

NanoTerasu光源の運転状況と展望

NanoTerasuセンター 高輝度放射光研究開発部
西森 信行

令和7年9月4日 特定放射光施設シンポジウム2025 東北大学青葉山コモンズ2階大講義室

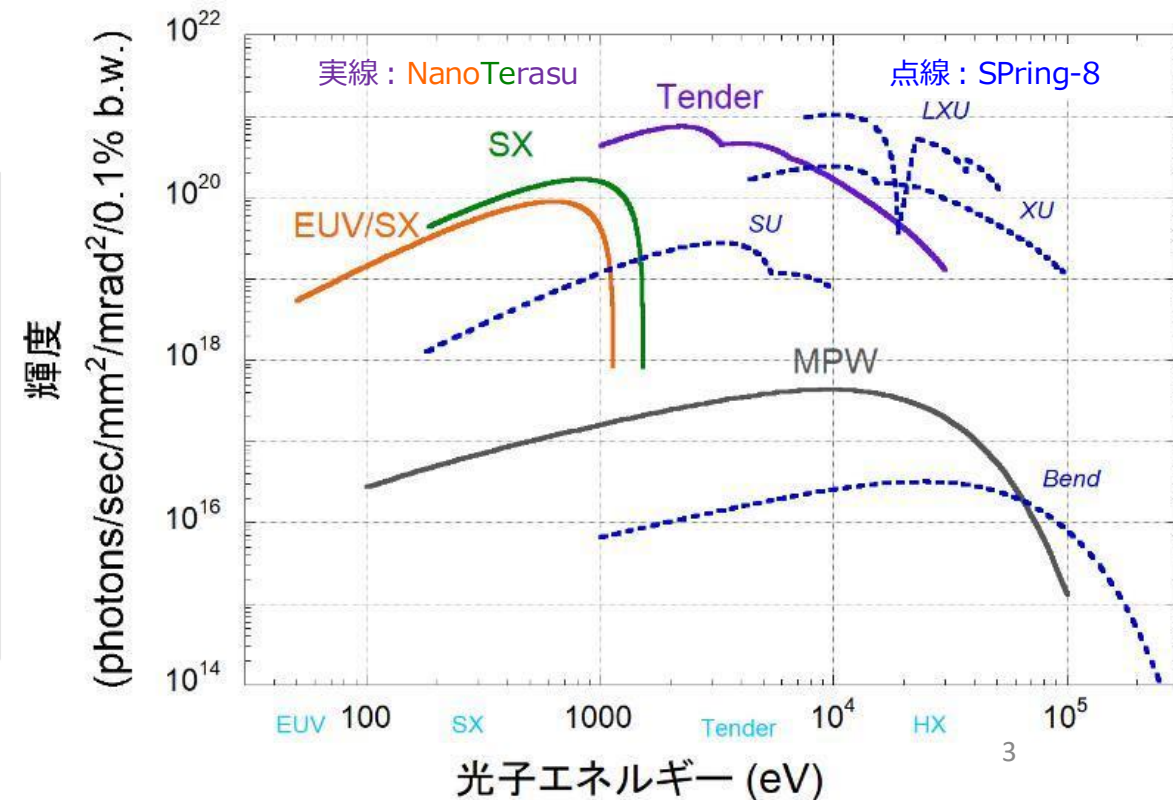
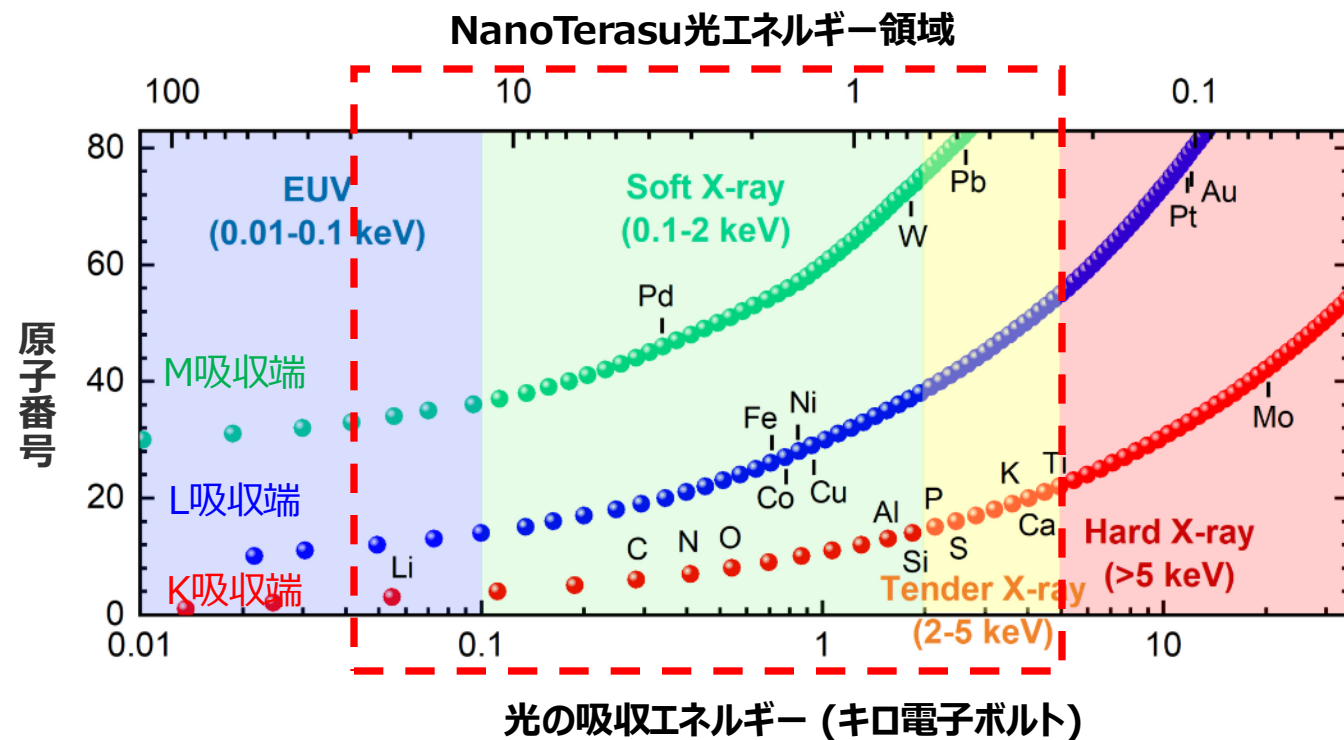
アウトライン

1. NanoTerasuの目的
2. NanoTerasu光源の特徴
3. NanoTerasuユーザー運転 2025年度の様況・予定
4. 蓄積電流400mAへ向けた取組
5. リモート実験へ向けた取組
6. まとめ

1. NanoTerasuの目的/光源性能

- 従来比100倍明るい軟X線を生成し、ナノの世界を鮮明に可視化
⇒生命、材料、エネルギー分野等でブレークスルー（人類社会に貢献）
- SPring-8との協奏で国内の光科学プラットフォーム形成
- 特定先端大型研究施設としてユーザーへ光供給

光源パラメータ	仕様値
電子ビームエネルギー	3 GeV
自然水平エミッタンス	1.14 nm.rad
蓄積電流	400 mA
最大アンジュレータ-/MPW 本数	14/14



2. NanoTerasu光源の特徴

【NanoTerasu光源の特徴】

1. コンパクト：建設・運転経費縮小、安定性向上

	NanoTerasu	既存(MAX IV)
線型加速器全長	110 m	250m
円型加速器周長	349 m	528m

2. 国内初のMBA (Multi Bend Achromat) ラティス

3. 日本独自のコンパクトCバンド線型加速器

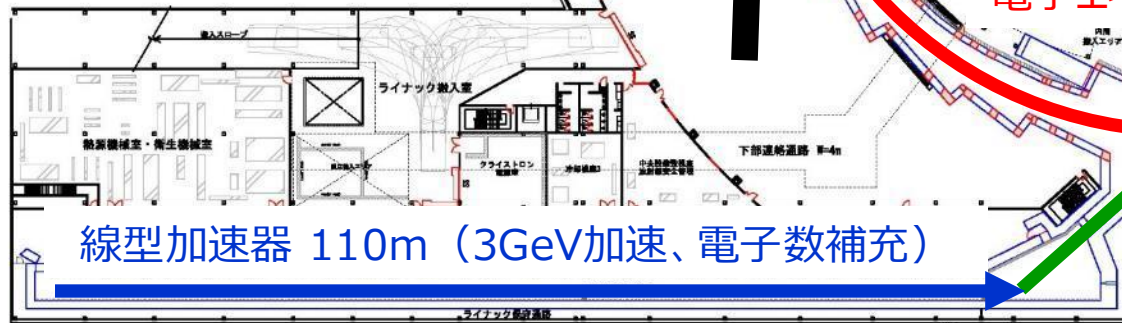
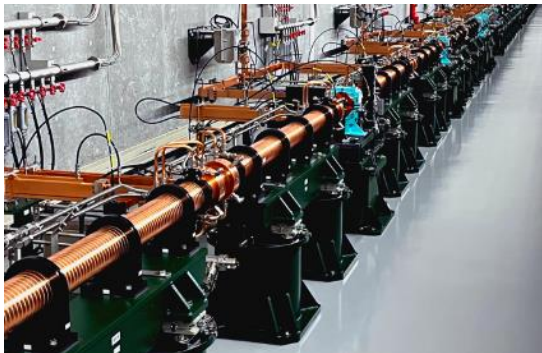
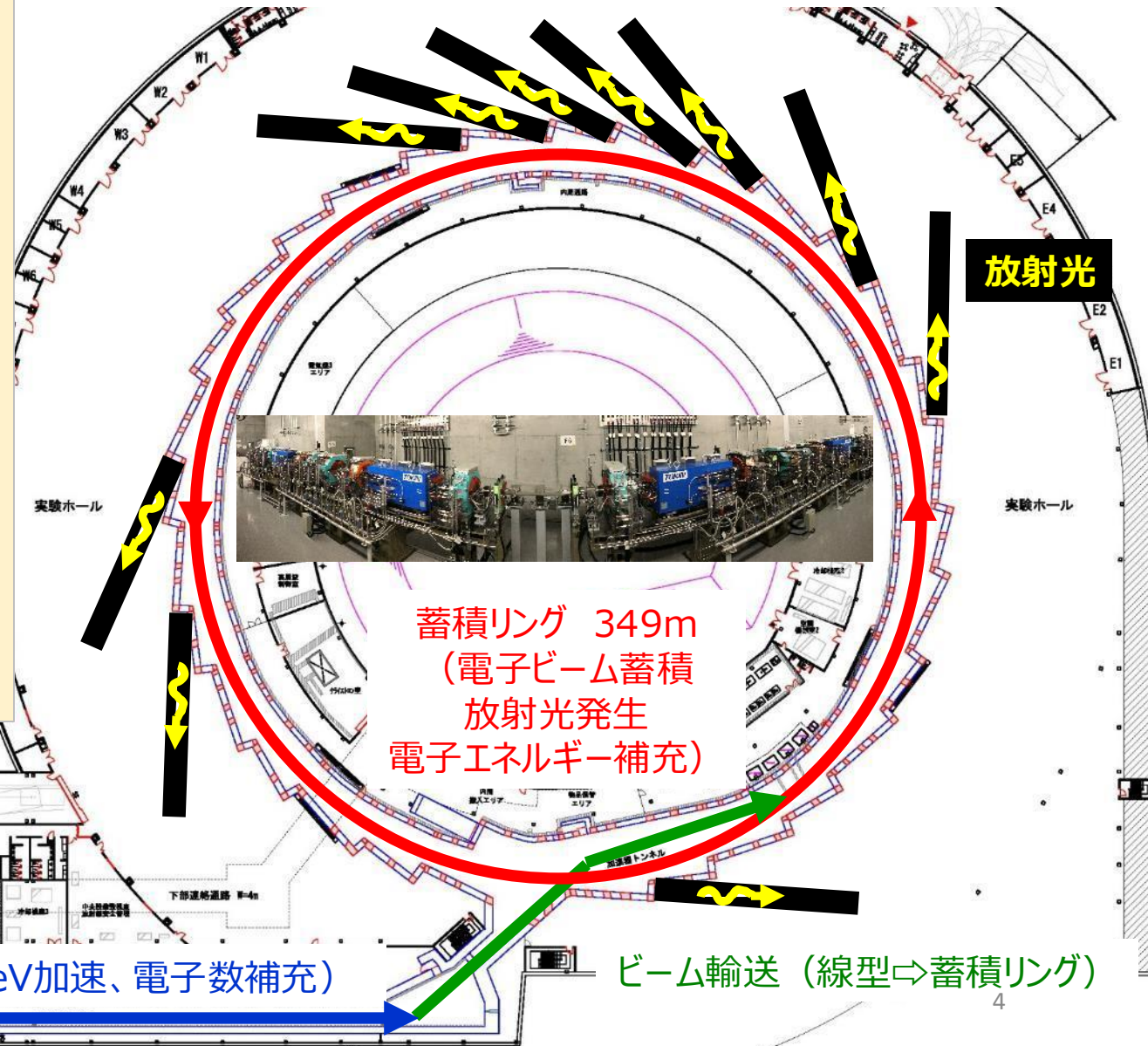
4. 光源の高安定性・信頼性・柔軟性を追求

5. 国内初の実験ホール非管理区域化

【実績】（いずれも予定通り）

1. 整備・コミッショニングを2023年度までに完了

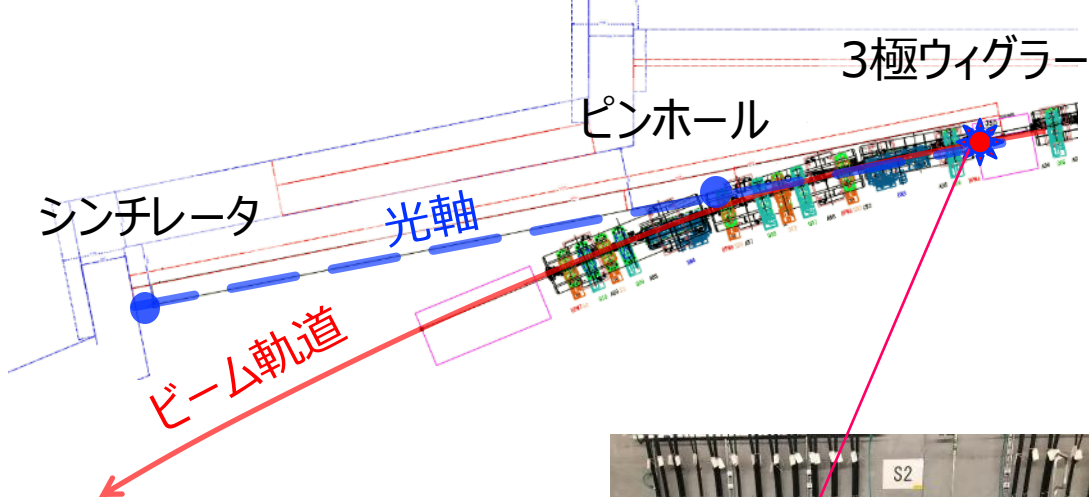
2. 2024.4.1に運転開始



2. 輝度性能

輝度： 単位時間・面積・立体角・エネルギー幅あたりの光量で空間分解能など光源性能を決める指標

トンネル内電子ビームサイズモニター（3極ウィグラー）



電子ビームサイズ@160mA

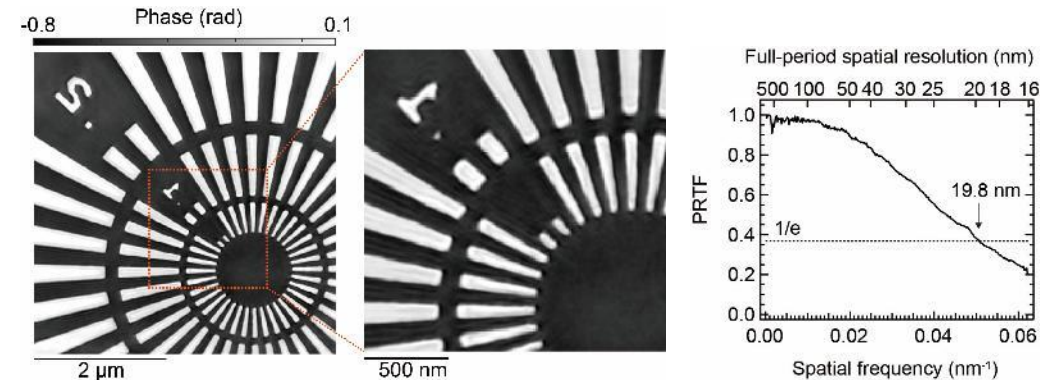
$\sigma_x = 84 \mu\text{m}$ $\sigma_y = 11 \mu\text{m}$



- 電子ビームサイズからエミッタンスは設計値通り
- 輝度は国内既存施設の**40倍**（電流160mA）

実験ホール BL10Uでの測定 2024.4月 東北大 高橋幸生教授

- テンドーX線領域のタイコグラフィーで**世界最高空間分解能**サブ20nm（Taテストチャート）、サブ50nm（実試料）。
- SPring-8解像度の2.5倍@3.5keV が得られ
約40（ $\sim 2.5^4$ ）倍の高輝度性能を実験ホールで実証。



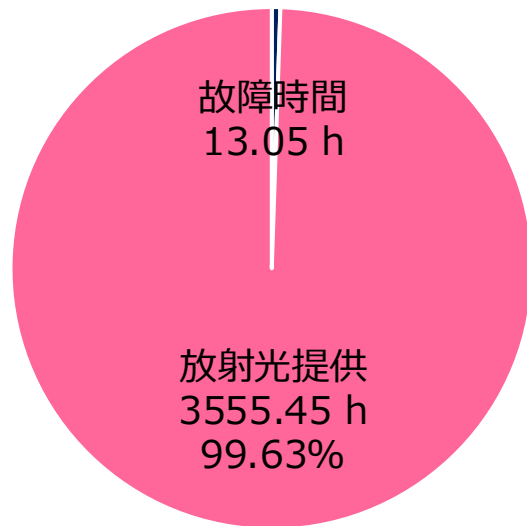
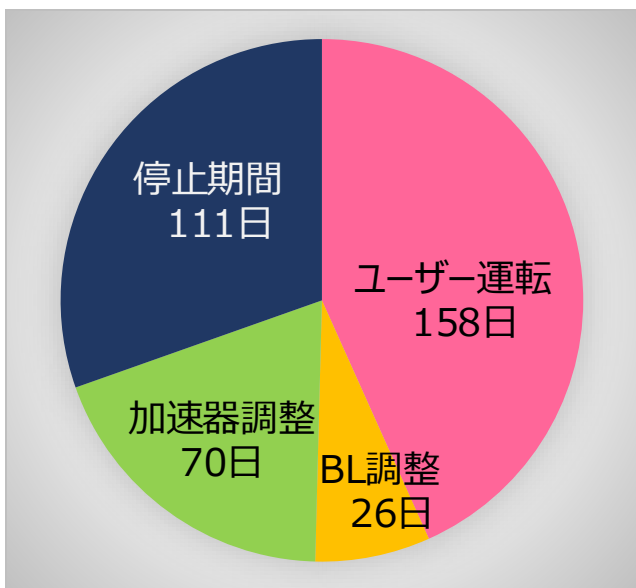
N. Ishiguro et al., Applied Physics Express **17**, 052006 (2024)

→他BLでも高輝度性能が予想され、2024.8月にはBL02Uで世界最高エネルギー分解能RIXSを実現

2. 2024年度運転統計（安定性）

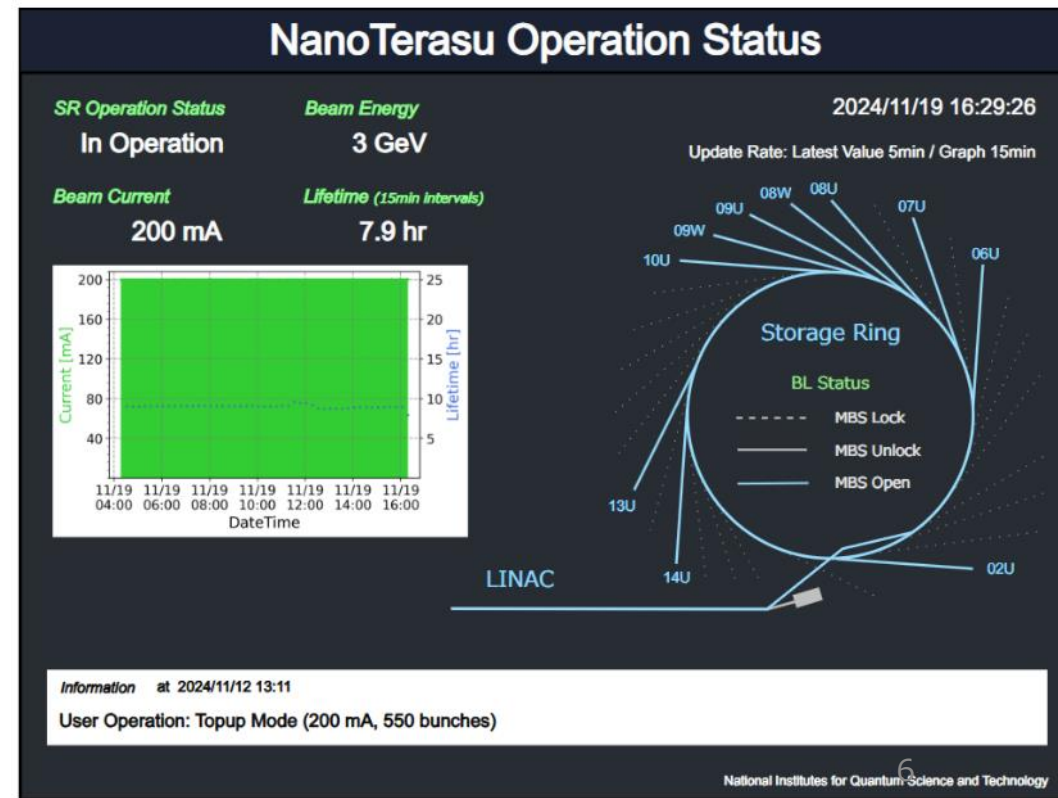
- 2024.4.9から予定の100mAを上回る蓄積電流**160mA**で運用開始。2024.7.26から**200mA**に。
- 放射光供給3568.5時間を光源稼働率99.6%、平均故障間隔（MTBF）323時間で実施
- ユーザー運転中のFault(故障)による蓄積ビーム廃棄は延べ11回
- 国内既存施設の約50倍の輝度の軟X線放射光を安定供給

加速器運転状況（2024.4.1 - 2025.3.31）



※ 他施設の光源稼働率、平均故障間隔（2023年）
 SPring-8：99.4%、403時間
 ESRF-EBS：99.3%、107時間

https://nanoterasu.jp/users/operation_status/





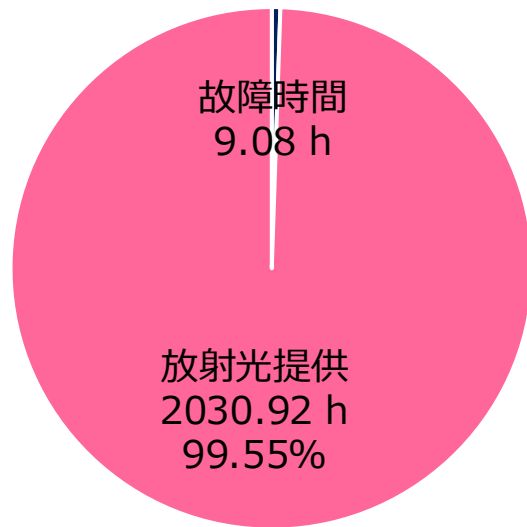
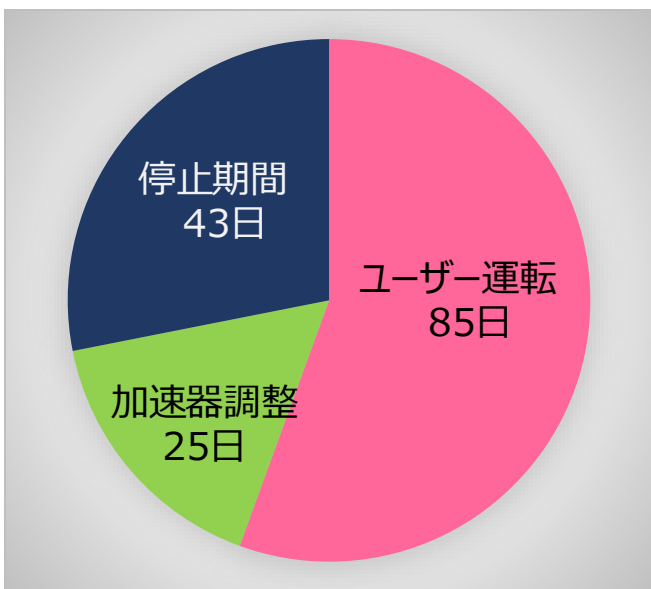
3. 2025年度の運転予定

2025年									2026年											
4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3									
4/1	4/23	5/11		8/7	9/23			12/17	1/19		3/14									
↔		↔			↔				↔											
					加速器運転		時間													
					放射光供給時間		4500													
					加速器調整時間		1500													
					合計		6000													
共用2025A期 (3/3-8/7)					共用2025B期 (9/30-3/14)															
ビームライン				応募数				採択数				採択率								
BL02U				25				10 (4)				40.0%								
BL06U				26				12 (0)				46.2%								
BL13U				24				16 (0)				66.7%								
合計				75				38 (4)				50.7%								
					ビームライン				応募数				採択数				採択率			
					BL02U				24				11				45.8%			
					BL06U				28				13				46.4%			
					BL13U				26				18				69.2%			
					合計				78				42				53.8%			
5月メンテナンス					設備保守点検 (8/7-9/22) 施設停電 (8末) 法定インターロック検査 (9中旬)					冬季メンテナンス				春季メンテナンス						

3. 2025年度運転統計（安定性）

- 2025年度の予定放射光供給時間は4512時間（188日）
- 蓄積電流200mAで8/31までに放射光供給2040時間を光源稼働率99.6%、平均故障間隔（MTBF）290時間で実施
- ユーザー運転中のFault(故障)による蓄積ビーム廃棄は延べ7回

加速器運転状況（2025.4.1 - 2025.8.31）

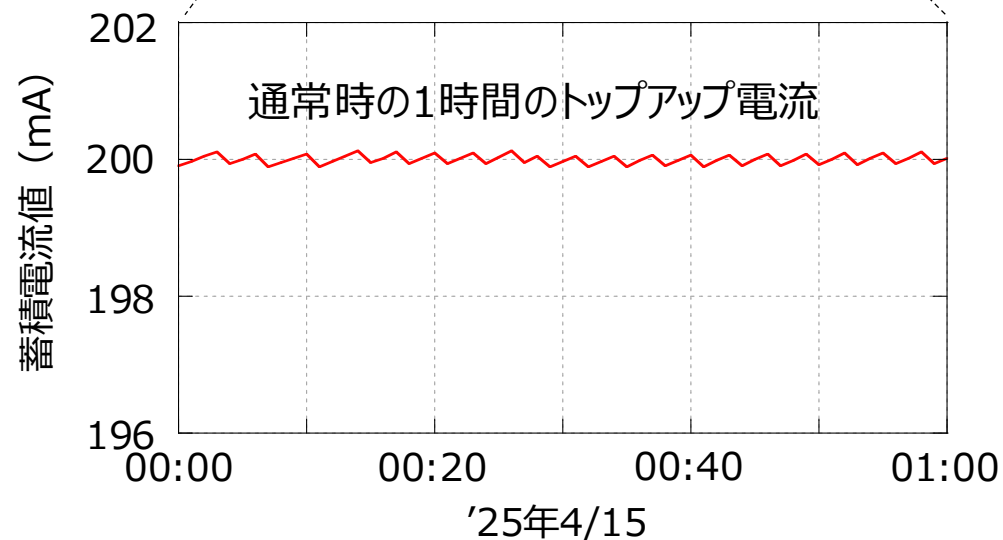
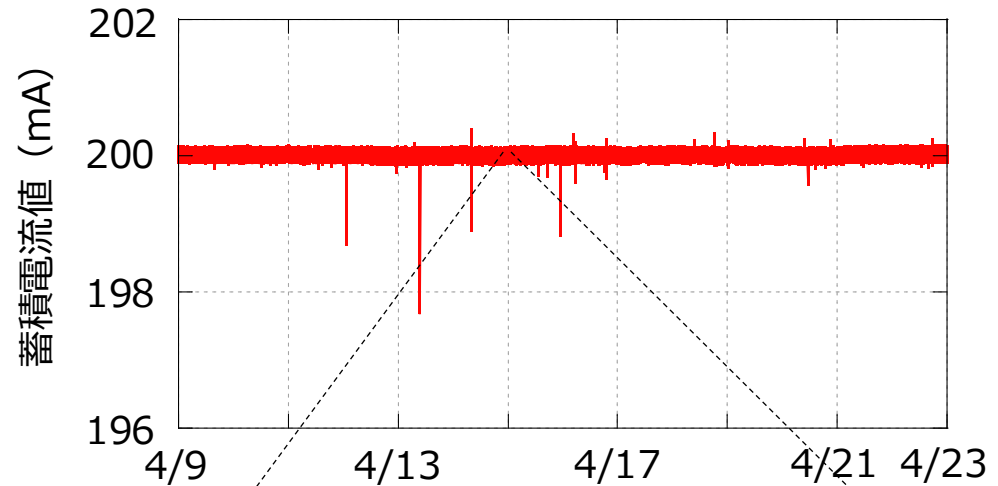


2025年度ビーム廃棄原因	回数
SR空洞	3
真空異常	1
瞬低による補助電源動作停止	1
軌道補正磁石電源1/8通信異常	1
BL作業のためのITLK誤操作	1
計	7

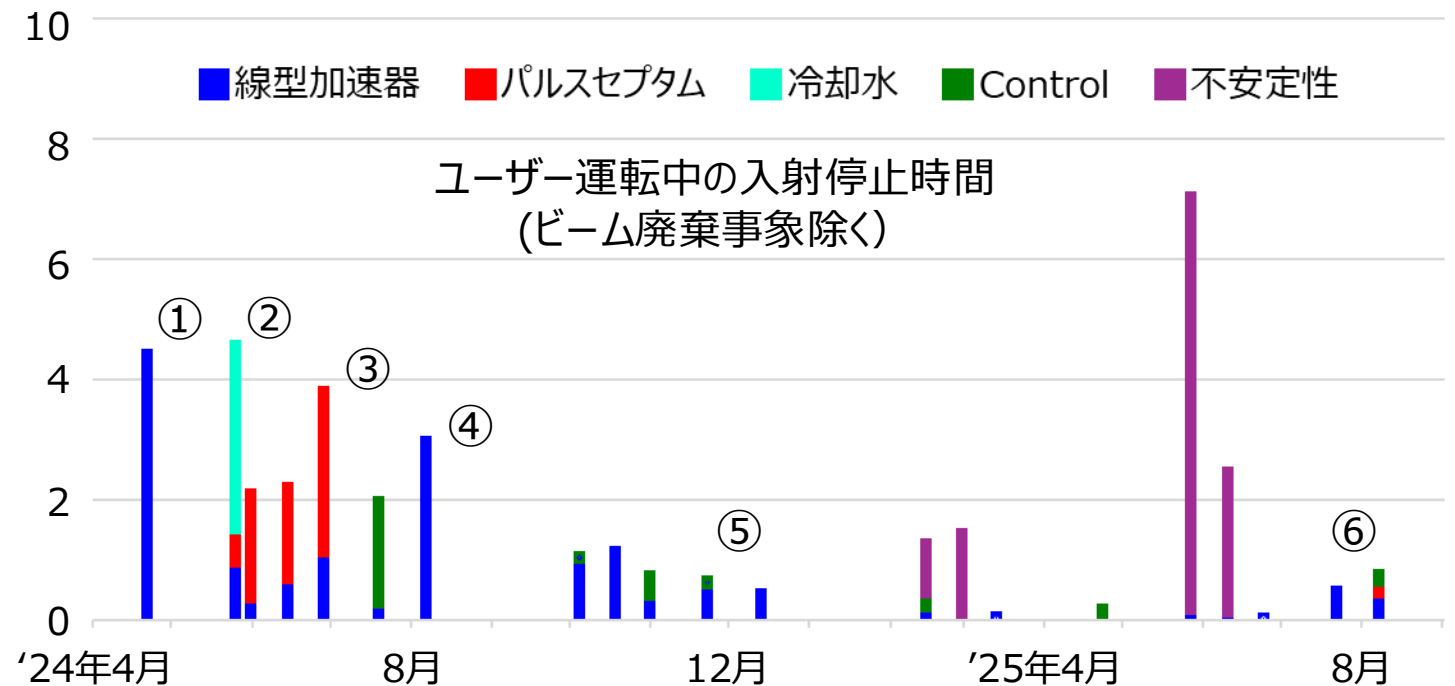
2024年度ビーム廃棄原因	回数
SR空洞	6
サーキュレーター アーク誤発報	2
カレントストリップ電源異常復帰	1
軌道補正電源制御ユニット故障	1
BL作業のためのITLK誤操作	1
計	11

3. 入射停止頻度低減による蓄積電流安定化

蓄積電流値を一定にしてミラーの負荷等一定化



- ① Cバンドクライストロン1台出力低下のため交換
- ② 冷却水の安定化
- ③ パルスセプタム電源のPLC回路のノイズ問題の解決
- ④ 線型加速器を10Hz→1Hz運転に変更
- ⑤ Cバンド加速管電源1台復帰→他加速管の電圧減
- ⑥ 不安定性対策として縦BBF空洞稼働

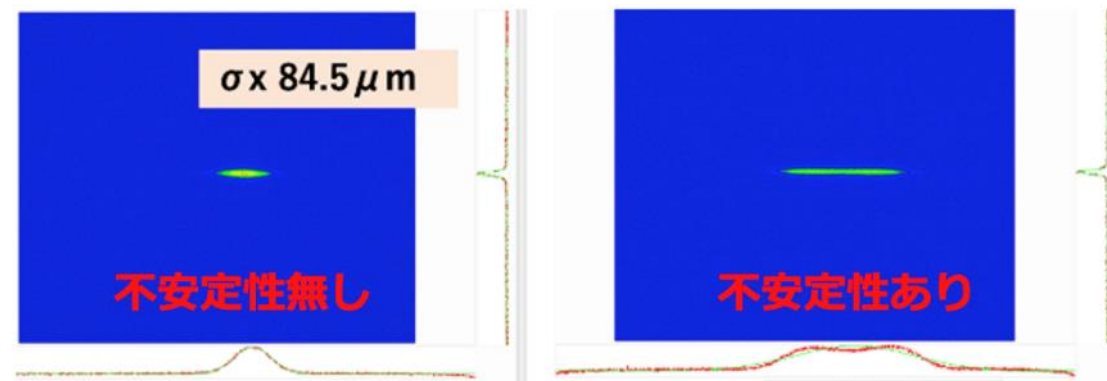


4. 蓄積電流400mAに向けて（課題）

- 予定を上回る蓄積電流運転を実現してきたが、R8年度400mA達成には大きな技術的課題を解決する必要あり
200mA以上では電子ビームエネルギー幅の3倍以上の拡大（輝度低下）が、トンネル内ビームサイズモニターで観測されていた

年度	R6	R7	R8	R9
共用ビームライン	試験共用	本格共用		
蓄積電流（予定）	100mA	200mA	400mA	
放射光供給時間（予定）	3,500時間	4,500時間	5,000時間	
加速器調整時間（予定）	2,500時間	1,500時間	1,000時間	

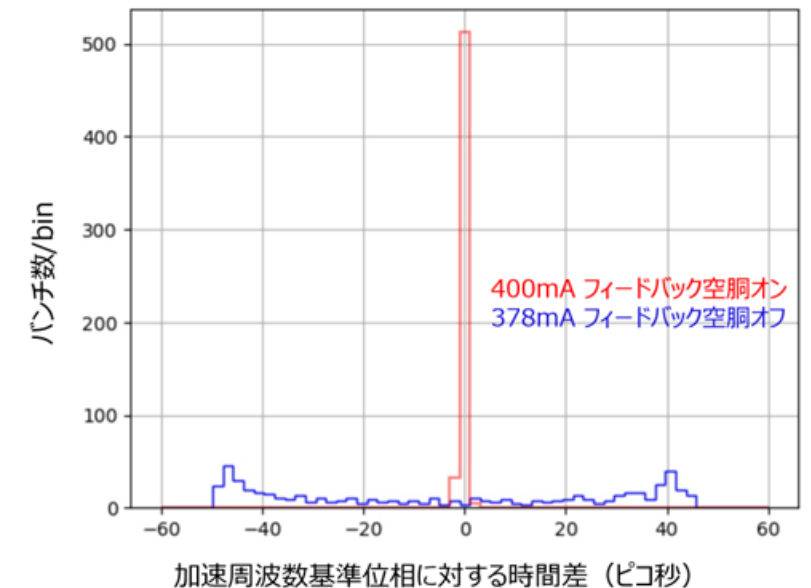
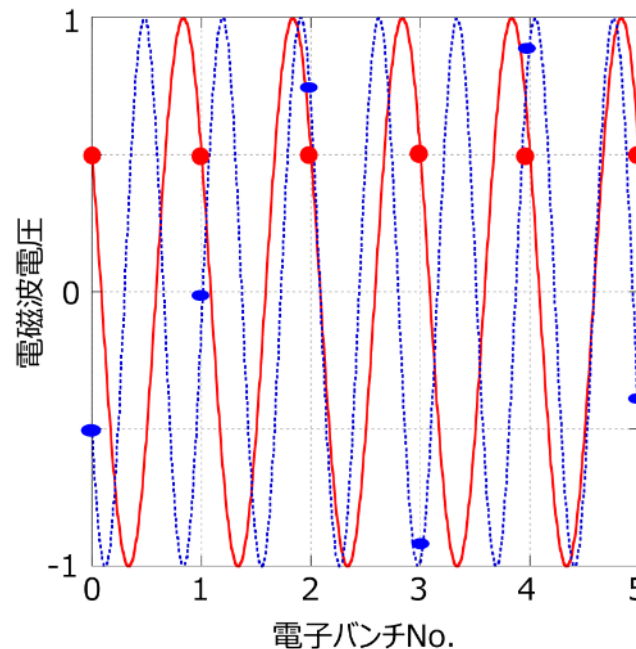
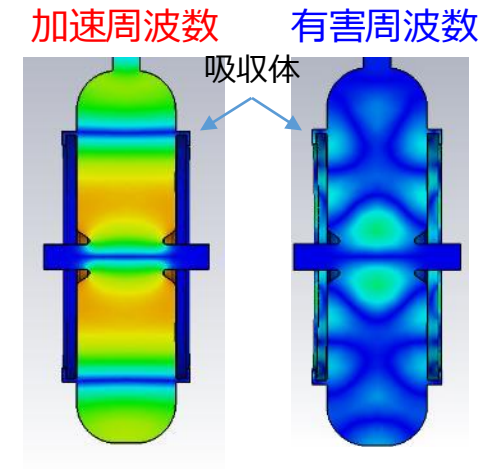
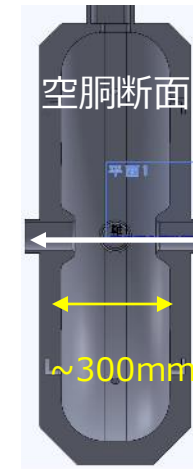
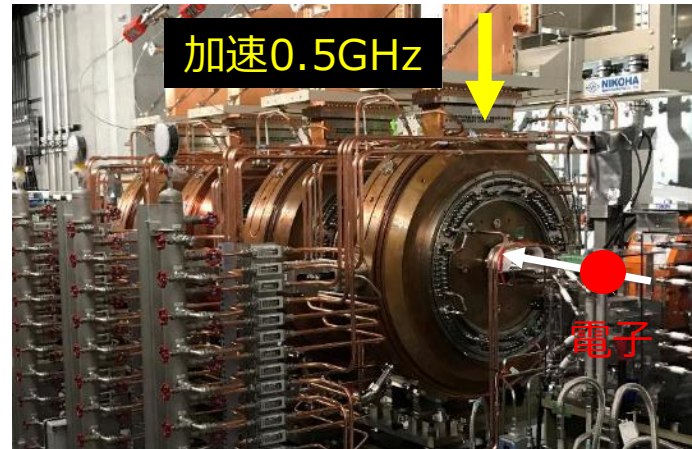
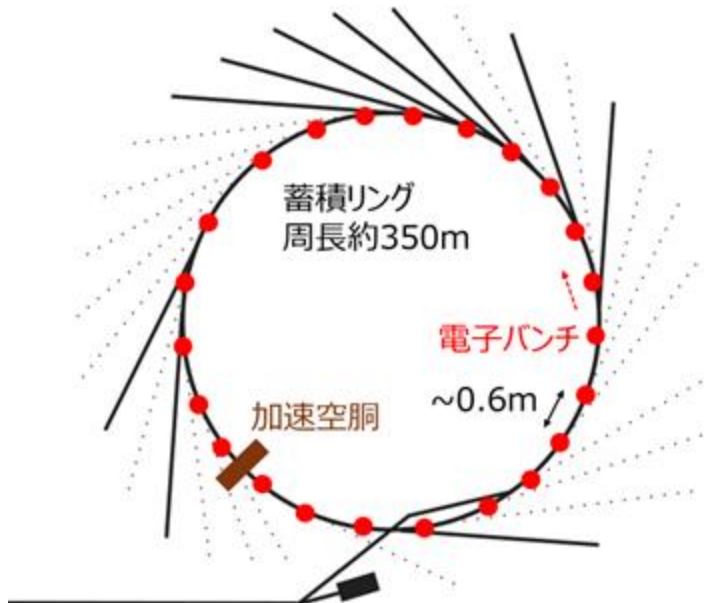
（担当：科学技術・学術政策局研究環境課）



- 2023年8月に観測されたビーム不安定性を、QST加速器Grも成長させる課題として取組んできたが未解決であった。

4. 不安定性の原因

- 蓄積リングでは電子バンチが一定の間隔を保ちながら、規則正しく周回し、放射光発生で失ったエネルギーを加速空洞で補充

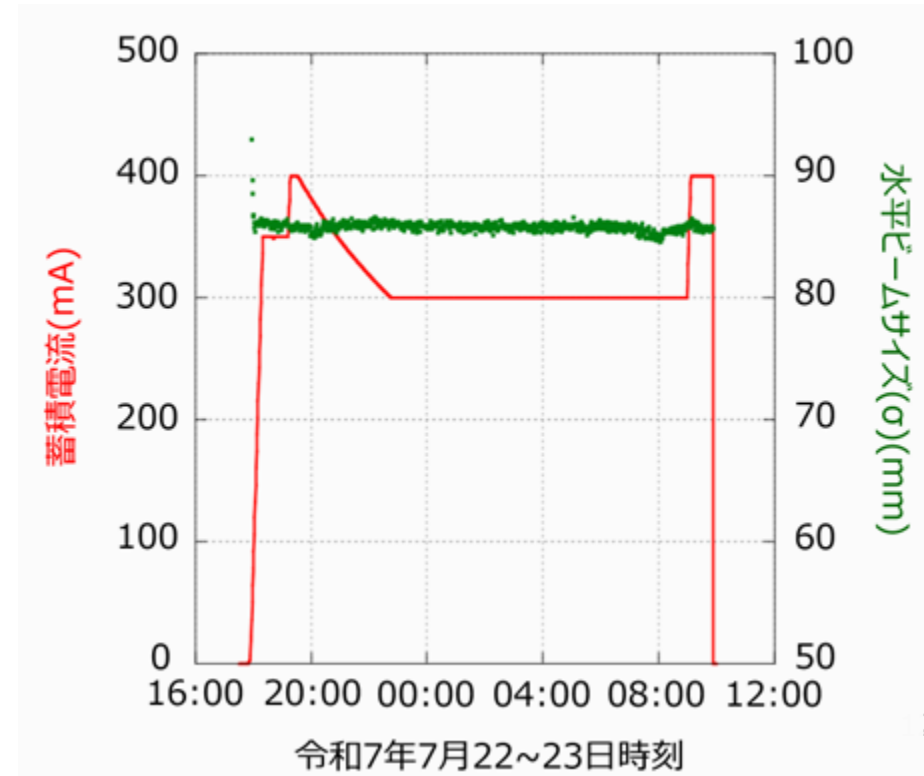
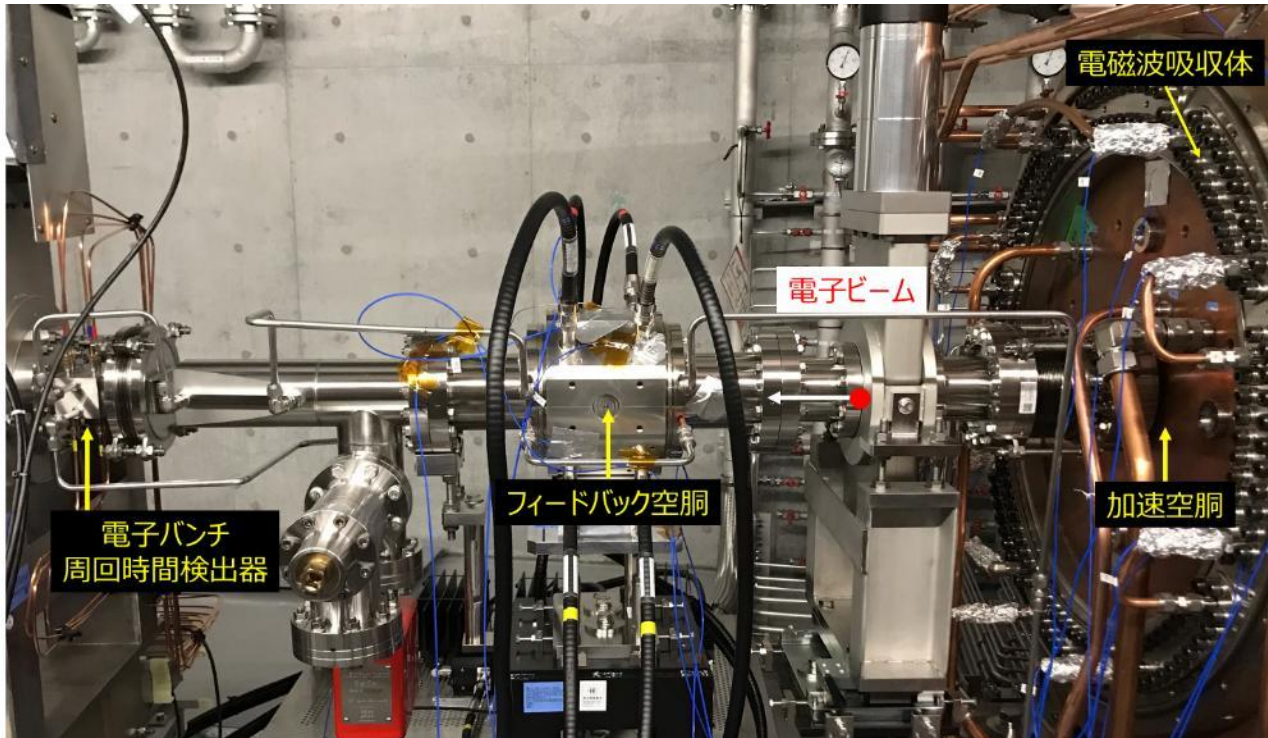


- 空胴内には電子バンチによる様々な周波数電磁波発生
- 加速周波数以外吸収するTM020加速空洞を採用
- 吸収しきれない周波数が存在し、不安定性が200mA以上で発生

4. Bunch-by-bunch feedback(BBF)空洞

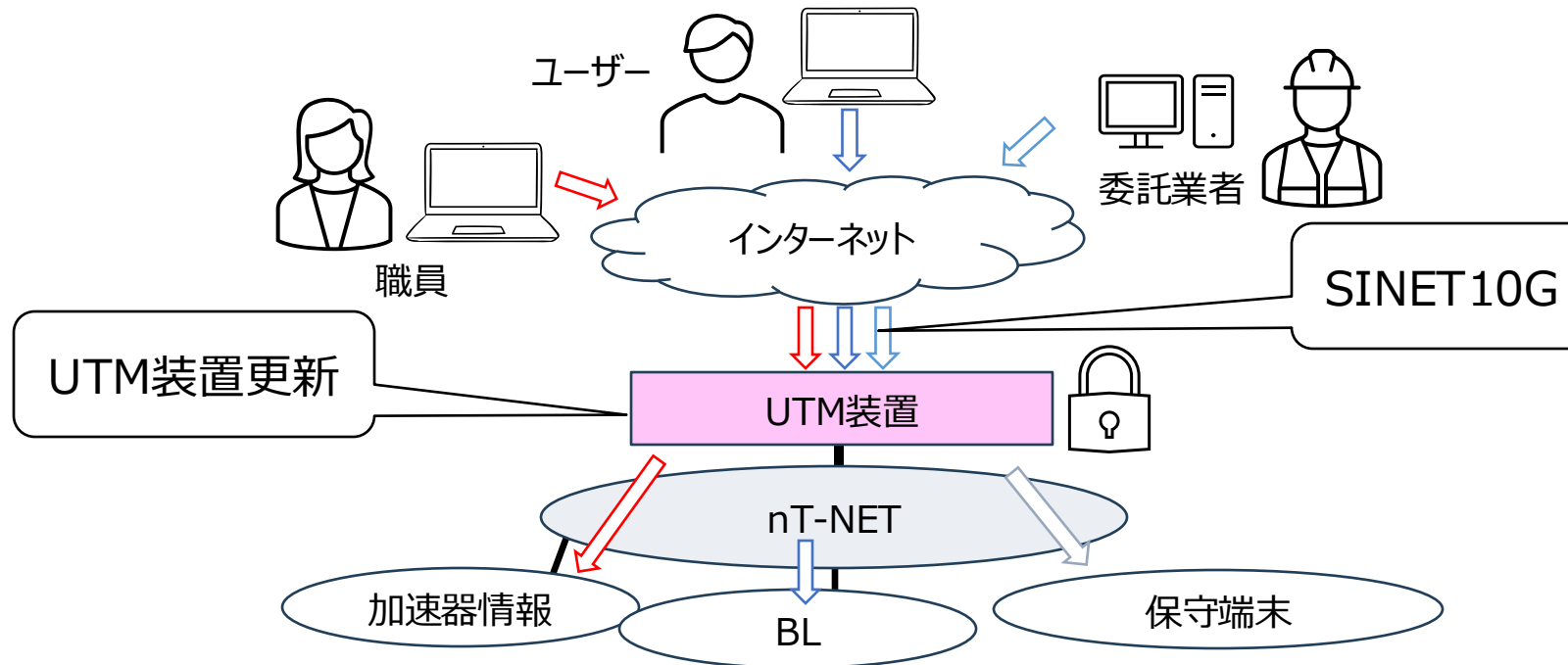
上島考太 他 「ナノテラスにおける縦方向ビーム不安定性抑制の状況」 第22回日本加速器学会発表 2025.8.6

- 電子バンチ間のエネルギー幅広がり、電子バンチ周回時間変化（高エネルギーバンチほどリングを遠回り）として捉える検出器
- 到着時間の早い電子バンチにエネルギーを与えて遅らせ、遅いバンチのエネルギーを減らして早めるフィードバック空洞
- 2024年度に設計・製作、2025年5月に設置、7月22日の最初の試験でエネルギー広がり無しで400mA安定蓄積に成功
- 2025年9月のユーザー運転から徐々に運転電流値を上げる予定。放射光強度向上に伴うスループット向上が見込まれる



5. リモート実験

- 今年度中のリモート実験の実現を目指し、NanoTerasuネットワーク（nT-NET）リモートアクセス環境整備計画
- 情報セキュリティ向上のため統合脅威管理（UTM）装置更新
- 外部アクセス回線のSINET接続10Gbps化



6. まとめ

【1. 軟X・テnderX線領域で国内既存施設の100倍の高輝度性能】

約50倍の高輝度軟 X 線を供給中。BBF空洞導入により電流倍増（定格400mA）に目処。
高エネルギー分解能RIXSの実験効率倍増など、R6年度比 スループット倍増が見込まれる。

【2. ユーザー実験に不可欠な光源の安定性と信頼性】

光源稼働率、MTBF、蓄積電流安定度は極めて良好。
実験中断やミラーの発熱等、利用実験の妨げとなる事象を極力排除。

【3. スケジュールと利便性】

2024年度に引き続き2025年度もユーザー運転はスケジュール通り進捗。
リモート実験の準備も進行中。