

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 28 年度

研究開発課題名：

μ アンジュレータ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

次世代のコンパクト XFEL 装置を目指した ImPACT 佐野プログラムのキーデバイスである μ アンジュレータについて、東北大学電子光学研究センターに設置されている小型試験加速器(t-ACTS)からの電子ビームを用いてその基本性能を評価する。

平成 28 年度は、周期長 4mm の μ アンジュレータを t-ACTS ビームラインに組み込み、エネルギー約 30MeV の電子ビームを用いた可視域の μ アンジュレータ放射光発生実験を行なう。

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

平成 28 年度は可視域の μ アンジュレータ放射光の初観測を目指し、 μ アンジュレータ開発研究責任者である高エネルギー加速器研究機構・山本樹教授と連携をとりながら本研究開発を進めた。

μ アンジュレータの評価試験では、アンジュレータの磁石ギャップを 2mm 以下にまで狭めて使用するため、永久磁石の減磁などを避けるために電子ビームはギャップ間隔に比べ十分小さく絞る必要がある。今回、 μ アンジュレータを t-ACTS に設置する前に、四極電磁石、軌道補正用電磁石およびアンジュレータ設置位置の最適化をするために、電子ビーム特性測定およびビーム集束試験などの予備実験を 11 月に実施した。

t-ACTS ビームラインに μ アンジュレータを設置した後はアンジュレータ位置で電子ビームサイズを確認することができなくなるため、アンジュレータの上流と下流で電子ビーム光学パラメータ (Twiss パラメータ) を測定し、それをもとに四極電磁石のパラメータを決める必要がある。予備実験では、アンジュレータ設置予定位置にビームサイズ測定用のスクリーンモニターを設置し、電子ビームパラメータ計測とアンジュレータ位置でのビーム集束テストを入念に行なった。予備実験の結果を踏まえ、平成 28 年 12 月初旬に t-ACTS に μ アンジュレータビームラインを構築した (図 1)。

図 2 に電子ビーム光学計算により最適化されたビームラインに沿ったベータトロン関数を示す。予備実験では、ビームエミッタンス ($\gamma\epsilon_x/\gamma\epsilon_y = 3.0/5.1[\text{mm} \cdot \text{mrad}]$ 、

アンジュレータの設置予定位置で $100\mu\text{m}$ 以下 ($\sigma_x/\sigma_y = 60/90[\mu\text{m}]$) までビームを絞ることが



図 1 : μ アンジュレーターム実験セットアップ

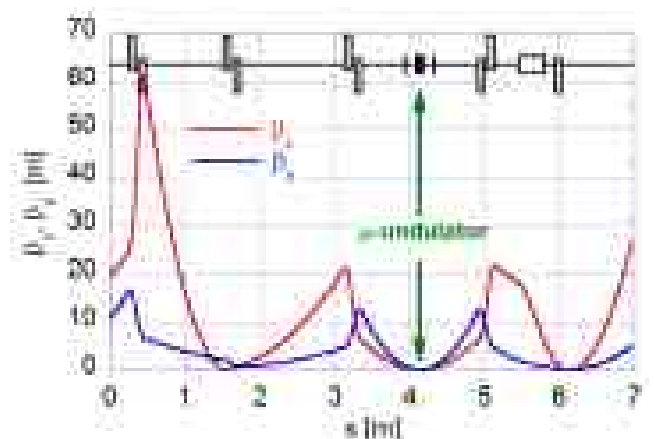


図 2 : μ アンジュレータ実験のためのビーム光学系の検討。ビームラインに沿った水平・垂直方向 β 関数

できることを確認した。また、アンジュレータへのビームの入射軌道と角度を調整できるように軌道補正用電磁石をアンジュレータ上流に 2 台、下流に 1 台増設した。

平成 28 年 12 月末に最初の放射光発生実験を実施した。電子ビーム軌道およびビームサイズ調整後にアンジュレータギャップを徐々に 1.7mm まで狭めていき放射光の観測を試みた。放射光の測定は、アンジュレータ下流 0.5m の位置にアルミミラーを挿入し 90 度方向に光を反射させ、カラー CCD カメラと分光器を用いて行なった。

2-2 成果

μ アンジュレータビーム試験では、エネルギー約 30MeV の電子ビームからの可視域アンジュレータ放射を観測することに成功した。図 3 はカラー CCD カメラを用いて測定されたアンジュレータ放射光の空間プロファイルである。測定された放射光の放射角度と波長の関係は、数値計算と一致することを確認した。また、 μ アンジュレータは K 値（磁場強度と周期長の積に比例する値）が 0.1 程度と通常のアンジュレータに比べ約一桁小さいため、放射の波長は磁石ギャップを変えて K 値を変化させても殆ど変化せず電子ビームのエネルギーによって決まる。また、放射光の強度は K 値の 2 乗に比例するため、K 値を変えると強度が大きく変化する。図 3 は磁石ギャップを変えて測定されたアンジュレータ放射光であるが、磁石ギャップを変化させても放射光の波長（色）は変わらずに強度が急激に変化するという、 μ アンジュレータ特有の放射光特性（ギャップ依存性）を測定することができた。

2-3 新たな課題など

今回、CCD カメラの RGB フィルター特性から放射光のおおよその波長分布を測定することができたが、スペクトル測定用に準備した分光器の感度が十分ではなく正確なスペクトルを測定することができなかった。今後、放射光の特性評価のためには高感度分光システムの構築が 1 つの課題である。また、ビーム試験ではアンジュレータギャップを 1.7mm まで狭めたときに約 10% のビームロスが確認された。今後、より狭い磁石ギャップでのビーム試験や長尺アンジュレータ（全長が 200mm 程度）導入のために、ビームハロー削除するためのコリメータの導入などを検討する必要がある。

3. アウトリーチ活動報告

当センターの来訪者に t-ACTS ビームラインを見学してもらうなどして、ImPACT 佐野プログラムの研究内容を積極的に外部に公開している。平成 28 年 11 月には当センターの 50 周年式典が開催され、その記念見学会では来賓、学内外の関係者の方々に幅広く本研究の内容を知ってもらうことができた。

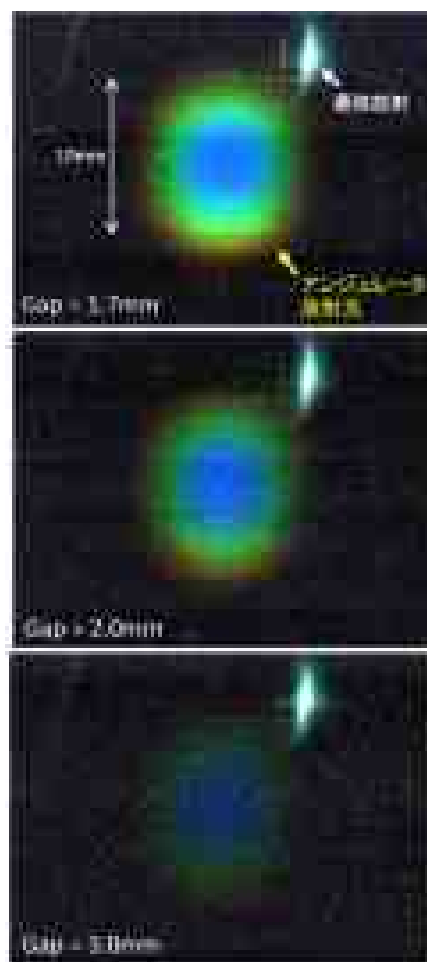


図 3: 磁石ギャップを変えて測定された可視域のアンジュレータ放射光空間プロファイル。(各画像右上の遷移放射光は電子ビームがアルミミラーに入射した際に発生)