

TIGHT LOOP TEST OF LARGE GRAIN ICHIRO SINGLE CELL CAVITY BY CHEMICAL POLISHING

Fumio Furuta¹, Kenji Saito, Taro Konomi

KEK, High Energy Accelerator Research Organization, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

In order to make the breakthrough of ILC cavity cost, we are proposing the combination of sliced LG Nb materials + ICHIRO shape + buffered chemical polishing (BCP). We have successfully demonstrated the high gradient of 42MV/m with the LG ICHIRO single cell cavity made by this combination at the first vertical test. We made series tests of vertical BCP and horizontal BCP on this cavity. The results of the series tests will be described.

巨大結晶Nb製ICHIRO単セル空洞と化学研磨による高電界試験

1. はじめに

我々はILCに向けた超伝導空洞量産のコストダウン戦略としてICHIRO形状+化学研磨 (BCP) +巨大結晶ニオブ (LG-Nb)材の組み合わせを提案している。LG-Nb材製作のブレークスルーとして、我々は既にΦ265 x L307mmのNbインゴットから直接マルチワイヤスライス法によって100枚以上のNbシート (厚さ2.8mm)を同時に切り出すことに成功している^[1]。またスライスしたLG-Nb材からICHIRO形状単セル空洞 (LG-ISE)を製作し、化学研磨 (BCP)による高電界性能試験を行った。最初の試験で42MV/mを達成し、我々のコストダウン戦略の現実性を実証した。本報告では、LG-ISE空洞で行ったBCPによるtight loop studyの結果について述べる。このstudyはBCPによるLG-ICHIRO-9セル空洞での高電界実現へ向けたpilot studyの意味をも持つ。

2. LG-Nb SRF cavity

2.1 マルチワイヤスライス法によるLG-Nb材制作

我々KEKと(株)TKX、及び(株)トーヨーエイトックの協力により図1、2に示すようなNbインゴット

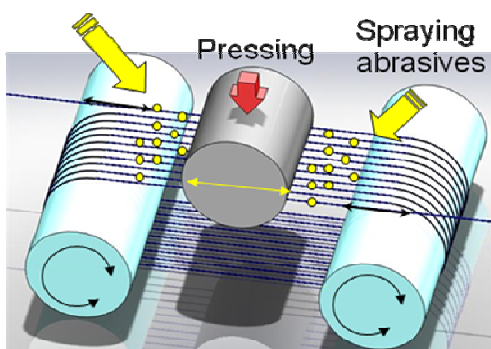


図1: Nbインゴットマルチワイヤスライス法

に対するマルチワイヤスライス法を開発した。詳細

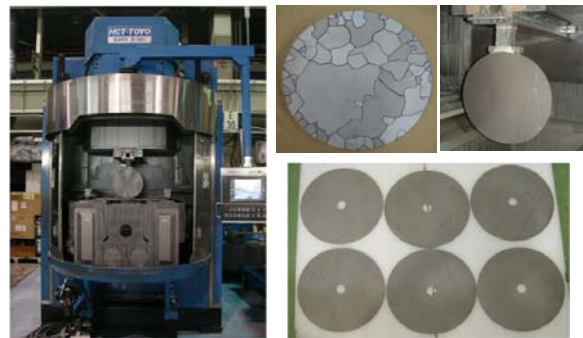


図2: マシンとスライスされたNb板

は文献[1]を参照頂きたい。この方法のメリットは、まず(1)インゴットから同時に100枚以上のNb板材をスライス出来、しかもそのままプレス加工に使える。また、(2)Nbの捨て材を約3分の1に減らすことができる(KEK試算)、という点にある。またLG空洞では電解研磨 (EP)ではなく、BCPによって40MV/mの高電界が達成できる^[2]。これらは全てILC空洞量産コストの大幅削減を可能にする。

2.2 LG-ISE空洞

最初のNbスライス試験でΦ270×L20mmのインゴットから厚み2.8mmのLG-Nb板6枚のスライスに成功した。このうちの2枚を使いICHIROエンドセル形状の単セル空洞 (LG-ISE)を制作した。ただしHOMやインポートポートは持たない。この空洞を遠心バレル研磨 (CBP、100μm)+BCP (10μm)+アニール (750°C×3時間)+BCP (160μm)+高圧超純水洗浄 (HPR、15分)+ベーキング (120°C×48時間)で処理した後に最初のRF性能測定を行い42MV/mを達成した (図3)。我々の提案するLG+ICHIRO形状+BCPでの高電界原理実証が出来た。

¹ E-mail: fumio.furuta@kek.jp

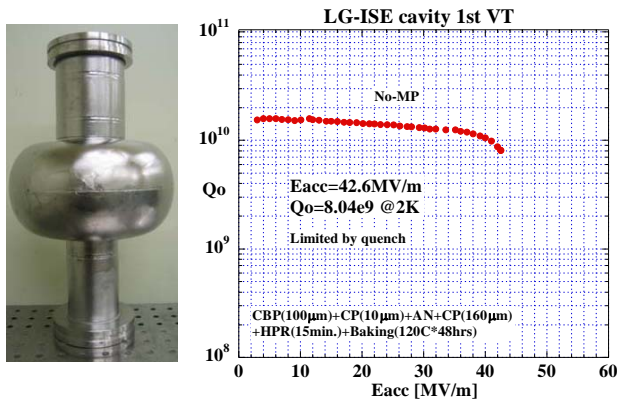
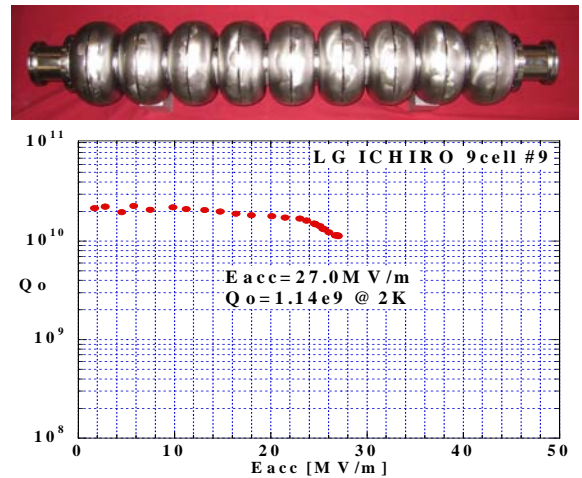


図3: LG-ISEと最初のVT結果



3. LG-ISE+BCPによるTight-loop試験

3.1 縦姿勢BCP (V-BCP) による試験

LG-ISEに初回試験後、さらにBCP(30mm)+HPR+ベーキングを追加してRF試験を行うプロセスを4回繰り返した(tight loop試験)。初回を含めた計5回の試験結果を図4に示す。これらのBCPは全て縦姿勢(vertical)で行った。平均到達電界強度は 38.5 ± 2.6 MV/mであったが、研磨量が増えるにつれ、到達電界強度の落ちと高電界で空洞のQ値が下がるQ-slope現象が顕著になった。この原因は、BCPを繰り返すことで粒界ステップが大きくなり磁場増倍係数が増え、局所発熱が起こることにあるのではないかと考えている。

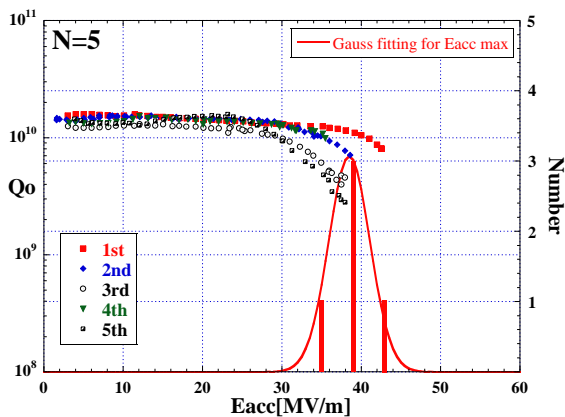


図4: V-BCP tight loop 試験結果

3.2 LG-9セル空洞とV-BCP

我々は別のスライス試験で制作したLG-Nb材から9セル空洞も制作した^[3](図5)。この空洞に対しV-BCP処理をしたところ研磨量がセンターセルでは両端のエンドセルよりも2倍多く削れる結果となった(図5、グラフ中)。これはV-BCP中、センターセルがBCP液に浸かる時間が両端のセルに比べ長いために

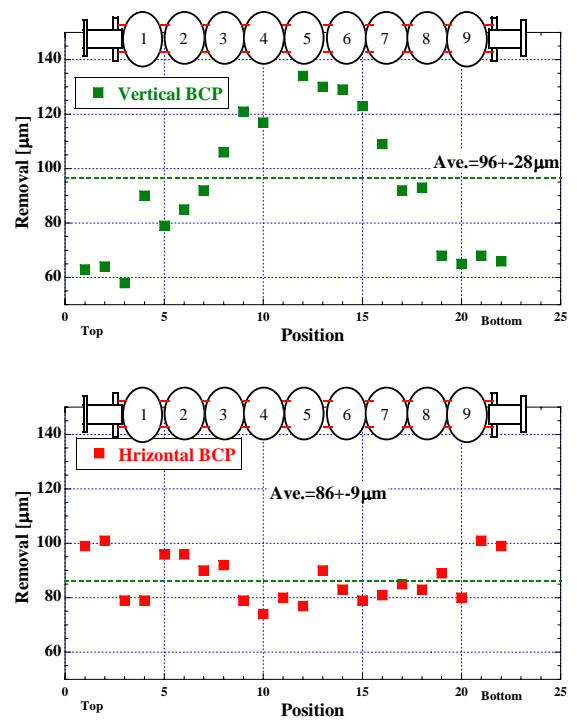


図5: 写真 LG-ICHIRO-9セル空洞、上: LG-9セル空洞のVT結果、中: V-BCPによる研磨量分布、下: H-BCPによる研磨量分布

起こった。現状このLG-9セル空洞では27MV/mまで到達している(図5上)。単セルのBCP積み上げ試験の結果と合わせて考えると、LG-9セル空洞でV-BCPを繰り返した場合、センターセルではエンドセルよりも研磨量の積算が早く増える。その結果、センターセルで研磨量過多から来るQ-slopeが発生し、空洞性能を制限する可能性が高い。この問題を防ぐには研磨量の不均一さを改善する必要がある。そこで我々は横姿勢BCP(H-BCP)装置を開発、制作した。これにより9セルBCPでも研磨量のばらつきを抑えることが出来るようになった(図5下)。



図6: horizontal BCPのセットアップ.

3.3 横姿勢BCP (H-BCP) による試験

9セルのH-BCP開発のpilot studyとしてLG-ISEを用いたH-BCP試験を行った(図6)。この試験に際して、V-BCPのtight loop試験後RF表面をCBP + light BCP(10 μ m)+アニールによってリセットした。H-BCPの際に両フランジにはパイTONのプラグを取り付けた。プラグにはBCP中に発生するNO_xの脱ガス用にセンターホールを開けた。実際のH-BCPは、空洞内をセンターホールレベル以下までBCP液で満たし、その状態で空洞をドラフト内の水平回転ジグの上に置き、手回し(~10rpm)により行った。研磨量と到達電界強度の関係を調べるためにH-BCPは30 μ mずつ行った。H-BCP後は超純水による1次水洗、脱脂洗浄、HPR、ベーキングを経てRF測定をした。これを5回繰り返すtight loop試験を行った、結果を図7に示す。平均到達電界強度は34.5 \pm 2.7MV/mであった。最初のH-BCPでは36MV/m到達もQ-slopeが発生した。2回目のH-BCPで37MV/mに到達しQ-slopeも改善された。この時点で我々はH-BCP前のCBPのメモリ効果でQ-slopeが発生し、その影響をとるには計60 μ m程度のBCPが必用であると判断した。さらに3~5回目までBCPを積み上げたが最終的には32MV/m程度でクエンチリミットされてしまった。V-BCPに比べて到達電界が低いため、Q-slopeは顕著に表れなかった。

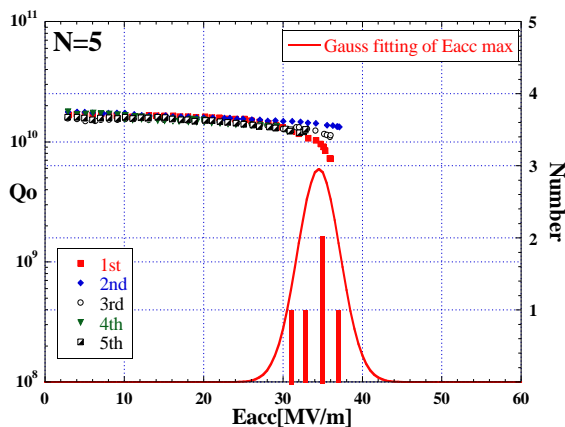


図7: H-BCP tight loop 試験結果

3.4 追加V-BCP試験

H-BCPの結果が36~32MV/mに制限されたのは横姿

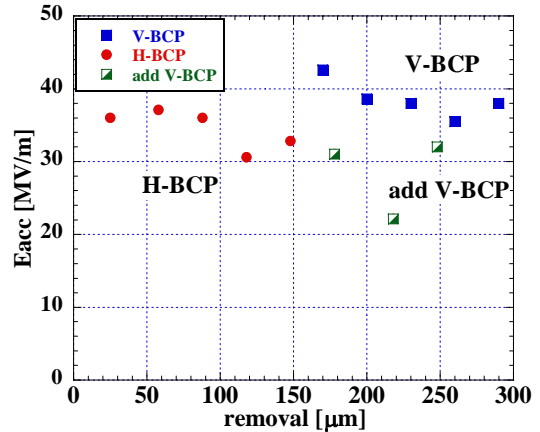


図8: BCP研磨量と到達電界強度

勢特有のものかを調べるために、H-BCPのtight loop試験後に引き続き30 μ mずつV-BCPを追加してRF測定することを3回繰り返した。追加試験結果を研磨量と到達電界強度のグラフとして図8に示す。ここには先のV-BCPとH-BCPのtight loop試験結果も合わせて示した。最終的に32MV/mと大きな改善はなく、横姿勢と縦姿勢BCPに大きな違いはないと言える。到達電界がH-BCPでは37MV/mに制限された理由はリセットの際のCBPで内表面にデフェクトが顕在化し、その後のBCPでは除去出来なかった可能性が考えられる。

4. まとめ

スライス法によるLG-Nb材を用いて初めて制作したLG-ICHIRO単セル空洞で、CBP+BCP処理による最初の縦測定で42MV/mを得た。この結果がEP処理によるものではないことを再度強調しておく。これによりスライスLG材+ICHIRO形状+BCP処理の組み合わせで空洞量産コストの大幅削減が期待できることを実証した。一方、9セル空洞では縦姿勢BCPでは研磨量の不均一性の問題が起きたがこれを横姿勢BCPで改善出来た。縦姿勢と横姿勢のBCPからくる性能の違いを単セル空洞のtight loop試験から評価し、現状36MV/mの達成にどちらも問題がないことを確認した。今後の課題としてはLG単セルでBCP研磨量の最適値の評価や、さらにこの状態の空洞にEPを追加した場合の性能改善を評価することがある。この空洞の結果は現在試験中のLG-9セル空洞にフィードバックし、LG-9セル+BCPでの高電界達成を目指す。

参考文献

- [1] K. Saito et al., Proc. of 14th International Conference on RF Superconductivity, DBB forum, Berlin, Germany 2009, THOAU05.
- [2] P. Kneisel, Proc. of 13th International Workshop on RF Superconductivity, Peking University, Beijing, China 2007, TH102.
- [3] K. Saito et al., Proc. of IPAC'10, Kyoto, Japan 2010, WEPE011.