

# 次世代放射光施設における初期建設ビームラインについての提案 ～次世代放射光施設ビームライン検討委員会・報告書より～

為則 雄祐

公益財団法人高輝度光科学研究センター、分光・イメージング推進室  
次世代放射光施設ビームライン検討委員会

本稿では、2018年秋から2019年春にかけて行われた、次世代放射光施設ビームライン検討委員会(以下、本委員会)での検討結果について紹介する。本委員会での検討内容はすでに報告書にまとめられ、ホームページ上で一般に公開されている[1]。ここでは、本委員会から提案された初期に建設を検討すべき10本のビームラインの概要、および、その実現に向けて検討されたビームライン技術について紹介する。なお、紙面の都合上、本稿では要点のみの紹介となるため、詳細な検討経過や検討データについては報告書を参照して頂きたい。

## 1. はじめに\_施設の特徴

次世代放射光施設(以下、本施設)の光源の特徴は、これまでの放射光科学では比較的に利用されてこなかったテンダーX線に強みを持つ、低エミッタンス光源である。電子の蓄積エネルギーは、近年世界的に主流となっている3 GeVであり、蓄積リングの周長は約349 mである。ラティスにはマルチバンドラティスの一つであるdouble-double bend achromatが採用され、蓄積リング内の電子ビームの水平エミッタンスは1.14 nm radが計画されている。その結果、本施設では真空紫外領域は回折限界光源となることが期待される[2]。蓄積リングは16個のセルから構成され、各セルには挿入光源を設置するスペースとして、5.44 mの長直線部(最大14か所)と最大1.64 mの短直線部(12か所)が設けられている。長直線部および短直線部にはそれぞれアンジュレータと多極ウィグラーを配置し、合計26カ所のビームポートが用意される一方、偏向磁石部は光源として使用されない。光子エネルギーが10 keV以下の領域において、既存の6-8 GeV級の大型放射光施設を上回る輝度が実現でき、特に1~5 keVにかけてのテンダーX線と呼ばれる領域では、大型放射光施設で計画されているアップグレード後においても、輝度において優位性が期待される。光源から末端までのビームラインの距離は長直線部と短直線部ともに60 mが標準であり、実験ホールのビームポートの出口から末端までの距離は、43 m程度である。

## 2. ビームラインの光源・光学系に対する検討

各ビームラインは計測手法によって特徴づけられる一方で、計測手法が異なっても分光・偏光制御・集光などの要素技術には共通する部分も多い。このような要素技術については、予め施設全体での共通化もしくは標準化の方向性を共有しておくことが、建設コストの低減につながるだけでなく、建設後の各ビームラインの高度化をも容易にする。また、利用実験において必要とされる光子エネルギー範囲、偏光特性、光子フラックスなどの仕様は、単一のビームラインで全てを満たすことは非現実的であり、施設全体でカバーすることが合理的である。そこで、個々のビームラインに配備する計測機器の議論に先立って、光源および光学系に関する技術検討を行い、光エネルギーや偏光制御の条件毎に、標準的なビームライン構成を提案することとした。

### 3.1 光源

本委員会では、個々のビームラインにおける光子エネルギー・偏光の制御操作が、蓄積リングの電子ビーム軌道や他のビームラインに影響を及ぼさない見通しが立てられること、光学系に対する熱負荷が許容範囲であることなど、実現可能性や施設の安定性を光源選定の重要な判断基準とした。検討の結果、表 1 に示す 3 方式 4 種類の挿入光源を標準の光源として提案した。

表 1 標準挿入光源の一覧<sup>1)</sup>

名称	方式	周期(mm)	周期数	偏光	エネルギー範囲(keV)
APPLE-EUV	APPLE-II	75	56	水平直線	0.05～(3) <sup>2)</sup>
				垂直直線	0.05～(3) <sup>2)</sup>
				左右円	0.05～1.0
APPLE-SX	APPLE-II	56	75	水平直線	0.13～(4) <sup>2)</sup>
				垂直直線	0.23～(4) <sup>2)</sup>
				左右円	0.18～1.2
IVU	真空封止平面アンジュレータ	22	190	水平直線	2～20
MPW	多極ウィグラー	120	5	水平直線	2～30

1): 表中のパラメータは、今後の実設計において変更されることがある。

2): APPLE-EUV, APPLE-SX の直線偏光モードのエネルギー上端は、高次光をどこまで利用するかに依存する。

概ね 2 keV 以下の、真空紫外から軟 X 線にわたる領域では、APPLE-II アンジュレータを採用することとした。現在のところ適切な移相子が存在しない軟 X 線の領域では、光源による偏光制御が必要である。その点、APPLE-II は 1 種類の光源で任意の偏光状態を生成できることから、挿入光源の選択を単純化するうえで合理的であると判断した。ただし、あらゆる偏光モードを利用するためには、磁石列の駆動機構が複雑になる他、電子ビーム軌道補正が困難であることから、ここでは水平・垂直直線偏光および円偏光モードに限定して、APPLE-II を使用することとした。また、磁石列の操作による偏光モードの高速切替も、電子ビーム軌道の安定性を確保することが困難であることが予想されるため、ここでは行わないこととした。偏光制御については、R&D 項目として並行して光源開発を進めることとし、偏光の高速切替 (100 Hz 程度) および円偏光の利用エネルギー範囲の高エネルギー側への拡大を目的とした、分割アンジュレータ\*1の開発を提案した。

低エネルギー領域においては、0.05 keV 前後の真空紫外域までの利用が、光電子分光などの分野から希望されることが予想される。しかしながら、広範な光エネルギー範囲を単一の APPLE-II で供給することは困難であることから、低エネルギー用として周期長の異なる光源(APPLE-EUV)の導入を提案した。一方、移相子が利用できるテnder X 線以上のエネルギー領域では、挿入光源側で偏光制御が不要であることから、真空封止平面アンジュレータを採用し、2 keV 以上のエネルギーにおける広スペクトル対応の光源として、多極ウィグラーを短直線部に設置することとした。その結果、表 1 に示す 3 方式 4 種類の挿入光源によって、最も輝度の高い 1～5 keV の軟 X 線およびテnder X 線を中心として、真空紫外領域の 0.05 keV から 30 keV に至る広範囲のエネルギーの光を供給すると同時に、偏光を制御することが可能である。

\*1) 周期長 56 mm ・ 周期数 15 の APPLE-II アンジュレータ 4 台と移相器から構成されるアンジュレータ

### 3.2 分光器

0.05～30 keV のエネルギー範囲を利用可能とするにあたり、0.05～2 keV の真空紫外・軟 X 線領域ならびに 4.4～30 keV の高エネルギー領域を対象とする分光器は、それぞれ既存の放射光施設で十分な利用実績がある不等間隔回折格子分光器と Si(111)二結晶分光器を導入することとした。一方で、本施設の特徴的なエネルギー範囲である 1～5 keV のテンダー X 線領域に対しては、現状では標準的といえる分光器が存在しないため、この領域の分光器については詳細に技術検討を行った。

テンダー X 線領域の利用には、軟 X 線領域で広く利用されている回折格子分光器の利用範囲を高エネルギー側に拡大する方法と、硬 X 線領域で利用されている結晶分光器の利用範囲を低エネルギー側に拡大する二通りの方法が考えられる。回折格子分光器で一般的な金コーティングでは、2.2 keV 前後に存在する金の L-吸収端の影響によってテンダー X 線領域の反射率が著しく低下するため、光学素子反射面のコーティングが技術的課題となる。その解決策として、多層膜および Ni をコーティングとして採用した光学系を想定し、回折効率、エネルギー分解能を検討した。その結果、複数のコーティングを適切に選んで切り替えることにより、現実的な強度と分解能を確保しつつ、回折格子分光器が供給するエネルギー範囲を 4～5 keV 程度まで拡張することが可能であるという結論を得た。分光器の動作機構は基本的に従来のみで対応できることから、前置鏡の視斜角などを高エネルギーに対応できるように設計しておけば、軟 X 線ビームラインに光学素子を追加することでテンダー X 線域まで利用可能となる。なお、Si 結晶分光器では、2.8 keV 付近で(111)反射の  $2\theta$  が 90 度になるので、テンダー X 線域で光源側での偏光制御を必要とする場合にも、回折格子分光器は必須である。

結晶分光器をテンダー域で利用する際には、低エネルギー領域で急激にブラッグ角が大きくなることが問題となる。例えば、SPring-8 で採用されている標準二結晶分光器では、第一結晶と第二結晶が接近するために、構造的にブラッグ角 27 度に相当するエネルギー 4.4 keV が下限となっている。そこで、入射 X 線と出射 X 線の光軸のオフセット距離を、SPring-8 標準二結晶分光器の 30 mm よりも大きな 50 mm と仮定し、使用するエネルギーの上限を 20 keV までと制限して、分光器の構造について詳細に検討をおこなった。検討の結果、現実的な機器配置で二結晶分光器を構成できるとの結論が得られ、2～20 keV までを供給するビームライン用として、Si(111)分光器を選択肢として加えることとした。上記の検討の結果、テンダー領域においては、このエネルギー領域に対応した回折格子分光器と結晶分光器を選択肢として準備し、使用するエネルギー範囲や偏光制御の条件に合わせていずれかを選択して使用することが望ましいとの結論に至った。

### 3.3 偏光制御

3.1 keV 以上の光子エネルギーでは、ダイヤモンド単結晶を用いた結晶移相子をビームライン光学系の一部として設置することにより、水平・垂直直線偏光、円偏光を含むあらゆる偏光状態を、蓄積リングや他のビームラインに何ら影響を与えることなく生成することができる。一方、これ以下の光子エネルギーでは、適当な移相子や偏光子が開発されておらず、現状では、従来通り挿入光源で偏光制御をする必要がある。ただし、偏光状態を保ったまま分光をおこなうために、偏光制御が必要なテンダー X 線ビームラインにおいては、分光器として回折格子の選択が必須である。

### 3.4 集光光学系

本施設が軟 X 線・テンダー領域向けの 3GeV リングであることを考慮すると、多くのビームラインに分光計測が取り入れられることが想定される。そのため、集光光学系として、色収差のない全反射鏡の採用が妥当である。ナノ集光を想定するアンジュレータビームラインにおいては、ウォルターミラーや KB ミラーを用い、軟 X 線・テンダー X 線ともに、50 nm の集光ビームサイズを当面の目標とした。一方、光源サイズの大きい多極ウィグラービームラインでは、トロイダルミラー等を用いることで、ビームサイズ 50 μm までの集光光学系を導入することを推奨することとした。

### 3.5 ブランチ化

最後に、ビームラインのブランチ化に関する議論について触れておく。1 本の挿入光源を共通に使い、一つのビームラインを複数のブランチに分割することは、限られたリソースで実質的なビームタイムを増やすための手段の一つである。しかしながら、アンジュレータを光源とするビームラインにおいて、複数のブランチで 1 本のアンジュレータを共用できるのは、両者が同じ波長のエネルギーを利用する場合に限られる。一方、白色スペクトルを供給する多極ウィグラービームラインにはギャップの運用の問題はないが、分光器や集光光学系など下流の構成要素は、単独のビームラインを 2 本建設する場合と大きな差が無いことからコスト的なメリットは小さく、近接したブランチで使用するために特殊な光学系を設計しなければならないという問題が新たに生じる。このことから、多極ウィグラービームラインにおいても、ブランチ化することに明らかな意義は見出せなかった。以上のように、アンジュレータビームライン、多極ウィグラービームラインのいずれも、一つの光源を同時に利用するブランチを構成することは合理的でないとの結論に至った。一方、分光器までを共有し、排他的利用を想定するエンドステーションを複数設置することは、実験準備などを測定と並行して進めること等を可能にするため、実験の効率を高める効果が期待できる。

### 3.6 ビームライン機器構成の分類

以上の検討に基づき、エネルギー領域および偏光の条件に応じて、光源と光学系の組み合わせを表 2 のように整理した。なお、ここで提案するビームライン構成は標準的な仕様であり、設置される分析装置に応じて、最終的なビームラインの仕様は個々に差異が生じることに注意されたい。

表 2 光源・光学系の検討に基づいて分類されたビームライン機器構成

偏光	エネルギー領域	挿入光源	分光器	偏光素子
水平直線偏光	< 2 keV	APPLE-II	回折格子 (Au)	-
	< 4 keV	APPLE-II	回折格子 (Au, Ni) *)	-
	2 - 20 keV	IVU/MPW	低エネルギー用二結晶分光器*)	-
	4.4 - 30 keV	MPW	高エネルギー用二結晶分光器	-
偏光制御あり	< 1.2 keV	APPLE-II	回折格子 (Au)	-
	< 2 keV	分割 APPLE-II*)	回折格子 (Au)	-
	< 4 keV	分割 APPLE-II*)	回折格子 (Au, Ni) *)	-
	3.1 - 20 keV	IVU/MPW	低エネルギー用二結晶分光器*)	結晶移相子
	4.4 - 30 keV	MPW	高エネルギー用二結晶分光器	結晶移相子

\*) 印は、多少なりとも開発要素を含む技術である。

2.2 keV 以下の真空紫外～軟 X 線領域では、APPLE-II アンジュレータと回折格子分光器の組み合わせを、また、4.4 keV 以上の高エネルギー領域を対象とするビームラインは、MPW と二結晶分光器の組み合わせを標準的なビームライン構成として提案することとした。なお、回折格子分光器における回折格子の刻線パラメータや光学配置などの仕様は、エンドステーションに配備される分析装置に依存するため、ビームラインの設計段階において最適化が必要である。例えば、回折格子分光器に要求されるエネルギー分解能を指標にすると、ビームラインの分類は、標準的なエネルギー分解能を提供するビームライン( $E/\Delta E$ :  $\sim 7,000$ )と超高分解能を目指したビームライン( $E/\Delta E$ :  $10,000 \sim 30,000$ )に細分化が必要である。このような要素については、それぞれ目標とする数値性能を個別のビームラインの仕様に反映させた(後述の表 3 参照)。

2～4 keV のテンダー X 線領域のビームラインは、偏光制御やビームラインが提供するスペクトル範囲に応じて、光源(APPLE-II/MPW)と分光器(回折格子分光器/結晶分光器)の組み合わせによって複数の選択肢が生じる。また、アンジュレータと多極ウィグラーでは光源特性が異なるため、集光光学系などについては個々に最適化が必要である。例えば、アンジュレータと多極ウィグラーではビームサイズが大きく異なるため、アンジュレータビームラインでは、KB ミラーによる集光を想定している一方、多極ウィグラービームラインでは、実用的な長さの KB ミラーでは水平方向のビームサイズを受けきれないため、トロイダルミラーを用いて集光をおこなうことを想定している。こちらについても、各ビームラインの目標性能としてビームラインの仕様に反映させている。また、テンダー X 線の領域では、3 倍波や 5 倍波のエネルギーが想定される使用エネルギーの上限である 20 keV ないし 30 keV よりも低く、高調波除去についての配慮も必要である。

実際のビームラインの設計においては、想定するエネルギー範囲によって、高調波の対策を始めとした光学系の設計難易度やコストは大きく左右される。したがって、合理的なビームラインの建設に当たっては、ビームラインの実際の用途を注意深く検討し、真に必要なエネルギー範囲を明確にして細部の検討を進めることが重要である。

### 3. 第 1 期に整備すべきビームラインの提案

本委員会において初期に建設を検討することが提案された 10 本のビームラインを表 3 に示した。本施設は、官民地域パートナーシップという新しい形式で整備が進められている。ビームラインについては、10 本のビームラインのうち BL-I から BL-VII の 7 本のビームラインはパートナーによる整備を、また、BL-VIII から BL-X の 3 本のビームラインについては国による整備を想定している。ビームラインの提案に当たっては、パートナー整備分については一般財団法人光科学イノベーションセンター理事の諮問委員会である「ビームライン構想委員会」の答申内容を尊重しつつ、それらがより合理的に実現できるビームライン編成となるよう本委員会で検討した。一方、国が整備する BL-VIII から BL-X の 3 本のビームラインについては、量子ビーム利用推進小委員会報告書や海外の類似施設の状況、意見募集で寄せられたビームライン提案などを参考にしながら、パートナー整備ビームラインとの役割分担・差別化などの観点も含めて、検討を行った。

表3 第1期に整備が提案された10本のビームライン

所掌	BL 番号	名称	計測手法の例*)	光源	エネルギー (偏光)	エネルギー 分解能	ビーム サイズ
	BL-I	X線オペランド分光	・大気圧 X線光電子分光 ・大気圧 X線吸収端微細構造分光 ・X線回折	IVU	2-20 keV (水平直線)	E/ΔE= 7,000	100 nm
	BL-II	X線構造・電子状態トータル解析	・走査型透過 X線顕微鏡 ・X線小角・広角散乱 ・X線吸収端微細構造分光	MPW	2-20 keV (水平直線)	E/ΔE= 7,000	50 μm
	BL-III	X線階層的構造解析	・吸収・位相イメージング ・走査型蛍光イメージング ・X線回折・散乱 ・蛍光 X線ホログラフィー	MPW	4.4-30 keV (水平直線)	E/ΔE= 7,000	50 μm
パートナー	BL-IV	X線コヒーレントイメージング	・コヒーレント回折イメージング ・タイコグラフィ ・タイコグラフィ-X線吸収端微細構造分光	IVU	3.1-20 keV (左右円) 2-20 keV (水平直線) 3.1-20 keV (垂直直線)	E/ΔE= 7,000	50μm (非集光) 100 nm (集光)
	BL-V	軟 X線磁気イメージング	・位相イメージング ・走査型透過吸収イメージング ・走査型蛍光イメージング ・磁気イメージング ・円二色性 ・X線磁気円二色性 ・X線磁気線二色性 ・X線磁気光学カー効果	APPLE-SX	0.18-1.2 keV (左右円) 0.13-2 keV (水平直線) 0.23-2 keV (垂直直線)	E/ΔE= 10,000- 30,000	< 50 nm
	BL-VI	軟 X線電子状態解析	・ナノ光電子分光 ・共鳴非弾性 X線散乱	APPLE-EUV	0.05-1.0 keV (水平直線) 0.05-1.0 keV (垂直直線)	E/ΔE= 10,000- 30,000	< 50 nm
	BL-VII	軟 X線オペランド分光	・準大気圧 X線光電子分光 ・準大気圧 X線吸収端微細構造分光 ・軟 X線光電子分光	APPLE-SX	0.13-2 keV (水平直線) 0.23-2 keV (垂直直線)	E/ΔE= 10,000- 30,000	< 50 nm
	BL-VIII	軟 X線ナノ光電子分光	・ナノスピン分解光電子分光	APPLE-EUV	0.05-1.0 keV (左右円) 0.05-1.0 keV (水平直線) 0.05-1.0 keV (垂直直線)	E/ΔE= 10,000- 30,000	50 nm- 10 μm
国 (共用)	BL-IX	軟 X線ナノ吸収分光	・X線吸収分光 ・X線磁気円二色性 ・X線磁気線二色性 ・X線磁気光学カー効果 ・X線線二色性 ・X線強磁性共鳴	分割 APPLE-SX	0.18-2 keV (左右円) 0.13-2 keV (水平直線) 0.18-2keV (垂直直線) [偏光高速切替]	E/ΔE >10,000	50 nm- 10 μm
	BL-X	軟 X線超高分解能共鳴非弾性散乱	・超高分解能共鳴非弾性 X線散乱 ・軟 X線非弾性回折	APPLE-SX	0.25-1.0 keV (左右円) 0.25-1.0 keV (水平直線) 0.25-1.0 keV (垂直直線)	E/ΔE >150,000	< 500 nm

\*) ここに挙げた計測手法はあくまで例示であり、実際の用途については別途検討がおこなわれる予定である。

表3に示した想定利用分野は、それぞれのビームラインを使って可能と考えられる測定および測定対象の例として付記したもので、利用目的がこれらに限定されることを意図したものではない。近年では、ひとつの課題解決のために複数のビームラインが横断的に使われることも多いことから、本施設でも、各ビームラインは特定の学術分野や研究テーマに結び付けず、横断的に利用することを想定している。例えば、BL-I、BL-II、BL-VIIを併用することによって、軟X線からテンダーX線にわたる広いエネルギー領域で種々の分光測定が可能である。BL-IIとBL-IIIは、光源は同じ仕様の多極ウィグラーであるが、分光器に差をつけることにより、2本のビームラインでより幅の広いエネルギー領域の測定に対応できるようにしている。さらに、これら3本のビームラインを近接して配置することで、オペランド測定などで必要になる測定試料を準備するための施設や廃液・排気設備を共通に使用できる。同様に、BL-IVとBL-Vの組み合わせは、テンダーX線から軟X線の領域でのコヒーレントイメージングを、広いスペクトル範囲で利用することを意図している。

国が整備を担当するビームラインとして、ナノ集光角度分解光電子分光、ナノ集光X線吸収分光、軟X線超高分解能共鳴非弾性散乱を主目的とする3本のビームラインを整備することが適切であるとの結論に至り、BL-VIIIからBL-Xの各ビームラインとして提案した。BL-VIIIの軟X線ナノ角度分解光電子分光とBL-IXの軟X線ナノ吸収分光については、意見募集において複数の提案があったほか、構想委員会の初期ビームライン答申でも国が整備すべきビームラインとして提案されており、学術的意義やニーズが高いと判断されたことも提案の要因となった。これら3本のビームラインは、パートナーによる整備を提案するビームラインと重複するところがあるが、国が整備するビームラインは特に高い学術成果の創出を目指すという位置づけを考慮し、パートナーにより整備されるビームラインとの差別化を図った。例えば、BL-VIIIは、パートナーによりBL-VIでの整備を提案した軟X線光電子分光とは異なり、スピン分解を標準仕様として導入し、先端的研究に供することを目的としたものである。また、BL-IXは、BL-Vと同様に偏光制御した軟X線を用いた磁気材料の研究を主要なターゲットに想定しているが、開発要素のある分割アンジュレータを採用して、円偏光を供給できるエネルギーの広帯域化を図っている他、100 Hz程度までの偏光の高速スイッチングによる磁気円二色性測定も視野にいれている。将来的に、BL-IXにおける開発成果は施設の高度化においてBL-Vなどへも還元され、基盤技術として波及していくことを期待している。BL-Xの高分解能共鳴非弾性X線散乱は、世界最高のエネルギー分解能やX線回折と分光の同時測定をねらいとする点等において、パートナーがBL-VIに整備する共鳴非弾性散乱とは目的を異にしている。

#### 4. R&D 項目

本委員会では、実現可能性を重要な一つの判断基準とし、現時点で利用可能な最新技術を集積することによるビームライン建設を想定した。その一方で、本施設の完成まではおおよそ4年の時間があり、その間も継続してR&Dを行うことは重要である。R&Dの結果、ビームラインの建設時点で実現の見通しが得られた技術については、積極的に導入することも推奨する。以下に本委員会で議論されたR&D項目を整理した。これらの技術は、本施設への導入を確定したものではなく、継続したR&Dを行い、新しい技術が開発された際には、遅滞なく導入していくことを想定している。

① 分割アンジュレータ

軟 X 線～テンダー領域において、蓄積リングの電子ビーム軌道に悪影響を与えることなく、高速の偏光スイッチングを可能にする挿入光源の開発

② 高エネルギー（上限 4keV ないし 5 keV まで）をカバーする回折格子

テンダー X 線（1-5 keV）の領域で利用できる回折格子の開発および性能評価

③ 水平方向にエネルギー分散面を持つ軟 X 線用回折格子分光器

挿入光源で発生した軟 X 線を、分光器を含めて水平方向に分散・反射させることにより、隣接するビームラインに軟 X 線を導くことが可能な光学系の開発。本光学系は、軟 X 線とテンダー X 線を同一試料上に照射する二色分光計測や、分光と回折の同時測定など、新しい測定手法の実現を視野にいたったものである

④ 軟 X 線用集光光学系

全反射鏡を用いた、高効率で色収差のない 50 nm 集光素子の開発

⑤ 低エネルギー（2-5 keV）をカバーするシリコン二結晶分光器

テンダー X 線領域を含み、高エネルギー領域で利用できる分光器の開発。

⑥ テンダー X 線用結晶移相子

極薄ダイヤモンド単結晶を利用し、吸収の大きな 3.1 keV から 4 keV のエネルギー領域で実用になる結晶移相子の製作および性能評価。

## 第 8 章 まとめ

本委員会では、次世代放射光施設の特徴や学術研究・産業利用ニーズ、技術的課題などの観点からビームラインに関する種々の検討を行った。その結果、挿入光源及びビームライン光学系の標準化案、第 1 期に整備を検討すべきビームライン 10 本の案を策定し、報告書として提示した。

本委員会のこれまでの議論は、光源や光学系の検討が主となった関係上、エンドステーションについては、主たる測定手法の提示にとどまっている。エンドステーションに設置すべき具体的な計測装置の選定やそこで実施する研究の詳細などについては、本委員会とは別の場において検討・協議が行われ、本委員会の検討内容と合わせてビームライン整備に反映されることを期待する。

## 参考文献

- [1] 次世代放射光施設ビームライン検討委員会報告書, [https://www.3gev.qst.go.jp/BL\\_report.html](https://www.3gev.qst.go.jp/BL_report.html)
- [2] 東北放射光施設計画 “SLiT-J” 3GeV 高輝度光源加速器システム提案書 V2.0