

# CHARACTERISTICS OF THE LIGHT SOURCE WITH COHERENT RADIATION FROM THE SINGLE-BUNCH ELECTRON BEAM OF THE ISIR LINAC

K. Yokoyama, Y. Miyauchi, S. Okuda, R. Kato, T. Takahashi\*

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567, Japan

\*Research Reactor Institute, Kyoto University

Kumatori, Osaka 590-04, Japan

## Abstract

Study has been made to establish an intense light source at wavelengths in submillimeter to millimeter region by using the coherent radiation from the single-bunch electron beam of the L-band linac at ISIR, Osaka University. The spectrum and the other characteristics of high intensity coherent transition and synchrotron radiation have been measured. The intensity of the coherent radiation in the region of wavelength has been found to be about 5 orders of magnitude higher than the other light source.

## 産研ライナックの単バンチ電子ビームによるコヒーレント放射光源とその特性

### 1. はじめに

阪大産研 L バンドライナックは特殊なバンチャージシステムを持ち (図 1)、極めて高強度の単バンチ電子ビームを発生することができる。最近、この単バンチビームを用い、赤外自由電子レーザー(FEL)や、コヒーレント放射の研究が行われている。

電子ビームからのコヒーレントな放射は、1989年に東北大学でシンクロトン放射の過程で初めて実験で観測され<sup>1)</sup>、1990年には産研で、電子ビームが物質中を通過する際に放射のコヒーレントになることを明らかにした<sup>2)</sup>。また、コヒーレント放射がバンチの形状

と密接な関係を持つことから、スペクトルを測定し電子ビームの形状の推定を試みる基礎的研究を、東北大学と共同で行った<sup>3)</sup>。

電子ビームからのコヒーレントな放射は、電子のバンチ長と同程度かより長い波長域で観測される。産研ライナックの電子ビームから、サブミリからミリ波領域で、通常よりも強度が最大 10 桁増大した光が観測されている。

本研究では、利用研究のための光源としてのコヒーレント放射の特性測定を行った。

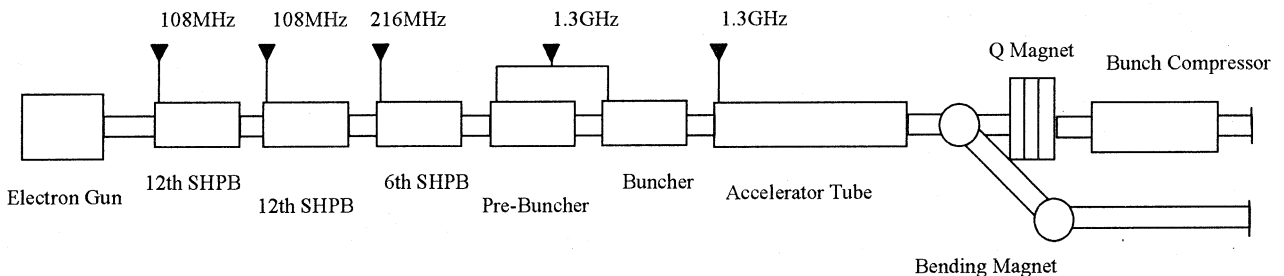


図1 阪大産研Lバンドライナック

## 2. コヒーレント放射の原理と特徴

コヒーレント放射は、高エネルギー電子ビームからの放射において、バンチ長と同程度か、より長い波長域で観測される。1個の電子バンチからのコヒーレント放射のスペクトル強度  $P_{coh}(\lambda)$  は、

$$P_{coh} = p(\lambda) [N + N(N-1)f(\lambda)] \\ = P_{incoh}(\lambda) [1 + (N-1)f(\lambda)] \quad (1)$$

$P_{incoh}(\lambda)$ : 電子バンチからの

インコヒーレントな放射の強度

$p(\lambda)$ : 電子1個からの放射の強度

$N$ : バンチ内の電子の個数

となる。(1)式の右辺第1項はインコヒーレントな成分の寄与を、第2項はコヒーレントな成分の寄与を表す。

ここで  $f(\lambda)$  はバンチ形状因子と呼ばれ、

$$f(\lambda) = \left| \int \exp i(2\pi x / \lambda) S(x) dx \right|^2 \quad (2)$$

$x$ : 電子ビームの軸上の座標

$S(x)$ : 電子の密度分布

で表される。(1)式よりバンチ形状因子が1に近いと、すなわち波長がバンチ長より十分大きいとコヒーレントな成分の寄与が大きくなり、また波長が比較的短く形状因子が0に近いとコヒーレントな成分の寄与が小さく、強度が弱くなる。

短い時間幅の電子バンチからのコヒーレント放射は、連続スペクトルを持ち、バンチ長と同程度の波長でピークをもちつつピコ秒パルス光である。その強度はバンチ内の電子の個数の2乗に比例する。

## 3. 光源としての条件

シンクロトロン放射は、電子ビームが磁場によって軌道を曲げられた際、軌道の接線方向に放射される。遷移放射は、電子ビームが金属薄膜などの誘電率の異なる物質を通過する際にその前方及び後方へ、円錐状に放射される。これはすべての放射を凹面鏡で集光できるという特徴を持つ。コヒーレント放射は、これらの放射過程における特徴をそのまま持っている。本研究では、放射過程として単純なこれら2種類の放射を選択し、測定を行った。

産研ライナックの単バンチビームでは、式(1)の  $N$  の値は約  $4 \times 10^{11}$  と他の電子加速器と比較しても大き

く、きわめて強い光源の実現が期待される。

産研ライナックにおける単バンチビームとマルチバンチビームからの放射の強度を比較した。全電荷量はマルチバンチビームの方が多いが、バンチあたりの電荷量ははるかに多い単バンチビームの方が、放射のピーク強度・平均強度とも1桁以上強い。(表1)

表1 単バンチビームとマルチバンチビームからの放射強度の比較

	単バンチ	マルチバンチ
パルス幅	20~30ps	2 $\mu$ s
バンチ数	1/pulse	2600/pulse
バンチあたりの電荷量	30nC	0.23nC
全電荷	30nC/pulse	600nC/pulse
パルスの繰り返し	360pps	120pps
ピーク放射強度比	17000	1
平均放射強度比	20	1

## 4. 測定条件

遷移放射の測定配置を図2に示す。またシンクロトロン放射の測定配置を図3に示す。単バンチ電子ビームのエネルギーは28MeV、バンチあたりの電荷量は約30nC、ビームの繰り返しは60pps、バンチの時間幅は20~30ps(FWHM)である。光は金をコートした反射鏡により輸送し、凹面鏡により平行光とした上

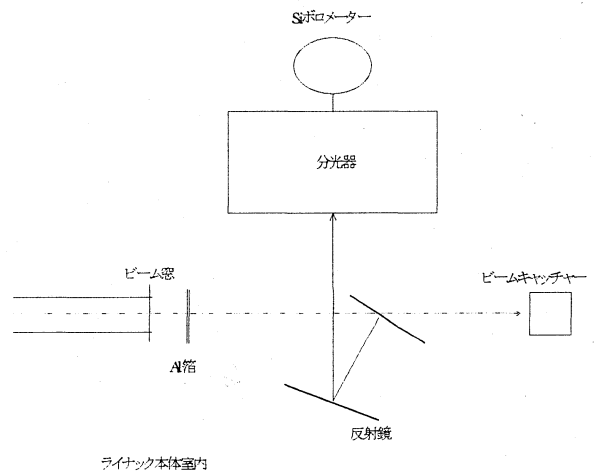


図2 遷移放射の測定配置

で分光器に導いた。分光器には回折格子を使用した。バンドパスフィルターにより高調波を除き、液体ヘリウム冷却Siボロメーターによって光を検出した。

遷移放射の測定では、図2に示したように、ビーム出口に設置したアルミ箔からの前方放射と電子ビームの軌道上に設置した反射鏡からの後方放射が重なり合

ったものを測定した。また、この波長領域における水蒸気による吸収を補正した。シンクロトロン放射の観測では、FEL 輸送系の偏向磁石からの放射を利用し、光を扱いやすいように照射室外へ導いた。光の輸送路及び分光器には乾燥窒素を封入した。

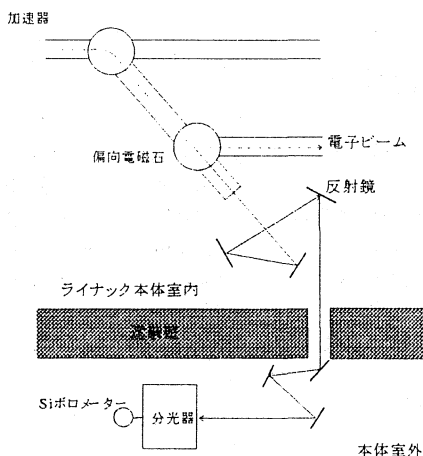


図3 シンクロトロン放射の測定配置

#### 5. 測定結果および考察

1 mm ~ 2 mm の領域において遷移放射の測定を行った。そのスペクトルを図4に示す。本実験の測定結果に基づき、単バンチビームの繰り返しを 360pps と

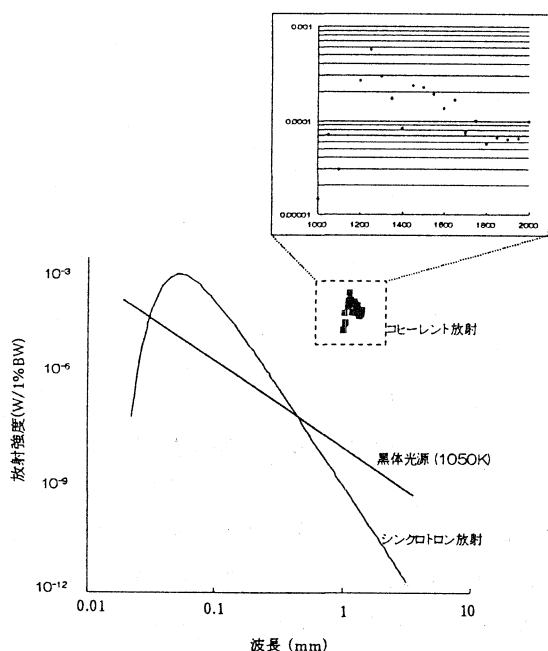


図4 本研究で観測された遷移放射のスペクトルと従来の光源との比較

し、全放射を集光したとして強度を計算した。現在用いられている遠赤外光源として蓄積リングからのシンクロトロン放射はサブミリより長い波長領域で黒体光源よりも強くなる。比較のためにこれらのスペクトルを図4にプロットした。シンクロトロン放射は、電子のエネルギー 0.75 GeV、平均電流 100 mA、受光角 80 mrad とし、黒体光源は、温度 1050K、受光角 0.1 sr として計算した。シンクロトロン放射とコヒーレント遷移放射を比較しても、平均強度で後者の方が5桁ほど強いことがわかる。

観測される放射の安定性は、遷移放射で  $\pm 4\%$ 、シンクロトロン放射で  $\pm 7\%$  であった。後者がやや大きいのは、偏向磁石で偏向したことによると考えられる。単バンチビームからの放射は、バンチャーなどの調整によりさらに安定な状態にすることができた。このようなビーム条件については、現在研究を行っている。

#### 4. まとめ

本研究で新しい高強度遠赤外光源として利用するための、コヒーレントな遷移放射および、シンクロトロン放射の特性を観測した。この放射は、従来の光源と比べ平均強度で約5桁強いことが明らかになった。

また、ピコ秒単パルス、コヒーレンス、偏光などの特性を活かした利用研究を行うために、光源の整備を進める。

現在コヒーレントシンクロトロン放射の測定を行っており、その詳細についても報告する。

#### 参考文献

1. T. Nakazato, M. Oyamada, N. Niimura, S. Urasawa, O. Konno, A. Kagaya, R. Kato, T. Kamiyama, Y. Torizuka, Y. Nanba, Y. Kondo, Y. Shibata, K. Ishi, T. Ohsaka and M. Ikezawa, Phys. Rev. Lett. 63 (1989) 1245.
2. J. Ohkuma, S. Okuda and K. Tsumori, Phys. Rev. Lett. 66 (1991) 1967.
3. Y. Shibata, T. Takahashi, T. Kanai, K. Ishi, M. Ikezawa, J. Ohkuma, S. Okuda and T. Okada, Phys. Rev. E50 (1994) 1479.