

KEK の縦型電解研磨装置向けカソード、空洞水冷機構の作製

FABRICATION OF A CATHODE AND A CAVITY WATER COOLING SYSTEM FOR KEK VERTICAL ELECTRO-POLISHING EQUIPMENT

仁井 啓介^{#,A)}, 井田 義明^{A)}, 上田 英貴^{A)}, 朱 龍^{A)}, 中根 圭造^{A)}, 赤堀 卓央^{B)}, 佐々木 明日香^{B)},
東山 正人^{B)}, 三澤 宏太^{B)}, 水戸谷 剛^{B)}, 吉本 恵一^{B)}, 姉帯 康則^{C)}, 菊池 真哉^{C)}, 高橋 福巳^{C)},
梅森 健成^{D)}, 後藤 剛喜^{D)}, 早野 仁司^{D)}

Keisuke Nii^{#,A)}, Yoshiaki Ida^{A)}, Hideki Ueda^{A)}, Long Zhu^{A)}, Keizo Nakane^{A)}, Takao Akabori^{B)}, Asuka Sasaki^{B)},
Masato Higashiyama^{B)}, Kota Misawa^{B)}, Goh Mitoya^{B)}, Keiich Yoshimoto^{B)}, Yasunori Anetai^{C)}, Shinya Kikuchi^{C)},
Fukumi Takahashi^{C)}, Kensei Umemori^{D)}, Takeyoshi Goto^{D)}, Hitoshi Hayano^{D)}

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

^{B)} Higashi-Nihon Kidenkaiatsu Co., Ltd.

^{C)} Wing Co., Ltd.

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

Abstract

In KEK-COI building, a vertical electro-polishing (VEP) equipment for a Niobium 9-cell cavity was installed and launching for implementation is in progress. This time, Iwate collaboration companies (Marui Galvanizing Co., Ltd., Higashinihon-Kidenkaiatsu Co., Ltd., Wing Co., Ltd.) and KEK jointly designed and manufactured a set of Ninja cathode and cavity water cooling systems (cooling water circulation system, EP bed cover etc.). In this article, we will report on these specifications, installation status, operation check results, etc. Moreover we are also proceeding with modifications and adjustments for implementation of EP acid 2-flow VEP system. We will also report on these progresses.

1. はじめに

ニオブ製超伝導加速空洞においては加速性能向上のため、内面の最終仕上げとして電解研磨 (EP) が用いられている[1]。そして表面状態向上やコストダウンのため様々な電解研磨技術開発が行われている。その中の一つに空洞を縦向きに配置して電解研磨を行う縦型電解研磨 (VEP) がある。ニオブ 9 セル空洞の VEP は、従来の横型電解研磨 (HEP) に比べてコストダウンが期待できる一方、研磨後の空洞性能に問題があったが、空洞表面温度を 10~15°C 程度に保ち[2]、ニンジャカソードと 2 フローシステムを用いる[3]ことにより HEP に匹敵する空洞性能が出せるようになった。

KEK では超伝導加速器利用促進化推進棟 (COI 棟) に VEP 装置が導入され、現在 9 セル空洞 VEP の実施に向けて立上げが進められている。今回、COI-VEP 装置にて良好な空洞電解研磨を実現するため、岩手コラボの三社 (マルイ鍍金工業株式会社、東日本機電開発株式会社、株式会社 WING) と KEK が共同で、VEP 装置用空洞水冷機構、ニンジャカソード+2 フローシステムを作製した。

2. 空洞水冷機構の基本仕様

COI 棟の VEP 装置を Fig.1 に、今回作製した空洞水冷機構全体のフロー図を Fig. 2 に示す。基本的な考え方は STF-HEP 設備用空洞水冷機構と同様になっている

[4]。VEP 設備全体は 2 階建て構造となっており、2 階部に空洞を設置する EP ベッド、1 階部に電解液タンクやポンプ、廃液のためのクッション槽などが配置されている。

空洞水冷機構では、冷却水タンクとポンプ、制御盤をタンクユニットとして 1 階部に設置し、ポンプにてタンク内の冷却水を 2 階部の空洞部分まで送る。空洞部では飛散防止カバー内に設置されたマニホールドとロックラインによって冷却水がかけられる。空洞にかけられた冷却水は EP ベッドの空洞下部に設置されたドレインパンで回収し、再び 1 階部の冷却水タンクへと自然落下にて戻される。タンクへの戻り配管部に導電率計と電動三方バルブが設置されており、冷却水が基準の電気伝導度を満たさない状態となった場合はバルブをクッションタンク側へ切り替えて冷却水を廃棄する。



Figure 1: The VEP equipment in COI building.

[#] keisuke_nii@e-marui.jp

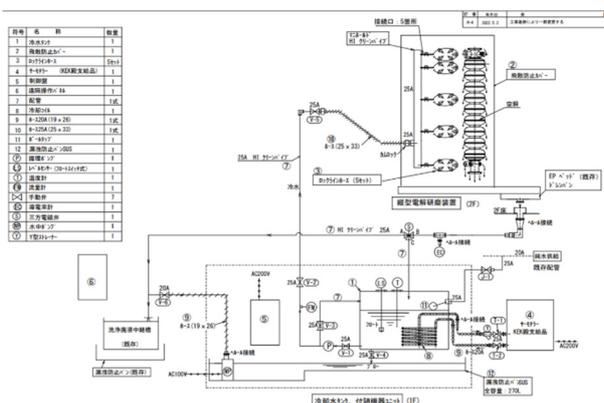


Figure 2: A flow diagram of the water cooling system.

空洞の水冷には冷却水として純水が使用される。前述の電気伝導度計の他、タンク内に液面計と温度計、流路に流量計が設置され、それぞれ冷却水の量、温度、流量の確認ができる。

この水冷機構は制御ソフトウェアがインストールされたタブレットにて遠隔での操作や各種パラメータの確認ができるようにする。

3. 空洞水冷機構の作製、設置と動作確認

3.1 タンクユニット、チラー、循環ライン

実際に設置されたタンクユニット、チラーを Fig. 3 に示す。タンクはステンレス製で内部にはステンレス製の熱交換器が設置されている。チラーで冷却された水が熱交換器内部を循環することにより冷却水との熱交換、冷却を行っている。タンク内にはフロートスイッチを設置し、タンク内の冷却水量が低下した場合は自動的に純水が供給される。



Figure 3: The tank unit and the chiller.

タンク内で所定の温度に調整された冷却水は、制御盤裏に設置されたポンプにて空洞まで送られ空洞にかけられる。空洞にかけられた冷却水は空洞の下部に設置されたドレインパンにて回収され、ドレインパンと床の穴、回収配管を通してタンクへ戻される。ドレインパンと回収配管を Fig. 4 に示す。

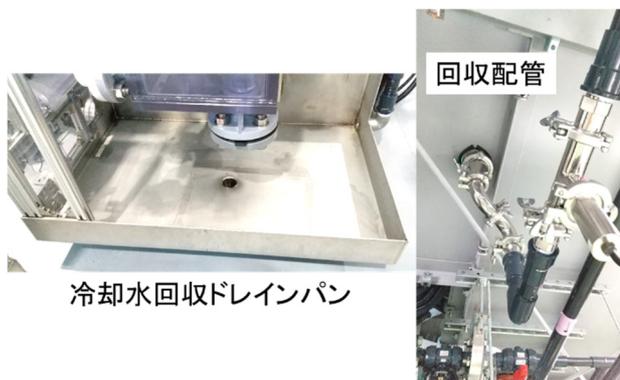


Figure 4: The drain pan and the pipe for cooling water recovery.

回収された冷却水は導電率計、電動三方バルブを経由してタンクへと戻る。導電率計にて冷却水の導電率を常時監視しており、酸や汚れの混入で導電率が基準値を満たさなくなった場合は、プログラムにて自動的に三方弁の行き先をクッションタンクに切替えて冷却水を廃棄できるようになっている。電動三方バルブ、導電率計を Fig.5 に示す。



Figure 5: The electric 3-way valve and the conductivity meter.

3.2 飛散防止カバー、マニホールド

空洞部分には冷却水をかけているときの周辺への水の飛び散りを防止するために飛散防止カバーが設置される。飛散防止カバーは、設置スペースや取り付け手順等の関係上、固定側カバーと可動側カバーに分けられている。固定側は空洞背面のパンに固定され、可動側のみ作業に応じて空洞部分に取り付け、取り外しを行う。可動側にはマニホールドとロックラインが設置されており、タンクユニットから来た冷却水がマニホールド-ロックラインを通して空洞へかけられる。飛散防止カバーを空洞部にセットした状態と可動側カバーを Fig.6 に示す。

ロックラインは空洞の上下ビームパイプにあたる部分、上から1番目、4番目、7番目のセルにあたる部分に取り付けられている。各ロックラインにはコックが取り付けられ水量の調整ができる。縦型では上側に比べて下側が水の流量が多くなる傾向があるので、コックで流量を調整し全体を均一にする必要がある。



Figure 6: The cavity cover for prevention of water splattering.

3.3 水冷機構の操作、制御

水冷機構操作用タブレットの操作パネルの表示を Fig. 7 に示す。このタブレットにより、2 階からも 1 階のタンクユニットの操作が可能となる。

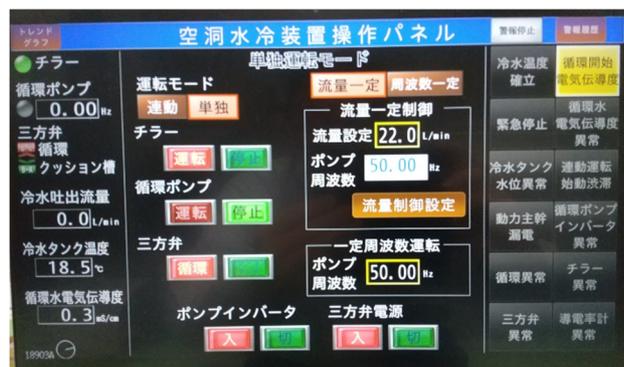


Figure 7: A photo of the system control panel.

運転モードは「単独」と「連動」があり、単独モードでは、チラーとポンプの ON/OFF、三方弁の流路の切り替えが操作できる(チラーの温度設定はこのパネルでは操作できず、チラー本体で設定する必要がある)。連動モードでは、あらかじめ設定される手順に従って各機器が動作し、所定の冷却水循環状態にすることができる。冷却水の流量はポンプの周波数と流量設定で制御できるようになっており、フィードバックがかかってこれらを一定に保っている。パラメータはポンプ周波数、冷却水の流量、温度、電気伝導度が表示され確認できる。また、これらのトレンドグラフを取得することもできる。さらに各機器やパラメー

タに異常が発生した場合は警報発報が発報し、ブザーが鳴るように調整されている。

3.4 冷却水循環テスト

全ての機器の設置を完了した後、ニオブ9セル空洞をセットして冷却水循環テストを行った。冷却水を空洞にかけている様子を Fig. 8 に示す。各ロックラインから空洞に冷却水がかけられ空洞全体が濡れた状態となっていた。循環する冷却水の吐出流量は 22 L/min としたが、特に冷却水の過不足の問題は起こらなかった。ただし、冷却水回収ドレインパンが小さいため、吐出流量が大きくなりすぎると回収が追い付かずあふれてしまうので注意が必要である。冷却水の飛散はほとんど見られなかったが、一部配管や配線を伝って外側へ漏れることがあり対策を検討している。また今後、各ロックラインからの冷却水流量を調整して空洞の温度分布を確認する必要がある。



Figure 8: Cooling water shower to a 9cell cavity.

4. ニンジャカソード+2 フローの作製

ニオブ9セル空洞の VEP においては、ニンジャカソード+2 フローシステムを用いることにより研磨後表面状態の均一性、空洞性能が改善し、HEP 後空洞と同程度になることがわかっている。ニンジャカソードと 2 フローシステムの模式図を Fig. 9 に示す。

ニンジャカソードは、中心のアルミパイプの周りにカバーを設け、各セルに対応する部分に羽根状の部材を設けた電極である。カバーはアルミパイプから電解研磨中に発生する気泡の拡散を低減し、羽根状部材はカソードを回転させることで空洞内部の電解液を攪拌する役割を持つ。羽根状部材はカソード挿入時には閉じた状態となり、カソード挿入後に開くことができる構造となっている。また、電極の面積を増加させるほど研磨状態が良くなるため、カバー内に複数のアルミ補助電極を挿入している。

2 フローシステムはニンジャカソードのカバー内とカバー外(空洞内部)で電解液流動の流路を分け、流量に

差をつける方法である。電解研磨中に発生した気泡を早く空洞外へ排出するためには流量を多くすることが有効であるが、空洞内の流量を多くすると電解研磨後に液の流れたような流動跡が見られやすくなる。この課題を解決するため、流路を分けて気泡が発生しやすい電極カバー内部では流量を多く、流動跡がつきやすい空洞内部は流量を少なくする。これにより、気泡を早く空洞外へ排出しながら空洞内に流動跡がつかない状態となる。

ニンジャカソード+2 フローシステムで VEP を行うためには、空洞上下に専用のヘッダーを取り付ける必要がある。COI 棟の VEP 装置専用の上下ヘッダーとニンジャカソードを作製し、これらの装着、カソード挿入テストを行った。これらを Fig. 10 に示す。

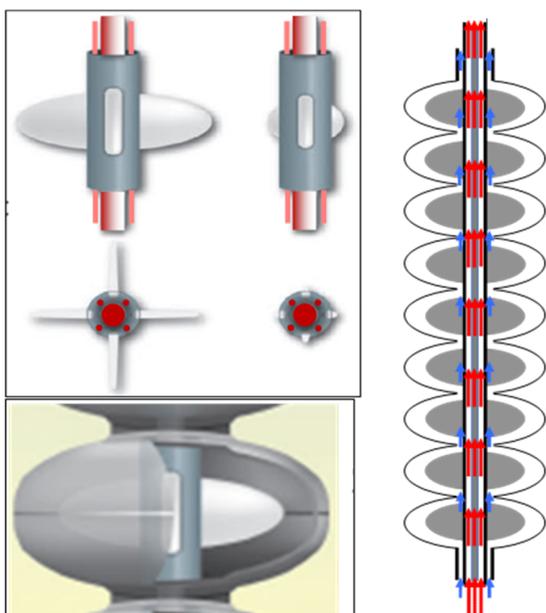


Figure 9: Schematics of a Ninja cathode and a 2-flow system.

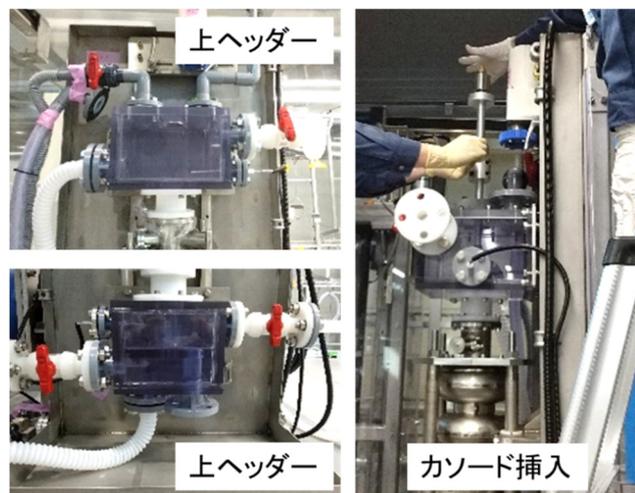


Figure 10: The upper and lower header and cathode insertion.

挿入テストの結果、一部はめあい固い部分等があったため各部品の調整を行っている。今後、VEP の実施に向けてニンジャカソードの羽根位置の調整、ニンジャカソードの回転テスト、2 フローシステムの配管整備と流動テストなどを進めていく予定である。

5. まとめ

KEK-COI 棟では、ニオブ 9 セル空洞 VEP 装置が導入され立上げが進められている。VEP においては、空洞温度 10~15 °C でニンジャカソード+2 フローシステムを用いた EP が空洞性能向上のために有効であることがわかっている。COI 棟の VEP 装置でもこれらを導入するため、岩手コラボの 3 社と KEK が共同で空洞水冷機構とニンジャカソード+2 フローシステムの作製を行った。

水冷機構においては、基本仕様は STF 棟の HEP 設備と同様であり、タンクユニット、循環配管、飛散防止カバー、遠隔制御システムなどを作製した。空洞水冷テストを実施した結果、冷却水循環については大きな問題は見られなかった。今後空洞の温度分布測定や冷却水流動の最適化が必要である。

さらに、COI 棟の VEP 装置専用のニンジャカソードと 2 フローシステム用の上下ヘッダーを作製し、空洞への装着、カソード挿入テストを行った。カソードはスムーズな挿入ができるように各部分の調整を実施中である。今後、VEP 実施に向けて羽根位置の調整、カソード回転テスト、2 フローシステムの配管整備と流動テストなどを進めていく予定である。

参考文献

- [1] “The International Linear Collider Technical Design Report” Volume 3, Part 2, P.31-34.
- [2] F.Furuta *et al.*, “Fermilab EP Facility Improvements” SRF2019, Dresden, Germany, 2019, TUP022.
- [3] V.Chouhan *et al.*, “Vertical electropolishing for 1.3 GHz single- and nine- cell superconducting niobium cavities: A parametric optimization and rf performance” PHYSICAL REVIEW ACCELERATORS AND BEAMS 22, 103101, 2019.
- [4] K.Nii *et al.*, “Manufacture of niobium cavity water cooling systems for the horizontal electropolishing machine in KEK ” 第 18 回日本加速器学会年会、オンライン、2021, THP035, P. 905-908.