

課題解決のための分野横断型研究内容と放射光利用

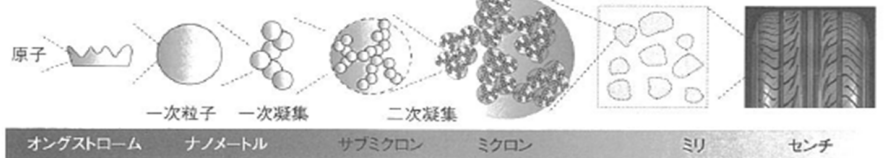
- 科学技術イノベーション総合戦略などの産業政策と連携した研究内容の設定
- 科学的見地にもとづいた課題解決を可能とする研究内容の展開
- 全6分野において機能性材料の発現機構の解明、合成プロセスと評価法の開発が重要
- 表面・界面の原子スケールでの解析、ナノ構造体の合成とナノプローブ評価法の開発
- ソフトマテリアル・バイオ材料、タンパク質などの階層構造と物性の評価方法の開発
- 8次元 (3次元空間 + 時間 + 3次元運動量 + エネルギー) での統合探索

分野	放射光利用
環境・エネルギー	各種電池用の材料・デバイス・プロセスの実動作環境下でのオペランド評価
健康・医療	X線顕微鏡やX線CTによる可視化・高解像度リアルタイム解析、画像診断技術
材料	元素選択的な波長可変高輝度ナノビームを用いた不均一材料やナノ構造の解析
情報通信	高空間分解能 (< 10 nm) と高時間分解能 (< 1 ps) での表面・界面分析
基礎科学	元素を選択して最適な時間・空間分解能、最適なエネルギー・運動量分解能で解析
産業利用	実際のデバイスやプロセスの解析、微小部解析、微量元素解析

階層構造の理解と次世代放射光の役割

空間階層構造をもつ物質の理解が求められている

タイヤの空間階層構造モデル



岸本浩通、CSJ current review 14, 119 (2014).

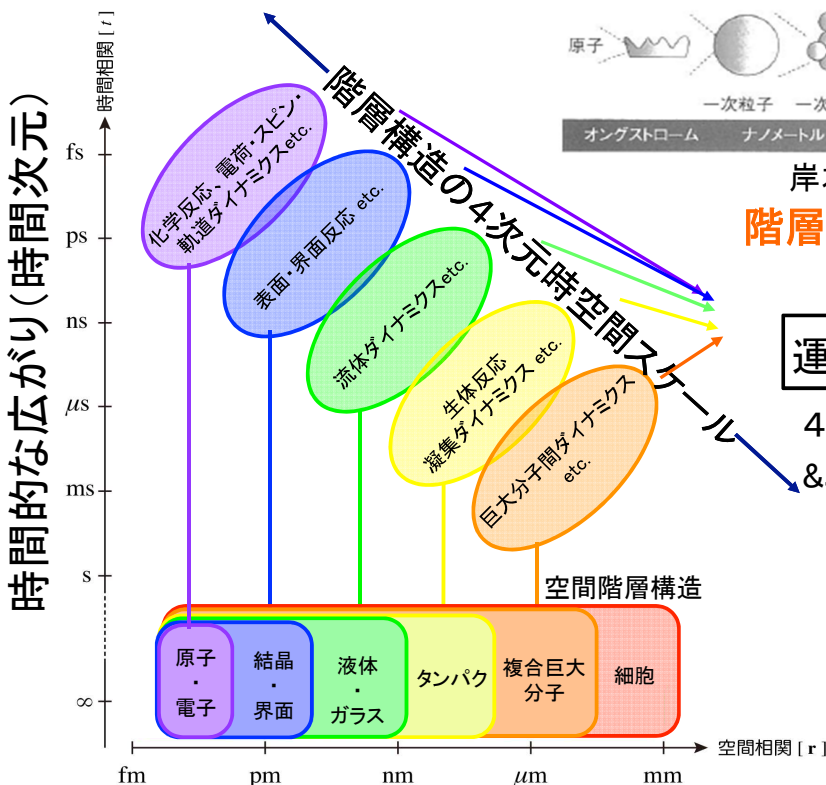
階層ごとに、構造・分光・ダイナミクスの理解が必要

運動量&エネルギーの4次元計測空間

4次元時空間で表される階層ごとに運動量 & エネルギー4次元空間での計測が不可欠

8次元空間での統合探索

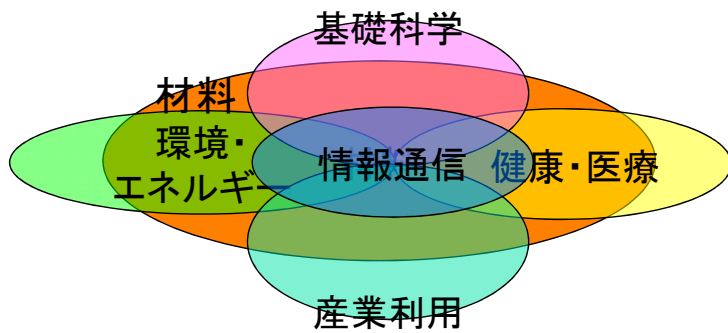
階層構造の理解



空間的な広がり(3次元)

これを可能にするのが次世代放射光

分野を超えた議論の必要性



各分野はシームレスにつながる
(統一して議論すべきとの指摘)



基礎科学と産業創出がシームレスにつながる例 東北発 素材技術先導プロジェクト:超低摩擦技術領域



産業利用
産業創出

代表:栗原和枝教授
(東北大学)

基礎科学

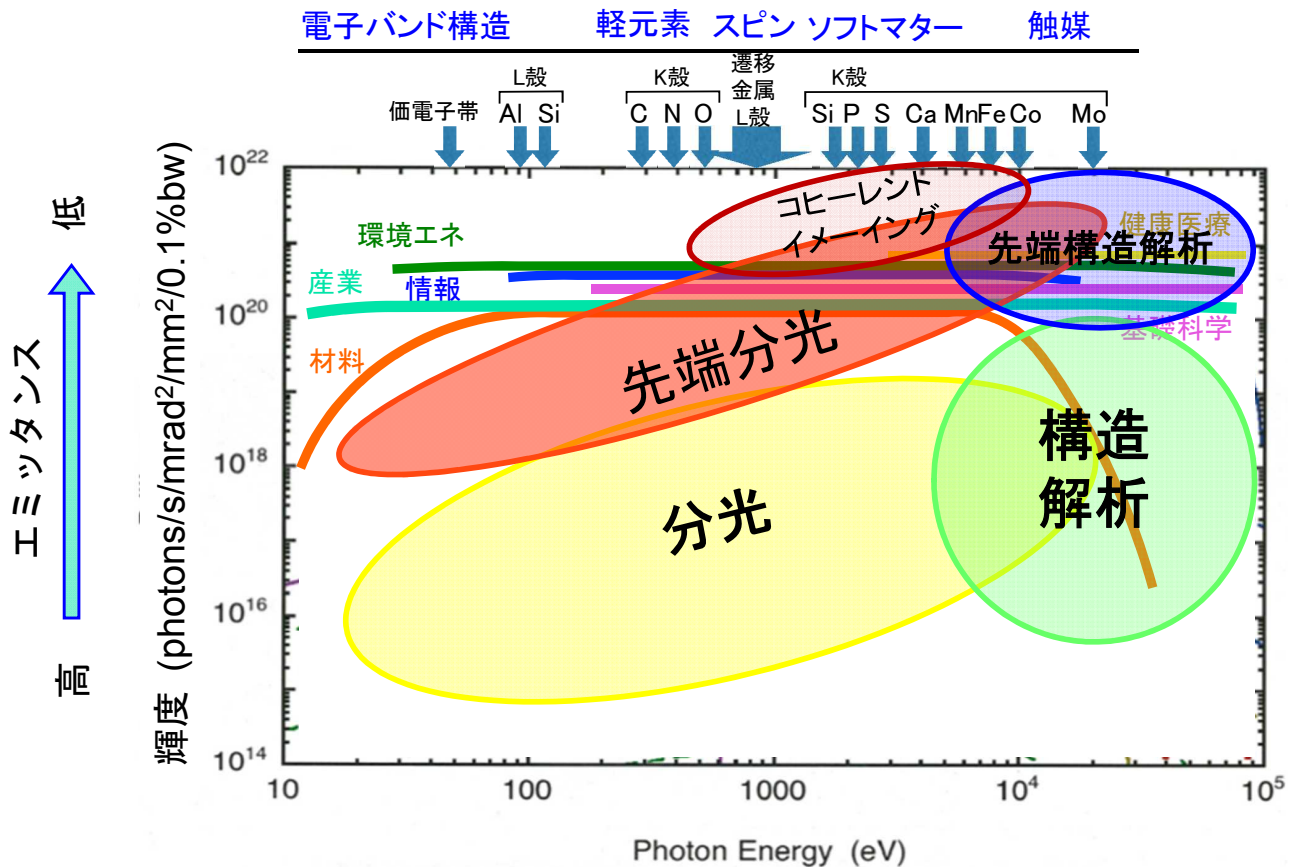
次世代放射光が貢献すべき普遍的な課題・次世代放射光の役割

- ◎ 人類が永続・繁栄するための持続可能社会の実現
(環境・エネルギー、健康・医療)
- ◎ 技術立国として、国際競争力を維持・向上
(材料、情報通信、産業利用)
- ◎ 人類の知の蓄積
(基礎科学)

◎ 科学技術、産業イノベーションを創出・加速

◎ 新産業育成のエンジン

放射光施設に要求されるビーム性能: 6分野のまとめ



輝度 \propto フラックス / エミッタンス

放射光施設に求められる性能: 集光サイズ、空間・時間分解能

要求された集光ビームサイズ、空間分解能の例

情報通信、材料、産業利用等ナノサイエンス・ナノテクノロジー関連

- ビームサイズ: 10 nm
- 空間分解能: 1 nm (PEEM, タイコグラフィー等のイメージングで達成可能?)

タンパク質結晶解析

- ビームサイズ: 1 – 100 μm 可変

X線イメージング

- 平行性の良い 2 mm 程度のビーム

要求された時間分解能の例

超高速現象、反応素過程の追跡 (基礎・化学)

- 時間分解能: 1 fs (SX-FEL)

ほとんどすべての分野、ナノサイエンス・ナノテクノロジー関連

- 時間分解能: 1 ps (高輝度放射光では困難...)

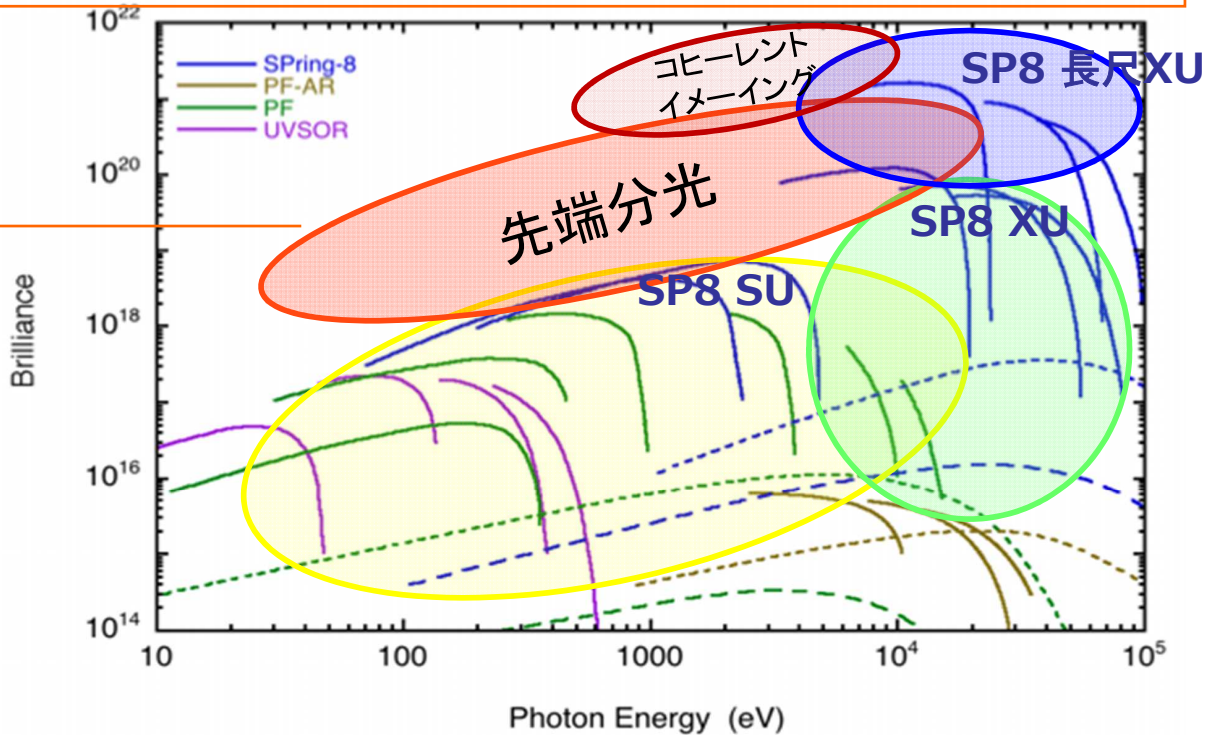
材料の経時変化の追跡 (材料、産業利用等)

- 時間分解能: 1 ms – 1 day

放射光施設に要求されるビーム性能と日本の放射光施設の現状

先端分光～コヒーレントイメージング:

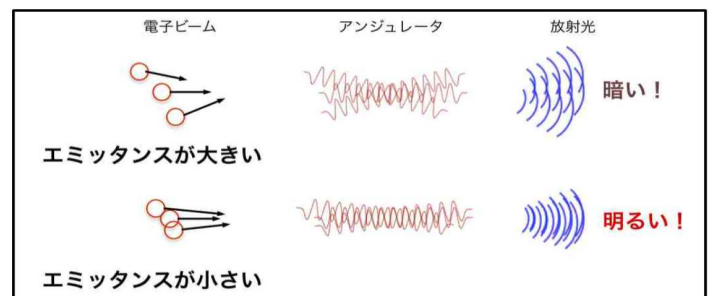
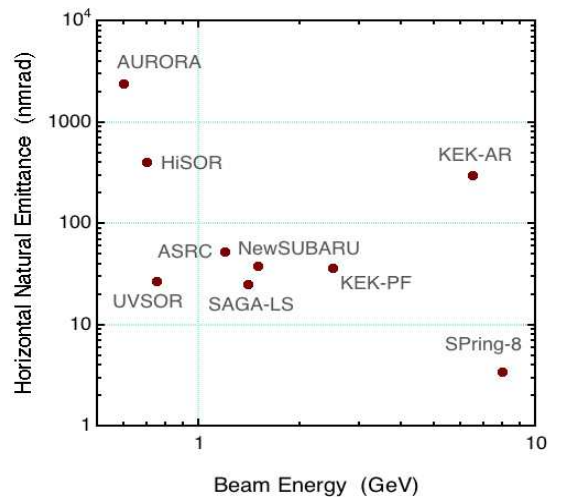
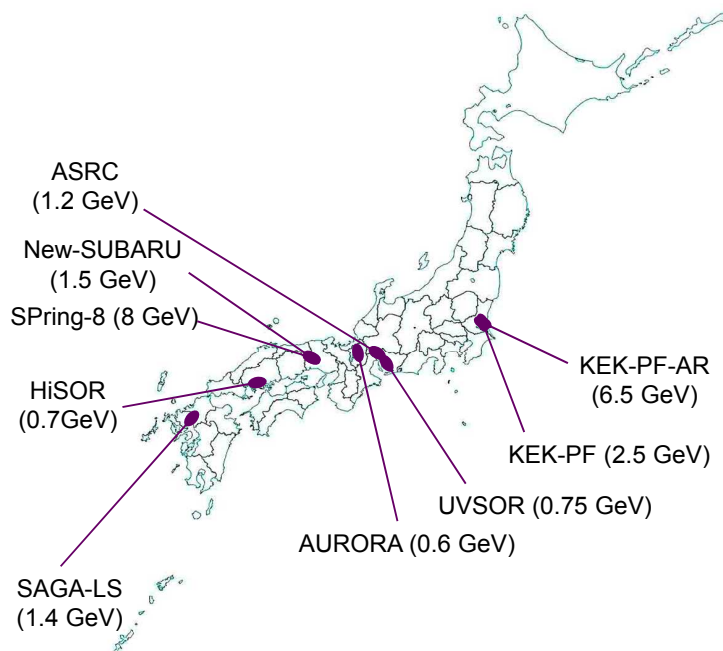
- 日本の既存放射光施設ではニーズ調査の要求に対応できない部分
- 10～1000倍の高輝度化が必要



日本の放射光施設のエミッタンス

エミッタンスが大きいために、輝度が低い

輝度 \propto フラックス / エミッタンス

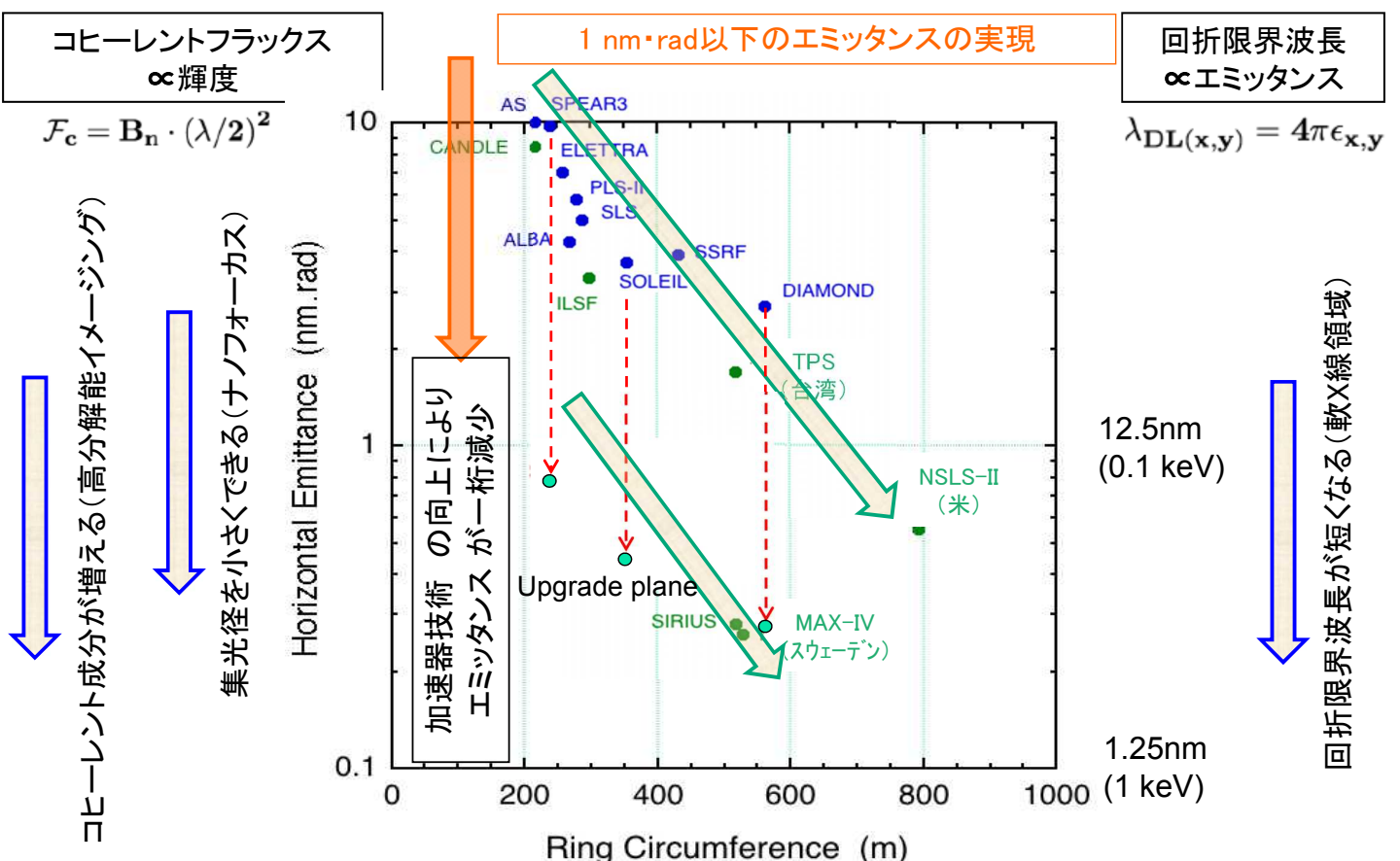


低エミッタンス化 \rightarrow 高輝度化

海外の動向: 運転/建設中の高輝度中型放射光施設

	SLS (Villigen)	SOLEIL (Saclay)	DIAMOND (Oxford)	SSRF (Shanghai)	PLS-II (Pohang)	NSLS-II (BNL)	TPS (Hsinchu)	MAX-IV (Lund)
ステータス	運転中	運転中	運転中	運転中	運転中	立ち上げ中	立ち上げ中	建設中
ビームエネルギー (GeV)	2.4	2.75	3	3.5	3	3	3	3
→ 周長 (m)	288	354.1	561.6	432	280	791.5	518.4	528
ラティス構造	Double-bend Achromat	Double-bend Achromat	Double-bend Achromat	Double-bend Achromat	Double-bend Achromat	Double-bend Achromat	Double-bend Achromat	7-bend Achromat
セル数	12	24	24	20	24	30	24	20
直線部	11.7 m × 3	12.0 m × 4	8.0 m × 6	12.0 m × 4	6.8 m × 12	8.6 m × 15	12.0 m × 6	4.7 m × 20
	7.0 m × 3	7.0 m × 12	5.0 m × 18	4.0 m × 16	3.1 m × 12	6.6 m × 15	7.0 m × 18	1.3 m × 40
	4.0 m × 6	3.8 m × 8						
→ エミッタンス (nmrad)	5.0	3.74	2.7	3.9	5.8	2.1 (0.9, 0.55)	1.6	0.33 (0.26)
入射器	Booster Synch.	Booster Synch.	Booster Synch.	Booster Synch.	Booster Synch.	Booster Synch.	Booster Synch.	S-band Linac

海外の中型放射光施設のエミッタンスと電子蓄積リング周長



調査項目(5) 共用・整備されるときの特長、ないときのデメリット

メリット	国策による、高度な分析・解析による科学技術および産業競争力の向上
	放射光施設、大学と産業界のコラボによる産業創出の基地ができる
	世界に先駆けた研究成果・優れた人材の育成と集結
	軟X線領域に強い施設の整備は軽元素材料の研究を強く推進
	国内企業の利用促進、周辺企業との共同研究による地域活性化
デメリット	日本の産業の根幹に関わる材料開発・研究において他国に遅れをとる
	海外施設の使用が難しい国内企業など産業界には大きなデメリット
	放射光分野(研究、技術)でのわが国の遅れを放置することになる
	国内の研究需要を満たすビームタイムが確保できない

調査項目(6) 運営に関する要望

	要望
(1) 企業ユーザーへのサポート	企業ユーザー向けコーディネート窓口設置、潜在ユーザーの掘り起こし、実験・解析の支援、代行測定・受託解析サービス
(2) 総合大学による運営サポート	近隣の総合大学によるビームラインやエンドステーションの建設・運用サポート、解析・教育のサポート
(3) 利用申請	開発研究のスピードに対応できるフレキシブルな運用、申請から数日で使えるビームラインの設置、随時申請受付部門の設置
	解決すべき課題ごとに、適した施設を割り当てるようなコーディネートを可能にする 放射光施設間の連携
(4) スタッフ	緊急性のある課題では申請から実験までの時間を1週間程度にする仕組みづくり
(5) 立地・アクセス	非専門家ユーザーでも最高水準の測定が行えるように専任研究、技術スタッフの常駐、充実
(6) 立地・アクセス	大学、企業研究者が容易にアクセスできる立地
(6) 運転時間	長期休止が生じない運転スケジュール、ユーザー利用時間を最大に
(7) 設備	有毒ガスを含む高圧ガス利用のための施設設計、化学・生物準備室の付設

まとめ

[\(1\) 構造解析 \(輝度: \$10^{16}\$ - \$10^{20}\$, 5 keV~100 keV\)](#)

Spring-8 並で多くの研究者が満足。ただし、ビームタイムの危機的な欠如。企業でも海外のメールインサービスの利用多数。運用に関する意見多数。新施設でも5-20 keV近傍をSpring-8並あるいはそれよりも高い輝度でカバーすることの要請多数。

[\(2\) 分光 \(輝度: \$10^{16}\$ - \$10^{19}\$, 20 eV~20 keV\)](#)

海外の施設に比べて輝度あるいはフラックスが約一桁低いが、ビームタイムの欠如も著しい。課題解決のために、多くの研究者が、輝度、フラックス、またはフォーカスサイズについて、より高い性能を希望。

[\(3\) 先端分光 \(輝度: \$10^{18}\$ - \$10^{21}\$, 20 eV~20 keV\)](#)

日本の放射光のエアポケット。国際競争力を完全に失った領域。特に軟X線RIXSによる運動量分光は海外施設の独壇場。日本では磁性材料等で必須であるスピンの観測ができないために、多くの試料が海外放射光施設で測定。分野を超えて、多くの研究者が、速やかに設備されることを強く望んでいる。

[\(4, 5\) 先端構造解析/コヒーレントイメージング \(輝度: \$10^{20}\$ - \$10^{22}\$, 0.5~100 keV\)](#)

Spring-8の硬X線長尺アンジュレータービームラインが世界を一步リード。ソフトマターや細胞等の軟X線イメージングの重要性が指摘されたが、海外に遅れをとっている。

[\(6\) XFEL](#)

硬X線領域のSACLAだけでなく、軟X線領域のXFELの必要性も構造生物学、物理、化学等の分野で指摘。軟X線FELによる超高速化学や超高速マグネティズムの研究も海外から遅れている。

[その他: 検出器を含む周辺技術の開発](#)