

# ACHIVEMENT OF 40MV/M WITH ICHIRO 9-CELL CAVITY IN COLLABORATION WITH KEK/JLAB

Fumio Furuta<sup>#A)</sup>, Kenji Saito<sup>A)</sup>, Taro Konomi<sup>A)</sup>, Rongli Geng<sup>B)</sup>, Grigory Ereemeev<sup>B)</sup>

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

<sup>B)</sup> Jlab, Thomas Jefferson National Accelerator Facility, 12000 Jefferson Avenue, Newport News, VA 23606, USA

## Abstract

KEK and Jlab have continued S0-study collaboration on ICHIRO 9cell cavities since 2008. In 2010, we have started new S0 study on ICHIRO full 9cell cavity, ICHIRO#7. 7 vertical tests include 3 Electro Polishing process has been done at Jlab so far. Maximum gradient of 40MV/m with Qo value of 8.0e9 was achieved at 2K, this satisfied ILC-ACD. In this paper, we will describe the details.

## KEK/Jlab による ICHIRO-9 セル空洞での 40MV/m 達成

### 1. はじめに

我々は KEK で ILC-ACD に向けた LL/ICHIRO 形状の 50MV/m 高電界型ニオブ超伝導空洞の R&D を続けてきた。ICHIRO 形状単セル空洞では既に 50MV/m の原理実証を終え、現在 ICHIRO 形状 9 セル空洞での 50MV/m 実証を目指している。2008 年より Jefferson Lab(Jlab, アメリカ)との ICHIRO 9-セル空洞 S0-study を開始した。2008 年にはエンドグループ (HOM やハイパワーインプットカップラー等) を持たない bare cavity である ICHIRO 9-cell #5 の表面処理と縦測定を Jlab、KEK でそれぞれ繰り返し行い、Jlab では 36.5MV/m、KEK では 33.7MV/m を達成した。2010 年からはエンドグループを持つ full cavity, ICHIRO 9-cell #7 (ICHIRO#7、図 1) の S0-study を Jlab で新たに開始した。KEK 側からは著者が Jlab に滞在し表面処理と測定を担当した。本報告ではその結果について述べる。

### 2. コミッショニング

2010 年前半は 2~3 月に 2 週間、6~8 月に 10 週間 Jlab に滞在した。この間に Jlab 受け入れ試験や、2 回の電解研磨処理 (EP) を含め 4 回の RF テストを行った。これらの試験に先立ち、通常 TESLA 形状 9 セル空洞を取り扱う Jlab 設備に ICHIRO#7 をインストールするために、空洞ジグの改造、Jlab-EP 装置へのアダプターや ICHIRO#7 用 EP 電極の制作、を行った。4 回の処理・測定の中で、インジウムシール溶解、脱脂後の洗浄不足汚染、等の問題が起きた。これらを全て解決し 2010 年 8 月時点で 27MV/m の結果を得た。Jlab 発送前の KEK での試験及び、2010 年前半の Jlab での試験結果を図 2 に示す。これらの詳細は昨年報告済みである[1]。



図 1: full ICHIRO 9cell 空洞, ICHIRO#7

2010 年 8 月に著者が KEK に戻った後に Jlab で行われた内視検査とフラットネス測定で、③ビームパイプ部欠陥 (図 3)、④フラットネスの劣化 (94→87%)、の問題が明らかになった。これらの問題解決は後述する 2010 年後半に行った S0-study で対応した。2010 年 8 月の時点で、Jlab で ICHIRO 空洞を処理した際に起こりうる問題の洗い出しは全て完了、ICHIRO#7 の Jlab コミッショニングを終えた。問題点・改善点をフィードバックすることで以降の処理、測定に高電界達成の期待を持った。

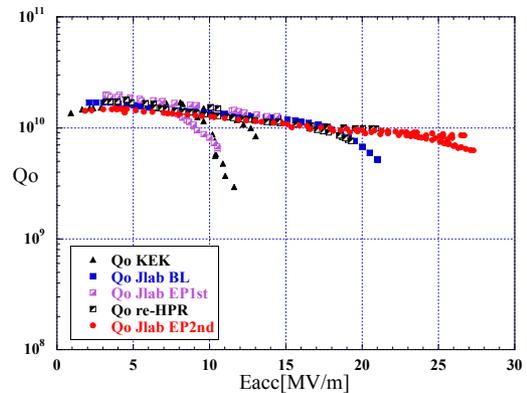


図 2: 2010 年 8 月時点での測定結果まとめ

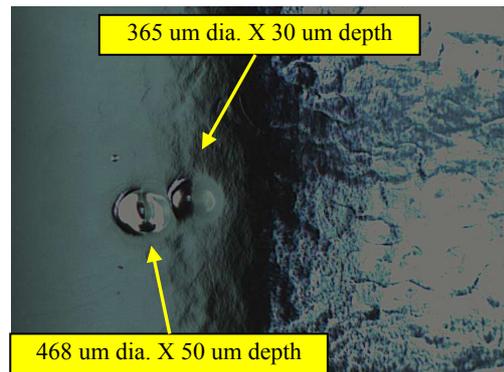


図 3: ビームパイプ部欠陥 photo by R. Geng

<sup>#</sup> ff97@cornell.edu, now LEPP at Cornell Univ.

### 3. 2010 年後半の S0-study

2010 年 11 月~1 月まで再び著者が Jlab に滞在し ICHIRO#7 の S0-study を再開した。まず前節で述べた問題③、④の解決を図った。欠陥部についてはスコッチブライトで磨き落とした。フラットネスは 96%に再調整した。具体的な劣化原因は判明せず、以降の取り扱いに十分注意を払った。

#### 3.1 Jlab EP(3<sup>rd</sup>)後の試験

超音波洗浄、EP (3 回目、20 $\mu$ m)、高圧超純水洗浄 (HPR)、ベーキング (120°Cx48hrs) を行い、測定を行った。結果を図 4 に示す。2K で 36MV/m、 $Q_0=7.4e9$  を達成した。空洞性能は高い放射線と RF パワーに制限された。

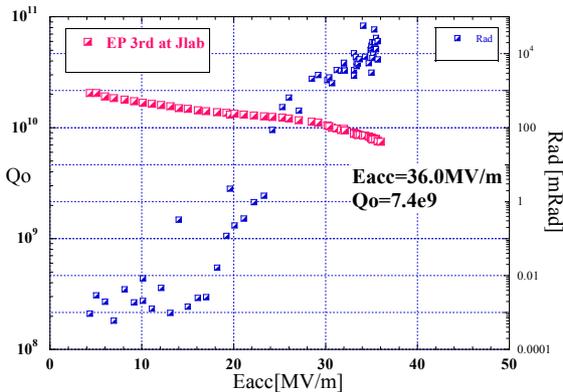


図 4: EP(3<sup>rd</sup>)後の 2K 測定結果

#### 3.2 再洗浄試験へ向けた改善策

放射線レベル削減による性能改善を狙い再 HRP して再度測定を行ったが、その際に 3 つの改善策を講じた。①エンドグループ部分の集中 HPR。これは過去の R&D でエンドグループが洗浄不足に陥りやすいことを考慮したもので、それぞれのエンドグループに対し 1 時間ずつ集中的に HPR を行った。その後、空洞全体の HPR を行った。②空洞アイソレートバルブの導入。通常 Jlab、KEK で空洞は測定スタンドへの最終取り付け時のコンタミを抑えるために、空洞下部に取り付けたメタルバルブで封じ切られる。過去のセットアップでは ICHIRO#7 にはアイソレーションバルブが付いておらず、今回インストールした。③ショートベーキングによる脱ガス。再 HPR して再試験する際にはベーキングは必要ない。過去の単セル試験でも十分に検証済みである。しかし 9 セル空洞では洗浄後の吸着ガスによるプロセス時間の増大やプロセス中にトリガーされる FE の問題が懸念される。この問題を回避するため脱ガスを目的とした、100°C x 4 時間のショートベーキングを行った。

#### 3.3 40MV/m の達成

先に述べた対策を講じた上で試験を行った結果を図 5 に示す。2K で 40MV/m、 $Q_0=8.0e9$  を達成した。これは ILC-ACD の要求を満たす。図 5 は加速モー

ド (Pi-mode) の結果であるが、それ以外の pass-band mode の測定を行い、各セルの最大到達電界を評価した。結果を図 6 に示す。全てのセルが 40MV/m 以上に到達しており、Pi-mode と矛盾しない結果となった。一方、放射線の on-set は若干上がったものの、最大電界ではやはり非常に高い放射線がモニターされ、空洞の性能が制限された。

#### 3.4 OST によるクエンチ箇所の特定制験

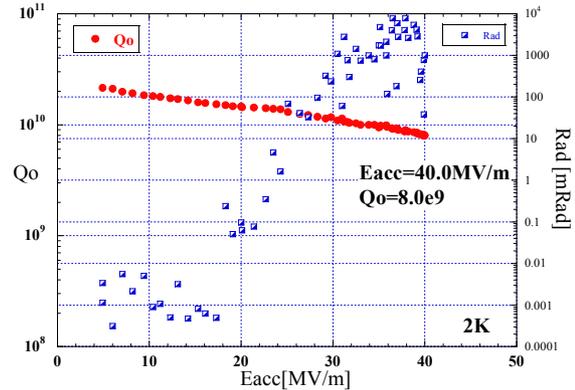


図 5: 再 HPR 後の 2K 測定結果

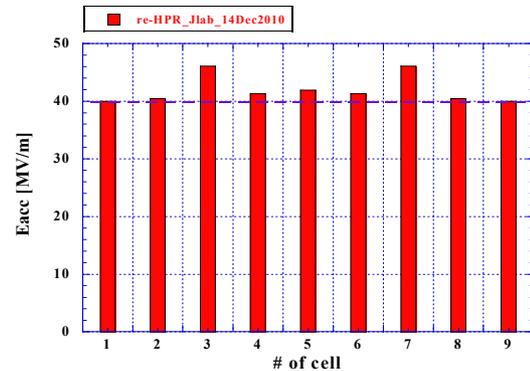


図 6: Pass-band 解析、各セルの到達電界。

先の試験後に一度空洞を室温に戻し、クエンチ箇所を特定するための OST (Oscillating Superleak Transducer) を取り付けて再冷却、再試験、及び 2nd sound monitoring を行った。ただし OST 信号を感度良く測定するために試験は 1.8K で行った。Pi-mode で空洞は同じく 40MV/m でクエンチし、その際にモニターした OST 信号を図 7 に示す。クエンチで発生した 2nd sound がそれぞれの OST でモニターされるまでの時間差からクエンチ箇所を特定した。Pi-mode では cell#8 がクエンチ箇所と推定された。内視検査を行った結果、0.5mm 程度の欠陥部が見つかった (図 8)。深刻なものには見えず、次回の EP 処理で除去可能と予想され、さらなる電界性能の向上が期待できる。Pi-mode 以外、Pass-band の OST 解析から予想されたクエンチ箇所では欠陥部は見られなかった。

#### 3.5 データ整合性チェック

OST 試験後、室温で空洞のフラットネスを測定し

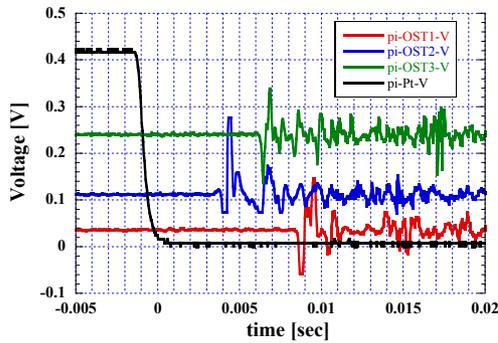


図 7: Pi-mode での 2<sup>nd</sup> sound シグナル.



図 8: Pi-mode のクエンチ箇所

94%に保持されていることを確認した。またデチューニングファクター、ケーブルコレクション、RF パラメータ等を過去の試験との比較を含め検証し、問題ないことを確認した。我々は今回の40MV/m 達成データは信頼性の高いものであることをデータクロスチェックによって確信した。

#### 4. ICHIRO-9 セル 50MV/m 実証に向けて

現在、ICHIRO#7 は高い放射線によって性能が制限されている。この源の可能性の一つとして MO フランジのシールガスケットからのコンタミが考えられる。現在、ICHIRO#7 の MO フランジには 2K でのリークタイト性を上げるためにアルミニウム(Al、厚さ 1mm)にインジウム (In) を 8~10 $\mu$ m メッキしたガスケットを使用している。このインジウムが組み立てや HPR 時に空洞内を汚染しないか懸念される。そのため KEK で MO フランジを持つ単セル空洞を用いて R&D を行った。

##### 4.1 エアフロー導入による放射線削減の試み

MO フランジ+Al/In ガスケット組み立て中に空洞内でパーティクルカウントモニターを行った。結果 0.1 $\mu$ m 以上の粒子が 400 個以上観測され、確かに組み立て中に空洞内への汚染が発生することを確認した。この問題を改善するために、組み立て中に空洞内をクリーンエアで加圧し、内から外へのエアフローを導入した。エアフローありの条件で同様の組み立て中の粒子モニターの結果、カウント数は 0 となり組み立て時に発生する粒子を空洞外へ押し出すことで内部汚染を抑えることに成功した。エアフローを導入した MO フランジ単セル空洞の測定結果を図 9 (▲)に示す。放射線の発生を完全に抑えるところまで到達していないが、放射線の on-set は

25MV/m にまで改善された(図 9 ■)。ICHIRO#7 にもエアフロー採用で放射線 on-set の改善が期待できる。エアフローの R&D は単セル、9 セル両方で進められ、詳細は今回の年会で報告されている[2]。

##### 4.2 銅ガスケットによる放射線フリーの可能性

オリジナルの MO フランジは常伝導空洞用に開発され銅ガスケットを使用している。我々は MO フランジを超伝導空洞に応用する際に 2K リークタイトネスの観点から Al/In ガスケットを採用した。しかし先の問題から再度銅ガスケットによる試験を行った。結果は図 9 (●)に示されている。Qo-Eacc カーブはほぼ等しい結果が得られ、かつ放射線は測定感度未満に抑えられた。銅ガスケットで ICHIRO#7 の放射線フリーへの改善が期待できる。銅ガスケットについてはリークタイトネスの統計性試験を KEK で続けている。

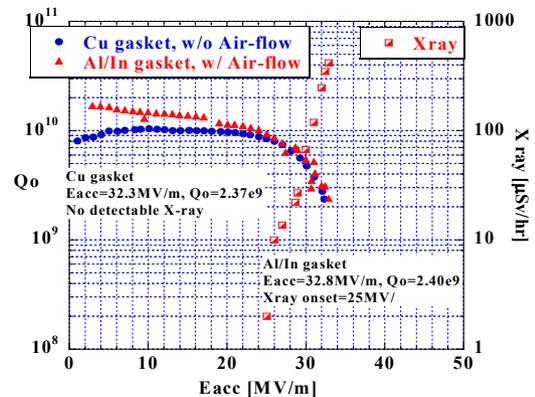


図 9: MO フランジ単セルの測定結果

##### 4.3 Qo 値の改善、銅/SUS フランジの導入

MO フランジ単セルでは当初 low-Qo 問題が発生した。シミュレーションの結果、ビームチューブが 105mm と短いためトップフランジの SUS でのヒートロスが大きいことが分かった。そこでトップフランジの RF にさらされる部分を SUS よりも熱伝導率が 1 桁大きい銅に変える方法を取った。これによりヒートロスは SUS の 3 分の 1 以下に抑えることが出来る。銅と SUS リングを電子ビーム溶接してフランジを作り、MO フランジのシールエッジは SUS 部分に加工した (図 10)。銅/SUS フランジでの空洞試験結果、温度と表面抵抗の関係、を示す。2K での表面抵抗は半分削減し、Qo 値でファクター2の改善が得られた (図 11)。ICHIRO#7 の場合、



図 10: 銅ガスケットと銅/SUS フランジ

ビームチューブ長さは 107mm である。SUS フランジを用いた場合 2 Kでの表面抵抗は約 14nΩ である。計算より銅/SUS フランジに変えることでこれを約 9nΩ に減らすことが出来る。電界の低い領域の Q<sub>0</sub> 値は 2e10 から 3e10 へと改善が期待でき、同時に最大電界強度の改善も期待できる。

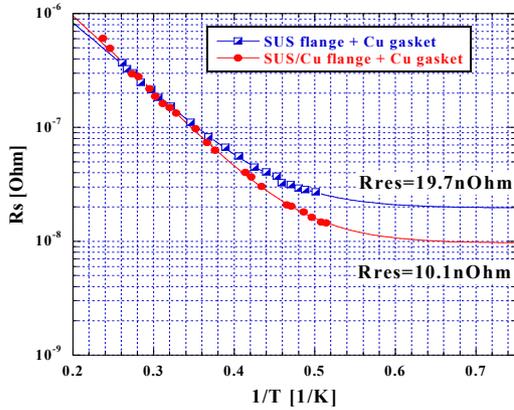


図 11: MOF 単セルにおける銅/SUS フランジによる表面抵抗の改善

## 5. まとめと謝辞

ICHIRO#7 の S0-study は 40MV/m を達成するところまで来ている。当初、Jlab でのコミッションングに約 2 か月を費やしたが、その後の試験へのフィードバックをかけることで ILC-ACD の要求を満たす高電界性能を達成出来た。図 12 にこれまでの Q<sub>0</sub>-Eacc 測定結果をまとめる。図 13 には ICHIRO#7 の S0-study における電界改善をまとめた。現在、ICHIRO#7 は高い放射線によって性能が制限されている。この源の可能性の一つとして MO フランジに使用する Al/In ガasketからのコンタミが考えられる。KEK で進行中の R&D ではエアフロー導入、Cu ガasketの採用などでエミッションフリーの実現可能性が示唆されている。これらを次回の EP 処理、測定にフィードバックすることで ICHIRO-9 セル空洞での 50MV/m 実証可能と我々は展望している。今後、別の ICHIRO-9 セル空洞を Jlab に送り、

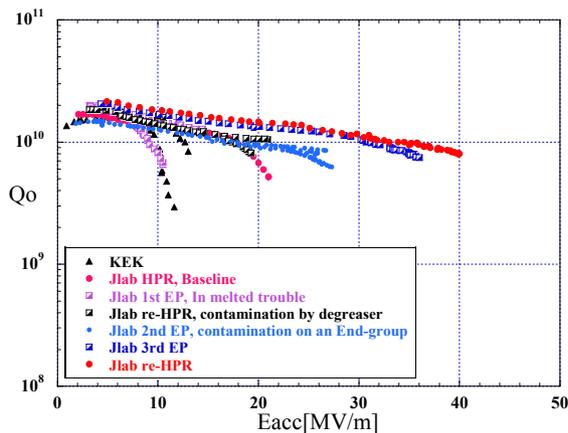


図 12: ICHIRO#7、縦測定のみまとめ

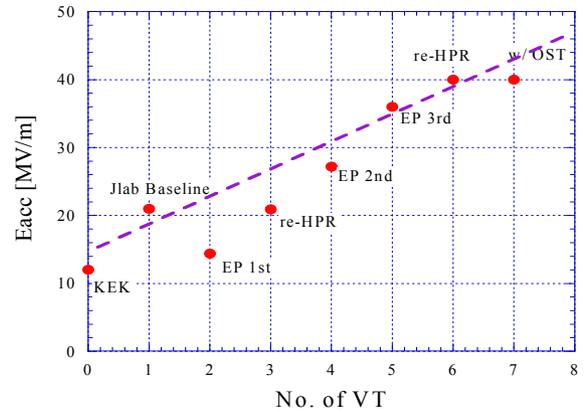


図 13: ICHIRO#7、電界性能の改善

新たな S0-study の開始を計画中である。

最後に ICHIRO#7 の S0-study を支えてくれた Jlab、Jlab スタッフに感謝を述べる。

## 参考文献

- [1] F. Furuta et al., Proc. of the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society in Japan, Himeji, Aug. 4-6, 2010, THPS028
- [2] K. Saito et al., in this Proceedings, TUPS121