

## STF2-CM2b 用 9 セル超伝導空洞 4 台のたて測定結果

### VERTICAL TEST RESULTS OF 9-CELL SC CAVITIES FOR STF2-CM2B

柳町太亮<sup>#, A)</sup>, 浅野峰行<sup>A)</sup>, 今田信一<sup>A)</sup>, 植木竜一<sup>A)</sup>, 山田浩気<sup>A)</sup>, 岡田昭和<sup>B)</sup>,  
宍戸寿郎<sup>C)</sup>, 山本康史<sup>C)</sup>, 加古永治<sup>C)</sup>

Taisuke Yanagimachi<sup>#, A)</sup>, Mineyuki Asano<sup>A)</sup>, Shin-ichi Imada<sup>A)</sup>, Ryuichi Ueki<sup>A)</sup>, Yamada Hiroki<sup>A)</sup>,  
Terukazu Okada<sup>B)</sup>, Toshio Shishido<sup>C)</sup>, Yasuchika Yamamoto<sup>C)</sup> and Eiji Kako<sup>C)</sup>

<sup>A)</sup> Nippon Advanced Technology, <sup>B)</sup> K-vac<sup>C)</sup>, High Energy Accelerator Research Organization

#### Abstract

The STF2 accelerator, which consists of a capture cryomodule (two 9-cell cavities), CM1 (eight 9-cell cavities) and CM2a (four 9-cell cavities), were constructed in the STF tunnel at KEK. New four 9-cell cavities (CM2b) were fabricated in order to replace with the four cavities in CM2a cryomodule. In this paper, the vertical test results of four 9-cell cavities for STF2-CM2b are reported.

#### 1. はじめに

KEK-STF では ILC のための試験設備を建設し、継続的な安定運転を実証するための STF2 計画が進められている。2014 年までに、KEK-STF 地下トンネル内に 9 セル超伝導加速空洞（以後は空洞）2 台内蔵クライオモジュール、空洞 8 台内蔵クライオモジュール（CM1）、空洞 4 台内蔵クライオモジュール（CM2a）の設置が完了している。そして今回、CM2a の空洞 4 台と入れ替えをするための空洞 4 台（CM2b）を製作した。

CM2a の空洞から製造のコストダウンおよび製作時間短縮を目的とし、CM2a から縦置きした状態で赤道部を溶接する縦型の電子ビーム溶接設備に変更されている。CM1 までは空洞を横置きにした状態で赤道部を溶接する方法であった。また縦型電子ビーム溶接設備では一度の真空排気で複数台分の溶接（同時溶接）を行うことが可能となっている。CM2a では MHI#23 および MHI#24 は 1 台ずつ、MHI#25 と MHI#26 は同時溶接を行い、たて測定後、CM2a に組み込まれている。そして、CM2b では一度の真空排気で 4 台分（MHI#27～#30）の溶接を行い、KEK-STF でたて測定を行った。

本報告では、CM2a の空洞と入れ替えるための CM2b の空洞 4 台（MHI#27～#30）について行ったたて測定結果について述べる。

#### 2. たて測定を行うまでの工程

CM2b の空洞を製造後、KEK-STF に納入されてから、たて測定を行うにあたり以下の工程を要する。

- ①空洞受け入れ検査（厚み測定・内面検査）
- ②Pre-EP(5 $\mu$ m), EP-1(100 $\mu$ m) (EP=電解研磨)

- ③一次洗浄、温水超音波洗浄（50 $^{\circ}$ C, 15min.）
- ④超純水内面高压洗浄
- ⑤アニール処理（750 $^{\circ}$ C, 3hour）
- ⑥アニール後の内面検査
- ⑦内面局所研磨（欠陥等が無ければ省略）
- ⑧プリチューニング（空洞の共振周波数調整）
- ⑨EP-2（5~20 $\mu$ m）
- ⑩一次洗浄、温水超音波洗浄（50 $^{\circ}$ C, 15min.）
- ⑪超純水内面高压洗浄（終了後は封止）
- ⑫クリーンルーム（class10）で測定パーツ取付
- ⑬class1000 へ移動し、排気系へ接続
- ⑭He リークチェック、ベーキング（140 $^{\circ}$ C, 44h.）
- ⑮たて測定スタンドへ移動・空洞吊り下げ
- ⑯センサー類取付後、クライオ内へ移動
- ⑰液体 He 冷却、たて測定（4K）
- ⑱クライオ内減圧後、たて測定（2K~）
- ⑲クライオ内の昇温後、移動・取外し

空洞 MHI#27～#30 は、アニール後の内面検査のち全アイリスに対して全周研磨を行った。アイリス表面の凹凸を少なく滑らかにすることで放射線量の減少効果が得られることが分かっている。そのため MHI#27～#30 ではそれぞれ EP-2 を行う前に欠陥箇所に対して局所研磨を行い、さらに全アイリスの全周研磨を行っている。Fig.1 にアイリス全周研磨の概要を示す。アイリスは①～⑧の 8ヶ所あるが均一

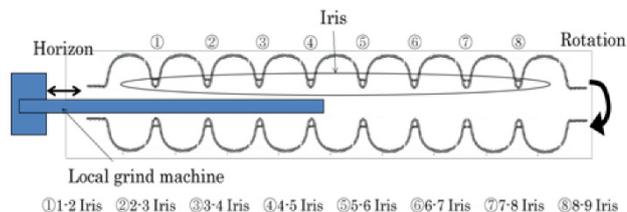


Figure 1: Set up of local grinding machine.

<sup>#</sup> nat-yama@post.kek.jp

に研磨するために4ヶ所ずつ2回に分けて研磨した。研磨機の空洞内部へ入れる部分に研磨シートを取付、研磨シートをアイリスに当たるように調整する。研磨機を水平方向に可動させ、同時に空洞を回転させ研磨を行う。

たて測定では、入射電力 ( $P_{in}$ )、透過電力 ( $P_t$ )、反射電力 ( $P_{ref}$ )、プローブ電力 ( $P_{probe}$ ) を測定し、式(1)から(3)を用いて加速電場 ( $E_{acc}$ ) および無負荷  $Q$  値 ( $Q_0$ ) を算出し、空洞性能の評価をする。 $P_0$ : 空洞表面のエネルギー損失、 $Z$ : 空洞形状から決まる定数である。

$$E_{acc} = Z\sqrt{P_t Q_t} \quad (1)$$

$$Q_0 = P_t Q_t / P_0 \quad (2)$$

$$P_0 = P_{in} - P_t - P_{ref} - P_{probe} \quad (3)$$

たて測定後クライオ内を常温に戻し、空洞はたて測定スタンドへ移動され取外しを行う。これらの作業を繰り返して空洞4台のたて測定を行う。

### 3. たて測定結果

空洞 MHI#27 は 1-2 と 5-6 アイリスに対して局所研磨を行ったのち全周アイリス研磨をした。1回目の測定において最大加速電場 23MV/m (放射線量 0 $\mu$ Sv/h) という結果であったため、2回目のたて測定を行っている。1回目の測定後に内面検査を行い4セル、5セルの赤道部と 3-4 アイリスに対して局所研磨を行った。Fig.2 に2回目のたて測定結果を示す。15MV/m 付近から放射線がはじめ、最大加速電場 28.6MV/m で放射線量 999 $\mu$ Sv/h (センサーの測定限界) まで上昇した。一定時間後に再度測定を行った結果、最大加速電場 25.8MV/m で放射線量は改善され 48 $\mu$ Sv/h を示した。

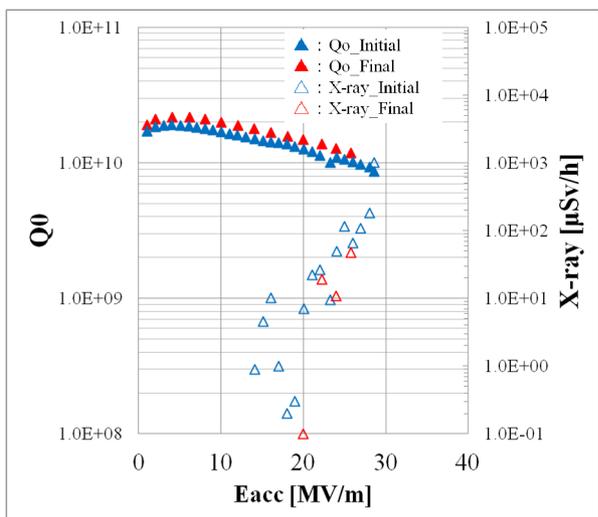


Figure 2:  $Q_0$  vs. Eacc. plots in vertical tests in the MHI#27 cavity.

空洞 MHI#28 は 2-3, 3-4, 5-6, 6-7 アイリスに対して局所研磨を行った後に、全周アイリス研磨を行った。Fig.3 にたて測定結果を示す。加速電場 8MV/m から放射線がはじめ、途中プロセスを繰り返しながら放射線量が減少。最大加速電場 34.9MV/m で放射線量 31 $\mu$ Sv/h を示した。一定時間後に再度測定を行った結果、ケーブルの損傷により加速電場 30MV/m で制限され放射線量 0 $\mu$ Sv/h であった。

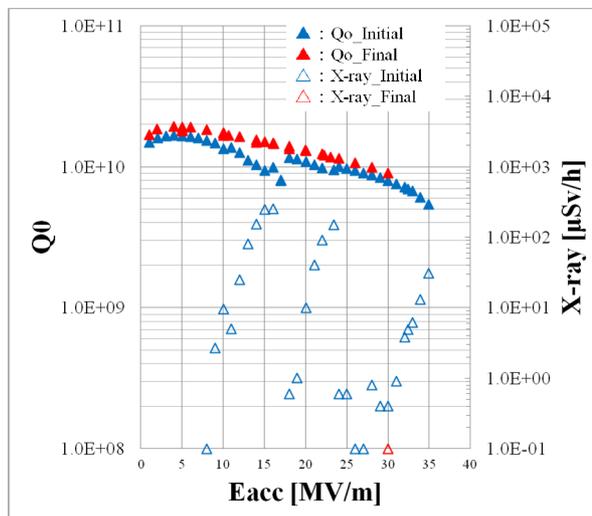


Figure 3:  $Q_0$  vs. Eacc. plots in vertical tests in the MHI#28 cavity.

空洞 MHI#29 は、全周アイリス研磨のみ行った。Fig.4 にたて測定結果を示す。加速電場 8MV/m から放射線がはじめ、途中プロセスを繰り返しながら放射線量が一時減少したが、17MV/m 付近で増加したままプロセスされず最大加速電場 26.6MV/m で放射線量 790 $\mu$ Sv/h であった。一定時間後に再度測定を行ったが放射線量は減少せず、最大加速電場 26.1MV/m で放射線量 810 $\mu$ Sv/h を示した。

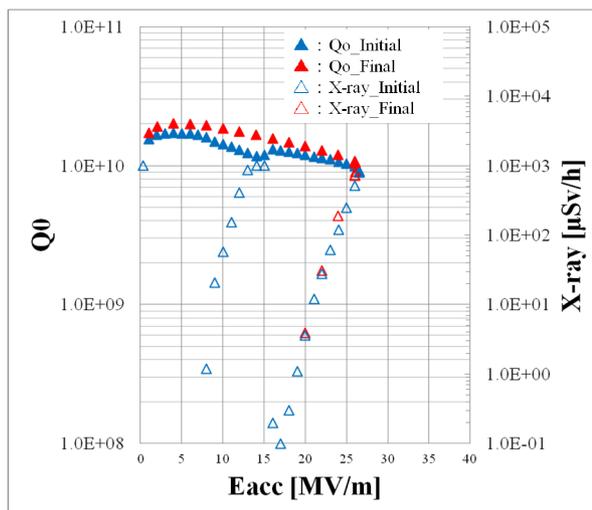


Figure 4:  $Q_0$  vs. Eacc. plots in vertical tests in the MHI#29 cavity.

空洞 MHI#30 は、全周アイリス研磨のみ行った。Fig.5 にたて測定結果を示す。この空洞では放射線はほとんど検出されず、最大加速電場 31MV/m で 0.1 $\mu$ Sv/h であった。一定時間後に再度測定を行った結果も、最大加速電場 30.1MV/m で 0.1 $\mu$ Sv/h を示した。

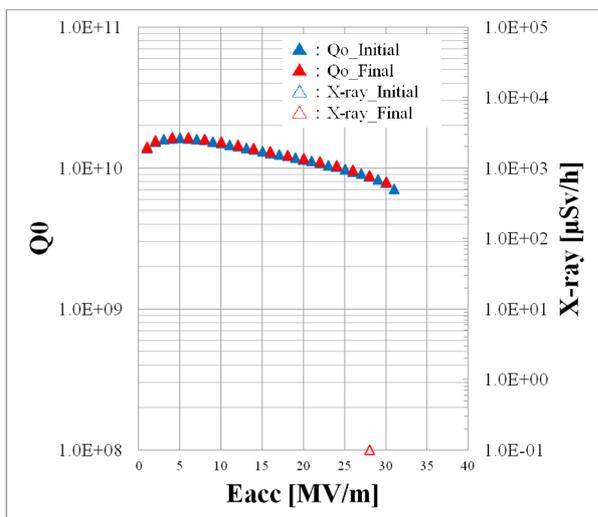


Figure 5: Q<sub>0</sub> vs. Eacc. plots in vertical tests in the MHI#30 cavity.

今回測定を行った 4 台の空洞の最終的な結果を Table 1 に示す。4 台の空洞の平均した最大加速電場は 29.2MV/m であった。放射線量は MHI#29 が約 800 $\mu$ Sv/h と高い値を示したが、その他の空洞は低い値を示した。これより、アイリスの全周研磨および局所研磨は一定の効果があった。空洞 MHI#27 においては 2 度のたて測定を行い、空洞性能は 23MV/m から 25.8MV/m と局所研磨による性能向上がみられた。Table 1 に示している MHI#27 の値は 2 回目の結果を記載している。

Table 1: Summary of the Vertical Test Results of STF2-CM2b

cavity	Eacc.max [MV/m]	Q <sub>0</sub> @Eacc.max.	X-ray [μSv/h]
MHI#27	25.8	6.18E+10	48
MHI#28	34.9	5.00E+9	31
MHI#29	26.1	1.04E+10	810
MHI#30	30.1	7.97E+09	0.1

#### 4. まとめ

CM2a の 4 台の空洞と入れ替えるための CM2b に使用する空洞 4 台のたて測定を行った。空洞 MHI#27 は、最大加速電場 25.8MV/m で放射線量は 48 $\mu$ Sv/h であった。空洞 MHI#28 は最大加速電場が 34.9MV/m で ILC の仕様要求である 35MV/m と同等の性能が得られた。空洞 MHI#29 は最大加速電場 26.1MV/m

で、放射線量が 800 $\mu$ Sv/h とかなり高い値を示した。空洞 MHI#30 は最大加速電場 30.1MV/m で放射線量がほぼ検出されず 0.1 $\mu$ Sv/h であった。全体の平均した最大加速電場は 29.2MV/m であった。また、CM2b の空洞では MHI#29 では放射線量が高いものの、全体として低い値を示している。たて測定を行うための EP-2 をする前に全アイリスの全周研磨を行うことは一定の効果を得られていると考えられる。

CM2a および CM2b における最大加速電場を Fig.6 に示す。今回 CM2b は、製造コストの削減と製作時間短縮のためのテストとして、縦型 EBW の採用と一度の真空排気で複数台溶接を行える新しい設備で空洞作成を行った。4 台同時溶接で赤道部を溶接された CM2b 空洞のたて測定を行ったが、同じ設備で溶接した CM2a (1 台ずつを 2 台および 2 台同時溶接で計 4 台) と比較した場合、CM2a の 4 台を平均した最大加速電場は 28MV/m であり、それと同程度の空洞性能を CM2b の空洞 4 台で得ることができたことが分かった。今後、ILC の仕様要求の空洞を量産するために、複数台を同時溶接して製作する空洞の性能をさらに向上させる取り組みを行っていく予定である。

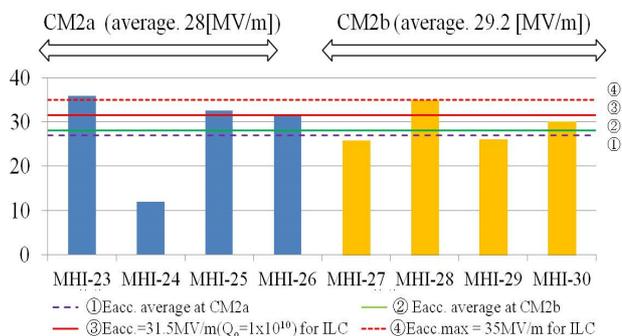


Figure 6: Obtained Eacc,max of eight cavities in CM2a and CM2b.

#### 参考文献

- [1] 加古永治 “ILC 用超伝導空洞の開発”, 低温工学 48(2013) 415-425.
- [2] 植木竜一 “STF2-CM2a クライオモジュール用 9 セル超伝導空洞のたて型性能測定の結果”, 第 11 回日本加速器学会年会 SUP045.
- [3] 宍戸寿郎 “超伝導空洞の性能評価”, 高エネルギー加速器セミナーOHO'14 講義資料.
- [4] 浅野峰行 “STF2-CM2b クライオモジュール用 9 セル超伝導空洞の内面検査の結果”, 本学会.