

共振器型自由電子レーザー発振時における光変換効率測定

Optical conversion efficiency measurement during resonator type free electron laser oscillation.

○齊藤広斗¹, 住友洋介², 境武志², 早川恭史²*Hiroto Saito¹, Yoske Sumitomo², Takeshi Sakai², Yasushi Hayakawa²

Abstract: We use the oscillator free electron laser at Nihon University for the generation of femto-seconds mid-IR lasers with a high peak power. The peak power can be maximized when the oscillator frequency (cavity length) is perfectly synchronized with the repetition frequency of electron pulses, where the pulse width is also minimized. In this presentation, we report on the development of the measurement of energy conversion efficiency of the mid-IR laser from the electron beam by using the beam position monitor that is newly installed after the oscillator free electron laser.

1. はじめに

日本大学電子線利用研究施設(LEBRA)は、学内外研究者の共同利用施設であり、125 MeV 電子線形加速器を用いて電子ビームを加速し、様々な応用研究を行っている。

自由電子レーザー装置(Fig. 1)とは、電子ビームをアンジュレータと呼ばれる磁石を交互に並べて周期的な磁場を発生させる装置の中で蛇行運動させることで光が発生し、その光を2つの凹面鏡で構成される光共振器で往復させ、電子ビームパルスと逐次的に相互作用させることでフェムト秒の時間幅を持つ中赤外のパルス光を作り出している。

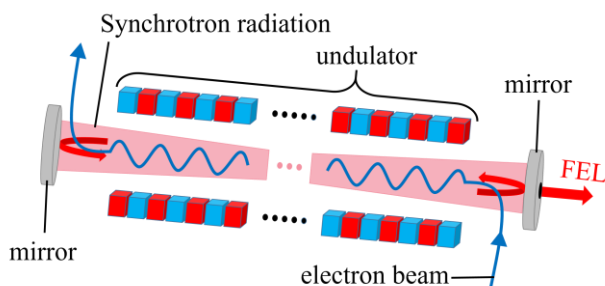


Figure 1. An Illustration of the free electron laser.

共振器型自由電子レーザーにおいて、電子ビームのパルス間隔と光共振器内の往復長を完全に同期させた完全同期長発振状態のときに光生成の効率が上がり、ピーク強度の高い短パルスレーザー光が得られることが実験的にも確認されている[1, 2]. これまでの日本大学における共振器型自由電子レーザーの発振特性に関する研究データから完全同期長発振の兆候が見えているが[3], アンジュレータでの電子通過後におけるビームの状態診断のためのモニターがなく、完全同期長発

振時における状態の詳細を調べるには至っていない。

そこで、自由電子レーザーの発振条件のための電子ビーム状態の違いによる光変換効率のうち、発振波長や自由電子レーザー共振器長の変化との関係を調べるために、ビーム位置モニターを用いた自由電子レーザー完全同期長発振のときの光変換効率と、電子ビーム条件の測定を行い、その結果を報告する。

2. ビーム位置モニターの設置

ビーム位置モニターとは、ビームが生成する電磁場の一部を複数の電極で電気信号として取り出し、ビームの電氣的重心位置を割り出すものである。主に、レーザーを効率よく発生させるように加速器を運転・調整するために用いられている。大きな特徴としては、ビームに触れることなく(非破壊)測定ができるため、ビームの強度に関係なく、また、測定することとビーム利用を両立することができることである。



Figure 2. The 4-electrode beam position monitor.

今回用意したビーム位置モニターは、設置する予定場所である共振器付近のビームダンプ周辺のスペースの関係で、従来のビーム位置モニターよりビーム進行

方向の厚さを削減した4つのボタン型電極から構成されるビーム位置モニター(Fig. 2)である. このビーム位置モニターを Fig. 3 の赤枠の部分に設置をした. そして, ビーム位置モニターから出力される信号をローパスフィルター, 検波器を通じて信号を数十メートル先の制御室で測定可能となるように配線を行った. ローパスフィルターは高周波の影響で検波器が損傷してしまわないように, 検波器はパルスの信号を正負のどちらか一方にすることで, 周波数感度の低いオシロスコープでも観測が可能になるようにしたものである.

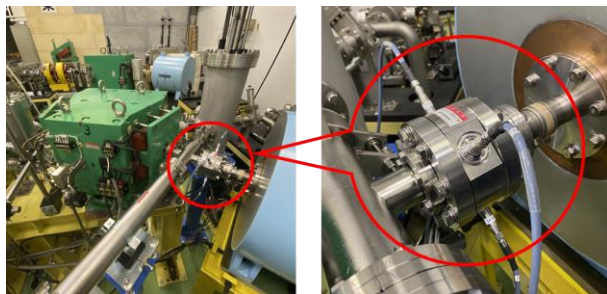


Figure 3. The Installation location of beam position monitor.

3. 校正と実験

今回の実験で使用する 45° 偏向電磁石(Fig. 4 青丸)は, 主コイルと補助コイルがあり, 実際の実験では補助コイルの電流値を変えながら, 水平方向のビームのずれを観測する. ビームエネルギーと 45° 曲がるのに必要な磁場強度には相関があり, 偏向電磁石の磁場強度を変えることによって, 電子ビームのエネルギーを計算することができるので, その値を参考にしながらビーム位置モニターのエネルギーによる校正を行う. その後, 校正データを参考に様々なエネルギー, 波長で自由電子レーザーの発振をし, ビームの状態診断を行う. 本発表では, 得られたデータから解析した結果を詳細に報告する.

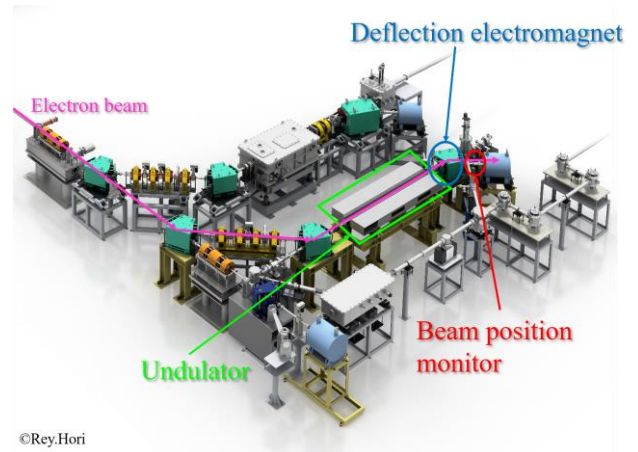


Figure 4. A Schematic of the experimental setup.

4. まとめ

自由電子レーザーは, 前述した通り電子ビームと放射光の相互作用により発振を行っている. アンジュレータ内で蓄積された光が, 電子ビームと逐次的に相互作用を行うことにより, さらに光を増幅し, 高強度の光を蓄積する. 初めは電子ビームのショットノイズから徐々に光を生成するが, ある程度の強度になってからは電子ビームのマイクロバンチ化が進行し, コヒーレント放射が発生することで蓄積光は指数関数的に増幅する. 光が蓄積し高強度になっていくと, 電子ビームのエネルギー減少が大きくなる. エネルギーがどれほど減少しているか, 電子ビームの位置がどれ位ずれているのかについて測定を行うため, 新たにビーム位置モニターを設置した. このビーム位置モニターによるビーム診断により, 自由電子レーザー完全同期長発振のための光変換効率と, 電子ビーム条件の測定ができれば, より高効率で発振するような加速器の運転が実現可能となる.

5. 参考文献

- [1] N. Nishimori *et al.*, “Sustained Saturation in a Free-Electron Laser Oscillator at Perfect Synchronism of an Optical Cavity,” *Phys. Rev. Lett.*, 86, 5707(2001).
- [2] R. Hajima and R. Nagai, “Generation of a Self-Chirped Few-Cycle Optical Pulse in a FEL Oscillator,” *Phys. Rev. Lett.*, 91, 024801(2003).
- [3] 木村将記:「日本大学 LEBRA-FEL におけるデチューニングカーブの測定」, 2019 年度修士論文.