

マルイ鍍金-KEK-コーネル大学で実施した Ninja カソードを用いたニオブ単セル空洞縦型電解研磨と加速性能評価

NB SINGLE CELL CAVITY VERTICAL ELECTROPOLISHING AND EVALUATION OF ACCELERATING GRADIENT IN COLLABORATION WITH MARUI GALVANIZING-KEK-CORNELL UNIVERSITY

仁井 啓介^{#,A)}, Chouhan Vijay^{A)}, 井田 義明^{A)}, 山口 隆宣^{A)}, 早野 仁司^{B)}, 加藤 茂樹^{B)}, 佐伯 学行^{B)},
古田 史生^{C)}, Ge Mingqi^{C)}, Gruber Terri^{C)}, Kaufman John^{C)}, Liepe Matthias^{C)}, Sears James^{C)}
Keisuke Nii^{#,A)}, Vijay Chouhan^{A)}, Yoshiaki Ida^{A)}, Takanori Yamaguchi^{A)}, Hitoshi Hayano^{B)}, Shigeki Kato^{B)},
Takayuki Saeki^{B)}, Fumio Furuta^{C)}, Mingqi Ge^{C)}, Terri Gruber^{C)}, John Kaufman^{C)}, Matthias Liepe^{C)}, James Sears^{C)}

^{A)} Marui Galvanizing Co., Ltd.

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

^{C)} Cornell University

Abstract

Marui Galvanizing Co., Ltd has been developing vertical electro-polishing (VEP) technology for Nb superconducting RF cavity in collaboration with KEK. This time, we performed a joint experiment with Cornell University which has been developing VEP also. Using Cornell's VEP facility and Marui's Ninja cathode, Nb single-cell cavity VEP was performed. And after VEP, polished surface and accelerating gradient of cavity were evaluated. In consequence, the polished surface was fine and 35MV/m at Q value of 9e9@2K was achieved.

1. はじめに

マルイ鍍金工業では、来るべき International linear collider (ILC) の建設開始に向けて、KEK と共同で建設コスト低減を可能にするニオブ製超伝導加速空洞の縦型電解研磨 (VEP) 技術開発に取り組んでいる。これまでに VEP 実験設備の作製、独自構造カソード“i-cathode Ninja”(Ninja カソード)の開発、作製を行い、条件最適化のための実験を行ってきた[1-7]。

ニオブ製単セル加速空洞の VEP については、これまでに表面分析用のニオブクーポンを装着できる単セルクーポン空洞を用いて、Ninja カソードの構造改善と VEP パラメータの最適化、VEP 後の研磨状態評価を行ってきた。そしてこれらにより、VEP 後の研磨量分布や表面粗さが改善することを報告してきた[4-7]。今後空洞の生産に VEP を適用するためには、マルイ以外の他の機関での Ninja カソードを用いた VEP でも同様の結果が再現すること、空洞の加速性能が要求仕様を満たすことを確認する必要がある。

この問題を解決する為、今回マルイ鍍金-KEK-コーネル大学が共同で単セル空洞の VEP 実験を行った[8]。マルイにて準備した Ninja カソードをコーネル大学の VEP 設備にセットして VEP を行い、研磨表面や研磨量分布の確認、加速性能評価を行った。

2. Ninja カソードと VEP セットアップ

今回の実験では、2 種類の Ninja カソード(タイプ I、タイプ II)を用いて実験を行った。実験に用いた Ninja カソードの模式図を図 1 に示す。

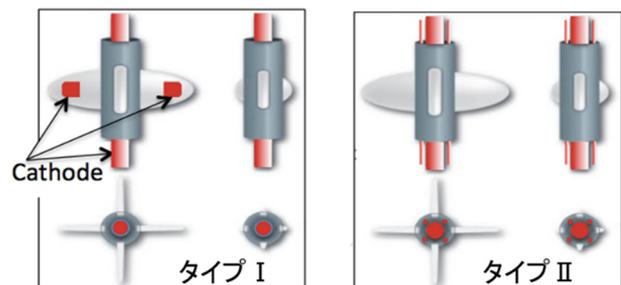


Figure 1: Schematic view of Ninja cathode. Type1: Partial metal wings, Type2: Enhanced cathode area.

タイプ I は羽根の先端に電極を配置したタイプで、タイプ II はカソードの面積を増加したタイプである。いずれの Ninja カソードにおいても、VEP 後の研磨量分布や研磨表面が良好であることを単セルクーポン空洞を用いた実験にて確認済みである[4-7]。

コーネル大学で行った VEP 実験のセットアップを図 2 に示す。Ninja カソードと空洞上下にセットする PVC 部材 (EP 液循環用ホース接続兼 Ninja カソード固定用) はマルイ鍍金より持参し、単セル空洞、EP 液循環システム、電源系、冷却系などはコーネル大学の設備を用いた。単セル空洞は今回の VEP 前にバレル研磨 30 μm、化学研磨 60 μm、アニール 800°C2h を行い内面を初期化している。実験はタイプ I で VEP (VEP1) → 研磨状態確認 → タイプ II で VEP (VEP2) → 研磨状態確認 → 空洞洗浄、ベーキング後加速性能評価という手順で行った。また、VEP1 と VEP2 では、空洞の上下を逆にして VEP を行った。

[#] keisuke_nii@e-marui.jp

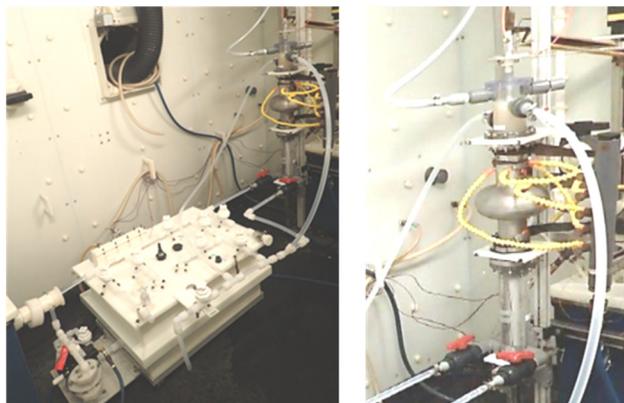


Figure 2: Photos of Cornell University's VEP system and cavity setting.

3. 単セル空洞 VEP と加速性能評価

Ninja カソードタイプ I、タイプ II を用いた VEP の各条件を表 1 に、各 VEP 中の電流、電圧のログデータ(赤線:電流、青線:電圧)を図 3 に示す。

Table 1: Conditions of This VEP

パラメータ	VEP1	VEP2
Ninja カソード	タイプ I	タイプ II
電圧	14 V	14 V
電流	~22 A	~29 A
空洞温度	20~25 °C	20~25 °C
EP 液流量	~5 L/min	~5 L/min
カソード回転数	50 rpm	50 rpm
EP 時間	~2 時間	~1.5 時間

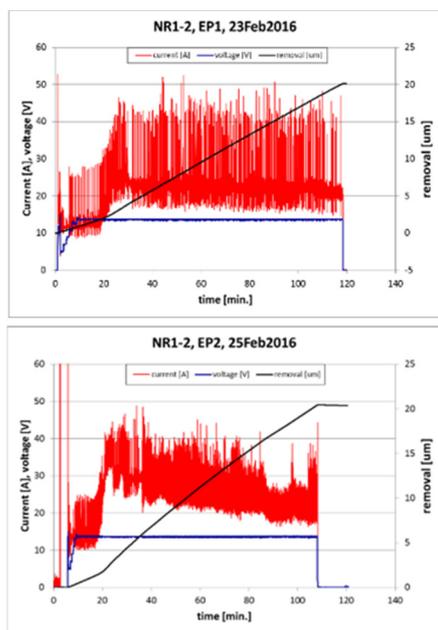


Figure 3: Logged data of current and voltage during VEP (Upper: VEP1, Lower: VEP2).

VEP 条件は、これまでのマルイ鍍金での単セルクーポン空洞 VEP 実験等で良好な結果が得られたものに近くなるように設定した[4-7]。電流値はおよそ 20~30A で、マルイ鍍金で実施した単セル空洞 VEP とほぼ同程度であった[4-7]。またニオブの EP に特有の電流のオシレーションも見られている。過去にコーネル大学のカソードを用いて行われた VEP と同じような傾向が見られていた[8]。

各 VEP 後の空洞内面のデジタルカメラでの観察結果を図 4 に、内面観察用カメラでの観察結果を図 5 に示す。

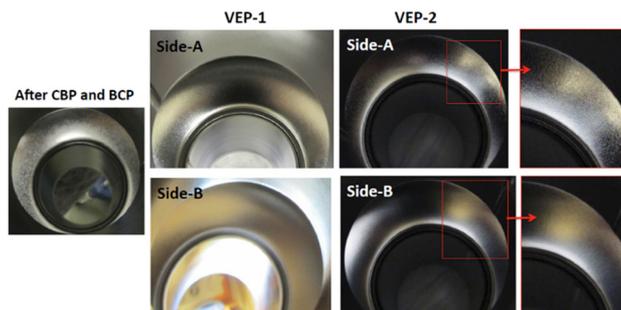


Figure 4: Photos of inner surface after VEP (with a digital camera).

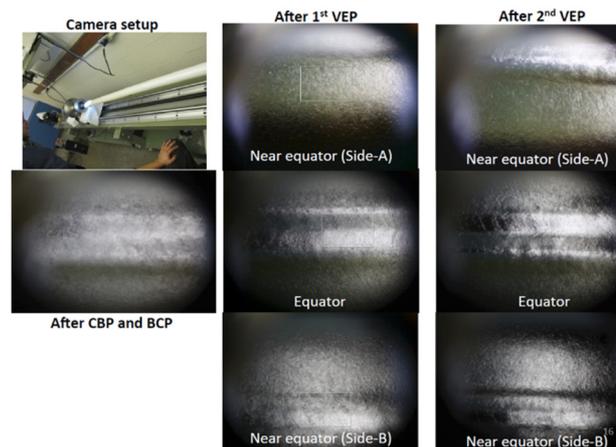


Figure 5: Photos of inner surface after VEP (with an internal inspection camera).

VEP1 後、VEP2 後ともにややざらつきが見られるものの光沢は向上しており、良好な表面になっているといえる。特に気になるような欠陥等も見られず、問題はないものと思われる。

各 VEP 後の研磨量分布を超音波厚さ計により計測した結果を図 6 に示す。

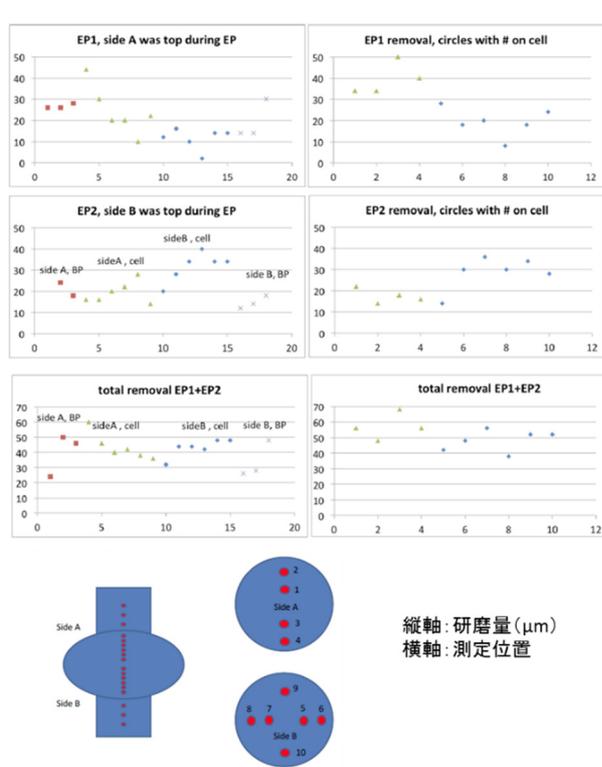


Figure 6: Removal thickness distribution after VEP.

VEP1、VEP2 とも上側にした方が研磨量が多くなるという結果となった。ただ VEP1 と VEP2 で空洞の上下を入れ替えたため、2 回のトータルとしてはほぼ対称的な研磨量となった。トータルの平均研磨量は $40\sim 50\ \mu\text{m}$ 程度であった。

この空洞の VEP 後の加速性能を評価するためにコーネル大学にて縦測定を行った結果を図 7 に示す。尚、縦測定の前に HPR と $120^\circ\text{C}48\text{h}$ のベーキングを行った。

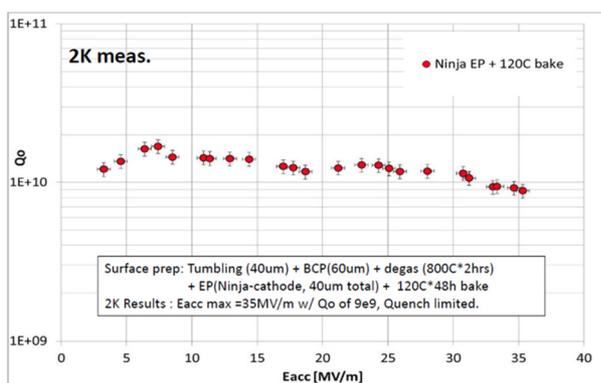


Figure 7: Vertical test result after this VEP.

加速勾配 35MV/m 、空洞 Q 値 $9\text{E}9@2\text{K}$ と良好な特性が得られた。途中での Q スロープ等は見られなかった。これは単セル空洞ではあるが、ILC の要求性能に近い値であり、Ninja カソードを用いた VEP においても ILC 要求性能を満たす空洞処理が可能であることが示されている。

今後は、ILC 用の 9 セル空洞においても Ninja カソ-

ードを用いた VEP の実施と加速性能評価を進める予定である。

4. まとめ

今回、マルイ鍍金-KEK-コーネル大学が共同で単セル空洞の VEP 実験と加速性能評価を行った。マルイにて準備した Ninja カソードをコーネル大学の VEP 設備にセットして VEP を行い、研磨表面や研磨量分布の確認と縦測定を行った。VEP 条件はこれまでのマルイ鍍金での最適条件を用いた。VEP 電流はこれまでの Ninja カソードを用いた VEP と同様の結果が得られた。研磨後の空洞内面は光沢があり、欠陥等は見られず特に問題はなかった。研磨量分布は上側が大きくなったものの、2 回の VEP 合計では概ね対称的な分布となった。縦測定を実施した結果、加速勾配 35MV/m 、空洞 Q 値 $9\text{E}9@2\text{K}$ と良好な特性が得られた。

今後は、9 セル空洞についても Ninja カソードを用いた VEP と加速性能評価を進めていく予定である。

参考文献

- [1] 仁井啓介他, 第 12 回日本加速器学会年会、敦賀市 2015 WEP048.
- [2] 仁井啓介他, 第 12 回日本加速器学会年会、敦賀市 2015 WEP049.
- [3] 仁井啓介他, 第 13 回日本加速器学会年会、千葉市 2016 TUP026.
- [4] 仁井啓介他, 第 13 回日本加速器学会年会、千葉市 2016 TUP027.
- [5] V.Chouhan *et al.*, SRF2015, Whistler, Canada 2015, THBA02.
- [6] V.Chouhan *et al.*, SRF2015, Whistler, Canada 2015, MOPB105.
- [7] V.Chouhan *et al.*, LINAC16, East Lansing, MI USA 2016, MOPLR037.
- [8] F.Furuta *et al.*, IPAC16, Busan, Korea 2016, WEPMR016.