

BL-13Aの概要

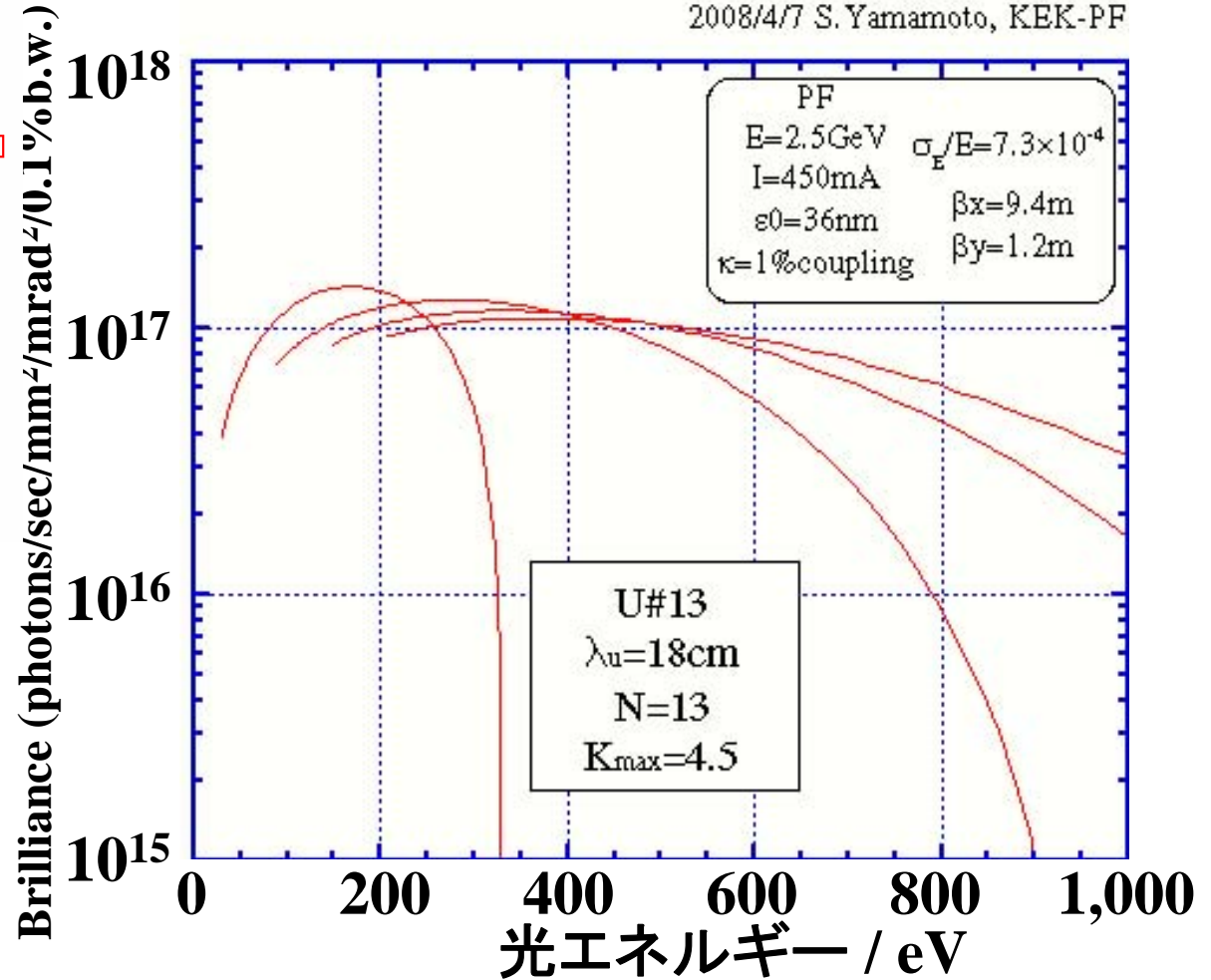
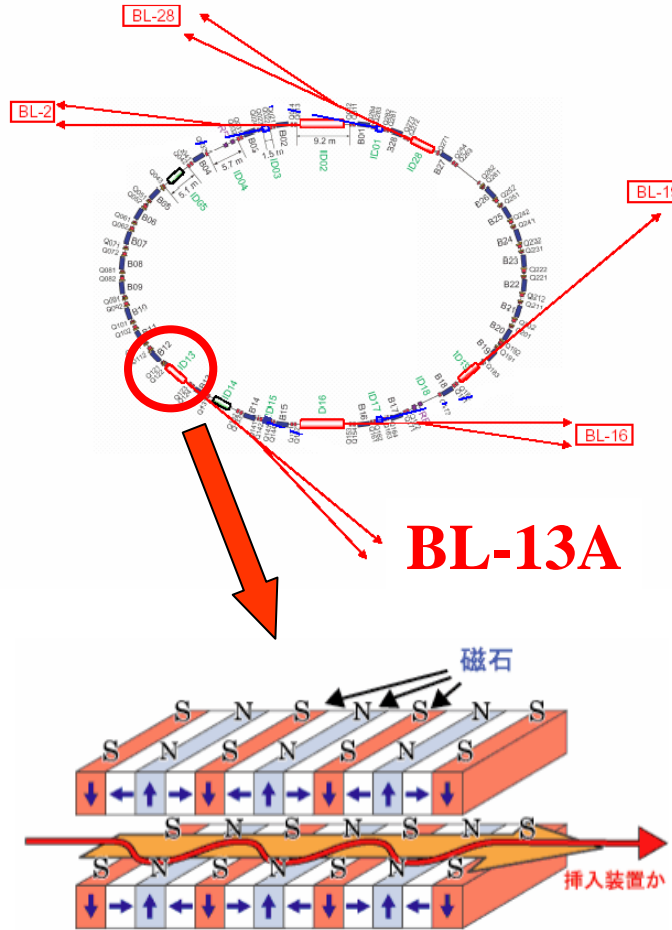
KEK-PF 雨宮健太、間瀬一彦

1. 挿入光源(アンジュレーター)
2. 真空紫外軟X線ビームライン光学
 - 1.1. 回折格子による単色化
 - 1.2. ミラーによる集光
 - 1.3. 分光器の構成
3. BL13Aの現状

1. 挿入光源

18 cm × 13 周期 (2.5 m)、Planar U / MPW、Kmax = 4.5、水平直線偏光

2008/4/7 S. Yamamoto, KEK-PF



ギャップ値: 120mmで1次光が約30eV、161.5mmで3次光が401eV (K吸収端)

アンジュレーター1次光の波長 λ_1 とエネルギー E_1

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} \left(1 + \gamma^2 \theta^2 + \frac{K^2}{2} \right) \quad \lambda[\text{nm}] \times E[\text{eV}] = 1239.8$$

λ_u : 正弦波磁場の周期長、BL13では0.180m

γ : ローレンツ因子、PF2.5GeVでは4893

θ : 放出角

K : K 値、アンジュレーターの磁場強度を表す無次元数

$$K = 93.37 B_0[\text{T}] \lambda_u[\text{m}],$$

アンジュレーターギャップを狭くすると K 値は増す。

☆アンジュレーターの芯 ($\theta = 0^\circ$) は最も短波長(高エネルギー)

2. ビームライン

ビームラインの役割

白色光である放射光から**特定のエネルギー**の光を取り出す(単色化・分光)

試料の狭い領域に光を照射する(集光)

※ BL13Aの水平方向の取込み角は0.2 mrad

発光点からSES200までの距離:37 m

⇒ なにも集光しないと 7.4 mm に広がる

斜入射真空紫外・軟X線ビームライン(30-2000 eV)の特徴

大気中の**透過率が極めて低い** ⇒ ビームラインを**真空**にする必要

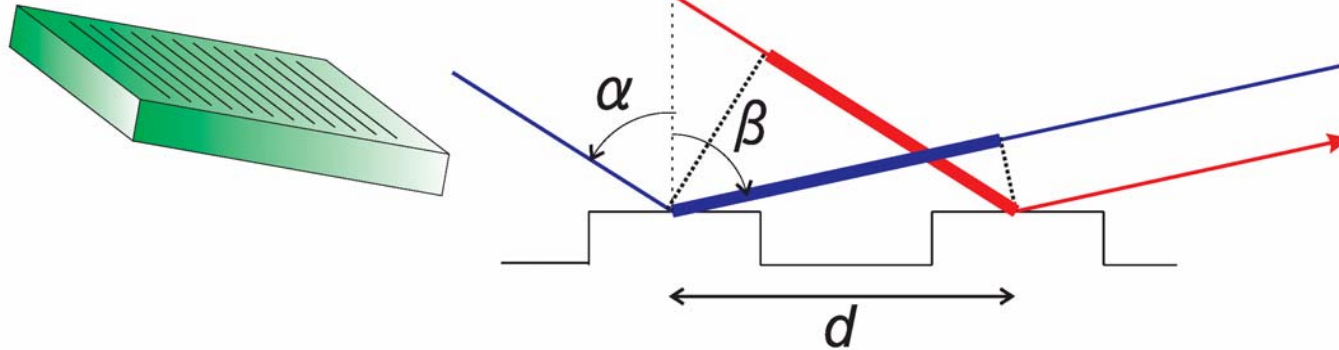
透過率が高く、圧力差にも強いような窓材がない ⇒ 蓄積リングまで直結

⇒ **ビームライン**は、**超高真空**に保つ。(到達圧力 $<1 \times 10^{-8}$ Pa)
光学素子の汚染を防ぐ。

2.1. 回折格子による単色化

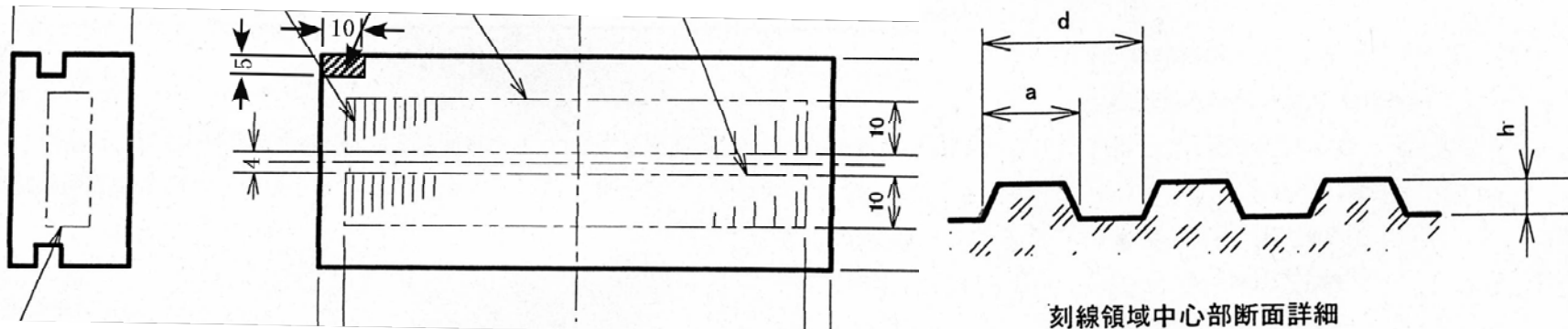
単色化に用いる光学素子：反射型回折格子 (30~1000 eV)

符号は通常 $\alpha > 0$ となるようにする。
(従って下図では $\beta < 0$)



隣りあった溝で反射される光の光路差が波長の整数倍 $\Rightarrow (d \sin \alpha) - (-d \sin \beta) = m\lambda$

$\sin \alpha + \sin \beta = nm\lambda$ (n は刻線密度、 $n = 1/d$ 、 m は回折次数)

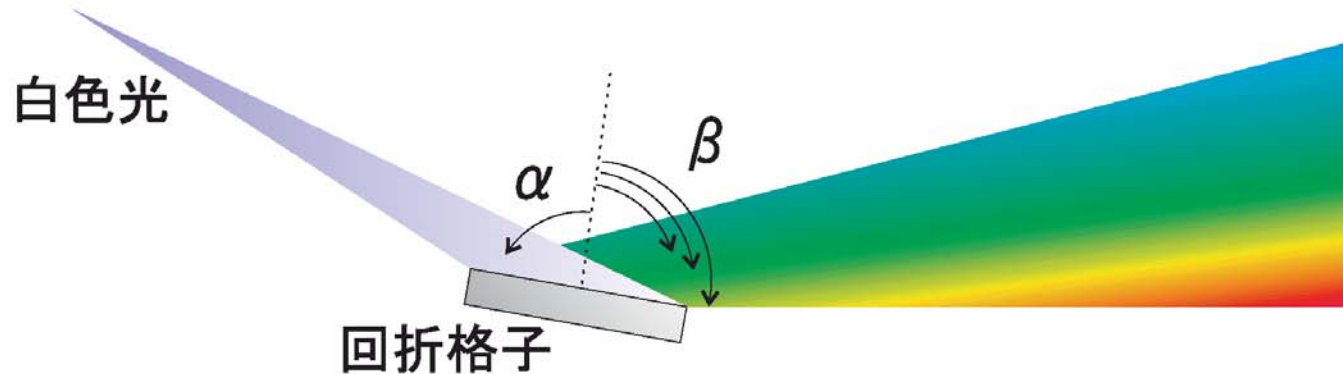


刻線領域中心部断面詳細

不等間隔回折格子、1000本/mmと300本/mm、幅40mm × 長さ100mm × 厚さ23mm

2.1. 回折格子による単色化

$$\sin\alpha + \sin\beta = nm\lambda \quad (m \text{は回折次数})$$



入射光は角度広がりをもつ ⇒ 入射角 α も幅をもっている

$m = 1$ の時にある波長 λ_1 の光が上の式を満たすと、

$m = 2$ では波長 $\lambda_1/2$ の光が条件を満たしてしまう ⇒ 高次光

$m = 0$ とすると、 $\alpha = -\beta$ の時に全ての波長の光が上の式を満たす ⇒ 0次光



刻線領域中心部断面詳細

ラミナー型回折格子

1000本/mmは $h = 7 \text{ nm}$ 、デューティー比(d/a): 0.28

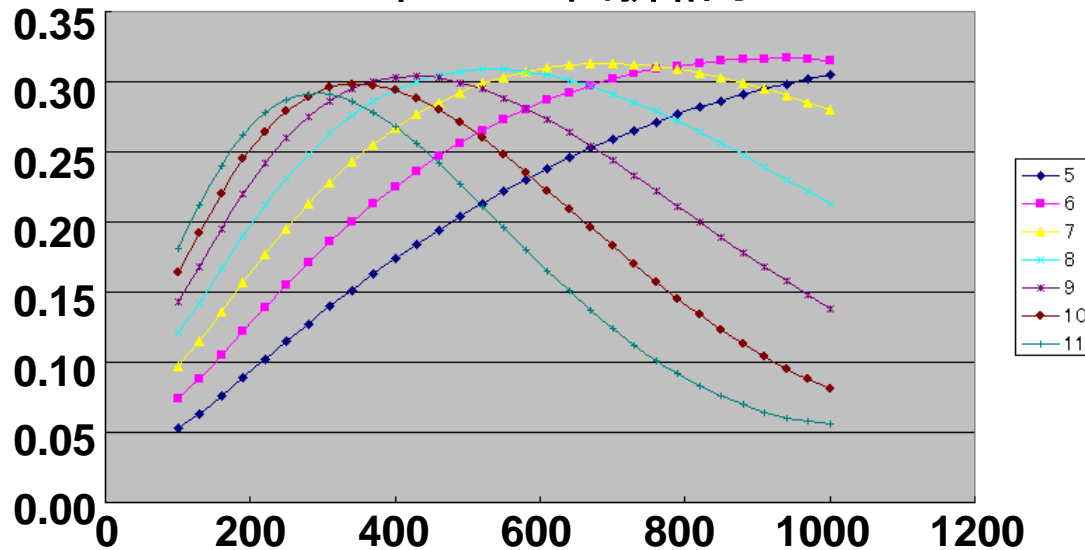
300本/mmは $h = 26 \text{ nm}$ 、デューティー比(d/a): 0.43

金コート: 70 nm

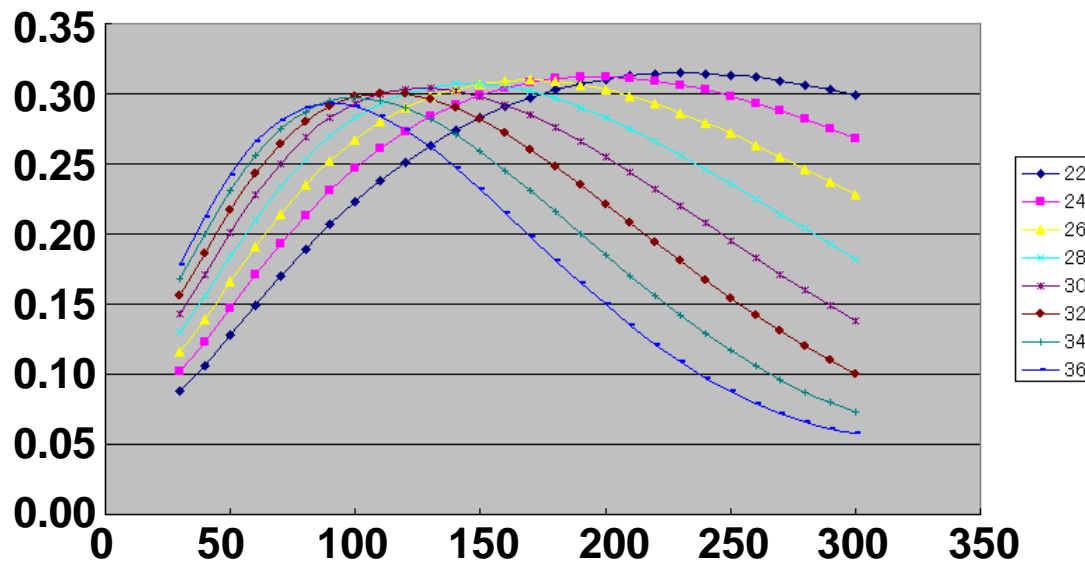
回折効率:

回折条件を満たす分光光の比率、最大でも0.3程度

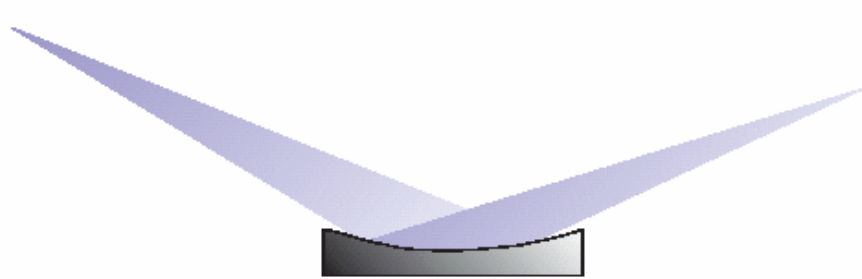
1000本/mm 回折格子



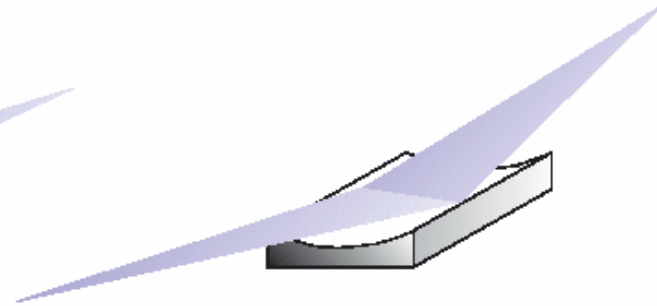
300本/mm 回折格子



1.2. ミラーによる集光



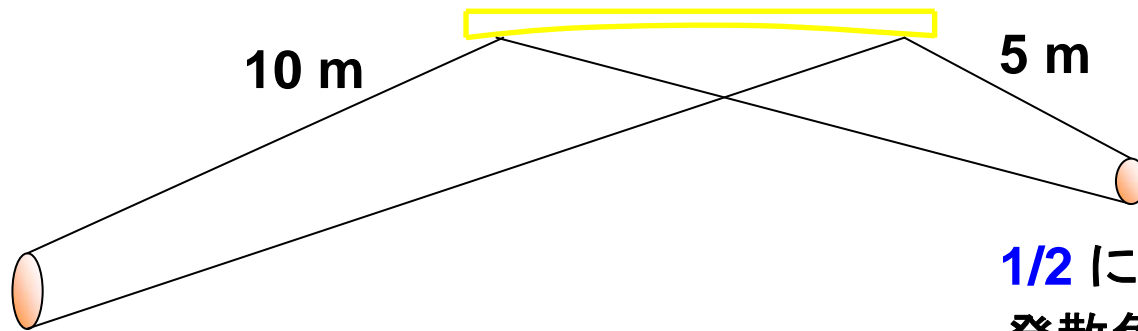
Tangential 集光



Sagital 集光

スロープエラーの影響が少ない

縮小率と収差



1/2 に集光できる
発散角は2倍になる

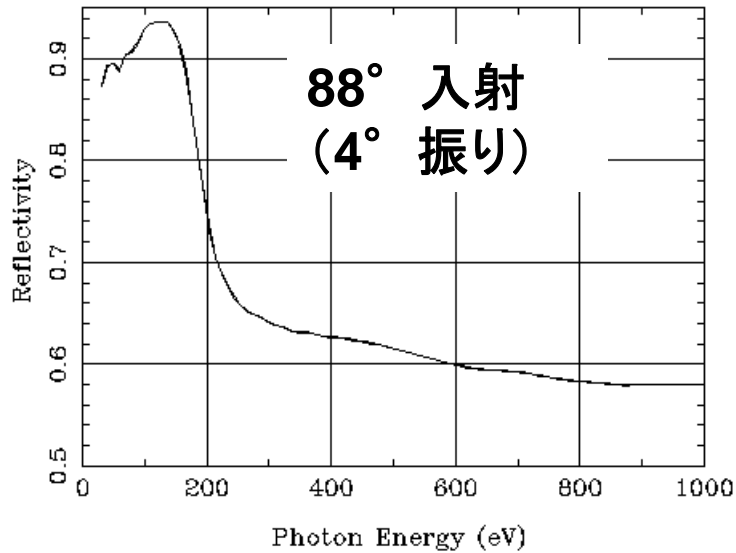
楕円ミラー ⇒ 完全な集光(縮小率の通りになる)

BL13Aではトロイダル鏡で代用 ⇒ 像が乱れる(収差)

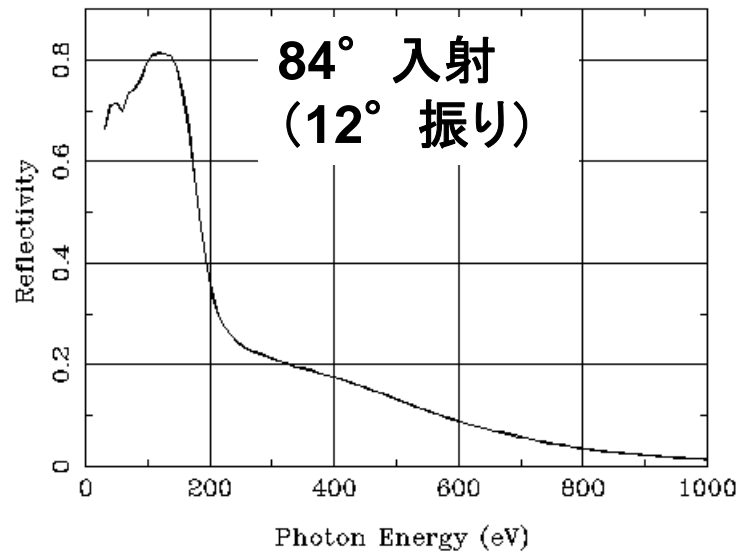
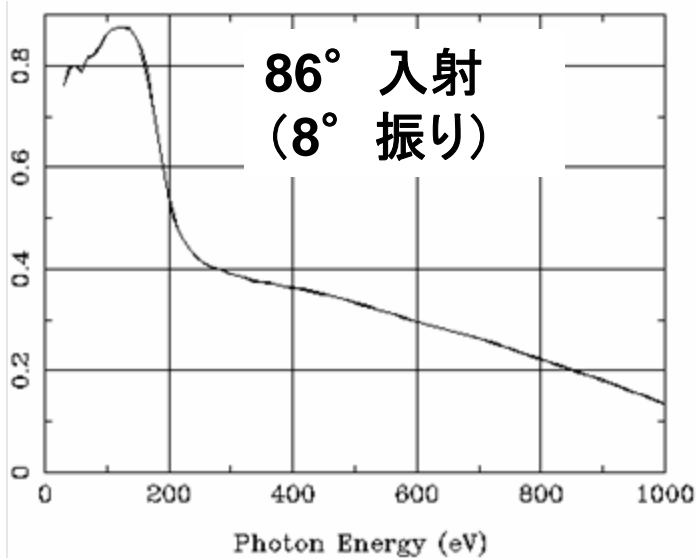
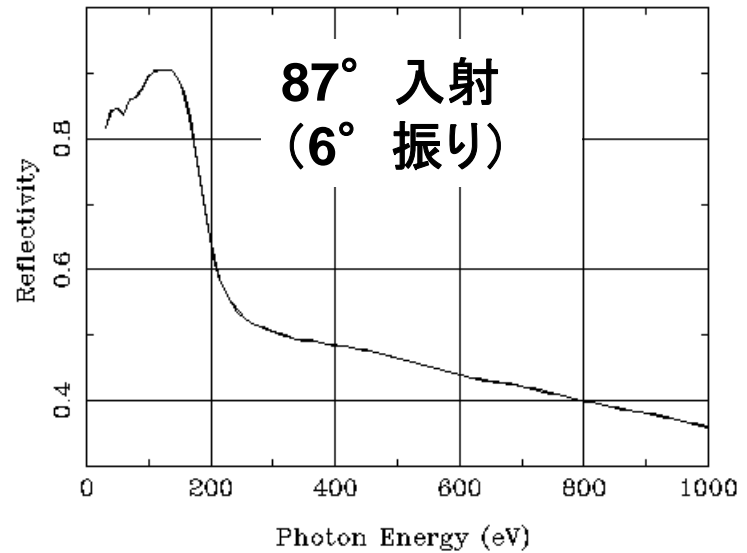
発散角が大きい(ミラーが大きい)ほど収差が深刻になる

入射角と反射率 • http://www-cxro.lbl.gov/optical_constants/

Au Rho=19.3, Sig=0.5nm, P=-1., 2.deg



Au Rho=19.3, Sig=0.5nm, P=-1., 3.deg



1.2. ミラーによる集光

ミラーの大きさ

88° 入射, 0.2mrad, 光源から16 m \Rightarrow 92 mm のミラーが必要
曲率半径

88° 入射, 光源から10 mの位置で反射, そこから5 mの位置に集光
 $\Rightarrow R = 190$ m (tangential 集光), $\rho = 0.23$ m (sagital 集光)

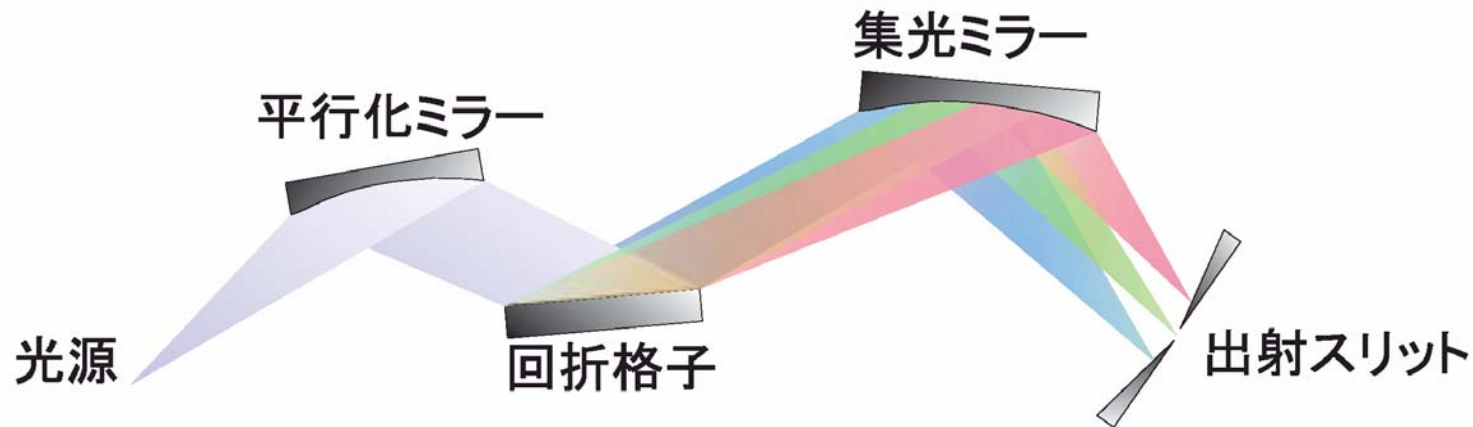
強度を上げるために

光学素子の数を減らす (反射率によるロスを防げる)

反射率, 回折効率を上げる (入射角を浅く, 光学素子の品質を高く)

1.3. 分光器の構成

最も基本に忠実な分光器



平行化ミラー、集光ミラーともに**放物面**が理想

トロイダルミラーなどで代用 ⇒ 発散が大きい光源では**収差**が深刻

アンジュレーターは発散が小さいのでかなり高分解能が得られる。

分光器のタイプを特徴づける要素

① 回折格子の形状(平面, 球面など)

平面: 分散と集光を兼ねない \Rightarrow 収差は少ない。

② 回折格子の溝間隔(等間隔か不等間隔か)

不等間隔: 光学系の単純化

③ 偏角 $[\alpha - \beta]$ (定偏角か可変偏角か)

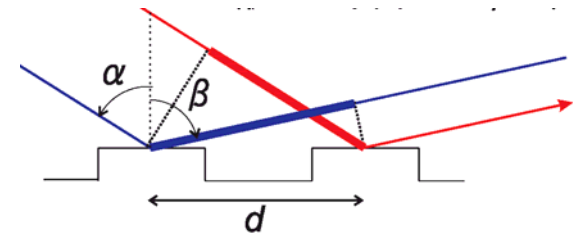
可変偏角: 自由度大 \Rightarrow 高分解能を実現できる波長範囲が広い。

④ 出射スリット位置(固定か、半固定か、可変か)

回折格子からの光の焦点位置が波長によって変化しない。

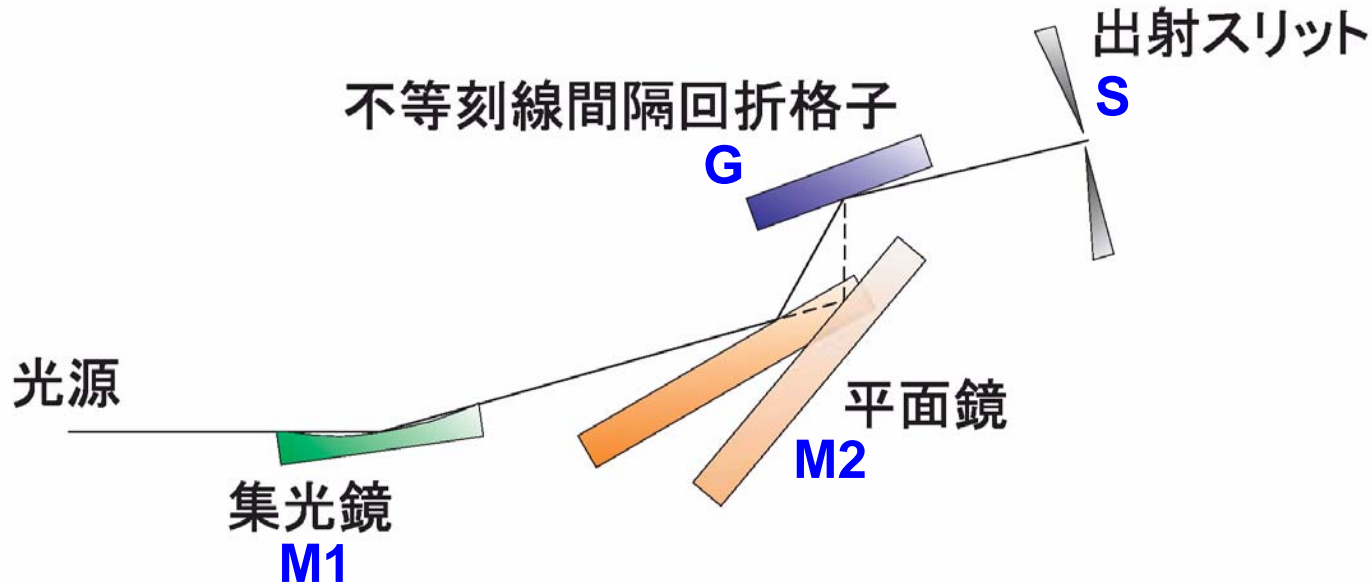
⑤ 入射スリットの有無

入射スリット無し: 光源のサイズがそのまま分解能に影響。
低コスト、高フラックス。



光源の性質, 分光器駆動機構の信頼性、光学素子の精度、
利用実験の要請 を考慮して設計

BL13の分光器の構成



比較的単純な光学系 ⇒ 低コスト

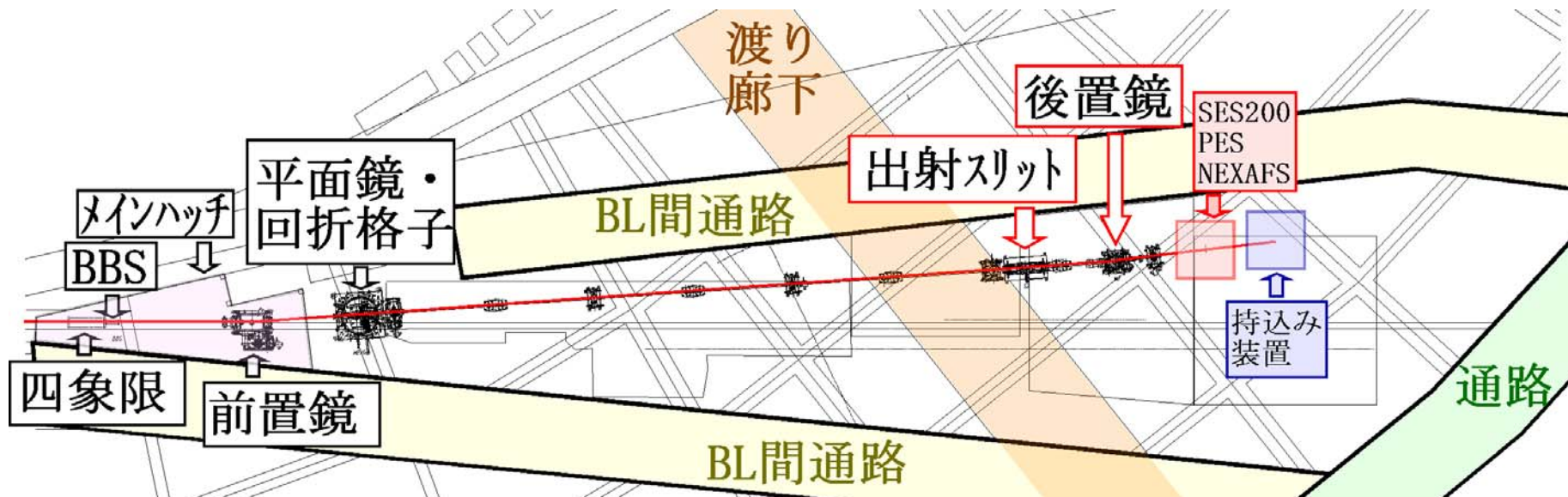
偏角を適切に変えることで広い波長範囲を高分解能でカバー

偏角固定で使用しても比較的高分解能を保つ

M2の角度を固定した上でGを回転させてエネルギー掃引する

3. 新BL13の現状

2-1. 新BL-13Aの配置



第1ブランチ(H20-21年度に建設):

光電子分光装置を常設

⇒ 軟X線吸収端微細構造(NEXAFS)、X線光電子分光(XPS)、角度分解光電子分光(ARUPS)、光電子回折(PED)、軟X線定在波法(SXSW)

持ち込み装置

⇒ 光電子顕微鏡(PEEM)、放射光STM、顕微NEXAFS、Dispersive imaging NEXAFS、コインシデンス分光装置など

BL-13A建設の歩み

2009年

3月 旧BL-13A、13B、13C撤去

7月 新BL-13Aビームライン設置終了

8月 超高真空排気終了 ($< 1 \times 10^{-8}$ Pa)

9月 制御システム、インターロックシステム構築

10月1日 SRI09でポスター発表、プロシーディングス受理。

10月5日 BL検査

10月6日 インターロック総合動作試験

10月13日 光導入、光焼きだし開始

分光器制御ソフト作成、分光器駆動テスト開始

10月27日 光強度測定、光分解能測定装置設置

11月12日 光電子分光装置をBL-11DからBL-13Aに移設

12月21日 試料作製チェンバー設置

12月22日 光分解能測定 ($E/\Delta E \sim 10,000$ @ 401 eV)

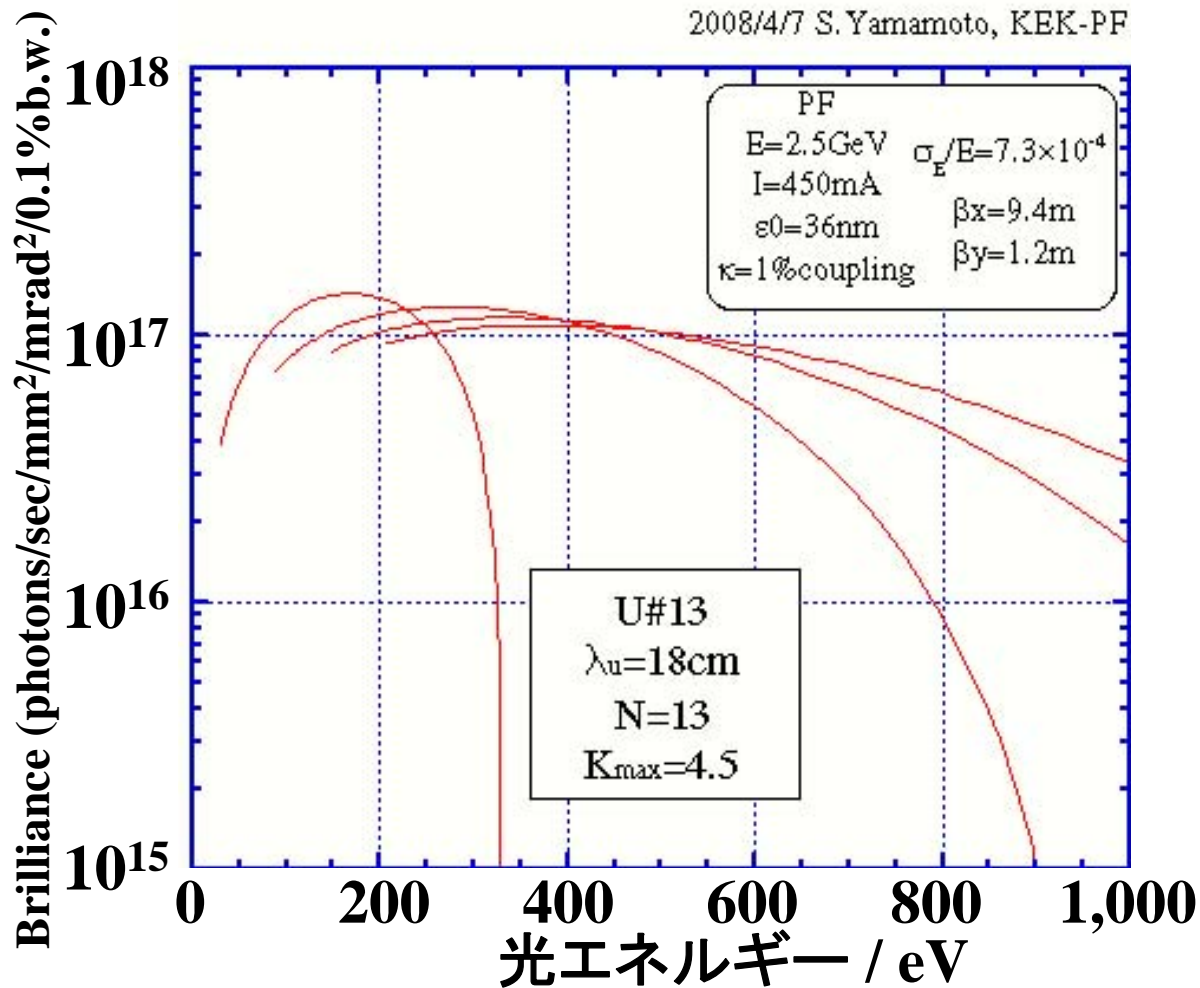
2010年

1月12日～28日 光強度、分解能、スポットサイズ、安定性測定
X線吸収スペクトル測定用ソフト開発

1月29日(金) 共同利用実験に公開

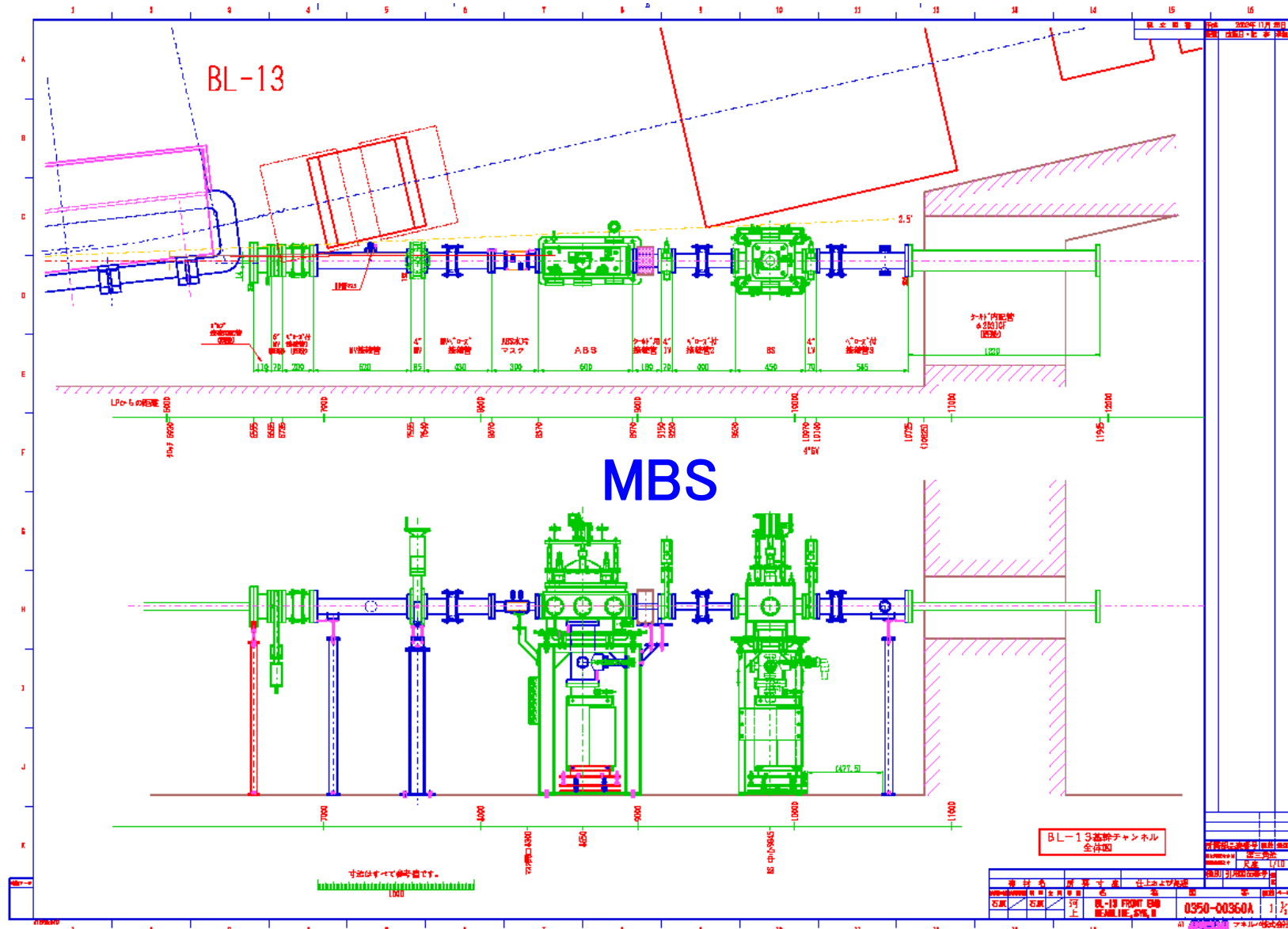
挿入光源

18 cm × 13 周期 (2.5 m)、Planar U / MPW、Kmax = 4.5、水平直線偏光



ギャップ値: 120mmで1次光が約30eV、161.5mmで3次光が401eV (K吸収端)

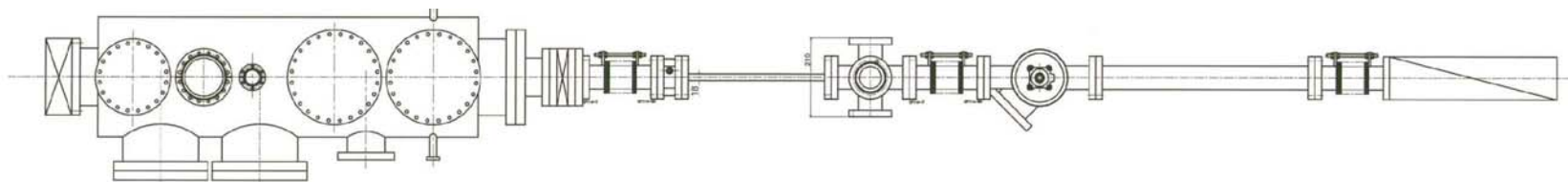
新BL13壁内の構成(チャンネル部、ほぼ変更なし)



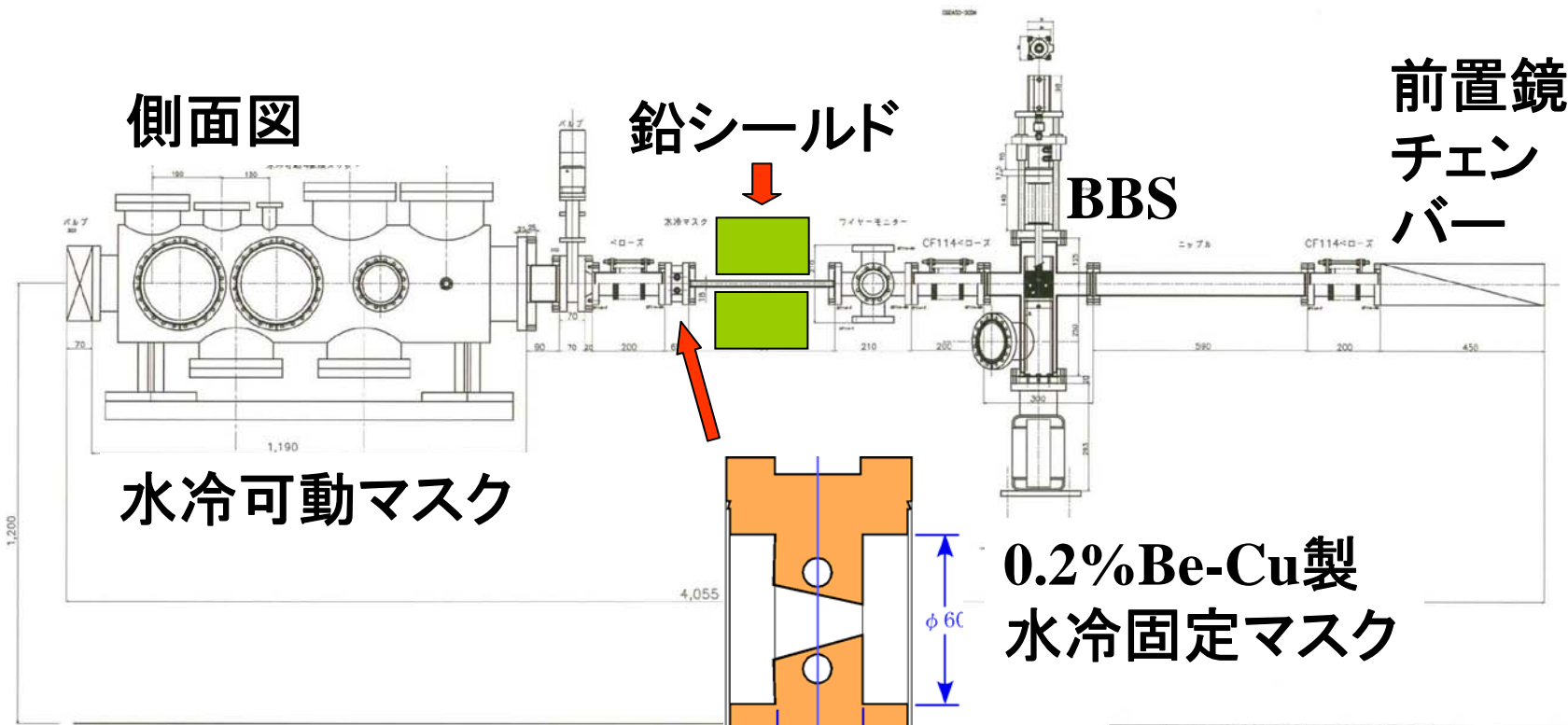
[前澤、浅岡、宮内、田原、菊地(PF)]

新BL13メインハッチ内の構成

上面図



側面図



水冷可動マスク

鉛シールド

BBS

前置鏡
チェン
バー

0.2%Be-Cu製
水冷固定マスク

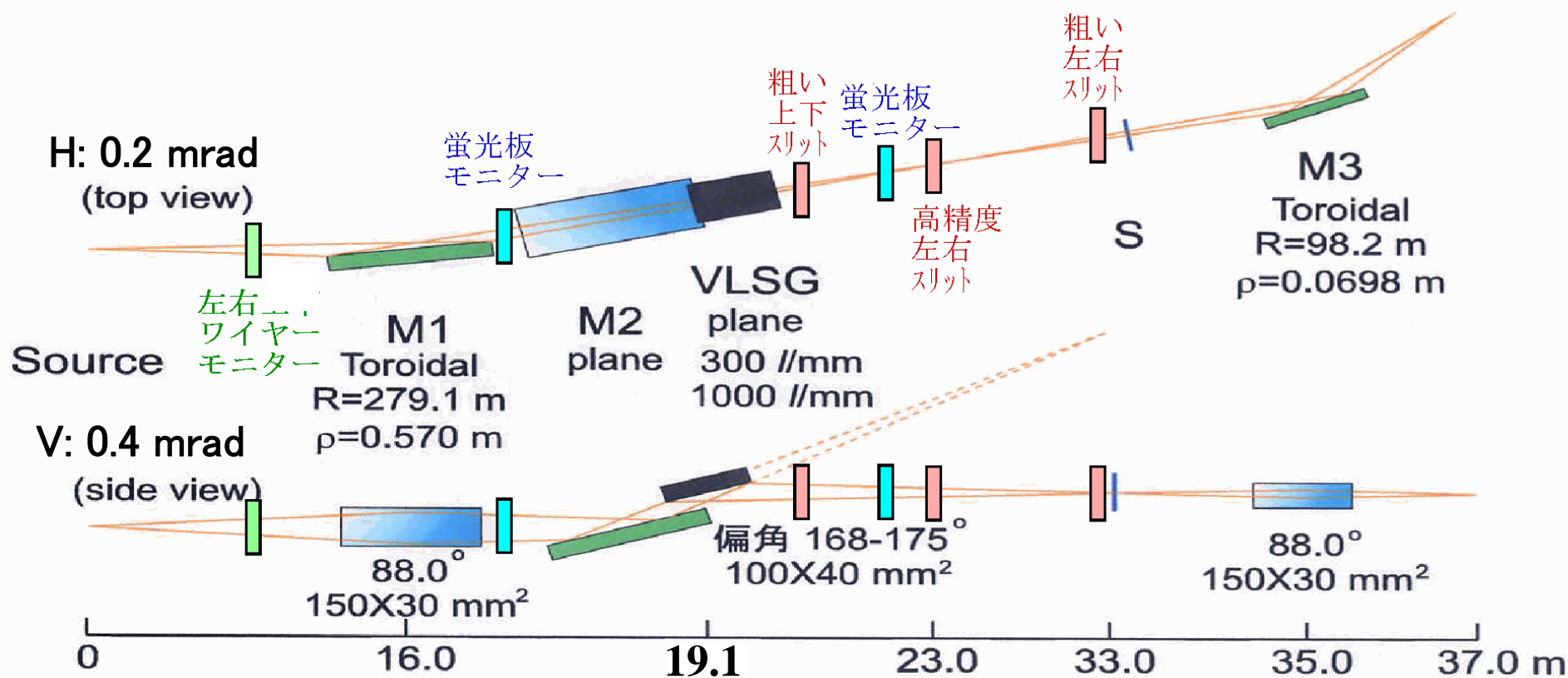
[菊地(PF)]

6	前鏡板補正電極	SUS310S	各1		
No.	DESCRIPTION	MATERIAL	Q'TY	DWG.No.	REMARKS
APPROVED		TITLE	CF356マウント		
CHECKED		電子-電子-イオンコインシデンスアナライザ			
DESIGNED		#06前鏡板補正電極			
DRAWN					
DATE	2007年6月23日	高エネルギー加速器研究機構			
	SCALE	1/1	DWG.No.		

新BL-13Aの光学素子の構成

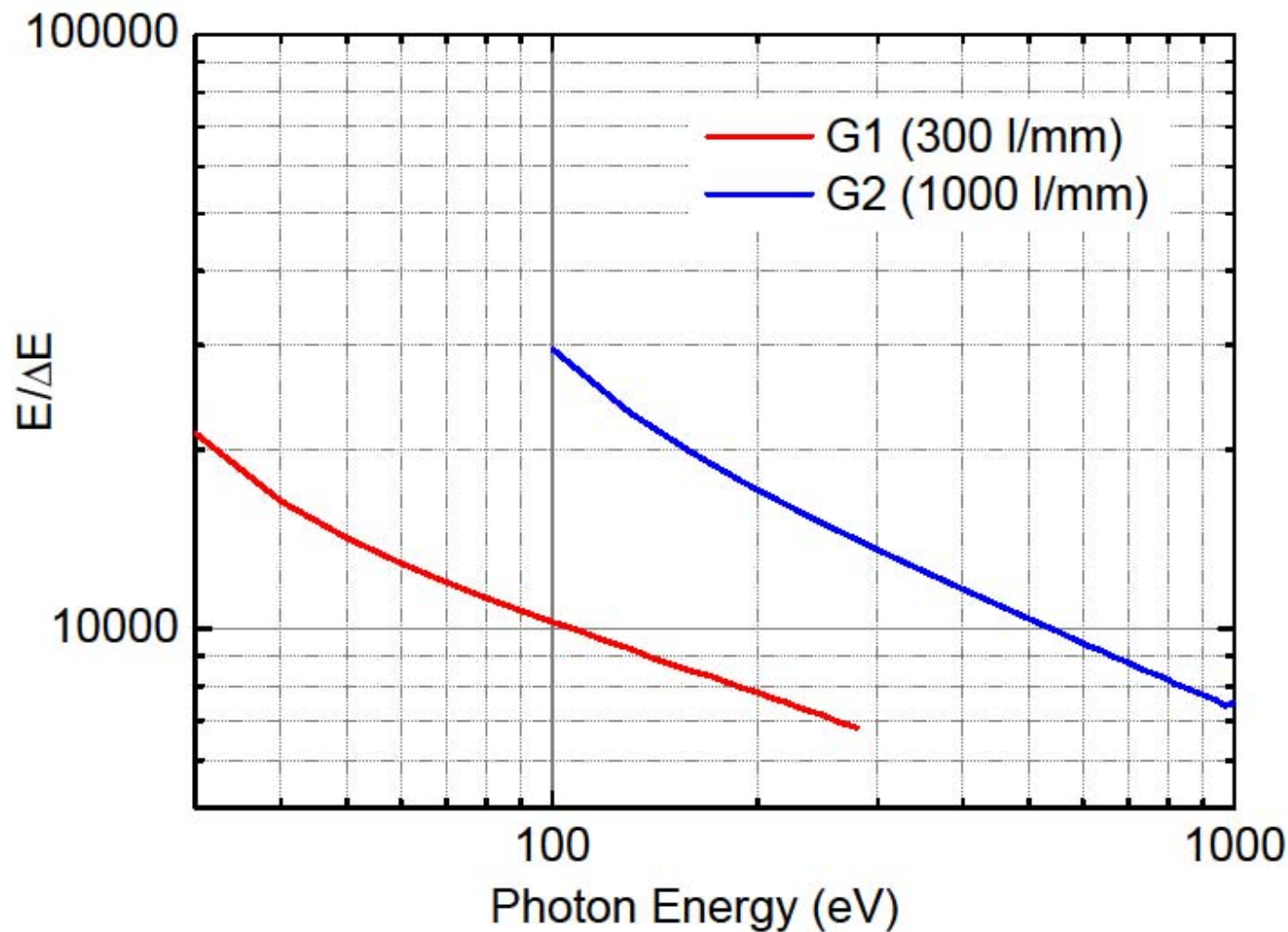
入射スリットレス可変偏角不等間隔回折格子(VLSG)分光器

[K. Amemiya and T. Ohta: *J. Synchrotron Rad.*, 11 (2004) 171.]



[雨宮 (KEK-PF)]

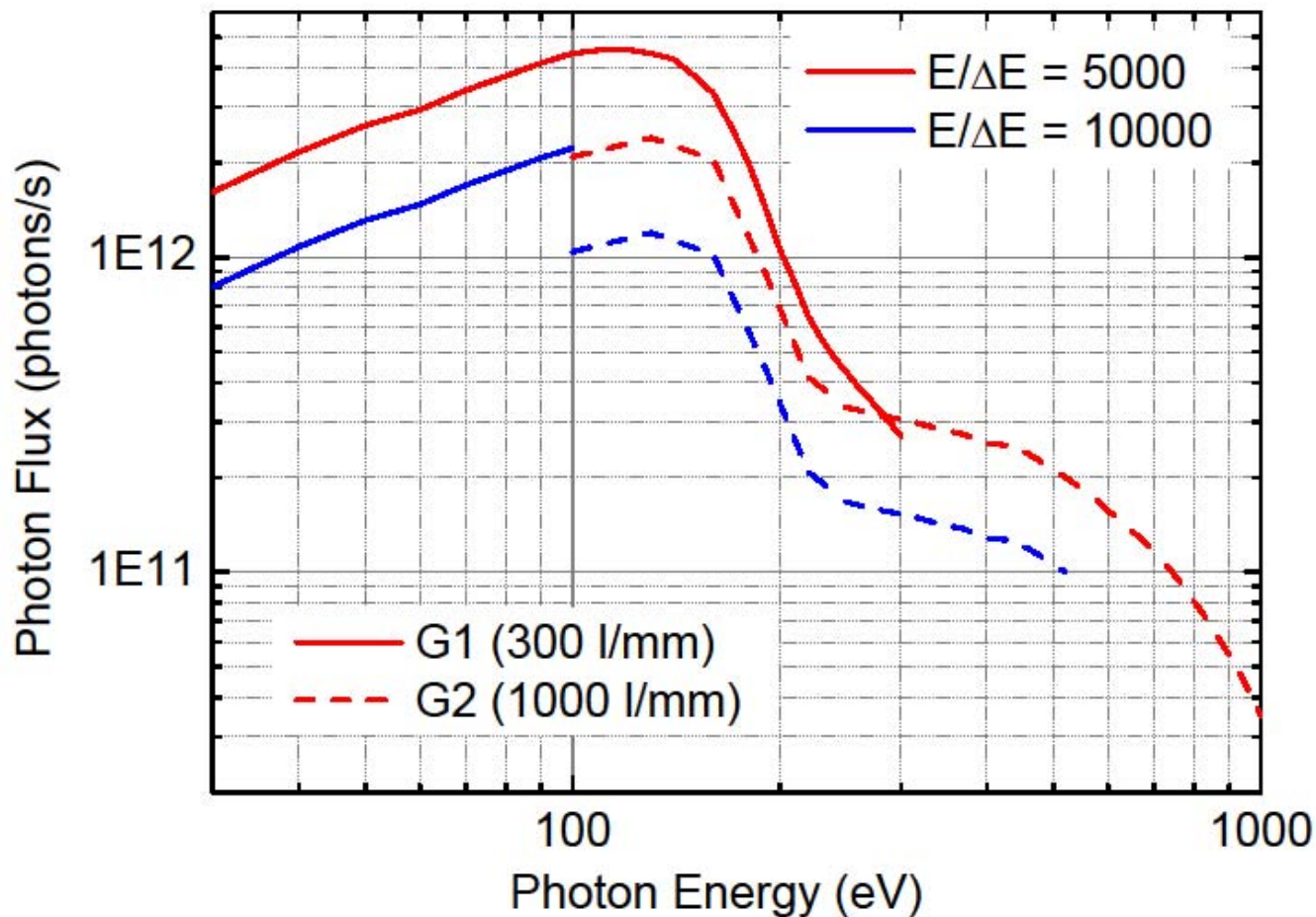
2-5. 新BL-13Aの光エネルギー分解能



☆ $h\nu = 30-700$ eV での最高分解能は30,000~7,000

[雨宮(KEK-PF)]

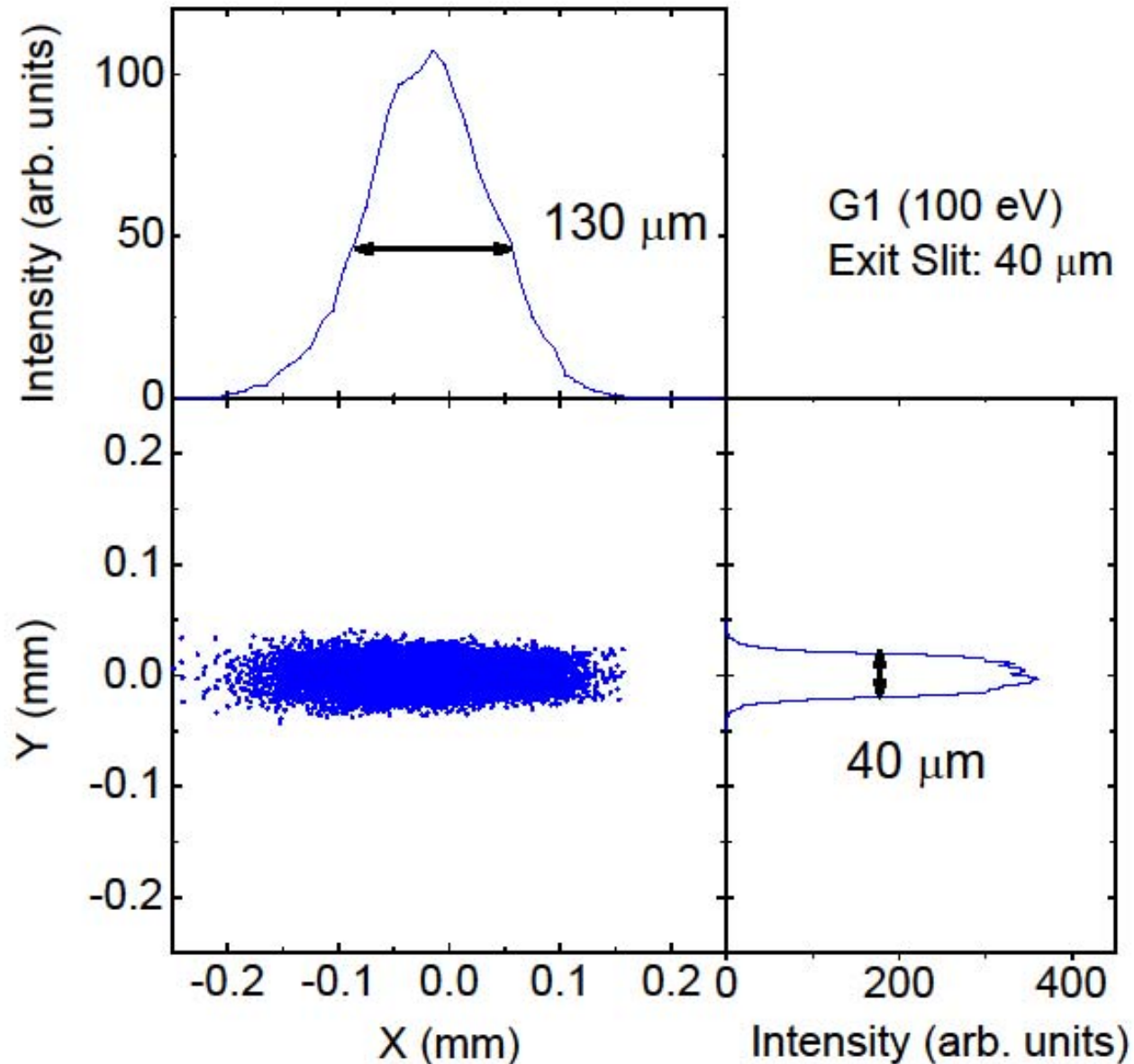
2-6. 新BL-13Aでのフォトンフラックス



☆ $h\nu = 30-700$ eVでの $E/\Delta E=10000$ におけるフォトンフラックスは
 $2 \times 10^{12} \sim 6 \times 10^{10}$ photons/s

[雨宮(KEK-PF)]

2-7. 新BL-13Aの試料位置でのスポットサイズ

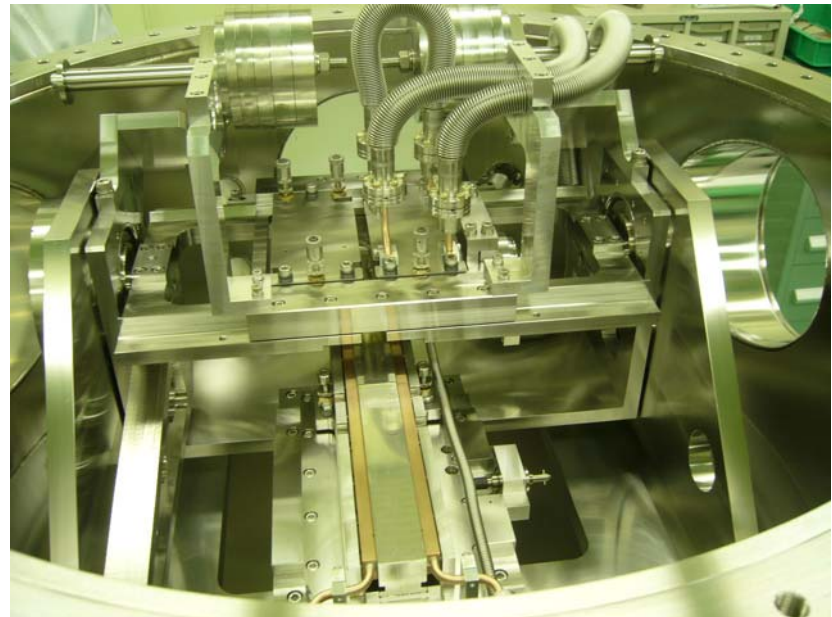


[雨宮 (KEK-PF)]



2-3. 新BL13の分光器

分光器チェンバー(2009年3月13日納入)



- ☆電解研磨、純水洗浄、クリーンルームでの組立て。
- ☆平面鏡・回折格子冷却配管にバイトンを使用。
- ☆90°Cで3週間ベーキング。
- ☆TMP、SIP、NEGにより排気、到達圧力： $<1 \times 10^{-8}$ Pa。
- ☆架台には砂をつめ、梁の上に設置して振動を低減。

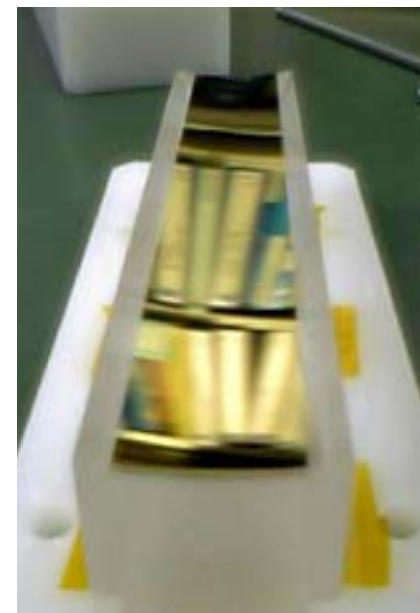


2-4. 新BL-13Aの前置集光鏡と後置集光鏡

前置集光鏡チェンバー



前置鏡(M1) 後置鏡(M3)



後置集光鏡 チェンバー



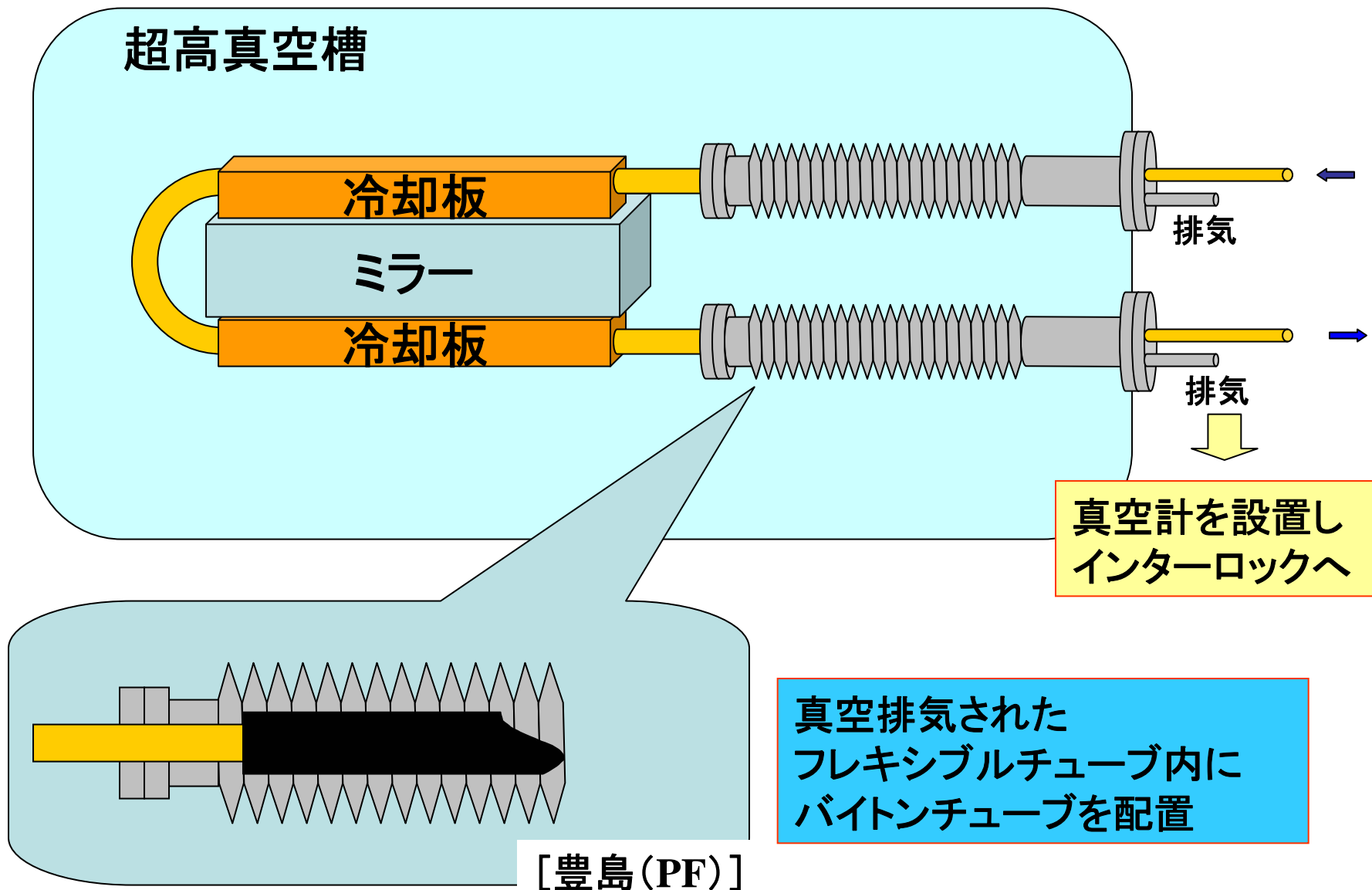
回折格子(G)基板

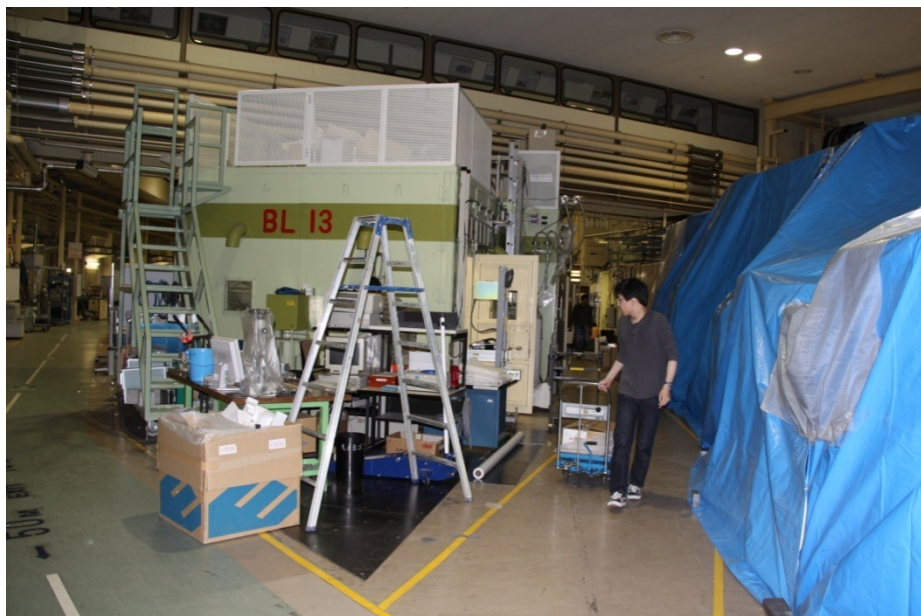


平面鏡(M2)



ミラー冷却機構 (M1, M2, G共通) ⇒ 光エネルギーの安定化





撤去前



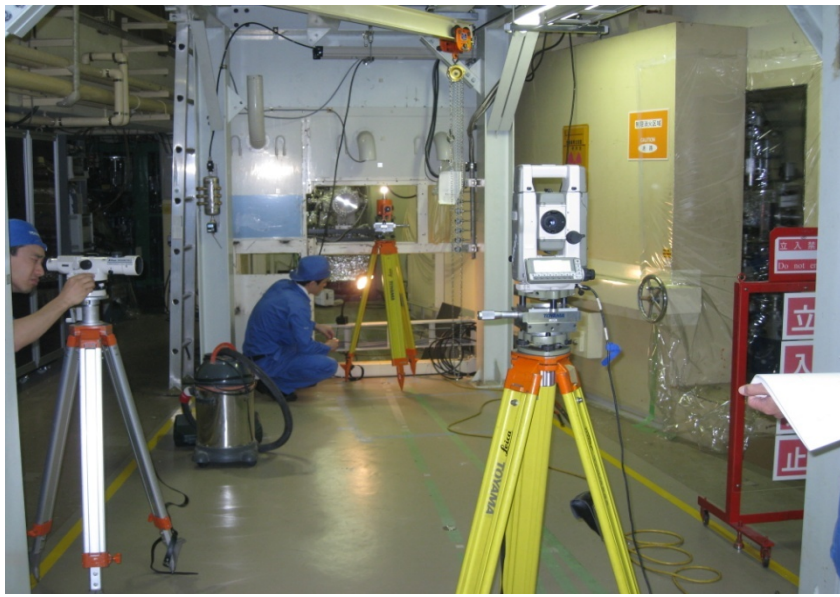
撤去後



床補修、ラック工事



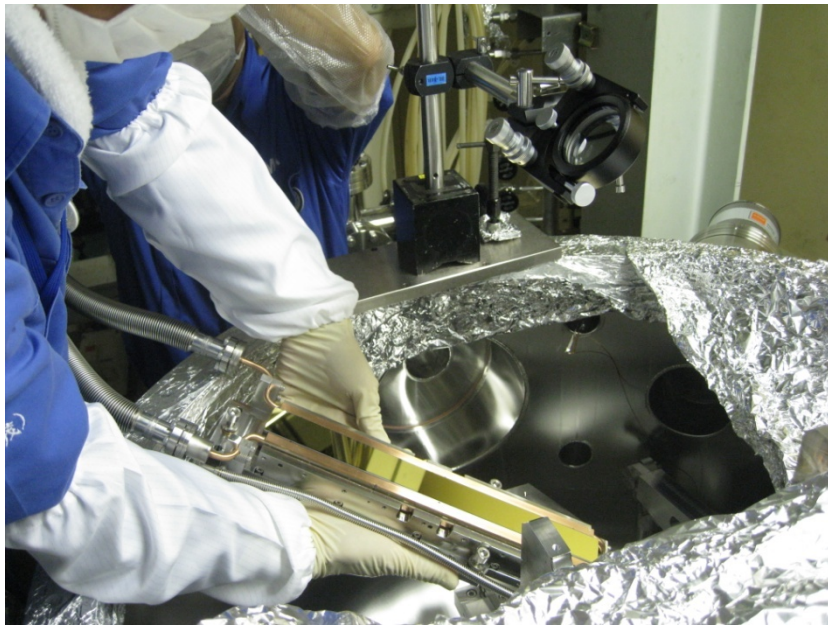
プリベーク準備



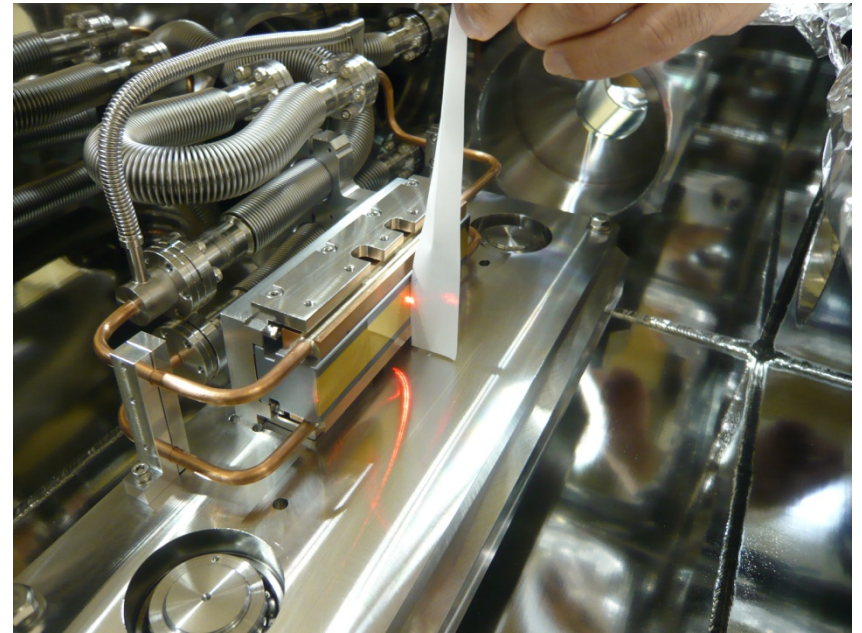
測量、墨出し



設置



光学素子取付



レーザー光によるアライメント



設置作業完了

新BL13建設メンバー



鈴木



加藤

吉村

入江

木下

平尾

川瀬

山口

木村

寺地

菊地

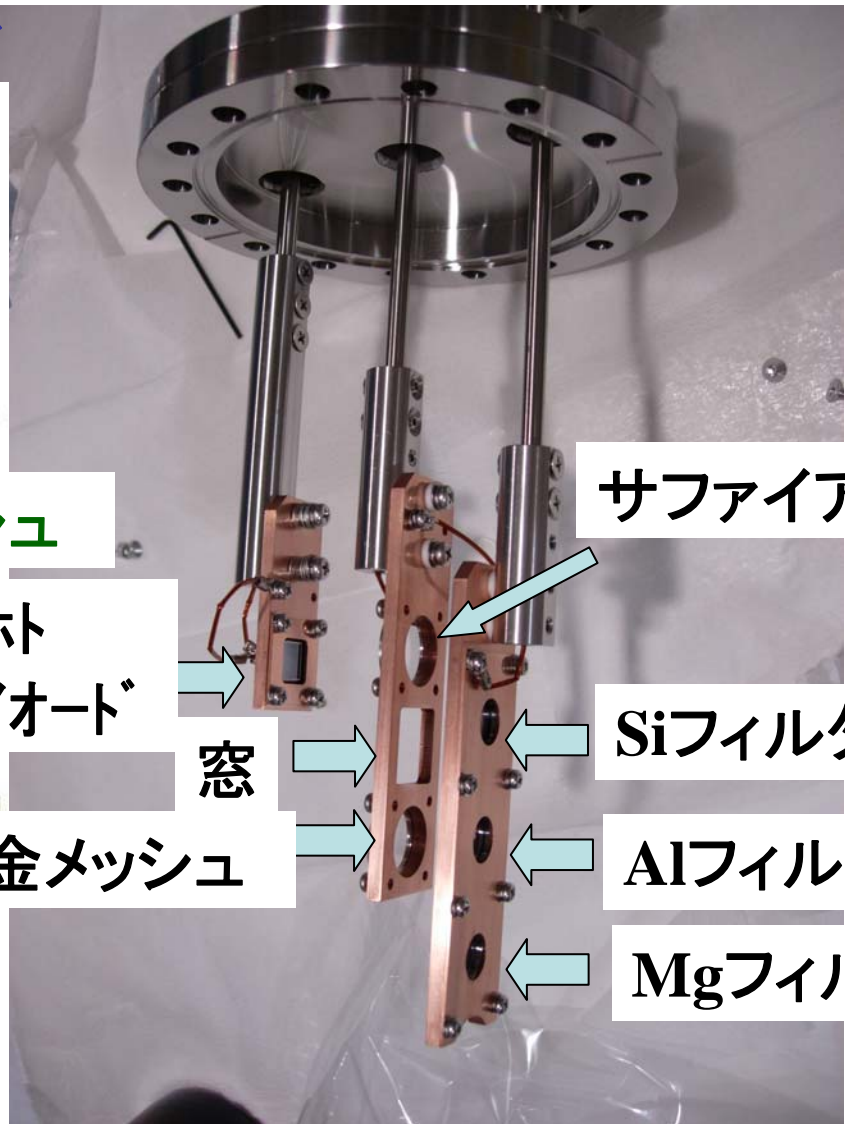
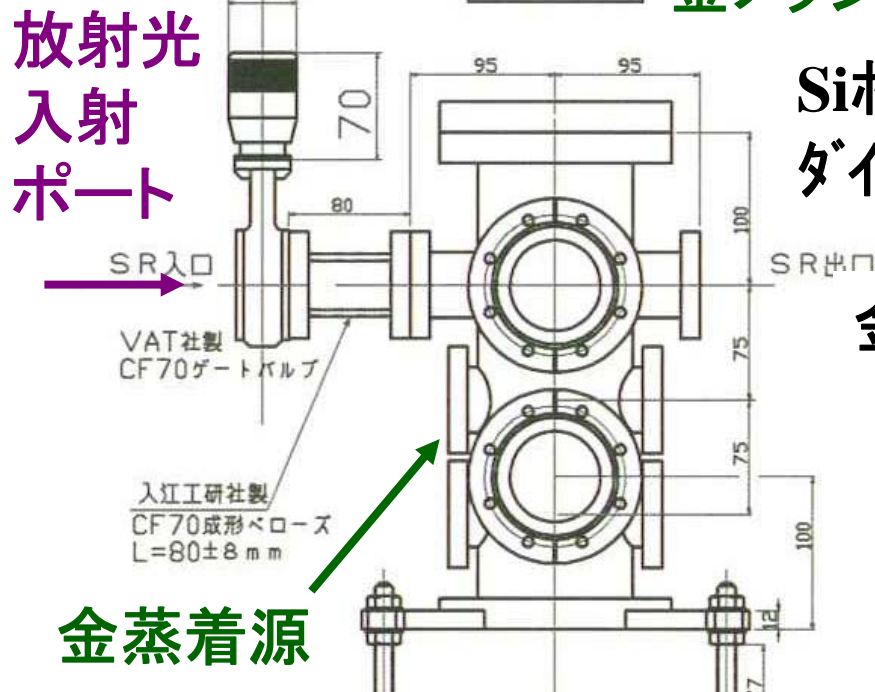
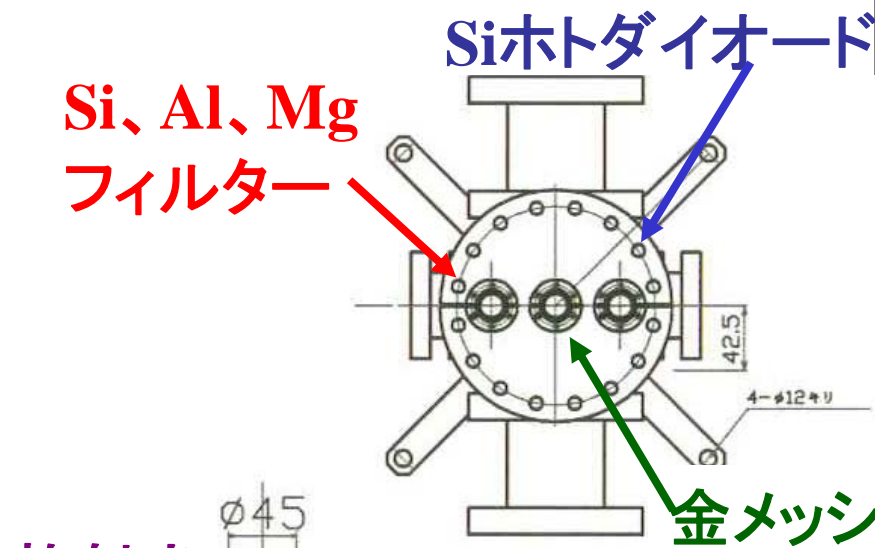
豊島

間瀬

田中

他に、伊藤、雨宮

☆光強度モニター・フィルター用超高真空槽



放射光エネルギー較正用超高真空槽

☆ 超高真空槽 (架台と排気系、真空計は再利用)

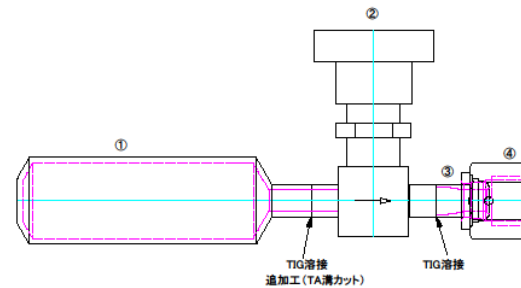
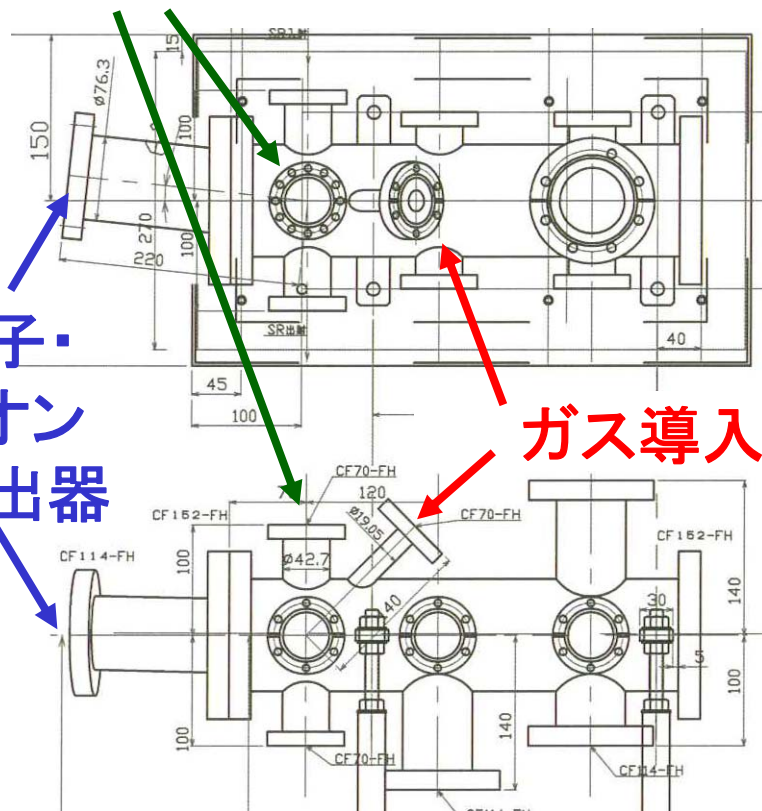
☆ ガスシリンダー (Xe、N₂、O₂などを設置)

☆ 試料マニピュレーター

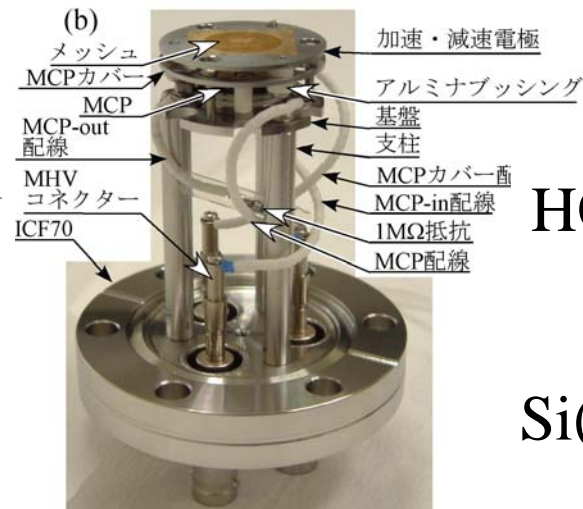
HOPG、Si試料マニピュレーター

電子・イオン検出器

ガス導入



☆ 電子・イオン検出器



HOPG

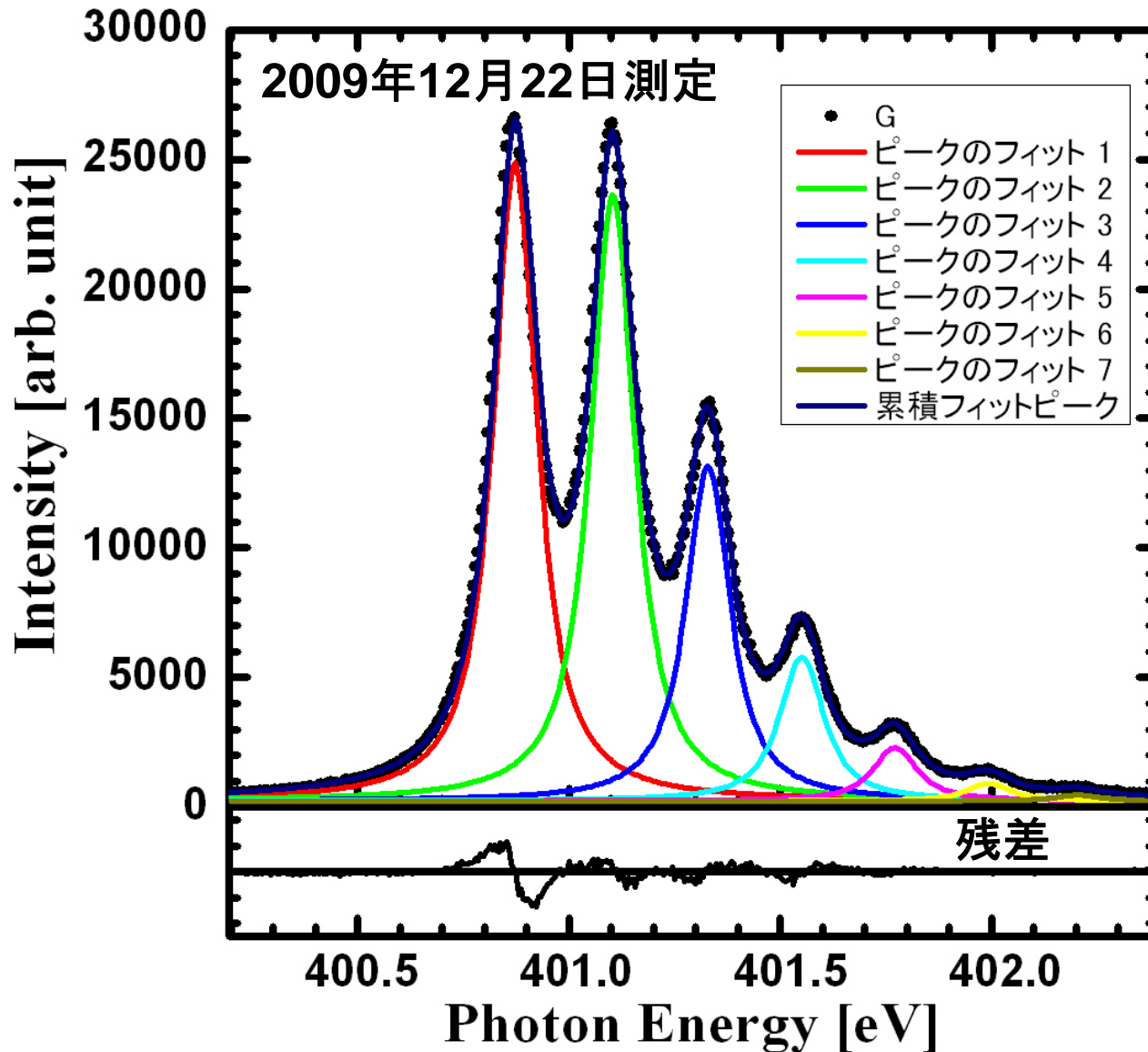
Si(111)



ビームライン調整の現状

- エネルギー領域：30～1,000 eV
⇒ 30～1,200 eV、光エネルギー校正は必要。
- 最高分解能：30,000～7,000
⇒ やや悪い。出射スリットが設計値より50mm上流。
- 光フラックス： 10^{12} ～ 10^{10} photons/s
⇒ 計算値より1桁少ない。4象限スリットが不調でアンジュレーター光の上下を取り込みきれていない。
- 試料上のスポットサイズ約 $130\ \mu\text{m} \times 40\ \mu\text{m}$
⇒ スポットサイズ測定装置が不調で正確には測れていないがほぼ達成できている。
- 光エネルギーの安定性
⇒ $h\nu=244\text{eV}$ での長期ドリフト、短期ドリフトは0.02eV以内
- C K吸収端における光強度の低下
⇒ 15%程度低下する。
有機試料のスペクトルは比較的きれいに測定できる。

光エネルギー分解能測定1



解析: 足立純一 (KEK物構研)

回折格子:

1000本/mm

N_2 導入圧力:

7.0×10^{-5} Pa

出射スリット幅:

30 μ m

$\Gamma_L = 113$ meV [1]

$\Gamma_G = 39.96$ meV

$E/\Delta E = \sim 10,000$

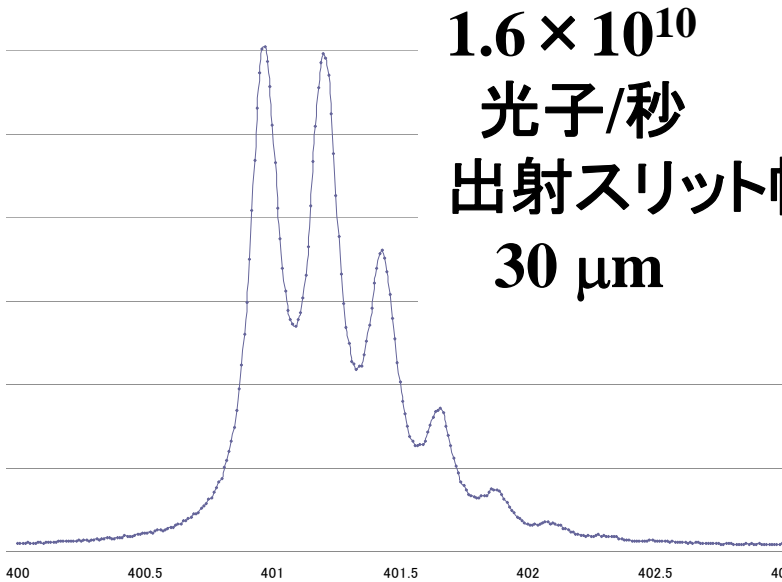
(計算値: $\sim 12,000$

より若干悪い。)

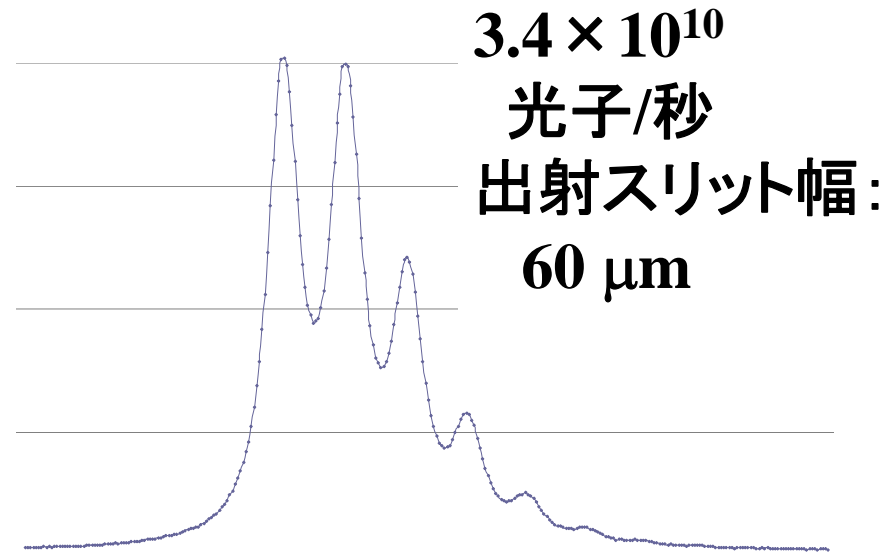
[1] M. Kato et al.,
J. Electron Spectros.
Relat. Phenom.
160 (2007) 39.

光エネルギー分解能と光量

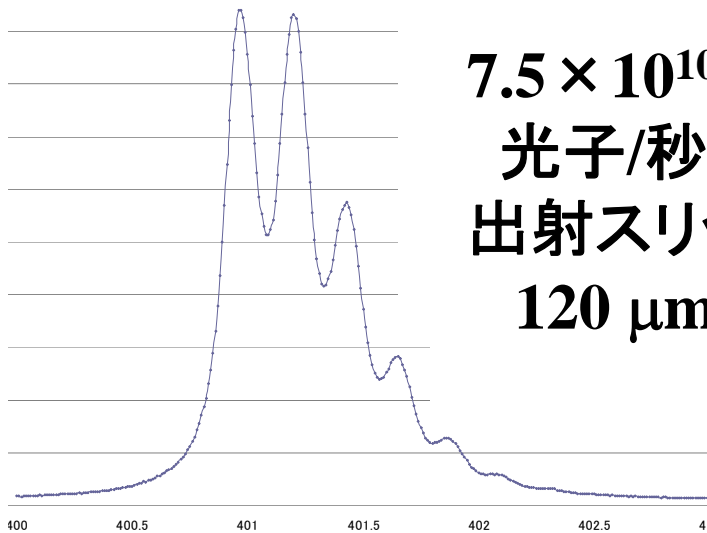
回折格子: 1000本/mm
Gap: 161.7mm、



1.6×10^{10}
光子/秒
出射スリット幅:
30 μm



3.4×10^{10}
光子/秒
出射スリット幅:
60 μm

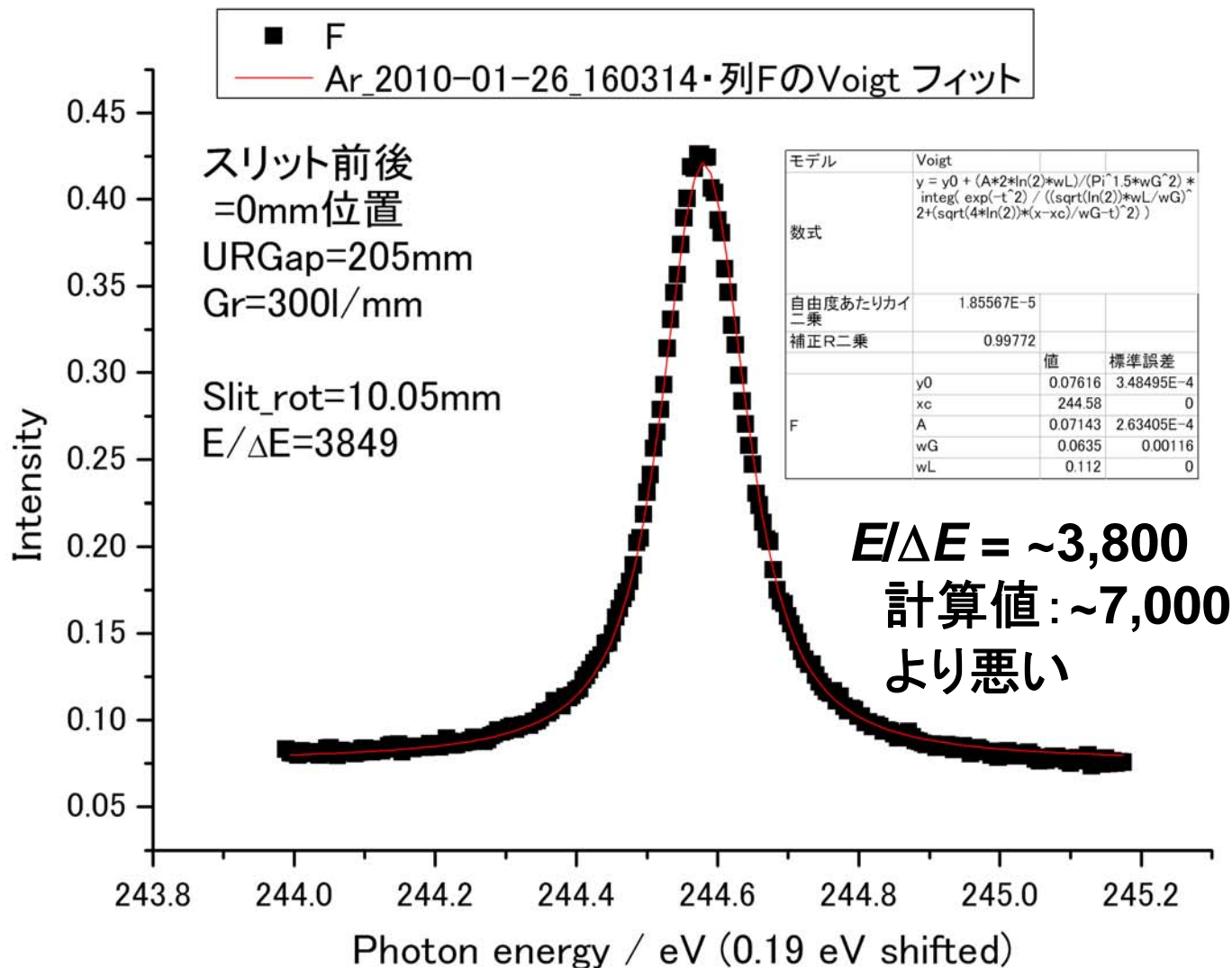


7.5×10^{10}
光子/秒
出射スリット幅:
120 μm

実験の目的に合わせて
必要な分解能と光強度を
決定し、出射スリットの
開口幅を設定すること。
ただし、ある幅 ($h\nu=400\text{eV}$
では30 μm)より狭めても
分解能は良くない。

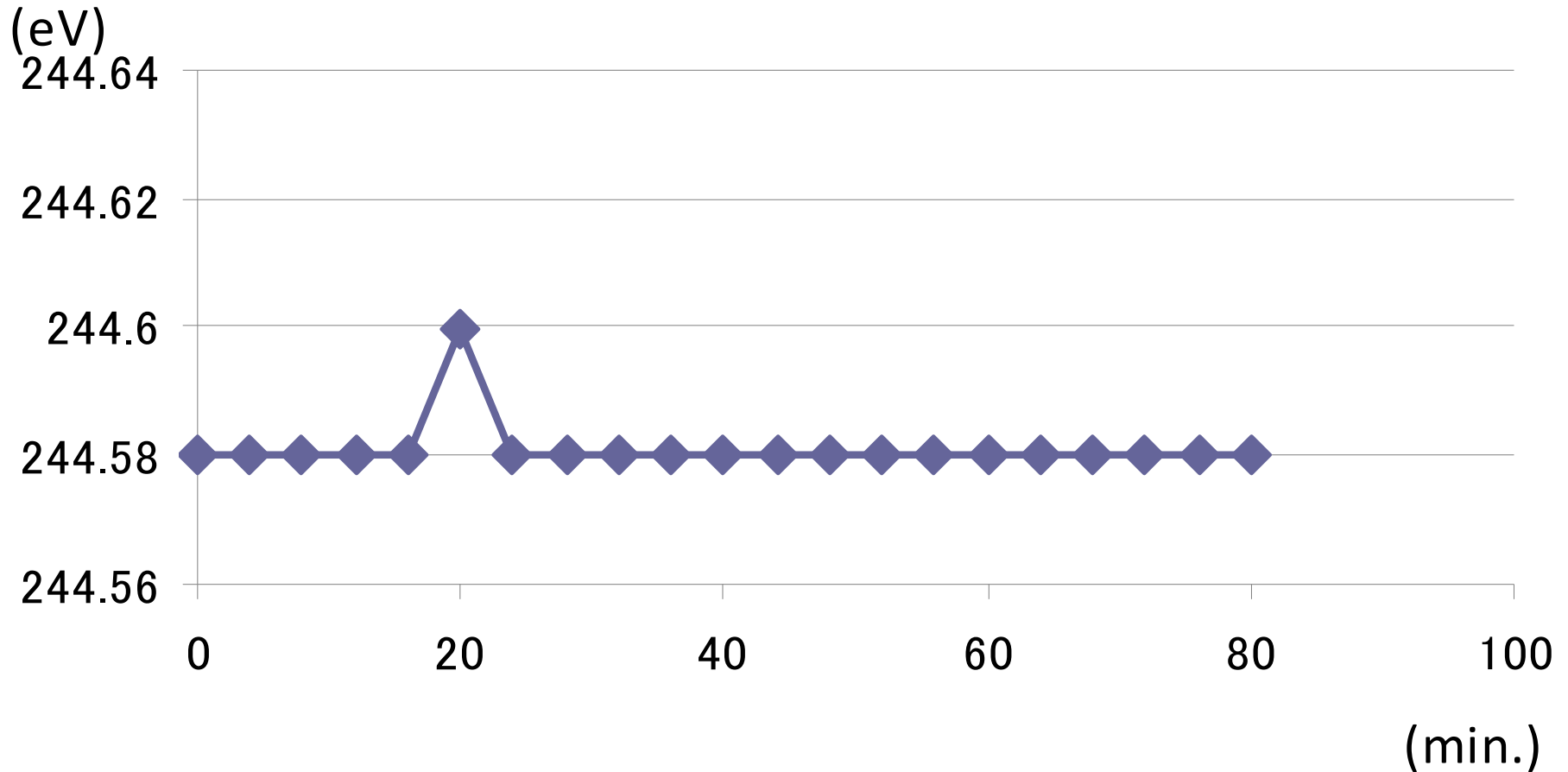
光エネルギー分解能測定2 ($h\nu = 244.1$ eV)

2010年1月26日測定、出射スリット幅: 30 μm 、回折格子: 300本/mm



短期波長安定性

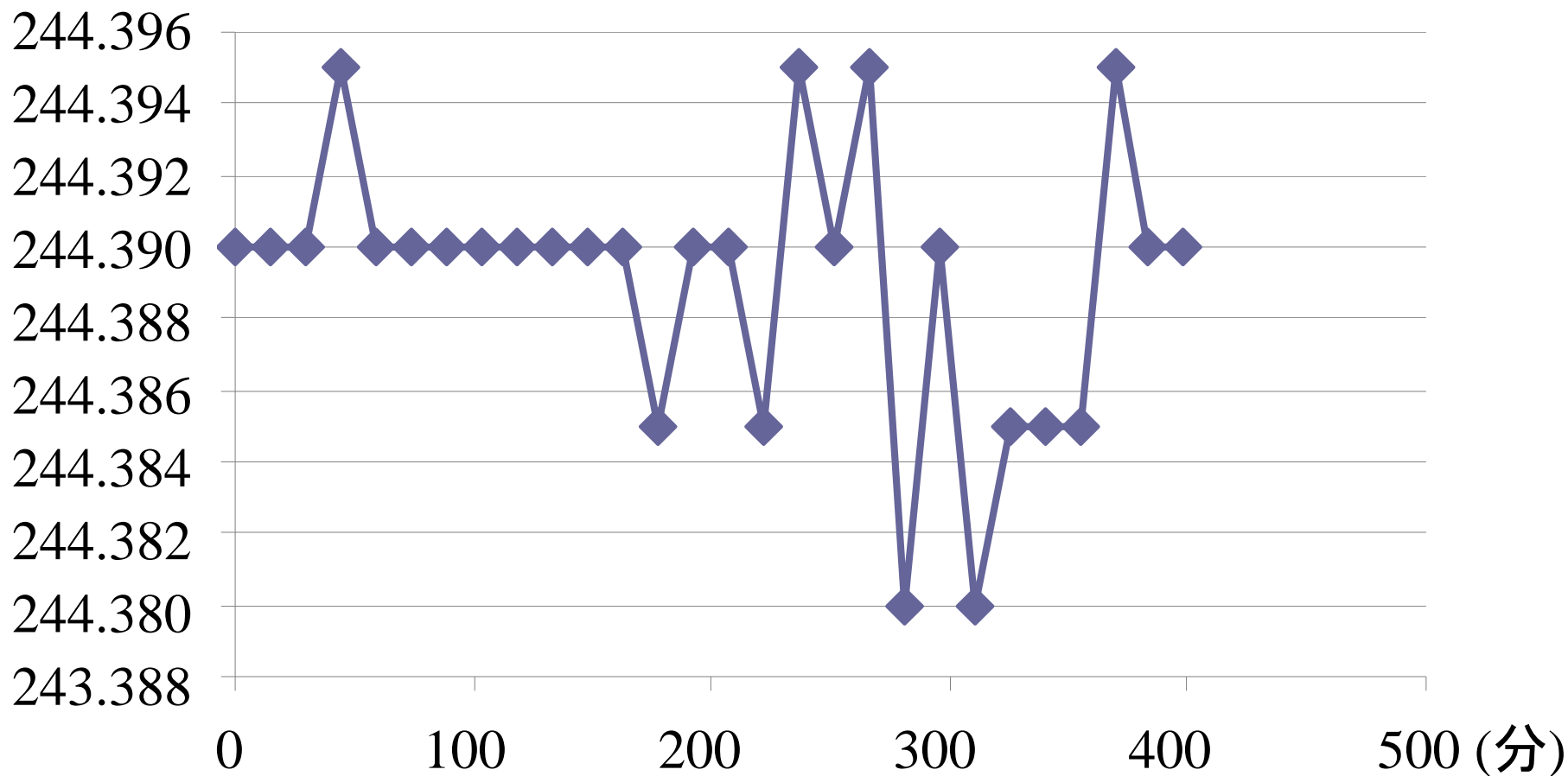
Gap 205 Gr 300ℓ/mm



Gap値 205 mmでMBSを開いた直後のデータ

$h\nu = 244.1$ eV、MBSをあけた直後で0.02 eV以内で安定

(eV) **波長安定性** Gap141.7 Gr 300ℓ/mm

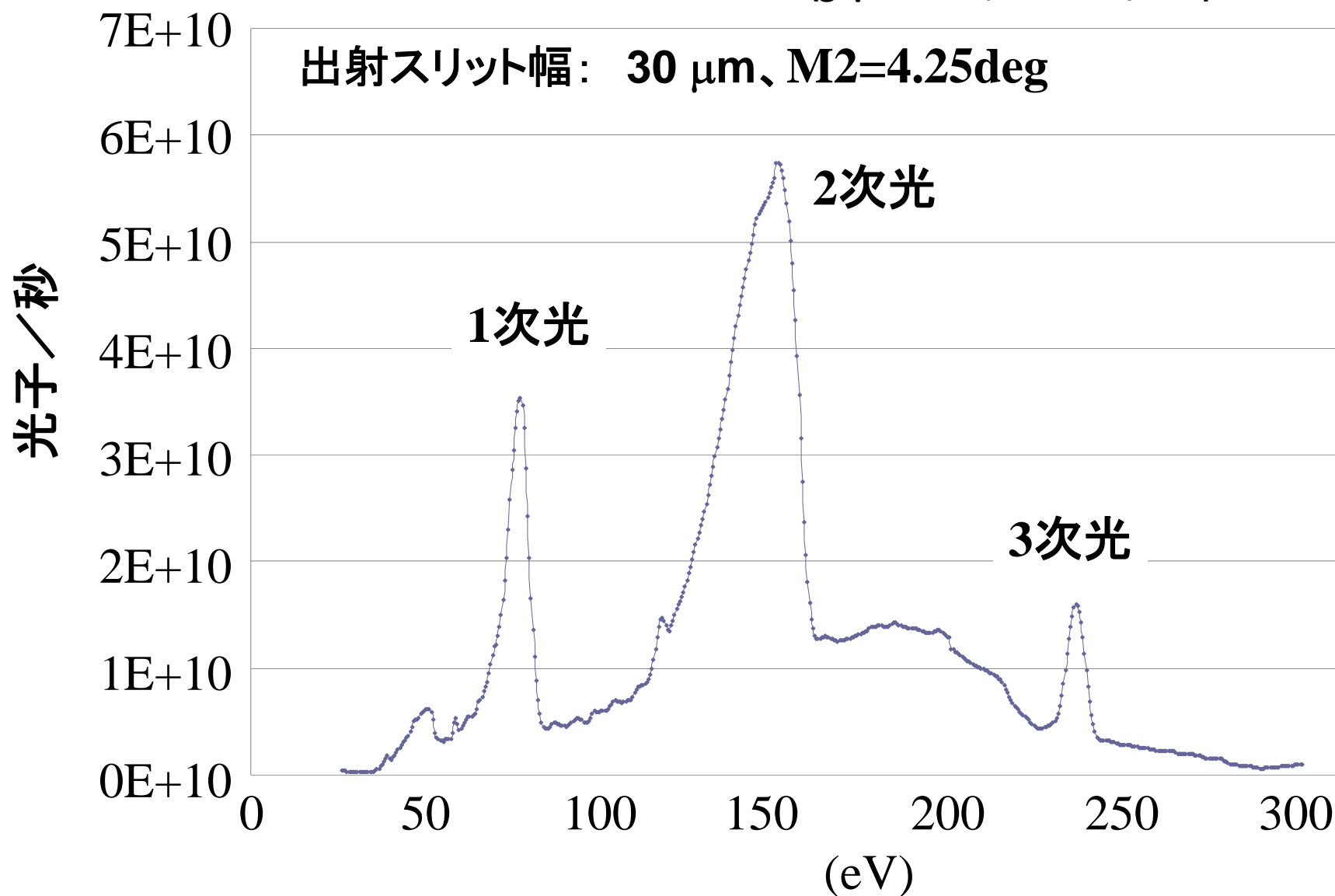


**ギャップ値141.7mm、 $h\nu = 244.1$ eV、400分間において
0.02 eV以内で安定**

光強度測定1 (26~300 eV、回折格子300本/mm)

アンジュレータースペクトル(gap140mm,300lines/mm)

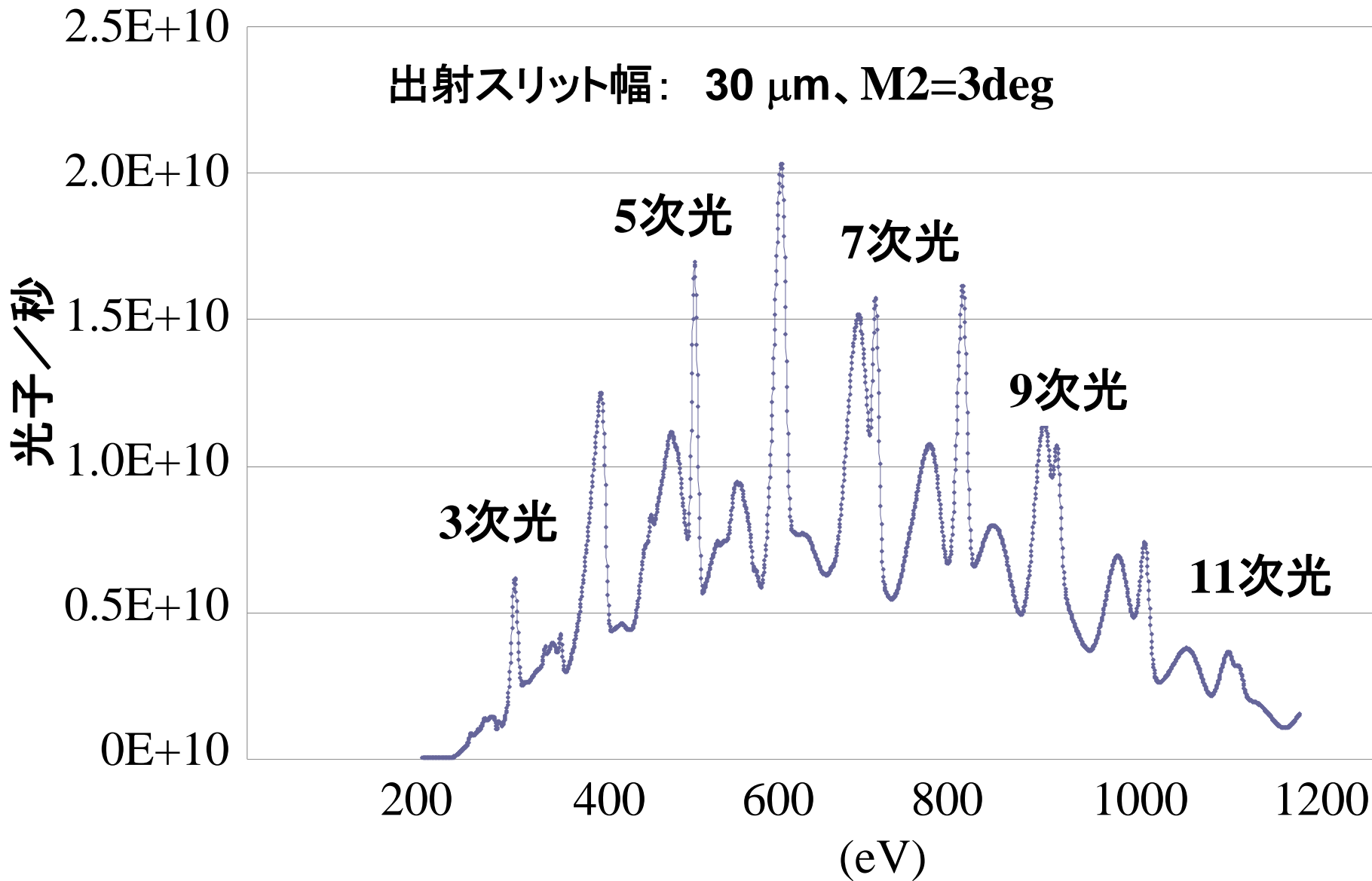
出射スリット幅: 30 μm 、M2=4.25deg



光強度測定2(200~1200 eV、回折格子1000本/mm)

アンジュレータースペクトル(gap150mm,1000lines/mm)

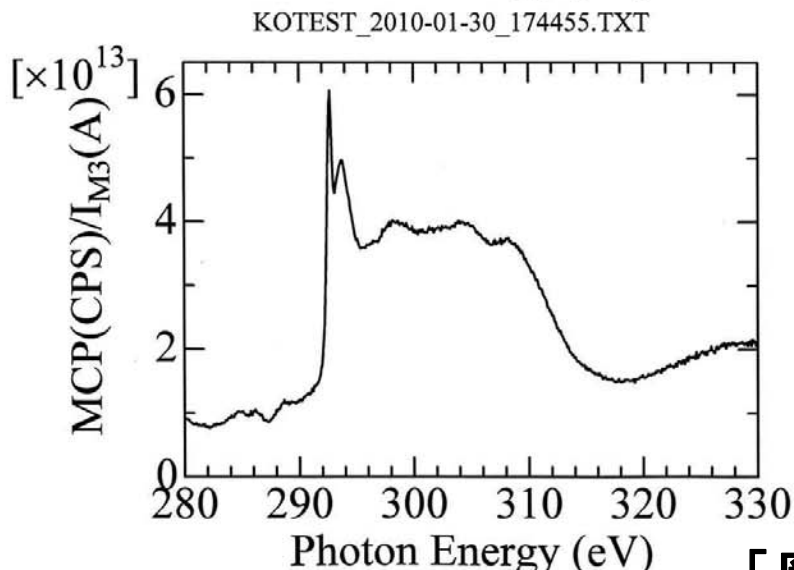
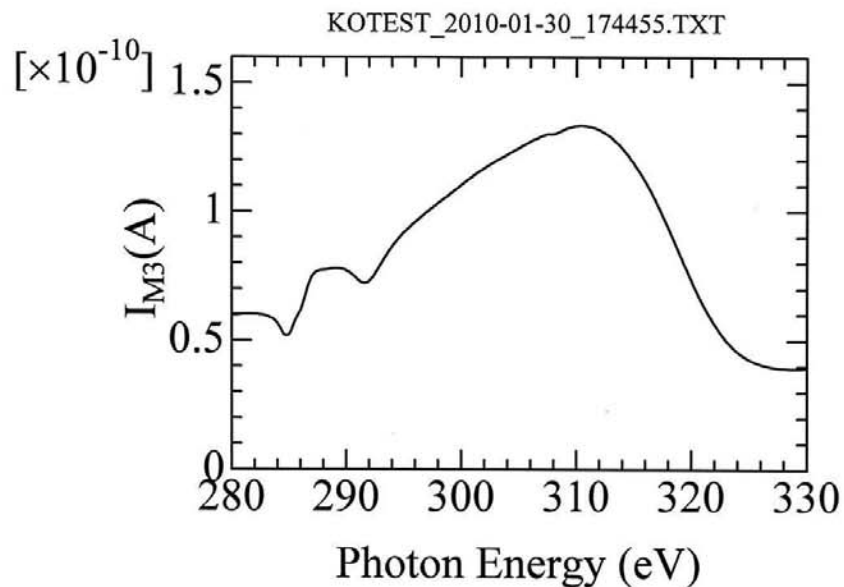
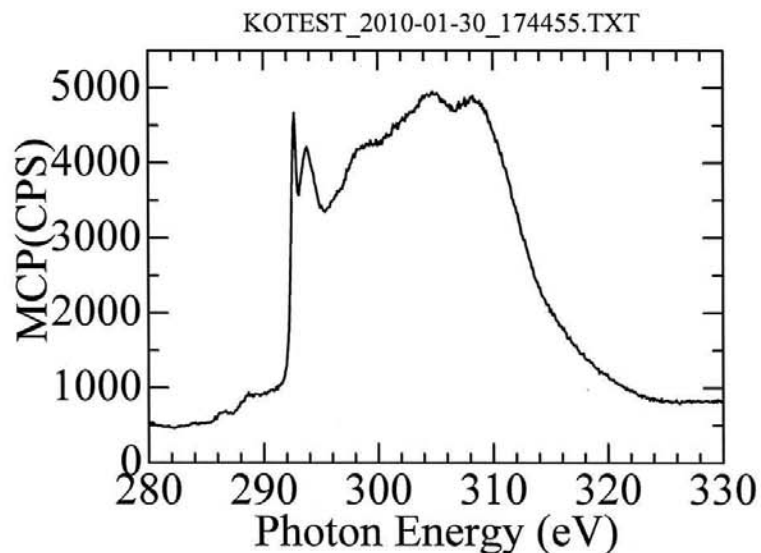
出射スリット幅: 30 μm 、M2=3deg



炭素吸収端(285 eV)での光量の低下

C1s NEXAFS of HOPG

KOtest_2010-01-30_174455_MCP_M3.SMP



BL13A SB
 $\alpha=0^\circ$
Slit=50 μ m
 $HV_{MCP}=2.0$ kV
Estart=280eV,
Eend=330eV
Estep=0.1eV
DwellTime=5sec

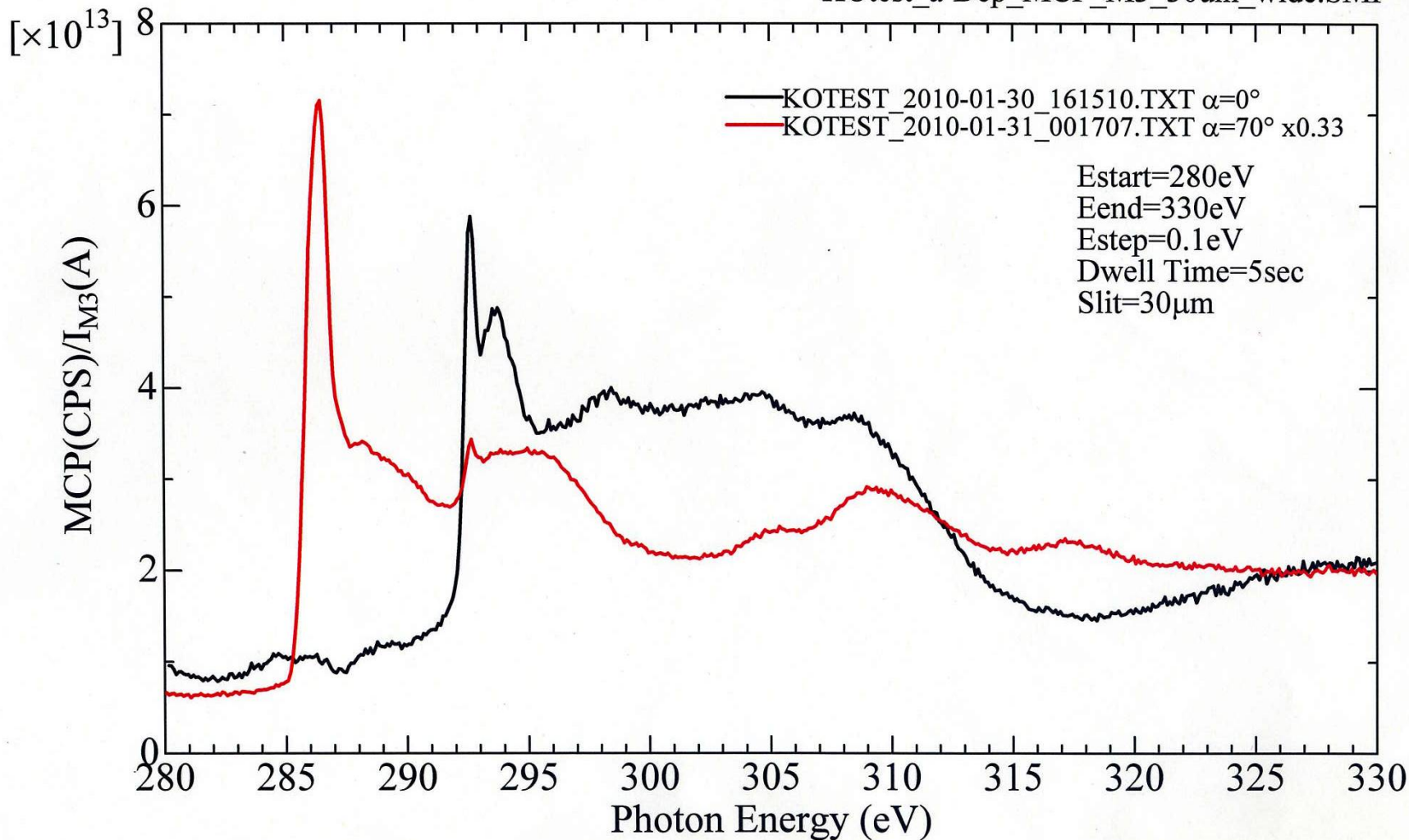
after Au evaporation

[奥平(千葉大)]

高配位グラファイトのC-K吸収端X線吸収スペクトル

C1s NEXAFS of HOPG

KOtest_a-Dep_MCP_M3_30um_wide.SMP

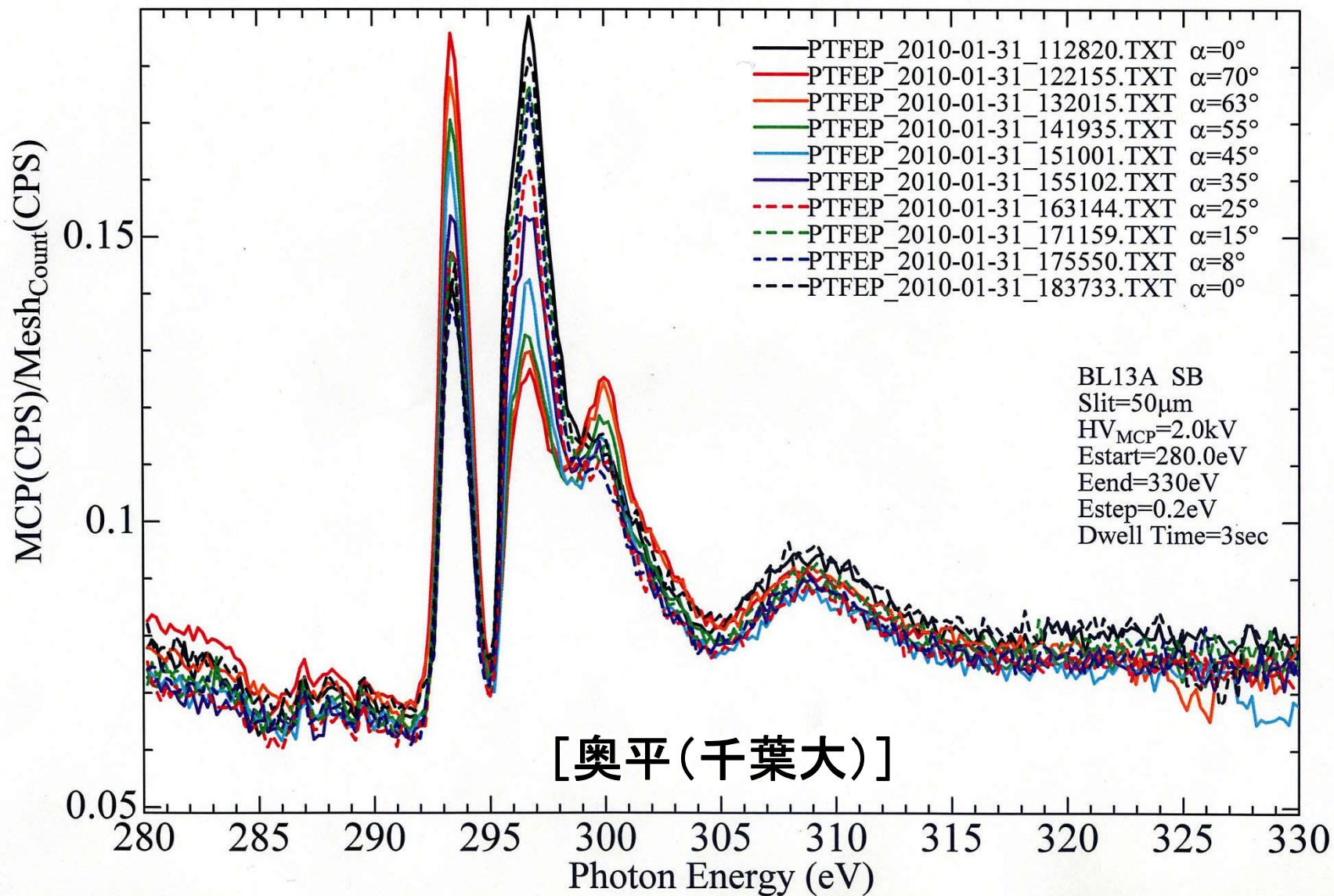


[奥平(千葉大)]

試料(蒸着テフロン)のC-K吸収端X線吸収スペクトル

Polarization Dependence of C1s NEXAFS of PTFE (parallel)

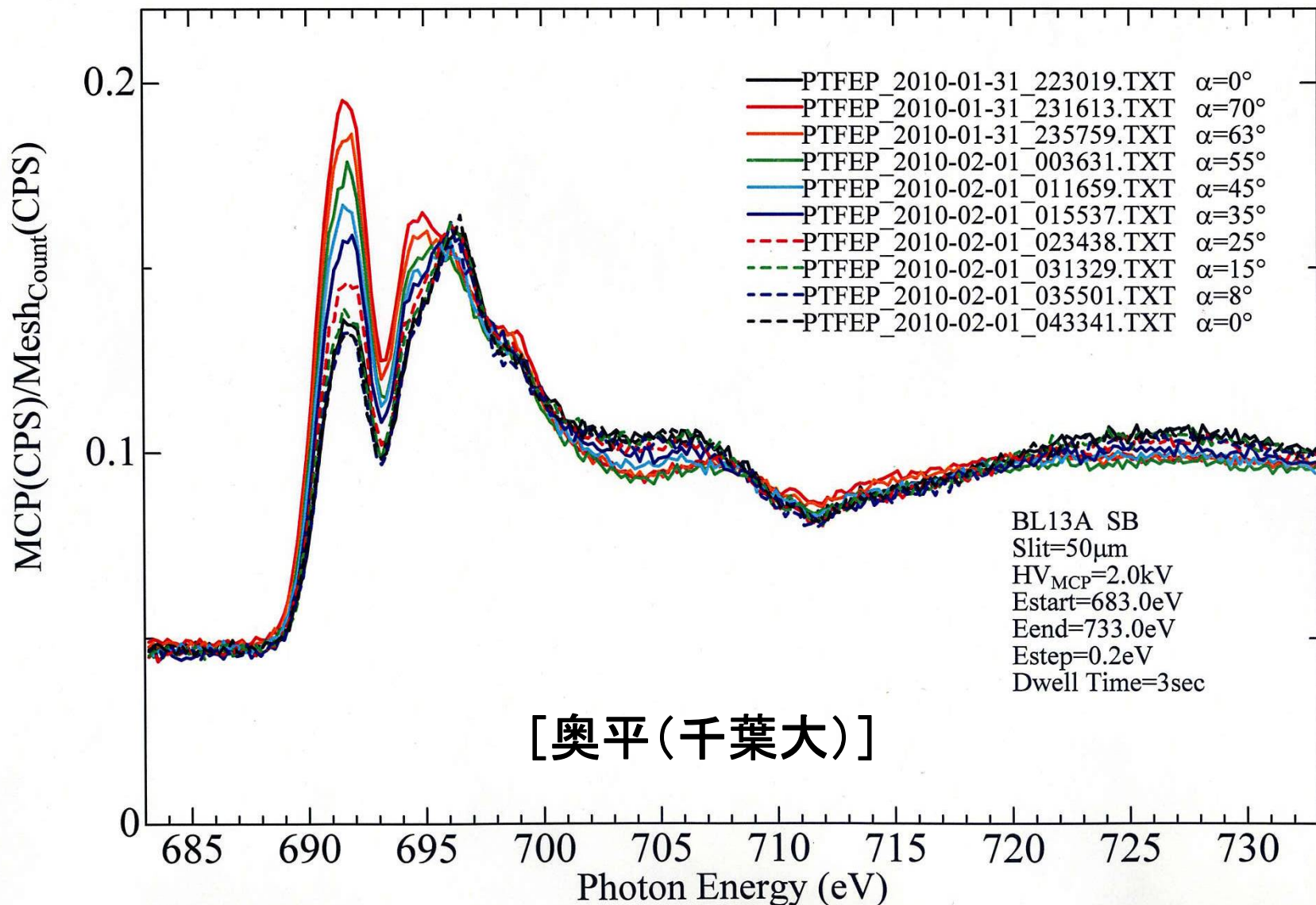
PTFEP_a-dep_C1s_MCP_I0(Count).SMP



試料(蒸着テフロン)のF-K吸収端X線吸収スペクトル

Polarization Dependence of F1s NEXAFS of PTFE (parallel)

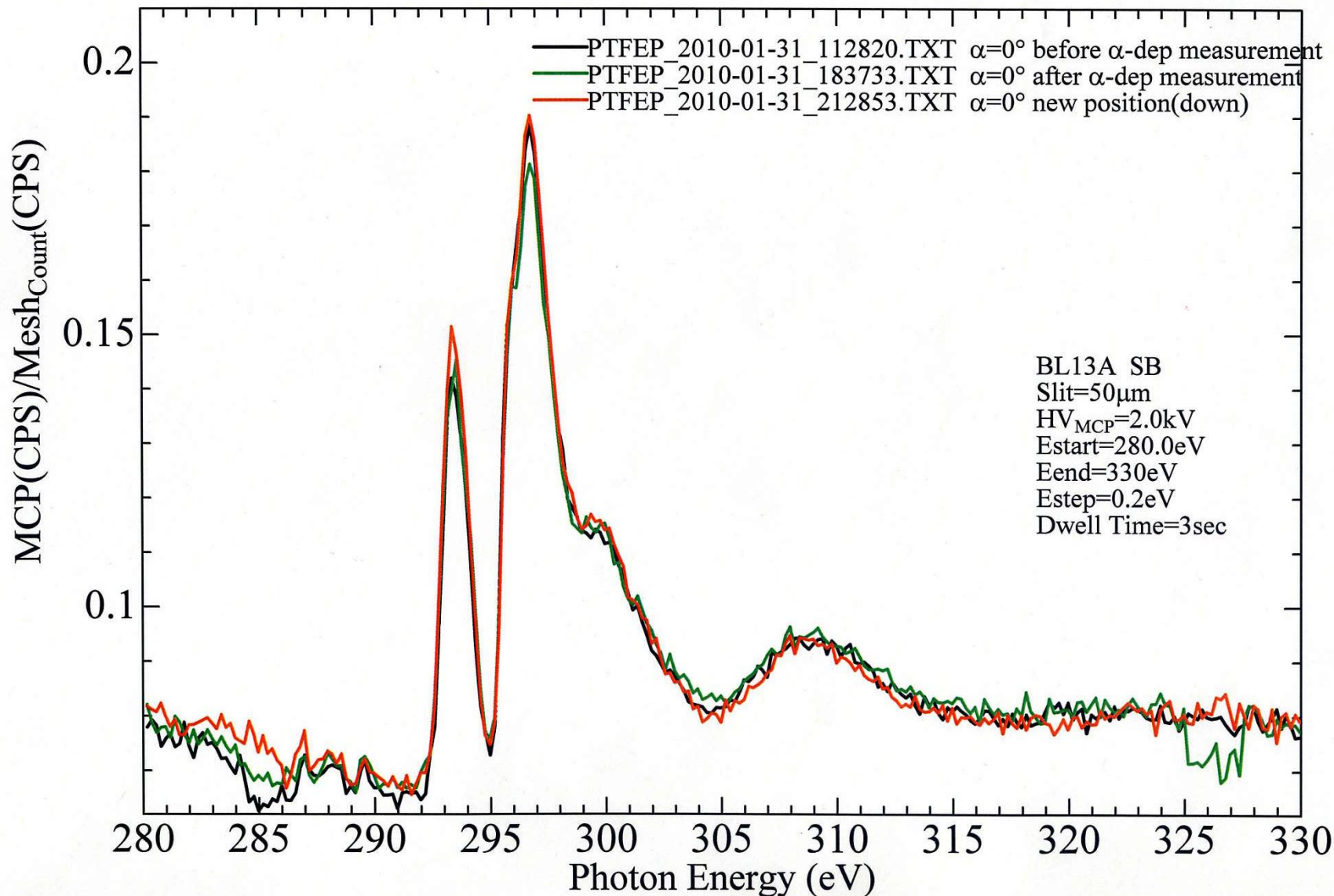
PTFEP_a-dep_F1s_MCP_I0(Count).SMP



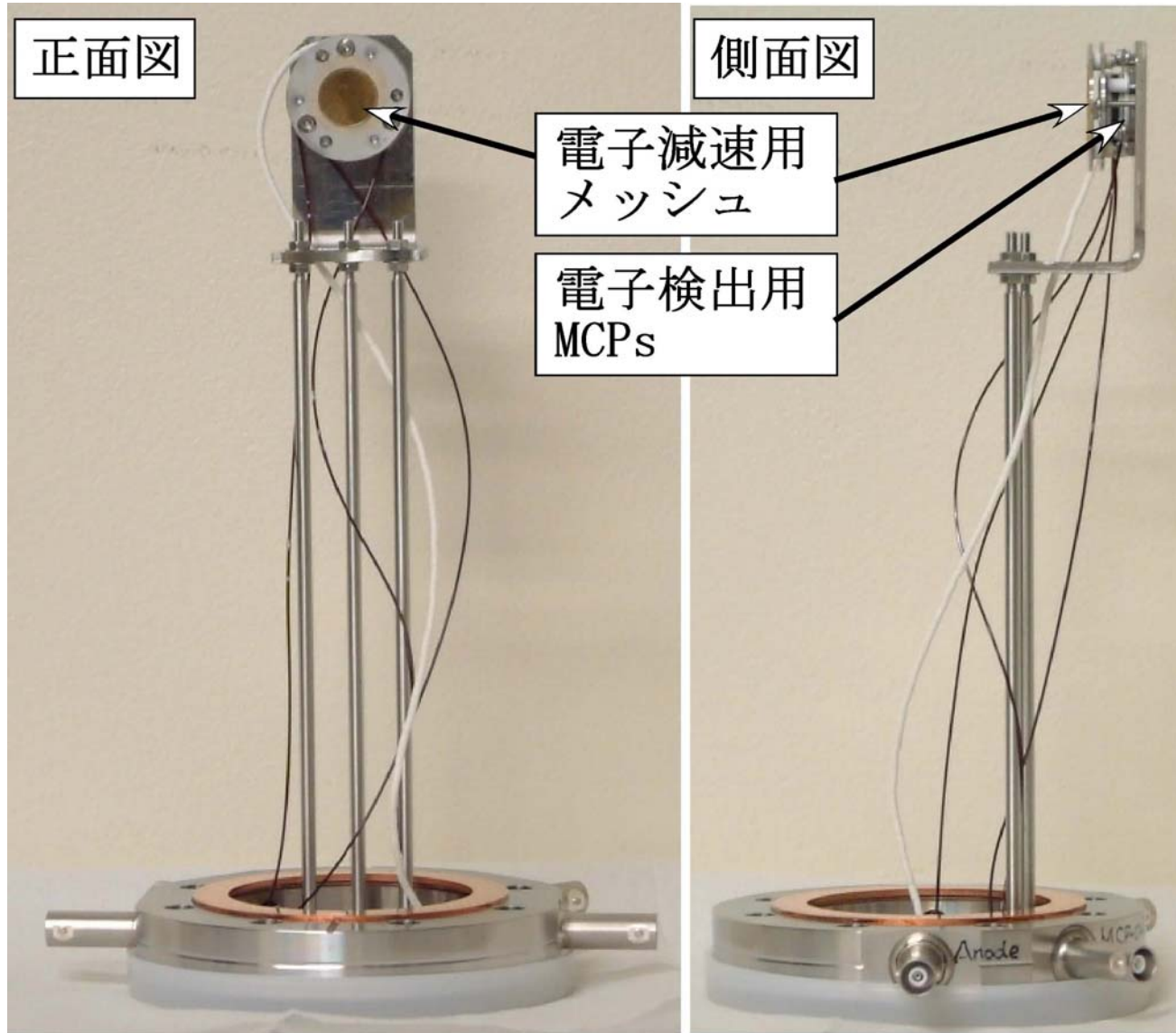
試料(蒸着テフロン)の損傷[奥平(千葉大)]

C1s NEXAFS of PTFE (parallel)

PTFEP_a-0_MCP_I0(Count).SMP



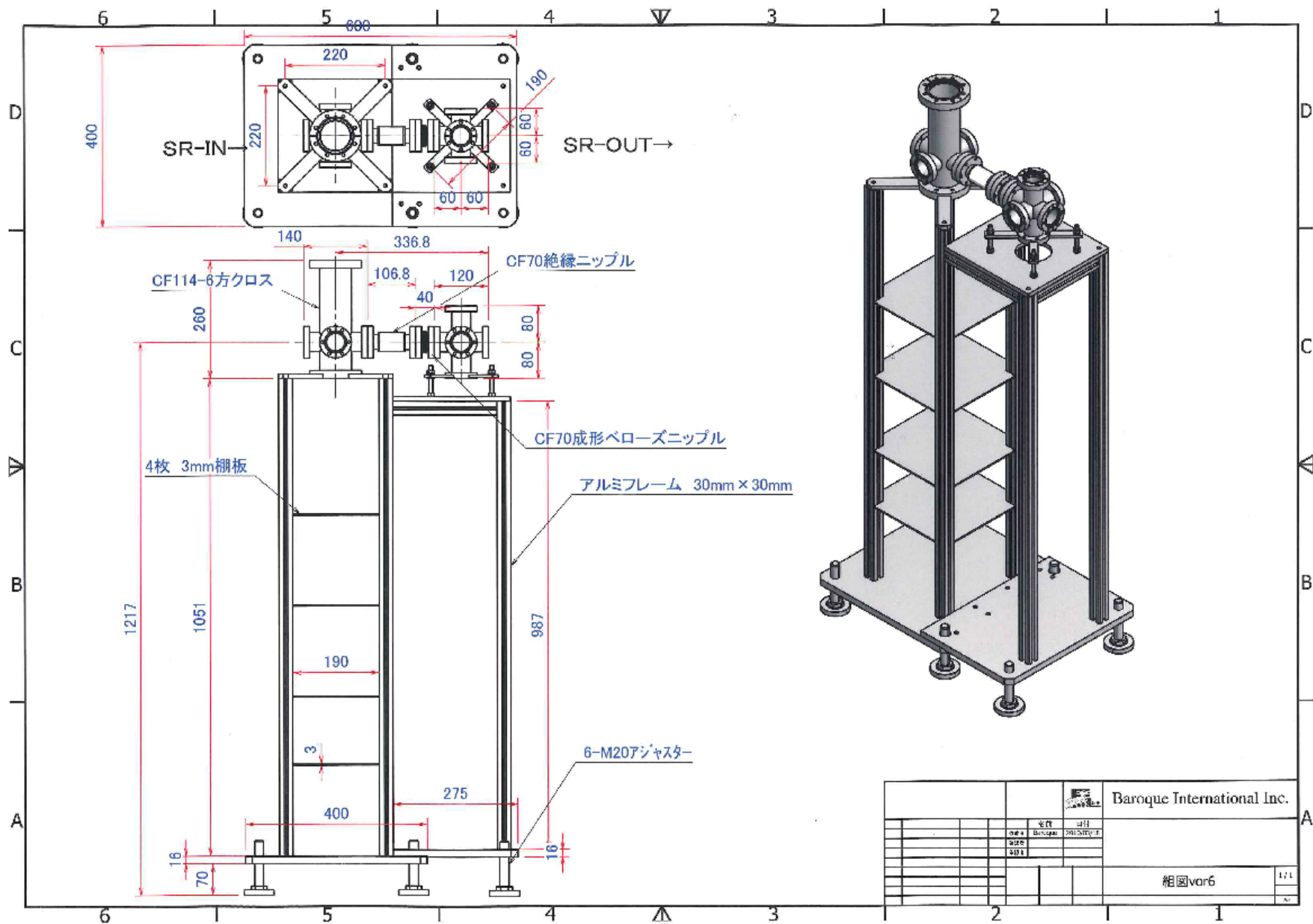
SES200光電子分光装置内に設置した NEXAFS測定用MCP



第2後置鏡の設置(2010年4月5日)

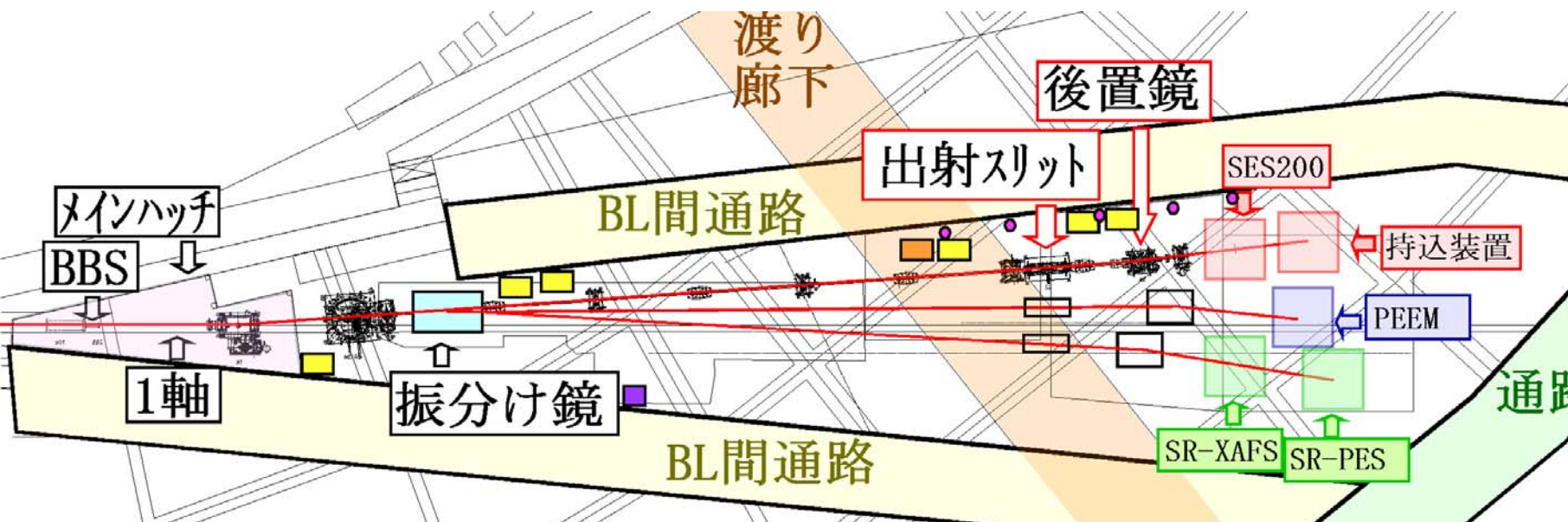


E1とF2の間に設置した差動排気・絶縁チェンバー



今後の課題

1. ビームラインの更なる調整が必要
2. 水冷可動4象限の更新
3. M2とGの同時掃引
5. アンジュレーターギャップと分光器の同時掃引
6. 第2ブランチ、第3ブランチの建設



7. 可変偏光アンジュレーターの導入