

[09-A01]

The influence of long term operation in the parts of Linac Water Cooling system

S.Takahashi, M.Oyamada, A.Kurihara, Y.Shibasaki

Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University

1-2-1 Mikamine, Taihakuku, Sendai 982-0826

Abstract

We had reconstructed new water piping for beam transport line to the STB ring at the 2nd Magnet room in July 1996. This room is activated by gamma Ray due to electron beam loss over 32 years. Therefore, many components of water cooling system have been damaged by the radiation. We describe some attention which we paid for the rebuild work, the present status is also shown.

ライナック冷却系部品の長期運転使用による影響

1. はじめに

’96. 7頃 STB リングの建設に伴う入射ビームコースの変更による移設工事がライナック直進部終端である第2電磁石室で行われた。この場所におけるビームパラメータは200MeV以上、100mAピーク電流(設計値)、Duty Factor 0.9/1000の電子線照射によるγ線が発生し残留放射線が最大(150μSv/h)となる。今まで故障が多く修理交換作業が放射線被曝の点から対処が困難な場所である。この報告では前半では第2電磁石室の冷却系移設工事について後半はライナック冷却系全体

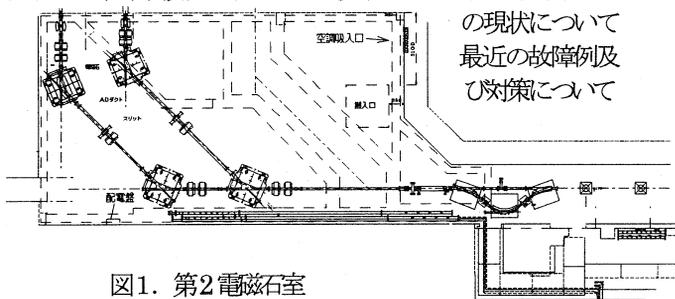


図1. 第2電磁石室

述べる。

変更工事が行われた水系はBF (Beam duct Focus coil の略)系で純水(1μS/cm程度)が循環している。圧力6.5kg/cm²、全循環水量は1.3Ton/min、水温は26±1°Cである。

2. 冷却系新設にあたっての留意点

①配管経路の見直し。

第2電磁石室の冷却経路を新2系新3系は殆ど同じ配管抵抗の負荷が並んでいるため配管部品点数、工数を少なくする目的で並列給水することになった。ECS部取りヘッダーとし

放射線量の少ない配管室の壁面に取り付けた。

②新3系スリットSD3に鉛パッキンを使わない。

内部シール材として鉛パッキンを使用していたが15年目あたりから水漏れが始まった。原因は鉛のある成分が純水に溶け出すためであると考え。交換時の機器の分解、パッキン交換、再組み立て、水圧テストに修理時間がゆかり被曝量が多くなるので更新がせまられていた。純水は金属を溶かす性質があるので異種金属 (OFHC と SUS) の介在する部分は大气側で溶接してあり真空側は一体構造である。旧型は水ジャケットの先端にスパイラル状のフィンが付いてあり乱流を得ようとしたものであると思うが調べてみると溶接されていたフィン部分がなくなっていた。他のスリットでも同じ状況である。新型はフィンをつけていない。また、ヘッドがX軸方向に片側で50mm可動するため接続配管はSUSフレキ管を使用しているが取り付け方向が違っていた。またフレキ配管口径が大きく重いので駆動モータに負担がゆかっていたことが弊り、口径をφ35からφ22と小さくして駆動し易くした。流量は片側で30L/minである。Rcネジにテフロンシールテープを巻いた接続をなくした。新コリメータを前方に設置しスリットの負担を軽くしてある。

③配管部品の直接被曝を避ける。

旧型の配管部品配置はビームコースが見える位置だったのでフラッシュ式流量計のガラスの部分が放射線損傷により黒化し、また中のフラッシュや支柱も溶けだして計測不能になっていた。核理研で一番放射線が汚染場所なので極力、作業被曝がないようにするため流量計、ノズルなどが直接放射線に曝されないよう両スリットからできるだけ離して電磁石の陰の位置に

し、ピットの中に入れ損傷を受けにくい場所を選定した。重コンクリート設置案もあったが放射化の問題で止めた。ECS水系の改造についても残留放射線が強く(100 μ Sv/h)、また設置空間がないためヘッダを配管室に設置した。流量確認やバルブ操作が非常に簡単になった。

④ 安価に仕上げる。

殆ど汎用品である。配管材質はヘッダが SUS 製、パッキンは従来から使用しているアルミ波型パッキン、細管路はミリサイズ銅管、バルブは市販の黄銅製、エルボやティーはピット内では黄銅製食い込み継ぎ手を使用。コリメータ、スリット、アルミ真空ダクト周りの継ぎ手は SUS 製の Sweagelock を使用した。極力、溶接継ぎ手は使わなかった。細管路の経路はなるべく既設ピット内に配置しメンテナンスの邪魔にならないよう工夫した。旧ヘッダは一部使用し残材は周辺ピットに入れて廃棄物を出さないようにした。

⑤ 脱着可能な水ジャケット

新 3 系真空ダクトはアルミ A5052 製で水ジャケット部が簡単に交換できるようネジで分離できるようになっている。このダクトには 10 ϕ 100L のアルミ水管が溶接してあり折れやすいので取り扱いには注意を要する。アルミ水管部と SUS 配管は Sweagelock で接続した。

⑥ 問題点

コリメータと銅管の接続設計ミスにより Rc ネジになってしまった。流量計の材質にはゴムパッキン、硬質ガラスが使われているので、ある時期交換が必要である。フロー SW がついていない。仕様を満足する製品は高価なので還り銅管に Pt センサー等を付けて温度から ΔT を判断する方法や被冷却機器で複数のサーモスタットを付ける方法などが考えられる。被冷却機器の温度が解らない。(還り管の温度が解らない) 真空ダクト用アルミ製水ジャケットの交換部品がない。

3. 放射線下における冷却部品について

パッキン: SUS ヘッダには汎用品であるアルミ波型パッキンを使用している。第 1 実験室、第 1 電磁石室建設時のままなので全数交換が必要である。その他、グラファイト (S TBヘッダ)、冷却部品には球鉛 (スリット配管)、NBR (流量計) 等を使用している。

細管: 本体室、第 1、第 2 電磁石室、配管室では SUS、銅、アルミ、SUS フレキ、シンフレックス、高圧ゴムホース (A1 集束コイル)、サイズではミリ、インチ混在している。まだ、多くの部分では銅管が使用されていて放射線により硬化しているが細管そのものからの水漏れは生じない。加速管モード変換器冷却管の接続としてシンフレックス管を一部使用しているが 3 年程度で硬化し割れやすくなるので緊急時以外は使用しない。金属配管に交換する予定。クライストロン室では 10 年以上使用しているが問題はない。純水系の濃度維持のため配管の樹脂被覆は初期計画が必要である。

接続: 建設時と同じ管同士はミリサイズ銅管でハンダ溶接接続である。被冷却機器やヘッダとは Rc ネジとフレア接続である。修理箇所や新規部分は食い込み継ぎ手による接続が主流でヘッダとは Rc ネジで対処している。銀ロー溶接は配管内面を汚すので行わない。

4. ライナック冷却系のその他の現状

① 加速管水系: 微振動によるビーム電流への影響を調査する必要がある。高流速 (7 m/sec) の水系なのでパドル型フロー SW (スイッチ) を採用しているが圧力仕様ができていない。渦流量計を検討したい。現在 SW (スイッチ) の接点を個別に PLC に入力しているので故障箇所の特定が簡単になった。又、電圧も AC 200V から DC 24V に変更した。保温されていない部分があるので室温による影響を調査する必要がある。ドレインバルブからの水漏れがあり全数交換

② 導波管水系: A 部加速管入力部モード変換器の両側に冷却管を取り付けてある。今年 3 月に初段部である A1A2 に取り付けた。RF 入力 ON-OFF 時の温度変化は 3°C である。故障例としては本体室にある狭い場所のハンダ付け部の水漏れがあった。同様な箇所が 11 箇所あるので交換する必要がある。また、図 2 に示す導波管水ジャケットと銅管接続用部品で銀ロー溶接部が両側にあるため溶接不良箇所が純水との相互作用により水漏れを起こし、再溶接した。純度は 1 μ S/cm 以下、ライナックでは一番きれいな水が循環しているので建

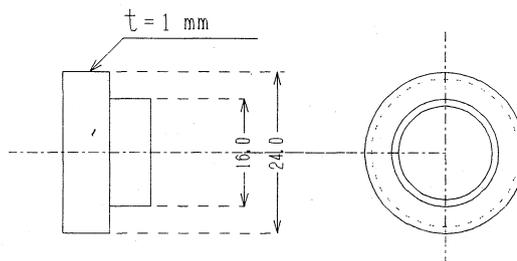


図 2. 導波管配管接続部品

建設時のフロー SW を現在も使用している。クライストロン室の温度が 20°C なので導波管との温度差 $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ となるため簡易な水道用保温材を巻いている。

③ 冷水系: 冷水器の吐出設定温度を 10°C から 9°C に変更した。夏季、フルパワー運転で設定温度の維持が難しい。故障例は、冷水器のタワー水管の鋳鉄製ストレーナのカバー部のピンホールによる水漏れが約 3 年毎に 3 回あった。厚いカバーと交換。厳冬期には冷水器を停止して省エネ運転を検討したい。

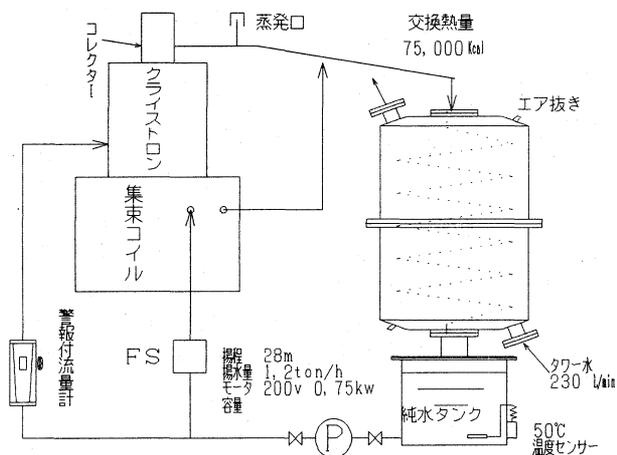
④ 冷却塔水系: タワーファン ON-OFF サーモのセンサーをタワー内の水中に移設し供給水温の安定化 ($2.4 \pm 2^\circ\text{C}$) を図った。タワー内は定期的に清掃ドレインして濃縮を防いでいる。付近環境のため薬品の使用はしていない。濃縮運転を避けるため水質計を付けて管理をする必要がある。冷却塔水系には外気粉塵の影響を防ぐため密閉型冷却塔の設置が望まれる。又既設往還ヘッダにも配管の半分程度蓄積している。施設予算では対処が困難である。最近の故障例としては鋳鉄製往還ヘッダ溶接部からの水漏れがある。原因は錆による侵食であり更新した。

パルサー冷却系: 鉄製の細管路お泥、サビ、コブにより閉塞されていて流量確認が困難である。別水系に分離するか油冷却方式など循環方法を検討する必要がある。

VAPODINE (クライストロン蒸発冷却装置): クライストロンコレクタ等の各部を冷却するため 50°C 以下の純水を循環しているがタワー水と熱交換させるため流速の低い交換

器内に泥が蓄積し、またタワー水が純水系に漏れて伝熱阻害を生じている。原因究明中。その他、熱交換器鉄製容器が錆びにより肉厚が薄くなり水漏れが多発している。設備更新を

図3. VAPODINE 蒸発冷却装置



予定している。対策としてプレート熱交換器にする。：泥が附着しないよう交換器内のタワー水の流速を上げる。フィルターをつける。：1次2次側共、異物が循環しないように脱着の容易なフィルターをつける。ポンプを更新する。：現用のものシャフトやシールの摩擦により水漏れが多発している。メカニカルシール型のポンプに更新したい。設置空間を少なくする。：クライストロン室空間の有効利用を図る。移動可能な構造にするため軽量化も必要。濃縮防止の措置を講ずる。：水質計の設置による管理

⑤制御動力電源系：インターロックの整備、PLC接続も部分的に進めている。マシン停止時間を長く取れない理由による。電磁誘磁器の劣化も進んでいる。

水位検出器の更新：連通管をタンクに付けてこのアクリルパイプに静電容量型のセンサーを取り付けた。冷却水と直接接触しないことや水位を外側から点検できるので便利である。

故障表示装置：プログラムがBASIC言語で書かれており現行のパソコン仕様と合わなくなってきた。多点記録計が導入されてから各部の温度や純水製造機運転状態等が制御室で監視でき、また記録してあるので故障早期発見や保守に役立っている。ライナック自動運転調整のためにこの冷却系各部のデータが有効になると思われる。

5. まとめ

冷却水系は加速器を運転する上で基本となる部分である。一度故障した箇所については原因の究明と対策にあると思われる。長期間の運転に耐えうる冷却系部品の条件を上げると故障しない構造：部品の材質、耐放射線性、可動部のない構造、故障させない場所：使用環境を汚さない。残留放射線の低減ためビームロスモニターやプロファイルモニターを設置し系を汚さないビーム調整や運転の実施。アルミ真空ダクトや効果的なシールド、ビームコースから離す。必要時以外は間引き運転、調整時間の短縮、故障させない使い方：部品の選定にあたっては被冷却部の構造

温度、圧力、水量、水質、流速、配管口径、配管（接液部）材質、機械的電気的接続方式、保守の容易さ等仕様を満足させるものであること。工事後の継ぎ手の閉め忘れ、逆流の防止、バルブの開閉や流量確認、インターロックがついていない機器は注意を要する。

RECOVERが容易である：交換作業を簡単にする空間が必要、各種センサーを配管内に入れられない（接液しない）構造である。特殊工具や部品なしで1人で短時間に交換できる。修理箇所の記録を取る。管理移管の電源、電磁石などはその経歴や冷却部構造を調査しておく。

信頼性がある：流量計等測定範囲や使用圧力範囲が広く測定情報が正確（FSの1%程度）で現場、遠隔でも確認できる。安価である：放射線線下でも使用可能なものは高価なものが多い。使用箇所が多いので価格も重要である。

重量が軽く小さいもの：放射線シールドが作りやすい。ハンドリングが楽である。

多様な観点からの意見交換が重要である：スタッフ間の意思疎通の欠けによるポカミスや事故の防止、新製品新技術の導入。

修理、交換、更新を重ねながら32年間運転移動してきたが、冷却系として約20年目当たりが経年変化による水漏れなどが多かったように思う。建設時の部品を全て更新する事はできないので優先順位の高いものから部分的に進めている。冷却塔水系などは抜本的な見直しが急務である。冷却系の機器の更新や故障予防のための対策費はLINACの運転やビーム性能に著しい悪影響があると解明されるまで予算が付きにくい。第2のマシン水没事故が起きない様にセンサー等の充実を図り、安定で確実なマシンの運転に寄与したいと思っている。第2実験室に設置されたSTBリングの冷却系はこれまでの経験や他研究所技術者の方々のアドバイスを参考に建設された。

謝辞

以上に述べた報告は以下に述べるの方々のご協力によるもので深く感謝いたします。（順不同）

KEK 施設部

三菱電機株式会社 溝端正隆
株式会社三益 松田一衛

参考文献

- 1) S.Urasawa et al, "Present status of the TOHOKU Linac" Proc. 23rd this meeting.1998p10.
- 2) S.Urasawa et al, "Present status of the TOHOKU Linac" Proc. 21st this meeting.1996.p15.
- 3) K.Masumoto et al, "Characteristics of Radiation Fields of a High-Power Electron Linear Accelerator and Radiation Safety of the Working Environment" Proc. 21st this meeting.1996p135.
- 4) S.Takahashi et al, "Present Status of the Cooling System at Tohoku Linac" Proc. 17th this meeting.1992p255.
- 5) S.Takahashi et al, "Water Control System For Cooling Tower" Proc. 15th this meeting.1990p187.
- 6) S.Takahashi et al, "Improvement of the Cooling System at Tohoku Linac" Proc. 14th this meeting.1989p325.