

CONTAMINATION PROBLEM WITH THE MAGNET COOLING WATER SYSTEM

Takamasa Ohkubo^{1A)}, Takashi Kawamoto^{B)}, Mika Masuzawa^{B)}, Yasunobu Ohsawa^{B)}, Ryuhei Sugawara^{B)}

^{A)}Mitubishi Electric System & Service Co., Ltd.

2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045, Japan

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

1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

Abstract

KEKB is an electron-positron double ring collider with a circumference of 3 km. The total number of water-cooled magnets is about 1600. Each magnet is equipped with a flow switch which sends an interlock signal to the power supply when water flow decreases below an interlock level. The interlock level is set at 2/3 of the nominal flow rate for most of the magnets. The flow rates and the interlock levels are checked and re-adjusted if needed for all water-cooled magnets during the summer machine shutdown every year. The procedures for keeping the magnet water system running stably are presented in this paper. Problems caused by oil contamination to the cooling water system are also reported along with the effect on accelerator performance of magnet trips.

電磁石冷却水システムにおける不純物問題

1. KEBB電磁石冷却水システム

KEKB トンネルと冷却水ポンプ区分の関係を図1に示す。KEKB には電子・陽電子両リング合わせて約 1600 台の水冷却式電磁石があり各ポンプ地区のポンプでそれぞれ約 400 台の電磁石に純水を供給している¹⁾。各ポンプ地区の冷却水総量は約 50 トン、運転時の流量はおよそ 3600~4000l/min である。

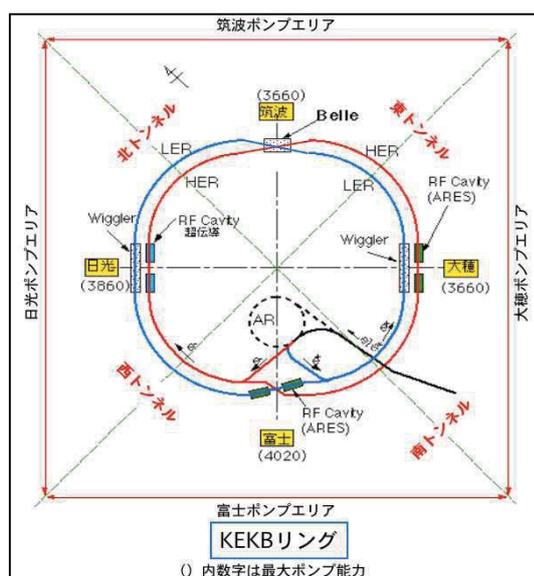


図1. KEBB冷却水系区分 (緑色破線で区分)

KEKB はトリスタン加速器トンネルを再利用して

建設された。シングルリングからダブルリングとなった事により電磁石の総数はほぼ2倍になっている。しかし建設費用節約のため冷却水システムはトリスタン時代のもをそのまま利用している。そのため冷却水容量としては、以前に比べてマージンのないものになっている。従って電磁石、特にトリスタン再利用の電磁石については、冷却水流量を絞らなければ全体の容量が足りなくなってしまう。KEKB では各電磁石の流量のバランスをとることにより、全数に規定流量が配分されているのである。各電磁石の流量調整は各電磁石冷却水入口側にある流量調整バルブの開閉で行なっており、通常は毎年夏の長期シャットダウン期間中に流量のチェック、再調整を行なっている。また各電磁石冷却水出口側にはフローズスイッチが取り付けられており、流量が下がった時にはインターロック信号を出して電磁石電源を停止するしくみになっている。

2. 不純物の混入とその影響

2.1 不純物の混入

図2は、KEKBが物理実験を開始してから2007年6月末までに、電磁石冷却水流量低下インターロックが発生した件数(年別)である。

実験開始初期に発生件数が多いが、これは冷却水中に含まれる気泡が原因であった。気泡を排出するように冷却水配管を改造する事により問題解決を見た。しかし、2003年から再びインターロックの発生

¹⁾ E-mail: ohkubo@post.kek.jp

が増え始めている。原因は2002年の冷却水循環用ステンレスポンプのメンテナンス時に使用した、ポンプ軸受け用オイル（鉱物油）やシリコンオイルが冷却水に混入したためである^[1]。混入したオイルは流量調整バルブ、磁石冷却水入口側備え付けのストレーナに付着した。流量調整バルブの付着物の写真を図3に示す。化学分析の結果、この付着物にオイル成分が含まれていることが分かった。付着したオイルは冷却水流量を低下させ、インターロックを発生させたのである。これら流量調整バルブの付着物についてはイソプロピルアルコールで洗浄した後、綿棒を用いて清掃した。

オイルの混入があったポンプ地区は筑波、大穂、日光の3地区であり、オイル混入を免れた富士地区においては、2002年以降冷却水流量低下インターロックは発生していない。

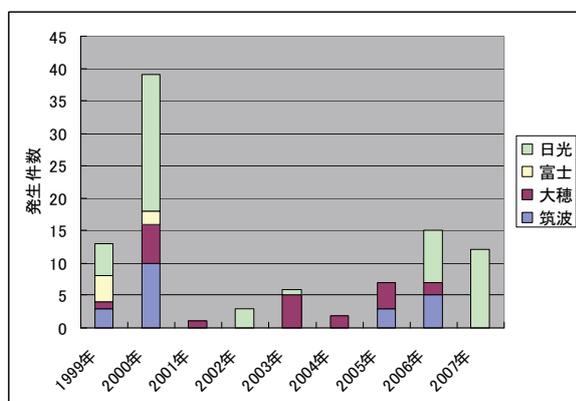


図2. 1999年～2007年 電磁石冷却水流量低下インターロック発生件数

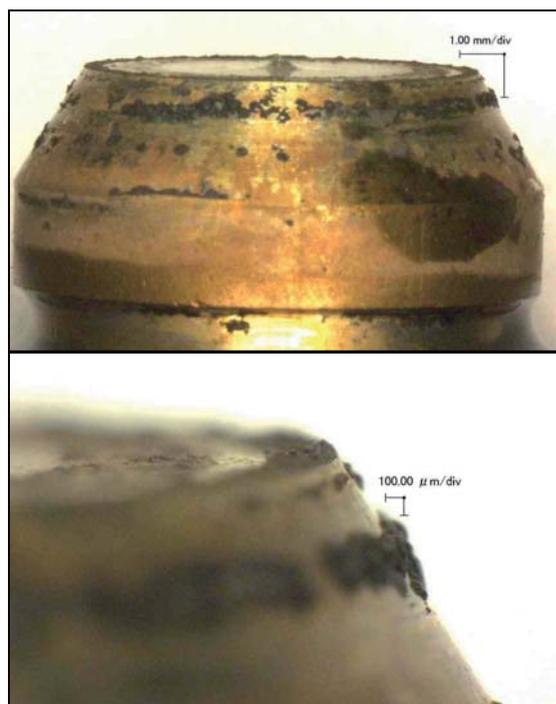


図3. 大穂地区ウィグラー電磁石流量調整バルブの付着物（上）とその拡大図（下）

2.2 ビーム運転への影響

ビームロスやRF空洞のトリップ等が原因でビームアポートしたときに比べて、電磁石冷却水の流量低下が原因で電磁石電源がダウンしビームアポートした場合、時間的なロス、つまり積分ルミノシティのロスが大きい。トンネル内に入域して冷却水流量を調整した後に、電磁石の初期化を必要とするからである。図4、図5、図6にビームアポートの例を示す。

図4は、2006年11月29日の実験の様子である。13:01に、RF空洞（D10A）のトリップが原因でビームアポートした。ダウンしたRF空洞に問題がない事を確認して立ち上げ、数分後にはビームを蓄積して実験を再開している。積分ルミノシティのロスは少なく、ビームアポート後もルミノシティは順調に回復していることが分かる。

図5は、2006年10月21日の実験の様子である。4時51分にリング一周で1つの電源につながる四極電磁石の一台（QF4E.5）に、冷却水流量低下のインターロックが発生し電源がダウンした。トンネル内に入域して冷却水流量調整を実施、その後電磁石を初期化して実験を再開している。実験を再開するまでにおよそ1時間30分かかっている。0時からインターロックが発生する4時50分までの積分ルミノシティは約197.1/pbであった。1時間当たり約40.8/pbであるので、1時間30分では約61.2/pb分のルミノシティをロスしたことになる。

さらにリング一周で1つの電源につながり100台を越える偏向電磁石がダウンした場合は、電磁石電源初期化後の実験開始前に低電流（30mA程度）でビームの光学補正（Optics Correction）を行わなければならない（およそ2時間）。

図6は、2006年5月11日、12日の二日間の実験の様子である。5月11日5時50分に偏向電磁石の一台（B2E.103）に、冷却水流量低下のインターロックが発生し電源がダウンした。トンネル内に入域して冷却水流量調整を実施、電磁石を初期化した後に光学補正を行い、実験を再開している。実験を再開するまでにおよそ4時間かかっている。0時からインターロックが発生する5時50分までの積分ルミノシティは約276.9/pbであった。1時間当たり約47.5/pbであるので、4時間では約190/pb分ルミノシティをロスしたことになる。また、光学補正後ルミノシティが回復していないことが分かる。さらに、実験開始後はHERのビームライフが短く不安定である。インターロック発生前のルミノシティが15～16/nb/sであるのに対し、発生後は2割程度減少している。その後約1日実験を続け、ビーム軌道調整等行ないルミノシティ向上を試みたが回復しなかった。5月12日17時にビームを捨てて、再度光学補正を行い、19時30分頃より実験を再開した。この後もルミノシティは回復せず14/nb/s程度であり、定期メンテナンス日を迎えた。光学補正を行うと、加速器の性能を回復させるまでに数日かかることも多々ある。

上記3例を比較しても偏向電磁石電源がダウンした場合、明らかに実験停止時間が長く、ルミノシティに与える影響も大きい。

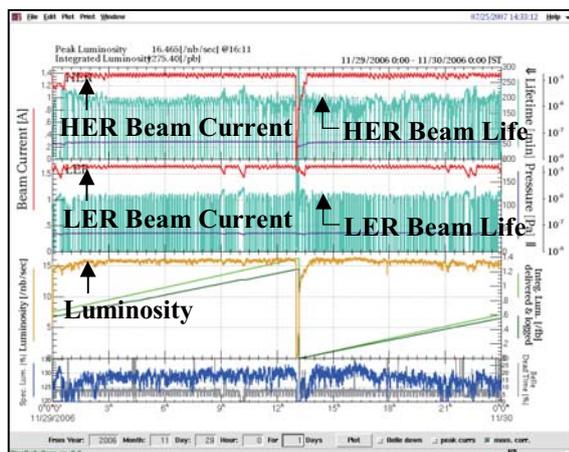


図4.2006年11月29日の様子（RFトリップによりビーム運転中断の場合）

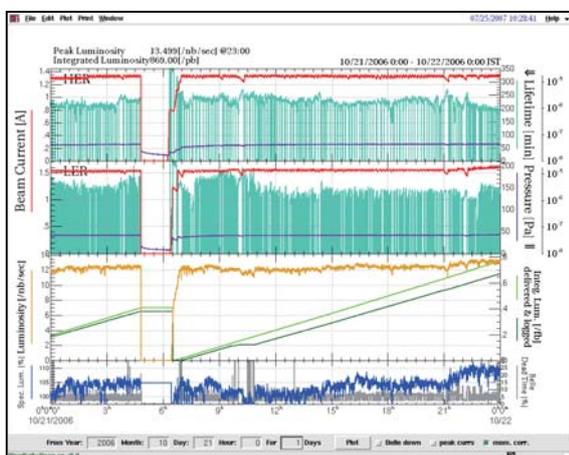


図5.2006年10月21日の様子（四極電磁石電源ダウンによるビーム運転中断の場合）

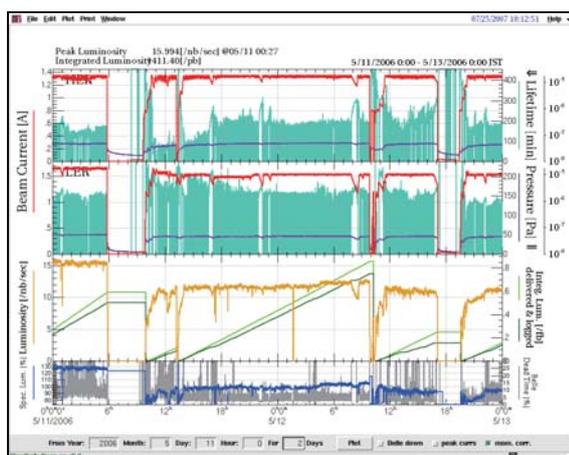


図6.2006年5月11日、12日の様子（偏向電磁石電源ダウンによるビーム運転中断の場合）

3. 保守作業

毎年夏の長期シャットダウン期間を利用し、全ての水冷式電磁石について以下の保守作業を行なう^[2]。

3.1 ストレーナ交換

KEKB冷却水システムは密閉式だが、冷却水に異物が混入した場合、取り除くことができるように電磁石冷却水入口側にストレーナを設置している。冷却水にオイルが混入する以前は、ストレーナに汚れはなく、ブラシで水洗いをして再使用をしていた。混入後はオイルがストレーナに付着し、黒っぽく汚れている。オイルは水洗いでは当然落ちないので、混入した地区のストレーナは毎年交換する。

3.2 インターロックレベル調整

冷却水流量低下を監視するために、電磁石冷却水出口側にフローズスイッチを設置している（SMC社製IFW510）。フローズスイッチには100Vの電圧をかけ、規定流量がインターロックレベル以下になると電磁石電源がオフになるように設定する。インターロックレベルは、各電磁石タイプで決まる規定流量の2/3に設定する。流量がインターロックレベルに達した所で100V電圧信号が出る様に合わせる。

3.3 電磁石冷却水流量調整

各電磁石冷却水入り口側に冷却水流量を調整するバルブが付いている。コスト節約のため電磁石各々には流量計を付けていない。流量の測定は、日本パナメトリクス社製のポータブル超音波流量計「PT868」を測定毎に冷却水配管に取り付けて行なう。

4. まとめ

加速器性能の維持・向上のためには、まず電磁石が安定に運転されなければならない。そのため冷却水システムの保守・管理には、細心の注意を払わなければならない。しかしながら2002年のポンプ保守作業の際にオイルが混入し、以降冷却水量低下によるインターロックが増加してしまった。電磁石電源ダウンによる運転時間のロスが大きく、加速器性能回復時間も長い。今後、二度と冷却水システムにオイル等の混入が起こらぬよう注意すると共に、すでにシステムに入ってしまったオイルについては除去方法を検討する。現在、流量低下を早期に発見するモニターを構築する^[3]等の対応策をとっている。

参考文献

- [1] Y.Ohsawa, et al., “Status of the KEKB magnet cooling water” 第4回加速器学会年会・第32回リニアック技術研究会(2007)
- [2] T.Ohkubo, et al., “KEKB電磁石冷却水の維持管理” 平成18年度名古屋大学総合技術研究会 装置技術研究会報告集
- [3] T.Kawamoto, et al., “Cooling water flow monitoring for the KEKB magnets” 第4回加速器学会年会・第32回リニアック技術研究会(2007)