



軟X線ビームライン BL13の建設

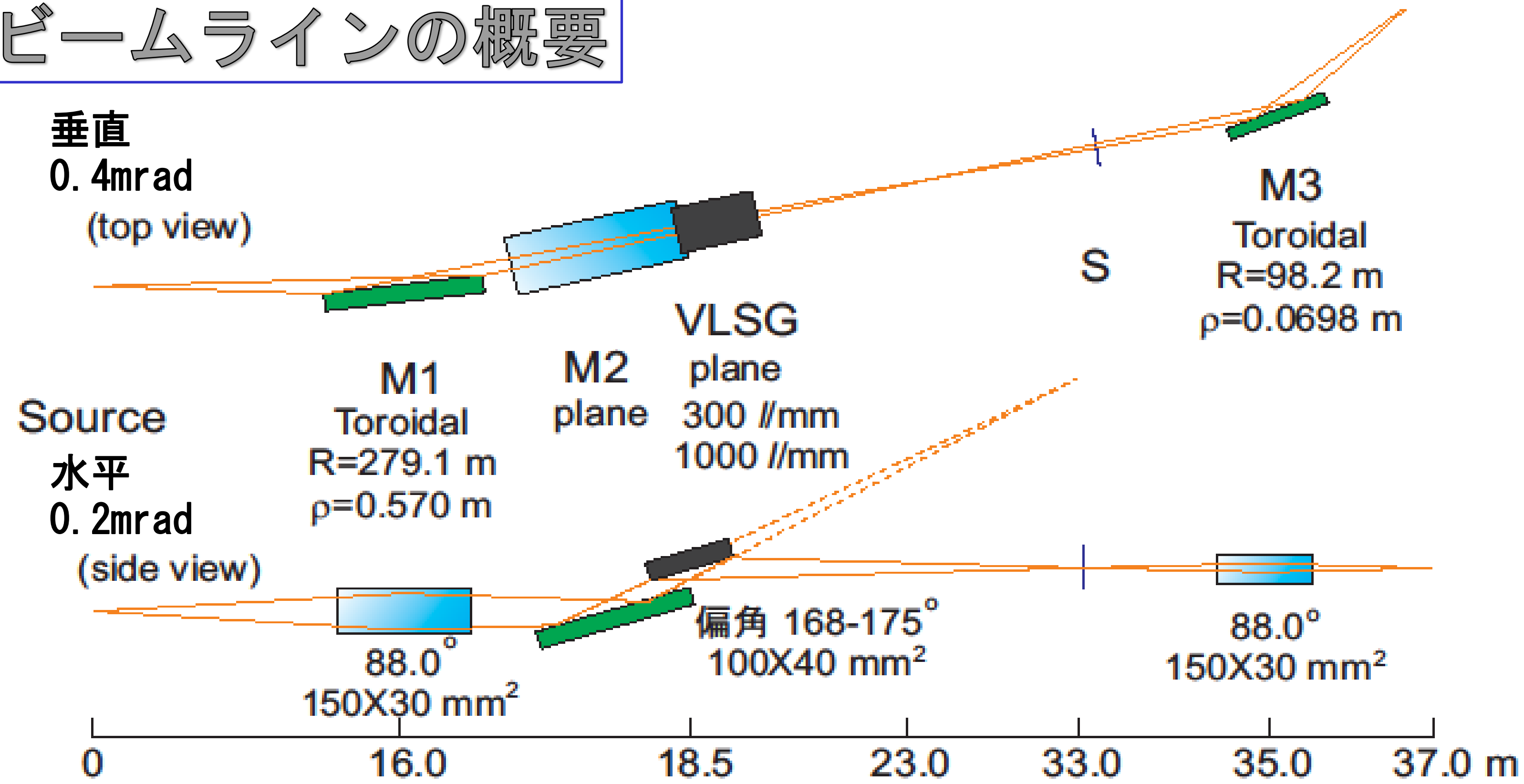


豊島章雄，田中宏和、菊地貴司，間瀬一彦
高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 放射光科学研究施設

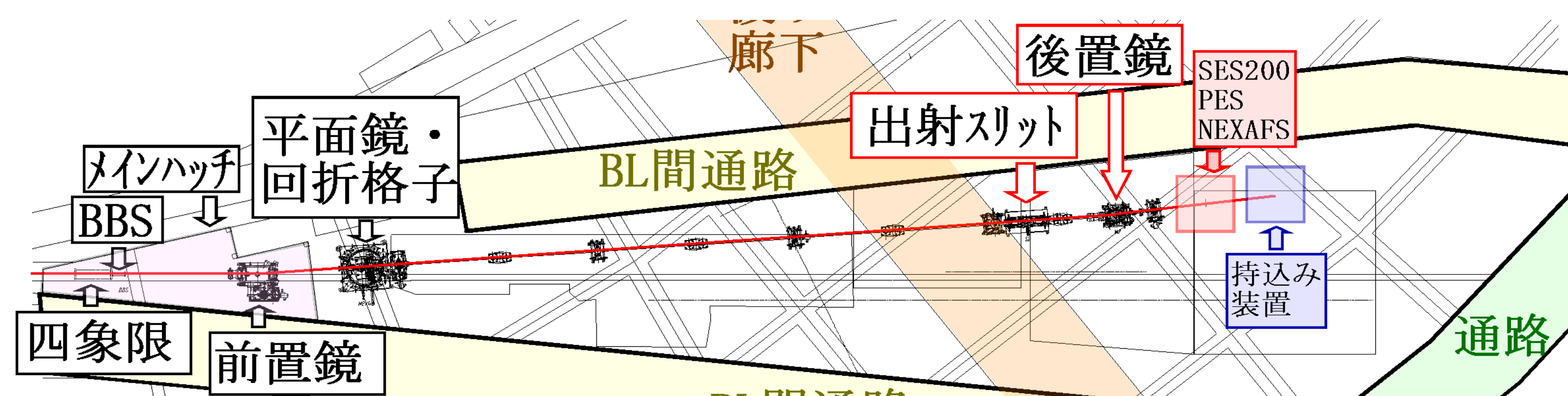
概要

高エネルギー加速器研究機構 放射光科学実験施設では、2.5GeVの電子・陽電子蓄積リングから放射される放射光を用いて様々な実験が行われている。今回報告するBL13は、電子・陽電子蓄積リングの直線部分に設置された挿入光源(アンジュレーター/マルチポールウィグラー)からの放射光を利用して実験を行うビームラインであり、従来から放射光利用が行われている。今回このBL13の再構築を行い、老朽化した既設ラインを撤去し、新たに高輝度VUV/SX領域専用のビームライン(30~1000 eV)として入射スリットレス可変偏角型分光器を設置する再構築を行った。今回は、この新ビームラインを建設・立ち上げ調整を行った経過について報告する。

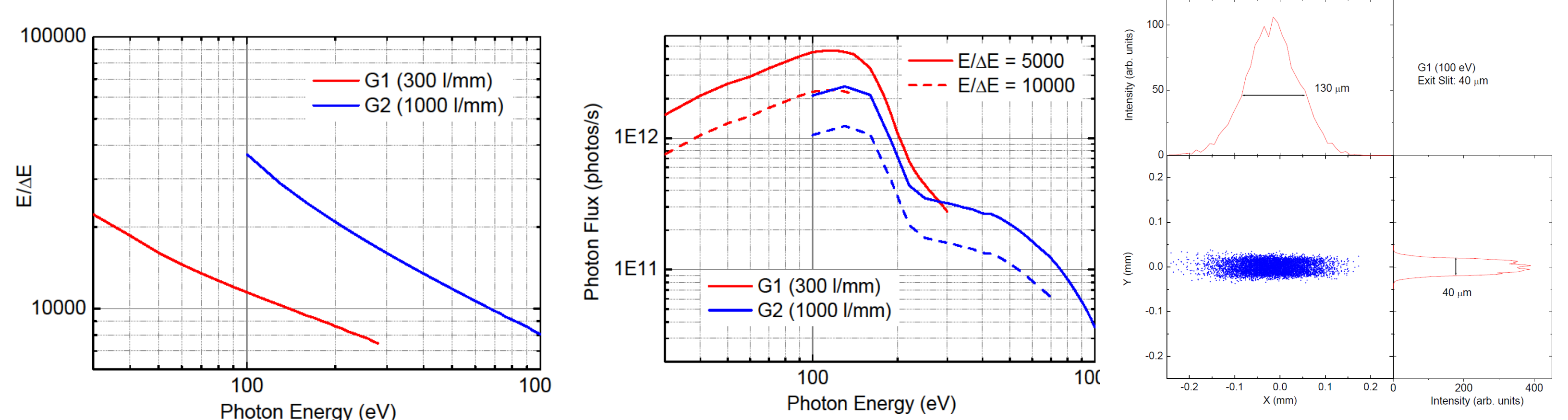
ビームラインの概要



新ビームラインに設置される分光器は、トロイダル鏡(M1)、前置平面鏡(M2)、不等間隔平面回折格子(VLSG)、出射スリット、後置鏡(M3)からなり、3枚のミラーと回折格子で構成されるシンプルな構造である。M2およびVLSGを回転制御(偏角可変)することにより、30-1000eVの領域で高輝度の単色光を得ることが出来る構成となっている。後置鏡(M3)は切り替え(もしくは退避)可能な駆動方式とすることで、集光位置を切り替えることが出来る。これにより光路上の複数位置で集光点を得ることが出来るため、実験装置の変更が容易に設計されている。



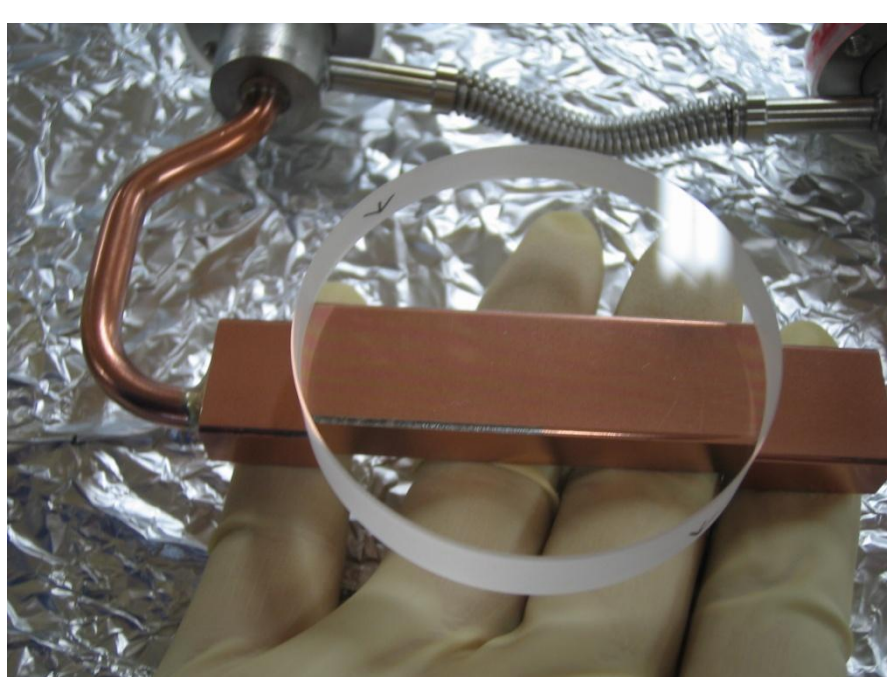
ビームライン全体配置図



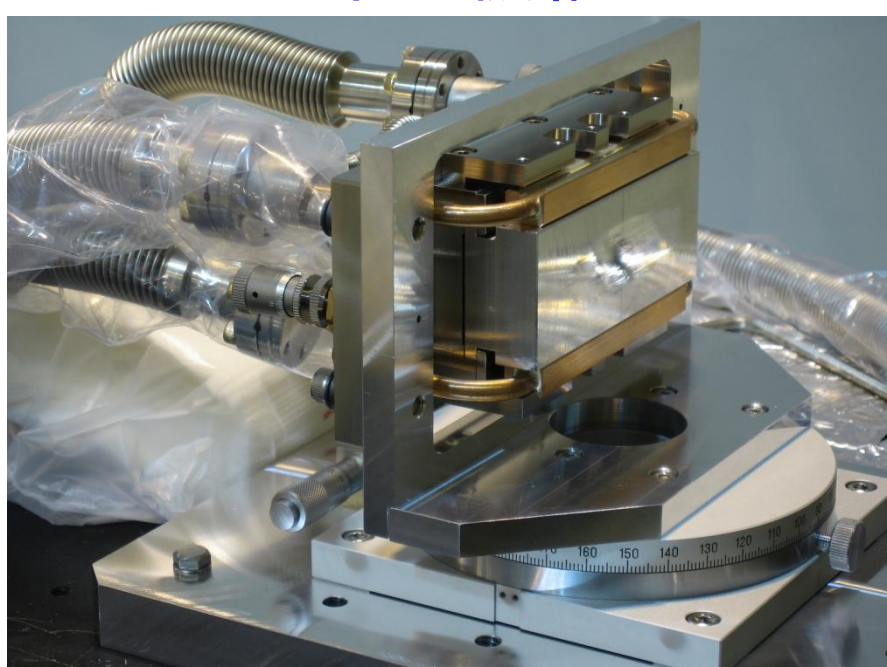
この光学系により得られる、光エネルギー分解能としては、2つの回折格子によって、30-700 eVにおいて最高分解能30000~10000と予想される。光強度(フォトンフラックス)は、30-700 eV、分解能10000において、 $2 \times 10^{12} \sim 6 \times 10^{10}$ photons/sを得ることが出来る。この値は旧BL13分光器と比較して、分解能として数倍、フォトンフラックスで1桁大きいものである。また、試料位置でのスポットサイズは、 $130 \mu\text{m} \times 40 \mu\text{m}$ と旧分光器より2桁小さくなり、試料上の強度密度は、3桁大きくなる事が予想される

光学素子冷却機構の技術開発

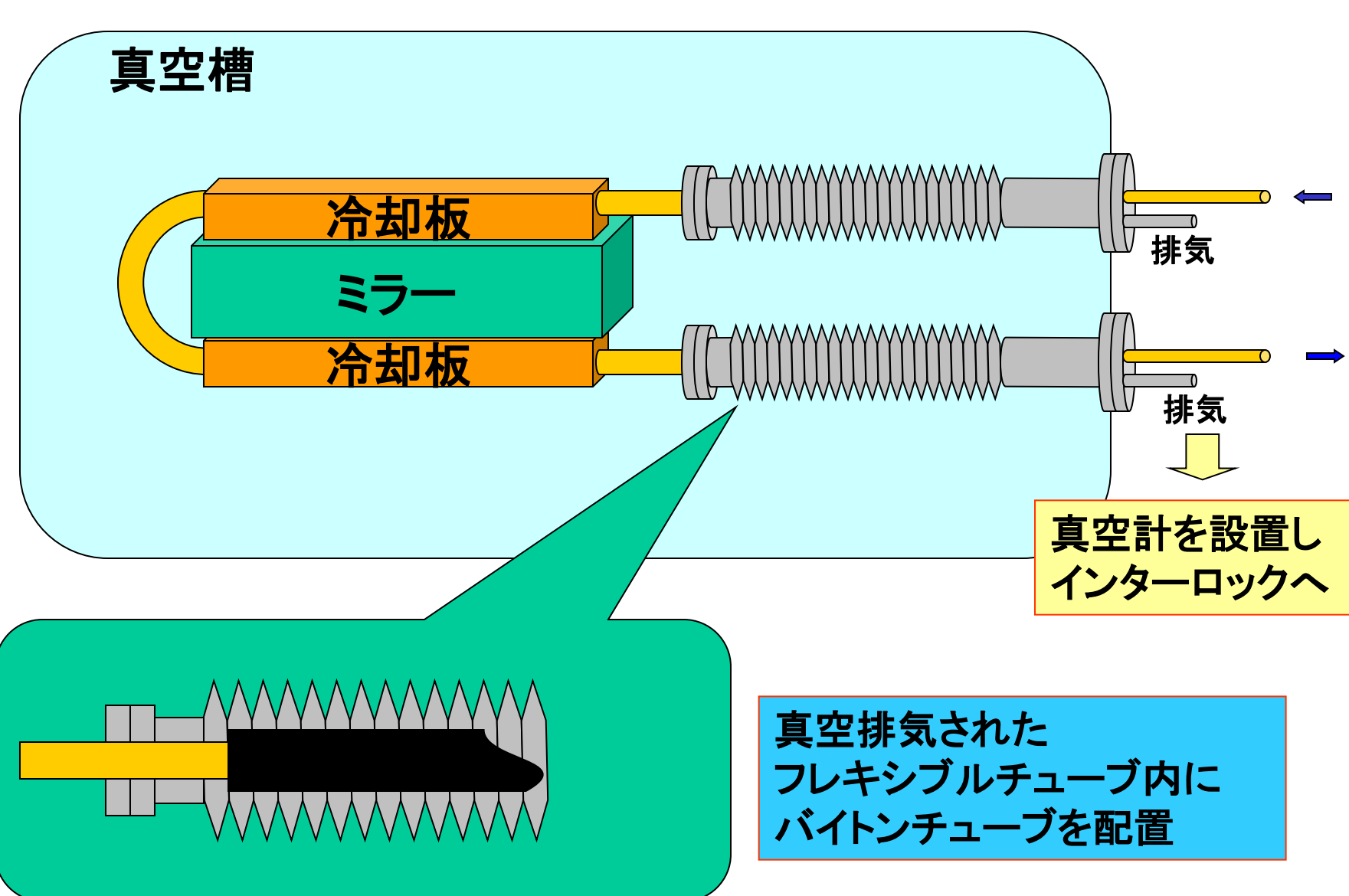
冷却板の評価



冷却機構



ミラー冷却機構(M1, M2, VLSG共通)



光学素子の冷却向上と振動防止のため、真空二重配管を用いた冷却方式を開発し導入した。これはフレキシブルチューブ内にバイトンチューブを配置する二重構造とし、中間真空部分の真空値を監視することで、超高真空槽内での水導入を可能とするものである。バイトンチューブの耐圧、過熱耐久試験のほか、破断テスト、実機でのベークングおよび通水試験を繰り返した結果、満足のいく組み合わせを見つけることが出来た。また面接触冷却方式による光学素子ホルダーの開発を行った。冷却板の材質、研磨方法の検証、面精度、ロウ付けによる歪みの検証、冷却板圧着方法の検証などテストを重ね、実用化することが出来た。

建設日程

放射光実験施設では、約5000時間/年のビームタイムを設けて共同利用実験を行っている。ビームタイム中は実験中のビームラインに影響を与えるために、騒音や振動の発生する建設作業をすることが制限されている。このため建設作業は、限られた休止期間を利用しての建設作業となる。今回の建設作業は以下の日程で行った。

- 2008年度 光学設計、概要設計・測量、技術開発(冷却・洗浄・調整機構)、インターロック仕様決定、放射線遮蔽設計、図面作成、光学素子発注、ユーティリティ(水・圧空・電気)設計
- 2009年春 既設建築物の撤去(X線実験ステーションA,B、実験ハッチ、VUV実験ステーション)床補修、リング内測量(ライン引き準備)、振動測定、電力配線、各種真空コンポーネントブリーク。
- 2009年夏~秋 設置測量、放射線遮蔽(基幹部ハッチ)工事、水・圧空配管工事、ビームライン設置工事、光学素子取付・アライメント、真空排気系設置、ベークング、インターロック設置、放射線遮蔽設置、完成検査
- 2009年秋~冬 ビームライン検査、光導入開始、光学素子光焼きだし、分光器制御ソフト作成、分光器駆動テスト開始、性能評価用超高真空槽立ち上げ開始、光強度、分解能、スポットサイズ測定、実験装置(SES200)立ち上げ調整
- 2010年1月~ 2010年春 ユーザー共同利用開始 第2後置鏡(M3)取付、調整

建設設置作業



撤去前

撤去後

床補修、ラック工事

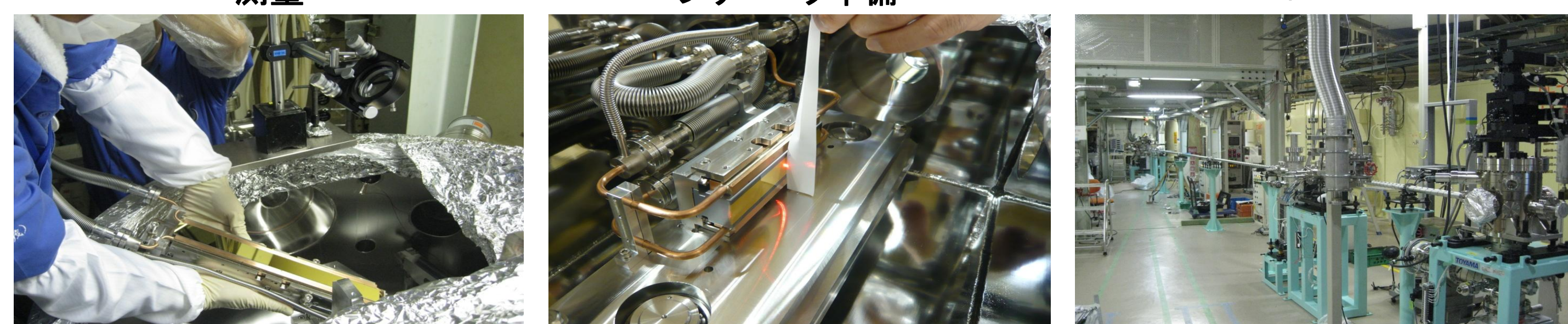
短い実験停止期間の合間を利用して、既設ビームラインの撤去を行った。旧BL13は、ビームライン遮蔽ハッチ、X線実験ステーションA/B、実験ハッチ、VUV実験ステーションが設置される重装備であり、建築場所の制限からクレーンが使用できない場所であった。このため作業の殆どが人の手によるものとなった。既設建築物の撤去後、床補修、およびユーティリティ(電気・冷却水・圧空配管)の整備が、実験の合間を縫って進められた。



測量

ブリーク準備

設置作業



光学素子取付

レーザー光によるアライメント

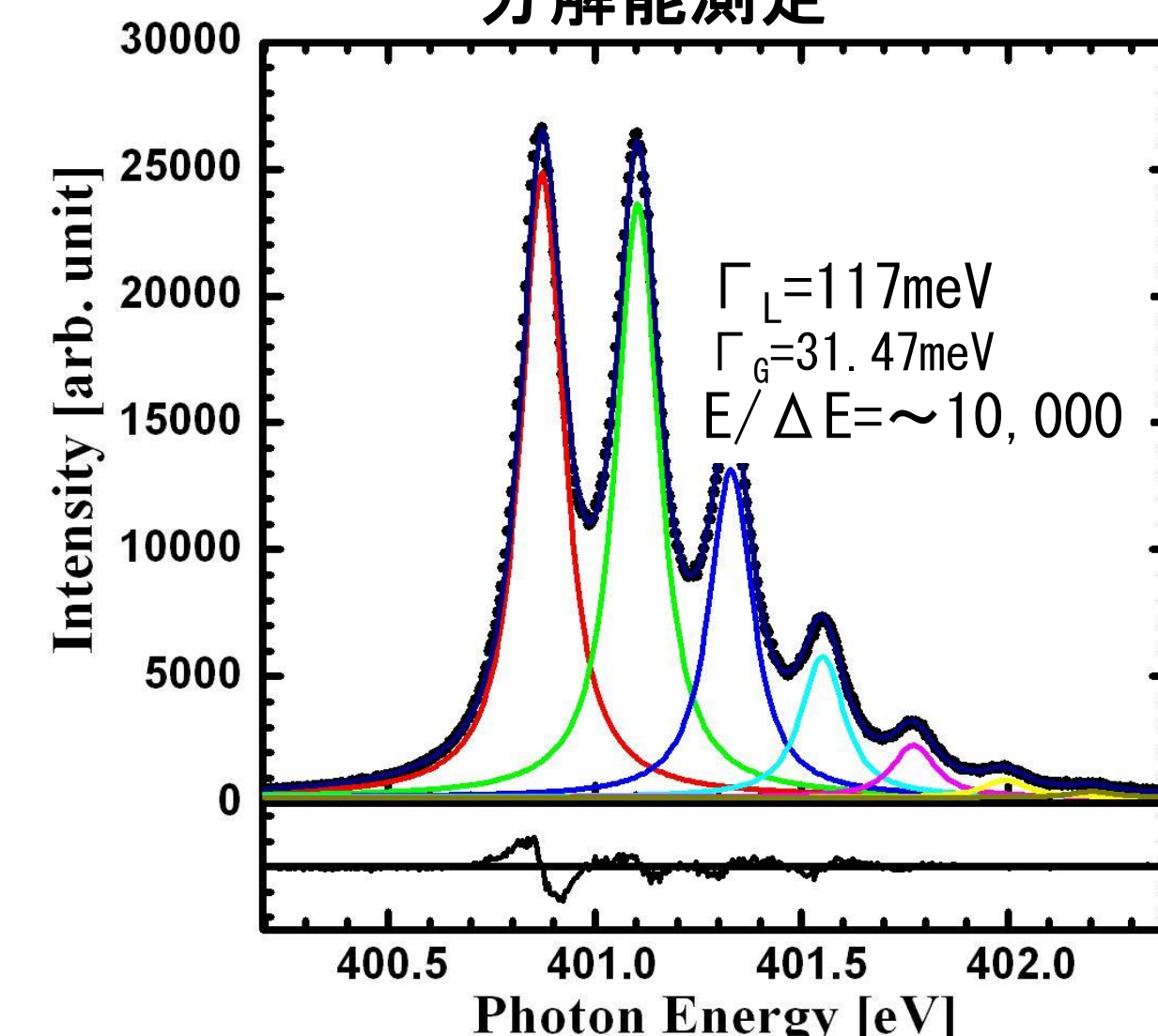
完成したビームライン

2009年夏の運転停止期間を利用して、新ビームラインの設置作業が進められた。各コンポーネントの設置誤差を、真空槽およびダクトで ± 0.5 mm以下、光学素子で ± 0.1 mm以下になるよう設置を行った。各光学素子を取り付け後、下流光路上にレーザーを設置して、ミラー中心をレーザー光が通り、上流までレーザーが届くように調整した。回折格子は、レーザー光の反射(回折)を利用して、ホルダーと刻線が直交するように大気中で調整した。約1ヶ月間の設置作業が無事終わり、各真空排気系の立ち上げ、十分な時間を取ったベークングが行われた結果、到達真空 $< 1 \times 10^{-8}$ Pa以下を得ることが出来た。その後、放射線遮蔽設置、インターロック設置、完成検査と順調に進み、予定通りの工程で完成させることが出来た。

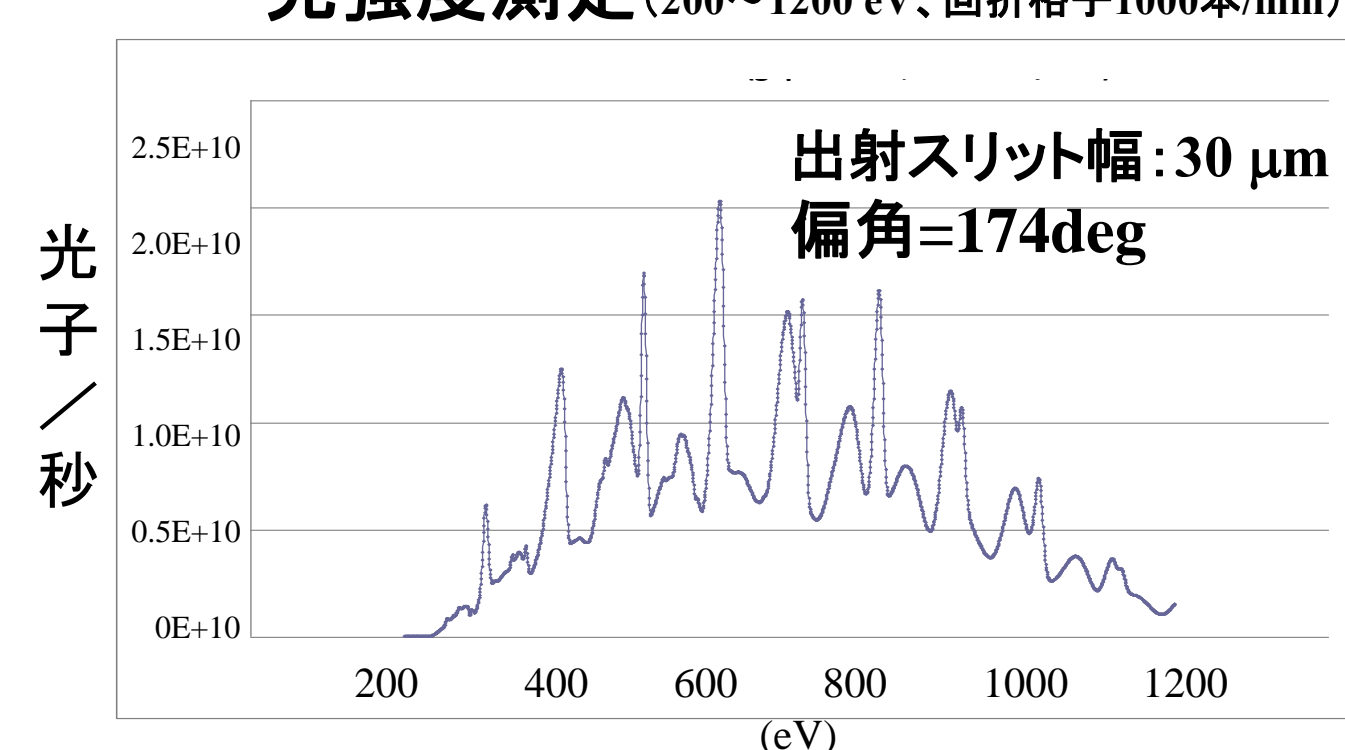
性能評価

分解能測定については、希ガスのイオン収量スペクトルを測定することにより、求められたスペクトルと既知の自然幅を比較することで求めることが出来る。試料ガスの既知スペクトルの変化を利用して分光器の調整を行った。また調整途中の状況であるが、右図は、 $\text{N}_2(1s)401\text{eV}$ 付近における収量スペクトル測定で得られた測定結果である。これによって分解能($E/\Delta E$) 10000以上を達成していると思積もることが出来た。また波長安定性についてもギャップ値141.7nm、 $h\nu = 244.1\text{ eV}$ 、400分間において0.02 eV以内で安定していることが確認された。

分解能測定



光強度測定 (200~1200 eV, 回折格子1000本/mm)



波長安定性 Gap141.7 Gr 3000/mm

