

日本大学電子線利用研究施設におけるFEL共振器長の微小変化の測定

中尾圭佐^{1,A)}、佐藤勇^{B)}、早川建^{B)}、田中俊成^{B)}、早川恭史^{B)}、横山和枝^{B)}
境武志^{A)}、菅野浩一^{A)}、石渡謙一郎^{A)}、長谷川崇^{A)}、宮崎慎也^{A)}

A) 日本大学大学院 理工学研究科量子理工学専攻

〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 日本大学理工学部船橋校舎 物理実験 B 棟

B) 日本大学量子科学研究所 電子線利用研究施設

〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 日本大学理工学部船橋校舎 物理実験 B 棟

概要

日本大学電子線利用研究施設(LEBRA) FEL光共振器長の微小変化を測定するために、上流からHeNeレーザを入射し、下流ミラーの反射光と上流ミラーの裏面反射光の干渉模様を観察したところ、数Hzで振動していることがわかった。ここではこの振動の原因とその対策について報告する。

1. はじめに

LEBRAでは2001年5月に自由電子レーザー(FEL)発振に成功し、FEL共同利用実験に向けて安定化に取り組んでいる^{[1][2]}。LEBRAでは、FEL発振の際、パルス間の強度にばらつきが大きく共同利用実験に使用できる安定度ではない。この原因としてFEL発振に必要な電子ビームが十分安定ではないと思われていたため、電子ビーム安定化に注力している^{[2][3]}。

しかしFEL強度安定化には電子ビームが安定だけでなく、光共振器長も固定でなくてはならない。

そこで光共振器長のゆらぎを計測し、その除去を試みた。

2. 光共振器長の変動

レーザを共振器に入射し、共振器両端のミラーによる反射光の干渉パターンの変化を測定し光共振器長の変化を求めた。

LEBRA FEL光共振器の構成を図1に示す。

FELシステムは、周期磁場を作るアンジュレータと共振器を構成する2枚のミラーから成り、ミラーはそれぞれ独立した架台に設置されている。

この共振器の上流(図1上部)からHeNeレーザ(波長 $\lambda = 633\text{nm}$)を入射し、両端のミラーで反射した光の干渉模様をビデオ録画し、共振器長の変化を観察した。その結果、絶えず $\lambda/4$ から λ 程度の振幅で光共振器長が数Hzで振動していることがわかった。同時に数時間周期のゆっくりとした光共振器長の変化の存在も確認した。

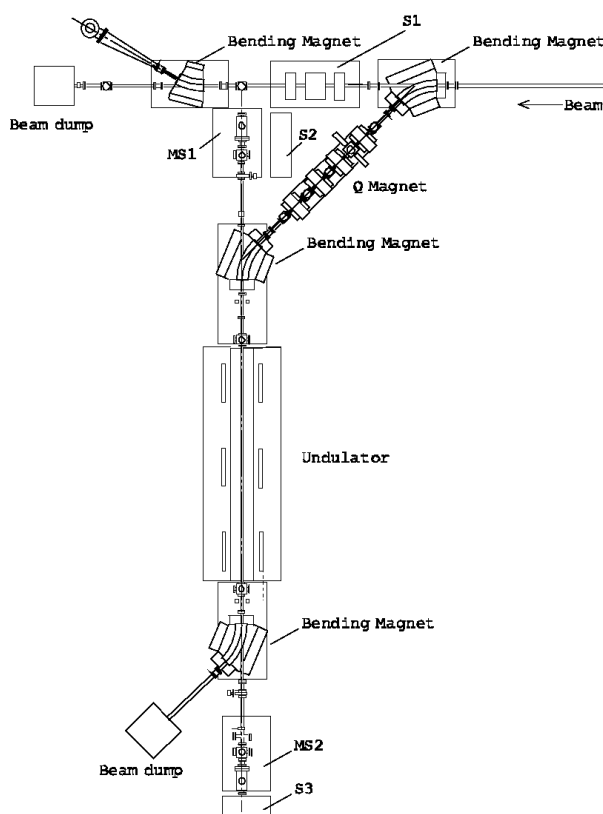


図1 LEBRA FELシステムの構成

MS1,2は光共振器のミラーが載っている架台で、S1は四極電磁石架台、S2は400kgコンクリートブロックである。S3はFELシステムが設置されている加速器本体室の壁に固定されている。

3. ミラー架台の振動

速い光共振器長の振動の原因を調べるため超高精度レーザ変位計を用いて共振器付近の振動を測定した。

光共振器ミラーは、電子ビームが放出する自発放射光を反射するために、真空中にあり、ミラーの振

¹ E-mail: nakao@lebra.nihon-u.ac.jp

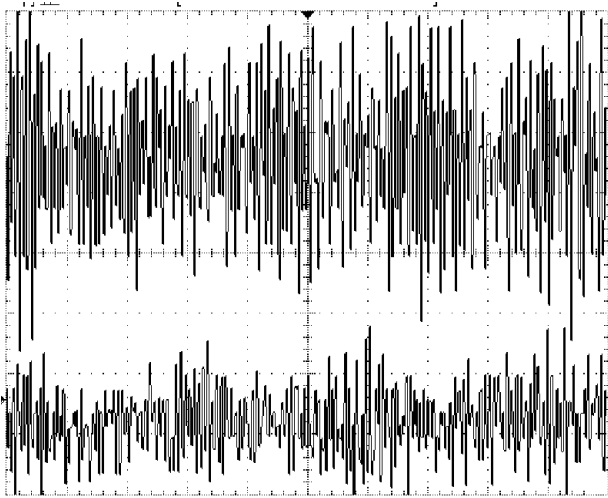


図2 補強前のミラー架台の振動
(上段：MS1 下段：MS2) 100mV/div 1sec/div

動を直接測定することができない。

そのためミラーがのっているスタンドの振動を、ミラーチェンバーがのっている架台表面を基準として測定したところ、レーザ変位計の測定限界である20nm以下であった。よってミラーと架台は同じ振動をしていると考えられる。よってMS1の振動波形はMS1とS1の相対距離を、MS2の振動波形はMS2とS3の相対距離を測定する事で得た。(図1)

加速器運転中、加速管、偏向電磁石、集束用電磁石、ビームダンプ等が発熱するためにこれらを冷却する冷却系が装備されている。この冷却系は高圧で水を流し、摂氏30度に維持するものである。この冷却系を動作させるとミラー架台の振動が著しい。その時のMS1とMS2の振動波形を図2に示す。図2でMS1の振動(上段)の振幅が、MS2の振動振幅(下段)より大きいのは、基準となるS1が固定されていないため、S1の振動も含んでいるためであると考えられる。

冷却系配管、偏向電磁石、床を各々打撃し、ミラー架台の振動の調べた。床を打撃した時のMS2の振動を図3に、MS2付近の冷却水配管を打撃したときの振動を図4に示す。これから床の振動よりも偏向電磁石及び冷却水配管による影響が大きいことがわかった。

このことから、高圧の冷却水が冷却水配管を流れると、配管を振動させそれが偏向電磁石等に伝達する。その振動が真空ダクトを通じてミラー架台を振動させると考えられる。この冷却系は、電子ビームを光共振器に導くための偏向電磁石を冷却しており、撤去又は移動はできない。

4. 振動への対策

一方でミラー架台の足は、幅45mm、厚さ5mmのL字型アングルでできており、その上に697mm×500mm×25mmの鉄板が載せられている。華奢な台にもかかわらず上からの荷重が大きいため、指一本で押しでも数 μm 動く。そこで架台の剛性を高める

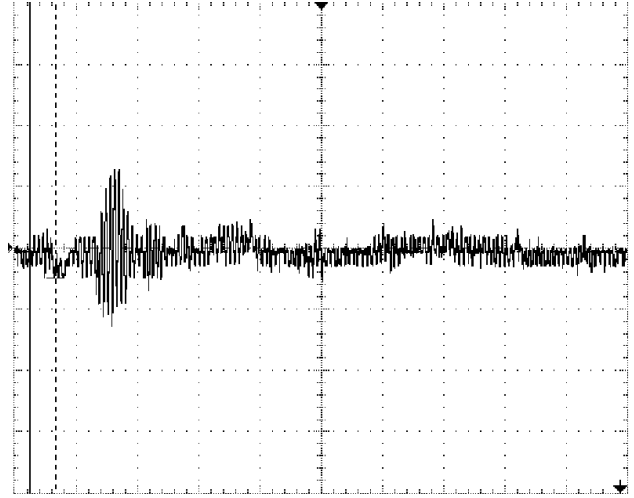


図3 床を打撃した時のMS2の振動
100nm/div, 1sec/div

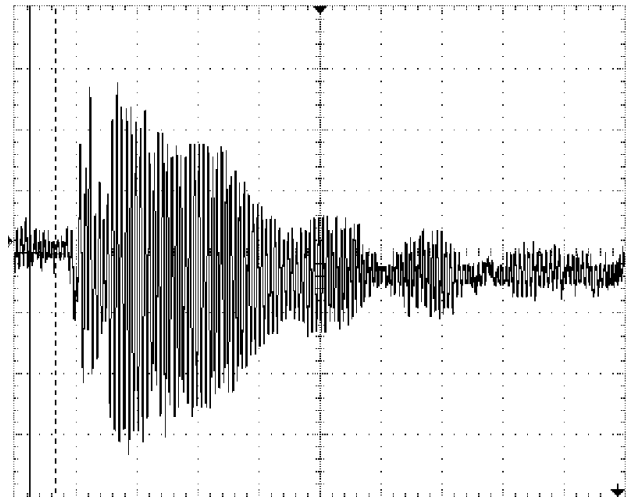


図4 冷却水配管を打撃した時のMS2の振動
100nm/div, 1sec/div

ために、幅45mm、厚さ5mmのL字型アングルと、厚さ6mmの鉄板で、架台の側面を補強した。

ハンマでミラー架台MS2を打撃し、固有振動を測定した。補強前後のMS2の固有振動及びそのスペクトルをそれぞれ図5、図6に示す。

また補強前後のMS2の応力-ひずみの関係を図7に示す。これはばねはかりで、MS2に応力を加え、その時のS3との相対距離を測定した。ここからヤング率は補強前 $3.36 \times 10^{-2} [\mu\text{m}/\text{N}]$ であったのが、補強後 $5.52 \times 10^{-1} [\mu\text{m}/\text{N}]$ になった。

補強前後のミラー架台の振動を、図8に示す。

補強後の振動の振幅は、MS1、MS2共にレーザ変位計の測定限界程度である20nm程度であった。

以上のことからこの補強で、ミラー架台の振動振幅を20nm程度まで抑えることが確認された。

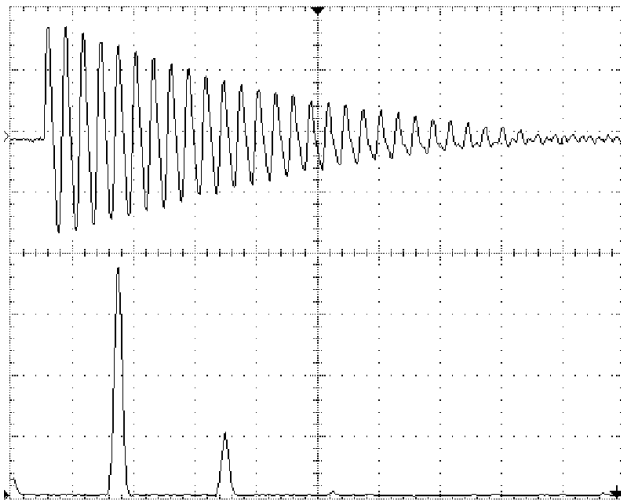


図5 補強前の下流側ミラー架台の固有振動
 上段：振動波形25µm/div, 200msec/div
 下段：スペクトル 5Hz/div

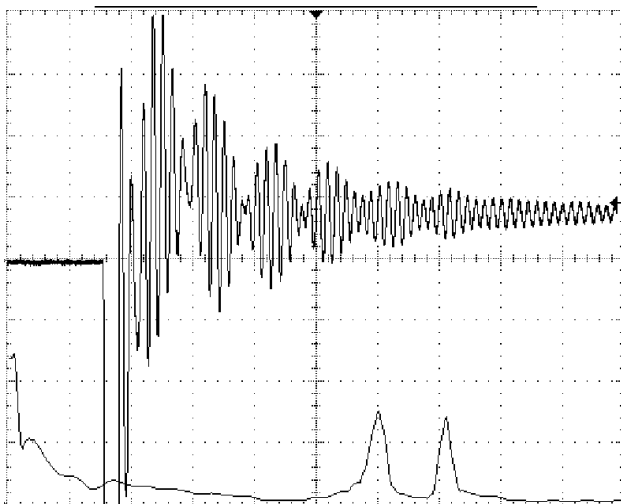


図6 補強後の下流側ミラー架台の固有振動
 上段：振動波形25µm/div, 200msec/div
 下段：スペクトル 5Hz/div

5. まとめ

- 光共振器にHeNeレーザを入射し光共振器両端の球面ミラーによる干渉縞を観察したところ、共振器長のゆっくりとした変化と比較的速い振動の存在が確認された。
- 偏向電磁石の冷却系を作動させると速い振動が著しく大きくなる。これは冷却水が偏向電磁石を振動させそれが真空ダクトを伝わってミラーチェンバーを揺らすからであると考えられる。
- 華奢なミラー架台の剛性を増すことで、この速い振動を抑えることができた。

6. 今後の課題

ゆっくりとした変動については本体室の室温または架台等の温度などとの相関があると想像できるが、

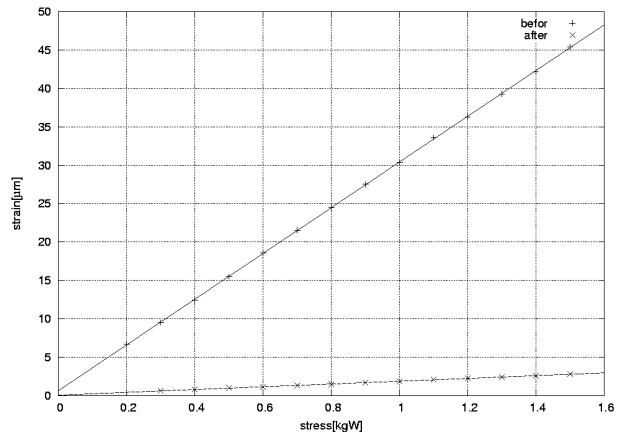


図7 MS2の応力-ひずみ関係

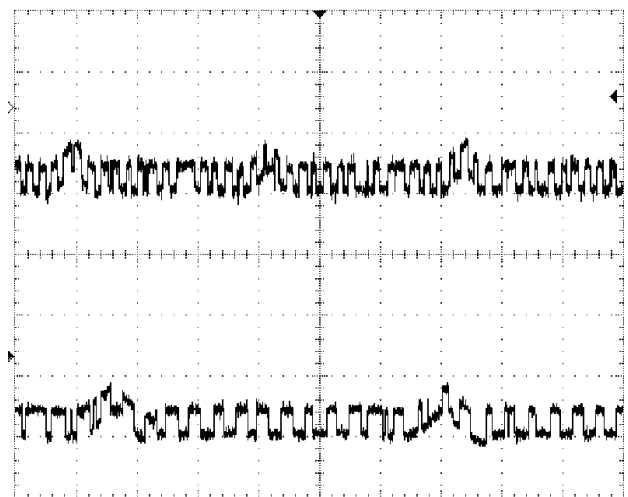


図8 補強後のミラー架台の振動
 (上段：MS1 下段：MS2) 100nm/div, 1s/div

まだ明確な結果が得られていない。

今後データを蓄積し相関を求め、光共振器長の補償に取り組みたい。

参考文献

- [1] Y.Hayakawa, et al., "First Lasing of LEBRA FEL in Nihon University at a wavelength of 1.5µm", Nucl. Instr. and Meth. A (2002), Volume483/1-2,pp.29-33 (NIMA18811)
- [2] I. Sato, et al., "The present status of the electron linear accelerator on the Nihon University and the next research plan" Proc. of the 27th Linear Accelerator Meeting in Japan, (2002) p.15-20
- [3] 横山和枝「FEL LINACにおけるRF系の改良によるビーム安定化に関する研究」平成14年度日本大学大学院理工学研究科博士論文

