

レーザー駆動による 量子ビーム加速器の開発と実証

プロジェクト概要

2023年2月28日

プログラムマネージャー
(分子科学研究所)

佐野 雄二

ー レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証 ー

- 開発の概要（背景・目標・体制）
- レーザーによる電子加速技術の開発
- レーザーによるイオン加速技術の開発
- 高強度レーザー技術の開発

加速器は学術・産業・医療など広範な分野で不可欠な技術基盤

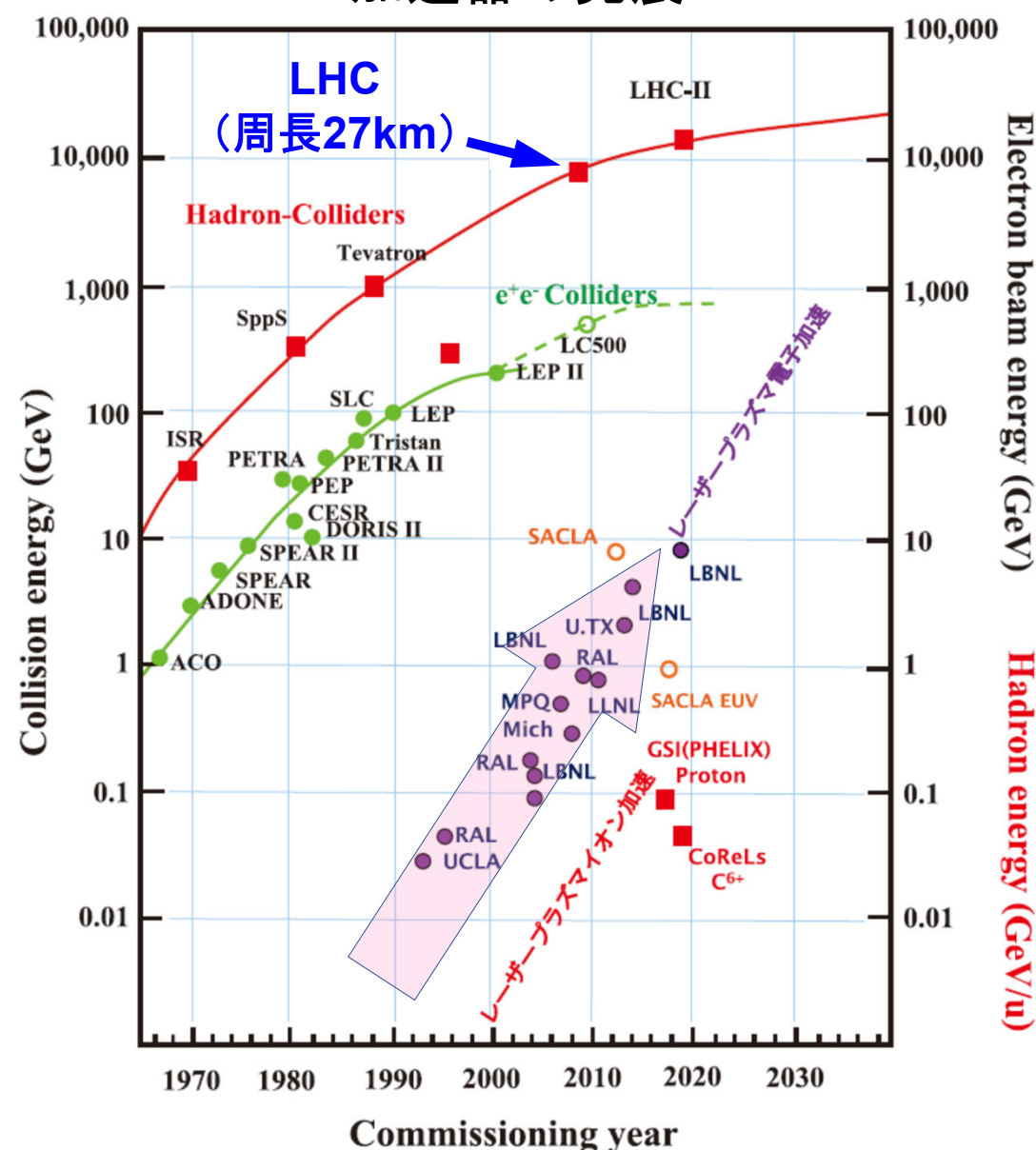
- 新物質・新材料の創製
- 分析、非破壊検査、年代測定
- 育種、滅菌・殺菌、重合、架橋
- 荷物検査、セキュリティー
- 創薬、粒子線がん治療

www.zmescience.com/science/physics/lhc-produces-first-results



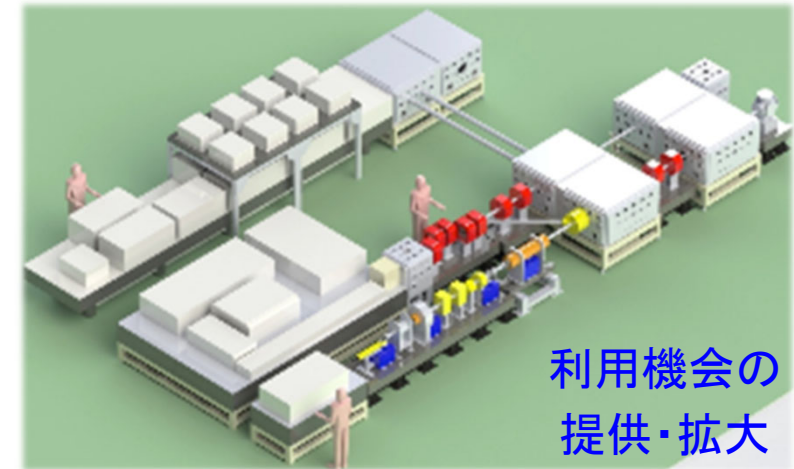
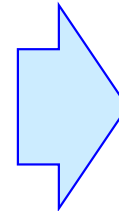
LHC（陽子・陽子衝突型リング 周長27km）

加速器の発展

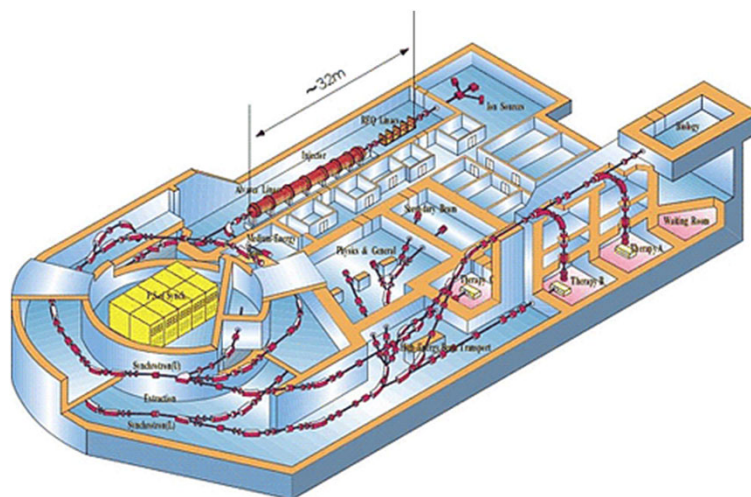




X線自由電子レーザー SACLA

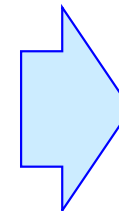


次世代X線自由電子レーザー(XFEL)と
短バンチ性を活かした新しい応用

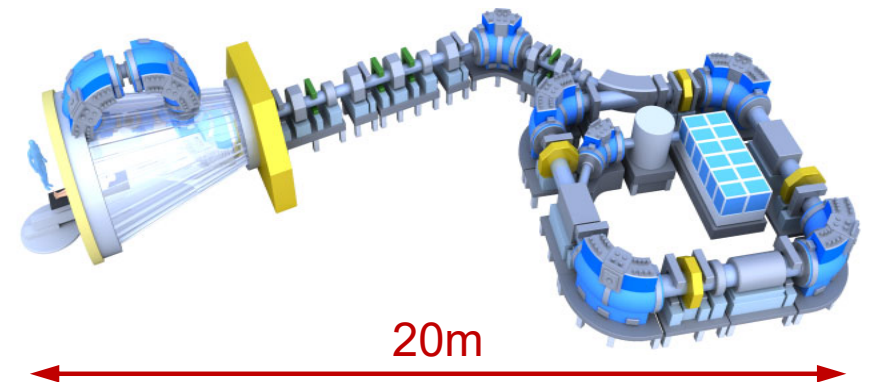


重粒子線がん治療装置

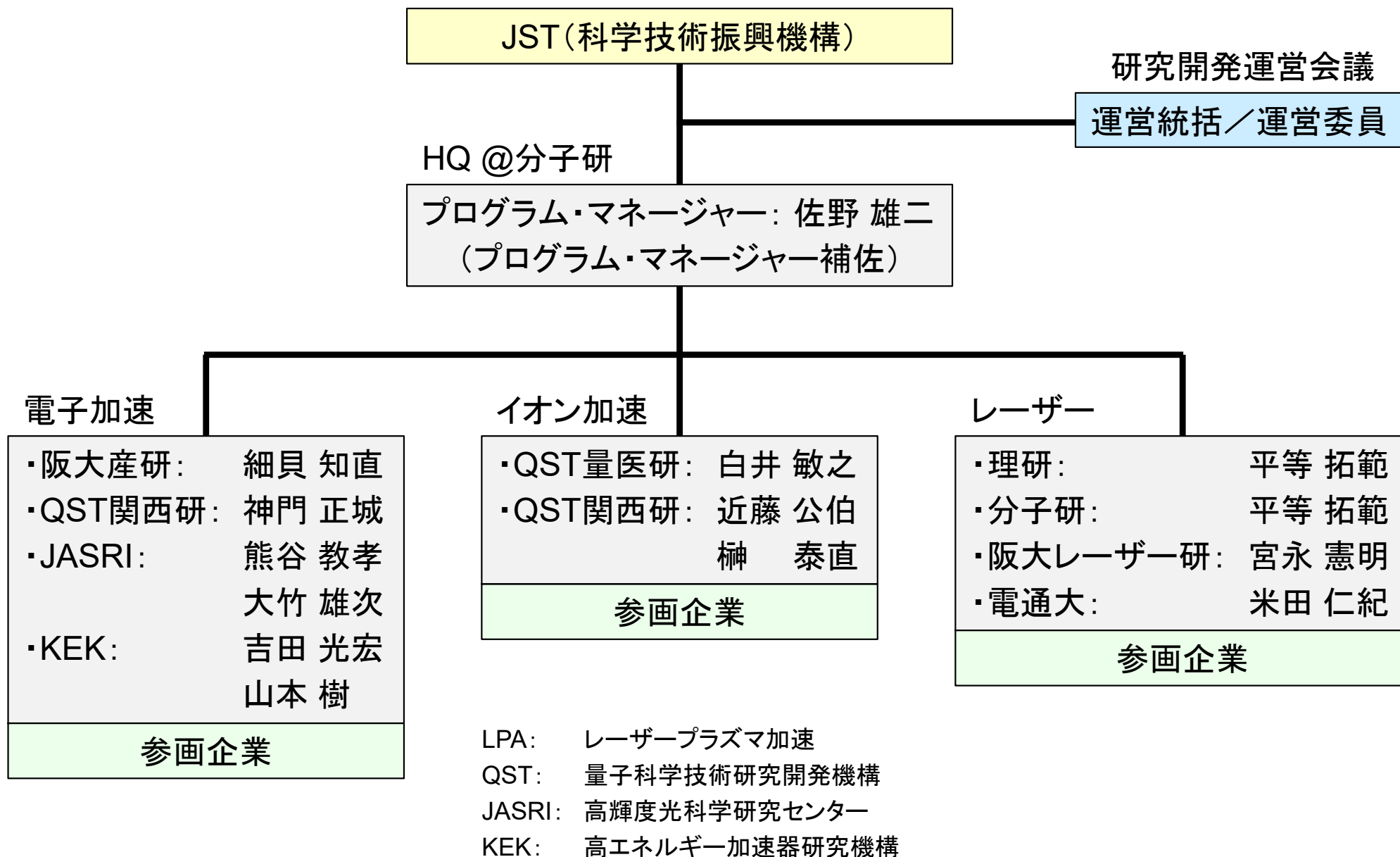
<https://www.qst.go.jp/site/qms/1584.html>



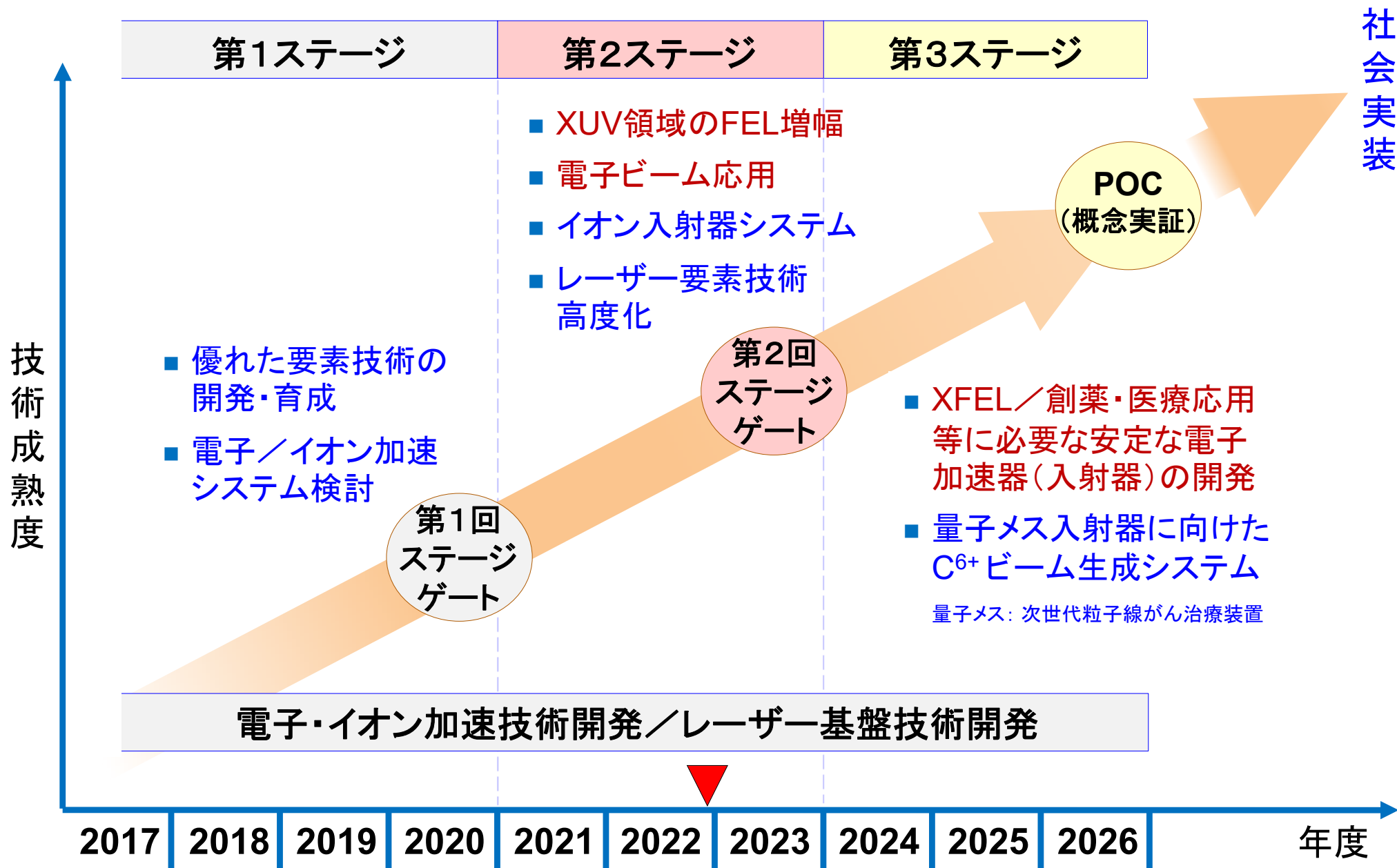
治療機会の提供・拡大(医療費の抑制)



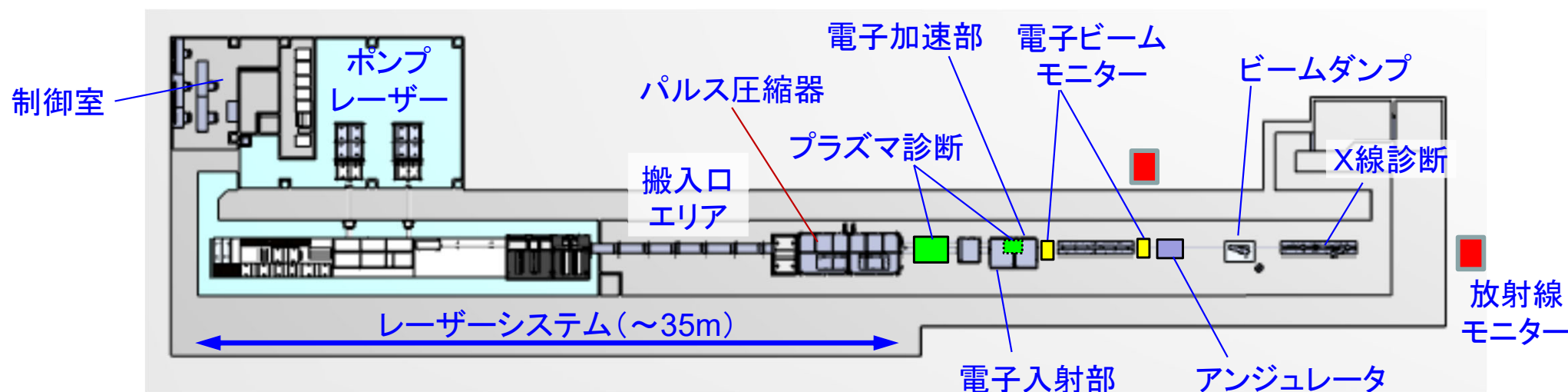
量子メス(次世代重粒子線がん治療装置)



各ステージの開発と社会実装への道すじ

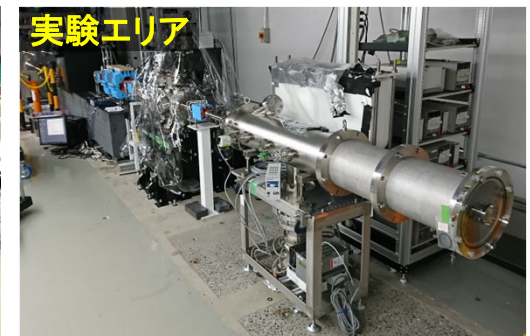
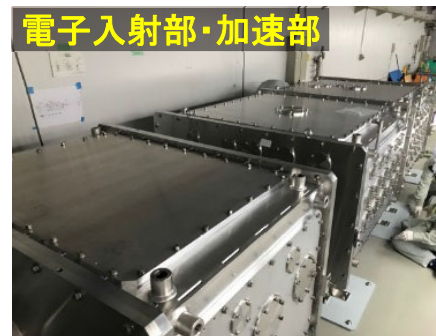
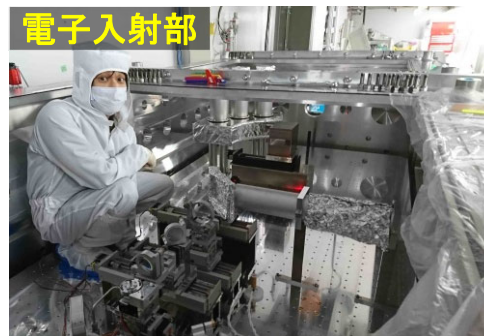
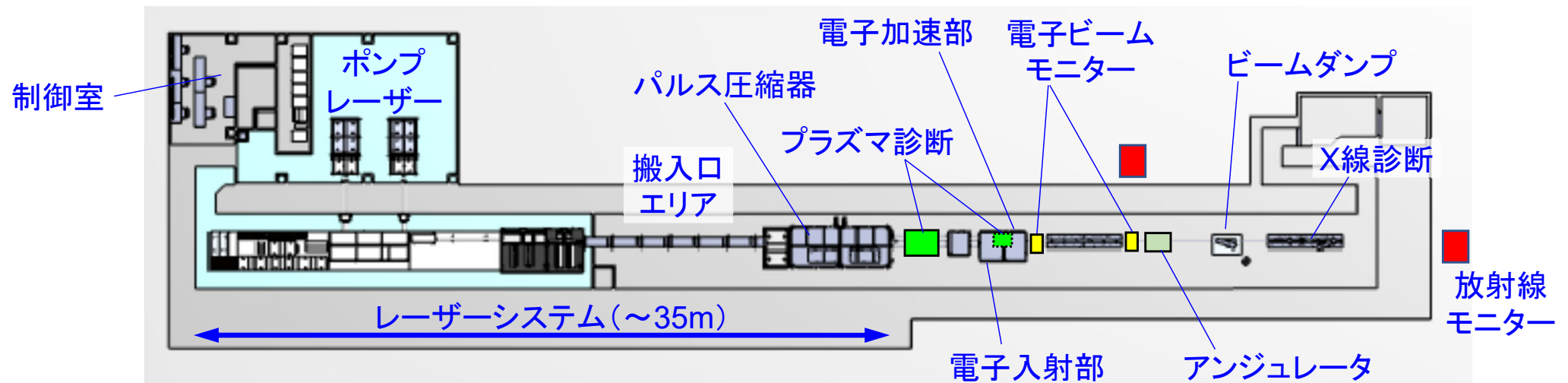
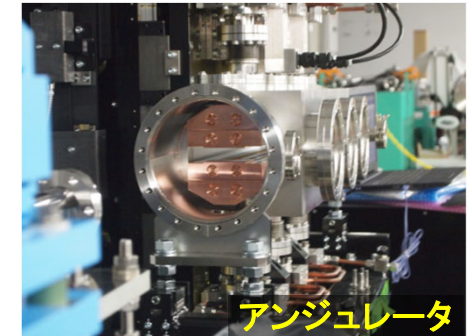
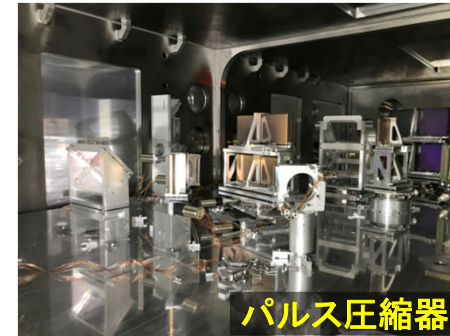


電子加速プラットフォーム(理研播磨)にて、レーザープラズマ加速された電子ビームをアンジュレータに入射し、**XUV領域で放射光の増幅を確認**する。アンジュレータ長さは5 m 以下とする。また、電子加速についてはEUV光を達成できる 数百MeV 程度の加速エネルギー、電荷量 10 pC/パルス、バンチ長 10 fs以下、エネルギー分散($\Delta E/E$) 0.1%以下 を達成する。更にその結果を踏まえ、小型XFEL実現に求められるレーザー装置の仕様を明確化する。

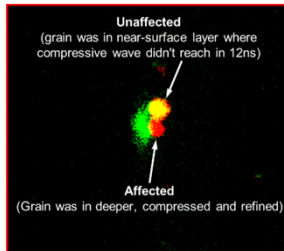


電子加速プラットフォーム(播磨)

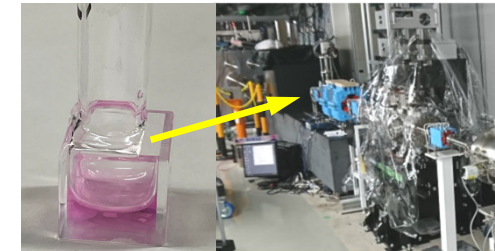
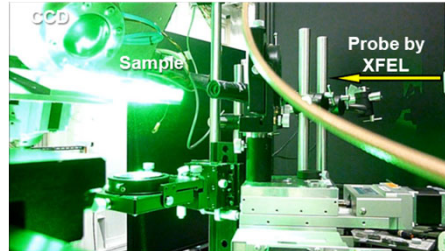
レーザー電子加速プラットフォーム(播磨)



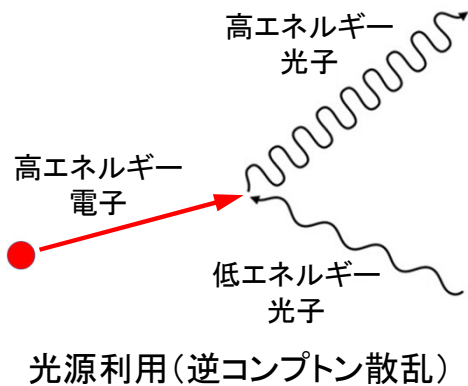
レーザー電子加速器とその応用(イメージ)



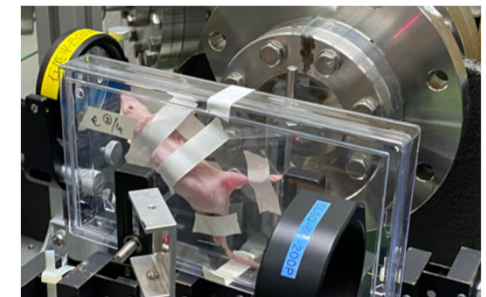
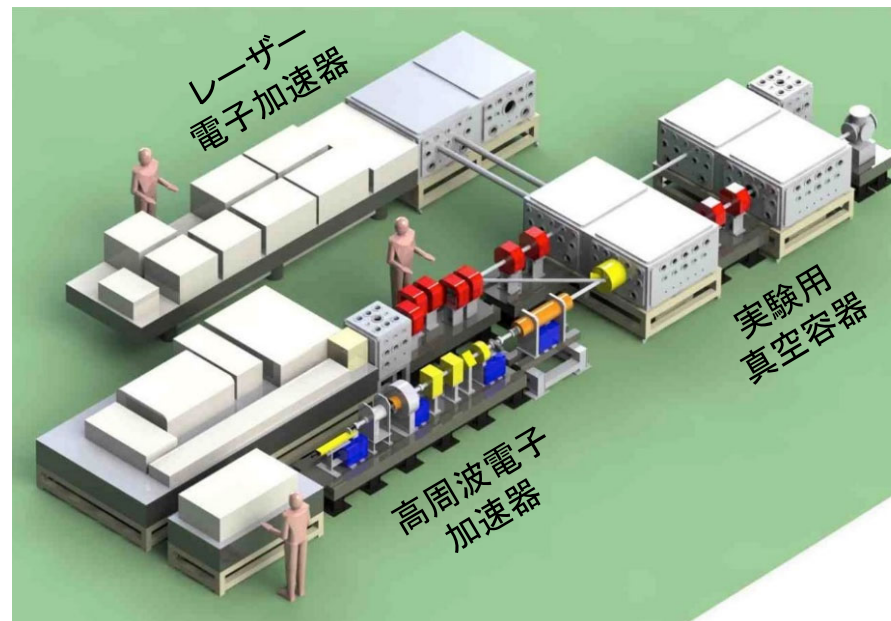
材料物性評価(ポンプ プローブ実験)



シャープ電子ビームの応用



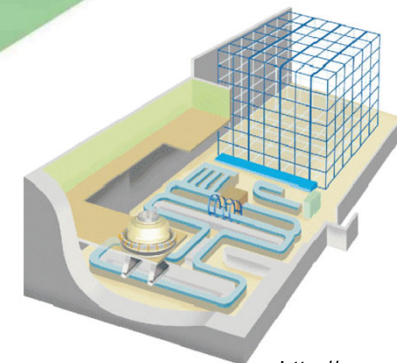
電子蓄積リング



マウスの電子ビーム照射
(プロドラッグ活性化)



電子線・X線がん治療装置

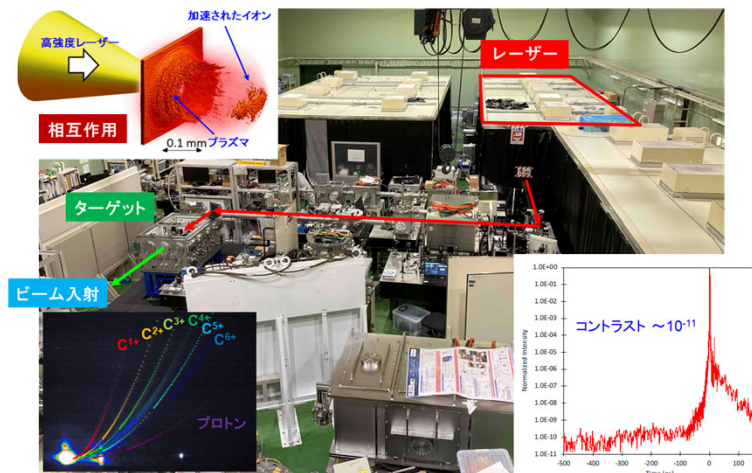


滅菌処理システム
(10MeV Rhodotron)

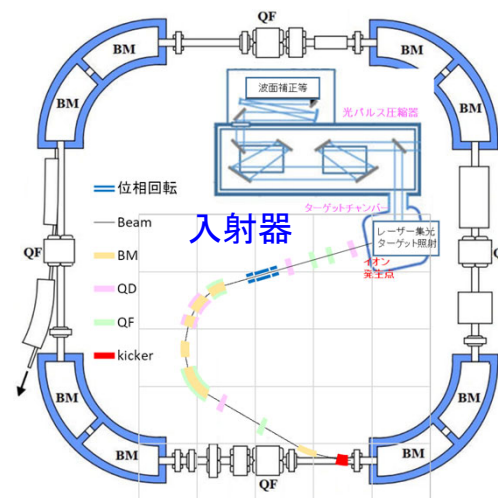


<http://www.rada.or.jp/database/home4>

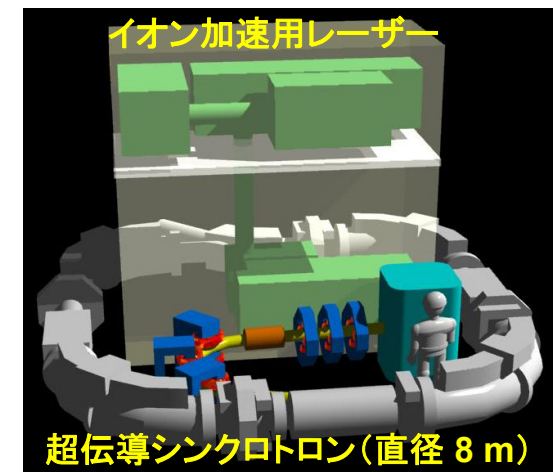
イオン加速プラットフォーム(QST 関西研)にて、プラットフォームレーザー (Ti:sapphire)、レーザー駆動炭素線発生装置、計測用ビームライン、リアルタイムイオンモニターを組合わせた**入射器の実証**実験を行う。シミュレーションを併用し、核子あたり 4 MeV の C^{6+} を立体角 (1 msr) 当り 10% のバンド幅で 10^8 個以上シンクロトロンに入射するためのスケーリング則を求める。また、レーザーへの要求仕様を明確化し、シンクロトロン内への入射器の設置方法を検討する。



イオン加速プラットフォーム(QST 関西研)

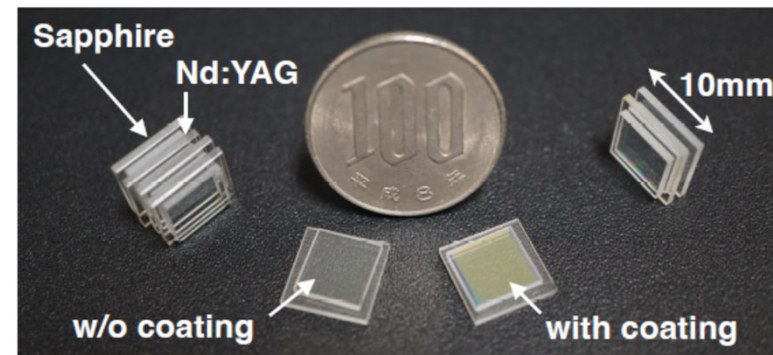
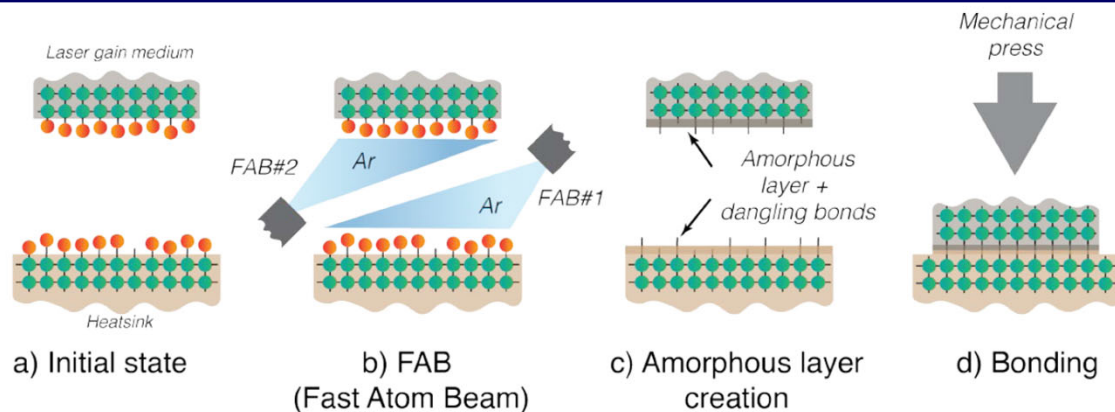


超伝導シンクロトロン



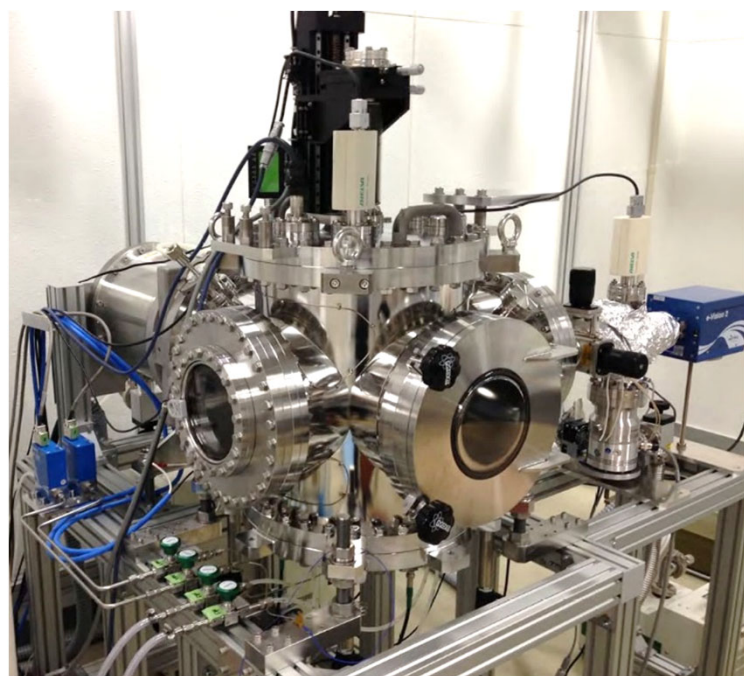
イオン入射器の構想

レーザー素子の常温接合と応用

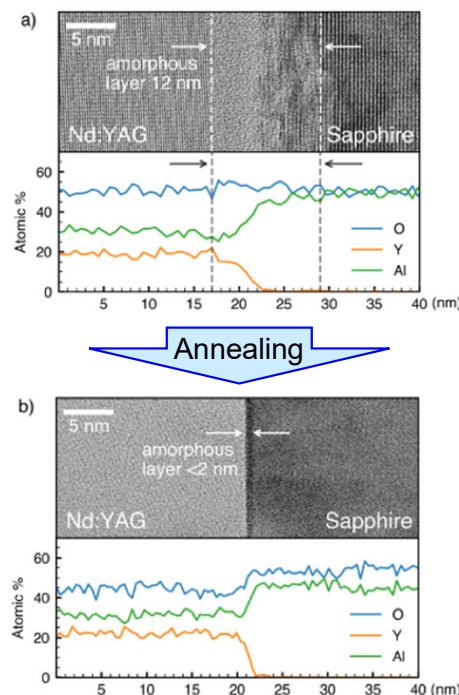


表面活性とアモルファス層による常温接合

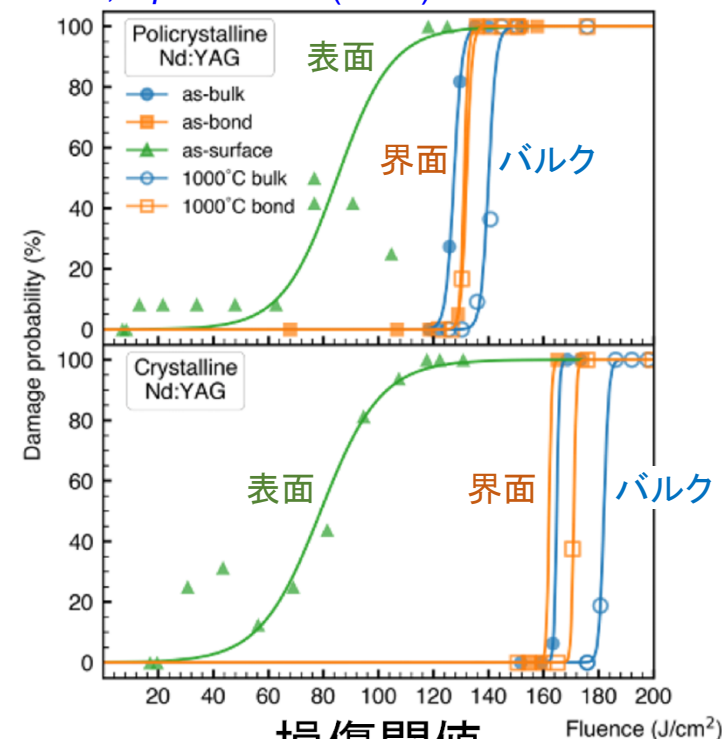
A. Kausas and T. Taira, *Opt. Lett.* **47** (2022) 3067



常温接合装置

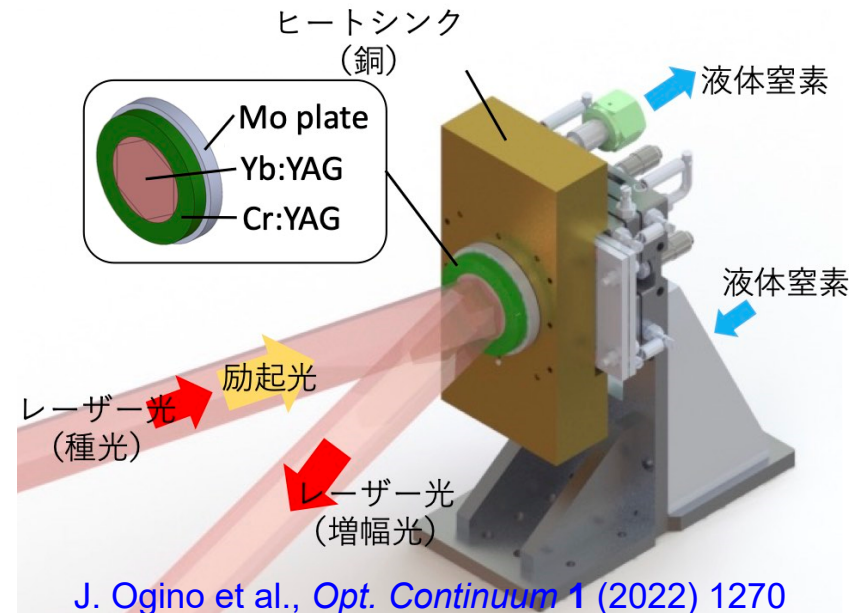
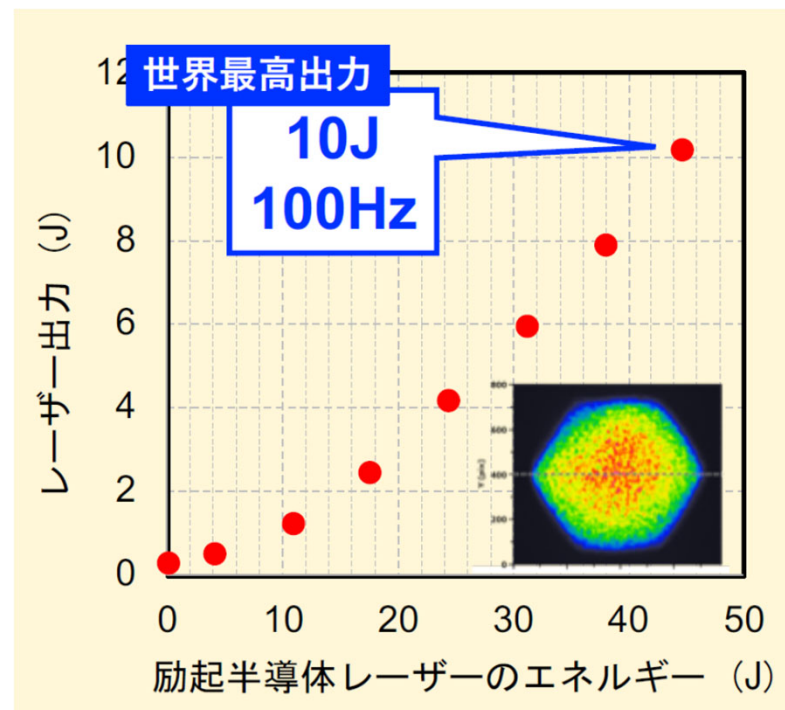


界面の TEM / EDX



損傷閾値

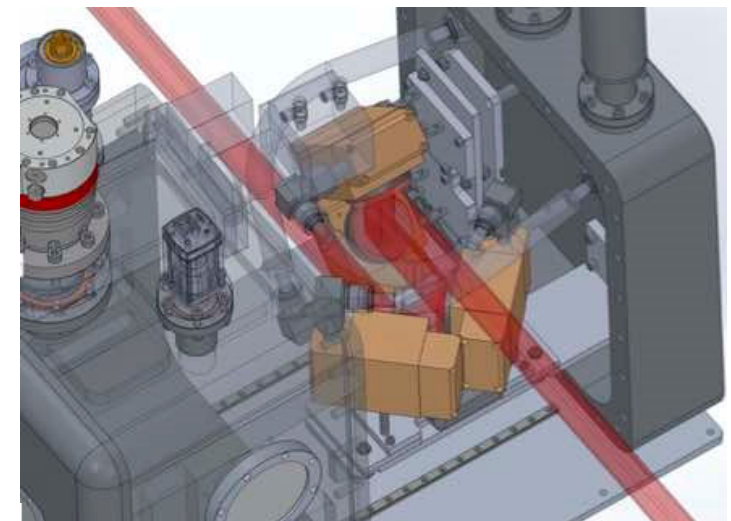
- 10J級では世界最高平均出力(1kW)
- 独自技術で実現した世界初の5cm級熱伝導冷却型アクティブミラー
- 純国産(5社以上の国内企業の連携)



Yb:YAG アクティブミラー

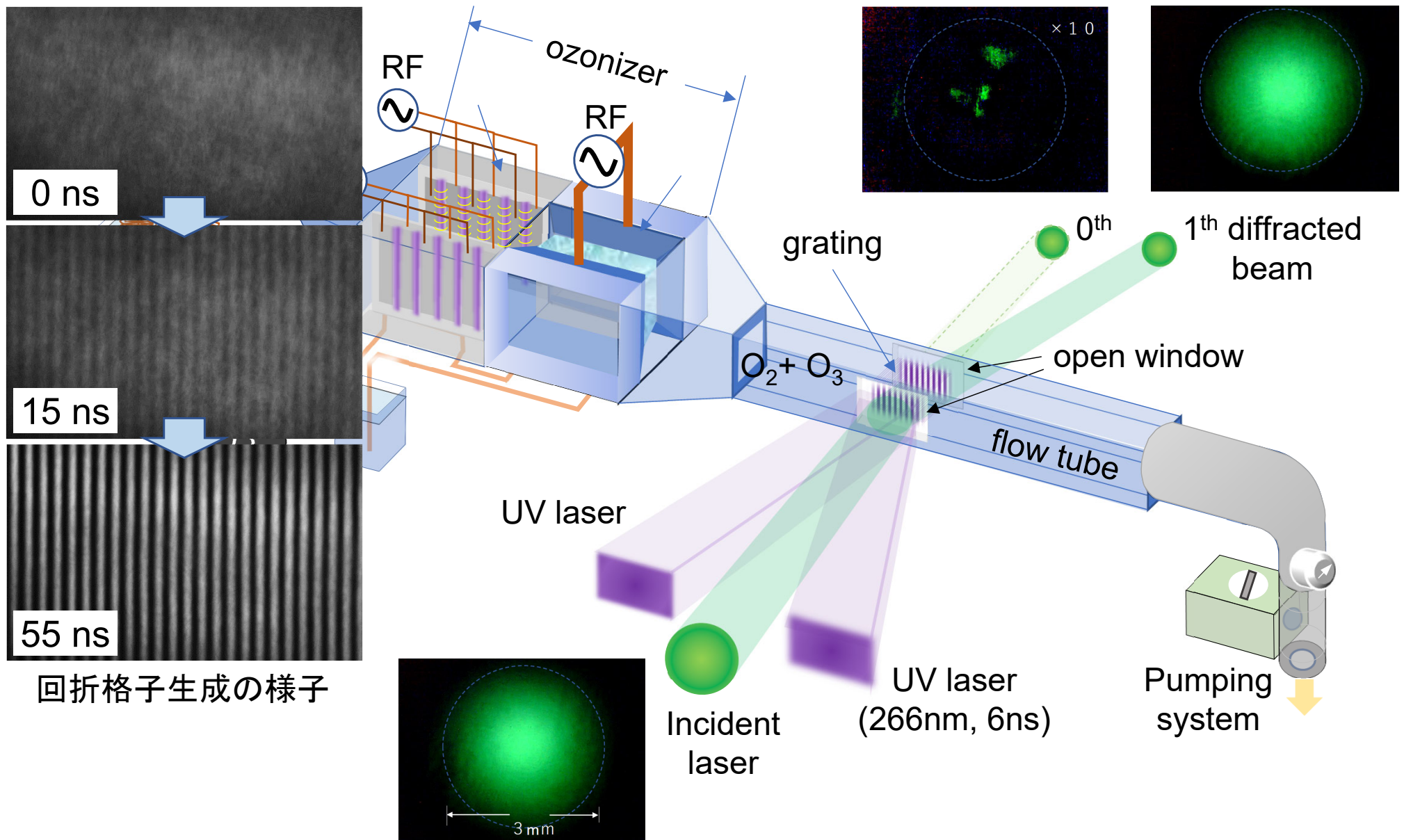


30 × 35 × 40 cm



一体化ホルダーによる小型化

Y. Michine and H. Yoneda, *Com. Phys.* **3** (2020) 24



第2ステージ 開発スケジュール

第2回 ステージゲート 評価

	FY2021	FY2022	FY2023
電子加速	入射器(ガスジェット)高度化		
	多段加速基礎実験	準備(多段加速はステージ3で検討)	
	計測システム開発・高度化(バンチ長、エミッタンス、等)		
	XUV・X線計測器の開発		
	プラットフォームレーザー整備(2Jライン)		XUV観測
	アンジュレータ検討・設計・製作	1号機 1m	2号機 1m (合計 2m)
	ライナック整備・試験	ライナック試験・移設検討	移設準備(JASRI → 阪大産研)
		電子ビーム応用(産研ライナック)	創薬・医療応用
イオン加速	炭素イオン加速スキーム最適化		MeV級炭素イオン発生
	ターゲットシステム開発	高繰返し化検討・試作	連続供給
	炭素イオンビームライン開発	BM移設(SPring-8 → QST)	イオン輸送実験
	プラットフォームレーザー整備($10^{20}\text{W}/\text{cm}^2$)		
			入射器(実験機)統合試験
レーザー	アクティブミラーレーザー/DFCチップレーザー高度化		
	FS(超高耐力素子、大口径素子、広帯域増幅、新結晶)		要素技術開発
			加速用レーザーシステム検討

- 2017年11月、「レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証」がJST未来社会創造事業・大規模Pj型に採択
- 将来の小型XFELを目指した「電子加速」、小型がん治療装置を目指した「イオン加速」、およびそれらの実現に必要な「高強度レーザー」にかかわる研究開発等を推進
- 昨年度より、第2ステージ(2021～2023年度)。電子加速はXUV領域のFEL発振が目標。新しい応用についても検討
- 産業界との連携を密にして、技術開発・システム化を推進。第2ステージ、更には第3ステージの目標(POC)を達成し、社会課題の解決に貢献