

LEBRA PXR ラインにおける CSR 強度分布測定 MEASUREMENT OF INTENSITY DISTRIBUTION OF CSR IN LEBRA PXR BEAMLINE

中尾 圭佐^{*A)}、清 紀弘^{B)}、境 武志^{A)}、早川 建^{A)}、田中 俊成^{A)}、野上 杏子^{A)}、稲垣 学^{A)}
Keisuke Nakai^{*A)}, Norihiro Sei^{B)}, Takeshi Sakai^{A)}, Ken Hayakawa^{A)}, Toshinari Tanaka^{A)}, Yasushi Hayakawa^{A)},
Kyoko Nogami^{A)}, Manabu Inagaki^{A)},

^{A)}Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA), Nihon University

^{B)}National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Abstract

Last year, the intensity of Coherent Synchrotron Radiation (CSR) in LEBRA PXR beamline was measured. As a result, it turned out that the intensity of CSR was stronger than anticipation. It is suggested that Coherent Edge Radiation (CER) is mixed with CSR. Then, in order to confirm whether CER is contained, the intensity distribution of CSR was measured. The result of the experiment is reported in this paper.

1. はじめに

日本大学電子線利用研究施設 (LEBRA) では、一昨年 FEL ビームラインにある 45 度偏向電磁石で発生する THz 領域のコヒーレントシンクロトロン放射光 (CSR) を、既存の FEL ビームラインに導光するビームダクト及び光学系を整備した。昨年度より CSR のユーザー利用実験が始まり、これにより、既存の近赤外領域の自由電子レーザー (FEL)、軟 X 線領域のパラメトリック X 線放射 (PXR) に加え、THz 領域の CSR と、3 つの光源による共同利用が行われている。CSR は、既存のビームラインにある偏向電磁石で発生するので FEL ビームラインだけでなく PXR ビームラインからも発生している。PXR ビームラインには光源の近くに光学系を設置する余地があるため、CSR の特性に関する研究は PXR ビームラインでも行っている。昨年行われた、PXR ビームラインでの CSR パワー測定で予想の数倍の CSR が観測された。その理由として、CSR にコヒーレントエッジ放射 (CER) 等が混じっているのではないかと考えている。そこで、THz 光の強度分布を測定し、CSR 強度が予想よりも強い原因を解明することを試みた。本発表では、この実験の結果を報告する。

2. LEBRA 125MEV LINAC

LEBRA 125MeV 電子線形加速器は、100kV の DC 電子銃から出た電子ビームを Pre Buncher、Buncher を経て 4m 加速管 3 本で最大 125MeV まで加速される。現在は放射線規制の関係上最大 100MeV で運転している。加速された電子ビームは 2 つの 45 度偏向電磁石、収束電磁石で構成される偏向部を経て FEL 光共振器または、PXR ビームラインに導かれる。PXR ビームラインの概要を Figure 1 に示す。

PXR チェンバー中には、可動式の 2 枚の Si 結晶があり、ビームライン上に PXR 発生用の第 1 結晶が、ビームラインから外れた場所に第 2 結晶がある。第 2 結晶は、第 1 結晶で発生した PXR を取り出しポートから取り出せるように反射するためのものである。第 1 結晶

の下流には、ボア径が 40mm の永久磁石でできた収束用の四極マグネットがある。

PXR チェンバーの下流には、四極電磁石、偏向マグネット、電子ビーム照射実験用のチェンバーがある。ビームは偏向電磁石で 45 度曲げられ、ビームダンプに捨てられる。このチェンバーは空洞で、ビームラインの延長線上に ICF114 の窓がついており、この窓から CSR を取り出すことができる。

PXR チェンバーは、2 つの偏向電磁石に挟まれている。これ以降加速器側にある偏向電磁石を上流の偏向電磁石、ビームダンプ側にあるものを下流の偏向電磁石と呼ぶ。下流の偏向電磁石から検波器までの距離はおおよそ 1.8m である。

3. 実験セットアップ

電子ビーム照射実験用のチェンバーの窓から出た CSR 光を、アルミ平面ミラーで 90 度鉛直上方に跳ね上げ、受光面を下向きにしたショットキーバリアダイオード検波器で CSR 光の強度を測定する。検波器には Millitech 社製 DET-10^[1] を使用した。この検波器の仕様を Table.1 に示す。CSR 光は検波器の 1.27 × 2.54 mm の導波路を通過して検波素子に達するので検波器の角度を 90 度回転させることで、水平偏光、垂直偏光の CSR 光を検波することができる。今回の実験では、十分な出力が得られたため、ホーンアンテナは使用しなかった。検波器は X-Y ステージに接続されており、検波器の位置を動かしながら強度を測定することで強度分布を取得する。X-Y ステージには、シグマ光機社製高剛性精密自動ステージ SGSP20-85 を X 軸に、SGSP26-100 を Y 軸に使用し、モータードライバ・コントローラには、SHOT-204MS を使用した。

ケーブルによる高周波成分の減衰を防ぐため、電子ビーム照射用チェンバーの上に鉛ブロックとプラスチックブロックで遮蔽した PC オシロスコープ Picotech 社製 PicoScope 4224^[2] を設置し、検波出力信号を加速器本体内でデジタル信号に変換し、USB ケーブルで放射線シールドの影になる部分に設置したノート PC に接続した。このノート PC には、PicoScope の API を利用した波形取得プログラムが動作しており、加速器制御室より

* nakao@lebra.nihon-u.ac.jp

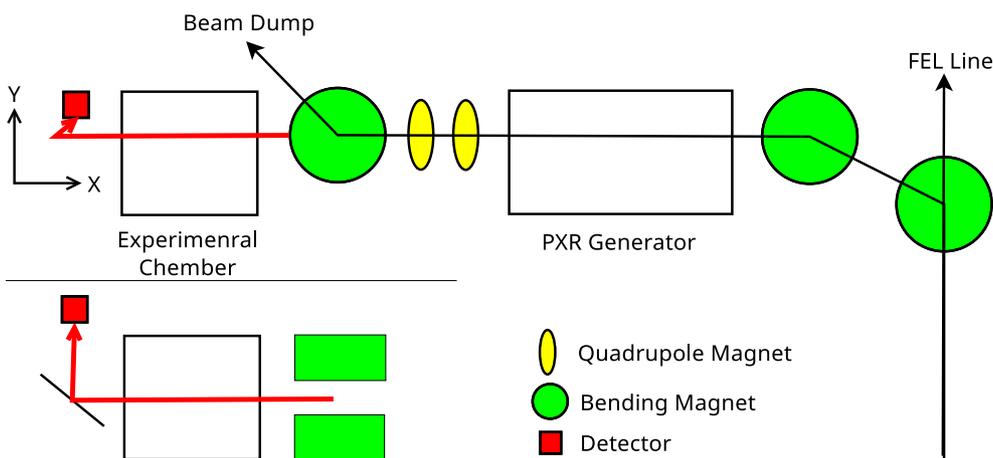


Figure 1: PXR Beamline

Table 1: Spec. of the Detector

Frequency	75 - 110	GHz
Sensitivity (1MΩ)	1000	mV/mW
Bandwidth (typ)	10	MHz
Max Input Power (CW)	+16	dBm
Absolute Max Rating	+20	dBm

LAN を経由して遠隔操作することができる。

実験に使用したビームパラメーターは、ビームエネルギー 100MeV、ビーム電流を 60mA、パルス幅 3μs、繰り返し 2Hz であった。検波器、PC オシロスコープ、X-Y ステージの放射化を防ぐため、通常の PXR モードの運転時に比べビーム電流およびパルス幅を、それぞれおよそ半分に制限して行った。実験終了 1 日後に、装置を取り出して放射能を測定したところ、4Bq/cm² 以下であったため、このビーム電流の制限は有効であった。

4. 結果

PXR 結晶の挿入、退避時の垂直偏光、水平偏光の強度分布をそれぞれ測定した。本測定で取得した強度分布を Figure 2 に示す。PXR 第 1 結晶を挿入して測定したのは、上流の偏向電磁石で発生した CSR 光の影響を排除するためである。

Figure 2(a) の垂直偏光では、縦長の分布をしていることがわかる。かろうじて Y 方向に分離していることから CSR 光が観測されていることがわかる。一方、Figure 2(b) に示す、PXR 第 1 結晶を挿入した時の分布を見ると Y 方向の分離がみられない。また、結晶でビームがおよそ 12% ほどロスしたにもかかわらず、強度はほぼ変わっていない。これは結晶で発生した遷移放射が谷を埋めてしまったのではないかと考えられる。垂直偏光の CSR は、中央が凹んだ同心円状の分布で放射されるため、上流の偏向電磁石で発生した CSR 光は、永久磁石の四極マグネット等に遮られて検波器に到達できない。よって上流の偏向電磁石で発生した CSR 光の影響はない。

次に Figure 2(d) と 2(c) に示す水平偏光の分布を見る

と、結晶を退避したほうが広がった分布をもっていることがわかる。また、結晶を挿入した時、強度が下がっていることから、上流の偏向電磁石で発生した CSR 光が広がって測定点に到達していることがわかる。

下流の偏向電磁石でコヒーレントエッジ放射が発生しているならば、同心円の分布が観測されると思われるが、本測定ではそのような分布を観測することができなかった。これは、上流の偏向電磁石による CSR 光、PXR 第 1 結晶の遷移放射、電子ビーム照射用チャンパー内の乱反射等の外乱光を分離できていないためではないかと考えている。

検波器のデータシートにある特性曲線を用いて各分布のパワーを計算したところ、結晶を退避させた垂直偏光で 8.3mW/pulse、水平偏光で 11.7mW/pulse であった。通常の PXR 運転で使用しているビームパラメーターである、ビームエネルギー 100MeV、ビーム電流 120mA、パルス幅 5μs であれば、垂直、水平偏光合わせて 160mW/pulse 程度の CSR 光が電子ビーム照射用チャンパーの窓から出てきていると推定される。

5. まとめ

PXR ラインで発生した CSR 光の強度分布を測定したところ、コヒーレントエッジ放射が発生している兆候を確認することはできなかった。CSR 光のパワーを評価したところ、通常の PXR 運転時のパラメーターでおよそ 160mW/pulse 程度の CSR が発生していると推定される。

今後、より詳細に分布を測定し、予想よりも強度が強い理由を解明するとともに利用を視野に入れた検討を進めていく予定である。

参考文献

- [1] “millitech DET Series Datasheet”
<http://www.millitech.com/pdfs/specsheets/IS000093-DET.pdf>
- [2] “PicoScope 4000 Series Datasheet”,
<http://www.picotech.com/document/datasheets/PicoScope4000Series.pdf>

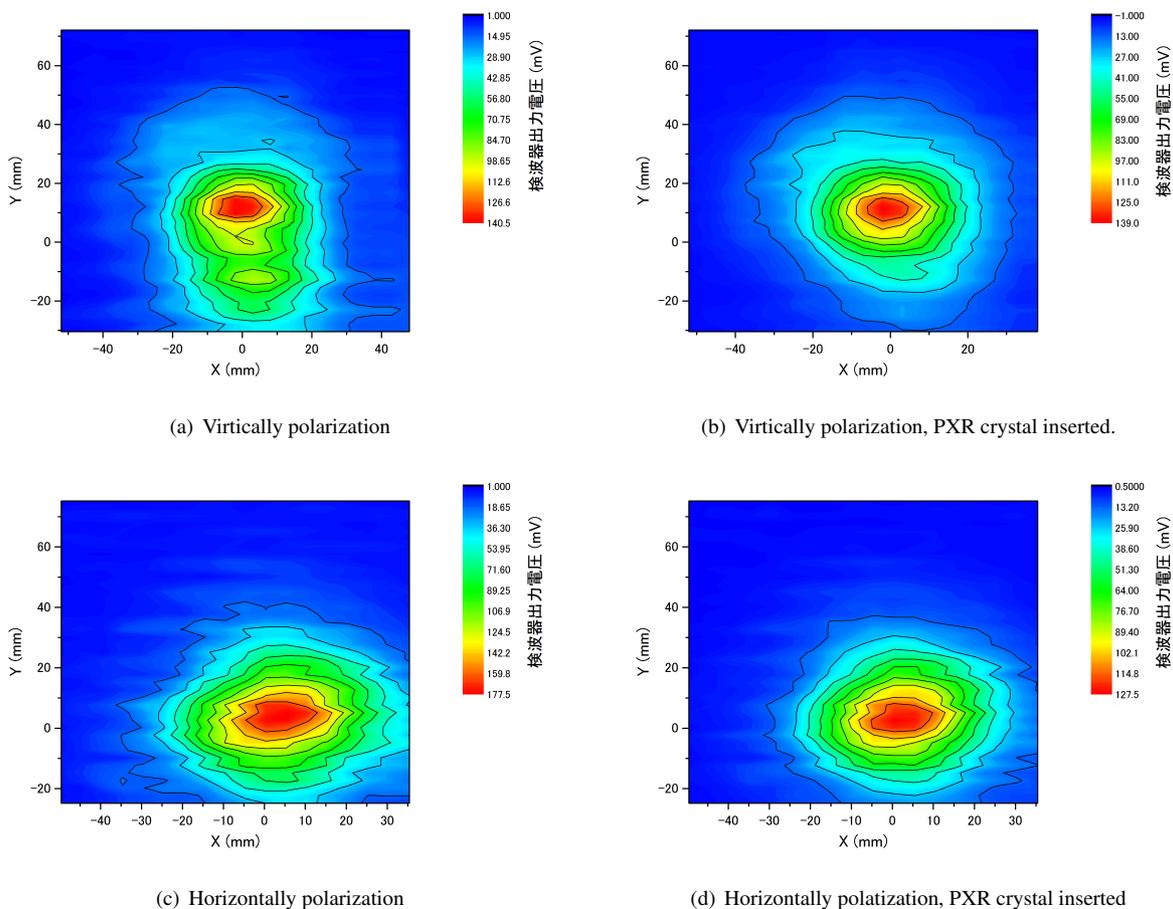


Figure 2: These are intensity distributions of CSR at LEBRA PXR beamline.