

ANALYSIS OF INFLUENCE OF TEMPERATURE OF COOLING WATER ON ELECTRON BEAM AT LEBRA 125MeV LINAC*

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

^{A)}Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA), Nihon University
7-24-1 Narashinodai, Funabashi, Chiba, 274-8501

^{B)}High Energy Accelerator Research Organisation (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

The near-infrared free electron laser (FEL) has been provided for scientific studies in various fields since 2003 at the Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA) in Nihon University. Intentional change in the linac cooling water temperature, introduced periodically with 0.1°C peak-to-peak, has resulted in negligibly small fluctuation of the FEL output power. This suggests that the LEBRA linac cooling water system offering the temperature regulation within 0.02°C has sufficient performance for stable FEL lasing.

日本大学電子線利用研究施設における冷却系水温による加速ビームへの影響の解析

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支援事業や、KEKとの共同研究等の支援をうけ、125MeV電子線形加速器を用いた自由電子レーザー (FEL)、パラメトリックX線 (PXR) 光源を開発し、2003年からユーザー共同利用を開始した。ユーザー共同利用実験開始以降、より精力的に電子ビーム及び光源の安定化に努めてきた。

125MeV電子線形加速器の不安定性の原因として、冷却系の水温の安定度不足が指摘され、2005年度から2007年度にかけて冷却系の更新を行なった^[1]。その結果、粗温調でおよそ±1°C、精密温調でおよそ±0.2°Cに制御されていた水温を、粗温調でおよそ±0.05°C、精密温調でおよそ±0.01°C程度の精密制御に成功した^{[2][3]}。本報告は、更新後の冷却系水温にあえて擾乱を与え、水温による電子ビーム及びFEL強度への影響を測定し解析した結果を報告する。

2. 冷却システムの概要

2005年に始まった冷却系の大改造は、冷凍機配管、調整系、精密温調の更新、粗温調系流路変更、精密温調系リザーバータンクの800Lへの増強が行われた。旧日本大学原子力研究所時代の冷却系は粗温調装置1台のみとなり、この粗温調装置も熱交換機に穿孔が見つかり、更新が予定されている。

LEBRA 125MeV Linac の冷却系の概要を図1に、各装置の配置を図2に示す。LEBRAの冷却システムは、粗温調と精密温調で構成される。粗温調は主にクライストロン2機、クライストロン集束電磁石および立体回路を冷却し、精密温調は3本の4m加速管、偏向電磁石、PXR発生用Siターゲットを冷却している。

3. 精密温調水温の変動下における、ビームエネルギーの変動

精密温調は山武社製のPIDコントローラSDC36でPID制御され、水温が30±0.01°Cに制御されている。このPIDパラメータを意図的に変更し、あえて精密温調の水温を変動させた時のビームエネルギーの変動を測定した。このPIDパラメータを (P, I, D) = (11, 8.0, 90.0)であったのを、(P, I, D) = (11, 5.0, 0.0)に変更した時、水温が±0.2°C、周期が2分20秒程度と周期的に変動したので、このパラメータを用いて測定することとした。水温の測定は白金測温体Pt100を3線式で配線し、戻りの水の温度を測定している。

ビームエネルギーは、BPM#6すなわちLEBRA Linacの45度偏向部で測定したビームの水平位置の変動から算出した。精密温調水温及び、ビームエネルギーの時

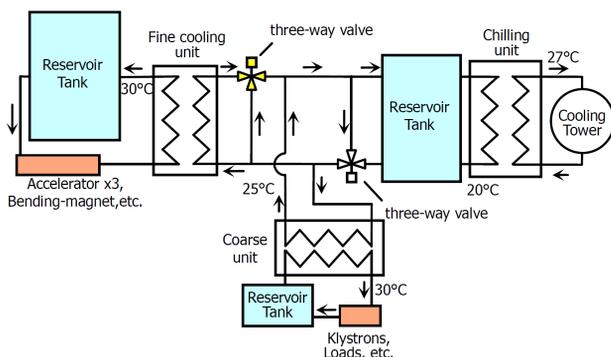


図 1:LEBRA 冷却システムの構成

¹ E-mail: nakao@lebra.nihon-u.ac.jp *本研究は日本大学学術助成金 (個人研究) の支援を受けて行った。

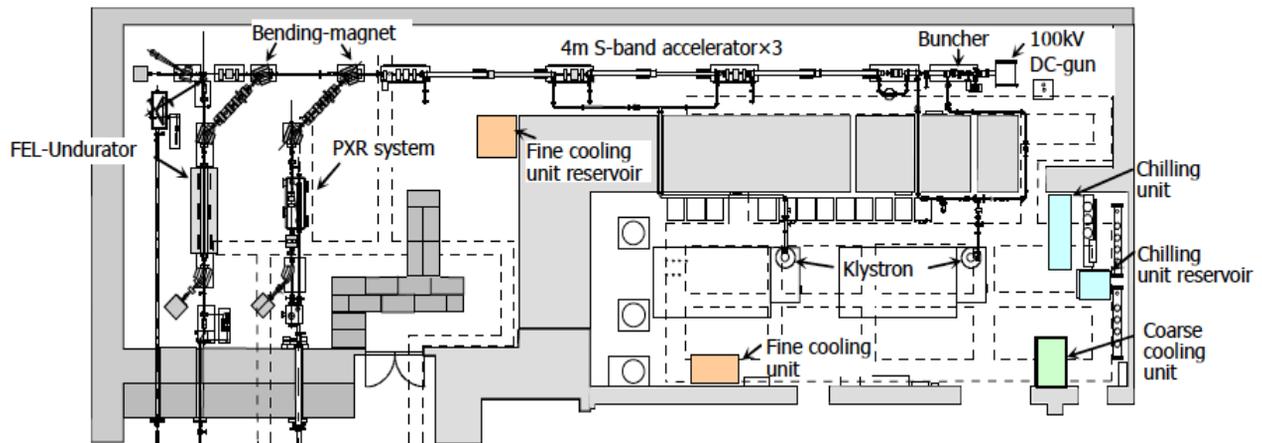


図 2:LEBRA 125MeV Linacの冷却装置の配置

間変化を図3に示す。

LEBRA FELは、加速器から出たビームを45度偏向電磁石を2台用いて90度曲げてFEL 光共振器に入射している。これらの偏向電磁石の間に4極電磁石を配置し無収差偏向系を構成している。

図3の17:14分頃に見られるビームエネルギーの大きな変化している。この時加速器上流とアンジュレータ入り口で測定したビーム位置に相関があることがわかり、無収差になっていなかった。そこで45度偏向系中にある四極電磁石の励磁電流を無収差になるよう調整し、加速RF位相の調整も行った。また18:15分頃のビームエネルギーの変動は、加速RF位相の調整が原因である。

精密温調水温とビームエネルギーに相関が見られる

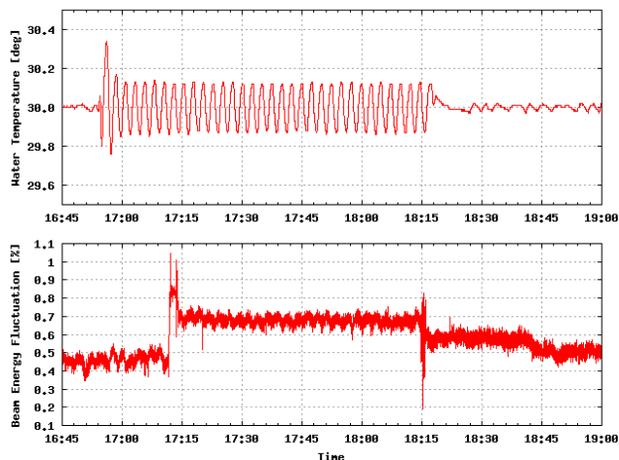


図 3: 精密温調冷却水温度 (上段) とビームエネルギー (下段) の時間変化

精密温調冷却水温度の変化によるビームエネルギーの温度係数は0.3%/℃程度であった。

4. 精密温調水温変動下における、FEL強度の変動

次に精密温調水温変動下におけるFELパワーの時

間変化を図3に示す。水温の擾乱の有無にかかわらずゆっくりと一方的にFEL強度が下がっていることがわかる。この時の運転は、17:14分頃および18:15分頃を除き、ステアリングコイル励磁電流、ビームエネルギー、集束等は変更せずに、光共振器の間隔のみを調整した。光共振器の間隔を制御するピエゾアクチュエータの印加電圧は図4の青線で示してある。

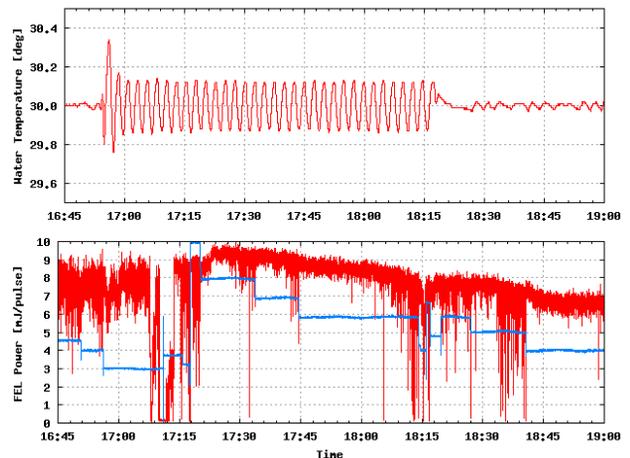


図 4: 精密温調冷却水温度 (上段) とFELパワー (下段) の時間変化

FELパワーは、大実験室内にあるFEL Laser Beam LineのFEL Monitor Portからハーフミラーで一部を取り出し、コールドミラーで高調波を除去し、赤外線パワーメータを用いてFEL強度を測定した。

17:15分過ぎの調整以降、精密温調の水温に擾乱を与えているにもかかわらず、FELパワーの時間変動に周期的に変動する成分がみられない。またゆっくりとFELパワーが減少していることがわかる。

LEBRAでは、FEL光共振器長はアンジュレータ下で測定している床のコンクリート内部の温度と相関があることと、床内部の温度がゆっくりと一方向に変化していることもわかっている。すなわち光共振器長が時間とともにゆっくりと変化している^[4]。共振

器長が変化すると de-tuning curve のピーク付近での発振となり FEL パワーの変化率が大きくなってしまふ。この光共振器の変化による FEL パワーの変動が 17:30、17:45、18:36 頃に見られる。その証拠にピエゾアクチュエータで共振器長を調整した後は、これらの変動はなくなっている。

興味深いのは 18:10 過ぎの変動である。この時オペレータは、FEL パワー変動の原因を共振器長のずれと判断しピエゾアクチュエータで共振器長の調整を試みている。しかし変動を抑えることができなかったため、ビームエネルギーの調整を行っている。しかしながら、図3を見るとその時ビームエネルギーは大きく変化していない。

5. 議論

FEL パワーがゆっくり下がっていく原因はまだわかっていない。また 18:10 頃の変動の原因も不明である。

一方、ビームエネルギーおよびビーム軌道には、精密温調水温と相関がある。それにもかかわらず FEL 強度と精密温調水温には相関が見られなかった。これはこの程度のビーム位置およびビームエネルギーの変動では FEL 強度に影響を及ぼさないことを示している。

さらに今回の実験では、意図的に精密温調水温を変動させたが、通常運転での精密温調水温の変動はこの 1/10 程度である。すなわち現在の精密温調は FEL パワーを安定にするに十分な精度を備えている。

参考文献

- [1] T. Sakai, et al., "IMPROVEMENT OF WATER COOLING SYSTEM FOR LEBRA LINAC" Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan And the 31th Linear Accelerator Meeting in Japan (August 2-4, 2006, Sendai Japan) pp. 765-767
- [2] T. Sakai, et al., "PRECISE CONTROL OF COOLING WATER SYSTEM FOR STABILIZATION OF LINAC AT LEBRA IN NIHON UNIVERSITY" Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan (August 6-8, 2008, Higashihiroshima, Japan) pp. 815-817
- [3] T. Sakai, et al., "PRECISE CONTROL OF COOLING WATER TEMPERATURE FOR LEBRA-LINAC" Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 32nd Linear Accelerator Meeting in Japan (August 1-3, 2007, Wako Japan) pp. 853-855
- [4] T. Tanaka et. al., 「日大 LEBRA 電子リニアックと光源の現状」 Proceedings of this conference