

特定放射光施設シンポジウム 2025

SPring-8-II 整備の進捗と展望

理化学研究所 放射光科学研究センター
矢橋 牧名

2025年9月4日 東北大学 青葉山コモンズ

目次

1. プロジェクトの進捗状況とスケジュール
2. 既存装置の再編
3. 新規・大規模改修ビームライン
4. 利用制度
5. まとめ

SPring-8-II整備プロジェクト

- 2024年3月 文科省量子ビーム小委「SPring-8高度化に関するタスクフォース報告書」
- 4月 高度化開発費 (3億円) による加速器のプロトタイプシステムの開発 (2024年度予算)
- 5月 国際レビューを実施、プロジェクトの速やかな開始が推奨される
- 8月 SPring-8-II加速器・光源の設計論文の出版 (JSR)
- 12月 文科省量子ビーム小委「SPring-8/SACLA 中間評価報告書」
- **2024年12月 SPring-8-II 整備の開始決定**
 - 整備期間: 2024年度~2028年度
 - 予算: R6年度補正として170億円、2028年度までの総額499億円

research papers



JOURNAL OF
SYNCHROTRON
RADIATION

ISSN 1600-5775

Received 25 June 2024
Accepted 22 August 2024

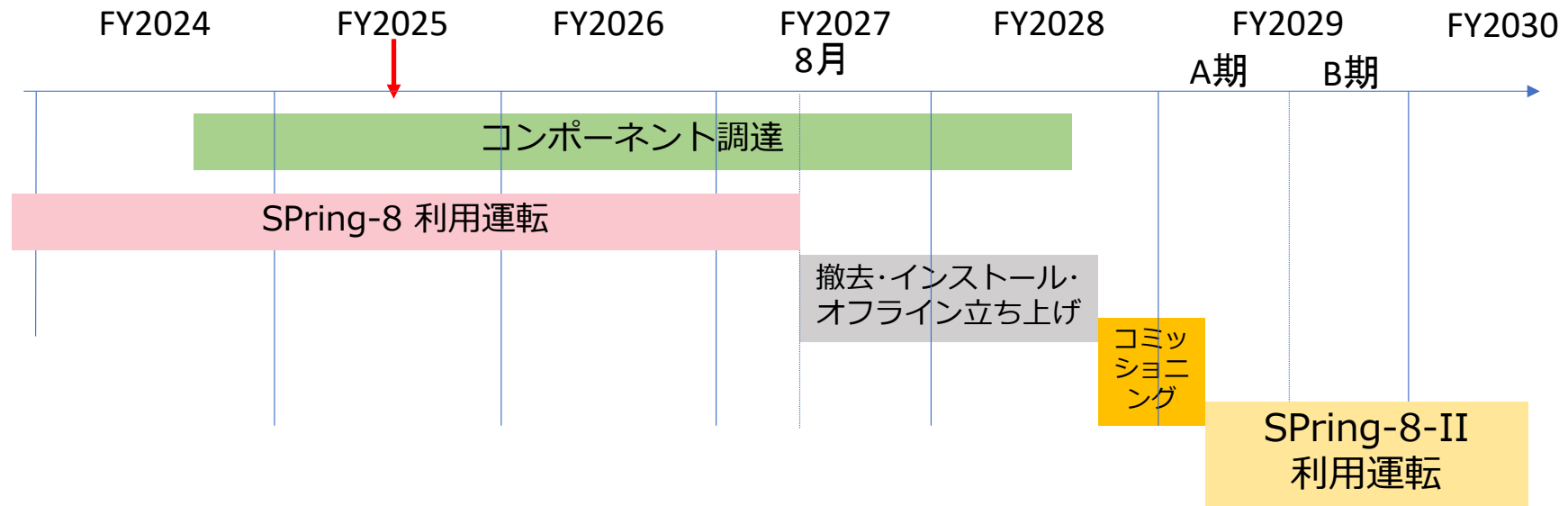
Edited by K. Kvashnina, ESRF – The European
Synchrotron, France

Green upgrading of SPring-8 to produce stable, ultrabright hard X-ray beams

Hitoshi Tanaka,^a Takahiro Watanabe,^{b,*} Toshinori Abe,^b Noriyoshi Azumi,^b Tsuyoshi Aoki,^b Hideki Dewa,^b Takahiro Fujita,^b Kenji Fukami,^{b,a} Toru Fukui,^a Toru Hara,^a Toshihiko Hiraiwa,^a Kei Imamura,^b Takahiro Inagaki,^{a,b} Eito Iwai,^{b,a} Akihiro Kagamihata,^b Morihiro Kawase,^b Yuichiro Kida,^b Chikara Kondo,^{b,a} Hirokazu Maesaka,^{a,b} Tamotsu Magome,^b Mitsuhiro Masaki,^b Takemasa Masuda,^b Shinichi Matsubara,^b Sakuo Matsui,^a Takashi Ohshima,^{b,a} Masaya Oishi,^{b,a} Takamitsu Seike,^b Masazumi Shoji,^{b,a} Kouichi Soutome,^{a,b} Takashi Sugimoto,^{b,a} Shinji Suzuki,^b Minoru Tajima,^b Shiro Takano,^{b,a} Kazuhiro Tamura,^{b,a} Takashi Tanaka,^{a,b} Tsutomu Taniuchi,^b Yukiko Taniuchi,^b Kazuaki Togawa,^a Takato Tomai,^b Yasuko Ueda,^b Hiroaki Yamaguchi,^b Makina Yabashi,^{a,b} and Tetsuya Ishikawa^a

スケジュール

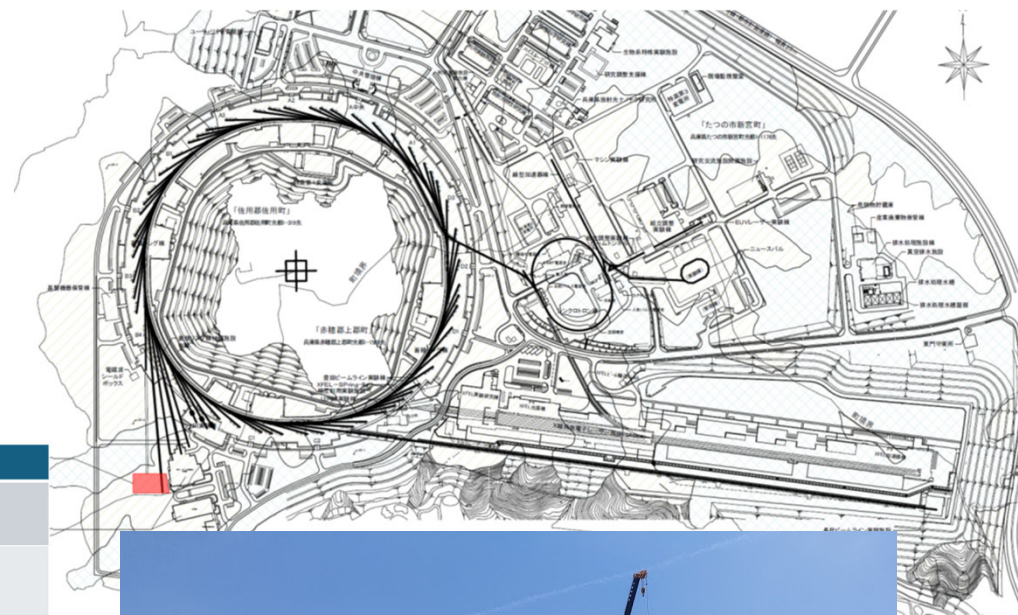
- 現在、加速器コンポーネントの大型契約が順調に進み、マスプロダクションがスタート
- 2027年度7月末を目処に、現SPring-8の運転停止
- その後、現加速器の撤去と、新加速器のインストール・オフライン立ち上げを実施（～2028年末）
- 加速器・ビームラインのビームコミッショニングを経て、2029年度上半期中にSPring-8-IIの利用運転開始
- 運転当初は、蓄積電流は定格値の200 mAに満たない可能性があるが、早期の運用開始を優先させる
- ダークタイム中における、SPring-8ユーザーの研究の継続性ができるだけ損なわれないよう、国内外の放射光施設との連携を図る
- さらに、当該期間のSACLAの利用機会も可能な限り拡大



コンポーネント精密組立

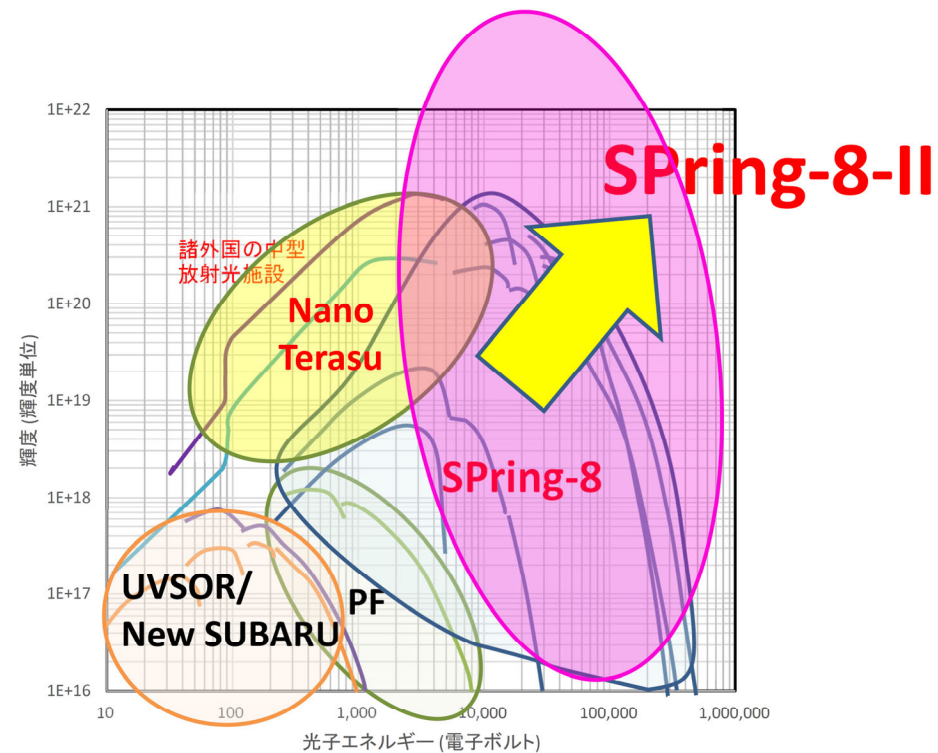
- トンネル内の作業量・期間を最小限にとどめるため、加速器コンポーネントの架台上への精密組立を予め済ませておく
- このために、構内既存建屋の活用とともに、新建屋（中尺実験棟II）を建設中、2025年度中に竣工
- 加速器整備終了後は、中尺実験ホールとして活用

年（年度ではない）	2024	2025	2026	2027	2028
全体計画				シャットダウン	
基盤機器保管棟		先行セル		PDAB組立	
		部品納品・保管 (NEG、SGV、バルブ、ゲージ、PDAB、etc.)			
新建屋		建設完了	プリベーク用 部品納品 機器保管		プリベーク
体育館		部品納品・保管 (NEG、SGV、バルブ、ゲージ、etc.)			チェンバ等保管



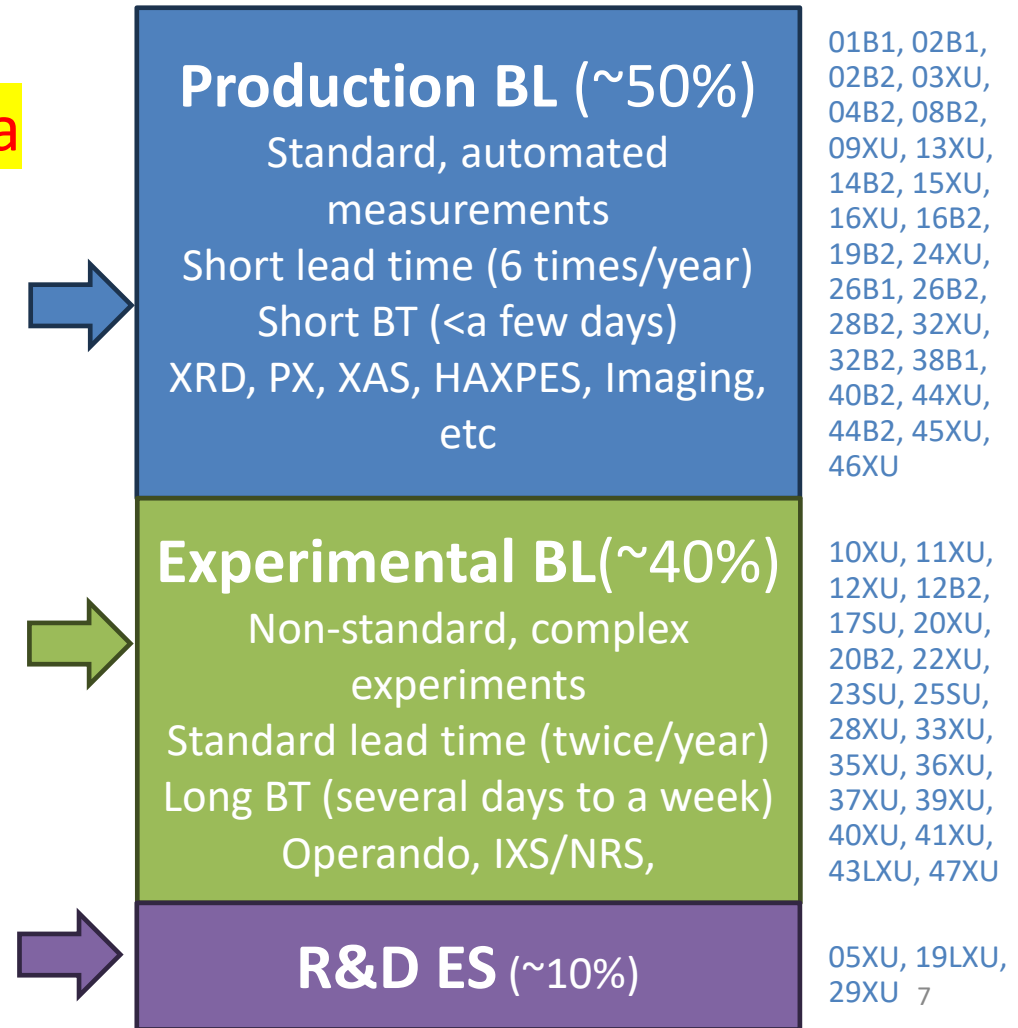
新たなビームラインポートフォリオ

- 大前提: **日本全体での最適化**
 - NanoTerasuの利用開始 → 高エネルギー領域の強化
- 2018年より、SPring-8全体のビームラインポートフォリオの検討と、ビームライン再編を実施
- 既存機能の整理・統合・強化については、ほぼ目処がたってきた



3つのカテゴリー

- Production BL: generating massive data
 - Automated measurements & AI analysis
 - Connection to super computers (e.g., “FUGAKU”)
- Experimental BL: conducting strategic research projects
 - Key societal needs
 - World leading capability for complex, challenging analysis
- R&D BLs: for novel technologies
 - Development of X-ray optics, detectors
 - Synergy with SACLA
 - Cradle of new M&I (HAXPES, CDI)



ビームライン再編 (2018 ~ 現在)

参考資料

				Rename	Functional change	Automation	Operational change
P	01B1	XAFS	01B1	XAFS I		X	
	02B1	SC XRD	02B1	SC XRD		X	
	02B2	Pwd XRD	02B2	Pwd XRD		X	
	04B2	HE XRD	04B2	HE XRD		X	
R	05XU	Diagnosis BL I	05XU	R&D ID I	X		
C	07LSU	U Tokyo BL	07LSU	R&D ID II	X		X
	09XU	NRS	09XU	HAXPES I	X		
	10XU	HP	10XU	HP			
	13XU	Surface & Interface	13XU	XRDS I	X		
	14B2	Engineering II	14B2	XAFS II		X	X
	15XU	NIMS	15XU	Mat Sci III	X		X
	19B2	Engineering I	19B2	XRDS II		X	X
	20B2	Medical & Imaging II	20B2	Medical & Imaging II	X		
	28B2	White XRD	28B2	White XRD		X	
	32B2	RIKEN	32B2	R&D BM			X
	33LEP	LEP	33LEP	Diagnosis II			X
	35XU	IXS	35XU	IXS & NRS	X		
	36XU	FC-CUBIC	36XU	Mat Sci II			X
	38B1	Struct Bio III	38B1	Struct Bio I			X
	39XU	Magnetic	39XU	Magnetic	X		
	40XU	High Flux	40XU	High Flux	X		
	40B2	Struct Bio II	40B2	SAXS BM		X	
	41XU	Struct Bio I	41XU	MX I			
	45XU	Struct Bio III	45XU	MX II	X	X	
	46XU	Engineering III	46XU	HAXPES II	X	X	X
	47XU	Micro CT	47XU	Micro CT			
			26	16	11	10	9

既存装置の整理・統合・強化: 現在 ~ SP8-II Day-1

- 軟X線
 - NanoTerasuが日本の主力に。SP8-IIはHX-SXのシナジーを活かす
 - 5本 → 3本体制へ: **17SU (共用)、25SU (共用)、23SU (JAEA)**
(07LSU、27SUは休止)
 - 特定の硬X線分光ビームラインにおいて、下限を3 keV以下に拡張: **09XU、39XU**
- 赤外 (43IR)
 - 加速器コンポーネントのコンパクト化により、赤外光が取り出せなくなる
 - 2026年度を目処に終了。一部機能についてUVSORへの移設を検討中
- B1ライン
 - 磁場が弱くなり、高エネルギー利用が困難に (但し01B1は除く)
 - 02B1 (単結晶回折装置) → **B2ラインへの移設 (44B2/32B2を含めたスワップ) を検討中**
 - 04B1 (LVP x2) → **15XUに1台設置済み。さらに、31DWへの導入を検討中**
※04B1の跡地には、38B2 (加速器診断)の移設を検討
- 高二ーズ
 - 汎用XAFS: **オペランドXAFS 2本体制へ (01B1、14B2)**
14B2の自動XAFSは08B2に機能を移す
 - 多軸回折計 (13XU): **16XUの共用枠の漸増**
05XU EHに08B2の回折計を移設 (冷凍機搭載可能)

新設・大規模改修1

Unique Asset: 30 m Long Straight Section

LS C

LS D

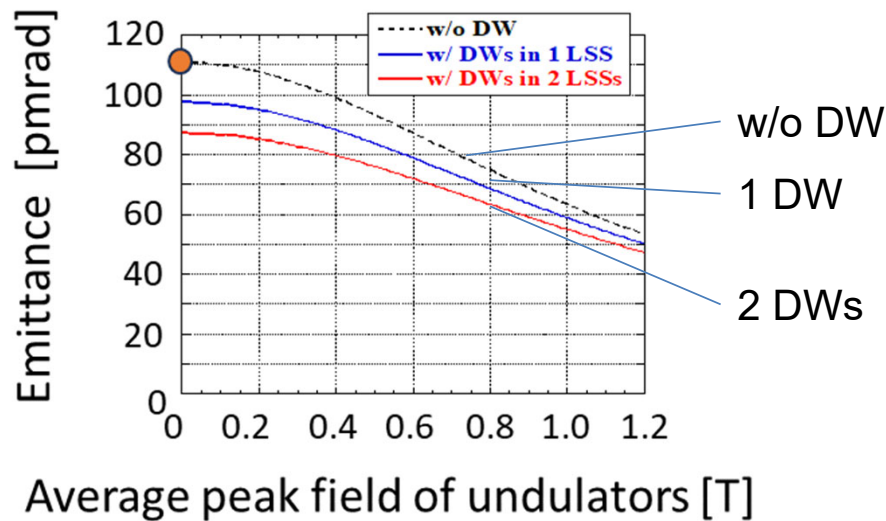
SR

LS B

LS A

30 m長直線部 x 4

- オプション A: 長尺アンジュレータ
 - 世界最高輝度
- オプション B: ダンピングウィグラー(DW)
 - 放射減衰によるエミッタンス低減
 - アンジュレータ + DW
 - 110 → 50 pm.rad
 - エミッタンスコンペンセーション
- オプション C: 将来のリングXFELのためのR&D (SPring-8-III)



SP8-II Day-1

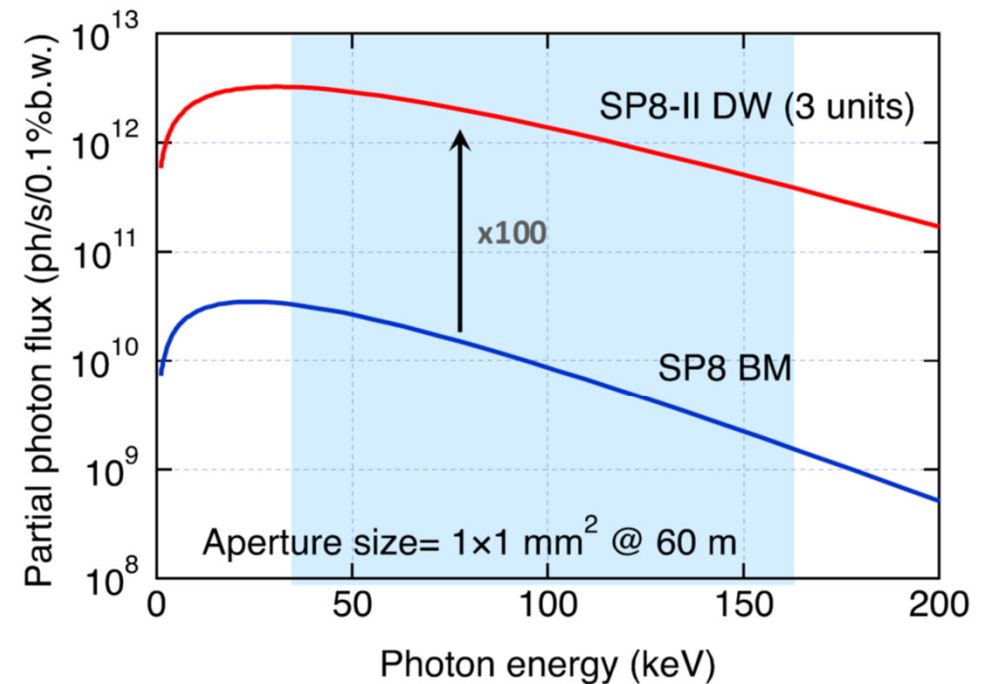
- 長尺アンジュレータ x2 (19LXU、43LXU)
- DW x1 (31DW)
- 空きポート x1 (07IS)

新設・大規模改修1 BL31DW

- 😊 ブロードバンドの高エネルギーX線源
- 😊 100 keV超で現SP8のBM-BLの2桁上のフラックス
- 😞 コヒーレンス度は低い
- 😞 トータルパワー75 kW → 熱設計の難度が高い



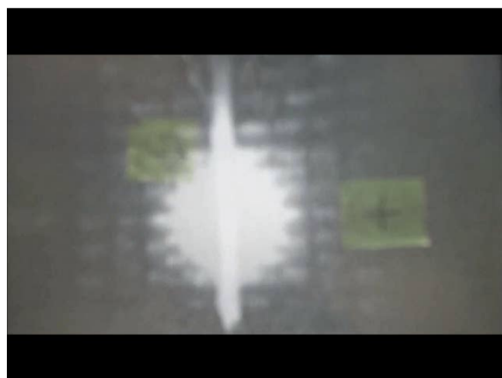
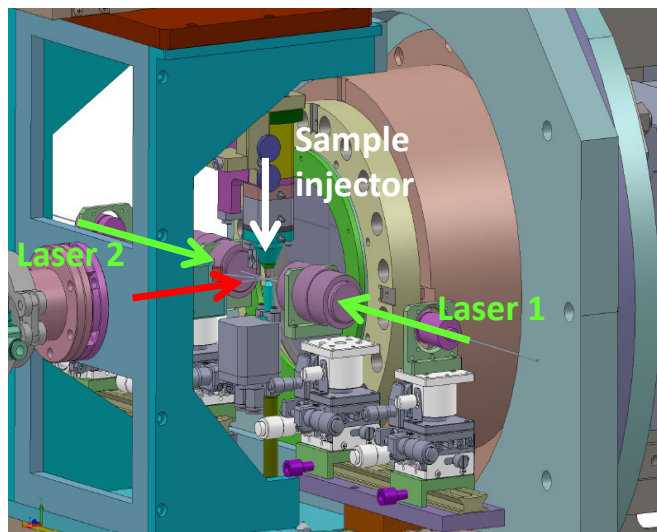
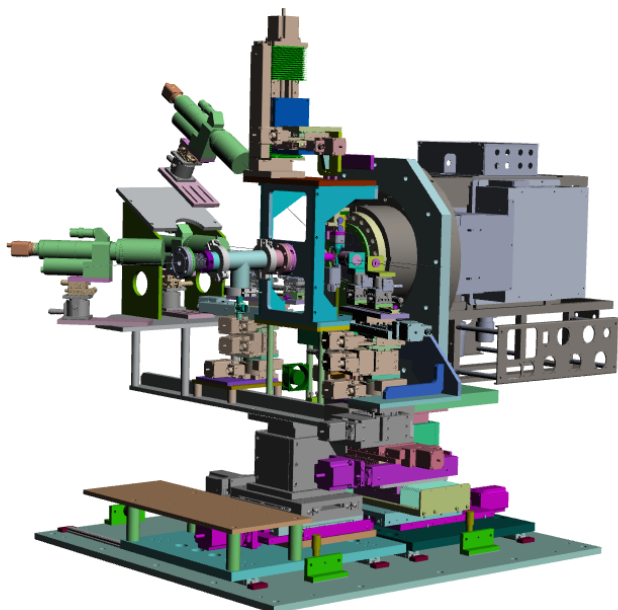
- 試運転からスタート
- 検討中の装置: LVP 等
- Axion探索の可能性?



※DWは検討中の暫定値
($\lambda_u=160 \text{ mm}$ $N=14$)

新設・大規模改修2 SFX@SACLA

Nango, Neutze, Iwata et al.,
Science 354, 1552 (2016).



Wide range of delay time (ns – ms)

新設・大規模改修2

BL41XU

Serial Synchrotron Crystallography (SSX) 法による時分割構造解析

- バンド幅 ~1%のピンクビーム → 短時間露光、サブミリ秒の時間分解能
- SACLAとともに、広い時間領域をカバーする生体高分子の時分割構造解析環境の実現

新設・大規模改修3

BL37XU for High Spatio-Temporal Resolution XAS (HiSTR-XAS)

- qXAFS: テーパーIVU-II、qCCMの導入
- イメージング: AKB 結像光学系の導入 → 色収差フリー、空間分解能50 nm以下のXAFSイメージング
- 39XU (HERFD-XAS, Pol-XAS) とcomplementary
- 将来のコヒーレントXASへのアップグレード (phase 2) も可能とするインフラをつくる

Real-time mapping of chemical states

Kimura et al., Small Methods (2023)

Nano analysis of ultra-trace elements

Yakumaru et al., Eur. Phys. J. Plus (2025)

新設・大規模改修4

高エネルギーアンジュレータビームライン

- BL05XU、15XU → 大強度・高エネルギーX線の実用ニーズ
- 08Wを08XUに改修
- ビームライン基幹部はシンプルな構成とする
- 装置を含む詳細は検討中

コヒーレントイメージング

Ptychography

<https://www.psi.ch/en/quantum-technologies-collaboration/projects/non-destructive-imaging>

- 😊 超高分解能 (sub-10 nm)
- 😊 高級なオプティクス不要
- 😞 時間がかかる

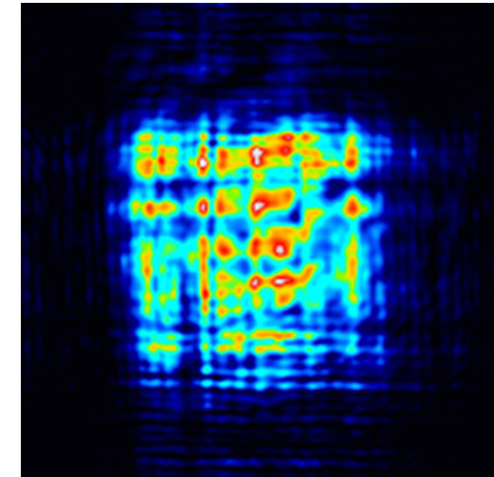
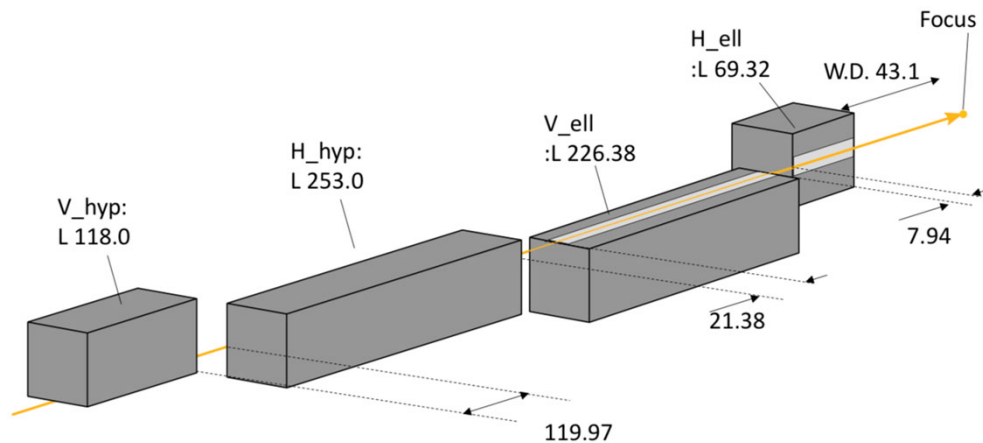
Inline-holography

<https://www.nature.com/articles/s41593-020-0704-9#citeas>

- 😊 高速
- 😊 フルフィールド・ズーム機能
- 😊 高エネルギーへの展開が容易
- 😞 分解能はスポットサイズで制限

大強度ナノビームの生成@SACLA

第14回 Young
Scientist Award
山田純平さん



- 7 nm focusing achieved with **AKB** (Wolter-I/III)
- Robust, stable, reproducible

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
 $10^{22} \text{ W cm}^{-2}$ intensity**

$324.8 \text{ uJ} \times 39.56\% \text{ Reflectivity} \times 38.83\% \text{ Power in fwhm} / 7 \times 7 \text{ nm}^2 / 7 \text{ fs}$

$\approx 1.45 \times 10^{22} \text{ W/cm}^2$

Yamada et al.,
Nature Photon. 18, 685
(2024)

SPring-8-IIへの敷衍

	SACLA	SPring-8-II (pink beam)	SPring-8-II (mono beam)
Focus size	7x7 nm	6x7 nm	
Photon number	3e9 ph/shot (1% b.w.)	4e13 ph/s (1% b.w.)	4e11 ph/s (0.01% b.w.)
Exp time for 10-nm resolution	7 fs (single shot)	~100 us	~10 ms
Typical applications		High-energy CT/ fast radiography	Operando qXAFS-imaging

新設・大規模改修5 BM光源の活用

☺ 偏向磁石光源も、低エミッタンス化の恩恵を大いに受ける

- 水平ビームサイズ (rms): 94 μm $\rightarrow$ 11 μm
- コヒーレンス長@100 keV, $L=200$ m: 0.4 μm $\rightarrow$ 37 μm

☺ 大面積を維持しながら、屈折コントラストによる高感度化

☺ 広帯域ピンクビーム ($DE/E \sim 20\%$) でOK

☺ **階層CT (ズーム機能付き)**

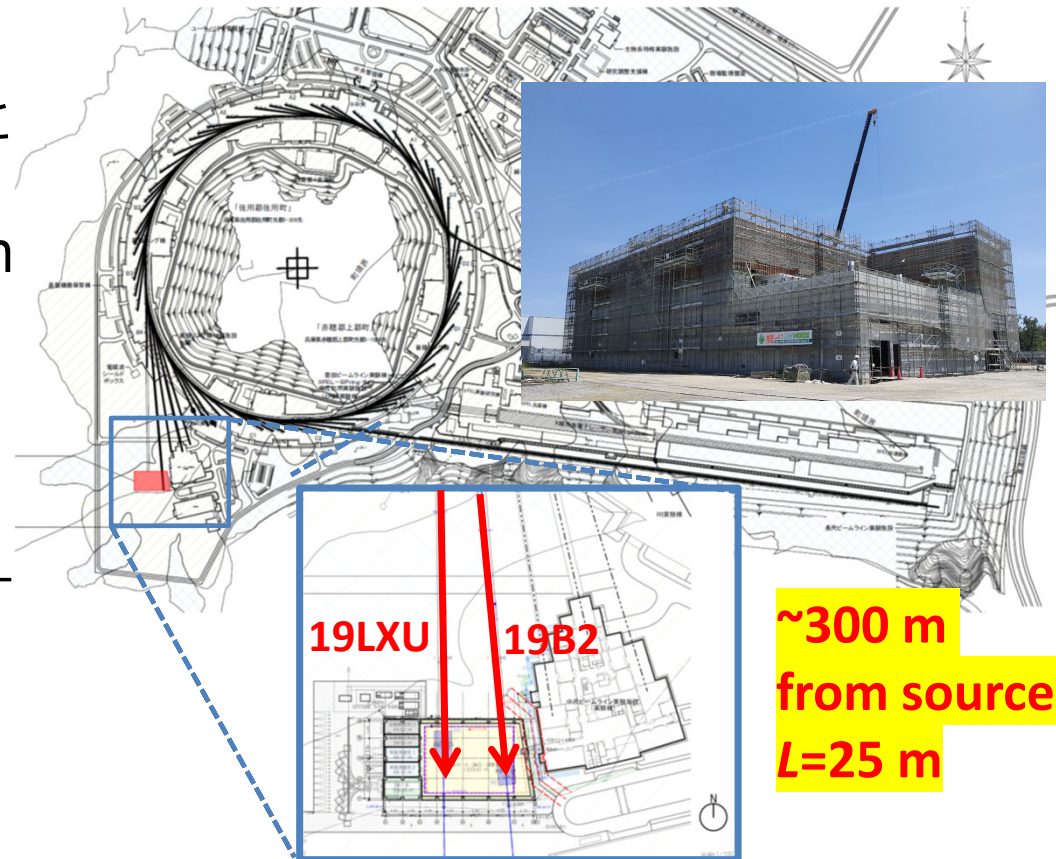
☹ 低空間周波数の屈折コントラストを確保するために、試料=検出器間に長い距離が必要 (特に高エネルギー領域)

- 45 m @ESRF BM18

Walsh et al., Nature Methods (2021)
Human Organ Atlas Project

新設・大規模改修5 BM光源の活用

- 中尺実験棟II
 - 加速器整備終了後に、延伸実験ホールとして活用
 - 光源から約300 m、建屋の長さ約25 m
- BL19B2
 - 大面積 (300 mm幅)・高感度の階層イメージングビームラインへの改修の可能性を検討中
 - 既存利用 (粉末XRD、SAXS、多軸回折計) は、施設全体として十分なキャパシティを確保する



ブラックアウト後の立ち上げの方針

- 既存ラインの復帰を優先し、できるだけ早期に、多くの利用機会を提供することを優先させる
 - B2ラインは光軸が変更される
- 多数のラインを並行して立ち上げ
 - BL基幹部の制御・ネットワーク系及びモニター系の標準化を進める
- 新設・大規模改修ラインの整備・立ち上げは、予算とリソースをみながら着実に進める
 - あくまでも加速器整備が最優先
- 空きポートは、Day-2のための貴重なリソースとして確保しておく（例：27SUの跡地）

新たな利用制度に向けて

- SPring-8-IIアップグレード後も、着実な運転と持続的な高度化が可能となるような仕組みを検討中
- ニーズに応じて様々なオプションを準備
 - 可能なものは早めに試行
- 検討の進捗に応じてコミュニティに報告し意見を募る

まとめ

- SPring-8-II整備決定後、はじめてのシンポジウム
- 加速器整備計画
 - 機器の調達
 - シャットダウン
 - 立ち上げ
- ビームラインの整理統合と新設・大規模改修
- 2029年度上期の早い時期に、なるべく多くの利用機会を提供することを最優先とする

Acknowledgement

All SPring-8/SACLA staffs, especially for

Takahiro Watanabe, Takashi Tanaka, Haruhiko Ohashi, Takaki Hatsui, Yasumasa Joti, Hitoshi Tanaka, Tetsuya Ishikawa

Jumpei Yamada, Gota Yamaguchi, Taito Osaka, Ichiro Inoue, Hidekazu Takano, Michihiro Sugahara, Kenji Tamasaku, Yujiro Hayashi, Jaemyung Kim

Hiroshi Yamazaki, Hirokatsu Yumoto, Takahisa Koyama, Yasunori Senba, Sunao Takahashi, Shunji Goto Haruki Nishino, Kyo Nakajima, Yasumasa Joti, Koji Motomura, Takashi Kameshima

Toru Hara, Koichi Soutome, Shiro Takano, Hirokazu Maesaka, Kenji Fukami, Mitsuhiro Masaki, Kazuhiro Tamura, Toru Fukui, Takashi Sugimoto, Toshihiko Hiraiwa

Osami Sakata, Kensuke Tono, Takeshi Kumasaka, Kentaro Uesugi, Masato Hoshino, Tetsuo Homma, Akihisa Takeuchi, Yuji Higo, Yasuhiko Imai, Shogo Kawaguchi, Taiga Nakamura, Hiroki Yamada, Kazushi Sumitani, Tomoyuki Koganezawa, Shigeru Kimura, Hiroyuki Ohsumi, Tomoya Uruga, Akira Yasui, Yasumasa Takagi, Satoshi Yasuno, Masugu Sato, Okkyun Seo, Yoshiki Kohmura, Hiroshi Sekiguchi, Hiroyasu Masunaga, Yoshitaka Yoda, Alfred Q.R. Baron

Osaka University: Jumpei Yamada, Yasuhisa Sano, Kazuto Yamauchi

Nagoya University: Satoshi Matsuyama, Takato Inoue

University of Tokyo: Hiroto Motoyama, Hidekazu Mimura

ご清聴ありがとうございました

