

我が国の主な放射光施設の 概要について

平成26年6月10日(火)
科学技術・学術政策局
研究開発基盤課
量子放射線研究推進室

我が国の放射光施設 主な経緯

1960年代前半

- 1955年 東京大学原子核研究所設立
- 1961年 核研の電子シンクロトロン (ES) 試運転成功 (700MeV)
- 1963年 **ESの放射光取り出し口が設置** (スケジュールや運転モードの決定権なし。マシン稼働中に限り光を取り出し)

1960年代後半～1980年代前半

- 1965年 INS-SORが総会で300MeVの蓄積リング建設を決議
- 1974年 **SORリング (放射光専用蓄積リング) 建設 放射光専用機として建設された世界初の装置**
学術会議より政府に2.5GeV光源加速器建設の勧告
- 1983年 **フォトンファクトリー (PF) 利用開始 我が国の放射光施設で初めて挿入光源を導入**
- 1984年 **UVSOR (極端紫外光研究施設) 利用開始**

1980年代後半～1990年代前半

- 1987年 **フォトンファクトリー-アキュムレイトリング (PF-AR) 利用開始** トリスタン前段加速器を放射光リングとして利用
- 1988年 日本原子力研究所 (当時) と理化学研究所が大型放射光施設研究開発チームを設立
- 1990年 財団法人高輝度光科学研究センター (JASRI) 設立
真空封止型アンジュレーター開発 PF-ARが世界で初めて挿入光源に採用
ソルテック社(官民合同出資会社)によるSORTEC-1の利用開始 世界初のトップアップ運転の実施
- 1994年 「特定放射光施設の共用の促進に関する法律」施行
- 1996年 **SORTEC-1の利用終了** シンクロトロン等はタイ国立シンクロトロン光源加速器研究センターへ売却
- 1997年 **SORリング (放射光専用蓄積リング) 利用終了**
大型放射光施設SPring-8 利用開始 低エミッタンスリングに多数の挿入光源を設置
フォトンファクトリー-アドバンスドリング (PF-AR) 利用開始 トリスタン計画終了に伴い放射光専用リングに
広島大学HiSOR 利用開始

1990年代後半以降

- 1999年 **立命館大学SRセンター 利用開始**
- 2000年 **兵庫県立大学NewSUBARU 利用開始**
- 2004年 **SPring-8がトップアップ運転開始 世界初の“実験を一切妨げない”理想的なトップアップ運転を確立**
- 2006年 **SAGA-LS 利用開始**
第3期科学技術基本計画にてX線自由電子レーザー施設が国家基幹技術に選定
- 2012年 **X線自由電子レーザー施設SACLA 利用開始**
- 2013年 **AichiSR 利用開始 供用開始と同時にトップアップ運転を導入 世界初の超伝導偏光電磁石による硬X線の発生**

科学技術基本計画における放射光施設の位置づけ

第3期科学技術基本計画（平成18年3月28日閣議決定）（抄）平成18年～平成22年

5 先端大型共用研究設備の整備・共用の促進

次世代スーパーコンピュータや**次世代放射光源**のような最先端の大型共用研究設備は、整備・運用に多額の経費を要し、広く共用に供することが世界最高水準の成果の創出につながるものであるため、特定の研究機関の事業としてではなく国が責任を持って整備・共用を推進すべきであり、**産学官の様々な組織から最も適した組織を選択し、公平で効率的に整備・共用**を実施する。

このため、共用を促進するための法整備を含めてこれら設備の整備から運用まで一体的に推進するための仕組みを構築する。また、国は、具体的な先端大型共用設備の選定に当たっては、厳格に評価を行った上で、**大学共同利用機関等の大型研究施設・設備も含めて優先順位を付け、計画的かつ継続的に整備**を行う。

第4期科学技術基本計画（平成23年8月19日閣議決定）（抄）平成23年～平成27年

Ⅲ. 我が国が直面する重要課題への対応

2. 重要課題達成のための施策の推進

(5) 科学技術の共通基盤の充実、強化

i) 領域横断的な科学技術の強化

先端計測及び解析技術等の発展につながるナノテクノロジーや光・量子科学技術、シミュレーションやe-サイエンス等の高度情報通信技術、数理科学、システム科学技術など、複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術や融合領域の科学技術に関する研究開発を推進する。

我が国の主な放射光施設

() : 利用開始年



New SUBARU(2000) 1.5GeV 9本(最大12本)

兵庫県立大学高度産業科学技術研究所
兵庫県赤穂郡



SR center

Rits SR(1999)

立命館大学SRセンター
滋賀県草津市



PF : 2.5GeV 39本(最大62本)
PF-AR : 6.5GeV 8本(最大10本)



SPring-8(1997)

SACLA(2012)

独立行政法人理化学研究所
公益財団法人高輝度光科学研究センター
兵庫県佐用郡



SPring-8 : 8GeV 57本
(最大62本)
SACLA : 8GeV
2本(最大5本)



PF(1983)

PF-AR(1987)

大学共同利用機関法人
高エネルギー加速器研究機構 茨城県つくば市



AichiSR(2013.3)

公益財団法人科学技術交流財団
愛知県瀬戸市



1.2GeV
6本(最大24本)



HiSOR(1997)

国立大学法人広島大学
放射光科学研究センター
広島県東広島市



0.7GeV
13本(最大16本)



SAGA-LS(2006)

公益財団法人佐賀県地域産業支援センター
九州シンクロトロン光研究センター
佐賀県鳥栖市

1.4GeV
9本(最大12本)



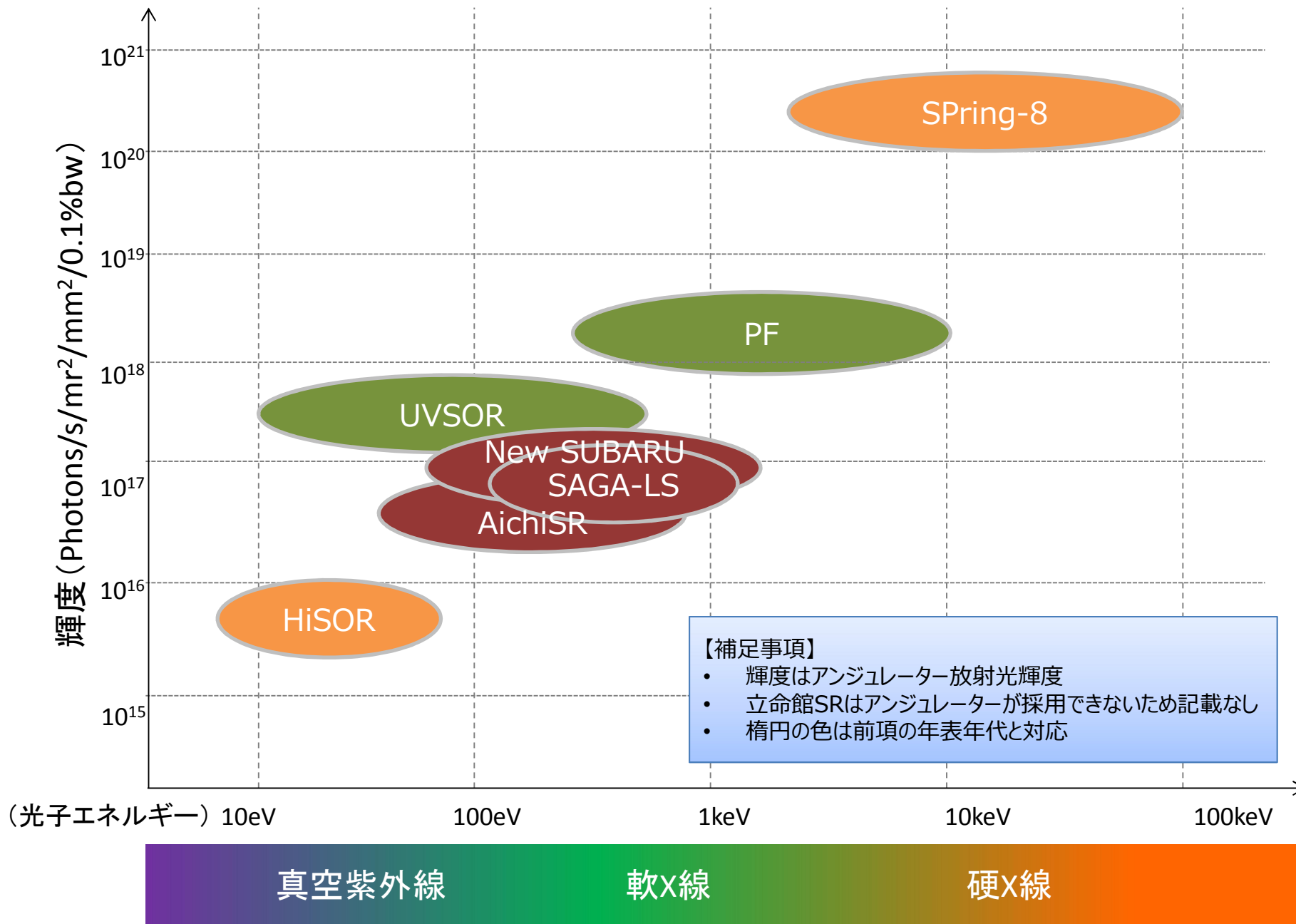
UVSOR(1984)

大学共同利用機関法人自然科学研究機構
分子科学研究所
愛知県岡崎市

0.75GeV
12本(最大16本)



各放射光施設の得意とするエネルギー領域



エネルギー領域毎の主要な研究分野

硬X線領域：

- ・0.2 nm以下の短波長の光
- ・原子レベルのイメージングや結晶構造解析など微視的構造解析などの研究

軟X線領域：

- ・0.2nmから10nmの光
- ・元素が持つ「内殻電子」に作用 = 特定元素周辺の局所的な電子・スピン状態の選択的な計測が可能
- ・ベリリウムからカリウムなど軽元素の電子束縛エネルギー領域と重複し、元素特有の電子状態を捉える

真空紫外線領域：

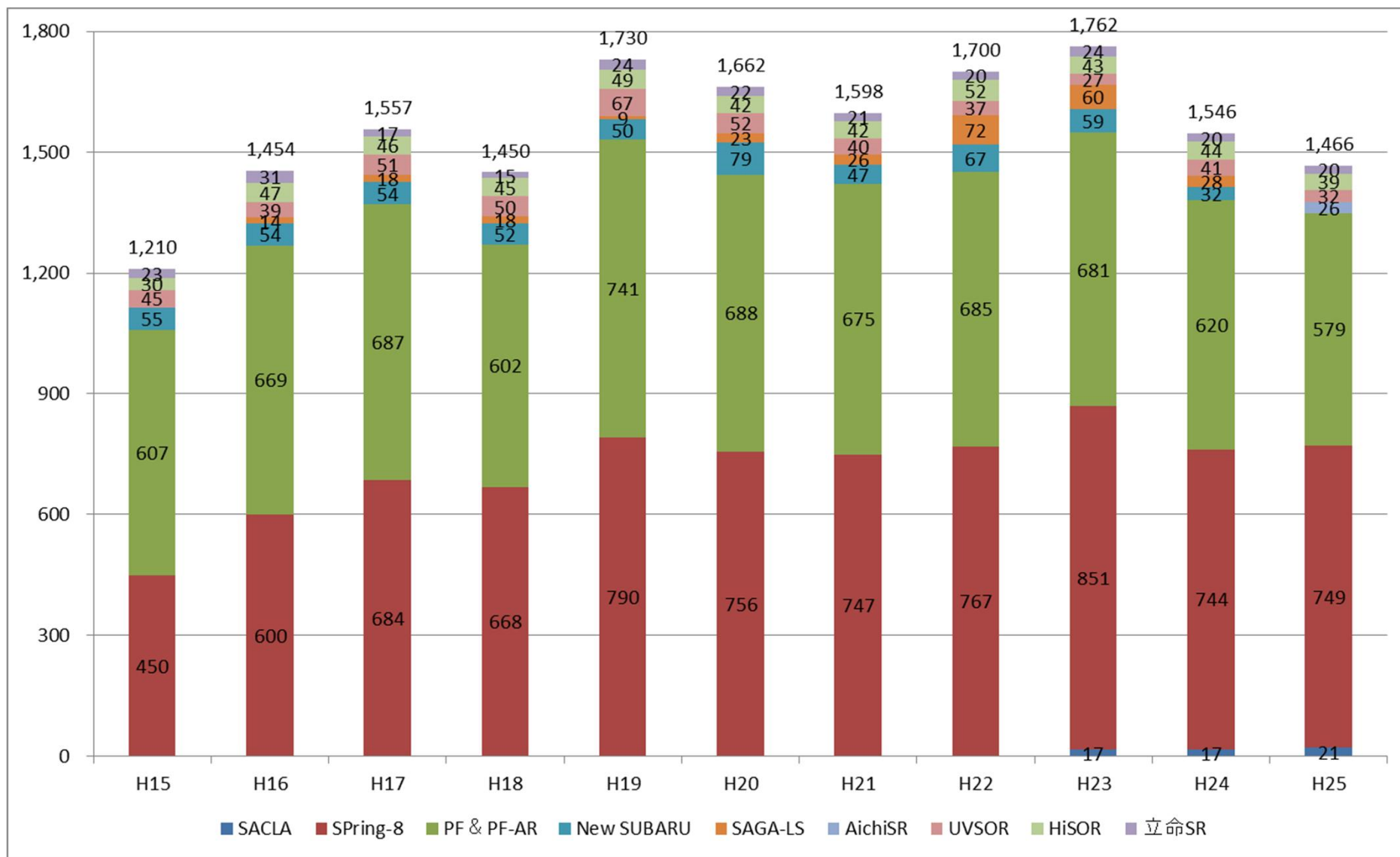
- ・10nmから300nmの光
- ・元素が持つ「価電子」に作用 = 物質中の価電子状態を全体的に捉えることが可能（ただし選択性無し）
- ・物質の化学結合状態や磁性に関わる価電子構造を調べることで、光誘起構造相転移等の誘起が可能

	回折・散乱	イメージング	分光	非弾性散乱
硬X線 (真空不要)	構造解析 応力計測 歪計測 散漫散乱 小角散乱	ラジオグラフ トポグラフ X線顕微鏡 X線CT	EXAFS X線蛍光分析 光電子分光	Compton 非弾性散乱 共鳴非弾性
軟X線 (要真空)	共鳴散乱	軟X線顕微鏡 軟X線CT	吸収分光 発光分光 光電子分光	共鳴非弾性
真空紫外 (要真空)			吸収分光 発光分光 光電子分光	

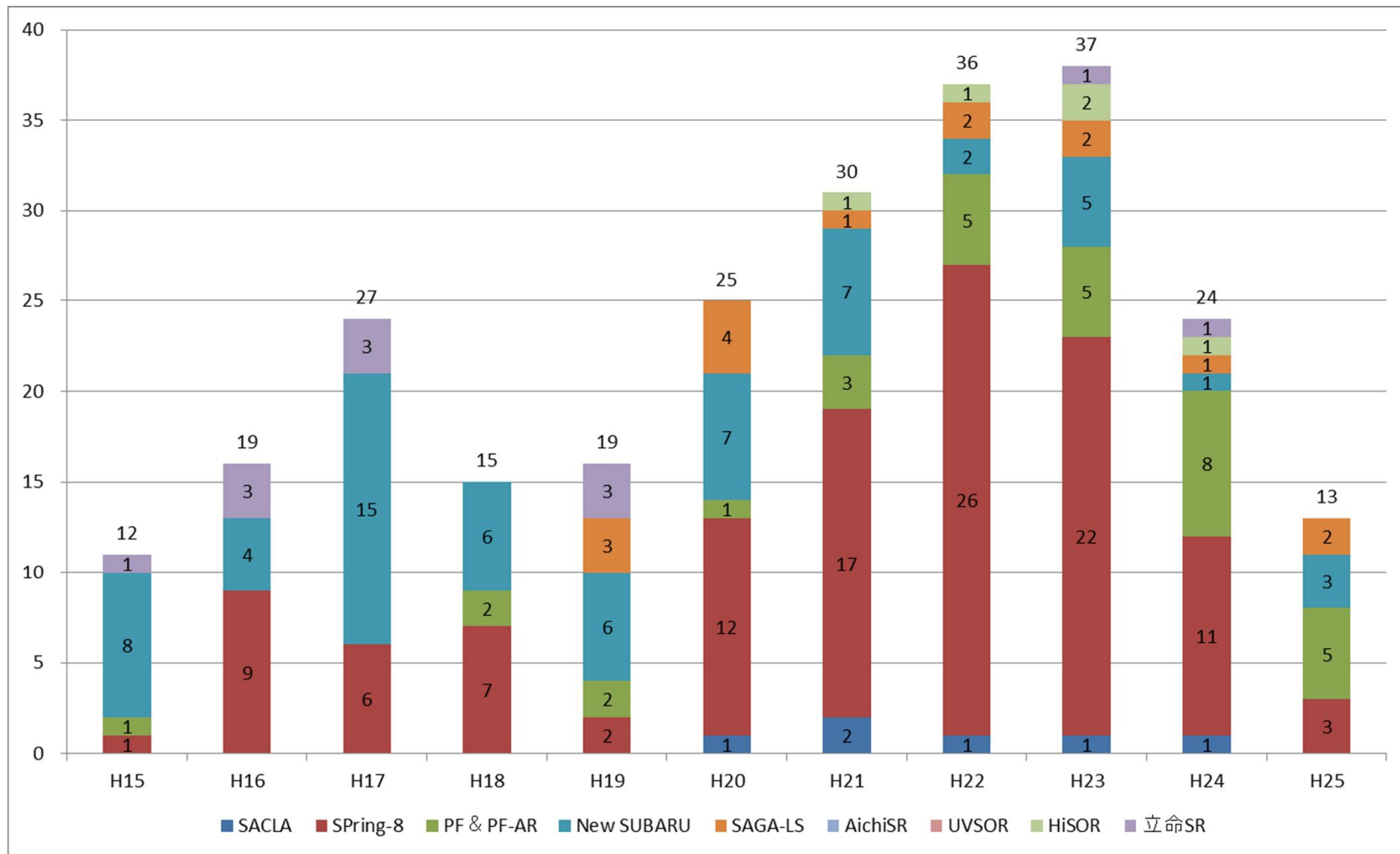
**高エネルギー領域では
回折・散乱を用いた
構造研究が主力**

**低エネルギー領域では
分光での電子状態研究
が主力**

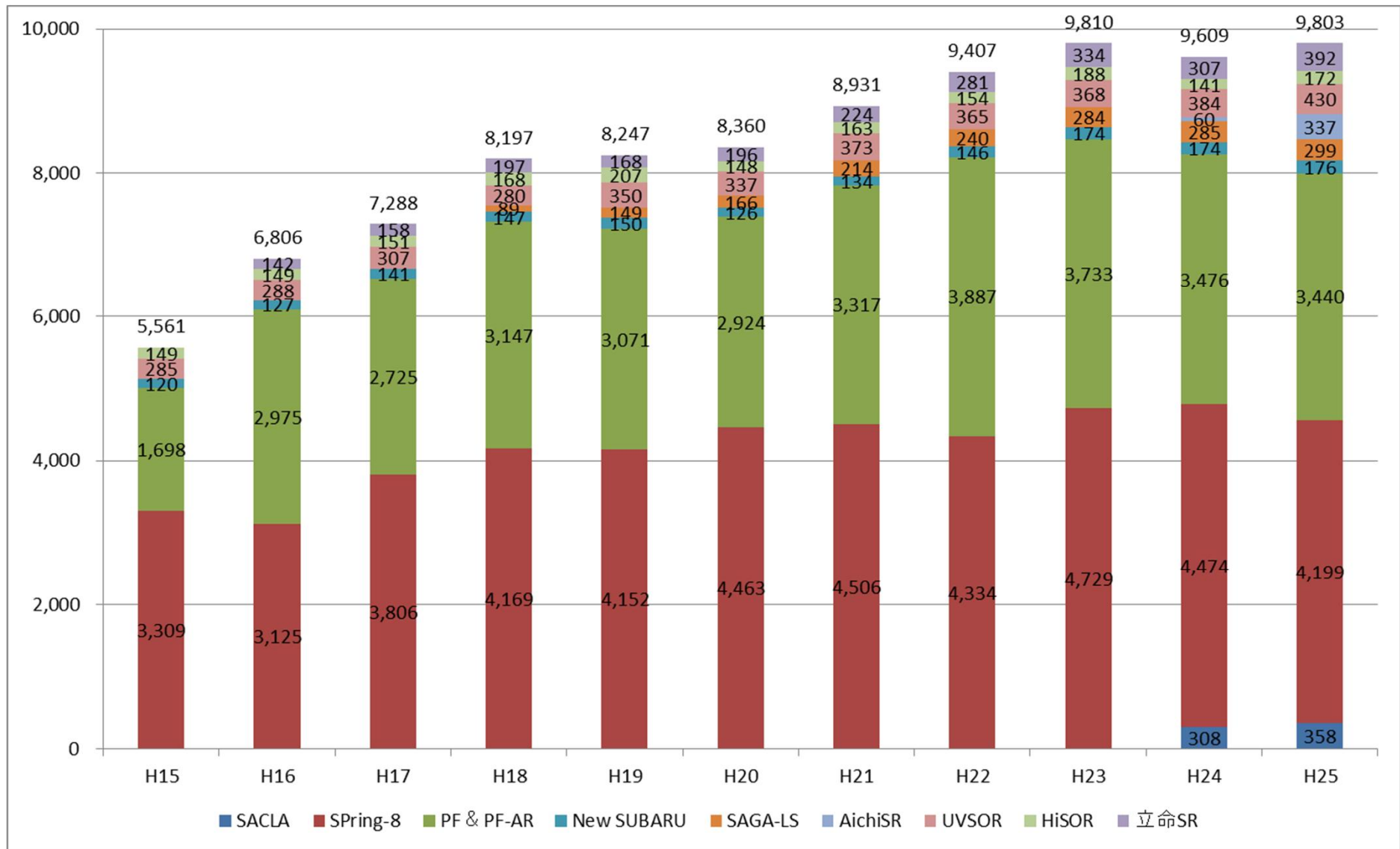
我が国の放射光施設のアクティビティ ～論文数～



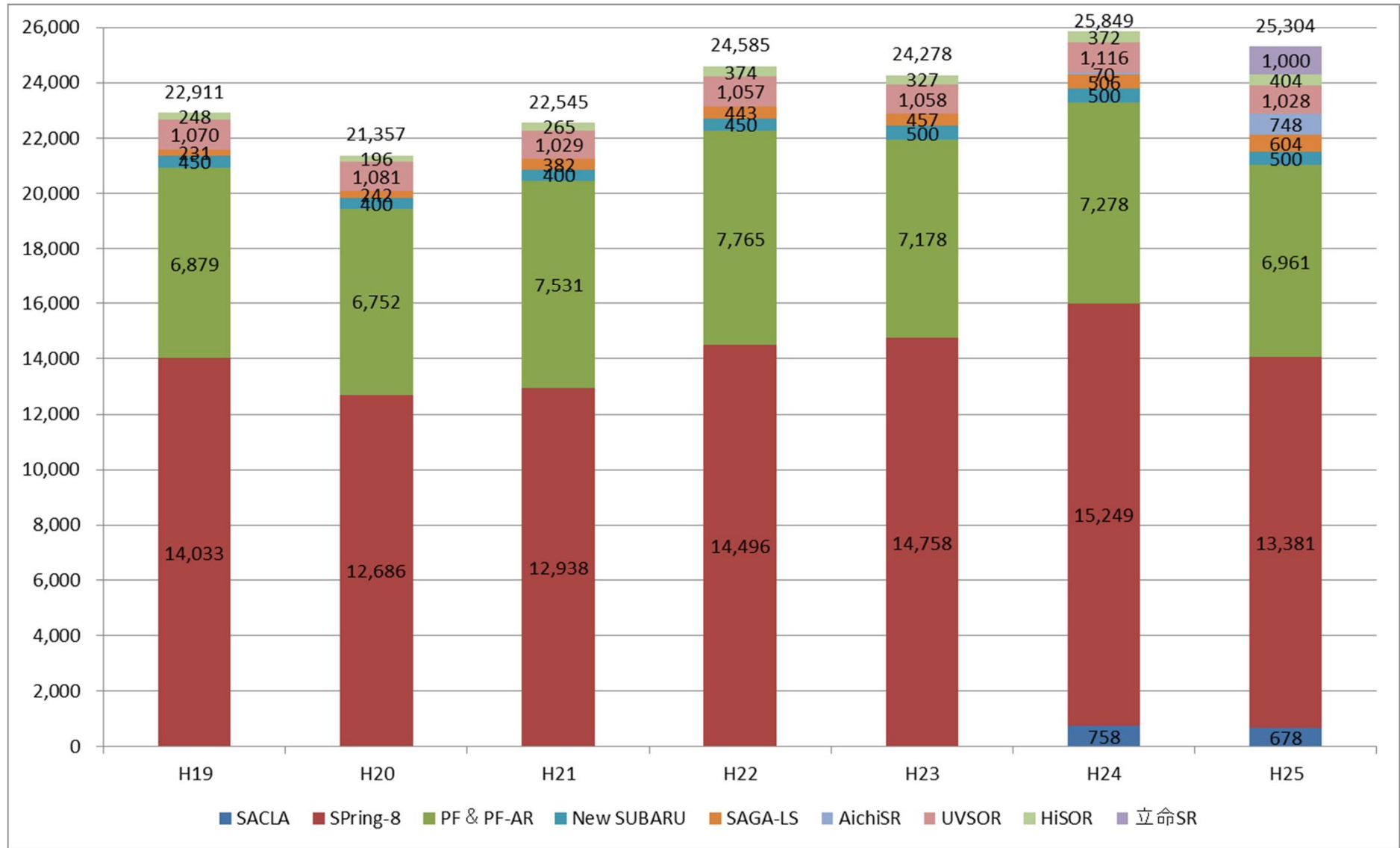
我が国の放射光施設のアクティビティ ～特許申請数～



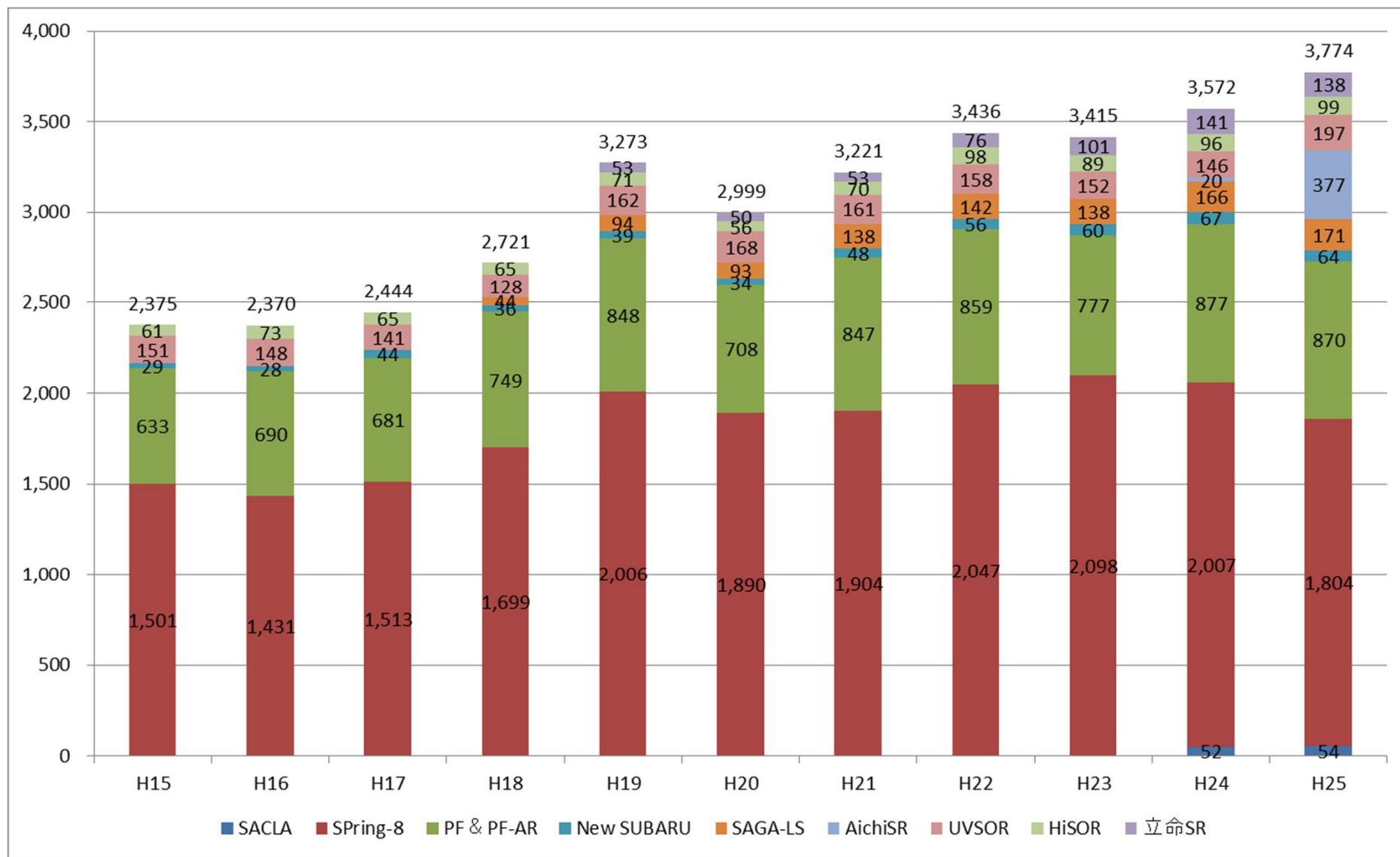
我が国の放射光施設のアクティビティ ～利用者（ユニーク）数～



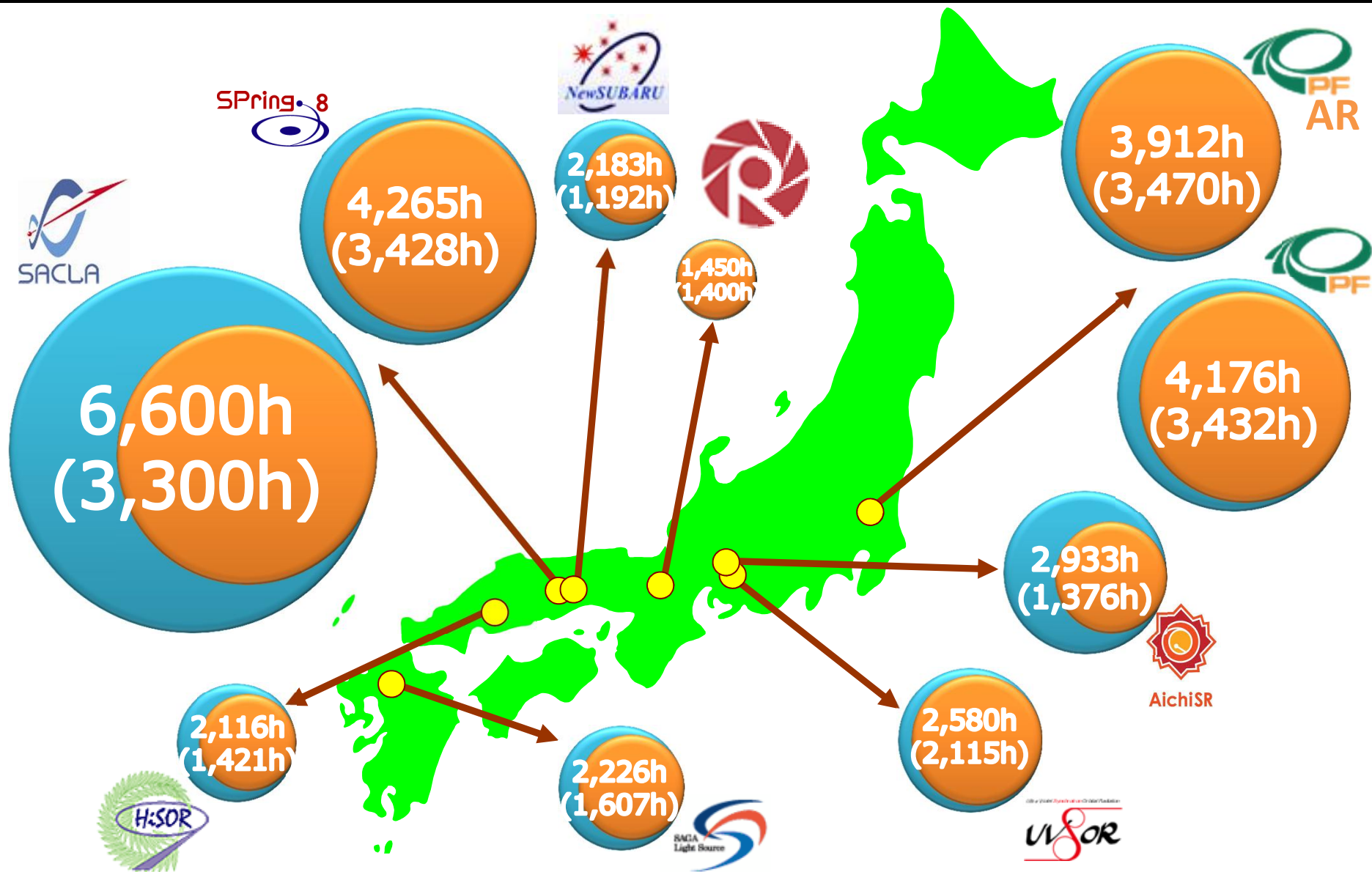
我が国の放射光施設のアクティビティ ～利用者（延べ）数～



我が国の放射光施設のアクティビティ ～実施課題数～

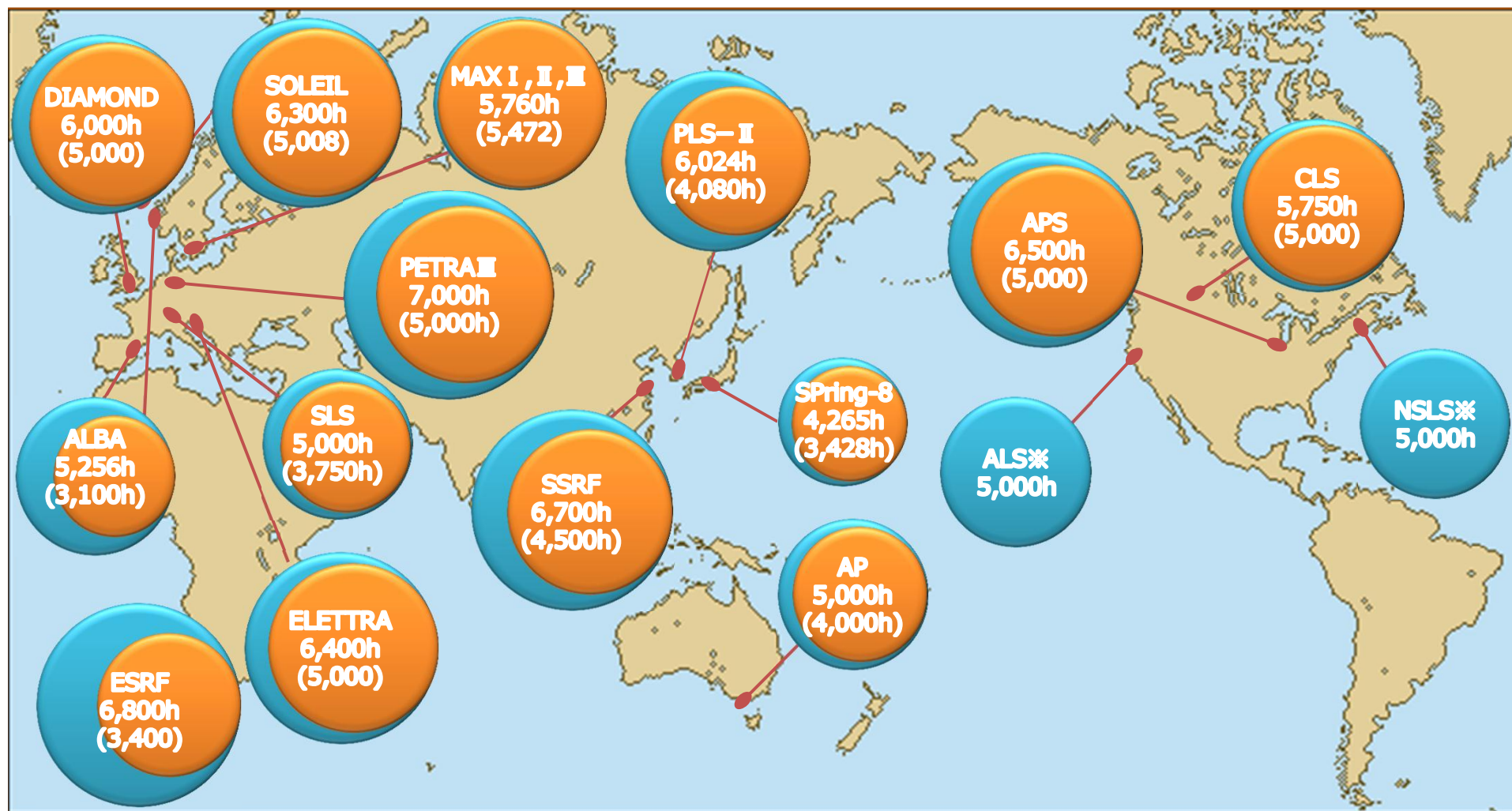


放射光施設の運転時間 ～国内施設 H25実績～



● 運転時間 ● 利用時間(数字はカッコ内)

放射光施設の運転時間 ~主な国外施設~



※ALSとNSLSは運転/利用時間の詳細な区別データ無し

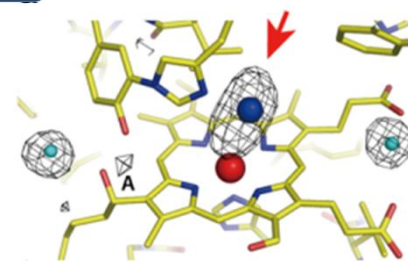
● 運転時間 ● 利用時間(数字はカッコ内)

国内放射光施設における最近の主な成果①



X線損傷のないタンパク質の結晶構造の決定することに成功 (2014年4月)

【中心研究者】 山本雅貴 (理化学研究所)
 【研究協力者】 吾郷日出夫、平田邦生、杉本宏 (理化学研究所)、
 沈建仁 (岡山大学) など

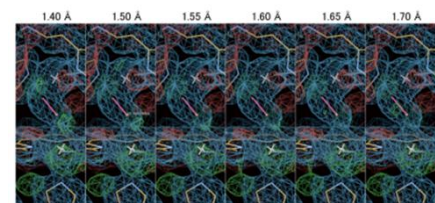


【研究概要・成果】

➢ 超短パルスXFELによりX線の悪影響を受ける前の正確なタンパク質の三次元構造を決定

【学術・産業への貢献】

- 従来手法では手が届かなかったタンパク質の“動き”の情報を、SACLAを使って引き出すための第一歩であるフェムト秒X線結晶構造解析法の確立
- 「Nature Methods」に掲載



低コスト燃料電池触媒の開発 (2013年)

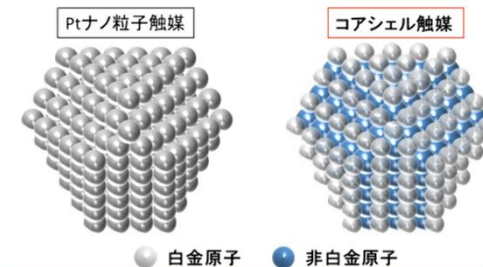
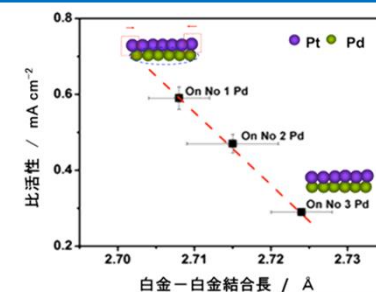
【中心研究者】 内本喜晴、折笠有基、王小明 (京都大学)

【研究概要・成果】

➢ 白金使用量を削減し、表面にのみ白金を用いた触媒 (コアシェル触媒) を開発。白金同士の原子間距離を制御することで従来の触媒と同等の性能を有することが判明。

【学術・産業への貢献】

- 燃料電池触媒の性能を維持しながら、白金使用量を従来比10分の1まで削減可能
- 低コスト・高性能な燃料電池の開発を加速させる成果
- 「Journal of the American Chemical Society (2013.4.5)」に掲載 (引用数1件)
- NEDOの「RISINGプロジェクト」の成果



国内放射光施設における最近の主な成果②

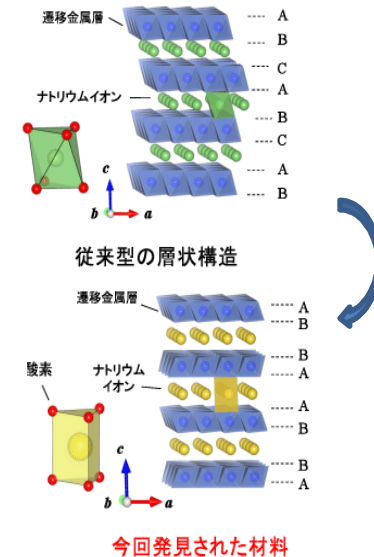


レアメタルフリー電極材料の開発に成功（2012年）

【中心研究者】 藪内直明（東京理科大学）
 【研究協力者】 駒場慎一（東京理科大学） など

【研究概要・成果】

- 新規ナトリウムイオン電池用正極材料の金属原子の周りの構造をX線吸収微細構造法（XAFS）で観測。充電時の鉄原子周囲の大きな構造変化がマンガンの価数変化を助け、充電特性が向上していることを解明。
- 【学術・産業への貢献】
- レアメタルを用いずに、現状のリチウム電池に匹敵する高エネルギー密度の蓄電池実現の可能性を世界で初めて示した。
- 「Nature Materials（2012.4.29）電子版」に掲載
- これまでに147回の論文被引用回数

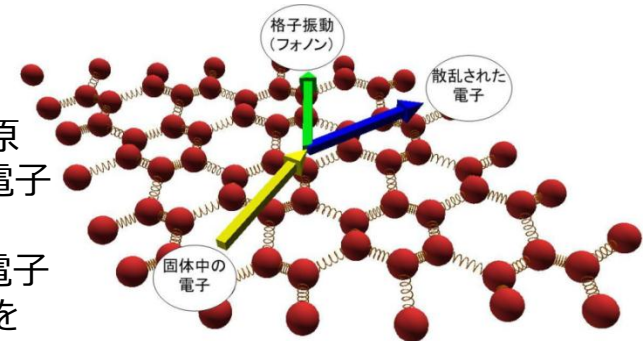


原子の集団振動で電子が散乱する現象の直接観察（2012-2013年）

【中心研究者】 S. Tanaka他, Sci. Rep. **3**, 3031 (2013).

【研究概要・成果】

- 普通の金属は電気抵抗がゼロではなく、有限の値を持つ。その電気抵抗は原子の振動などによる散乱の結果で現れるものだが、どのような原子の振動が電子を散乱しているかは必ずしも明確ではなかった。
- 本研究では、鉛筆の材料で知られる黒鉛（グラファイト）の中を運動する電子が、原子の特定の集団振動（フォノン）によって散乱される現象をUVSORを使って観測することに世界で初めて成功した。
- この成果は、超伝導物質・超高速デバイスなどの新機能材料の開発に役立つと考えられる。



国内放射光施設における最近の主な成果③

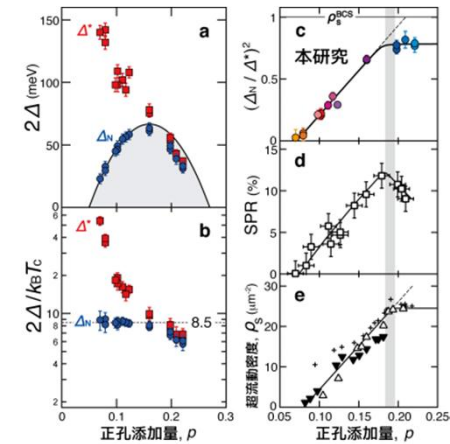


超伝導転移温度の高さと電子対の強さをつなぐ法則を発見(2013)

【中心研究者】 安齋太陽（広島大学放射光科学研究センター）
 【研究協力者】 内田慎一（東京大学） など

【研究概要・成果】

- 超伝導転移温度と、超伝導を担う電子対の強さをつなぐ関係式があることを解明。
- 【学術・産業への貢献】
- 高温超伝導による無損失の電線材料や、さらなる高温超伝導物質の開発を導く強力な指針となることが期待される。
- 「Nature Communications 4, 1815 (2013)」に掲載

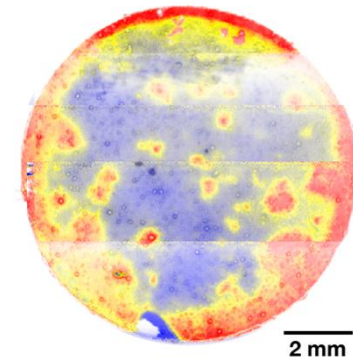


大面積イメージングXAFSによる電池材料の評価(2012-2014)

【中心研究者】 山重寿夫（トヨタ自動車）
 【研究協力者】 片山、稲田他（立命館S R）

【研究概要・成果】

- LiFePO₄(LFP)正極の蓄電池において、充放電が不均一に進行することをイメージングXAFS法によって初めて見出した。さらに、深さ方向の分布測定にも成功した。
- 【学術・産業への貢献】
- 蓄電池特性の評価手段としてイメージングXAFSが極めて有効であり、革新型蓄電池開発への貢献が期待される。
- 「J. Synchrotron Rad (2010) , J. Power Sources(2014)」
- 本研究成果関連の特許を平成24年申請、26年公開



大面積検出器を用いて解析されたLFP正極（HSセル）の反応分布
 （測定時間：約 5 h）

国内放射光施設における最近の主な成果④



木節粘土、蛙目粘土等地域特産窯業原料の含有成分データベース構築と赤津七釉の分析 (2013)

【研究責任者】 水野恭利 (愛知県陶磁器工業協同組合)

【研究協力者】 立木翔治、福田嘉和 (あいち産業科学技術総合センター瀬戸窯業技術センター)

【研究概要・成果】

- 窯業原料の粉末X線回折法による相組成分析 (定量分析) は品質管理において基礎となる重要事項。粘土中の微量鉱物の回折ピークを得る手法として高輝度なシンクロトロン光を用いた粉末X線回折法により、通常より多くの回折ピークの観察に成功。

【学術・産業への貢献】

- 愛知県陶磁器工業協同組合の平成24年度陶土事業における供給実績は木節粘土、蛙目粘土をはじめとして10万tに及び、その売上高は約1億5千万円。シンクロトロン光を利用し、原料品質の課題の1つとなる重鉱物含量の把握が容易となることで陶土の品質管理や供給向上に大きく貢献。

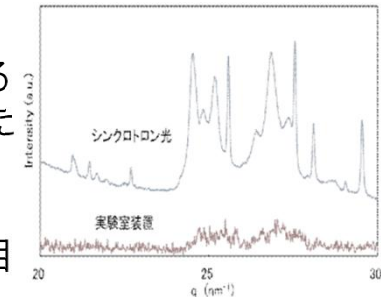


図 X線回折結果の比較



レンズのない顕微鏡による集積回路マスクパターンの検査法開発 (2008年~2013年)

【中心研究者】 【中心研究者】 原田哲男、木下博雄、渡邊健夫 (兵庫県立大学)

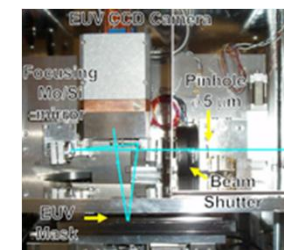
【研究協力者】 永田 豊 (理化学研究所)、高橋幸生(大阪大学) など

【研究概要・成果】

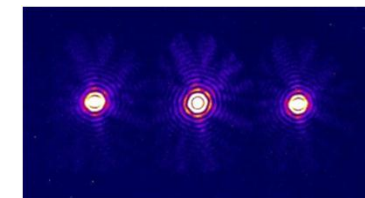
- 次世代半導体製造技術・極端紫外光リソグラフィー(EUVL)用の集積回路パターン原版であるマスク検査に必須の技術。コヒーレントスキャトロメトリー顕微鏡を開発し、波長13.5nmのEUV光を用いて、位相欠陥の3次元イメージングに成功。

【学術・産業への貢献】

- 20nm以下の回路パターンを用いる次世代半導体製造に必須のマスクについて、EUV光による高速・高精度な検査手法の開発に成功し、その性能を実証。
- 位相欠陥の3次元イメージが、論文誌JVSTの表紙を飾る。



スキャトロメトリー顕微鏡



国内放射光施設における最近の主な成果⑤



中温型固体酸化物燃料電池開発に向けた燃料極触媒の構造解析 (2012-2013)

【中心研究者】上村重明 (住友電気工業株式会社)

【協力研究者】富永愛子、飯原順次、平岩千尋、真島正利 (住友電気工業株式会社)

【研究概要・成果】

固体酸化物形燃料電池は高効率であるが、一方で部材の低コスト化、長寿命化のために低温化(400℃～600℃)が求められている。低温化に対しても高効率を維持可能な触媒の開発を試みた結果、Fe-Ni合金触媒が有効であることを見出した。加えて、専用の加熱炉を用いた評価技術の開発に取り組んだ。その結果、電池動作中の触媒の化学状態評価技術の実用化に目処を付けることが出来た。

【学術・産業への貢献】

低環境負荷のエネルギー源の一つとして期待されている低温動作する固体酸化物形燃料電池の開発において、材料面、評価技術面で寄与する成果が得られた。これにより、開発が加速されることが期待される。

