

超伝導加速空洞表面処理設備の検証試験

COMMISSIONING OF SURFACE TREATMENT FACILITY FOR SRF CAVITY

宮本明啓^{#,A)}, 柳澤剛^{A)}, 原博史^{A)}, 沖平和則^{A)}, 仙入克也^{A)}
加古永治^{B)}, 梅森健成^{B)}, 許斐太郎^{B)}

Akihiro Miyamoto^{#,A)}, Takeshi Yanagisawa^{A)}, Hiroshi Hara^{A)}, Kazunori Okihira^{A)}, Katsuya Sennyuu^{A)}
Eiji Kako^{B)}, Kensei Umemori^{B)}, Taro Konomi^{B)}

^{A)} Mitsubishi Heavy Industries Mechatronics Systems, LTD.

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization

Abstract

Surface treatment of inner surface of Superconducting RF cavity (Hereinafter referred to as SRF cavity) is important to achieve high accelerating gradient and Q value. In order to perform this process by ourselves, our company^{A)} has installed facilities for surface treatment of SRF cavity. Facilities consist of chemical polishing equipment, ultrasonic cleaning equipment, ultra-pure water system, high pressure water rinsing equipment and clean room. As a commissioning of these facilities, we performed trial surface treatment and vertical test in collaboration with KEK^{B)}. Test result is reported in this paper.

1. はじめに

超伝導加速空洞にとって高い加速電界やQ値を得るためには、空洞内面の表面処理のプロセスが重要である。これまで三菱重工メカトロシステムズ(株)は、多数の超伝導加速空洞を製造してきたが[1], 表面処理はお客様にて実施いただいていた。このプロセスを自社で実施するため、我々は超伝導加速空洞の表面処理設備を導入し、高エネルギー加速器研究機構殿(以降 KEK 殿)と共同で、設備の検証試験を実施した。本稿にて試験結果を報告する。

Table 1: Outline of Vacuum Furnace

Dimension	φ 1300mm × H3500mm
Temperature	Max 1200 °C
Vacuum level	1 × 10 ⁻⁴ Pa

Table 2: Test Condition of Heat Treatment

Temperature	750°C
Time	3Hour
Surrounding	Cavity is set in Titanium box.

2. 表面処理設備検証試験

2.1 試験概要

試験に用いる超伝導加速空洞は、KEK 殿から1セル楕円空洞、共振周波数 1.3GHz を借用させていただいた。本空洞は、KEK 殿により表面処理(ただし化学研磨ではなく電解研磨)が実施済みで、十分な性能が得られることが確認されている空洞である。この空洞に対して、熱処理、化学研磨(BCP)、高圧水洗浄の順に処理を実施し、クリーンルームにて最終組立をした後に、縦測定により、加速勾配およびQ値を評価する。



Figure 1: Heat treatment setup.

2.2 熱処理

1セル楕円空洞に対して、真空炉にて熱処理を施した。真空炉の仕様を Table 1 に示す。試験条件は、処理温度 750°C, 処理時間 3 時間である。1セル空洞はチタン製の箱に収めた状態で真空炉に設置した(Table 2, Figure 1 参照)。

2.3 化学研磨(BCP)

熱処理後に、化学研磨により空洞内面を 20 μm 研磨した。試験条件を Table 3 に示す。空洞のビーム軸を鉛直方向に向け、配管をビームポートに接続し、CP液を下から上へ流した(Figure 2. Left 参照)。研磨終了後は、空洞を純水で十分にすすぎ、超音波洗浄を実施した(試験条件は Table 4, 実施状況は Figure 2. right 参照)。

[#] Akihiro_miyamoto@mhims.co.jp

Table 3: Test Condition of Chemical Polishing

Acid	NO ₃ (69%):HF(47%):H ₃ PO ₄ (85%)
Flow rate	20L/min
Etching time	20min

Table 4: Test Condition of Ultrasonic Cleaning

Frequency	40kHz
Power	8000W
Water temperature	50°C
Cleaning medium	Pure water (Outside cavity) Pure water + detergent(Inside cavity)
Time	15min

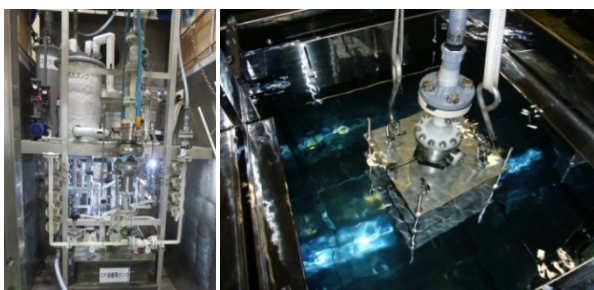


Figure 2: (left) BCP setup (right) Ultrasonic cleaning setup.

2.4 高圧水洗浄(HPR)と最終組立

化学研磨が終了した空洞は、超純水の高圧水で洗浄実施した。高圧水洗浄装置の仕様を Table 5 に、試験条件を Table 6, 実施状況を Figure 3(left)に示す。高圧水洗浄後の空洞は、クラス 10 のクリーンルームに取り出され(クリーンルーム仕様は Table 7 参照), フランジとカプラを取り付け, 真空排気, ベーキングを行った(実施状況は Figure 3(right)参照)。

Table 5: Outline of High Pressure Rinsing Equipment

Specific resistance of Ultra-pure water	> 18MΩ・cm
Water pressure	Max. 10MPa
Water flow	Max. 10L/min
Movement	4 axes (Vertical movement of cavity, Cavity rotation around vertical axis, Rotation of cane, Horizontal movement of cane)

Table 6: Test Condition of HPR

Water pressure	6MPa
Water flow	6.4L/min



Figure 3: (left) HPR setup (right) Final assembly of the cavity.

Table 7: Specification of Clean Room

Cleanliness	Class10
Dimension	L7300mm×W4300×H2550mm
Type	Horizontal coherent flow from side wall

2.5 縦測定

最終組立を完了した空洞は、KEK 殿にて縦測定試験を実施し、加速勾配 Eacc=23MV/m, Q₀=1.0~2.0E+10 を得た。フィールドエミッションは見られなかったが、23MV/m にてサーマルブレイクダウン(クエンチ)し、プロセッシングするも、それ以上の電界は得られなかった(Figure 4 参照)。

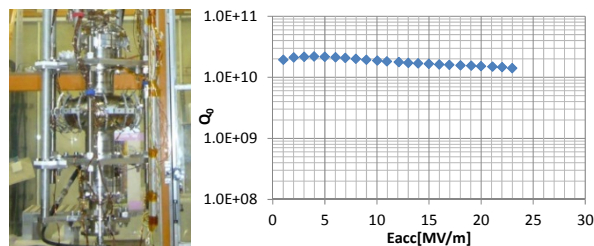


Figure 4: (left) V.T. setup (right) Q-E curve of the cavity that was made surface preparation.

縦測定後に空洞内面観察を行った結果、空洞内面に多数の小さなくぼみが見られた(Figure 5)。化学研磨によるものと考えられるが、詳細原因は調査中である。

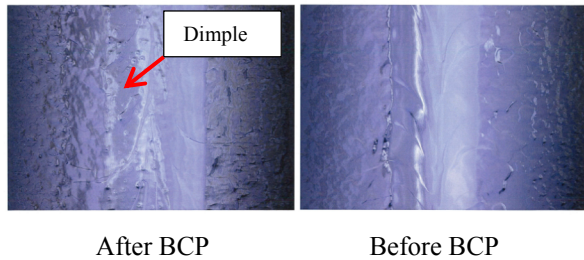


Figure 5: (left) Inner surface of cavity after BCP, (right) Inner surface of cavity before BCP.

3. まとめ

三菱重工メカトロシステムズ(株)では、超伝導加速空洞の表面処理設備を導入し、KEK 殿と共同で、設備の検証試験を実施した。EP 処理した楕円空洞のような高加速勾配は得られなかったが、表面処理後に、一定の性能を得ることができ、特に加速勾配が高くない Low β 空洞等への設備導入の目途を得ることができた。今後も設備の問題点を改善していく必要がある。

謝辞

超伝導加速空洞の表面処理設備を立ち上げることができたのは、本分野の経験が豊富な KEK の加古永治氏、梅森健成氏、許斐太郎氏等のご指導なしにはあり得ませんでした。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] T. Yanagisawa *et al.*, “Development for Mass production of Superconducting Cavity by MHI”, in Proc. IPAC’15, Richmond, VA, USA, May 2015, paper WEPMA048, pp. 2876-2878.