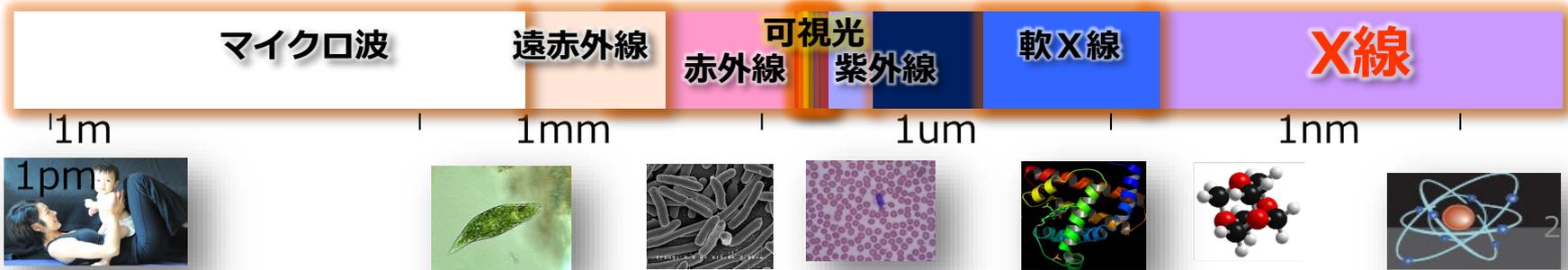


大型放射光施設 (SPring-8) / X線自由電子レーザー施設 (SACLA) の概要

2024年6月4日
国立研究開発法人
理化学研究所 放射光科学研究センター
矢橋 牧名

SPring-8/SACLAのミッション

- 最先端の加速器技術を駆使して、明るい光(短波長のX線)をつくる
→ ミクロの世界を解明する **「究極の顕微鏡」**
- 大型基盤施設**として、科学技術と社会の持続的発展を支える



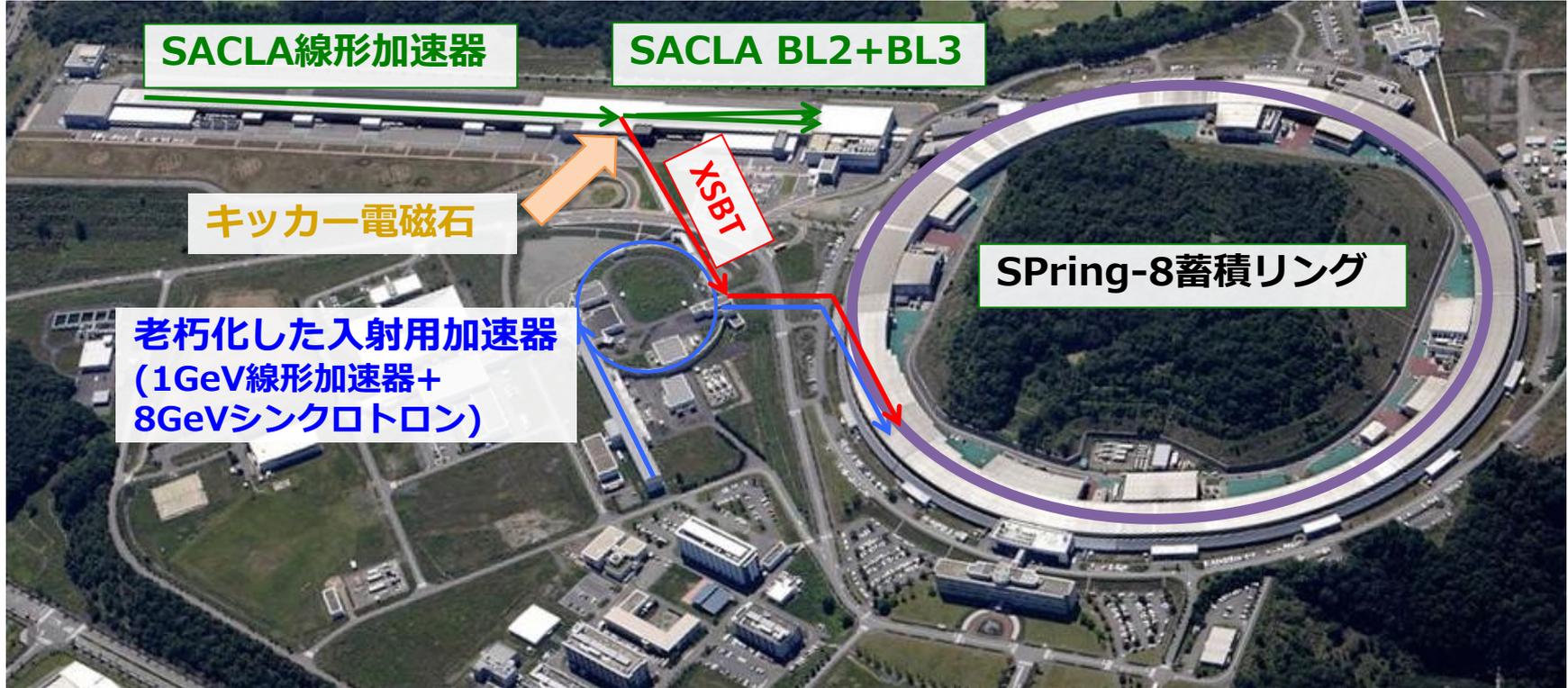
SPring-8の沿革

| | |
|-----------------|---|
| 1991年11月 | 理研と原研がSPring-8の建設に着手 |
| 1994年10月 | 「特定放射光施設の共用の促進に関する法律（共用法）」を施行 JASRIを「放射光利用研究促進機構」に指定 |
| 1997年10月 | SPring-8の共用開始 |
| 2002年9月 | 第1回中間評価 |
| 2005年10月 | 独立行政法人改革を受け、SPring-8の施設所有者を理研に一本化 |
| 2007年3月 | JASRIを、利用促進業務を行う登録施設利用促進機関に登録 |
| 7月 | 第2回中間評価 |
| 2012年4月 | SPring-8ユーザー協同体（SPRUC）発足 |
| 2013年8月 | 第3回中間評価 |
| 2017年10月 | 共用開始20周年 |
| 2018年10月 | 第4回中間評価 |
| 2020年4月 | コロナ禍におけるDX、SACLA入射への取り組み |
| 2021年4月 | SACLA入射を定常化し、老朽化した旧入射器を廃止 |
| 2021年8月 | SPring-8・SACLAグリーンファシリティ宣言 |
| 2022年12月 | SPring-8の利用者数が累計30万人を突破 |
| 2023年8月 | 文部科学省「SPring-8の高度化に関するタスクフォース」報告書 |
| 2024年3月 | 文部科学省 量子ビーム利用推進小委員会「大型放射光施設SPring-8-IIの整備及び我が国放射光施設の今後の在り方について」報告書 |
| 2024年6月 | 第5回中間評価（今回） |

SACLAの沿革

| | |
|-----------------|---|
| 2000年4月 | コンパクトXFELのコンセプトの提案 |
| 2001年 | 加速器要素技術のR&D開始 |
| 2005年 | プロトタイプ機 (SCSS試験加速器) の建設とコミッショニング |
| 2006年4月 | 理研とJASRIが合同でX線自由電子レーザー合同推進本部を設置 SACLAの建設を開始 (第3期科学技術基本計画の国家基幹技術) |
| 2006年6月 | プロトタイプ機で極紫外レーザー (波長49nm) の発振に成功 |
| 2011年3月 | SACLA施設の完成と自発放射X線の確認 |
| 2011年6月7日 | ファーストレーシング (波長1.2 Å) の達成 |
| 2012年3月 | 共用開始 |
| 2013年 | プロトタイプ機のシャットダウン (後に、SACLAのアンジュレータホールに移設し、BL1に接続) |
| 2015年4月 | 2本目のXFELビームライン (BL2) の共用開始 |
| 2016年7月 | BL1を軟X線FELビームラインに高度化し、共用開始 |
| 2017年9月 | BL2/3の振り分け同時利用運転の開始 |
| 2018年10月 | 第1回中間評価 |
| 2020年4月 | コロナ禍におけるDX、SACLAへの取り組み |
| 2021年4月 | SACLA入射を定常化し、老朽化した旧入射器を廃止 |
| 2021年8月 | SPRING-8・SACLAグリーンファシリティ宣言 |
| 2022年8月 | SACLA利用者数が累計1万人を突破 |
| 2024年6月 | 第2回中間評価 (今回) |

SACLA入射 (2021年4月~)



老朽化した旧入射器の運用を停止し、SACLA線形加速器を新たな入射器として利用



- 4.7 MW (全体の17%) の電力削減
- 旧入射器本体・付帯設備の更新費用を削減
- SPring-8-IIに向けて、高性能な入射性能を確保

グリーンファシリティ宣言 (2021年8月)

大型放射光施設SPring-8とX線自由電子レーザー施設SACLAでは、グリーン成長戦略に関連した様々な研究開発が進められている。産官学での一層の活用を進めるために「グリーンファシリティ」であることを、宣言する。

エネルギー関連産業

洋上風力発電

稼働時応力歪評価、接合部応力歪評価、防錆・防触、材料特性、疲労・破壊、CFRP材料、接合・接着、摩擦・潤滑

水素・燃料アンモニア産業

人工光合成触媒、アンモニア合成触媒、水素脆性抑止材料、燃料電池、NOX抑制、稼働時応力歪評価、ヒドラジン利用

次世代熱エネルギー産業

メタネーション高効率化

原子力産業

廃炉支援技術、原子炉材料評価、核廃棄物処理支援

家庭・オフィス関連産業

住宅・建築物産業

次世代電力マネジメント産業

木材由来建築材料、軽量コンクリート、山林発電、AI電力マネジメント

資源循環関連産業

次元分別回収技術、易分別設計技術

ライフスタイル関連産業

「壊れること」をデザインする = サーキュラーエコミーの容易化

輸送・製造関連産業

自動車・蓄電池産業

CFRP材料、接着剤、摩擦・潤滑、自動車用半導体、燃料電池、木材由来プラスチック、全固体リチウム電池、次世代リチウムフリー電池、高性能センサー、スーパー・キャパシター、ダメージ解析

半導体・情報通信産業

半導体結晶評価、オペランド機能評価、界面電子状態評価、ナノ領域物性評価、情報通信素子評価、ダメージ解析

船舶産業

応力・歪・疲労・破壊、タービンブレード、素材

航空機産業

炭素繊維素材、接着剤、バイオ燃料開発

食料・農林水産業

人工光合成による食料生産、希少天然物の人工合成、食料保存方法の改良、合成ミート、水産物完全養殖支援、水耕栽培支援、収穫時期最適化支援、リジェネラティブ農業支援

物流・人流・土木インフラ産業

強力磁石→強力モーター、自動運転・ドローン配送、空中タクシー、輸送インフラ評価、道路舗装長寿命化、鉄道車両、道路長寿命化、省CO2コンクリート、接着剤工法、鉄筋コンクリート長寿命化

カーボンリサイクル産業

触媒開発、人工光合成・炭素固定、CO2→プラスチック材料、CO2→繊維材料、CO2→構造材料

グリーンファシリティ宣言

大型放射光施設「SPring-8」とX線自由電子レーザー施設「SACLA」は持続可能な開発目標（SDGs）や、2050年カーボンニュートラル達成に向けた産官学の研究開発活動を、従来に増して強気に支援してまいります。

合わせて、施設自体も一層の省エネルギー化に向けての努力を進めてまいります。

引き続き、皆様方の倍旧のご活用とご支援を賜りますよう、お願い申し上げます。

SPring-8

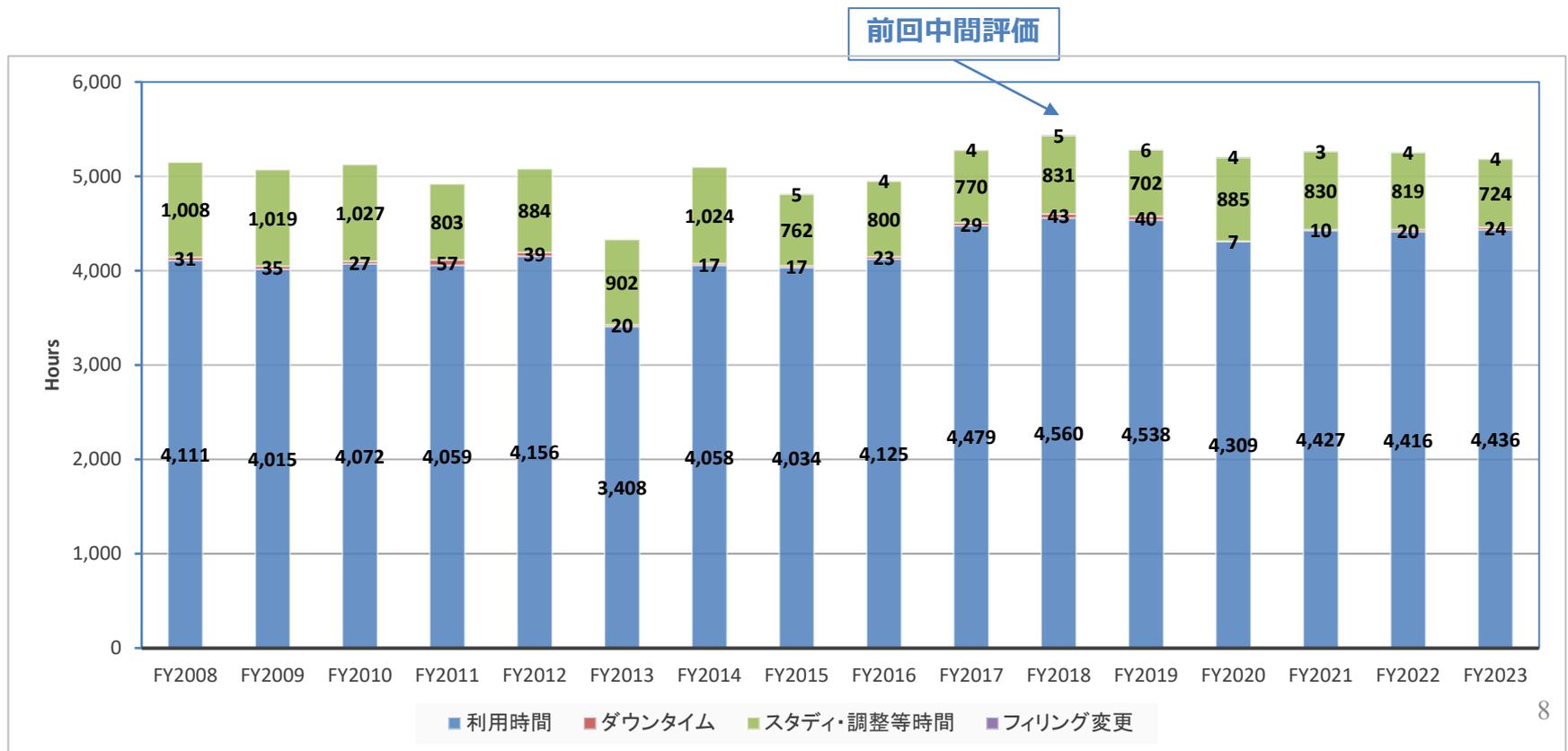
- 8 GeV, 100 mA
- 総運転時間 5,188 h、利用時間 4,440 h、ダウンタイム 24 h (0.5 %)
- MTBF: 403 h
- ビームライン: 57本
- 利用者数 15,108、累計利用者数 318,820
- 応募課題数 2,360、採択課題数 1,733、課題採択率 73%

SACLA

- 8 GeV, 60 Hz (SACLA主加速器); 850 MeV, 60 Hz (SCSS+加速器)
- 総運転時間 5.808 h、利用時間 6,094 h、ダウンタイム 134 h (2.1 %)
- MTBF: 0.97 h
- ビームライン: 3本
- 利用者数 1,079、累計利用者数 11,893
- 応募課題数 133、採択課題数 96、課題採択率 72%

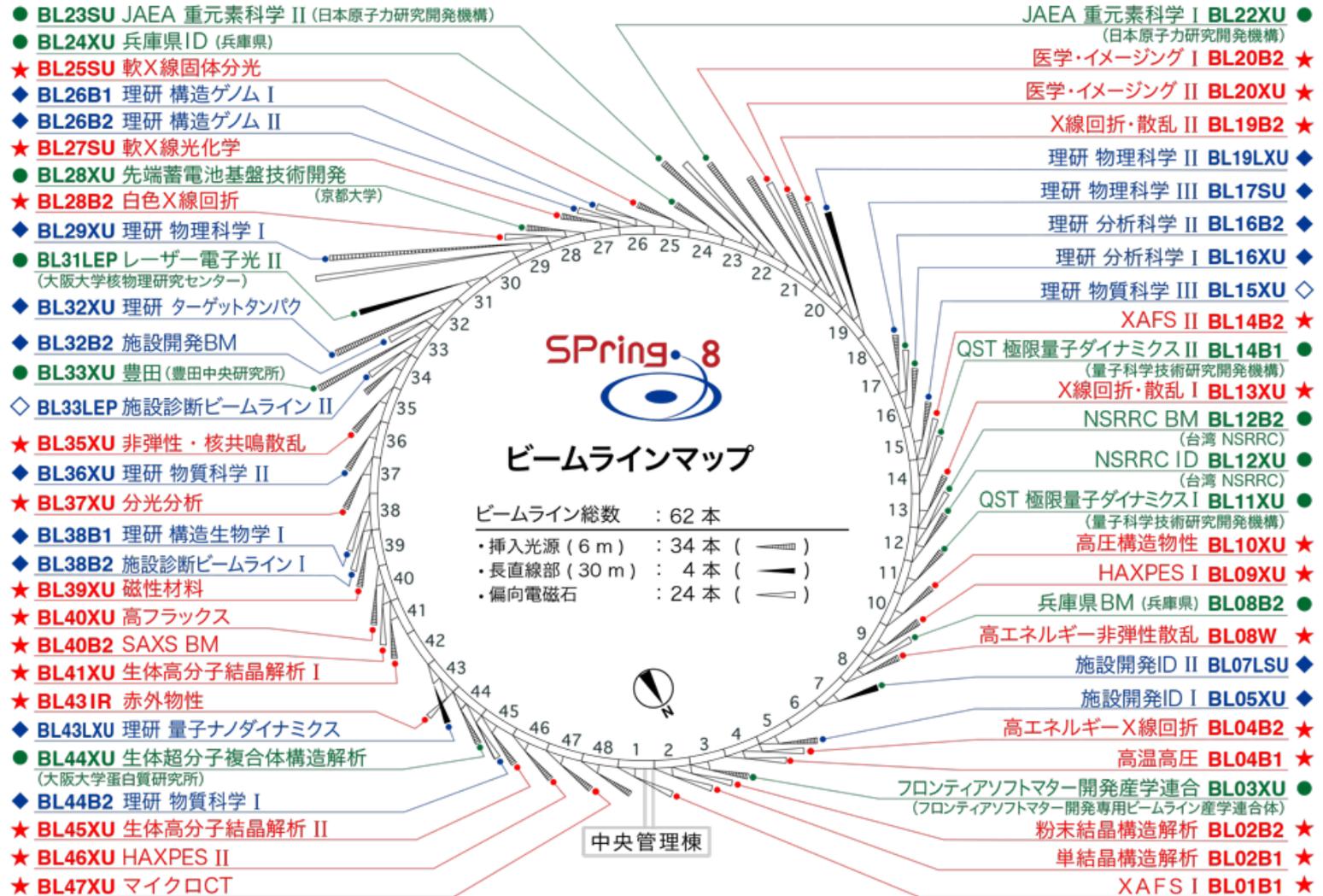
SPring-8: 運転状況

- 運転時間: **年間5000時間強を維持**
- しかしながら、**光熱水費の高騰**を受けて、2022年度から補正予算が措置されている
- さらに、**加速器本体・インフラの老朽化**が進行 → SPring-8-IIの早期実現の必要性 (機器更新&グリーン化)



SPring-8: ビームラインマップ

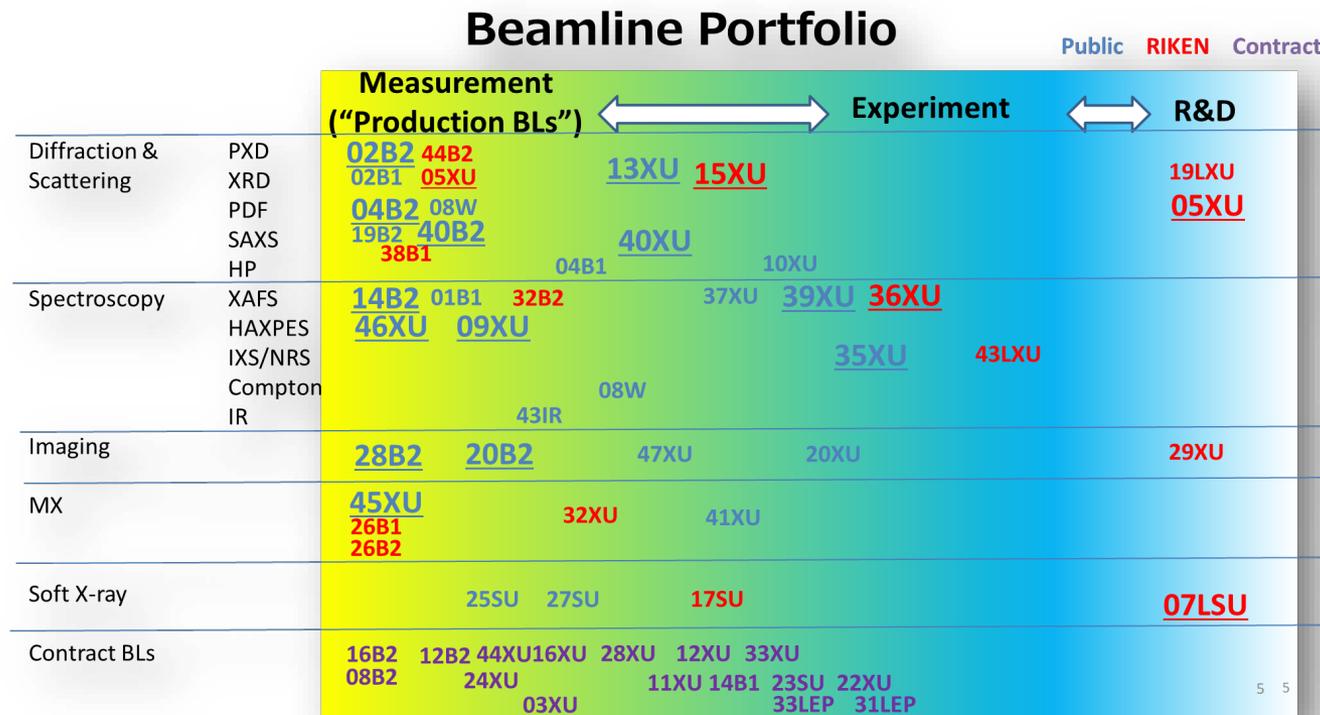
★: 共用ビームライン ●: 専用ビームライン ◆: 理研ビームライン



稼働中BL: 57本 (共用BL: 26本、理研BL: 18本、専用BL 13本)

ビームライン再編

- 2019年度から、**ビームライン再編**を実施
- SPring-8全体のポートフォリオを定めた上で、ビームラインの機能を整理・強化
 - Measurement (Production BL); Experiment; Development
 - 高エネルギーX線利用の強化
 - データセンター、DX、共通制御システム(BL-774)、リモート環境の整備



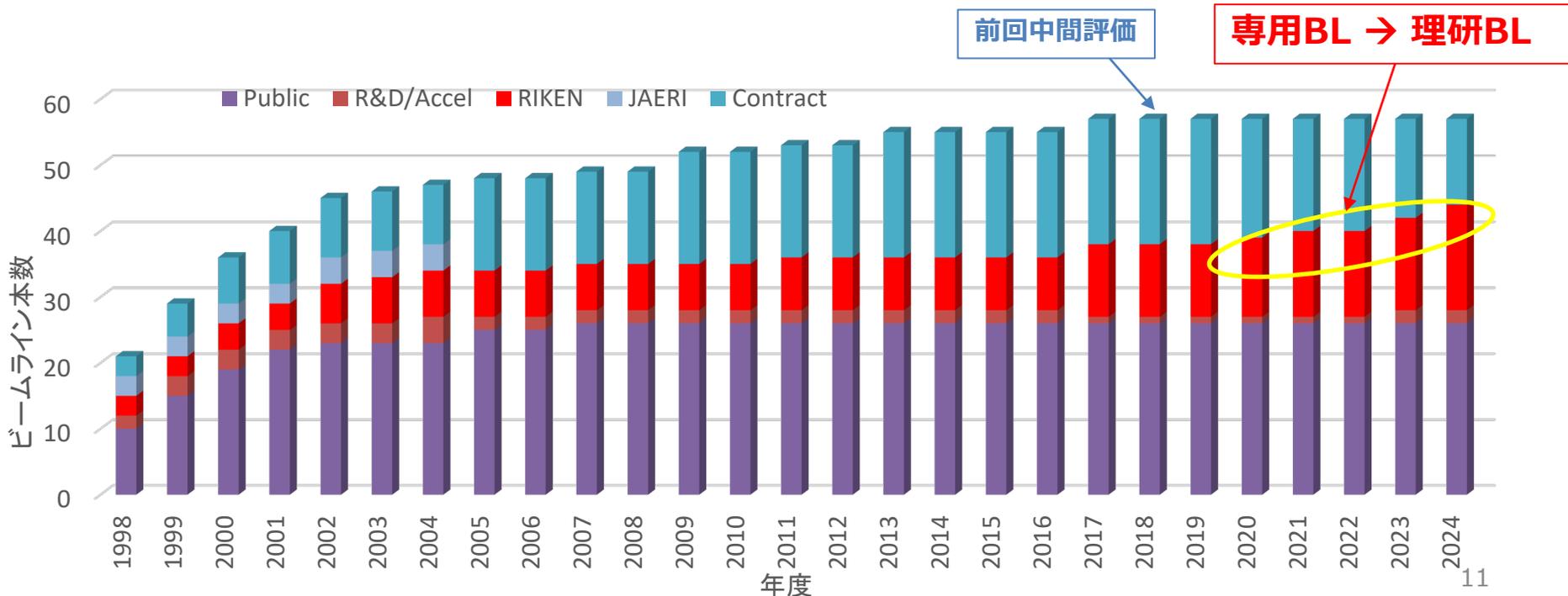
ビームラインの変遷

- 専用BLから理研BLへの転換が進んでいる (2020年度~)

– 大口利用: ストックからフローへの流れ

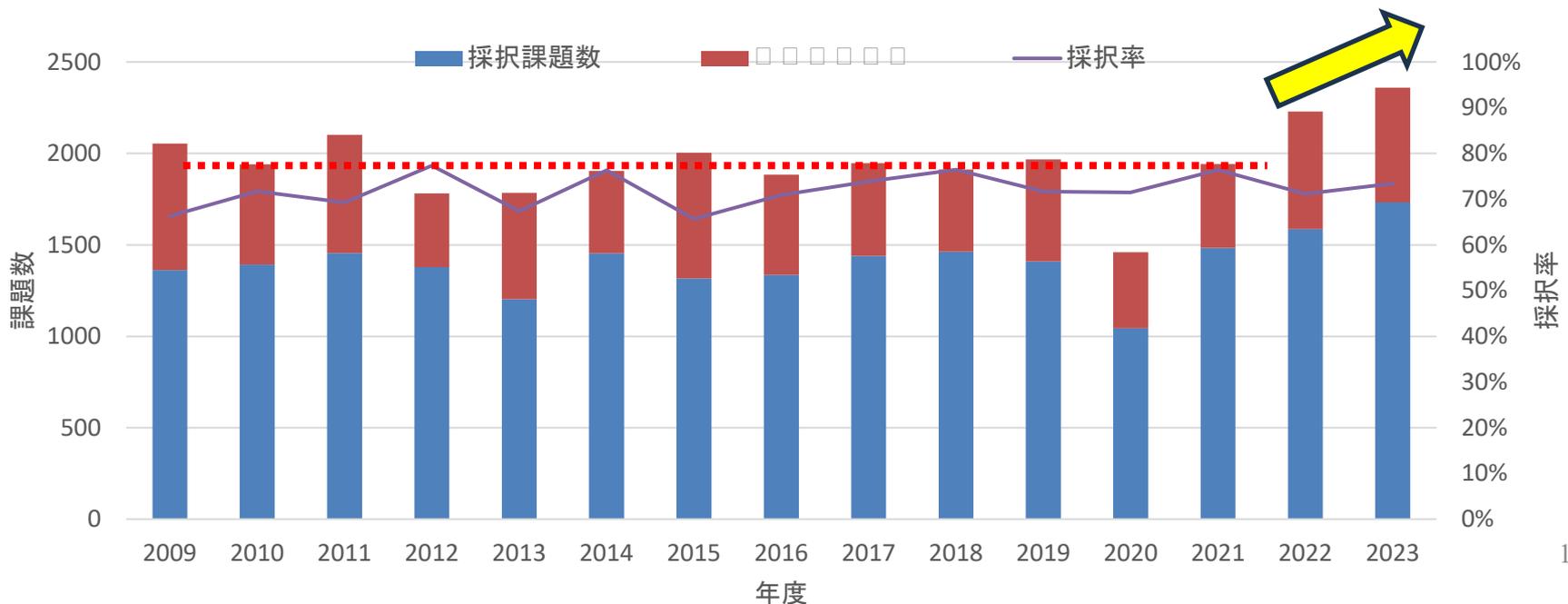
前回中間評価からの主な変更

- 2019年4月: 05XU: 理研 施設開発ID (機能変更); 32B2: 理研 施設開発BM (機能変更); 38B1 理研 構造生物学I (共用BL → 理研BL), 45XU 共用 構造生物学II (理研BL → 共用BL)
- 2020年 4月: 36XU 理研 物質科学II (専用 NEDO燃料電池 → 理研BL)
- 2021年4月: 共用 09XU HAXPES (機能変更); 共用35XU 非弾性・核共鳴散乱(機能変更)
- 2021年10月: 15XU 理研 物質科学III (専用 NIMS BL → 理研BL)
- 2022年5月: 13XU (機能変更); 46XU (機能変更)
- 2023年4月: 07LSU 理研 施設開発ID II (専用 東大BL → 理研BL); 33LEP 理研 施設診断I (専用 阪大LEP → 理研BL)
- 2024年4月: 16XU 理研 分析科学I (専用 サンビーム → 理研BL); 16B2理研 分析科学II (専用 サンビーム → 理研BL)



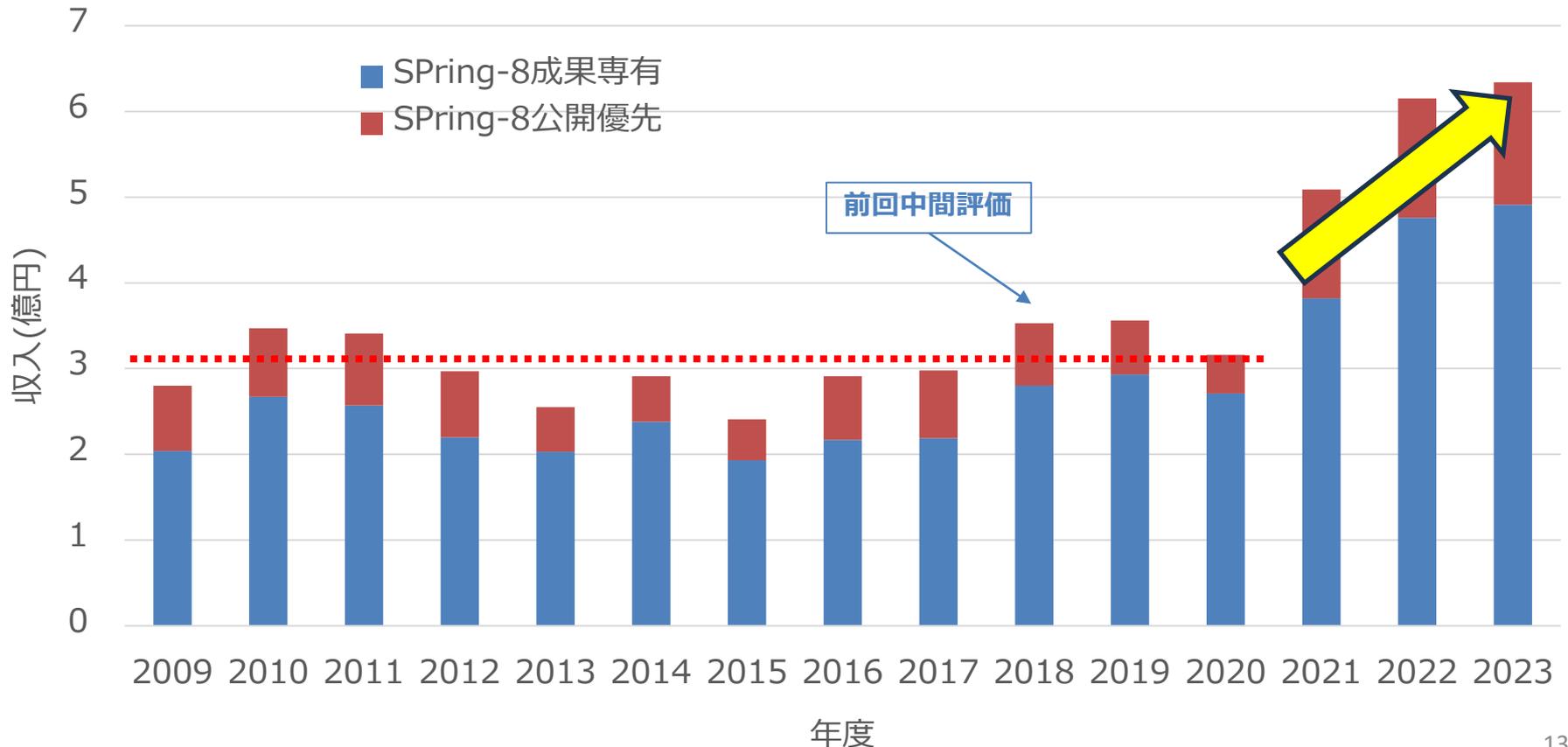
利用状況

- 応募課題数の着実な増加 (2021年度~)
- BL再編・DX化による効率向上により、**全体の採択率は7割程度を維持**
- しかしながら、一部のビームラインの採択率は非常に低い
 - 共用BLのうち**約1/3が、有審査課題の採択率60%以下** (2023年度)
 - ワースト3: BL13XU 35%、BL40XU 47%、BL46XU 49%
- 数字をモニターしながら、BL再編を着実に進める
 - 2023年度に実施した「ニーズ調査」も参考に
 - 理研BL・専用BLの共用枠の受け皿を活用し、施設全体で平準化を図る



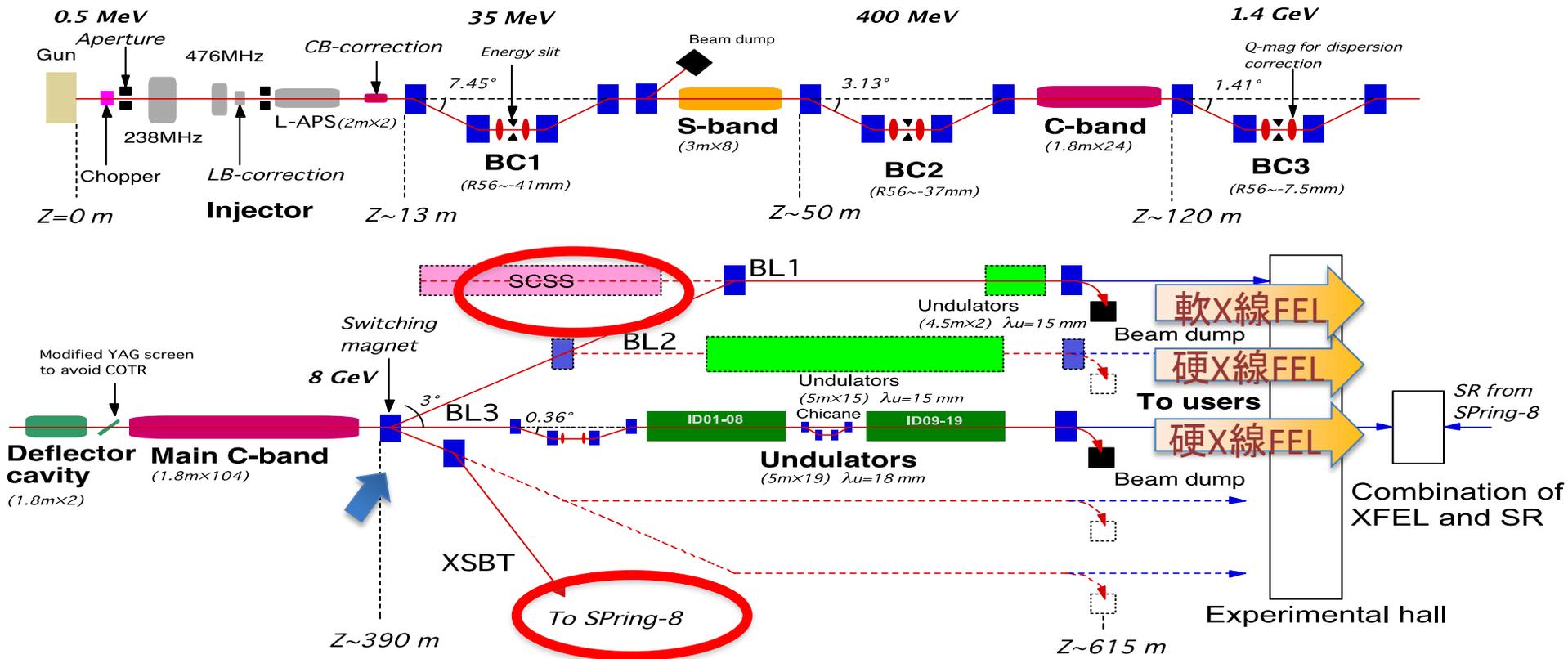
利用料収入の推移

- 2021年度から顕著な増加
 - 2020年度以前と比べて2023年度は倍増
- BL再編・DX化による効率向上
- 前回中間評価からの利用制度の変更（主に産業に関わる）
 - 2022A: 成果専有の時間単位利用
 - 2022B: 年6回募集の拡大; 産業申請受け入れの拡大
 - 2023A: 成果公開利用の資金の制限撤廃と1年課題の創設



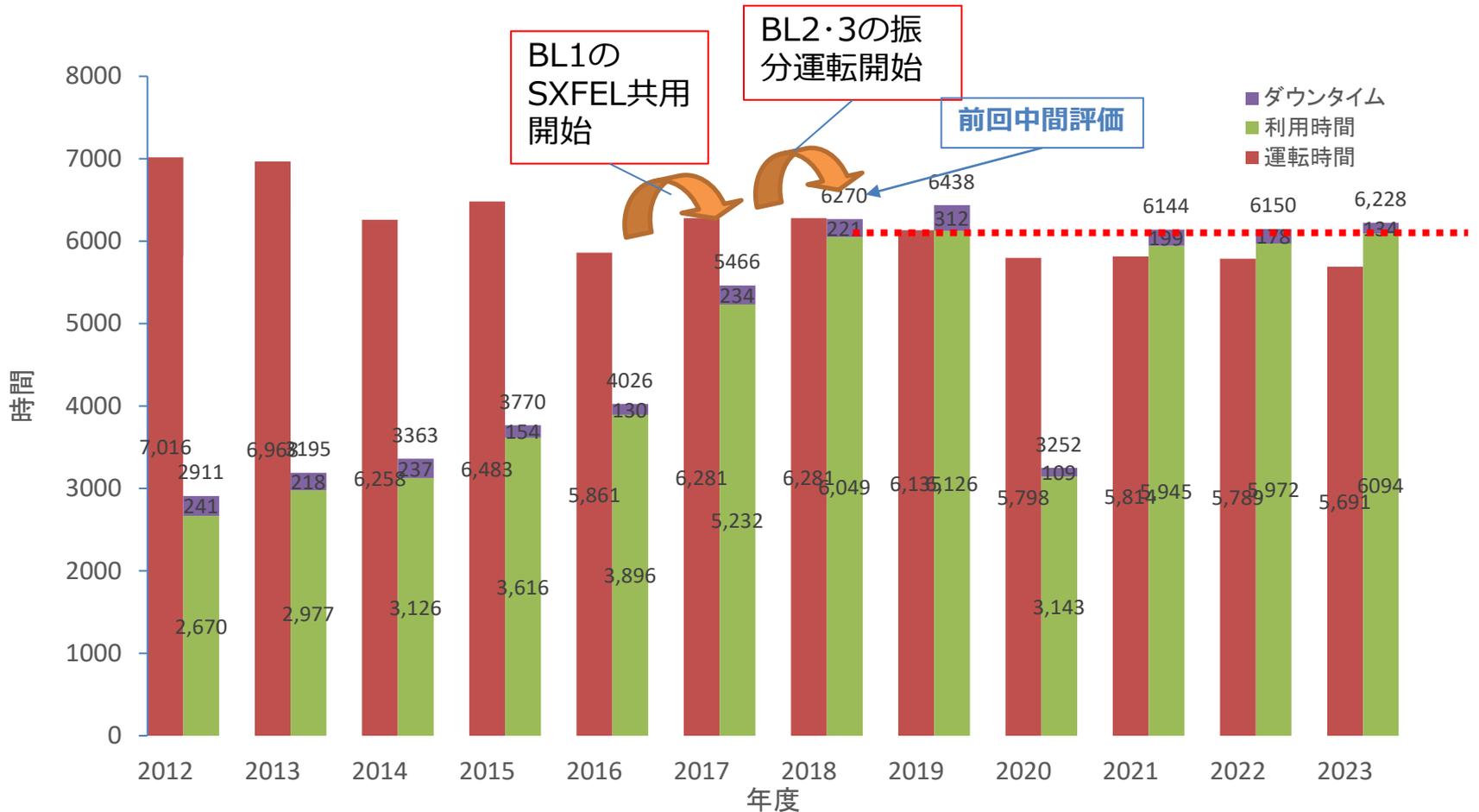
SACLA: 施設の構成

- SACLA主加速器: 2本の硬X線FELビームライン (BL2とBL3) の振り分け同時利用 & SPring-8への入射
- SCSS+: 軟X線FEL (BL1) 専用加速器



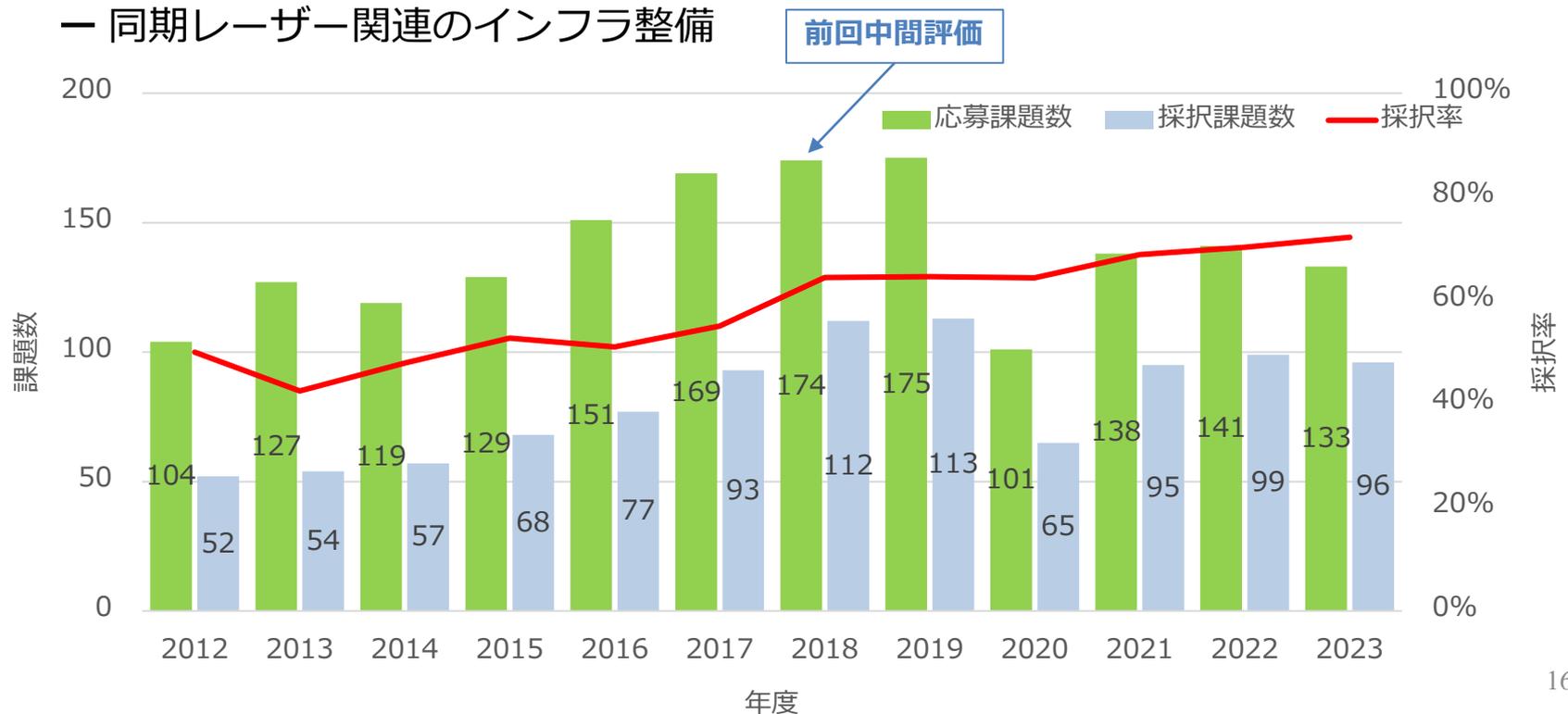
SACLA: 運転状況

- 運転時間: 年間5800時間程度、前回中間評価からは微減
 - 光熱水費の高騰を受けて、2022年度から補正予算が措置
- しかしながら、効率化により、**利用時間 (3本のBLの累計) は6000時間強を維持**



利用状況

- 前回中間評価以降、海外3施設の本格稼働に伴い、申請数は若干の減
- トータルの採択率は7割程度で推移
- しかしながら、競争力の高いBL3の採択率は5割程度
 - ー 加速器: セルフシード、2色
 - ー ポンプ・プローブ: フェムト秒同期レーザー、タイミングモニター
 - ー 極限集光
 - ー 高強度レーザー (阪大レーザー研)
- BL2の能力拡充
 - ー 短波長対応
 - ー 同期レーザー関連のインフラ整備



成果：論文の発表状況

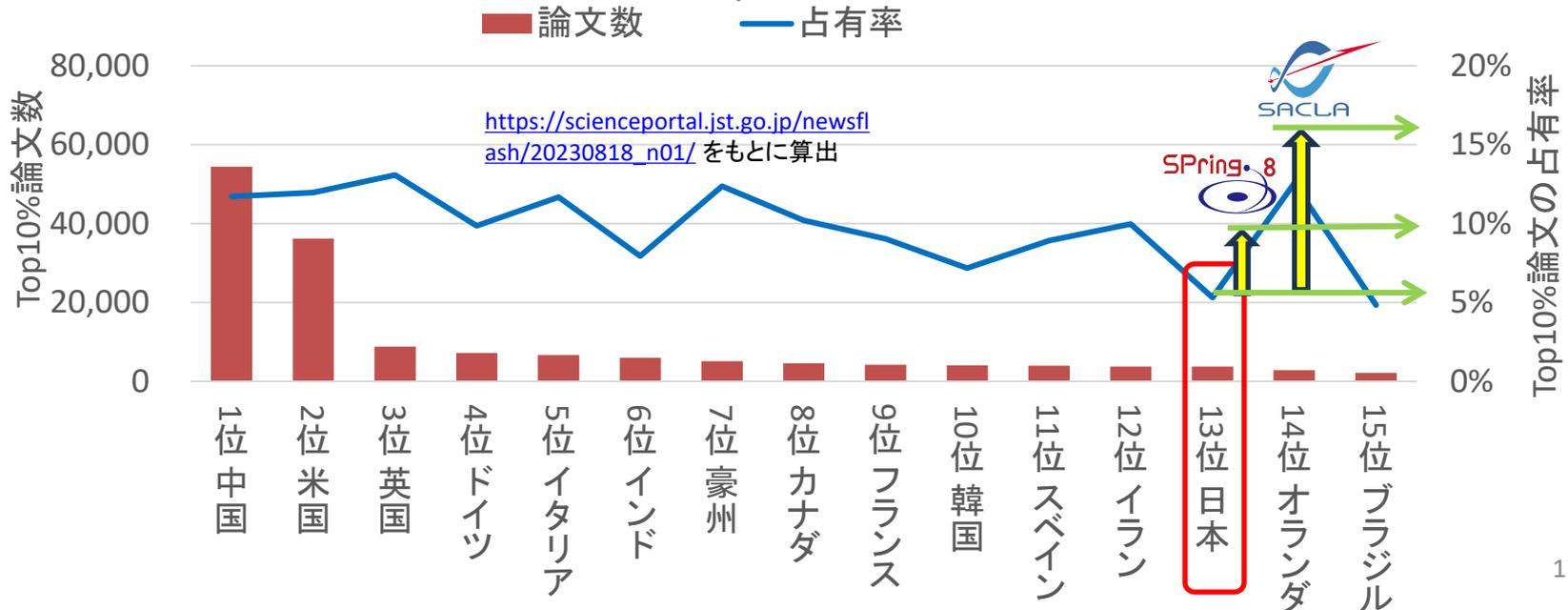
2013年-2023年(11年間)のデータ

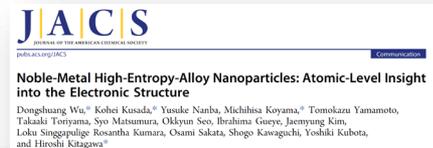
- 論文数：約1,000報/年
- 平均被引用回数：22.4回(SPring-8)/28.0回(SACLA)
- TOP10%論文の占有率：10.0%(SPring-8)/15.4%(SACLA)
- **国際水準以上のクオリティの論文を創出 (占有率は、日本平均の2~3倍)**

日本全体

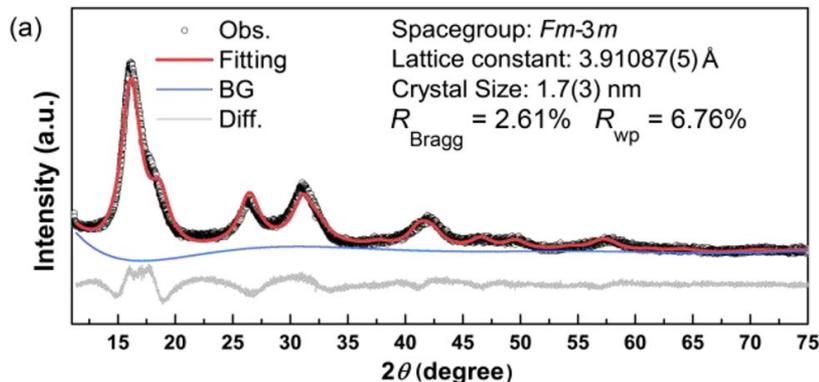
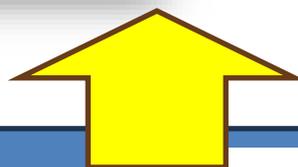
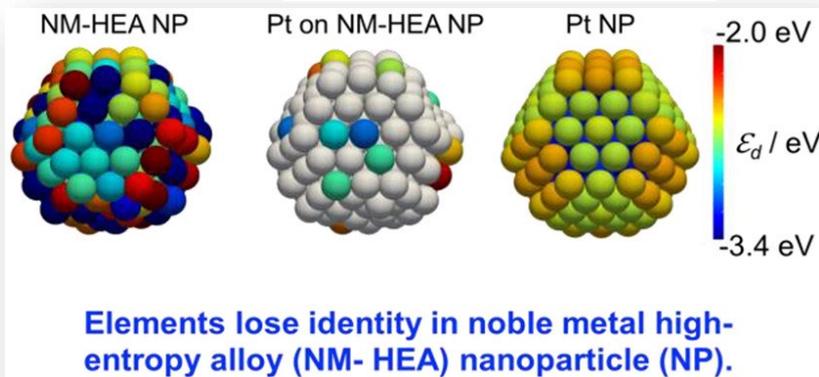
- 論文数：約7万報/年
- Top10%論文数：3,767報 (2019-2021年の平均)
- Top10%論文の占有率：5.3%
- **絶対数が小さいとともに、占有率も低い**

各国におけるTop10%論文数と占有率

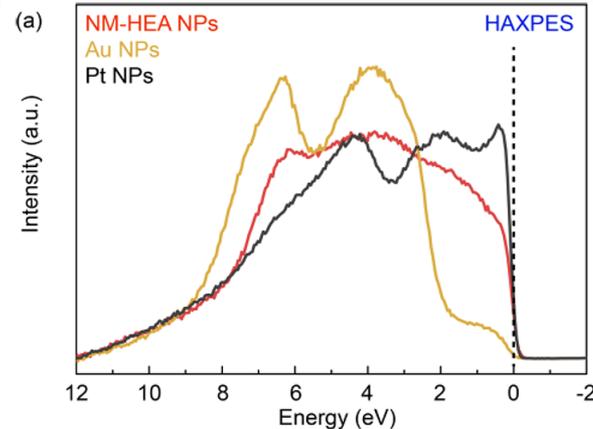




貴金属8元素合金の合成に成功
—他元素の混合で新しい原子が生まれる—
 北川宏教授G (京大)



XRD@BL02B2



HAXPES@BL15XU

成果のハイライト

Yamada, Yamauchi et al.,
Nature Photon (2024)
阪大、名大、理研、JASRI



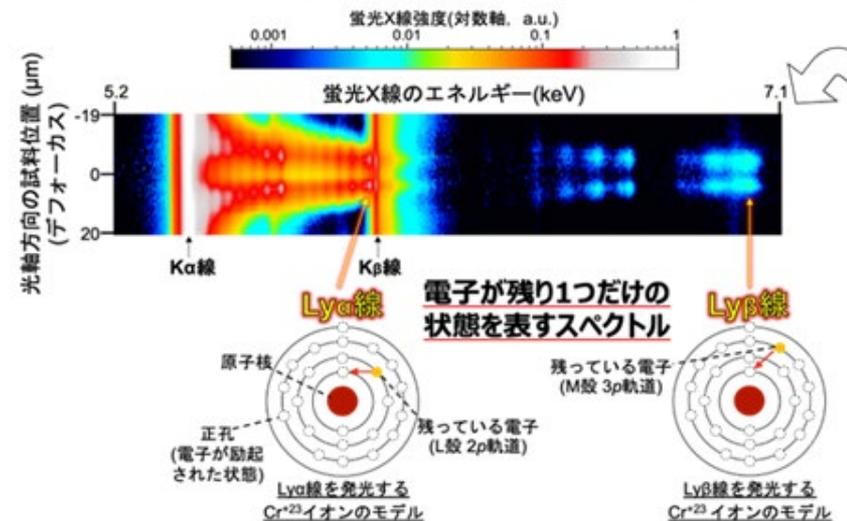
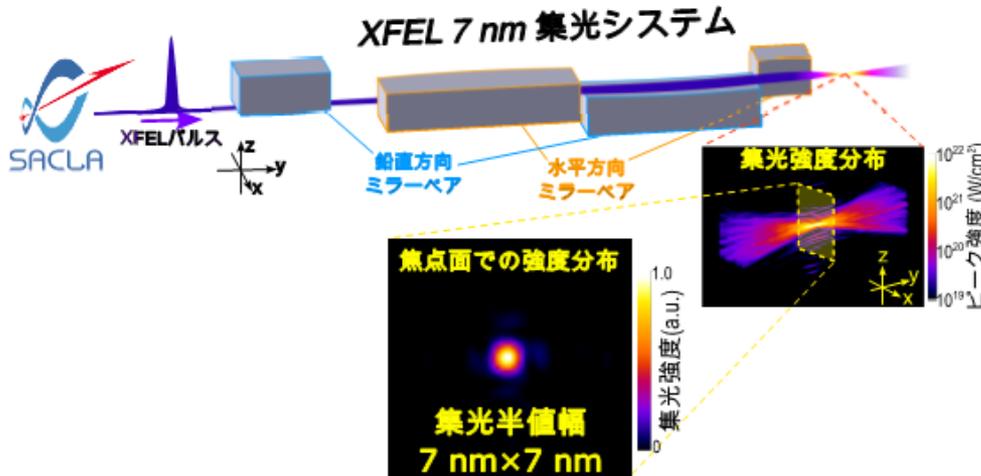
X線自由電子レーザーの極限的7nm集光を実現: ピーク強度 10^{22} W/cm²に達する**世界最高光子密度のX線レーザー**



nature photonics

Article <https://doi.org/10.1038/s41566-024-01411-4>

Extreme focusing of hard X-ray free-electron laser pulses enables 7 nm focus width and 10^{22} W cm⁻² intensity



ユーザー満足度調査

- JASRI利用推進部が実施
- 実験結果、手続きの利便性、利用制度の多様性、スタッフのサポート・専門性等、**施設本体に対してはおしなべて高い評価を得ている**
- 一方で、**食堂・宿舎・売店等の福利厚生関連については低評価 → 要改善**

2023A 期ユーザー満足度アンケート (NPS*) の実施結果について

1. NPS の実施結果について

2023A 期のアンケート結果は以下の通り。アンケートでは NPS スコアを用い、「SPring-8 / SACLA の利用を周りの研究者に勧めたいと思いますか」との質問に対して、「9 又は 10 を選んだ割合」から「0~6 を選んだ割合」を引いて算出した。

2023A 期の結果は以下の通り。

| | | | | | | | | | | | |
|-------|---|---|---|---|---|----|----|----|-----|-----|-----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 2023A | 3 | 1 | 1 | 3 | 1 | 32 | 15 | 67 | 246 | 174 | 685 |

批判者: 5%

中立者: 25% 推奨者: 70%

NPSスコア: 65

(参考) 2022A NPSスコア: 60 2022B NPSスコア: 63

批判者の推移について

2022A: 74名 → 2022B: 95名 → 2023A: 56名

2. 個別質問項目の回答結果について

個別質問の回答結果については以下の通り。実験にかかる項目「実験結果の満足度」等は前期比でプラスの評価となった。

| 実験結果の満足度 | | | | 申請から実験までの手続きの利便性 | | | | 利用制度 (課題種/利用方法) の多様性 | | | | | | |
|----------|--------|--------|------|------------------|---------|--------|-------|----------------------|--------|---------|-------|-------|------|-------|
| 2022A期 | 2022B期 | 2023A期 | | 2022A期 | 2022B期 | 2023A期 | | 2022A期 | 2022B期 | 2023A期 | | | | |
| 割合 | 割合 | 回答者数 | 割合 | 割合 | 割合 | 回答者数 | 割合 | 割合 | 割合 | 回答者数 | 割合 | | | |
| とてもプラス | 56.5% | 58.2% | 715 | 62.5% | とてもプラス | 35.1% | 41.2% | 518 | 45.6% | とてもプラス | 33.0% | 39.6% | 491 | 43.2% |
| ややプラス | 36.7% | 34.4% | 363 | 31.7% | ややプラス | 44.0% | 39.1% | 427 | 37.6% | ややプラス | 41.4% | 38.4% | 435 | 38.3% |
| どちらでもない | 5.2% | 5.7% | 52 | 4.5% | どちらでもない | 14.9% | 14.7% | 149 | 13.1% | どちらでもない | 21.6% | 19.4% | 185 | 16.3% |
| ややマイナス | 1.3% | 1.2% | 13 | 1.1% | ややマイナス | 5.1% | 4.6% | 39 | 3.4% | ややマイナス | 3.7% | 2.4% | 22 | 1.9% |
| とてもマイナス | 0.3% | 0.4% | 1 | 0.1% | とてもマイナス | 0.9% | 0.5% | 4 | 0.4% | とてもマイナス | 0.3% | 0.3% | 4 | 0.4% |
| 合計 | | | 1144 | | 合計 | | | 1137 | | 合計 | | | 1137 | |

| スタッフからのサポート | | | | スタッフの知識、専門性の高さ | | | | 要求に対する測定方法/技術の成熟度 | | | | | | |
|-------------|--------|--------|------|----------------|---------|--------|-------|-------------------|--------|---------|-------|-------|------|-------|
| 2022A期 | 2022B期 | 2023A期 | | 2022A期 | 2022B期 | 2023A期 | | 2022A期 | 2022B期 | 2023A期 | | | | |
| 割合 | 割合 | 回答者数 | 割合 | 割合 | 割合 | 回答者数 | 割合 | 割合 | 割合 | 回答者数 | 割合 | | | |
| とてもプラス | 76.3% | 75.6% | 900 | 79.2% | とてもプラス | 78.8% | 77.3% | 897 | 79.2% | とてもプラス | 65.5% | 65.6% | 764 | 67.4% |
| ややプラス | 19.9% | 18.9% | 196 | 17.3% | ややプラス | 17.8% | 18.2% | 200 | 17.7% | ややプラス | 29.6% | 29.1% | 330 | 29.1% |
| どちらでもない | 2.9% | 4.5% | 36 | 3.2% | どちらでもない | 2.8% | 3.9% | 35 | 3.1% | どちらでもない | 4.0% | 4.5% | 37 | 3.3% |
| ややマイナス | 0.8% | 0.5% | 4 | 0.4% | ややマイナス | 0.6% | 0.5% | 1 | 0.1% | ややマイナス | 0.9% | 0.7% | 1 | 0.1% |
| とてもマイナス | 0.1% | 0.4% | - | - | とてもマイナス | - | 0.1% | - | - | とてもマイナス | - | 0.1% | 1 | 0.1% |
| 合計 | | | 1136 | | 合計 | | | 1133 | | 合計 | | | 1133 | |

| ハードウェア・ソフトウェアの性能・安定性 | | | | 事前相談の機会 (問い合わせ) や対応 | | | | | |
|----------------------|--------|--------|------|---------------------|---------|--------|-------|------|-------|
| 2022A期 | 2022B期 | 2023A期 | | 2022A期 | 2022B期 | 2023A期 | | | |
| 割合 | 割合 | 回答者数 | 割合 | 割合 | 割合 | 回答者数 | 割合 | | |
| とてもプラス | 55.0% | 55.6% | 674 | 59.8% | とてもプラス | 58.4% | 59.1% | 713 | 63.4% |
| ややプラス | 36.5% | 34.2% | 362 | 32.1% | ややプラス | 29.4% | 28.9% | 304 | 27.0% |
| どちらでもない | 7.0% | 8.6% | 81 | 7.2% | どちらでもない | 11.0% | 11.2% | 96 | 8.5% |
| ややマイナス | 1.6% | 1.2% | 9 | 0.8% | ややマイナス | 1.1% | 0.7% | 10 | 0.9% |
| とてもマイナス | - | 0.4% | 2 | 0.2% | とてもマイナス | 0.2% | 0.1% | 2 | 0.2% |
| 合計 | | | 1128 | | 合計 | | | 1125 | |

| 施設の充実度 | | | | 研究交流施設の充実度 | | | | 売店の充実度 | | | | | | |
|---------|--------|--------|------|------------|---------|--------|-------|--------|--------|---------|-------|-------|------|-------|
| 2022A期 | 2022B期 | 2023A期 | | 2022A期 | 2022B期 | 2023A期 | | 2022A期 | 2022B期 | 2023A期 | | | | |
| 割合 | 割合 | 回答者数 | 割合 | 割合 | 割合 | 回答者数 | 割合 | 割合 | 割合 | 回答者数 | 割合 | | | |
| とてもプラス | 8.3% | 6.3% | 76 | 6.7% | とてもプラス | 18.0% | 16.5% | 214 | 18.9% | とてもプラス | 10.7% | 10.9% | 142 | 12.5% |
| ややプラス | 13.8% | 11.8% | 85 | 7.5% | ややプラス | 32.4% | 29.5% | 258 | 22.8% | ややプラス | 30.1% | 25.4% | 225 | 19.8% |
| どちらでもない | 32.8% | 32.9% | 308 | 27.0% | どちらでもない | 36.2% | 42.4% | 501 | 44.2% | どちらでもない | 36.6% | 41.2% | 463 | 41.4% |
| ややマイナス | 20.6% | 23.1% | 223 | 19.6% | ややマイナス | 11.3% | 9.8% | 127 | 11.2% | ややマイナス | 17.9% | 17.8% | 241 | 21.2% |
| とてもマイナス | 24.5% | 25.9% | 447 | 39.2% | とてもマイナス | 2.1% | 1.8% | 34 | 3.0% | とてもマイナス | 4.6% | 2.7% | 35 | 3.1% |
| 合計 | | | 1139 | | 合計 | | | 1134 | | 合計 | | | 1136 | |

* NPS はペイン・アンド・カンパニー、フレッド・ライクヘルド、サトメトリックス・システムの登録商標です

まとめと課題

- SPring-8/SACLAの着実な運用により、質・量ともに充実した成果が創出されている
- 一方で、SPring-8加速器の老朽化が進行し、SPring-8-IIへのアップグレードが喫緊の課題となっている
- 利用制度等、ソフト面での改革を進めており、一定の成果を達成しつつあるが、SPring-8-IIや施設間連携を考慮に入れたさらなる改革が必要
- 利用者の滞在環境も要改善
- 世界のXFEL施設の新たな流れを踏まえながら、SACLAの将来の可能性を検討

補足資料

1. SPring-8/SACLA 有償利用(成果専有と公開優先)の実績

調査日：2024/04/01

(単位：千円)

| SPring-8 | 1997-2023(総累積) | | | 2014-2023(10年間累積) | | | 2023(1年間) | | |
|----------|----------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|-------------|------------|------------|
| | 有償利用料 収入 | うち 成果専有 | うち 公開優先 | 有償利用料 収入 | うち 成果専有 | うち 公開優先 | 有償利用料 収入 | うち 成果専有 | うち 公開優先 |
| 総計 | 6,712,032 | 5,440,993 | 1,271,039 | 3,807,851 | 2,962,991 | 844,860 | 633,561 | 490,794 | 142,767 |
| 共用 BL | 5,347,971 | 4,092,517 | 1,255,454 | 3,136,426 | 2,303,970 | 832,456 | 497,775 | 361,650 | 136,125 |
| 専用 BL*1 | 1,076,196 | 1,076,196 | - | 434,831 | 434,831 | - | 102,414 | 102,414 | - |
| 理研 BL*2 | 251,529 | 239,640 | 11,889 | 199,808 | 192,750 | 7,058 | 18,354 | 15,210 | 3,144 |
| CryoTEM | 36,336 | 32,640 | 3,696 | 36,786 | 31,440 | 5,346 | 15,018 | 11,520 | 3,498 |

(単位：千円)

| SACLA | 2012-2023(総累積) | 2023(1年間) |
|-------|----------------|-----------|
| | 有償利用料収入 | 有償利用料収入 |
| BL1-3 | 7,137 | 0 |

●SPring-8 集計対象BL

共用 BL ----計26本 BL01B1 BL02B1 BL02B2 BL04B1 BL04B2 BL08W BL09XU BL10XU BL13XU BL14B2 BL19B2 BL20XU BL20B2 BL25SU
BL27SU BL28B2 BL35XU BL37XU BL39XU BL40XU BL40B2 BL41XU BL43IR BL45XU BL46XU BL47XU

専用 BL*1---- 計17本 BL03XU BL07LSU BL08B2 BL11XU BL12XU BL12B2 BL14B1 BL16XU BL16B2 BL22XU BL23SU
BL24XU BL28XU BL31LEP BL33XU BL33LEP BL44XU

理研 BL*2--- 計14本 BL05XU BL15XU* BL17SU BL19LXU BL26B1 BL26B2 BL29XU BL32XU BL32B2 BL36XU BL38B1
BL38B2² BL43LXU BL44B2

【備考】

BL38B1：2019A期より共用BL→理研BLへ変更

BL45XU：2019A期より理研BL→共用BLへ変更

BL15XU：2021B期より専用BL→理研BLへ変更