

NanoTerasuの整備進捗状況



次世代放射光施設運営会議

官民地域パートナーシップ及び整備分担

(官)

(民・地域)



項目	内訳	役割分担
加速器	ライナック、蓄積リング、輸送系、制御・安全	国において整備
ビームライン	当初10本	国及びパートナーが分担 国(3本) パートナー(7本)
基本建屋 (研究交流棟機能含む)	建物・附属設備	パートナーが整備
整備用地	用地取得・造成	

整備費用総額 約380億円
(国負担：約200億円、パートナー負担：約180億円)

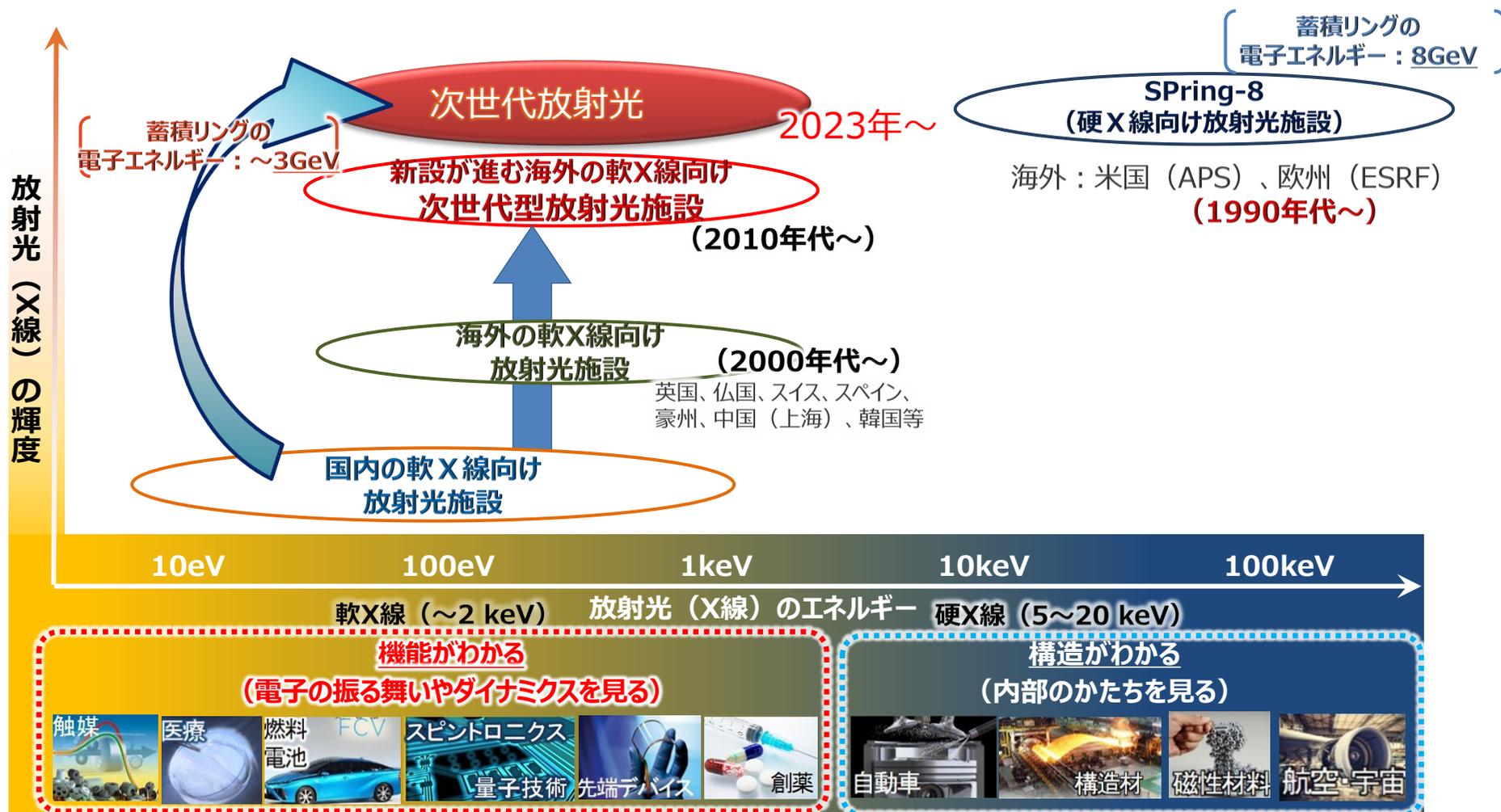
次世代放射光施設運営会議 (2022年1月発足)

次世代放射光事業全体を円滑に進めるため、当該施設に係る課題を審議・調整し、情報を共有する

委員名簿 (2022年8月1日現在)

議長	茅野 政道	量子科学技術研究開発機構理事
副議長	高田 昌樹	一般財団法人光科学イノベーションセンター理事長
	内海 渉	量子科学技術研究開発機構次世代放射光施設整備開発センター長
	服部 正	同センター副センター長
	小西 啓之	同センター副センター長
	加道 雅孝	同センター高輝度放射光研究開発部長
	高橋 正光	同センター高輝度放射光研究開発部次長
	小林 正明	一般財団法人光科学イノベーションセンター副理事長
	江部 卓城	同センター専務理事
	阿部 聡	同センター理事
	戸澤 忠伸	同センター総務企画部長
	中村 哲也	同センタービームライン部長
	鈴木 一広	同センター建設部長
	植田 拓郎	東北大学理事 (産学連携担当)
	村松 淳司	同大学副理事
オブザーバー		
	古田 裕志	文部科学省科学技術・学術政策局研究環境課長
	鈴木 忍	東北大学次世代放射光施設利用推進支援室長
	渡邊 真史	同大学次世代放射光施設利用推進支援室特任准教授
	雨宮 慶幸	公益財団法人高輝度光科学研究センター理事長
	後藤 俊治	同センタービームライン技術推進室コーディネーター
	坂田 修身	同センター放射光利用研究基盤センター副センター長
	木村 滋	同センター利用推進部長
	大端 通	同センター企画室長

次世代放射光施設の目指すもの



- 1) **先端性と安定性**を兼ね備えたコンパクトな高輝度3GeV放射光源を整備し、放射光による世界レベルの**最先端学術研究**及び**多彩な産業利用**成果を創出する。
- 2) 国内の他放射光施設との役割分担や相補性を考慮し、「**軟X線**、**コヒーレント光**利用研究の促進」、「**本格的産学連携**の推進、産業利用の拡大」、「汎用測定の高スループット化」などに重きを置いた整備運用を行う。

○ 国において整備

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
加速器 (ライナック及び蓄積リング)	施設の調査/加速器開発						運用開始
	蓄積リングの磁石セル試作	整備着手	入射器(ライナック)製作			(据付・調整)	
			蓄積リング製作			(据付・調整)	
				ライナック・蓄積リング輸送系			
制御・安全装置							
ビームライン (3本)		仕様検討					

加速器設置開始

2021年12月

ファーストビーム

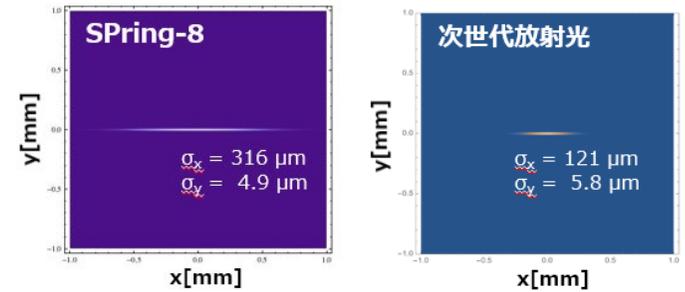
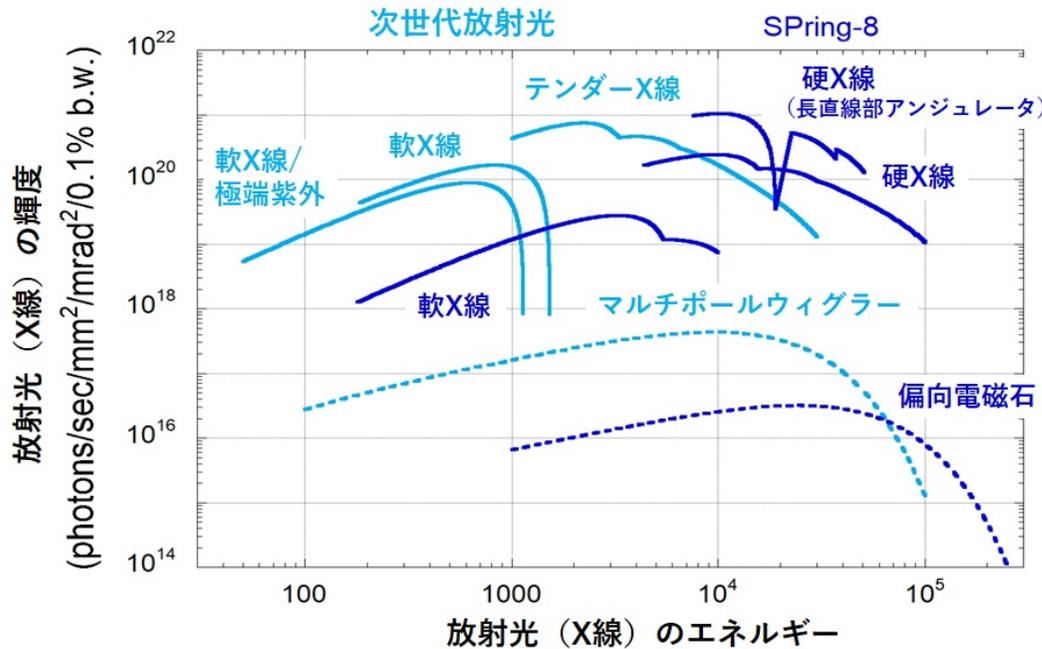
2023年12月

○ パートナーにおいて整備

基本建屋			建設開始				
ビームライン (7本)		仕様検討					
土地造成							

2019年度より本格整備に着手。2022年7月末現在、基本建屋工事進捗率99%。
2021年12月から加速器設置を開始。
2023年度施設完成の大枠スケジュールを遵守できる見込み。

次世代放射光源目標性能 (QST)



電子ビームサイズの比較

- 軟～テンドーX線領域においてSPring-8の輝度を大幅に凌駕する高輝度光源を周長350m以下で実現 (SPring-8と相補的)
- 高性能線形加速器と次世代ビーム入射技術を融合し、安定なTop-up運転を実現
- 「マルチベント アークロマト ラティス」採用によりビーム広がりを抑制
- 理研/JASRIの協力により、SPring-8,SACLAで得られた知見・技術を最大限に活用
- 光源には、従来の偏向電磁石ではなく、挿入光源であるアンジュレーター、ウィグラーを採用

	次世代放射光施設		SPring-8
	小委員会報告書	設計	
加速器エネルギー	3 GeV	2.998 GeV	8 GeV
蓄積電流	400~600 mA	400 mA	100 mA
リング周長	325~425m 程度	348.8 m	1436 m
セル数		16	44
エミッタンス	1 nmrad 程度	1.14 nmrad	2.4 nmrad
消費電力		5 MW	40 MW
最大ビームライン数	25 本程度	28 本	63 本

加速器主要パラメータ

加速器

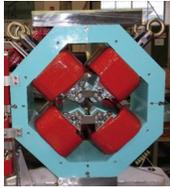
加速器の構成 (QST)



偏向電磁石 4×16=64台

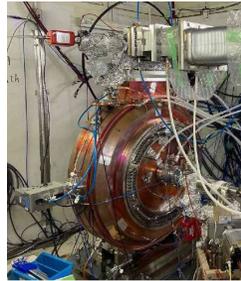


六極電磁石



四極電磁石

各10×16=160台 計320台



蓄積リング
加速空洞



蓄積リング磁石セル
(ハーフセル)



電子源



線型加速器用
Cバンド加速管

蓄積リング

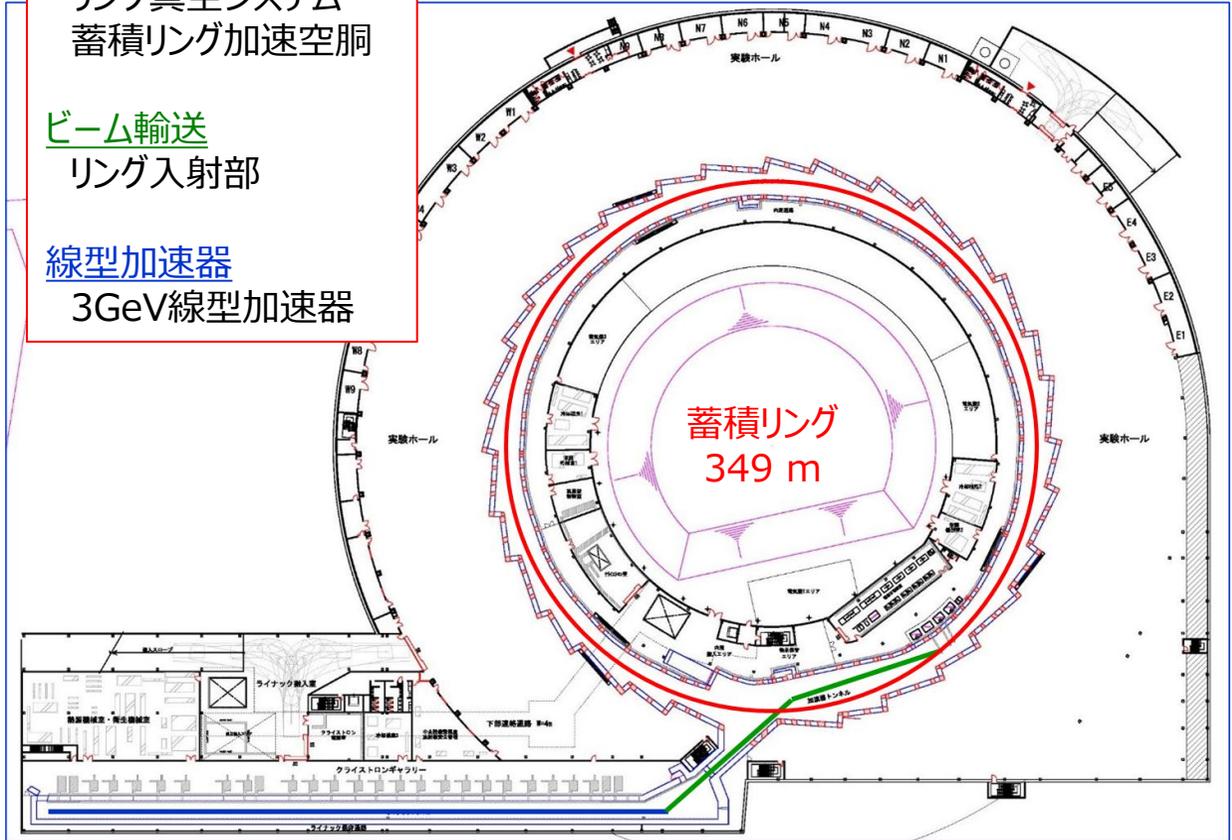
蓄積リング電磁石
リング真空システム
蓄積リング加速空洞

ビーム輸送

リング入射部

線型加速器

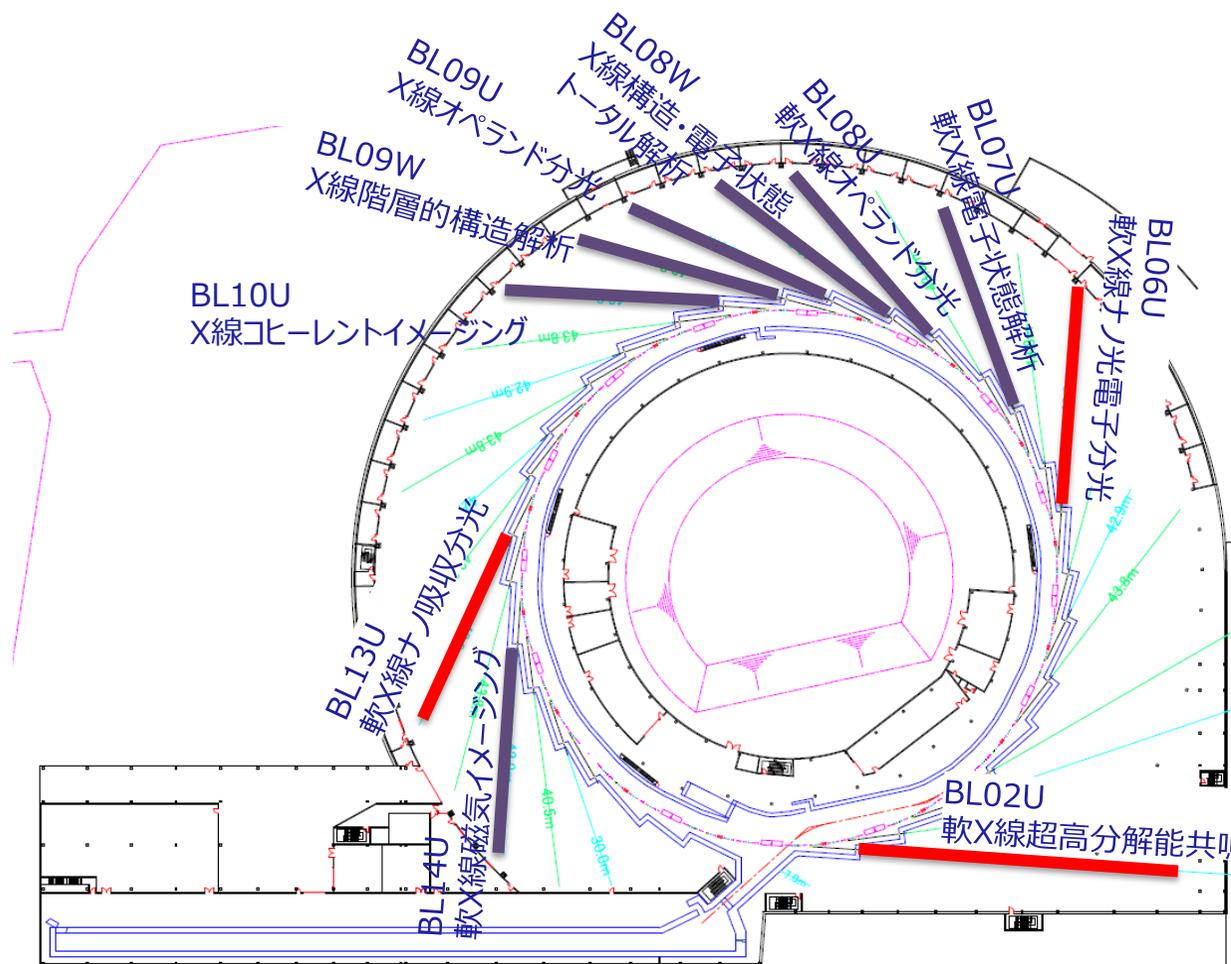
3GeV線型加速器



線型加速器 110 m

ビームラインレイアウト (QST,PhoSIC)

ビームラインの詳細は別添「
NanoTerasuビームライン概要」参照



共用ビームライン
(量研が整備)

課題公募、成果公開を原則とする
共用ビームタイムに用いられる

コアリションビームライン
(地域パートナーが整備)

コアリションコンセプトに基づき、パート
ナー機関が自主運用
(一部は共用ビームタイムに利用)

・「次世代放射光施設ビームライン検討委員会（委員長：有馬孝尚東大教授）」の報告書（2019年6月）に示された第1期整備ビームラインラインアップにもとづき、共用ビームライン3本、コアリションビームライン7本の整備を開始

光源性能を活かし、学術の先端を開拓



計測種類	07U: SX-電子状態	08W: 構造解析	08U: SX パワート分光	09W: 階層構造	09U: X線 パワート分光	10U: コヒーレントイメージング	14U: SX-イメージング
機能	化学状態 電子状態	電子状態 結晶構造	化学反応	応力応答	電子状態 変化	分光ナノ画像	磁化 ナノ画像
感染症 対策	医療技術 生体適合性 中間水 ナノバブル	創薬、製薬 	抗菌材料 	病変部位 診断 	抗菌材料 	疾患科学 遺伝子治療 	生命科学 疾患科学
マテリアル 革新力	ナノ粒子 	次世代 ナノスケール マテリアル 	エネルギー 変換材料 高度循環材料 	極限機能 複合材料 	マルチ マテリアル 	ナノスケール マテリアル 	量子制御 デバイス用 マテリアル
Green Innovation	安全な 食・水・大気 	資源循環 	ゼロカーボン カーボン リサイクル 	CFRP エコポリマー アップサイクル 	Liイオン電池 燃料電池 	Liイオン電池 燃料電池 	EV 自然エネルギー
SDGs	6 安全な水とトイレ を世界中に 	9 産業と技術革新の 基盤をつくらう 12 つくる責任 つかう責任 	7 エネルギーをみんなに そしてクリーンに 	12 つくる責任 つかう責任 	9 産業と技術革新の 基盤をつくらう 	7 エネルギーをみんなに そしてクリーンに 9 産業と技術革新の 基盤をつくらう 	9 産業と技術革新の 基盤をつくらう

政策目標



放射線安全 (QST) —実験ホールの非管理区域化—

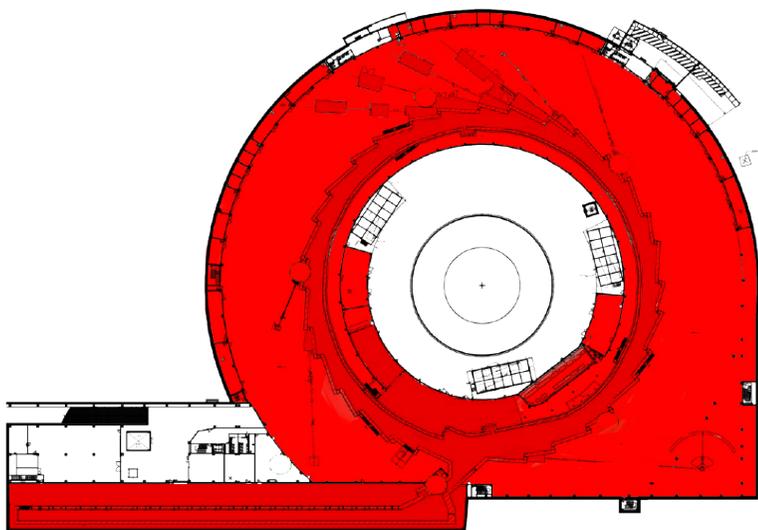
実験ホールを放射線管理区域として設定しないことにより、放射光利用者の利便性を大幅に向上させることを目指す。

管理区域の条件

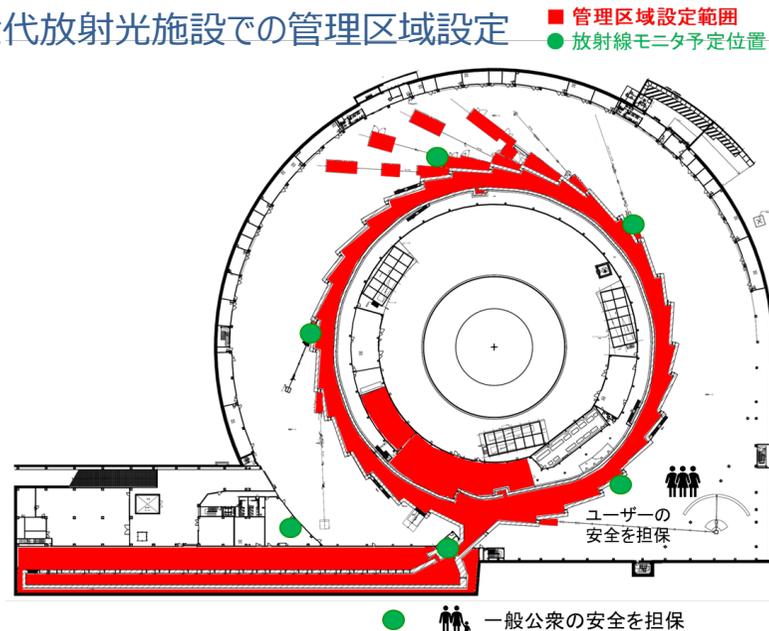
- RI法 放射線を放出する同位元素の数量等を定める件

第四条 実効線量 $> 1.3 \text{ mSv/三月}$

従来の放射線管理区域設定を踏襲した場合



次世代放射光施設での管理区域設定



- 放射線従事者でなくても実験ホールへの入室を可能とするため、実験ホールの非管理区域化を目指して、「次世代放射光施設放射線安全性検討委員会（委員長：渡部浩司東北大教授）」での検討、および原子力規制庁との度重なる協議や申請書のドラフト版に基づくヒアリングを実施。
- 令和3年度中に「放射線発生装置使用許可申請書」を原子力規制庁に提出済み。

⇒国内放射光施設初の実験ホール非管理区域化に向けて大きな進展。

參考資料

想定される利用研究（1）

→ ナノで機能を可視化し、研究開発を加速する

より高精細、短時間、効率的に、重要な元素や分子がナノレベルで発揮する機能を鮮明に可視化。高精細の可視化データは、AIやシミュレーションとの連携により、新たな価値を生み出す源泉となる。

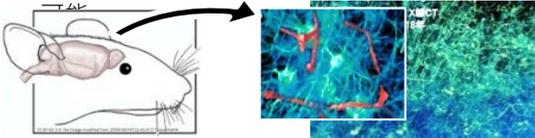
医療



軽元素からなる組織の可視化
医用材料の生体適合性解明

マウス脳内の神経網構造を自然に近い形で観察

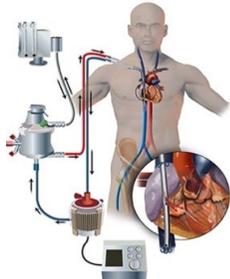
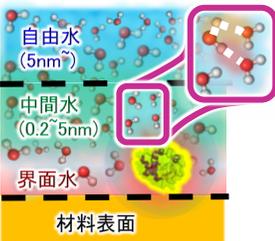
- ✓ コヒーレントX線を用いることで、脳や細胞のように結晶化できない試料も薄切片にすることなく、丸ごと三次元的なイメージングが可能



資料: TPS(台湾)

人工呼吸器で血栓ができるメカニズムを解明

- ✓ 医用材料表面で血栓形成を防ぐ界面水の水分子の挙動を解明



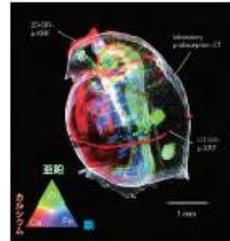
環境



軽元素の分布や状態が直接的かつリアルタイムで可視化

ミジンコの微量元素を細胞レベルで可視化

- ✓ 環境毒性変化に用いられるミジンコは体が小さく解剖は難しかったが、放射光により環境中から取り込んだ微量の元素（Fe、Ca、Zn等）がどの臓器にどのように蓄積されるか細胞レベルで分析

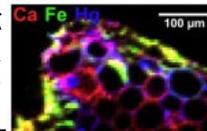


資料提供: B. De Sinter et al. Journal of Analytical Atomic Spectrometry.

- ✓ 生体物を構成するC、N、P等の軽元素の分布も識別

バイオ炭の機能を解明

- ✓ 植物から作られる多孔質バイオ炭。農地土壌を改良し、植物の生育を助けると言われています。大気からのCO2回収、土壌中への貯留の効果が期待されています。



Science of The Total Environment, Vol. 662, 20 April 2019, Pages 915-922

食品・畜産・農・漁業業

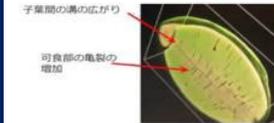


軽元素の分布や状態が直接的かつリアルタイムで可視化

食の安全と高付加価値化の実現

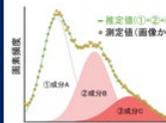
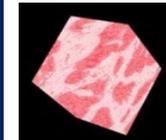
- ✓ 食品に含まれる微量の元素分布や蓄積過程の可視化、果実の通道組織の可視化が可能
- ✓ 食品の栄養素研究や栽培法の確立につながる事が期待されている

枝豆

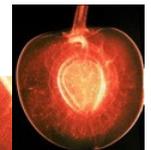


(左)豆莢部分のサンプル
(右)豆莢が縦、部分
(左)豆莢が横、部分
(右)豆莢が縦、部分
(左)豆莢が横、部分
(右)豆莢が縦、部分

冷凍マグロ



サクランボ



資料: 東北大・原田昌彦

想定される利用研究(2)

→ ナノで機能を可視化し、研究開発を加速する

より高精細、短時間、効率的に、重要な元素や分子がナノレベルで発揮する機能を鮮明に可視化。高精細の可視化データは、AIやシミュレーションとの連携により、新たな価値を生み出す源泉となる。

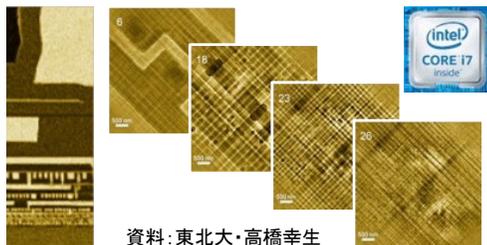
電子デバイス



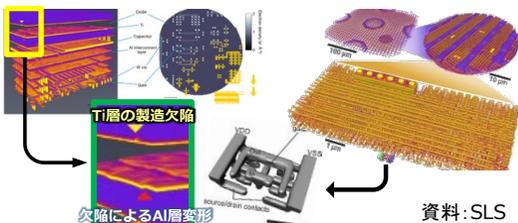
高いコヒーレント性を用いた非破壊の品質管理

デバイス内部のナノの欠陥を見る

- ✓ 動作不良の原因となる深さ方向のナノスケールの配線の欠陥を非破壊で可視化が可能
- ✓ さらにAI技術と融合して、これまで見つけることが難しかった欠陥を診ることも



資料: 東北大・高橋幸生



資料: SLS

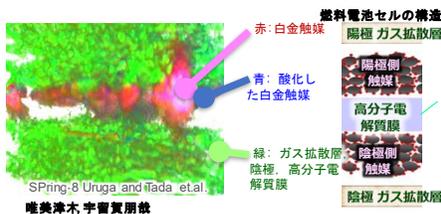
電池



機能に関わる電子状態の変化をリアルタイムで可視化

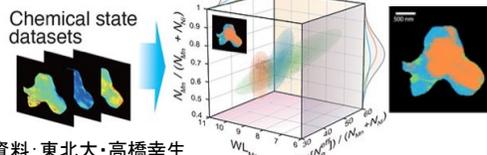
燃料電池の白金触媒の酸化還元反応を「その場観察」

- ✓ 燃料電池内部の白金触媒の酸化還元反応を発電しながら観察可能
- ✓ 電池の材料が劣化する要因を突き止めることで、コストを下げる事が可能



Liイオン電池の正極活物質粒子を解析

- ✓ データ科学とも連携し、不均一反応を解析。性能低下の理由を探る



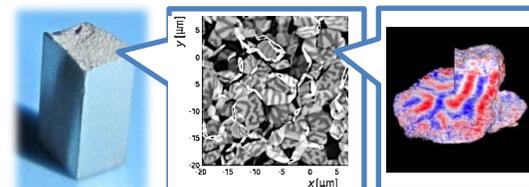
磁気デバイス



電子のスピンの見える(偏光で磁気分布を可視化)

磁区構造を可視化して強力な磁石をつくる

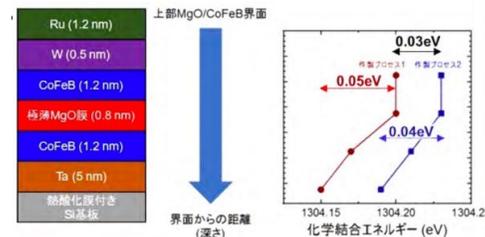
- ✓ 磁石のN極とS極を見分け、高性能なデザインが可能に



資料: 東北大・中村哲也

スピントロニクスメモリの製造を最適化

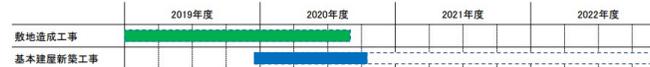
- ✓ デバイス中の0.8nmの酸化膜の電子状態を光電子分光で分析、成膜プロセスの影響を特定



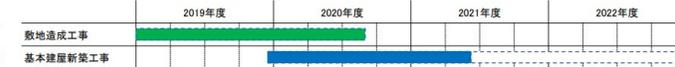
2019年3月26日



2021年1月15日



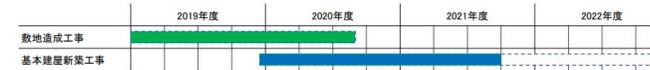
2021年5月12日



2021年11月15日

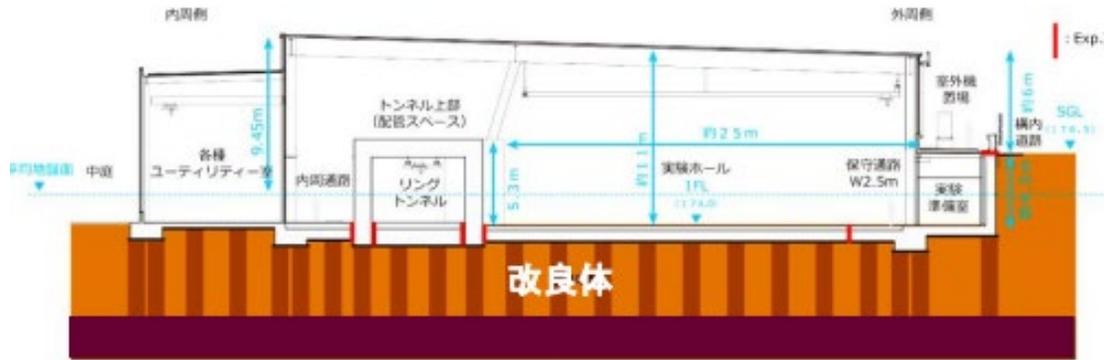


2021年12月27日



地上2階、地下1階、鉄骨造
延べ床面積 約25,000m²

建屋工事進捗率
99% (2022年2月)



基本建屋断面図

地盤として適さない表土約5mを除去
柱状の地盤改良体を3400本施工



実験ホール

蓄積リングトンネル上のV字柱で、屋根の大梁を支持



ライナックトンネル



クライストロンギャラリー

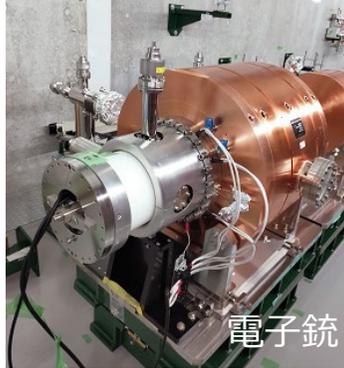


蓄積リングトンネル

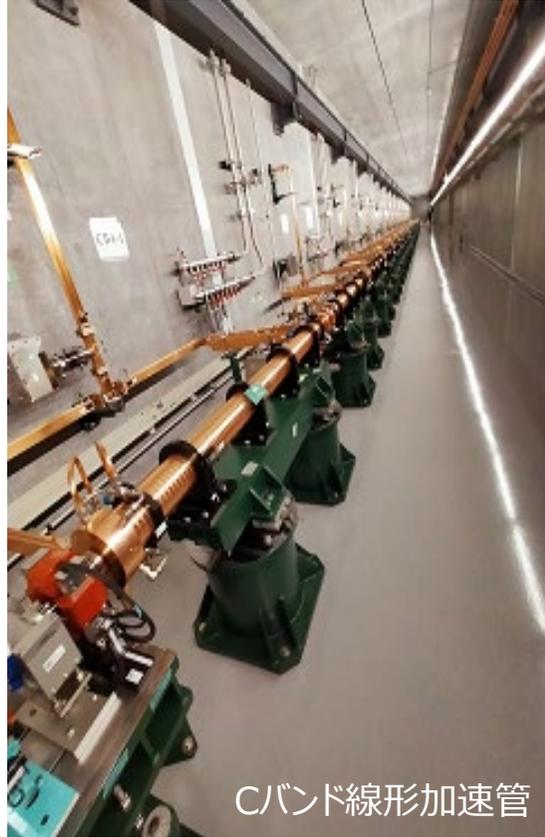
加速器整備の進捗状況 (QST)



クライストロン
ギャラリー



電子銃



Cバンド線形加速管



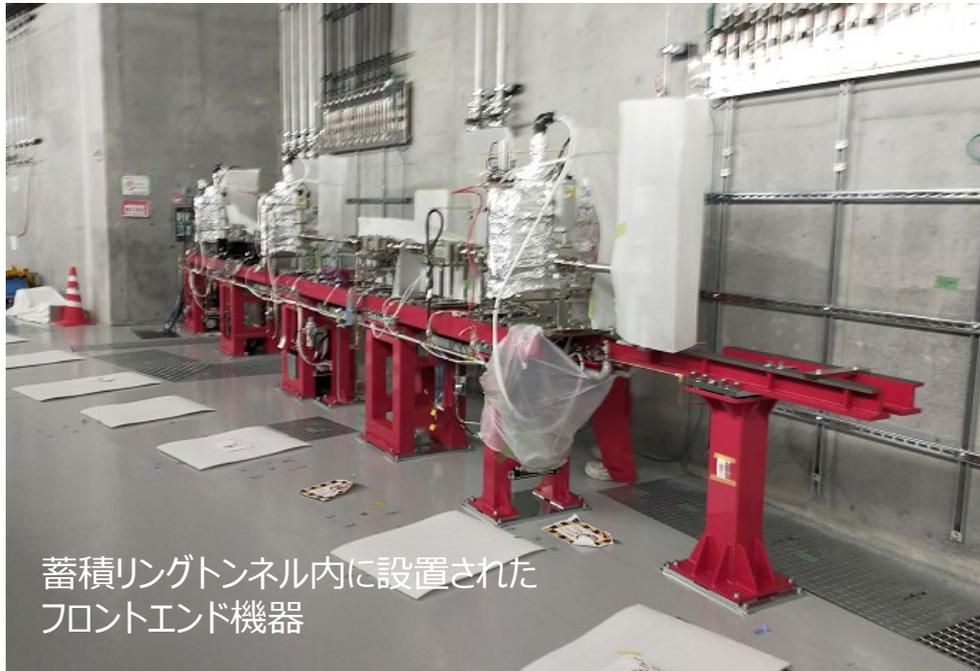
蓄積リング設置 電磁石セル
(偏向電磁石、四極・六極電磁石)



電子周回 真空パイプ設置作業

- ・令和元年度に設計を終了し、磁石、電源、真空容器、モニタなど各構成機器について、順次契約、製作を実施
(契約件数：令和元年度24件 令和2年度59件、令和3年度92件)
- ・令和3年12月から、基本建屋内での加速器機器の搬入・設置作業を開始 (線形加速器、蓄積リング内電磁石セル等)
- ・令和5年春より加速器調整運転開始予定

ビームライン整備の進捗状況 (QST,PhoSIC)



蓄積リングトンネル内に設置された
フロントエンド機器



受注業者の工場で作成が進む挿入光源



挿入光源の磁石
列間に設置される
ビームダクト

ビームラインごとに、若干の違いはあるものの

- ・フロントエンドについては蓄積リング内に設置を完了し、挿入光源は工場で作成進行中
- ・実験ホール内ビームライン用遮蔽ハッチの製作開始
- ・光学系については令和3年度に設計が完了し、各構成機器の製作を順次開始
- ・エンドステーション機器の詳細設計が完了したことから、順次契約等を開始
- ・ビームライン機器の搬入・据付作業は、令和4年5月頃から開始予定