

ニオブ製 1 セル加速空洞縦型電解研磨用「ニンジャ」カソードの改善と研磨均一性の向上

IMPROVEMENT OF “NINJA” CATHODE FOR 1-CELL CAVITY VERTICAL ELECTRO-POLISHING AND PROGRESS OF POLISHING UNIFORMITY

仁井 啓介^{#,A)}, Chouhan Vijay^{A)}, 井田 義明^{A)}, 石見 清隆^{B)}, 山口 隆宣^{A)}, 早野 仁司^{C)}, 加藤 茂樹^{C)}
文珠四郎 秀昭^{C)}, 佐伯 学行^{C)} 沢辺 元明^{C)}

Keisuke Nii^{#,A)}, Vijay Chouhan^{A)}, Yoshiaki Ida^{A)}, Kiyotaka Ishimi^{B)}, Takanori Yamaguchi^{A)}, Hitoshi Hayano^{C)},
Shigeki Kato^{C)}, Hideaki Monjushiro^{C)}, Takayuki Saeki^{C)}, Motoaki Sawabe^{C)}

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

^{B)} Marui Galvanizing Co., Ltd. Kashiwa factory

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

Abstract

Marui Galvanizing Co., Ltd. has been developing Nb superconducting RF cavity vertical electro-polishing (VEP) technologies in collaboration with KEK. So far, we had been developing our original VEP cathode “i-cathode Ninja” (Ninja) and performing VEP experiment using this cathode and 1-cell Nb cavity. In previous experiment, we tested Ninja cathode with insulating wings and with metal wings for VEP. However both flat shiny inner surface and high uniformity of removal thickness could not be realized simultaneously. To solve this problem, we prepared partial metal wings which were combined insulating part and metal part for new type Ninja cathode, and performed VEP experiment using this. As a result, both flat shiny surface and high uniformity of removal thickness are realized simultaneously.

1. はじめに

マルイ鍍金工業では、KEK と共同で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)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]-[8]}。

ニオブ製 1 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 1 セルクーポン空洞を用いて、金属製羽根を持つ Ninja カソードと、絶縁物製羽根を持つ Ninja カソードにて実験を行い、研磨量と研磨表面状態の均一性を評価した。結果、金属製羽根 Ninja では、研磨表面状態やその均一性は良好であったが、研磨量は上アイリス部が突出して大きくなり、均一性はよくなかった。これは、金属製羽根により極間距離が均一になり、赤道部まで均一に電解研磨 (EP) がかかるが、羽根より気泡が発生し、これが上アイリス部にあたって研磨を促進し、研磨量均一性を悪化させるためだと思われる^[3]。一方、絶縁物製羽根 Ninja では研磨量均一性は良好であったが、赤道付近の表面が荒れる為研磨表面状態の均一性はよくなかった。これは、気泡が特定部位にあたることなく、攪拌効果により研磨量均一性は向上するが、赤道部分の極間距離が大きくなって良好な EP がかかりにくくなるため、表面が荒れたものと思われる^[3]。このように、金属製羽根 Ninja カソード、絶縁物製羽根 Ninja カソードは、研磨量均一性と研磨表面状態均一性が両立しないという問題があった。

この問題を解決する為、今回絶縁物と金属を最適形状にて組み合わせた部分金属羽根を持つ Ninja カソ

ードを作製した。また、これを用いて 1 セルクーポン空洞 VEP 実験を行い、研磨量と研磨内面の均一性を評価したので報告する。

2. 新型 Ninja カソードの開発

今回研磨量均一性と研磨表面状態均一性の両立のために新たに作製した新型 Ninja カソードの模式図を図 1 に示す。



Figure 1: Schematic view of new Ninja cathode with partial metal wings.

絶縁物で作製した羽根の先端に金属 (Al) の小部材を固定し、中央の Al 棒電極と接続する構造とした (部分金属羽根 Ninja)。これにより、

- 金属羽根に比べて金属の面積が小さくなるため、気泡の発生量が少なくなり、気泡が原因の研磨量不均一が改善される。

- 赤道部分のすぐ近くにまで電極が配置されるため、赤道部にも良好な EP がかかりやすくなる。

の 2 点の改善が期待できる^{[5][6]}。

この新型 Ninja カソードを用いて 1 セルクーポン空洞

[#] keisuke_nii@e-marui.jp

の VEP 実験を行い、クーポン IV 特性、研磨量均一性、研磨表面状態均一性を確認した。

3. 新型 Ninja カソードを用いた 1 セルクーポン空洞 VEP 実験

3.1 IV 特性確認と VEP 実施

新型 Ninja カソードの効果を確認するため、1 セルクーポン空洞を用いた VEP 実験を行った。実験に用いた VEP 設備とクーポン空洞の写真を図 2 に示す。また、各 VEP 条件を表 1 に示す。



Figure 2: Photo of VEP setup(left) and coupon cavity(right).

パラメータ	条件
EP 液 (H ₂ SO ₄ :HF)	9:1
EP 液流動方向	下→上
EP 液流量	~5 L/min
カソード回転数	50 rpm
カソード	Ninja (絶縁物+部分金属羽根)
電圧	13~15 V
電流密度 (狙い)	~30 mA/cm ²
EP 時間	2 時間
冷却方式	空洞空冷+EP 液冷却
空洞温度	~28°C

今回、各部分における EP のかかり具合を評価する為、VEP 実験前に各クーポンの IV 特性評価を行った。一般にニオブの EP を行う場合の IV 特性は、電圧が 0V から上昇すると電流密度も急激に上昇する(エッチング領域)が、ある電圧から電流密度は低下(粘性層形成領域)、一定値となる(研磨領域)。さらに電圧を上げると再び電流密度が上昇する(ガス発生領域)。この IV 特性の模式図を図 3 に示す。

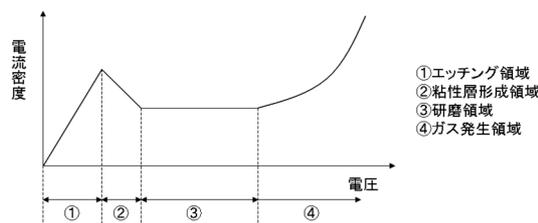


Figure 3: Schematic view of IV curve of Nb EP.

良好な EP を行うためには、研磨領域の電圧が適していると言われていた。

この各クーポン(上ビームパイプ、上アイリス、赤道 2ヶ所、下アイリス、下ビームパイプ)の IV 特性を部分金属羽根 Ninja と絶縁物羽根 Ninja で測定、比較した結果を図 4 に示す。尚、EP 液やカソード回転数、冷却方式などの実験条件は表 1 記載の通りである。

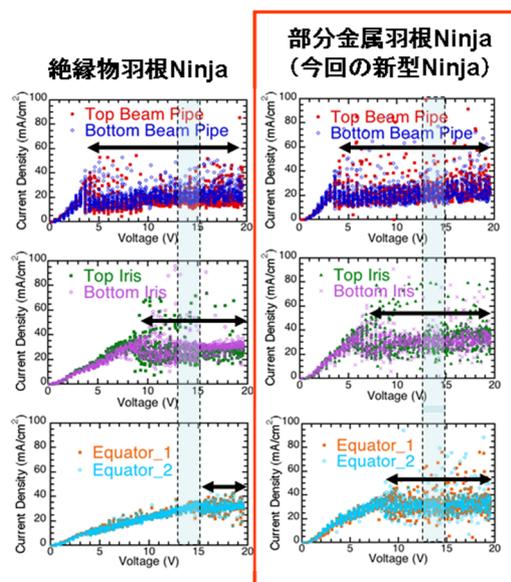


Figure 4: IV curves of each coupons.

図 4 より、各クーポンでのエッチング領域~研磨領域が確認できる(両矢印の部分が研磨領域)。羽根による差は特に赤道部分の IV 特性に表れており、部分金属羽根では 10V くらいから研磨領域が表れているのに対し、絶縁物羽根では 15V くらいまで研磨領域が表れていない。これより、通常のニオブ EP 電圧である 13~15V 付近では、絶縁物羽根 Ninja ではエッチング領域になるため良好な EP ができないが、部分金属羽根では研磨領域になるため、良好な EP が実施できることが期待される。

IV 特性確認の後、部分金属羽根 Ninja を用いて 2 時間の VEP を行った。VEP 中の電流密度、電圧、空洞表面温度のログデータを図 5 に示す。

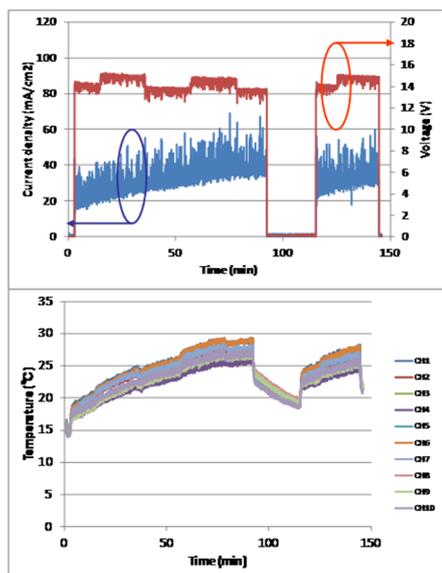


Figure 5: Logged data of Current density and Voltage (upper) and temperature (lower) during VEP.

空洞温度が 30°C 付近まで上昇したため、冷却中断を入れたものの、それ以外では電流密度、電圧ともほぼ狙い通りの VEP が出来ていた。

VEP 終了後、空洞各部分の研磨量を評価した。結果を図 6 に示す。

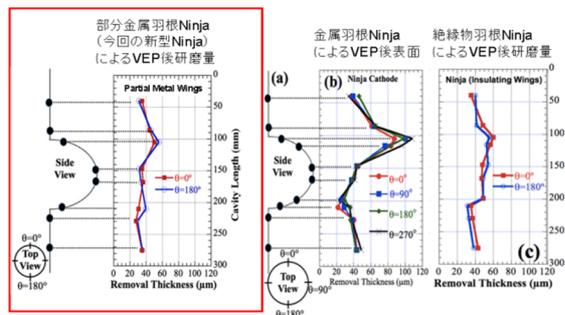


Figure 6: Removal thickness distribution after VEP.

部分金属羽根 Ninja を用いた VEP では、上アイリスの研磨量がやや大きいものの、金属羽根 Ninja に比べて研磨量均一性は大きく改善されており、絶縁物羽根 Ninja の時と同様の良好な研磨量均一性が実現していた。

また、VEP 後の各クーポンの表面観察と表面粗さ測定を行った。結果をそれぞれ図 7、図 8 に示す。

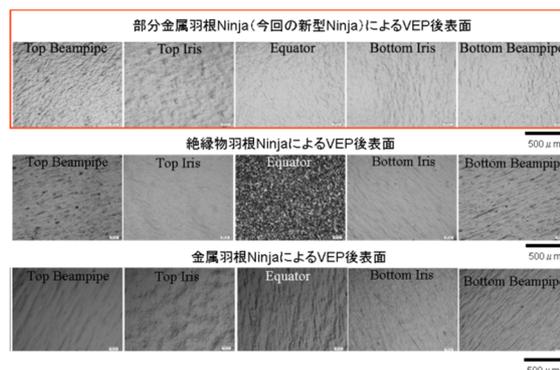


Figure 7: Optical microscope images of each coupons.

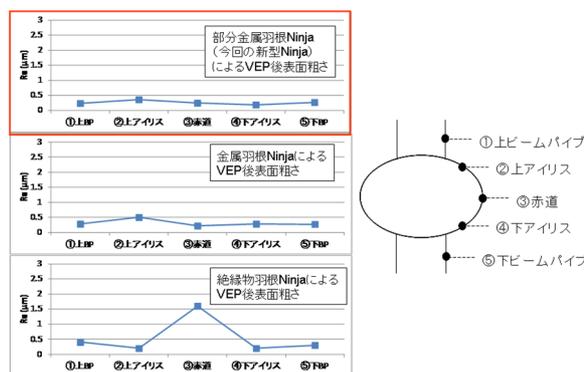


Figure 8: Surface roughness (Ra) of each coupons.

部分金属羽根 Ninja を使用することで、赤道付近の表面状態が改善されており、金属羽根 Ninja と同様のきれいな電解研磨が掛かっている事が解る。これより研磨表面状態の均一性向上が確認できた。ただ、上アイリス部分には泡の跡の様なものが見られる。これは部分金属部からでた少量の気泡が影響していると思われる。

3.2 今後の課題

今回の部分金属羽根を持つ Ninja カソードを用いた VEP によって研磨量、研磨表面の均一性は向上したが、今後はこの Ninja カソードを用いて VEP を実施した 1 セル空洞の加速性能評価が必要である。また、金属部分から出る気泡対策として、Ninja カソードのさらなる構造改善が必要である。今後ともこれらの課題解決に取り組んでいく予定である。

4. まとめ

今回、研磨量と研磨表面の均一性改善の両立を目指して、部分金属羽根 Ninja を作製、VEP 実験を行った。IV 特性を確認した結果、絶縁物羽根 Ninja に比べて赤道部分に良好な電解研磨がかかりやすいことが確認できた。VEP 実施後研磨量分布を確認した結果、金属羽根 Ninja に比べて均一性が大きく改善している事が解った。また、研磨表面観察と表面粗さ評価を行った結果、絶縁物羽根 Ninja に比べて赤道部分の状態、表面粗さが改善され、均一性が向上していることがわかった。これ

PASJ2016 TUP027

により、部分金属羽根 Ninja を用いた 1 セル空洞 VEP で良好な研磨量均一性と良好な研磨表面均一性の両立ができていたことがわかった。

今後は、改良された Ninja カソードを用いた VEP を行った空洞について加速性能の評価を行っていく。また、表面状態改善や水素病対策のため、Ninja 構造改善によるさらなる気泡対策を行っていく予定である。

参考文献

- [1] K. Nii *et al.*, LINAC14, Geneva, Switzerland 2014 MOPP108.
- [2] V. Chouhan *et al.*, LINAC14, Geneva, Switzerland 2014 THPP098.
- [3] 仁井啓介他 第 12 回日本加速器学会年会、敦賀市 2015 WEP048.
- [4] 仁井啓介他 第 12 回日本加速器学会年会、敦賀市 2015 WEP049.
- [5] V. Chouhan *et al.*, SRF2015, Whistler, Canada 2015 THBA02.
- [6] V. Chouhan *et al.*, SRF2015, Whistler, Canada 2015 MOPB105.
- [7] K. Nii *et al.*, SRF2015, Whistler, Canada 2015 MOPB098.
- [8] 仁井啓介他 第 13 回日本加速器学会年会、千葉市 2016 TUP026.