

PRECISE CONTROL OF COOLING WATER SYSTEM FOR STABILIZATION OF LINAC AT LEBRA IN NIHON UNIVERSITY*

Takeshi Sakai^{1,A)}, Toshinari Tanaka^{B)}, Ken Hayakawa^{B)}, Yasushi Hayakawa^{B)}, Takao Kuwada^{A)},
Yumiko Takahashi^{B)}, Keisuke Nakao^{B)}, Kyoko Nogami^{B)}, Manabu Inagaki^{A)}, Isamu Sato^{A)}

^{A)} Advanced Research Institute for the Sciences and Humanities (ARISH), Nihon University

12-5, Goban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 102-8251, Japan

^{B)} Institute of Quantum Science, Nihon University

7-24-1 Narashinodai, Funabashi-shi, 274-8501 Japan

Abstract

The 125-MeV linac at Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA) in Nihon University has been used for generation of the near-infrared FEL and the PXR. Precise experiments using the light sources require a high stability in both the wavelength and the intensity of the lights. A relationship between the phase of the klystron output power and fluctuation of the coarse cooling water temperature was sufficiently estimated from the result of measurement of water temperature. Based on the improvement method of the fine cooling water system, the coarse cooling water temperature was highly-stabilized. After the improvement of the coarse cooling water temperature at the output port coarse cooling system was suppressed to within 0.1°C.

日本大学リニアック冷却系の精密制御

1. はじめに

日本大学電子線利用研究施設LEBRAでは、文部科学省学術フロンティア推進事業「可変波長高輝度単色光源の高度利用に関する研究」の支援、及びKEKとの共同研究により、125MeVリニアックをベースとしたFEL、PXRによる光源の実用化を進めてきた^{[1][2]}。

昨年度までに、加速管、偏向電磁石、PXRターゲットホルダーシステムを冷却している精密温調システムの改良を行い、水温変動幅を±0.01°C以下に高精度調整することができ、加速ビームも安定化され、特にPXRを用いた位相コントラストイメージング測定で大きな成果が得られた^{[3][4][5]}。

精密温調の安定化により、他の不安定性が分かりだし、特に粗温調系の水温変動によると思われる、クライストロン出力RFの位相変動があった。変動原因として、冷凍機と粗温調への冷却用循環水は、同流路で冷却塔側へ通し冷却を行っているが、冬など外気温が低い場合には、冷却塔ファンを回していないため、十分に混合せず素通ししている状態であり、冷凍機コンプレッサーのON/OFF動作により大きく変化した冷凍機冷却水が、クライストロン側へ伝わりやすい状態にあると予想された。粗温調調節計は旧精密温調と同様に、20年以上前のマイクロトロン計画時の古い調節計を流用していたため、早い大きな水温変化に対応できていない状態であった。そこで、精密温調系で行った方式をベースにする事

で、早い大きな変動にも対応でき、高精度安定化調整が可能であるため、調節系の更新、流路等の検討を行い、粗温調水温の高精度安定化を行った。本稿では、粗温調系の改良による粗温調水温の高度安定化とその結果に関して報告を行う。

2. LEBRAリニアックと冷却系

図1に、LEBRAリニアック全体と精密温調、粗温調系の概要図を示す。LEBRAでは、2005~2007年度にかけて冷凍機配管、調節計などの更新などを行っている。精密温調水温の安定化から、FELやPXRの光源強度は安定化されてきた。冷却系には、精密温調系、粗温調系の2系統あり、精密温調系は主に、加速管、偏向電磁石、PXR発生用ターゲット結晶などを冷却している。粗温調系統は、クライストロン2台、クライストロン集束電磁石2台、SF₆加圧部導波管、複数の加圧導波管ダミーロード等を主に冷却している。

精密温調系統は、冷凍機配管の更新、流路の再検討、調節計の更新などにより、高精度調整を行っており、精密温調水温変化は30±0.01°Cで安定化している^[5]。

粗温調系統は、旧精密温調と同様に、20年以上前のマイクロトロン計画時のシステムを流用しており、早い大きな水温変化に対応することができなかった。冷凍機系の更新に伴い、以前に比べると水温変動幅は狭くなっており、設定値±0.25°C程度であった。

*本研究は文部科学省学術フロンティア推進事業(継続)(平成17~19年度)の支援及び、平成19年度日本大学学術研究助成金の支援を受けて行った。

¹ E-mail: sakai@nihon-u.ac.jp

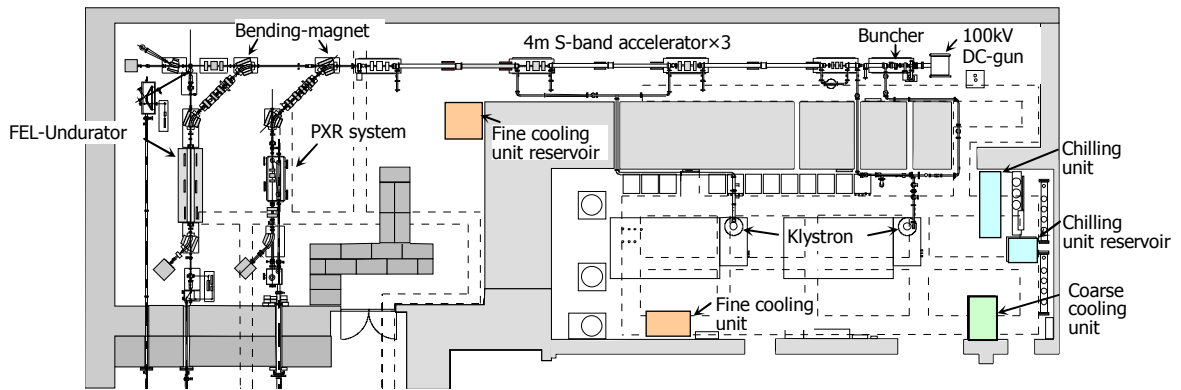


図1：LEBRAリニアックと各冷却系概要図。精密温調は設置場所の制限から、加速器本体室側にリザーバータンク，モジュレーター室側にポンプ，調節計，熱交換器を分けて設置。精密温調系統は，水温 $30 \pm 0.01^\circ\text{C}$ で高精度調節されており，加速管，偏向電磁石，PXR発生用ターゲット結晶などを冷却。粗温調はクライストロン，クライストロン用集束電磁石，ダミーロードなどを冷却。

ただし，設定温度は 30°C であったが，調節計の校正がずれ，若干高い 31°C 付近を示していたため，調節計でオフセット分下げ対応していた。

3. 粗温調系統の問題点

2章で述べたように，粗温調系冷却水は，粗温調系としては十分に安定化されていたが(調節計の校正がずれてはいたが)，図2に示すようにクライストロン出力RF位相(DBMで計測)と粗温調の水温変動には相関が見られ，粗温調冷却水には，途中で早い繰り返しの変動が見られた。この粗温調冷却水変動の原因を探ると，冷凍機冷却用コンプレッサーや冷却塔ファンのON/OFF動作による循環冷却水の大きな水温変動が原因であることがわかった。

粗温調系の冷却用循環水は，冷凍機コンプレッサー冷却用の循環水と同流路で冷却塔側へ通し冷却を行っている。そのため，冷却塔ファンのON/OFF動作時や，逆に冬など外気温が低い場合での，冷却塔ファンのOFF状態でも，冷凍機側からの冷却循環水と粗温調側の循環水を十分に混合せず，素通している状態であり，冷凍機コンプレッサーのON/OFF動作による，大きく変化した冷凍機冷却水

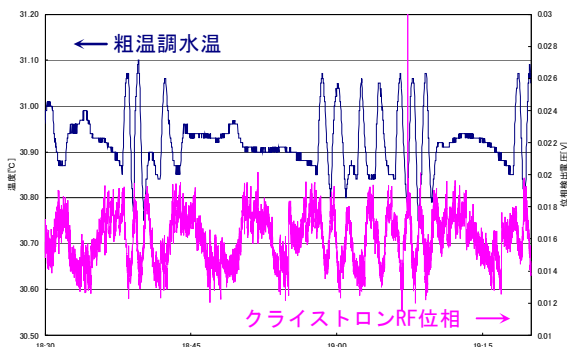


図2：クライストロン出力RF位相と粗温調水温変動の比較。出力RF位相と粗温調水温変動には相関が見られる。

が，クライストロン側へ伝わりやすい状態にある事が原因であった。そこで，これまで行った精密温調系の改良による高精度安定化調節をベースに，粗温調系統の精密温調化を目標に，流路，調節計等の改良を行った。

4. 粗温調系の改良と安定化

4.1 粗温調系統の改良

図3-(a)に改良前の粗温調系の簡易フローシートを示す。冷凍機，精密温調系統は，昨年度までに更新し，精密温調～冷凍機間の水温差を狭く，且つ冷水循環系の一部を戻し，精密温調～加速管・電磁石系の間に大容量のリザーバーを介すことで冷凍機からの急な温度変化を平均化し吸収することができ，精密温調水温度を $30 \pm 0.01^\circ\text{C}$ 以下で高精度調整している^[5]。粗温調系冷却水は，冷却塔を通して冷却用循環水を冷却する流路であり，冷凍機コンプレッサーからの冷却用循環水と混合されたものを用いているため，冷却塔と冷凍機からの影響を受けやすい。

そこで，精密温調系の流路をベースに，粗温調系の流路の変更を行った。図3-(b)に粗温調系改良後のフローシートを示す。改良の手順としては，光源利用実験に影響が出ないように，はじめに，調節計の交換から行った。調節計は，精密温調で用いて実績のある山武製デジタル指示調節計SDC36を用い，温度計測プローブには，Pt100测温抵抗体(3線式)を用いた。さらに調節計のRS232の通信機能をLANへ変換し，遠隔からのデータ収集，パラメーター調節を容易に行えるようにした。調節計の設置，動作確認後，粗温調冷却水循環系流路を冷却塔から切り離し，安定化されている冷凍機の冷却水を用いる流路へ変更した。冷凍機冷却水水温は， $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 程度で安定化されている^[5]。また，冷凍機は通常運転時は1台のみで冷却熱容量をカバーし運転可能な状態であったが，予備にコンプレッサーを2台備えているため，粗温調を追加しても冷却能力は十分余裕があり，冷凍機からの冷却水を用いても容量不足の問題

は無かった。最後に、リザーバータンクを大型化し、タンクを通した後に、クライストロン等の冷却部へ通す流路に変更する計画であったが、今年度に入り、主要な装置の故障等が重なり^[1]、予算の都合から、今回は見送った。

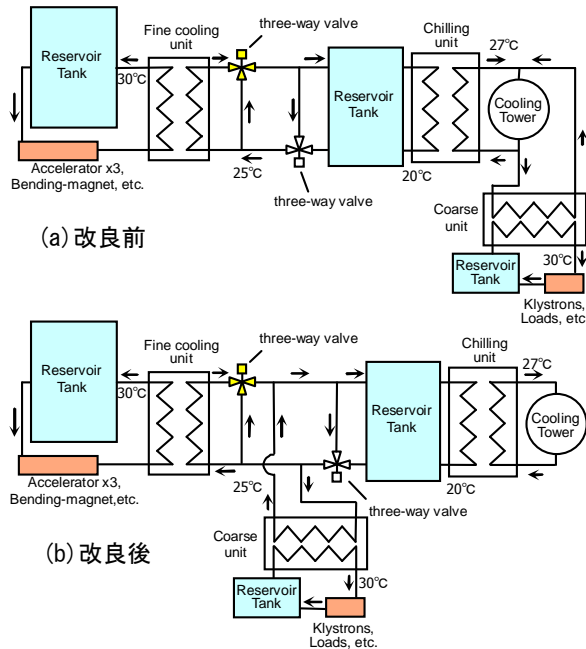


図3：粗温調改良前後のフローシート。(a)改良前の粗温調は、冷却塔を通して流れている流路のため、冷凍機コンプレッサーの冷却用循環水から影響を受けやすい流路。(b)改良後は、安定化された冷凍機冷却水を使う流路へ変更。

4.2 粗温調系改良による効果

水温調節に用いた調節計には、リミットサイクル法による自動調整機能があるため、何度か自動調整を行い、大まかな調整のスタート値のパラメータを決め、その後、微調整を行った。

粗温調改良による粗温調水温安定化の結果を図4に示す。それぞれ、(a)改良後、(b)改良前、(c)改良後リザーバータンク内水温である。改良後は改良前に比べ、変動幅が1/4程度に抑えられ、 $30 \pm 0.05^\circ\text{C}$ 以

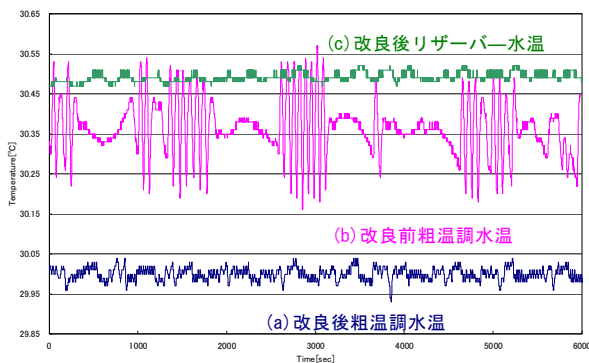


図4：粗温調冷却水安定化前後における水温変動の比較と改良後の粗温調リザーバータンク内の水温変動。

内に安定化することができた。また、冷却塔を通す流路の場合に見られた細かい大きな温度変化は無くなっていることがわかる。粗温調リザーバータンク内の水温はさらに安定されており、細かな変動がより減っていることがわかる。クライストロン出力電力位相に関してはまだ比較できていないが、水温変動幅が改良前に比べ1/4程度になったことから、高い安定度が期待できる。

5. まとめと今後の課題

これまでの粗温調系を冷却塔経由の流路から切り離し、安定化された冷凍機冷却水を用いる流路へ変更することで、粗温調冷却水を $30 \pm 0.05^\circ\text{C}$ 以内に安定化することができた。今回は見送ったが、粗温調の流路を今と逆向きにし、リザーバータンクを通した後に冷却部を配置し、リザーバータンク容量を現在の150Lから精密温調に用いている800L程度に増強することで、さらに水温変動幅を抑えられ、精密調整が可能である。

また、今回行った流路変更などの工事に伴い、配管、リザーバータンク内洗浄を行った。配管内壁に汚れがかなり付着していたため、洗浄効果がかなりあったが、粗温調熱交換器内において水漏れを起こしていることが判明した。漏れは以前から起きていたようだが、水圧の高い冷却塔から、水圧の低い冷凍機側への流路へ変更したことで、圧力差が大きくなり、漏水量が目立ちだしたと思われる。現在は、水漏れの応急処置として簡易的に漏れ箇所を塞いでいるが、熱交換器の交換を近いうちに行わなくてはいけない状況であるため、その時期にあわせてリザーバータンク交換と流路変更も検討中である。

本研究は、文部科学省学術フロンティア推進事業(継続)(平成17~19年度)「可変波長高輝度単色光源の高度化に関する研究」の支援、及び、平成19年度日本大学学術研究助成金の支援を受け行った。

参考文献

- [1] T.Tanaka, et al., "日本大学LEBRA電子リニアックと光源の現状", in these proceedings.
- [2] Y.Hayakawa, et al., "日大LEBRA-PXRビームラインの活動状況", Proc. 32nd Linear Accel. Meeting in Japan, (August 1-3, 2007, Wako Japan), p145-147.
- [3] Takeshi Sakai, "Phase-Contrast-Imaging Using Parametric X-ray Radiation Generated by Medium Size Linac", 非破壊検査第57号6号(2008), p282-285.
- [4] T.Sakai, et al., "IMPROVEMENT OF WATER COOLING SYSTEM FOR LEBRA LINAC", Proc. 31st Linear Accel. Meeting in Japan, (August 2-4, 2006, Sendai Japan), p765-767.
- [5] T.Sakai, et al., "Precise Control of Cooling Water Temperature for LEBRA-LINAC", Proc. 32nd Linear Accel. Meeting in Japan, (August 1-3, 2007, Wako Japan), p853-855.