

RIKEN SPring-8 Center

RIKEN SPring-8 Center



SPRING-8 (スプリング8)

Super Photon ring 8 GeV

世界一の高 世界一の高エネルギーを実現する第3世代(*)シンクロトロン放射光源

光を通して物質を観察する際、光の波長が短いほど解像度は上がります。従って、目に見える光（波長400～700ナノメートル）より1000分の1以下の短い波長をもつX線は、原子・分子の織り成すナノの世界を探るためには理想的な観測手段となります。そのため、より高い輝度のX線光源を開発することは、物質の性質をナノレベルから探ってより深く理解し、新たな機能を発見するための出発点となります。

スプリング8は、蓄積リング方式シンクロトロン放射光源として、世界最高のエネルギー8 GeV(ギガ電子ボルト)を誇っています。光の波長領域としては、赤外線(波長10万ナノメートル)からX線(波長100分の1ナノメートル以下)までの広範囲をカバーしています。また、右のビームラインマップに示された50本をこえるビームラインにおいて、物性・構造生物学等多くの分野に対応した設備が整っており、基礎科学から産業への応用まで幅広く利用されています。

放射光科学総合研究センターは専用のビームラインを運営し、放射光の光源の開発と、それを用いた研究を推進しています。なかでもスプリング8からのX線を最大限に利用するために建設された、25mの光発生装置(アンジュレータ)を有するビームラインと全長1 kmの長尺ビームラインは特徴的なものです。これらは、世界で初めての硬X線によるコヒーレント散乱イメージング、超高精度ミラー(大阪大学との共同研究)、極めて質の高いダイヤモンド結晶、X線移相子、硬X線光電子分光など、様々な研究開発に使われました。これらの開発の成果はスプリング8の他のビームラインでも利用されているだけでなく、世界中の放射光施設でも使われており、後のX線自由電子レーザー・さくら建設の礎ともなりました。また、放射光科学総合研究センターでは、X線の非線形現象を用いることで、電

子の光学応答を超高分解能で観測することに成功しました。この研究が発端となり、他の放射光施設にも非線形現象の研究が広がっています。

蓄積リング方式のシンクロトロン放射技術は、世界中で長年にわたって開発されており、特に分光研究の分野においては、分解能、感度、安定性など、他の計測法では実現できない極めて優れた特性を有しています。放射光科学総合研究センターでは、軟X線から硬X線の分光研究を行うために、世界で最も性能の高いビームラインを開発しました。これらはエネルギーや環境の問題に対して、大きく寄与することが期待されています。

このような放射光科学総合研究センターの取り組みにより、スプリング8は世界一の施設として国際的に認知されるようになりました。スプリング8を利用した成果は、新しい電池技術や電子機器の高密度化、新薬の開発など、産業の発展に寄与し、私たちの身近なところで役立っています。また、宇宙の起源や地球の生い立ちなど、私たちの住む世界の根源を探る道具となっています。現在は、さくらも合わせて用いながらスプリング8の可能性を進展させ、さくらの高品質な電子ビームを入射源とする次世代シンクロトロン光源の設計にも着手しています。放射光科学総合研究センターがその役割を果たすことは、新しい光源の発明につながり、次世代の科学・技術を花開かせる原動力となるでしょう。

(*) 第1世代放射光施設とは、高エネルギー物理研究用の加速器から出る放射光を寄生利用するもので、我が国では1965年に建設された東京大学原子核研究所の電子シンクロトロンがそれに当たる。第2世代放射光施設は、最初から放射光専用施設として建設された加速器を用いるものであり、東京大学原子核研究所のINS-SORや筑波のKEKでのPhoton Factoryがある。第3世代施設はアンジュレータからの放射光に最適化された施設である。



1 km長尺ビームライン

世界最長のビームラインが、理研のコヒーレントX線光学研究開発のために用いられる。



超高精度ミラー

大阪大学と共同で、X線ナノビームを生成するミラーが開発された。



硬X線光電子分光装置

先進分光装置を用いて、様々な先端物質の分析や解析が行われる。



★: 共用ビームライン

●: 専用ビームライン

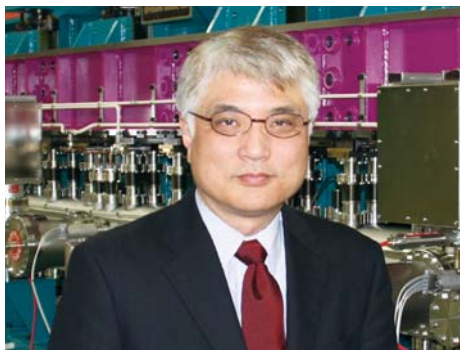
◆: 理研ビームライン

■: 加速器診断

☆ ◇ □: 計画・調整・建設中



ご あ い さ つ



理化学研究所
放射光科学総合研究センター
センター長
石川 哲也

大昔に初めて火を手にしたのが、我々人類にとって光源の発明の端緒でした。火を操ることで、人間の生活様式は他の動物とは全く異なるものとなりました。以来、蝋燭、行燈、ガス灯などの新しい光源が発明されるたびに、常に新しい科学・技術が生まれ、生活様式は変化を遂げてきました。中でも、電灯が発明されて広く普及したことにより、夜の暗闇がなくなり、日々の生活が一変しました。

人類はさらに虫眼鏡や顕微鏡を発明して微細なものを観察し、知的好奇心を満たすと同時に人間の生活に役立ててきました。光でものを見るとき、解像度は光の波長が短いほど上がります。19世紀末に発見されたX線は、目に見える光よりもはるかに短い波長をもつ光であり、かつ強い透過性を持ちます。X線を用いると高い解像度で物の内部を観測することができるため、X線は科学・技術のあらゆる分野で欠かせない観測手段として使われています。今日の研究の最前線では、物質の性質を原子・分子レベルから探ることが当たり前となっています。X線を用いてナノメートルの世界をより探るためにも、より高い輝度のX線光源が常に望まれています。このパンフレットでは、次世代X線光源の研究開発へ向けての私たち放射光科学総合研究センターの取り組みをご紹介します。

スプリング8(SPring-8: Super Photon ring 8 GeVの略)は、1997年に理化学研究所 播磨キャンパスに建設され、蓄積リング方式のX線光源(第3世代シンクロトロン放射光源)として世界一の高エネルギーと世界有数の輝度を誇っています。

さくら(SACLA: SPring-8 Angstrom Compact free electron LAserの略)は、スプリング8に隣接して理化学研究所 播磨キャンパスに建設された、世界で初めてのコンパクトなX線自由電子レーザー(XFEL: X-ray Free Electron Laserの略)光源です。2011年10月に、レーザー光の波長として世界一短い0.06ナノメートルを達成し、その後も記録を更新し続けています。

放射光科学総合研究センターは、世界で唯一シンクロトロン放射光(スプリング8)とX線自由電子レーザー(さくら)を併せ持つ理化学研究所播磨キャンパスにおいて、X線科学の可能性を広げるための光科学研究開発を行う拠点として、2005年に設置されました。スプリング8を用いた最先端の研究を推し進めるだけでなく、硬X線領域の自由電子レーザーの開発も進めてきました。2つの世界一の施設を同じ場所にもつ利点を最大限に生かした新しい科学・技術を発信し、人間の豊かな生活に寄与するための原動力となるような研究開発に取り組んでいます。

The SPring-8—SACLA Experimental Facility

スプリング8-さくら 相互利用施設

SPring-8×SACLA=∞(無限大) ～ 前人未到の世界へ ～

2つの世界一の施設の相互利用

放射光科学総合研究センターの最大の利点は、スプリング8とさくらという2つの世界一の施設を同時に活用できることです。さくらのための高品質な電子ビームをスプリング8の蓄積リングでも使うことができ、スプリング8でより高い輝度のX線を得ることができます。このように高品質な電子ビームを入射する技術は、将来的にはスプリング8の高度化の際にも重要となります。

スプリング8-さくら相互利用施設では、スプリング8とさくらの両方からのX線を試料に当てて実験することができます。放射光科学総合研究センターでは、さくらからのX線を当ててできた多価イオンの分光をスプリング8で測ったり、さくらからのパルスX線で瞬間的に非平衡状態に転移した試料がゆっくり緩和していく過程を、スプリング8を使って時間領域で観測することなどを計画しています。

さくらの非常に強いX線ビームを用いることで、分子などのかたちが瞬間的に変化し、機能が発現していく様子をこれまで以上に小さい構造レベルまで測定することができますが、強いビームによって物質が破壊されてしまうという難点があります。一方、スプリング8のX線は、さくらと比較すると優しいビームであるため、物質を壊さずかつ変化させずに時間領域で観測することはできますが、時間的・空間的な解像度はさくらと比較すると非常に低いものとなっています。

スプリング8とさくらを相互利用することで、それぞれの長所を組み合わせ、(1) スプリング8による低解像度の時分割データに、さくらからの高解像度ス



ナップショットを埋め込んで自然現象の過程の理解を深めることや、(2) スプリング8で結晶を用いて得られた高解像度のデータと、さくらによる各瞬間のデータとを組み合わせることで、1分子のダイナミクスや分子同士の相互作用の様子を高い分解能で観察することが可能となります。

放射光科学総合研究センターは、スプリング8とさくらという2つの優れた光源を相互利用することで、これまで仮説に過ぎなかったような自然界の現象を実際に観察することを可能にし、科学の新たな分野を切り拓くことで、前人未到の世界へ挑戦していきます。

SPring-8 × SACLA

放射光科学総合研究センター ～ 世界を先導する光科学研究組織 ～

放射光科学総合研究センターの最も重要な役割は

- (1) 放射光を用いた高エネルギー光科学で新しい分野を開拓し、スプリング8を世界の中で卓越した放射光施設とすること
- (2) 光源や、光源から光を実験装置へ送る光学、利用実験装置などを高度化しながらこの卓越性を保つこと

です。これらの役割を果たすため、放射光科学総合研究センターは2005年10月に以下の三部門で発足しました。

- **先端光源開発研究部門**：スプリング8を高度化し、次世代シンクロトロン放射光源を開発する
- **利用技術開拓研究部門**：スプリング8独自の高度な放射光関連施設を用いた研究を産み出し、育て、先導する
- **利用システム開発研究部門**：スプリング8の認知度を高めることに寄与し、研究成果をスプリング8施設の先端利用に応用する

放射光科学総合研究センターはスプリング8における加速器、挿入光源、及びX線光学技術の一連の革新によって放射光科学の進歩に寄与し、これらはX線自由電子レーザーの建設につながりました。さくらと名づけられたXFELの建設は、日本の五大国家基幹技術計画のひとつとして2010年度内の完成を目指して2006年に始まりました。

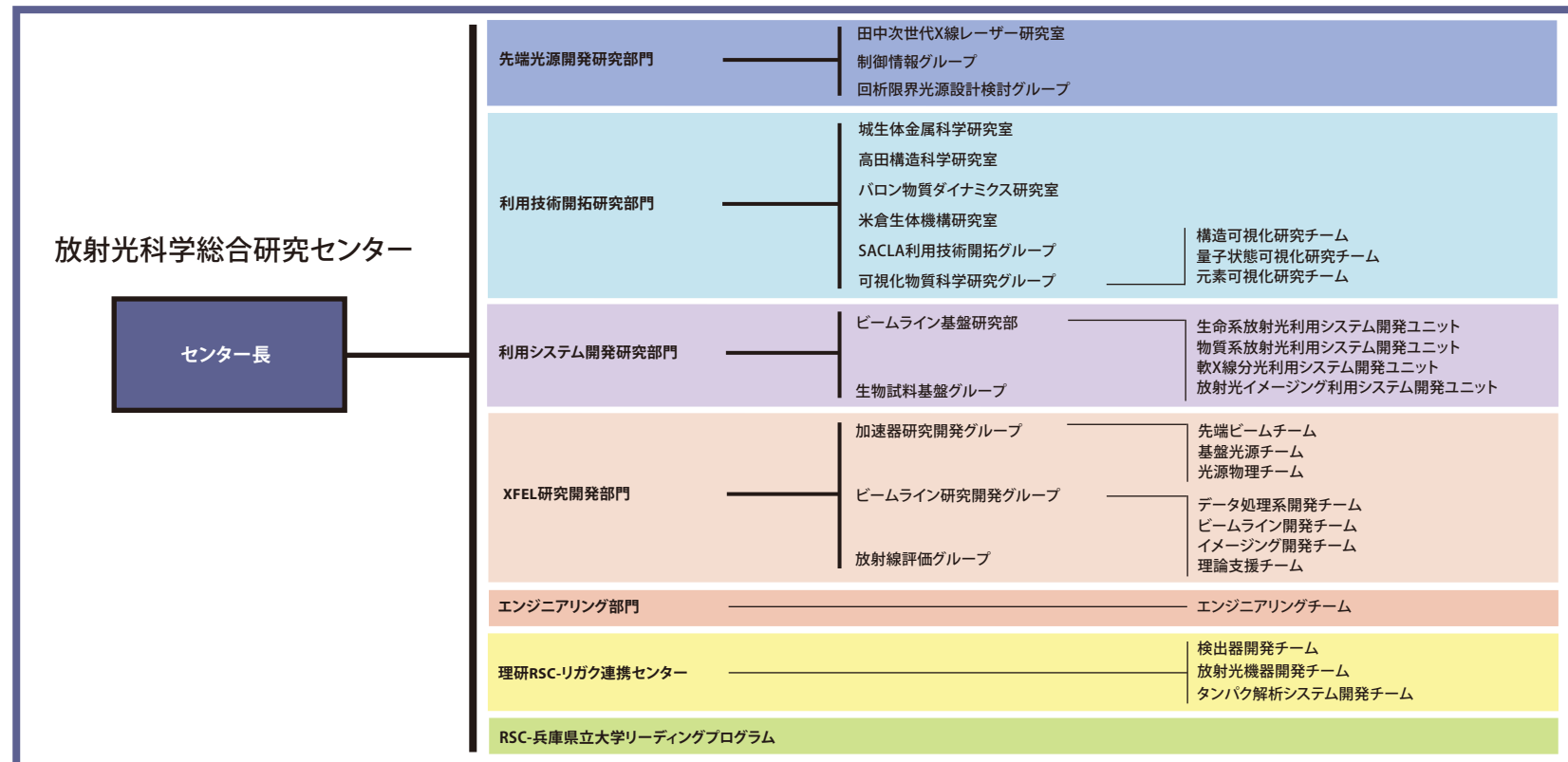
放射光科学総合研究センターでは、さくらの立ち上げに加えてさくらの最先端利用研究と高度化研究開発を行うため、第四の部門を2011年4月に設置しました。

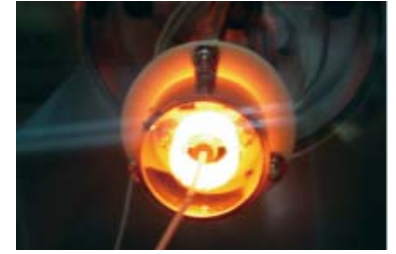
- **XFEL研究開発部門**：さくらから新たに生まれるXFEL科学を促進する

加えて、2013年の理研組織改革に対応して、第五の部門を設置し、2つの外部連携のためのセンターを設置しました。

- **エンジニアリング部門**：施設を含む研究インフラの維持管理とSACLAでの高度技術支援を行う
- **理研RSC-リガク連携センター**：放射光と自由電子レーザー計測装置と実験室計測装置をシームレスに繋ぐ環境を作るため、X線分析機器メーカーと連携・協力する
- **RSC-兵庫県立大学リーディングプログラム**：兵庫県立大学のリーディング大学院プログラムを実施する

理化学研究所 播磨キャンパスにはスプリング8とさくらがあり、放射光科学総合研究センターは高エネルギー光科学の分野においてシンクロトロン放射光とX線自由電子レーザーを併せ持つ唯一の組織であり、この利点を生かして新しい科学分野を発展させ、現存のパラダイムを移行させる義務があります。この施設を利用して未開拓分野が探策され、画期的な進展がもたらされる事を使命としています。





極低エミッタンス熱電子銃

6ホウ化セリウムの単結晶が極低エミッタンス電子ビームを生成する。



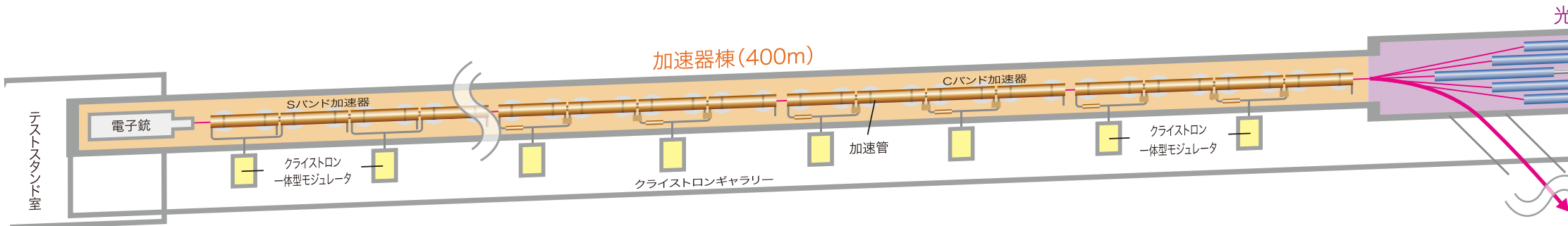
高勾配Cバンド加速システム

効率よく電子ビームを加速する。



真空防止型短周期アンジュレータ

低いエネルギーの電子ビームから、世界で最も高い光子エネルギー（最も短い波長）をもつXFELを発生する。



(さくら)SACLA

SPring-8 Angstrom Compact free electron Laser

世界で初めて1 Å (*)の壁を越えたX線自由電子レーザー

19世紀末のX線発見に続き、20世紀半ばにはレーザーが発明されました。レーザーは研究開発の現場には欠かせない道具となったばかりでなく、私たちの生活の中でも当たり前のように使われるようになりました。レーザーの発見から半世紀の時を越え、私たちはさくらの完成により、今まさにX線レーザーを手にしたところです。さくらがもたらす光によって、今から半世紀後の人間の生活はどう変わっているのでしょうか？

さくらは、直線型の加速器(線形加速器)を利用したX線自由電子レーザーで、世界で初めて1 Å以下のX線レーザーを実現しました。さくらには8 GeVの線形加速器に、90mの光発生装置(アンジュレータ)がつながっています。線形加速器の上流で発生した電子ビームは、下流にある電磁石によって5本のラインに導かれます。このうち、現在2本のラインにアンジュレータが設置され、X線を取り出すことが可能となり、残りの3本は今後の拡張を計画中です。この他に、スプリング8の蓄積リングに電子ビームを送るラインが整備されています。

さくらは、真空封止型短周期アンジュレータをはじめ、極低エミッタンス熱電子銃、高勾配Cバンド加速システムなど、スプリング8で開発された技術が礎となっています。さくらはこれらの技術を駆使し、施設の規模を可能な限り小型化するように設計されており、アメリカやヨーロッパの施設と比べて、3分の1から4分の1の小型化を実現しています。要素技術の多くは、厳選された素材、高度の加工技術、高精度計測制御技術など、我が国独自の広範な最先端産業技術に支えられています。このため、さくらは先端基盤施設の中では、国産化率が抜きん出て高いものとなりました。

スプリング8と比較して、さくらは10億倍の輝度、1000分の1のパルス幅、1000倍の空間コヒーレンスをもっています。非常に輝度が高いため、XFELを1パルス当てただけでも試料が破壊されてしまいます。しかし、試料が壊れる速さよりもX線の散乱過程の方が速いので、壊れる前に試料の情報を得ることができます。このように、さくらはこれまでの放射光とは全く異なった性質をもっているため、生物試料やナノ物質などの先端材料の解析を行うために、新しい方法が必要となります。

X線自由電子レーザーは、まだ産声をあげたばかりです。かつてのX線やレーザーがそうであったように、X線自由電子レーザーを使った研究を発展させ、成熟させていくためには、今後も絶え間ない改良が不可欠です。放射光科学総合研究センターは、さくらを運営しながら、新しい問題を発見し解決するため、国内外の研究者と手を携え、新しい科学・技術を産み育んでいきます。このような取り組みにより、半世紀さらにはその先の未来へ向けて、人間の生活をより良くするための基盤を築いていきます。

(*) 1 Å (オングストローム、Angstrom) = 0.1ナノメートル = 100億分の1メートル。
原子の直径程度の長さで、原子や分子を対象とする研究で使われている。

