

Application of Electro-Chemical Buffing to L-band Superconducting RF Cavities

Kitamura H., Kojima Y., Murai T., Kijima Y., Noguchi S. *, Ono M. *, Saito K. *, Shishido T. *,
Baba Y. **and Sato K. **

Mitsubishi Electric Corporation

1-1-2, Wadasaki-cho, Hyogo-ku, Kobe, 652, Japan

*KEK:High Energy Accelerator Research Organization

1-1, Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

**Ultra Finish Technology Co., Ltd.

4-1, Mizue-cho, Kawasaki-ku, Kawasaki-shi, 210, Japan

Abstract

Electro-Chemical Buffing (ECB) is adopted to some metal materials to get cleaner and smoother surfaces (surface roughness within $0.3\mu\text{m}$). We applied the ECB to a L-band superconducting niobium single cell cavity to investigate the effect of surface roughness on the performance. Result of the study and a discussion are presented.

電解複合研磨のL-バンド空洞への応用

1. はじめに

次世代の素粒子物理学研究用加速器として、リニアコライダが注目されている。超伝導L-バンド空洞は、リニアコライダ用加速空洞の有力候補の一つに挙げられ、実用化に向けて各国の研究機関で積極的に研究が進められている。当社は96年度よりKEKとの共同研究を開始し、KEKで成型したL-バンドのビームパイプ、セルに、電解複合研磨 (Electro-Chemical Buffing: ECB) を施し、その効果を調べてきた。

ECBは金属表面を $0.1\mu\text{m}$ 程度の鏡面に仕上げることのできる技法として知られており、半導体製造装置や超高真空装置の構成材料の表面処理等に適用されている。

超伝導空洞内表面の滑らかさは、空洞性能を左右する要因のひとつに考えられているが、これについては多くの議論がある。ここでは、この問題に対する見識を得るため、三菱電機1号空洞ME1にECBを適用して性能評価した結果を報告する。

2. ECBについて

2.1 ECBによる研磨方法

ECBは電解研磨 (EP) と機械研磨を組み合わせた研磨方法で、図1にECBの研磨機構をモデル化したものを示す[1]。図に示すようにECBでは、被研磨金属と中空型電極間にDC電圧を印加して、電解研磨を行いながら、研磨材をつけた中空型電極を回転させて機械研磨を行う。この際、電極の中心からは研磨面に対し、電解液を供給している。一般に電解液の主成分は NaNO_3 、

で、今回の処理においても同一の電解液を使用した。

Nb空洞のセルのECBは、内面の形状に合わせ、数種類の曲率の中空型電極を使用して行った。

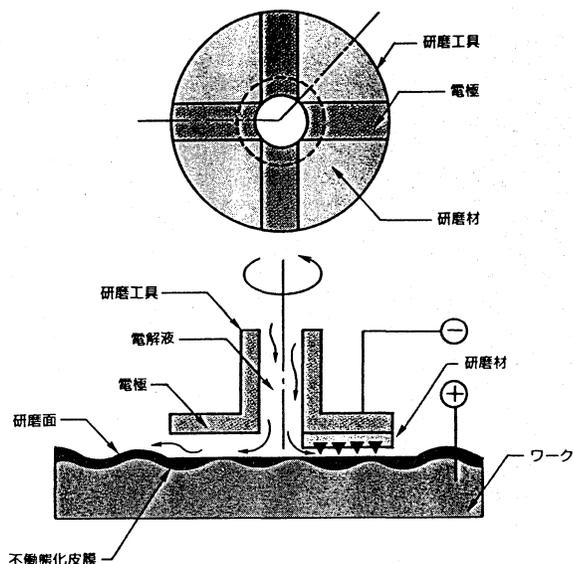


図1. ECBのモデル図

2.2 ECBのサンプル試験

厚さ 2.5mm のNb平板を、ECBで $96\mu\text{m}$ 研磨したところ、 R_z で $0.16\mu\text{m}$ の表面粗度が得られた。その後、アセトンで2分間超音波洗浄し、SEMにより表面の観察を行っ

た結果、埋め込みが確認された。さらに、埋め込みの元素分析を行った結果、主な含有元素としてAlが検出されたことから、砥粒の主成分はアルミナであると考えられる。

図2に埋め込みのSEM像を示す。標準的な埋め込みのサイズは1~2 μm で、特に大きなもので4 μm 程度であった。



図2 a. 標準的な埋め込みのSEM像 (x6000)

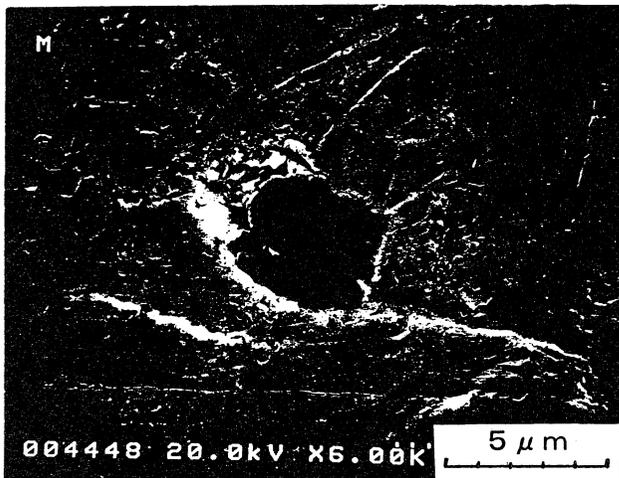


図2 b. 特に大きな埋め込みのSEM像 (x6000)

3. ME1製作過程における主な表面処理手順

図3はME1空洞の製作過程における、主な表面処理手順を示す。製作過程においては、空洞性能測定の際

にECBの効果を最大限に引き出せるよう、表面の欠陥層、電子ビーム溶接 (EBW) の溶接欠陥の除去、コンタミの除去を十分に行った。

ECBだけで、成型による空洞内表面層の欠陥除去を行うには手間がかかると考え、バレル研磨[2]で十分に欠陥層の除去を行ってからECBを行った。現在のECBの方法では、完成した空洞の内表面を一度に研磨することはできないので、溶接前に各パーツ (ハーフセル、ビームパイプ) 毎にECBを施した。バレル研磨では、2枚のハーフセルと2本のビームパイプを空洞形状に組み合わせ、バレルチップと脱脂液を封入し、治具で固定して処理を行った。

EBWの信頼度を上げるためには、溶接前にECBの埋め込みの除去が必要である。これは、溶接時の熱で砥粒成分のAlが溶融し空洞内面に付着した場合、その後の処理では除去が困難になるためである。そこで、パーツのECB終了後、ハーフセル赤道部の表層と、セルに取り付ける側のビームパイプの端部の表層を化学研磨 (CP) で10 μm 程度除去した後、メガソニック洗浄 (MSR) とHPRで表面のコンタミの除去を行った。

次にセルについて、赤道部のEBWを行い、赤道部内面のEBWによるシーム面をECBで滑らかにした。その後、セルのアイリス部を10 μm 程度CPしてからMSR、HPRを施し、EBWでセルにビームパイプを溶接した。最後に、MSR、HPRした後、第一回性能測定を行った。

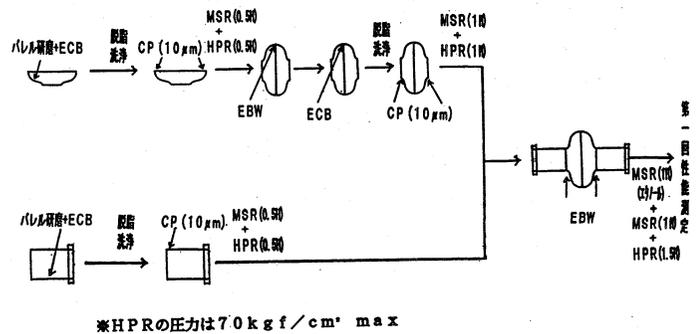


図3. ME1の製作過程における主な表面処理手順

4. バレル研磨およびECBによる研磨量測定結果

図4はバレル研磨と、ECBの研磨量の測定結果である。図で横軸の測定位置は空洞沿面の長さを示している。バレル研磨ではセル赤道部で70 μm 、アイリス部付近で30 μm 程度研磨されている。一方、ECBではセル赤道部で65~100 μm 、アイリス部付近で50 μm 程度研磨されていることがわかる。バレル研磨の埋め込みの大きさは4 μm 程度であることから、ECBで十分にバレル研磨の埋め込みが除去されているものと考えられる。

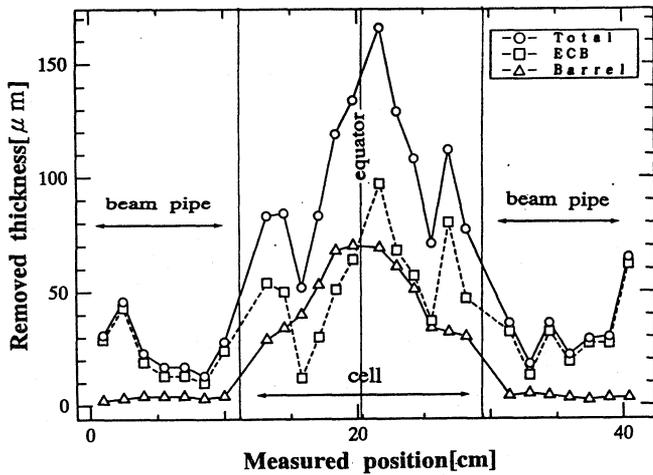


図4. バレル研磨およびECBによる研磨量

5. 性能測定結果

図5はME1空洞の1.8Kでの性能測定結果である。第一回目の測定ではQ値の低下が著しく、RFパワー不足のため、得られた最大加速電場 ($E_{acc, max}$) は1.66MV/mであった。

第一回測定での空洞は、アイリス部の溶接箇所だけがECB処理されずに残されていた。第二回目は、その影響の有無を確認するため、アイリス部内面の溶接シーム部を内側から研磨後、MSR、HPRして測定した。第二回目と比較して多少 $E_{acc, max}$ は高くなったが、Q値は第一回目とほぼ同じ低下勾配を示している。これは、空洞内面のECBによる埋め込みによるものと考えられる。そこで、EPで10 μ m研磨後、HPRを行い測定したところ、Q値の低下勾配は幾分緩やかになったものの、 $E_{acc, max}$ は10.7MV/mであった。これは、EPの際に空洞内面の欠陥部に水素が吸蔵されたことによる、Q-Diseaseではないかと考えられる[3]。

そこで、第四回目では、空洞の水素脱ガスのため、750 $^{\circ}$ Cで5時間アニールした後、HPRして測定した。その結果、Q値の低下は著しく改善され、30.8MV/mの $E_{acc, max}$ が得られた。これは、欠陥部に吸蔵されていた水素が、脱離されたためと考えられる。しかしながら、高電場部でなだらかなQ値の低下がみられた。これは空洞内表面にコンタミが残存しているためではないかと考え、以降、第五回目ではさらにEP10 μ mとHPR、第六回目ではEP20 μ mとHPRを行った後、測定したが、いずれも第4回目と比較して高電場領域でのQ値低下に変化はみられず、また $E_{acc, max}$ についても30MV/m程度であった。

それまでのHPRでは、純水の最大圧力は55~70kgf/cm 2 であった。高電場領域でのQ値低下は、この圧力では十分にコンタミが除去しきれなかったためではな

いかと考え、HPRの圧力を90kgf/cm 2 に上げて洗浄を行い、第7回目の測定を行った。その結果、 $E_{acc, max}$ は33.4MV/mとなり、高電場領域でのQ値の低下もほとんどみられなかった。これは、HPRの圧力を上げたことで、コンタミが除去され空洞性能が改善されたためと考えられる。

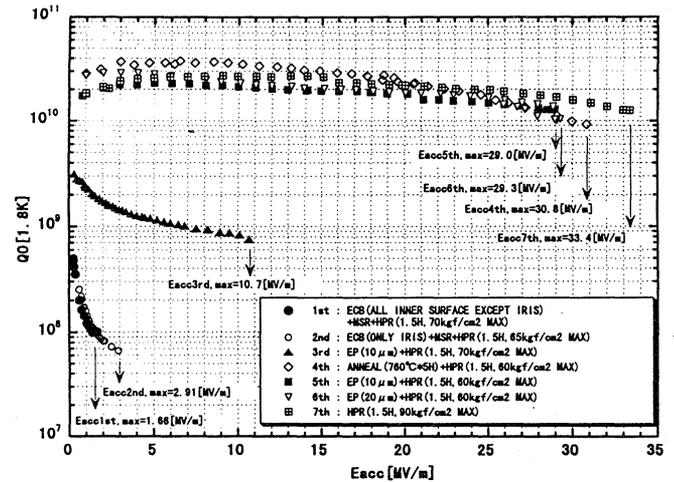


図5. 性能測定結果

6. まとめ

ECBで内面を滑らかにした空洞を対象に、性能測定を行ったが、KEKでこれまで得られているものと大きな違いは認められなかった[4]。表面を滑らかにすることで、ゴミや化学的表面処理後の残留物などのコンタミを残りにくくするメリットはあるものの、期待された30MV/m以上の高い加速電場を発生させる効果は、みられなかった。また、高加速電場発生要因の一つとして、コンタミの除去が重要であることが示唆された。

7. 参考文献

- [1]馬場吉康ほか、"電解複合研磨による金属の超鏡面化技術", 表面科学 Vol.11 No.6 (1990)
- [2]T.Higuchi et. al., "FINISHED NIOBIUM CAVITY SURFACE WITH BARREL POLISHING", Proc. of the 21st Linear Accelerator Meeting in Japan, Sept. 30-Oct. 2, 1996, p. 228
- [3]K.Saito et. al., "A Role of the Mechanical Polishing in the Surface Treatment of Superconducting Niobium RF Cavities", Proc. of the 21st Linear Accelerator Meeting in Japan, Sept. 30-Oct. 2, 1996, p. 225
- [4]K.Saito et. al., "Importance of the Electropolishing of the High Gradient SC Cavities", in this meeting.