

3GeV 放射光蓄積リング電子ビームサイズ モニター用3極ウィグラーの開発

第18回日本加速器学会年会

2021年8月9日

上島考太^{A)}, 高野史郎^{B),C),A)}, 前坂比呂和^{C)}, 正木満博^{B), A)}, 藤田貴弘^{B), A)},
出羽英紀^{B)}, 渡部貴宏^{B),C),A)}, 深見健司^{B),C),A)}, 谷内努^{B)}, 西森信行^{A)}

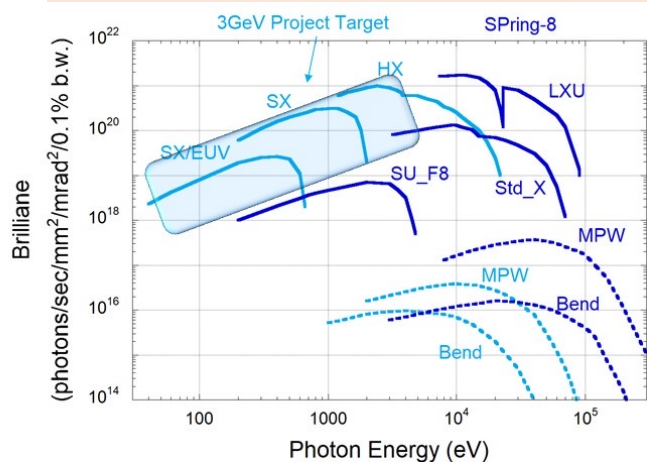
A)量研, B) 高輝度光科学研究センター, C) 理研

内容

- 次世代3GeV放射光施設
- 加速器の構成
- 光診断ライン
- 3極ウィグラーの開発
 - 基本設計
 - 漏れ磁場対策
 - 積分磁場の調整
- まとめ

次世代3GeV放射光施設

軟X線に強みを持つ放射光源



仙台駅から地下鉄で9分

利便性の高い 都市型放射光施設

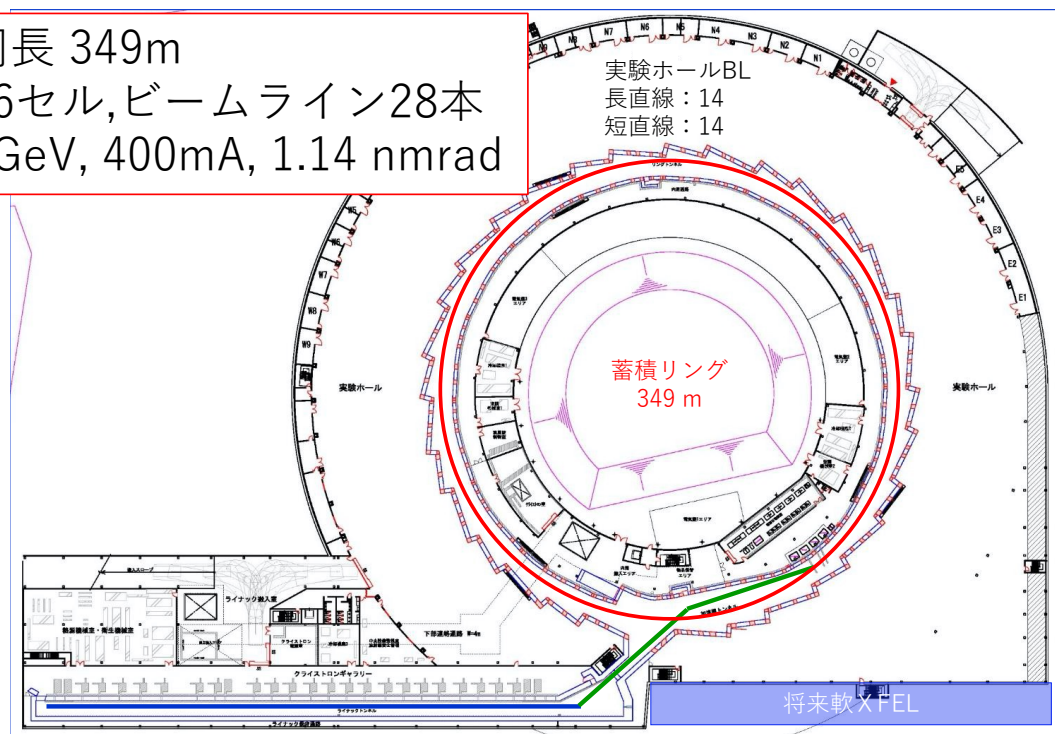
屋根がほぼ完成
2021年6月



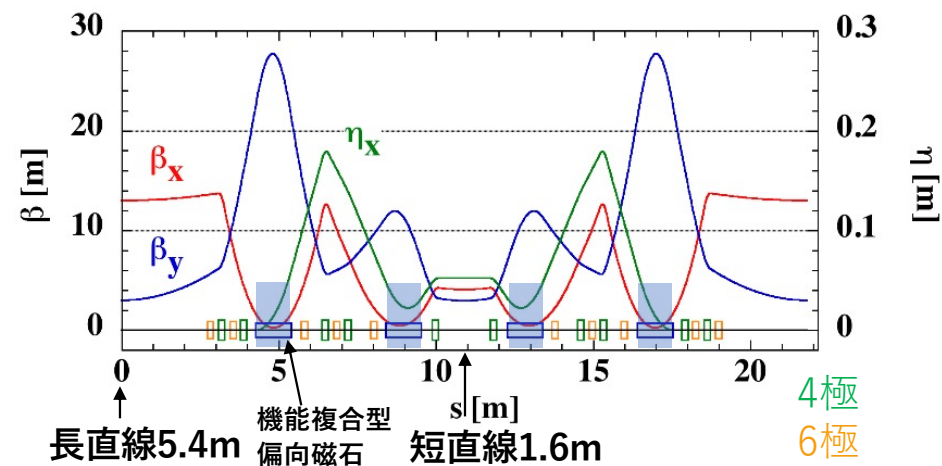
2021年12月から加速器設置開始
加速器コミッションングを経て
2024年4月から利用運転開始

加速器構成

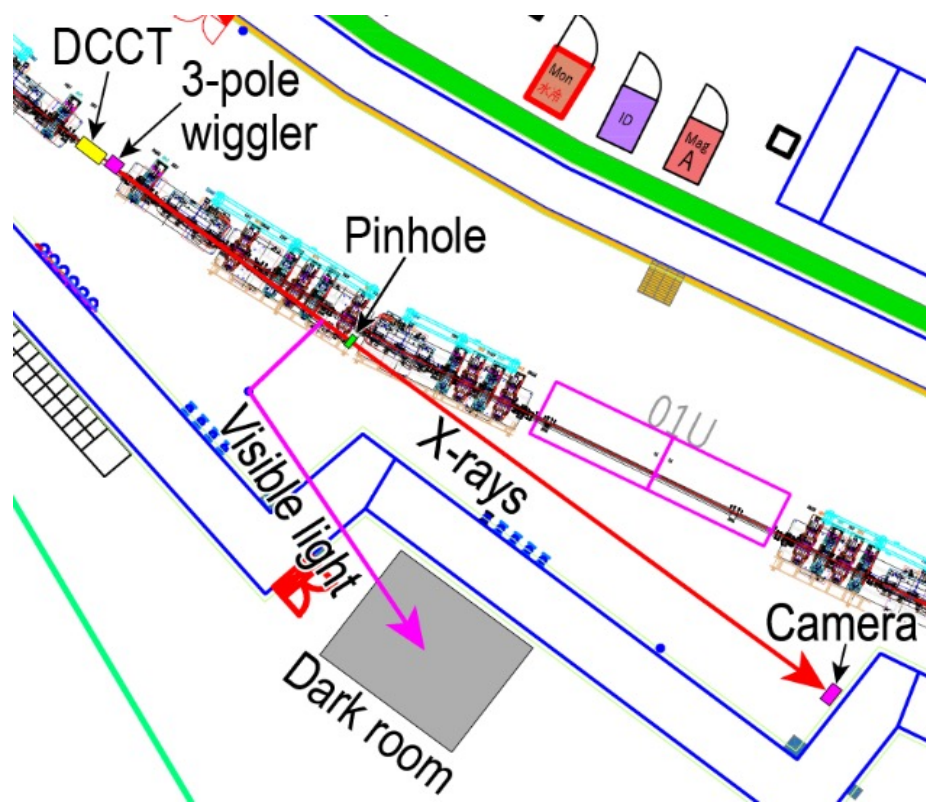
周長 349m
 16セル, ビームライン28本
 3GeV, 400mA, 1.14 nmrad



3GeV蓄積リング基本セルの構成
 機能複合型偏向電磁石 4台
 4極電磁石 10台
 6極電磁石 10台



光診断ライン



1本の短直線部に蓄積電流モニター用のDCCTと光診断用の光源を設置

光源: 3極ウィグラー
硬X線から可視光領域まで幅広い波長域の光源

- ・ 硬X線を用いたX線ピンホールカメラによる横方向電子ビームプロファイル測定。
- ・ 可視光成分を暗室まで導き、ストリークカメラを用いたバンチ長測定も計画。

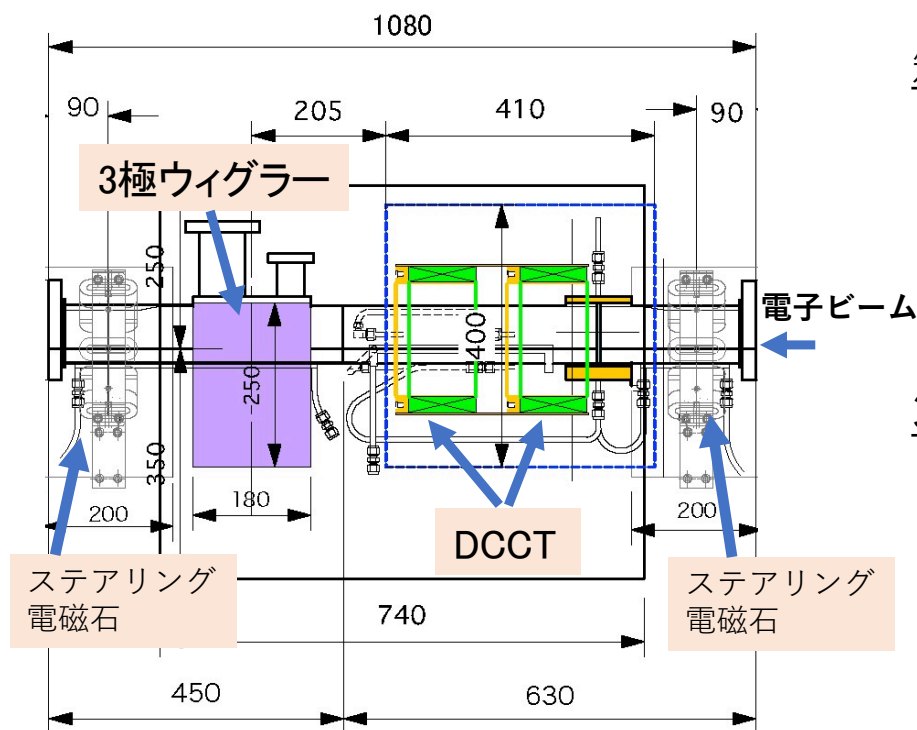
$$\text{ビームサイズ } \sigma_x = \sqrt{\varepsilon_x \beta_x + \left(\frac{\eta_x \sigma_E}{E}\right)^2} \quad \sigma_y = \sqrt{\varepsilon_y \beta_y}$$

ビームサイズを観測し、エミッタンスを求める。
カップリング比も求まる。

短直線部でのビームサイズ

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 80 \mu\text{m} \\ \sigma_y &= 6 \mu\text{m} \end{aligned}$$

短直線部の機器構成と3極ウィグラーの基本設計



短直線部の機器構成(平面図)

短直線部機器構成

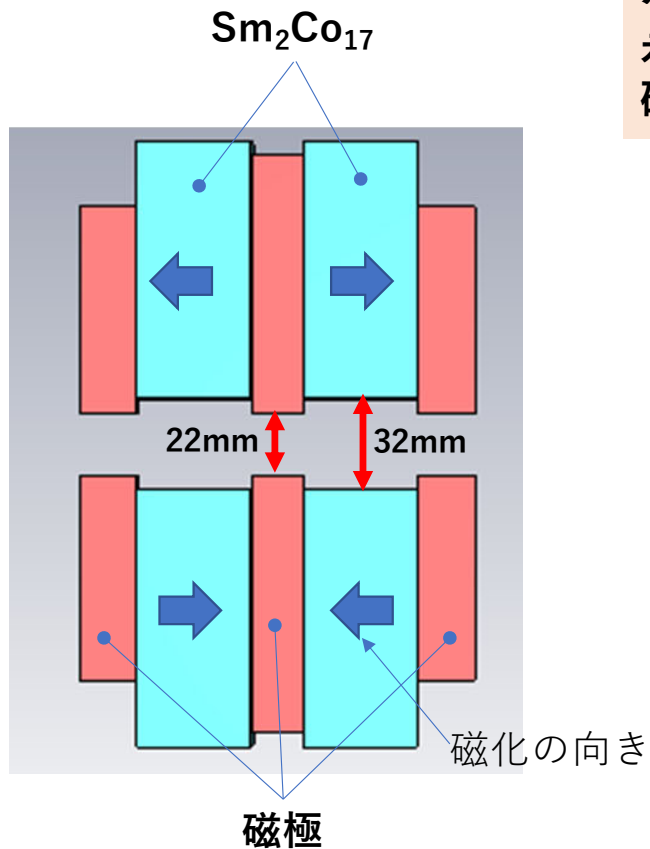
- ステアリング電磁石：軌道補正のため
- DCCT：電流モニター
- 3極ウィグラー：電子ビームサイズモニター

3極ウィグラー設計条件

- 50keVの硬X線を発生させるためピーク磁場1.2T以上
- 空間制限により180mm以内
- 磁極ギャップ22mm以上
- DCCTセンサーヘッドへの漏れ磁場対策が必要
- 永久磁石は非磁性のホルダーで完全に覆う
- C型形状とし、スライドさせてビーム軸から退避できる

3極ウィグラーの磁気回路設計

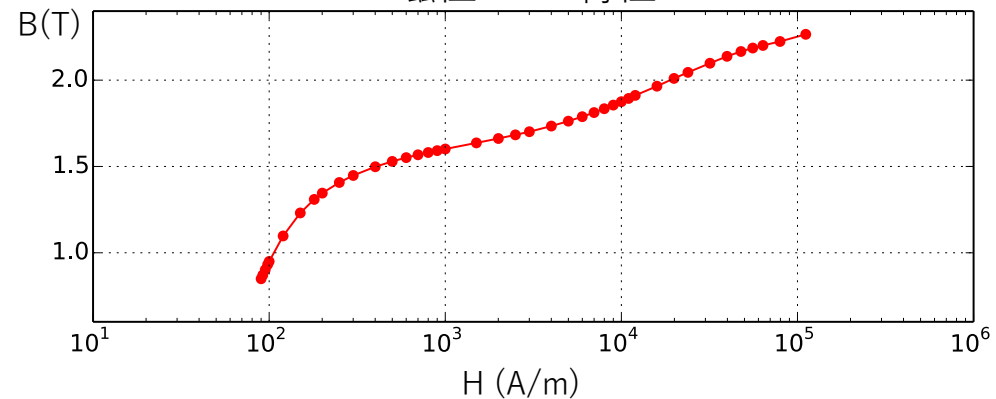
ハイブリッド型の3極ウィグラー
永久磁石 サマリウムコバルト ($\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$) 信越化学製R32HS
磁極 電磁軟鉄 SUY-1 相当



シミュレーション条件

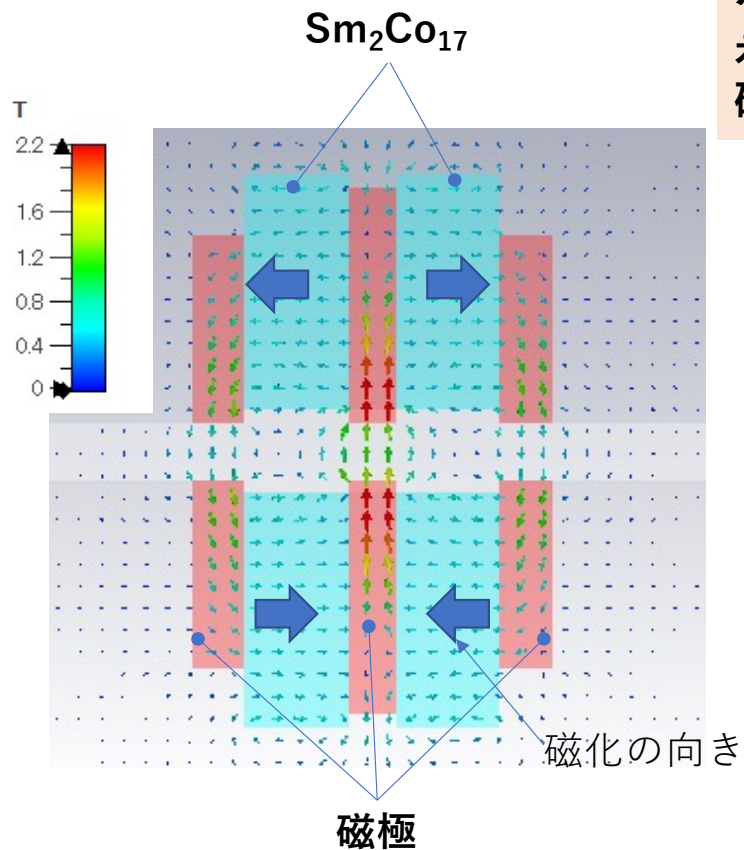
- Sm₂Co₁₇ Br 1.10 T (カタログ値の最低値)
- Sm₂Co₁₇ 保磁力(H_{cb}) 834 kA/m
- 磁極ギャップ 22mm
- Sm₂Co₁₇ 間隔は32mm(非磁性ホルダで磁石全体を覆う)

磁極のBH特性



3極ウィグラーの磁気回路設計

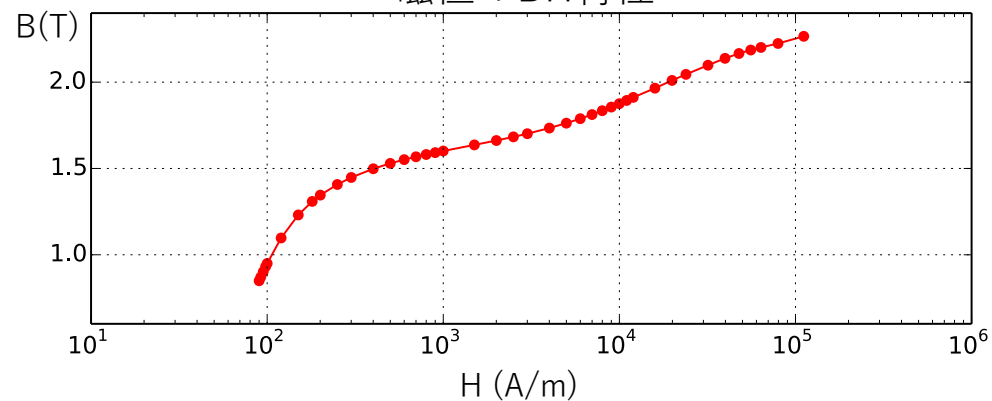
ハイブリッド型の3極ウィグラー
永久磁石 サマリウムコバルト ($\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$) 信越化学製R32HS
磁極 電磁軟鉄 SUY-1 相当



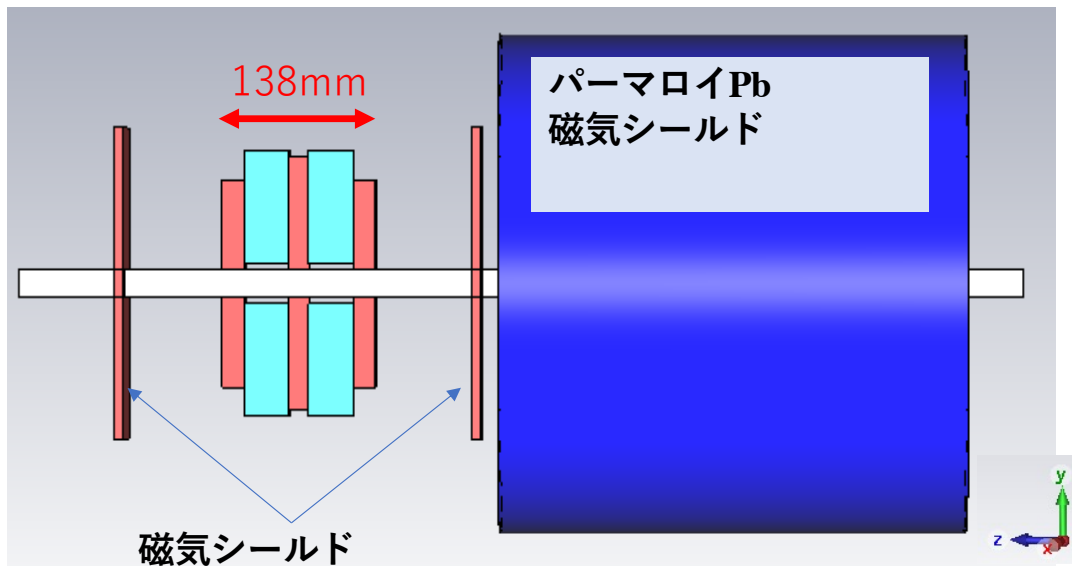
シミュレーション条件

- $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ Br 1.10 T (カタログ値の最低値)
- $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 保磁力(H_{cb}) 834 kA/m
- 磁極ギャップ 22mm
- $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 間隔は32mm(非磁性ホルダで磁石全体を覆う)

磁極のBH特性



3極ウィグラーの漏れ磁場対策

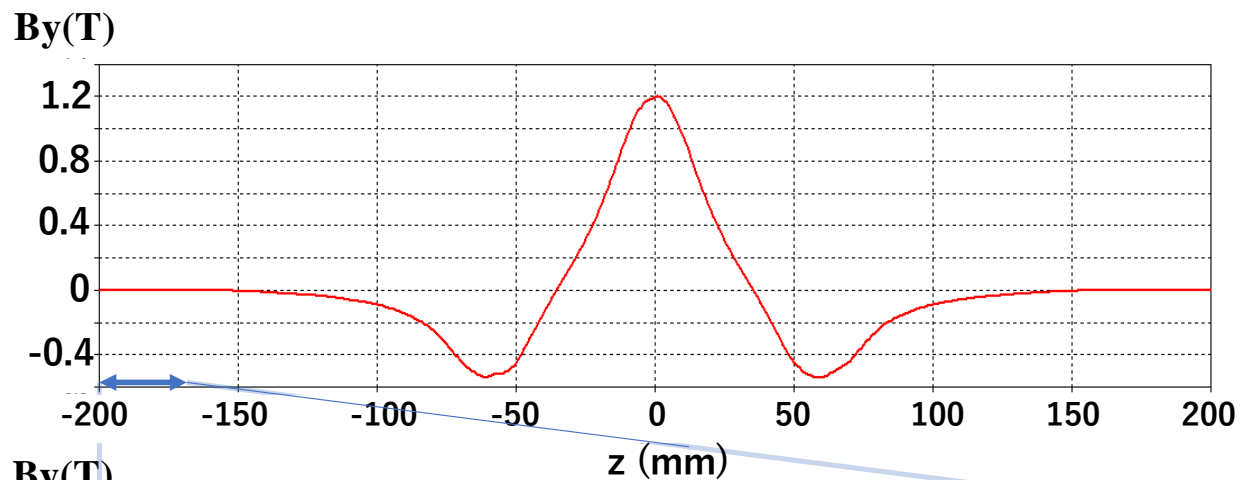


- DCCTへの漏れ磁場を地磁気(5×10^{-5} T)以下に低減する。
- ・ DCCTへの漏れ磁場対策として電磁軟鉄の磁気シールド250mm(x),250mm(y),9mm(z)を2枚設置
 - ・ DCCTは厚さ2mmのパーマロイPbの磁気シールドで全体を覆う
 - ・ 磁気シールドは真空ダクトが設置できるように150mm*22mmの開口を開けて漏れ磁場を見積もった

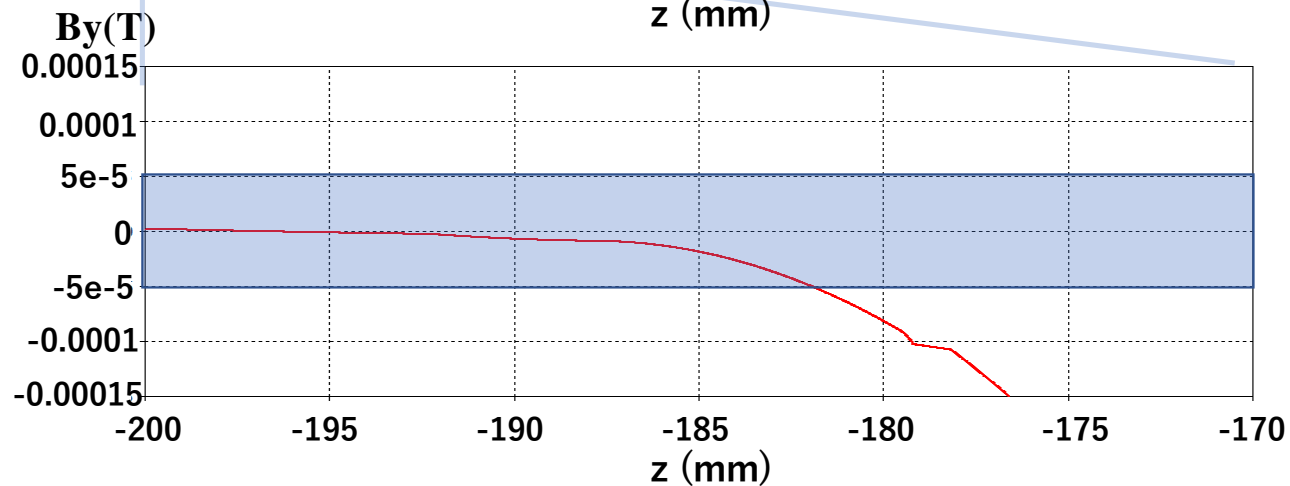
3極ウィグラーの形状	
Sm ₂ Co ₁₇	100 mm(x), 90 mm(y), 40 mm(z)
中央磁極	70 mm(x), 90 mm(y), 18 mm(z)
端部磁極	60 mm(x), 72 mm(y), 20 mm(z)

全長138mm

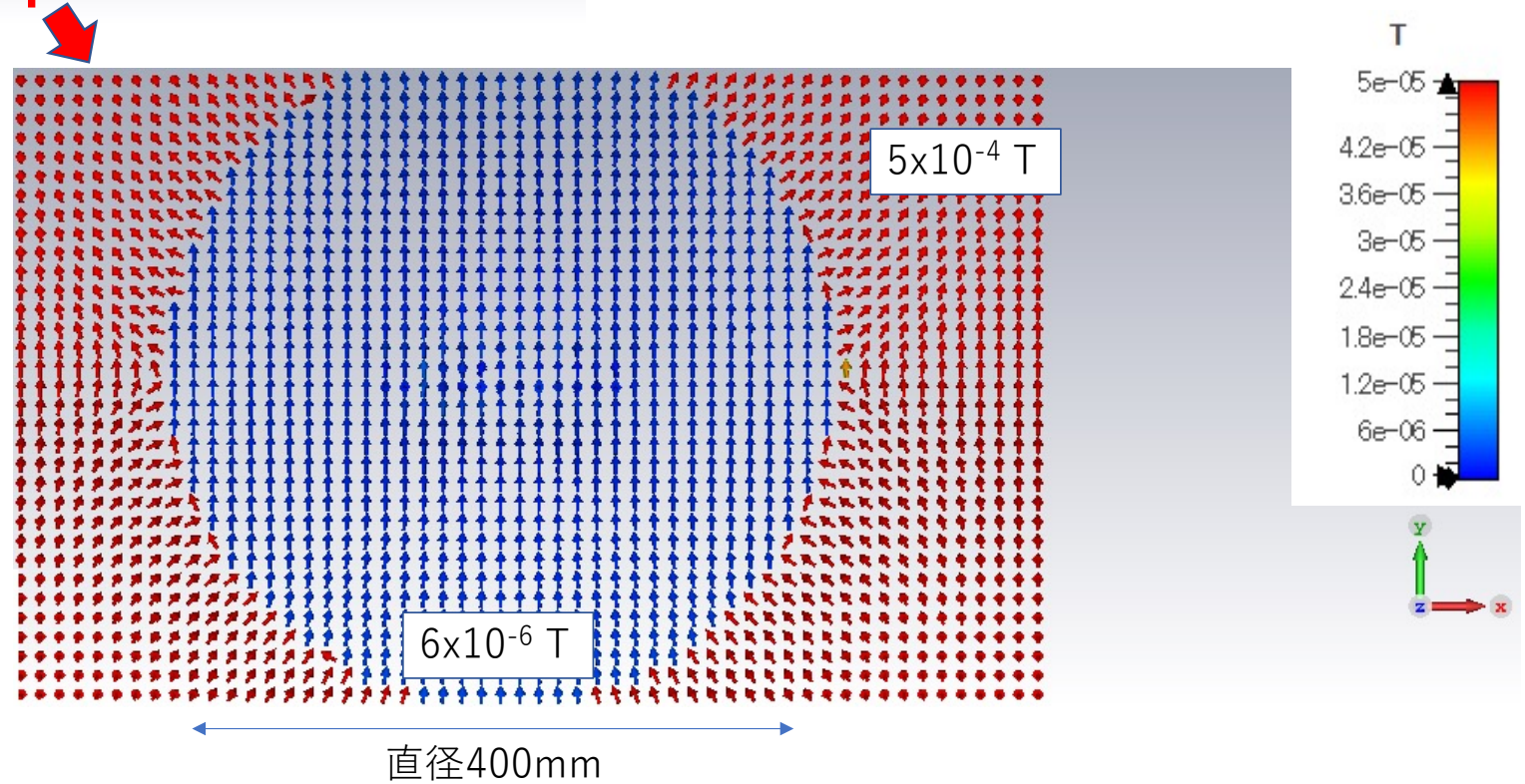
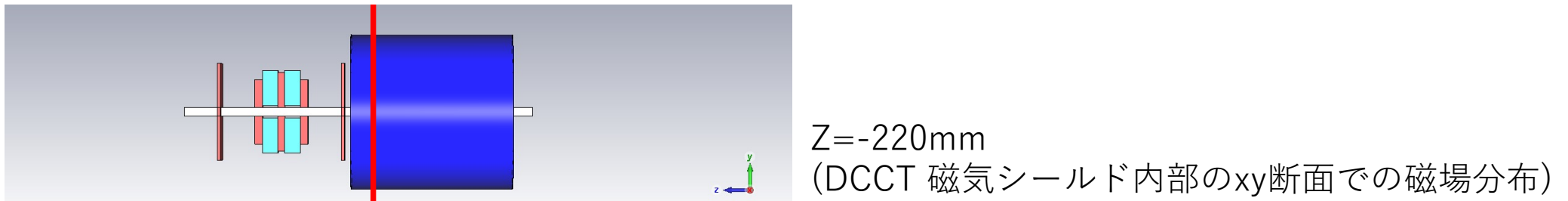
3極ウィグラーの磁場分布と漏れ磁場



ピーク磁場1.2Tの
磁気回路を設計

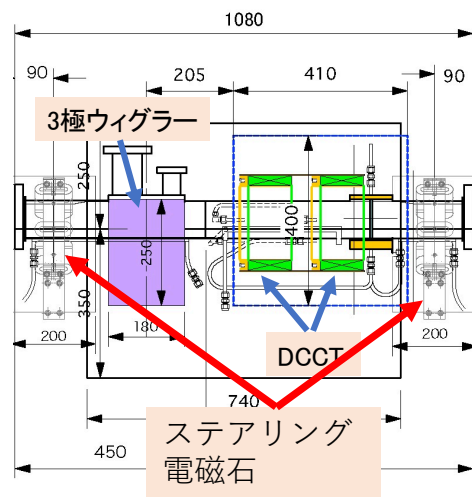


DCCTへの漏れ磁場も
地磁気(5×10^{-5} T)レベル以下に
低減できている。



DCCTの磁気シールド内は地磁気以下に低減できている。

蓄積電子ビームへの影響

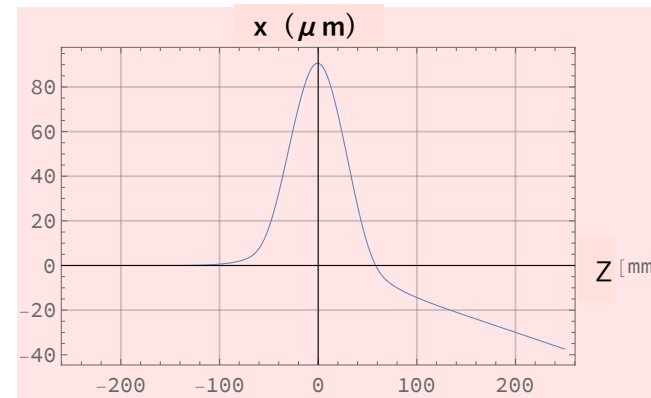
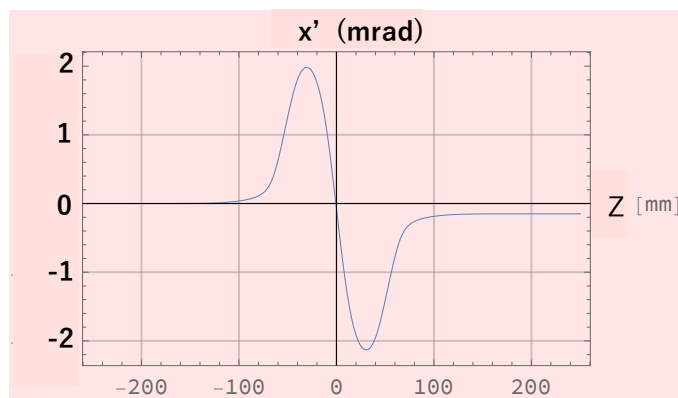


3極ウィグラーの積分磁場が0でないとき電子ビーム軌道に影響を与える。短直線部の上流、下流には最大蹴り角 0.25mradのステアリング電磁石が設置される。

(例) 3極ウィグラーの積分磁場が 1.5Tmmの場合
残留キックは、-0.15mradに相当、電子軌道がずれる。

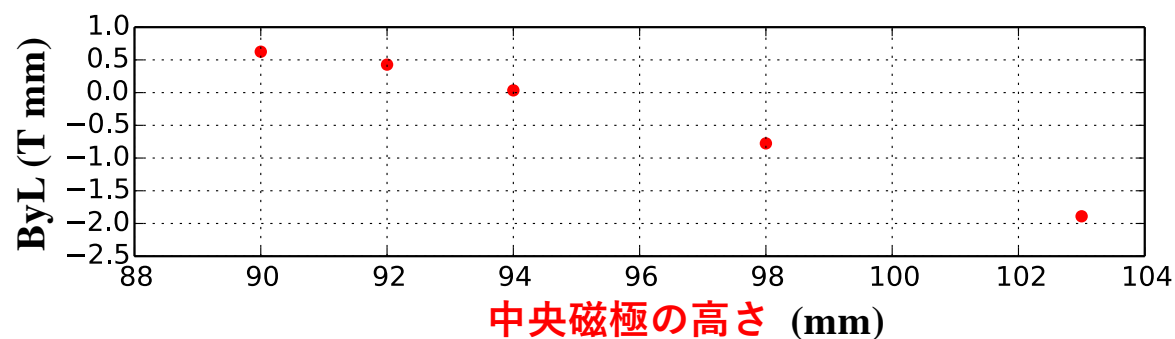
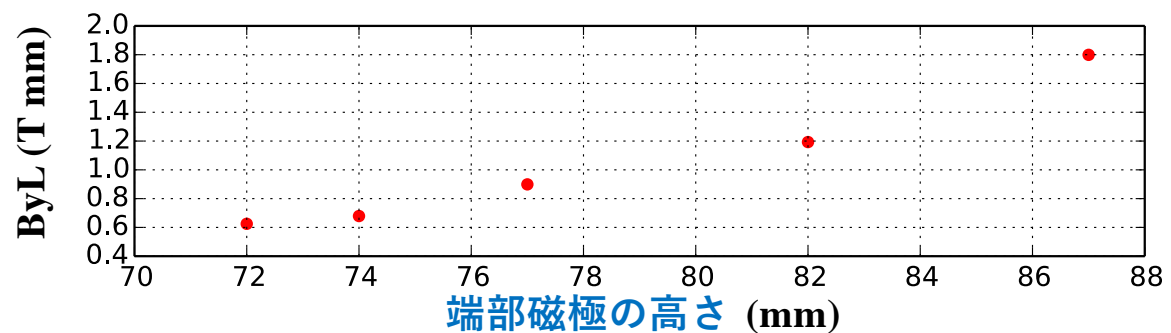
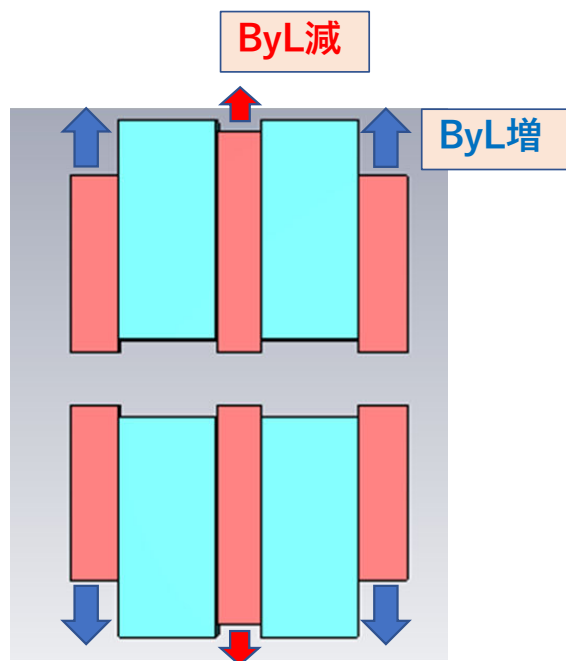
E 3GeV, $x=0, x'=0$ で3極ウィグラーに入射した電子ビーム軌道

3GeV: $B\rho$ 10Tm



3極ウィグラーの積分磁場を2台のステアリング電磁石で十分補正できる値 1 Tmm (-0.1mrad 相当) 以下 (目標値 0.1 Tmm以下) を設計条件とした。

積分磁場の調整

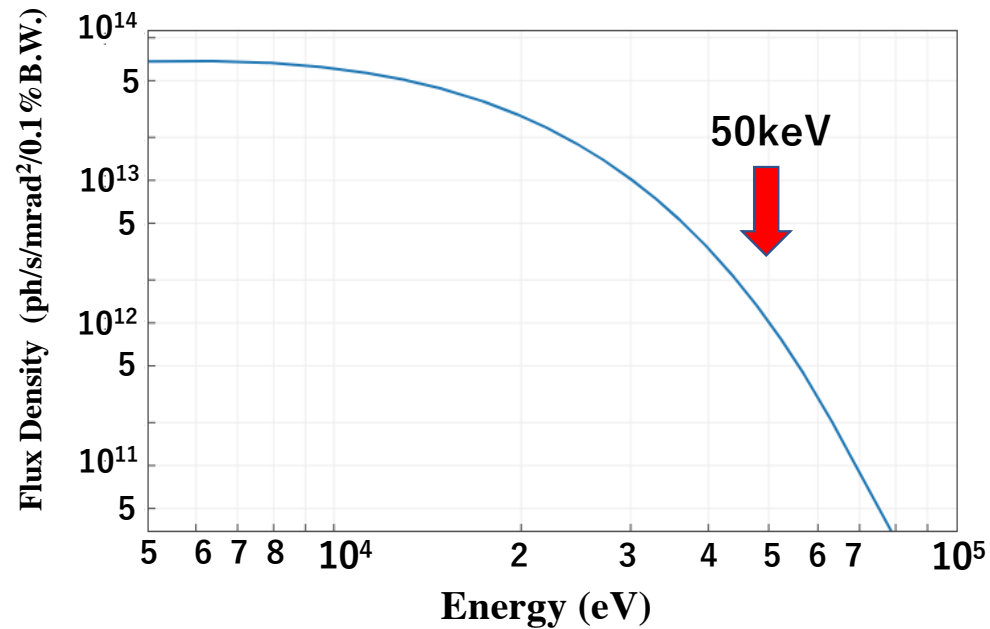


3極ウィグラー組み上げ後、積分磁場を測定し、磁極の高さを増やす方向で積分磁場の微調整を行う

3極ウィグラーの製作工程

- ① 基本設計
- ② 実際に使用する同一ロットの電磁軟鉄のBH特性、 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ のBr, 保磁力(H_{cb})を測定
- ③ 測定値を基にピーク磁場、漏れ磁場、積分磁場を考慮し、設計を最適化
- ④ 3極ウィグラーを組み上げた後、積分磁場を測定し、積分磁場の微調整を行う。

3極ウィグラーの性能評価



基本設計で得られた3極ウィグラーの設計磁場分布データをSPECTRAにインプットし、X線のフラックスを確認した。

ビームエネルギー 3GeV
蓄積電流 400mA

50keVの硬X線領域で 1.0×10^{12} ph/s/mrad²/0.1%B.W.
→電子ビームサイズをモニタする上で十分なflux

まとめ

- 3GeV電子蓄積リングのビーム診断用光源として、3極ウィグラーの基本設計を行った。
 - ピーク磁場 1.2T
 - コンパクトな設計 z方向 138mm
 - DCCTへの漏れ磁場対策を行い、地磁気(5×10^{-5} T)以下に低減
 - 3極ウィグラーを組み上げた後、磁極長さを増やして、積分磁場を微調整する