

インコヒーレント放射光の 3GeV ERLへの影響

ビームダイナミクスWG打ち合せ
2012.03.28

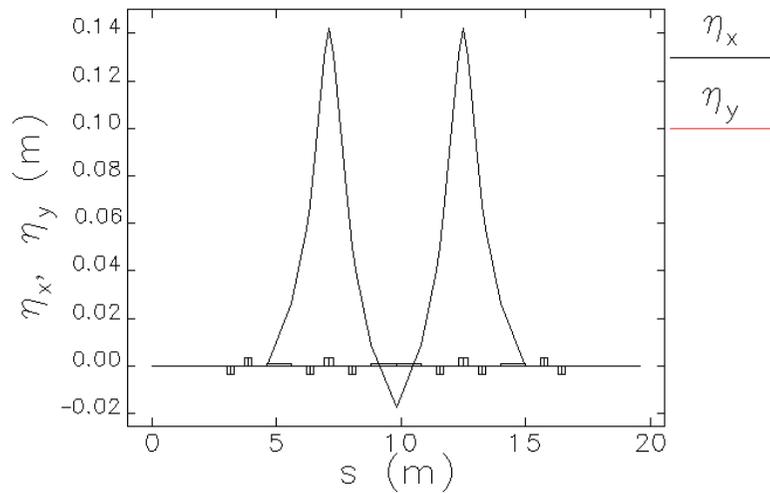
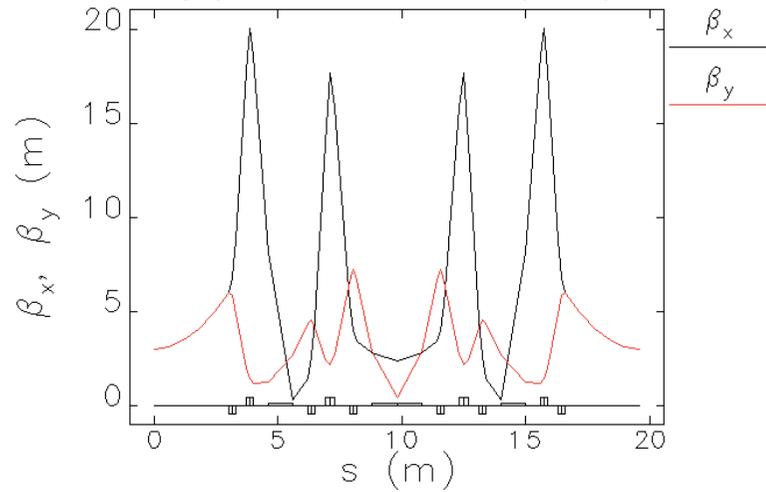
中村 典雄(KEK)

目的

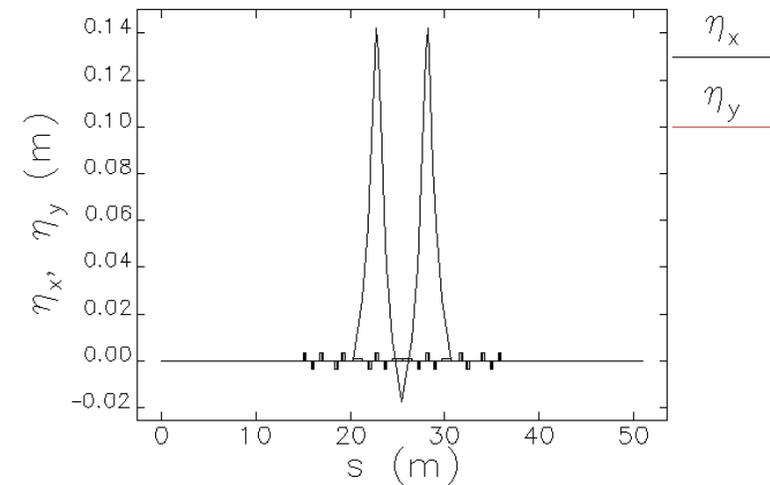
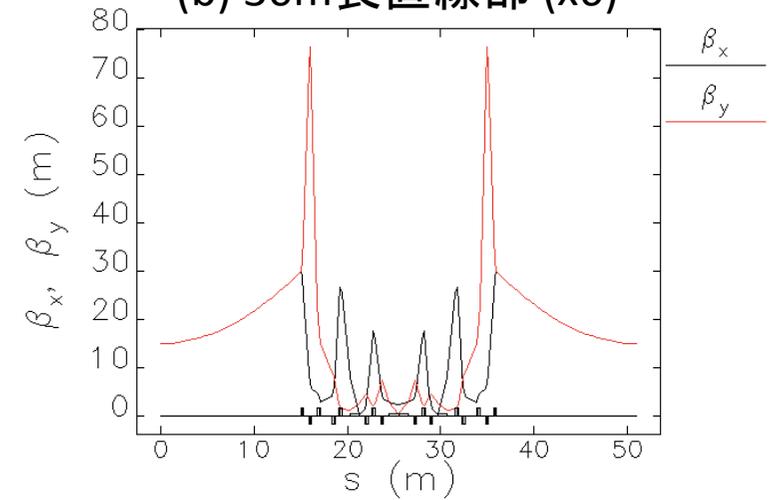
- 偏向電磁石及びアンジュレータ中での電子のインコヒーレント放射光放出によるエネルギー幅やエミッタンスへの影響を評価する。
- エネルギー幅やエミッタンスに影響を与えないパラメータやオプティクスの変更可能範囲を調べる。

TBAセル

(a) 6m長直線部 (x22)



(b) 30m長直線部 (x6)



$$\rho = 19.1 \text{ m}, \quad \langle H_x \rangle \approx 3 \text{ mm} \left(H_x = \beta_x \eta^2 + 2\alpha_x \eta \eta' + \gamma_x \eta'^2 \right)$$

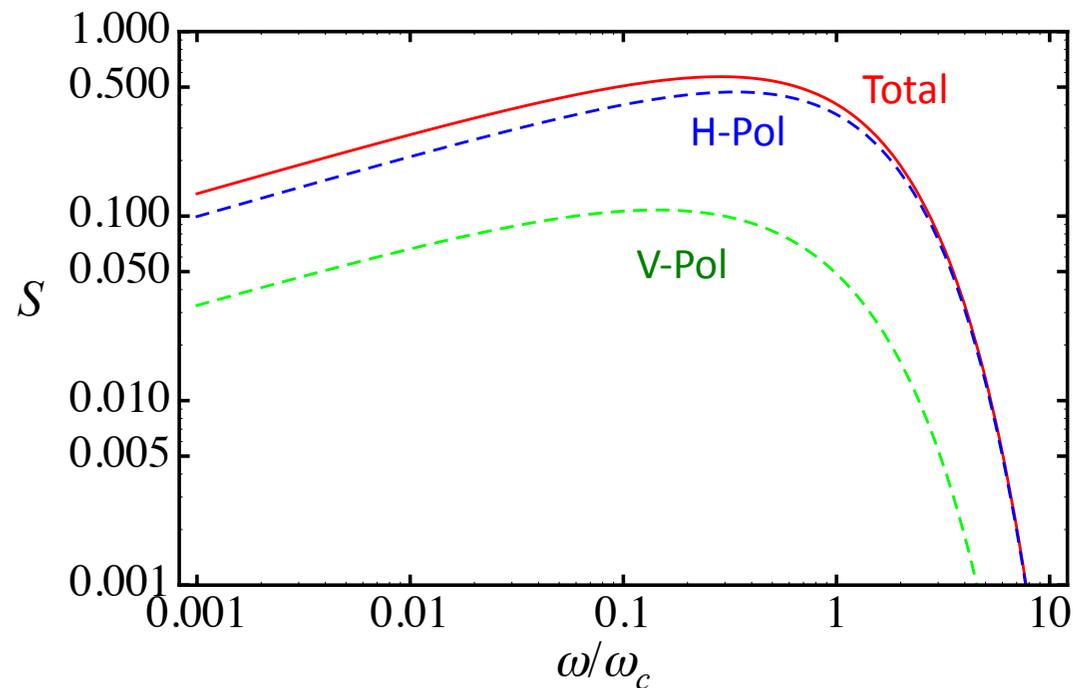
偏向電磁石からの放射光スペクトル

電子が放出する放射光エネルギーのスペクトル(1周当たり)

$$\frac{dW}{d\omega} = \frac{U_0}{\omega_c} S(\omega/\omega_c)$$

$$S(\omega/\omega_c) \equiv \frac{9\sqrt{3}}{8\pi} \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right) \int_{\omega/\omega_c}^{\infty} K_{5/3}(\xi) d(\xi) \quad U_0 = \frac{e^2 \gamma^4}{3\epsilon_0 \rho}, \quad \omega_c = \frac{3\gamma^3 c}{2\rho}$$

$$\int_0^{\infty} S(\omega/\omega_c) d(\omega/\omega_c) = 2 \int_0^1 S(\omega/\omega_c) d(\omega/\omega_c) = 2 \int_1^{\infty} S(\omega/\omega_c) d(\omega/\omega_c) = 1$$



偏向電磁石によるエネルギー広がり

$$\sigma_E^2 = \int_0^\infty \varepsilon^2 \frac{dN_{ph}}{d\varepsilon} d\varepsilon = \int_0^\infty \frac{\varepsilon}{\hbar} \frac{dW}{d\omega} d\varepsilon = \frac{55}{48\sqrt{3}} \frac{\hbar c e^2 \gamma^7}{\varepsilon_0 \rho^2} \quad (\rho: \text{constant})$$

$$\frac{\sigma_E^2}{E^2} = \frac{55}{48\sqrt{3}} \frac{\hbar c e^2 \gamma^5}{\varepsilon_0 \rho^2 (mc^2)^2} = 2.60 \times 10^{-10} \frac{(E[\text{GeV}])^5}{(\rho[\text{m}])^2}$$

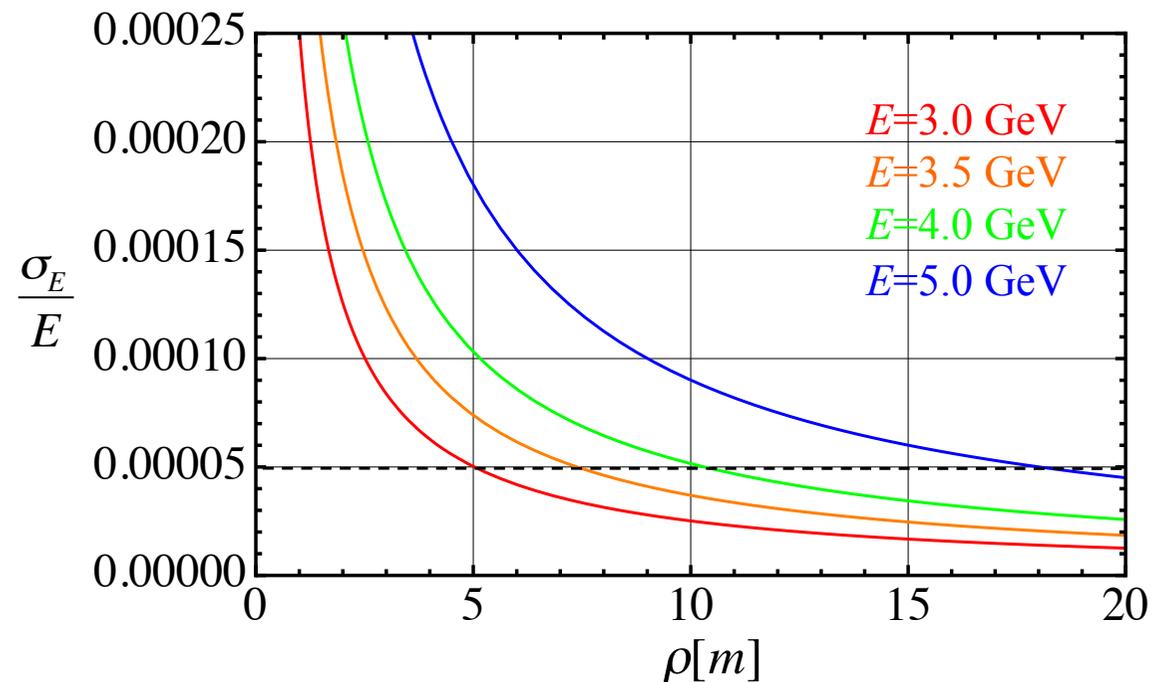
$$\frac{\sigma_E}{E} = 1.61 \times 10^{-5} \frac{(E[\text{GeV}])^{2.5}}{\rho[\text{m}]}$$

計算例:

$$E = 3[\text{GeV}], \rho = 19.1/10[\text{m}]$$

$$\rightarrow \frac{\sigma_E}{E} = 1.31/2.51 \times 10^{-5}$$

$$\begin{aligned} \text{cf. } \frac{\sigma_E}{E} &= 5 \times 10^{-5} \text{ for } 1\text{ps} \\ &= 2 \times 10^{-4} \text{ for } 2\text{ps} \\ &\quad (\text{design value}) \end{aligned}$$



偏向電磁石によるエミッタンス増大

$$\varepsilon_x = \frac{1}{2E^2} \oint ds \int_0^\infty \varepsilon^2 \frac{dN_{ph}}{d\varepsilon} H_x(s) d\varepsilon = \frac{55}{96\sqrt{3}} \frac{\hbar c e^2 \gamma^7}{\varepsilon_0 \rho^2} \langle H_x \rangle \quad (\rho: \text{constant})$$

$$\langle H_x \rangle = \frac{1}{2\pi\rho} \oint H_x ds$$

$$H_x \equiv \beta_x \eta'^2 + 2\alpha_x \eta \eta' + \gamma_x \eta^2$$

$$\varepsilon_x = \frac{55}{96\sqrt{3}} \frac{\hbar c e^2 \gamma^5}{\varepsilon_0 \rho^2 (mc^2)^2} \langle H_x \rangle = 1.30 \times 10^{-10} \frac{(E[\text{GeV}])^5}{(\rho[\text{m}])^2} \langle H_x \rangle$$

現在のパラメータ値:

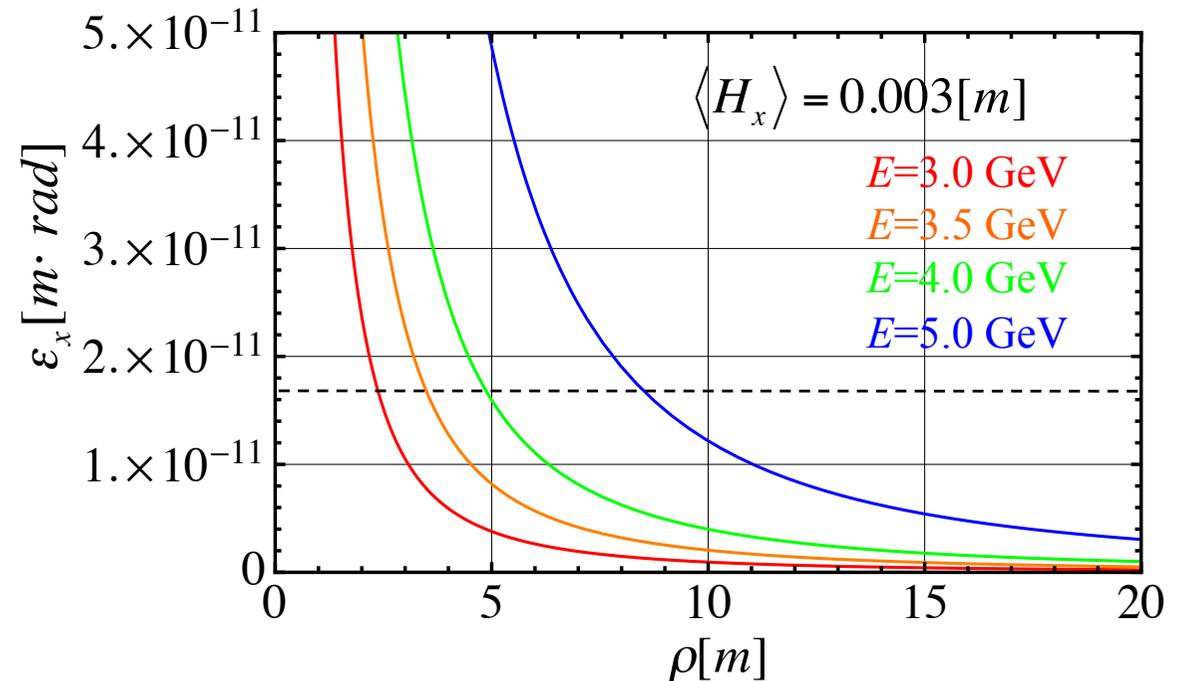
$$E = 3[\text{GeV}], \quad \rho = 19.1/10[\text{m}],$$

$$\langle H_x \rangle = 3[\text{mm}]$$

$$\rightarrow \varepsilon_x = 2.6/9.5 \times 10^{-13} [\text{m} \cdot \text{rad}]$$

$$\text{cf. } \varepsilon_x = 1.7 \times 10^{-11} [\text{m} \cdot \text{rad}]$$

(design value)



アンジュレーターによるエネルギー広がり

$$\sigma_E^2 = \int_0^\infty \varepsilon^2 \frac{dN_{ph,und}}{d\varepsilon} d\varepsilon = \frac{7}{15} \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0} \frac{\hbar}{mc} \left(\frac{2\pi}{\lambda_u}\right)^3 \gamma^4 K^2 F(K) L_u$$

E. L. Saldin et al., NIM A381 545-547 (1996)

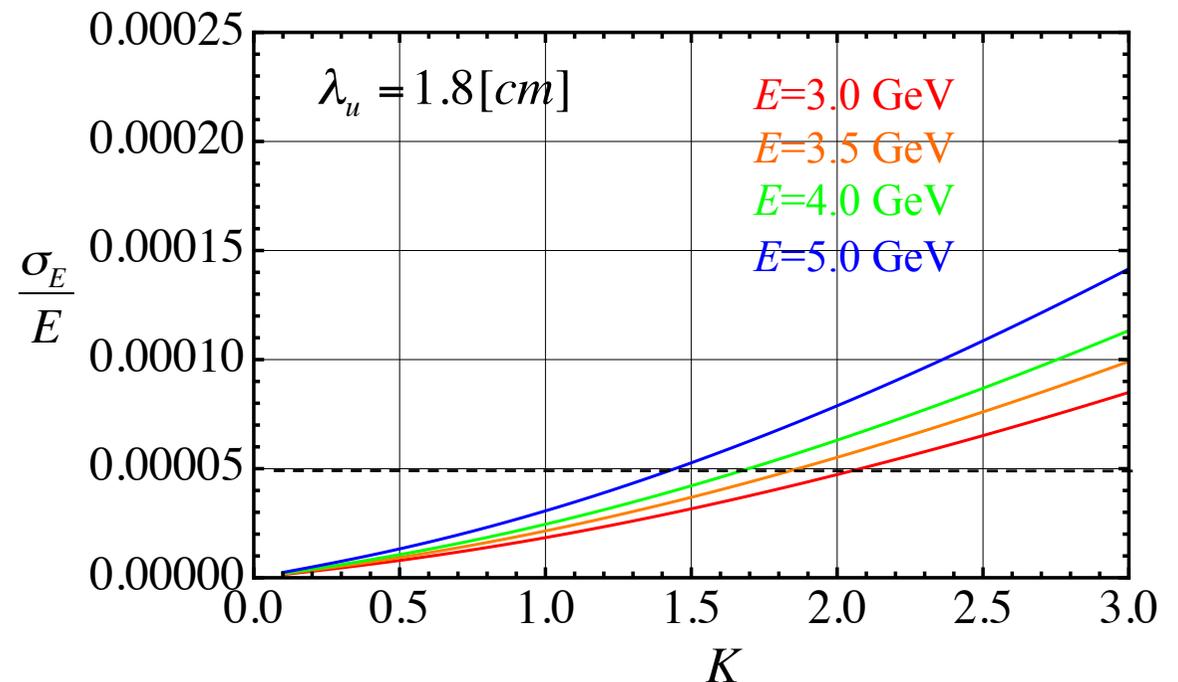
$$\frac{\sigma_E^2}{E^2} = 4.82 \times 10^{-13} \frac{(E[GeV])^2 K^2 F(K)}{(\lambda_u[cm])^3} L_u[m] \quad F(K) \approx 1.2K + (1 + 1.33K + 0.4K^2)^{-1}$$

$$E = 3[GeV], \lambda_u = 1.8[cm], K = 2$$

$$L_u = 30 \times 6 + 5 \times 22 = 290[m]$$

$$\rightarrow \frac{\sigma_E}{E} = 4.73 \times 10^{-5}$$

$$\begin{aligned} \text{cf. } \frac{\sigma_E}{E} &= 5 \times 10^{-5} \text{ for } 1ps \\ &= 2 \times 10^{-4} \text{ for } 2ps \\ &\text{(design value)} \end{aligned}$$



アンジュレータによるエミッタンス増大

$$\varepsilon_x = \frac{1}{2E^2} \int_{-L_u/2}^{L_u/2} ds \int_0^\infty \varepsilon^2 \frac{dN_{ph,und}}{d\varepsilon} H_x(s) d\varepsilon \approx \frac{1}{2} \frac{\sigma_E^2}{E^2} \langle H_x \rangle \quad \langle H_x \rangle = \frac{1}{L_u} \int_{-L_u/2}^{L_u/2} H_x ds$$

$$\eta(s) = \frac{\lambda_u K}{2\pi\gamma} \left(1 - \cos \frac{2\pi s}{\lambda_u} \right) + \eta_0 \quad \eta'(s) = \frac{K}{\gamma} \sin \frac{2\pi s}{\lambda_u}$$

$$\beta_x(s) = \beta_{x0} + \frac{s^2}{\beta_{x0}} \quad \alpha_x(s) = -\frac{s}{\beta_{x0}}$$

$$\langle H_x \rangle = \frac{\beta_x K^2}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{L_u^2}{12\beta_x^2} + \frac{11\lambda_u^2}{8\pi^2\beta_x^2} + \frac{2\eta_0\gamma^2}{\beta_x^2 K^2} + \frac{4\eta_0\gamma\lambda_u}{\pi K\beta_x^2} \right)$$

$$E = 3[\text{GeV}], K = 2, \lambda_u = 18[\text{mm}], L_u = 290[\text{m}], \beta_{x0} = 5[\text{m}], \eta_0 = 0/0.01[\text{m}]$$

$$\rightarrow \langle H_x \rangle = 0.082/0.102[\text{mm}]$$

$$\rightarrow \varepsilon_x = 9.2 \times 10^{-14} / 1.1 \times 10^{-13} [\text{m} \cdot \text{rad}]$$

$$\text{cf. } \varepsilon_x = 1.7 \times 10^{-11} \text{ (design value)}$$

まとめと課題

- 偏向電磁石及びアンジュレータ中での電子のインコヒーレント放射光によるエネルギー幅やエミッタンスへの影響を解析的に評価した。
- インコヒーレント放射光によるエネルギー広がりやエミッタンス増大は、現状のパラメータではERL及びXFEL-Oの光源性能に関して大きな問題とはならない。
- ビームへの影響のない範囲で、偏向電磁石の曲率半径や分散を変えて、バンチ圧縮スキームや必要スペースの縮減等を検討する。