

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

東北大学 濱 広幸

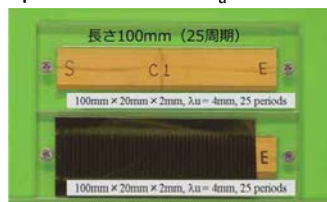
開発目標

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」の基本性能を東北大学電子光理学センターの試験加速器（t-ACTS）の実ビームを使い評価する。周期長4mmのμアンジュレータで発生した放射光のスペクトルを超前方方向に設置したイメージング分光器を使い測定する。また、μアンジュレータの特性評価で得られた知見をもとにコンパクトXFELとは異なる応用技術があるかを検討する。

開発内容

■東北大学 電子光理学センターの試験加速器(t-ACTS)を用いて、μアンジュレータ性能検証を実施 → 数値計算との比較・評価

□ KEK・山本樹教授により開発されたμアンジュレーター ($\lambda_u=4\text{mm}$)

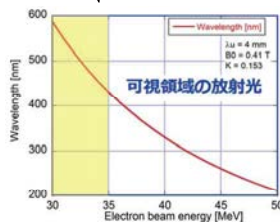


Undulator	
Period length and number	4 mm・25 periods
Undulator length	100 mm
Undulator gap	1.6 - 17 mm
Peak magnetic strength	0.41 T (@gap = 1.6 mm)
K value	0.153 (max)

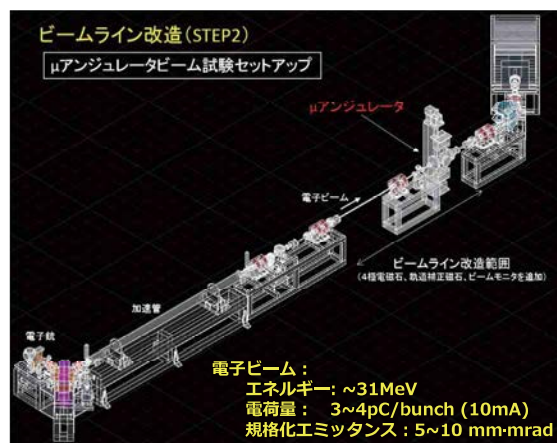
□ μアンジュレータの放射波長と角度拡がり

$$\lambda = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} + \gamma^2 \theta^2 \right), \quad K = \frac{eB_u \lambda_u}{2\pi m_e c}$$

$$\sigma_u \approx \frac{1}{\gamma} \sqrt{\frac{1 + K^2/2}{2 \cdot N_u}}$$

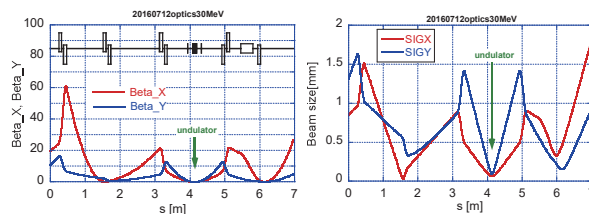


- ✓ $K \ll 1$ のため、放射波長は電子ビームのエネルギーによりほぼ決定される。
- ✓ 放射の角度拡がりは、 $E \sim 30\text{MeV}$ の時に $\sim 2.5\text{mrad}$ 程度となる。



μアンジュレータ実験のためのビーム光学系の検討

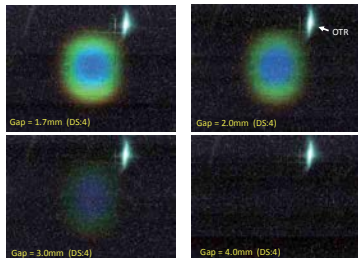
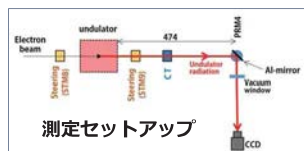
✓ 狭い (2mm以下) アンジュレータギャップにビームを通す必要あり



成果

放射光発生実験 I (Dec. 2016)

- 一体着磁型アンジュレーターによる世界初の放射光発生を確認
- 放射光はアンジュレータ下流のミラーで90度方向に反射させ、カラーCCDで放射光プロファイルを測定



- ✓ 放射光の波長は軸外になるにしたがって長波長への変化 (青→緑→赤)、波長はギャップを変えても変化しない。
- ✓ ギャップを広げることでK値が減少し、放射強度が低下 ($\propto K^2$)

ギャップを変えアンジュレータ放射を測定

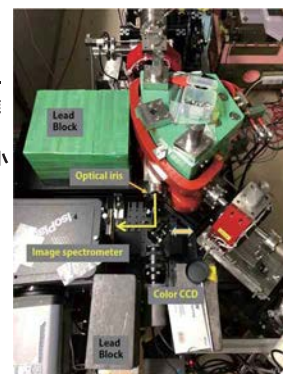
今後の展開

- μアンジュレータは、K値 ($=93.4B_0[T]\lambda_u[\text{m}]$) が小さいために蓄積リングなどではギャップを変えても波長を変えることができないが、レーザー加速器などの線形加速器においてはビームエネルギーを変化させ幅広い波長域にわたって放射光を発生することができる。また、ギャップ間隙を確保しつつ、磁場強度 (K値) を向上させ高輝度化を図る。
- μアンジュレータとハイチューディーの超伝導線形加速器との組み合わせも、魅力的な波長可変の高輝度光源の候補として挙げられる。

放射光発生実験 II (June. 2018)

- ビームライン改造により、放射光のアーチャーを確保、偏向電磁石で放射光と電子ビームを分離してスペクトルを測定。
- 加速器の大電力RFを改造；エネルギー分散を縮小 (改造前 $\Delta E(\text{rms}) \sim 2.1\%$ → 改造後: $\sim 0.5\%$)

- ✓ 軸上付近の放射だけを光学アイリスで切り出し、分光器へ入射。(→)



スペクトロメータで測定された分光イメージと波長スペクトル (左) 分光なし (中央) 分光あり (右) 波長スペクトル