

京大炉ライナック及び JAEA-ERL における テラヘルツ・コヒーレント放射光の研究

高橋俊晴
(京都大学原子炉実験所)

Experimental researches of THz coherent radiation at KURRI-LINAC and JAEA-ERL

Toshiharu Takahashi
Research Reactor Institute, Kyoto University

<Synopsis>

In the L-band electron linear accelerator at Research Reactor Institute in Kyoto University (KURRI-LINAC), the property of several types of coherent radiation (synchrotron radiation, transition radiation, Cherenkov radiation, diffraction radiation, and Smith-Purcell radiation, and pre-bunched FEL) in the millimeter and sub-millimeter wave regions, i.e. the sub-THz region, have been experimentally investigated since 1991. The beamline for the millimeter wave spectroscopy has been constructed, in which coherent transition radiation (CTR) has been used as a light source, and the spectroscopic research for gas and solid materials have been demonstrated. The spectrum of coherent radiation from successive bunches has been constituted of the higher harmonics of L-band RF (1.3 GHz) due to the interference between wave packets. Single-bunch operation enables us to perform the high-resolution measurement and to remove the restriction of the delay time in the time-resolved spectroscopy. The spectrum of CSR has been also measured in the energy recovery linac at the Japan Atomic Energy Agency (JAEA-ERL) in the wavenumber range from 0.5 to 15 cm^{-1} . The detected power through the acceptance angle of 37 mrad was $2 \times 10^{-4} \text{ W/cm}^{-1}$ at 2.5 cm^{-1} for the average beam current of 17.7 μA .

<本文>

本講演では、発表者がこれまで行ってきたコヒーレント放射の測定例[1]を、測定方法に関する注意点や問題点を含めて発表するとともに、国内唯一の ERL である原子力機構(JAEA)の ERL における測定結果についても言及する。京大原子炉電子ライナックでは、1991 年より、短バンチ電子ビームからのコヒーレントな放射の実験的な研究を行っている。これまでに、コヒーレントなシンクロトロン放射、遷移放射、チェレンコフ放射、回折放射、スミス・パーセル放射の観測を通して、これらの基礎的性質を解明したほか、コヒーレントな放射を種としたプリバンチ FEL や、フォトニック結晶と電子ビームの相互作用により放射されるコヒ

ーレント放射の性質を調べてきた。ライナックはシングルユーザーのマシンであるため、コヒーレント放射の実験に割り当てられるマシンタイムは年間 10 週程度に限られてしまうが、実験孔の一本をコヒーレント放射専用のビームラインとして使っており、ライナック運転中でも常時滞在できる実験室まで光を導き、そこに専用の分光装置を常設している。波長はミリ波・サブミリ波領域（サブテラヘルツ領域）であるが、電波としてではなく、遠赤外分光の延長として光学的な分光装置、分散型回折格子分光器及び Martin-Puplett 型フーリエ干渉分光計を使用している。通常の吸収反射測定には液体ヘリウム冷却の Si ボロメータ、InSb ホットエレクトロンボロメータを検出器として用いており、特に高速のパルス波形を見たい場合には、室温動作のミリ波ダイオード検波器（ビデオ帯域幅 1 GHz）を用いている。加速周波数が 1.3 GHz のため光は 770 ps 間隔のパルス列であり、干渉計のインターフェログラムにはパルス間隔おきに相互相関図形が現れる。これは各パルス間に可干渉性がある、つまりコヒーレント放射がパルス間隔以上のコヒーレンスの長さを持っていることを示している。しかしそのために、パルス列からのコヒーレント放射を高分解能で測定すると 1.3 GHz の高調波から成る線スペクトルとして観測されてしまうため、アバランシェトランジスタを使った高速パルサーを入射器に導入してシングルバンチの生成を実現した。これにより高分解能の測定が可能になると共に、時間分解分光における遅延時間の制限も取り去ることが可能となった。現在は大阪府立大、東北学院大のグループも共同利用研究として分光実験を行っている。

JAEA-ERL では、原子力機構 FEL グループ及び大阪府立大と共同で、フーリエ干渉分光計と Si ボロメータを用いてコヒーレント放射光を観測した結果、 $0.5 \sim 15 \text{ cm}^{-1}$ の範囲でスペクトルを得て、縦横 37 mrad の受光角で受けた 2.5 cm^{-1} 付近での放射強度は $1.6 \times 10^{-5} \text{ W/1\%b.w.}$ ($6.4 \times 10^{-4} \text{ W/cm}^{-1}$) であった。運転パラメータは、エネルギー 17 MeV、バンチ繰返し 20.8 MHz、マクロパルス幅 230 μs 、マクロパルス繰返し 10 Hz であり、平均ビーム電流は 17.7 μA であった。これは実験当時のマシンの状況から安定に運転できる条件であったために、この程度の電流値に留まったが、それでも受光角を制限しないと検出器が飽和するほどの大きな放射強度であった。

KURRI-LINAC は L バンドの RF を使うため、比較的大きな電荷量 (2 ~ 3 nC) を 1 バンチに詰め込むことができるので、コヒーレント放射のピーク強度が大きく、パルス光源として使う場合に有効である。一方、ERL の場合はそのメカニズムから、繰返しを上げデューティサイクルを大きくすることができ、平均パワーの非常に大きな光源となる。

[1]例えば日本語の解説記事として、高橋俊晴、日本加速器学会誌「加速器」2 (1), 11-19 (2005).