Status of the Superconducting Cavity Development for ILC at MHI

Kohei Kanaoka[1,A)], Katsuya Sennyu[A)], Hiroshi Hara[A)], Masanori Matsuoka[A)]
A) MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES,LTD.
1-1, WADAMISAKI-CHO 1-CHOME, HYOGO-KU, KOBE 652-8585 JAPAN

Abstract

MHI has supplied superconducting cavities for the KEKB Crab project, ERL (Energy Recovery Linac) project and the ILC R&D (STF: Superconducting RF Test Facility in KEK) project to KEK in Japan for the last few years. We are improving the technology to design and fabricate the superconducting cavities for ILC R&D. We can present some examples of our work that have improved the quality and productivity of the superconducting cavities. We designed and fabricated four STF 1.0-type cavities and two STF 1.5-type cavities. The status of superconducting cavity development for ILC at MHI is described in this paper.

三菱重工での超伝導加速空洞の開発状況

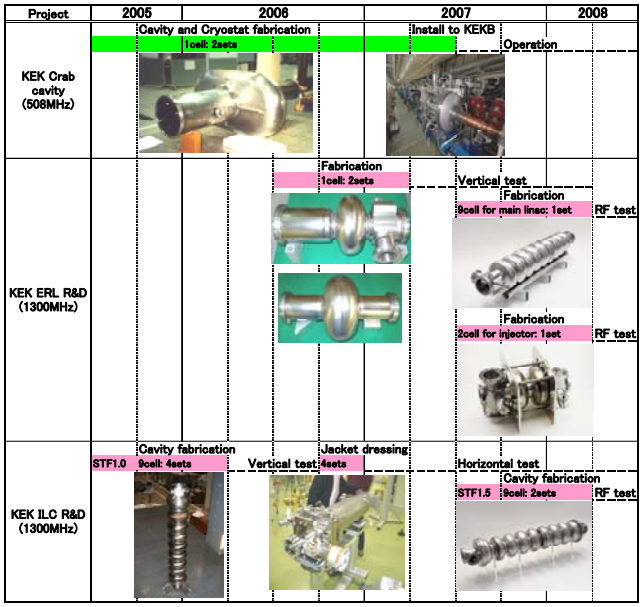
１．はじめに

現在、KEKではSTF(Superconducting RF Test Facility)の建設が進められている。これまで三菱重工業ではSTF向けに6台の超伝導加速空洞を設計・製作してきた。その中の4台の空洞はKEKにて縦測定を終了し、現在、横測定を行っている。[1] 残りの2台に関しては、今秋にKEKでの試験を予定している。[2]

２．ここ数年で当社が製作した超伝導空洞

これまで、当社はさまざまなタイプの超伝導空洞を製作してきた。その一例として、ここ数年で当社が製作を手掛けた超伝導空洞を表1に示す。

表 1：当社の超伝導空洞の製造実績(2005~)



３．STF1.0空洞の特徴

3.1 STF1.0空洞の課題

STF1.0空洞の開発課題は、ローレンツデチューニングを減らすことを目的として、チューナーを含めた剛性の高いジャケットシステムを製造・設計することであった。[3]

高剛性のジャケットシステムを作り上げる為に、以下に示すTESLA空洞からの変更が必要になる。

- 厚肉のチタン製のベースプレート
- 削り出しによる厚肉のビームダクト
- 厚肉のベローズフランジ
- 厚肉のジャケット本体
- チューナーシステムの剛性の向上[4]

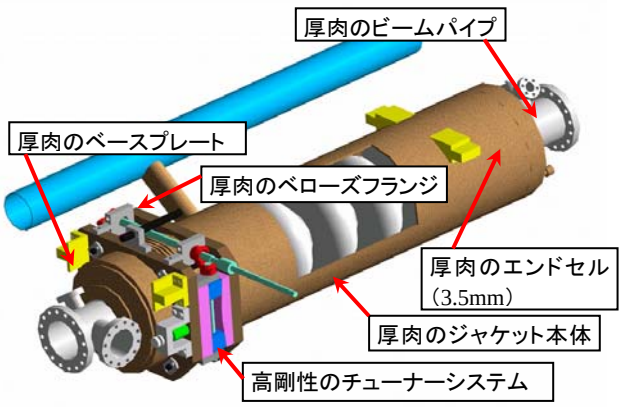


図 1：STF1.0空洞及びジャケットシステム

[1] E-mail: kohei_kanaoka@mhi.co.jp

3.2 STF1.0空洞の問題点

STF1.0空洞は、KEKで行われた縦測定の結果(図2)目標値(E_{acc}>31.5MV/m、Q_0>1×10^{10})に達することが出来なかった。[5] この性能の限界はセルの赤道部の溶接の品質が影響していることが考えられる。

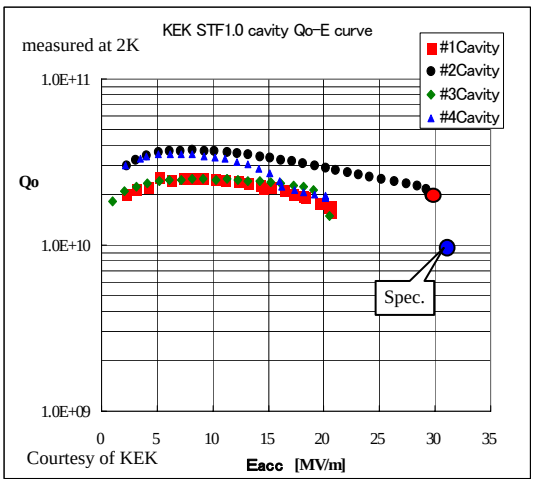


図 2：縦測定結果

4．STF1.5空洞の特徴

4.1 STF1.5空洞の主な開発課題

STF1.0空洞の赤道部溶接を改善し、空洞性能を向上させることを目的としてSTF1.5空洞の開発を行った。（図3）

空洞の性能の改善のため、STF1.0空洞から以下の項目を改善した。

- 赤道部における溶接部の品質の改善（空洞内面の溶接ビードをSTF1.0空洞より滑らかにする。）。
- EBW（電子ビーム溶接）前に、毎回開先部の洗浄を実施する。
- EBW前の組立場所の清浄度の向上。

図 3：STF1.5空洞

5．STF1.5からの改良計画

溶接部の品質の改善の後は、生産性の改善を計画している。KEKと共に計画している生産性の改善案について紹介する。

5.1 成形加工

現在、「HOMカプラ」「ビームパイプ「ベースプレート」の製造方法の変更を検討しており、既に一部開発中である。

○ HOMカプラ

HOMカプラに関しては、デザインの簡略化が必要であると考えている。特に内導体は、図4に示すように全面同じ厚さに製造する予定である。外導体に関しては機械削り出し加工から、深絞り、つば出し成形への変更を検討中である。

○ ビームパイプ

ビームパイプは、これまでの機械削り出し加工に変えて、深絞り、つば出し加工を用いた5mmの板厚での製作を検討している。

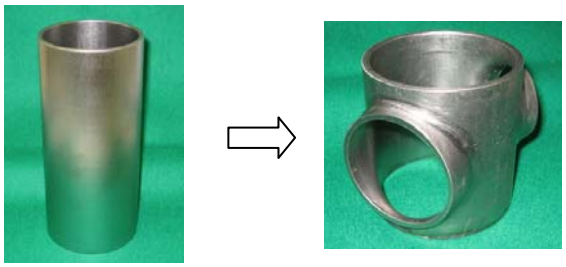


図 4：つば出し加工によるビームパイプ製作

○ ベースプレート

ベースプレートはこれまでの機械削り出し加工から、プレス加工により、板厚20mmによる製作を計画している。

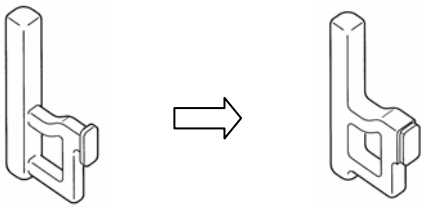


図 5：HOMカプラ内導体(STF1.5(左)、新型(右))

6．ILCに向けたR&D

ILC計画を実現させるためには、空洞の生産性の観点から、数多くのR&Dが不可欠である。

6.1 溶接の生産性に関して

溶接部を減らす為、次の項目を検討中である。

- フランジ溶接部と強め輪溶接部

  溶接部を減らすために、フランジとビームパイプの溶接部、及び強め輪とハーフセルの溶接の、ろう付けへの変更を検討中である（図5参照）。既にニオブとニオブ(Nb/Nb)、ニオブとチタン(Nb/Ti)のろう付けの接合試験を実施した。表2にその結果を示す。3つのろう材について、接合の際の温度と2つの材料の相性の観点から選出した．試験の結果、Nb/Nbの接合、Nb/Tiの

接合のいくつかの条件で十分な強度を持つことがわかった。

Nb/Tiは衝撃吸収テストでの吸収エネルギーが小さい為、この接合を採用するには更なる検討が必要になる。

Nb/Nbの接合は更なる衝撃強度を期待し、若干の接合条件の変更が必要になる。その後、低温での試験にて健全性の確認を行う。

表 2：ろう付け部の機械試験

試験材	ろう材	表面処理	平均破断強度 (N/mm^2)	破断箇所	平均吸収エネルギー Kv_2(J)	リークテスト	その他
Nb/Ti	A	－	124	Nb	0.58	○	
		○	122	Nb	－	○	
	B	－	45	結合部	0.55	○	
		○	40.7	結合部	－	－	
	C	－	42.7	結合部	0.6	○	
		○	39.2	結合部	－	－	
Nb/Nb	A	－	54.6	結合部	－	－	
	B	－	120.6	Nb/結合部	9.78	－	1sample:22J
	C	－	121.6	Nb/結合部	4.05	－	
		○	106.6	結合部	－	－	

熱処理条件：923° ×3h、77K×5min.
試験温度：室温

・ アイリス部

アイリス部に関しても、溶接を削減するために新しい成形方法を試験している（図6参照）。この製作方法を選択すると、アイリス部の溶接無しでダンベルの製作が可能になる。この製造方法の特徴をまとめると以下の通り。

この製作方法では同じ加工機械で、段取り換えすることなくダンベルの成形から溶接開先部の機械加工が可能となり、ダンベル1つ当りの製作予想時間が30分以内である。

今回の試作ではパイプ内面の梨地状が大きくなってセル内面に現れた。これはセルの内面の精度がパイプの品質に依存する為で、高品質のパイプの製作が必要になる。成形後の空洞形状は精度良く製作することが出来た。

今後、パイプ品質を改善後に、テスト空洞を製作し、性能試験を行う必要がある。

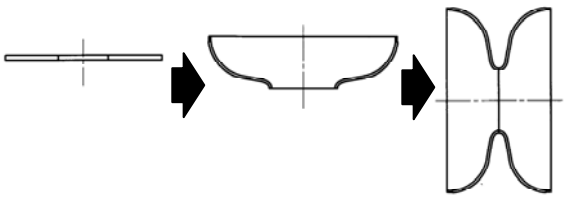


図 6：通常のダンベル製造方法

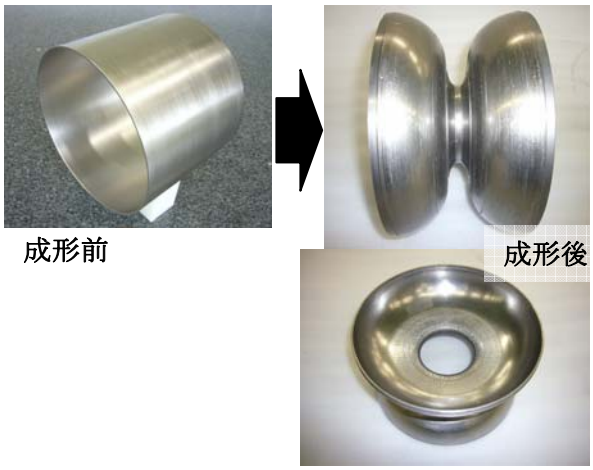


図 7：新しいダンベルの製造方法（成形前、成形後）

7．まとめ

・当社は、ここ数年KEKを中心に、超伝導空洞を提供してきている。その中でILCのR&Dとして超伝導空洞の設計・製作技術の改良を行ってきた。
・4台のSTF1.0空洞の製造を手掛けてきた中で、さまざまな問題や改善点を把握した。
・また、STF1.0空洞に対し溶接ビードの品質を向上したSTF1.5空洞を2台製作した。この空洞は今秋にKEKで性能試験が予定されている。
・現在、ILCのR&Dとして品質、生産性の向上を目指し、様々な解決策が図られてきている。
・当社も、EBWに代えてろう付けを用いる工法や、ダンベルの新しい成形方法に取り組んでいる。

8．謝辞

本発表を行うにあたり、野口修一氏、峠暢一氏、加古永治氏、山本康史氏、宍戸寿郎氏、渡辺謙氏をはじめ、多くの方にご協力をいただきました。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

[1]E. Kako, et al., “STFにおけるTESLA-like空洞のクライオモジュール試験”, 第5回日本加速器学会・第33回リニアック技術研究会プロシーディング, Hiroshima, Japan, (2008) FO17
[2]Y. Yamamoto, et al., “KEK-STFにおける超伝導空洞性能試験（たて測定）設備の構築”, 第5回日本加速器学会・第33回リニアック技術研究会プロシーディング, Hiroshima, Japan, (2008) TP093
[3] K. Sennyu, et al., “Design and Fabrication of Superconducting Cavities for Industrialization”, 13th SRF2007, Beijing, China, (2007)WEP48
[4]S. Noguchi, et al., “Review of New Tuner Design”, 13th SRF2007, Beijing, China, (2007) WE303
[5]E. Kako, et al., “Vertical Test Results STF Baseline 9-cell Cavities at KEK”, 13th SRF2007, Beijing, China, (2007) WEP10