

STATUS OF THE KEKB MAGNET COOLING WATER

Yasunobu Ohsawa^{A)}, Takashi Kawamoto^{A)}, Mika Masuzawa^{A)}, Ryuhei Sugahara^{A)}, Takamasa Ohkubo^{B)}

^{A)} HIGH ENERGY ACCELERATOR RESEARCH ORGANIZATION

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801

^{B)} MITSUBISHI ELECTRIC SYSTEM & SERVICE CO.,LTD.

2-8-8 Umezono, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0045

Abstract

KEKB is an electron-positron double ring collider with about 1600 water-cooled magnets. The cooling water system has to handle twice as many magnets for KEKB as for TRISTAN with the same capacity, resulting in a need for more delicate flow balance among individual magnets. The balance is carefully checked every year during the summer shutdown and the occurrence of magnet water trips due to low water flow is minimized. However, the rate of magnet water trip incidents has started to increase since 2003, when the system was contaminated by oil used for maintenance work on the pumps. The problems due to the oil contamination are reported in this paper.

KEKB電磁石冷却水の現状

1. はじめに

KEKBは周長約3kmのトリスタン加速器トンネルに電子・陽電子の二つのリングを並べたダブルリング・コライダーである^[1]。ダブルリングになったことにより水冷式電磁石の数もトリスタンに比べて2倍の約1600台になった。それにも拘らず純水を送る冷却水システムは以前のものがそのまま再利用されている。このような冷却水容量としてはあまり余裕のない状況の中で、各電磁石の流量バランスをとりながら今日まで加速器の安定運転に努めて来た。この論文では今までに我々が経験した電磁石冷却水関連の問題とその対応策を紹介すると共に現在の問題点について議論する。

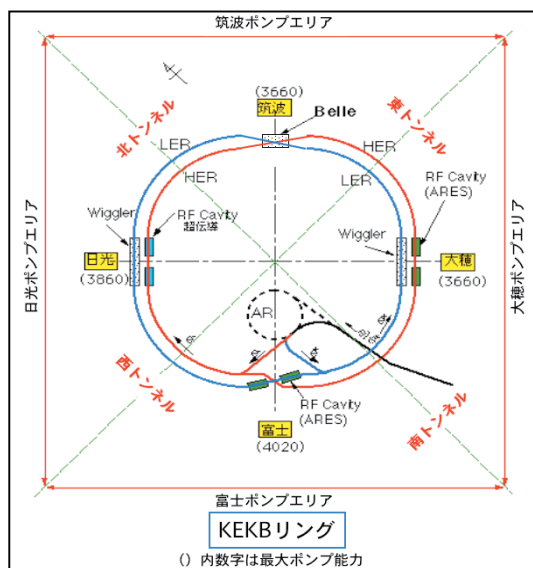


図1. KEKB冷却水系区分 (破線で区分)

2. 電磁石冷却水システム概要

図1の破線で分けられている様に、KEKBリングの冷却水は、富士地区、日光地区、筑波地区、大穂地区の4地区に分れている。

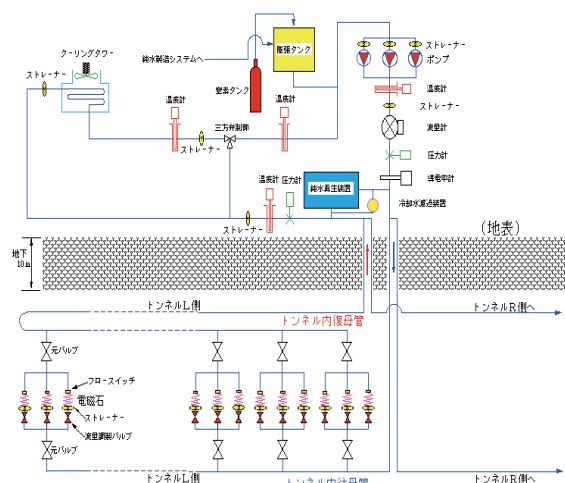


図2. 電磁石冷却水システム

図2に示す様に、各地区を受けもつ機械室には3台のポンプが設置されており、1台が常時運転され、もう1台が負荷に応じてインバーター運転され、最後の1台が故障時やメンテナンス時の交換用として待機している。ポンプより送られた純水は、地下約10mのトンネル内に送られ、左右に分れて電磁石冷却水母管として、各々の曲線部中央対称点までを準備範囲としている。各水冷式電磁石に送られた純水は、クーリングタワーを経由してポンプ室に戻る。純水の一部は、水温調整のため三方弁によりクーリ

ングタワーをバイパスする。1地区の循環する純水の総量は、約50トンである。

各水冷式電磁石の入口側には、流量調整のためのバルブ及び150番メッシュのストレーナーが設けられており、出口側には、SMCのフロースイッチが設置されている。また、電磁石コイル部にはパイメタルの温度スイッチ（約80℃以上で作動）が設けられており、温度の異常上昇を感知できるようにしてある。

3. 電磁石冷却水の問題

運転開始初期には、電磁石の流量低下による冷却水インターロックが数多く発生したことがあったが、これは流水中に自動排出されずに残っている気泡が原因であった。流水中の気泡を可能な限り排出する様に配管を改造した結果、インターロック発生件数が激減し、2000年頃から数年間は安定な加速器運転が出来ていた。

3.1 油混入による流量低下

ところが、2003年春から再び冷却水流量低下インターロックの発生によりビーム運転を中断してしまうという現象が発生し始めた。これは、各電磁石に付いている流量調整バルブに異物が付着したのが原因で、ストレーナーにも同様の異物の付着が見られた（図3）。これらの付着物についてはバルブの洗浄とストレーナー清掃、交換により対処した。

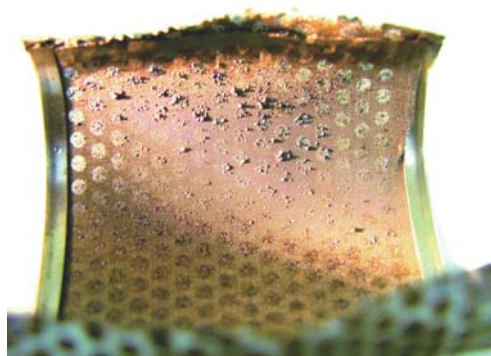


図3. 2003年大穂地区ストレーナー

図4に付着物の赤外線吸収スペクトル（縦軸透過率(%T)と横軸波数(cm^{-1})の関係)の分析結果を示す。付着物のスペクトルは、冷却水ポンプのメンテナンスの際に使用されたシリコンオイルとポンプ軸受けオイルのスペクトルを合成したものとよく一致している。従ってこの付着物はポンプのメンテナンスの際に混入してしまった油であると考えられる。この油による汚染は大穂地区で最初に発生し、後に筑波地区、日光地区にまで波及してしまった。

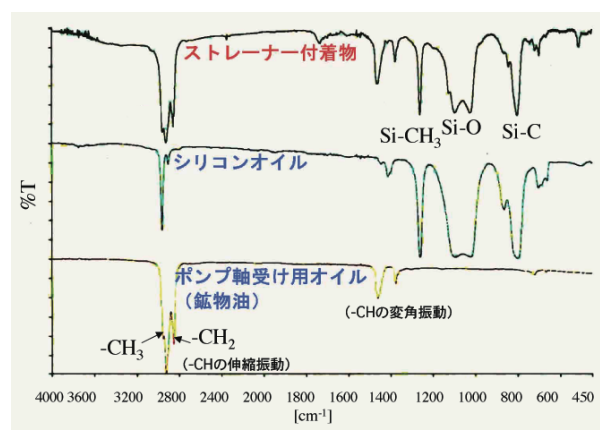


図4. 付着物化学分析(2003年)

2006年になるとやはり大穂地区で冷却水流量が時間とともに徐々に低下していく現象が現れ始めた。電磁石ストレーナーを取り出したところ、図5にある様なべっとりとした付着物により、目詰まりが起こっていた。これは2003年の付着物（図3）とは形態が異なっている。そこで、再びこの付着物の化学分析、及び顕微鏡による表面調査を行なった。図6は付着物表面の顕微鏡写真であるがストレーナーメッシュの網目パターンがそのまま残っている。さらにその網目よりはかなり細かい金属粒が集まっているのを見てとれる。



図5. 2006年大穂地区ストレーナー

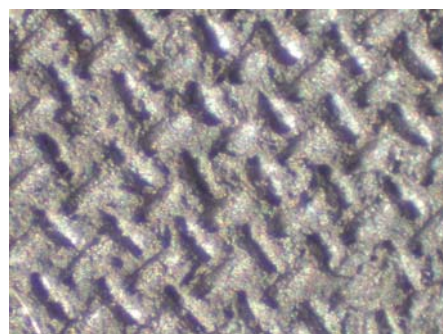


図6. メッシュ堆積物顕微鏡写真

成分分析の結果、これは酸化銅と油の混ざったもの（1ストレーナーにつき、油性分38mgに対しCu 140mg）と判明した。酸化銅の粒子そのものはメッシュサイズより小さい事から油により細かい酸化銅

粒子が寄せ集められストレーナーメッシュに徐々に付着していったものと推測される。

3.2 インターロックレベルのドリフト

2007年3月には日光地区で流量低下インターロックが多発するようになった。動作した電磁石の流量を測定してみると流量は充分あったが、軒並みインターロックレベルが設定値より高くなっていることが分かった。前述の大穂地区でのインターロックは実際に流量低下が起こっていたのでこれとは状況が異なる。インターロックレベル調整は全電磁石について毎年夏のシャットダウン期間中に行なっているが日光地区だけレベル調整ミスがあったとは考えにくい。また実際夏の調整後の9月から12月までの4ヶ月間では日光地区でのインターロック発生事象がなく加速器運転が出来ていた。そこで考えられるのがインターロックレベルのドリフトではあるが残念ながら今のところこのドリフト説については憶測の域を出ない。フローズイッチへの異物混入による誤動作の可能性を考えてフローズイッチを分解してみたが、特に異常は発見できなかった。

瞬間的な流量変動によるインターロックについては、インターロック信号を出すかどうかの判定時間（信号持続時間）を2秒から21秒に延ばすことで発生件数を押さえた^[5]。インターロックレベルのドリフトについては現在調査中である。

3.3 油混入とインターロック発生件数

加速器運転中のインターロック発生件数^[6]について2003年から2006年までまとめたものを図7に示す。

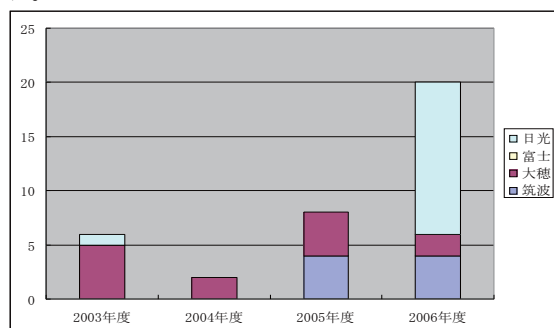


図7. 2003-2006年度インターロック動作件数

特徴的なのは富士地区では一度もインターロックが発生していない事である。富士地区が他地区と異なる点はこの地区だけ油汚染を免れたことである。ポンプのメンテナンスの際に誤って起きてしまった油混入が純水冷却システムに悪影響を及ぼしている事は明らかである。

3.4 油除去対策

例えばイソプロピルアルコール等の溶剤によりこの油は溶解するが50トンものシステムに溶剤を投入することは廃液処理までのプロセスを考えてもあまり現実的ではない。また、洗浄ができたとしても電磁石で使用している金属以外のゴムホースやパッキンに薬液による悪影響が心配される。従って現在のところ化学的な手法はとらず、電磁石側のストレーナーに付着して来る分だけをストレーナー交換によって除去している。また、2006年には1 μ フィルターの付いた濾過装置を各地区に設置した。冷却水の入れ替えも適宜行っているが未だ全ての油成分を排出する事は出来ていない。

4. まとめ

KEKB 主リングの約1600台の水冷式電磁石に安定に純水を供給しなければならない冷却水システムに油が混入し、以後流量低下インターロックが多発するトラブルに見舞われている。電磁石側では(1)ストレーナー交換の頻度を上げる、(2)流量調整バルブの洗浄を行なう、(3)インターロック判定時間の見直しを行なう、等可能な限り加速器のダウンタイムを減らす様努力をしている。しかしながら問題の根本対策、つまり一度システムに混入してしまった油の完全除去には至っていない。本論文で純水系に油が混入した場合の悪影響を報告し、今後純水系システムを扱う場合の警鐘としたい。

謝辞

KEKB放射線科学センターの化学実験施設に化学分析をしていただいた。神田征夫先生を始め、別所光太郎氏、平雅文氏、吉岡綾氏に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] “KEKB Design Report,” KEK Report 95-7.
- [2] 大澤康伸、他. “KEKB電磁石冷却水システムの建設及びその調整” 平成11年度KEK技術交流会
- [3] 大澤康伸、他. “電磁石フローズイッチの侵食” 平成13年度核融合科学研究所技術研究会
- [4] 大澤康伸、他. “電磁石純水冷却水への油混入” 平成16年度大阪大学総合技術研究会
- [5] 川本崇、他. “水温モニタリングによる電磁石冷却水流量低下の監視” 第4回 加速器学会年会第32回 リニアック技術研究会
- [6] 大久保孝将、他. “電磁石冷却水システムにおける不純物問題” 第4回 加速器学会年会第32回 リニアック技術研究会