

# 電子ライナック冷却系のメンテナンスについて

高橋重伸

東北大学大学院理学研究科 附属原子核理学研究施設

## 概要

電子ライナックは原子核の研究、STB リングの入射用、200MeV パルス実験、RI 製造など多目的実験を行っている。その性能は、加速エネルギー、取り出しビーム電流について、1系は 15~65MeV、150  $\mu$ A、2、3系では 100~220MeV、10  $\mu$ A、パルス繰り返し 300pps、最大 Duty Factor は 0.1% である。

冷却系は、ライナックの安定運転のために、ON-OFF 時の熱負荷変動あるいは気象条件の温度変化があっても、それぞれの熱負荷をある一定温度に冷却保持する必要がある。冷却設備は 37 年間にわたる放射線損傷、冷却水の汚れ、腐食やヒートサイクルに耐えて現在でも運転を行っている。近年は末期故障でもある水漏れが多発している。本報告では、各水系の特徴、メンテナンス状況、最近の故障例及びその対策（番号で示す。）について述べる。図 1 に冷却系の系統図を示す。

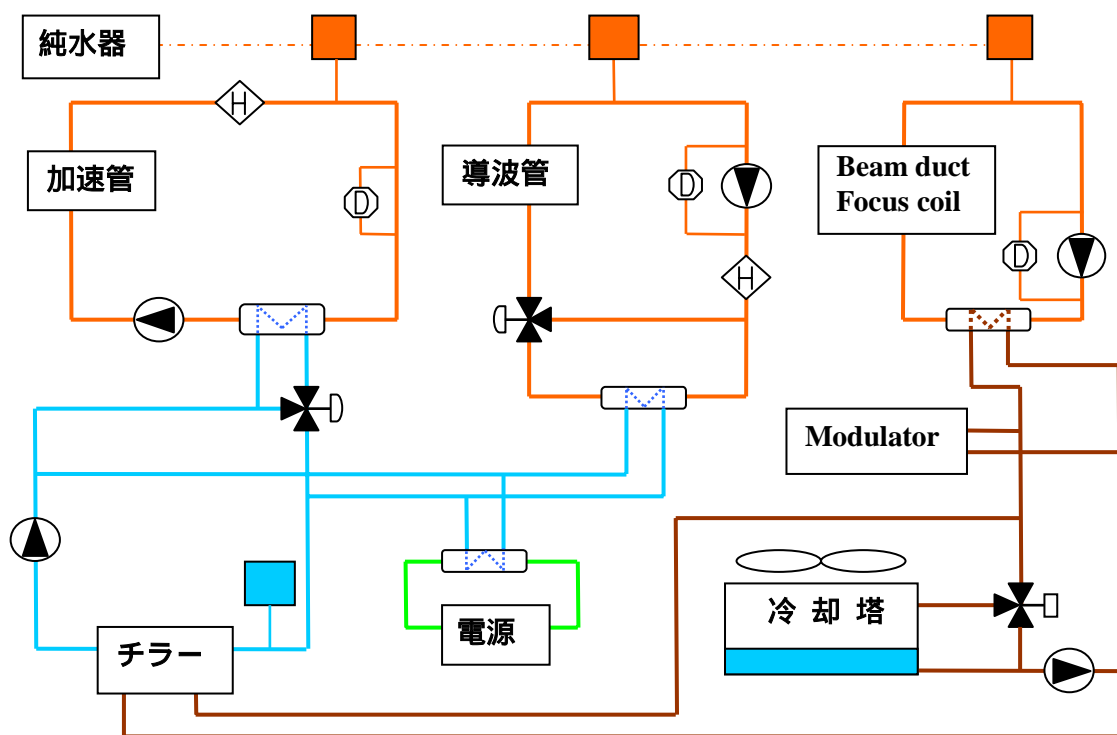


図 1 Linac 冷却系

## 1 純水温度調節系

加速管水系、導波管水系のことで、水温  $40 \pm 0.1$ 、循環水導電率は  $1 \sim 2 \mu$ S/cm である。高周波電力伝送損失の発熱除去、温度変化による位相変動防止のために微細温度調節が必要である。

### 1.1 加速管系

21本の加速管にそれぞれ60L/minを循環する。圧力は1MPaである。ポンプは10年前にメカニカルシール部からの水漏れにより同型式のポンプに更新した。同時期に吐き出し電動バルブに変更し、ポンプ起動・停止と同期して開閉するようにしてある。フロート式流量計は20年前から、A3加速管にのみテスト用として2個付いているが、硬質ガラス部が黒くなり、NBRゴムパッキンも劣化して水漏れが始まっている。放射線損傷を受けているので、将来は離れた場所に渦流量計を取り付けたいと考えている。

Honey-Well社のパドル式フロースイッチ(FS4J-1)を使用しているが、パドル部が高流速水の振動により、年3~4個程度、パドル部が破損していたため、パドルを2枚重ねにして改造して使用していた。数年前から、硬めのパドルに変更された為に、現在は購入時のまま使用している。

## 1.2 導波管(WG)系

圧力0.35MPa、総流量300L/minである。矩形導波管に溶接されている水ジャケット部のみを循環するので構造がシンプルであり、純水の劣化が少ない。しかし、この4~5年は水漏れが非常に多い。原因は導波管水ジャケットのフレア溶接部分におけるハンダ材の溶け出しによるものである。修理作業が簡単である場所はSwagelokによる接続あるいは銀口-溶接を施すが、狭い場所や、真空保持されている導波管の脱着や真空引き作業など手間がかかる場所は、仮修理として、銅管あるいはシンフレクスチューブによりバイパス管をつけている。しかし、放射線量が高い場所のシンフレクスチューブは2年程度で交換が必要である。導波管ポンプは2001年、メカニカルシール部の水漏れにより同形式のポンプに更新した。オリフィス型フロースイッチは当初のものを現在も使用している。故障例としては、

フロースイッチを殺したまま、デミネライザ部修理のためにバルブを閉じて昇温運転を開始した。デミネ部流量計のアクリル部分が水温上昇により溶融し、破損した。

## 2 純水粗温度調節系

### 2.1 BF系(Beam-duct・Focus-coilの略)水系

20~30±1.5、圧力0.7Mpa、循環水導電率1~2μS/cmである。水質の劣化を防ぐ為にデミネライザが装備されていて、総循環水量の3%程度を分流している。BF水系は、Linac本体室や各実験室内を網目のように配管されていて、真空ダクト、分析スリット、各系偏向電磁石、集束コイル及び第1、第2実験室の熱負荷を冷却する。どの水系よりも配管経路が長く、放射線損傷による影響も多い、また系内も汚れ易い。そのために冷却水の導電率の管理は重要である。第1実験室でのRI製造に使用されるポートの冷却のように、直接ビームが照射され、水系内を汚染する場合には、BF水系から分離し、別水系にしている。16年前に、アルミ真空ダクトにアルミ製の水ジャケットをネジ取り付けしてあるが、ここからの水漏れはない。

初段加速管A1の集束コイル用ゴム製水ジャケットからの水漏れは定期的に起こる。編組材入りのU字型高圧ゴムホースだが、Gun側に戻ってくる放射線の影響により2~3年程度で亀裂が入る。セラミック付き銅管に更新予定、接続方法を検討中である。

スリットは30L/minを通水しているが、この銅製ヘッドから真空側に水が染み出し、圧力の関係で、凍結凝固する。対策は、水抜き後ヘッド内の水をドライヤー等で追い出してからリークテストを行う。原因はヘッド部の溶接不良と思われる。また、スリットのフレキシブル接続配管には3mm厚の円形鉛板パッキンが2箇所(1ヘッドあたり)使用されており、純水により鉛が侵食され、2年程度で水漏れが起こる。残留放射線が非常に強いいため、改造しにくい箇所であった。鉛パッキンを使用しない配管にする予定である。スリットの配管接続に使用しているテフロン・シールテープは粉状に材質が変化し、シール効果が低下する。高線量の場所では、全金属性にするか、TIG溶接にする対策が必要である。

LDM(Large scale Deffraction Magnetの略)の水漏れ修理のミスがあった。調査をしないで接着剤を塗り付

けたが漏れは止まらず、結局、接着剤を剥がして、レンタルした2m長ファイバースコープによる漏れ箇所検索を行ったが、その先より（手の届かない狭隘部分から）漏れ出している事が解った。その対策として、自動車用ラジエーター漏れ止め材を循環させたところ、漏れ箇所は閉塞した。現在までの2年間、水漏れはない。簡易な補修剤としては有用である。この材料は植物繊維で作られているので、耐放射線効果は低い。

冷却水温が10以下に低下したことにより、マグネットが結露し、電源端子部や真空ダクト冷却部の溶接箇所が腐食してしまった。現在はタワー水温の安定化により回避された。

ライナック中央付近のB2加速管用銅製コリメータからの水漏れがある。直接銅管を銀ロー付けしているが、その溶接部分の亀裂が原因である。配管が通路付近に出ているため、接触した可能性がある。

B F系のフロースイッチ、フローメータは殆ど、使用不能となっている。フラップ式フローメータは接液部材質の溶け出しやサビ、エアの混入による激しい振動などにより故障したと思われる。

SUSヘッダー管にはアルミ製波型パッキングが使われており、純水への溶け出しによるリークが多くなってきている。このリークハンティングについて、実験室内ではヘッダー管が床面ピット内に敷設されているため、放射線シールド用コンクリートブロックで塞がれている場所も多く、漏水の確認が困難となる。

放射線劣化の激しいものにはゴム、高分子化合物、プラスチック、テフロン、銅配管、ガラスがあり、放射線が高い場所におけるフローメータやフロースイッチの選定や設置場所には苦慮する。

## 2.2 純水補給系

市水から活性炭ろ過、イオン交換をして純水を製造し、各タンクに供給する装置である。製造能力は1トン/hの流量で10トン/cycleである。2年前にカートリッジ型純水器を導入した。常時使用する為にDual化してある。劇物薬品を使用しないことや、市水を入り口側に接続するだけで高純水(0.1 $\mu$ S/cm以上)が製造できる点や、排液が出ない点なども以前に比べて安全になった。

原水タンクボールタップの波打ち現象により給水配管が振動し、タンクと配管とのプラスチック製接続部が割れて水漏れが起こった。電動ボール弁給水方式にする予定である。

## 3 市水粗温調系

放射線に曝されない水系であり、市水を循環させている。冷水系とタワー水系に大別される。フィルター系を備えていないので、定期的なドレイン洗浄が必要である。

### 3.1 冷水系

10 $\pm$ 1の温調水系で、圧力0.5MPa、総流量300L/min、循環水導電率100~1000 $\mu$ S/cm程度。加速管および、導波管温度制御用の冷水を発生させる。チラーは14年前にステップ状熱負荷変動に強く、25~100%無段階能力可変式のスクリュウ型に変更した。冷媒や潤滑油の補充もなくノントラブル、ノンメンテナンスである。主配管は鉄管で施工されているために、サビ・コブが発生している。目視判断により、1ヶ月に一度程度、水系の水を置換している。チラー交換後、目立った故障はない

冷水温度設定を10とすると、ハンチングが発生して制御がうまくいかなかった。現在は9に設定してある。水系の保有水量が仕様より少ないためであると考ええる。

### 3.2 電源室水系

後付けの水系で、冷水系から流量20L/minを分流して、電源室蓄熱槽の冷却に寄与している。一番保有水量の小さな水系である。懸念される事は、配管は銅管で銀ロー接続されていて、配管経路が制御電源配線と同じピット内なので、水漏れが起こると、その影響が大きい。配管接続方法、経路等を見直す必要がある。

この槽内の熱交換器である銅管に昨年、数箇所の穴が開き、1次水側に漏れてオーバーフローしていた。原因としては、数年前に槽内に酸性洗浄剤を投与したことに起因していると考ええる。

### 3.3 タワー水系

水温は  $20 \sim 30 \pm 1$  で圧力 0.2 MPa、循環水導電率  $800 \sim 1000 \mu S/cm$ 。ライナックで発生した熱を最終的に屋外に放熱して各水系の温度を適切な値にしている。400 冷却トンの開放型角型冷却塔を 3 年前に更新した。更新に伴う変更箇所は、薬注装置の設置、凍結防止用ヒータ、水位レベルスイッチ、バタフライ弁の採用、ファンの交互発停機能がある。しかし、粉塵の混入防止対策をしていないため各熱交換器や負荷配管内に付着することが考えられる。開放型タワーでは、冷却水の高濃縮運転により、腐食、スケール生成、スライム発生障害が起こるが、導電率制御による自動ブローを行っている。昨年、薬液保有容量 100 L の薬注器に更新した。使用薬品はマルチ剤と呼ばれるものである。滴下間隔を調整できるので便利である。

タワー水温度安定化のため 3 方向弁が備えてあるが、この温度制御サーモスタットの摺動抵抗部の磨耗による故障が 2 ~ 3 年に一度程度起こる。将来は、Pt 100 による可動部のない PID 電流制御にしたい。

## 4 制御系及び電源動力系

更新が一番遅れている場所である。制御盤は製作会社名から（三菱）重工側と電気側とに分かれている。一部 PLC を導入してあるが、殆ど当時のリレー回路のままである。早急な更新が必要である。30 点温度記録計のデータや各リレーの接点を PC に取り込んで故障表示装置に表示しているが OS が古くなり、時代に合わなくなってきたので、横河電機製 MX100 に更新中である。まずは、各タンク水位レベルをリアルタイム計測し、異常な水位低下を検知し、水漏れ対策に一役買おうと思っている。制御回路の更新あるいは増設した機器はチラー、タワー 3 方向弁、ACC ヒータ制御（20KW のみ）、ACC ポンプおよび吐出電動ボールバルブ、冷却塔ファン制御、3 号機クライストロン冷却装置がある。

## 5 まとめ

たとえば、ポンプなどの単体物は、50%以上、更新をしたが、導波管水系のハンダ溶接や BF 水系のヘッダー管アルミパッキンの腐食などは範囲が広く、全数補修することは放射線被爆、予算、時間の関係で難しい。どの場所から更新するかは、緊急性や将来的なライナック機器の再編成により決定される。

現在の問題点としては、突発的な水漏れの早期発見のための故障診断装置の更新が緊急課題である。冷却系は、加速器の中でも、基本的なものであり、常に万全にしておかなければならない。メンテナンスのコンセプトとしてはノンメンテナンスあるいは、点検、修理の容易性を目標としている。そのためにも、故障箇所の原因究明はしっかりと確認するようにしている。

## 参考文献

- [1] S.Takahashi, et al, "WATER CONTROL SYSTEM FOR COOLING TOWER",  
Proceedings of the 15<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan P187 (September 11-13,1990)
- [2] S.Takahashi, et al, "PRESENT STATUS OF THE COOLING SYSTEM AT TOHOKU LINAC",  
Proceedings of the 17<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan P255 (September 1-3,1992)
- [3] S.Takahashi, "The influence of long term operation in the parts of Linac Water Cooling system",  
Proceedings of the 24<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan P76 (July 7-9,1999)
- [4] 高橋 重伸, "クライストロン蒸発冷却装置",  
平成 14 年度東京大学総合技術研究会報告集, 2003 年、平成 15 年 3 月, P2-46 – P2-48