSHIBA

Yujiro Tajima ^{#A)}, Tomoko Ota ^{A)}, Kiyokazu Sato ^{A)}, Junichi Shibuya ^{A)}, Teruyasu Nagafuchi ^{A)}, Koichi Nakayama ^{A)},
Yuji Nobusada ^{A)}, Takeshi Yoshiyuki ^{A)}, Eiji Kako ^{B)}, Takayuki Saeki ^{B)}, Toshio ShiShido ^{B)}, Masao Sato ^{B)},
Hitoshi Hayano ^{B)}, Shuichi Noguchi ^{B)}, Akira Yamamoto ^{B)}, Yasuchika Yamamoto ^{B)}, Ken Watanabe ^{B)}

^{A)} TOSHIBA Corporation

2-4 Suehirocho, Tsurumi, Yokohama, Kanagawa, 230-0045

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract (英語)

TOSHIBA is developing the Superconducting Radio Frequency (SCRF) Cavity for International Linear Collider (ILC) with High Energy Accelerator Organization (KEK). In this study started from Apr. 2009, we made a single cell SCRF cavity at Feb. 2009 and a 9cells SCRF cavity at Apr. 2010. The surface treatment and the performance test (vertical test) of the 9cells cavity were run at Superconducting rf Test Facility (STF) in KEK from May to Jul. 2010. We discuss the manufacturing techniques and the results of the vertical test of our cavity in this conference.

東芝におけるリニアコライダー向超伝導加速空洞の開発

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 (International Linear Collider, ILC) は重心系エネルギー500GeV という超高エネルギーの電子・陽電子衝突実験を行うための衝突型線型加速器で、現在、国際協力の下で要素技術の開発が進められている [1,2,3,4]。

ILC はその重心系エネルギーの実現のために、約30km にわたってまっすぐに伸びた主加速部に、最大加速電場 31.5MV/m の 1.3GHz の 9 セル超伝導高周波加速空洞(以下、超伝導空洞を約 14,560 台必要とする。

フィージビリティスタディでは、歩留まり 90% 以上での超伝導空洞量産化が必要とされており、2012 年終了時点での上記目標の実現に向けて世界中の研究機関、メーカーが技術開発を推進している。東芝でも高エネルギー加速器研究機構 (以下、KEK) との共同研究にて、最大加速電場 31.5MV/m 以上 (内部 Q 値 $\geq 10^{10}$ 以上) の歩留まり 90% での量産化技術の確立に向けて開発を行っている。

超伝導空洞は主に腕を接合したセル部と両脇のエンドコンポーネントと呼ばれるパイプ部分とからなり、大部分がニオブの電子ビーム接合部品である。

使用時は空洞全体が 2K に冷却され、セル部は内部に高周波電力を蓄積してビームを加速し、エンドコンポーネントは高周波電力の出入口、ビームの出入口および他の機器との取り合いを担う。

超伝導空洞において ILC 向の性能を達成するためには、きわめて清浄かつ滑らかな内面が必要とされる。なかでもセル部頂点の接合部(赤道部)は、高周波性能上、特に高い品質が要求されるが、組立後に外部から直線的にアクセスする立体角を失うために、最も難しい接合部のひとつになっている。

その他、パイプ枝管の突き出し加工や異材接合な

どの技術的な問題に加え、量産に向けた検査技術の開発、工程・品質管理も検討課題となっている。

2. 東芝の活動

東芝では ILC における超伝導空洞の受注をめざして、4 月から ILC 向の超伝導空洞の設計検討を開始した。2010 年 2 月に単セル空洞を KEK に納め、同 4 月に KEK との共同研究の一環として HOM カプラなし 9 セル空洞を製作した(図 1,2)。9 セル空洞については同 5-7 月に KEK の Superconducting rf Test Facility (STF) にて電解研磨等の表面処理と超伝導状態での大電力性能試験(縦測定)を実施した。

今回の 9 セル空洞の製作ではコア技術であるセル部の電子ビーム溶接を主題とし、本来エンドコンポーネントに取付けられる高次モード高周波減衰構造(HOM カプラ)は次期開発項目として省略した。



図 1 : 東芝製 1.3GHz 9 セル超伝導高周波加速空洞 HOM カプラなし試作機。2010 年 4 月完成。

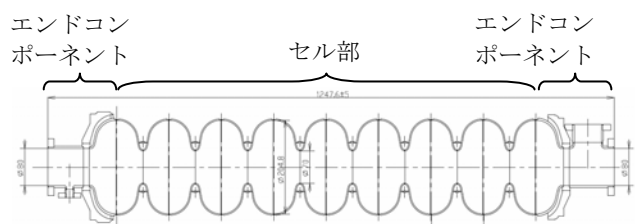


図 2 : HOM カプラなし試作機外形図

3. HOM カプラなし試作機

3.1 製作

図 2 の超伝導空洞中央のセル部は同じ楕円断面形状が 8 回繰り返される構造になっており、半セルと呼ばれる碗状のニオブを 16 個電子ビーム溶接によって接合して製作した。

半セルはニオブ円盤をプレス機によって金型に押し込んで成型する深絞り加工で製作した(図 3)。加工時の異物の噛み込みに注意が必要であるほか、加工後のとぼ口について、小径側(アイリス部)のすぼみと大径側(赤道部)の開きを考慮して金型を製作しないと、金型からワークが外れなくなるなどの問題が起こる。

半セルのアイリス部と赤道部を旋盤によって接合のための開先に加工した(図 4)。ニオブは銅やステンレスに比べて粘っこく硬い性質があり、切削条件をうまく設定しないと、切子によってワークが傷つけられたりする。

開先加工したセル部はまずアイリス部を接合してダンベルと呼ばれる形状にした。次にダンベル 2 個を赤道部で接合して 2 セルダンベルとし、2 セルダンベルを 2 つ接合して 4 セルダンベルへ、そして 4 セルダンベルを 2 つ接合して 8 セルダンベルへと加工した(図 5)。開先は接合前に都度化学研磨を実施して洗浄した。この工程で安定で滑らかなビードを作ることが超伝導空洞の製造上、最も重要と考えられている。

エンドコンポーネントは主にパイプとその枝管、ベースプレートと呼ばれる厚板のチタンおよびセル部と接合されるエンドセルからなる。

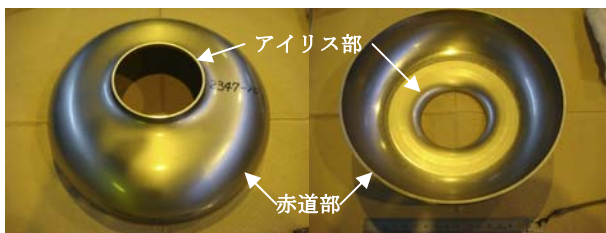


図 3 : 深絞り加工によって製作した半セル



図 4 : NC 旋盤による半セルの接合部開先加工

パイプは主管、枝管ともにニオブの板材をプレス成型によって半割れの円筒状に加工したものを、長手方向に電子ビーム溶接で接合して製作した。

主管の枝管接合部は半割れパイプの時点で突き出し加工によって製作した。

主管と枝管のフランジはニオブチタン製で電子ビーム溶接によって接合した。

ベースプレートはチタンバルクの削り出しで製作した。その内側にニオブのリングを挿入し、電子ビー



図 5 : セル部の接合

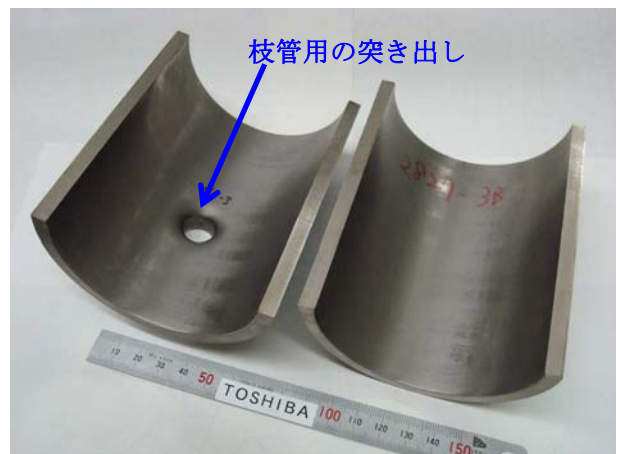


図 6 : 半割れパイプ

ムで接合した。この接合は異材溶接である上に機能上 17mm の板厚の全貫通溶接が要求されるため、接合条件の設定が非常に難しい。

ベースプレートを接合したニオブのリングの両側に枝管を接合済みの主管とエンドセルと呼ばれる半セルを接合するとエンドコンポーネントと呼ばれる状態になる。

8 セルダンベルの両端赤道部にエンドコンポーネントのエンドセルを接合して超伝導空洞は完成となる。

3.2 表面処理、縦測定

KEK にて製作した超伝導空洞について表 1 に示す一連の工程で表面処理と縦測定(超伝導状態での大電力性能試験、図 9)を実施した。

結果を図 11 に示す。第 1 章で述べた ILC の要求性能である加速電場 31.5MV/m 以上に比べて低い結果となった。現在、製作条件と縦測定との相関を縦測定データの整理、内面検査等によって調査しているところである(図 12)。

表 1:KEK にて行った表面処理、縦測定工程

#	工程	所用時間 (納入日起算)
1	納入	
2	受入検査 寸法測定 パスバンド測定 内面検査	1,2 週目
3	電解研磨 1 フランジ化学研磨 5um 電解研磨 100um 電解研磨 超音波洗浄 高圧超純水洗浄	3 週目
4	内面検査、焼鈍	4 週目
5	内面詳細検査	5,6 週目
6	ブリチューニング(図 10)	7 週目
7	電解研磨 2 フランジ化学研磨 20um 電解研磨 超音波洗浄 高圧超純水洗浄 ベーキング	8 週目
8	縦測定(図 11)	9 週目



図 7:ベースプレートの厚板溶接



図 8:エンドコンポーネント(大径の枝管側)

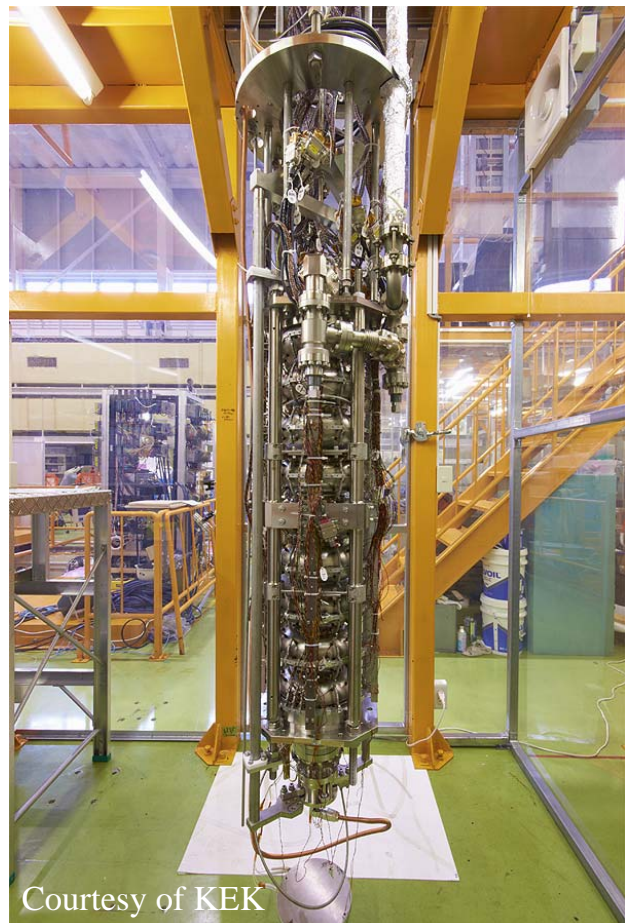


図 9:縦測定用に組み立てられた超伝導空洞

4. まとめ

今回の9セル空洞の製作と表面処理、縦測定からえられた知見を生かして、次の開発へとつなげて行きたい。

謝辞

KEK 関係者の方々には製造後製造段階はもとより、約3ヶ月もの表面処理、縦測定に関してご尽力、ご指導いただき、感謝申し上げます。本件にご協力いただいた社内外の関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] H.Padamsee, J.Knobloch and T.Hays: RF Superconductivity for Accelerators. New York: John Wiley, 1998.
- [2] S.Noguchi, “超伝導加速空洞”, OHO’87
- [3] E. Kako, “超伝導空洞の高周波設計”, OHO’06
- [4] T.Saeki, “超伝導空洞の製作技術と計測技術”, OHO’06

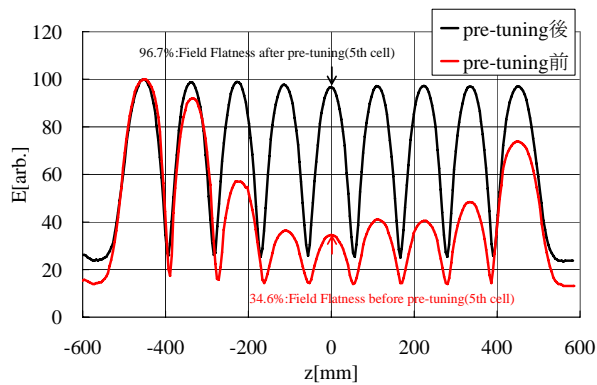


図 10: プリチューニング前後での電場平坦度

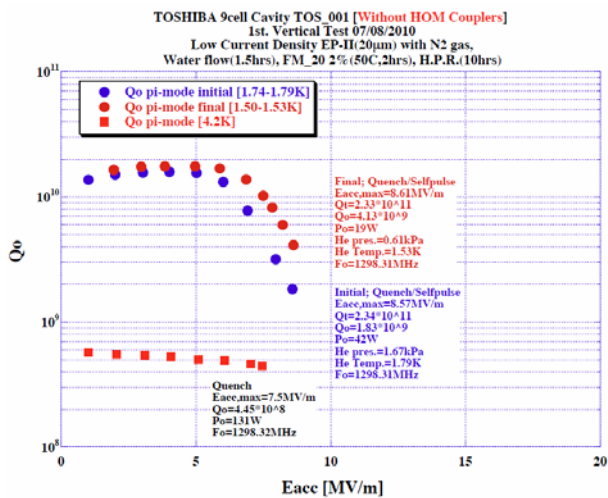


図 11: 縦測定における超伝導空洞のπモードの内部 Q 値 Q_0 と加速電場 E_{acc} の関係 (Courtesy of KEK)

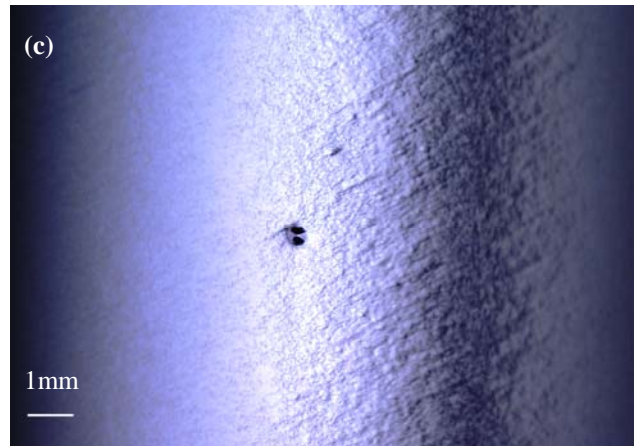


図 12: 縦測定後の内面検査の写真。(a)通常のビード部、(b)縦測定時の Hot Spot と考えられる内面 1(赤道部ビードおよびその周辺の形状異常)、(c) 縦測定時の Hot Spot と考えられる内面 2(セル R 部のバンブ)