

SLiT-J 概念設計についての国際評価 委員会報告

Prof. Roger Falcone, Prof. Andrew Harrison, Prof. Nobuhiro Kosugi, Dr. Tetsuya Ishikawa, Prof. Hideo Hosono, Dr. Susumu Umemura, Dr. Marie-Emmanuelle Couprie, Prof. Jerome Hastings (議長)

I. 提案された「施設」の設計における一般的な科学技術的メリット及び、「予算計画」および「計画完遂までの期間」について

提案された SLiT-J 施設の概念設計は、ワールドクラスの中型放射光蓄積リング光源としての必要条件を完全に満たしている。高輝度の強力なX線は、蓄積リング光源を用いることで、ますます手に入れやすくなった。その理由は、近年のモデル化、設計、建設に関する技術的な発達、特にマルチベント・アクロマート方式の磁石配列の蓄積リングを実現した技術が登場したためである。世界では、この技術を用いた光源が材料やデバイスを分析する能力に革新をもたらすであろうという認識が比較的最近になって広まった。そのナノメートルの分解能、化学種の識別、ダイナミックな時間分解能等は、産業界と学術界の研究者にこれまでにない分析能力を提供することになる。このことは、本計画の、学術界と連携した放射光利用の産業活用に関する、他に類のない構想にも適合する。

SLiT-J の最大の目的は、世界的にも類を見ない産学のパートナーシップの実現にある。産業活用に対する厳しい要望を満たすため、蓄積リングの設計は信頼性のある運転を担保できる堅固なものでなければならない。SLiT-J の設計は、事実、堅固であり、産業界の要求を満たす信頼性の高い運転を可能とするものである。

現在、科学技術のために日本に新しい放射光 X 線光源を建設するための説得力のある理由がいくつか存在する。これらの理由には新たな創発した必要性を含む。

- 機能性材料の機能等について深く詳細に分析し、最新デバイスの根幹的メカニズムの理解を高めるためである。
- ナノスケールまでのイメージングの空間分解能を高めるためである。

る。その空間分解能により、物質の性質、触媒、生化学、光化学等の反応が解明される。

- 化学的状態の特定を可能とするX線波長の精密さを有するため。波長の精密さは、不均一であることが本質的で機能を発揮するような材料の内部の原子、分子を識別するためである。
- 輝度の高いビームを有するためである。輝度の高いビームは、その場、動作しているデバイスを、実際の作動環境温度、圧力下、あるいは気体中、液体中で、また、固体界面をさらに電場下および磁場下で、さらに、大気圧下での化学反応を探索するために必要である。

本計画の設計手法と性能設定は、日本に存在するどの放射光光源をも凌駕する仕様で、日本の科学界、特に軟X線領域のこれらの課題に答えている。SLIT-J 施設計画の提案は、先端技術の発展性を念頭に練られてきた。特に学術パートナーの下で企業が利用する方式を重視、すなわち大学の先端技術能力の利活用を念頭に練られており、産学の連携研究に基づく施設の運転・利活用モードを選択していることが重要かつ特徴である。例えば、高周波加速空洞に TM_{020} モードを用いるという新しいアイデアにより、アンジュレータを設置するための追加の直線部を開放している。

16セル double-double bends achromat lattice で、14の長直線部、16の短直線部でのアンジュレータ光源を提供するという上述の計画規模は、この先20年数年以上、このスペクトル領域における日本のコミュニティの現在および期待される将来ニーズに応えるものである。

提案された3年の完成までのスケジュールはおそらく楽観的であろうが、産業界のニーズとは完全に一致している。この点については、技術設計報告が明らかにされて後のみ、全体的に評価することが可能となる。

提案された3年の建設期間と施設規模は、SPring-8が近回折限界蓄積リング(near diffraction limited storage ring concept)開発のために最近見積もった予算に基づいている。また、この予算は、アメリカ合衆国で最近完成された

NLSLS-II 3GeV 蓄積リングの建設費用とも整合する。見積もられた費用は、さらに、日本の自由電子レーザーSACLA や米国の自由電子レーザーLCLS などとの同様な比較を背景に、検証されている。

II. 日本に SLiT-J のような 3GeV 放射光光源を持つ潜在的有効性 (産業界、公的部門に対するインパクトを含む)について

放射光光源の重要な基本設計を特徴づけるものは、蓄積リングの電子ビーム・エネルギーの選択である。世界レベルにおいて、最新放射光リングは、2GeV から 6GeV の範囲へ移行しつつある。そのようなリングの光子エネルギーは硬 X 線から軟X線に、電子エネルギーの二乗に依存する最高性能とともに最適化される。3GeV を選択することで、SLiT-J は、中間的な領域、いわゆる「テンドーX 線体系」で最も有利な能力を発揮ことになる。なお、テンドーX 線領域は、極軟X線と極硬 X 線の間の領域であり、後者の硬 X 線領域は SPring-8 放射光施設(6GeV 運転に代わりつつある)の性能によって既に実現されている。SLiT-J のスペクトル範囲は、軽元素、すなわち大量に存在するトップ 10 元素、たとえば Li や C や N や O などの K 吸収端をカバーしている。この領域は、さらに、3d, 4d, 4f 遷移金属の重要な吸収端も含んでいる。

故に、SLiT-J は、国際的な競争力を有する光源となるであろう。特に軟 X 線領域の幅広い利用者に供する光源、そして、SPring-8 の性能および、相補的な役割を果たす日本の既存放射光施設との大規模ネットワークを補完する役割を果たす。SLiT-J は、たとえば、ヘルスケア、農業、有機機能材料、バッテリーなど、軽元素がカギとなる材料やシステムの探求する特段の機会を提供することになる。

最終設計において決定されるべき放射光の設計パラメーターの「位相空間」は膨大であり、その最適化は技術的なパラメータの相互依存性、コスト、スケジュールの他、様々な現実的な観点も考慮に入れる複雑な工程である。SLiT-J は、分光学(吸収、光電子分光、共鳴発光分光)や散乱、ナノスケール顕微やイメージング組み合わせられた回折散乱などの想定された手法を用いているユーザーのニーズを満たすことに比重をおいて設計されてきた。

SLIT-J でカギとなる新たな特性は、顕微探索のためのより小さな集光スポットを得ることを可能にする高いビーム輝度と、X 線波長の根本的な限界「シングルナノの空間分解能」にまでおよぶ新たなイメージングの可能性を生み出す高いコヒーレントフラックスを含む。その潜在能力は、研究者達に、ダイナミックなプロセスのリアルタイム動画を製作することを可能にする。

例えば、一つの実験を行うのに必要な時間や、有限の時間で幾つの実験をこなせるか、化学プロセスを観察した動画の時間分解能などといったものは、すべて実験に供給される光子の数に依存する。さらなる先端技術である光子相関分光法などは光子数の二乗に依存する。いずれの場合も、先端科学や最新のテクノロジーは、最高の輝度とコヒーレントまたはいずれかのビーム性能が要求される。

III. 施設のランニング・コスト見積と建設の適時性について

国際的な経験則に基づけば、このタイプの複雑な施設のランニング・コストは建設経費の 10-15%になるとするのが典型である。提案されたランニング・コストはこれと矛盾しない。そして、提案された施設の開発段階では合理的であろう。

プロジェクトコンセプトでは、ランニング・コストの最小化に精力が注がれている。たとえば、入射機としての LINAC を選択していることは、初期経費は高くはなるが電力消費の点でランニング・コストを低減できる効果があり、5 年間で投資を回収できる。

プロジェクトが時宜を得たものであることはいくら強調しても強調しすぎるということはないであろう。テnder-X 線領域での SLIT-J の能力は、日本には比類するものがなく、世界の最新の 3GeV 蓄積リングのレベルにある。テクノロジーの根底にある基礎研究と学術との協力による産業の進歩を通じて、軟 X 線スペクトル領域は、社会に直接影響を及ぼす課題に対処するために重要なものとなる。建設着手のいかなる遅延も、SLIT-J が基礎とする希少な産学連携モデルをフル活用した産業開発ツールの遅配を意味することに

なる。

IV. 国際的な視点から、学際的研究および産学連携の発展におけるプロジェクトの科学的価値および科学的・技術的価値の評価

SPring-8 で検証された、高分子科学におけるコンソーシアムで、産業界と学術の協力についての取り組みは、劇的な成功をもたらしており、世界でも希有のものとなっている。このユニークな取り組みは、共通の課題だけでなく、市場の潜在需要に近づく研究開発を独立して行う機会についても、企業間の協力の基盤を創成するものである。

SLiIT-J 計画は、この取り組みを新たなレベルに引き上げ、一般に産業と放射光を効果的に結びつける新たな典型を確立することになろう。提案された施設は、幅広くこのようなコンソーシアムを包含し、施設建設も、政府と産業界の連帯による資金拠出で行われることになろう。

各ビームラインの自動化実験ステーションとイノベーションベンチを備えたハッチの組み合わせは、産業界の個々の研究者、技術者および産学協力の需要に完全に応える方策を提供し、同時に、将来の発展のためのユニークな研究開発の機会を与えることを可能にするであろう。

V. 一般的考察

SLiIT-J の成功にとって極めて重要なことは、東京湾岸エリアおよび主要国際空港から利用者のアクセスが容易であることである。移動時間が戸口から戸口へ 3 時間未満となれば、日帰り実験が可能になる。

また、重要な点は SLiIT-J の立地である。世界的な大学に隣接して SLiIT-J を建設すれば、相対的な知的環境のみならず、産学連携の基盤をなすアントレプレナーシップ開発を著しく強化することになろう。

日本各地に点在する放射光施設のプラットフォームを構築するという概念は、それら光源の生産性と利用者のアクセスの良さを最大化する可能性を秘めている。

産業界と政府が共に利用し、出資するというパートナーシップで SLiT-J を実現するという取り組みは革新的であり、今後、他の大型施設展開への道を示すことになるかもしれない。

LINAC は運転経費を低減するだけでなく、将来的には、低繰り返しレートの軟 X 線自由電子レーザーのドライバーとして活用できる可能性を有している。

SLiT-J のビームラインの建設計画について、早期かつ明確な産業界との取り決めは、今後のユーザーのニーズへの対応を確実なものにするであろう。特に、“イノベーションベンチ・コンセプト”を成功させるには、十分な広さを確保することに注意を払うことが重要である。

既存の放射光施設では不可能であるが SLiT-J では可能になること(技術的能力、熟練ビームラインサイエンティスト、ビームラインアクセス・モード等を含む)を企業に明示することは、企業の参画を確固たるものにするためには重要である。

産業界が関心を持つような多様で大型のエンドステーションを設置するためには、高分解能実験装置、利用者間の迅速な交代、オンサイトでの試料準備などに必要となる、十分に広い空間をビームライン周辺に確保することが重要である。

SLiT-J 施設計画をコンセプトデザインから詳細技術デザインに移行する際には、たとえば、日本が世界を先導する最高水準の X 線光学だけでなく挿入光源(永久磁石クライオアンジュレータや超伝導アンジュレータ)など、さらなる技術的な探求を行うことを推奨する。

SLiT-J が最高水準の検出器を採用した場合には、膨大な量のデータが生み出される。「ビックデータ」やますます大量かつ複雑になっていくデータセットをリアルタイムで解析するといった、ますます増える課題に対処するための計画を検討することを推奨する。

エンドステーション概念の公開コンペの実施を支持する。エンドステーション・デザインコンペの募集においては明確な選考基準についての声明をひろく示すべきである。成功させるためには、潜在的なユーザコミュニティのかなりの部分がこの公開コンペに参加することが重要である。そのためには、おそらく、全領域にわたって可能性のあるビームラインを確実に確保するために、鍵を握る企業やセクターを積極的に勧誘すること奨励する。加えて、(1) バンド幅あたりのトータルフラックス曲線、(2) バンド幅あたりのコヒーレントフラックス曲線をフォトンエネルギーの関数として提示することは、コンペを進めていく上での一助となる。

既に指摘したように、単一の技術で特定の問題のすべての面に対処することはできない。イノベーションベンチ・コンセプトによって SLiT-J 基本的コンセプトは多様な X 線技術を利用可能としており、地域に関連した技術的能力(例えば、電子顕微鏡、試料の準備、評価能力、レーザー、計算機的能力など)が活用できるように SLiT-J 計画をコーディネートすることは良いことである。

施設の利便性と信頼性は産業活用にきわめて重要である。顕著な長いシャットダウンのない 6000 時間の安定運転の提案は非常に望ましいゴールと言える。