



NanoTerasu

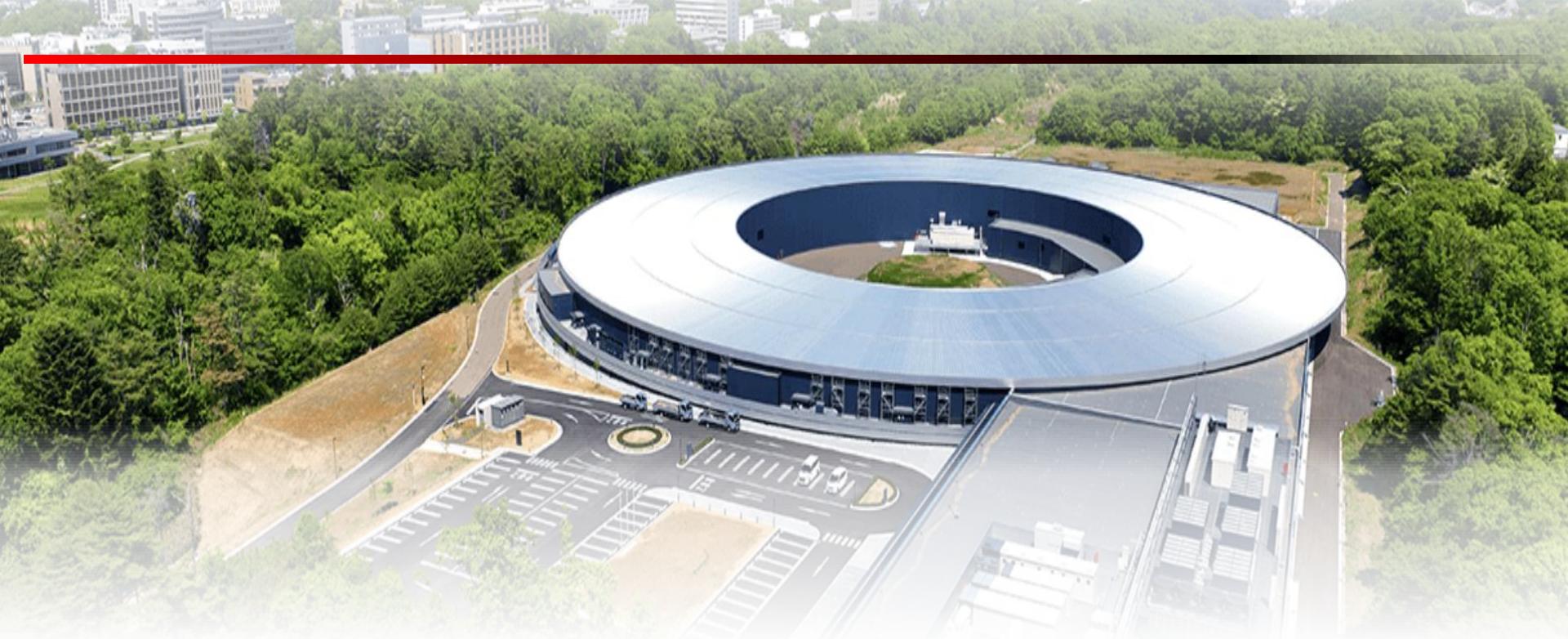
第18回FC-Cubicオープンシンポジウム

2025年12月19日 13:30~14:00

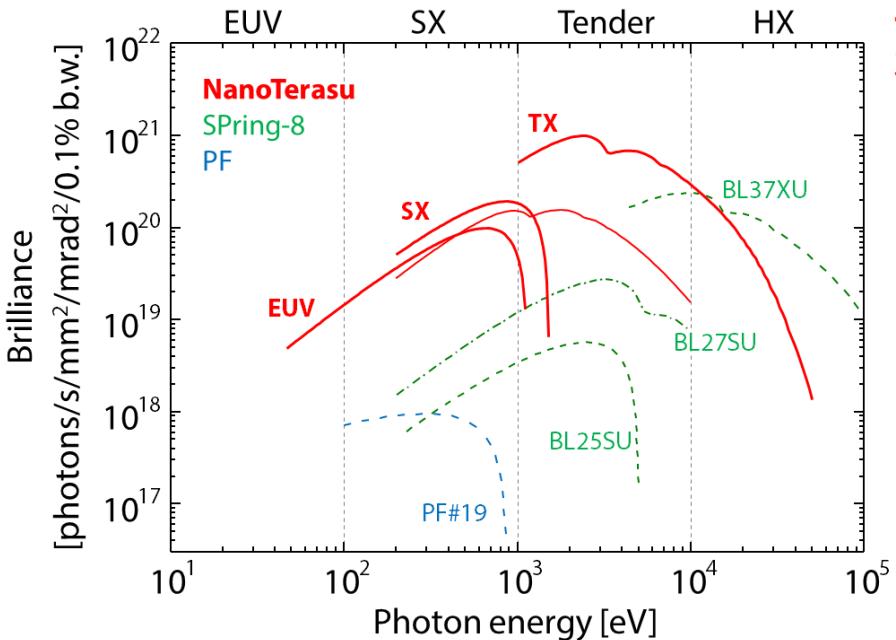
東北大学青葉山キャンパス 東北大学災害科学国際研究棟 1F多目的ホール



NanoTerasu共用ビームライン紹介と NEDO事業の取り組みについて



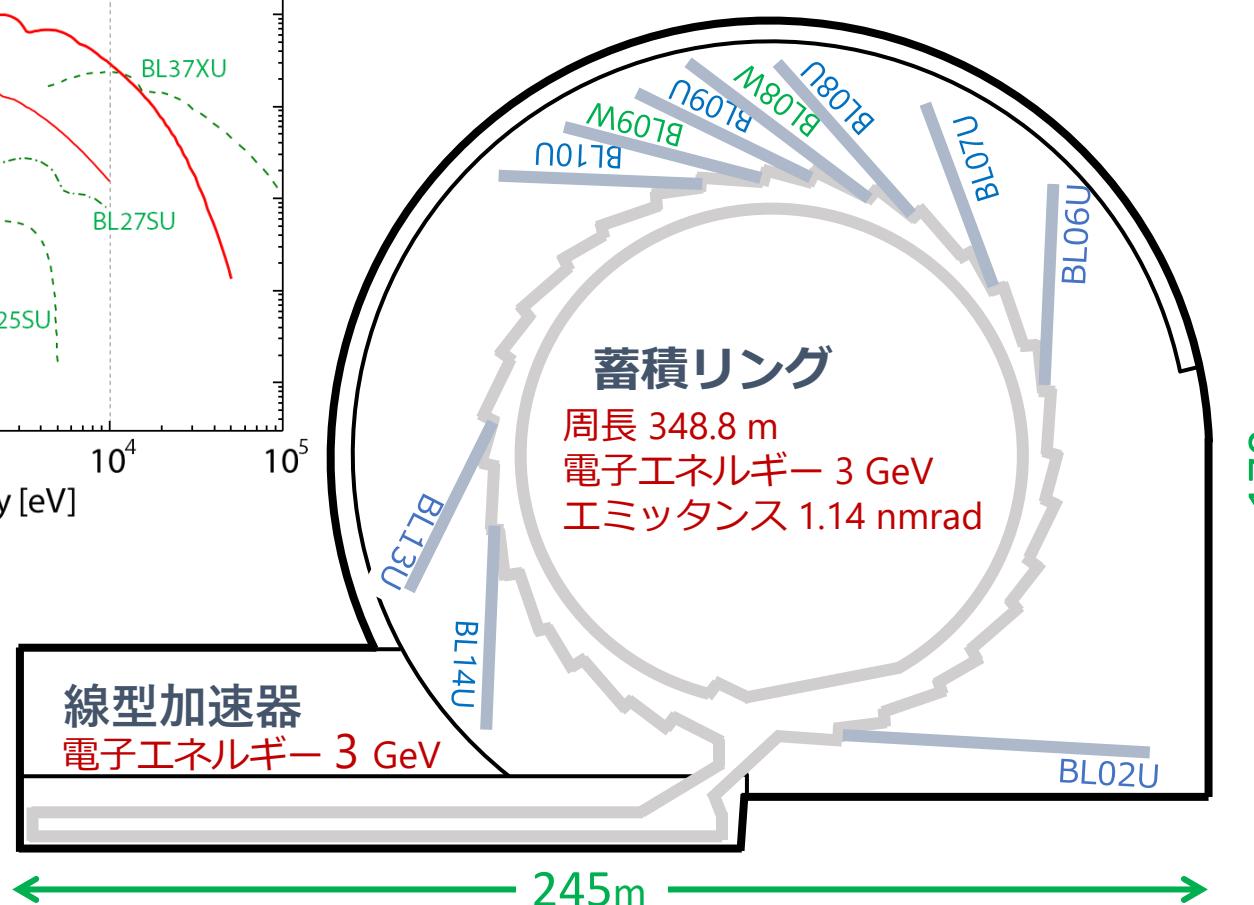
量子科学技術研究開発機構 (QST) NanoTerasuセンター
堀場 弘司



ビームライン

- (a) アンジュレータ
(可変単色光源) 14か所
(b) 多極ウィグラー
(広スペクトル光源) 14か所
第1期では合計10本を整備

軟X線、テンダーX線領域で
SPring-8を上回る輝度



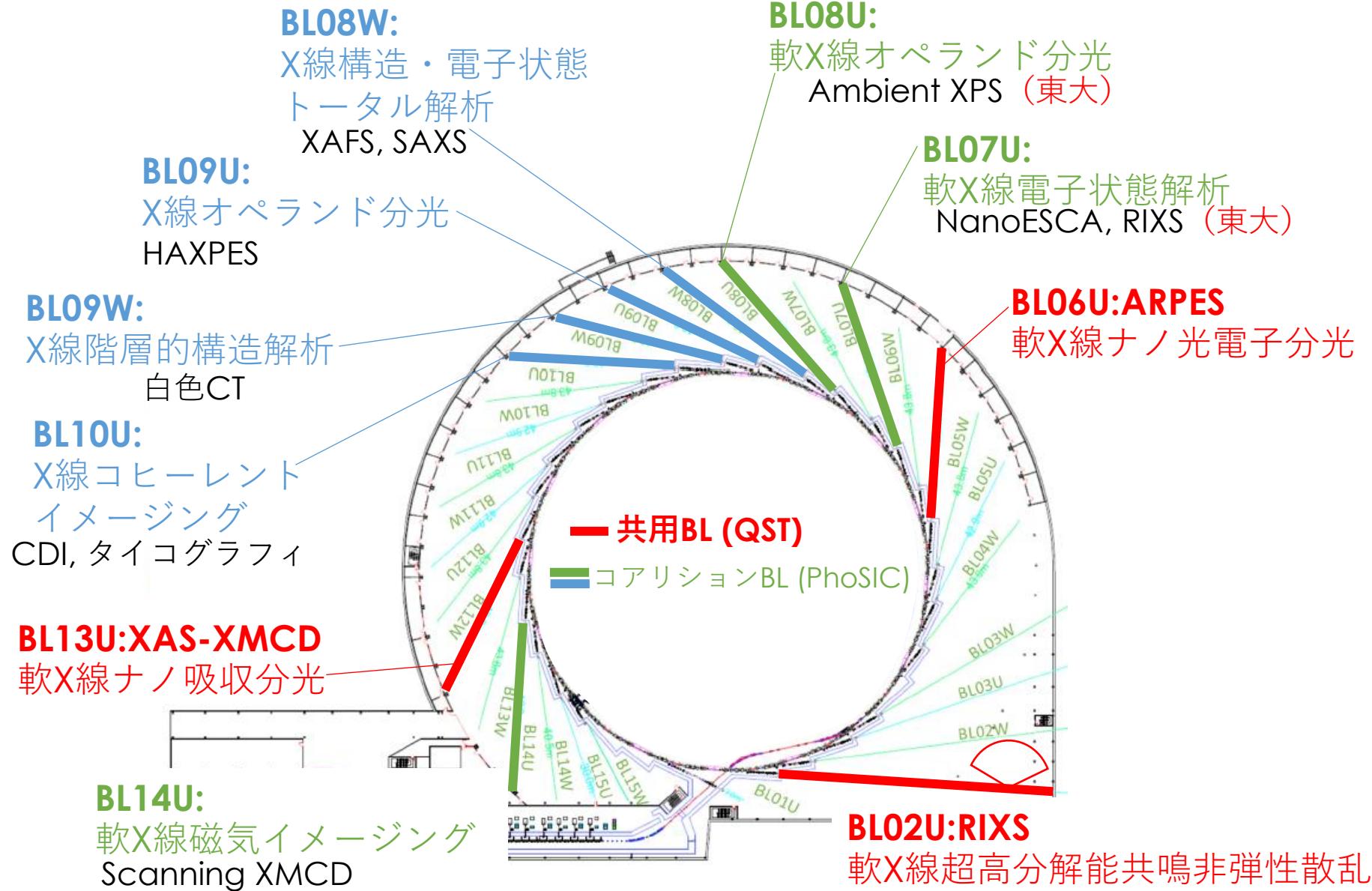
2025年3月より共用開始



第1期建設ビームライン配置図

NanoTerasu

QST



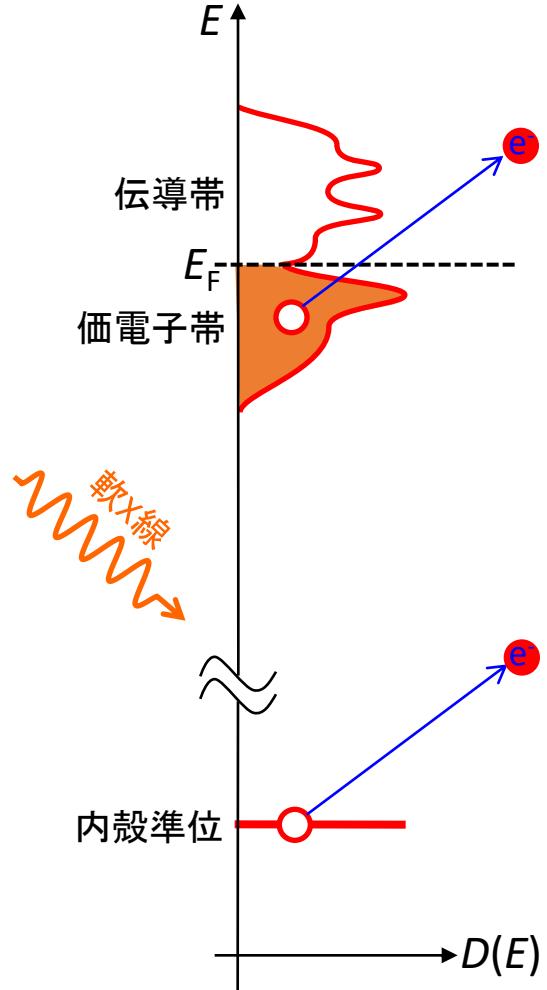


主な軟X線分光手法

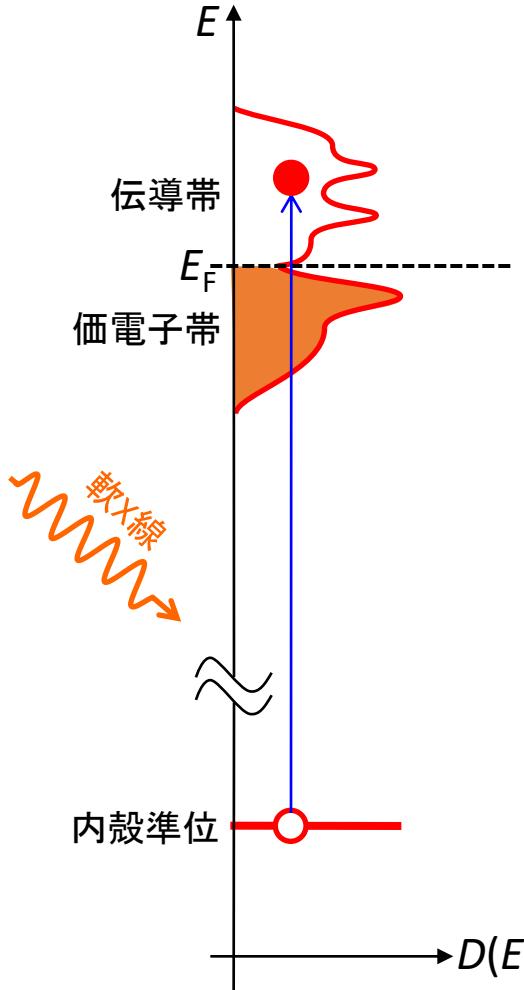
NanoTerasu



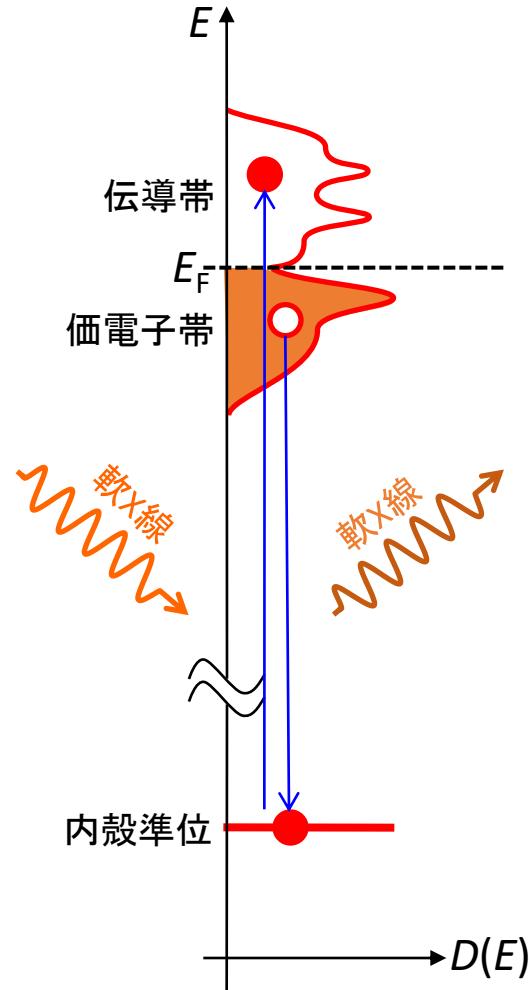
光電子分光(XPS)



吸收分光(XAS)



発光分光(XES)





主な軟X線分光手法

NanoTerasu

QST

光電子分光(XPS)

- ☆ 価電子帯
バンド構造
- ☆ 内殻準位 ケミカルシフト
化学ポテンシャル
- ※vs. HAXPES
 - 表面敏感性
 - エネルギー分解能

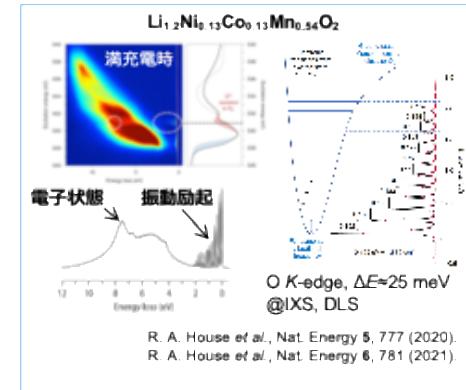
吸収分光(XAS)

- ☆ 伝導帯×内殻準位
電子構造 価数
- ※vs. 硬X線XAFS
 - 表面敏感性
 - 軽元素 (C, O, F, S, ...)

発光分光(XES)

- ☆ 価電子帯×内殻準位
電子構造 価数
- ☆ 価電子帯-伝導帯
固体素励起 分子振動励起

分子振動励起の観測研究例
Liイオン電池正極材料
放電時に分子状酸素の存在



軟X線分光の特徴

長所

- 表面敏感であること (表面観察)
- 散乱断面積が大きい (高感度)
- 元素選択性 (軽元素まで)

短所

- 表面敏感であること (試料汚染)
- ※散乱断面積が大きい (試料ダメージ)
- ※真空環境



共用ビームラインのラインナップ

NanoTerasu



		BL02U 軟X線超高分解能共鳴非 弾性散乱 (RIXS)	BL06U 軟X線ナノ光電子分光 (ARPES)	BL13U 軟X線ナノ吸収分光 (XMCD)
光源	構成	APPLE-IIアンジュレータ 56mm × 71周期	APPLE-IIアンジュレータ 75mm × 53周期	分割APPLE-IIアンジュレータ 56mm × 11周期 × 4台 移相器3台
	偏光	水平直線、垂直直線、左右円	水平直線、垂直直線、左右円	任意 (切替速度>~10Hz)
光学系	分光器	不等刻線間隔平面回折格子 可変偏角分光器	等刻線間隔平面回折格子 入射スリットレス 可変偏角 平行化分光器	不等刻線間隔平面回折格子 入射スリットレス 可変偏角 Monk-Gillieson型分光器
	エネルギー	250 – 2,000 eV	50 – 1,000 eV	180 – 3,000 eV
	分解能	>150,000@<1,000eV	> 50,000@50eV > 30,000@1,000eV	> 10,000
	集光サ イズ	< 1 μm × <~5 μm	< 100 nm @A branch < 1 μm @ B branch	< 20 μm × 1 μm (集光鏡) < 20 nm × 20 nm (FZP)
	構成	2D-RIXS 全エネルギー分解能 ΔE<10 meV @ 1,000 eV	スピニ分解ナノ集光ARPES マイクロ集光ARPES	顕微X線磁気円二色性 走査型透過X線顕微鏡 フリーポート

電荷・軌道・スピン・格子の素励起のエネルギー分散を世界最高クラスのエネルギー分解能で探る

▶ ビームラインの特徴

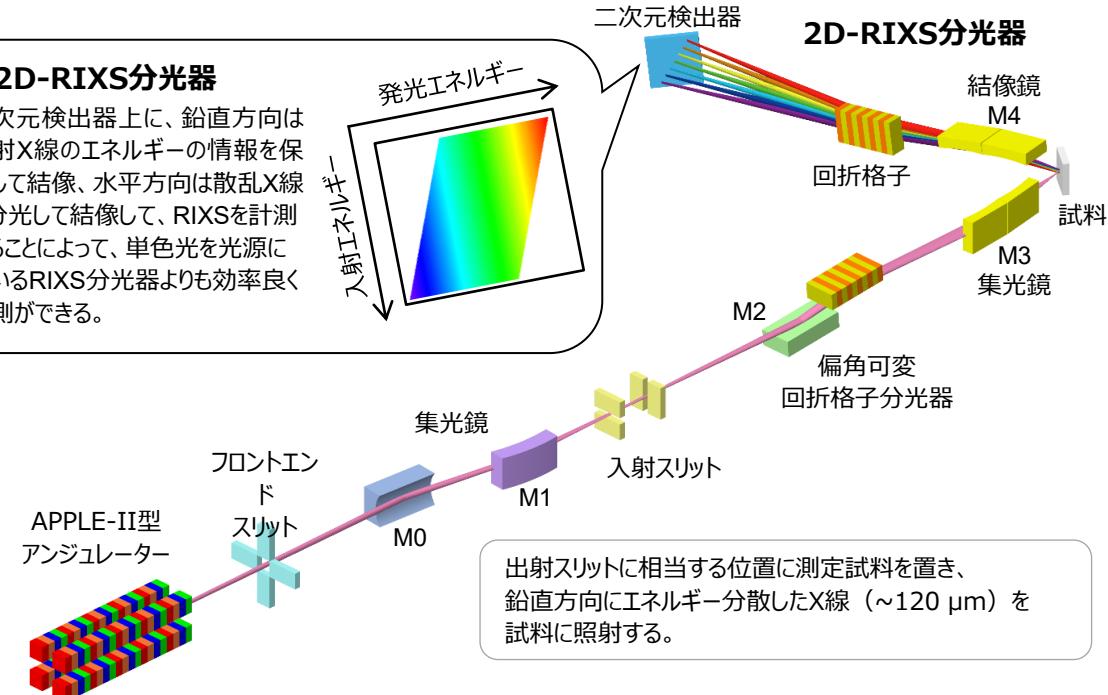
BL02Uは、共鳴非弾性X線散乱(RIXS)を超高エネルギー分解能で測定するためのビームラインであり、超高エネルギー分解能かつ高効率に分光が可能な2D-RIXS分光器に最適化されている。RIXSでは、散乱X線のエネルギーと運動量を測定することにより、電荷・軌道・スピン・格子の素励起や分子振動などの低エネルギー励起のエネルギー・運動量の分散関係を世界最高クラスのエネルギー分解能で知ることができる。

▶ 諸元

光源	APPLE-II型アンジュレーター 周期長56 mm/周期数71/最小ギャップ値15 mm/最大K値4.62
偏光 (エネルギー範囲)	水平・垂直直線 (250–2000 eV) 左右円 (250–1500 eV)
エネルギー分解能	$E/\Delta E > 150,000 @ < 1000 \text{ eV}$ $> 10^{10} \text{ photons/s} @ E/\Delta E > 100,000$
試料上フラックス	$> 10^{10} \text{ photons/s} @ E/\Delta E > 100,000$ (出射スリット2 μm 相当) $< 1 \mu\text{m} (\text{H}) \times < 5 \mu\text{m} (\text{V})^*$ $*E/\Delta E > 150,000 @ < 1000 \text{ eV}$ 時の単色光のサイズ。実際は任意の幅のエネルギー分散光を切り出して利用。
RIXS分光器 エネルギー分解能	$E/\Delta E > 150,000 @ < 1000 \text{ eV}$ ビームラインとあわせて $E/\Delta E > 100,000 @ < 1000 \text{ eV}$
RIXS分光器散乱角	$30^\circ \leq 2\theta \leq 150^\circ$

▶ 実験技術

1. 共鳴非弾性X線散乱 (RIXS)





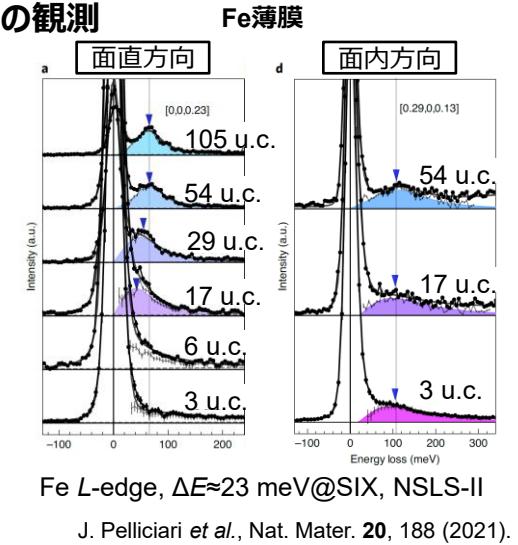
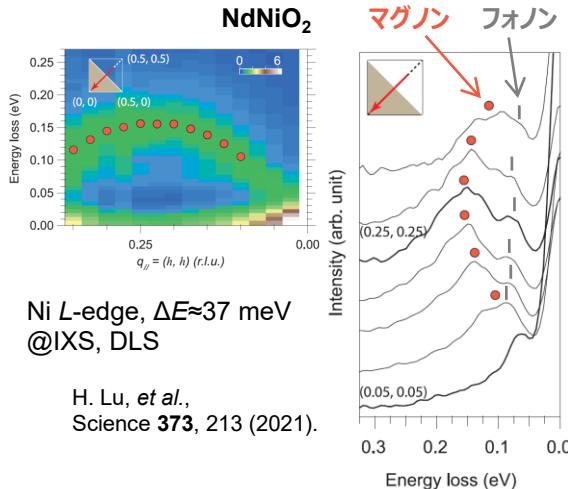
▶ 利活用上の特長

超高エネルギー分解能により、固体中のマグノン・フォノン・オービトン等の準粒子の観測が可能となり、電子物性・磁性研究への展開が期待される。また、原子・分子の微細な電子状態観測による分子クラスターの構造の同定や、振動励起の観測によるポテンシャルエネルギー面の取得など、基礎物理・化学への貢献のほか、オペランド計測によるデバイス中の電子状態やスピニ秩序などの微小変化の解明により、先端機能材料の開発にも寄与することが期待される。

▶ 得られる情報

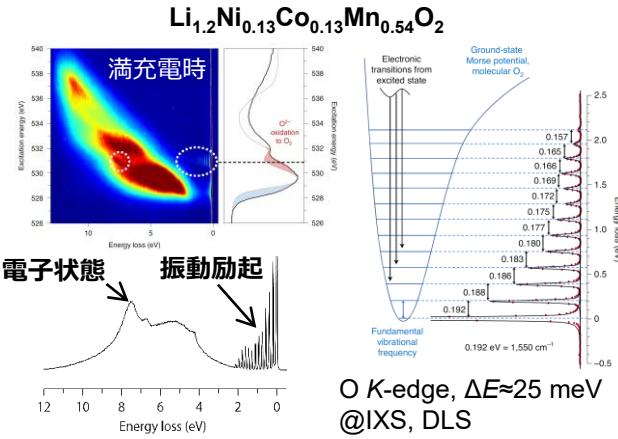
1. 元素選択的、バルク敏感な電子状態
2. マグノン、フォノン等の準粒子のエネルギー分散
3. 振動のエネルギー準位

固体 – 高温超伝導体、半導体、マルチフェロイクス物質、トポロジカル絶縁体等での素励起の観測



バルクに限らず薄膜中のオービトン・マグノン・フォノン等の準粒子の分散を観測可能

原子・分子 – 軌道の電子状態、振動のエネルギー準位の観測



振動準位からポテンシャルエネルギー面を取得可能

R. A. House et al., Nat. Energy 5, 777 (2020).
R. A. House et al., Nat. Energy 6, 781 (2021).

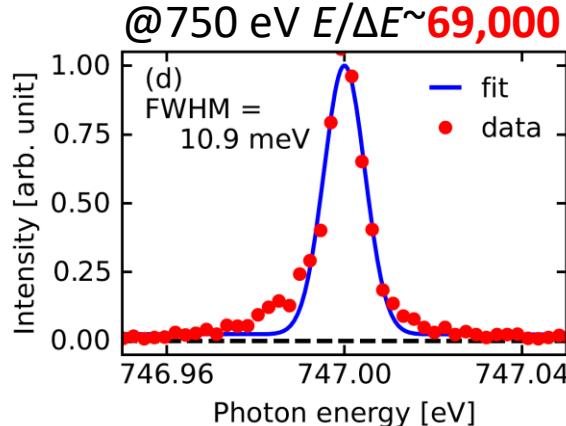
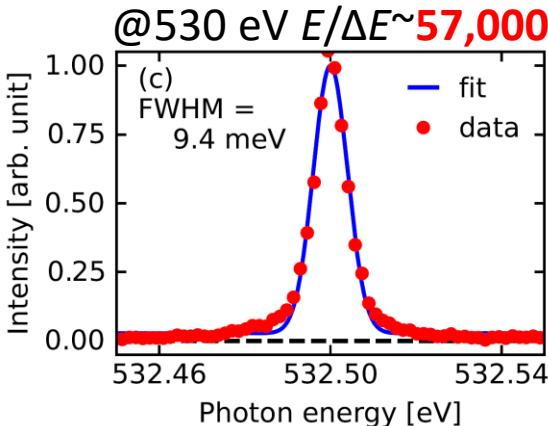


BL02U立ち上げ状況

NanoTerasu

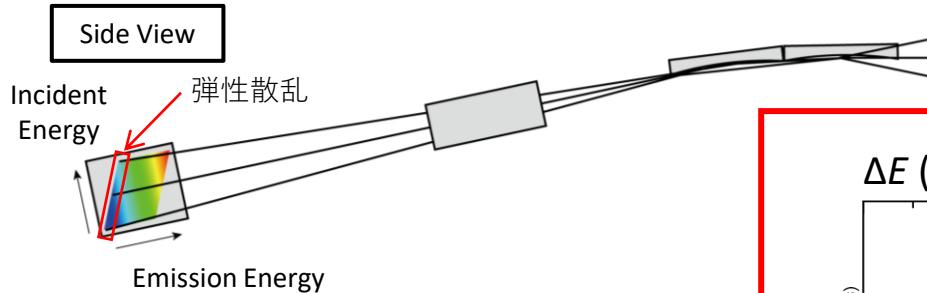


QST BL02U担当者
宮脇 淳

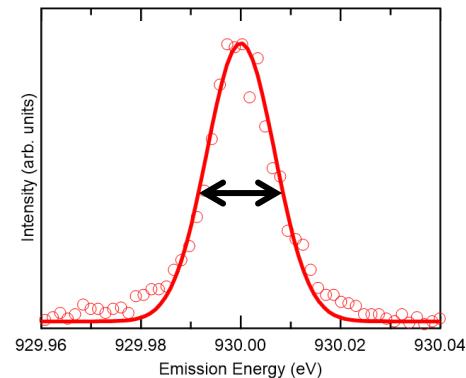


RIXS分光器エネルギー分解能（ビームライン含む）

2024.7.10 $E/\Delta E > 50,000$ 達成 (930 eV, 多層膜弹性散乱)



ΔE (FWHM) ~ 16.1 meV



@930 eV $E/\Delta E \sim 58,000$

**Cu L端での
世界最高分解能を達成
(プレスリリース)**

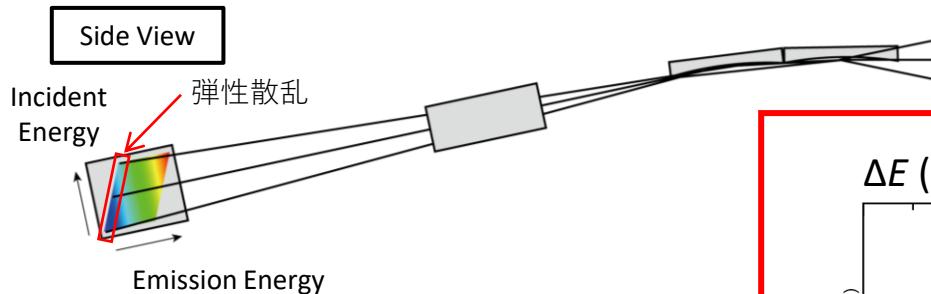
- ビームライン・RIXS分光器共に動作確認終了
- 超高分解能（溜め込み実験）には長時間安定性などが課題。整備を継続して現実的な高分解能実験を共用利用する



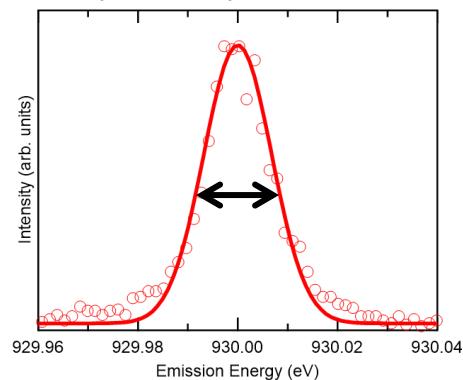
QST BL02U担当者
宮脇 淳

RIXS分光器エネルギー分解能（ビームライン含む）

2024.7.10 $E/\Delta E > 50,000$ 達成 (930 eV, 多層膜弹性散乱)

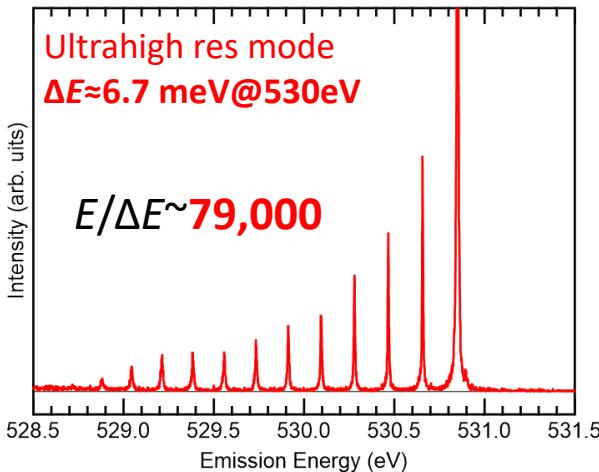
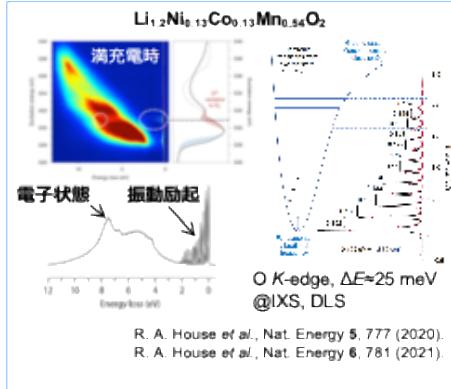


ΔE (FWHM) ~ 16.1 meV



@930 eV $E/\Delta E \sim 58,000$

Cu L端での
世界最高分解能を達成
(プレスリリース)



世界最高分解能のRIXS測定が可能

課題。整備を継続して

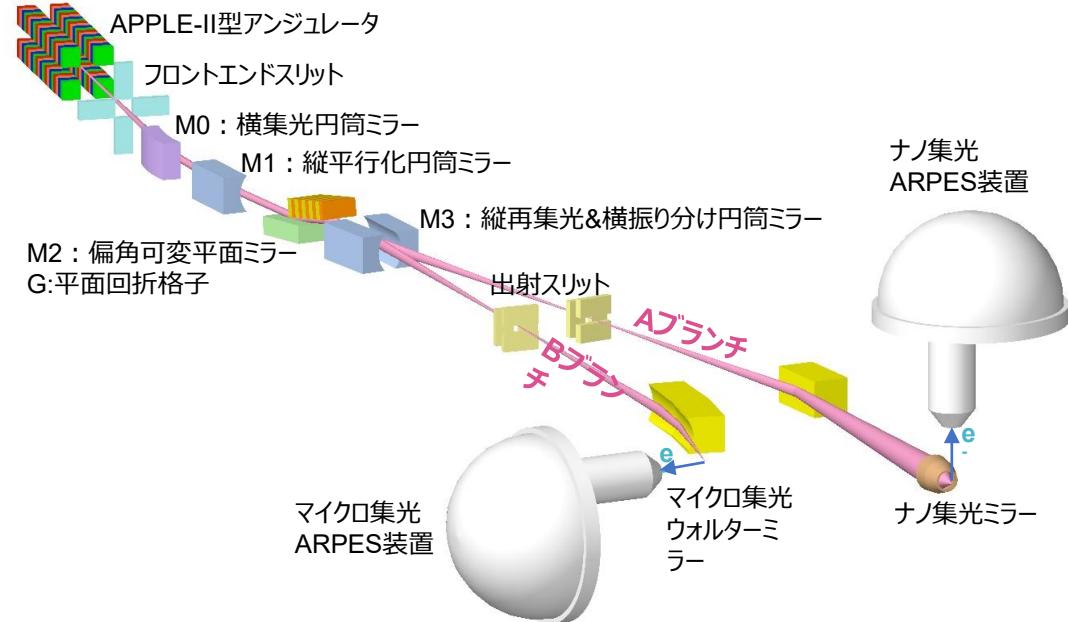
物質中の電子のスピン情報まで分解したバンド構造をナノスケールの空間分解能で探る

▶ ビームラインの特徴

BL06Uでは、超精密加工技術を駆使したミラー集光光学系により、これまでにない高フックスの軟X線ナノビームを供給し、100 nm以下の空間分解能でのスピン・角度分解光電子分光 (SR-ARPES) を実現する。これにより物質中のナノ領域に現れる電子状態をエネルギー・運動量・スピン状態まで分解して直接的に観測することができる。ビームラインは2つのブランチに分かれしており、ナノ集光の先端ARPES実験の他に、より汎用的なマイクロ集光ARPES実験を相補的に利用できる環境を備える。

▶ 諸元

光源	APPLE-II型アンジュレータ 周期長75mm／周期数53／最小 ギャップ値15mm／最大K値7.52
偏光 (エネルギー範囲)	水平・垂直直線、左右円 (50-1000eV)
エネルギー分解能	$E/\Delta E > 50,000 @ 50 \text{ eV}$
試料上フックス	$> 10^{11} \text{ photons/s}$
試料上ビームサイズ	Aブランチ: $< \square 100 \text{ nm}$ Bブランチ: $< \square 1 \mu\text{m}$
ARPES分析器 エネルギー分解能	1.5 meV
ARPES分析器 取り込み角度	$\pm 30^\circ$

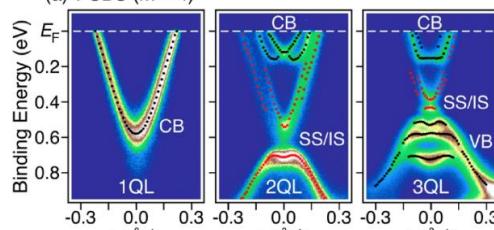




▶ 利活用上の特長

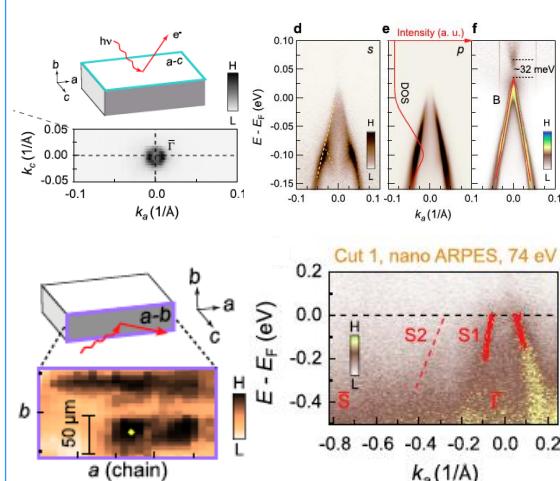
100 nm以下の空間分解能で、物質中のナノ領域に現れる電子状態をエネルギー・運動量・スピン状態まで分解して直接的に観測することができる。均一な単結晶表面を得ることが困難な物質においても局所的な清浄表面を選別して本質的な電子状態を得ることができる。また電子相分離やトポロジカルエッジ状態などの空間依存性が本質的な物理現象にもアクセスすることが可能となる。さらにナノデバイス構造のオペランド計測により動作中の電子状態変化を直接観測することが可能であり、基礎物理のみならず産業応用にも寄与することが期待される。

結晶表面の不均一な電子状態の空間分



単結晶劈開面に偶発的に分布した原子層数依存性
K. Nakayama *et al.*, *Nano Lett.* **19**, 3737 (2019).

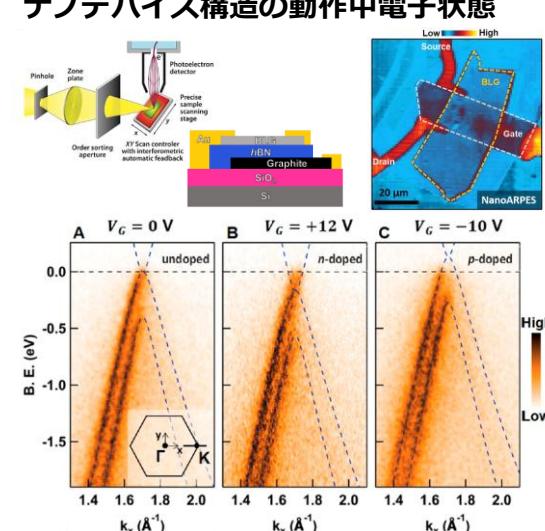
局所的に現れる特異な電子状態の実証



弱いトポロジカル絶縁体 ZrTe_5 の側面電子状態 P. Zhang *et al.*, Nat. Commun. **12**, 406 (2021).

▶ 得られる情報

1. 固体のスピン分解したバンド構造
 2. 不均一な電子状態の空間分布
 3. 結晶の局所的に現れる特異な電子状態の実証
 4. ナノ結晶・構造体やナノデバイス構造の電子状態



2層グラフェンデバイスの電圧印加下測定
F. Joucken et al., Nano Lett. 19, 2682 (2019).



BL06U 立ち上げ状況

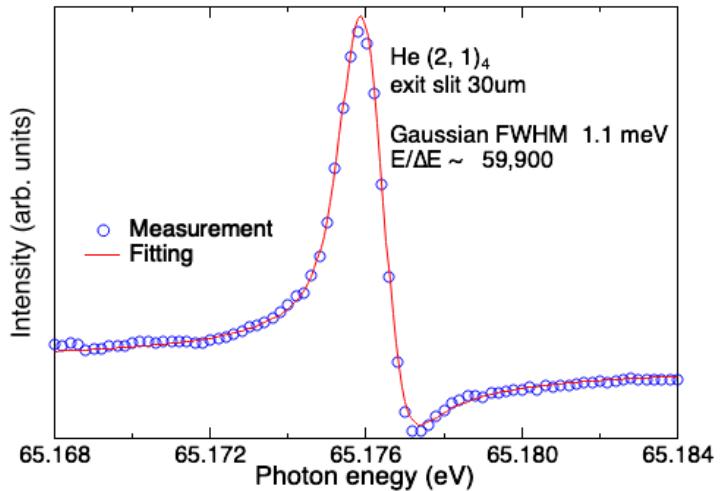


NanoTerasu

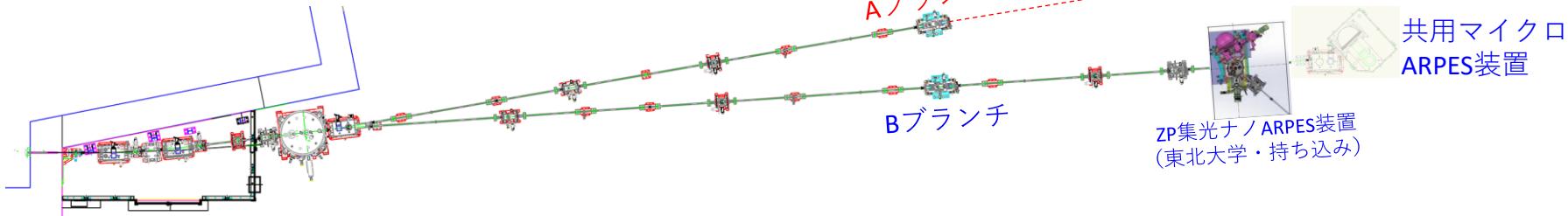
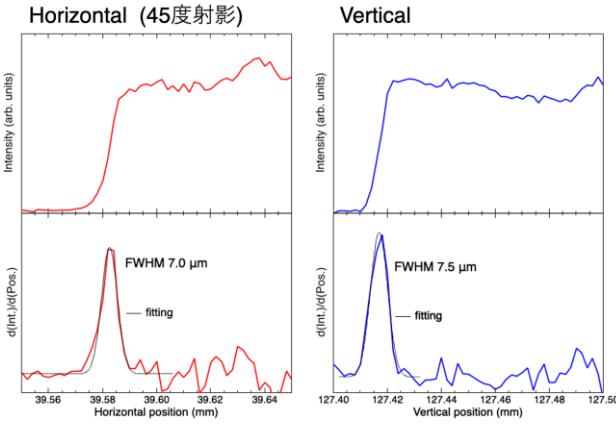


QST BL06U担当者
北村 未歩

ビームラインエネルギー分解能
 $E/\Delta E \sim 60,000$ (65eV, ヘリウム)



試料上でのスポットサイズ
 $5 \mu\text{m}(\text{H}) \times 7.5 \mu\text{m}(\text{V})$



- ・ B ブランチのマイクロARPES装置を共用装置として整備
- ・ 共用装置のスピinn分解検出器およびA ブランチのナノARPES装置は来年度整備
- ・ エネルギー分解能は通常運用では3meV程度を想定
- ・ 10μm程度のスポットサイズで実験が可能



BL06U 立ち上げ状況

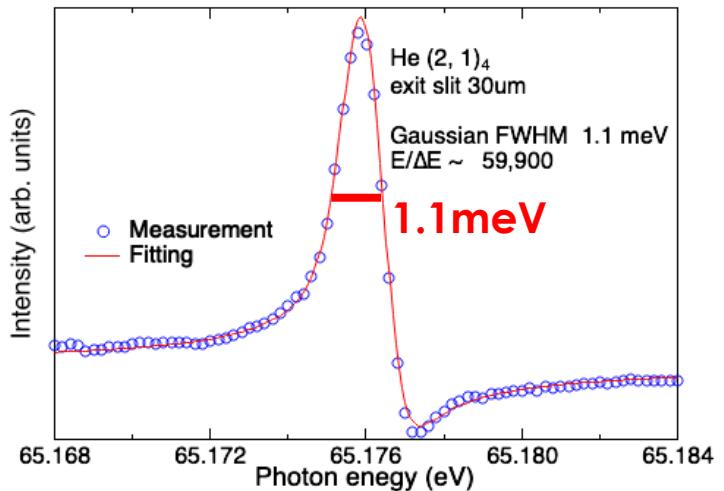


NanoTerasu

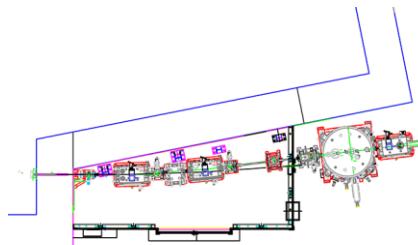
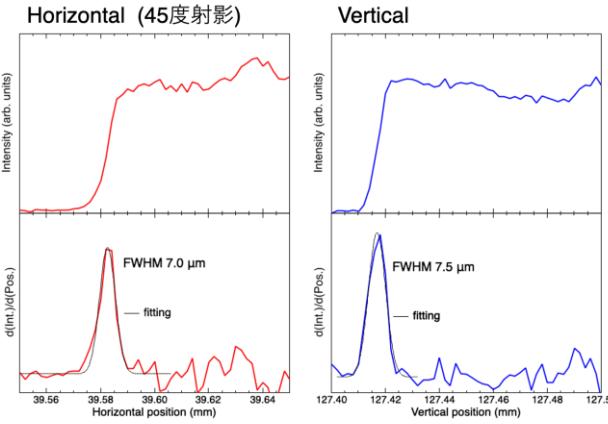


QST BL06U担当者
北村 未歩

ビームラインエネルギー分解能
 $E/\Delta E \sim 60,000$ (65eV, ヘリウム)

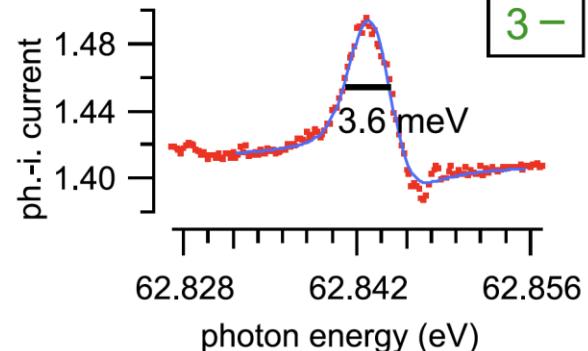


試料上でのスポットサイズ
 $5 \mu\text{m(H)} \times 7.5 \mu\text{m(V)}$



- Bブラ
- 共用
- 工能
- 10μm

Diamond I05
(M. Hoesch et al., RSI (2017).)



装置として整備
グランチのナノARPES装置は後年整備
程度を想定
可能

共用ナノARPES装置

共用マイクロ
ARPES装置

ZP集光ナノARPES装置
(東北大学・持ち込み)

電荷・スピンを同時利用する機能性材料の動作原理をナノメートル単位の空間分解能で探る

▶ ビームラインの特徴

BL13Uでは、多様な偏光を生成・制御できるAPPLE-II型分割アンジュレータを用い、軟X線吸収分光法に基づくX線磁気円二色性(XMCD)等の顕微・ダイナミクス計測を行うことができる。これにより、磁性・スピントロニクス材料・デバイス等の先端材料における「スピン」をキーワードとした基礎学理の解明と研究開発の促進に供することが本ビームラインの目的である。

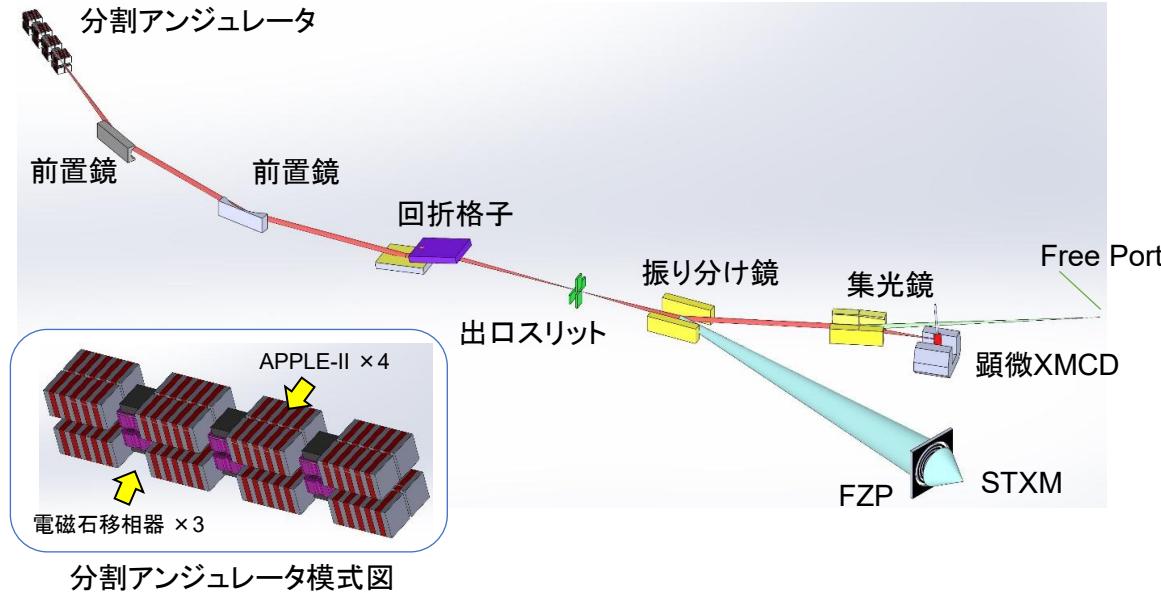
必要な集光サイズやフラックス、試料環境（磁場・電場・温度等）に応じた複数の試料ステーションを使い分けることにより、測定目的に最適化したハイスループット計測環境を提供する。

▶ 実験技術

1. 軟X線磁気円二色性 (XMCD)
2. 軟X線磁気線二色性 (XMLD)
3. 走査型透過X線顕微鏡 (STXM)

▶ 諸元

光源	APPLE-II型分割アンジュレータ 周期長56mm／周期数11×4／最小ギャップ値15mm／最大K値4.62
偏光 (エネルギー範囲)	水平直線 (180-3000 eV) 垂直直線 (260-3000 eV) 左右円 (180-3000eV)
エネルギー分解能	$E/\Delta E > 10,000$
試料上フラックス	> 10^{13} phs/s/0.01%BW (集光鏡) > 10^{10} phs/s/0.01%BW (FZP)
試料上ビームサイズ	< 20 μm (H) × 1 μm (V) (集光鏡) < 20 nm (H) × 20 nm (V) (FZP)
偏光切り替え	DC~10 Hz程度 (左右円切替・直線電場方向360°回転)

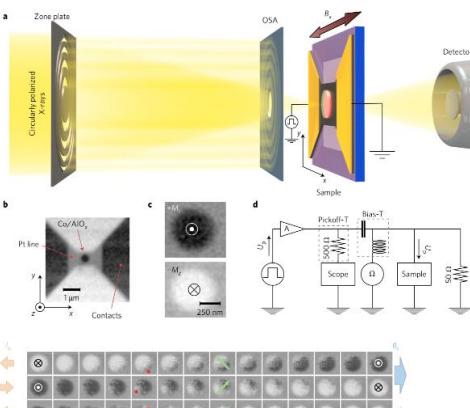




▶ 利活用上の特長

多様な偏光を生成・制御できるAPPLE-II型分割アンジュレータと新型蓄積リングの低エネルギー電子ビームの特長を活かした顕微磁気分光測定を行う。フレネルゾーンプレート(FZP)を用いたSTXMステーションでは10 nmオーダーの顕微集光により単一素子・単一磁区内の磁気構造の観測を行う。より光子数を要するダイナミクス測定等においては、高フランクスを供給可能な集光鏡によるマイクロ集光ステーションを利用できる。いずれの場合も分割光源による放射光の時間構造を利用したロックイン検出により、DC検出よりも低ノイズ・短時間測定が可能である。

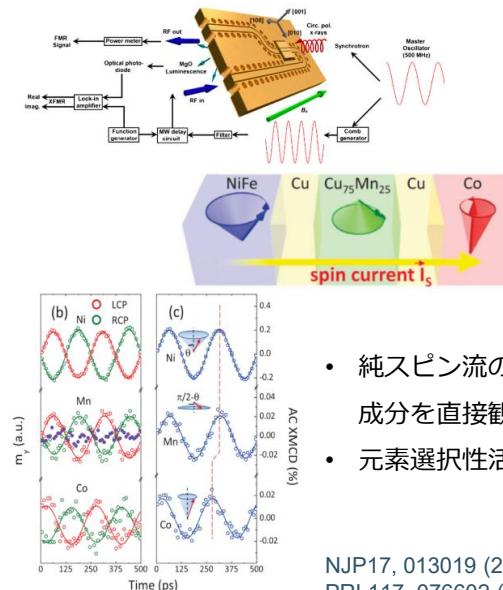
単一ドットの磁気構造観察 & 操作



電磁パルス印可による量子ドットの磁気構造変化をその場・顕微観察

M. Baumgartner *et al.* Nat. Nanotech. 12, 980 (2017)

スピントル流ダイナミクスの観測(XFMR)



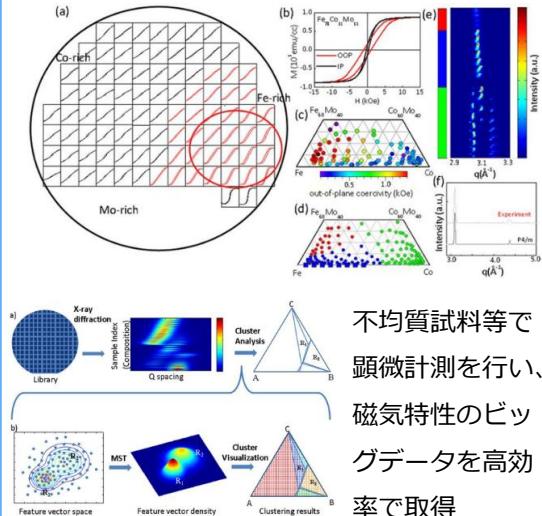
- 純スピントルのAC成分を直接観測
- 元素選択性活用

NJP17, 013019 (2015),
PRL117, 076602 (2016).

▶ 得られる情報

- 試料構成元素・原子軌道毎の磁性（スピントル偏極）、配向、対称性、価数分布
- 磁場・電場下での磁気構造ダイナミクス
- 1素子 ($< 1 \mu\text{m}$)・1磁区 ($< 100 \text{ nm}$) 内部の微細磁気構造

ハイスループット顕微磁気計測



不均質試料等で顕微計測を行い、磁気特性のビッグデータを高効率で取得

Sci. Rep. 4, 6367 (2014).



BL13U 立ち上げ状況

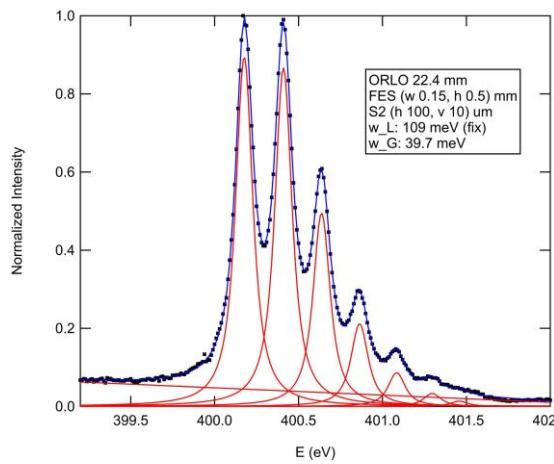


NanoTerasu



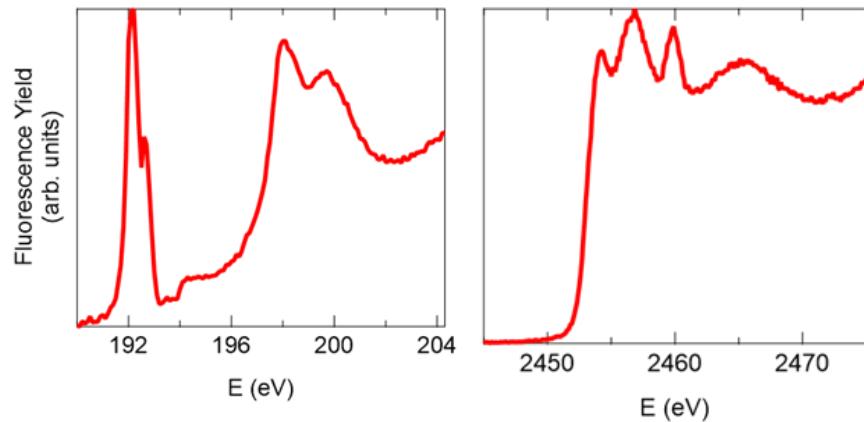
QST BL13U担当者
大坪 嘉之

ビームラインエネルギー分解能
4/12 $E/\Delta E > 10,000$ 達成
(400eV, 窒素)

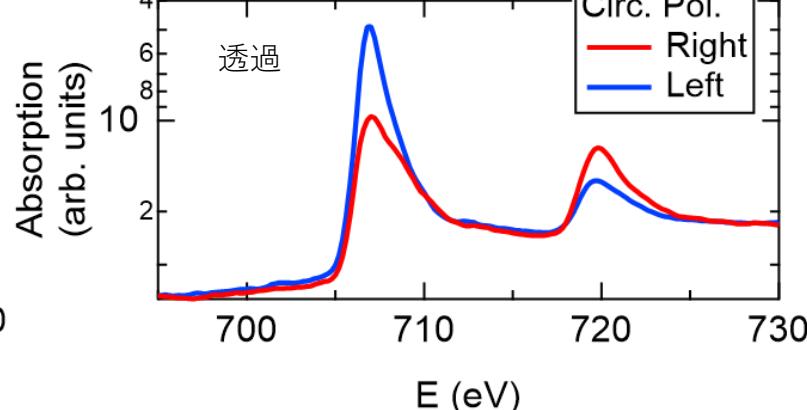
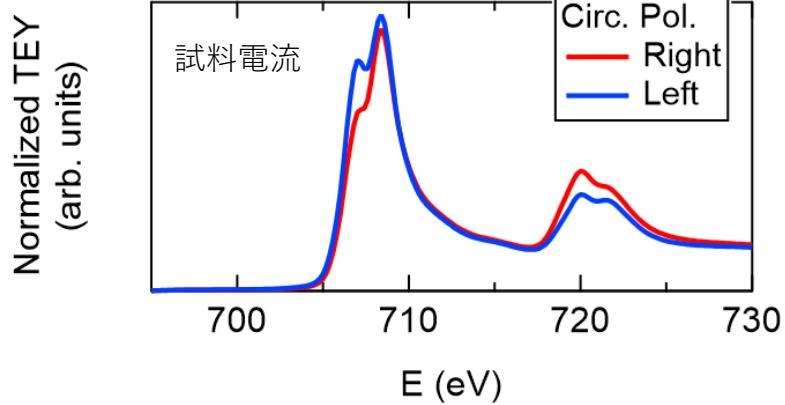


広エネルギー帯利用の確認

軟X線～テンダーX線吸収スペクトル
硼素(~190 eV) 硫黄(~2,500 eV)

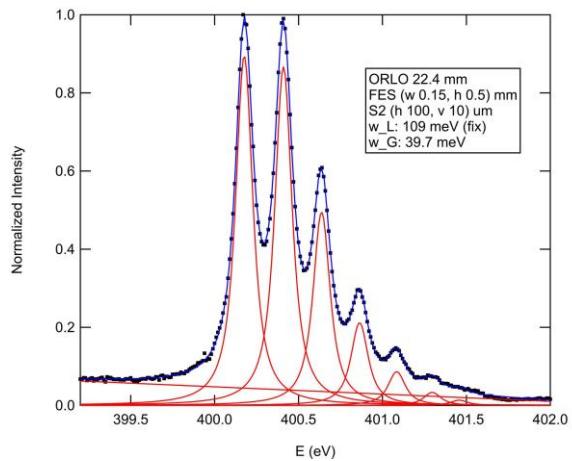


XMCDスペクトル：表面敏感（試料電流）とバルク敏感（透過XEOL）の同時計測



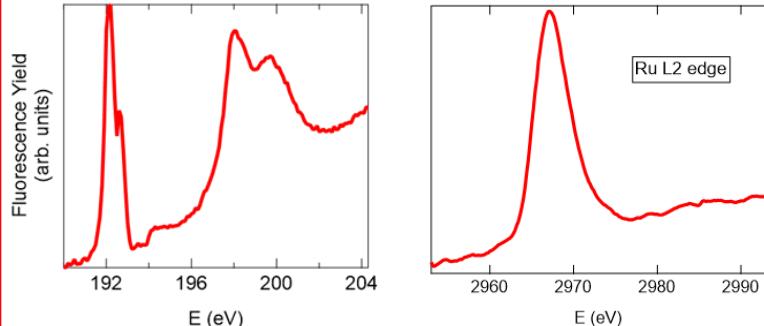


ビームラインエネルギー分解能
4/12 $E/\Delta E > 10,000$ 達成
(400eV, 窒素)



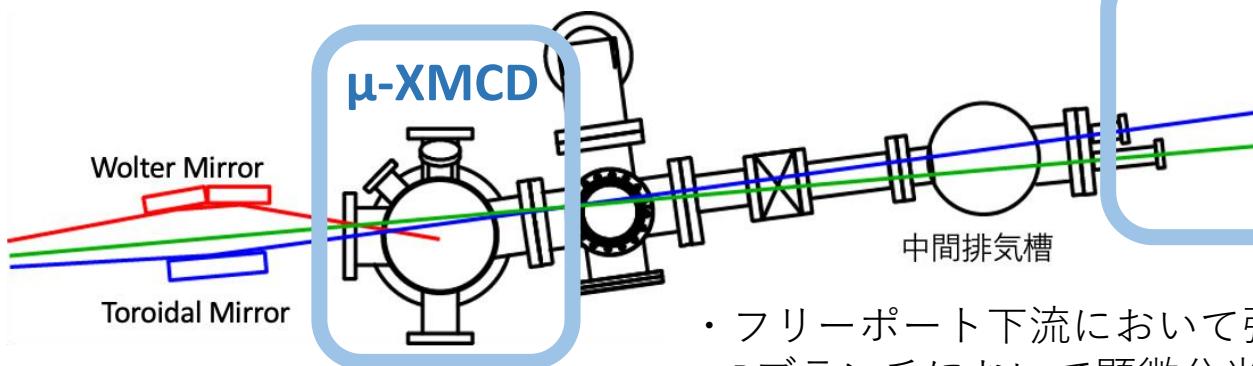
広エネルギー帯利用

軟X線～テンダーX線吸収スペクトル
ホウ素(～190 eV) ルテニウム(～3,000 eV)

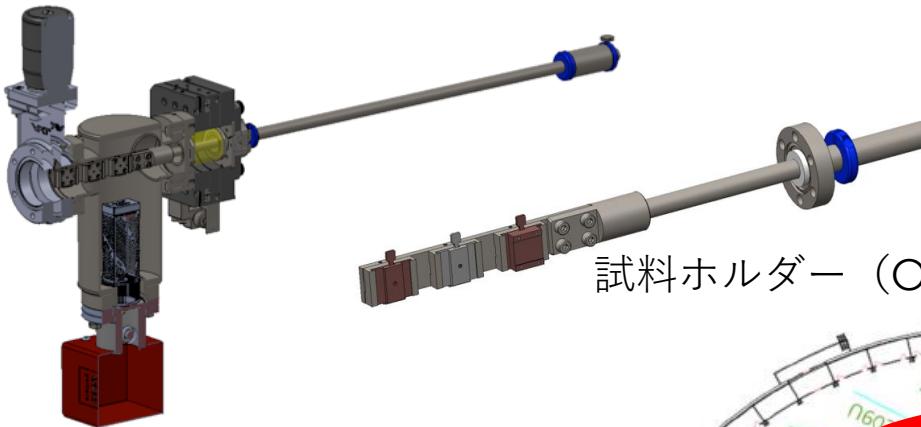


QST BL13U担当者
大坪 嘉之

- μ -XMCD : Wolter Mirror によるマイクロ集光
- フリーポート : 集光 (数十 μ m程度) or 非集光 (3mm程度)
持ち込み装置による実験



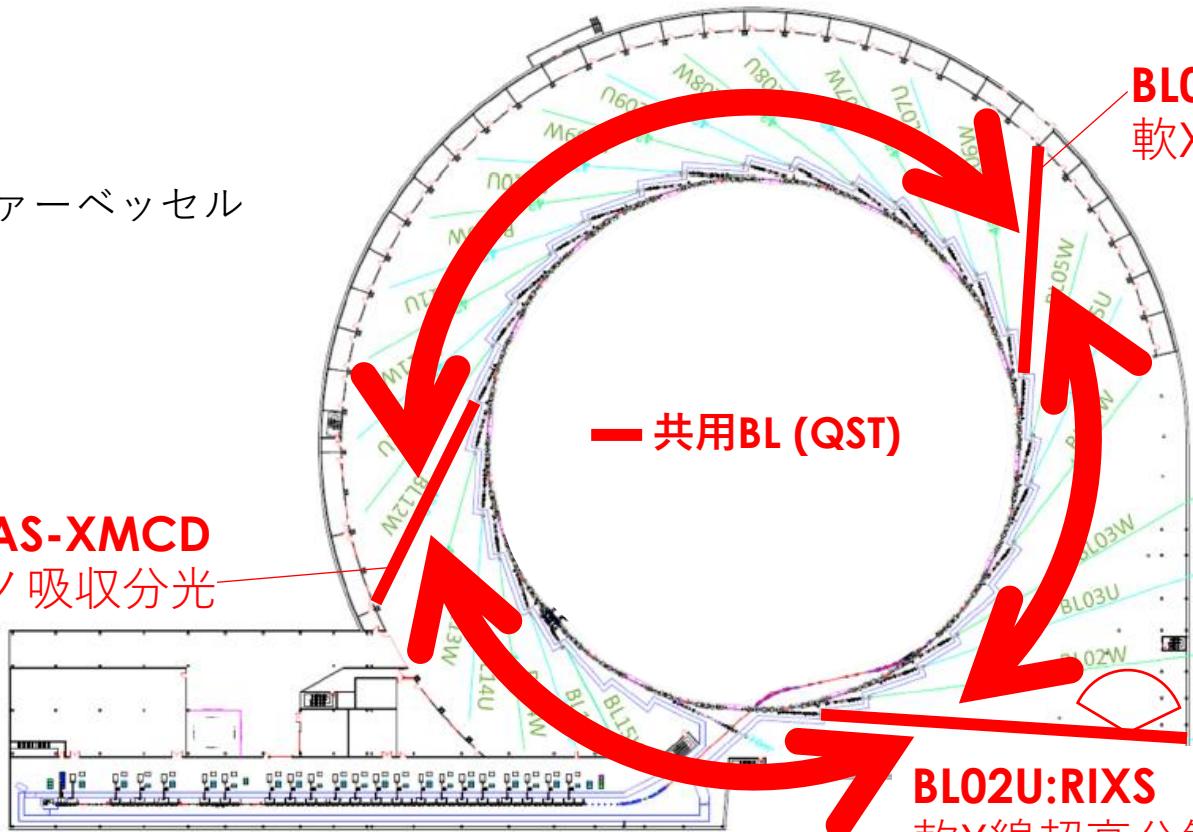
- フリーポート下流において強磁場装置を開発中
- Bブランチにおいて顕微分光装置を開発中



真空搬送
トランスファーべッセル

試料ホルダー (Omicron Flag type)

真空環境下で各ビームラインへ
輸送・複合測定



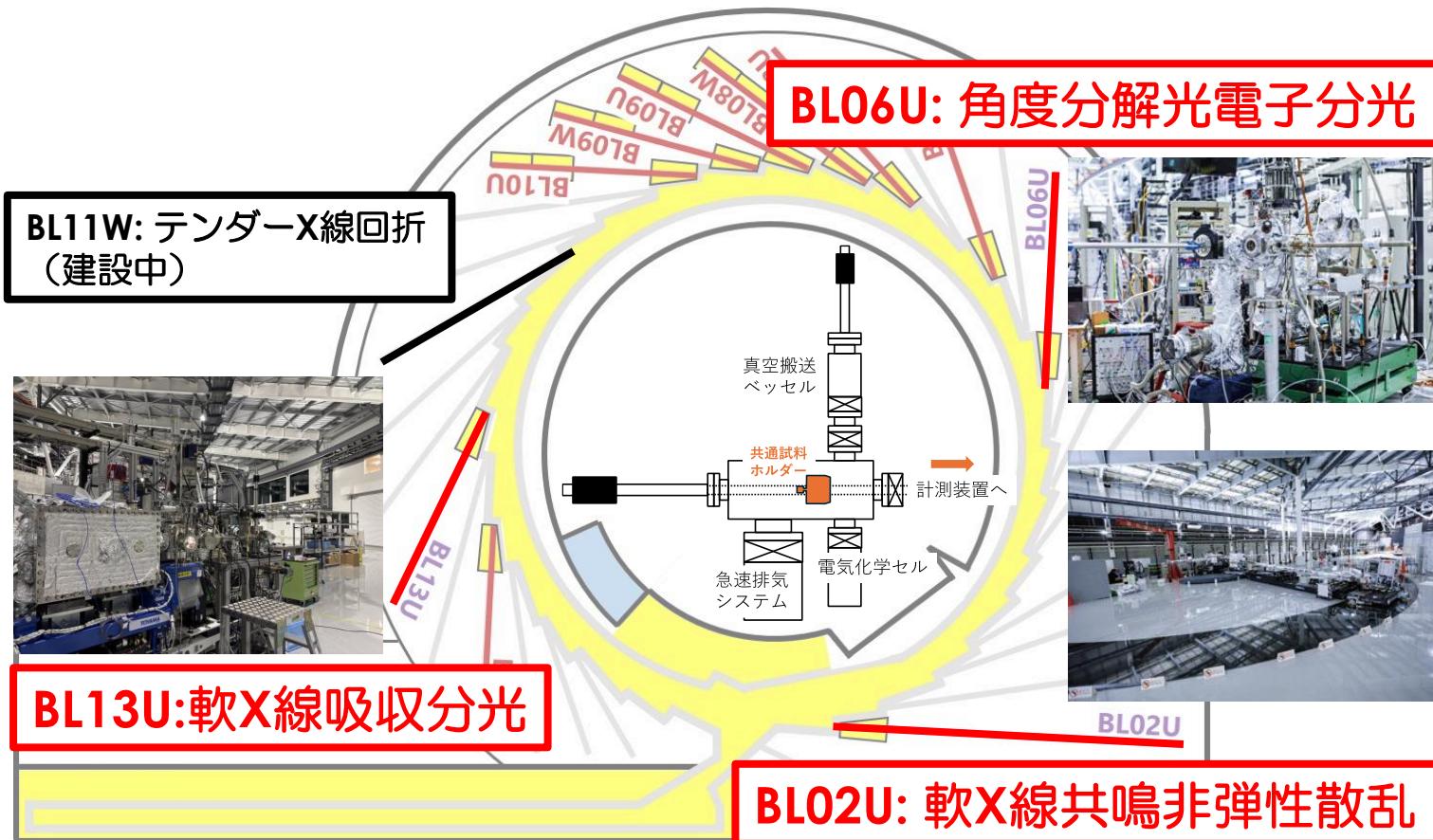
BL13U:XAS-XMCD
軟X線ナノ吸収分光

BL06U:ARPES
軟X線ナノ光電子分光

BL02U:RIXS
軟X線超高分解能共鳴非弾性散乱



- ◆ NanoTerasuにおいて表面・界面近傍の解析や軽元素の解析に有利となる軟X線領域の *insitu* 計測や *operando* 計測などの材料解析技術を開発・高度化し、燃料電池・水電解における様々な課題解決のための材料解析を遂行する。
- ◆ 燃料電池・水分解の主要な構成元素である炭素・酸素・フッ素・硫黄などの軽元素の電子状態を元素選択的に解析
- ◆ 燃料電池動作界面・水分解反応界面の局所的な変化を選択的に捉える

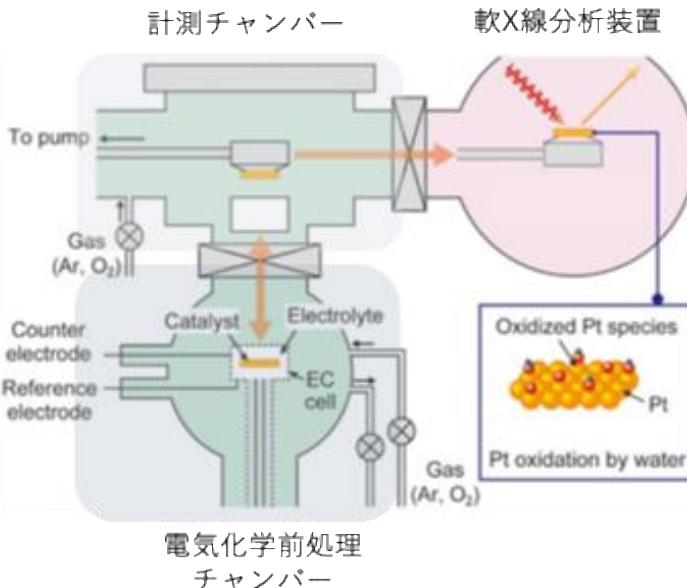




新しいビームライン・実験装置・手法の開発と整備を行い、
共用ユーザー実験の高度化に繋げる



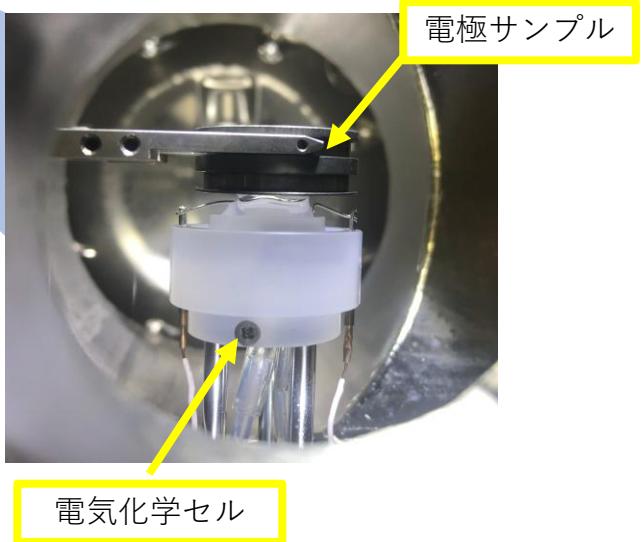
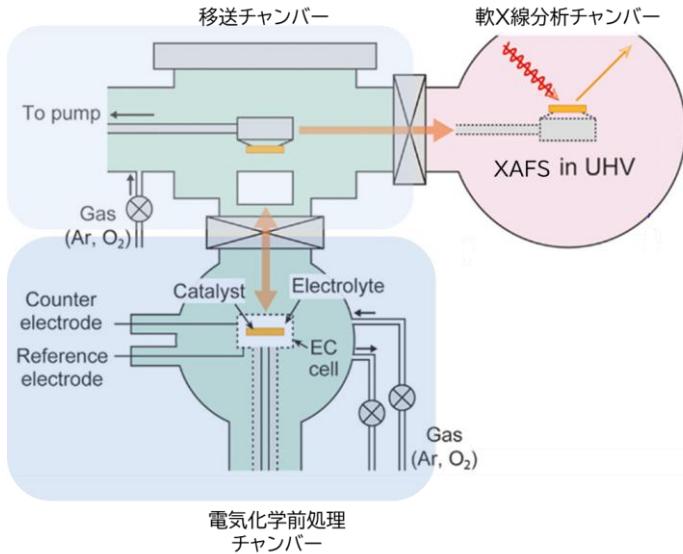
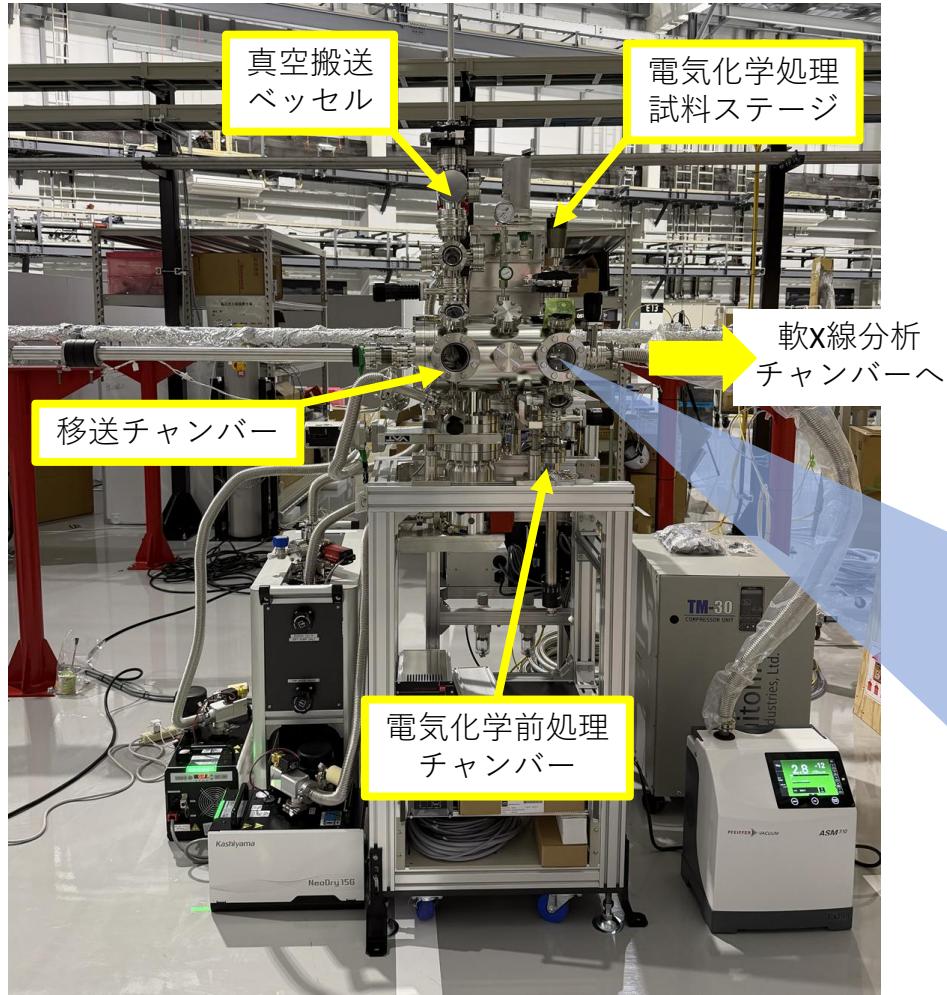
NEDOプロジェクトの課題解決のために必要な
実験装置や計測手法を開発し提供すること



- ◆ 昨年度FC-Cubicの再委託により、電気化学処理試料のin situ軟X線計測チャンバーを製作
- ◆ 真空搬送ベッセルを用いて各測定装置へ輸送可能

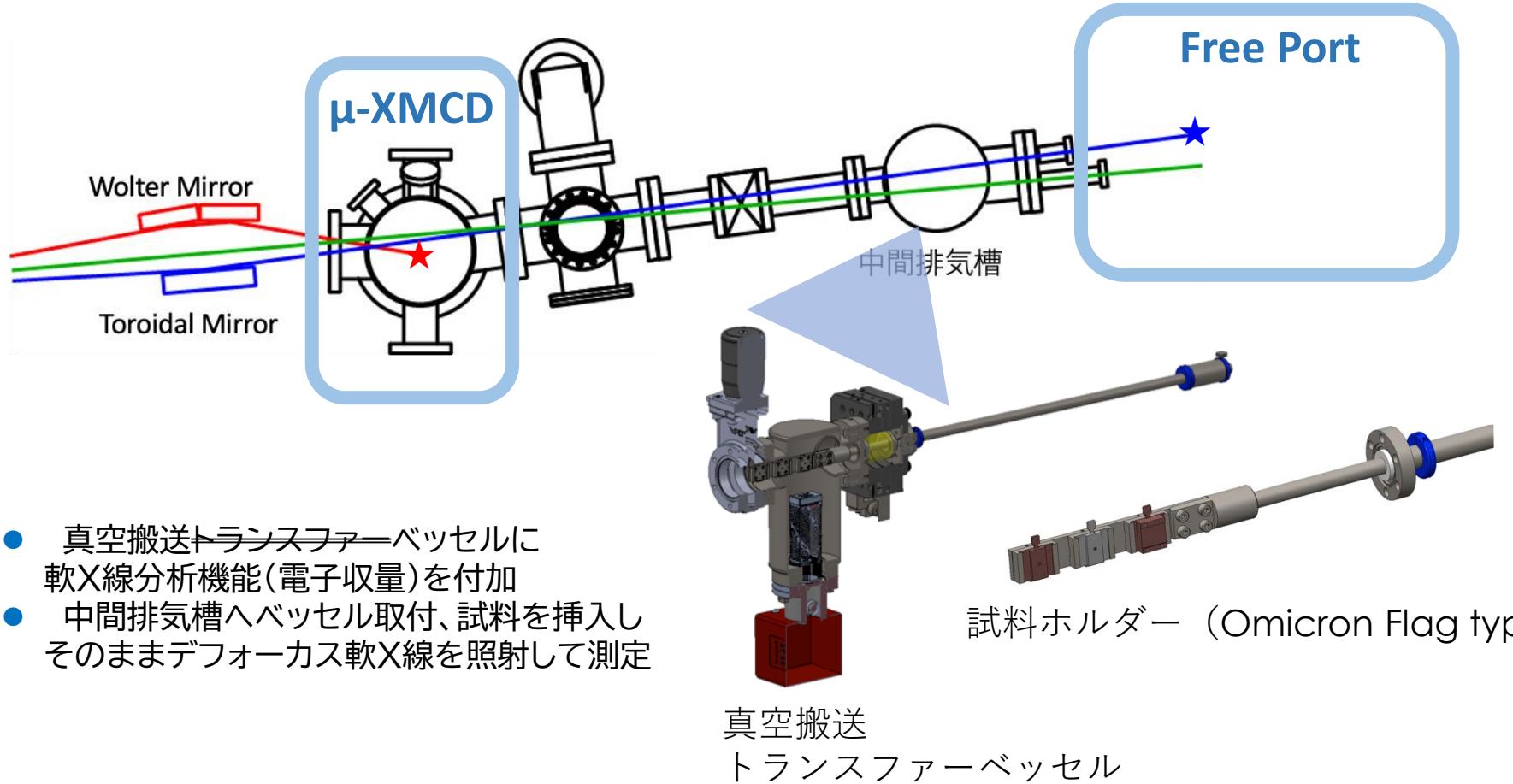


多目的チャンバーの立ち上げ@NanoTerasu





試料損傷低減のためのデフォーカス測定系の構築@BL13U



- 真空搬送トランスファーべッセルに
軟X線分析機能(電子収量)を付加
- 中間排気槽へベッセル取付、試料を挿入し
そのままデフォーカス軟X線を照射して測定



共用ビームライン増設の検討

NanoTerasu



		フェーズ I 2019-2023	フェーズ II 2024-2027	フェーズ III 2028-2030	フェーズ IV 2031-
整備期 共用BL (グループ1)	<ul style="list-style-type: none"> 国内における高輝度軟X線利用研究の空白状態の解消 軟X線分光の主要測定手法をカバー 	建設・整備	高度化		
高ユーザー ニーズ共用BL (グループ2)	<ul style="list-style-type: none"> 全ての研究者への利用機会、需要に応える測定基盤の提供 半導体・デジタルなど国の戦略分野における先端シーズ開拓に早期着手 		早期に実現が求められる計画 検討 建設・整備		
応用拡大 共用BL (グループ3)	<ul style="list-style-type: none"> 拡大する応用範囲への対応 フェーズ II の実施状況を見つつ、フェーズで対応するべき応用範囲を見極める 		状況に応じ随時計画を見直し フィジビリティスタディ	建設・整備	
先端利用 共用BL (グループ4)	<ul style="list-style-type: none"> 技術開発を要する先端的放射光利用 マルチモーダル測定 		既存BLにおける技術開発	建設・整備	
R&D BL	<ul style="list-style-type: none"> 新しい放射光利用の地平を拓く フェーズ II ~ IIIにおいて、必要な研究開発に着手する 		研究開発	建設・整備	共用化



高ユーザーニーズ共用BLラインアップ（案）



NanoTerasu

ポート (例)	分類	光源	エネルギー	エンドステーション	特色・目的	国の戦略分野	ユーザー ニーズ	分野 多様性	Nano Terasu の強み	新規性 開拓	
グループ2 高ニーズ共用BL											
1	12W	XAFS	多極 wiggle	3- 25 keV	(quick) XAFS	テンダーX線領域 全自動DX 自動試料交換	グリーンイノベーション マテリアル 量子技術 半導体・デジタル産業 バイオ・健康医療	◎	◎		
2	13W	X線回折	多極 wiggle	3-25 keV	X線回折・散乱	テンダーX線領域における共鳴 X線回折 全自動DX 自動試料交換	グリーンイノベーション マテリアル 量子技術 半導体・デジタル産業 バイオ・健康医療	◎	◎		
3	11W	イメージング	多極 wiggle	3-25 keV	X線CT（単色、準単色）、 位相差イメージング	階層イメージング テンダーX線領域における吸収 端コントラスト利用	グリーンイノベーション マテリアル 量子技術 半導体・デジタル産業 バイオ・健康医療	○	◎		
4	12U	イメージング	APPLE-II アンジュレータ	250 -3000 eV	A: SXイメージング B: 共鳴軟X線散乱	軟X線コヒーレント回折イメージ ング、タイコグラフィ、 高分子材料・ポリマー小角散 乱、ホログラフィー、共鳴磁気 回折	グリーンイノベーション マテリアル 量子技術 半導体・デジタル産業 バイオ・健康医療	○	○	◎	○
5	05W	X線分光	多極 wiggle	3- 13 keV	HAXPES	テンダーX線領域 全自動DX	グリーンイノベーション マテリアル 量子技術 半導体・デジタル産業 バイオ・健康医療	○	◎		



NanoTerasuの共用ビームライン増設

令和6年度補正予算 8億円



現状・課題

- 官民地域パートナーシップにより整備され、令和6年度から運用を開始した3GeV高輝度放射光施設 NanoTerasu(ナノテラス)の持つ価値を最大化し、共用促進法に基づき多様なイノベーションの創出に貢献するためには、広範な分野における産学官の多様な研究者等に利用されることが必要である。
- NanoTerasuのビームラインの増設を進め、世界最高水準の軟X線向け放射光施設の性能を最大限生かした魅力的なイノベーション拠点とし、投資促進強化に貢献する。



事業内容

- NanoTerasuから生み出される成果を最大化するため、特にユーザーニーズの高い共用ビームラインの整備に着手する。

● 共用ビームラインの増設 8億円

世界最高水準の軟X線向け放射光施設の恩恵を最大限に享受するため、燃料電池の開発をはじめとした汎用的かつ広範な研究分野に対応可能な、特にユーザーニーズの高いビームラインの整備に着手する。

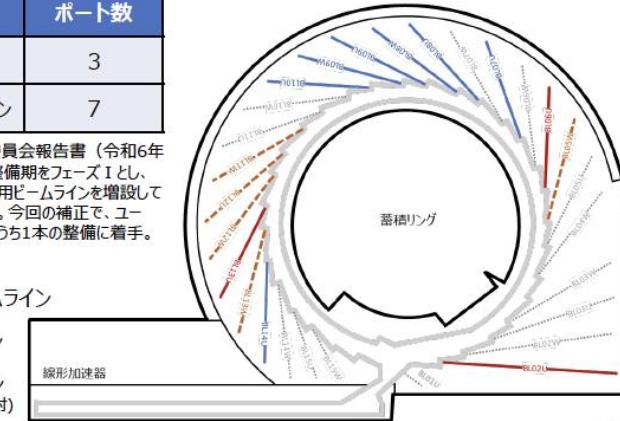
事業実施期間	令和6年度～令和8年度
交付先	(国研) 量子科学技術研究開発機構
増設するビームラインで想定される成果 (燃料電池・リチウムイオン電池の例)	
【これまでの課題】 既存の電池の研究が主で、新しい物質を多数探索することはできない。 	
【ビームラインの増設で可能になること】 高速解析により新しい電解質の広範な探索が可能となり、低消費電力の電池開発に貢献。 	

NanoTerasuの現在のビームライン本数

ビームライン	ポート数
フェーズ I * 整備	3
コアリション	7

* : 量子ビーム利用推進小委員会報告書（令和6年5月）にて、NanoTerasu整備期をフェーズ I とし、フェーズ II～IVと段階的に共用ビームラインを増設していくことが望ましいとされている。今回の補正で、ユーザーニーズの高いフェーズ II のうち1本の整備に着手。

- コアリションビームライン
- 共用ビームライン
- 共用ビームライン
(フェーズ II にて増設検討)





増設共用ビームライン：X線回折ビームライン



NanoTerasu

BL11W:
X線回折ビームライン

BL08W:
X線構造・電子状態トータル解析
XAES, SAX

BL09U:
X線オペランド分光
HAXPES

BL09W:
X線階層的構造解析
白色CT

BL10U:
X線コヒーレント
イメージング
CDI, タイコグラフィ

BL13U:
軟X線ナノ吸収分光

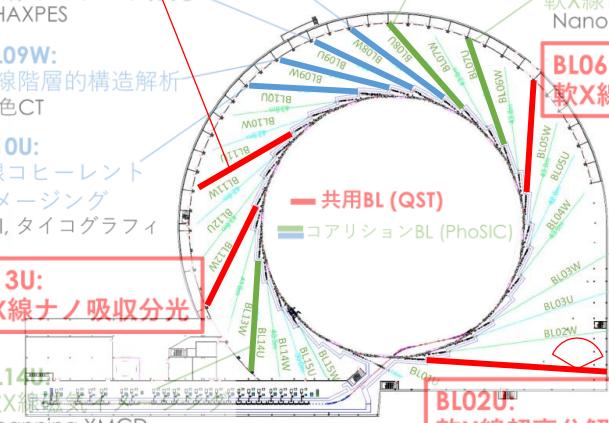
BL14U:
軟X線回折
Scanning XMCD

BL08U:
軟X線オペランド分光
Ambient XPS (ISSP)

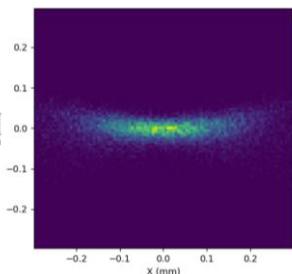
BL07U:
軟X線電子状態解析
NanoESCA, RIXS (ISSP)

BL06U:
軟X線ナノ光電子分光

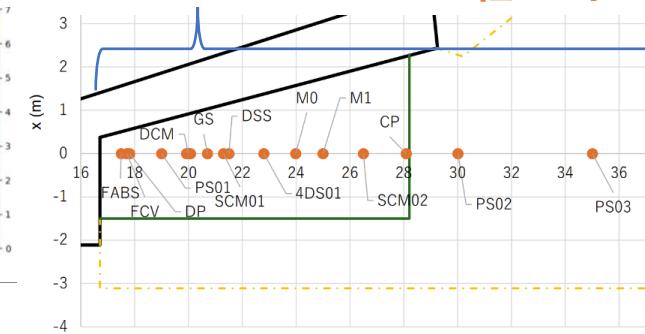
BL02U:
軟X線超高分解能共鳴非弾性散乱



低エネルギー・テンダーX線に
最適化された光学系設計



集光スポットの
シミュレーション



低エネルギー・テンダーX線を積極利用するES計画

真空対応
TX回折装置

HX回折装置

小角散乱装置

担当：山本航平 (QST)

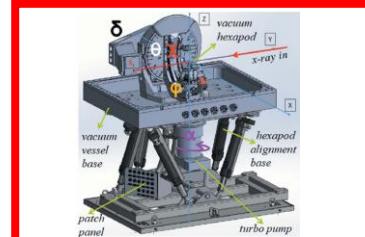


ビームライン仕様 (検討中)

設置場所：BL11W

光源：多極ウィグラー

エネルギー範囲：2.1 – 20 keV



G. Ciatto et al. J. Synchrotron Rad. (2019). 26, 1374



神津精機カタログ



O. Shih et al. J. Appl. Cryst. (2022). 55, 34





3GeV高輝度放射光施設(NanoTerasu)の機能強化 ～共用ビームラインの増設～

令和7年度補正予算額（案）

27億円



現状・課題

- 3GeV高輝度放射光施設NanoTerasuは、共用促進法※に基づく特定先端大型研究施設として、量子科学技術研究開発機構(QST)が整備・運用しており、稼働初年度から非常に高い光源稼働率で、世界最高水準の高輝度軟X線を安定的に供給。
※「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律(平成6年法律第78号)」において、特に重要な大規模研究施設を「特定先端大型研究施設」と位置付け。
- 他方、現状、運用しているビームラインは10本であるが、最大28本整備可能であり、早急に増設を進めることで、
NanoTerasuから創出される成果の最大化を目指す。

事業内容

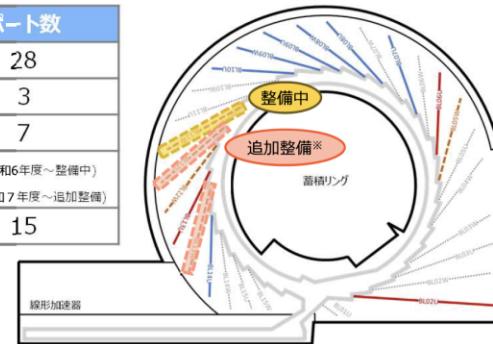
- 放射光施設を基盤とした国際競争が激化している状況等を踏まえ、NanoTerasuの技術的優位性を活かし、日本発の革新的な成果を創出するため、審議会の報告※に基づき、放射光施設の基本的かつ汎用的な用途をもったユーザーニーズの高いビームライン(フェーズII)5本のうち3本の整備を進める。

※フェーズIIでは、高ユーザーニーズという観点から放射光施設の基本的な用途を持ったビームラインを5本整備することが望ましい。
これらのビームラインは既存のSPring-8で利用ニーズが高い測定手法にも対応しており、ユーザーに世界最高水準の研究機会・測定環境を提供することが期待できる。(量子ビーム利用推進小委員会報告書(令和6年))



	フェーズI	フェーズII	フェーズIII	フェーズIV
整備期共用BL(グループ1)	建設・整備	高度化	早期に実現が求められる計画	
高ユーザーニーズ共用BL(グループ2)		建設・整備		
応用拡大共用BL(グループ3)		フィジビリティスタディ	建設・整備	
先端利用共用BL(グループ4)	状況に応じて計画を最適化	既存BLにおける技術開発	建設・整備	
R&D BL		研究開発	建設・整備	共用化

ビームライン	ポート数
総数	28
運用中 (第Iフェーズ)	3
コアリション	7
増設 (第IIフェーズ)	共用 1 (令和6年度～整備中) + 2 (令和7年度～追加整備)
空きポート	15



事業実施期間

令和6年度～令和10年度

交付先

(国研)量子科学技術研究開発機構

期待される成果

- 物質表面の電子状態が解析可能な軟X線領域で世界最高水準の放射光を利用して、物質の機能を高速かつ高精細に可視化でき、広範な分野におけるイノベーション創出に貢献。
- SPring-8の高度化に伴う運転停止期間(令和9年度後半～令和10年度を予定)に、国内で研究開発を継続できる利用環境を提供。

- コアリションビームライン
- 共用ビームライン
- 共用ビームライン(整備中)
- 共用ビームライン(追加整備*)
- 共用ビームライン(フェーズIIで早急な増設が必要なもの)

※今後増設するビームラインの整備ポートは変更される可能性がある。



ポート (例)	分類	光源	エネルギー	エンドステーション	特色・目的	国の戦略分野	ユーザー ニーズ	分野 多様性	Nano Terasu の強み	新規性 開拓
グループ2 高ニーズ共用BL										
1	12W	XAFS	多極 wiggle	3- 25 keV	(quick) XAFS	テンダーX線領域 全自動DX 自動試料交換	建設：2026～2027 2028年度運用開始予定			
2	11W	X線回折	多極 wiggle	2.1-20 keV	X線回折・散乱	テンダーX線領域における共鳴 X線回折 全自動DX 自動試料交換	建設：2025～2026 2027年度運用開始予定			
3	13W	イメージング	多極 wiggle	3-25 keV	X線CT（単色、準単色）、 位相差イメージング	階層イメージング テンダーX線領域における吸収 端コントラスト利用	グリーンイノベーション マテリアル 量子技術 半導体・デジタル産業 バイオ・健康医療	○	◎	
4	12U	イメージング	APPLE-II アンジュレータ	250 -3000 eV	A: SXイメージング B: 共鳴軟X線散乱	軟X線コヒーレント回折イメージ ング、タイコグラフィ、 高分子材料・ポリマー小角散 乱、ホログラフィー、共鳴磁気 回折	建設：2026～2028 2029年度運用開始予定			
5	05W	X線分光	多極 wiggle	3- 13 keV	HAXPES	テンダーX線領域 全自動DX	グリーンイノベーション マテリアル 量子技術 半導体・デジタル産業 バイオ・健康医療	○	◎	



○ QSTが整備する3本の共用ビームライン：

BL02U：軟X線共鳴非弾性散乱（超高エネルギー分解能RIXS）

エンドステーションも含めて世界最高のエネルギー分解能を達成

BL06U：角度分解光電子分光（微小集光ARPES）

目標値を上回るエネルギー分解能を達成。

エンドステーションのマイクロ集光ARPES装置も利用可能

BL13U：軟X線吸収分光（偏光可変XAS・XMCD）

広エネルギー帯域利用、移相器制御による任意偏光生成を達成

○ 共用ビームラインの増設計画：

BL11W：テンダーX線回折・散乱（R6補正予算：2027年度共用開始予定）

BL??W：テンダーX線XAFS（R7補正予算：2028年度共用開始予定）

BL??U：軟X線イメージング（R7補正予算：2029年度共用開始予定）

12/16 R7補正予算成立

各ビームラインにおける実験装置や計測手法の開発と
それらの横断的な利用により、NEDOプロジェクト
燃料電池・水分解における課題解決のための材料解析を遂行する

立ち上げにご尽力頂いたQSTビームライングループメンバー、試験的共用ユーザーの方々、JASRIのビームライン担当の方々に深く感謝します。