

[13P-39]

## EVALUATION OF ELECTRON BUNCH SHAPES USING THE COHERENT TRANSITION RADIATION

M. Nakamura\*, M. Takanaka, S. Okuda, T. Kozawa, R. Kato, T. Takahashi<sup>a</sup>, S. K. Nam<sup>b</sup>

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University  
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047, Japan

<sup>a</sup>Research Reactor Institute, Kyoto University  
Kumatori, Sennan, Osaka, 590-0494, Japan

<sup>b</sup>Department of Physics, Kangwon National University  
Chunchon, Kangwon-Do, 200-701, Korea

### Abstract

The spectrum of the coherent radiation emitted from an electron bunch is determined by the bunch shape. The bunch shape of the single-bunch electron beam of the L-band linac was evaluated from the longitudinal bunch form factor which was given by the spectrum of the coherent radiation emitted from the bunch at the Institute of Scientific and Industrial Research in Osaka University. In this work, a chicane-type bunch compressor was used to change the bunch shapes. A streak measurement was also performed in the same configurations. The longitudinal bunch form factors obtained by the measurement well agreed with those of the triangular bunch having a bunch length which was given in the streak measurements.

### コヒーレント遷移放射による電子バンチ形状の評価

#### 1. はじめに

電子ライナックからの電子バンチを利用する研究では、バンチ形状に関する情報が重要となる。電子バンチから発生するコヒーレント放射のスペクトルは、電子バンチ形状に大きく依存し、バンチ形状についての情報を与える。現在この特徴を利用し、電子ビームの新しい計測法として研究が進められている。

本研究では、阪大産研 38MeV Lバンド電子ライナックからの単バンチ電子ビームのバンチ形状を、コヒーレント遷移放射のスペクトル測定により評価した。4 極シケイン型バンチコンプレッサー (BC) を用いてバンチ形状を変化させ、その動作の前後でコヒーレント遷移放射のスペクトルを測定した。また、得られた結果から縦バンチ形状因子を求め、同じ実験条件で観測したストリークカメラによる測定結果と比較した。

#### 2. 原理

ライナックにより加速された電子バンチからは、遷移放射やシンクロトロン放射の過程において連続スペクトルを持つ放射が発生する。電子バンチからの放射強度は、1 電子からの放射強度を  $p(\nu)$ 、バンチ内の電子数を  $N$  とすると

$$P(\nu) = p(\nu)N(1 + Nf(\nu)) \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 $\nu$  は波数 (波長の逆数) を示す。ここで、 $f(\nu)$  はバンチ形状因子とよばれるもので、放射がコヒーレントとなる効果の程度を示し  $0 \leq f(\nu) \leq 1$  の間の値をとる。 $f(\nu)$  が比較的大きい場合、放射強度は  $N$  の二乗に比例する。この放射をコヒーレント放射という。このバンチ形状因子  $f(\nu)$  は、バンチ内の規格化された電子の分布関数  $S(x)$  のフーリエ変換で与えられる。

$$f(\nu) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} S(x) \exp(i2\pi\nu x) dx \right|^2 \quad (2)$$

この関係式から、バンチ形状因子からバンチ内の電子の分布関数、すなわち電子バンチの形状についての情報を得ることができる。バンチ形状因子は、式 (2) で示すように、コヒーレント放射のスペクトルから求められる。以上から、実験で放射強度のスペクトルを測定することによりバンチ形状を評価することができる。コヒーレント放射を利用したバンチ形状の計測法の特徴としては、分解能が測定波数 (波長) に依存するため高分解能の計測が可能である点が挙げられる。

本研究では、放射過程に遷移放射を採用した。遷移放射は、屈折率の異なる 2 つの物質の境界を電子が通過する際に、進行方向およびそれとは逆方向に発生する放射である。遷移放射が完全に発生するために形成層  $L_f$  とよばれる領域を電子が走行する必要がある。この実験では、距離  $L$  の間隔で電子ビームの軌道上に置かれた 2 枚の発光体からの放射の重ね合わせを観測している。このよう

\* M. NAKAMURA, mitumi03@sanken.osaka-u.ac.jp

な場合における 1 電子からの遷移放射の強度は、電子ビームの軌道から角度  $\theta$  をなす方向において、

$$p_e(v) = \frac{2\alpha\beta^2 \sin^2 \theta}{\pi^2 v (1 + \beta^2 \cos^2 \theta)^2} \left( 1 - \cos \frac{2\pi L}{L_f} \right) \quad (3)$$

で与えられる。ここで、 $\alpha$  は微細構造定数、 $\beta$  は電子の速度と光速の比である。遷移放射を利用する利点としては、直進の電子ビームを利用できるため、放射に対するビームのエネルギー変動による影響が軽減される点が挙げられる。

### 3. 実験方法

本研究における測定系概略図を図 1 に示す。電子ビームには単バンチ電子ビームを使用した。ビーム条件は、エネルギー 27MeV、エネルギースペクトル幅 1.1% (FWHM)、バンチ当りの電荷量 13.5nC である。本研究では、コヒーレント遷移放射のスペクトル測定による方法とストリークカメラによる方法の 2 種類の方法で、同じ電子ビーム条件、同じ光学系でバンチ形状を交互に観測した。コヒーレント遷移放射の測定では、電子ビームが軌道に置かれたアルミ箔を通過する際に発生する前方遷移放射とアルミコーティングミラーを通過する際に発生する後方遷移放射の重ね合わせを測定した。アルミ箔とミラー間の距離、すなわち発光長  $L$  は 150mm である。分光器にはマーチン・パレット型干渉計を使用した。この実験での波数分解  $\Delta\nu$  は  $0.2\text{cm}^{-1}$ 、測定波数範囲は  $2\text{--}25\text{cm}^{-1}$  である。検出器には液体ヘリウム冷却シリコンポロメータを 2 台使用し、1 台で信号強度を、もう 1 台で電子ビームの変動に伴う放射強度の変動を補償するための参照光の強度を測定した。ストリークカメラの測定では、同じ実験条件で発生した可視領域のチェレンコフ光を測定し、バンチ波形を観測した。この測定でのストリークカメラの分解

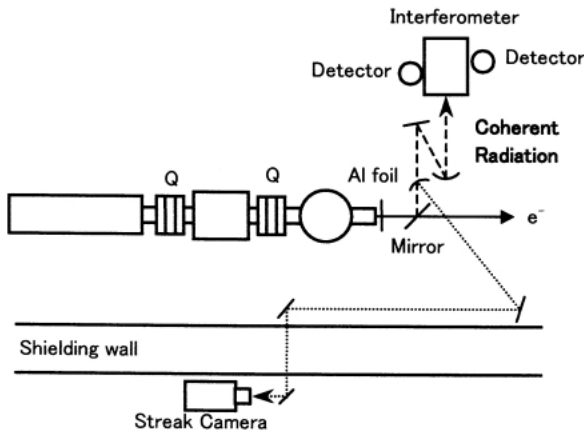


図1 測定系概略図

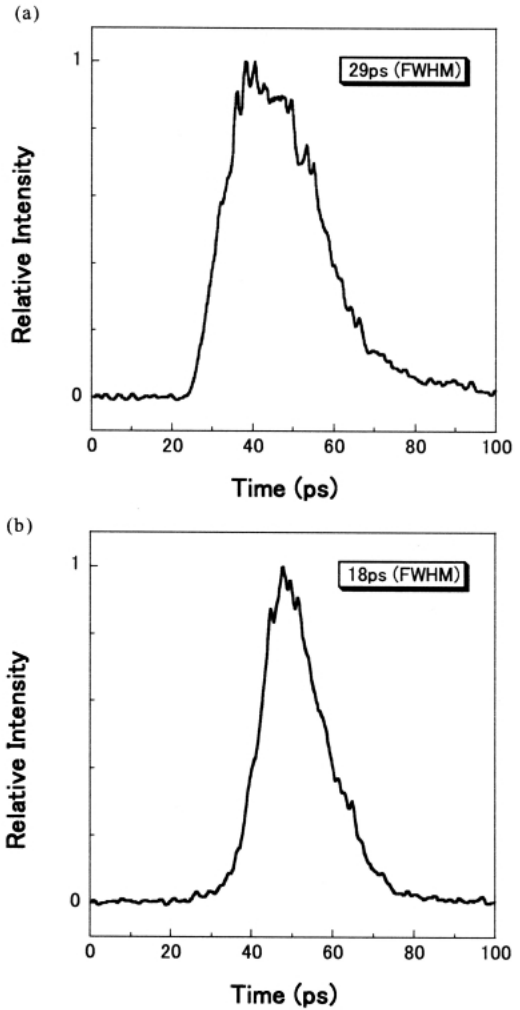


図 2 ストリークカメラによる電子バンチ形状の測定結果 ((a)BC を動作させていない場合および(b)BC を動作させた場合)

能は 0.9ps、中心透過波長 478.5nm の干渉フィルターを使用した。また、異なる形状の電子バンチを観測するため 4 極の磁石で構成されるシケイン型 BC を使用し、バンチの形状を変化させた。その両者の方法を用いてバンチ形状を観測した。

### 4. 実験結果と考察

BC を動作させていない場合および動作させた場合のバンチ波形をストリークカメラで観測した結果を図 2 に示す。BC を動作させたことにより、バンチ長が半値幅 29ps から 18ps に短縮したことが確認された。またこの測定結果から、電子バンチの形状は三角形に近い形をしていると推測される。ほぼ同じ条件で測定したコヒーレント遷移放射のスペクトルを図 3 に示す。BC を動作させたことにより、放射強度が約 4 倍増大した。測定で得られたスペクトルから求めた縦バンチ形状因子を図 4 に示す。形状因子においても BC を動作による値

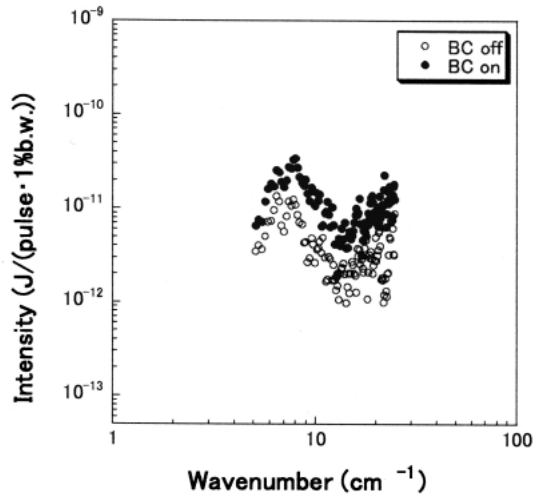


図 3 BC を動作させていない場合と動作させた場合のコヒーレント遷移放射のスペクトル

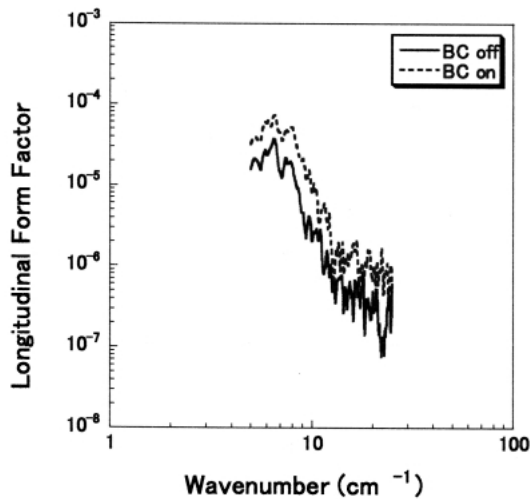


図 4 図 3 の結果から求めた縦バンチ形状因子

の増加が見られる。以上の結果から、BC によるバンチ長の短縮が、コヒーレント遷移放射のスペクトル測定によっても確認された。式 (2) の関係を用いて、バンチ形状因子からバンチ内の電子の分布関数を直接求めるためには、形状因子が 1 に近い値まで知る必要がある。しかし、図 4 に示すように、 $10^6$  程度の波数領域でしか縦バンチ形状因子の測定を行っていない。本研究では、ストリークカメラの測定結果から二等辺三角形のバンチを仮定し、この形状因子を計算によって求め、図 4 で得られた縦バンチ形状因子と両者を比較した (図 5)。仮定した三角形の電子バンチの半値幅は、ストリークカメラの測定結果からそれぞれ 29ps、18ps の値を用いた。いずれの場合も両者は良い一致を示した。以上の結果から、観測した電子バンチは、半値幅約 9 nm および 6 nm の三角形に近い分布をもつと推測できる。

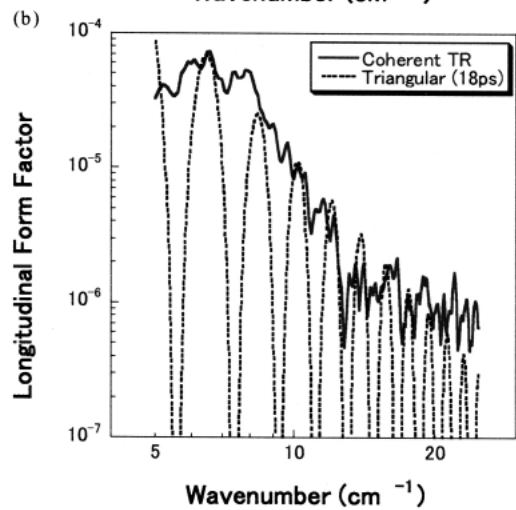
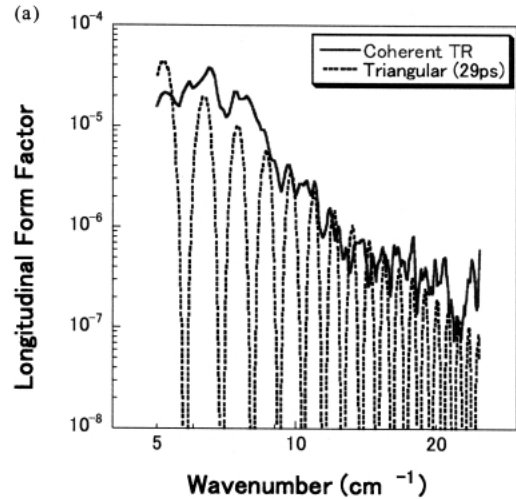


図 5 縦バンチ形状因子の比較 ((a)BC を動作させていない場合および(b)BC を動作させた場合)

## 5. おわりに

阪大産研 L バンド電子ライナックの単バンチ電子ビームからのコヒーレント遷移放射のスペクトル測定を行い、バンチ形状を評価した。得られた結果は、同じ電子ビーム条件および光学系においてストリークカメラで観測した結果と良い一致を示した。また、BC を動作させた場合のバンチ長の短縮をいずれの方法でも確認した。今後は、コヒーレント放射を利用した研究を進めるための電子ビームの最適化を行う計画である。

## 参考文献

- [1] 中村 他 日本原子力学会 2000 年春の年会 予稿集 第 I 分冊 p.121