

HIGH GRADIENT R&D BATTLE OF ICHIRO 9-CELL CAVITIES

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

Abstract

KEKでは、KEK-LL (ICHIRO) 形状の9セル超伝導空洞による高電界の原理実証を目指した研究を続けている。単セル空洞では50MV/mの原理実証が出来ているが、9セルでは現状36MV/mまでしか到達していない。我々は、単セルと9セルの違いを比較しながら9セル特有の問題を明らかにし、そのパズルを解きながら高電界達成に向けて闘っている。本報告ではICHIRO形状9セル空洞の進展状況と高電界との闘いの現状について述べる。

ICHIRO 9セル超伝導空洞における高電界との闘い

1. はじめに

KEKではKEK-LL形状 (ICHIRO) 9セル超伝導空洞での50MV/m級高電界実証を目指し、単セル空洞と9セル空洞の研究を並行して進めている。ICHIRO型単セル空洞 (IS空洞) では50MV/mの原理実証ができた [1]。

9セル空洞の開発において我々は、空洞形状の問題とエンドグループ (HOM, Input port等) の問題を分けるためにbare型、full型と2-stepの空洞開発を行っている。full cavityとは空洞両端のビームパイプ (BP) に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等のエンドグループを持つものを意味し、bare cavityはBPにそれらを持たないストレートBPのものを意味する。またデザインには初期に設計されたOld ICHIRO型と改良を加えたNew ICHIRO型がある[2]。それぞれについて2-stepの空洞製作及び試験を進めており、その現状を報告する(図1)。

2. Old ICHIRO型9セル空洞

2.1 Bare cavity I9#0号機

単セル空洞で50MV/mを実証した表面処理レシピをbare型のI9#0号機に適用し性能評価をしたところ、Q値が低い問題と電界性能が30MV/mに制限される問題が起きた。(図2)。これはBP形状に問題があった。初期設

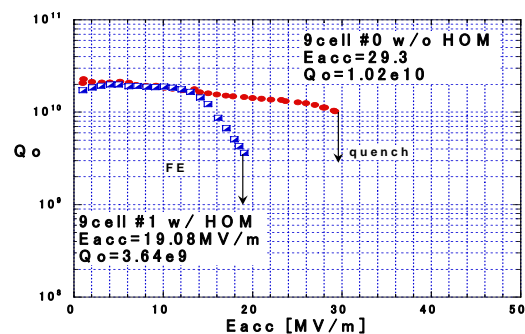


図2:I9#0, I9#1の性能結果

計では2台の9セルを1つのカップラーでまかないスペースファクターを稼ぐというスーパーストラクチャーを考えた。そのためBPにHOMを複数個取り付ける目的で片側のBP径をφ108にし、フランジ部(φ80)直前にテーパーをつけた。結果、φ108BPへのRFのしみだしが大きく、フランジシール部の隙間で発熱、ロスが多くなりQ値が下がることになった。これはシールの改善によって解決した。またSLACのシミュレーションからテーパー部分でのMP(マルチパクタ)が30MV/mで厳しいことが分かり [3]、これがI9#0のリミット原因と考えた。そこでテーパー付きのφ108BPをやめ、両端ともφ80BPのNew-I9を設計・製作した(後述)。

2.2 Full cavity I9#1号機

Full end-groupを持つI9#1号機はFE (フィールドエミッション) によって19MV/mに制限された。空洞両端、エンド部からのFEが多く、これは複雑な構造を持つエンドグループに原因があると考えた。そこでエンドグループ型単セル空洞を製作し、エンドグループ特有の問題抽出と解決を図った[4]。このI9#1号機はその後、性能は低いものの、KEK-STF0.5試験に投入し、クライオモジュールで空洞パッケージとしての評価試験を行った[5]。

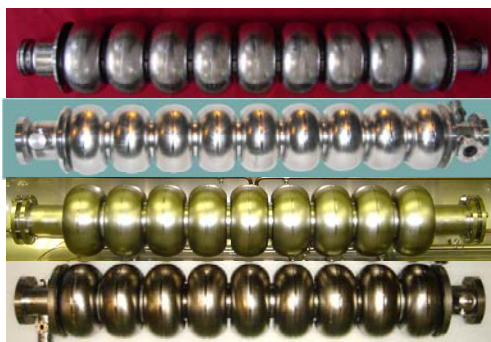


図1:ICHIRO-9セル#0,#1,#5,#8(写真上から)

¹ E-mail: fumio.furuta@kek.jp

3. New ICHIRO型9セル空洞

新設計New-I9空洞は、両端をφ80BPにすると共に、HOM内のMPを緩和した新HOMがつけられている[6]。New-I9も2-stepとし、bare型を2台(I9#5、#6)、full型を2台(I9#7、I9#8)を製作した(図1)。

3.1 S0 Tight Loop Study

I9#5 空洞は、アメリカのThomas-Jefferson National Accelerator Facility (Jlab.) に送り、表面処理及び性能評価を繰り返した。その後KEKで同様の試験を行った(S0 tight loop study)。Jlab、KEKでのtight loop試験結果を図3にそれぞれ示す。Qo-Eacc曲線及び、到達電界強度のヒストグラムをガウスプロットした曲線をグラフにした。到達最大電界強度はJlabで36.5MV/m、KEKでは現在、33.7MV/mである。平均性能で10%弱の差はあるが、ばらつきは大きくは変わらず、この試験を通じてJlab.と我々の設備に大きな違いがないことを確認できた。またKEKの4回の測定結果に対するpass-band解析からは各セルの到達最大電界強度平均は33.6MV/mであった。(図4)

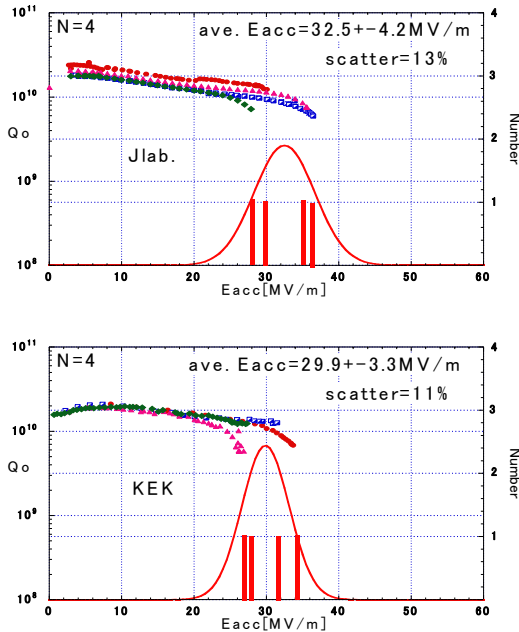


図3: Jlab(上)、KEK(下)でのS0 studyの結果

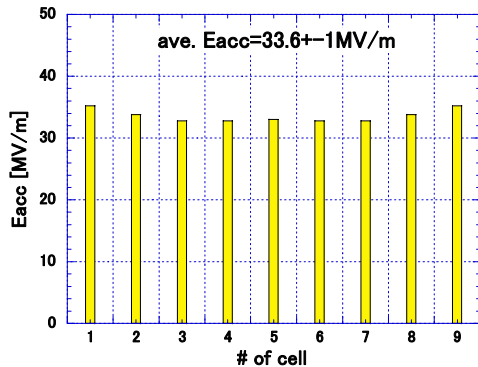


図4: KEKでのpass-band解析結果

4. 9セル高電界実証へのパズル

我々は単セル空洞を使った研究で、50MV/m原理実証、表面処理レンピと歩留まりの改善、エンドグループ問題の理解と解決、等を進め、それを9セル空洞にフィードバックしながら9セル空洞開発を進めてきた。しかしながら、単セルで得られた成果を9セルに適用した際にそれが反映しない、という問題が生じている。ここで改めて単セルと9セルの違いを考え、両方に共通した課題と9セル特有の課題を明確にし、それら全体からなるパズルを解くことで高電界実証を目指す。我々が取り組んでいるパズルのパーツについて述べる。

4.1 Field Flatness 問題

これは9セル特有の問題である。9セル空洞でビームを効率よく加速するためには各セルに立つ電界強度を等しくする必要がある。この電界強度の平坦度をフィールドフラットネス(f.f.)といい、96%以上が求められる(全て等しい強度の時100%)。プリチューニング(PT)によって96%以上に整えられたf.f.が縦測定後に70%以下に崩れる問題が起こり、その解決に取り組んだ[7]。現在、空洞ハンドリングや縦測定での崩れは1%以下、電解研磨(EP)で5%程度の劣化がありこの解決に取り組んである(図5)。現在の対処としてEP後に再度PTし、洗浄・縦測定している。通常、EP表面に対し縦測定前のf.f.測定やPTは、ゴミの持ち込みによる性能悪化が心配されるため行わない。我々はEP+再PTを初めて試し、33.7MV/mの性能を達成し、この方法に問題がないことを実証した。

4.2 EP時の硫黄汚染

横型EP方式では処理そのものに単セル、9セルでの差は無い。単セル空洞開発で、EP中に発生する硫黄源にする硫化ニオブ(Nb₂S₅)の形成と拡散が性能ばらつきの原因というモデルを立てた[8]。このNb₂S₅の除去には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。9セルにもこれを適用す

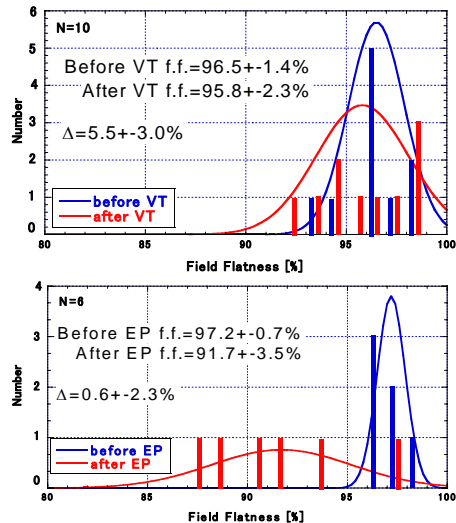


図5: field flatnessの比較
上:縦測定(VT)前後、下:EP前後

と共に、脱脂洗浄やエタノール洗浄、Wiping(後述)等による硫黄汚染除去の強化も行っている。これらは発生した硫黄を除去するという事後策であり、処理を複雑にする。9セルでの処理の複雑化はそのままコスト上昇になる。そのため我々は硫黄発生メカニズムを理解し、汚染発生そのものを抑制する事前策に取り組むことで硫黄問題の根絶を目指している。

4.3 ワイピング (Wiping)

エンドグループ型単セル空洞(ISE空洞)の試験からワイピングによる汚染除去+性能改善の効果が期待された[4]。9セル測定でしばしば起きる問題としてプロセス中にFEを誘起する問題があり、ワイピングによる改善効果が見え始めている。電界性能の改善については現在継続して試験中である。

4.4 HPRの水質と時間

我々は高圧水洗浄(HPR)に超純水ではなく純水を用いている。純水は超純水にくらべコスト削減できる。水質管理のためにTOC(全有機体炭素)値とバクテリアをモニタしている。単セル性能の分析からTOCは100ppb以下、バクテリアは10個/cc以下であれば40MV/m性能に問題ないと言える。これらの値が高くなるとMPやFEが厳しくなる。洗浄時間について、単セルでは15分の1-path HPRで40MV/mを十分保証できる。これを9セルにスケールすると約1時間になるが、現在検証中であり、最適化はまだである。

4.5 ベーキング

EP後のベーキングは表面酸素を内部に拡散させるために行うもので単セル、9セル共に必須である。一方、単セルでEPなしの再洗浄のみで再試験する場合、酸素拡散の必要がないためベーキングは不要であり、高電界の再現性も得られている。しかし9セルで同じ条件でベーキングを省くと性能劣化が起こる事があった。これは脱ガスが不十分なために、表面に吸着したガスがプロセス中にFEを誘起すると考えた。そのため9セルではEPなしの再HPR、脱脂、ワイピング等の洗浄処理後でも真空排気の際に半日程度のショートベーキングを行い、FEを誘起する問題を回避している。

4.6 空洞冷却

縦測定用クライオスタット内への液体ヘリウムトランスファーの際、コントロールしなければ空洞は下側から冷え始め、最下セルと最上セルとの温度差は50度以上つく。この際、残留ガスが不均一にセルに吸着しこれが誘起するMP~FEが心配される。現在、Heトランスファー方法を改善することで温度差は5度以下に抑えている。

4.7 縦測定中の空洞真空排気

我々は単セル、9セル共に縦測定は空洞のバルブを閉じ、真空封じ切りで行う。週または月に何台もの空洞測定を行う場合この方式は効率が良い。しかし、ベーキングや空洞冷却の問題から9セルでは空洞内部の残留ガスの影響が大きいと考え、測定中の空洞真空排気に

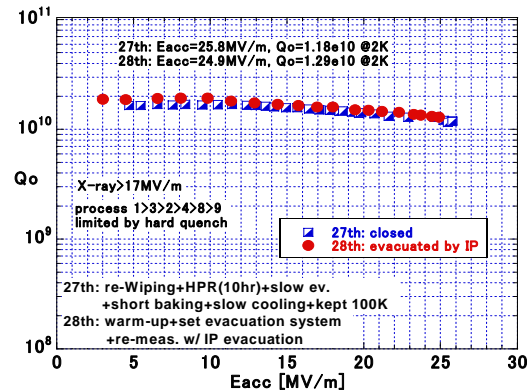


図6: 排気の有無による縦測定結果の比較

取り組んだ。9セル空洞測定スタンドに200L/secのイオンポンプを取り付け、縦測定中の空洞に対する真空排気の有無で結果を比較した。結果を図6に示す。到達電界強度に違いはない。加速モード以外のpass-band測定から各セルにたつ電界強度の解析でも大きな変化はなかった。空洞プロセス時間を比較すると真空排気ありの方が1割ほど時間が短縮され、ガス排気の効果と期待できる。さらに試験を重ねると共に単セルでも同じように排気した場合、プロセスの有無、時間に影響が表れるか調べる予定である。

5. 最後に

現状、bare型のICHIRO-9セル空洞で36.5MV/mを達成している。S0-tight loop試験の比較からJlabとKEKの差は小さく、我々KEKの設備に大きな問題はない。Pass-band解析からは各セルの到達電界は30MV/mを超えており、近いうちに統計的に加速モードで30~35MV/mを得ることを展望している。単セルの結果が9セルに反映しない背後に吸着ガスの問題があると考え、縦測定時の空洞真空排気効率の改善を目指した開発を進めている。これらと並行して巨大結晶ニオブ9セル超伝導空洞の開発も着手しており、そちらでも高電界達成を目指す[9]。

参考文献

- [1] F. Furuta et al., Proc. 10th Eur. Part. Acc. Conf. (EPAC2006), Edinburgh, June 2006, p.750
- [2] Y. Morozumi et al., Proc. 22nd Part. Acc. Conf. (PAC07), Albuquerque, New Mexico, June 2007, p2439, p2575
- [3] Ko et al., WG5-Asia Meeting on 8th May 2006, <http://lcdev.kek.jp/ILC-AsiaWG/WG5notes/>
- [4] F. Furuta et al., in this proceedings
- [5] K. Saito et al., Proceedings of the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan, FO20,
- [6] Y. Morozumi, WG5-Asia Meeting on 16th February 2007, <http://lcdev.kek.jp/ILC-AsiaWG/WG5notes/>
- [7] F. Furuta et al., Proceedings of the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan, TP074
- [8] K. Saito, Proc. of 13th International Workshop on RF Superconductivity, Peking University, Beijing, China 2007, TU202
- [9] K.Saito et al., in this proceedings