

RINSING TESTS OF SINGLE-CELL SRF CAVITIES WITH END-GROUP

Fumio Furuta^{1A)}, Kenji Saito^{A)}, Hitoshi Inoue^{A)}, Yuichi Morozumi^{A)}, Juho Hong^{B)}

^{A)}KEK, High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba 305-0801, Japan

^{B)}POSTECH, Pohang University of Science and Technology

San 31, Hyoja-Dong, Nam-Gu, Pohang, Gyongbuk 790-784, Korea

Abstract

我々はKEK-LL(ICHIRO)形状のニオブ超伝導空洞による高電界達成を目指した研究を続けてきた。単空洞では50MV/m高電界が原理実証されたが、9セル空洞では30MV/m付近に制限された。9セル空洞の両端は、大電力入力結合器用ポートや高次モード(HOM) 取り出しポートなどが付いた複雑な構造(エンドグループ)になっており、試験結果からそこに問題があることが示唆された。我々はエンドグループ形状を持つ空洞(ISE空洞)を5種類製作し、エンドグループ問題の理解と解決に努めた。エンドグループに対しては単セルのシリーズテストで最も信頼性の高かった表面処理レシピを施してもフィールドエミッションなどで35MV/m以下に性能が制限されてしまった。この問題に対し、我々は洗浄強化による解決を図った。本論文ではそれぞれのISE空洞及び性能試験結果について報告する。

エンドグループ型単セル超伝導空洞の洗浄試験

1. はじめに

KEKで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てきた。KEK-LL形状(ICHIRO)による単セル空洞(IS空洞)では50MV/mの原理実証ができた[1]。しかし同形状の9セル空洞(I9空洞)では、エンドグループを持たないシンプルBP型の0号機(I9#0)では30MV/mに、実機型のエンドグループを持つ1号機(I9#1)では19MV/mに性能が制限された(図1)。エンドグループとはエンドセルを含む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。9セル空洞の試験から問題の一部は両端のエンドグループにあることが分かった。我々は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[2]、エンドグループ形状をもつ単空洞(ISE空洞)を5種類製作して試験し、問題の洗い出しと解決を図った。本報告では製作したISE空洞とその試験結果について述べる。

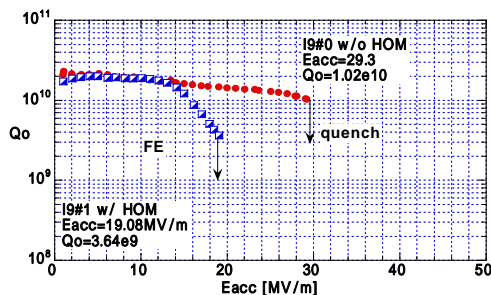


図1: I9#0、I9#1の測定結果

2. 製作したエンドグループ型単セル空洞

我々はISE空洞#1~#5までを製作した(図2)[3]。ISE#1は108のストレートBP型、ISE#2は108のテーパ付きBPでI9#0と同様である。これらは初期のI9空洞設計に基づいており、108の大径BPの影響とテーパの影響を調べる目的を持つ。ISE#3~#5はNew-I9空洞に基づく。ISE#3は80ストレートBP型でエンドセル形状と80BPの影響を調べる目的を持つ。ISE#4は80BPにInput port及びHOM用シリンダー付き(HOMアンテナはなし)、ISE#5はInput portとアンテナを含めた実機同様のHOM付きで、HOMポート等の影響を段階的に調べる目的をもつ。表1にRFパラメータをまとめる。



図2: 製作したエンドグループ型単セル空洞

	$\Gamma[\Omega]$	Z	Hp/Eacc	Ep/Eacc	$E_{\max t \text{ theoretical}}$
ISE#1	297.54	85.3	43.4	2.49	40
ISE#2	297.53	85.4	43.4	2.49	40
ISE#3,4,5	286.9	94.6	38.8	2.25	45

表1: エンドグループ型単セル空洞のRFパラメータ

3. 108ビームパイプに関連する問題

3.1 Low-Q問題

初期のI9空洞は片側にテーパ付き108BPを持つ。

¹ E-mail: fumio.furuta@kek.jp

これは将来のスーパーストラクチャーを狙ったためである。しかし 108BPを持つISE#1,#2では通常、IS空洞、60BPを持つセンターセル型単セル空洞、では5MV/m付近でQ値が $2\sim 3 \times 10^{10}$ であるのに比べ、 1×10^{10} 以下程度しかないというLow-Q問題が起こった(図3)。これはフランジシール構造とRFシミュレーションの解析から、BPが108と大きいためにセルからBPへのRFのしみだしが大きくなり、空洞フランジとトップフランジのシール部にできた隙間($\sim 0.1\text{mm}$)にRF電流が流れ、フランジSUS部分で大きく発熱するためと分かった[4]。これを解決するためにトップフランジを組み立て後にギャップレスとなるように構造を変更した(図4)。その結果、 3×10^{10} 程度のQ値を得られ、Low-Q問題を克服した(図5)。

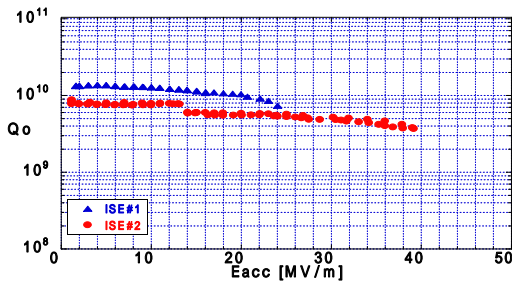


図3: ISE#1,#2のLow-Q問題

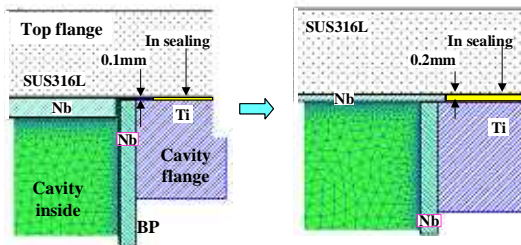


図4: Low-Q問題の解決、フランジ構造の改善

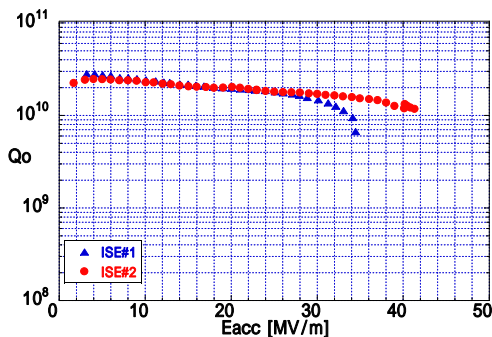


図5: ISE#1,#2のベストデータ

3.2 108ビームパイプテーパ部のMP

I9#0号機ではMPによって30MV/mに性能が制限された。SLACからこの30MV/mでのMPは108BPのテーパ部で起こるという解析を受け(図6) [5]、我々はI9#0の制限はこのテーパ部MPであると考えた。この問題をISE#2で調べた。ISE#2では6~30MV/m付近まで連続的にMPが発生したものの、30分程度かけてプロセスできた。センターセル形状のIS空洞では、通常18~26MV/m付近で発生し5分程度でプロセスできることに比べるとテーパ部のMP

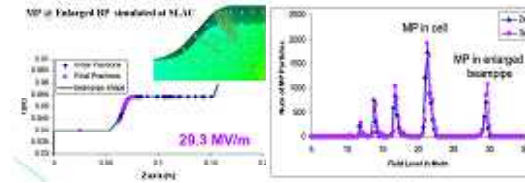


図6: SLACによるMP解析

は厳しいものの、克服できてほぼ理論限界である39MV/mまで到達した。Low-Q問題も同時に発生したが電界性能には影響しなかった。Low-Q問題を解決した後の再処理、脱脂洗浄と高圧超純水洗浄(HPR)、によって理論予想限界の42MV/mを達成した(図5)。このときもMPは6~32MV/m付近で発生し、テーパ部及び108BP部のMPは脱脂洗浄のみでは克服しがたいと示唆された。9セルの30MV/mの限界も時間をかけたプロセスで克服できる可能性もあるが、時間がかかると液体ヘリウムの消費が多くなるなど負担も増えるため、IS空洞で示唆されたMPフリーのレシピが必要と言える。

4. New-ICHIRO形状ISE空洞

4.1 ISE#3による高電界実証試験

New-ICHIRO形状で80シンプルBPを持つISE#3では、当初IS空洞用のベストレシピ[6]では高電界を達成できなかった。これはISE#2からのフィードバックをかけたISE#3用の新しいトップフランジの不具合によるものであった。電解研磨(EP)+脱脂洗浄処理に戻し、IS空洞同様のフランジとシール方法で組み立てた結果、理論限界以上の50MV/mを達成し、かつMPフリーであった(図7)。ISE#3の試験より、エンドセル形状+80シンプルBPでは、高電界達成に問題無いこと、Low-Q問題が発生しないこと、脱脂洗浄がMPフリーに有効であることが示された。

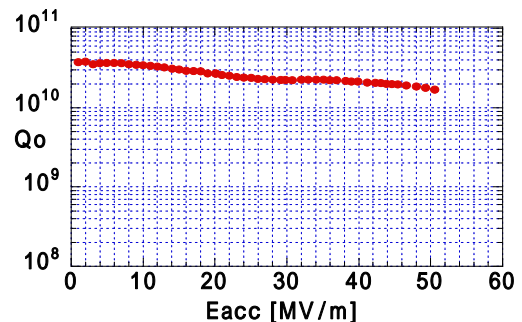


図7: ISE#3の高電界試験結果

4.2 ISE#4、ISE#5による高電界実証試験

ISE#4、#5に対しIS空洞用ベストレシピを施し試験したところFEによって18MV/m、33MV/m付近に性能が制限された(図8)。これに脱脂洗浄やHPRを繰り返しても改善は見られなかった。我々はエンドグループにポートが付いた場合、IS空洞で懸念したEP中に発生する硫黄による汚染が特にエンドのポート部に集中し、脱脂のみで

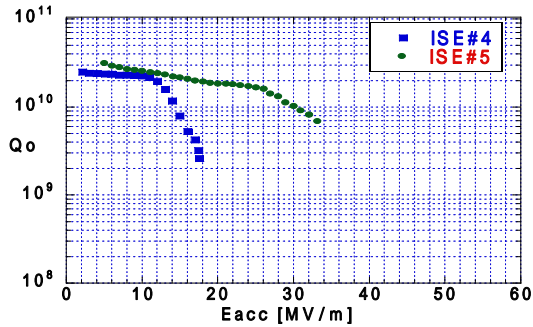


図8: ISE#4、#5の初回試験結果

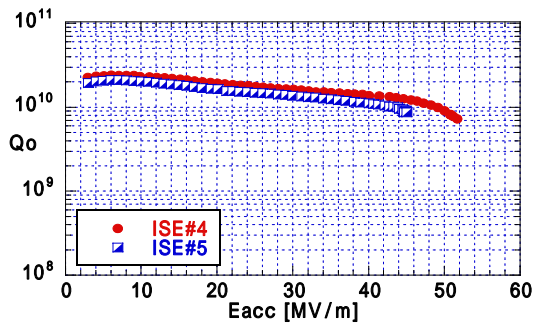


図9: ISE#4、#5のベストデータ

は洗浄が不十分であると考えた。そこでより硫黄を溶解するエタノールによる洗浄強化を試すことにした。まず ISE#5 にエタノール洗浄+再HPRを施したがやはりFEで制限されてしまった。我々は、空洞が一旦、乾燥・組み立てからRFテストまで進んだ場合には、硫黄汚染が進行し洗浄のみでは除去出来ないと考えた。ISE#4、#5共にEP(20 μ m)とエタノール洗浄を組み合わせた処理(次節参照)を施したところ ISE#4 では50MV/m、ISE#5 では40MV/mを達成した。その後、同様のレシピを繰り返した結果、ISE#5では最高45MV/mを達成している。図9に ISE#4、#5のベストデータを示す。

4.3 ISE#4、ISE#5によるtight loop test

ISE#4、ISE#5によって高電界性能の歩留まり試験を開始した。両空洞で高電界性能を達成したレシピ+EP(20 μ m)+flash EP(3 μ m) + Ethanol rinse + Degreasing +HPR+Bakingを繰り返し、性能の再現性をみる。ISE#4では2回目、ISE#5では5回目までの繰り返し試験(tight loop test)を行った。結果を図10に示す。

5. 最後に

9セル空洞の問題の理解と解決のためにエンドグループ形状を持つ5種類の単空洞(ISE#1~#5)を製作・試験した。108の大径BPのもつLow-Q問題をシール方法及びフランジ構造の変更で解決した。9セルでハードバリヤーとなったテーパ部MPは ISE#2では時間をかけることでプロセスでき、42MV/mを達成した。テーパ部MPは9セルではより厳しいことが予想されMPフリーレシピの開発が必要である。New-ICHIRO形状を基にする ISE#3~#5では45~50MV/mを達成した。New-ICHIRO形状対

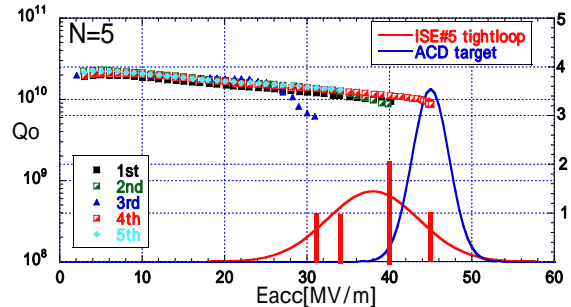
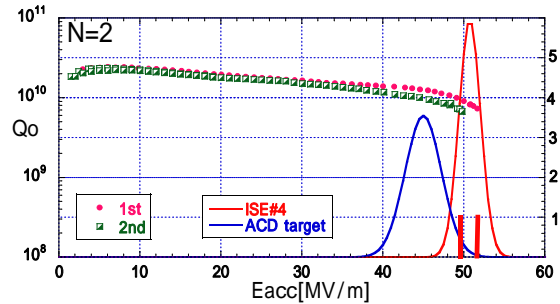


図10: ISE#4(上)、ISE#5(下)のtight loop試験

し、エンドグループ(エンドセル、Input port、HOMポート等)自体は高電界達成に支障がないことを実証した。但しHOMやInput portを持つ ISE#4、#5では、シンプルBP型のIS空洞や ISE#3と異なりエタノール洗浄による洗浄強化が高電界達成に必要な。これはEP中に発生する硫黄の汚染がエンドグループのような複雑な構造に付着した場合、単純な洗浄(HPRや脱脂)のみでは除去困難で、エタノールのように溶解して除去する方法が有効なことを示唆している。ISE#4と#5を比べた時に、HOMアンテナが有る場合(ISE#5)は電界性能が45MV/mに制限されており、歩留まりも低い。これは、HOMアンテナにはHPRから見て陰になる部分ができ、その部分の汚染が除去しにくいことが関係すると考えている。複雑な構造のエンドグループへの効果的な洗浄方法の開発が、9セル空洞で性能歩留まりを補償する鍵と言える。現在 ISE#4、#5を使った歩留まり試験を続けており、6回の試験結果統計を得る予定である。今回製作したISE空洞のうち#2~#5までは理論予想限界値の性能を得た。ISE#1については40MV/mの理論予想限界に対し、34.5MV/mまでしか到達しておらず、高電界の達成に向けた改善が求められる。また ISE空洞の結果をフィードバックし、9セル空洞での高電界達成が最重要課題である。

参考文献

- [1] F. Furuta et al., Proc. 10th Eur. Part. Acc. Conf. (EPAC2006), Edinburgh, June 2006 p.750
- [2] Y. Morozumi et al., Proc. 22nd Part. Acc. Conf. (PAC07), Albuquerque, New Mexico, June 2007, p2439, p2575
- [3] J. Hong, WG5-Asia Meeting on 28th September 2007, <http://lcdev.kek.jp/ILC-AsiaWG/WG5notes/>
- [4] Y. Morozumi, WG5-Asia Meeting on 22nd January 2007, <http://lcdev.kek.jp/ILC-AsiaWG/WG5notes/>
- [5] Ko et al., WG5-Asia Meeting on 8th May 2006,

<http://lcdev.kek.jp/ILC-AsiaWG/WG5notes/>

[6] F. Furuta et al., in this proceeding, TP072