

HIGH GRADIENT AND HIGH YIELD RECIPE FOR SINGLE-CELL SRF CAVITIES

Fumio Furuta¹, Kenji Saito
 KEK, High Energy Accelerator Research Organization
 1-1 Oho, Tsukuba 305-0801, Japan

Abstract

KEKでは、ICHIRO形状の単セル超伝導空洞による50MV/m高電界達成の原理実証を行った。同時に、歩留まりよく高電界を達成するための表面処理レシピの改善を行ってきた。実際の加速器に用いる空洞と同様に、エンドグループ(高調波(HOM)減衰器やインプットカプラーポート)を持った単セル空洞(エンドシングルセル)ではそれまでのエンドグループ無し空洞に対するレシピでは高電界を達成できなかった。本報告では、エンドシングルセルに対する高電界レシピの改善、特にエタノール洗浄とワイピングのシリーズテストについて述べる。

単セル超伝導空洞による50MV/m高電界レシピ

1. はじめに

我々はニオブ超伝導空洞による50MV/m級高電界の実証を目指した研究を進め、KEK-LL形状(ICHIRO)の単セル空洞(IS空洞)で50MV/mの原理実証をした[1]。IS空洞はICHIRO-9セル空洞のレギュラーセル(2~8番目のセル)形状を持つ。ICHIRO型9セル空洞(I9空洞)では、ストレートビームパイプ(BP)の付いたbare cavity 0号機(I9#0)で30MV/m、実機型のエンドグループを持つfull cavity 1号機(I9#1)で19MV/mに電界が制限された。この制限理由の一つはエンドグループにあることが9セル空洞の試験から分かった[2]。エンドグループとは空洞両端のビームパイプ(BP)、及び高次モード取り出し用ポート(HOM)や大電力入力結合器用ポート(Input port)、RFモニタピックアップ用ポートの部分のことを言う。そこでエンド部の改善を施したNew-ICHIRO型9セル空洞(New-I9空洞)の設計を行うと共に[3]、エンドグループ形状をもつ単セル空洞(ISE空洞)を製作・試験し、問題の洗い出しと解決を図った。本報告ではISE空洞の高電界達成に向けたレシピ改善、特に複雑な構造をもつエンドグループへの洗浄強化のシリーズテスト結果について述べる。

2. ISE空洞での高電界実証

2.1 レギュラー単セル空洞について得られた50MV/mレシピ

我々は単セル空洞で50MV/mの原理実証した後、性能のばらつきを改善することに取り組んできた。ばらつきの原因は電解研磨(EP)中に発生する硫黄汚染があると推測し、ニオブ表面での硫化ニオブ(Nb_xS_y)の形成と拡散というモデルを立てた[2]。この Nb_xS_y の除去は高压超純水洗浄(HPR)や単純な洗浄強化ではできず、新液を空洞内に閉じ込めて3μmのみ電解研磨するFlash EPが最も効果的であった。ただし汚染

量は初期EP量に依存し、多量研磨の後ではFlash EPのみでの汚染除去は不完全である。IS空洞(図1)に対してILCのACD目標(40MV/mでQ値>0.8e10)を保証するKEK-LLレシピは、遠心バレル研磨(CBP)+化学研磨(CP10μm)+真空熱処理(AN、750°C*3時間)+電解研磨(EP、80μm+20μm)+Flash EP(3μm)+脱脂洗浄(Degreasing)+HPR+ベーキング(Baking)である。

2.2 New-ICHIRO形状ISE空洞の高電界実証

新たに設計・製作したNew-ICHIRO形状ISE空洞(図1)のうちbare cavity型のISE#3についてはIS空洞と同じレシピで50MV/mを達成し、エンドセルRF形状に問題が無いことを実証した(図2)。だが、エンドグループ付きのISE#4(HOMシリンダーのみのsimple end-group付き単セル)で18MV/m、ISE#5(HOMアンテナ含むfull end-group付き単セル)で33MV/m、にフィールドエミッション(FE)でそれぞれ制限された。これはエンドグループのような複雑な構造に対してEP中の硫黄汚染が除去しづらい事を意味する。そこで硫黄を溶解できるエタノール洗浄をEP直後に取り入れることを試みた。その結果、ISE#4で52MV/m、ISE#5で40MV/mを達成した(ISE#5は現在48MV/mまで到達している)(図2)。これによってエンドグループのような複雑な構造に対する汚染除去の困難さの問題を理解し、エタノール洗浄の効果を確認出来た。



図1:ICHIRO型単セル空洞
 IS: レギュラーセル形状、ISE: エンドセル形状

¹ E-mail: fumio.furuta@kek.jp

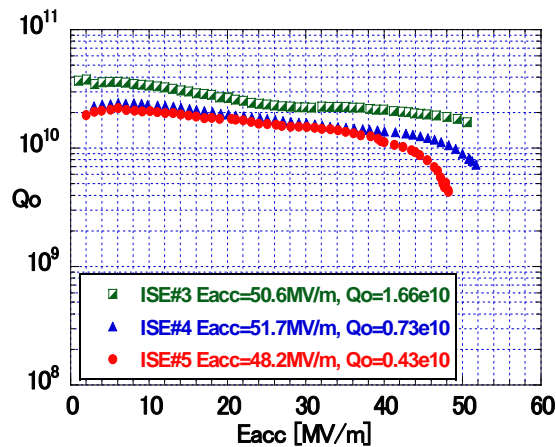


図2: ISE空洞における高電界実証ベストデータ

3. エタノール洗浄によるシリーズテスト

エタノール洗浄の効果の確認後、+EP(20 μ m) +flash EP(3 μ m) + Ethanol rinse + Degreasing + HPR + Baking +測定、をISE#4に対し5回、ISE#5に対し6回繰り返して、歩留まり試験をした。結果を図3にそれぞれ示し、このシリーズテストで明らかになった問題を以下に述べる。

3.1 HOMに対するベーキング効果

前述のISE#4で52MV/mを達成した際、ベーキングはセル部分のみであった。ISE#5にも同様のベーキングを行った。ISE#5の初めの3回のシリーズテストで電界は40、40、31MV/mに制限された。その原因はHOMアンテナのベーキング不足にあると考え、ISE#5の4~6回目のシリーズテストではHOMを含めた空洞全体をベーキングした。その結果45、34、45MV/mを達成した。HOMアンテナに対してもベーキングによる表面酸素の拡散を十分行う必要性を確認した。9セル空洞では空洞全体をベーキングチャンバーに入れてベークするため、この問題は起きない。

3.2 40MV/m以上でのQ-slope

ISE#4の歩留まり試験では40MV/m以上の高電界におけるQ-slopeが顕著であった(図3)。エンドグループを持たないIS空洞ではこのようなものは見られず、高電界Q-slopeはエンドグループに原因があると考えた。この原因として、ISE#4のHOMシリンダーは行き止まりの構造のため洗浄が不十分であることが疑える。脱脂、HPR等の追加洗浄を図ったがQ-slope改善は出来なかった。これはISE#4のシリンダー構造にも問題がある可能性を考え、full end-group付きのISE#5へと持ち越した。

4. ワイピングによるシリーズテスト

4.1 ワイピング

エタノール洗浄のシリーズテストで、ISE#5は高電界Q-slopeをみるには到達電界の平均値が39MV/mと低く顕著ではなかった。またQ-slopeの問題に加え、ISE#4、#5

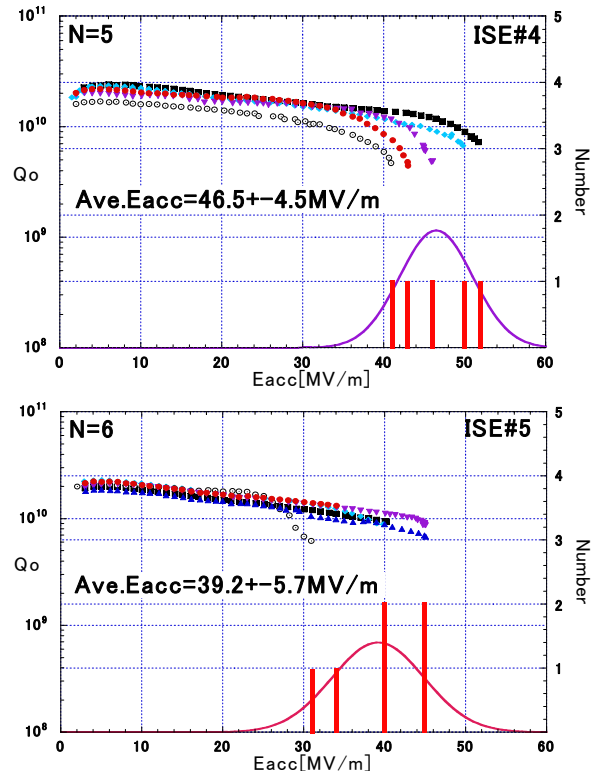


図3: エタノール洗浄によるシリーズテスト
上: ISE#4、下: ISE#5

ともに性能のばらつきが10%、15%と大きかった。これらを改善するためにHOMシリンダー、アンテナ汚染に対する汚染除去強化のpilot studyをISE#5で行った。その中で脱脂やエタノール、HPRでは取れない汚染が発生し、空洞性能を著しく悪化させた。そこで機械的に表面汚染を除去するワイピングを試みた。これは滑らかな清浄布+脱脂剤で空洞内表面をこすり洗いするものである(図4)。結果、10MV/mレベルのFEが30MV/mでクエンチリミットするところまで改善し(図5)、しつこい表面汚染の除去手段としてワイピングに期待を持つ結果となった。

4.2 EP+エタノール+ワイピングの歩留まり試験



図4: ワイピング

現在、ISE#4、ISE#5に対し+EP (20 μ m) +flash EP (3 μ m) + Ethanol rinse + Wiping + HPR + Baking+測定シリーズテストを行っている。現在、ISE#4で3回、ISE#5で5回行った。結果を図6にそれぞれ示す。ISE#4では回数が少ないものの、再現性が非常に高くなった。ISE#5では到達電界の平均値が10%上がると共に、Q-

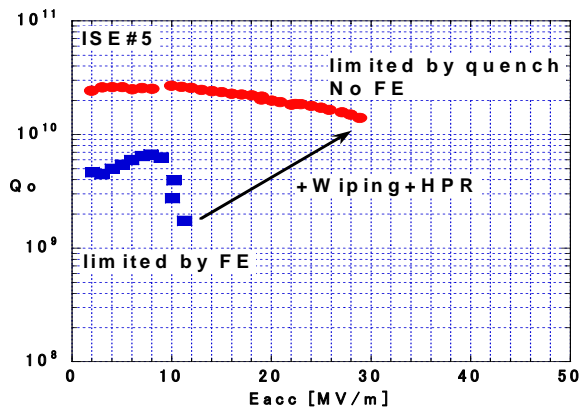


図5:ワイピングによる性能改善

slopeが顕著になった。また40MV/mでのQ値を比較すると15%程度改善した(表1)。エタノール洗浄でも取りきれない汚染をワイピングによって除去することが性能改善に結びついたと言える。一方、Q-slope改善には有効ではなく、さらに対策が必要である。

5. 高電界Q-slope問題

ワイピングを入れることでfull HOM end-group(ISE#5)のQ-slope問題がより明確になった。考えられる要因としてEP汚染の残留、HOM内部MP(マルチパクタ)、HOMチューニング、さらにHOMアンテナ材料などを考察し、改善試験に取り組んだ。

HOMチューニングは単セルの共振周波数に対し

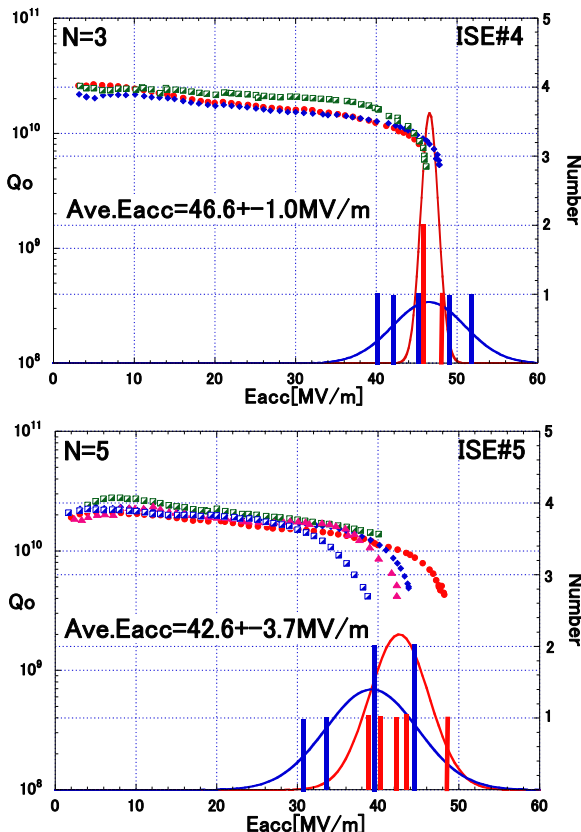


図6:ワイピングによるシリーズテスト

	EP+Ethanol		EP+Ethanol+Wiping	
	Eacc[MV/m]	Qo [e10]	Eacc[MV/m]	Qo [e10]
ISE#4	46.5±4.5	1.15±0.22	46.6±1.0	1.37±0.22
ISE#5	39.2±5.7	0.97±0.11	42.6±3.7	1.12±0.21

表1: Eacc, Q値の改善(Q値は40MV/mの値)

HOMアンテナがカップルしてしまい、HOMアンテナで発熱、Q-slopeを起こすことを懸念した。これはカップルしないようHOMをデチューニングすることで対処したが改善は無かった。

また、HOMアンテナの材料にはニオブの鍛造材を使っておりこれが発熱面で不利と考え、高温アニール(950度*3時間)による材料の再結晶化を行った。目立った改善は無かったが、今後のエンドグループ製作ではパーツの段階でアニールする手法をとることにした。

HOM内MPについては旧デザインのシミュレーションからHOMシリンダーとアンテナ間でのMPが予想され、新デザインのHOMではMPが抑えられた構造になっている [4]。ISE#5は旧HOMデザインなのでMPは懸念材料であり、Q-slopeとの因果関係を明確にする必要がある。またISE#4はシリンダーのみの構造でQ-slopeが起きており、シリンダーでのMPについてもつめる必要がある。

EP汚染に関しては硫黄汚染を除去する事後策に取り組む一方で、硫黄発生を抑制する事前策を考えており、汚染を根本的に解決するためのpilot studyを進めている。

6. 最後に

エンドシングルセルにおける高電界実証、及びISE空洞用レシピ改善を行った。その中で複雑なエンドグループ構造の問題が明らかになった。汚染に対してはエタノール洗浄やワイピングによる洗浄強化による改善が見られた。これらは9セル空洞のレシピに適用していく。新たな問題として40MV/m以上でのQ-slopeが明らかになった。この原因究明と、洗浄方法の再検討など現在の手持ちの駒で改善策を見つけることに取り組んでいる。また新デザインHOMを持つfull end-group付きISE空洞による試験を準備しており、こちらからもQ-slope問題に取り組む予定である。

参考文献

- [1] F. Furuta et al., Proc. 10th Eur. Part. Acc. Conf. (EPAC2006), Edinburgh, June 2006, p.750
- [2] K. Saito, Proc. of 13th International Workshop on RF Superconductivity, Peking University, Beijing, China 2007, TU202
- [3] Y. Morozumi et al., Proc. 22nd Part. Acc. Conf. (PAC07), Albuquerque, New Mexico, June 2007, p2439, p2575
- [4] Y. Morozumi, WG5-Asia Meeting on 16th February 2007, <http://lcdev.kek.jp/ILC-AsiaWG/WG5notes/>