

SuperKEKB HER-QA マグネットの冷却水配管清掃

THE COOLING WATER PIPE CLEANING OF SuperKEKB HER-QA MAGNET

古澤将司[#], 植木竜一, 大澤康伸, 増澤美佳

Masashi Furusawa[#], Ryuichi Ueki, Yasunobu Ohsawa, Mika Masuzawa

High Energy Accelerator Research Organization

Abstract

In the normal magnet cooling system of SuperKEKB, 21640 L/min of cooling water is supplied to the accelerator magnets. In recent years, the cooling water flow rate in HER-QA magnets has tended to decrease. To improve flow rates, we have been cleaning the low flow HER-QA piping since last year during maintenance. We selected and improved our cleaning equipment to increase flow rates more effectively. As a result, 148 HER-QA magnets cleaned to date have increased flow rates. In particular, the magnets cleaned during maintenance at the end of 2021 increased flow rates by 7.6 to 11.0 L/min per unit. In this report, we describe the decrease in cooling water flow rate of the HER-QA magnet, an overview of the cooling water pipeline cleaning work, and the flow rate before and after the cleaning.

1. 概要

SuperKEKB 加速器では、電子、陽電子リングで使用される常伝導電磁石の冷却のために、合計 21640L/min の冷却水が地上の 8 棟の機械棟から送られている。近年、SuperKEKB 電磁石の冷却水流量の低下が発生しており、特に電子リングの四極電磁石の一種である HER-QA マグネットにて、流量減少が著しい。この流量低下対策として、昨年から加速器メンテナンス時に、HER-QA マグネット 195 台の内流量の低いものから優先的に配管清掃を実施した。また、より効率的に流量改善できるよう、メンテナンス毎に清掃使用器具を再選定、改良した。結果として、昨年から今年まで清掃を実施した HER-QA マグネット 148 台については、清掃により流量が上昇し、一定の成果が見えた。特に 2021 年末のメンテナンスで清掃を実施したものについては、清掃前後で 1 台あたり平均 3.5L/min 程度まで流量が上昇し、大幅に改善されたとと言える。本会では、HER-QA マグネットの冷却水流量低下、これまでに実施した冷却水配管清掃作業の概要、及び清掃前後の流量の推移について報告する。

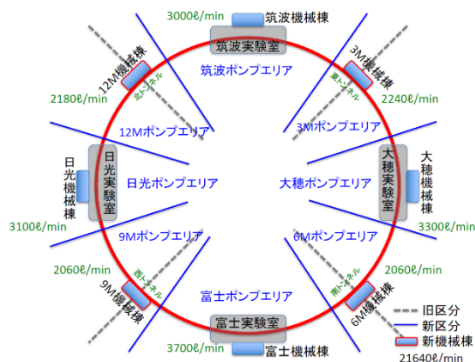


Figure 1: SuperKEKB Main Ring cooling water utility buildings and the pumping systems.

2. 電磁石の冷却システム

SuperKEKB 電磁石冷却水システムを Fig.1 に示す。SuperKEKB 電磁石の冷却水システムでは、冷却水をトンネル内の電磁石に合計約 21640L/min 送っている。このために地上の筑波、大穂、富士、日光、3M、6M、9M、12M の各機械棟に一系統ずつ、計 8 系統分の冷却水システムが稼働している[1]。

Figure 2 に冷却水システムの概要を示す。地上の機械棟ポンプから地下約 10m のトンネル内に送られた純水は、各機械棟から見てトンネル両側(L側、R側)の往母管に振り分けられる。その後枝管に分かれて各電磁石を通過した後、復母管より機械棟に戻る。冷却水の一部は、水温調整のため三方弁によりクーリングタワーを経由して、本来の配管に戻る[1]。

電磁石冷却水システムの安定稼働のために、ストレナの定期清掃や不純物の分析、流量の経過観察など、これまでに様々な流量低下対策を実施している[2-4]。今回は流量減少の著しい HER-QA 電磁石の冷却水配管を清掃した。

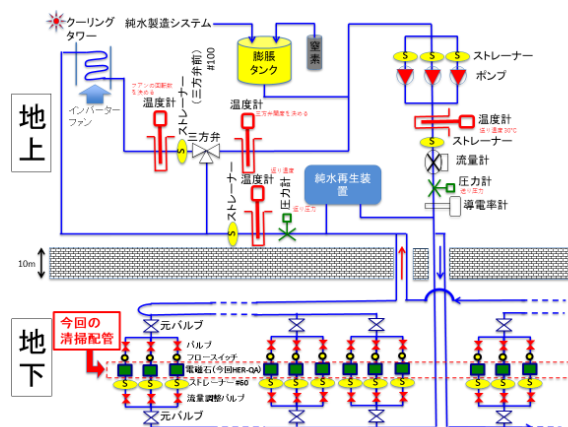


Figure 2: Schematic diagram of the Cooling water system in the utility building and in the tunnel.

3. HER-QA マグネット流量低下と改善

3.1 HER-QA の流量低下

HER-QA マグネットとは、SuperKEKB の電子リングで使用される四極電磁石の一種であり、リング内に合計195 台設置されている。この磁石は 40 年前からトリスタン加速器で利用されていたものが引き継がれ、現在まで使用されている。機械棟エリア毎の HER-QA マグネットの台数を Table 1 に記載する。

近年、SuperKEKB 電磁石の冷却水流量の低下が発生している。特に HER-QA マグネットにて、流量減少が著しい。HER-QA マグネットの近年の流量平均値の変化を Fig. 3 に示す。2017 年から連続的に流量が低下しており、2020・2021 年で大きく減少した。このため流量減少の対策を早急に行う必要があった。

流量低下の主な原因は、冷却水内の不純物が電磁石配管前のストレーナを通過し、配管の細部、屈曲部へ長年堆積したためであると考えられる。配管内の不純物を Fig. 4 に示す。

Table 1: The Number of HER-QA Units

| Area | Number | Area | Number |
|---------|--------|-------|--------|
| Tsukuba | 23 | 3M | 35 |
| Oho | 2 | 6M | 31 |
| Fuji | 35 | 9M | 32 |
| Nikko | 2 | 12M | 35 |
| | | Total | 195 |

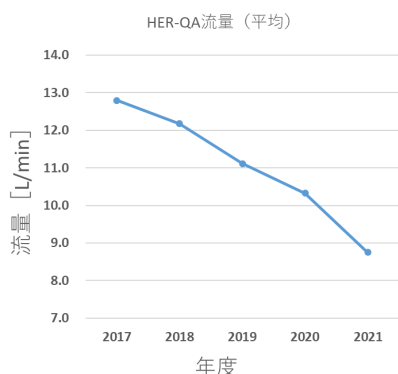


Figure 3: Changes in cooling water flow from 2017 to 2021.

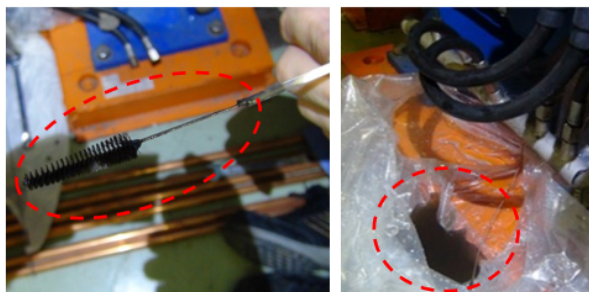


Figure 4: Impurities clogging the HER-QA cooling water pipe.

3.2 流量改善のための配管清掃

HER-QA 冷却水配管の流量改善のために、2021 年の加速器メンテナンス時まで、流量の低い順に HER-QA 配管不純物の除去作業を実施した。

HER-QA 配管を Fig. 5 に、清掃時に使用したブラシを Fig. 6 に記載した。HER-QA 冷却水配管の入り口からブラシを挿入することで、不純物の除去を行った。

2021 年秋のメンテナンスまでは、Fig. 6 上写真の、長さ 10 cm 程度の短ブラシを使用し、配管を清掃した。この清掃作業で、不純物は配管接続部等の段差部分に多く堆積している事が判明した。このため、配管の奥の方にあるオメガジョイントの接続部の段差にも、不純物が堆積している可能性がある。オメガジョイント接合部の分解は時間的に難しく、この部分の清掃のためには、より長いブラシを用意する必要がある。以上のことから、短ブラシでは流量は一台当たり平均 1.3L/min 程度の流量増加となり、大幅な改善はできなかった。

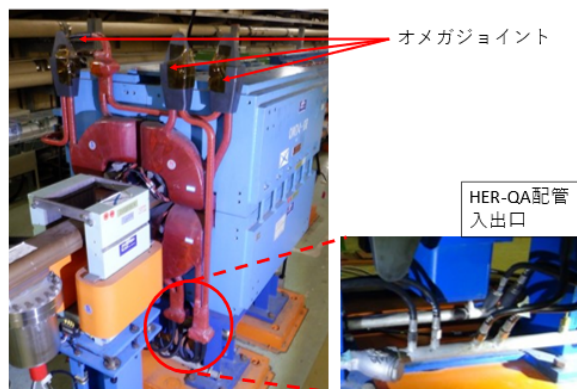


Figure 5: HER-QA Cooling water pipes.

2021 秋以前



2021 年末メンテ

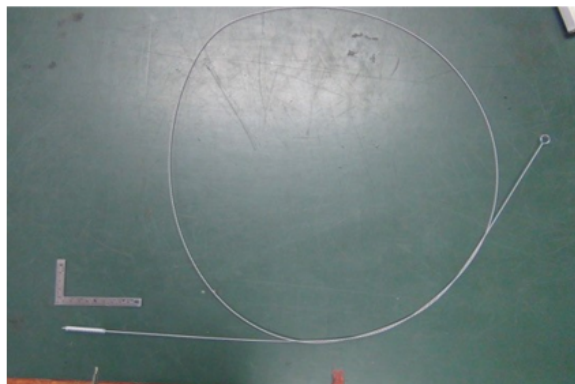


Figure 6: Brushes used in cooling water pipes cleaning.

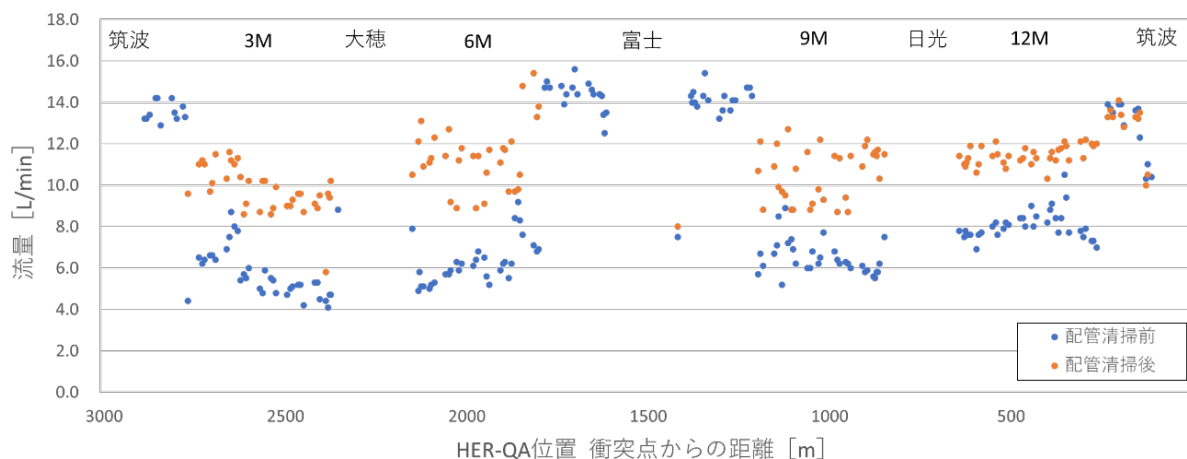


Figure 7: Change in cooling water flow rate before and after cleaning.

2021 年末のメンテナンスでは、配管奥のオメガジョイント部分まで不純物を除去できるように Fig. 6 下の全長 2m 程度の長ブラシに改良し、冷却水の配管を清掃した。

2021 年末メンテナンスまでに、計 148 台の HER-QA マグネットの冷却水配管の清掃が完了した。マグネットの冷却水配管の清掃が完了した。

3.3 清掃前後の流量推移

清掃前後の流量を Fig. 7 に示す。今回配管清掃を実施した磁石については、最大で 8.3L/min 流量が上昇したこともあり、大幅に改善されたと言える。

Figure 8 に短ブラシ、長ブラシでそれぞれ清掃した際の一台当たりの流量上昇量の平均値を記載した。Fig. 8 より、長ブラシを使用した際の流量増加が 3.5L/min となり、短ブラシ使用時の上昇量 1.3L/min より大きく上昇した。このため清掃機具の改良による効果も大きいと言える。

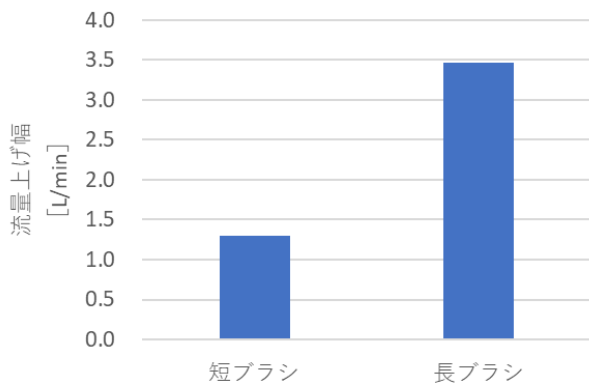


Figure 8: Increase of flow rate using short and long brushes.

4. まとめ

SuperKEKB 電磁石にて、流量減少の傾向が見られる HER-QA 電磁石 148 台分の冷却水配管清掃を行った。この際清掃器具の改良を行うことで、より効果的に流量を改善することができた。清掃前後で冷却水の流量は上昇し、配管清掃の効果は十分に見えたと言える。

予算と時間の関係で、2021 年までには全 195 台の HER-QA 電磁石の配管を清掃することはできなかった。残りの機器については、今後も流量減少の大きい配管から優先的に清掃を検討している。

HER-QA 以外の電磁石についても、微量ではあるものの流量減少の傾向が見られるものがある。そのため、今回と同じような大幅な流量低下が発生する可能性もある。今後も各電磁石の冷却水流量の傾向に十分に注意し、同じ事象が発生した場合には同様の手順で対処する予定である。

SuperKEKB 電磁石冷却システムの現在の運転状況については、[5]で報告する。

参考文献

- [1] Y. Ohsawa *et al.*, “SuperKEKB 電磁石の運転と冷却水 pH の変化の関係”, Proceedings of the 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, July 31 - August 3, 2019, Kyoto, Japan, pp. 962-966.
- [2] Y. Ohsawa *et al.*, “SuperKEKB 電磁石用冷却水の現状”, Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagaoka, Japan, Aug. 7-10, 2018, pp. 1238-1242.
- [3] R. Ueki *et al.*, “SuperKEKB 主リング電磁石システムの運転報告”, Proceedings of the 13th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August. 8-10, 2016, Chiba, Japan, pp. 1200-1203.
- [4] Y. Ohsawa *et al.*, “電磁石冷却水への油の混入”, 平成 16 年度大阪大学総合技術研究会.
- [5] Y. Ohsawa *et al.*, “SuperKEKB 電磁石用冷却水の現状 (2)”, Proceedings of the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Ktakyushu, Japan, Aug. 8-11, 2022.