

## IMPROVEMENT OF WATER COOLING SYSTEM FOR LEBRA LINAC\*

Takeshi Sakai<sup>1,A)</sup>, Toshinari Tanaka<sup>B)</sup>, Ken Hayakawa<sup>B)</sup>, Yasushi Hayakawa<sup>B)</sup>, Kyoko Nogami<sup>B)</sup>, Keisuke Nakao<sup>B)</sup>,  
Manabu Inagaki<sup>A)</sup>, Isamu Sato<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Advanced Research Institute for the Sciences and Humanities (ARISH), Nihon University  
12-5, Goban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 102-8251, Japan

<sup>B)</sup> Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA), Nihon University,  
7-24-1 Narashinodai, Funabashi-shi, 274-8501 Japan

### Abstract

Precise experiments using Free Electron Laser and Parametric X-ray Radiation at the Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA) in Nihon University require a high-stability electron beam from the linac. The electron beam energy has been strongly dependent on the temperature of the linac cooling water, although fixed within the error of  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ . Fluctuation of the temperature was reduced to within  $\pm 0.05^\circ\text{C}$  by adjustment of the control parameters for the fine cooling system and improvement of the chill water system. Improvement of the stability of the fine cooling water temperature was very effective for stabilization of the electron energy and the light intensity.

## 日本大学LEBRA LINACにおける冷却水系の温度安定化

### 1. はじめに

日本大学電子線利用研究施設LEBRAでは、加速器の実験利用時間が順調に増加しており<sup>[1]</sup>、加速器の連続運転を試験的にやっているが、自由電子レーザー (Free Electron Laser : FEL)、および、パラメトリックX線放射 (Parametric X-ray Radiation : PXR) の光源強度が変動をおこし、特にPXRを用いた位相コントラストイメージングにおいて良い結果が得ることが難しかった。その変動は、ターゲット結晶でのビーム変動が原因で起きており、ビームクオリティーを上げる必要があった。

そこでビーム変動の要因として、光源強度とビームポジションモニターを用いたビーム軌道測定<sup>[2]</sup>、温度等の比較から加速管及び、ビームライン偏向電磁石用冷却精密温調水温度が大きいことが分かった。本稿では冷凍機系の更新、及び冷却系の安定化による光源強度の安定化に関して報告を行う。

### 2. 光源強度変動と原因

#### 2.1 光強度変動と冷却水温度測定

PXRを用いた位相コントラストイメージングにおいて、実験過程でのX線強度の時間変動により計測前後でピーク強度がずれ、安定な測定ができない問題があった。位相コントラストイメージングで得られる画像の分解能は、ビームの安定度に大きく左右

されるため、早急なビーム安定化対策が必要であった。

そこで、各場所での温度変化と光源強度の測定から相関を取り、原因を追跡した。精密温調水温の測定ではPICO Technology社の8ch熱電対データロガーTC-08を用い、PXR強度測定にはイオンチェンバーを用いた。ただし、相対値に関しては問題ないが、測定温度絶対値に対する校正は行っていない。イオンチェンバーはPXR調整時に用いているバックグラウンドとの相対強度測定用のモニターであり、キャリブレーションは行っていない。PXR強度とPXRライン偏向電磁石系冷却用精密温調水温度との比較を図1に示す。

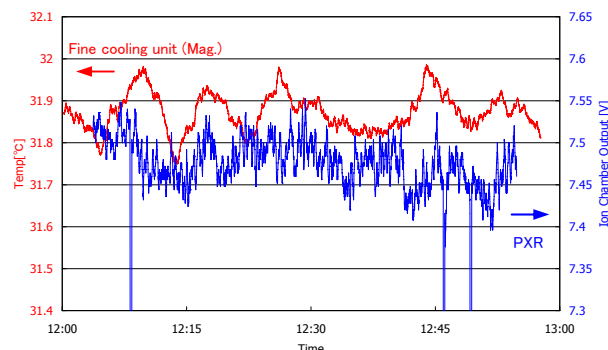


図1 : PXR強度とPXRビームライン偏向電磁石系冷却用精密温調水温度との比較。X線エネルギー : 13.5keV。強度変化と精密温調水温度と相関がある。

\*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)の支援を受けて行った。

<sup>1</sup> E-mail: sakai@lebra.nihon-u.ac.jp

測定時のX線エネルギーは13.5keVである。温度測定の結果、PXR強度はビームライン偏向電磁石系を冷却している精密温調水温と強い相関があることが分かった。ただし図中のPXR強度測定結果で数箇所大きく下がっている時間帯があるが、クライストロンからの高周波電力が欠けた事により、加速ビームが欠け起きた変化であって、冷却水に起因するものではない。

## 2.2 冷凍機水温と精密温調水温の比較

精密温調水温の変動が何に起因しているのかを、その他の温度変化と比較し調査した。加速管系精密温調冷却水温と光源ライン用偏向電磁石用精密温調水温、冷凍機水温の比較を図2に示す。冷凍機水温は送出し側のパイプに張付けたK熱電対で、精密温調水温もリザーバタンク内に設置した動揺のK熱電対を用いて測定した。その結果、精密温調の温度調整に使われる冷凍機水温が周期的に大きく変動していることが分かり、冷凍機水温変化がビーム変動の原因であることが分かった。また精密温調のPID制御パラメーターが最適化されていない事もわかったため、冷凍機水温の安定化と精密温調の調整を行う事にした。

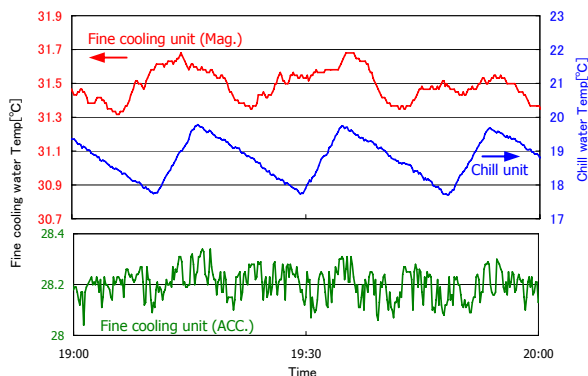


図2：加速管系精密温調冷却水温と光源ライン用偏向電磁石用精密温調水温、冷凍機水温の比較。冷凍機水温が $\pm 1^{\circ}\text{C}$ と大きく変動し、加速管系精密温調水温、偏向電磁石系精密温調水温も約 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 変動していることが分かった。

## 3. 冷却系の更新と光源強度安定化

### 3.1 LEBRA冷凍機系の更新

これまで使用していた冷凍機はマイクロトロン建設時に設置したもので、約20年間使用しており、配管等の老朽化が進んでいた。また冷却能力がマイクロトロンに合わせてあり、現在のリニアックの全負荷に比べ、非常に能力の大きな物を使用していたため温度が $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以上変化し、2-2で示したように、冷凍機水温の大きな変動が精密温調等へ影響していた。そこで昨年度、冷凍機系の配管周り、調節計などず

べての更新を行った。冷凍機の水温調節計は山武製のデジタル指示調節計SDC36を採用した。また、この調節計はRS485の通信機能を備えているため、イーサネットLAN接続に変換を行い、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、調節時間の短縮を図った。

### 3.2 冷却系の安定化と問題点

冷凍機更新後、冷凍機のパラメーターを調整し安定化を行った。その際、他の設定温度との温度差が小さくなるように、冷凍機リザーバ水温設定値を $19\sim 20^{\circ}\text{C}$ 程度まで上げ調整を行った。同時に、精密温調のPID制御パラメーター最適化も行い安定化を行った。調整時のリニアックのパラメーターはPXR実験時の、最大ビームエネルギー100MeV、繰返し5Hz、RFパルス幅 $20\mu\text{s}$ の場合を想定し、始めはビーム加速無し状態で調整を行い、調整後に実際にビーム加速を行い確認した。

調整後の結果を図3に示す。冷凍機水温は送出し側の設定温度計の測定値、精密温調水温は、リザーバタンク内に設置したK熱電対による測定値である。図を見て分かるように、冷凍機水温は約 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ まで抑えることができ、加速管系精密温調水温変動幅も $0.1^{\circ}\text{C}$ 以下まで抑えることができている。しかし、冷凍機のコンプレッサー動作時における短時間の大きな水温変化に対して、冷凍機の調節計は対応し変化を抑えているが、精密温調側の調節計の温度コントロールが追従する事ができず、大きな温度変化を起こしているのが分かった。これは精密温調のリザーバタンクの容量が約120ℓと小さく、さらに温度コントローラーが更新前の冷凍機と同様に20年前の物であり、三方弁を速く、細かく動かすことができず、短時間の大きな温度変化に対応できていないために起きている現象であると考えられる。

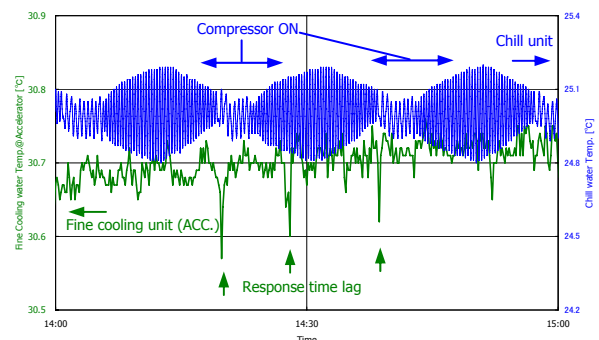


図3：冷凍機水温と加速管側精密温調温度比較。冷凍機のコンプレッサー動作時における短時間の大きな水温変化に精密温調の温度コントロールが追従できず、大きく温度変化を起こしている。

### 3.3 冷却系全体の安定化

冷凍機の温度調整は3.2で述べたように、細かい

調整を行うと、冷凍機のコンプレッサー動作時に精密温調の調整が追従できず、精密温調の先の冷却水温度が大きく変化してしまうことがわかったため、多少冷凍機水温の変動幅が増加しても、ゆっくりとした変化をするパラメーターへ変更することにした。

再度リニアックのパラメーターを3.2で示した同じ条件の元で調整を行った。結果を図4に示す。図を見て分かるように、再調整後の冷凍機水温変動幅は約 $\pm 0.6^\circ\text{C}$ と大きくなってしまったが、短時間での大きな変化は無くすることができた。冷凍機パラメーター調整後、各精密温調のPID制御パラメーターの最適化を行うことで、コンプレッサー動作時における短時間での大きな変動時においても、加速管系冷却水温度変化幅を $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 以下に、短時間でみると $\pm 0.05^\circ\text{C}$ 程度に抑えることができ、電磁石系精密温調も変動幅を約 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 、周期を10分程度に抑えることができた。ただし、数時間という長い周期の変動に関してはまだ取り除くことができておらず、設定用温度計の限界か、あるいは加速器本体室温度が影響している可能性があるが、現在のところ問題になるほどまでは大きく変動はしていないため、今回の調整では無視した。

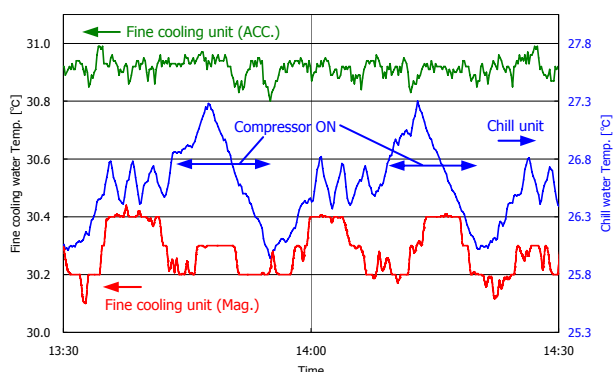


図4：冷凍機パラメーター調整後における冷凍機と各精密温調の比較。冷凍機の短時間における変動を抑えたことで、冷凍機コンプレッサー動作時においても、精密温調への影響が少なくなっている。

### 3.4 光源強度安定化

冷却系の安定化前後におけるPXRの光源強度の比較を行った。光源強度の比較結果を図5に示す。測定時のX線エネルギーはどちらも14.0keVである。PXR強度測定にはイオンチェンバーを用い、グラフの値は測定時間中の平均強度で規格化した値で示している。図から明らかのように、冷却水安定化後は、光源強度の大きな変動を取り除くことができた。

また安定化後、PXRを用いた位相コントラストイメージング<sup>[3][4][5]</sup>、XAFS測定では<sup>[6]</sup>、ほぼ安定に測定できるようになり、PXRの基本特性測定においても、PXRのドーナツ状の分布が鮮明に測定されるようになり<sup>[6]</sup>、安定した測定が行えるようになった。

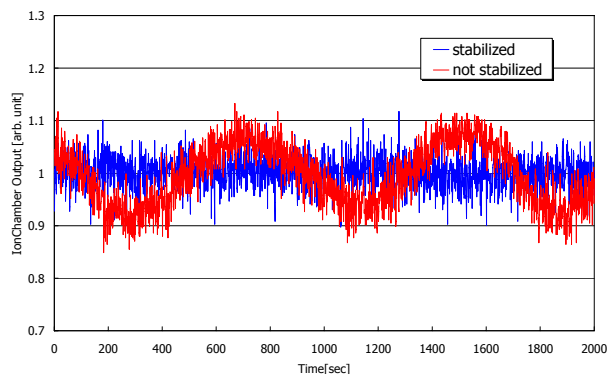


図5：安定化前後のPXR光源強度の比較。X線エネルギー：14.0keV。冷却系の安定化後、大きく変動していたPXR光源強度が非常に安定になった。

## 4. まとめと今後の課題

電子ビームの変動原因は冷却系の温度変化である事が分かり、冷却系の安定化により光源強度の変化は改良前の半分以下になり、特にPXRを用いた位相コントラストイメージング、XAFS測定、基本特性測定などで大きな効果を発揮した。

今後の課題として、精密温調は急な大きい温度変化に対応できていないため、今年度は精密温調の更新を検討している。精密温調系の更新を行うことでさらに冷却系の安定化が期待される。またPXR用の第1結晶マウントフォルダーは、結晶の冷却のために、マグネット系の冷却水の一部を流しているが、水圧が高いため配管パイプの振動が結晶へ伝導してしまい、変動を引き起こしている問題があり、現在対策を検討中である。

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利用に関する研究」の支援を受けて行った。

## 参考文献

- [1] T.Tanaka, et al., "Operation of Linac and Light Sources at Nihon University", in these proceedings.
- [2] K.Hayakawa, et al., "Utilization of BPM for operating and controlling the LEBRA linac", in these proceedings.
- [3] Y.Hayakawa, et al., "Phase-Contrast Imaging Using the LEBRA-PXR System at Nihon University", in these proceedings.
- [4] T.Kuwada, et al., "Phase Contrast Imaging Of Biological Materials Using LEBRA-PXR", Proceedings of The Ninth International Conference on SRI 2006, Korea, in submission.
- [5] Y.Hayakawa, et al., "Tunable Monochromatic X-ray Source Based on Parametric X-ray Radiation at LEBRA, Nihon University", Proceedings of The Ninth International Conference on SRI 2006, Korea, in submission.
- [6] M.Inagaki, et al., "PERFORMANCE EVALUATION OF DXAFS MEASUREMENT USING PARAMETRIC X-RAY RADIATION", in these proceedings.