

極短周期・小型アンジュレータの開発 と実用加速器に於ける評価試験

高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所

山本 樹

1. 極短周期・小型アンジュレータの開発

光源システムのコンパクト化
アンジュレータ本体の小型・軽量化

なぜ、極短周期アンジュレータ？

- 光源システムのコンパクト化・低価格化
放射の短波長化による光源加速器の小型・低エネルギー化

$$\lambda = \lambda_u / 2\gamma^2 (1+K^2/2),$$

$$K = eB_0 \lambda_u / 2\pi mc^2$$

レーザー加速による光源加速器の小型化と親和性

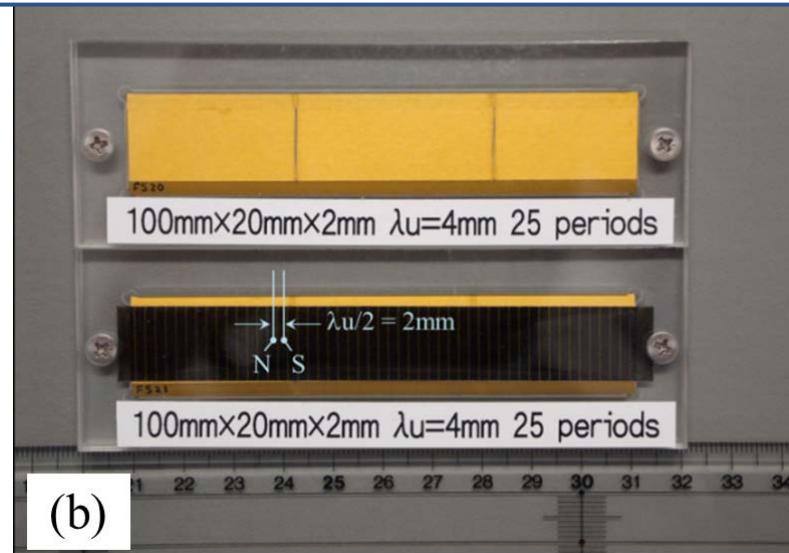
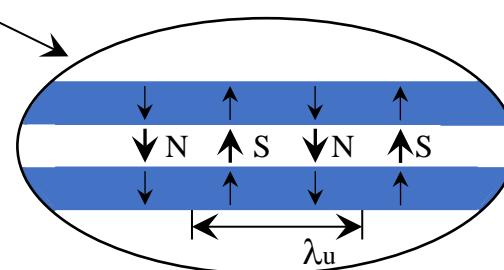
- アンジュレータ本体の小型・軽量化・低価格化
反発磁石によるアンジュレータ磁場吸引力の相殺

PMM (Plate Monolithic Magnet) による極短周期アンジュレータ

Formation of a “very short period” field

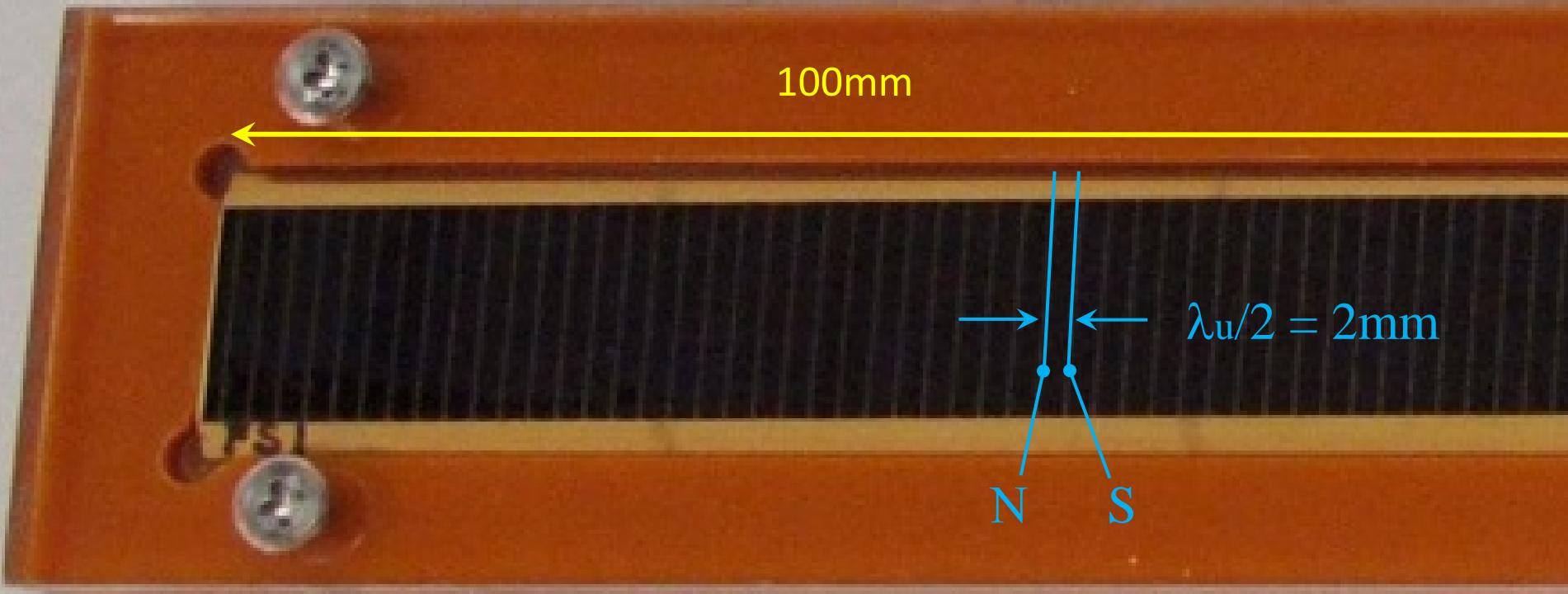
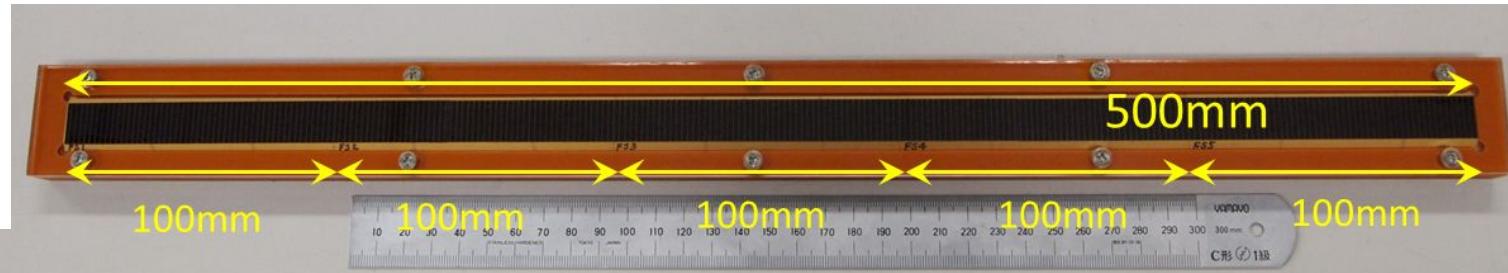


A pair of PMMs is opposed to produce the undulator field in the gap between PMMs

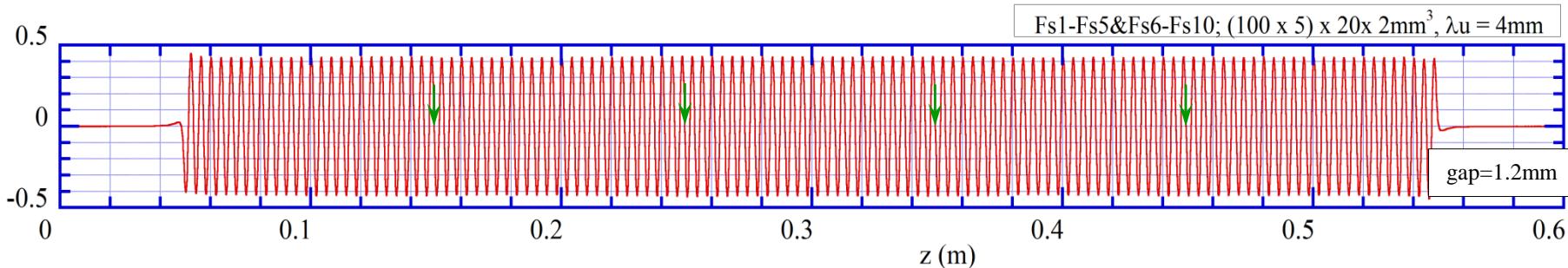


(b)

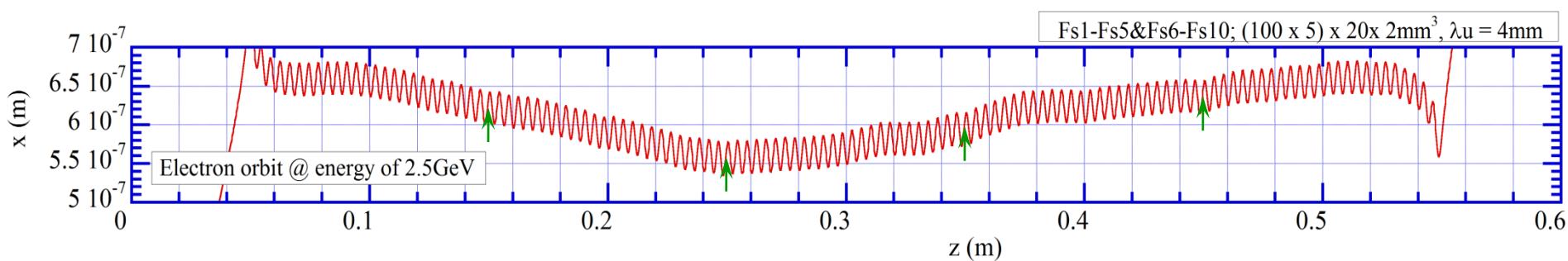
PMMを用いた磁石列長尺化



PMMを用いた磁石列長尺化



(a)



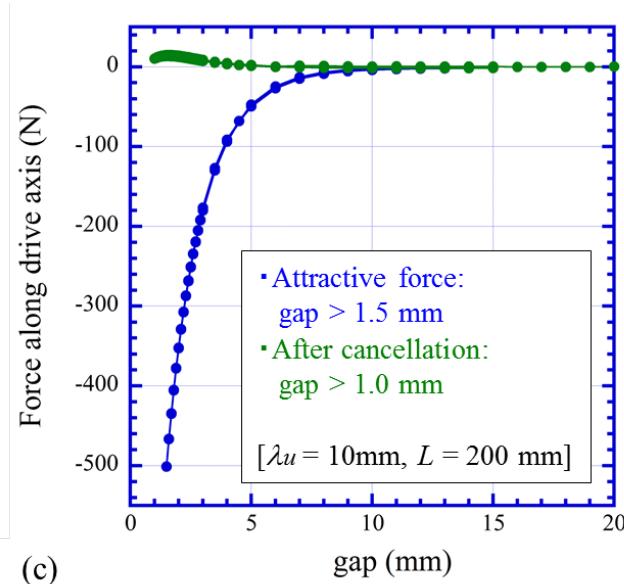
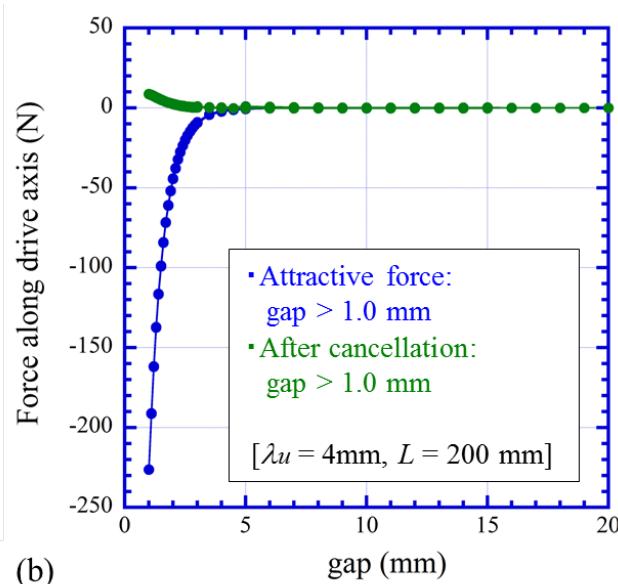
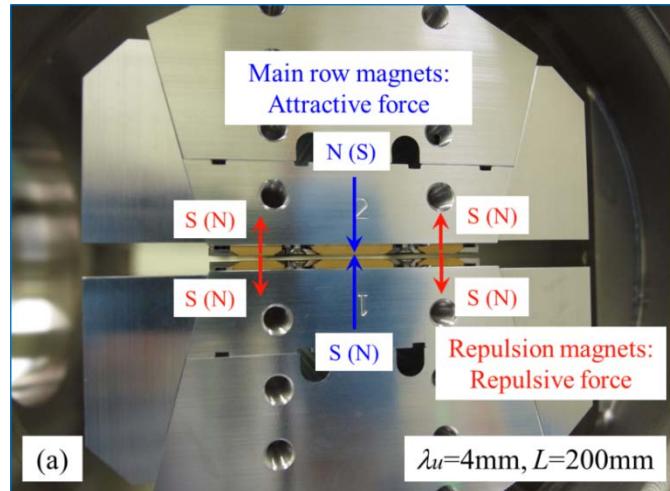
(b)

磁場調整出来ない：磁場調整不要

↓ : 連結個所

国内特許：特許第6393929号
米国特許：US 10312006B2

反発磁石によるアンジュレータ磁場吸引力の相殺



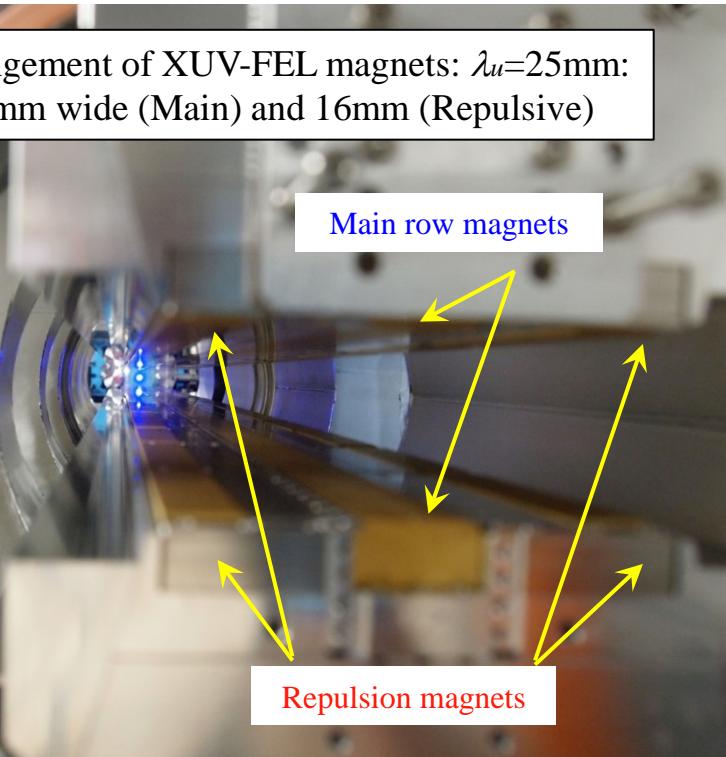
長周期長磁石への主列／反発 PMM の応用 ($\lambda_u=25\text{mm}$)

Arrangement of XUV-FEL magnets: $\lambda_u=25\text{mm}$:
25mm wide (Main) and 16mm (Repulsive)

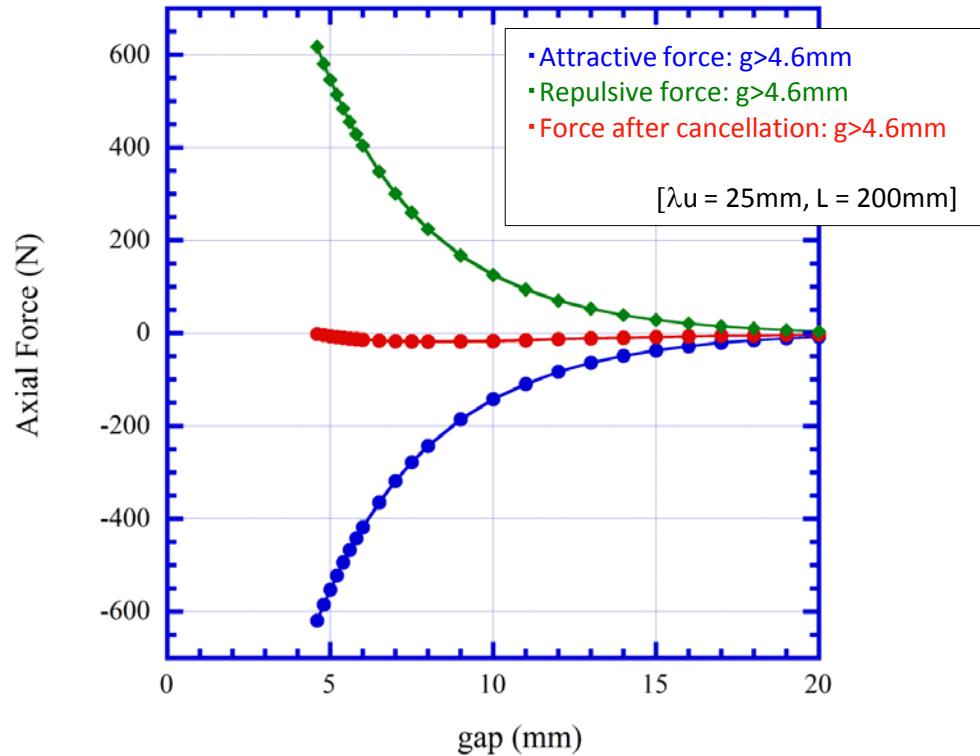
Main row magnets

Repulsion magnets

(a)

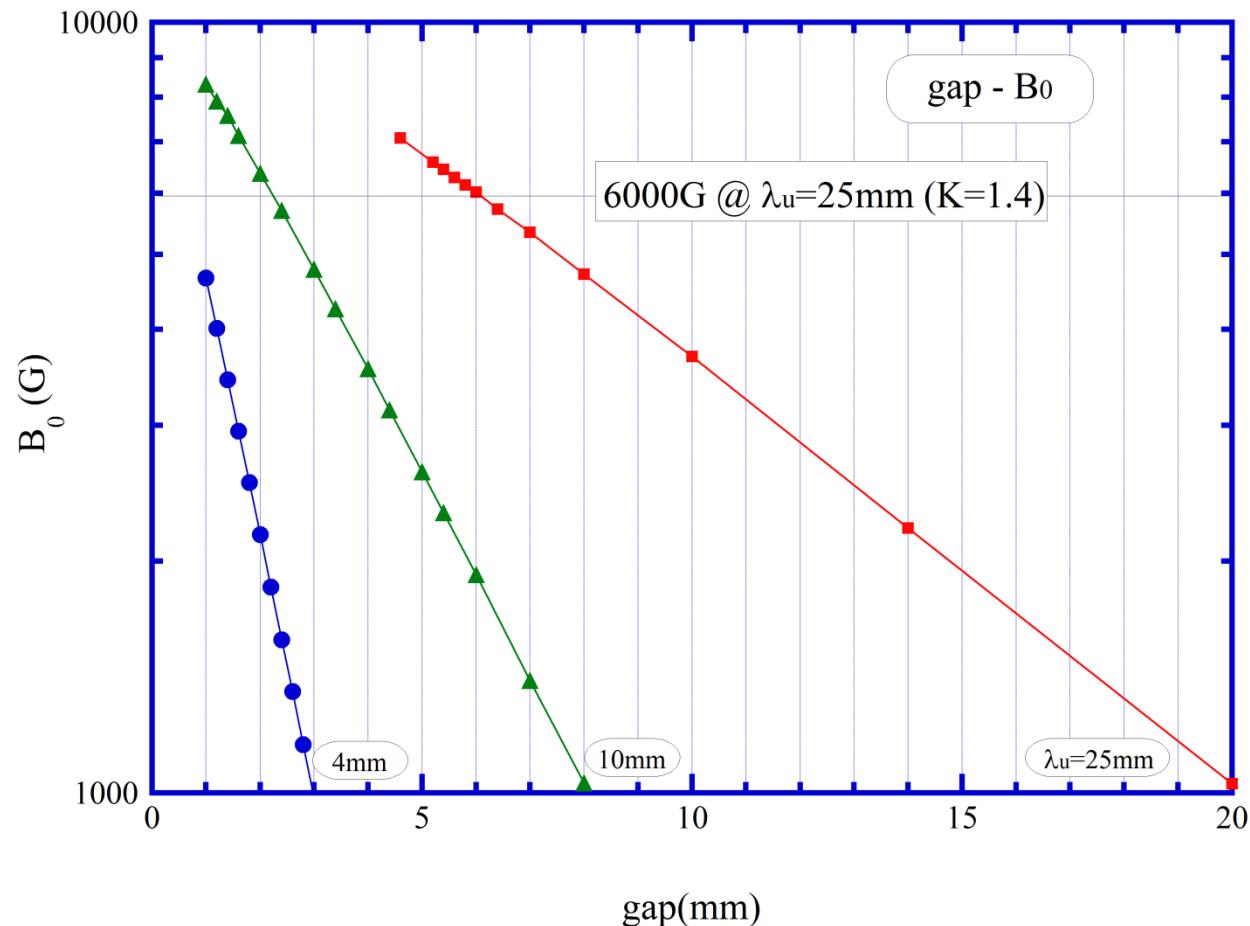


JST-MIRAI XUV-FEL undulator
@ the former SCSS site, SP-8

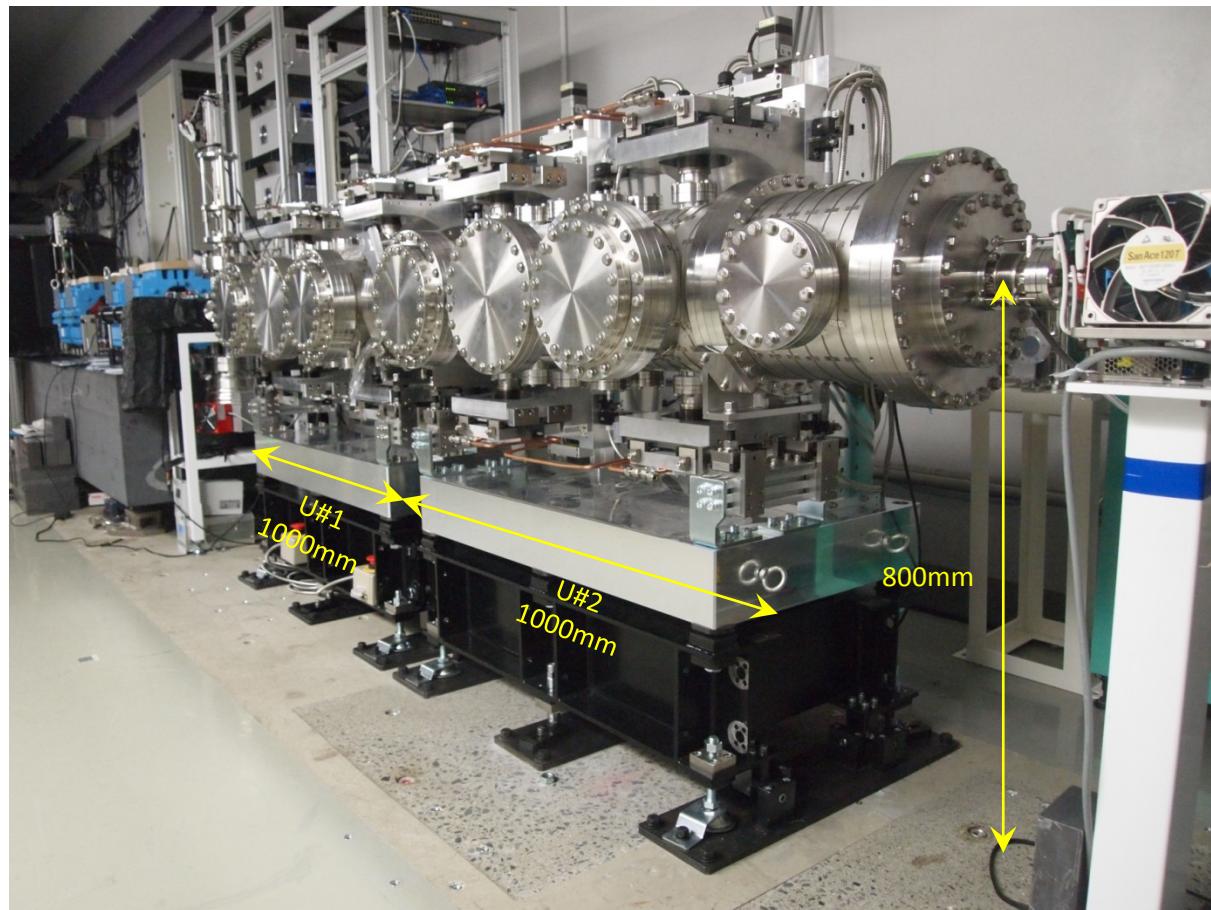


Cancellation of magnetic attractive
force between main row PMMs by
cancel PMMs

XUV-FEL experiment aims at Lasing at $\lambda \sim 50\text{nm}$ with LPA $\sim 400\text{MeV}$.
Target magnet parameter = 6000G (K=1.4) @ $\lambda_u=25\text{mm}$

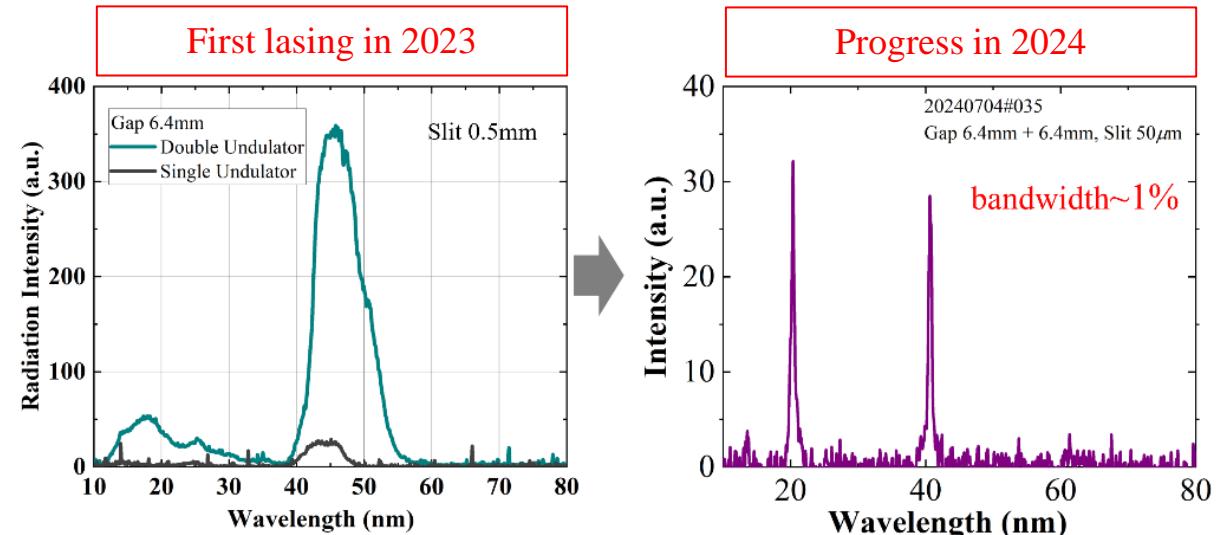


XUV-FEL実証のためにレーザー加速プラットフォーム (旧SCSS@SP-8)
に設置された磁力相殺方式に基づくコンパクト・軽量アンジュレータ:
 $U\#1 + U\#2 = 2\text{m}$, 500kgf/m , gap独立駆動

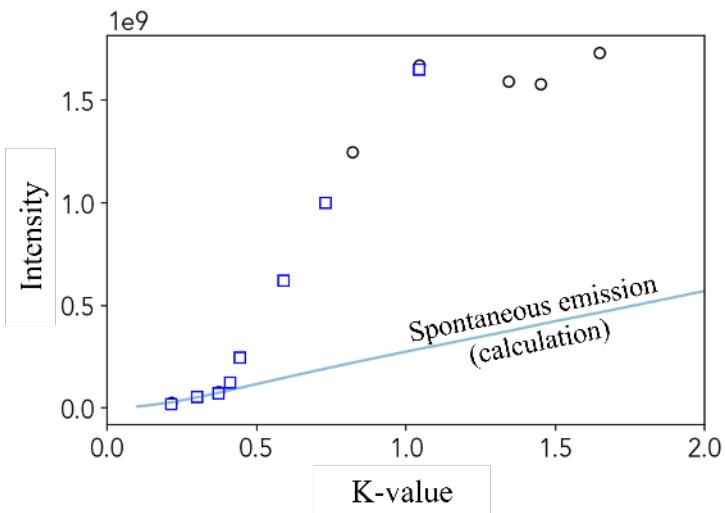
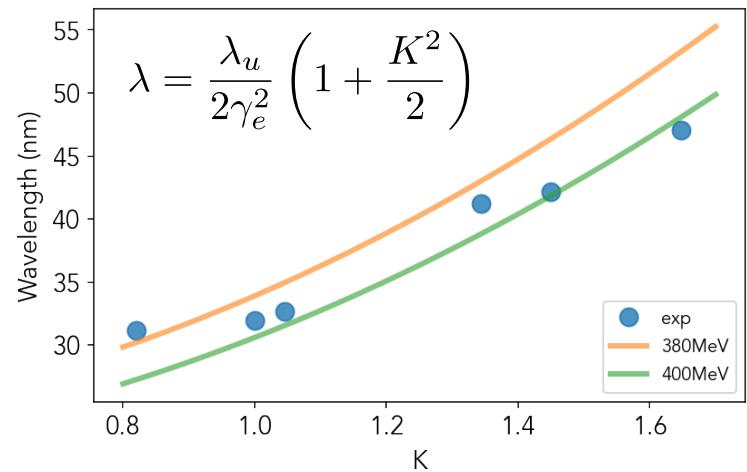


「レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証」 2025年度第2回シンポジウム
– 電子加速システムと高強度小型レーザーの開発 – 2025/11/07開催

JST-MIRAI-XUV-FELアンジュレータからの放射の観測

Progress in
observation system

K-scan



2. 実用加速器に於ける評価試験

極短周期アンジュレータと低エネルギー光源加速器
価格効率性の高い小型X線光源

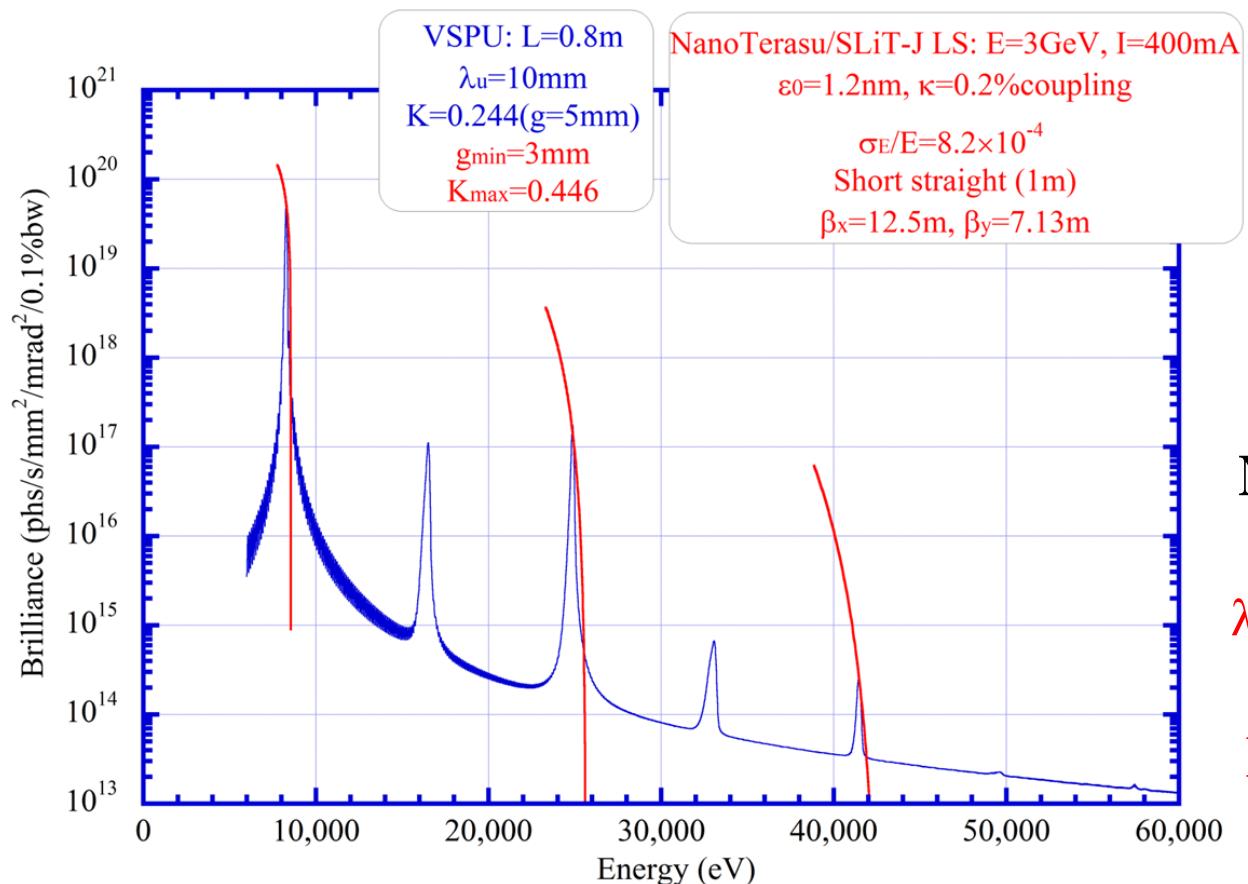
低エネルギー小型加速器に於ける 極短周期アンジュレータ光源評価

- ・ 東北大学 ELPH (現RARiS) t-ACTS 50MeV Linac
周期長 4mm x 磁石100mm : 486nm 放射生成
- ・ Aichi SR 1.2GeV SR ring (準備進行中)
- ・ NanoTerasu 3GeV Linac
周期長 10mm x 磁石500mm : 8keV 放射

3 GeV NanoTerasu Linac での スペクトル計測による評価試験

既存の極短周期アンジュレータ: $L=0.5\text{m}$ & $\lambda_u=10\text{mm}$ (JST-MIRAI)

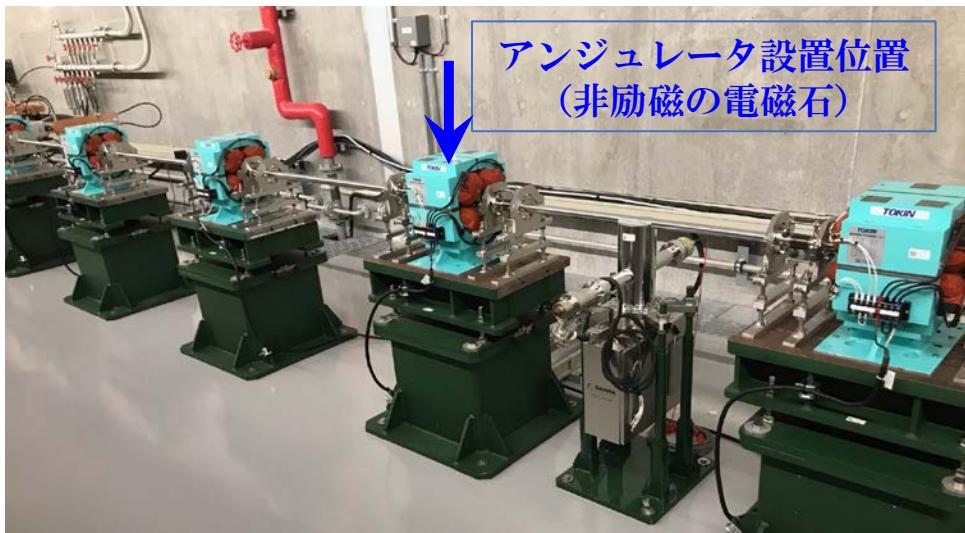
3GeV低エミッタンスビームを極短周期アンジュレータに適用する初めての試み



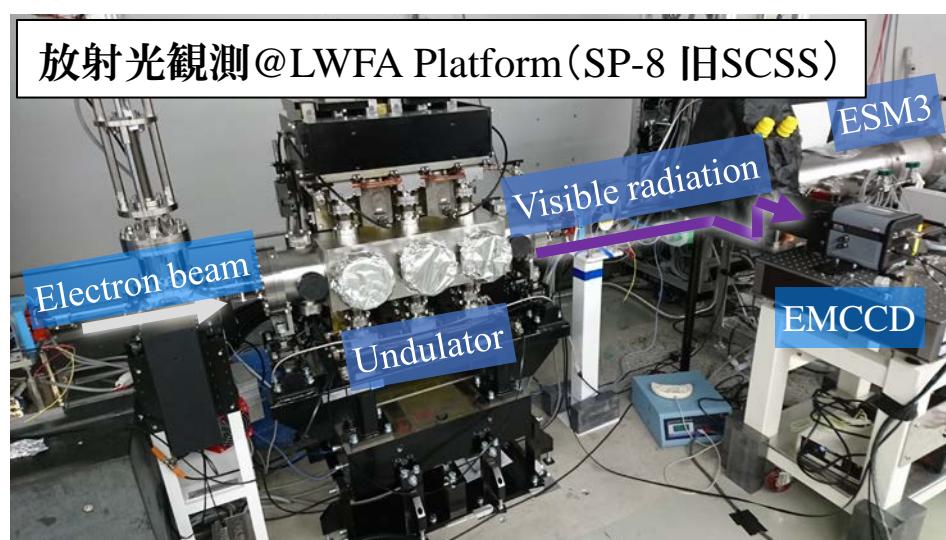
第2ステップとして
NanoTerasu MR に於ける
実用光源としての利用
 $\lambda_u=8\text{mm}$ 磁石で10keV放射

IMSS-QST 共同研究計画

評価試験準備状況：設置場所 @ Namoterasu 3GeV Linac



放射光観測@LWFA Platform (SP-8 旧SCSS)



NanoTerasu Linac:
3GeV beam x 0.3nA
 $\varepsilon = 2\text{nm} \cdot \text{rad}$

Undulator:
 $L = 0.5\text{m}$
 $\lambda_u = 10\text{mm}$
gap = 5mm

目標：年内設置+年度内放射光評価

「レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証」 2025年度第2回シンポジウム
– 電子加速システムと高強度小型レーザーの開発 – 2025/11/07開催

まとめ

1. 極短周期・小型アンジュレータの開発

- ・極短周期アンジュレータのためのPMM開発
- ・光源システムのコンパクト化
- ・アンジュレータ本体の小型・軽量化

2. 実用加速器に於ける評価試験

- ・8keV 放射@NanoTerasu 3GeV Linac (現在準備中)