

ILC に向けた超伝導加速空洞の開発状況

SUPERCONDUCTING CAVITY R&D FOR ILC AT MHI

原博史, 仙入克也, 井上典亮, 柳澤剛, 金岡耕平
 Hiroshi Hara, Katsuya Sennyu, Fumiaki Inoue, Takeshi Yanagisawa, Kohei Kanaoka,
 Mitsubishi Heavy Industries, Ltd, Mihara, 729-0393, Japan

Abstract

MHI has so far manufactured 9-cell superconducting cavity for STF (Superconducting Test Facility), and ERL (Energy Recovery Linac) with KEK. MHI has developed the mass production construction method of superconducting cavity for ILC in parallel. This report provides status of development.

1. はじめに

次世代加速器の国際リニアコライダー(ILC)への適用を目指し、KEK では超伝導 RF 試験施設(STF)が稼働し、超伝導加速技術の開発が行われている。

MHI では、その基幹技術として必要とされる電子を高い電場で加速する高周波加速装置として、超伝導加速空洞を供給している。これまで STF 型 9 セル超伝導空洞として 26 台の納入実績がある(Table 1)。これらの内、#12 号機以降の空洞は高圧ガス設備として稼働しており、その平均加速勾配は 35.2MV/m であり、ILC の設計加速勾配 35MV/m を達成している(Figure 1)。

一方で社内開発にて生産性向上の為の新しい技術を開発しており、これまで 3 台の ILC R&D 超伝導加速空洞を製造してきた。今回、最新工法を用いて新規空洞(MHI-D 号機)を完成させたので、ここに報告する。

Table 1: Production List

| Project | Customer | Production year | Cell number | Quantity | Remarks |
|---------|----------|-----------------|-------------|----------|--|
| STF | KEK | 2005-2014 | 9 | 26 | MHI-1 to MHI-26 |
| | | 2013- | 9 | 4 | MHI-27 to MHI-30 (under fabrication) |
| | | 2009-2010 | 2 | 3 | For injector of KEK c-ERL project |
| ERL | KEK | 2010-2011 | 9 | 2 | For main ring of KEK c-ERL project |
| | | 2009 | 9 | 1 | [MHI-A] Deep drawing for HOM cup LBW for stiffener and flange |
| ILC R&D | MHI | 2010 | 2 | 1 | [MHI-B] Seamless dumbbell, Auto buffing |
| | | 2012 | 9 | 1 | [MHI-C] LBW for baseplate Welding all equator line in succession |
| | | 2014 | 9 | 1 | [MHI-D] Nb Gr-2 flange Welding all equator line in succession (4 cavities/1 batch) |

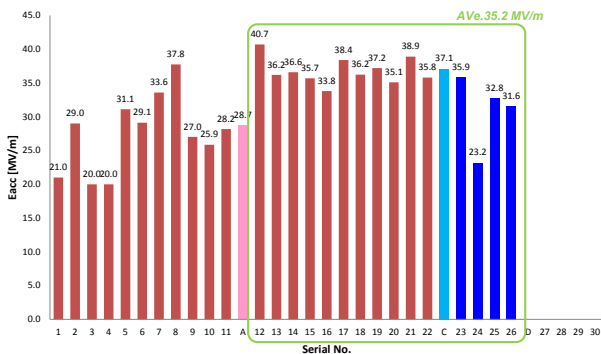
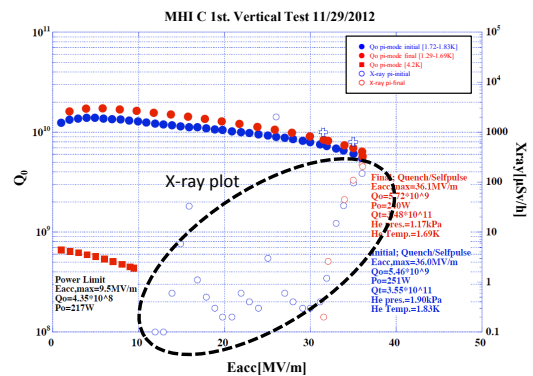


Figure 1: Summary of MAX Accelerating Gradient.

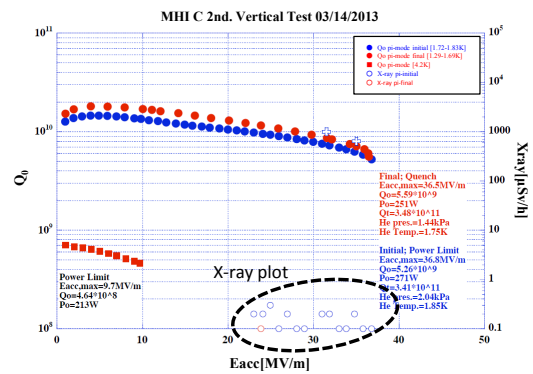
2. MHI-D 号機の開発

2.1 アイリス部溶接ビードの改善

超伝導空洞の性能劣化の原因の一つに、突起等起因する空洞内面での電界放出(フィールドエミッション)によるエネルギーロスが挙げられる。空洞のくびれ部分であるアイリス部は、電界が集中する為、電界放出が発生しやすく、特に平滑度が求められる。ILC R&D 機として製造した MHI-C 号機の性能試験において、アイリス部の溶接ビードを平滑研磨処理することでフィールドエミッションによる X 線発生量が低減することが確認されている(Figure 2)。



(a) Non Grinding



(b) Iris Grinding

Figure 2: Comparison of generating X-rays.

そこで今回、アイリス部の溶接板厚の最適化、溶接条件の見直しを行うことで、平滑研磨が不要となる溶接ビードが得られた。今後の性能測定にて、発生 X 線の低減が期待される。



(a) old



(b) new

Figure 3: Weld bead of iris.

2.2 Nb Gr-2 フランジの採用

金属 O-リングを使用して真空シールを行う場合、フランジ材には、これまでニオブチタンが使用されているが、今回、フランジ材としてニオブチタンに代えてニオブを採用することとした。これにより、部品点数、及び溶接線が削減できる(Figure 4)。

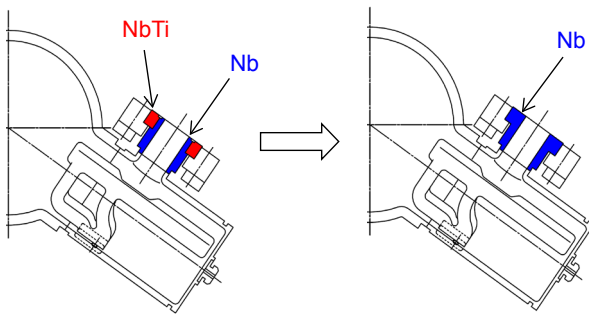


Figure 4: Combination of pick up port and flange.

材料の候補として、独ヘルウス社より、以下 3 種類の材料を購入した。

- ASTM Gr-2 Nb (表層硬化処理品)
- ASTM Gr-2 Nb (硬化処理なし)
- RRR300 Nb (表層硬化処理品)

Table 2: Chemical Composition (wt %)

| Element | Spec | |
|---------|------------------------|--------------------------|
| | RRR300 | ASTM Gr-2 |
| | (purchased from Japan) | (purchased from Heraeus) |
| O | 0.015 | 0.025 |
| N | 0.01 | 0.01 |
| C | 0.01 | 0.01 |
| H | 0.002 | 0.0015 |
| Ta | 0.15 | 0.3 |
| Si | 0.005 | 0.005 |
| Fe | 0.005 | 0.01 |
| Zr | 0.01 | 0.02 |
| W | 0.02 | 0.05 |
| Ti | 0.005 | 0.03 |
| Ni | 0.005 | 0.005 |
| Mo | 0.005 | 0.02 |
| Hf | — | 0.02 |
| Nb | 99.85 | remainder |

購入した材料からフランジテストピース(Figure 5)を製作し、液体窒素浸漬によるヒートショックを与えた後に He リークテストにより漏れ試験を行った結果、3 種類の材料共に気密性に問題は認められなかった。また、空洞に対して行われるものと同じ熱処理、及び液体ヘリウム浸漬によるヒートショックを与えた後も、結果に変化は無かった。このことから、入手性を考慮し、ASTM Gr-2 Nb (硬化処理なし)に決定し、試作空洞の材料に適用した。今後、新材料が空洞性能へ及ぼす影響を確認し、実機への適用を提案していく。



Figure 5: Test flange.



Figure 6: Airtight test.

2.3 空洞4台1バッチ溶接

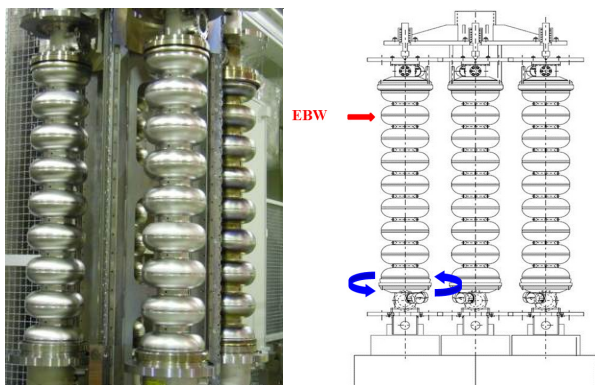
MHI では、空洞を縦置きにして溶接するに十分な高さの溶接室を持つ電子ビーム溶接機を保有している。空洞部品を縦型治具に装着して溶接室に入れることで、一度の真空排気で9セルの赤道部全ての電子ビーム接合を行うことが可能である。これまで、MHI-C号機（ILC R&D 空洞），MHI-23～26号機の溶接組立を施工した実績があり，この内，MHI-25～26号機は，同時に溶接室に入れて溶接組立を行っている。今回，4台の空洞を同時に溶接室に入れ，電子ビーム接合を完了し，更なる生産性の向上に成功した(Figure 7)。



1 cavity/batch

2 cavities/batch

(a) old



4 cavity/batch

(b) new

Figure 7: Welding of cavity.

3. まとめ

MHI では、KEK 向け 9 セル超伝導空洞の製造に取り組むと共に，ILC に向けた生産性向上の開発を続けてきた。今回，従来工法に加えて，アイリス部溶接ビードの改善，ピックアップポートフランジの設計変更，空洞4台同時溶接技術を織り込んだ ILC R&D 空洞を完成させた。今後の性能試験を通じて開発成果を評価していく。

謝辞

本稿を作成するに当たり KEK の加古永治氏，山本康史氏，宍戸寿郎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] T.Shishido, et al., "Achievement of ILC Specification in the STF 9-cell SC Cavities at KEK", 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, Japan, (2011), TUPS127.
- [2] K.Sennyu, et al., "Industrialization of ILC from a view point of industry", 4th IPAC13, Shanghai, China, (2013), WEIB203.
- [3] T.Yanagisawa, et al. "Status of the Superconducting Cavity Development for ILC", SRF2013, Paris, France, (2013), MOP055.
- [4] R.Ueki, et al., "Vertical test result of 9-cell SC cavities for STF2-CM2a cryomodule", 本学会, SUP045.
- [5] T.Shishido, et al., "Construction of STF2 Cryomodule consisting of Twelve 1.3 GHz 9-cell SC Cavities.", 本学会, MOOL12.