

4. 計画の背景と経緯

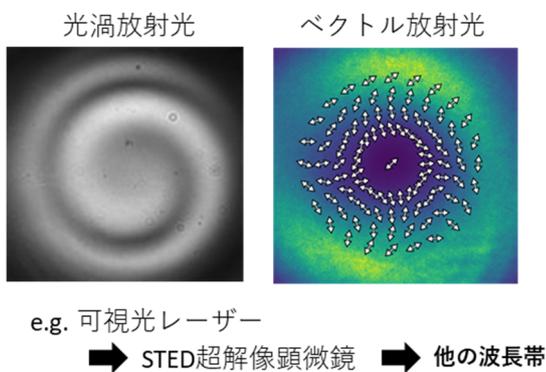
・挑戦性の背景と現状(複雑系の光計測)

光科学は光源技術の深化と共に多様な分野へ発展してきたが、まだ多くの未活用分野が残る。特に化学・生物学分野の需要の高まりに対応できていない。また、大型設備への財政的投資難・技術開発難の諸問題が顕在し、我が国における次世代への技術継承と人材育成の対策が後手で手薄になり、イノベーションの基礎となる手法開拓や装置開発の今後の展開は極めて深刻である。我が国が主導してきた放射光・レーザー光を軸とした学術発展の歩みを止めないために大型設備を刷新し、ワンルーフ型支援パッケージ構築によって複雑系計測の人材を育成し、持続性のある共同利用支援機関を構築することが欠かせない。UVSOR の強みとも言える光源開発は着実に成果を積み重ねており(詳細は後述)、近年 VUV 域の光渦(2017)やダブルパルス光によるアト秒制御(2022)など、先駆的光源の実証に成功したことで、世界に先駆けた挑戦的な手法開拓による**光科学の世界トレンドを作る機会が来た**。新たな量子ビームの挑戦的開発と、複雑系に展開する先端光科学による新規基盤学術の開拓によるブランド化による国際的な中核研究基盤を構築する機会である。さらに広帯域光の万能型光源をニーズに対して網羅的に支援する「使い易い光源」をコンセプトとして支援体制

| 38

量子ビーム開発とその先端利用による学術分野の開拓

放射光空間構造の制御と応用



歴史的なUVSORのオリジナリティ

応用 困難な課題
 環境・エネルギー

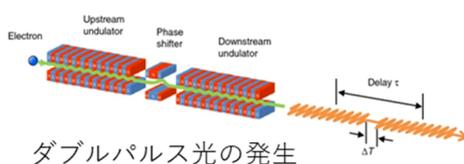
広帯域光の複合的
 利用の価値

新しい顕微鏡
 新しい手法
 を

新しい分野へ
 -量子マテリアル
 -ライフサイエンス

赤外光
 紫外光
 軟X線
 ガンマ線

放射光時間構造の制御と応用



実証
 段階

アト秒干涉

超高速レーザー
 実験との相補性

新しい量子計測へ

回折限界の極限光源の挑戦 持続的な先端計測開発

図 4-1: UVSOR では小型施設ならではの自由度とネットワークによる斬新な光構造の実証研究が行われてきている。多様な波長帯のマルチビーム利用は前例が無く挑戦的であるが、叡智を集結し、世界に先駆けて困難技術の開発を目指す

を転換することも必要である。この 1 年程度で、多様なプロジェクト計画の立案を含め、岡崎三機関の研究所間の議論が活性化しており、挑戦的計測による分野開拓への機運が高まってきている。またレーザー光源と放射光源の差別化と相補性も明確になりつつあり、歴史を振り返れば、今まさに成熟期にある両光源の利用転換期と捉える時で、ユーザーの立場に即して両光源を同等に提供する先端施設としての支援体制を構築し、ユーザー目線で真に求める計測に最適な光源を安定的に提供できる環境を整えることが重要である。コンパクトで多様な光源の一元化利用は、昨今の省エネルギー社会の要請に答えるための一つの解ともいえる。

・総合性の背景と現状(大型施設の利用法)

高度経済成長期には、産業専用施設をはじめ、その有用性と期待値から我が国には複数の放射光施設が建設された。当初、放射光第二世代として地域性を鑑みて東にフotonファクトリー(Photon Factory 以下、PF)、西に UVSOR が建設された。その後、第三世代の流れで、我が国には共用施設の設定とともに世界最大級の SPring-8 が建設された。また中型施設については、およそ 30 年前に世界に先駆けて我が国に建設される予定であったが、2024 年度運転開始に向けて建設されている NanoTerasu まで待つことになる。この中型施設は多様性と光源特性、維持費や建設コストの視点でのバランスが良く、選択と集中が求められる国においては、現在国際的スタンダードともなっている。また PF、UVSOR は時代毎に要素技術の更新や、設備高度化を実施し現在に至る。共用施設である大型 Spring-8、中型 NanoTerasu は学術利用と産業利用の区別なく、出口戦略の明確な課題を実施することをミッションとしており、共同利用・共同研究の推進を担う学術系施設である PF、UVSOR は挑戦的な萌芽的研究や、試行実験を実施することができる施設で、無償利用や旅費支援などを含め、研究者の自由な活動環境が維持されている。一方で、その後に限られた人材の施設間への分散と理系人口の急速な減少問題が顕在化している。

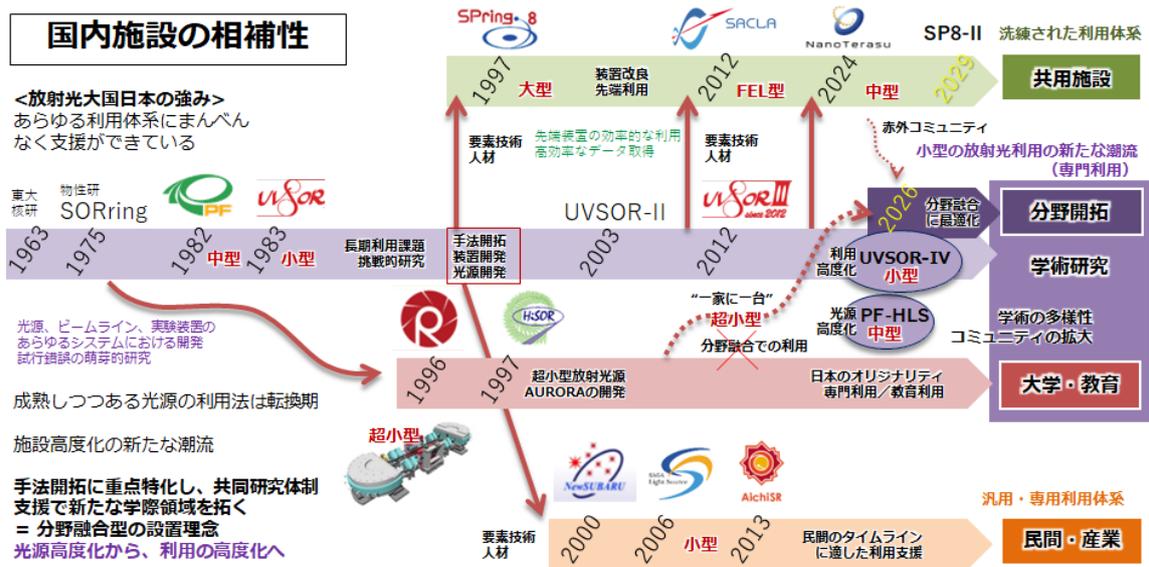


図 4-2: 国内放射光施設の変遷とミッション相補性

・分野融合の背景と現状(共同利用・共同研究)

多様な分野を抱える分子研 UVSOR 施設ですら、40 年の歴史を振り返れば、分野横断的な利用展開は容易では無い。シーズブッシュ型で構築された最先端設備を基軸とした玄人仕様の実験機器はビギナーへの利用障壁として立ちふさがり、物質利用や材料変革の時代の急速な変化に適応しきれていない。複雑系物質の多くは、その原子配置を精密に決定する精密計測による構造学に立脚することが多く、研究スタイルとして、まずはその構造決定という困難課題の解決へ向けた努力がなされる。そのため機能発現や物性制御への指針は、なかなか推測を交え盲目的である。複雑系・不均一系の理解へ向けて、先端光科学を駆使した定量的評価がその第一歩であり、アイデアが萌芽的な段階での集中投資により、世界トレンドを作るために国際標準設備と高度支援環境の効果的な集約が不可欠である。必然的に国際動向を逐次確認し、必要に応じて国際連携により相互の優位性を強化する戦術も必要となる。本計画では、大学共同利用機関のこれまでの地の利を生かし、新センターを軸に様々な目的階層の研究者への等価対応を実現することで自ずと研究者が集合し、国際的に分野融合研究が加速される。また生命創成探究センターでは、糖鎖研究グライコームプロジェクトの重要研究拠点として認識されており、今後同プロジェクトで構築されるであろう構造データベースと、本計画における機能評価法の開発がつながることさらに波及的かつシームレスな研究活動の発展が可能であり、岡崎地区の拠点形成は極めて効果的であるといえよう。一方で、先端光源として放射光とレーザー光の開発競争の歴史は計測科学の進化に重要な意味をもつ。

・国際性の背景と現状(世界トレンド)

VISION: 放射光の歴史的な歩み

80-00s 高温超伝導ブーム(物性分野) → 物性科学の標準ツール
 半導体微細化(産業界要請、リソグラフィ)
 分子科学: 原子レベルでの合成反応・物理化学評価技術の期待 → 継続中
 00-20s 複雑系構造解析: → 構造生物学の標準ツール
 20-40s 自律性科学 → 機能生物学(ライフサイエンス起点)
 空間/時間階層を横断する評価技術の必要性 Needs高まり

図 4-3: 放射光の歴史的な利用分野開拓の動向

光の利用は時代毎のニーズや研究規模の必然性から、波長帯毎に光技術開発と利用法の開拓が進められ、例えば、放射光における硬 X 線と構造学、赤外光・可視光レーザーによるイメージング・化学分析、レーザー非線形光学は一大分野展開が成功例として花開いた。VUV や SX 帯あるいはガンマ線帯域の利活用は国際的にみても今後の発展利用や技術開発が期待される未開拓な波長域である。国際的に放射光を利用したバイオ系の融合研究環境構築の機運の上昇期であり、レーザー光と放射光の集約環境の構築と融合利用による新規計測法への挑戦は未提案で、未活用波長帯の活用例や実験成功例が発信されれば熾烈な国際競争が生じるため、我が国が主導した世界トレンドを取得し、中長期的な優位性を堅持するためには緊急性が高く、施設や設備のハード投資のみ

ならず拠点センターや利用支援体制のソフト面の集約投資が不可欠である。また先端技術の集約により次世代施設は省エネ化が可能で、施設規模の最適化を検討すべきである。

2000～2010 年代に世界各国で第三世代の高輝度放射光施設が建設された。それぞれの地域性や国策を反映させた展開が見える。例えば、英国唯一の放射光施設である中型の Diamond では、国策としてバイオ系の研究支援に特化した運営で、バイオ計測関連ビームラインの比率を 30%以上(他施設平均 10-20%)とすることで分野を国際主導している。本計画はこの運営術をロールモデルとし、施設牽引型とユーザー主導型の良い面を合わせて超異分野融合を狙う。戦略的な集中と選択による中長期的科学目標で世界トレンドをつかむ。スウェーデンの MaxLab 研究所の Max-IV と肩を並べる唯一の先端小型施設であり、本施設による医・食・環境問題への光科学によるロールモデルが認知されれば、小型インフラ施設への投資は途上国には魅力的に映るであろう。その段での国際貢献は計り知れず、また人口問題をふまえ、研究者や若手人材の確保や流動性にも一石を投じることとなる。

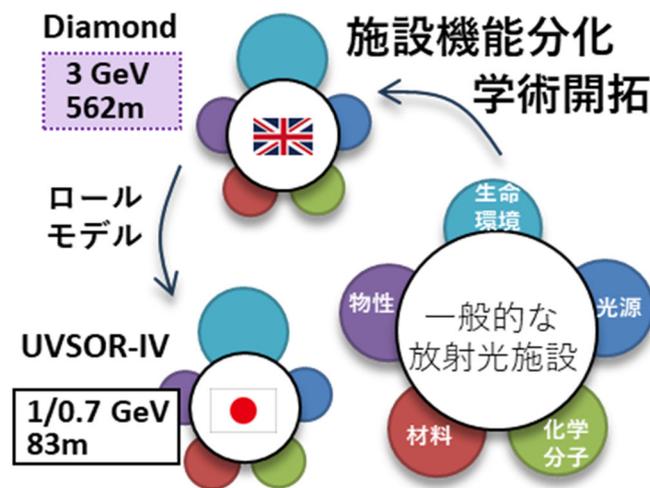


図 4-4: 大型施設の学術ミッションの集約化と拠点分担戦略. Diamond 施設では国策としてバイオ系ビームラインの強化を進めており、COVID-19 への対応は成功事例といえよう

シンクロトロン放射光は現在、第 3 世代に位置する。第 1 世代は高エネルギー物理学の加速器を間借りした世代、第 2 世代は専用の放射光施設を指し、第 3 世代はアンジュレータなどの挿入光源を中心とした高輝度光源をいう。その後は効率化にも視点が移り、各国で更新計画にある第 3.5 世代(あるいは第 4 世代とも呼ばれる)は低エミッタンス性から幅広い波長帯で高輝度でコヒーレントな光を供給しつつ、安定性にも配慮がなされる。極めて高い空間分解能で、複雑な物質材料システム・デバイス、生命組織などにおいて、これまで見えなかった構造や状態の原子レベルでの可視化が期待されている。また時間構造制御はレーザーに優位性があるが、放射光のアト秒時間制御も可能になりつつあり、アト秒～ナノ秒、マイクロ秒～秒、時間～年の広範囲の時間軸にわたって、物質材料システム・デバイス、生命組織の動的変化追跡を実現できると期待される。異なる空間スケール・時間スケール・波長特性を持つ2ビームを組み合わせる放射光マルチビーム実験によって放射

光の可能性が大きく広がると期待できるが、多彩な開発を限られた大型施設で担うのは困難な課題であり、学術機関の主導と集中政策による分担作業で、挑戦的な光計測手法の開拓を成し遂げる。放射光源の光特性のうち、多くの試料系では高輝度化の目的は既に必要十分な状況に達したとも言える。中型施設では、前述のように、もうしばらくの間は高輝度化のための第 3.5 世代(あるいは第 4 世代と定義)とも呼ぶべき施設高度化計画が続くが、小型施設では長波長域の光源性能は概ね成熟しており、今後はデータ出力に視点を置いた運営体制が必要であると言える。データの量と質、つまり組織・実験の効率性と安定性が重要なフェーズであり、目的特化のスピード感も意識した共同研究スタイルを切り拓く必要がある。成熟期を迎えた放射光の利用転換期を見定め、挑戦的な光源開発の視点だけに囚われずに、高度利用実験の視点に軸足を移し、検出効率の向上に努めることが戦略として有効である。先端光源として放射光にしばられず、レーザー光も同等に提供できる包括的光源設備体制とし、ユーザーが求める計測・分析に最適な先端光源を「その種を問わず」に安定的に提供できる環境を整える。

世界の放射光施設の分布は、米国、日本、ドイツが突出し、中国が追従している。日本とドイツは開発要素の強い基礎学術研究で世界をリードできる数少ない先進国という共通点が見出される。100 年後の科学技術を支える国の盟友として残るために、基礎学術への長期的投資を検討していただきたい。中期的には、国内 11 放射光施設で、先端光源・手法開発とそれを担う研究技術者人材育成、各種量子ビーム・各先端計測・理論研究との学術連携、物質・生命インフォマティクス基盤の構築を推進しつつ、アジアオセアニア連携を始め、国際協調も強化する。

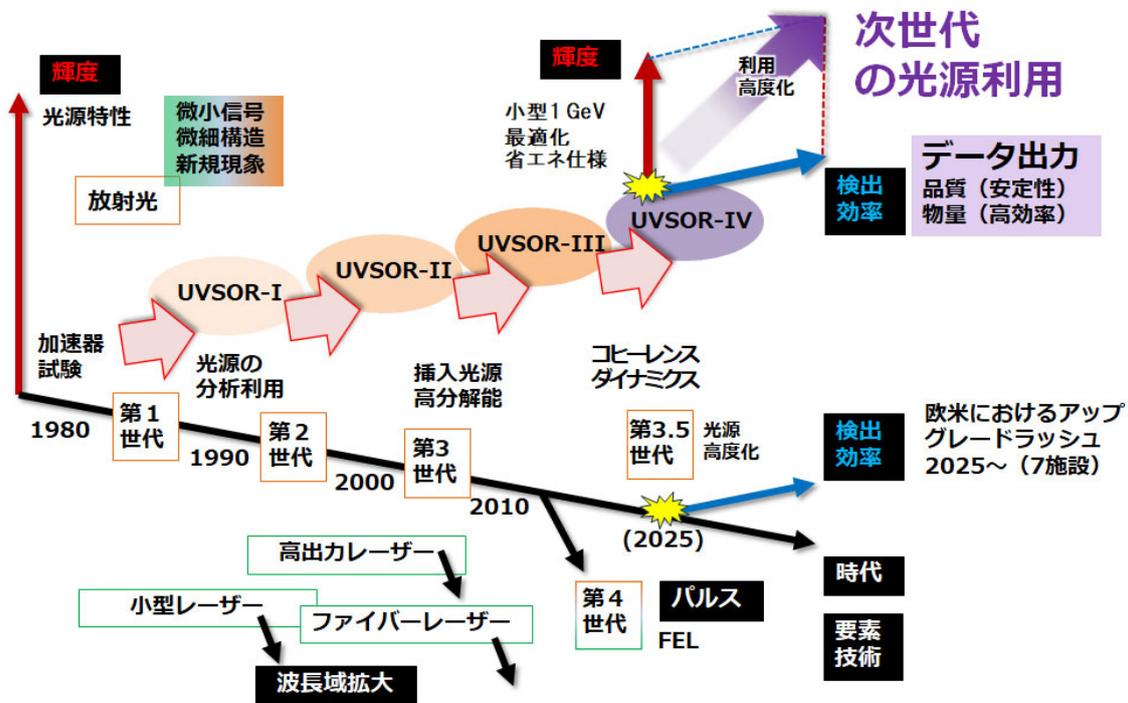


図 4-5 第三世代高輝度放射光の次の展開。高輝度化を目指した高度化は完了し、高効率・高品質データ出力を意識したユーザー利用の高度化視点へ