

COOLING WATER FLOW MONITORING BY WATER TEMPERATURE MEASUREMENT

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

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

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

Abstracts

There are about 1600 water-cooled magnets in the KEKB rings. A flow switch is mounted at each magnet to send an interlock signal to the power supply when low water flow is detected. In order to minimize interlocks occurring during accelerator operation, a water flow monitor system using a thermometer has also been installed. The performance of the monitoring system is reported in this paper.

水温モニタリングによる電磁石冷却水流量低下の監視

1. はじめに

KEKB 加速器電磁石冷却水システムに於ては、2003 年春から冷却水流量低下のインターロックが多発するようになった。調査の結果、KEK 施設部による冷却水ポンプのメンテナンス時に、ポンプの軸受け油が冷却水に混入し、それが流量調整バルブあるいはストレーナに付着する事により、流量低下を引き起こしている事が判明した^[1]。現在に至るまで、この混入油は除去し切れておらず、酸化銅が油に吸着される事も重なって、ストレーナ等への異物の付着は継続している (図 1)。

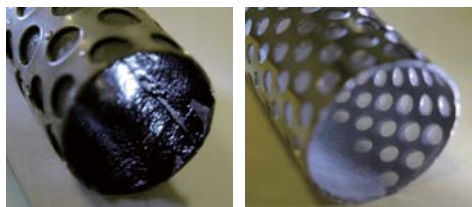


図 1 : 左 汚れたストレーナ, 右 新品のストレーナ

インターロックが発生すると、電磁石の電流遮断、加速器のビームアポートが発生し、加速器運転に多大な影響を与える^[2]。このため冷却水量を常時監視する必要に迫られた。

調整バルブ、ストレーナ及びインターロック発生用フロースイッチは、全ての水冷電磁石に設置されている。よって電磁石毎に流量計を取り付けて、冷却水量を常時監視したい所ではあるが、電磁石の数が多く (約 1,600 台)、費用が掛かり過ぎる事から、建設当初にその採用は見送られている。また流量計自体の故障も少なくない。そのため今回は、冷却水配管に温度計を取り付け、電磁石通過後の冷却水の温度をモニタする事により、間接的に各電磁石の冷却水流量低下を把握する事にした (図 2)。この方式では、加速器の運転状態によって通電電流が大きく変化したり、また通電電流が一定であっても発熱量が小さく、冷却水の入側と出側の温度差の小さいような電磁石 (一部の四極や六極) での流量変化は

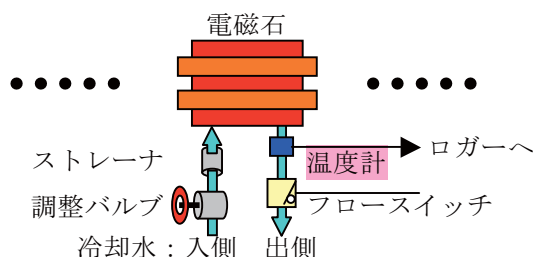


図 2 : 電磁石冷却水配管と新設温度計

監視しにくい。ほぼ定電流で発熱量も大きいウィグラー電磁石や偏向電磁石等には有効である。

2. 水温測定システム

2.1 機器

温度計には Pt100 測温抵抗体を使用した (2.3mm × 1.9mm × 1mm のエポキシモールドタイプ、約 3 千円/個)。これをチノー社のデータロガーに接続し、Ethernet 経由でデータを読み出している (図 3)。



図 3 : Pt100 測温抵抗体とデータロガー

2.2 設置

冷却水システムは、4つのポンプ地区に区分されているが (図 4)、流量低下は油混入を免れた富士地区以外の3つのポンプ地区で発生している。特に大穂、日光ポンプ地区のウィグラー電磁石で多く発生している事、発熱量が大きく、流量の変化を冷却水の入側出側の温度差の変化として見やすい事から、まずは両地区の全ウィグラー電磁石 (約 150 台) の

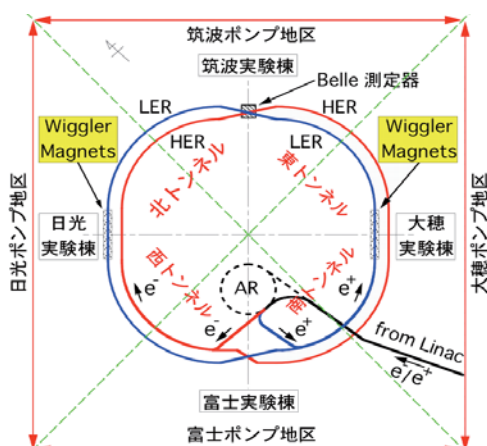


図4：KEKB電磁石冷却水エリア区分

冷却水管に温度計を取り付け、水温モニタリングを開始した(図5)。また、偏向電磁石に於いても全数モニタリングを行ないたい所だが、予算と時間の都合で、大穂地区 arc 部の一部(HER 14 台, LER 12 台)にだけ温度計を取り付けた。

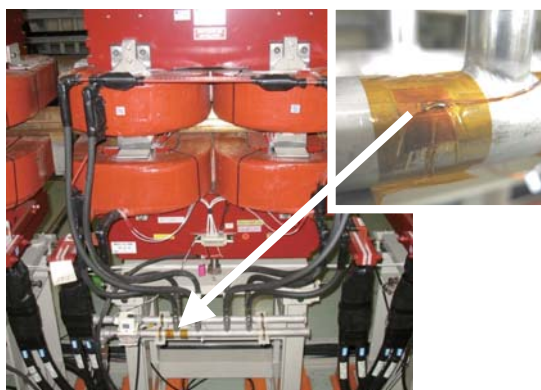


図5：ウィグラー電磁石と温度計の取り付け場所

2.3 インターロックの予測

電磁石入側と出側の冷却水温度の差 ΔT [°C]は、電磁石の発熱量を U [kW]、冷却水量 q [liter/sec]とすると、

$$\Delta T = U / 4.2q$$

で表される^[3]。KEKB 加速器の現在の運転状況では、ウィグラー電磁石の場合 $U \sim 12$ 、HER 偏向電磁石の場合 $U \sim 5$ である。これを用いて、冷却水量と温度上昇 ΔT の関係を図6と図7に示す。

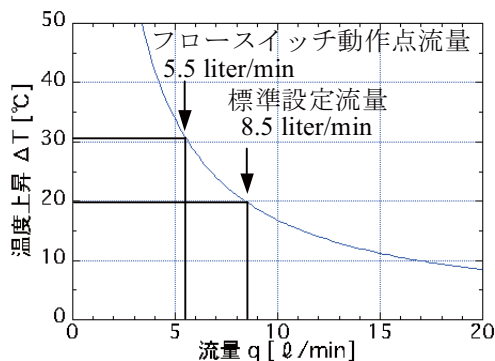


図6：ウィグラー電磁石での温度上昇

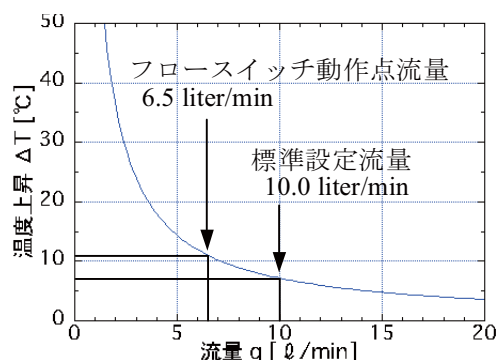


図7：HER 偏向電磁石での温度上昇

電磁石出側の温度をモニタする事により、 ΔT の異常上昇、つまり流量低下を発見する事が出来る。 ΔT の上昇があった場合、その上昇スピードによっては、二週間に一度の加速器保守日まで待つて流量調整(トンネル内アクセスが必要)する事も出来る。上昇スピードが大きい場合にはビーム運転を止めて流量調整する必要があるが、この調整は電磁石を通电したままで行なえるので、加速器のダウンタイムとしては、前触れなしにフロースイッチが動作し電磁石電源が遮断される場合に比べて短い、というメリットがある。電磁石電源が遮断された場合には、流量調整の後に更に電磁石を初期化するプロセスが必要になるからである。特に偏向電磁石電源が遮断された場合には、初期化の後に光学補正を行なわないと加速器の性能が回復しない場合が多い^[2]。

ΔT の異常上昇が察知出来る様に、例えばウィグラー電磁石の場合、 $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ でアラームを出して、注意を喚起するように設定している。

3. 観測事例

3.1 ウィグラー電磁石での水温上昇

温度計設置後、現在に至るまで、図8に示すような水温の異常上昇が何度か観測されている。

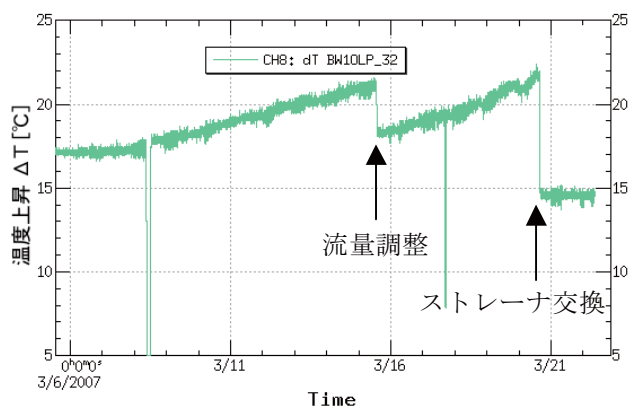


図8：ウィグラー電磁石での水温上昇例
縦軸は入側と出側の温度の差

この例では、冷却水の流量を調整する事により、水温は一時低下しているが、流量低下を招いた異物を取り除いた訳ではないので、また上昇を開始している。汚れたストレーナを交換する事により、水温

上昇は停止した。因みに、図 8 の ΔT が元々 17°C だったのは、そもそもの流量が標準流量よりも多かったためである。 ΔT の値が低めでも上昇傾向が出始めたら注意が必要で、タイミングを測って流量調整を行なっている。

3.2 偏向電磁石での水温上昇

前章の図 6, 7 から分かるように、偏向電磁石での水温上昇はウィグラー電磁石に比べると小さい。しかしながら流量の変化を ΔT の変化で見る事は、ウィグラー同様に可能である。図 9 の HER の偏向電磁石の例では、わずかながら上昇傾向が見られた事から、冷却水の流量調整を行なっている。調整後 ΔT は前に比べて安定したように見える。

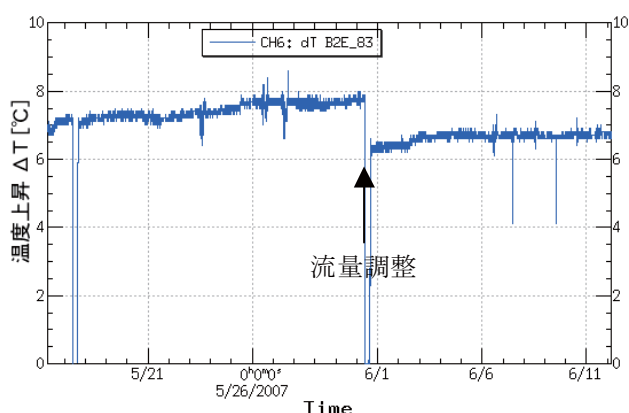


図 9 : HER 偏向電磁石での水温上昇例

4. まとめ+補足

このシステム導入後、冷却水温度上昇が観測された際には、その都度、バルブ調整、あるいはストレーナ交換による冷却水流量増加の処置を行ない、流量低下のインターロックを未然に防ぐ事が出来ている。

しかし、何らかの原因で冷却水量が一時的に急減し、水温の変化を観測する前にインターロックが作動してしまう事態が、日光地区にて何度か発生した。全冷却水流量は常時モニタされているが、サンプリングの間隔が荒く（5 秒）、この急減は記録されていない。よって数秒程度の変動と思われる。この短時間の冷却水変動によるインターロックを回避するため、インターロック判定時間の見直し（初期設定は 2 秒間）の検討を行なった。

mag.	$dT[^{\circ}\text{C}] / dt[\text{sec}]$
HER Bend	0.01973
LER Bend	0.089191
LER Q.rf	0.20444
Wiggler	0.044528
HER Q.rf	0.20444

表 1 : 電磁石コイルの温度上昇率（冷却水無し）

表 1 に冷却水が無い場合の電磁石コイル温度上昇率の計算値を示す（抜粋）。これを見ると、最も上昇率の高い電磁石（Qrf）でも、 20°C 上昇するのに 100 秒かかる事が分かる。また実際にウィグラー電磁石を用いて、冷却水停止後、電磁石の各部分の温度がどのように上昇するかをテストした（図 10）。

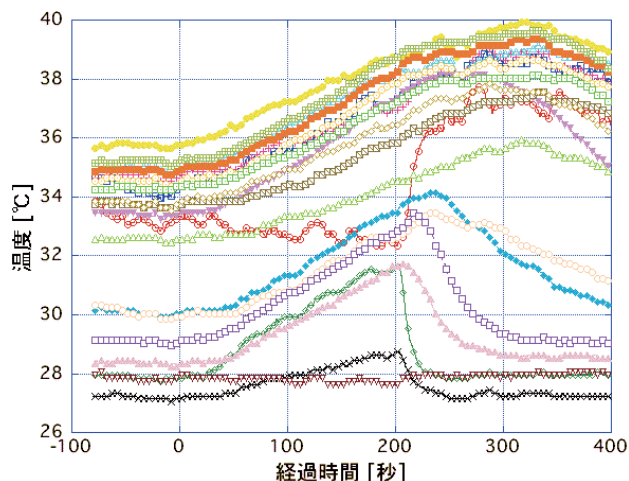


図 10 : ウィグラー電磁石各部の温度上昇

冷却水停止後 30 秒間で、温度上昇は最大で 1°C 程度。よって判定時間を増やしても電磁石の発熱量は問題ないと判断され、時間を 21 秒に延ばした。結果、この一時的冷却水量変動によるインターロックは無くなった。

謝辞

本システムの構築に当たり、ソフトウェア作成を担当していただいた KEK の飛山真理氏、またハードウェアに関して助言をいただいた同じく KEK の有永三洋氏に、深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 大澤 康伸, et al., “KEKB 電磁石冷却水の現状”, 第 4 回 加速器学会年会プロシーディングス
- [2] 大久保 孝将, et al., “電磁石冷却水システムにおける不純物問題”, 第 4 回 加速器学会年会プロシーディングス
- [3] 遠藤 有聲, et al., “OHO '97 : 高エネルギー加速器セミナー”