

## S0-STUDY ON ICHIRO 9-CELL SRF CAVITIES BY KEK/Jlab COLLABORATION

Fumio Furuta<sup>1A</sup>, Kenji Saito<sup>A</sup>, Taro Konomi<sup>A</sup>  
 R. L. Geng<sup>B</sup>, Grigory Eremeev<sup>B</sup>, James Davemport<sup>B</sup>

<sup>A</sup>KEK, High Energy Accelerator Research Organization, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

<sup>B</sup>Jefferson Lab, 12000 Jefferson Avenue, Newport News, VA 23606

### Abstract

In 2008, KEK and Jlab did the collaboration of S0-study on ICHIRO 9-cell #5 which has no end groups on beam tubes. In this year, 2010, KEK and Jlab have started new S0-study collaboration on ICHIRO 9cell #7 which has full end groups on beam tubes. We sent ICHIRO#7 to Jlab. Surface treatments and vertical tests were repeated on ICHIRO#7 as tight loop test. In this paper, we will report the results of that.

### KEK/JlabによるICHIRO-9セル超伝導空のS0-study

#### 1. はじめに

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。ICHIRO形状の単セル空洞ではセンターセル、エンドセル形状ともに50MV/mの原理実証を行い、RF設計に問題がないことを確認した<sup>[1]</sup>。

9セル空洞において我々は開発を2つのステップに分けた。1つ目のステップはビームパイプにHOMやRFインプットカプラーポート等のエンドグループを持たないbare cavityでの高電界原理実証である。2つ目は実際の加速器に用いるのと同様にエンドグループを持ったfull cavityでの高電界実証である。

我々は2008年にJlab(アメリカ)との共同研究でbare cavityであるICHIRO 9-cell #5(I9#5)に対するS0-studyを行い、36MV/mまで達成した。S0-studyとして我々はI9#5にJlabとKEKそれぞれにおいて表面処理、性能測定を複数回行った<sup>[2]</sup>。今回我々はJlabとのICHIRO空洞に対する共同研究を再び行い、full cavityであるICHIRO 9-cell #7(I9#7)をJlabに送りS0-studyを行った。KEKからは著者がJlabに行きスタッフとして参加した。本報告ではJlabで行った表面処理と性能測定の結果について述べる。

#### 2. ICHIRO#5に対するS0-study

2008年にS0-tight loop study としてI9#5空洞(図1上)



図1: ICHIRO 9cell 空洞、(上)ICHIRO 9セル#5 (bare cavity)、(下)ICHIRO 9セル#7(full cavity)

をアメリカのThomas-Jefferson National Accelerator Facility (Jlab.) とKEKの両方で表面処理、すなわち電解研磨(EP20 $\mu$ m)+脱脂洗浄(USC)+高圧超純水洗浄(HPR)+ベーキング(120 $^{\circ}$ C $\times$ 48時間)、とRF測定を繰り返し、その結果を比較した。Jlab、KEKでの試験結果を図2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33.7MV/mであった。平均値で若干の差はあるが、ばらつきは大きく変わらず、この

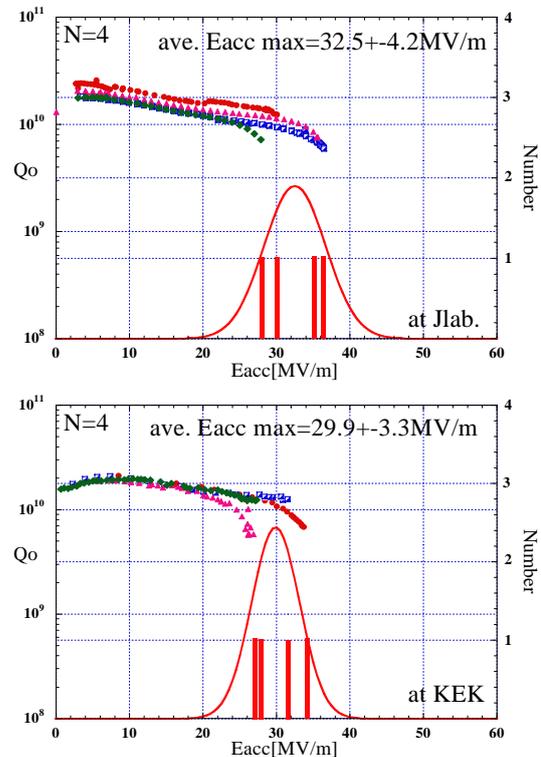


図2: 2008年のICHIRO#5 S0-studyの結果

<sup>1</sup> E-mail: fumio.furuta@kek.jp

結果からJlab.と我々の設備に大きな違いがないことを確認できた<sup>[2]</sup>。現在I9#5はKEKで高電界達成に向けて試験を継続中である。

### 3. ICHIRO#7に対するS0-study

#### 3.1 KEK出荷前試験とJlab受け入れ試験

I9#7はまずKEKで表面処理とRF測定をした後にJlabに空輸された。KEKでの表面処理は、遠心バレル研磨(CBP)+light BCP(10 $\mu$ m)+EP(80 $\mu$ m)+アニール(750 $^{\circ}$ C $\times$ 3時間)+EP(20 $\mu$ m)+flash EP(3 $\mu$ m)+エタノール洗浄+脱脂洗浄+HPR+ベーキングである。RF測定結果は途中でFEをトリガーし12MV/mに制限された。測定後の内面検査でビームパイプ(BP)に欠陥を発見し、それをミニグラインダーで研磨した後に出荷した。フラットネスは輸送の前後で93%に維持された。Jlabでは受け入れ試験として洗浄(USC+HPR)のみでRF測定を行い、21MV/mを達成した。KEKの試験からは改善したがFEで制限された。KEKの出荷前試験結果と合わせて結果を図3に示す。この試験ではI9#7のHOMポートのブランク2か所、及びトランスミットRFパワー(Pt)用のフィードスルーアンテナフランジ、の計3か所のシールにILCスタンダード空洞に使われるNW8のアルミリングガスケットを使用した。上記のI9#7の3か所のフランジはNb製であり、この組み合わせで超流動He下のリークタイトが確認された例はおそらく初めてである。

#### 3.2 Jlab EP(1<sup>st</sup>)後の試験

I9#7をJlabのEPマシンにインストールするために、EPスリーブと空洞フランジ間のアダプター、及び新たなEP電極を制作した。EPマシン許容サイズいっぱいまでセッティングに苦労はしたが無事に処理を完了した。EP(20 $\mu$ m)後、USC+HPRを経てベーキングを開始したが装置のエラーでインジウムシール部分の熱が上がりすぎ、シールが溶けてリークするトラブルを起こした。原因は①熱循環のための窒素ガスフローが低かったこと。②2時間で120 $^{\circ}$ Cまで上昇させるプログラムを使用していたが、①の影響で温度コントロールするセンサー(空洞センターセルに設置)の温度が速やかに上がらず、プログラムが過剰な熱をヒーターに供給、空洞下部の温度が異常上昇した、ためであった。空洞内のインジウム汚染を除去するために硝酸リンスを行った。Jlab化学処理室で硝酸リンス作業の許可をとるために手順書の作成及び安全に関するインタビューを行った。Jlabスタッフの協力で作業を無事完了し、再度USC+HPRを行い、先の問題点を解決したうえでベーキングを行った。結果はFEをトリガーし、11MV/mで制限された(図4)。

#### 3.3 re-HPRによる試験

先の結果は汚染除去がまだ完全でない可能性を考え、再洗浄(USC+HPR)を行ったうえで再度RF試験

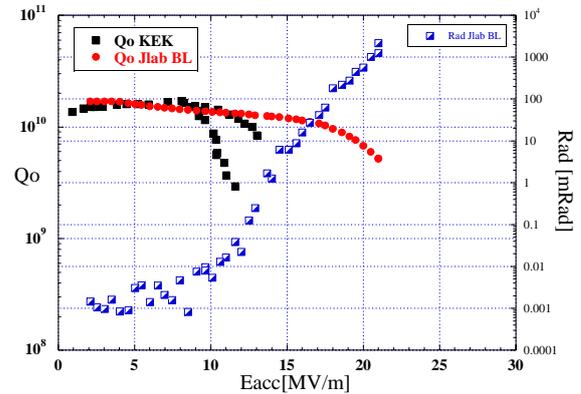


図3: KEK及びJlab受け入れ試験結果。

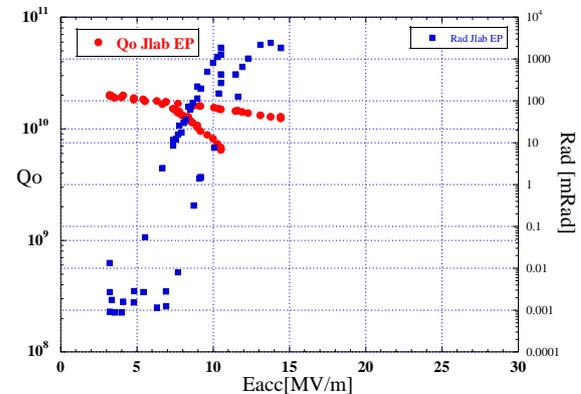


図4: VT result after 1<sup>st</sup> EP at Jlab

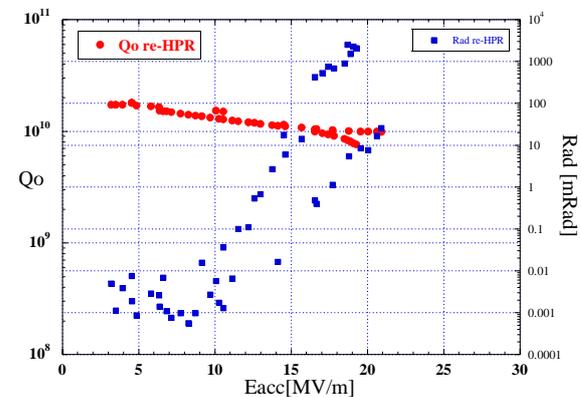


図5: VT result after re-HPR at Jlab

を行った。結果を図5に示す。22MV/m付近でプロセス中にFEをトリガーし20MV/mで制限された。この試験ではOscillating Superleak Transducer (OST)による2nd sound monitoringでクエンチ箇所の特定を試みた。Cornell大学がSRF空洞に導入したこの手法をJlabでもつい最近始め、I9#7の測定でも使用した<sup>[3]</sup>。OSTの結果からはtop側のエンドグループでクエンチしていることが示唆された。前回、今回と2回続けてプロセス中にFEをトリガーし、洗浄のみでは除去出来ない汚染、もしくは欠陥部がエンドグループにあることが予想された。測定後に空洞内を内視検査したところ、top HOMシリンダーからBPへ汚染が付着しており、サンプリングとEDX、SEMの分析により

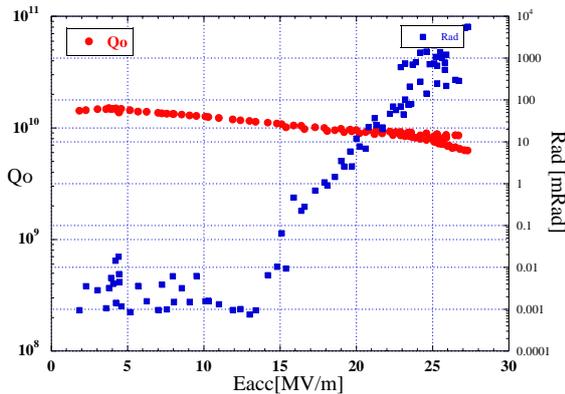


図6: VT result after 2<sup>nd</sup> EP at Jlab

脱脂剤の残留物であることがわかった。USC後の洗浄不足の問題と、KEKでも既に問題視していたが、HPRジェットが当たらない陰の部分の問題がJlabでも認識された。これはI9#7に限らず、他のJlab空洞処理でも問題になりうることで、ただちにUSC後の洗浄方法を見直し、問題の解決を図った。今回発生した脱脂剤の残留物は部分的にBCPを行い除去した。RF測定後のフラットネスは94.6%でチューニングを行わず、次のEPへと進んだ。

### 3.4 Jlab EP(2<sup>nd</sup>)後の試験

2<sup>nd</sup> EP(30 $\mu$ m)+USC+HPR後の最終組み立て時にNW8のアルミリングカ所(top HOMのブランク)でリークが発生した。分解後の検査でフランジ表面に微小な傷を発見し、ここをインジウムシールに置き換えた。その後、再HPR+ベーキングを経てRF測定に進んだ。試験結果を図6に示す。27MV/mでFE及びクエンチによって制限された。この試験でもOSTによる測定を行い、3セルまたは4セルがクエンチ箇所候補と示唆された。EP前の内視検査ではこれらのセルに欠陥は見つかっておらず、別の箇所が発生したFE等のボンバードにより発熱、クエンチが起きていると考えられる。RF測定後にフラットネスの測定、内面検査が予定されている。

## 4. まとめ

筆者は合計10週間、Jlabに滞在した。その間、EP

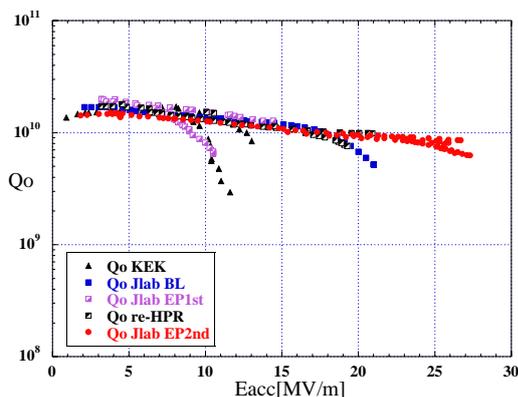


図7: ICHIRO#7 Qo vs. Eacc summary

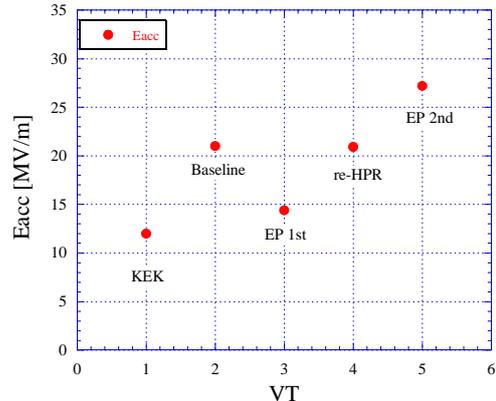


図8: ICHIRO#7 Eacc max summary

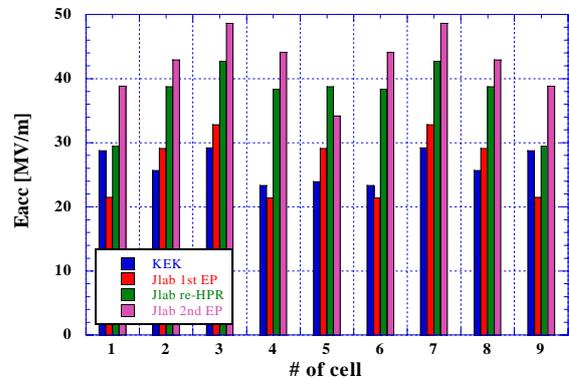


図9: ICHIRO#7 pass-band meas. summary

+VTを2回、re-HPR+VTを1回行うことが出来た。ICHIRO#7をJlabで処理、測定するための様々な新しいことがあり、トラブルも多く発生したがひとつひとつ解決し2か月かけて一通りのことがスムーズに回るようになった。図7にこれまでのQo vs. Eaccカーブを合わせてプロットし、また図8にはこれまでの $\pi$ モードでの最大到達電界をプロットした。プレリナリーであるが、現状27MV/mまで到達した。こちらプレリナリーだがパスバンド測定で全てのセルが35MV/m以上に到達した(図9)。着実に性能改善は進んでおり、あと数回のEP処理を経て高電界が期待できるところまで来た。2008年のS0-studyではJlabとKEK-ICHIROグループに設備上大きな差がないという結論に達した。今回さらにfull-cavityでの経験を重ね、改めてJlabとKEKでの表面処理や真空排気方法などの差異を比較し、KEK-ICHIRO空洞処理にフィードバックをかけたい。ICHIRO#7に対しては今後もJlabでの研究を続けたいと考えている。

## 参考文献

- [1] F. Furuta et al., Proc. 10<sup>th</sup> Eur. Part. Acc. Conf. (EPAC2006), Edinburgh, June 2006, p.750.
- [2] F. Furuta et al., Proc. of 14<sup>th</sup> International Conference on RF Superconductivity, DBB forum, Berlin, Germany 2009, THPPO082.
- [3] Z. A. Conway et al., Proc. of 14<sup>th</sup> International Conference on RF Superconductivity, DBB forum, Berlin, Germany 2009, TUOAAU05.