

3GeV-ERLの光源性能について

ビームダイナミクス打ち合せ

2011年12月15日(木)

中村 典雄

目的

- 3GeV-ERLの光源性能について理解する。
- X線(X-ray)及び極紫外・軟X線(VUX-SX)領域での3GeV-ERLの輝度を計算して、性能向上に効果的なパラメータ(あるいはその組み合わせ)を調べる。
- 計算結果を今後の光源設計や要素の仕様・設計を行う場合の参考とする。

典型的な運転モード

by S. Sakanaka

High-brilliance light source

X-FELO

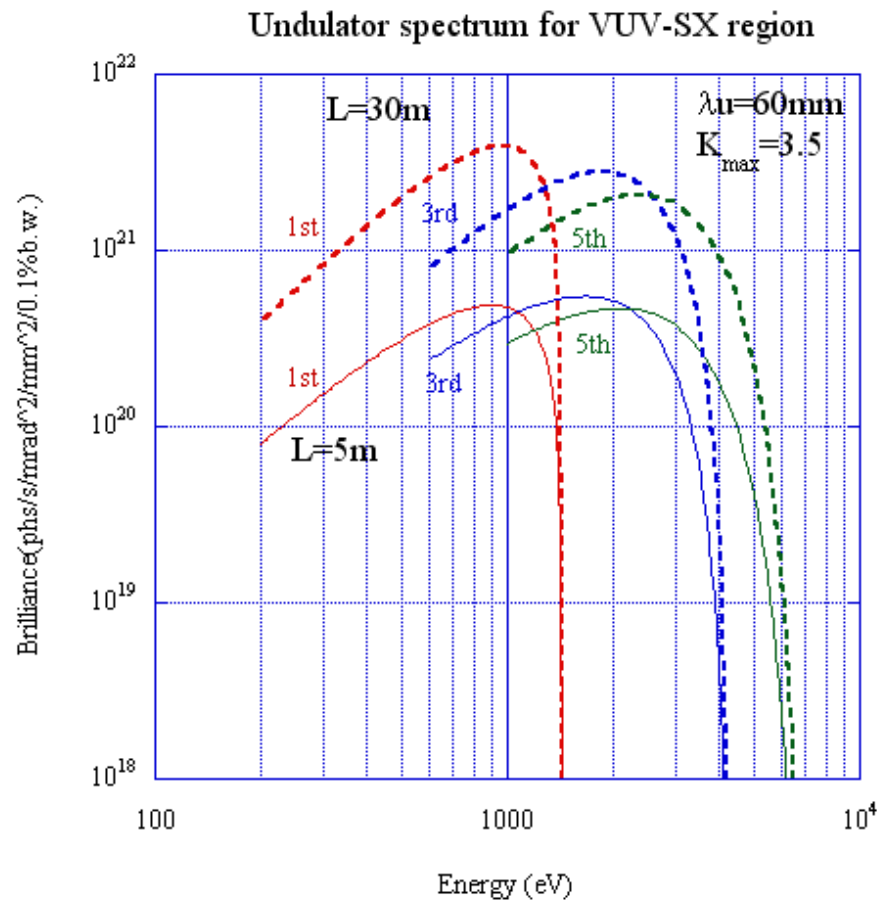
| | High coherence (HC) mode | High flux (HF) mode | Ultimate mode (future goal) | XFEL-O ¹⁾ |
|--|--------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------|
| Beam energy | 3 GeV | | | 7 (6) GeV |
| Beam current | 10 mA | 100 mA | 100 mA | 20 μ A |
| Charge/bunch | 7.7 pC | 77 pC | 77 pC | 20 pC |
| Bunch repetition rate | 1.3 GHz | 1.3 GHz | 1.3 GHz | 1 MHz |
| Normalized beam emittance (in x and y) | 0.1 mm·mrad | 1 mm·mrad | 0.1 mm·mrad | 0.1 mm·mrad |
| Beam energy spread (rms) | 2×10^{-4} | 2×10^{-4} | 2×10^{-4} | 2×10^{-4} |
| Bunch length (rms) | 2 ps | 2 ps | 2 ps | 2 ps |

1) Parameters are cited from: K.-J. Kim et al., Phys. Rev. Lett. **100**, 244802 (2008); R. Hajima, FEL08, MOPPH048.

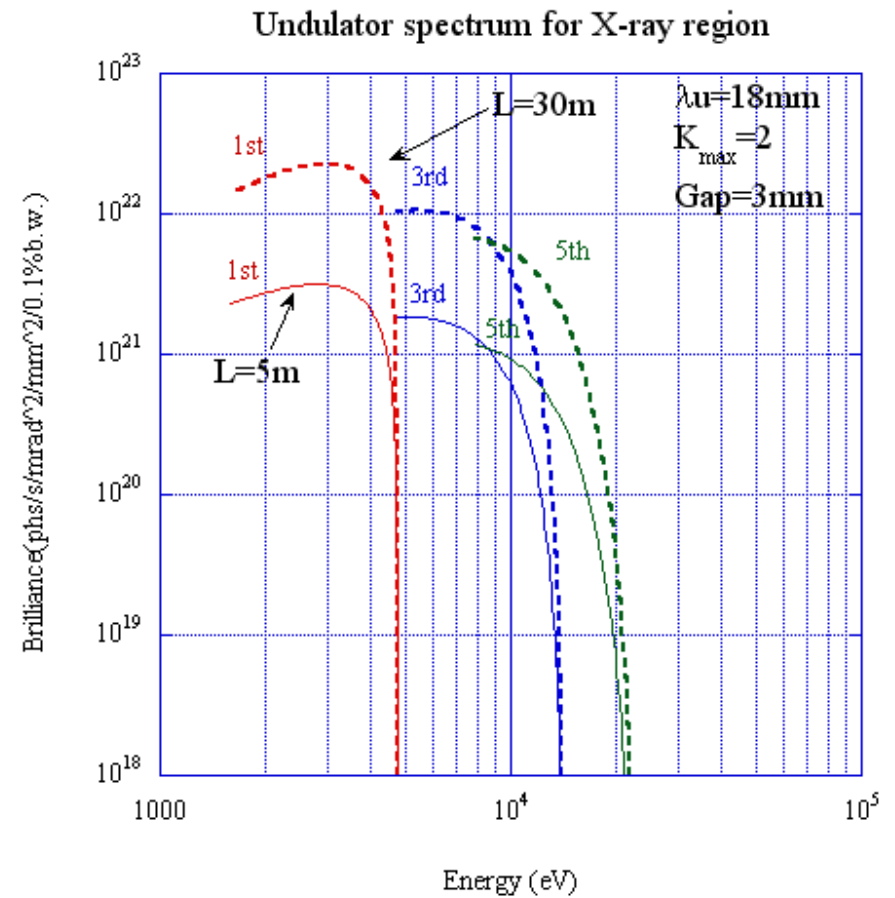
輝度計算例

Calculated by K. Tsuchiya

Ultimate mode (100mA, 0.1mm mrad)



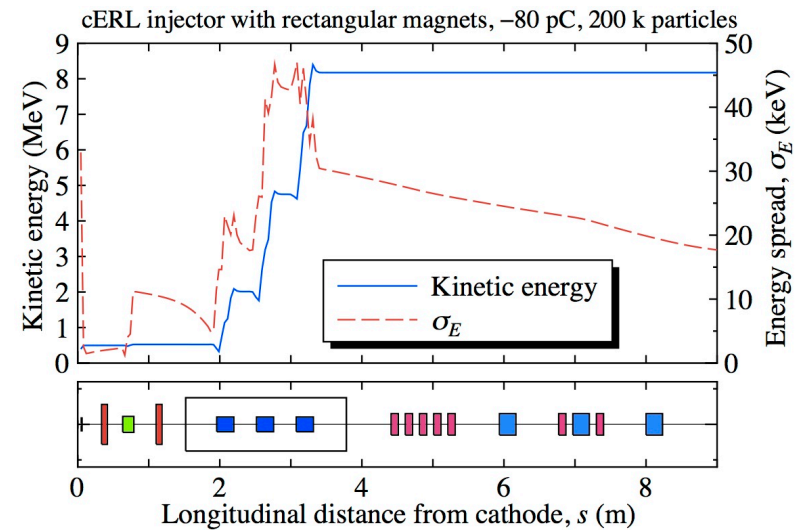
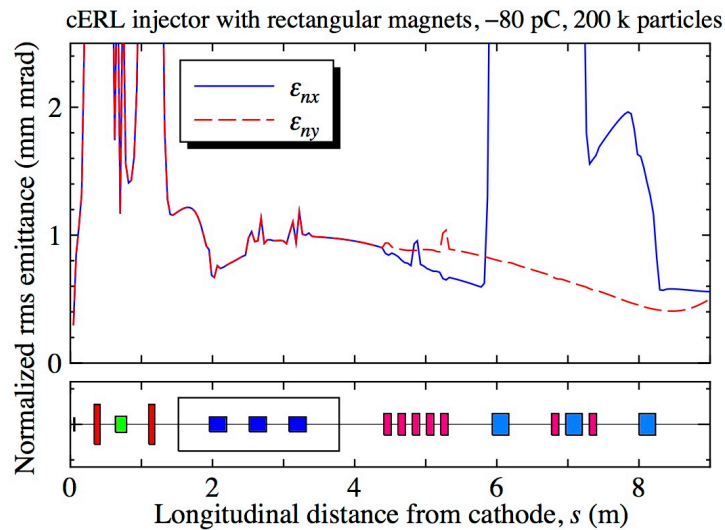
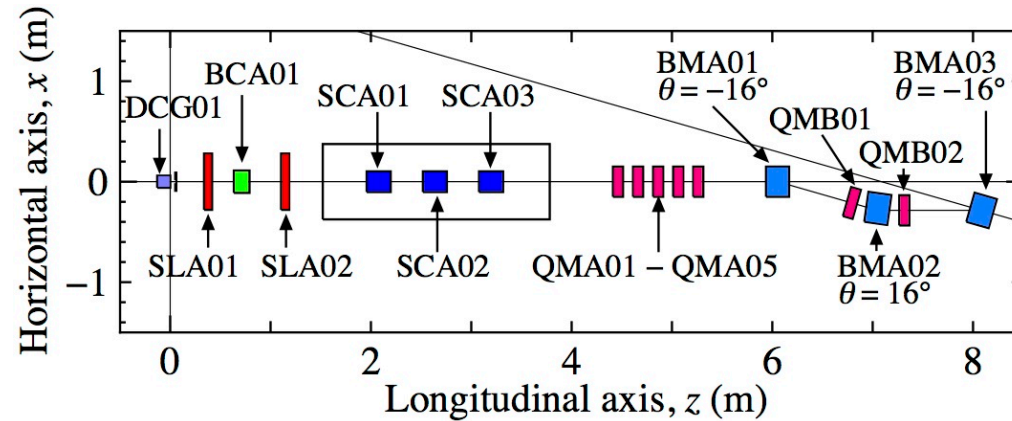
Undulator spectrum for VUV-SX source



Undulator spectrum for X-ray source

エミッタンス最適化の例

by T. Miyajima

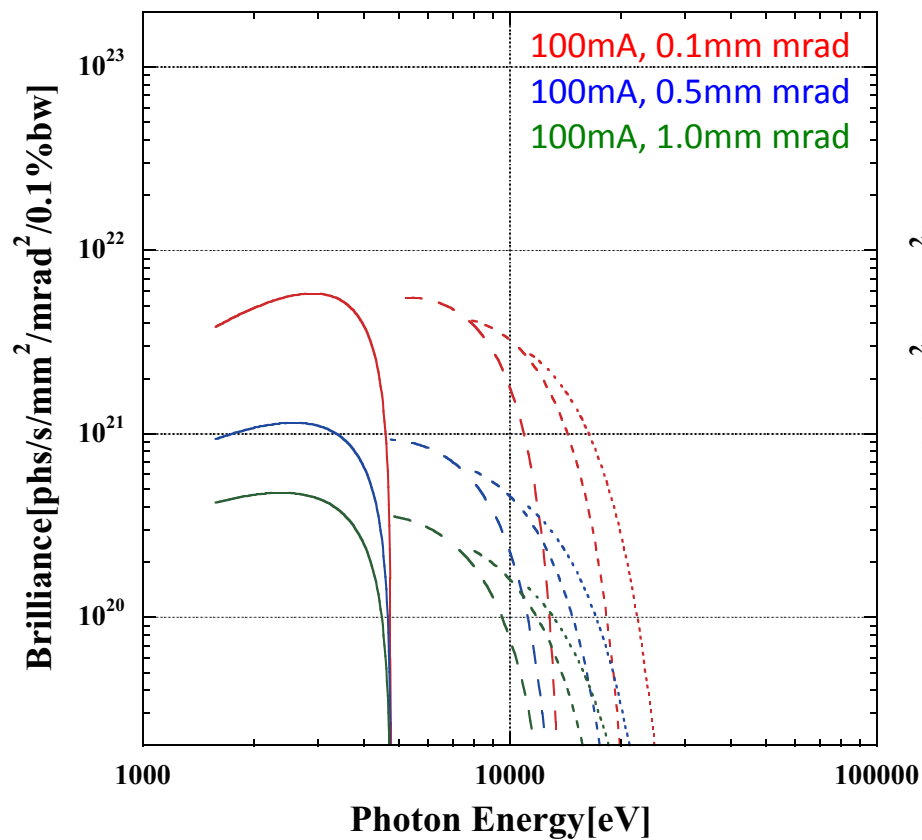


$E \approx 8.5$ MeV (total energy) で 0.6 mm mrad 以下 \rightarrow 0.5 mm mrad @ 10 MeV は達成可能か

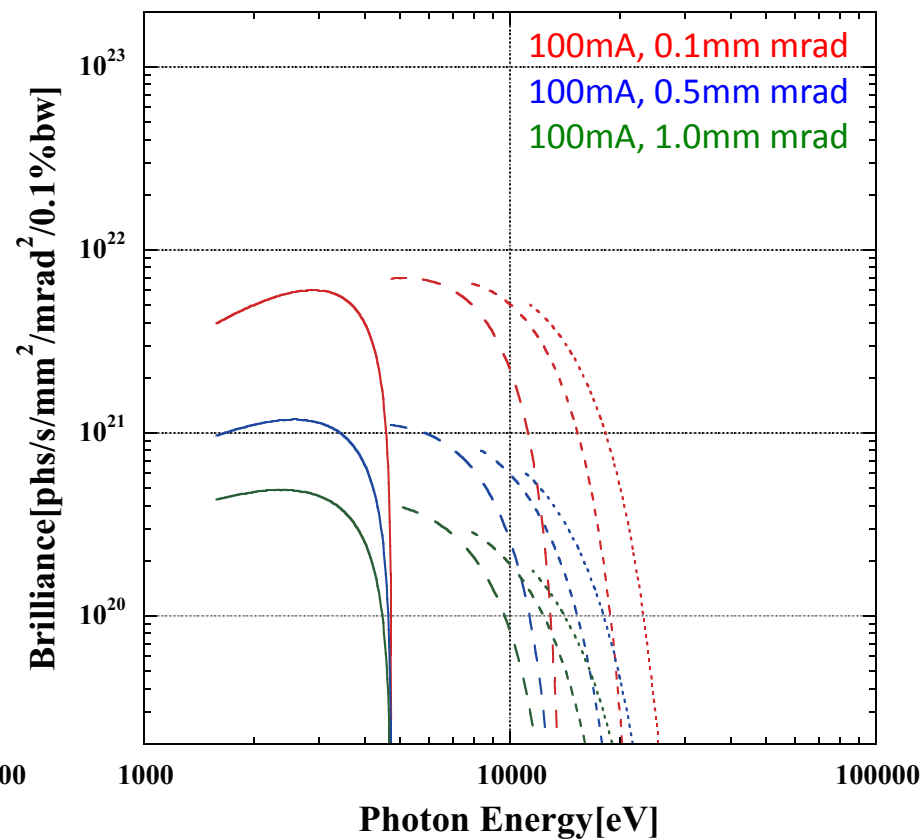
エミッタンス & エネルギー幅依存性 ($L_u=5\text{m}$, $\lambda_u=18\text{mm}$)

$\beta_x=\beta_y=5\text{m}$ と仮定した。

エネルギー幅: 0.002 (バンチ長 2ps)



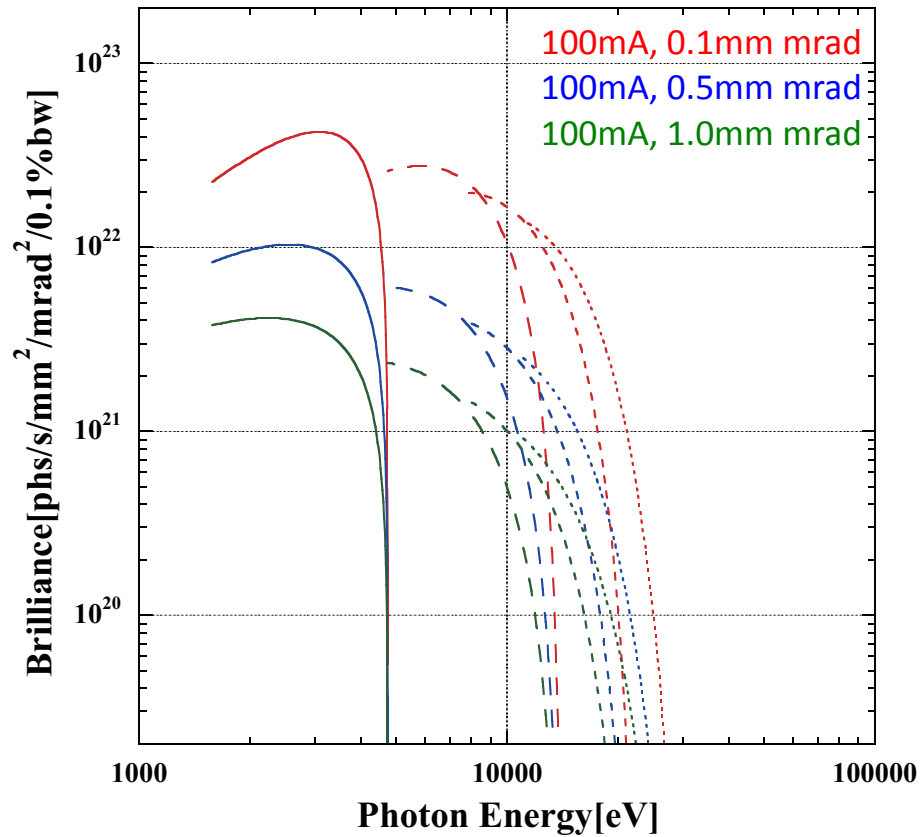
エネルギー幅: 0.0005 (バンチ長 1ps)



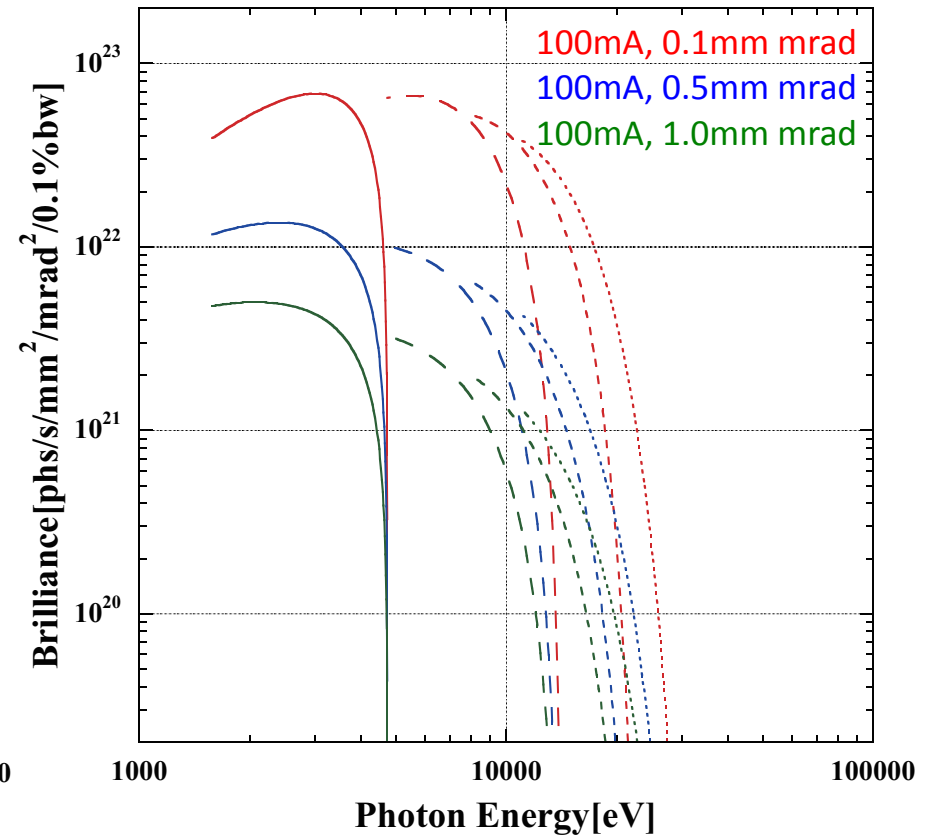
Calculated by Spectra 8.1

エミッタンス & エネルギー幅依存性 ($L_u=30\text{m}$, $\lambda_u=18\text{mm}$)

エネルギー幅: 0.002 (バンチ長 2ps)

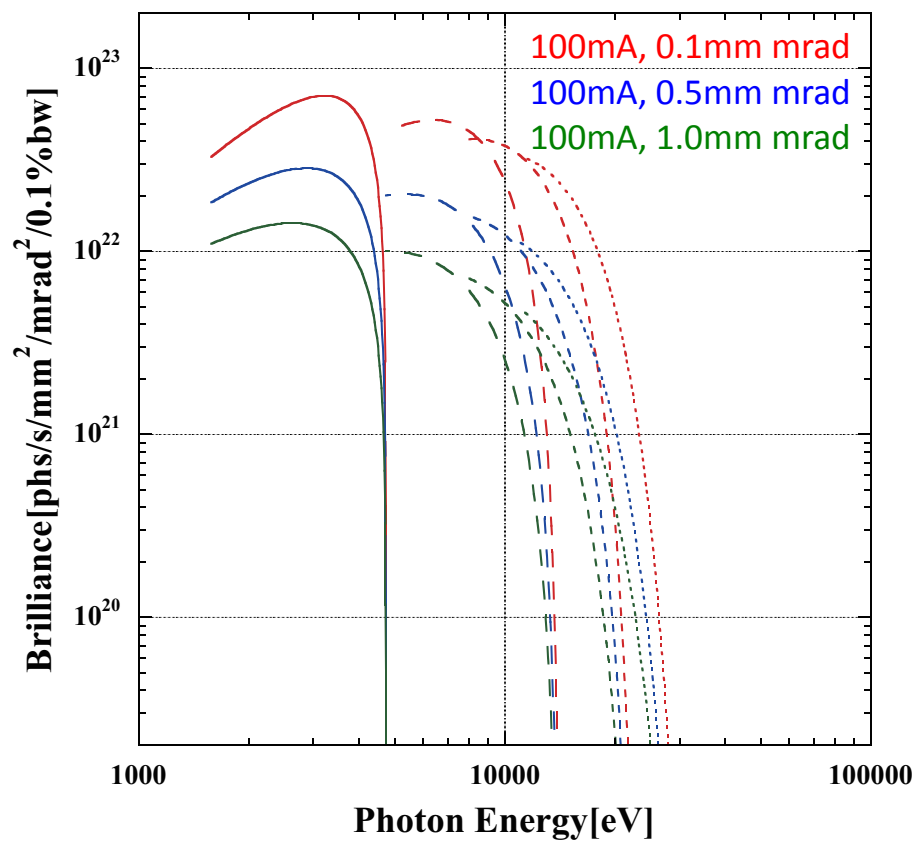


エネルギー幅: 0.0005 (バンチ長 1ps)

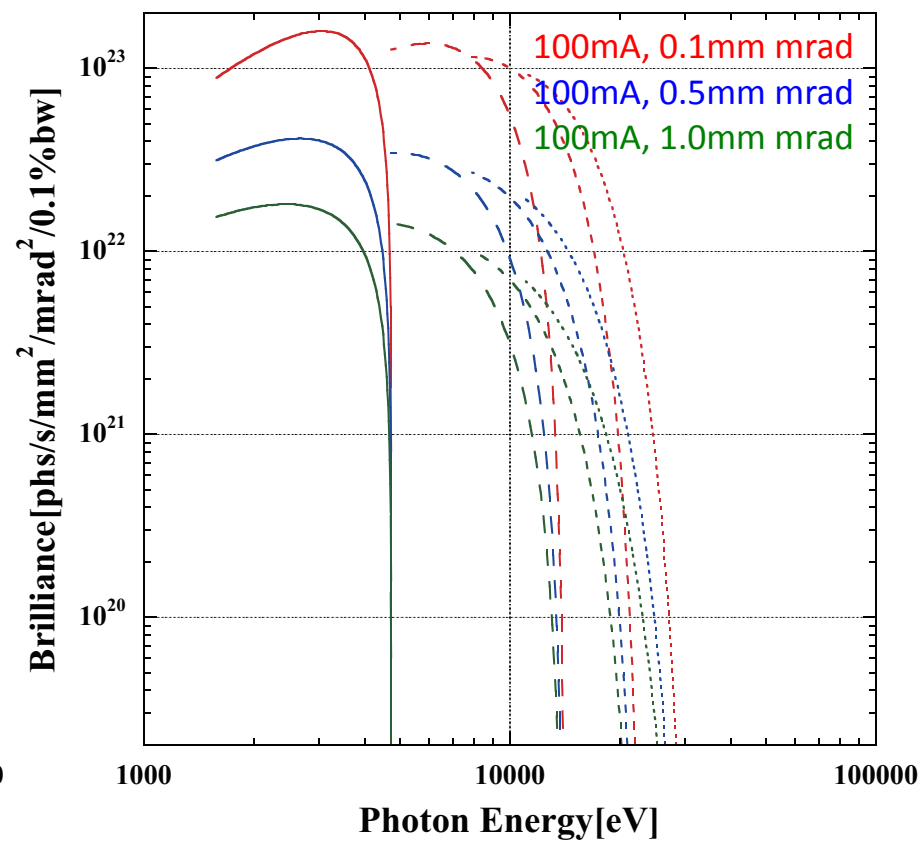


エミッタンス & エネルギー幅依存性 ($L_u=200\text{m}$, $\lambda_u=18\text{mm}$)

エネルギー幅: 0.002 (バンチ長 2ps)

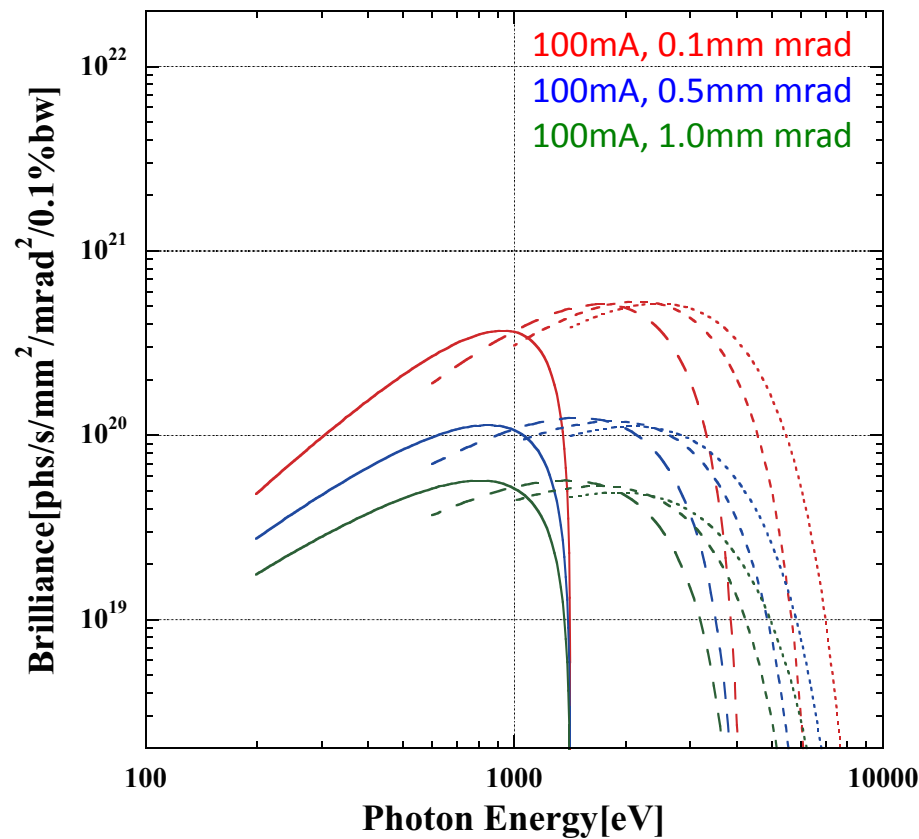


エネルギー幅: 0.0005 (バンチ長 1ps)

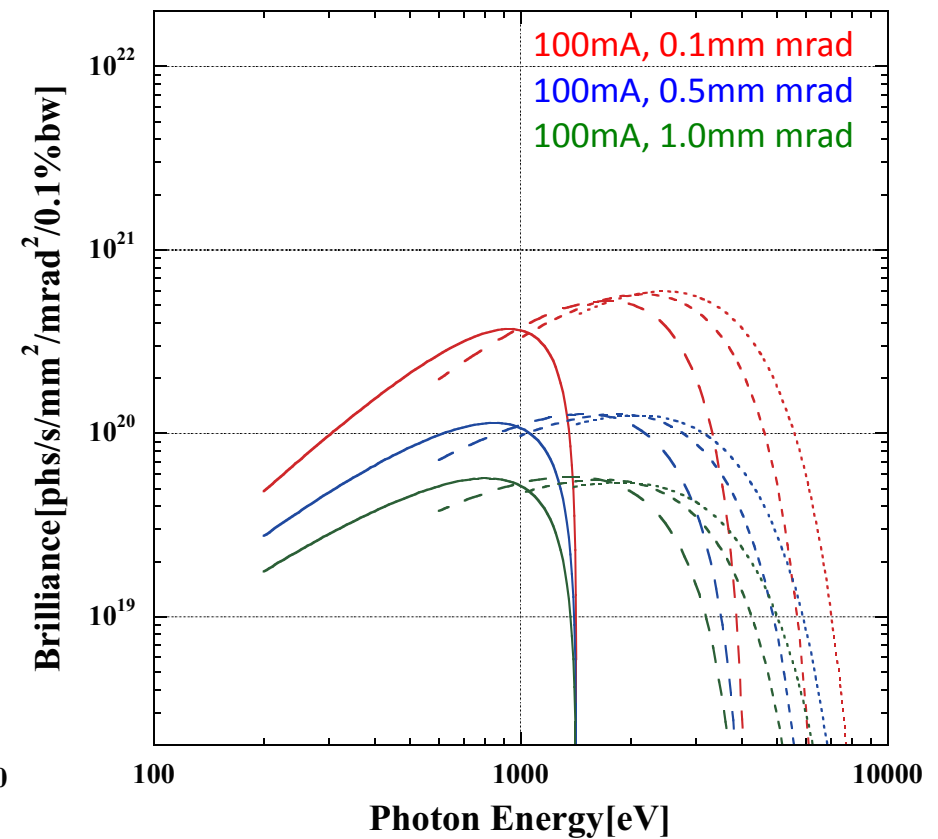


エミッタンス & エネルギー幅依存性 ($L_u=5\text{m}$, $\lambda_u=60\text{mm}$)

エネルギー幅: 0.002 (バンチ長 2ps)

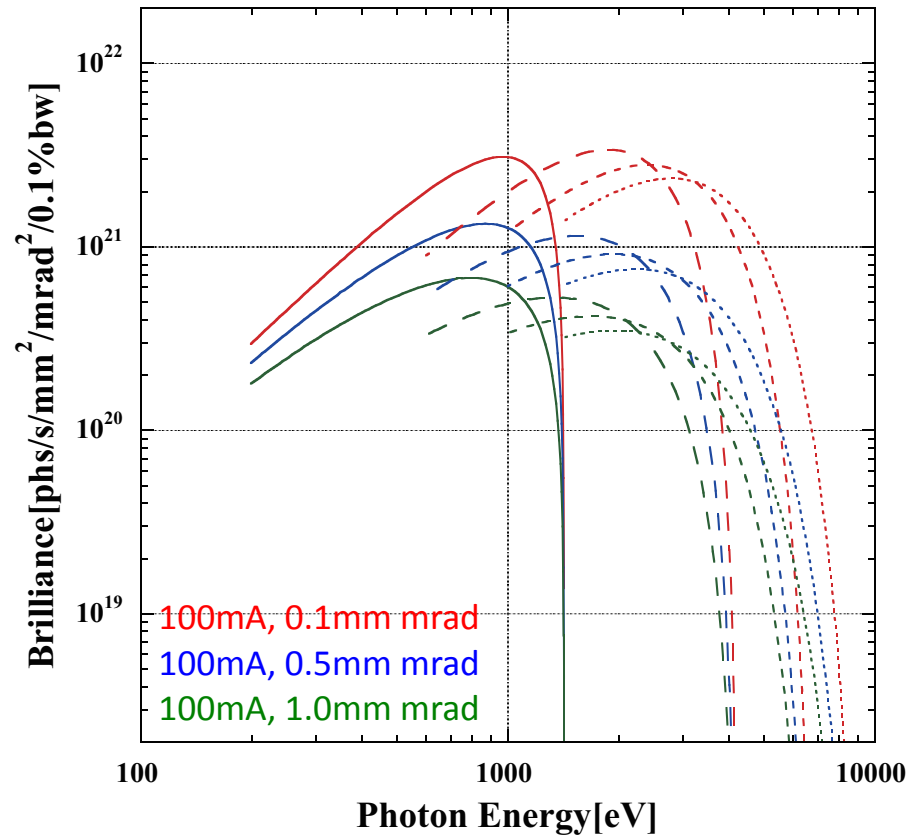


エネルギー幅: 0.0005 (バンチ長 1ps)

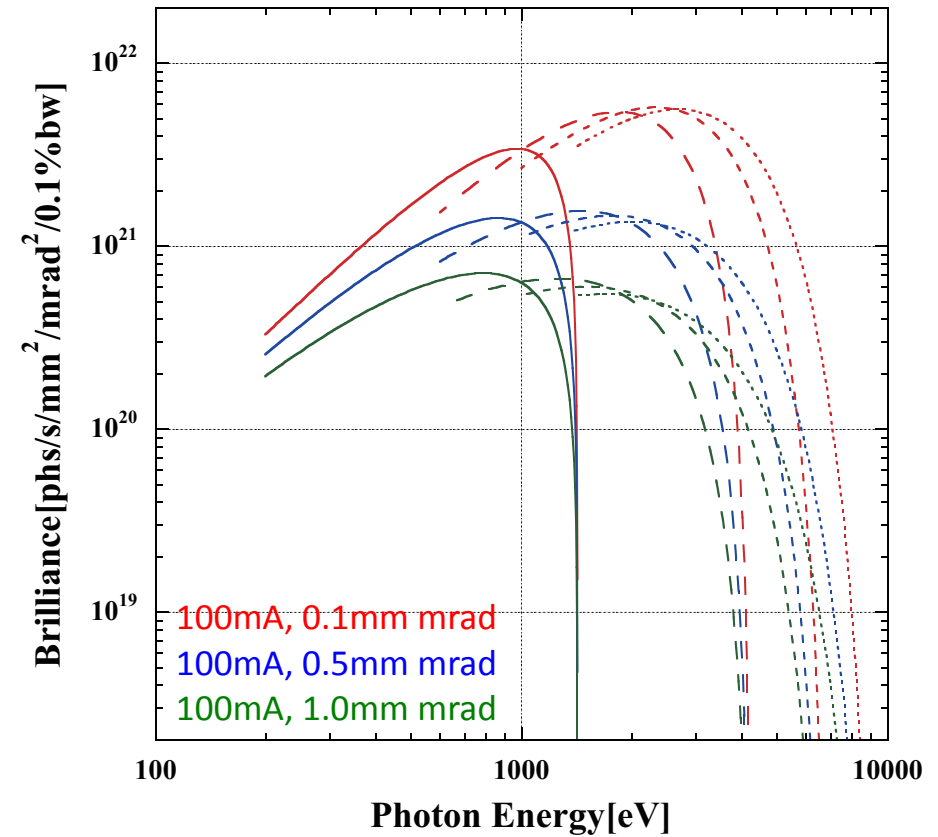


エミッタンス & エネルギー幅依存性 ($L_u=30\text{m}$, $\lambda_u=60\text{mm}$)

エネルギー幅: 0.002 (バンチ長 2ps)

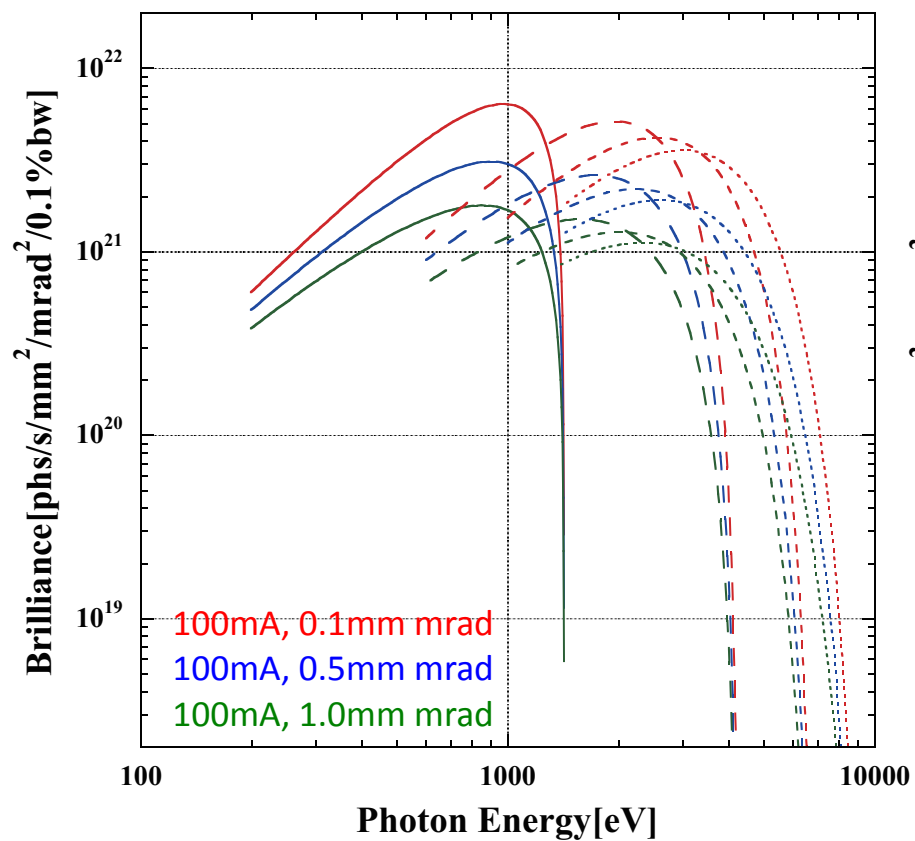


エネルギー幅: 0.0005 (バンチ長 1ps)

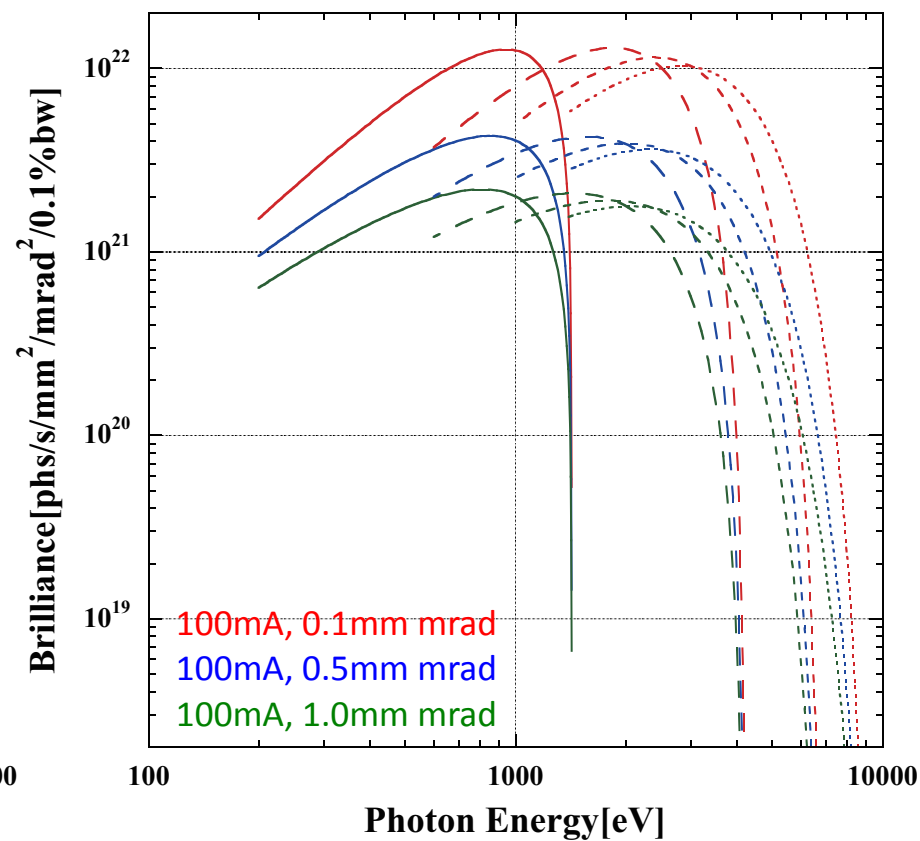


エミッタンス & エネルギー幅依存性 ($L_u=200\text{m}$, $\lambda_u=60\text{mm}$)

エネルギー幅: 0.002 (バンチ長 2ps)

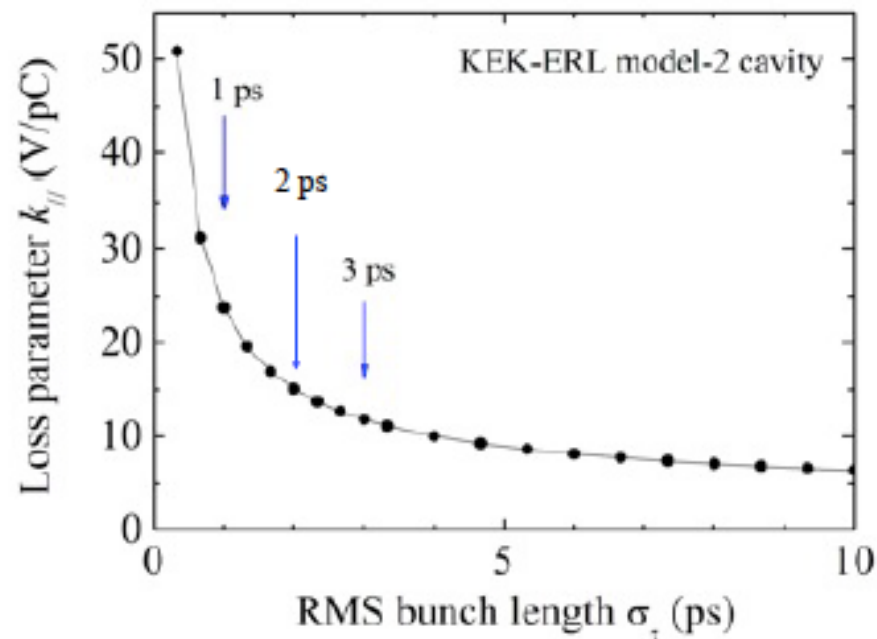


エネルギー幅: 0.0005 (バンチ長 1ps)



主ライナックでのバンチ長

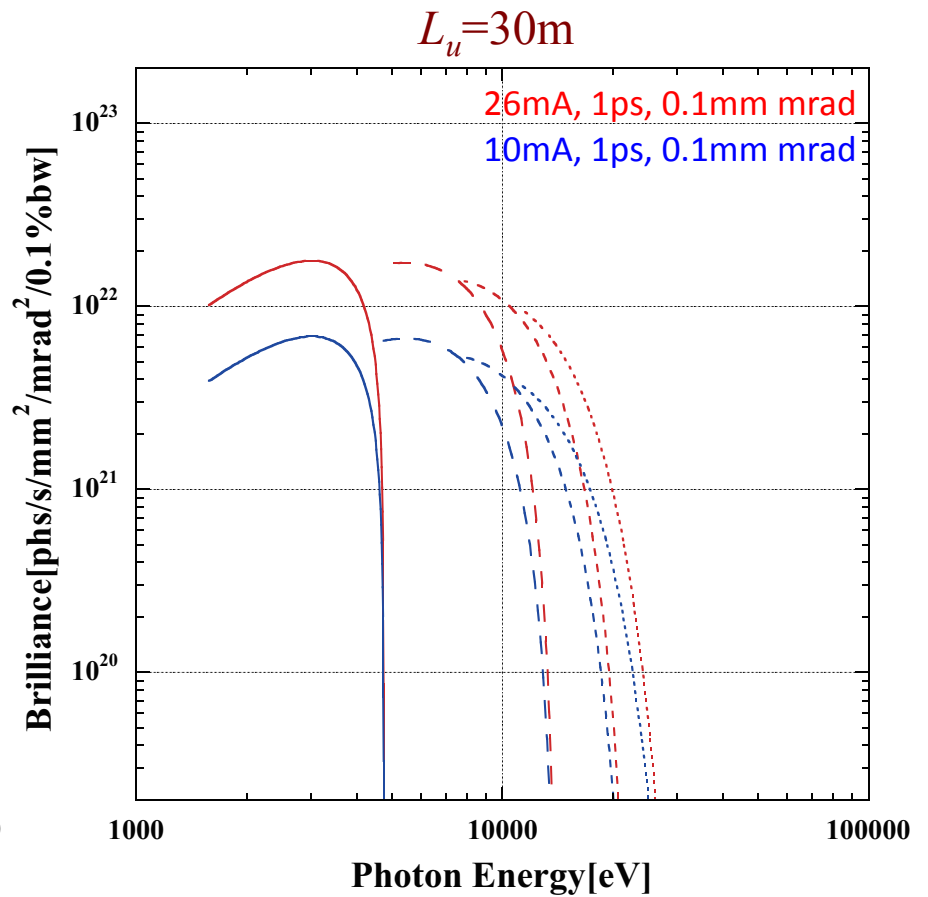
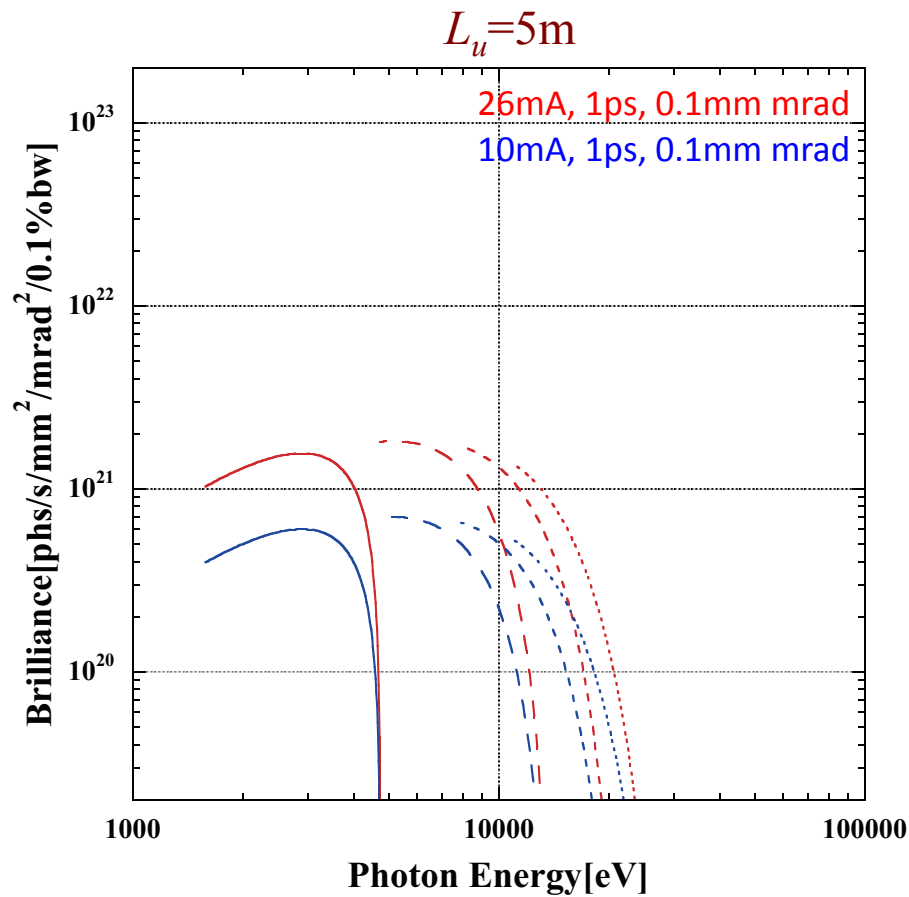
エネルギー幅を下げることで輝度を上げられる(特に長尺アンジュレータの場合)。
ただし、主ライナックでのHOMロスで電流に上限がある。



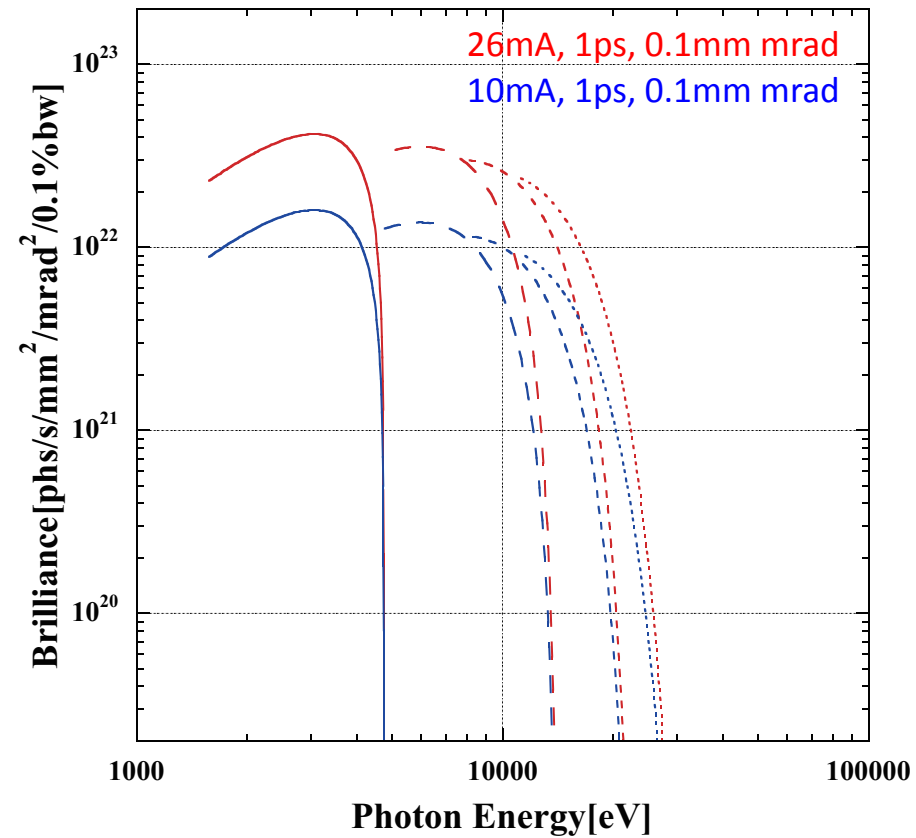
cERL CDR p.48.

2ps, 100mA(77pC, 1.3GHz)が可能な場合 → 1ps, 26mA(20pC, 1.3GHz) は可能。
ただし、1psで0.1mm mradは難しいので、空洞内でバンチ長を2psから1psにする？

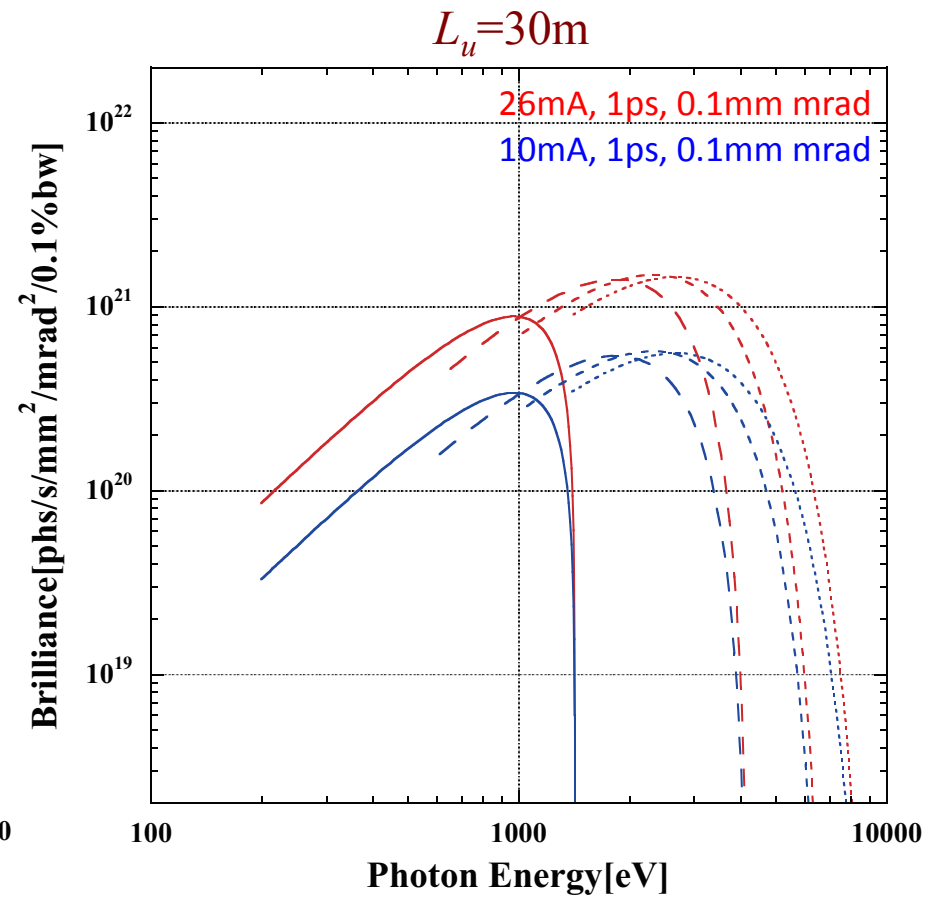
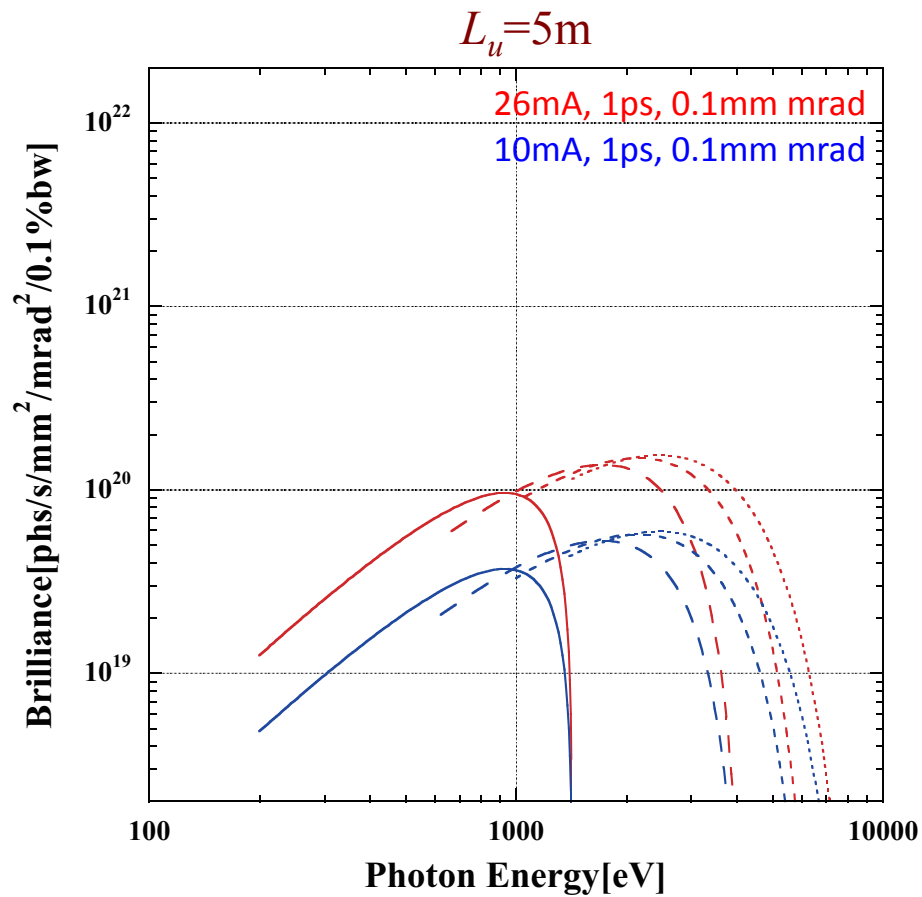
High-coherence&XFEL-like mode@1ps ($L_u=5/30\text{m}$, $\lambda_u=18\text{mm}$)



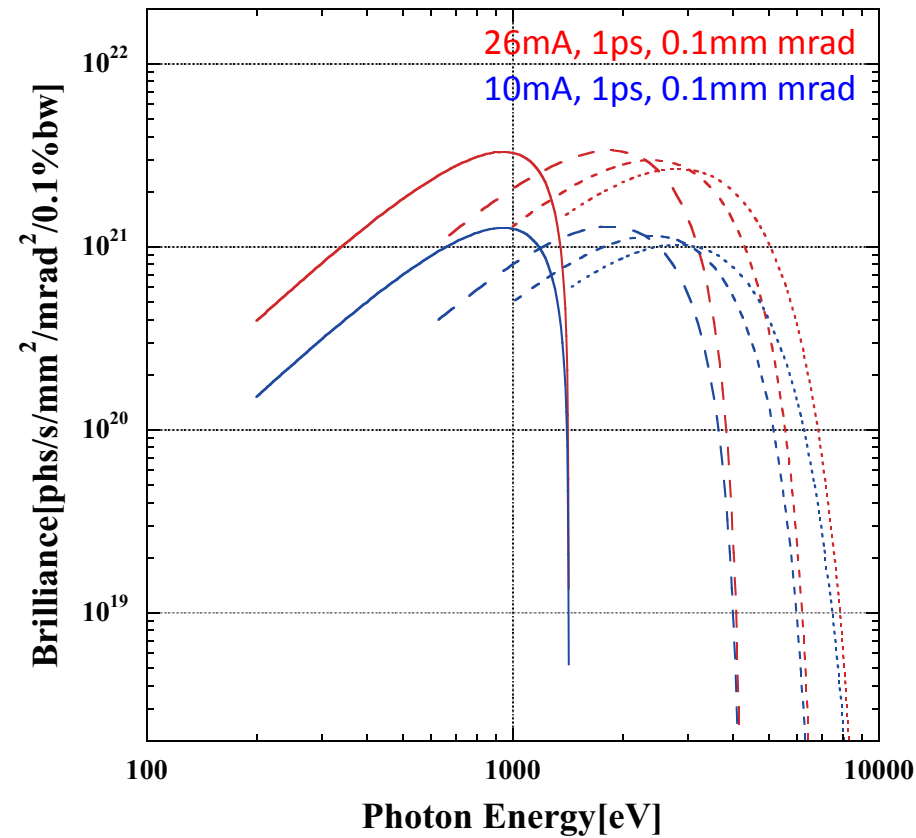
High-coherence&XFEL-like mode@1ps ($L_u=200\text{m}$, $\lambda_u=18\text{mm}$)



High-coherence&XFEL-like mode@1ps ($L_u=5/30\text{m}$, $\lambda_u=60\text{mm}$)

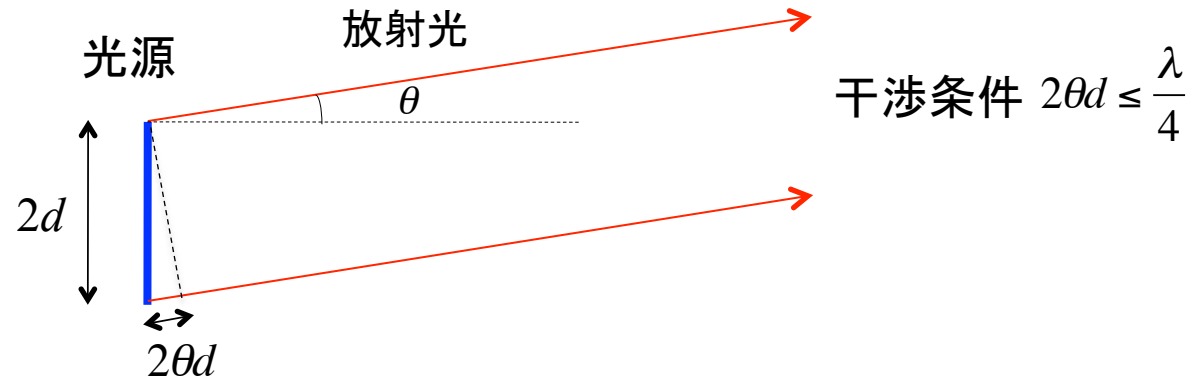


High-coherence&XFEL-like mode@1ps ($L_u=200\text{m}$, $\lambda_u=60\text{mm}$)



空間コヒーレンス

空間コヒーレンス (spatial coherence)



アンジュレータ光のコヒーレント成分

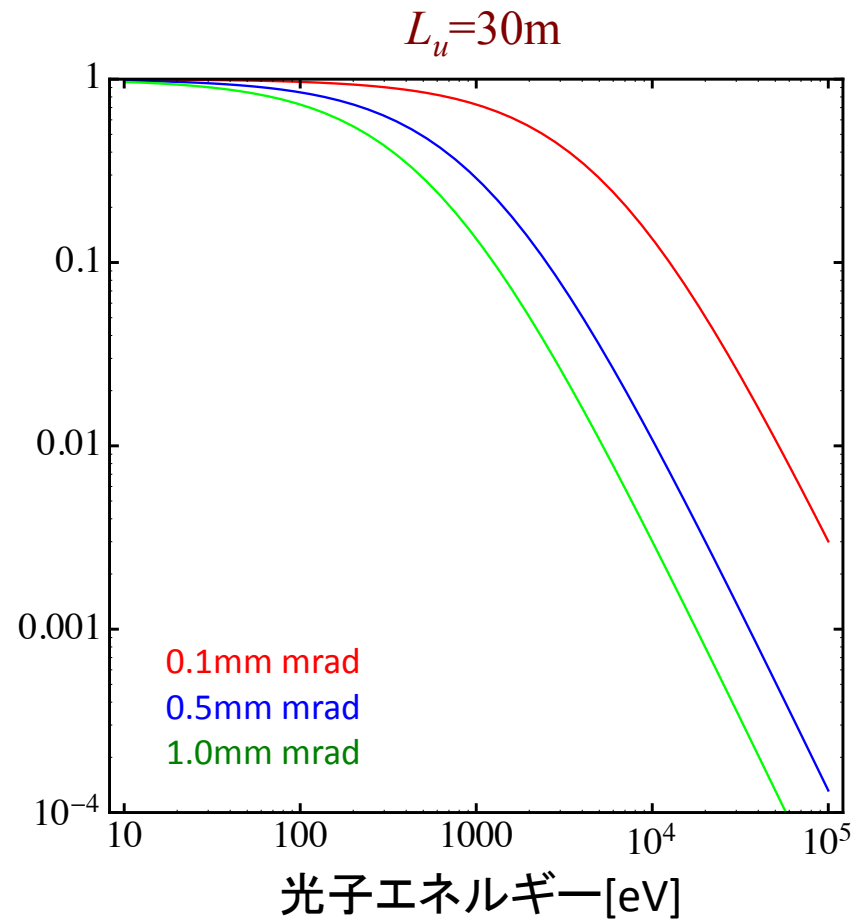
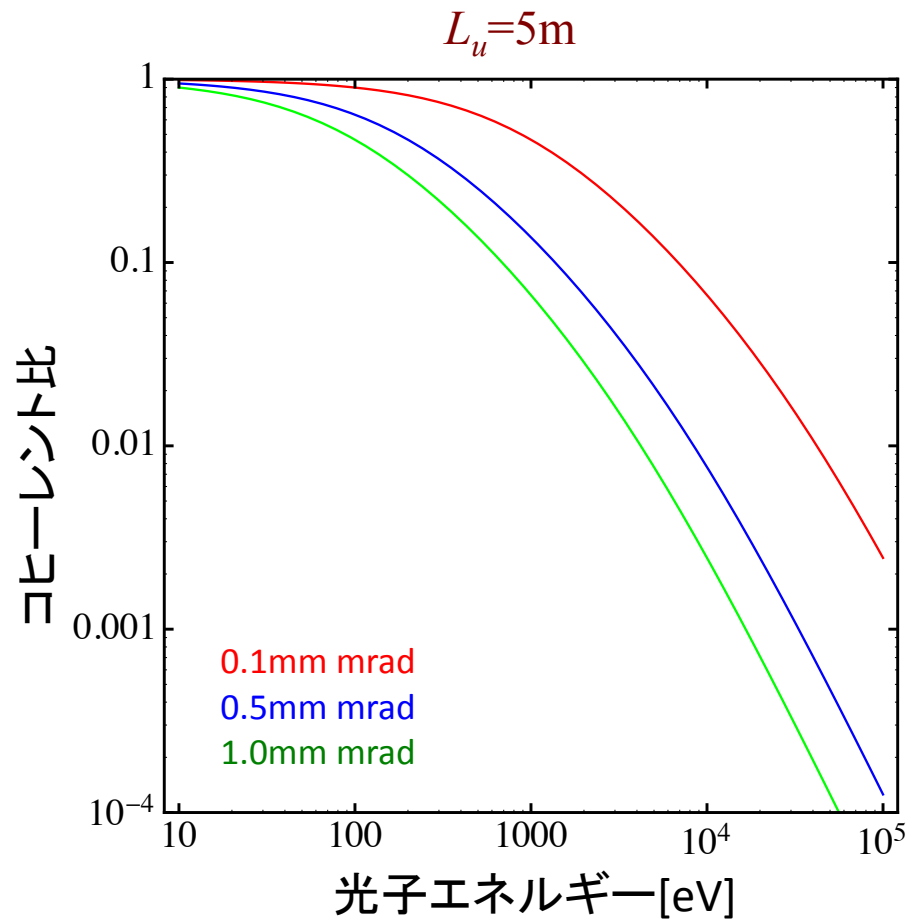
$$F_c = \left(\frac{d^2 N}{dt(d\varepsilon/\varepsilon)} \right)_{coherent} \approx (2\theta_x)(2d_x)(2\theta_y)(2d_y)B_r = \left(\frac{\lambda}{2} \right)^2 B_r \quad \rightarrow \text{輝度に比例}$$

コヒーレント比 (coherent fraction)

$$P_c = \frac{\left(\frac{d^2 N}{dt(d\varepsilon/\varepsilon)} \right)_{coherent}}{\left(\frac{d^2 N}{dt(d\varepsilon/\varepsilon)} \right)_{total}} \approx \frac{\left(\frac{\lambda}{2} \right)^2 B_r}{4\pi^2 \sum_x' \sum_y' \sum_x \sum_y B_r} = \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \sum_x' \sum_y' \sum_x \sum_y}$$

→ エミッタンスが小さいと1に近づく。

コヒーレント比



まとめ

- 今回のパラメータ範囲では、光源の輝度はエミッタンス及びアンジュレータ長（周期数）に常に強く依存している。
- アンジュレータ長が長い（周期数が多い）場合、エネルギー幅を下げることで輝度の向上になる（高次光から先に増加が始まる）。
- 他施設（蓄積リング）との比較、エネルギー高低での得失を理解しておく必要はある。
- 入射器あるいは主ライナックの後で、エミッタンス、エネルギー幅、バンチ長を操作できる方法はあるか。