

[P7-39]

PROMISING PERFORMANCE OF THE Nb/Cu CLAD SEAMLESS SUPERCONDUCTING RF CAVITIES

T. FUJINO, V. PALMIERI*, K. SAITO, H. INOUE, N. HITOMI,
S. NOGUCHI, M. ONO, E. KAKO, T. SHISHIDO, and Y. YAMAZAKI

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801 Japan

*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Laboratori Nazionali di Legnaro (INFN/LNL)
Via Romea 4-35020 Legnaro (Padova) Italy

Abstract

For the future large application of superconducting RF cavities, one has to fabricate cheaply the cavities with high gradients. We propose to fabricate the seamless cavity out from Nb/Cu clad material as unnecessary electron beam welding process and low fabrication cost. We made a feasibility study fabricating a 1.3 GHz Nb/Cu clad single cell cavity out of the clad sheet material. Three single cell Nb/Cu clad seamless cavities were fabricated by the collaboration with INFN-LNL in Italy. In this paper, the cold test result of the cavity of seamless type obtained by spinning will be presented. The maximum performance of a best cavity was $E_{acc}=25.1$ MV/m with $Q_0=2.5 \times 10^{10}$ at a temperature of 1.4K. It is Very Hopeful.

有望な Nb/Cu クラッドシームレス超伝導加速空洞の性能

1. はじめに

KEK では、高電界発生と経済性の両面を兼ね備えた空洞として、高価なニオブ材の減量と煩雑な電子ビーム溶接作業を減らした、Nb/Cu クラッドシームレス空洞の開発を行っている。この空洞は、薄肉のニオブを厚肉の銅で包んだクラッドシームレス管を液圧バルジ法で一体成型するもので、比較的加工度が小さいのでニオブ表面に割れを生じない。空洞用材のシームレス管は、Cu/Nb/Cu の三層構造の肉厚クラッド素管を HIP で作り、これをバルジ成型に適合する管径や肉厚の定寸管に伸管する。これらクラッド管を含む一連の空洞製作に関する開発は (株) 東芝との共同研究で行っている。

これまでに空洞や管の開発を進める一方、早期に

Nb/Cu クラッド材空洞の可能性や問題点を見極めるために、KEK と共同研究の関係にある INFN-LNL (イタリア) に於いて、爆着による Nb/Cu クラッド板をスピニング法で一体成型して 3 台の 1.3 GHz 単空洞を製作した。これらの空洞はそれぞれ KENZO-1、KENZO-2、KENZO-3 と命名し、KEK で性能測定した。前回この結果の一部を報告した [1] [2]。

今回測定を進めて行く中で、スピニング成型特有のニオブ表面の割れの存在にも拘わらず、最大 Q 値 2.5×10^{10} 、最大加速電界 25.1 MV/m の性能が得られ、Nb/Cu クラッド材空洞の有望性が見えてきた。また前回示唆された熱起電力は、冷却の仕方と Q 値の変化から、熱起電力であると判断した。更に、外部磁場による影響を測定した。これらについて報告する。

2. 熱起電力の問題

空洞の冷却方法によるQ値や残留抵抗の違いを調べて熱起電力であることを確かめた。もし熱起電力の発生が原因で永久電流が存在して、このために性能を制限しているのであれば、超伝導状態を破って常伝導状態にして電流を消滅させれば性能は改善するはずである。あるいは起電力の発生を抑えるために、温度むらを作らない状態で、ゆっくり冷却すれば、これもまた空洞性能が向上するはずである。先ず、急冷却して電流がトラップされたと思われる空洞のQ値と、10K以上にウォームアップして常伝導状態を約10分間保持して、トラップされた電流を消滅して再冷却した空洞のQ値を比較する。図1に加

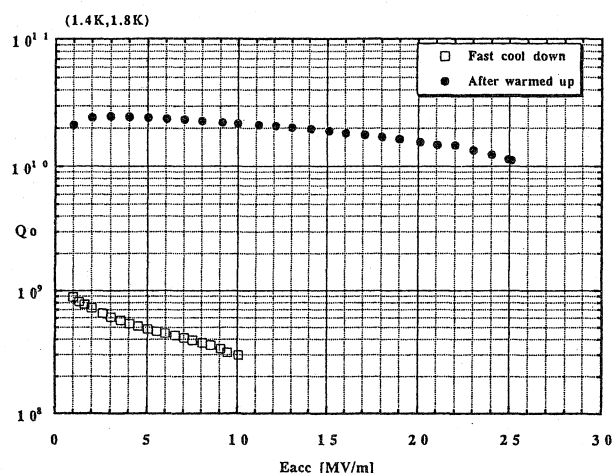


図1 急冷時とウォームアップ後のQ値の比較

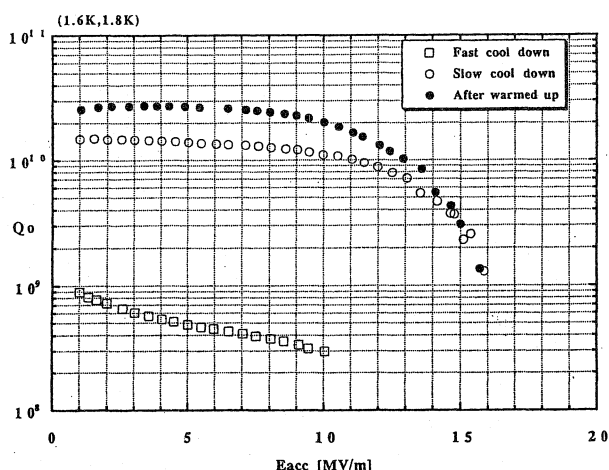


図2 ゆっくり冷やした場合のQ値の変化

速電界とQ値の関係(Q_0 -Eaccカーブ)を示す。明らか

にウォームアップにより電流を消滅した方のQ値は高い。次に、熱起電力の発生を抑えるようにゆっくり冷却した。急冷の場合とゆっくり冷やしたQ値と、さらに同じ空洞をウォームアップしてしたものQ値の比較を図2に示す。ゆっくり冷やしたQ値は急冷のものより高い。しかし、ウォームアップすることでさらにQ値の向上があり、小規模ながら起電力の発生があることを意味する。また熱起電力の問題は高加速電界でのクエンチによる発熱に於いても起きてQ値が下がる。この場合もウォームアップすることでQ値が回復する。図3にこの様子を示す。ウ

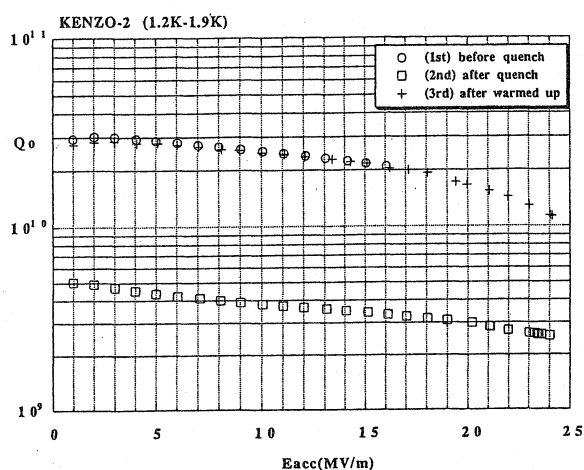


図3 クエンチとウォームアップ後のQ値

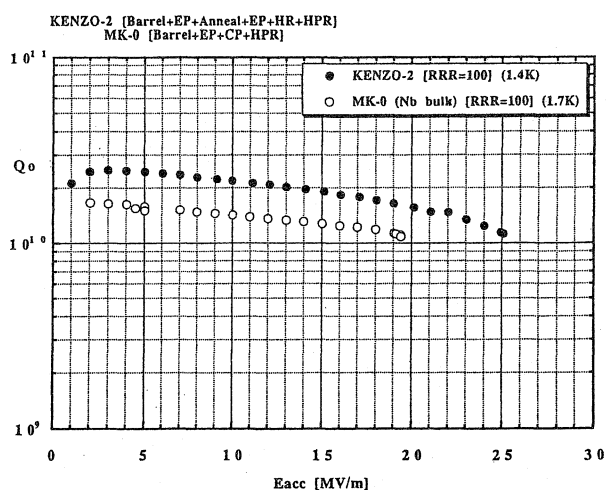


図4 ニオブバルク空洞との性能比較

ウォームアップした空洞の最初の測定(図3、○)は加速電界が16MV/mでクエンチした。クエンチ後の測定(図3、□)ではQ値が下がったが、その後の

ウォームアップして再び測定 (図 3、+) した Q 値はクエンチ前に戻った。比較的二オブ表面の割れが少ない空洞のウォームアップ後の測定では、最大 Q 値 2.5×10^{10} 、最大加速電界 25.1MV/m が得られ、ニオブバルク空洞より高電界が得られた。図 4 に同じ RRR=100 のニオブバルク空洞との比較を示す。

3. 外部磁場の影響

超伝導空洞は外部磁場の影響を受け易く、超伝導状態にトラップされた磁場の影響で表面抵抗が増加して空洞性能が落ちる。このことはビーム輸送系に於いて、空洞が各種電磁機器と近接して配置される際に問題である。このために空洞測定に使用している L-バンド超伝導空洞用簡易縦システム[3] のクライオスタットは磁気シールドが施されている。ニオブバルク空洞の外部磁場の影響に関しては小野氏等により報告されている[4]。

クラッド空洞では、ニオブと銅の熱膨張係数の違いから、冷却時のニオブに生ずる表面応力歪みによる格子欠陥の存在が、ニオブバルク空洞より強いピン止め力を持つと想像し、磁場による影響が少ないことを期待した。これを確認するためにソレノイドコイルにより、空洞ビーム軸に平行な磁場をかけて空洞の性能を測定した。磁場の変更は常伝導状態で行った。空洞の表面抵抗の温度依存性カーブのフイ

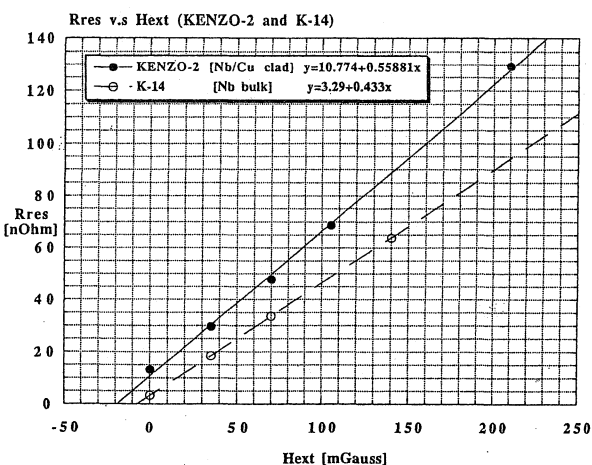


図 5 磁場に対する残留抵抗の変化

示した。図中ニオブバルク空洞の測定値[4]を○で示した。クラッド空洞の磁場による残留抵抗の増加はニオブバルク空洞より大きい。

4. 考察

クラッド材空洞では、熱起電力による性能の劣化を伴うが、ウォームアップすることでこの問題は避けられる。今後この問題は物理的にメカニズムを解明して、空洞開発に役立てる予定である。比較的割れの少なかった KENZO-2 空洞の良い結果から、割れが発生しない液圧バルジ成型によるクラッド空洞を実現してさらに性能の向上をはかる。

外部磁場による影響では、ニオブバルク空洞に比べ、30%程高いが、これはニオブ割れのために、磁場が浸透し易いのかも知れない。

参考文献

- [1] Fujino.T.et., al.," R&D of the Nb/Cu Clad Seamless Superconducting RF Cavities", Proceedings of the 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba,, Japan, September 16-18, 1998, p.261-p.264.
- [2] T.FUJINO,et., al.," R&D of the Nb/Cu Clad Seamless Superconducting RF Cavities", KEK Proceedings, 98-12 February, 1999, A, p.92-p.95.
- [3] K.Saaito, et., al.," Quicck Vertical Test System for L-band Superconducting RF Cavities", Proceedings of the 21st Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokyo, Japan, September 30-October 2, 1996, p.222-p.224.
- [4] Ono. M. et., al.," The Effect of Weak Magnetic Field on Surface Resistance of Superconductng Cavity", Proceedings of the 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, Japan, September 16-18, 1998, p,304-p.306.

ッテングから求めた残留抵抗と磁場の関係を図 5 に