

# 新たな軟X線向け高輝度3GeV級放射光源の整備等について（報告） 概要

## ポイント

- 我が国において、新たな軟X線向け高輝度3GeV級放射光源（次世代放射光施設）の早期整備が必要
- 国の整備・運用主体は、国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構が適切
- 整備・運用に積極的に関わる地域及び産業界とともに、財源負担も含め、官民地域パートナーシップにより計画を推進することが適当
- 次世代放射光施設をプラットフォームとして、「組織」対「組織」で共同研究を行うことなど、本格的産学連携を実践していくべき

## 報告書概要

### （1）次世代放射光施設の科学技術イノベーション政策上の意義

- 最先端の科学技術は、物質の「構造解析」に加えて、物質の「機能理解」へと向かっており、物質表面の電子状態変化を時間的に追える、高輝度の軟X線利用環境の整備が重要。（⇒別添参照）
- 2010年代に入ってから、米国、台湾、スウェーデン等において、高性能の軟X線向け高輝度放射光源が稼働を開始しているが、我が国には諸外国と互角に競争するための環境が整っていない状況。
- 学術研究のみならず高い産業利用ニーズが見込まれている次世代放射光施設は、我が国の多岐にわたる研究開発分野の研究力、産業競争力に大きな影響を与え得ることから、学術、産業等の各界から高い期待が寄せられており、その早期整備により、科学技術イノベーション創出に向けた基盤強化を図ることが必要

### （2）次世代放射光施設の規模

- エミッタンス※が低く、高輝度な放射光を出せる「先端性」と、運転時にビーム性能を維持できる「安定性」を両立した、コンパクト(周長325～425 m程度)な施設

※エミッタンス：電子ビームの絞られ具合を示す値。エミッタンスが低いほど電子ビームが細く絞られ、そこから発生する放射光の輝度は向上する。

### （3）国の整備・運用主体

- 大型プロジェクトの整備・運用経験を有し、量子ビームの相補的・相乗的利用を推進するとともに、産学官連携活動を積極的に進める将来ビジョンを持った（国研）量子科学技術研究開発機構が適切

### （4）整備・運用にあたっての基本的考え方、マネジメント方策等

#### ①官・民・地域連携による推進

- ・整備・運用に積極的に関わる地域及び産業界とともに、財源負担も含め、官民地域パートナーシップにより計画を推進することが適当

#### ②ビームラインの整備・改廃、最先端の研究成果の持続的な創出

- ・科学技術の進展を見据えたビームラインの整備計画やビームラインの改廃の方針について定期的に策定・改訂
- ・利用料収入の一部を装置の高度化などの設備投資やサポートの充実・強化等に充てるなど、ビームラインの開発、高度化を量子科学技術研究開発機構自らが計画的に行える体制を整備

#### ③本格的産学連携によるイノベーション創出

- ・産業利用ニーズが高い特徴を最大限活かし、次世代放射光施設をプラットフォームとした「組織」対「組織」の共同研究など、本格的産学連携を実践する

#### ④リサーチコンプレックスの形成加速

- ・次世代放射光施設を中核に、産・学・官・金が地域に更に集積し、リサーチコンプレックスの形成を加速することで、オープンイノベーションを推進
- ・研究開発、人材育成、事業化の好循環を生み出すイノベーション・エコシステムを構築

### （5）整備・運用経費

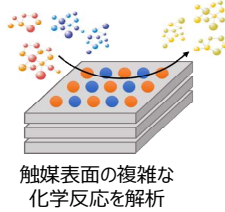
- 整備費用の総額：約340億円程度（用地取得・土地造成に係る経費は別）
- 運用経費：年間約29億円
- 整備期間：整備着手から5年間（整備状況も踏まえ、可能な限り整備スケジュールの前倒しを検討）

次世代放射光施設で拓かれる学術・産業

触媒化学

現在の10~100倍の  
時間分解能

軟X線の強み： 触媒表面の電子状態（化学反応）を解析できる  
 高輝度のメリット：高い時間分解能により化学反応を動的に解析できる



学 触媒反応の学理の解明

- 触媒反応の動的解析や、新たな触媒の反応因子の特定による触媒機能の学理解明

産 省資源で高い生産性をもった製造プロセスの実現

- 触媒の理論的な設計が可能となり、安価で高性能な触媒開発が実現
- 触媒の理想的な反応条件の決定による高効率化、長寿命化、高収率な化学プラントの設計や、高生産プロセスの実現に貢献



創薬

軟X線の強み：電子状態の解析により生体の機能を解析できる  
 高輝度のメリット：大きな分子を網羅的、高速に解析できる

現在の10~100倍の  
時間分解能

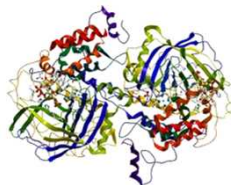
学 新たな生体機能（タンパク質の働き）の解明

- 生体内のタンパク質の電子状態の詳細解析による機能発現の原理解明

産 効率的な医薬品開発の実現

- タンパク質の働きを制御する候補物質のスクリーニングを合理化
- これまで場当たりの創薬について、合理的な設計による効率的な開発が実現

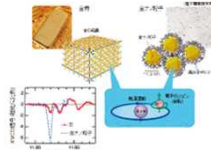
電子状態の動的解析により  
タンパク質と候補物質の反応を理解



磁性・スピントロニクス材料

現在の20~200倍の  
空間分解能

軟X線の強み：磁石内部の磁力構造を元素別に解析できる  
 高輝度のメリット：100nm以下の超微細な磁力構造を解析できる



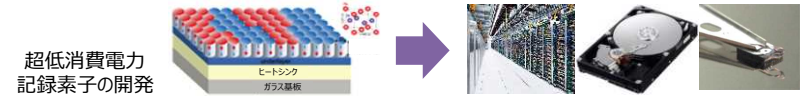
出典) 高輝度光科学研究センター  
 磁力を持たないとされた物質に磁性現象を発見

学 スピントロニクスのダイナミクスの解明

- 超高精度の磁力解析による新たな磁性現象の発見
- スピンの作り出す巨大スピン波伝搬など、新たな現象の解明

産 新しい省資源・省エネ産業の創出

- 希少金属を使わずに高い磁力をもつ新たなエコ磁性材料の開発
- 新たなスピントロニクス素子の開発により、超低消費電力ストレージが実現



高分子材料

軟X線の強み：電子状態の解析により化学反応を解析できる  
 高輝度のメリット：不均質な物質を局所解析（1~10nm）できる

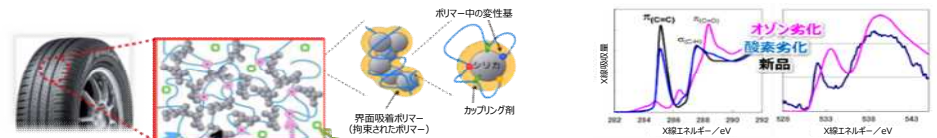
現在の10~100倍の  
空間分解能

学 高分子材料の新たなダイナミクスの発見

- 局所の化学反応解析により、生体分子や高分子のダイナミクスを解析

産 高分子材料の理論的な設計の実現

- 従来、経験則で行っていた界面制御を理論的に制御できるようになり、「局所変化による性能劣化」等を考慮した高機能、低コストな製品開発が実現



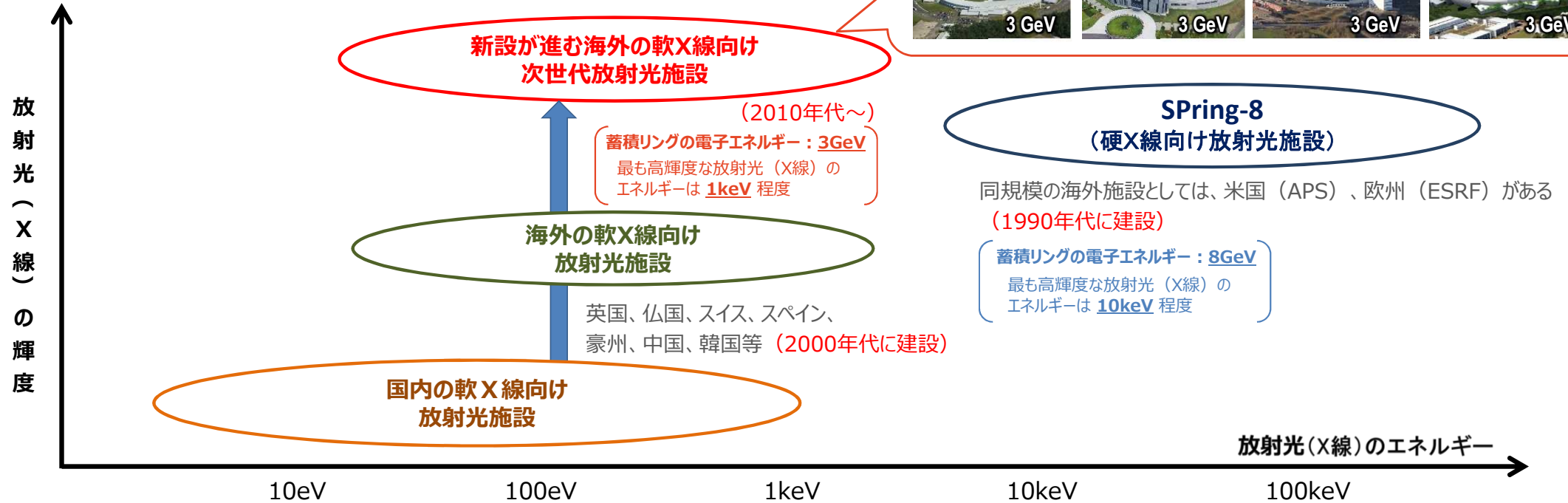
# 参考① 次世代放射光施設の概要 ～SPring-8との比較～

	軟X線向け高輝度3GeV級放射光源（次世代放射光施設）	（参考）大型放射光施設（SPring-8）
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 主に高輝度な低エネルギー領域のX線（～2 keV）による解析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 主に高輝度な高エネルギー領域のX線（5～20 keV）による解析</li> </ul>
強みのある解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 軽元素を感度良く測定でき、電子状態の詳細な解析が可能 【物質の電子の動的挙動や物性の解明等】</li> <li>✓ 物質表面の分析 例）・タンパク質や触媒材料の表面で起こる化学反応による変化等の解析による、創薬や新たな高生産性触媒等の開発 ・磁性・スピンの解析による、磁石やスピントロニクス素子等の開発 等</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>主に物質の機能を知る（物質表面の電子状態の解析）</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 重元素を感度良く測定でき、精密な構造解析が可能 【物質の原子配列や結晶構造の解明等】</li> <li>✓ 物質内部まで分析 例）様々な材料や生体高分子の内部の原子、分子の構造解析による、高性能な材料（電池等）の開発やタンパク質の構造決定 等</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>主に物質の構造を知る（物質内部の原子構造の解析）</b></p>
施設概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 電子エネルギー※：3 GeV</li> <li>✓ 蓄積リング長：325～425 m程度</li> </ul> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;"> <small>※電子エネルギー：蓄積リング内の電子のエネルギー。例えばSPring-8の8 GeVでは硬X線を中心とする放射光が発生する。また3 GeVでは「軟X線」を中心とする放射光が発生する。</small> </div>  </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 電子エネルギー：8 GeV</li> <li>✓ 蓄積リング長：1,436 m</li> </ul> 
主体	<p>（整備・運用主体）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 量子科学技術研究開発機構（国の整備・運用主体）</li> <li>✓ 整備・運用に積極的に関わる地域及び産業界（パートナー）※今後、パートナーの募集により決定</li> </ul>	<p>（運用主体）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 理化学研究所</li> <li>✓ 高輝度光科学研究センター（運転・維持管理業務）</li> </ul>
整備・運用経費	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 建設費（概算総額）：約340億円程度（用地取得・土地造成に係る経費は別途） <ul style="list-style-type: none"> <li>・想定される国の分担：約190億円～約200億円程度</li> <li>・想定されるパートナーの分担：約135億円～約150億円程度</li> </ul>                     + 用地取得・土地造成に係る経費                 </li> <li>✓ 年間運用経費：約29億円（パートナーとの経費分担は、パートナーと協議の上、決定。）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 建設費：約1,100億円</li> <li>✓ 年間運用経費：約98億円（平成29年度実績）</li> </ul>
整備期間	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 5年間 ※可能な限り整備スケジュールの前倒しを検討。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 7年間（平成3年度～平成9年度）</li> </ul>
建設地	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 未定 ※今後、パートナーの募集により決定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 兵庫県佐用町（播磨科学公園都市）</li> </ul>
経緯	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 平成28年11月 科学技術・学術審議会量子ビーム利用推進小委員会において調査検討を開始</li> <li>✓ 平成29年 2月 中間的整理をとりまとめ</li> <li>✓ 平成30年 1月 科学技術・学術審議会量子ビーム利用推進小委員会において最終報告書を取りまとめ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 平成3年11月 建設着工</li> <li>✓ 平成9年10月 共用開始</li> </ul>

## 参考② 国内外の放射光施設の動向

- SPring-8が生み出す放射光は、エネルギーが高い「硬X線」と呼ばれる領域の放射光。
- これに対し、諸外国において、エネルギーが低い「軟X線」と呼ばれる領域で高輝度\*の放射光を生み出す次世代の放射光施設の整備が進んでいる。

\*輝度：放射光の明るさ。輝度が高いと、様々なものがよりくっきりと見える。  
また、より短時間で、より微小な領域を、時間的な変化もより詳細に観察できる。



### 軟X線 (~2 keV)

- ✓ **軽元素**を感度良く測定でき、**電子状態の詳細な解析**が可能  
【物質の電子の動的挙動や物性の解明等】
- ✓ **物質表面**の分析  
例) ・タンパク質や触媒材料の**表面**で起こる**化学反応による変化等の解析**による、**創薬や新たな高生産性触媒等の開発**  
・磁性・スピンの解析による、**磁石やスピントロニクス素子等の開発** 等

**主に物質の機能を知る**  
(物質表面の電子状態の解析)

### 硬X線 (5~20 keV)

- ✓ **重元素**を感度良く測定でき、**精密な構造解析**が可能  
【物質の原子配列や結晶構造の解明等】
- ✓ **物質内部**まで分析  
例) 様々な材料や生体高分子の**内部**の**原子、分子の構造解析**による、**高性能な材料 (電池等) の開発やタンパク質の構造決定** 等

**主に物質の構造を知る**  
(物質内部の原子構造の解析)

# 参考③ 次世代放射光施設に係る国際動向

## 【海外の軟X線向け放射光施設】



エミッタンス※ 3.0 nm·rad

中国

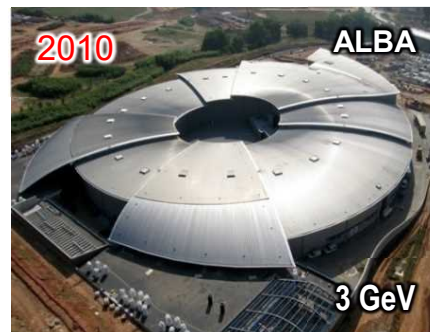


3.9 nm·rad



3.0 nm·rad

スペイン



4.3 nm·rad



2.7 nm·rad

韓国



5.8 nm·rad



7.0 nm·rad

## 【更に新設が進む海外の軟X線向け次世代放射光施設】



(目標)0.55→(実効性能)1.0 nm·rad (目標)1.6→(実効性能)1.5 nm·rad (目標)0.33→(実効性能)? nm·rad (目標)0.25→(実効性能)? nm·rad

※エミッタンス (nm·rad) : 電子ビームの絞られ具合を示す値。エミッタンスが低いほど電子ビームが細く絞られ、そこから発生する放射光の輝度は向上する。