

MEASUREMENT OF A CHIRPED PULSE GENERATION FROM THE ERL-FEL

Hokuto Iijima^{1,A)}, Ryoichi Hajima^{A)}, Ryoiji Nagai^{A)}, Eisuke Minehara^{A)}, Toshihiko Yamauchi^{A)}

^{A)} Free Electron Laser Research Group, Advanced Photon Research Center, Japan Atomic Energy Research Institute
2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195

Abstract

We report the construction of FEL transport line and the measurement method of chirped FEL pulse. An infrared-chirped pulse is an effective way of dissociating molecules. The chirped FEL pulse oscillator is operated by the JAERI-FEL superconducting accelerator, in which a long pulse of electron beam is produced. Until now, the chirped pulse was measured to be $\Delta\omega/\omega_0 = 14.3\%$ with the wavelength of $23.3\ \mu\text{m}$ and the pulse width of 319 fs at FWHM by an autocorrelation. In order to measure the correlation between time and frequency in the chirped pulse directly, the frequency-resolved optical grating (FROG) is developing. Since the measurement is performed in new experimental room, the vacuum transport line guiding the FEL to the room has been constructed.

ERL-FELからのチャープパルス計測

1. はじめに

日本原子力研究所・光量子科学研究センター・自由電子レーザー研究グループはこれまで超伝導加速管を用いたエネルギー回収型の加速器 (JAERI-FEL) で、約20MeVの電子ビームを生成し、これより遠赤外 ($\sim 20\ \mu\text{m}$) のFELを供給してきた^{[1][2]}。この際、電子のマクロパルスの幅が長いことを利用して ($>100\ \mu\text{s}$) パルス内の時間と周波数の相関が制御された、つまりチャープされたFELパルスの生成に成功している^[3]。

図1は通常FELとチャープされたFELの発振の比較を模式的に表したものである。

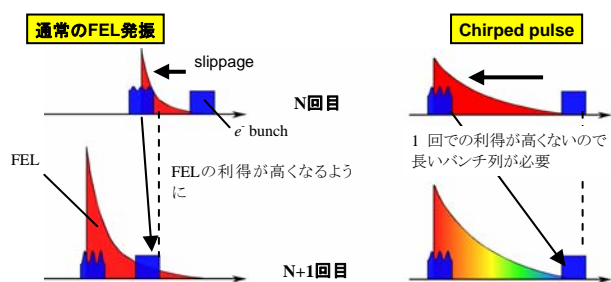


図1：通常FELとチャープFEL発振の概念

電子バンチはFELパルスと相互作用しながらパルスに対してslippageをおこす。このため、パルスの強度は後方が高くなる。FEL発振の利得を稼ぐためには次の電子バンチがパルスの強度の高いところに合うようにタイミングを合わせる。一方、チャープされたFELの場合は、次の電子バンチが常にパルスの先頭に来るようにタイミングを合わせる。このため、一回での利得は小さいが、常にパルス前方の電子

バンチのほうが後方よりもエネルギーが高い状態でパルスを成長させることとなり、結果、FELのパルス内に光の周波数の偏りができる。

こうしたチャープパルスの応用としては、例えば多原子分子の解離実験などが考えられる^{[4][5]}。図2は多原子分子の解離を模式的に示したものである。通常、多原子分子の解離はそのモードの準位を遷移しながら解離極限の状態に達することでおこなわれる。しかし、通常の赤外光では極限に達するまでに解離のためのエネルギーが分子内の振動モードに再分配される (Intramolecular Vibrational Redistribution, IVR) ことがあるため解離の効率は決して高くない。ここで解離のための準位に合うようにチャープされた光を使えば、その遷移は共鳴的に起こり、解離の効率は飛躍的に上がる。

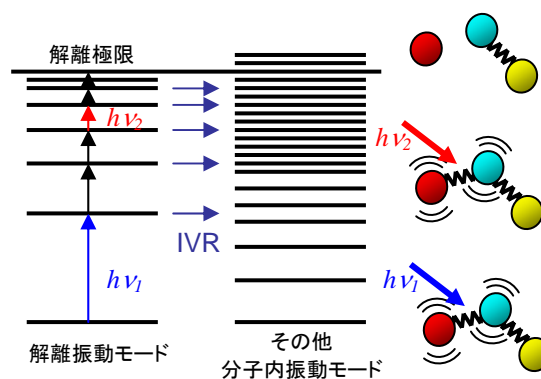


図2：多原子分子の解離

¹ E-mail: hokuto@popsvr.tokai.jaeri.go.jp

2. チャープパルスの測定法

これまで、チャープされたFELパルスは自己相関によって測定された。測定値は中心波長 $23.3\mu\text{m}$ 、パルス幅 319fs (FWHM)、チャープ量 $\Delta\omega/\omega_0 = 14.3\%$ であった^[1]。しかしこのときは、時間・周波数の相関を直接測定できていない。そこで、我々はFrequency-Resolved Optical Grating (FROG) による時間・周波数位相空間の直接計測を行うこととした。

図3はFROGの測定系の概念を表したものである。光の時間成分の選択は、スプリッターにより分けた2つの光のうち片方に遅延を与え、その後Te結晶による倍波発生を行ないその強度を測定することで行なう。また、周波数成分は回折格子を用いることで選択する。これにより時間と周波数の相関を計測することができる。この方式は今後、チャープパルスの応用実験の際、チャープパルスの波形整形を行なうことも念頭においている^[6]。

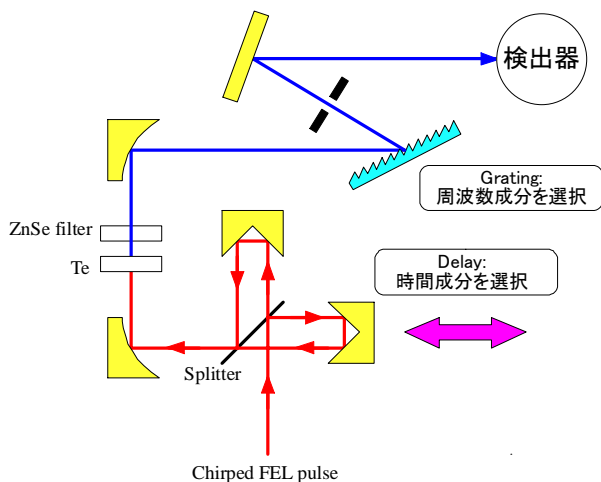


図3 : Frequency-Resolved Optical Grating (FROG)の概念

3. FEL 輸送系の現状

3.1 輸送系の配置

図4は我々の研究棟とFEL加速器の配置をしめす。図中の青い線が加速器の配置である。これまでチャープパルスの測定はFELのキャビティーの直後で行ってきた。また、そのほかの実験は図中の、我々が「測定小屋」と呼ぶ部屋で行ってきた。FELキャビティーの直後は、加速器の運転中はアクセスできない。また、測定小屋も建屋の外にあるため実験中のアクセスには不便があった。そこで我々は今後の応用実験のためにも建屋内に環境のよい実験室(図4中赤い塗りつぶし)を準備し、そこまでFELを輸送することとした。

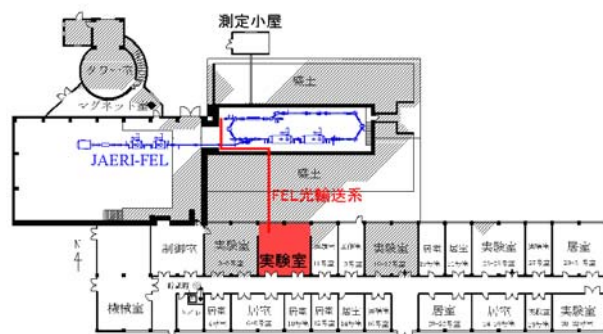


図4 : JAERI-FEL棟と加速器の配置

輸送経路は図4中の赤い線で示され、距離は約 22m である。このため、数百fsの短パルスFELを測定するためには、輸送系が真空である必要がある。また、我々のFELキャビティーのカプラーは $\phi = 2\text{mm}$ のピン・ホール型であるため、回折の効果によりそのまま輸送したのでは実験室での光の径が大きくなりすぎてしまう。こうしたことから光輸送系は真空にすることとし、キャビティー直後には、1対の楕円ミラーからなる集光系を設置することとした。また、真空引きによる輸送系の”ねじれ”を考慮し、各箇所ミラーは真空を保持したまま調節できるようにした。

3.2 GRADによる輸送系の計算

この輸送系の光学的な輸送効率をGRAD²でシミュレートした。光源としてのFELキャビティーを初期条件とし、波長は $20\mu\text{m}$ を仮定した。そこからカプラーのピン・ホール、集光用の1対の楕円ミラー、光輸送系に設置した4枚の平面ミラーによる反射を考慮した。図5はGRADによる実験室でのFELのプロファイルで $r_0=43\text{mm}$ 、 $M^2=1.4$ であった。また、輸送効率は73%であった。

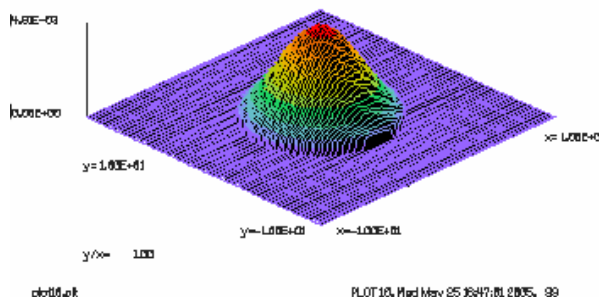


図5 : GRADによる実験室でのFELプロファイル

² GRAD; General Laser Analysis and Design program (Applied Optical Research, AOR)

3.3 設置された光輸送系

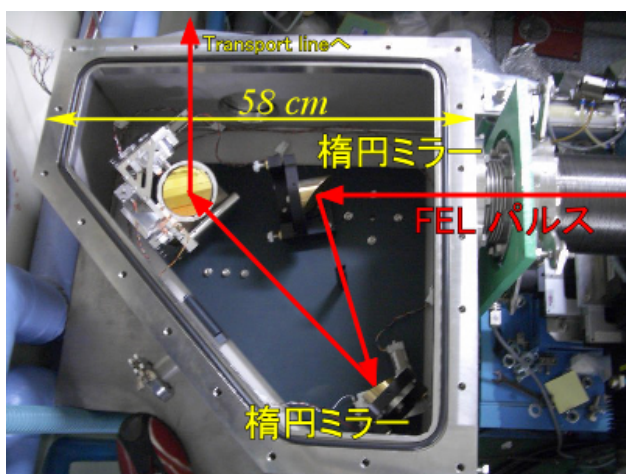


図 6 : 加速器室側集光チェンバー (上) と
実験室側取出しチェンバー (下) の写真

図 6 は加速器室側の集光系の写真、および実験室側の取り出しチェンバーの写真である。現在光輸送系はすべての組み立てを終え、チェンバー内部は真空の状態に保持してある。輸送系各箇所のミラーの調節はHe-Neレーザーを用いて行なった。到達真空度は 2×10^{-4} Torrで、この真空度であればFELパルスのパルス幅への影響は無視できると考える。また、真空にすることで起こる輸送系の”ねじれ“は、幸いそれほどでもなく、実験室での光のプルファイルが1cm程度動くにとどまった。これは集光系チェンバーに設置したミラーのわずかな調整で補正できた。

4. まとめ

JAERI-FELでは超伝導加速器を利用して、ロングパルスの電子ビームを発生させ、これによりチャープされたFELを発振させている。これまでに、自己相関法によりパルス幅319fs、チャープ量14.3%を計測した。今後、時間・周波数の相関をみるためにFROGによる計測を行なう。このため新たに実験室を準備し、そこへの光輸送系を設計、構築した。

参考文献

- [1] N. Nishimori, et al., Nucl. Instr. and Meth. A 475 (2001) 266
- [2] R. Hajima, et al., Nucl. Instr. and Meth. A 507 (2003) 115
- [3] R. Hajima and R. Nagai, Phys. Rev. Let. 91 (2003) 024801
- [4] S. Chelkowski, et al., Phys. Rev. Let. 65 (1990) 2355.
- [5] 藤村勇一, O plus E, No. 176, p. 102.
- [6] G. M. Knipples, et al., Opt. Comm. 118(1995).