

[P 30–32]

MANUFACTURING OF HIGH TEMPERATURE VACUUM FURNACE FOR NIOBIUM SUPERCONDUCTING CAVITIES

Umezawa H., Moronuki T., Takeuchi K., Saito K.* and Noguchi S.*

Tokyo Denkai Co., Ltd.

Higashisuna, Koto-ku, Tokyo-to, 136, Japan

*; KEK, National Laboratory For High Energy Physics

Oho, Tsukuba-shi, Ibarakiken, 305, Japan

ABSTRACT

Tokyo Denkai Co., Ltd. installed a new vacuum furnace. It has large work area $1250 \phi \times 1400h$ [mm], and high maximum temperature, 1400°C . And the final achievable pressure is 2×10^{-7} Torr. It was designed, so that it could be applied to annealing 9-Cell cavities for TESLA (TeV Energy Superconducting Liner Accelerator).

This paper describes the heat treatment of superconducting niobium cavities, and the new vacuum furnace.

超伝導ニオブ空洞用高温真空熱処理炉の製作

1 はじめに

東京電解株式会社では昨年 7 月に有効加熱帯 $1250 \phi \times 1400h$ 、最高温度 1400°C 、最高到達圧力 2×10^{-7} Torr の真空熱処理炉を完成させた。この真空炉は、LCD (Liquid Crystal Display) 用 Ta スパッタリングターゲットの需要の増大とサイズの大形化に応えるために製作されたが、TESLA (TeV Energy Superconducting Linear Accerallator) 用 9 連空洞の熱処理に使用することも考慮に入れている。ここでは、この大型真空熱処理炉についての説明を行う。

2 ニオブ空洞の熱処理

熱処理炉の説明の前に、まずニオブ製超伝導加速空洞の熱処理について説明する。ニオブ製超伝導加速空洞 (以後空洞) の熱処理はその目的から次の 2 つに大別できる。

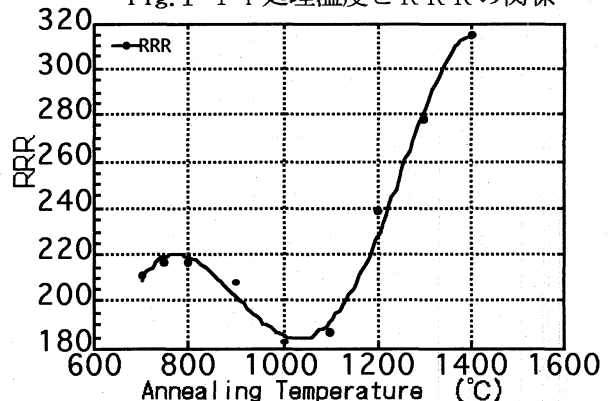
応力除去と脱水素

ハーフセルを成型し、電子ビーム溶接することによって作られた空洞には、その製作過程において残留応力 (ストレス) を持つ。また、表面処理、特に電解研磨を行った空洞は水素ガスを吸収している。このため、通常、残留応力除去と脱水素を目的とした空洞熱処理を行っている。このときの温度は約 $700^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ 、真空度は 10^{-5} Torr 台以下で行っている [1]。

高温チタン処理

高温チタン処理は、チタンのペーパーをニオブ表面に吸着させることにより、ニオブ中の軽元素をチタン中に拡散させ、ニオブの純度を向上させる処理である [2]。十分なチタンを蒸着させることと、ニオブ中の軽元素をチタン中に拡散させるため、高い処理温度を必要とする。Fig. 1 はチタン処理温度と RRR の関係を示したグラフであるが、 $700^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ にかけて残留応力の除去、及び脱水素により RRR は上昇するものの、 800°C を過ぎると RRR は低下し、 1000°C で底をつくるとふたたび上昇する。これはチタン処理の効果が発揮される温度が 1000°C 以上になることを示している。同時に、真空炉の性能にもよるが、我々の 1×10^{-6} Torr の真空では、たとえチタンと一緒に $800^\circ\text{C} \sim 1200^\circ\text{C}$ の間で熱処理をすると RRR が低下することを示している。

Fig. 1 Ti 処理温度と RRR の関係



3 東京電解における空洞熱処理実績

東京電解では、これまでKEKとの共同研究において、シングルセル及びハーフセルの高温チタン処理を、既存の真空熱処理炉を用いて行ってきた。チタン処理を行った空洞の性能測定結果を Table.1 に示す[3]。

Table.1 空洞性能測定結果

Cavity	Eacc Max	備考
M-1	12MV/m	RRR=100, Single cell
K-1	29 MV/m	RRR=180 Single cell
C-1	31MV/m	RRR=350, Single cell
中国製	不明	RRR=80, Single cell
K-14	40 MV/m	RRR=200, Half cell

(RRR は全て素材の RRR。処理温度はすべて 1400℃)

Table.1 に示すように、高温チタン処理を行った空洞は、そのほとんどが TESLA の目標値である 25MV/m を超えている (M-1 は赤道部付近で著しい発熱が観測されていることから、電子ビーム溶接の不完全が考えられる。[3])。とくに 94 年 12 月に高温チタン処理を行った K-14 空洞は、KEK では初めて 40MV/m を超える高加速電界を得ることが出来

た。ちなみに、ニオブ製超伝導加速空洞の加速電界の世界最高記録は、CEBAF の 43.6MV/m であるが、この空洞の材料は、東京電解製のニオブで、KEK との共同研究により CEBAF へ支給されたものである [4]。

このように東京電解は、超伝導加速空洞用ニオブ材の供給と、高温チタン処理の実績を持つ、日本で唯一の企業とすることが出来る。今後、ハーフセルの成型と高温熱処理を併せた成型品の供給も検討している。

4 超大型焼鈍炉

以下にこの度完成した真空熱処理炉の特徴を記す。

4.1 炉体.

炉を正面から見た図を Photo.1 に、上から見た、ポンプ類の配置図を Fig.2 に示す。

炉体の高さは 4 m、直径は 2.1 m である。

炉体の冷却はウォータージャケット方式で行われている。

炉内の反射板、ヒーター線はタンタルで作られている。反射板をタンタルで作ることにより、1400℃という高い温度での熱処理が可能になっている。

また、ヒーター線をタンタルにすることにより、グラファイトヒーターのようなカーボンのコンタミネーションを防いでいる。

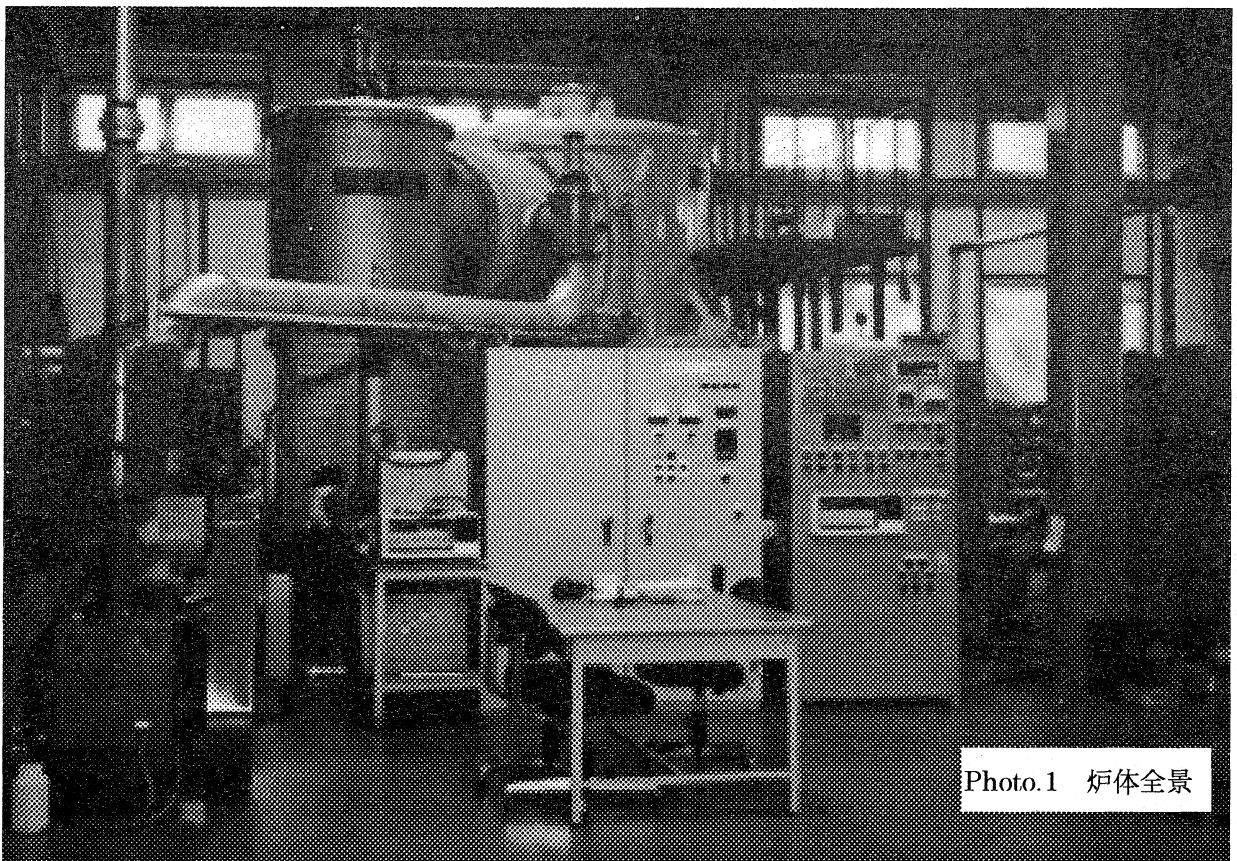
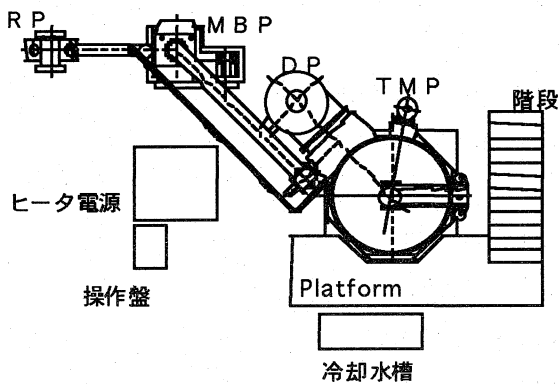


Photo.1 炉体全景

Fig. 2 配置図



4.2 温度特性

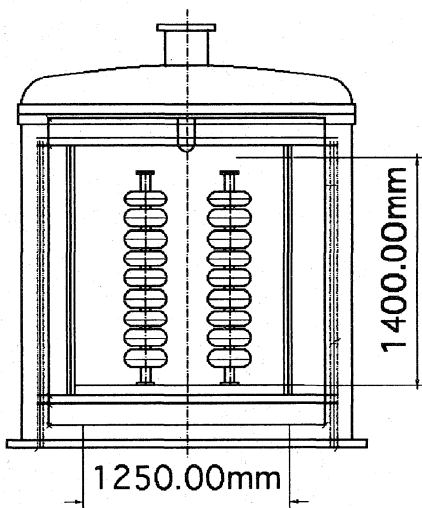
最高温度：1400℃

有効加熱帯：1250φ×1400H [mm]

有効加熱帯の図を Fig. 3 に示す。

有効加熱帯の大きさをよりわかりやすくするため、TESLA 用 9 連空洞の図を入れた。

Fig. 3 有効加熱帯の図



4.3 到達圧力

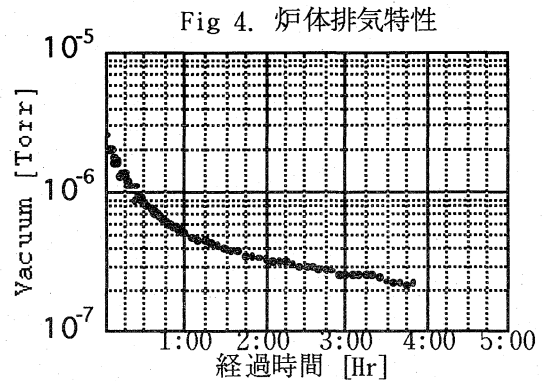
到達圧力： 2×10^{-7} Torr [室温]

所要時間：3 時間 35 分 (メインバルブ開後)

測定条件：通常の排気ライン (拡散ポンプ～メカニカルブースターポンプ～ロータリーポンプ)

真空排気は、西独ライボルト社製 50000 l/sec の油拡散ポンプ、日本真空技術社製 3800 m³/hr のメカニカルブースターポンプ、7000 l/min の油回転ポンプの組み合わせで行われる。

メインバルブを開けてからの炉内の圧力変化を、Fig. 4 に示す。



まとめ

以上、TESLA 用 9 連空洞の熱処理も睨んだ、新型真空熱処理炉の説明を行った。

この炉の設計、施工は全て東京電解社内で行われており、1250φ×1400h のワークエリアを持ち、ラディエーション・シールド、ヒーター線にタンタルをふんだんに使い、10⁻⁷ Torr 台の真空度を保つ真空熱処理炉は日本では珍しい。

今後、東京電解は超伝導加速空洞用ニオブ材の製造だけでなく、空洞熱処理の分野においても KEK との協力関係を深めていく方針である。

参考文献

- [1] K.Saito, et al., ; Proc. 4 th Workshop on RF Superconductivity, KEK(August. 1989)
- [2] P.Knisel ; "Use of the Titanium Solid State Getting Process for the Improvement of the Performance of Superconducting R.F.Cavities"
- [3] E.Kako, et al., : "Characteristics of the Result of Measurement of 1.3 Ghz High Gradient Superconducting Cavities"
- [4] P.Knisel, et al., ; "Results from a neary "Defectm - free" Niobium Cavity": Proc. 7 th Workshop on RF Superconductivity, CEA-Saclay, Gif-sur-Yvette, France, October 17-20, 1995.