

プログラム名：ユビキタス・パワーレーザーによる安全・安心・長寿社会の実現

PM名：佐野 雄二

プロジェクト名：マイクロアンジュレーター評価

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 29 年度

研究開発課題名：

μアンジュレーターのビーム試験と機能を活かす応用開拓

研究開発機関名：

国立大学法人 東北大学

研究開発責任者

濱 広幸

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

本開発研究では、東北大学電子光物理学研究センターの小型試験加速器(t-ACTS)の電子ビームを使い、レーザープラズマ加速器を用いた次世代コンパクト X 線 FEL のキーデバイスである「 μ アンジュレータ」の基本性能評価を行なう。平成 29 年度は、ビーム光学パラメータを制御したエネルギー約 30MeV の電子ビームを周期長 4mm の μ アンジュレータに入射し可視域の放射光を発生させ、イメージング分光器を使いスペクトル測定を行なう。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

本開発研究は、 μ アンジュレータ開発研究責任者である山本樹教授（高エネ研）と連携をとりながら行なっている。平成 29 年度の分光実験では、細貝知直准教授（大阪大学）や神門正城 GL (QST) に測定器の提供など、ご協力頂いた。

t-ACTS での評価実験では、 μ アンジュレータからの光の波長が可視域になるようにビームエネルギーを約 30MeV に調整する。波長を可視域にする理由は、放射光の測定を容易にするためである。また、評価実験ではアンジュレータの磁石間隙を 2mm 以下にまで狭める必要があるため、電子ビームの垂直方向ビームサイズを 100 μ m 以下まで小さく絞る必要がある。そのために、ビームラインに複数設置したビームプロファイルモニターを使い、ビーム光学パラメータ (Twiss パラメータ、エミッタンス) を測定し光学マッチングを行うことにより、アンジュレータ位置での 100 μ m 以下のビーム集束を実現している。

これまでに、カラー CCD カメラを使い μ アンジュレータからの可視域の放射光観測に成功している。

測定した画像の RGB 強度比から放射波長を推定し、実験時の電子ビームおよびアンジュレータパラメータから求まる放射光の波長と矛盾のないことを確認した。平成 29 年度は、イメージング分光器を導入し、 μ アンジュレータからの放射光スペクトルの測定を行なった。本来、アンジュレータ下流で電子ビームと放射光を偏向電磁石により分離して測定するが、アンジュレータから下流の偏向電磁石に至るまでのビームダクトが細く測定に必要な口径を確保できないため、当該年度はビーム軸上にアルミミラーを挿入し、放射光を 90 度方向に反射することによって測定を行なった (図 1)。

また、平成 29 年度は μ アンジュレータの分光測定を実施するのと並行して、試験加速器の大電力高周波伝送システムを改造することにより、電子ビームの品質向上 (エミッタンス、エネルギー広がり) を図った。これまで、放射波長が 500nm 付近になるように、通常とは異なる RF 位相でビームを加速

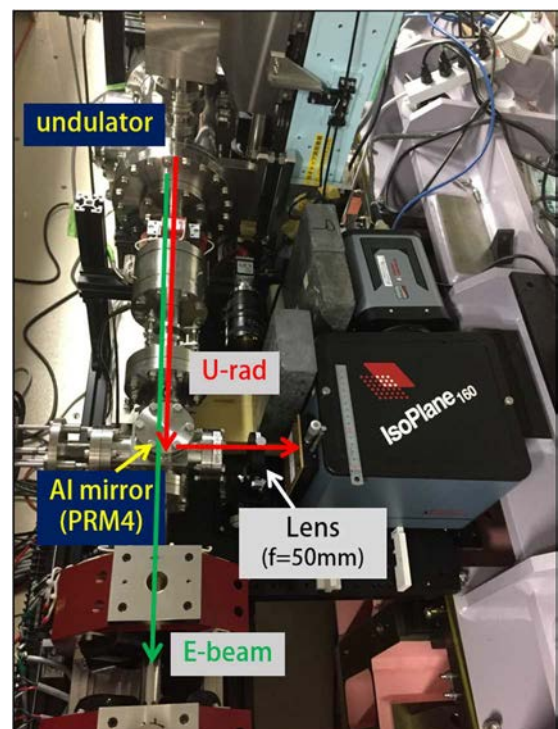


図 1 : 分光測定セットアップ。イメージ分光器 (Iso Plane160)をアンジュレータ下流のビームライン脇に設置、放射光はアルミミラーにより 90 度方向に反射され測定される。

することによってビームエネルギーを調整していた。そのため、垂直方向のビームエミッタンスの劣化やエネルギー広がりが大きくなるといった問題が生じていた。今回、高周波システム改造によりビーム品質の大幅な改善を図ることができた。また、放射光の測定についても、アンジュレータ下流の電磁石などを改造することにより、放射光の角度アクセプタンスを大幅に拡大することができ、放射光と電子ビームを分離して分光測定を実施できるようになった。また、これまで測定のバックグラウンドとなっていたアルミミラー挿入時に発生していた遷移放射や放射線ノイズを格段に低減することができる。

2-2 成果

イメージ分光器を使い μ アンジュレータからの放射光のスペクトルを測定することに成功した。図 2 に分光イメージの一例を示す。横軸が放射波長(左側が短波長)、縦軸が放射光の空間サイズに相当する。アンジュレータ放射は、軸上の光の波長が最も短く、放射角が大きくなるにつれて波長が長くなる。測定された分光イメージが C 型になっているのは、そうした特徴を明確に示している。また、図 3 に分光イメージから得られた、 μ アンジュレータ放射のスペクトルを示す。 μ アンジュレータでは、偏向パラメータ:K 値が極めて小さいため (K \sim 0.1)、アンジュレータギャップを変化させても、スペクトルの形状は殆ど変化しないことが分かる。今回の測定では、軸上のアンジュレータ放射波長は約 460nm であった。その他、当該年度に行なった t-ACTS の高周波システムおよびビームラインの改造により、大幅なビーム品質向上と放射光の角度アクセプタンス拡大を行なうことができた。($\gamma\epsilon_x/\gamma\epsilon_y \sim 7.9/14.0 \Rightarrow 3.3/2.4 [mm \cdot mrad]$, $\Delta E(rms) \sim 2.1 \Rightarrow 0.25%$)

2-3 新たな課題など

t-ACTS の加速器改造を平成 29 年度末に実施した。システム改良後のイメージ分光器を用いたスペクトル測定は平成 30 年度の 6 月に実施予定である。垂直方向ビームエミッタンスが大幅に改善されたため、 μ アンジュレータ中でのビームサイズをこれまでの半分以下にまで小さくすることができる。しかし、依然としてアンジュレータ磁石間隙に対する電子ビームサイズは通常の放射光リングなどに比べて大きい。今後、放射光スペクトルの詳細な評価を行なうためには、 μ アンジュレータ内での横方向電子ビームサイズを考慮した数値計算との比較が必要である。現在、放射計算のプログラムも開発中である。

3. アウトリーチ活動報告

当センターの来訪者に対して、試験加速器 (t-ACTS) の見学と同時に ImPACT 佐野プログラムの研究紹介を行なっている。その他、センター開催のシンポジウムやセミナーで佐野プログラムの研究内容や成果を広く公開している。

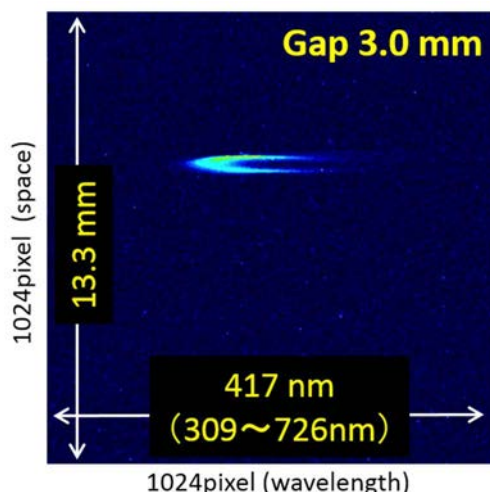


図 2：アンジュレータギャップを 3mm に設定した時に測定された分光イメージ例。水平軸は波長、垂直軸は空間方向のサイズを表している。

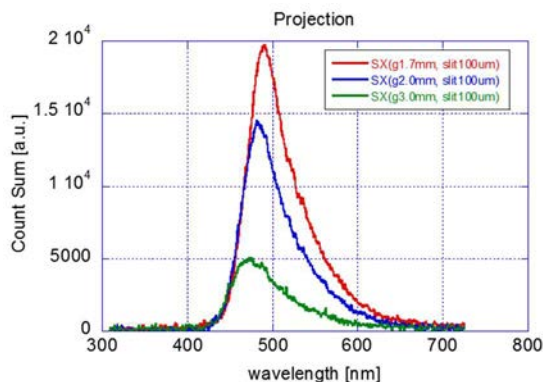


図 3：ギャップを変化させ測定された、 μ アンジュレータ放射スペクトル。