

# 干渉分光計を用いたテラヘルツ波FELのコヒーレンス長測定

古橋建一郎、加藤龍好、柏木茂、森尾豊、

寺沢賢和、杉本尚哉、磯山悟朗

大阪大学産業科学研究所量子ビーム発生科学研究分野

〒567-0047 大阪府茨木市美穂が丘 8-1

## 1.はじめに

大阪大学産業科学研究所ではLバンド電子ライナックを用いて遠赤外領域の自由電子レーザー(FEL)の基礎研究を行っている。現在我々は回折格子を用いた分光実験や光共振器長に対する強度変化の測定など、いくつかの手段を用いてFELの性能を評価している。しかし、マクロパルスを構成するマイクロパルスの時間情報については、これを測定する有効な手段を持っていない。

そこで今回、干渉分光計を導入し、FEL光パルスの干渉パターンを得る事でマイクロパルスの時間情報の評価を行った。さらにこの干渉パターンをフーリエ変換し、波長スペクトルについての考察も行った。

## 2.単色光パルスの干渉

波長  $\lambda$  の単色光を、

$$(x,t)=A\exp\{i(k(x-\lambda t)-\omega t)\}$$

としてこれが干渉すると、強度にして

$$I=2A^2+2A^2\cos(k\Delta x)$$

となり、平均値  $2A^2$ 、最大値  $4A^2$  の位相差を関数とした余弦波で表される<sup>[1]</sup>。また振幅  $A$  がある幅  $P$  を持っているとする、出来る干渉パターンの幅は  $2P$  となる。今回この干渉パターンの幅  $2P$  を半値幅として、 $P$  を求める。実際の波にとって  $P$  は元の波の可干渉部分がコヒーレンス長になる。

## 3.実験状況

我々の研究室のLバンドライナックは3台のSHBを用い、マルチバンチモードの運転では約20psのマイクロパルスが9.2ns間隔で約4μsのマクロパルスを構成している。一方、合わせ鏡の光共振器を用いて発振するFELにおいて光パルスの時間構造は、その共振器長に大きく依存する<sup>[2]</sup>。共振器長に対するレーザー強度とマクロパルスの波形の変化をFig.1とFig.2に示す。

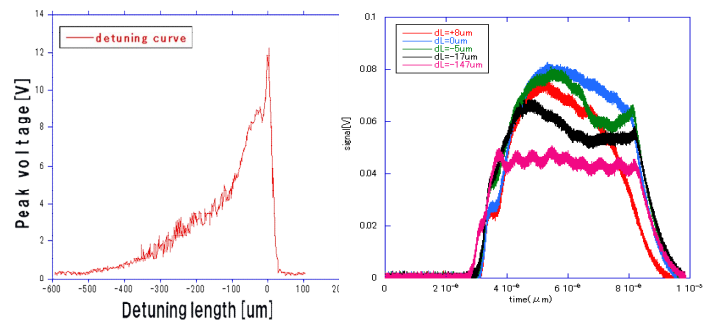


Fig.1: 共振器長に対するFEL強度の変化

Fig.2: FELマクロパルスの時間プロファイル  
但し、共振器長はレーザー強度最大の位置を0umとして相対値を取っている。

また今回の実験における干渉計の配置と干渉計の概要をFig.3に示す。光共振器から出射されたFELは凹面鏡で平行光となり、加速器室から測定室に輸送された後、通常ならば向かって左側に出射され回折格子で分光された後Ge:Ga半導体検出器に入射される。

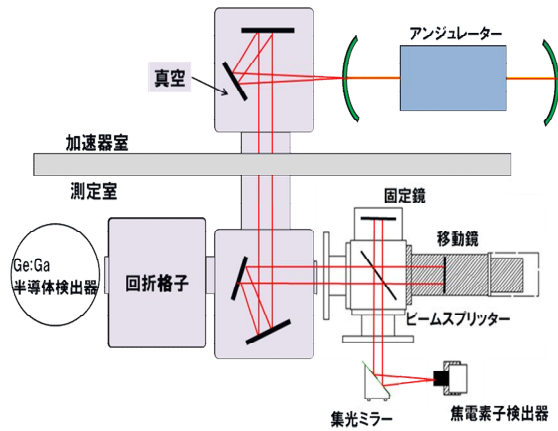


Fig.3: 実験装置の概要

今回の実験では Fig.3 のようにミラーの配置を変える事で右側に曲げられて、真空チャンバーから単結晶の光学窓を通して出射される。その後干渉計に入射され、mylar で出来た半透膜で2光束に分けられ、それぞれ固定鏡と移動鏡で反射して再び mylar に戻り干渉する。

この干渉光を集光ミラーで集めて焦電素子検出器でその強度を測定する。

移動鏡はステッピングモーターで動かしている。移動鏡の距離の分解能は  $1\ \mu\text{m}$  である。この移動鏡の動きと同期して、焦電素子からの信号のピーク値を取得する。このシステムのプログラムは NI 社の LabVIEW を用いて作った。

移動鏡は 50mm のスキャンが可能である。

本実験は Fig.2 と同じ共振器長 +8,0,-5,-17,-147 $\mu\text{m}$  でそれぞれ行った。

#### 4.実験結果

Fig.4~8 に測定結果を示す。

それぞれの干渉パターンの半値幅を測り、各共振器長を比較したものを fig.9 に示す。

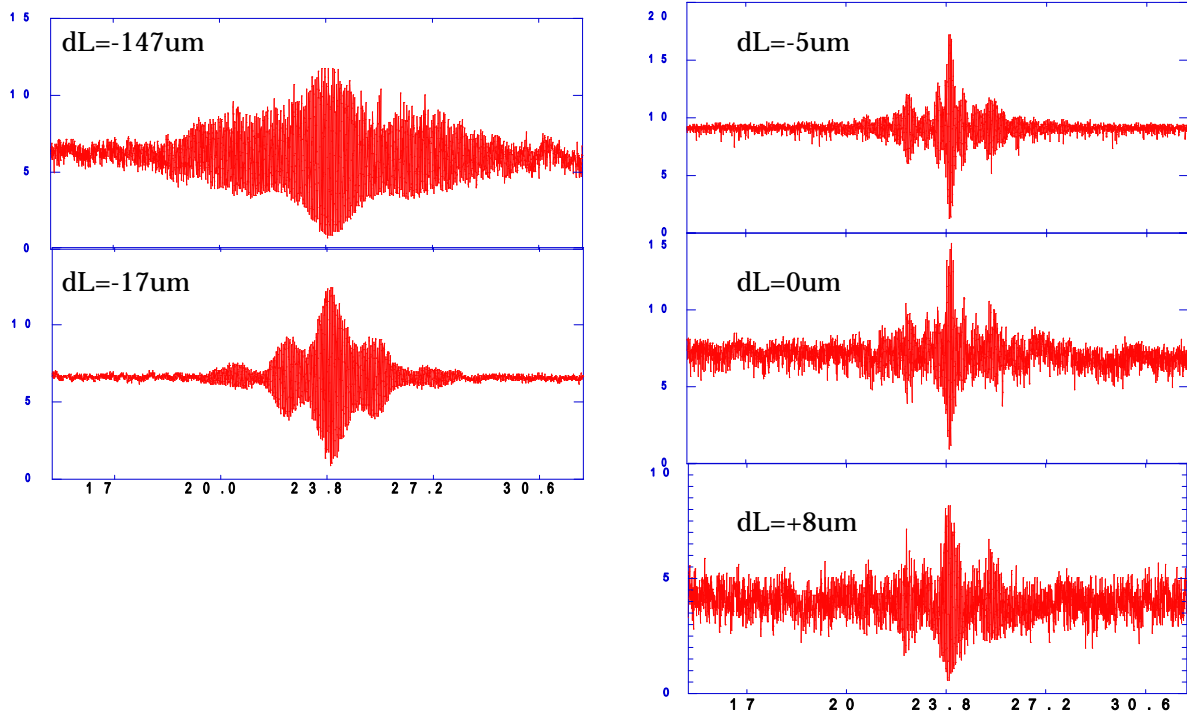


Fig.4~8: 横軸、モーターの移動距離(mm)

縦軸、焦電素子検出器で得られた波形のピーク値

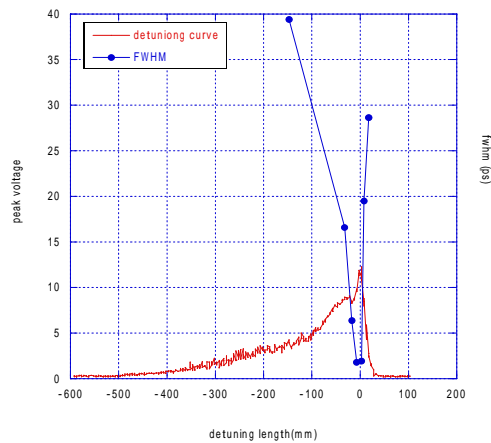


Fig.9: 青線：干渉パターンの半値幅  
赤線：デチューニング曲線(Fig.1 と同じもの)

干渉パターンの半値幅は明確に共振器長に対して依存しており、その変化はレーザー強度とは逆に共振器長 0  $\mu\text{m}$  付近で最小値を取っていることが分かる。

### 5.考察

Fig.4~8 から分かるように干渉パターンは内部に構造を持ったものになっている。構造の数は共振器長により違う値を取る。対応表を Fig.10 に示す。また干渉パターンをフーリエ変換したものを Fig.11 に示す。

共振器長 ( $\mu\text{m}$ )	構造の数
+8	3
0	9
-5	13
-17	5
-147	3

Fig.10: 共振器長に対する干渉パターンの内部構造の数

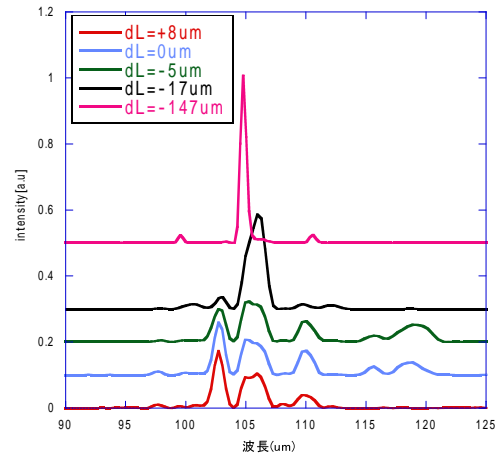


Fig.11: 干渉パターンのフーリエ変換

Fig.9 から共振器長が 0  $\mu\text{m}$  付近になればなるほど構造の数が多くなっている。これはマイクロパルスの内部に更にマイクロパルスを構成するパルスがあり、それらのパルスが順々に干渉して内部構造のある干渉パターンとして観測されていると考えられる。一方、Fig.10 から、スペクトルの幅は 0  $\mu\text{m}$  に近づくほど干渉パターンとは逆に広がっていることが分かる。このことは内部のパルスがある帯域幅を持っており、これが干渉し合って内部構造を形成している可能性もあることを示している。

Fig.10 でのスペクトルが欠けている部分は水蒸気の吸収波長によく一致しており、真空チャンバーを出た後に FEL が大気にさらされていることが原因であることがわかる。

### 6.まとめと今後の課題

阪大産研Lバンドライナックにおける FEL ミクロパルスのコヒーレンス長を、干渉計を用いて測定した。コヒーレンス長はマイクロパルスの波形と同じく共振器長に大きく依存し、0 detuning 付近で最小値をとることが分かった。干渉パターンには内部構造が確認され、

マイクロパルスの詳細な考察・解析が必要である。また今回用いたシステム全体を真空引きして水蒸気の吸収を避けることも今後の課題にしたい。

#### 7.参考文献

- [1] レーザー学会 “レーザーハンドブック第二版” 株式会社オーム社
- [2] R.Kato et al.,Proceeding, the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 6-8,2008