

Recent Results of SC Cavity Performance Test for ILC at KEK-STF

Yasuchika Yamamoto¹, Hitoshi Hayano, Eiji Kako, Shuichi Noguchi, Hiroshi Sakai, Masato Satoh, Toshio Shishido, Kensei Umemori, Ken Watanabe

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801

Abstract

Infrastructure for STF (Superconducting rf Test Facility) was completed for ILC (International Linear Collider) and ERL (Energy Recovery Linac) project in 2008 at KEK-STF, which purpose is to study and develop 1.3GHz 9-cell cavity. Performance tests (Vertical Test) of the STF superconducting cavities have been routinely done since the end of last year, which goal is to achieve 35MV/m (ILC specification). At the same time, study for the cause of the field limitation and various trial have been done. Temperature mapping (T-mapping) system was developed and introduced to identify a heating spot during RF test, and many significant data were obtained. Moreover, it was found that there is no correlation between detected heating spot and many pits, which were found at cavity inspection using Kyoto camera before a performance test. This vertical test system will be upgraded and online monitor system using EPICS will be introduced in the near future.

ILCに向けた高電界空洞性能試験のKEK-STFにおける最新結果

1. はじめに

本研究所では、2004年からILCおよびERL計画に向けて1.3GHzの9セル空洞の研究・開発が行われてきた。2005年度から国産の4台の超伝導空洞(MHI#1-#4)の性能試験(縦測定)が約一年に亘り行われ、その内の1台(MHI#2)が約30MV/mに到達したが、他の3台は20MV/m近辺に留まった。セルの赤道溶接部に取り付けた温度計(温度マッピング)のデータから、赤道部に到達フィールドを制限する原因があるという示唆が得られたため^[1]、今後製作する空洞に対しては電子ビーム溶接の条件およびその前後の処置に細心の注意が払われた。2007年度に新たに製作された2台の空洞(MHI#5, #6)には様々な改良が加えられ、その結果最初の縦測定で共に26~27MV/mに到達するという結果となった^[2]。縦測定もSTF棟内に新しく完成したシステムで行えるようになり、製造された空洞の受け入れ後はほとんどの作業工程がSTF棟内で行えるようになった。STFでの縦測定開始に合わせて測定点数を増強した新しい温度マッピングシステムが開発・導入され、到達フィールドに制限を与えているセルを100%の検出効率で同定できるようになった^[3]。

2008年度に完成した3台の空洞(MHI#7-#9)の縦測定が最近行われたが、いずれもSTF内の表面処理設備における不具合と見られる問題が原因で20MV/mにも届かない結果に終わった(MHI#9は未測定)。現在、その調査が最優先で行われており原因が究明された後、縦測定が再開される予定である。最終的に、MHI#5-#9の5台の空洞の中から来年STFで行われるS1-Global計画に用いられる4台の空洞が選別される予定である。

2. 空洞に関する全作業工程

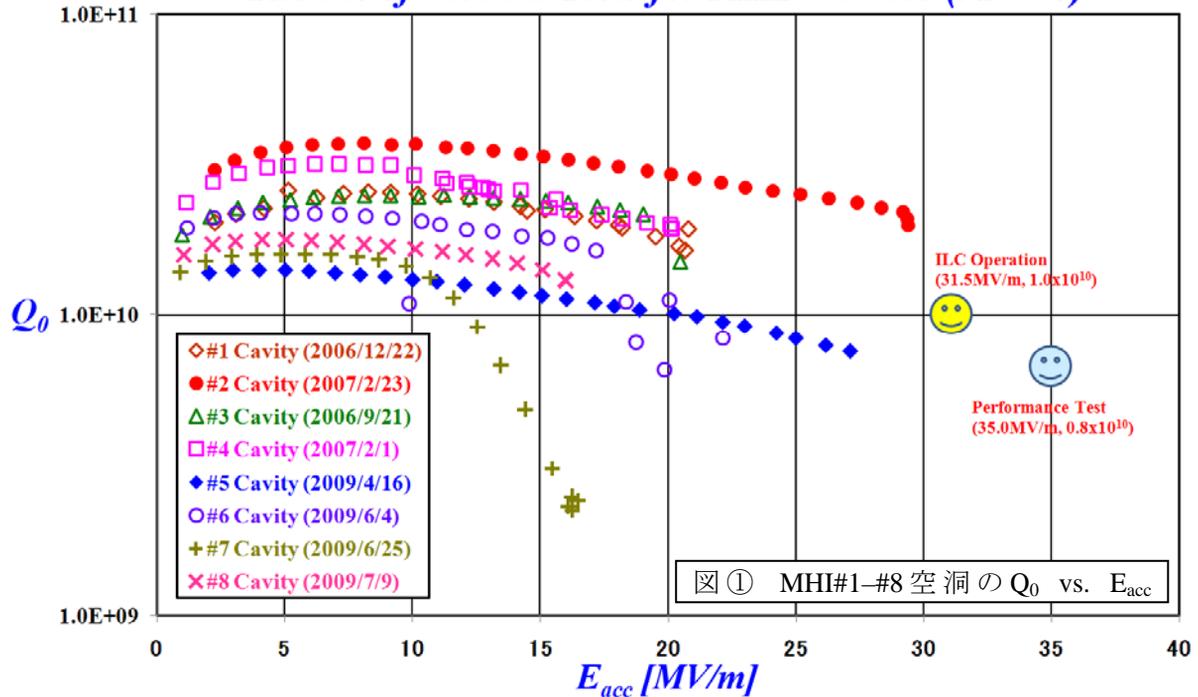
製造された空洞が納品された後、性能試験に至るまでには以下のように様々な作業工程がある。

- ① 受け入れ後の空洞内面検査
- ② 受け入れ後の空洞周波数、field flatness測定、寸法検査、全長・ダンベル長測定
- ③ Pre-EP(5 μ mの電解研磨、空洞表面の付着物による電解液の汚染防止のため)
- ④ EP1(100 μ mの電解研磨)
- ⑤ EP1後の空洞内面検査
- ⑥ EP1後の周波数とfield flatness測定
- ⑦ 厚み測定(研磨量との相関をチェックする)
- ⑧ アニール(750 $^{\circ}$ Cで3時間保持)
- ⑨ アニール後の空洞内面検査
- ⑩ Pre-tuning(空洞周波数を1297.2MHz, field flatnessを96%以上に調整)、寸法検査
- ⑪ Q_{in} , Q_{HOM} , f_{HOM} 測定@常温
- ⑫ EP2(50または20 μ mの電解研磨)
- ⑬ H₂O₂またはethanol洗浄(超音波付き)
- ⑭ 温水超音波洗浄(約1時間)
- ⑮ 高圧水洗浄(約8時間)
- ⑯ クリーンルーム内組立作業・真空排気
- ⑰ ベーキング(100 $^{\circ}$ Cで50時間保持)
- ⑱ 吊り下げ架台への設置
- ⑲ 温度マッピングシステム等の取り付け
- ⑳ 性能試験(縦測定)

この内、①、⑤、⑨の空洞内面検査にはKEKと京都大学で共同開発された高性能カメラが用いられている^[4]。③のPre-EPの目的は、空洞受け入れ時に空洞内表面が機械加工後の状態そのままであるため、

¹ E-mail: yasuchika.yamamoto@kek.jp

Results of Vertical Tests for MHI Cavities (#1 - #8)



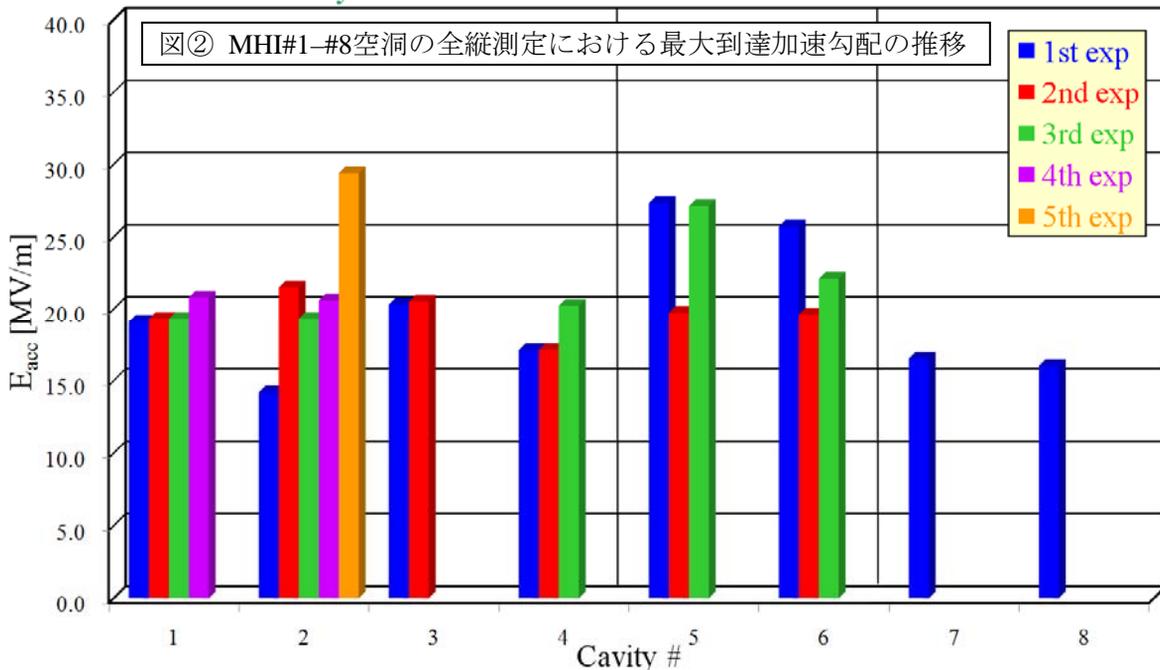
表面に付着した不純物等を取り除くことにある。⑩にあるPre-tuningは極めて重要な工程で、空洞周波数の調整もさることながら、各セル間のfieldの均一性(field flatness)をなるべく高く調整しておかないと縦測定時の到達加速勾配に対する誤差が大きくなってしまいます。⑬のある薬品を用いた洗浄工程は、まだ研究途上にありその効果は現在のところ調査中である(海外の研究所では効果があると結論しているところもある)。次節に述べるように縦測定時には単に到達加速勾配の確認だけでなく、その空洞が

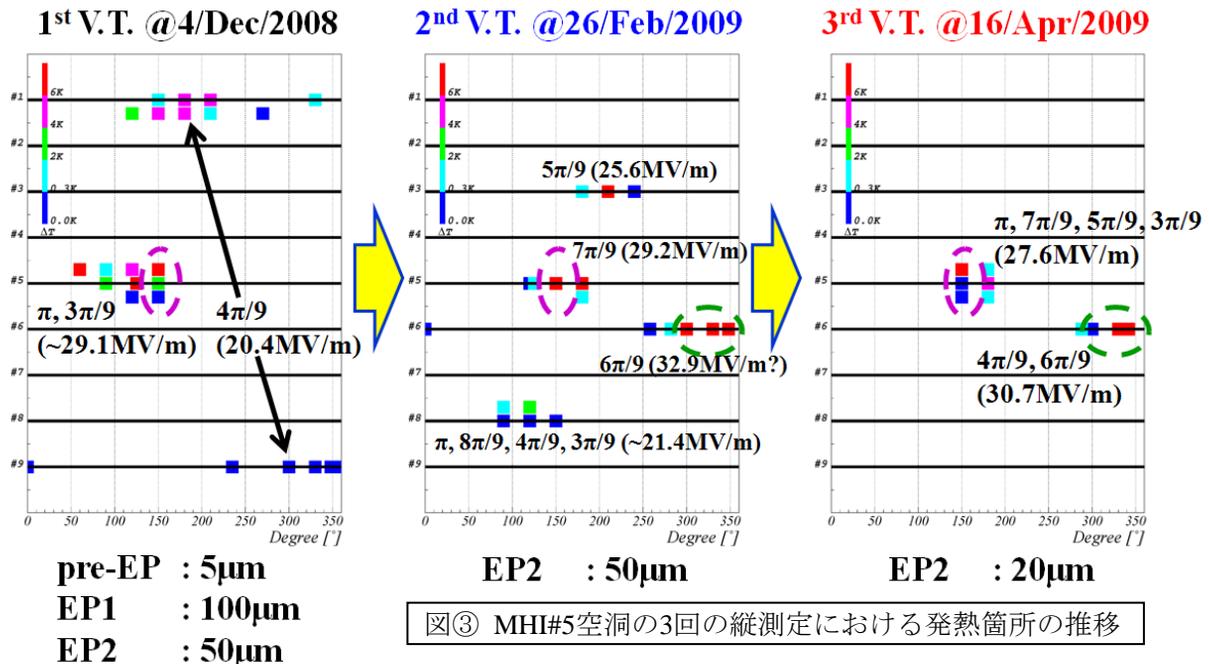
どのような理由によって到達加速勾配に制限を受けているのかを確認することが重要で、そのためにカーボン抵抗を用いた温度マッピング⑭が導入された。

3. 空洞性能試験(縦測定)

縦測定時に確認することは、空洞の最大到達加速勾配とその時の無負荷 $Q(Q_0)$ の値、セル毎の最大到達加速勾配、クエンチ時に発熱しているセルの確

Summary of Vertical Test Results for STF Baseline Cavities





認、放射線量、性能試験前後での外部Q(Q_{ext})の確認、PIN diodeによる上下軸上及びアイリス部におけるX線量、残留表面抵抗の測定、測定しているモード以外の別のモードが出ていないことの確認、等である。

3.1 空洞の性能実績

超伝導空洞の性能は通常、Q₀ vs. E_{acc} curveというグラフで評価される。図①はこれまでに測定されたMHI#1-#8までの8空洞の最終結果である。容易に分かるように未だILCのスペックに到達している空洞は無く、開発途上にあることがわかる。最初に製作されたMHI#1-#4の空洞に対しては、電子ビーム溶接の品質がまだ十分でないと思われたため(前後の処置も含む)、特殊な小石を用いたバレル研磨と呼ばれる機械研磨を行っている。MHI#5, #6空洞に対してはこのバレル研磨を行うことなく、最初の縦測定で26~27MV/mに到達したため、最初の4台に比べると改善は見られたが目標値には到達しなかった。

2009年の5月に電解研磨液を新しい液に入れ替えた後、#6-#8空洞の縦測定を3連続で行ったが、結果はかつてないほどに悪く、空洞表面処理工程に何らかの要因が絡んでいる可能性が高い。この原因追究は現在最優先で行っているところで、解決した後に空洞処理工程を再開する予定である。図②に全空洞の全縦測定における最終的な最大到達加速勾配の履歴を示す。

3.2 温度マッピングによる発熱箇所の探索

352個のカーボン抵抗を用いた温度マッピングシステムが導入され、空洞がクエンチを起こした時に発熱している場所が確実に同定できるようになった。図③に示すのはMHI#5空洞の結果で、 $\pi \sim 3\pi/9$ まで

の7つのパスバンド測定において発熱していた場所を、空洞内面を平面図に直した上でプロットしたものの(T-mapping)である。各図の下にある数値は、その縦測定までに行われた電解研磨による研磨量である。一見して分かるように、5セルの電界強度が30MV/m近くになると150°付近に毎回発熱が観測されており、これは200 μ m以上研磨した後でも依然として残ったままであることが分かる。性能試験後に全ての発熱場所を高性能カメラで調べても何のピットも見つからず、ただ溶接ビードが乱れている傾向があるという点が共通した特徴であることが分かった^[5]。したがって、MHI#5, #6空洞の電子ビーム溶接及びその前後の処置の品質がまだ不十分である可能性がある。

温度マッピングの結果とパスバンドによるセル毎の到達電界強度との相関から、空洞が表面欠陥あるいは不純物が原因によりクエンチしているのか(thermal quenching)、field emissionが原因の電子衝突による発熱でクエンチを起こしているのかを判別できる。この判別も空洞の正味の性能を知る上で重要な情報となる。

4. まとめ

MHI#1-#8までの8台の空洞の縦測定を4年に亘り行ってきたが、未だILCが要求するスペックを満たした空洞は無い。STFでは表面処理設備に代表される基盤整備も同時に行っており、表面処理工程の最適化がまだなされていない可能性も考えられる。ここ最近の3回の縦測定後に空洞内表面に現れた茶色の付着物は、電解研磨終了後から超純水洗浄に移る間に何らかの化学作用が表面で進行していることを示唆しており、表面処理作業の見直しを再検討する必要があると思われる。現在、その原因調査も併せて行われているところである。

謝辞

以下の方々に篤くお礼申し上げます。

沢辺元明氏(KEK)

仙入克也氏、原博史氏 (三菱重工業株式会社)

鈴木隆房氏 (株式会社野村鍍金)

梅澤裕明氏 (東京電解株式会社)

岡田照和氏、飯竹真之氏(株式会社ケーバック)

中村光一氏、田崎直氏、塚田文彦氏(株式会社

アシストエンジニアリング)

参考文献

- [1] STF Phase-1 Activity Report, KEK Report 2009-3, April, 2009, A.
- [2] Y. Yamamoto, et al., PAC'09, Vancouver, Canada, 2009, TU5PFP074.
- [3] Y. Yamamoto, et al., PAC'09, Vancouver, Canada, 2009, TU5PFP076.
- [4] Y. Iwashita et al., Phys. Rev. ST Accel. Beams 11, 093501 (2008).
- [5] K. Watanabe, et al., 第6回日本加速器学会, 原研, 2009, in this proceeding.