

## UVSOR 光源開発用 BL1U の現状とユーザー対応

○太田紘志<sup>#A)</sup>、平義隆<sup>B)</sup>、岡野泰彬<sup>A)</sup>、山崎潤一郎<sup>A)</sup>、清水康平<sup>A)</sup>、加藤政博<sup>B,C)</sup>

<sup>A)</sup>分子科学研究所 技術推進部光技術ユニット

<sup>B)</sup>分子科学研究所 UVSOR

<sup>C)</sup>広島大学 HiSOR

### 概要

分子研 UVSOR の光源開発用ビームライン BL1U は、放射光施設としては珍しい加速器グループより開発運営を行っている。技術職員側では、このビームラインの光学系の設計やチャンバーの設計・設置、維持を行っている。また、真空紫外光を利用するユーザー支援の一環として、実験計画や実験条件の構築に参加し、放射光利用が初めてのユーザーでも比較的障壁を低くすることで参入をしやすくしている。今回は、BL1U の開発の現状とユーザー支援の実例を含めて業務の現状について報告する。

### 1. 光源開発用ビームライン BL1U の概要

低エネルギー放射光施設 UVSOR-III[1]の光源開発用ビームライン BL1U[2]は、直列配置された2台の Apple-II 型アンジュレーターや加速器同期フェムト秒レーザーを備える世界的にもユニークなビームラインであり、様々な光源開発やその利用法の開拓が進められている。このビームラインの特徴の1つに光源加速器グループが管理から研究開発を行っている点がある。通常ユーザー運転では不可能な実験も実験内容に合わせて柔軟に電子ビームエネルギーや蓄積電子バンチ数、蓄積電子数などの変更を行うことで、実施が可能である。

BL1U では、可視から紫外域の共振器型自由電子レーザー、紫外から真空紫外域のコヒーレント高調波発生、レーザーバンチスライスによるコヒーレント放射光の発生、逆コンプトン散乱ガンマ線の発生、光渦やベクトルビームの発生などが行われ、光源の利用法の開拓も行われている。例えば、タンデムアンジュレーターからの放射光波束を用いたコヒーレント制御や超高速分光、円偏光真空紫外光の照射やガンマ線の利用などが共同利用で受け入れられている。

2021年には、BL1Uの改造を行い、レーザーハッチの移動に加え、真空紫外光に対応した2種類のトロイダル鏡の切り替え機構によるブランチ化を行った。

この際、アンジュレーターからの準単色光の試料に直接照射できる照射ラインに加え、集光した準単色光を利用できる集光ラインと瀬谷-波岡分光器により分光した光を利用できる分光ラインの2種類が新たに利用できるようになった。この改造によって、ビームラインのフロントエンドに設置されたフリーポートに加え、2本のブランチが増えたことでユーザーの要望に応じた装置配置の自由度や実験の切り替え時間の短縮など実験の利便性が向上した。本研究会では、BL1Uで行われている技術支援や開発状況について報告する。

### 2. BL1U 真空紫外光学系について

まず、1つ目に行った業務としては BL1U の改造である。このビームラインは真空紫外光を利用できるように設計されており、様々な実験に利用されているが、使い勝手などを改善するための改装を2021年度に行った。利用者からの主な要求としては、観測装置の移設と実験別に光を振り分けて利用するブランチ化であり、2種類の前置集光鏡を1つの M0 チャンバー (第0鏡室、図2参照) に組み込むことで、回折格子分光器を通した単色光を利用する分光ブランチと分光器を利用しない集光ブランチの整備を行った。

図2(a)に改装前後の BL1U の配置図を示すように、

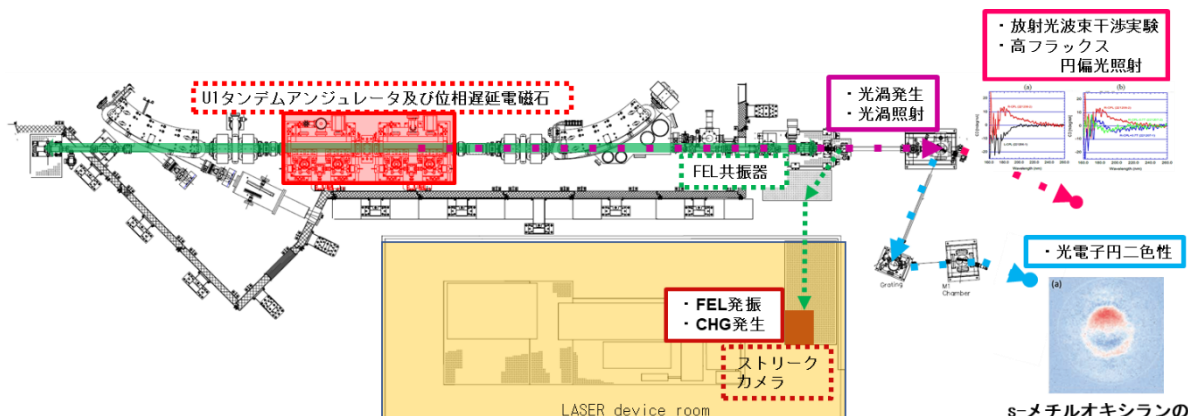


図1. BL1U の配置と研究アクティビティ

改装前(図2(a)下)は実験条件ごとに分光器室と第2鏡の移動・設置が必要だったが、BL全体の再設計を行うことで解決した(図2(a)上)。このブランチ化は、私にとって非常に挑戦的な技術課題であり、新たに検討・設計すべき事柄が多数あった。

ブランチ化の1つ目の課題は、光の振り分け機構であり、改装後の配置(図2(a)上)を見て分かるように、空間的な制約から、2つのブランチを大きくずらした場所に設置する必要があった。通常、光の振り分けは、振り分ける鏡の反射角度の調整によって行われるが、BLIUにおいてこの方式を採用するには、2つの問題があった。第一に、2つのブランチに振り分ける際の反射角度の違いが大きすぎるため、1枚の鏡で振り分けられるような設計が不可能であること、第二に、鏡の位置調整機構の製作費用が高額となることであった。そこで、これらを解決するために、図2(b)のように第0鏡室内に反射角度の異なる2枚の鏡を設置する方法を採用した。これにより、2枚の鏡を切り替えることで光の振り分けを可能にし、実験目的に合致した光の選択が可能になった。この機構を選択したことにより、

- 1) 振り分け鏡室とその位置微調整機構が不要となった
  - 2) 2枚の鏡を同じ架台に統合したことにより1台の位置微調整機構で済んだ
  - 3) 同じ光軸上に2つの鏡の中心を一致させたことでブランチの切り替えが簡素になった
- 等々多くの利点がある。この光の振り分け方式をタンデムミラー方式と呼ぶが、基本的には他の施設を含め、採用例は無いようである。

ブランチ化2つ目の課題は、鏡の新規設計であった。真空紫外光を有効に利用するためには、しっかりと集光しなければならないが、物質に吸収されやすいという特性から、可視光のようなレンズを用いた集光はできない。一般的に真空紫外光の集光には、点光源からの光を一点に集める機能を持たせた特殊な凹面を持つ反射鏡を用いる。このような機能を有する凹面形状の1つにトロイダル面と呼ばれるものがある。身近なトロイダル面の例としては、自転車のタイヤ内面の形状が上げられる。トロイダル面鏡は、直交する2軸(水平方向と鉛直方向)の曲率が異なる非球面鏡であり、それぞれの曲率は、光の入射角度、光源から鏡までの距離、鏡から集光点までの距離をパラメータとして決定する。

また、真空紫外光の特徴として、鏡に対する入射角度によって鏡面の反射率が大きく変化するため、入射角ごとに反射率のシミュレーションを行う必要がある。その結果、集光ブランチの反射鏡には、改装前の比較的入射角度の浅い可干渉光鏡をそのまま利用できることが分かったため、この改造においては分光ブランチ用の集光鏡のみの設計製作を行った。

真空紫外光より短い波長域においては、シンクロトロン光の入射角と反射光がなす角度 $\theta f$ (図2(a)上)が $180^\circ$ に近い角度でしか高い反射率が得られない。そのため、分光ブランチのなす角度 $\theta b$ (図2(a)上)のように小さい場合には、反射率の低下により利用できる波長域に大きな制限が掛かる。今回の場合、使

用するユーザーへの事前の聞き取り調査により、 $\lambda=40\text{ nm}$ までの光が使用できれば十分との回答を得ていたため、反射率のシミュレーションの結果から、角度 $\theta b=68^\circ$ を選択した。これにより、 $\lambda=40\text{ nm}$ より短波長の真空紫外光の利用は絶望的となるが、この選択のメリットもある。通常、分光器では選別できない高次回折光と呼ばれる不要な光(欲しい波長の $1/n$ 倍の短い波長の光)を抑制するフィルターとして働くことが期待できるため、実験データに含まれる高次回折光による偽物の信号が低減されるので、誤ったデータ解釈に繋がるリスクが減ることが期待される。

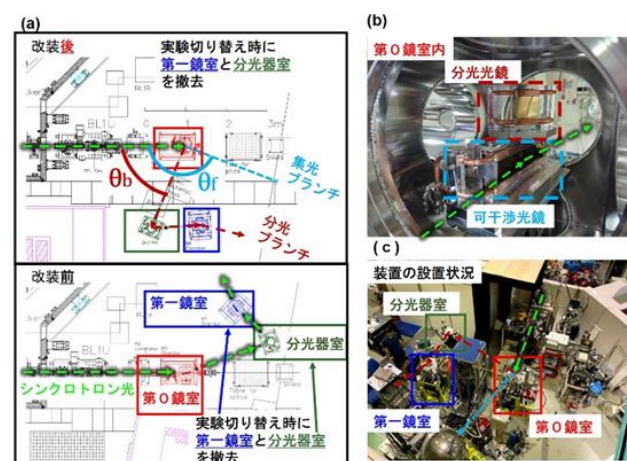


図2. 改装後のBLIUの外観

この改造により、BLIUではタンデム配置のU1アンジュレーターからの準単色光を利用した波束干渉実験[3]、高フラックスな円偏光照射[4]、光渦利用実験など他の施設ではできない実験が始まっており、今後もユーザーのコミュニティが拡大していくものと考えている。

## 参考文献

- [1] Ota, H. et al., J. Phys. Conf. Ser. 2380, 012003(2022).
- [2] M.Katoh et al., JACoW, MOPA063.169 (2023).
- [3] T. Kaneyasu et al., Scientific Reports, 13 6142 (2023).
- [4] M. Kobayashi et al., UVSOR activity report 2021, P166.