

Stabilization of Optical Cavity of UVSOR-II Free Electron Laser

Masashi Koike^{1,A)B)}, Masahito Hosaka^{A)}, Masahiro Katoh^{A)B)}, Yoshifumi Takashima^{A)}
Naoto Yamamoto^{A)}, Masahiro Adachi^{B)}, Takanori Tanikawa^{B)}, Jun-ichiro Yamazaki^{B)}

A) Graduate School of Engineering, Nagoya University,
Furo-cho, Chikusa, Nagoya, Aichi 464-8585

B) UVSOR facility Institute for Molecular Science
38 Myodaiji-cho, Okazaki, Aichi 444-8585

Abstract

At the UVSOR storage ring, free electron laser (FEL) experiments have been made using a helical optical klystron. We have already succeeded in high power lasing around 1 W in the deep UV region and the shortest wavelength attained so far is 199nm. Recently, application experiments of the FEL in the deep UV region, for example, photo-electron spectroscopy, irradiation on biological molecules have been carried out. Although a stable FEL is favorable for these applications, we have noticed a rapid power drop with time when the FEL is operated with a high electron beam current (~200 mA). It was speculated that the power drop was due to a distortion of a resonator mirror heated by synchrotron radiation light. We developed a monitor system using a HeNe laser and observed the tilt of cavity mirror. The distortion of the mirror was also estimated using ANSYS and the tendency was found to be consistent with the experiment. A feedback system to stabilize the cavity mirror is now being developed. Its performance has been already confirmed and soon it will be applied for users application experiment.

UVSOR-II自由電子レーザーの光共振器の安定化

1. はじめに

UVSORでは、円偏光オプティカルクライストロン型アンジュレータを用いた蓄積リング型自由電子レーザー (FEL) の開発を継続しており、2003年からのUVSOR高度化による蓄積リングの低エミッタンス化と高周波加速系の増強により、FEL増幅率は大幅に向上し、現在では最短波長として199nmの紫外領域の発振に成功している^[1]。最近では、生体分子への照射実験、光電子分光実験、磁気2色性実験^{[2][3]}など、さまざまな利用実験が進められている。

しかし現在、ストレージリングに大電流の電子ビームを蓄積しているときに、FELの出力が時間とともに急速に低下するという現象が観測されている。図1ではFELの発振初期の出力の推移を示している。電子ビームを200mA程度蓄積し、ビームシャッターを開けることでFELの発振は始まる。発振が始まってから30秒程度でレーザーパワーは急速に低下する。ここでミラーを調整することでレーザーパワーは回復するが、再びパワーは急速に低下する。このような現象は近年、電子蓄積リングに大電流を蓄積して利用実験を行うときに顕著にみられるようになった。このような出力低下は特にFELの高出力を活かした実験にとって不利になる。そこで、本研究ではこのFEL出力の低下の原因を調べる実験を行い、さらにレーザー出力を安定化させるフィードバックシステムの開発を行った。

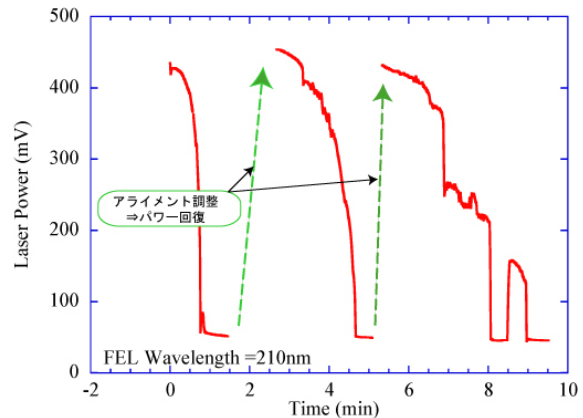


図1 FEL出力の推移

2. FELパワーの低下原因とミラー位置モニター

FEL発振時に共振器ミラーはアンジュレータからの放射光に曝される。これによりミラーが熱変形し、共振器のアライメントが損なわれ、それによりレーザー出力が低下することが予想される。そこで放射光照射時のミラーの動きを調べる実験を行った。

ミラー位置モニターのセットアップを図2に示す。He-Neレーザーを共振器ミラーに当て、反射光をCCDカメラに取り込み、その位置変動でミラーの傾き角度の変化を測定した。図3にFEL発振用のアンジュレータからの放射光をミラーに照射したときの

¹ E-mail: koike.masashi@b.mbox.nagoya-u.ac.jp

ミラーの角度変化を示す。ミラーに放射光を当て始めた直後から角度は急激に変化していった。時間と共に蓄積電流が下がっていき、蓄積電流値が120mA辺りまで低下すると、ミラーの変動は安定してくる。そしてそれ以降、垂直・水平両方向とも僅かにもとの角度に戻る。これらの結果から、蓄積電流値が高いと熱負荷が大きく、ミラーの熱変形が進み、時間とともに電流値が低下すると、熱変形も飽和に達する。さらに電流値が低下すると徐々に元の状態に戻ると考えられる。また図4のように突然に放射光の照射を止めると急速にミラーモニター位置はもとに戻ることも観測された。

これらの観測結果からFELの出力の急速な低下は放射光照射によるミラーの熱変形が主たる原因であることが示された。

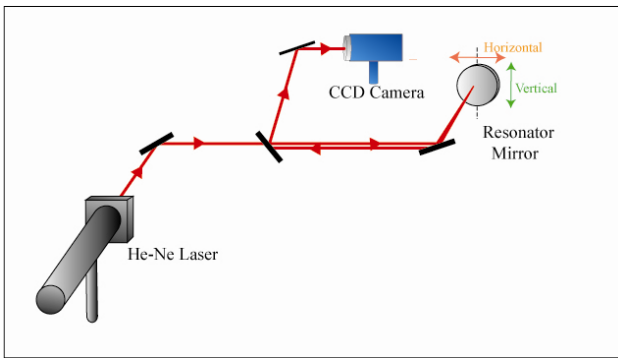


図2 モニターセットアップ

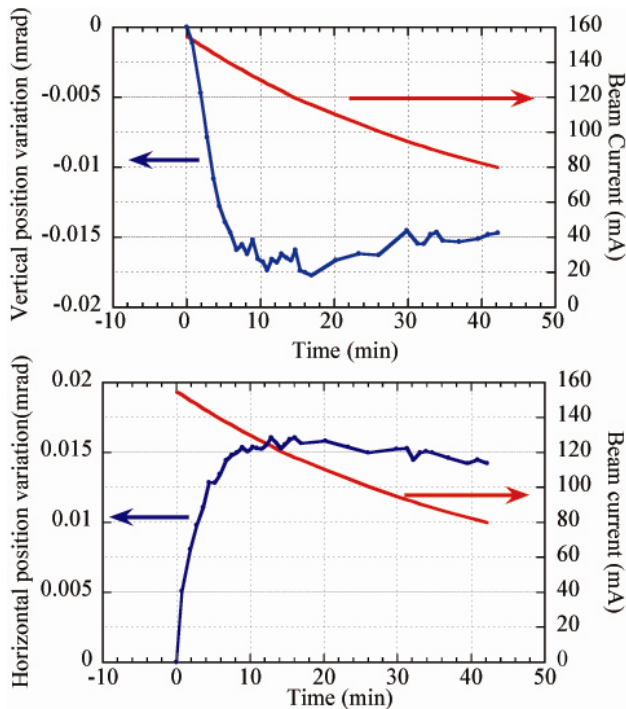


図3 ミラーに放射光を曝した時のミラーモニター変動

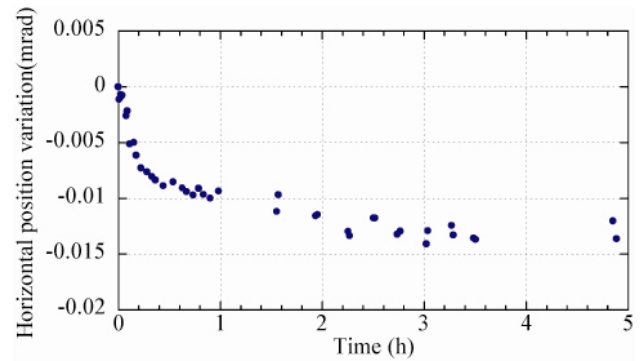
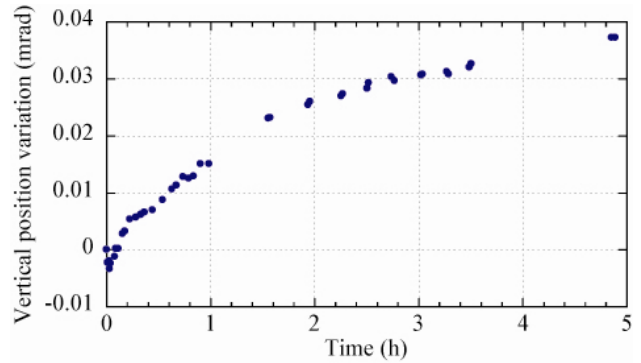


図4 ミラーへの放射光の照射を止めた後のミラーモニター変動

3. ミラー変形シミュレーション

アンジュレータ放射光照射によるミラー、ミラーホルダー、またその周りのダクトなどの温度変化、それに伴う変形をANSYS^[4]を用いて評価した。放射光照射によりミラーに流入する熱量はSPECTRA^[5]を用いて計算した。Beam Currentは150mAとした。

図5から、ミラーの温度分布は中心付近で185°C程度に達し、またミラーホルダーから遠いため熱が逃げにくいミラーの端の3点の場所でも同様に約180°Cと高い温度に達していた。またミラーホルダー付近では熱がホルダーに逃げやすく、100°C程度の上昇に止まっていた。

共振器軸方向の変形量に関しては、ミラー全体に渡り共振器長が短くなる方向に変形していた。これは通常のFEL実験中に見られる傾向と一致している。ミラーの中心を通る垂直線上の表面上の放射光方向の変形の分布を図6に示す。ミラー支持機構が上下非対称であるために熱変形も非対象となっている。このため、光共振器のアライメントがずれ、FELは電子バンチと効率よく相互作用できなくなりFELパワーの低下が起きると考えられる。

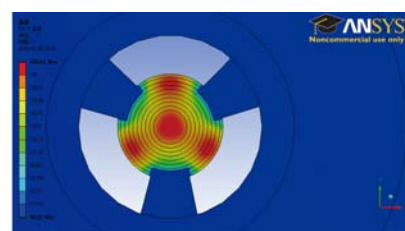


図5 温度分布シミュレーション

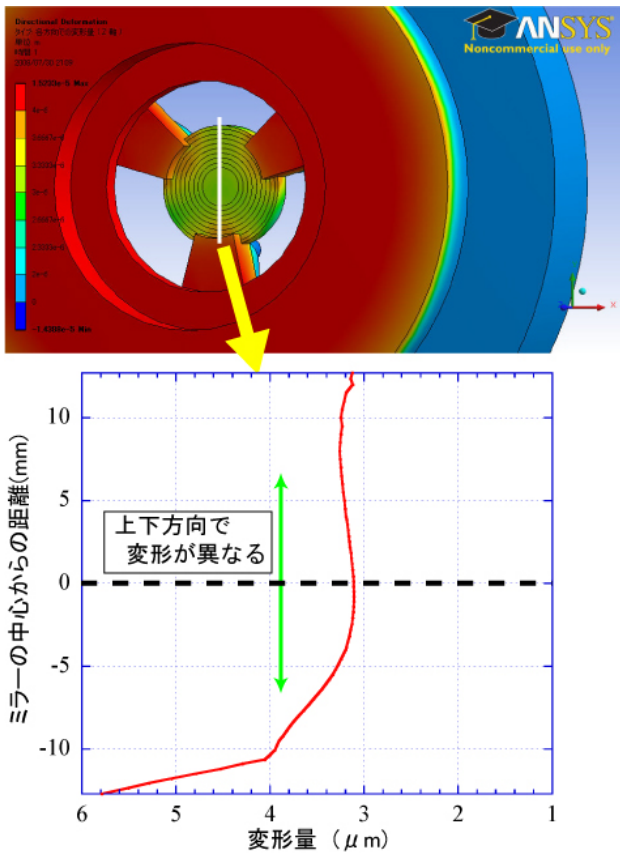


図6 放射光の光軸方向の変形シミュレーション(上図)とミラー表面の垂直線上の変形量(下図)

4. ミラーアライメント Feedback System

以上の研究からアンジュレータからの放射光によるミラー熱変形が、共振器のアライメントを損なわせ、そのことでレーザーパワーが急速に低下することが明らかになった。そこでFEL出力を検出しながら、その値が最大になるように、ミラーのアライメントを調整するFeedback systemの開発を行った。その概略図を図7に示す。

Feedbackのテスト実験は、520nmの波長のFELで試みており、一つの成果として、パワーが低下してきたときにFeedbackを使うと、パワーが回復することに成功した。また、ミラー位置をミスアラインさせてからFeedbackを作動させると最適な位置まで自動で動いていきレーザーパワーも図8のように回復することに成功している。

現在は、FELの増幅率が大きい可視光領域で試しているが、今後は増幅率が低い深紫外領域でのFeedbackで成功するために更なる改良が必要である。また、時間とともに共振器長がずれてくるので、RF周波数を変更するプログラムも取り入れ、更なる安定性を追求していきたい。

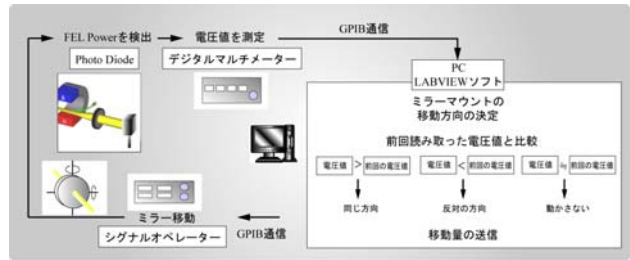


図7 Feedback Systemの概略図

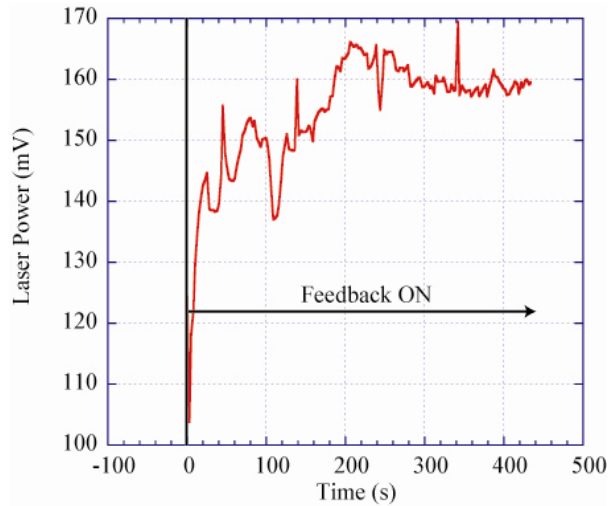


図8 ミスアライメントの場合にFeedbackを行った時のFELパワーの回復

5. まとめ

新たに開発したミラー位置モニターにより、FELパワーが急激に低下する原因は、アンジュレータ放射光の照射によるミラーの熱変形であることが示された。観測結果はANSYSを用いたシミュレーションとも定性的に一致した。ミラーホルダーが3点支持構造であることから、ミラーの変形が上下方向で非対称となっており、これがアライメントを損なわせFELパワーを低下させる要因となっている可能性が示された。今後、水平方向、垂直方向とも対称な構造のミラーホルダーを試験してみる予定である。

一方、Feedback Systemの開発も進めており、基本的な動作確認を終えている。今後、共振器長のずれをも補正するシステムも取り入れ更なる安定化を目指していきたい。

参考文献

- [1] M.Hosaka et.al. UVSOR Activity Report 2007 (2008).
- [2] T.Nakagawa et.al. UVSOR Activity Report 2006 (2007)
- [3] T. Tanaka and H. Kitamura, J. Synchrotron Radiation 8(2001)1221
- [4] サイバネットシステム株式会社. ANSYS Workbench Products 7.1
- [5] T. Tanaka and H. Kitamura, J. Synchrotron Radiation 8(2001)1221.