

## KEK のニオブ空洞横型電解研磨装置向け空洞水冷機構の作製

### MANUFACTURE OF NIOBIUM CAVITY WATER COOLING SYSTEMS FOR THE HORIZONTAL ELECTROPOLISHING MACHINE IN KEK

仁井 啓介<sup>#, A)</sup>, 井田 義明<sup>A)</sup>, 上田 英貴<sup>A)</sup>, 早狩 大樹<sup>A)</sup>, 遠瀬 惇<sup>A)</sup>, 三澤 宏太<sup>B)</sup>, 水戸谷 剛<sup>B)</sup>,  
村松 吉直<sup>B)</sup>, 佐々木 明日香<sup>B)</sup>, 姉帯 康則<sup>C)</sup>, 佐藤 拓也<sup>C)</sup>, 高橋 福巳<sup>C)</sup>, 梅森 健成<sup>D)</sup>, 後藤 剛喜<sup>D)</sup>,  
宍戸 寿郎<sup>D)</sup>, 早野 仁司<sup>D)</sup>

Keisuke Nii <sup>#, A)</sup>, Yoshiaki Ida <sup>A)</sup>, Hideki Ueda <sup>A)</sup>, Daiki Hayakari <sup>A)</sup>, Atsushi Tose <sup>A)</sup>, Kota Misawa <sup>B)</sup>, Goh Mitoya <sup>B)</sup>,  
Yoshinao Muramatsu <sup>B)</sup>, Asuka Sasaki <sup>B)</sup>, Yasunori Anetai <sup>C)</sup>, Takuya Sato <sup>C)</sup>, Fukumi Takahashi <sup>C)</sup>, Kensei Umemori <sup>D)</sup>,  
Takeyoshi Goto <sup>D)</sup>, Toshio Shishido <sup>D)</sup>, Hitoshi Hayano <sup>D)</sup>

<sup>A)</sup> Marui Galvanizing Co., Ltd.

<sup>B)</sup> Higashi-Nihon Kidenkaiatsu Co., Ltd.

<sup>C)</sup> Wing Co., Ltd.

<sup>D)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

#### Abstract

It has been reported that in the electropolishing of niobium cavities, the finish of the polished surface is greatly improved by carrying out the electropolishing at a low cavity surface and electrolyte temperature of about 10 ° C. In order to electropolish the cavity at low temperature, it is effective to apply cold water directly to the outer surface of the cavity to cool it. Previously, the horizontal electropolishing (HEP) equipment in the KEK-STF building had been tested for this method by air-cooled cavity cooling, but its ability to maintain low temperatures was limited. Therefore, in order to improve the cooling capacity and the ability to maintain the cavity surface at a low temperature, Iwate Collaboration (Marui Galvanizing Co., Ltd., Higashi-Nihon Kidenkaiatsu Co., Ltd., WING Co., Ltd., Iwate Industrial Research Institute, Iwate Industry Promotion Center) and KEK jointly designed, assembled, and installed cavity water cooling systems for HEP equipment. We will report on the specifications of this water cooling systems and the results of operation checks.

#### 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。近年、電解研磨中の空洞表面温度を 10~15℃程度に保つことにより研磨表面が改善することが報告されており、空洞の冷却には温度制御された純水シャワーがよく用いられる[2-3]。

KEK では、STF 棟にてニオブ製加速空洞の横型電解研磨 (HEP) が実施されてきた。HEP 設備ではこれまで空洞の冷却には冷風を空洞にあてる空冷式が用いられてきた[4]が、空冷式では空洞冷却能力が十分ではなく、電解研磨時間が長くなると空洞温度が上昇してしまい、低温を保持する能力に限界があった。

そこで、冷却能力を向上させて空洞表面を低温に維持する能力を改善し、安定して 10~15℃程度での電解研磨を行うため、岩手コラボ (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、岩手県工業技術センター、いわて産業振興センター) と KEK が共同で KEK-STF 棟の HEP 設備用空洞水冷機構の設計、組立、設置を行った。ここでこの水冷機構の仕様、実際の機構、動作確認の結果について紹介する。

#### 2. 水冷機構の基本仕様

今回作製した水冷機構全体の概略図を Fig. 1 に示す。HEP 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。

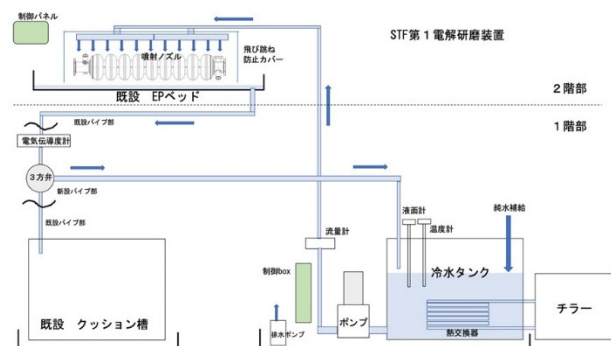


Figure 1: A schematic of the cavity water cooling system.

新規に追加す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。空洞にかけられた冷却水は EP ベッドに設置されたドレイ

<sup>#</sup> keisuke\_nii@e-marui.jp

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。EP ベッドからクッションタンクの配管は既存配管を利用する。この既存配管の途中に電動三方弁を設置し、一方をタンクユニットへと接続する。三方弁の向きを切り替えることにより、冷却水循環と冷却水廃棄が可能となる。また、帰り流路中に電気伝導度計を設置して冷却水の電気伝導度を計測、基準値を外れると三方弁がクッションタンク側に切り替わり、冷却水を廃棄できるようにする。

2 階部の空洞に冷却水をかける部分では、各セル+ビームパイプ部にロックラインとコックを配置する。ロックラインとコックを用いることにより水をかける方向や場所、水量を調整できるようになる。空洞周辺には、空洞にかけた冷却水が飛び散らないようにカバーが設置される。

この水冷機構で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. 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



Figure 2: Upper: the tank unit and the chiller. Lower: Inside the tank.

実際に設置されたタンクユニット、チラーとタンク内部の様子を Fig. 2 に示す。タンクはステンレス製で内部は電解研磨処理されている。タンク内部にはステンレス製（電解研磨処理済み）の熱交換器が設置され、チラーで冷却された水が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。流路中の電動三方弁と電気伝導時計設置の様子を Fig. 3 に示す。既存配管の位置との関係上限られた設置スペースしかなかったが、設置場所の工夫等によりうまく設置することができた。

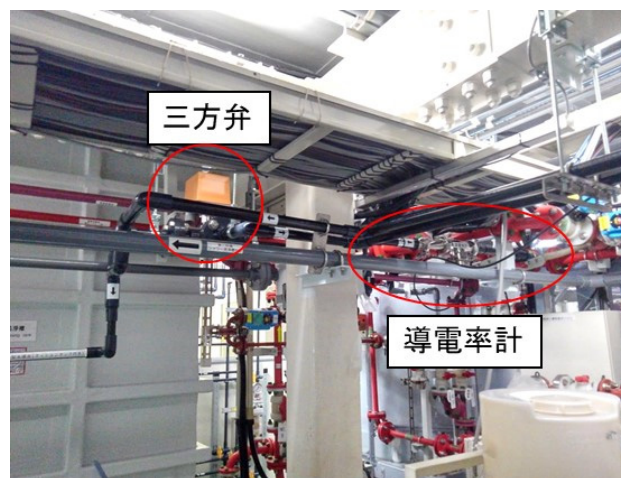


Figure 3: The electric 3-way valve and the conductivity meter.

#### 3.2 EP ベッドカバー、マニホールド

EP ベッドに空洞カバーを設置した状態を Fig. 4 に示す。カバーは Al 製の骨組みとアクリル板により構成されている。カバー内にはマニホールドが取り付けられている。カバーとマニホールドは 3 つのパーツ (カバー①、②、③) に分けられており、ニオブ 9 セル空洞を電解研磨する場合は①+②+③を用いるが、①+②を用いることでニオブ 3 セル空洞、①を用いることでニオブ単セル空洞の電解研磨にも使用できるようにしている。

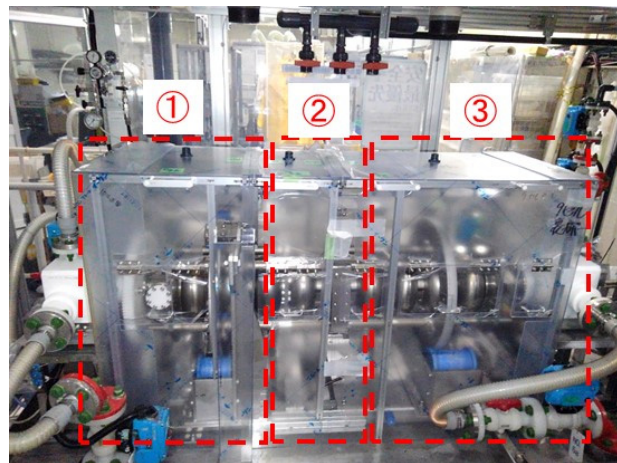


Figure 4: The cavity cover on the EP bed.

ロックラインは各セルとビームパイプ部当たり 2 本ずつ設置した (Fig. 6 参照)。

### 3.3 設備の操作、制御

水冷機構操作用タブレットの空洞水冷装置操作パネルの表示を Fig. 5 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。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。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確認できる。

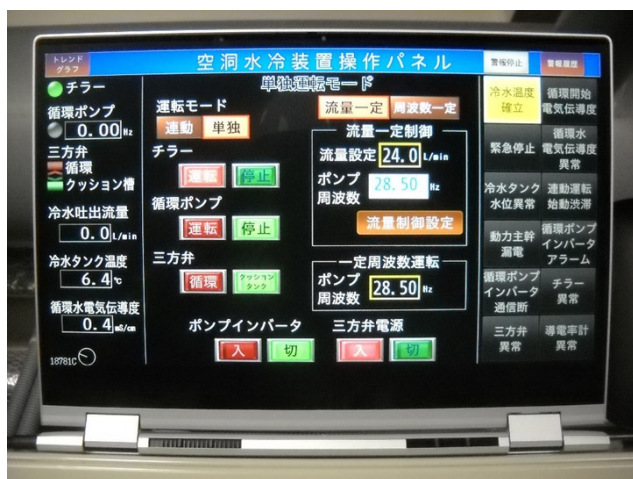


Figure 5: A photo of the system control panel.

### 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 セル空洞を使用しての冷却水循環テストを行った。空洞にカバーとロックラインをセットした様子と冷却水を空洞にかけている様子を Fig. 6 に示す。ロックラインの位置調整とコックによる水量調整を行うことにより、すべてのロックラインから適量の冷却水が吐出され、空洞全体に均等に冷却水をかけることができた。冷却水循環中に冷却水があふれる、もしくは不足するということなく、各種警報も発報せずに連続運転することができた。これにより、空洞表面温度を 10~15°C に保持しての空洞電解研磨が可能となった。

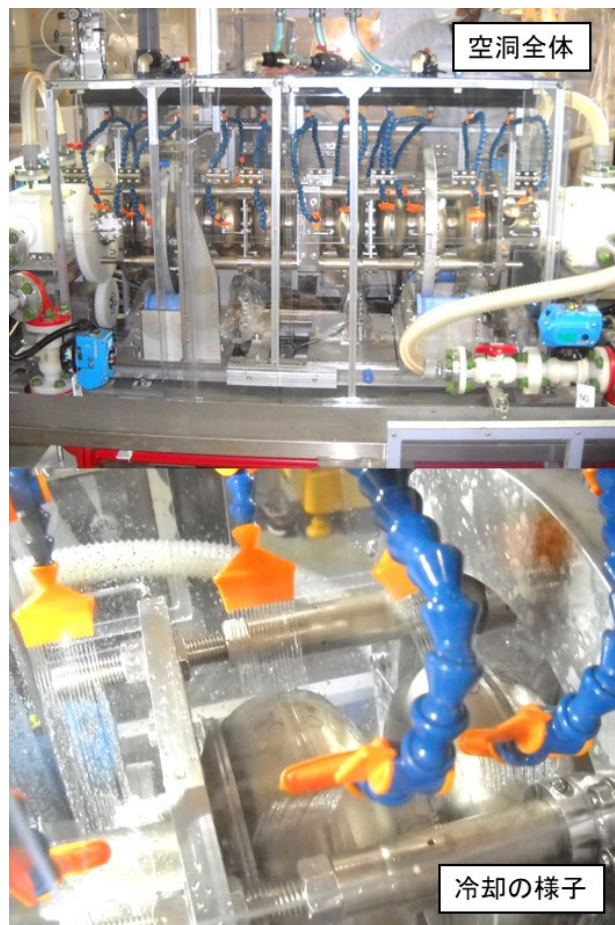


Figure 6: Upper: EP bed with water cooling system. Lower: Cooling water shower to a 9-cell cavity.

## 4. まとめ

KEK-STF 棟の HEP 設備において、電解研磨時の空洞冷却能力を向上し、空洞表面温度を 10~15°C 程度に維持するため、空洞水冷機構を新設した。

冷却水タンクとポンプを 1 階部に設置し、2 階部の EP ベッドまで冷却水を送り、空洞へかけた後、再び 1 階のタンクへ冷却水に戻して循環させる構造とした。タンク内では、冷却コイル+チラーで冷却水温度をコントロールしている。循環流路内に電動三方弁と電気伝導時計を設置し、冷却水の電導度が上昇した場合は、クッション槽側へ切り替えて排水できるようにした。

EP ベッド部には、空洞カバー、マニホールド、ロックラインを設置した。ロックラインは各セルと上下ビームパイプ部に冷却水がかけられるように配置している。カバー、マニホールドは 3 つのパートで構成されており、組み合わせによって単セル、3 セル、9 セル空洞での使用が可能である。

空洞水冷機構のコントロールはタブレットに集約し、遠隔操作が可能となっている。タブレットでは「単独」モードにて各機器を、「連動」モードで一連の動作を制御できる。その他タブレットでは、冷却水温度等のパラメータや各種警報の状況を確認できる。

これらのセットを全て完了した後、9 セル空洞をセットして冷却水循環テストを行った。空洞全体に均等に冷却水をかけることができ、冷却水の循環にも特に問題はなかった。これにより、KEK-STF 棟の横型電解研磨装置にて空洞表面温度 10～15℃を保持した電解研磨が可能となった。

## 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.*, “Effect of Cathode Rotation and Acid flow in Vertical Electropolishing of 1.3GHz Niobium Nine-cell Cavity” SRF2019, Dresden, Germany 2019, TUP021.
- [4] K.Ueno *et al.*, “Development of Electropolishing (EP) Facility in KEK (2)” 第 6 回日本加速器学会年会、東海村 2009 WPCEA05 P.162-164.