

PFシンポジウム

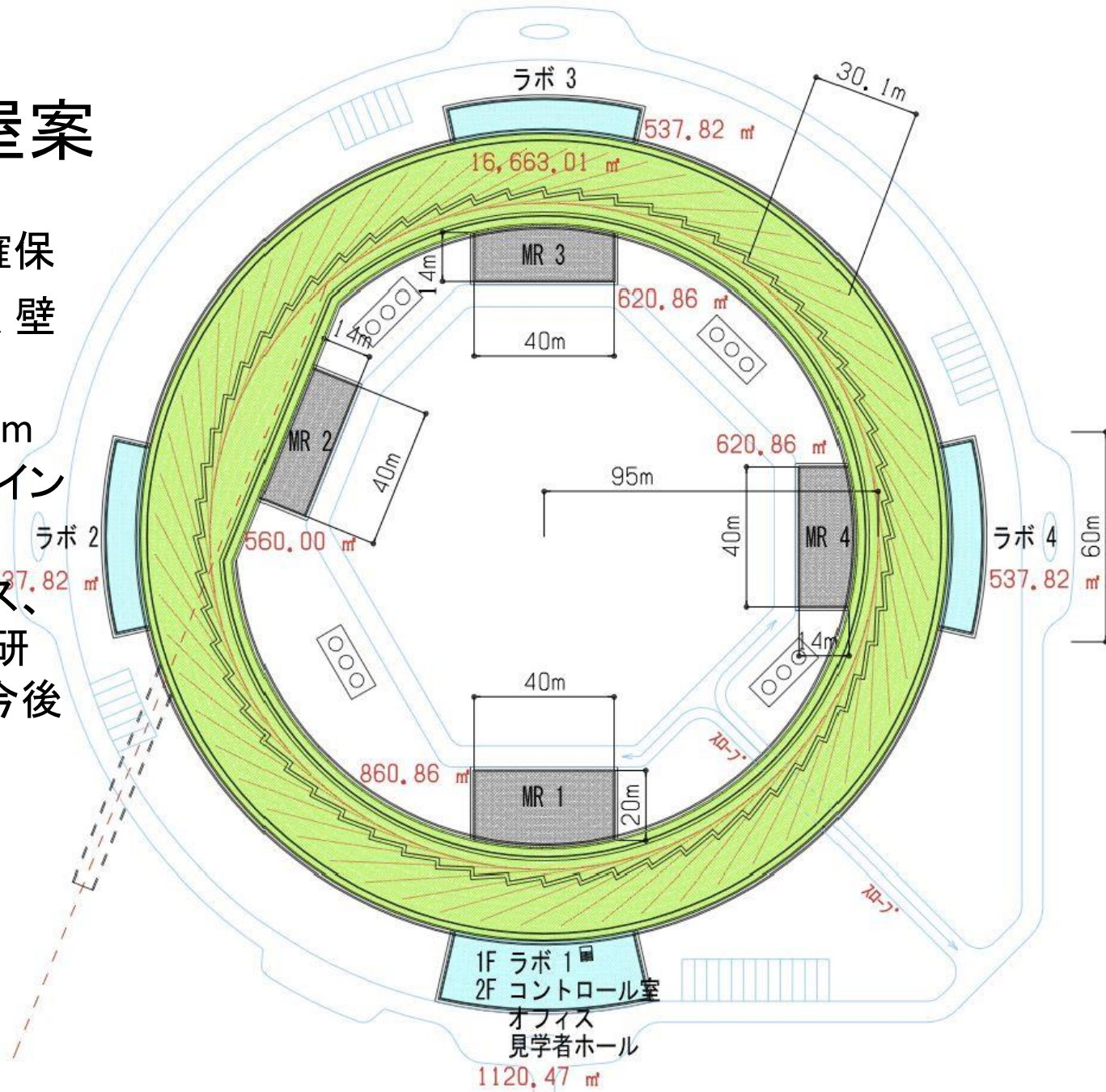
2016年3月16日

次期高輝度光源の検討 ～ビームライン～

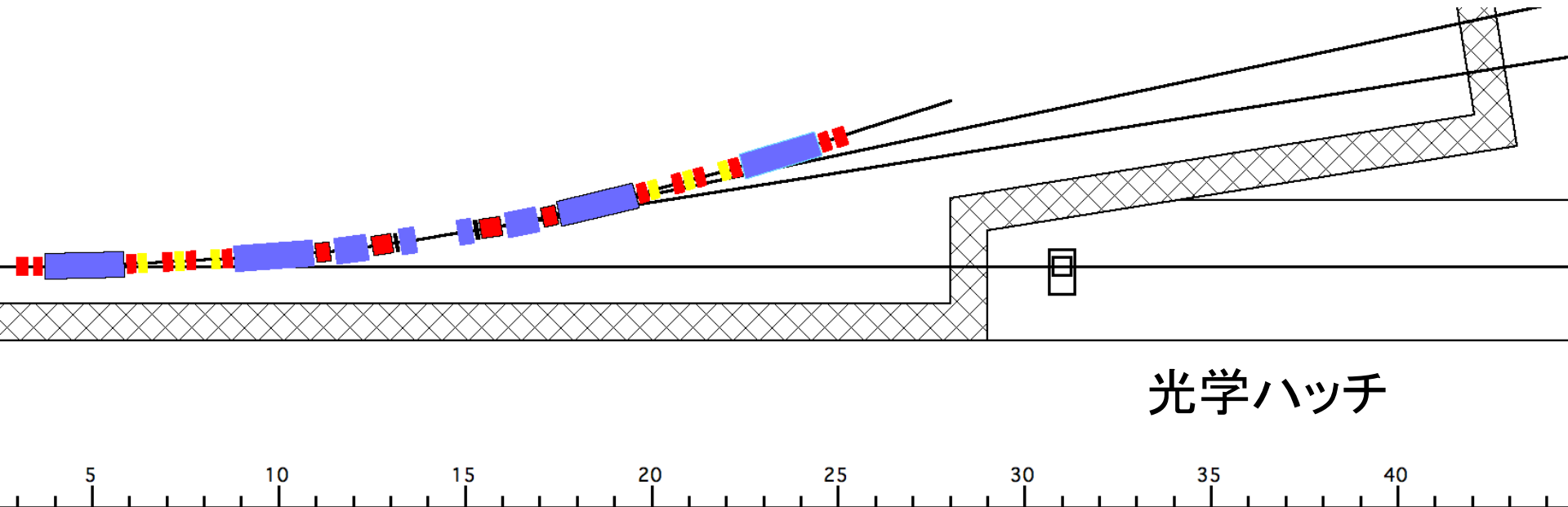
放射光科学第一研究系 五十嵐教之

現在の建屋案

- リング内保守通路確保
- ビームライン長さを、壁外で30m程度確保
- ホール外周通路を2m程度確保(ビームラインとは分離)
- 装置準備用スペース、中尺ビームライン、研究施設については今後の検討



ビームライン配置図



光学ハッチ

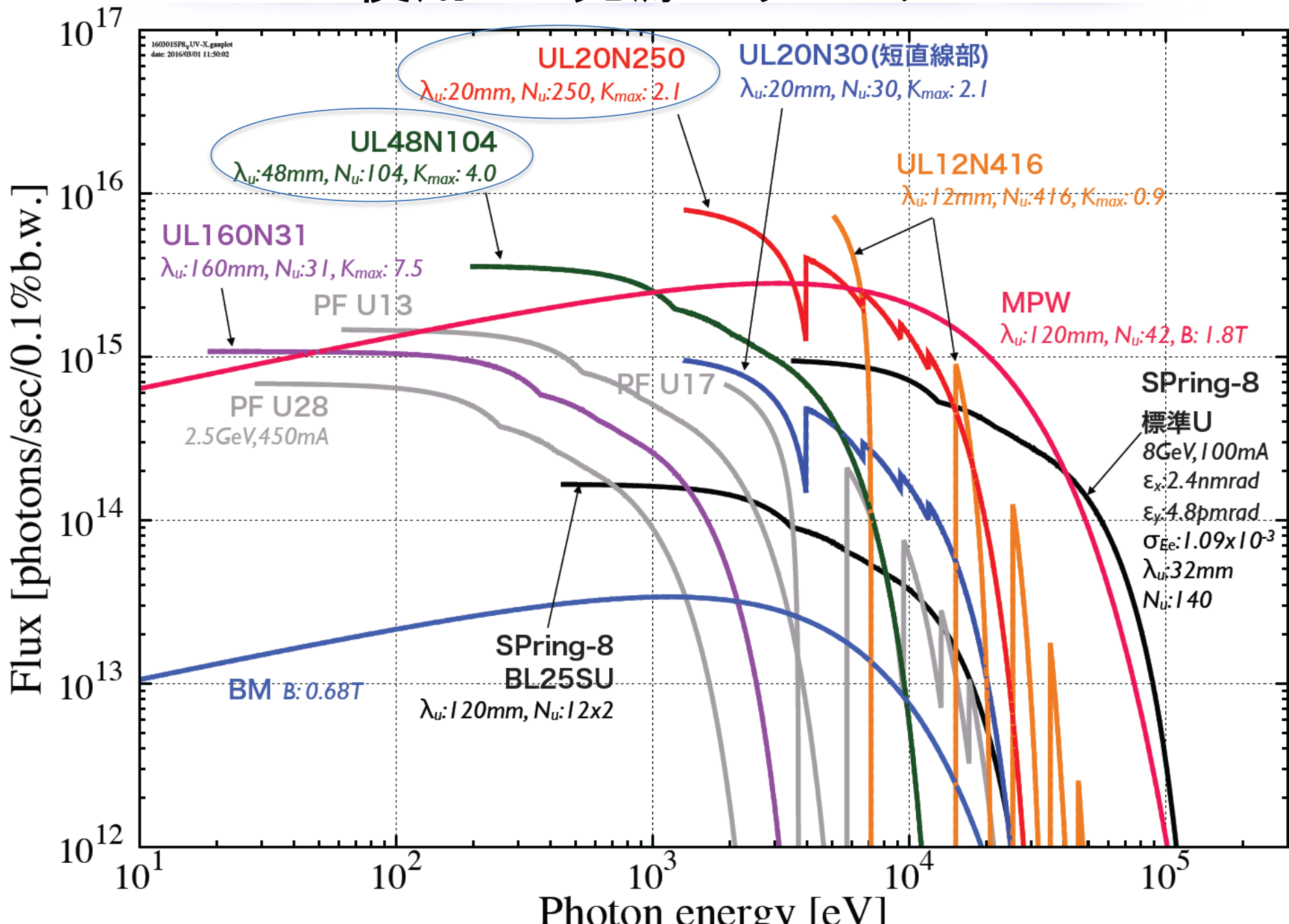
光源からの距離

- 1セルから5mアンジュレータ、1mアンジュレータ、偏向電磁石を光源とする3本のビームライン取り出し
- 基幹部は全て遮蔽壁内に設置することを想定
- 遮蔽壁の外壁は、今のところ29m地点を想定、上図では例として31m地点に分光器を設置している

使用した光源パラメータ

| (v03_68) | KEK-LS 20セル IBSあり | | |
|---------------------------------|-------------------|---------|------|
| | 偏向部 | 短直線部 | 長直線部 |
| E_e [GeV] | | 3 | |
| I[mA] | | 500 | |
| σ_{E_e}/E_e | | 7.9E-04 | |
| σ_h [μm] | 12 | 21 | 44 |
| σ'_h [μrad] | 29 | 22 | 8.1 |
| σ_v [μm] | 13 | 3.3 | 4.4 |
| σ'_v [μrad] | 0.8 | 2.5 | 1.9 |

使用した光源パラメータ



試料位置でのビーム性能の見積もり

* 長尺アンジュレータ(5m)、壁外29m以降にBLコンポーネント設置
(今後他の光源についても検討予定)

- VUV-SXビームライン光学系

1keV領域での斜入射回折格子分光ビームライン

- エネルギー分解能の見積もり

(標準:50meV, 高分解能:10meV@1keV)

- 簡易集光のビームラインの例

- ナノビーム(50nm)生成の検討

- FZPを使った強集光ビーム生成の検討

- X線ビームライン光学系

10keV領域での全反射光学系ビームライン

- コヒーレンス利用ビームラインの例

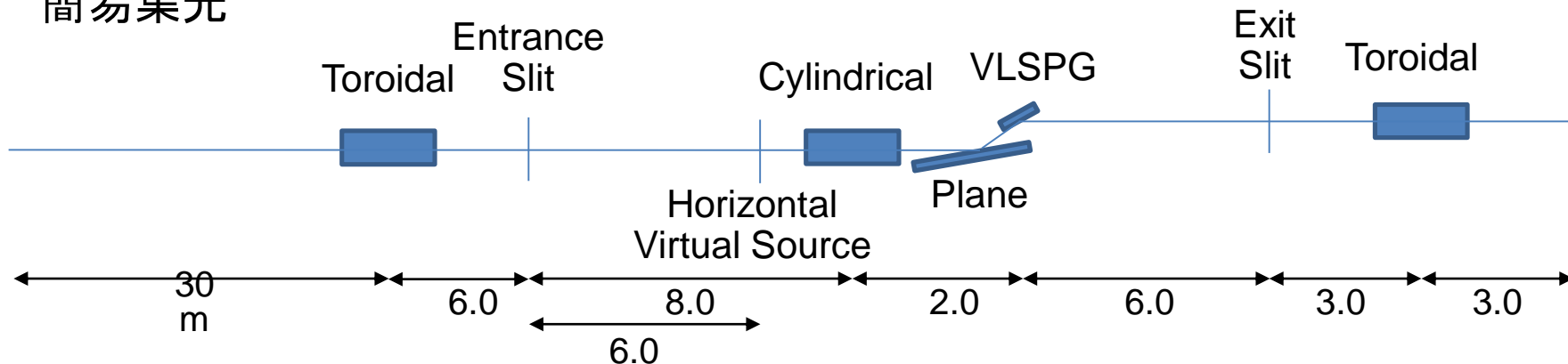
- ナノビーム(50nm)生成の検討

- 強集光ビーム生成の検討

- 高分解能モノクロを使った高エネルギー分解能性能

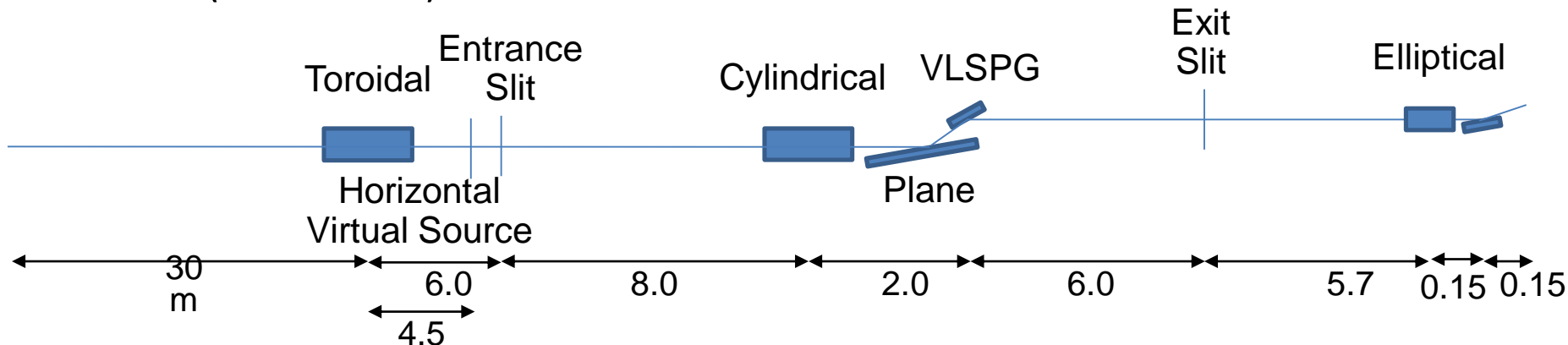
軟X線ビームラインのレイアウト例

簡易集光



- 前置集光系の縮小率(垂直方向) 5:1
- 水平方向は入射スリットの6 m下流に一旦集光(水平方向の仮想光源)

K-B集光 (50 nm目標)

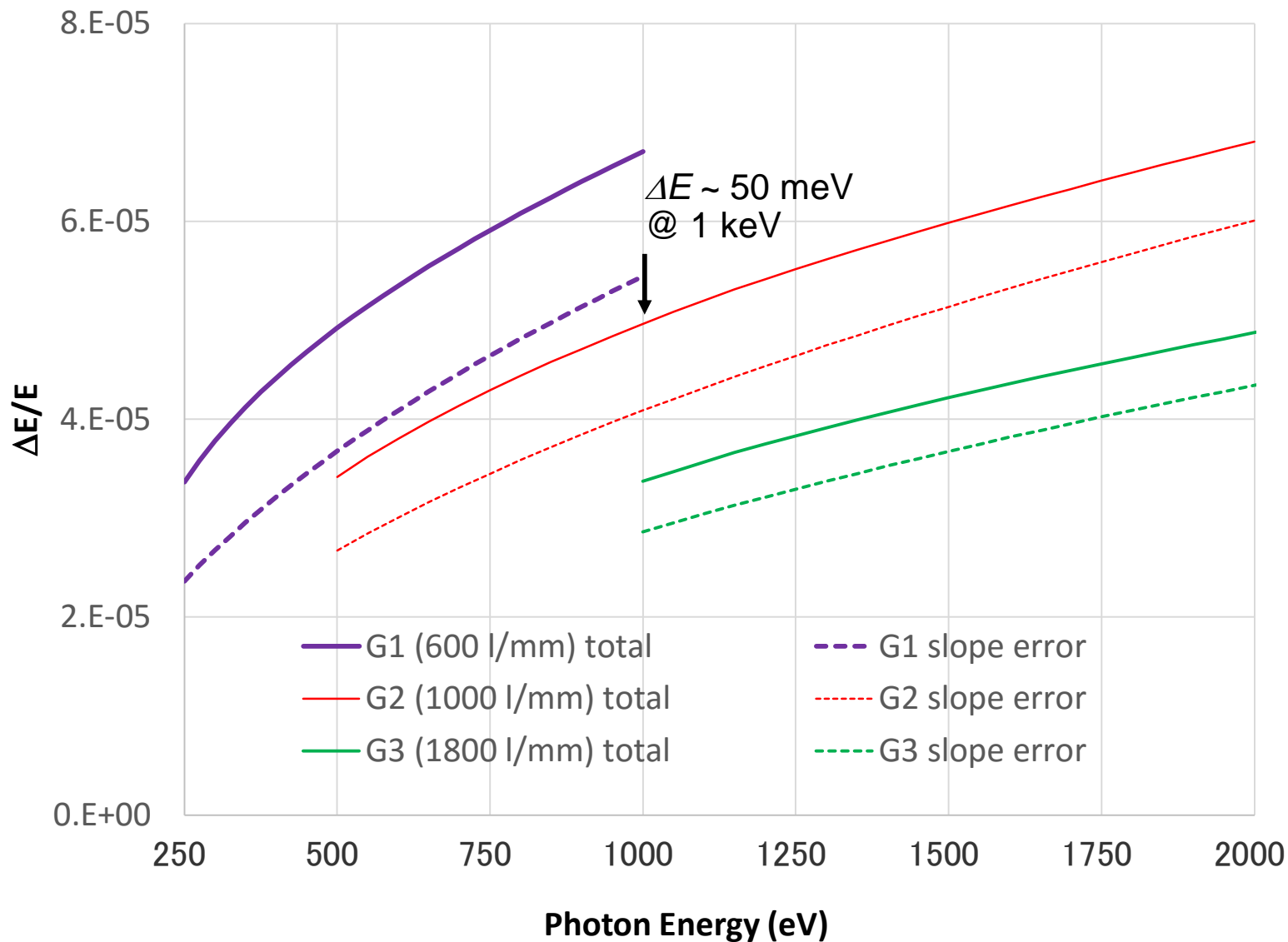


- 後置集光系は楕円ミラー2枚(K-B)
- 水平方向は入射スリットの1.5 m上流に一旦集光(水平方向の仮想光源)

軟X線ビームラインのエネルギー分解能(1)

標準分光器: 比較的容易に入手可能なスペックの回折格子を使用

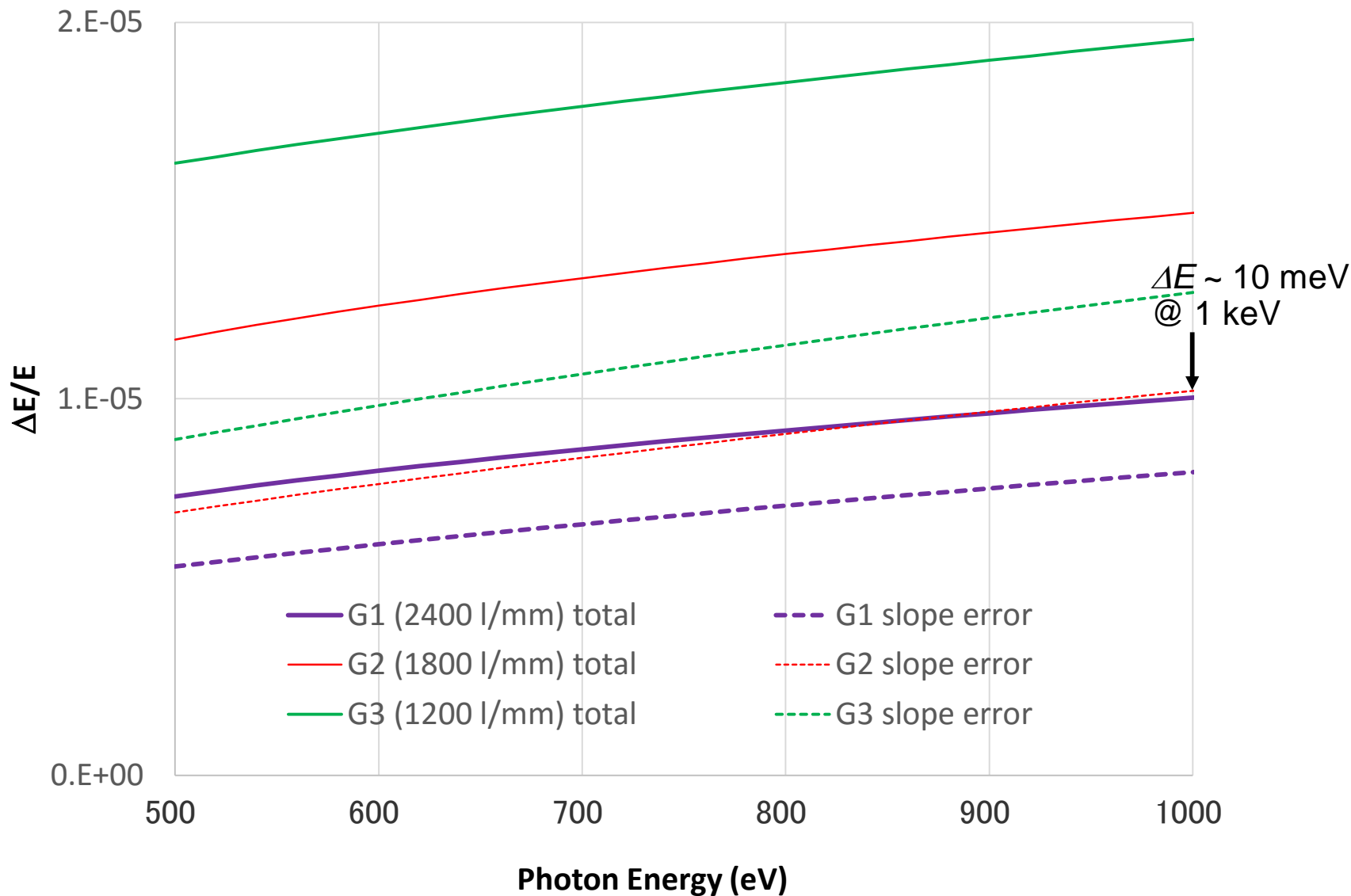
Slope error = 0.25 μ rad



軟X線ビームラインのエネルギー分解能(2)

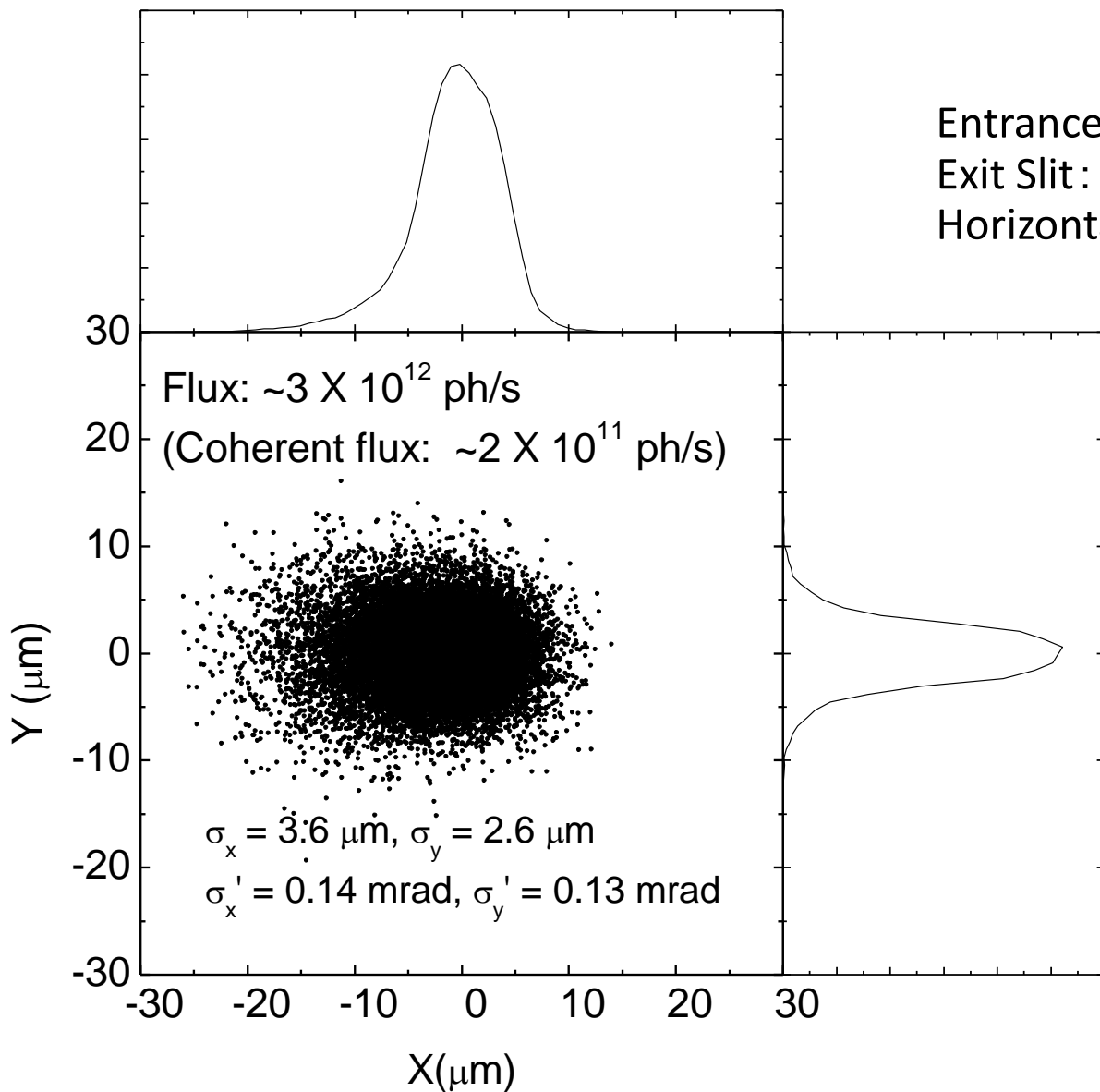
高分解能分光器: 挑戦的なスペックの回折効率を想定(特にslope error)

Slope error = 0.1 μ rad



軟X線ビームラインの集光特性(1): 簡易集光

1000 l/mm, 1 keV, $\Delta E \sim 50$ meV



Entrance Slit: $5 \mu\text{m}$

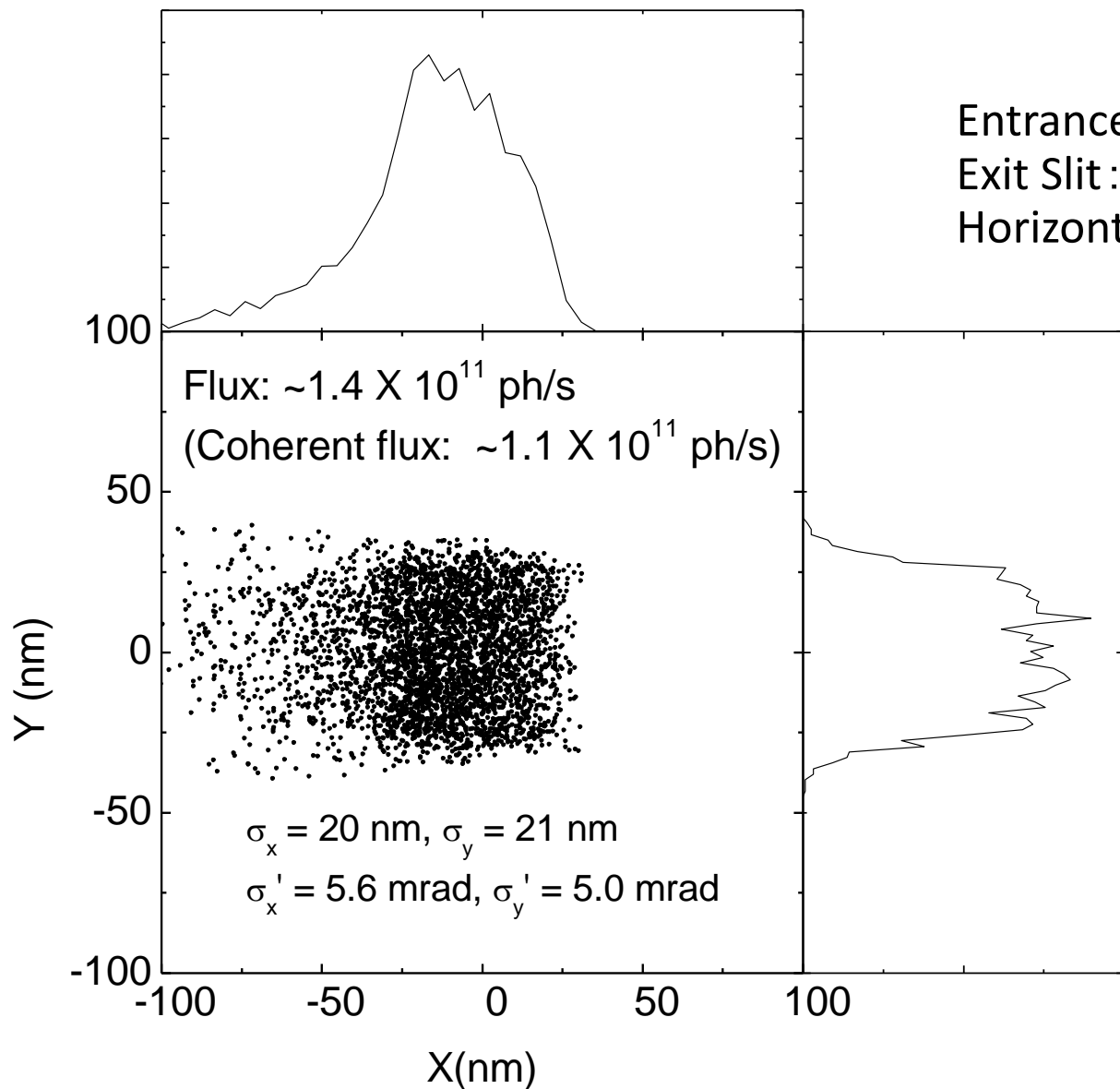
Exit Slit: $6 \mu\text{m}$

Horizontal Virtual Source: $40 \mu\text{m}$

Fluxの見積りでは
反射率, 回折効率も考慮

軟X線ビームラインの集光特性(2): K-B集光

1000 l/mm, 1 keV, $\Delta E \sim 45$ meV

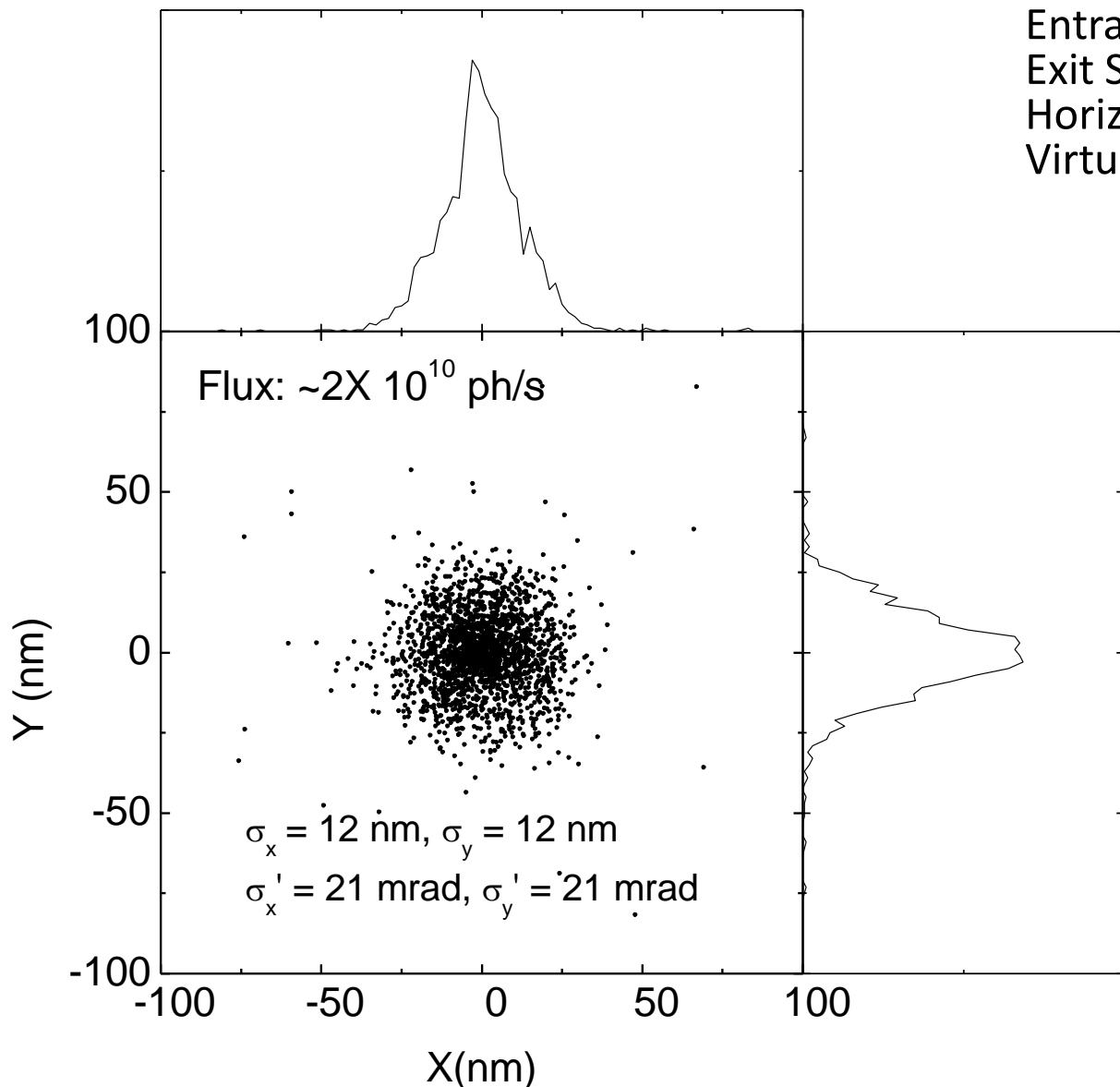


Entrance Slit: 5 μm
Exit Slit: 2.3 μm
Horizontal Virtual Source: 4 μm

Fluxの見積りでは
反射率, 回折効率も考慮

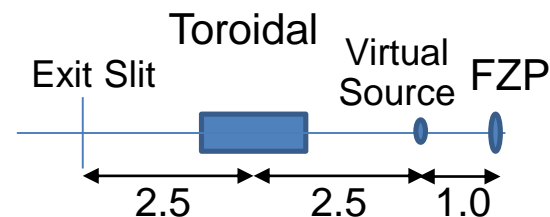
軟X線ビームラインの集光特性(3): FZPによる集光

1000 l/mm, 1 keV, $\Delta E \sim 50$ meV



Entrance Slit: $5 \mu\text{m}$
Exit Slit: $6 \mu\text{m}$
Horizontal Virtual Source: $40 \mu\text{m}$
Virtual Source: $10 \mu\text{m}$

簡易集光光学系の
出射スリット以降を変更



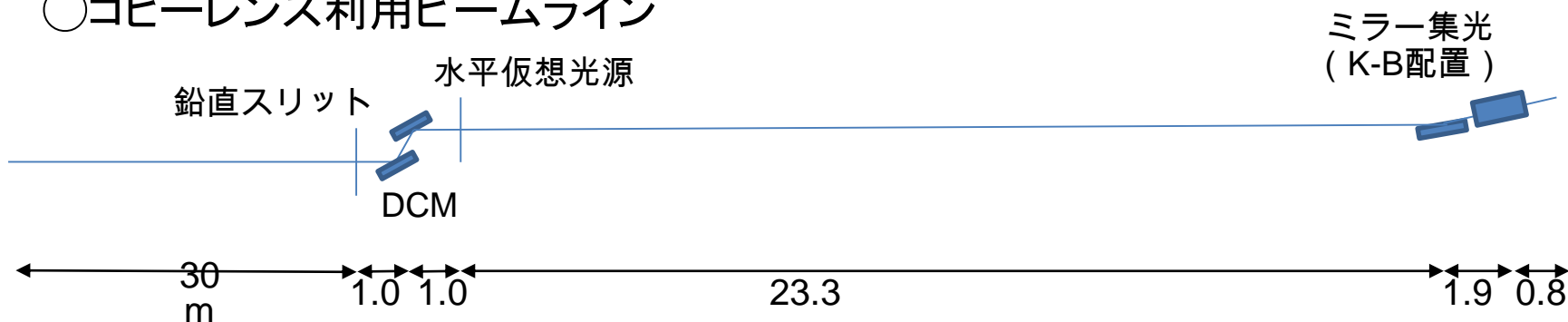
FZP:
最外殻幅20 nm, 直径 $100 \mu\text{m}$

Fluxの見積りでは
反射率, 回折効率も考慮
FZPの効率は10%を仮定

FZPの製作技術の進歩により,
スポットサイズのさらなる向上
が期待される

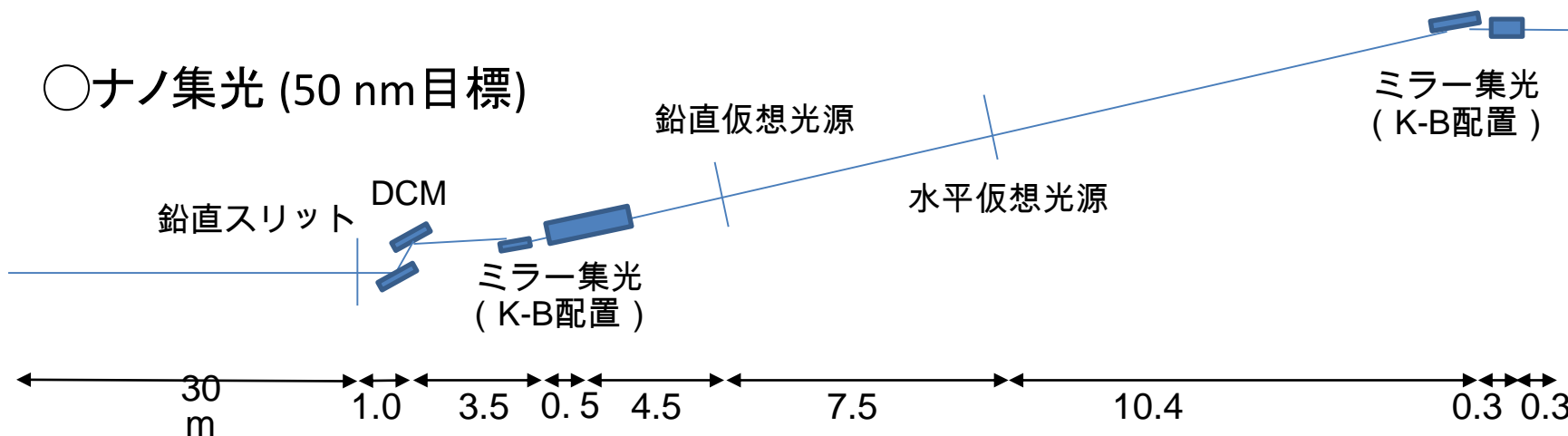
X線ビームラインのレイアウト検討(リング壁@29m、集光点@58m)

○コヒーレンス利用ビームライン



- 鉛直はDCM前にアパーチャスリット(180 μ m)、水平は32mに仮想光源(18 μ m)
- 集光系は楕円ミラー2枚(K-B配置)、0.1mrad程度のビーム発散
- 100%に近いコヒーレントフラクション

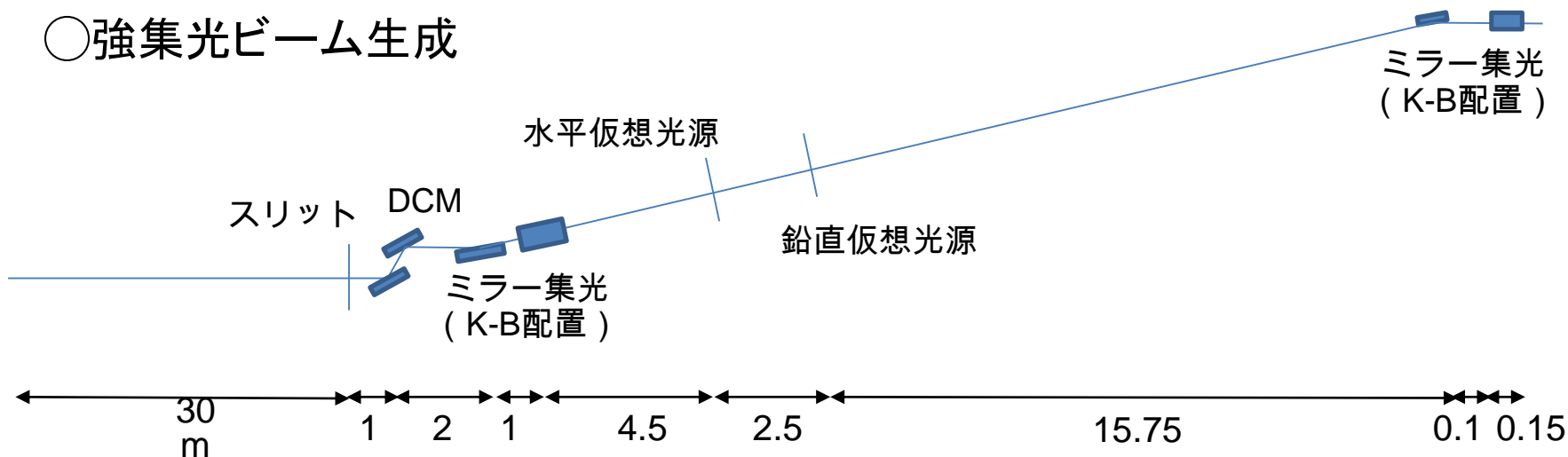
○ナノ集光 (50 nm目標)



- 前置集光系により、鉛直方向は39.5m、水平方向は47mに一旦集光(仮想光源)
- 前置集光系、後置集光系はK-B配置の楕円ミラー2枚
- 末端フランジから集光点まで約130mmのスペース確保(現BL-15A2相当)

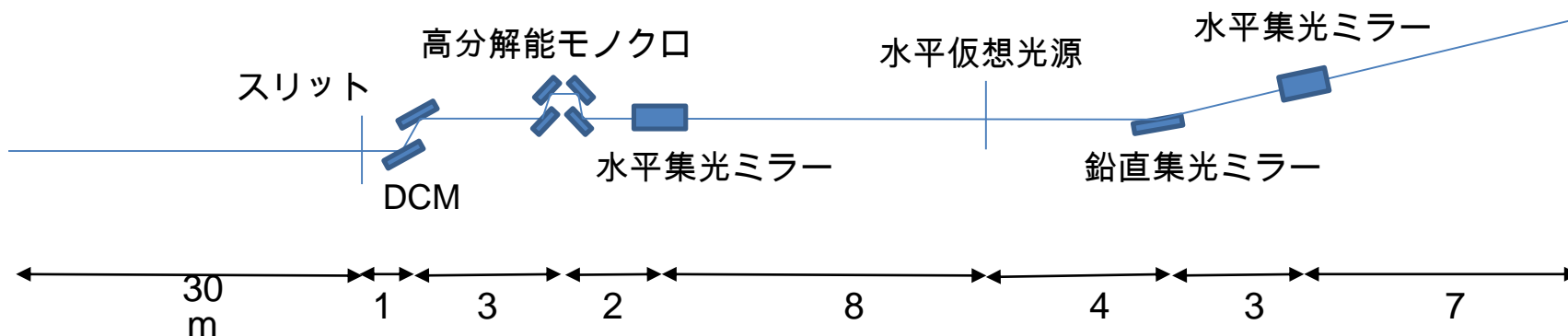
X線ビームラインのレイアウト検討(リング壁@29m、集光点@58m)

○強集光ビーム生成



- 前置集光系により、水平方向は39.5m、鉛直方向は42mに一旦集光(仮想光源)
- 後置集光系は楕円ミラー2枚(K-B)、Pt-coat、入射角6mrad(11.4keV cut-off)

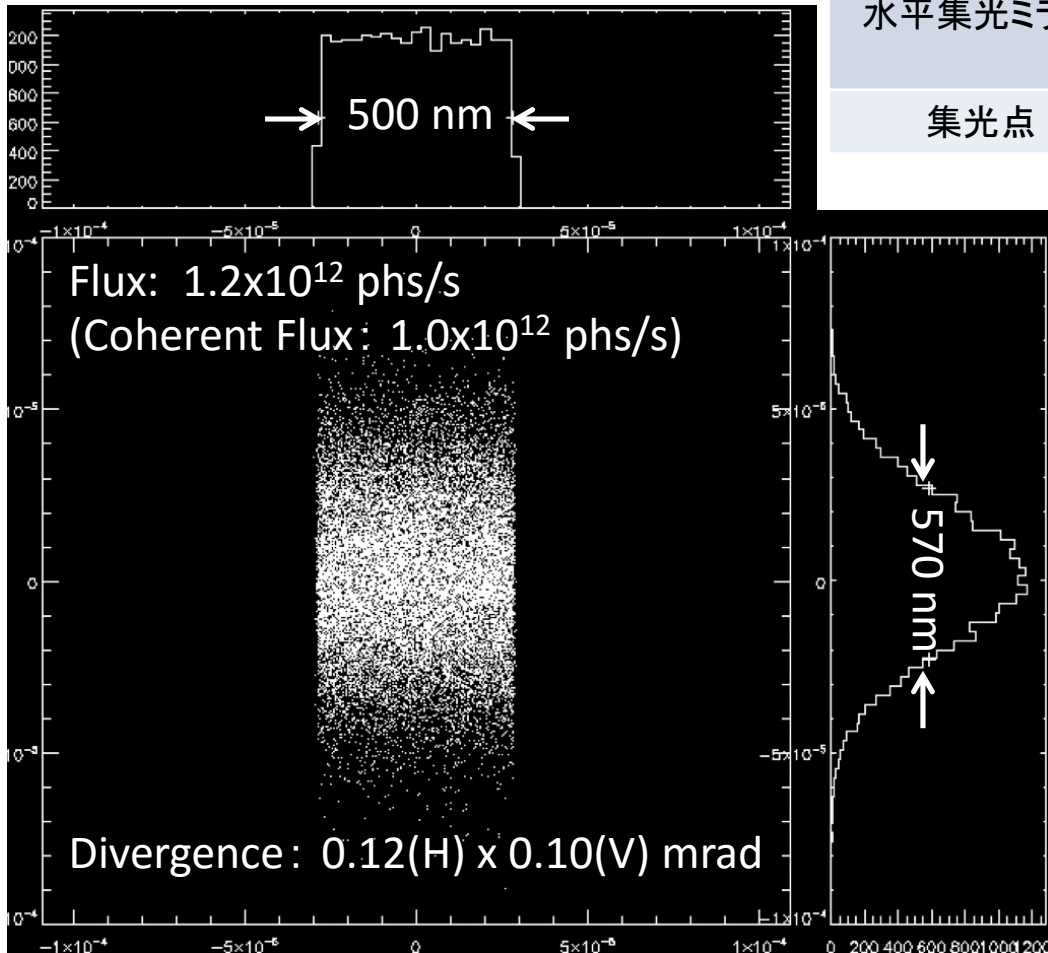
○高分解能($\Delta E/E \sim 10^{-6}$)マイクロビーム



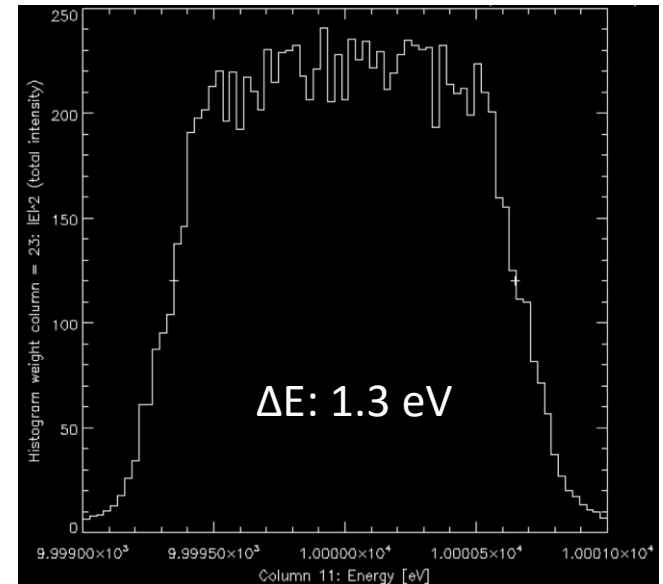
X線ビームライン検討 ～集光点でのビーム特性～

1. コヒーレンス利用

| コンポーネント | 位置 (m) | 仕様 |
|---------|--------|----------------------------------|
| スリット | 30.0 | 180 μ m(V) |
| 分光器 | 31.0 | Si(111) 2結晶、(+-)配置 |
| 水平仮想光源 | 32.0 | 18 μ m(H) |
| 鉛直集光ミラー | 55.3 | 非球面、Rh、4mrad、200mm長 約20.5:1集光 |
| 水平集光ミラー | 57.2 | 非球面、Rh、4mrad、200mm長 約31.5:1集光 |
| 集光点 | 58.0 | その他: Be窓 (総厚: 0.5mm) |



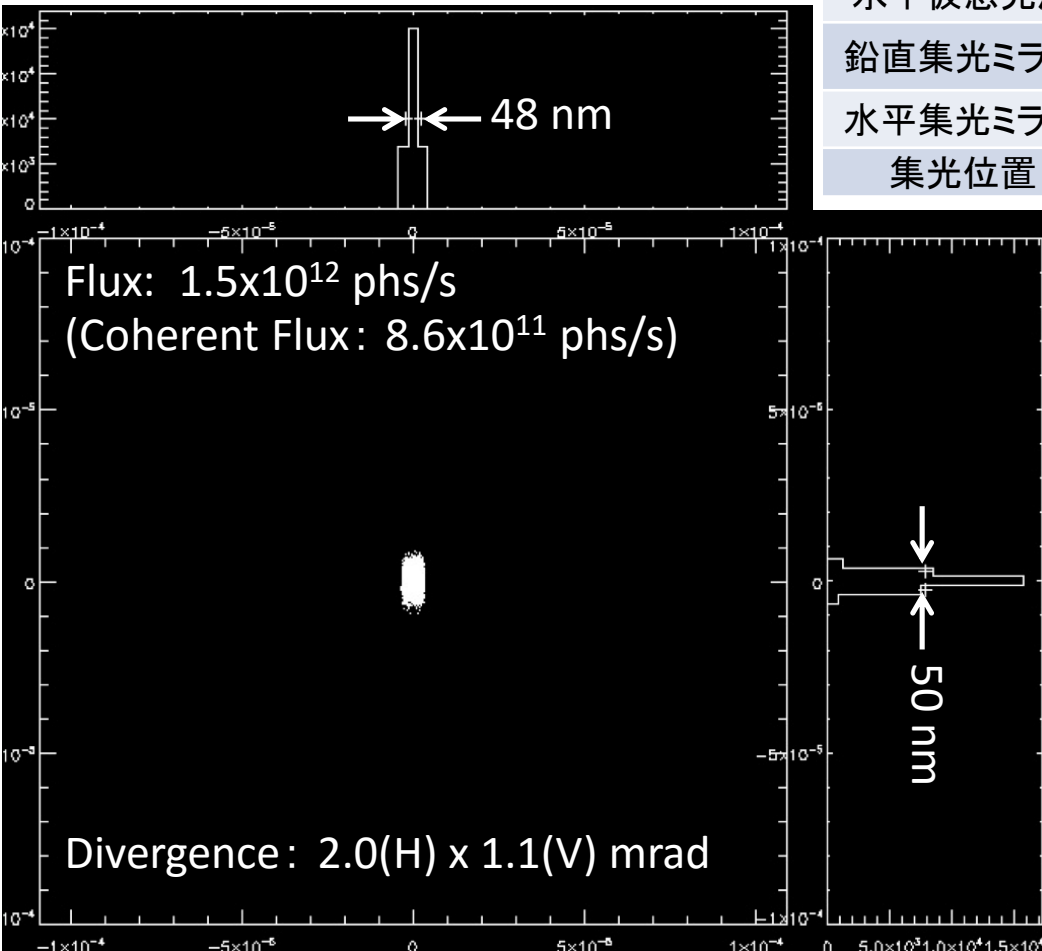
Fluxの見積りでは
反射率、回折効率も考慮



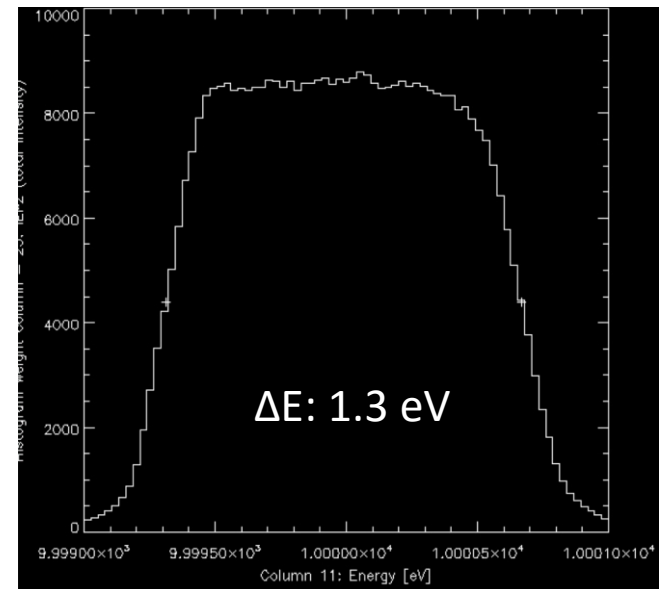
X線ビームライン検討 ～集光点でのビーム特性～

2. ナノビーム (50nm目標)

| コンポーネント | 位置 (m) | 仕様 |
|---------|--------|--------------------------|
| スリット | 30.0 | 160 μ m(V) |
| 分光器 | 31.0 | Si(111) 2結晶、(+)-配置 |
| 鉛直集光ミラー | 34.5 | Rh、100mm長、4mrad、約6.9:1集光 |
| 水平集光ミラー | 35.0 | Rh、300mm長、4mrad、約2.9:1集光 |
| 鉛直仮想光源 | 39.5 | open |
| 水平仮想光源 | 47.0 | 1.8 μ m(H) |
| 鉛直集光ミラー | 57.4 | Rh、200mm長、4mrad、約30:1集光 |
| 水平集光ミラー | 57.7 | Rh、200mm長、6mrad、約36:1集光 |
| 集光位置 | 58.0 | その他: Be窓 (総厚: 0.5mm) |



Fluxの見積りでは
反射率, 回折効率も考慮

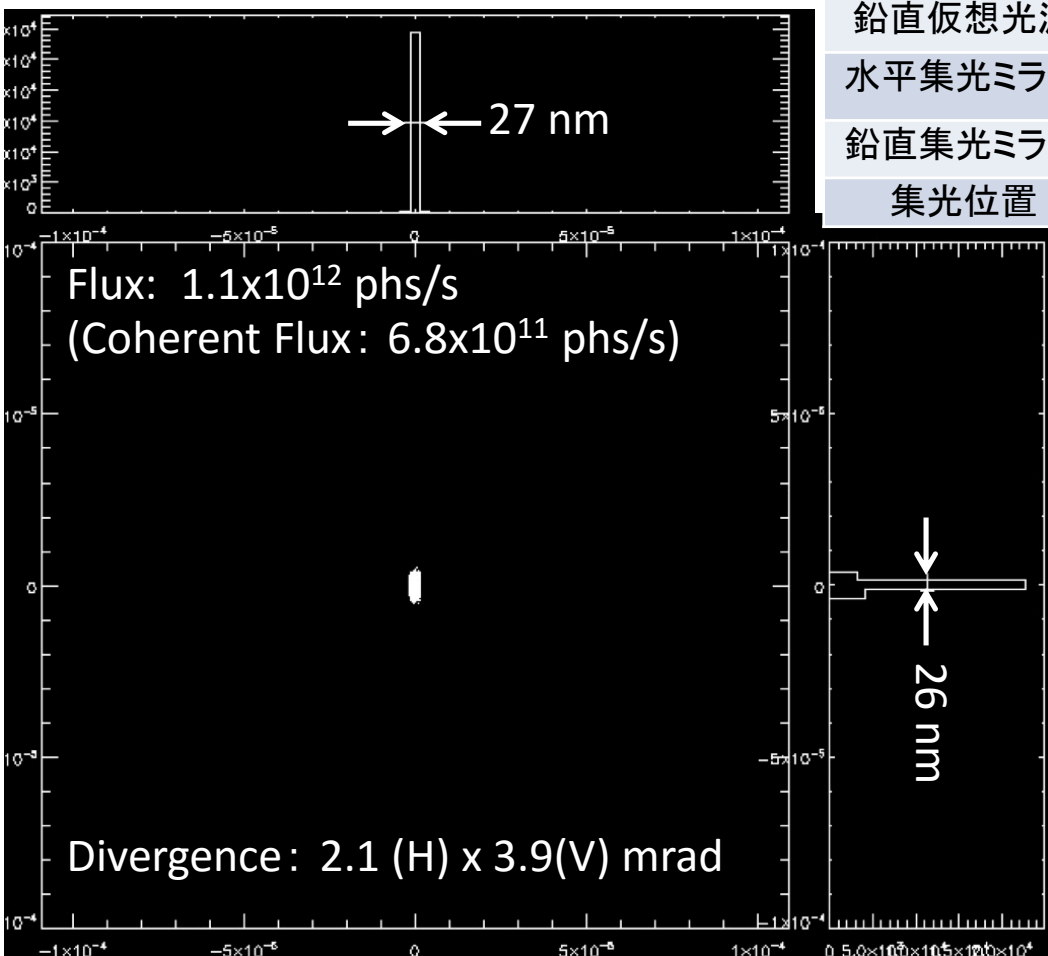


X線ビームライン検討 ～集光点でのビーム特性～

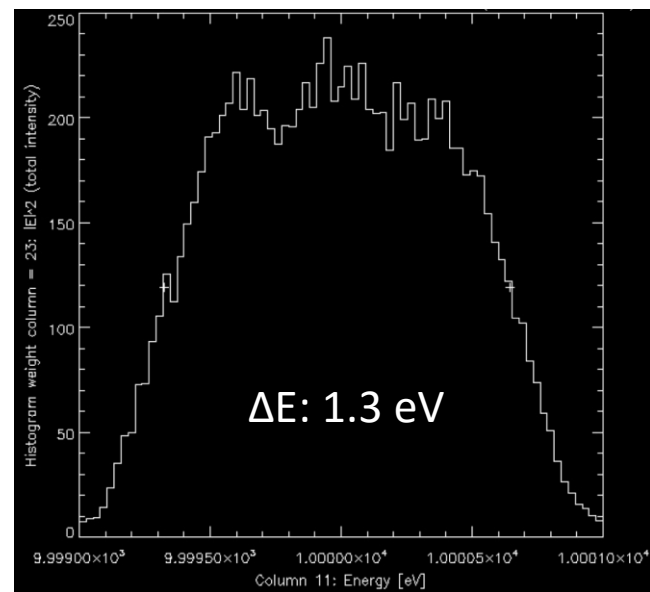
3. 強集光ビーム

(25nm以下はFZP等を利用)

| コンポーネント | 位置 (m) | 概要 |
|---------|--------|--|
| スリット | 30.0 | 260 μ m(V) \times 140 μ m(H) |
| 分光器 | 31.0 | Si(111) 2結晶、(+ -)配置 |
| 鉛直集光ミラー | 33.0 | Rh、100mm長、4mrad、約3.7:1集光 |
| 水平集光ミラー | 34.0 | Rh、100mm長、4mrad、約6.2:1集光 |
| 水平仮想光源 | 39.5 | 2.0 μ m(H) |
| 鉛直仮想光源 | 42.0 | open |
| 水平集光ミラー | 57.75 | Pt、100mm長、6mrad、約73:1集光 |
| 鉛直集光ミラー | 57.85 | Pt、100mm長、6mrad、約105.7:1集光 |
| 集光位置 | 58.0 | その他: Be窓 (総厚: 0.5mm) |



Fluxの見積りでは
反射率、回折効率も考慮

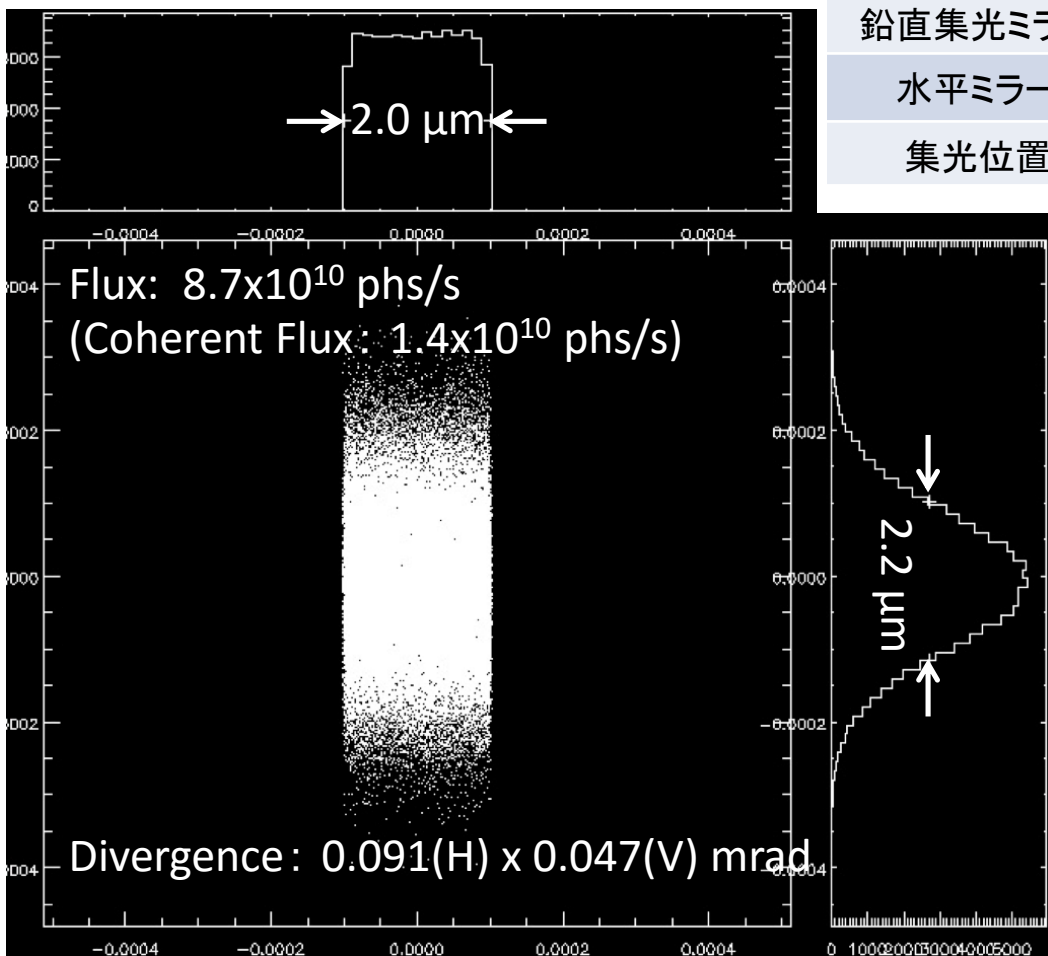


X線ビームライン検討 ～集光点でのビーム特性～

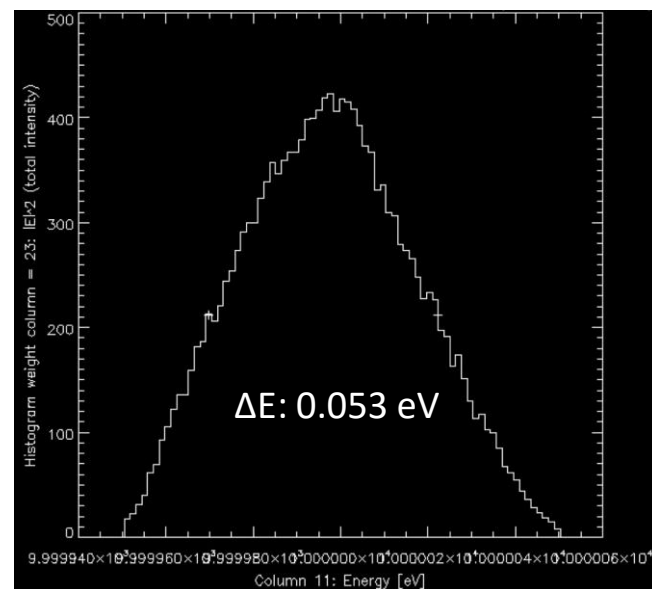
4. 高分解能ビーム

(25nm以下はFZP等を利用)

| コンポーネント | 位置(m) | 概要 |
|---------|-------|--------------------------|
| スリット | 30.0 | 300 μ m(V) |
| 分光器 | 31.0 | Si(111) 2結晶、+-配置 |
| 高分解能分光器 | 34.0 | Si(333) 4結晶、+--+配置 |
| 水平集光ミラー | 36.0 | Rh、300mm長、4mrad、約4.5:1集光 |
| 水平仮想光源 | 44.0 | 2 μ m(H) |
| 鉛直集光ミラー | 48.0 | Rh、200mm長、4mrad、約4.8:1集光 |
| 水平ミラー | 51.0 | Rh、200mm長、4mrad、約1:1集光 |
| 集光位置 | 58.0 | その他: Be窓 (総厚: 0.5mm) |



Fluxの見積りでは
反射率, 回折効率も考慮



各BL案についてレイトレース計算によるビーム性能評価まとめ

* フラックスの見積もりでは反射率、回折効率も考慮 (FZPの効率は10%を仮定)

* 幾何光学計算のみなので、今後波動光学による検討も必要 (特に回折限界に近いところ)

○VUV-SXビームライン例@1keV [1] (回折格子の性能向上でエネルギー分散10meVも可能)

| | 簡易集光 | ナノビーム利用 | FZP集光ビーム | BL-16A |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| ビームサイズ [nm] | 8500(H) x 6100(V) | 47(H) x 49(V) | 28(H) x 28(V) | 140,000(H) x 12,000(V) |
| ビーム発散角[mrad] | 0.33(H) x 0.31(V) | 13(H) x 12(V) | 49(H) x 49(V) | 1.1(H) x 0.33(V) |
| Flux [phs/s] | 3.0×10^{12} | 1.4×10^{11} | 2.0×10^{10} | 1.0×10^{12} |
| Coherent Flux [phs/s] | 2.0×10^{11} | 1.1×10^{11} | - | 4.9×10^8 |
| エネルギー分散 [meV] | 50 | 45 | 50 | 150 |

[1] SRXRAY [Y. Muramatsu, Y. Ohishi, and H. Maezawa, A new ray-tracing program capable of simulating insertion device synchrotron radiation sources, Jpn. J. Appl. Phys., 27, L1539-L1542 (1988)]を改良して使用。

○X線ビームライン例@10keV (by SHADOW/XOP)

| | コヒーレンス利用 | ナノビーム利用 | 強集光ビーム | 高分解能 |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ビームサイズ [nm] | 500(H) x 570(V) | 48(H) x 50 (V) | 27(H) x 26(V) | 2,000(H) x 2,200(V) |
| ビーム発散角[mrad] | 0.12(H) x 0.10(V) | 2.0(H) x 1.1(V) | 2.1(H) x 3.4(V) | 0.091(H) x 0.047(V) |
| Flux [phs/s] | 1.2×10^{12} | 1.5×10^{12} | 1.1×10^{12} | 8.7×10^{10} |
| Coherent Flux [phs/s] | 1.0×10^{12} | 8.6×10^{11} | 6.8×10^{11} | 1.4×10^{10} |
| エネルギー分散 [eV] | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 0.053 |