

# 横方向傾斜磁場 アンジュレータの検討

武藤 俊哉、柏木 茂、日出 富士雄、南部 健一、三浦 禎雄、長澤 育郎、高橋 健、鹿又 健、  
柴田 晃太郎、齊藤 寛俊、山田 悠樹、山本 大貴、山田 志門、濱 広幸  
東北大学 電子光物理学研究センター

- レーザー航跡場加速
- 横方向傾斜磁場アンジュレータ(Transverse Gradient Undulator)
- 試験加速器t-ACTSでの実証実験
- TGUの磁場計算
- まとめ



# laser Wake-Field Acceleration(LWFA)

## レーザー航跡場加速

- 高い加速勾配
    - $\sim$ GV/m以上
  - 短いバンチ長
    - 数十fs
  - 低いエミッタンス
- 加速器の小型化が期待できる
- 現状の問題点
    - 安定度が高くない
    - エネルギー広がりが大きい  $\sim$ 10%

# Transverse Gradient Undulator (TGU)

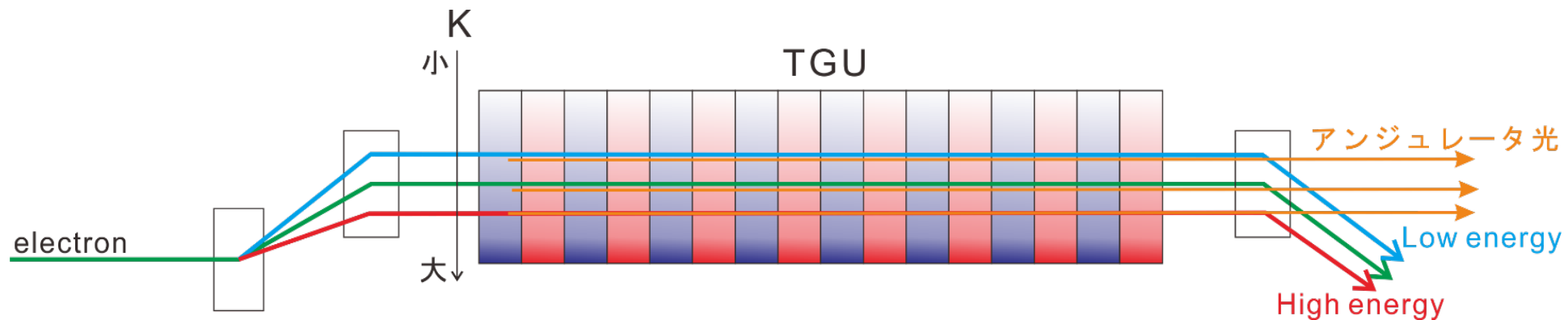
## 横方向傾斜磁場アンジュレータ

- エネルギーの広いビームで発振波長が狭い光を得るためのアイディア

T. Smith, J. M. J. Madey, L. R. Elias, and D. A. G. Deacon, J. Appl. Phys. 50, 4580 (1979).

Zhirong Huang et al, Phys. Rev. Lett. 109, 204801 (2012)

- 運動量分散関数  $\eta$  がある位置に横方向に磁場勾配を持ったアンジュレータ(TGU)を配置する



アンジュレータ発振波長

$$\lambda_r = \frac{\lambda_u}{2\gamma_0^2} \left( 1 + \frac{K_0^2}{2} \right)$$

磁場勾配

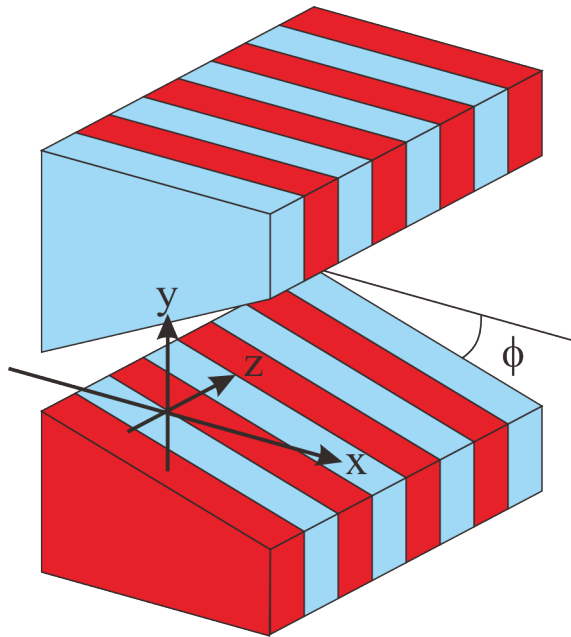
$$\frac{\Delta K}{K_0} = \alpha x$$

横方向位置偏差

$$x = \eta \frac{\Delta\gamma}{\gamma_0}$$

共鳴条件

$$d\lambda_r = \frac{\lambda_u}{2\gamma_0^2} \left( -(2 + K_0^2) \frac{x}{\eta} + \alpha K_0^2 x \right) = 0$$
$$\eta = \frac{2 + K_0^2}{\alpha K_0^2}$$



- 磁極面を傾けて配置する

磁極の広がり角

$$2\phi \approx \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

磁場勾配パラメータ  $\alpha$

$$\alpha = 2\phi \frac{1}{K_0} \frac{\partial K_0}{\partial y}$$

$$= 2\phi \left( \frac{5.47}{\lambda_u} - 3.6 \frac{g}{\lambda_u^2} \right)$$

$g$ : 平均ギャップ°

# Superconducting TGU

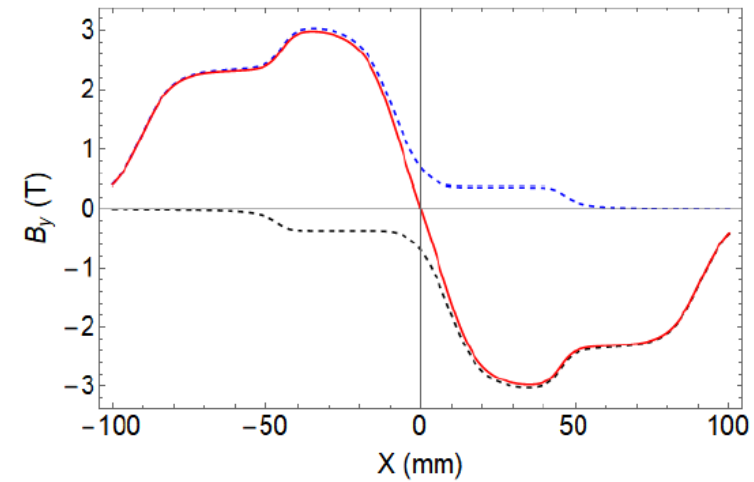
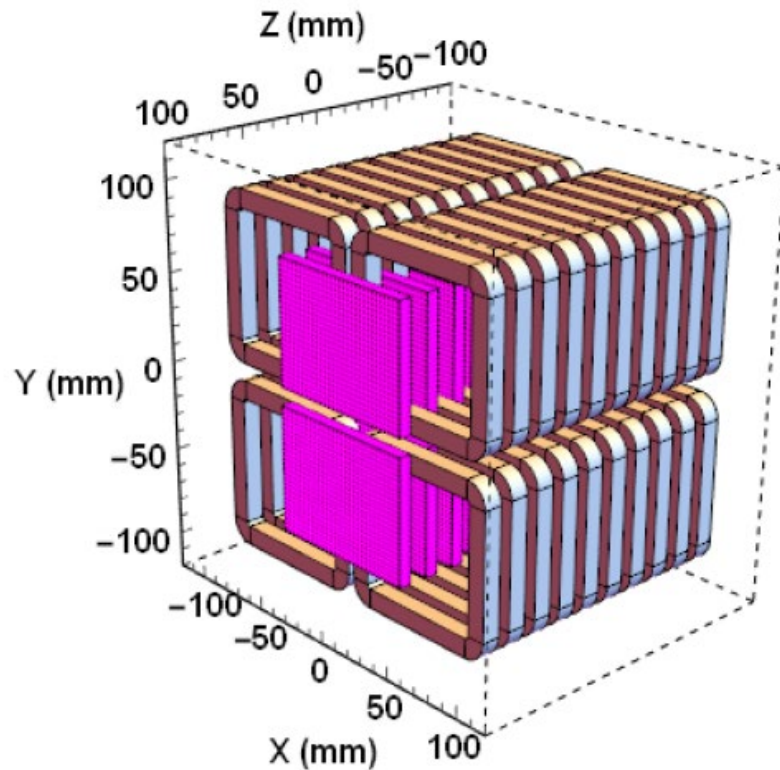


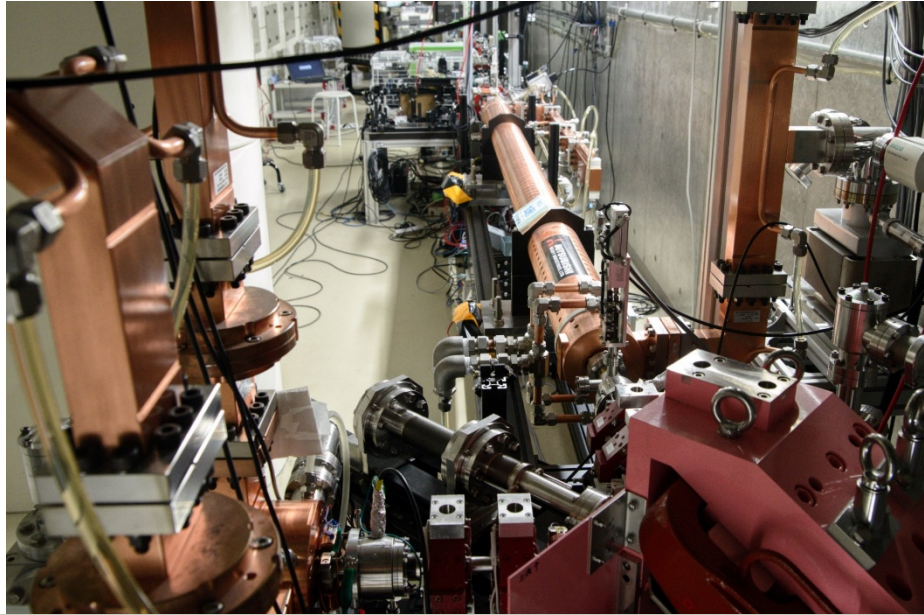
Figure 4: B-field distribution of dual superconducting TGU with  $J_L = 900 \text{ A/mm}^2$  and  $J_R = -900 \text{ A/mm}^2$  for PAL-XFEL soft x-ray beamline.

S. Lee et al. "CONCEPTUAL DESIGN OF SUPERCONDUCTING TRANSVERSE GRADIENT UNDULATOR FOR PAL-XFEL BEAMLINE" doi:10.18429/JACoW-FLS2018-WEP2PT033



TOHOKU UNIVERSITY

# test-Accelerator as Coherent THz Source (t-ACTS)



- 熱陰極RF電子銃 +  $\alpha$  電磁石 + 3 m加速管の構成
- Velocity Bunchingによるバンチ圧縮により $\sigma_t=80\text{fs}$ を達成

## ビームパラメータ

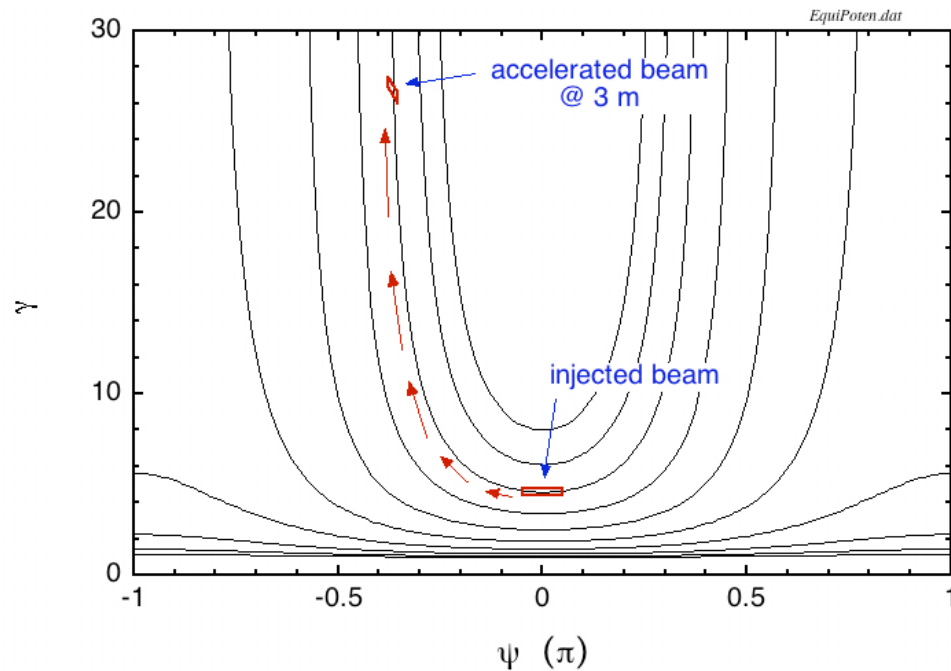
Beam energy	22 MeV
Energy spread $\sigma_\delta$	<u>~1%</u> (rms)
Normalized emittance	$\epsilon_x = 3 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ $\epsilon_y = 6 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$
Bunch length $\sigma_t$	~80 fs (rms)
Bunch charge $Q$	20 pC

5%程度まで広げたい！



# Velocity Bunching

## 加速管中での運動

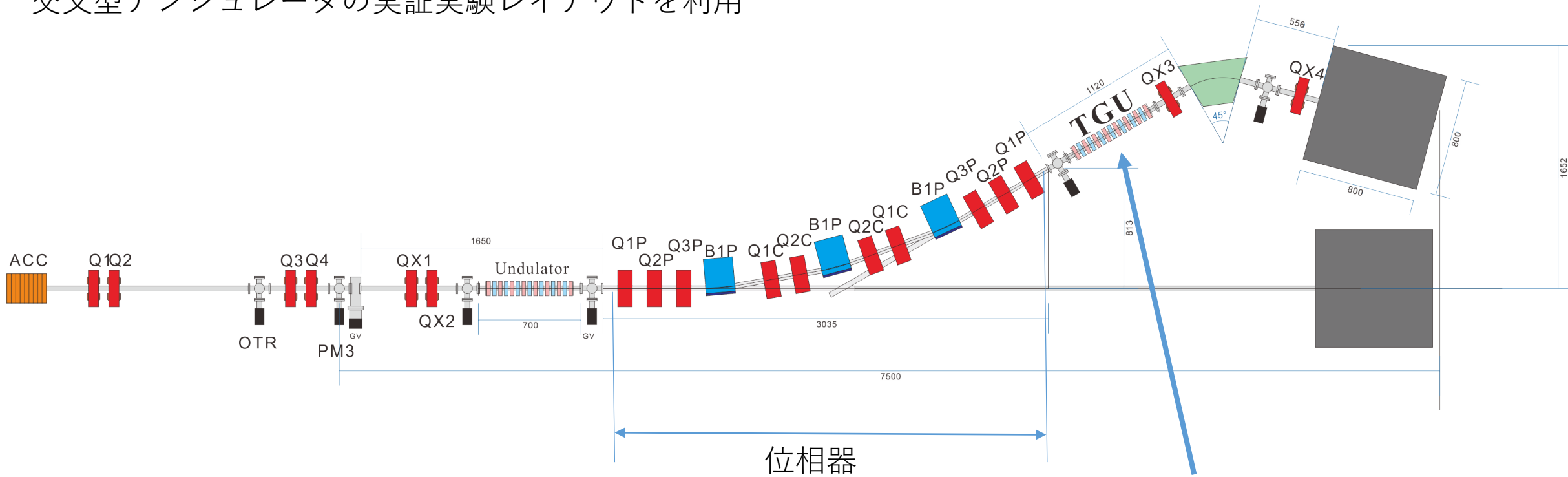


- 加速管に入射された電子ビームは等ポテンシャル線に沿って運動する。
  - バunch長の長いビームを入射することでエネルギー広がりが広いビームが期待できると考えている。
- 要ビームテスト（今年度実施予定）



# TGU実験レイアウト

交叉型アンジュレータの実証実験レイアウトを利用



2台目のアンジュレータをTGUに置き換える

位相器でTGUの $\eta$ の調整とマッチングを行うことができる。

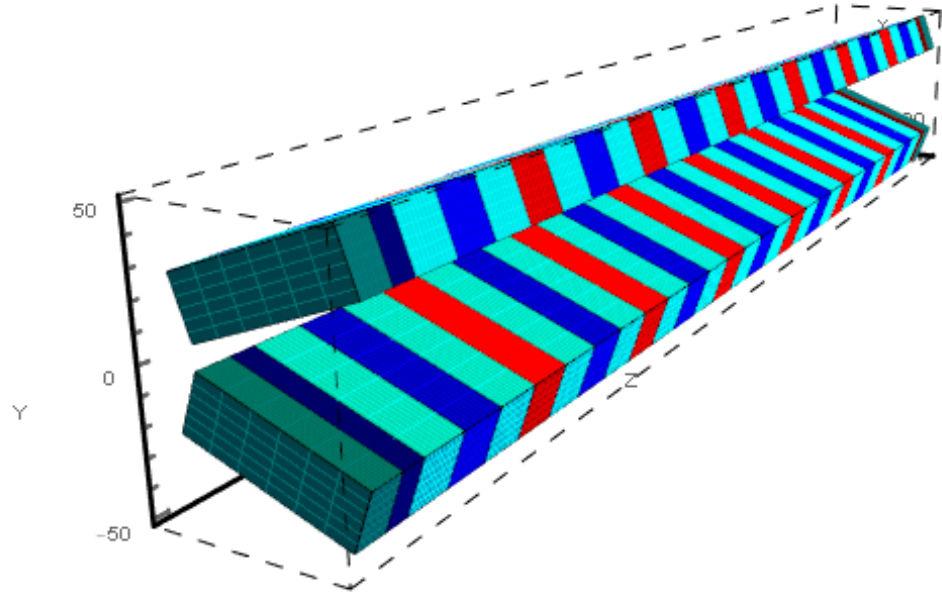
# Crossed Undulator用アンジュレータ



Magnet array	Halbach type
Period length $\lambda_u$	80 mm
Number of periods $N$	7
Magnet material	NdFeB ( $B_r=1.22$ T)
Gap	33 mm (fix)
Peak magnetic field	0.471 T ( $K=3.52$ )

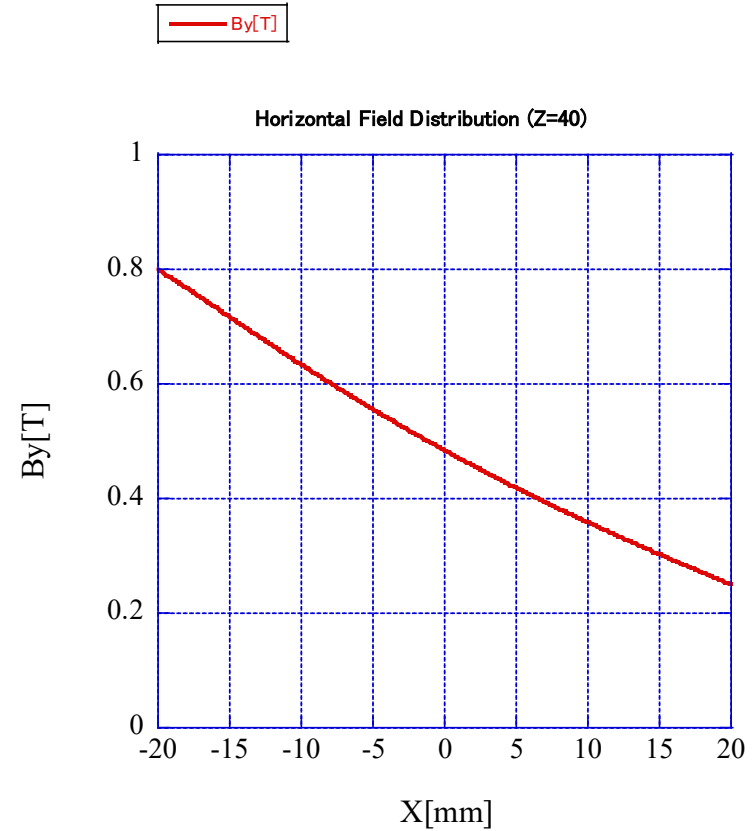
このアンジュレータの磁石列を利用してTGUを製作する。

# Radiaによる磁場計算



- 広がり角  $2\phi=40$ 度
- $\text{Gap}(x=0) = 33\text{mm}$

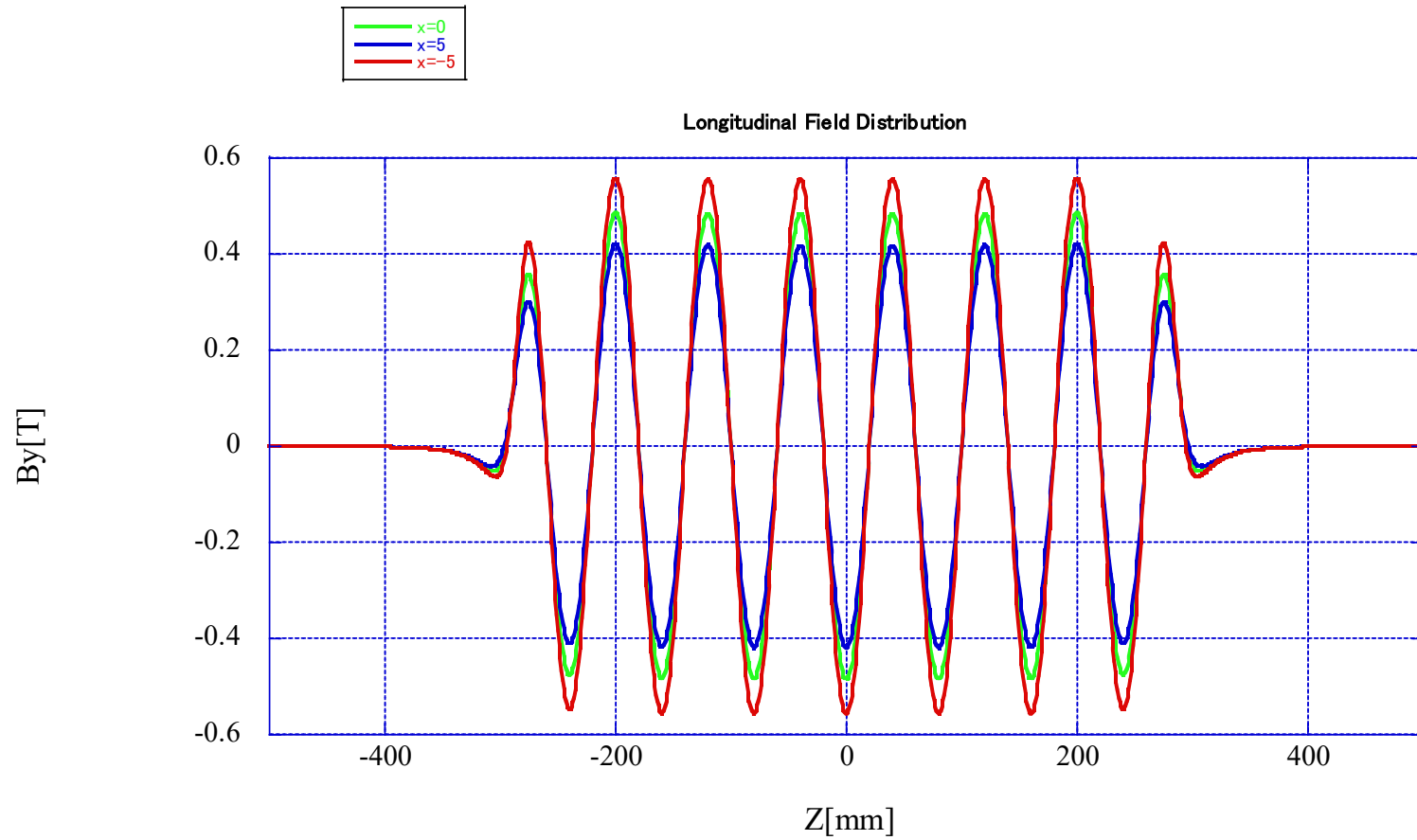
水平方向の磁場分布



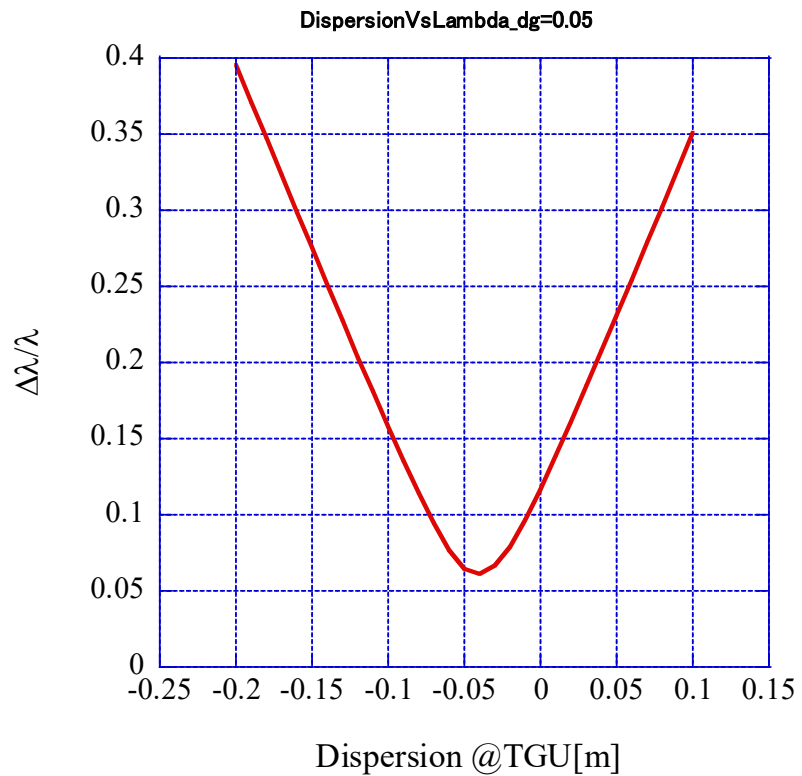
K値( $x=0$ ) = 3.62

磁場勾配  $\alpha = -28.3[\text{m}^{-1}] @x = 0$

# 縦方向の磁場分布



# 期待される結果



共鳴条件

$$\eta = \frac{2 + K_0^2}{\alpha K_0^2} = -0.041m$$

で極小を持つ。

# まとめと今後の課題

- 東北大学電子光物理学研究センターの試験加速器t-ACTSを用いて横方向傾斜磁場アンジュレータ(TGU)の実証実験を計画している。
- TGUの磁場計算を行い、現在アンジュレータの改造に向けた検討を行っている。
- 今後、計算された磁場を用いてビームトラッキングとアンジュレータ光の計算を行いTGUの有用性を示す。

本研究はJSPS 科研費 基盤研究(C) 21K12533の助成を受けて行っております。