

DECREASE IN FLOW RATE OF COOLING WATER FOR DTQ AND ITS MEASURES

ITO Takahi^{1,A)}, NANMO Kesao^{B)}

A) J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency

2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195

B) KEK

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

Abstract (英語)

After summer maintenance of 2009, we had trouble of decrease in flow rate of cooling water for DTQ. Once the alarm of flow switch is ON during the beam operation, the beam operation is forced to stop more than two hours. We must avoid this situation because the users is robbed of time to do experiment. We investigated the cause of decrease in flow rate of cooling water and solved this problem. In this paper, the investigation of the decrease in flow rate of cooling water and its measures are reported.

DTQ用冷却水の流量低下とその対策

1. はじめに

2009年7月から9月にかけてJ-PARCリニアック部において行われた夏季メンテナンス以降、ドリフトチューブ型リニアック (DTL) に内蔵されている四重極電磁石 (DTQ) 用流量計のインターロックが発報するという状況が頻繁に発生した。流量を規定値に調整しても早い時は数日後に再び発報するという状態で、ビーム加速のスケジュールにも影響を及ぼす状況となった。原因究明とともに行ってきた流量低下に対する対策が功を奏し、約一カ月間に渡るビーム加速期間中にDTQ用流量計の流量低下によるインターロック警報が発報することはなくなった。

本稿では、この一年間に行ってきた冷却水流量低下に対する原因究明とその対策について詳述する。

2. 冷却水系統

DTL空洞への冷却水は、大別してRI3系 (鉄系) と RI4系 (非鉄系) と呼ばれる2系統が存在する。RI3系は空洞本体及び端板を流れる冷却水で、機器部での流路が鉄になっている系統である。RI4系は鉄を含まない機器を流れる冷却系であり、ドリフトチューブやDTQなどの冷却系である。流路はSUS、銅、又はセラミックになっている。図1にRI4系の冷却水系統概略図を示す。バッファータンクの冷却水はポンプにより機器側に送り出される。冷却水は温調されバッファータンクに戻る。機器へ供給する系統の他、純水精製系や脱酸素系への分岐の系統も存在する。また図では機器への流路は1系統だけであるが、実際にはポンプを通ったのち、加速器上流側及び下流側への二系統に分岐している。

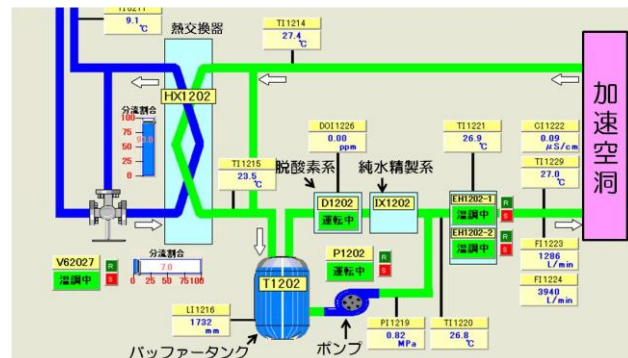


図1. RI4系概略図

図2に加速器機器部の冷却系統概略図を示す。ユーティリティ側之母管から供給される冷却水は、初めに機器側ヘッダーに導入され、ヘッダーから各機器近辺に設置されたサブヘッダーへ、さらにサブヘッダーから各加速器機器へと供給される。各機器への冷却水流路には個別の流量計が取り付けられており、冷却水流量がインターロック設定値を下回ると発報し、それぞれに関係する機器を停止すると同時にビーム加速時にはビームが停止する。

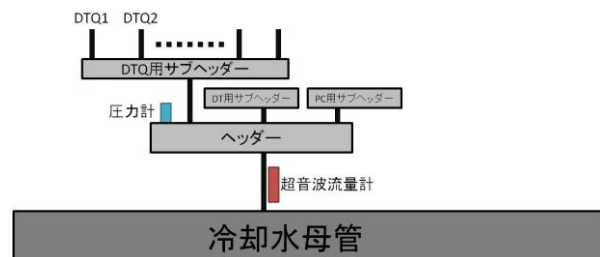


図2. 加速器機器部冷却系統概略図

¹ E-mail: itou.takashi@jaca.go.jp

3. 流量低下問題

毎年、夏季メンテナンス時には加速器機器のメンテナンスの他、電気系や冷却水系といったユーティリティー関係のメンテナンスも同時に行われる。2009年の夏季メンテナンスでも7月の約一カ月間を掛け、冷却塔清掃やポンプの分解点検などの冷却水系のメンテナンスが行われた。

DTQ用冷却水低下の問題はメンテナンス後の再通水時に発生した。再通水後、冷却水の流量調整を何度行っても数日のうちに流量が低下し、DTQ用流量計のうち数台でインターロック設定下限値を下回り、といったことが繰り返された。これまでの経験上、冷却水を短期間停止する場合、再通水後一日程度は多少流量変動するもののその後安定した。また2008年以前の長期停止時（夏季メンテナンス時）は短期停止時と同様で、流量は数日後には安定していた。

その後も各個別の系統の調査や流量の調整を繰り返したものの流量低下現象は収まらなかった。

流量の減少はRI4系全体で発生していたが、その傾向が最も顕著に表れたのがRI4系末端部に位置するDTL部への冷却水であった。その中でもDTQ用流量計の減少傾向が激しく、流量が4割以上減少する流量計もあり（1.0L/min → 0.6L/min）、流量低により発報することとなった。

4. 原因調査

9月末からの運転開始までに問題を解決すべく、原因の調査を行った。以下に当初想定された原因について述べる。

4.1 冷却水用ポンプ不調

夏季メンテナンス時、RI4系用冷却水ポンプの分解点検を行っている。ポンプ再組み立て直後の運転に異常は見られなかったが、分解から再組み立てまでの作業のどこかで不備があった、或いは交換部品の不良などによりなにかの異常が発生していることを疑った。しかしながら、夏季メンテナンスの前後において冷却水吐出圧力、冷却水流量をはじめとした計測値には違いが見られずポンプの不調を疑わせるようなデータは得られなかった。

4.2 空気溜まりによる流量変動

次に疑ったのが冷却水母管内に空気溜まりができ、その空気が冷却水運転中に不規則に抜けることにより機器側の流量が変化したのではないかと考えた。

夏季メンテナンス時に加速器機器のメンテナンスとは別に加速器増強に向けた作業を行っていた。その作業の一つとして、母管に備え付けられた既存の冷却水用バルブが干渉するため、RI4系の冷却水を母管内から抜いた後、バルブの向きを変更していたのである。作業終了後は冷却水を母管内に満たした後通水を行ったのだが、このとき大きな空気溜まりができ、それが原因で冷却水流量が変動したことが考えられた。

図3に母管空気溜まりの概略図と空気抜きフランジ部の写真を示す。図の空気溜まりがある母管は加速器増強時に用いる系統（RI5系）の母管である。加速器増強までの間、デバンチャー空洞に冷却水を供給する経路として一時的に利用しているため現状では冷却水の流れる向きが一部逆になっている。また、本来の流路を分断しRI4系と接続している。このため、母管に水を満たす際本来なら空気溜まりのできない部分に大きな空気溜まりができ、通水開始後も空気が抜けることなく留まることとなった。

この対策として、RI4系との接続部分に空気抜きを設けたフランジを別途取り付け（写真）。母管に冷却水を満たす時、及び運転後に機器側から出てくる空気をこの部分から抜くためである。この対策の後冷却水の運転を再開し、様子を観察したものの流量低下現象は収まらなかった。

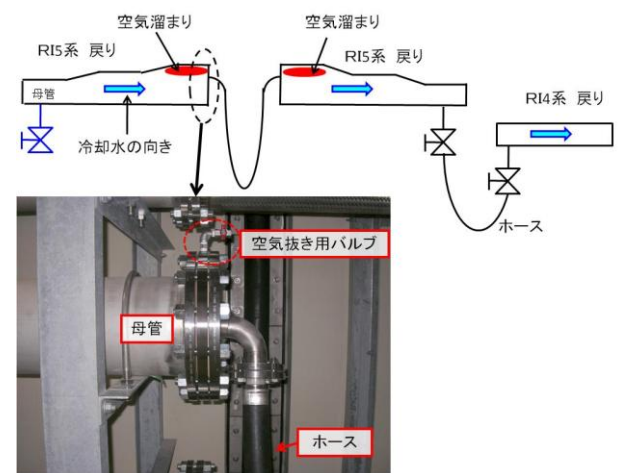


図3. 空気溜まり部概略図及びフランジ写真

図4に2009年9月から12月までの冷却水流量を示す。右端から左端まで続いている2本のグラフがRI4系の上流行きと下流行きの流量である。9月末までは流量の変化が激しく、グラフがのこぎりの刃のようになっている。これは流量が低下したら調整する、ということを繰り返したためである。10月以降については次項で述べる。

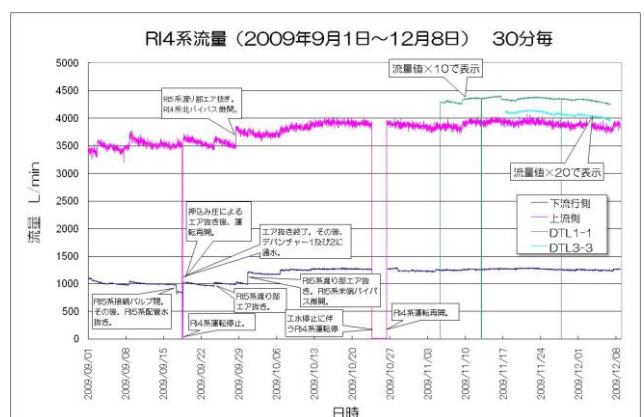


図4. RI4系冷却水流量

5. 原因の判明及び対策

夏季メンテナンス期間中には残念ながら原因の特定はできなかった。以下に9月末のビーム運転開始時以降の調査から原因特定、その対策までを述べる。

5.1 初期対策

4項で述べた調査の後、RI4系及びRI5系の末端のバイパス弁を開くとともに、DTQへの流量を2割増し(1.0L/min → 1.2L/min)とした。これは、以前別の冷却水システムで流量を増やした時にそのシステムの流量低下が収まった経験があったからである。この対策はある程度の効果があった。10月以降のRI4系の流量の現象の割合が9月末までと比較して穏やかになっている様子がわかる(図4参照)。

5.2 原因の判明

11月からはヘッダー及び個別のDTQへ流量計を数個追加し、常時流量を監視することとした。図4の11月頃から現れている線はDTL1-1及びDTL3-3のヘッダー流量を表すグラフである(RI4系上流行きと比較しやすいよう、それぞれ×10、×20倍している)。RI4系北側全体の流量と同期して流量が変化しているのがわかる。

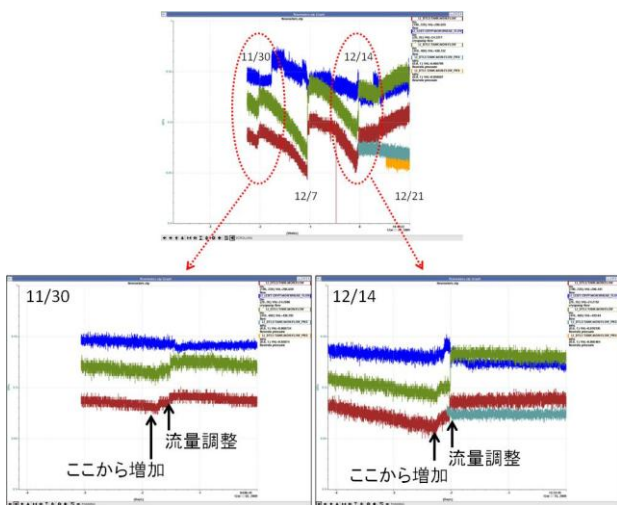


図5. 機器ヘッダー部の冷却水流量

図5上図は追加した流量計及び圧力計(期間途中から測定)の測定データである。流量低下 → 調整、を繰り返しているのがよくわかる。

流量減少の原因が特定できたのはこの測定からであった。図5下図は上図を拡大したもので、流量調整時近辺のグラフである。それぞれ異なる日付のグラフであるが、両方とも二段階で流量が増えていることがわかる。問題は一段目の流量上昇で、この時間帯は加速器トンネル(加速器設置場所)は入室禁止であり、機器側が原因で流量が増えることはあり得ない。そこで冷却水システムの作業をしたのか確認したところ、両日ともに図1のバッファータンクに冷却水を追加したことが確認できた。

この後、時間を決めバッファータンクに冷却水を追加する作業を行った。その結果、冷却水を追加すると一定期間流量が上昇し、バッファータンク水位が下がるにつれ流量が減る減少が観測された。つまり、バッファータンクの水位がDTQの流量に影響を与えていたことが判明した。

また、バッファータンクの水位が減るということはどこかで冷却水が漏れているのではないかと心配したが、脱酸素系の運転中には常に冷却水を1L/h程度排水している、とのことであった。

5.3 流量減少への対策

流量減少への対策は単純で、バッファータンクの水位を上限値と下限値の間で管理してもらうようにした。これにより現在では約一ヶ月間のビーム供用運転中に冷却水の流量調整を行う必要はなくなっている。ちなみに、本対策以前はボイラー点検の時のみ冷却水を供給しており、特に下限値の管理はしていなかった。

2009年夏季メンテナンス以降、流量減少の症状が顕著になった理由としては、RI4系に空気溜まりができてその影響を受けたのだと思われる。空気溜まりがあるとその冷却水システムの圧力バランスが崩れ、流量が安定しないことは機器個別の部分でも経験したことであり、今回は母管そのものに大きな空気溜まりができたためRI4系という冷却系全体、特に圧損の大きいDTQの冷却系に影響が出たのだと推測している。

また、バッファータンクの水位と流量の関係は2010年8月～9月にかけて取得予定である。本来ならすぐにでもデータ取得を開始したかったのだが、水位を低下させた場合、ビーム供用運転を停止する可能性があるためこの時期まで延期していたものである。これにより有用なデータが得られることを期待している。

6. まとめ

2009年夏季メンテナンス以降、加速器空洞への冷却水流量が低下する現象が発生した。原因究明を行い、流量の低下は冷却水設備にあるバッファータンクの水位の減少に起因することを突き止め、その対策として、バッファータンク水位を管理することとした。その結果、約一カ月に及ぶビーム供用運転中には冷却水流量を調整する必要はなくなり、運転スケジュールに支障をきたす事態を避けることができた。

7. 謝辞

冷却水流量減少の原因究明、対策に共に尽力して頂いた冷却水Grのメンバーに対し心からの御礼を申し上げます。