

ACTIVITIES FOR ILC AT MHI

Haruki Hitomi, Katsuya Sennyu, Hiroshi Hara, Fumiaki Inoue, Kohei Kanaoka, Takeshi Yanagisawa
Mitsubishi Heavy Industries, Ltd, Kobe, Hyogo, 652-8585, Japan

Abstract

Cavity fabrication method with new forming technology and Laser welding technology are reported. 1.3GHz 9-cell cavity with Laser welding technology for stiffener and flange joint is achieved 29 MV/m at vertical test at KEK and 1.3GHz 2-cell seamless dumbbell cavity are fabricated at MHI for verifying the fabrication method. These are reported in detail. Some other fabrication technology for cost reduction and stable quality are introduced.

ILC に向けた三菱重工の取り組み

1. はじめに

当社は、ここ数年の間、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) における STF プロジェクト及び cERL プロジェクト向けに様々な 1.3 GHz 超伝導加速空洞を供給している (表 1)。超伝導加速空洞の性能を向上させる為、様々な取り組みを行ってきた。主な取り組みとして、表 2 に示すような電子ビーム溶接 (EBW) における清浄度と溶接ビードの向上が挙げられる。

表 1: 近年製造した空洞一覧

Project	Customer	Production year	Cell-number	Quantity	E _{acc} max at vertical test (MV/m)	Q ₀ at operating (final) E _{acc}	Remarks
STF Phase1	KEK	2005	9	4	20.2 to 29.4	2×10 ¹⁰	
		2006	1	2	31	9×10 ⁹	
ERL R&D	KEK	2007	9	1	25	5×10 ⁹	
		2007	2	1	43.7	3.4×10 ⁹	w/o HOM pick up antenna
		2008	2	1	40.9	3.3×10 ⁹	
		2009	9	1	28	7×10 ⁹	
		2009~	2	3	under testing		*
		2010~	9	2	under testing		*
STF Phase1.5	KEK	2007		2	28.1	5.4×10 ⁹	
		2008	9	3	37.7	4.8×10 ⁹	
		2009		2	28.2	4.9×10 ⁹	
STF Phase2	KEK	2010~	9	11	40.6	6.2×10 ⁹	*

* 高圧ガス保安法準拠

表 2: 性能向上の為の取り組み

No.	主な取り組み
1	溶接条件を調整し、滑らかな溶接ビードを得た (赤道部板厚 2.5mm→2mm)
2	EBW 及び組立エリアをクリーンブース内に設置した (クラス 10000 程度)
3	溶接開先の粉塵除去にはエアガンからトップガンの使用に変更した
4	化学研磨の頻度を変更した セルトリム加工後のみ→EBW 前に毎回実施

最近の縦測定 (KEK における性能計測) の結果、いくつかの STF Phase2 向け超伝導空洞が ILC の要求スペックである E_{acc}=31.5 MV/m に到達した。特に、MHI-#12 号機は、最大加速電界 E_{acc}=40 MV/m を超える性能を発揮し、国内最高記録を樹立した。このように、当社の超伝導空洞製造技術は着実に向上してきている。現在、国内の高圧ガス保安法に適用した空洞 11 台 (MHI-#12~22 号機) を製造中であり、順次 KEK で性能計測が実施されている。

当社では、ILC 計画実現に向けて、性能の要求を満たす空洞の製造だけでなく、生産性の向上・製造コストの低減に向けた取り組みも行い、数々の新工法を提案している。この中で、新工法で製作した MHI-A 号機が、2010 年 3 月に完成し、最初の性能計測が行われた。また、現在新たに MHI-B 号機を製作中である。以下でその詳細について報告する。

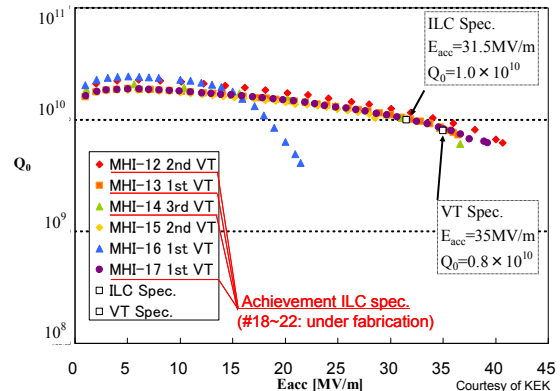


図 1: 最近の STF 空洞の性能 (courtesy of KEK)

2. 空洞製造技術及び製造方法の向上

空洞の量産に向けた製造技術及び製造方法の向上の基本方針は、部品点数の低減・規格品の使用・加工等の自動化・一括処理による輸送頻度の低減・製造手順及び専用治工具の使用や装置の最適化による工程の短縮といった点が考えられる。

当社は、STF 計画に参画以来、そのような基本方針に基づき、以下に示すような様々な製造方法を提案し、開発・検証してきた [1][2][3][4]。

2.1 実機に適用済みの工法

以下のことは、STF 空洞に適用済みであり、空洞性能に影響が無いことが確認されている

- HOM(High Order Mode)カプラ内導体形状の簡素化
- ベースプレート、ビームパイプ、HOM カプラ外導体、入力ポートにおける機械加工の低減及び成形加工の適用

2.2 試作空洞に適用した工法

以下のことは、工法の確立と空洞性能への影響を調べる目的で試作空洞に適用したものであり、今後実機への適用を予定している。

- 強め輪とフランジの接合を EBW から Laser Beam Welding (LBW)に変更 (MHI-A 号機に適用)
- セル及びダンベル内面の自動研磨仕上げ (MHI-B 号機に適用)
- シームレスダンベルの適用 (MHI-B 号機に適用)

2.3 現在開発中の工法

- フランジの材質の変更 (NbTi に変えて Ti や Nb 合金の使用を検討中)
- 強め輪及びフランジの接合にろう付けを適用

2.4 新規の提案

以下のことは、今回新たに提案するものである。

- ピックアップポートフランジの一体化 (クイックカップリングの使用による組立性の向上)
- ベースプレートのニオブ部とビームパイプの一体化 (溶接シームの低減)

3. MHI-A 号機 (R&D)

新工法の性能への影響を検証する為、レーザービーム溶接法(LBW)及び HOM カプラ外導体の深絞り成形法を適用した試作空洞 (MHI-A 号機) を製作し、2010 年 10 月に高エネ研にて縦測定を実施した。本空洞は、新工法を適用した部位に発熱等の異常は無く $E_{acc}=29.5$ MV/m に到達した(図 2)。また、8 セルを除くその他のセルは十分な性能を有する結果であった。これより、新工法の実機適用が可能であることが分かった。

3.1 MHI-A 号機の特徴

- HOM カプラ外導体は、厚さ 3 mm のニオブ板を深絞り成形し、外面のみを機械加工した。また、内面の研磨は行っていない。
- 強め輪とフランジの溶接には LBW を適用した。
- 基本設計は STF Phase2 空洞と同様とした。

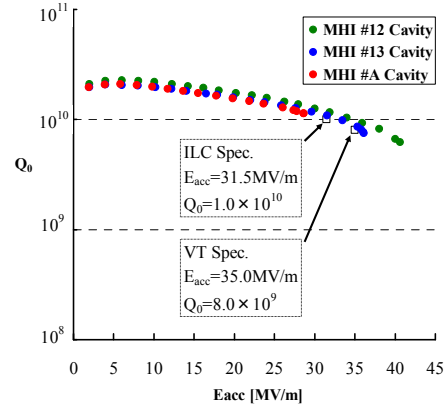


図 2 : MHI-A 号機の 1st VT の結果 (courtesy of KEK)。同じバッチで製作した STF-#12,13 号機との比較。

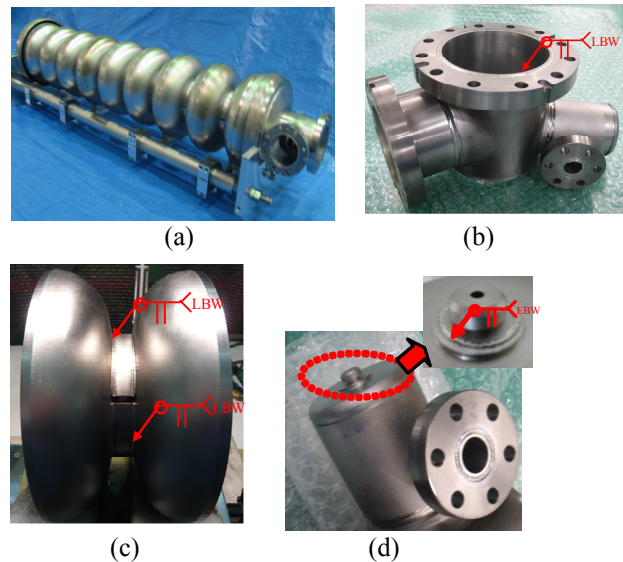


図 3 : (a) MHI-A 号機外観,(b) ビームパイプ, (c) ダンベル, (d) HOM カプラ

4. MHI-B 号機 (R&D)

当社では、シームレスダンベルを用いた MHI-B 号機を製作している。シームレスダンベルの性能への影響を調べる為、本空洞は、高エネ研と J Lab と共同で性能検証を行なう予定である (H23.9 月頃)。

4.1 MHI-B 号機の特徴

- アイリス部に溶接線が無い (シームレスダンベルを使用)
- セル数は 2 セル
- ダンベルの内面は自動バフ研磨仕上げ
- セルの設計形状は STF 空洞と同様

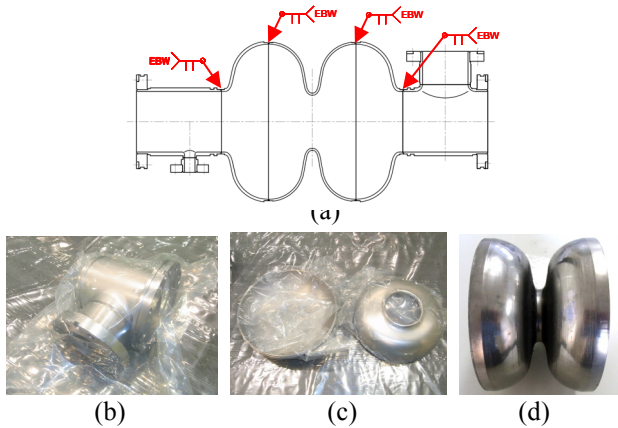


図4 : (a) MHI-B 号機全体図, (b) ビームパイプ, (c) エンドセル, (d) シームレスダンベル

4.2 シームレスダンベル

当社では、シームレスダンベルの開発を行っており、最近、内面の品質が素材品質に影響することが分かってきた。また、適切な成形条件を選定することに成功した。性能への影響を検証する為、試作空洞への適用を開始している。

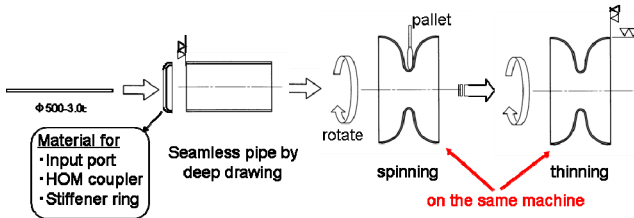


図5 : シームレスダンベルの成形手順

4.3 自動バフ研磨

セル内面は、超伝導性能の要求から非常に滑らかに仕上げる必要がある。現状では、人の手により傷やへこみを除去しているが、当社では、ロボットによる自動バフ研磨装置を開発している。図6に開発中の装置で研磨したダンベル内面の一例を示す。



図6 : (a)自動バフ研磨前, (b) 自動バフ研磨後

5 エンドパーツの一体化 (PROPOSAL)

STF 空洞のエンドパーツは HOM カプラやインプットカプラ用のポートを備えたビームパイプ・LHe ジャケット端板・エンドセルで構成される (図7)。現状では、ジャケット端板はチタン部とニオ

ブ部が分割されているが、これをビームパイプと一体化し溶接線を減らすことが可能と考えている。

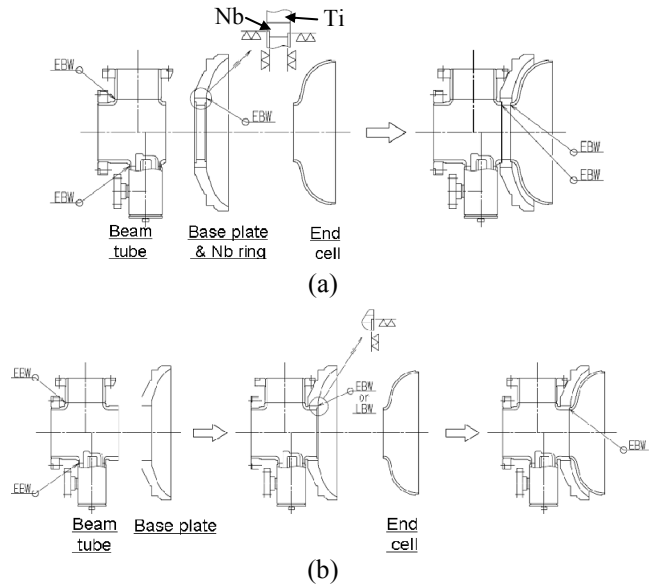


図7 : エンドパーツの一体化 (a) 現状, (b) 新形状

6. まとめ

- 当社は様々な 1.3GHz 超伝導空洞を供給しており、空洞性能は着実に向上してきている。
- 当社は、ILC 実現に向けて数々の新工法を提案・検証し技術を蓄積してきている。今後、コストについても具体的な評価を行う予定である。
- MHI-A 号機の性能測定の結果、LBW の一部適用と HOM カプラ外導体の深絞り製品に適用出来ることが分かった。
- 現在シームレスダンベルを用いた MHI-B 号機を製造中である。本空洞は今秋 KEK と J Lab 共同で性能計測が実施される予定である。

7. 謝辞

本稿を作成するに当たり KEK の野口修一氏、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々にご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] K. Sennyu, et al., "Design and Fabrication of Superconducting Cavities for Industrialization", 13th SRF2007, Beijing, China, (2007), WEP48
- [2] K. Sennyu, et al., "Status of the Superconducting Cavity Development for ILC at MHI", 12th EPAC '08, Genoa, Italy, (2008), MOPD009
- [3] K. Sennyu, et al., "Status of the Superconducting Cavity Development for ILC at MHI", 1st IPAC '10, Kyoto, Japan, (2010), WEPE015
- [4] K. Sennyu, et al., "Status of the Superconducting Cavity Development for ILC at MHI", 12th LINAC '10, Tsukuba, Japan, (2010), MOPD030