

DEVELOPMENT OF ELECTRO POLISHING(EP) FACILITY IN KEK

Kenji Ueno^{1,A)}, Yoshisato Funahashi^{A)}, Motoaki Sawabe^{A)}, Kenji Saito^{A)},
Takafusa Suzuki^{B)}, Tokumi Ikeda^{B)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} Nomura Plating Co., Ltd.
5-12-20 Himejima, Nishiyodogawa-ku, Osaka, 555-0033

Abstract

Surface treatment by electronic polishing (EP) is very important for superconducting cavities. Several researchers have investigated the surface treatment of the International Linear Collider (ILC) cavities for manufacturing high gradient cavities. Therefore we started the construction of the EP system at KEK in 2006. In 2007, we attempted to evaluate the performance of the tanks, piping and each facility in the system to ensure that the EP system can be used continuously. Here, we report the concept and the status of the EP facility at the superconducting test facility (STF) building.

KEK電解研磨設備の開発

1. はじめに

超伝導空洞製造上、電解研磨工程は空洞表面処理をするため必須かつ重要工程である。特に国際リニアコライダー (ILC) 用高電界の空洞製造には、表面処理技術の工程開発に多くの内外の研究者が努力している。このような背景の中、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) のSTF棟内に平成18年度から電解研磨設備 (EP設備) 建設を行っている。平成18年度には、主要設備の建設を完了し、平成19年度には水試験 (超純水による漏れ防止試験のこと)、各種装置性能評価試験を経て、平成20年3月から試用運用中である。このEP設備の対象空洞としては、KEKが扱う空洞及びそれらの部品とするが、全体計画が大きな工事であるため、平成18年度に1期工事¹⁾、平成19年度に2期工事として、設備建設及びその設備の立ち上げと分割して行なっている^{2) 3)}。なお、関連する設備建設は、平成20年度も実行中である。1期工事は、EP液タンク (1200リットル)、EPベッド、熱交換器、温水超音波洗浄槽、超純水製造装置、高圧超純水戦場装置等、主要装置の建設を実施し、2期工事としては、1期工事分の設備立ち上げ、電解研磨処理時に使用するEP液のリザーバタンクへの注入 (搬送コンテナからの移し替え)、排出用の設備、排水のためのタンク、大気浄化装置の完成、保管庫等の建設に取り組んだ。

本報告において、STF棟のEP設備建設計画から設備立ち上げまでの状況、安全対策等について概要を述べる。

2. 建設計画と対象空洞、設備について

この電解研磨設備 (EP設備) の対象空洞としては、KEKが扱う空洞 (国際リニアコライダー (ILC) 用空洞、KEKB用空洞、他) およびそれらの部品とするが、全体計画が数年に亘る大型工事であるため、1期、2期工事と

して建設、その後の立ち上げとして実施した。図1に、国際リニアコライダー (ILC) 用超伝導空洞図を示す。ILC空洞の長さ、1300mm、最大直径部200mm、重量は約20Kgである。

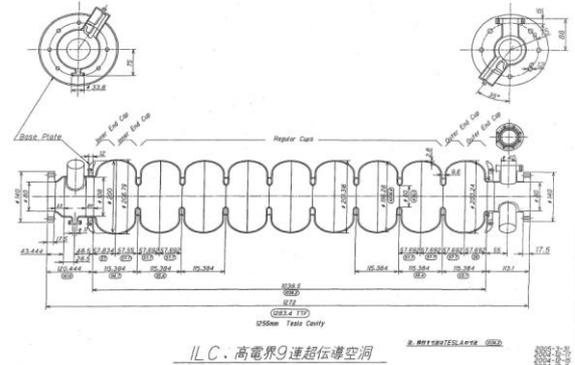


図1 国際リニアコライダー (ILC) 用超伝導空洞図

電解研磨設備の設置場所は、STF棟 (Superconducting Test Facility) の西南側、1階部である。図2にそのレイアウト図を示す。STF棟内部設置エリアは概略6m×30m (一部建設工事中を含む) の広さであり、作業性、安全性を考慮して2階建てとした。本設備の考え方は以下のとおりである¹⁾。

本設備の考え方は、以下の通りである。

- ① 高電界の確保・維持及び管理のために、一貫した空洞内面仕上げを1箇所の設備で実施する。
- ② 隣接する組み立て用クリーンルームとの相乗効果が期待できる。
- ③ 将来の工業化を狙った場合、モデルルームとして構築することは、意義がある。

¹⁾ E-mail: kenji.ueno@kek.jp

- ④ KEK を本処理の拠点の1つとし、さらには高電界空洞のR&Dの拠点を構築する1項目とする。
- さらに、具体的な設計指針は、以下のとおりである。
- ① 地下ピットを設けず、地上階置きとする。
 - ② R&D用のプロトタイプとする。
 - ③ 遠心バレル研磨（既存）、真空炉（既存）に併せて化学研磨（CP という）、電解研磨（EP という）、洗浄関連の設備を設置する。
 - ④ 後工程となるプリチューニング（既存）、組立て用クリーンルーム（既存）が、システムとして機能化をする。
 - ⑤ 複数種の空洞を処理しうる機能とスペースを有すること。
 - ⑥ 将来の自動化にも対応し得る設計であること。
 - ⑦ 環境対策に十分配慮し、かつ将来的には洗浄水の系内リサイクル（クローズドシステム）を考慮した設備であること。
 - ⑧ 作業上の安全を十分に確保した設備であること。
 - ⑨ 空洞EP処理能力は、1本/週とする。
- 等である。

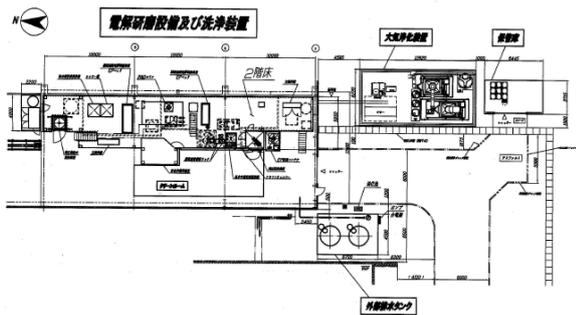
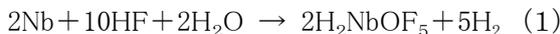


図2 全体レイアウト図

STF棟内にEP設備を配置し、STF棟外に1次洗浄排水用タンク（10m³）を2塔設備、高圧超純水洗浄（HPR）時に生じる2次洗浄排水用タンク（10m³）を1槽設備している。また、スクラバ2塔を中心とした大気浄化装置及び熱交換器さらに保管庫を設備している。EP設備の主装置としては、超純水製造装置、EPベッド、EP液のリザーブ槽、整流器、超音波洗浄槽、熱交換器、クッション槽、HPR、クリーンルーム、等々である。

3. 設備の具体化、安全検証について

電解研磨の原理は、以下に示すとおりである³⁾。硫酸（H₂SO₄濃度96%）とフッ化水素酸（HF濃度46%）を容積比で10：1に建浴した液（EP液という）を用い、式（1）の反応式により、Nb金属と激しく反応させる。この反応時に電気的なエネルギーを使用する。設備上では、純アルミ電極を用い、例えば500A、35Vの電気を制御しながら通電する。



なお、式（1）の反応式は、中間反応は省略している。使用EP液は、当設備の場合1200リットルを準備した。EP液のフッ素の維持管理の観点から、EP液として專業ベン

ダーに発注し一括専用コンテナで搬送し受け取る方式とした。

さて、EP液による電解研磨工程をモデル化して図3に示す。リザーブ槽からEP液専用の配管経路を通り、空腔内を循環する。EP液の使用温度が、25℃から35℃の範囲に制限されることから、EPリザーブ液の温度上昇のための発熱機能、ならびに化学反応熱による温度上昇を冷却するための温度下降の冷熱機能がEP処理には必須である。当EP設備の場合、熱交換を室内に設備し、冷却水を建屋の外で冷却する方式とした。

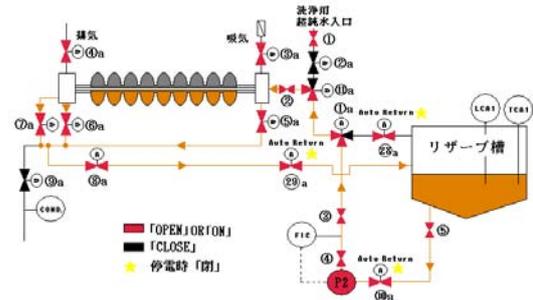


図3 EP液による電解研磨工程

図4に、EP液の温度制御の手法をモデル図で示す。EP作業は、EP液の循環中に反応温度制御をしながら電流値を制御する手法をとっている。電解研磨量は、ILC空腔の場合、0.4μm/分を研磨量の目標値として扱っており、EP液の消耗度はフッ素酸の管理指標も考えられるが、現状溶け込んだNb量9g/lを上限值としてEP液の劣化度を管理している。

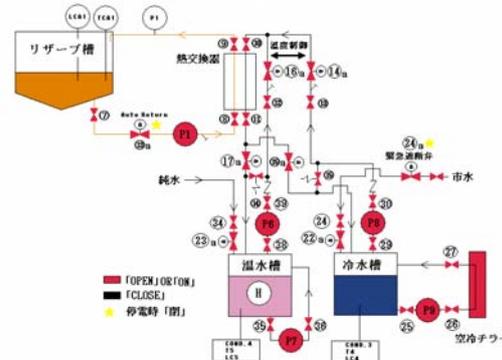


図4 EP液の温度制御工程

EP作業が完了した時点で、EP液を直ちに抜き取るため、EPベッドを90度の垂直の姿勢とし、速やかにEP液を排出する。その後、空腔内部を超純水で洗浄する。この排水を1次洗浄排水と呼ぶ。これらの作業を、図5、図6にモデル経路で示す。EP液は当然のこと、水分と激しく反応するため、図5、図6の配管の制御は、自動三方弁による安全対策をとっている。また、停電等の異常時にはバルブが自動的に閉になる安全処置を準備している。

写真1に、取り付け治具を使用しEPベッド上に空腔を取り付けている状況を示す。

EP液を設備内へ直接投入した漏れ試験は、安全上原則実施できないことであるので、設備がシステムとして完成した平成18年3月末以降、設備の各機器の立ち上げ、システムの立ち上げ、これらの確認を超純水による試験

として行なった³⁾。

この水試験の漏れ試験合格後、KEK安全小委員会の許可を経て、EP液の使用による本格的な、設備運転試験を行なった。これらの状況を要点について述べる。EP液の

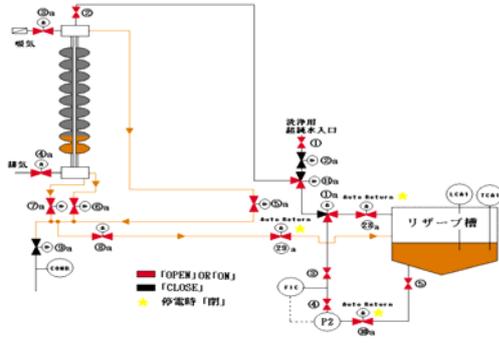


図5 EP液の排出

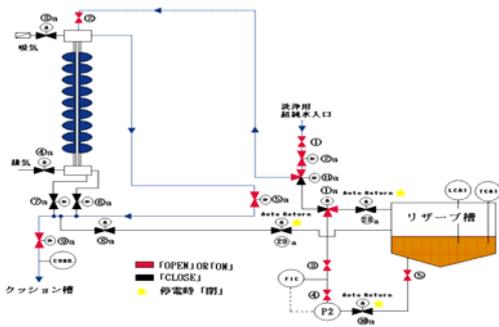


図6 EP液排出直後の水洗浄（一次洗浄）工程



写真1 EPベッドへの空洞取り付け作業

安全使用は原則自動化によることとして、設備を設計製作した。さらに、運用上安全を最重点として、以下のことに注力している。

- 1) 自動化による安全性（シーケンス制御された作業工程）
- 2) 漏れのない構造
- 3) 安全管理体制の確立
- 4) 保護具
- 5) 局所排気

- 6) 作業環境の測定と評価
- 7) その他の安全対策
- 8) 水が絶対にリザーブ槽内へ入り込まないためのインターロック機能（弁が同時に絶対開かないこと）
- 9) 停電時、非常時のセルフリターン弁の採用
- 10) 停電時のための非常用発電機
等をKEK内の安全管理部門の評価協力も得て準備した。

2) 項の検証には、EP液の代わりに超純水を用い検証し、また各設備、装置の個別の機能検証を実施後、システム全体でEP液を模擬した超純水による試験を数回実施した。このことは、運用時の使用方法の理解にも効果があり、安全面からは安心できる手法であった。試運転は、水試験の結果、合格の判断をKEK内の安全委員会に諮り、かつ運用上の規則の制定を経て平成19年12月から開始した。運転時の入力データおよび運用データは全て記録し、処理中・後にもトレースできる管理を別途検討中である。

空洞の表面処理の観点から見れば、EP処理に関する手法は数多くある。これらの工程は空洞性能研究者の「良い結果を生む手法なら、何でも取り組みたい」という強い要求に対して、設備面、運用面、安全面から十分検討の上対応していきたいと考えている。例えば、プレEP処理、フレッシュEP処理、過酸化水素水によるリンス、エタノール液によるリンス、および界面活性剤によるリンスなど、EP処理の前後工程で空洞内表面を清浄にする手法について具体化中である。

また、すでに実用化されているILC以外の数種類の空洞仕様についても、EP設備建設を検討し、当設備の拡張計画において、平成20年度の建設計画分として、このILC以外の空洞対応のEP設備建設を開始している。これらの保全用、さらには性能向上のための新手法対応等、今後ますます開発すべき要素が多いと考えられる。

4. まとめ

電解研磨設備の中、EP処理に関する設備をKEK内、STF棟に建設し各種基礎実験、性能評価試験を経てシステム試用運転を開始した現状を報告した。各空洞処理の操作データは、ソフト化管理し、オンタイムでトレース可能となるよう検討中である。

本装置を使用して、電解研磨固有の技術開発を積極的に進めたいと考えている。

参考文献

- [1] Y.Funahashi, et al., “KEK電解研磨設備の概要”
第8回高エネ研メカ・ワークショップ
平成18年4月
- [2] Y.Funahashi, et al., “KEK電解研磨設備の立ち上げ”
第9回高エネ研メカ・ワークショップ
平成19年4月
- [3] Motoaki Sawabe, “電解研磨設備の概要と安全性”
平成19年度 KEK技術交流会
平成19年11月