

今後の重点的な課題及び推進方策

「施設・性能」のアップグレード

平成30年12月25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

ビームライン研究開発グループディレクター

物理・化学系ビームライン基盤グループディレクター

矢橋 牧名

論点整理ペーパー（今後の課題・推進方策）の骨子

(1) SPring-8、SACLAの政策的位置づけと今後の発展の方向性

赤：今回の議論 青：前回までの議論

i SPring-8（今後の発展の方向性）

- 次世代放射光施設の整備も見据えた、我が国の放射光施設全体の役割分担の俯瞰と、SPring-8の今後の政策的位置づけと発展の方向性の検討。今後20年間以上にわたり、主に硬X線を活用した高輝度放射光源として、産学官の幅広い共用に供し、最先端の科学技術の成果創出を狙える施設に (R)
 - 世界の放射光施設の発展の方向性 (R)
 - 硬X線の放射光源が拓く科学技術、他施設との連携による相補的発展 (R)
 - 施設全体（放射光源）の高度化の検討 (R)

ii SACLA（今後の発展の方向性）

- 諸外国の新たなXFELの運用開始、施設の高度化を踏まえ、SACLAの特長を活かした重点的な研究展開、差別化など、SACLAの今後の政策的位置づけと発展の方向性の検討。SACLAの施設としての特長を発展させるとともに、利用環境や利用ニーズに沿った支援等により、産・学における世界最先端の成果創出の実現 (R)
 - 世界のXFELの発展の方向性 (R)
 - SACLAの特長とSACLAが拓く科学技術、他施設との連携による相補的発展 (R)

iii SPring-8、SACLA共通（経営基盤の強化）

- 施設の経営基盤を強化。具体的な方策の検討 (R)
 - 施設の計画的な経年劣化対策、運営費の効率化 (R)
 - 財源の多様化検討（大型研究プロジェクトの活用、財産寄付等）、適切な利用料等の設定 (R)
 - 研究開発力強化法の改正を見据えた準備、検討（ベンチャーへの出資など）

（施設を最大限に活用したイノベーションエコシステムの形成）

- 研究基盤（施設、人材、ネットワーク）の蓄積を最大限に活かした、イノベーションエコシステムの形成
 - 登録機関などによる、地域全体の利用促進マネジメント
 - 遠隔による利用促進 (J)

論点整理ペーパー（今後の課題・推進方策）の骨子

(2) 研究成果の最大化

i SPring-8、SACLA共通

(成果指標の検討)

- 多様な指標により総合的に評価するための、効果的な指標の検討と、成果の最大化。(J)

(オープンデータ・オープンアクセス)

- 各種測定データ等のデータベース化やオープン化の推進と利活用 (R、J)

ii SPring-8

(ビームラインの改廃と高度化の実現)

- ビームラインの固定化を防止し、改廃（新陳代謝）、高度化が自ら起こる仕掛けを組み入れることが必要 (R)
 - ビームラインの位置づけの再定義 (R)
 - ビームラインの固定化を防止し、改廃（新陳代謝）、高度化が自ら起こる仕掛け（評価方法を含む）(R、J)
 - ビームラインの設置、改廃等の判断主体の明確化 (R)

(ビームライン有効利用による研究成果の最大化)

- これまでの「共用ビームライン」、「専用ビームライン」等の枠組みを改め、新たな考え方のもと、ビームラインの有効活用が可能となる仕組みの検討
 - 既存枠組みでの有効活用の方策 (R)
 - 例：専用ビームラインと共用ビームラインのビームタイム交換（専用ビームラインに共用ビームタイムの設定）、専用ビームラインに対する施設者管理・支援の促進、既存のビームラインの種別を超えた利用促進業務の一元化、など (R)
 - 次世代放射光施設の検討も踏まえ、新たにビームタイムによる運用方式の導入 (R)

論点整理ペーパー（今後の課題・推進方策）の骨子

（3）産学官共用による利用促進: SPring-8、SACLA共通

（産学官の共用施設としての利用促進：利用者本位の施設運営）

- 共用法に基づく共用施設として、理研（施設設置者）、JASRI（登録施設利用促進機関）による、利用者本位の施設運営の実践（R）

（産学官の共用施設としての利用促進：多様な利用者支援）

- 民間企業などが抱える多様なニーズや課題に応えるための、多様な利用者支援の取組の実践
 - 産学コーディネート機能の活性化（J）
 - 産学官のパワーユーザーの拡大（J）
 - オープン・イノベーションの推進

（新たな利用領域の開拓）

- SPring-8、SACLAを活用することで、新たな学術的進展や生産性向上、市場創出、社会的・文化的価値の創出につながる重点領域と、その分野の利用者を積極的に開拓する取組の推進と、利用促進。特に、SACLAについては、今後の産業利用の促進方策。（J）
 - ベンチャー企業向けトライアルユース利用の導入

（4）人材育成及び国民理解の醸成: SPring-8、SACLA共通

（人材育成）

- 大学や他の放射光施設等と協力し、我が国の放射光施設全体として、戦略的な人材の育成・確保・交流。今後、持続的に施設運営を行うために、施設の利用を支える研究者・技術者のキャリアパスの明確化とともに、若手人材や学生等の育成方針の検討（R）

（施設の広報、プロモーション）

- 国民の理解のための、施設の広報と、プロモーションの強化（R）

目次

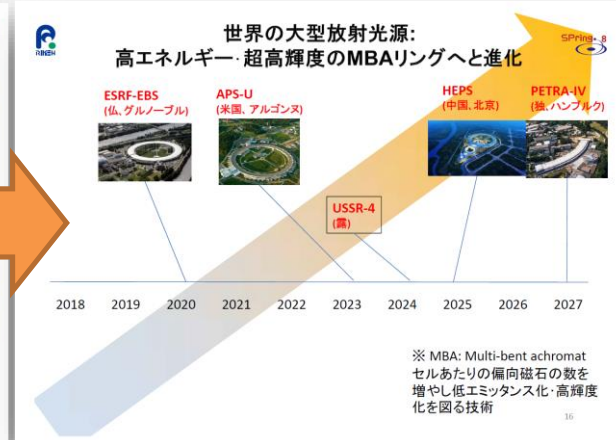
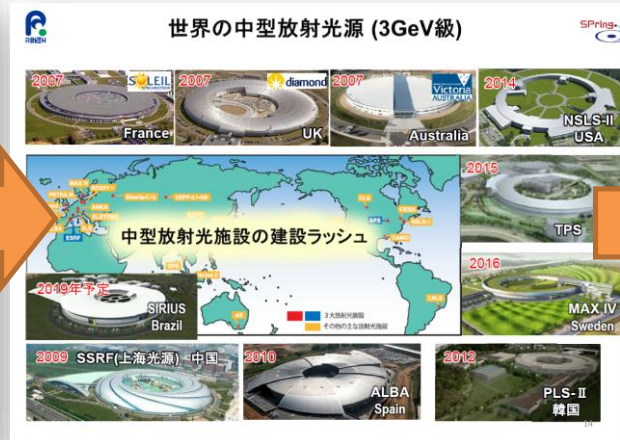
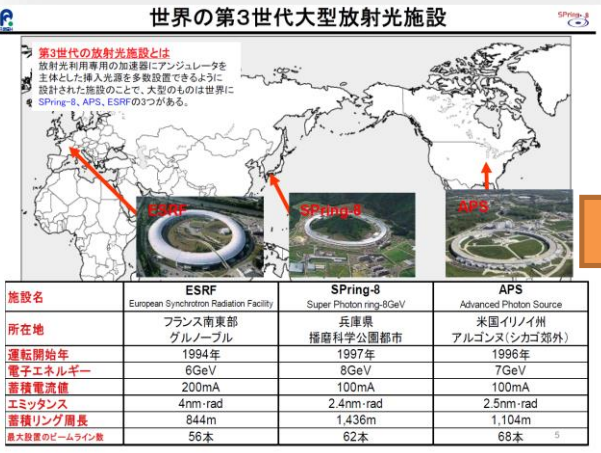
1. 世界の情勢: 階層的な放射光施設群
2. 日本の情勢とSPring-8のアップグレード計画
3. ビームラインの再編・高度化
4. 老朽化対策
5. データの利活用
6. 人材育成・プロモーション戦略

1. 放射光施設: 世界の情勢

1990年代

2000～2010年代

2020年代

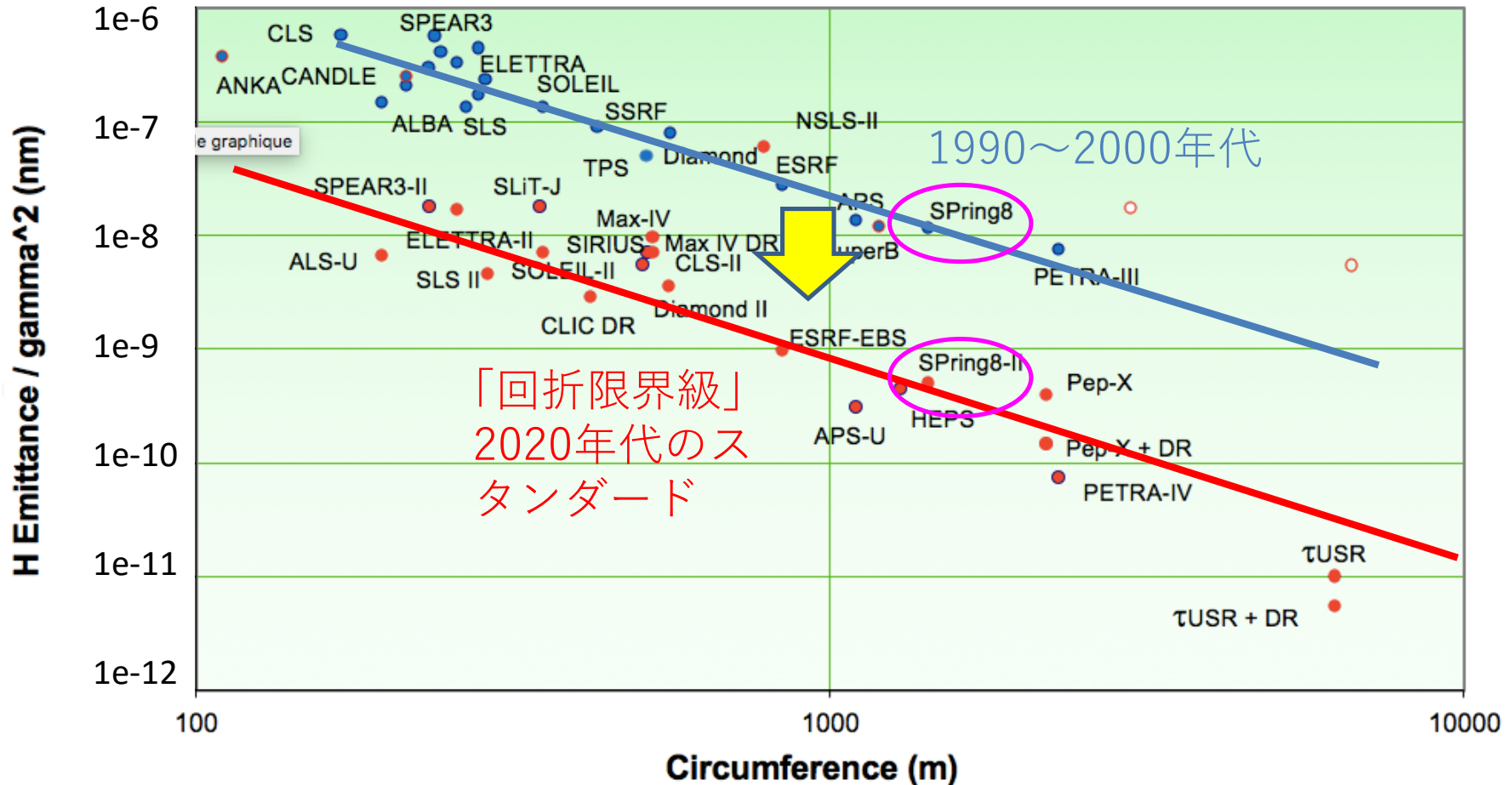


「3大」大型放射光施設

真空封止アンジュレータによる中型3GeV光源の普及

MBA技術による回折限界級光源
特に、大型施設による高エネルギーの硬X線

放射光源の低エミッタンス化



ESRFのアップグレード

Phase I (180 MEuro、2009-2015)

- ビームライン・エンドステーションの再配置とアップグレード
- 実験ホールの増設
- 周辺機器の更新

Phase II (150 MEuro、2015-2022)

- 加速器 (蓄積リング) の更新
- 4本のパイロットビームラインの新設



Serial Crystallography、Diffraction microscopy

Coherent x-ray dynamics & imaging、Large-field phase contrast imaging

- 光学系・検出器・データ環境の強化

蓄積リングの更新

- 2015年: 設計完了
- 2016年: コンポーネント製作開始
- 2019年: シャットダウン、加速器入れ替え (1年間)
- 2020年: コミッショニング開始
- 2022~23年: 全ビームライン(新設・更新・そのまま)の稼働

備考

- リング棟建屋・加速器トンネル・一部のビームライン等、使えるものはそのまま使ってコスト削減

ESRF: 第1期のビームラインアップグレード

2009年

スクラップ 16本

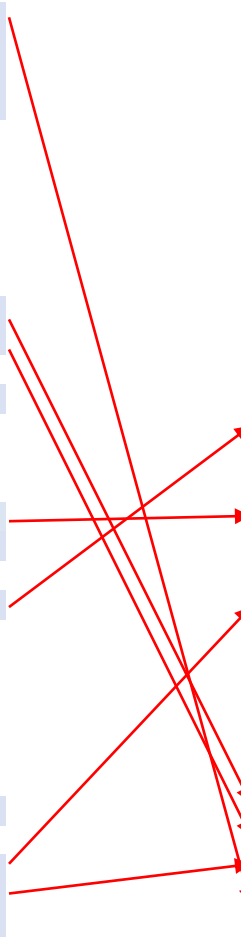
ID01	Anomalous scattering
ID02	High brilliance
ID03	Surface diffraction
ID08	Dragon
ID09	White beam
ID10A	Troika I+III
ID10B	Troika II
ID09	
ID10	
ID11	Materials science
ID12	Circular polarization
ID13	Microfocus
ID14A	PX EH1/EH2
ID14B	Protein solution SAX EH3/PX EH4
ID15B	High energy diffraction
ID16	High energy inelastic scattering
ID17	Medical
ID18	NRS
ID19	Topography and tomography
ID20	Magnetic scattering
ID21	X-ray microscopy
ID22	Micro fluorescence
ID23	MX MAD/MX microfocus
ID24	D-EXAFS
ID26	X-ray absorption & emission
ID27	High pressure
ID28	IXS II
ID29	Multiwavelength anomalous diffraction
ID30	Machine division BL
ID31	Powder diffraction
ID32	X-ray standing wave and surface diffraction
BM05	Optics
BM29	XAS

2017年

ビルド 19本 (全32本中)

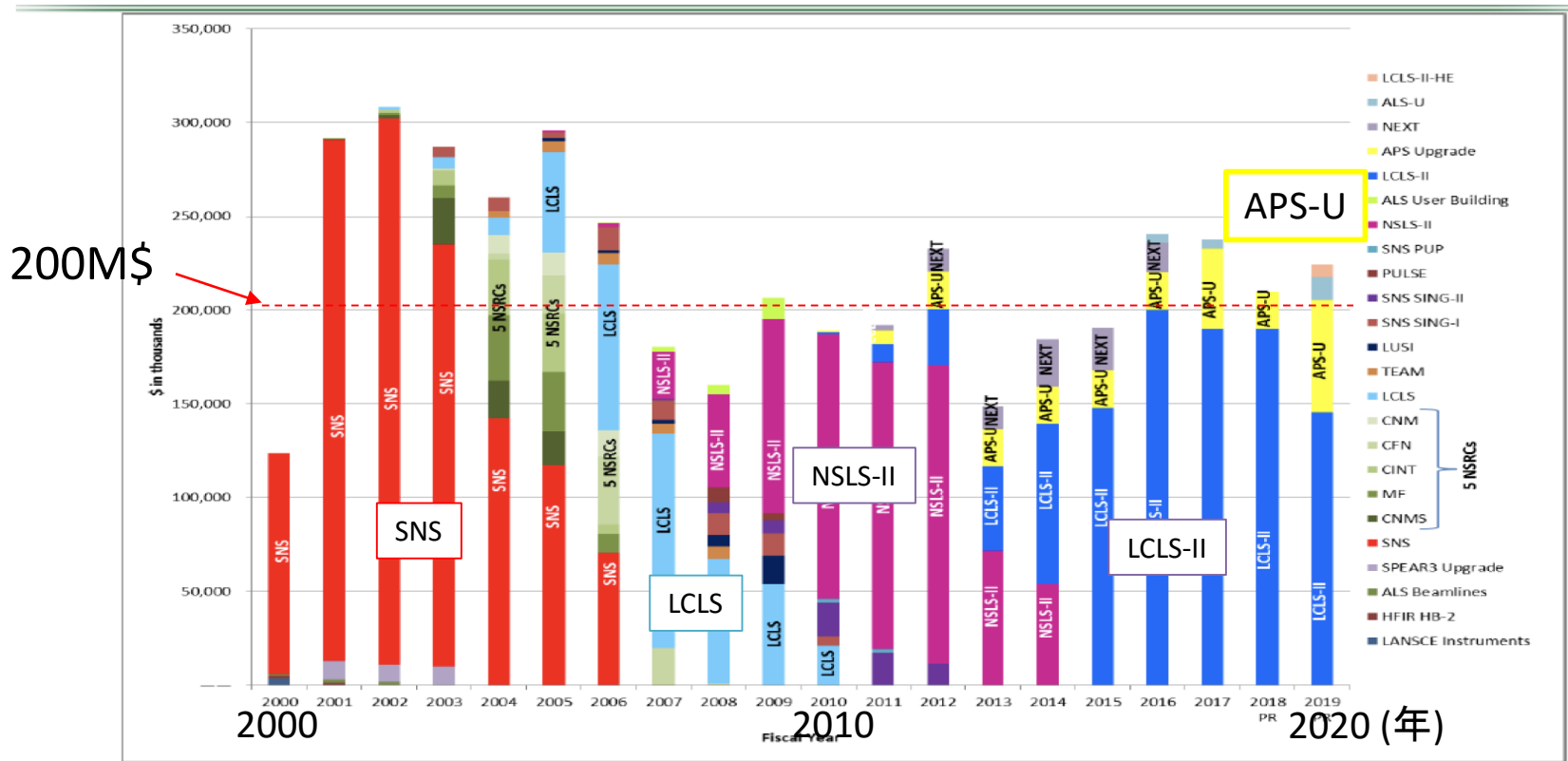
ID01	Microdiffraction imaging
ID02	Time-resolved ultra-small-angle X-ray scattering
ID03	Surface diffraction
ID06	Large volume press
ID09	Time-resolved structural dynamics
ID10	Soft interfaces and coherent scattering
ID11	Materials science
ID12	Polarisation-dependent X-ray spectroscopy
ID13	Microfocus
ID15A	Materials chemistry & engineering
ID15B	High-pressure diffraction
ID16A	Nano imaging
ID16B	Nano analysis
ID17	Medical
ID18	NRS
ID19	Microtomography
ID20	IXS
ID21	X-ray microscopy/IR microscopy
ID22	High resolution powder diffraction
ID23	MX MAD/MX microfocus
ID24	D-EXAFS
ID26	X-ray absorption & emission
ID27	High pressure
ID28	X-ray scattering II
ID29	Multiwavelength anomalous diffraction
ID30A	MX
ID30B	MX
ID31	Interface & materials processing
ID32	Soft x-ray spectroscopy
BM14	MAD
BM23	XAS
BM29	Bio SAXS

唯一の軟X線BL



米国: DOE/BESによる大型施設の建設・高度化経費の年次推移

BES Construction/MIE Funding Profile 2000 – 2019



- 運転経費は含まない
- 複数の大型基盤施設を長期にわたって切れ目なく建設・高度化。トータルとしてはほぼ一定額に。“Straightjacket” プロファイル

各国における階層的な高輝度放射光源群 (National Facility級)

赤字は次世代MBA光源

	米国	欧州	中国	ロシア	日本
高エネルギー (6~8 GeV)	APS-U (アルゴンヌ)	ESRF-EBS /PETRA-IV	HEPS (北京)	USSR-4 (モスクワ)	SPring-8 (播磨)
中エネルギー (~3GeV)	NSLS-II (BNL)	SOLEIL, DIAMOND, MAX IV ...	SSRF (上海)	SKIF (ノボシビルスク)	3GeV光源 (仙台)
低エネルギー (<3 GeV)	ALS (LBNL)	BESSY II	合肥	ウラジオストック	UVSOR-III (岡崎)

ESRF-EBS
(仏、グルノーブル)



APS-U
(米国、アルゴンヌ)



USSR-4
(露)



HEPS
(中国、北京)



PETRA-IV
(独、ハンブルク)



2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 (年)

階層的な高輝度放射光源群の活用

対象

きれいな系

階層構造

汚い系 (不均一、複雑系)

動き

定常状態

繰り返し

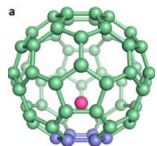
一過性、非繰り返し

条件

Ex-situ

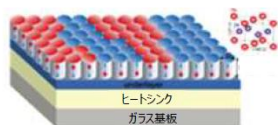
In-situ/operando

Real product/reaction



第3世代大型放射光源

均一系・定常状態には優れた分析能力を有するが、深部や動的なナノ観察は困難

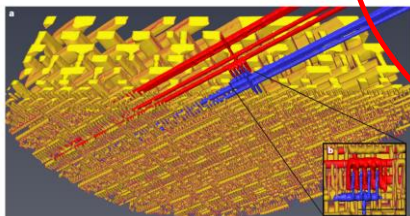


次世代3GeV級放射光源

高輝度軟X線による高感度計測 → クリーンな条件下で、皮をむいてナノ観察

超高輝度の硬X線により、壊さずに深部を3次元でナノ観察

次世代大型放射光源



Holler et al., Nature 2017

サイエンス・イノベーションの
国際競争を勝ち抜くために必須
のツール

XFELとの相補利用

対象

多数のidenticalな系

ばらつきのある系・アウトライヤ

動き

繰り返し

一過性・非繰り返し

時間分解能

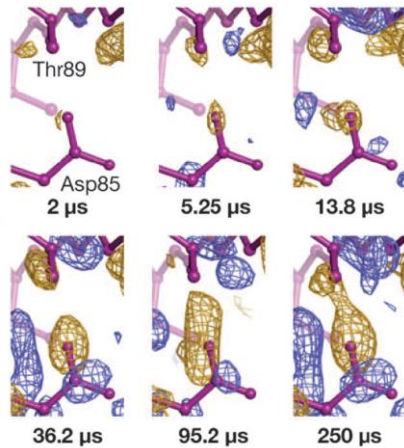
フェムト秒 (静止画)

ナノ秒 (動画)

XFEL

高いピーク輝度

多数の破壊計測を繰り返す



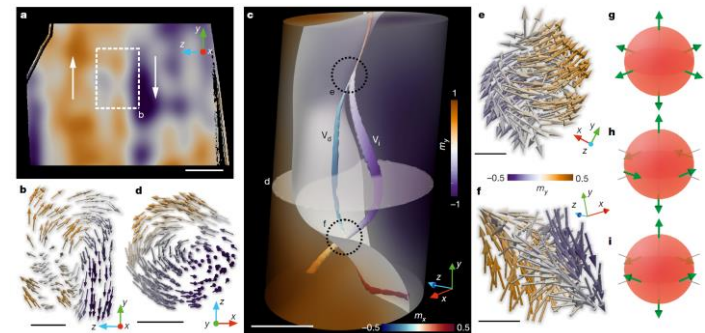
Nango et al., Science 2016

多数の破壊計測結果を合成して
超高分解能の動画をつくる

次世代大型放射光源

マイルドなピーク輝度

単一の試料を、壊さずにトレース

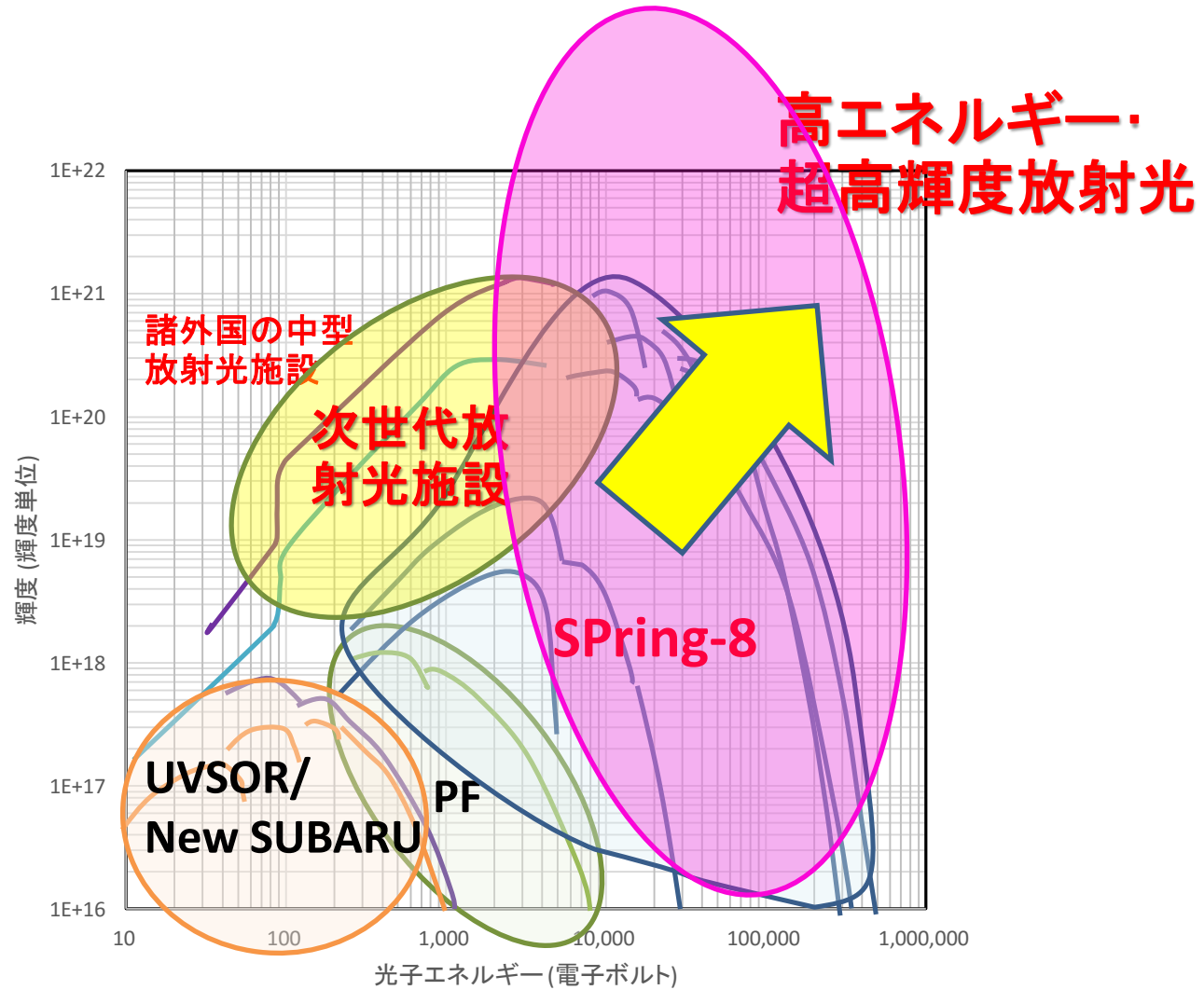


Donnelly et al., Nature 2017

内部の複雑な3次元磁気
構造を壊さずに計測

相補的

2. 我が国の放射光施設群



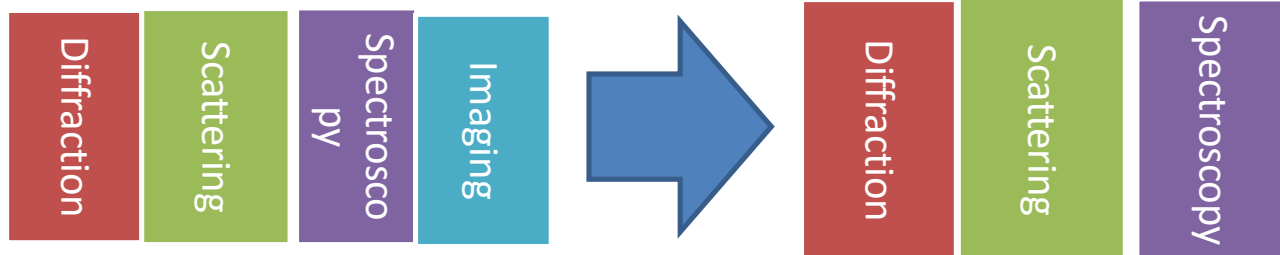
SPring-8-II の狙い

1. “ユビキタス・ナノ”

- ナノ顕微と時分割解析が、各種分析手法にあまねく顔を出す (ナノ回折ムービー、ナノ分光ムービー等)
- 多次元の相関解析のための実験プラットフォームの構築

2. 超高輝度高エネルギーX線 (30~100 keV) の活用

- “丸ごと解析” (← 透過能の向上)、空間分解能の向上 (← 短波長)、放射線損傷の低減



Imaging
Time resolved

3次元積層デバイス内部の3D観察
→ 高集積化

材料中のナノ欠陥の生成・拡散過程の観察 →
強靱な素材の開発

極限状態下のサイエンスとものづくり

溶液中の反応過程の解明

「みる」→
「つくる」

SPring-8-II: エネルギー消費の大幅な削減と



JAPAN SDGs Action Platform

世界トップ性能の実現

エネルギー消費の大幅削減

- 加速エネルギーの低減 (8GeV → 6GeV)
- 偏向部の永久磁石化
- 既存入射器の完全停止

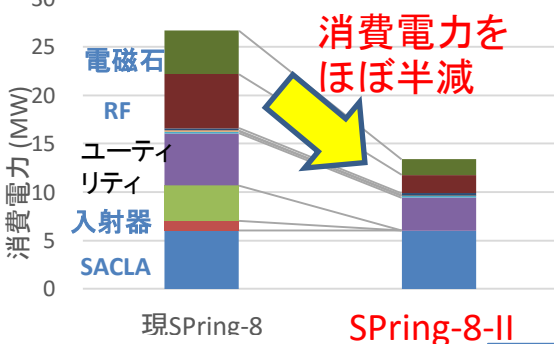
我が国独自の最先端加速器テクノロジー

- 極低エミッタンスと安定性を両立するマルチバンドアクロマツト(MBA) 技術
- 極短周期アンジュレータ
- SACLA線形加速器からのビーム入射

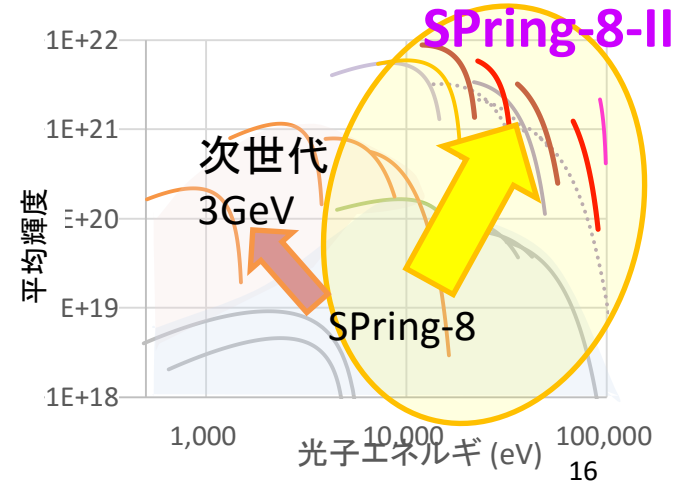
世界トップ性能

- 輝度の劇的な向上
- 極めて明るい高エネルギーX線の生成
- 極限的な安定性

消費電力の見込み



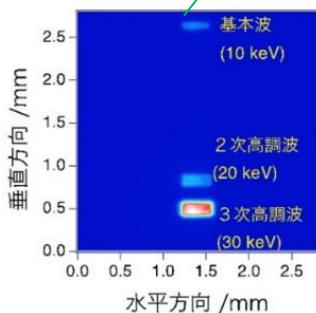
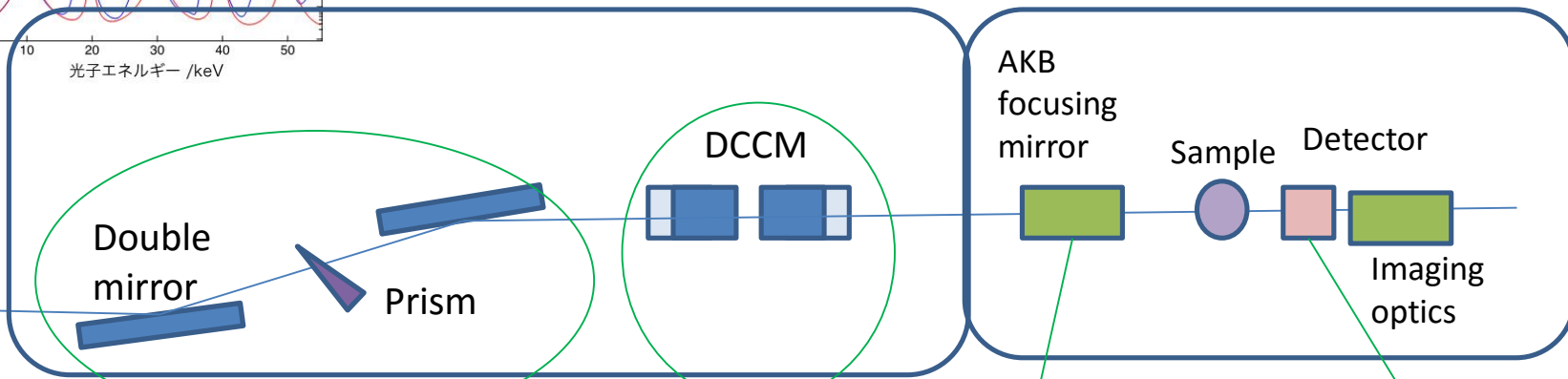
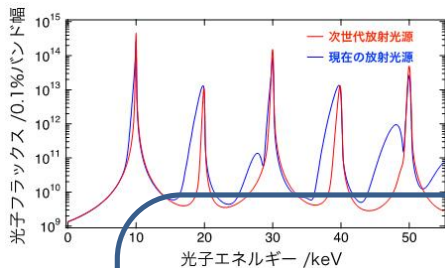
- SPring-8とSACLAの建設・運転・高度化を通して培われた、企画・設計・実施能力
- 我が国が世界に誇る民間の加速器要素技術をフル活用



SPring-8-II CDR (2014年11月):
<http://rsc.riken.jp/pdf/SPring-8-II.pdf>

SPring-8発のテクノロジーに基づく 世界最高性能ビームライン

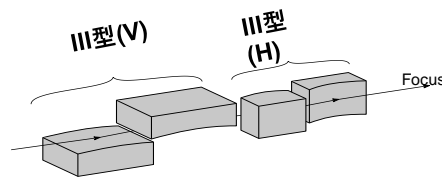
大強度・高エネルギーX線でナノ解像



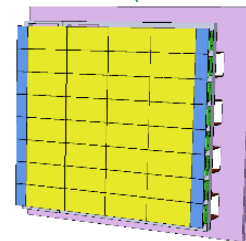
高エネルギー大強度
X線の生成
(Inoue et al., JSR)



超安定分光器
(Osaka et al.)



極限ナノビーム生
成装置
(Yamada et al., OE)



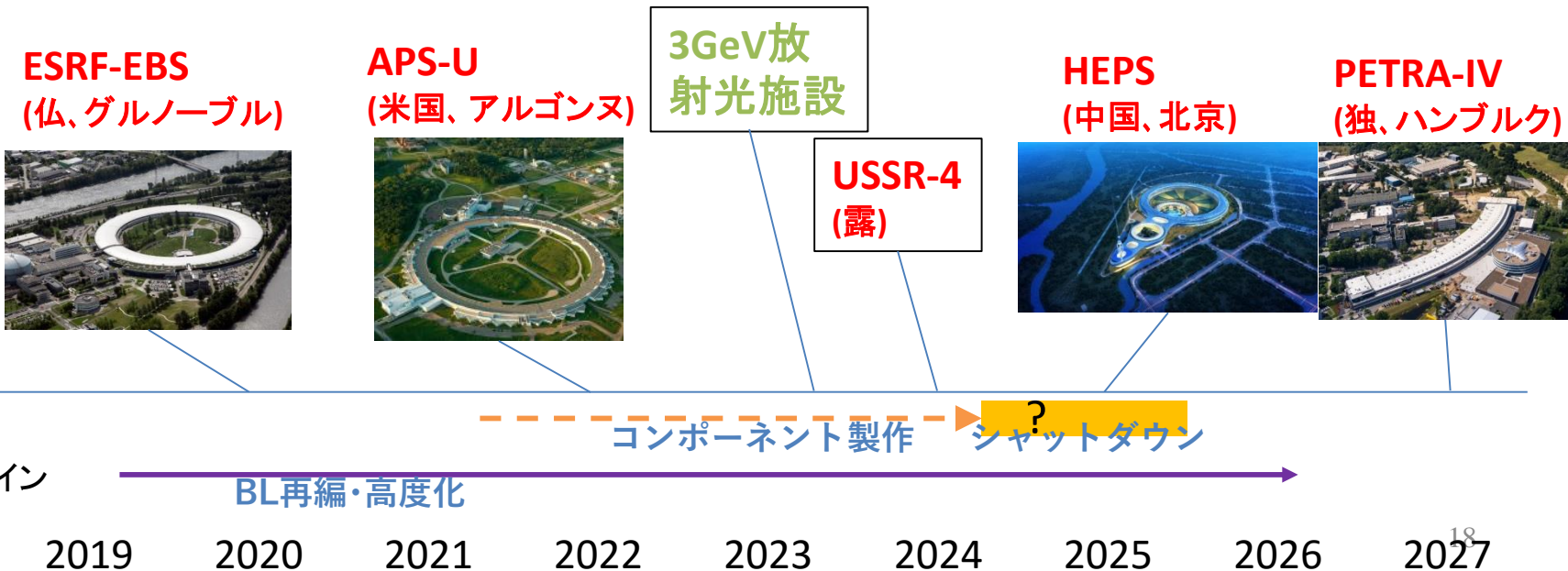
次世代X線検出器
(Hatsui)

ビッグデータの解析・保存・活用




SPring-8-II計画のイメージ

- 概算費用 (暫定): 399億円
- **加速器本体の高度化**
 - 準備期間: コンポーネント製作 (約3年間) + シャットダウン (1年間)
 - シャットダウンは、3GeV放射光施設の稼働後
- **ビームライン・付帯設備の高度化**: 加速器アップグレードとは (ある程度) 独立に実施可能
 - 老朽化対策・BL再編を兼ねて、迅速にはじめるというやり方もある (← ESRF)
 - 利用料収入等も活用



3. ビームラインの再編・高度化: カテゴリーの再定義

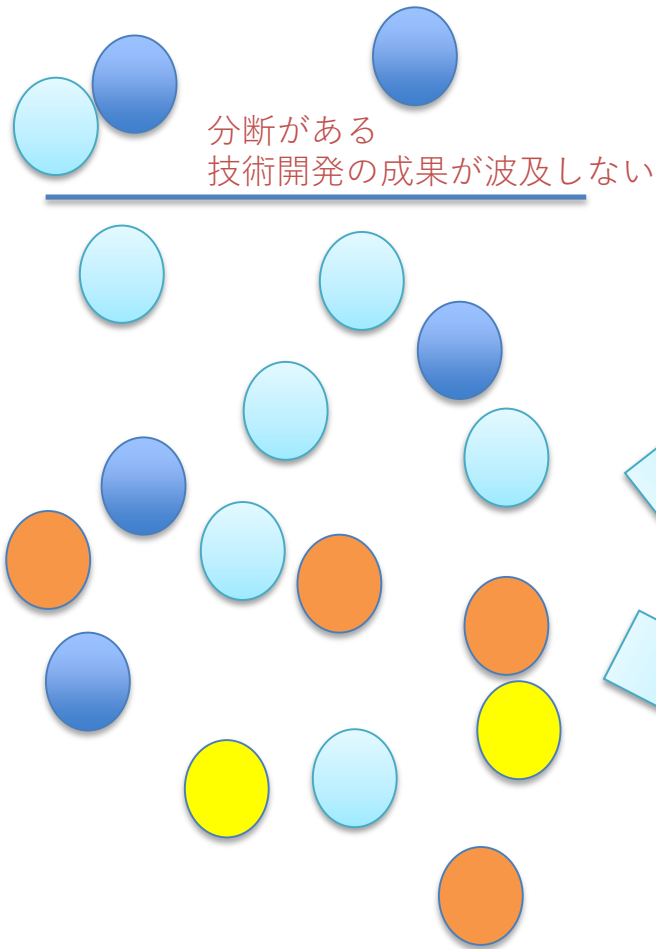
課題

- 多数の類似の実験装置 (リソースの分散)
 - 専用BL: 「ミクロコスモス」の形成と、BLの固定化
 - 空きポートも残り5本。SPring-8の有限な光源資産 (特にアンジュレータBL) をいかに有効に活用するか
- 
- カテゴリーの再定義 → 横串を通すことで各ビームラインのミッションを明確にしなが、トータルパフォーマンスの向上を図る

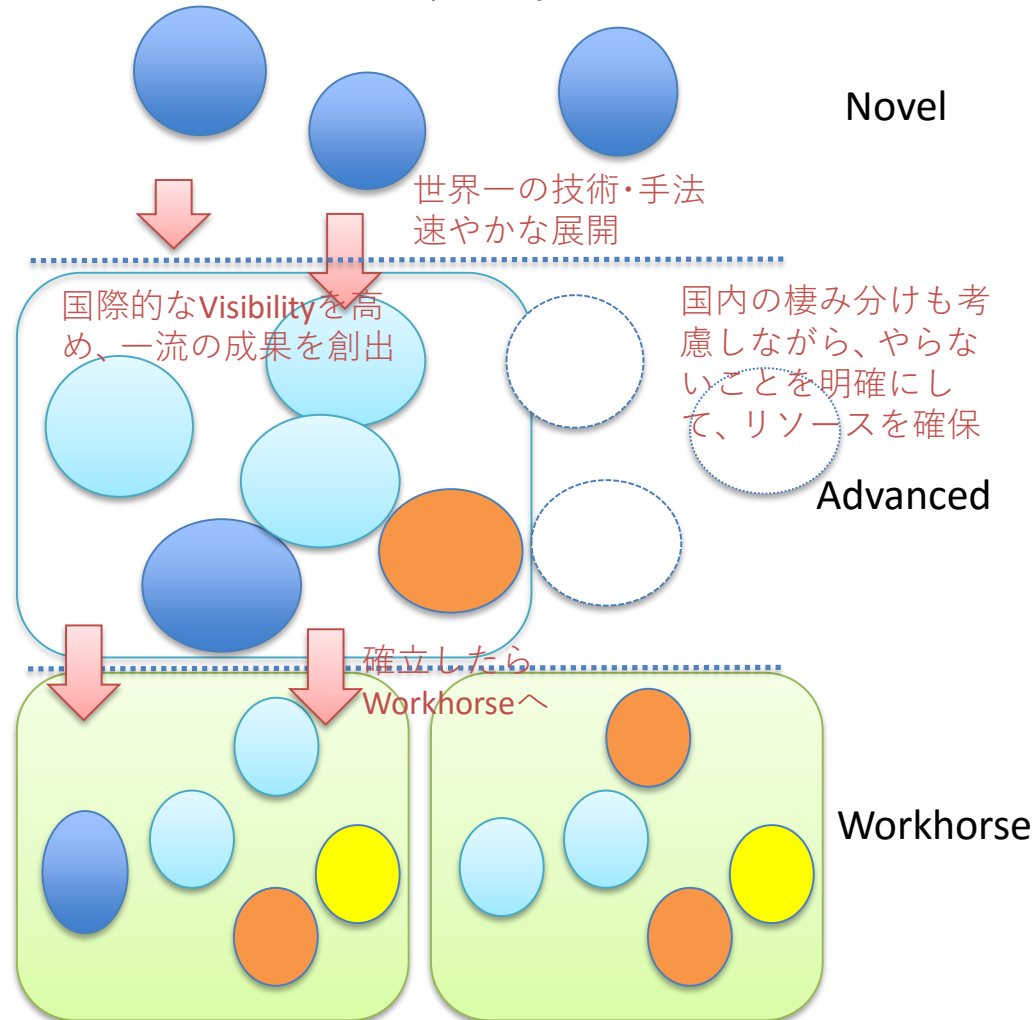
カテゴリー	内容	評価軸	比率
(A) Workhorse (ハイスループット)	ハイスループット 自動化	・アウトプットの量 ・利用料収入 (入口・出口)	~40%
(B) Advanced (サイエンス)	サイエンスフロンティア の開拓	・アウトプットの質 (・利用料収入 (入口)) ・国際的な評判	~50%
(C) Novel (テクノロジー・手法)	新しい共通基盤技術 (X線 光学系、検出器)・新しい 手法の開拓	・世界一かどうか ・(A)(B)への波及	~10%

「ビームライン群」のイメージ

これまで



これから

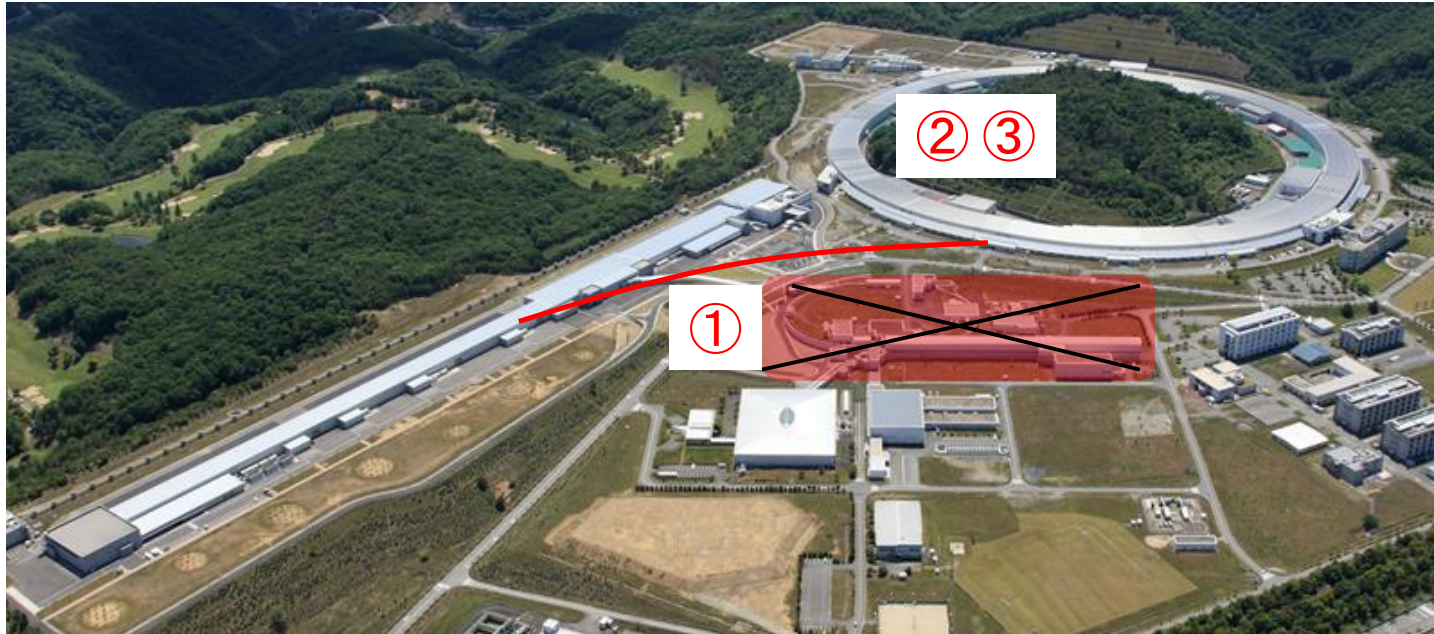


適切なグルーピングにより、視界を良好に保つ
外からの課題に対して、迅速に答えを返す

ビームライン再編に向けた議論の進め方

- 理研・JASRI・専用施設を横断した内々の検討を開始
 - カテゴリーを意識したBL・エンドステーションの統廃合の検討
 - 新規ビームラインの検討
 - 究極イメージング、大強度高エネルギー、白色BM
 - 共通基盤技術の抽出
 - オートメーション、AI解析、試料準備に関わる環境整備・周辺機器等
- 所内の議論を経て、たたき台をSPRUCと共有。「ニーズ」のインプットを募りながら、ブラッシュアップ
- すぐにはじめられる部分（例：共通基盤技術の開発）と議論が必要な部分（例：中期的な再編プランの策定）を切り分けた上で、前者は速やかに着手
- 大規模な新設・改造については、「特定放射光施設検討委員会」等で決定
- 利用料収入の増大を図りながら、高度化に活用
- SPring-8+SPRUC においても、「SACLA基盤開発プログラム」に類似した、ユーザー提案に基づく基盤装置開発の仕組みを検討（ユーザーのインセンティブを喚起）

4. 経年劣化対策・効率化



高度化とセットで考えることにより、単なるリプレイスではなく、性能向上や省エネ化を図る

例)

① SACLA→SPring-8入射

既存の入射器（ライナック+ブースターシンクロトロン）の運用停止

電気代の大幅削減

当該の特高変電所の設備更新を不要に

SPring-8-IIにも対応する高い性能

② ビームライン光学素子冷却システムの集中化

③ ビームライン・エンドステーションの老朽化対策・更新と再編

→実効BTの増加と「フロー」戦略の実現

5. データの利活用

- SPring-8+SACLA: 高品質ビッグデータの創出源
- データサイエンスとの連携強化
- 新たなグランドチャレンジ
- 主な検討事項
 - オープンデータ (誰が何のために)
 - データフォーマット
 - データの所有権
 - 解析ソフトウェア
 - 飛躍的に増加するデータ量
 - 圧縮技術
 - 費用負担
 - …
- ユーザーコミュニティ (SPRUC) の意見、最先端技術の動向、諸外国の状況を踏まえながら、**共用データポリシー**を議論し確立する必要がある
- 適切な検討の場を、早急に設定したい

6. 階層的な人材育成・プロモーション戦略

企業のマネジメント層

「富士山WS」(2014年)
供用20周年式典(2017年)
...

ユーザー連携・拡大

秋の学校(SPRUC)
登録機関による各種講習会
SPring-8/SACLAシンポジウム
国際ユーザーズミーティング(SACLA)
...

学生・大学院生・若手

夏の学校
連携大学院プログラム
「大学院生研究支援プログラム」(滞在型)
フェロシップ制度
...

国民・納税者

施設見学
施設公開
メディア
...

- 様々なレイヤーの活動を一層充実
- 統一的な戦略に基づきコヒーレントに実施
- 他施設との連携と棲み分け

特に、

- 我が国の放射光施設の基幹部を支える人材の育成
- 世界トップクラスの研究開発環境の更なる充実と、大学との連携強化により、意欲ある若手を関連分野に引き寄せる
- 課題: キャリアパスの確立