

レーザー駆動による 量子ビーム加速器の開発と実証

成果の概要と今後の計画

2022年6月7日

プログラム・マネージャー
(分子科学研究所)

佐野 雄二

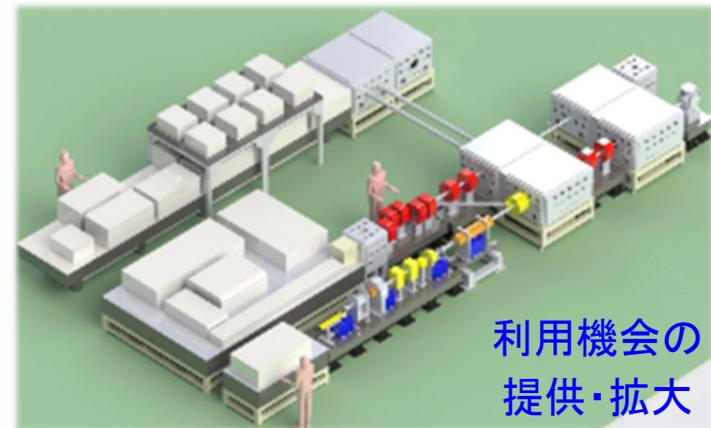
— レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証 —

- レーザープラズマ加速：開発の背景
- 開発体制・目標
- レーザーによる電子加速技術の開発
- 高強度レーザー／要素技術開発
- レーザーによるイオン加速技術の開発

レーザープラズマ加速の社会実装イメージ

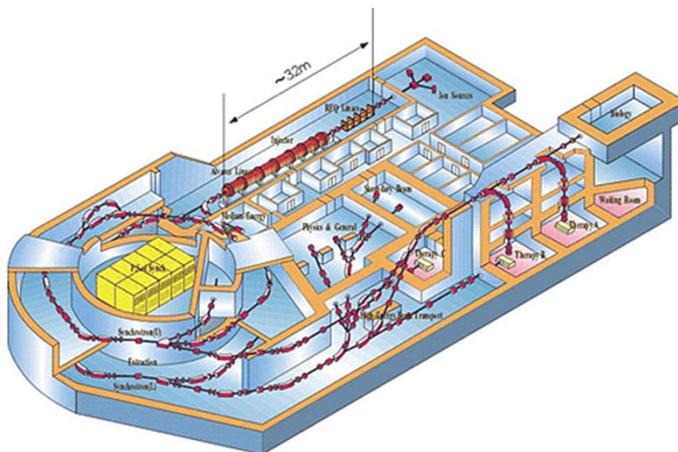


X線自由電子レーザー SACLA



利用機会の
提供・拡大

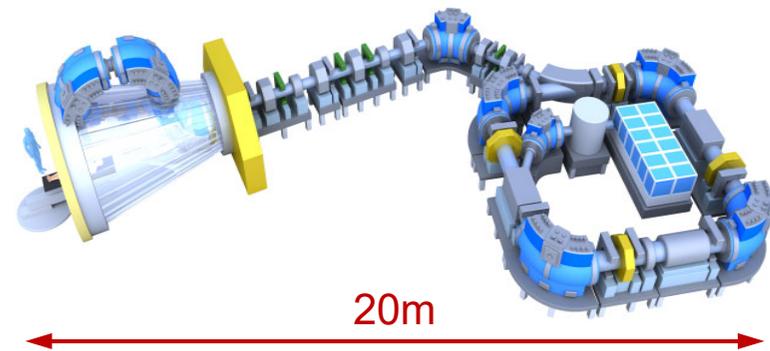
次世代X線自由電子レーザー(XFEL)と
短バンチ性を活かした新しい応用



重粒子線がん治療装置

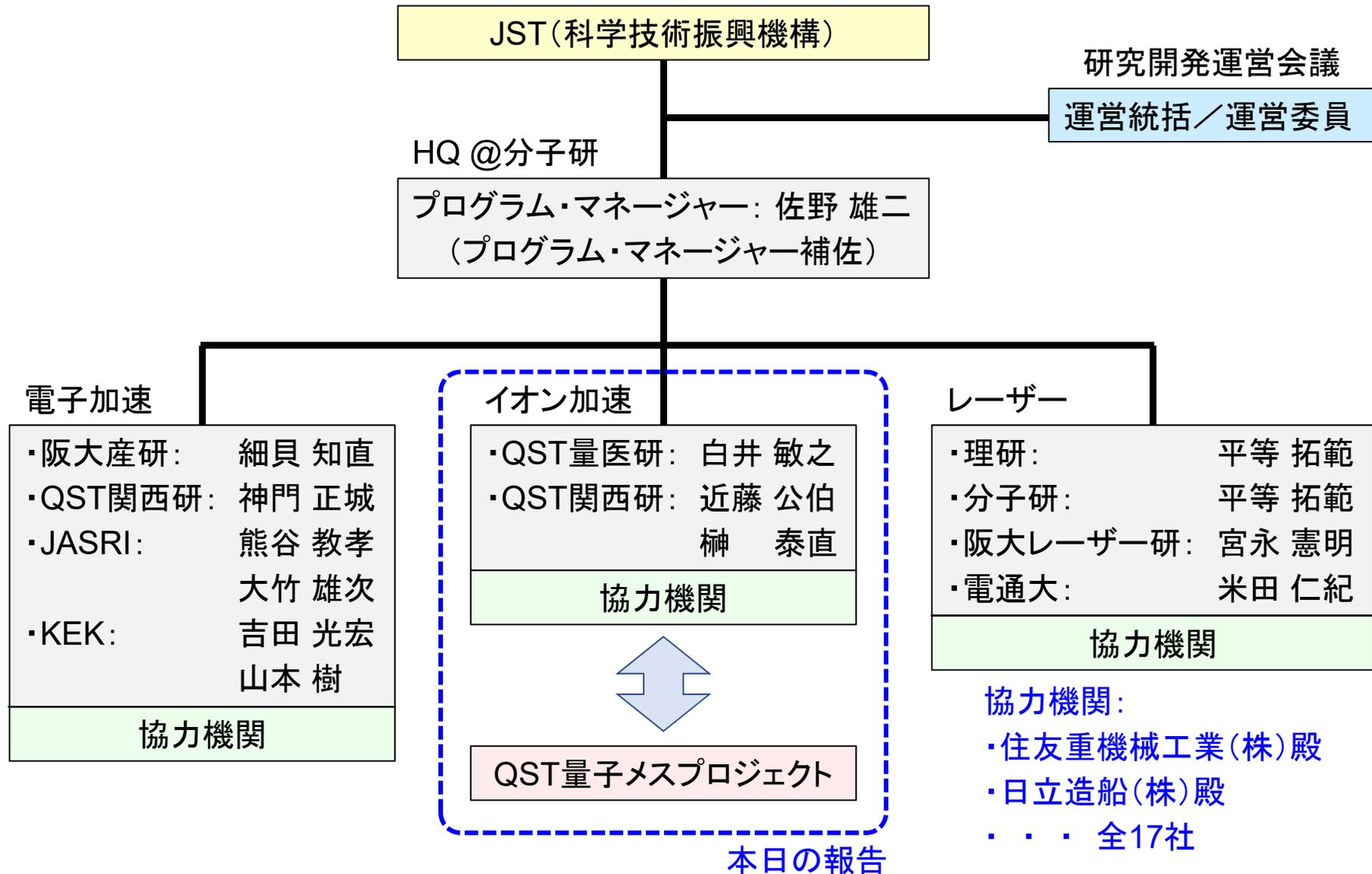
<https://www.qst.go.jp/site/qms/1584.html>

治療機会の提供・拡大(医療費の抑制)

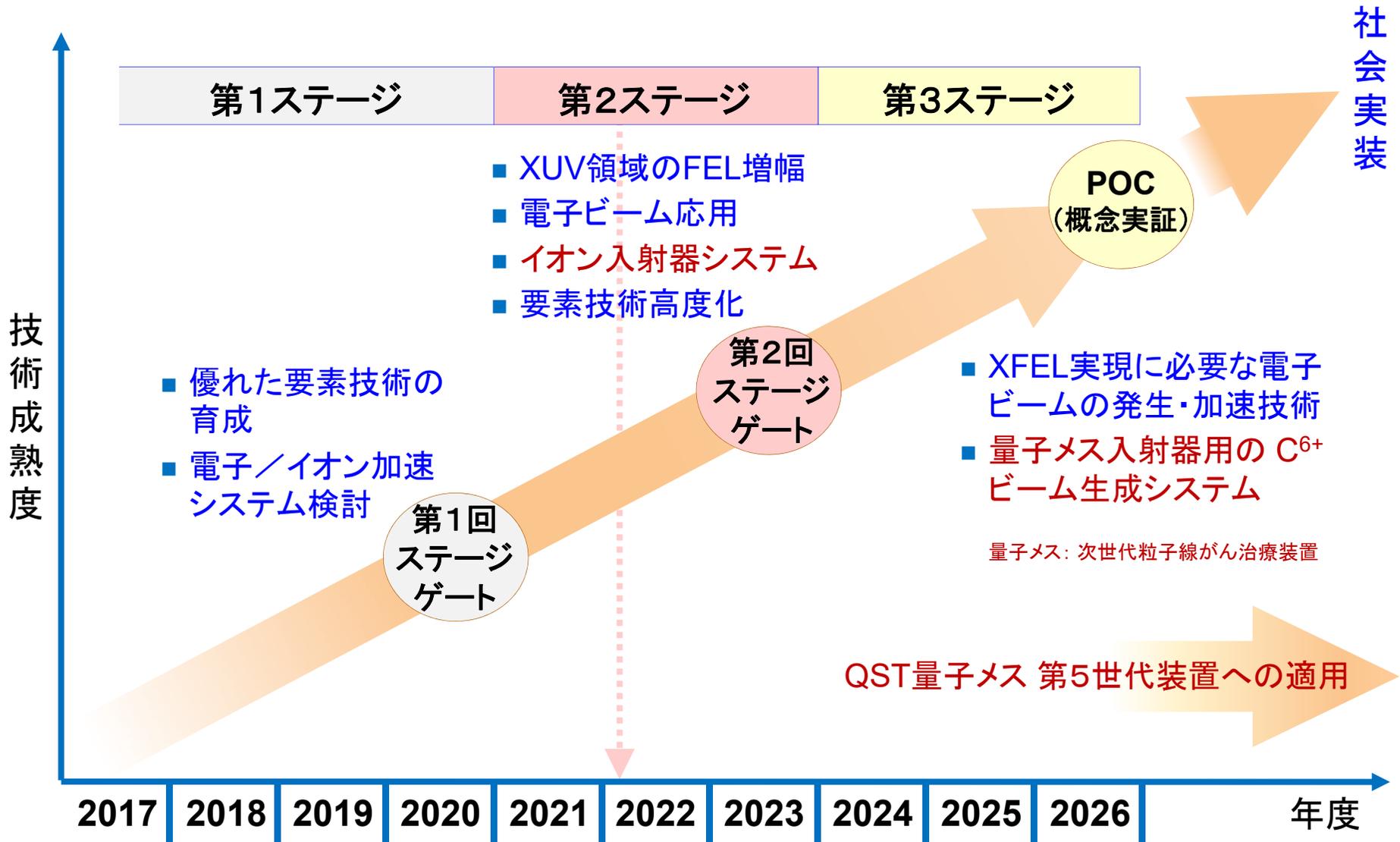


量子メス(次世代重粒子線がん治療装置)

2022年度の開発体制



開発の展開と POC への道すじ



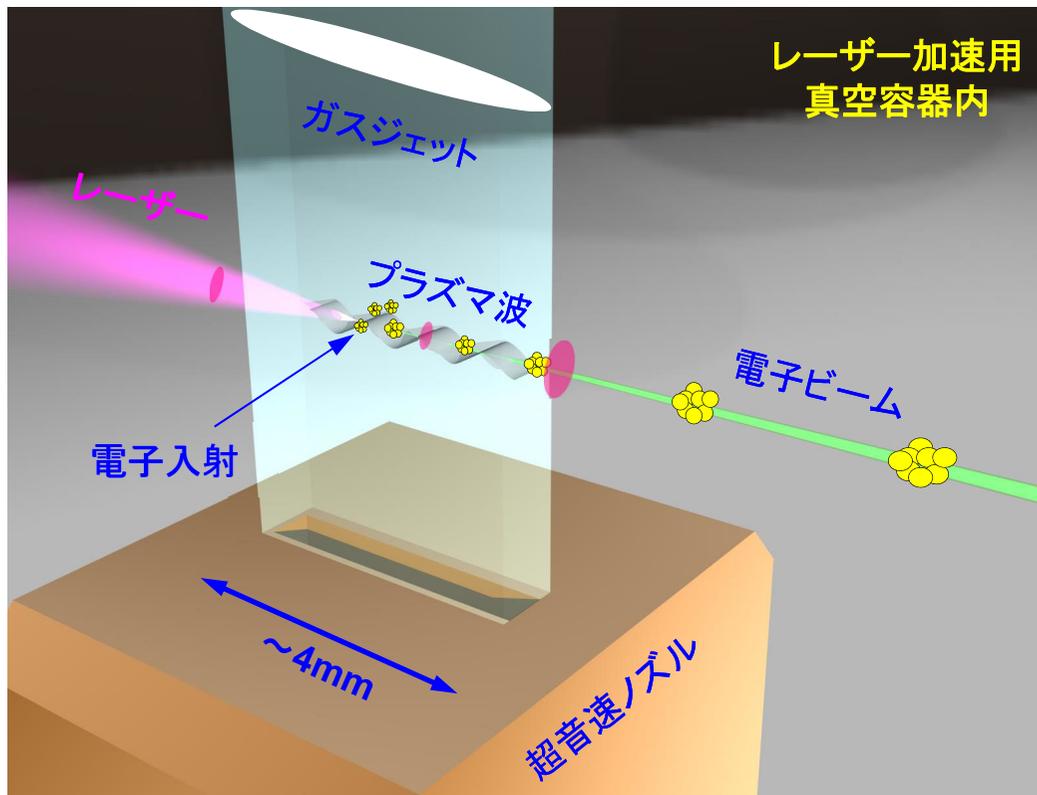
プロジェクトの三本柱

- レーザーによる電子加速
- 高強度レーザー技術開発
- レーザーによるイオン加速

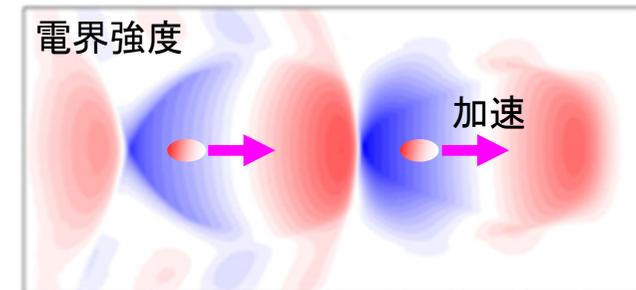
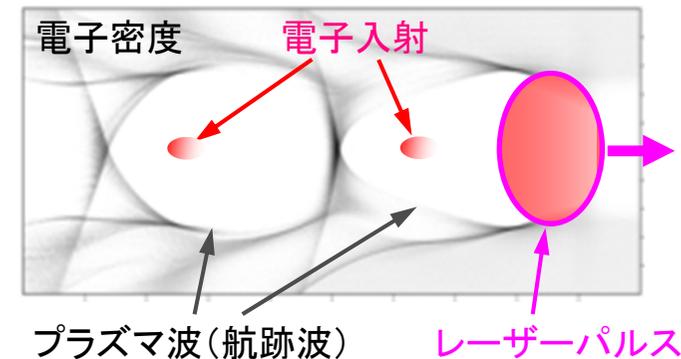
レーザーによる電子加速

レーザープラズマによる電子加速の原理

- 真空中のガスジェットに高強度レーザーを集光照射
- 電子が押し退けられ、プラズマ波(航跡波)が発生
- 平衡状態に戻ろうとする電子の衝突で、種電子発生
- プラズマ波の電場で種電子が加速(電子入射)
- 従来の加速器の約1000倍の加速勾配(～50 GeV/m)



船による波(航跡波)



電子発生(電子入射)のイメージ



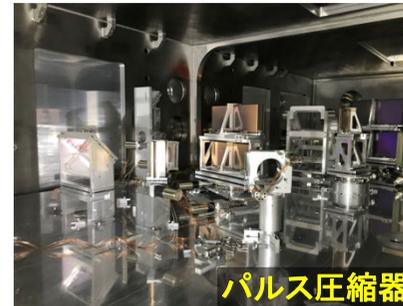
レーザー電子加速プラットフォーム(播磨)



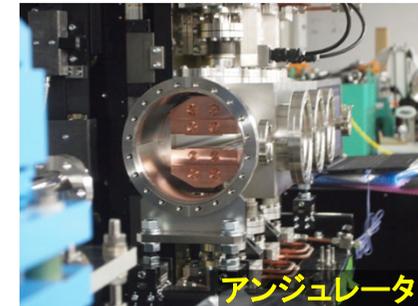
制御室



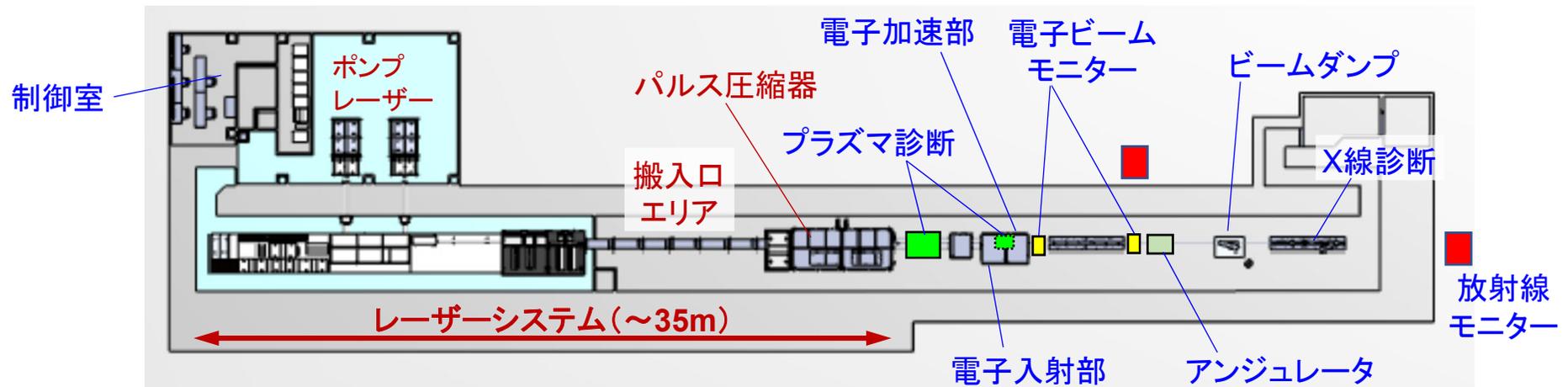
ポンプレーザー



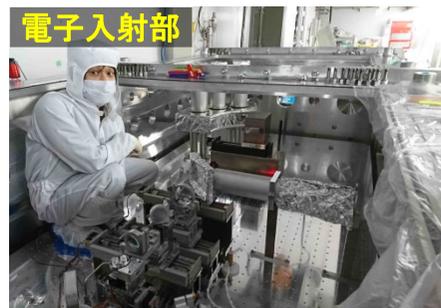
パルス圧縮器



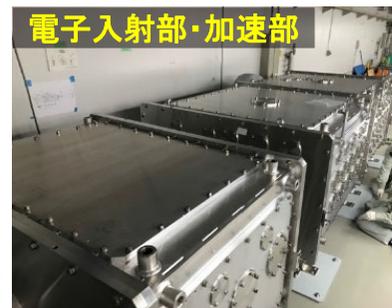
アンジュレータ



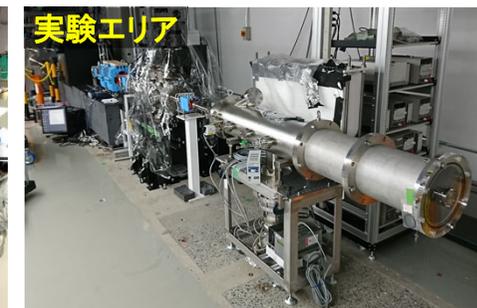
レーザーシステム



電子入射部

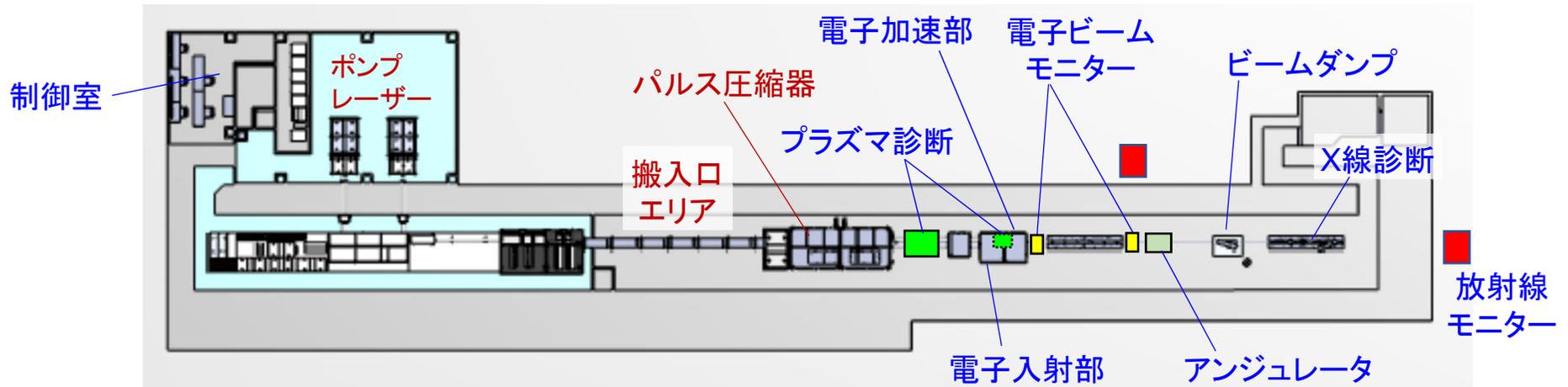


電子入射部・加速部

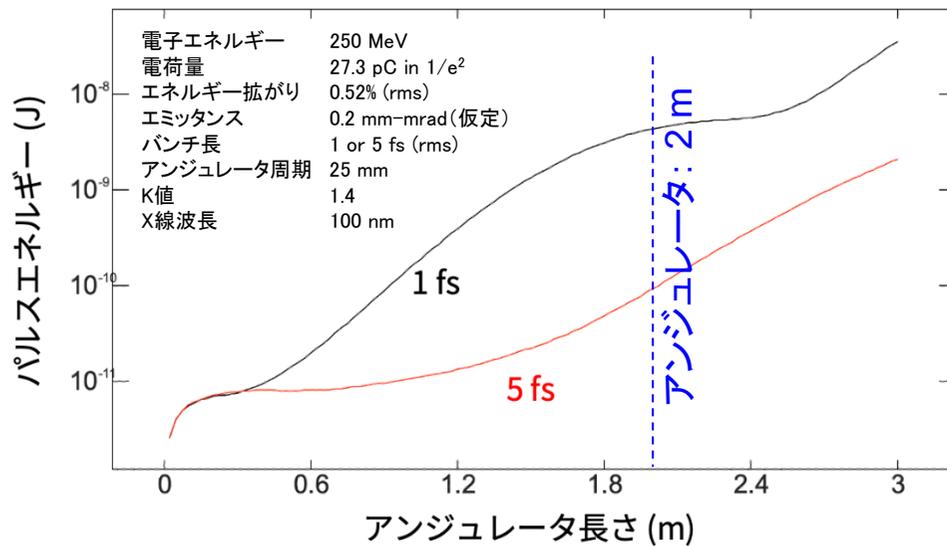


実験エリア

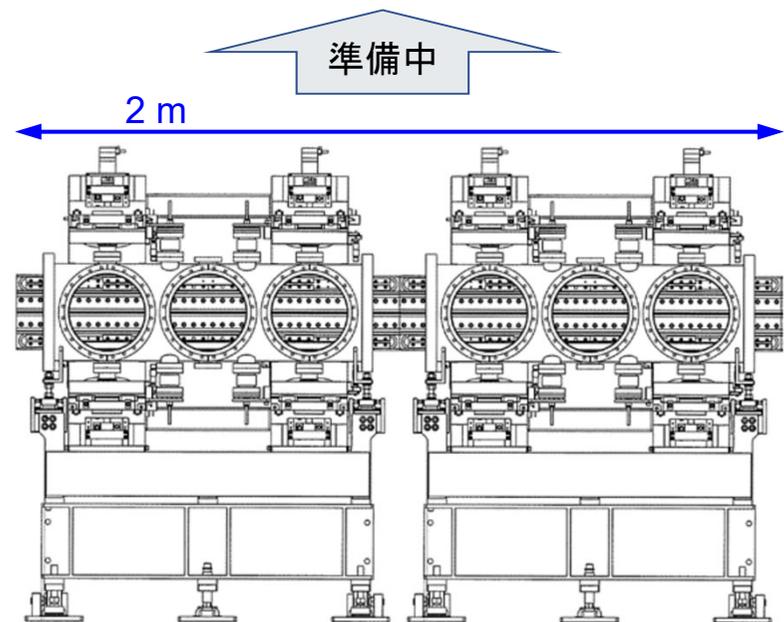
FEL発振を目指して(第2ステージ目標)



レーザー電子加速プラットフォーム(播磨)



FEL発振シミュレーション(SIMPLEX)



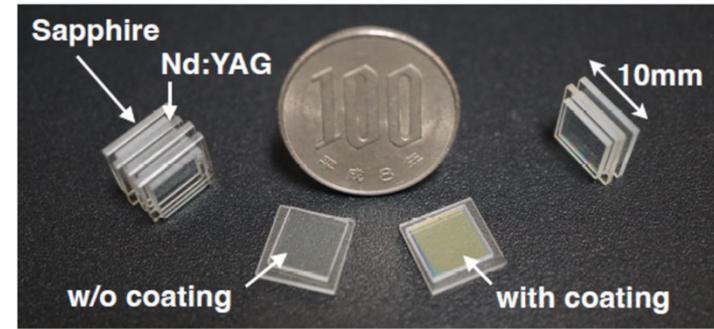
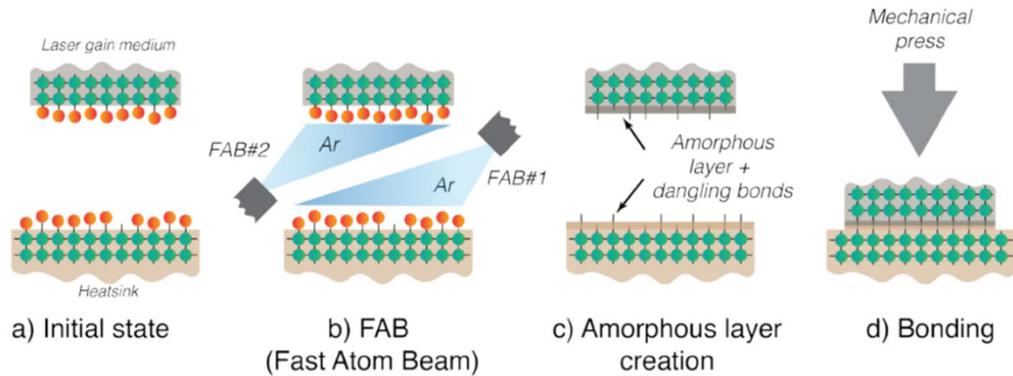
小型アンジュレータ(磁力相殺型)

プロジェクトの三本柱

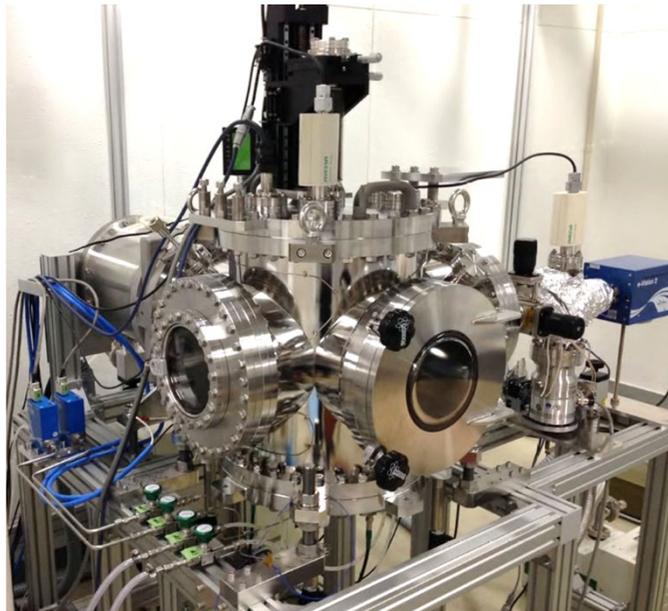
- レーザーによる電子加速
- 高強度レーザー技術開発
- レーザーによるイオン加速

高強度レーザー技術開発

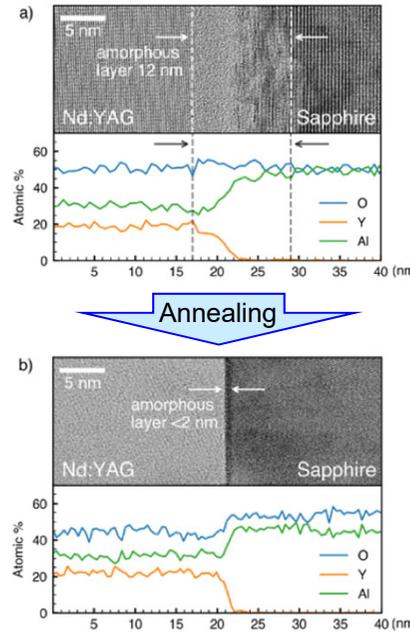
常温接合による高耐力界面の実現



表面活性とアモルファス層による常温接合

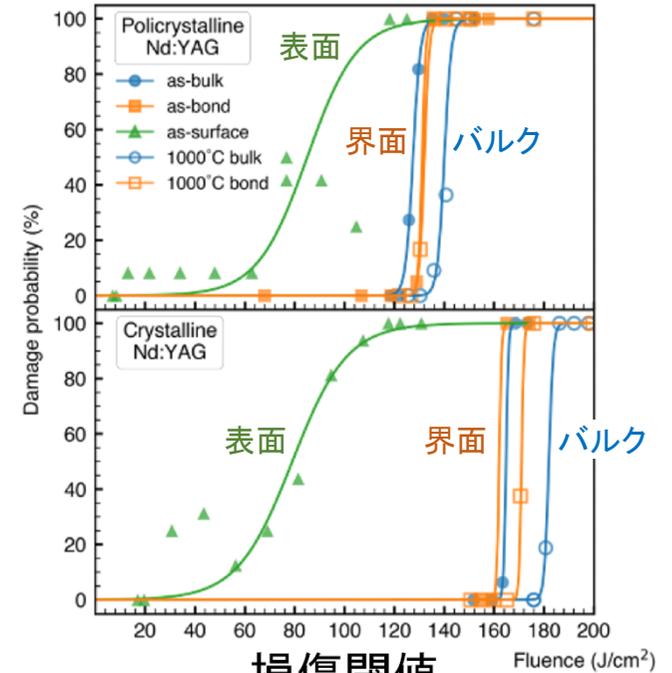


常温接合装置



界面の TEM / EDX

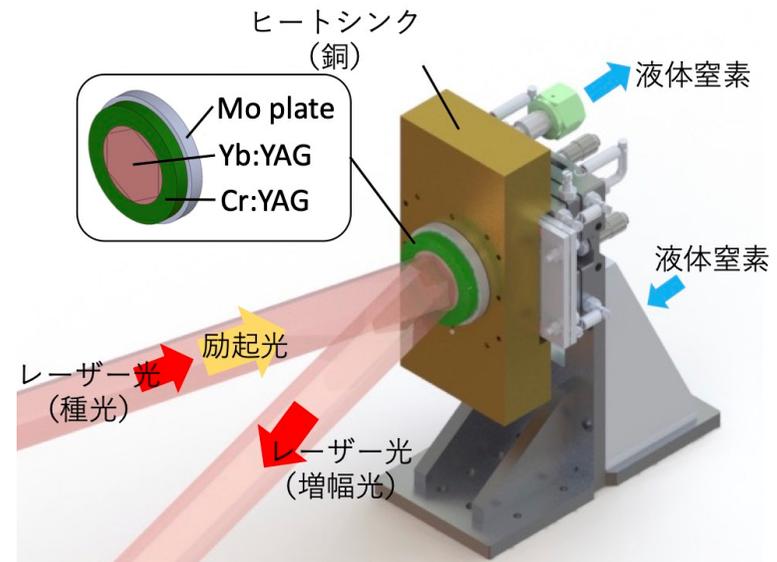
to be published in Opt. Lett.



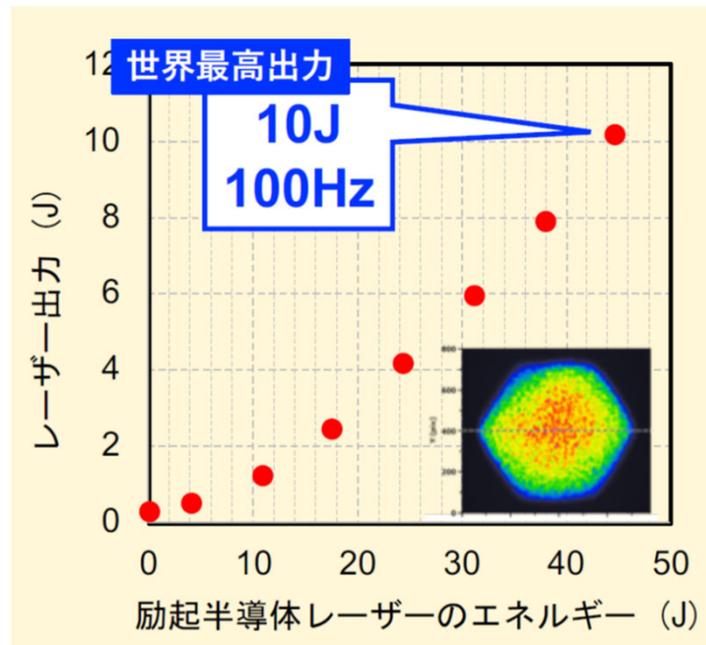
損傷閾値

10J / 100Hz 大出力レーザーの開発

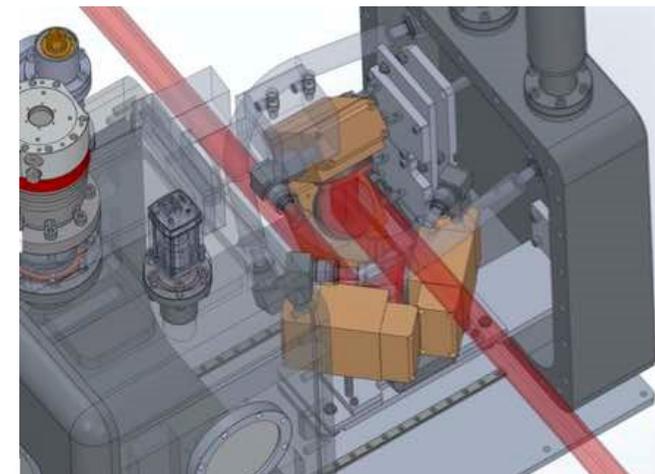
- 10J級では世界最高平均出力(1kW)
- 独自技術で実現した世界初の5cm級熱伝導冷却型アクティブミラー
- 純国産(5社以上の国内企業の連携)



Yb:YAG アクティブミラー



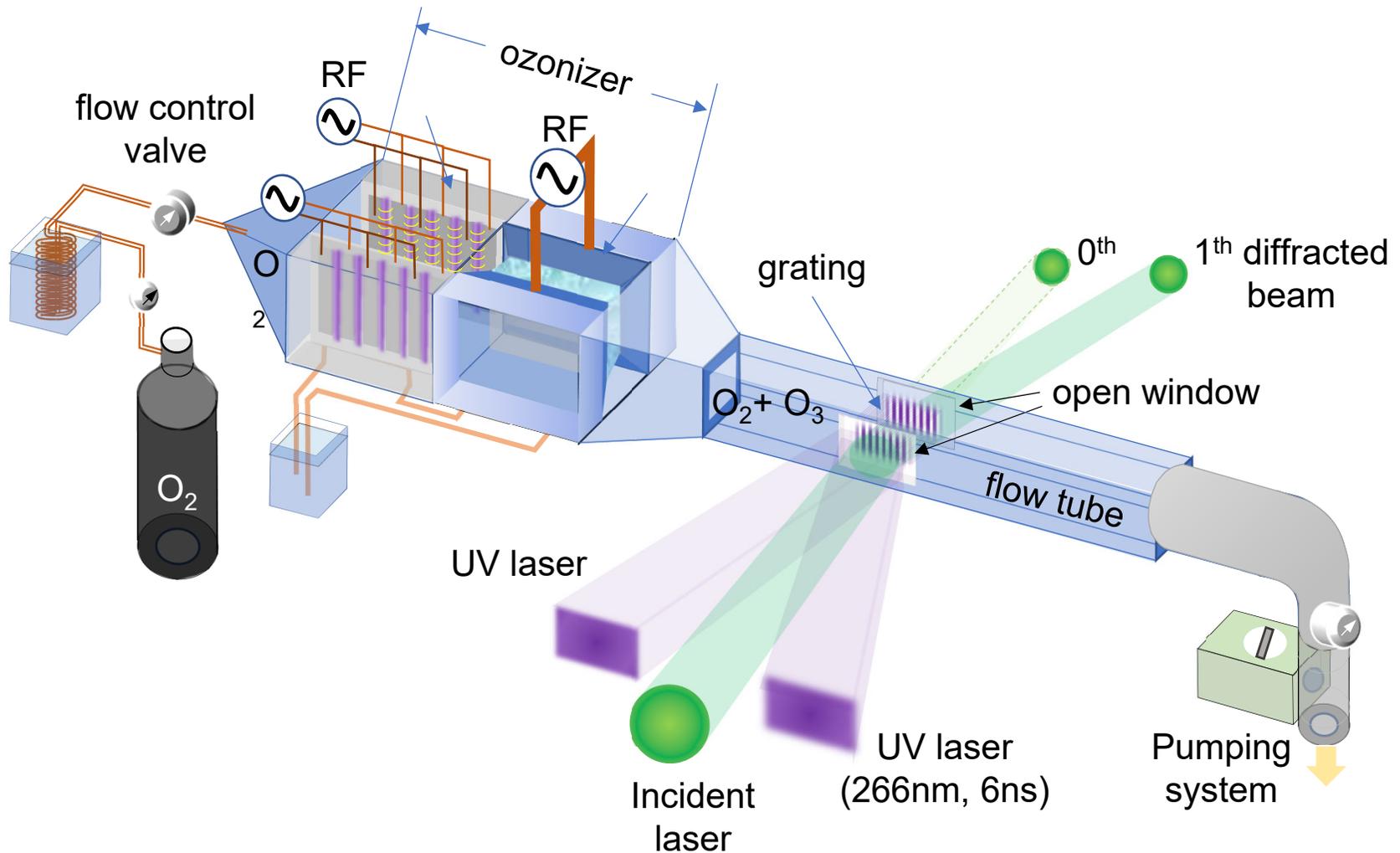
30 × 35 × 40 cm



一体化ホルダーによる小型化

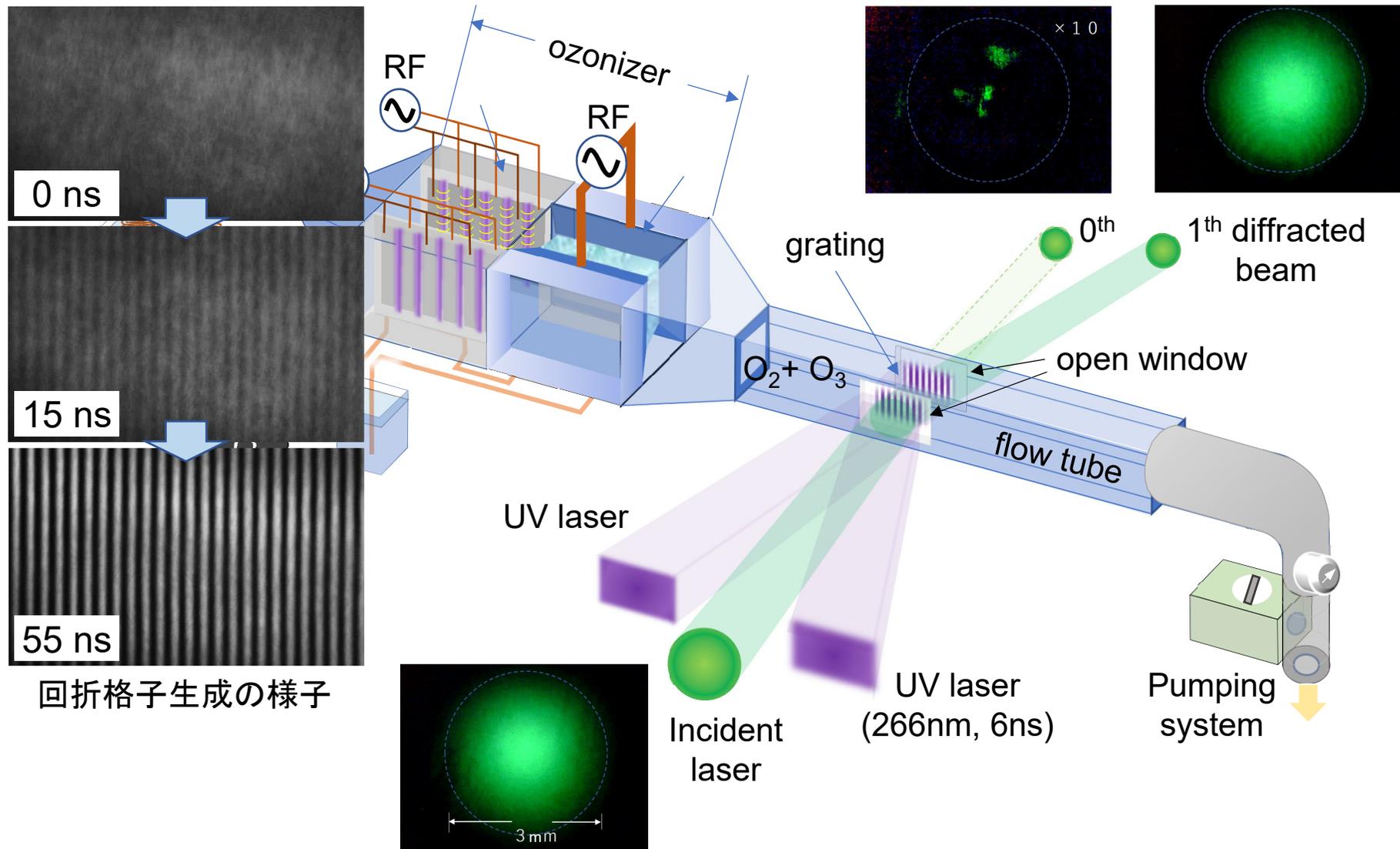
kJ/cm² 級高耐力光学素子の開発

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



kJ/cm² 級高耐力光学素子の開発

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



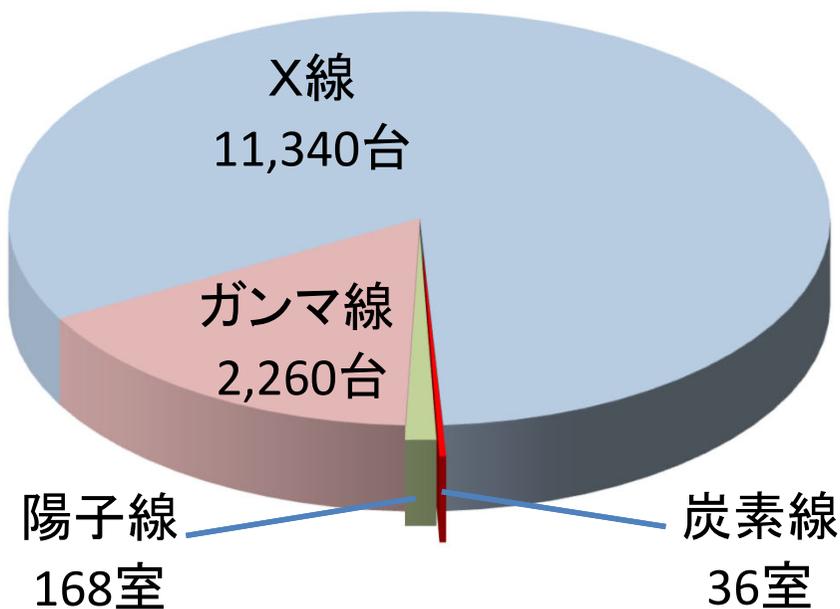
プロジェクトの三本柱

- レーザーによる電子加速
- 高強度レーザー技術開発
- レーザーによるイオン加速

レーザーによるイオン加速

世界の放射線治療装置数(粒子線は治療室数)

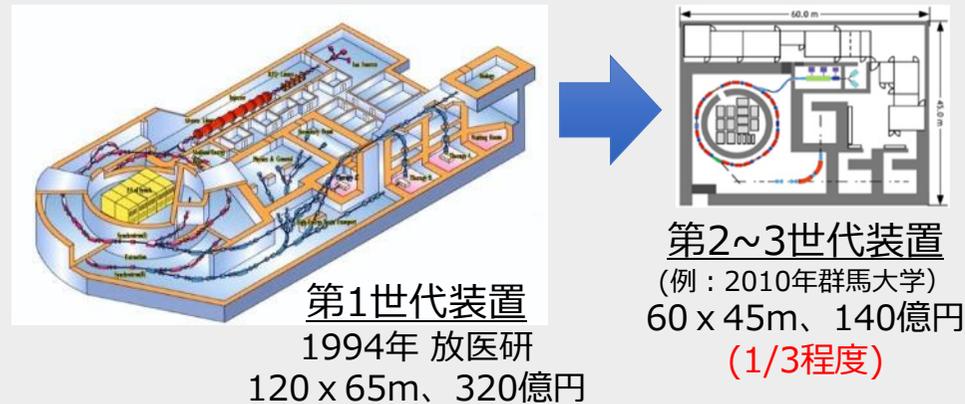
MEDraysintell Proton Therapy Edition 2016



- 大規模病院への炭素線治療装置の導入は一段落
- さらなる普及には治療装置の小型・低価格化が必須

QST量子メス開発プロジェクト

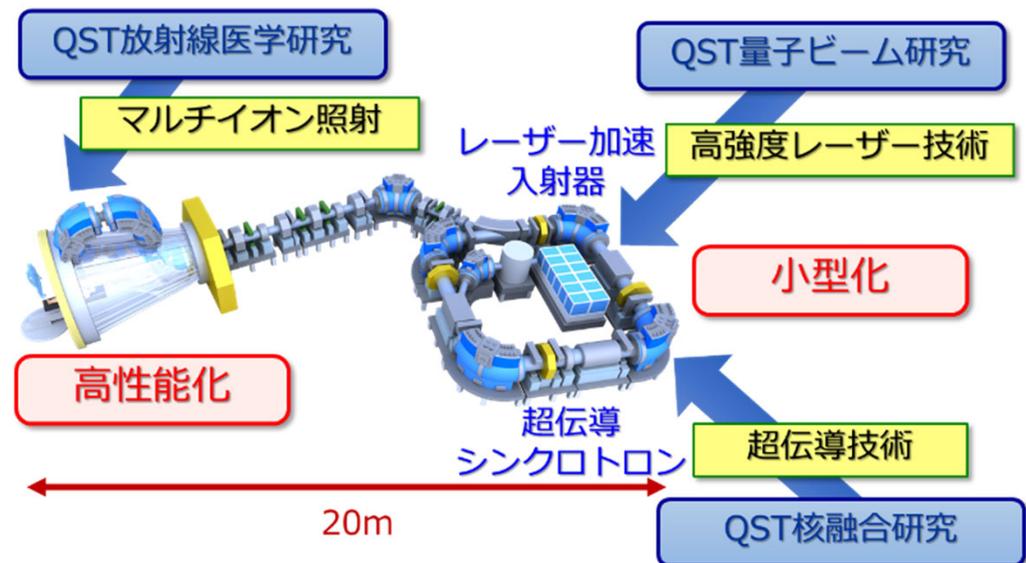
重粒子線がん治療装置



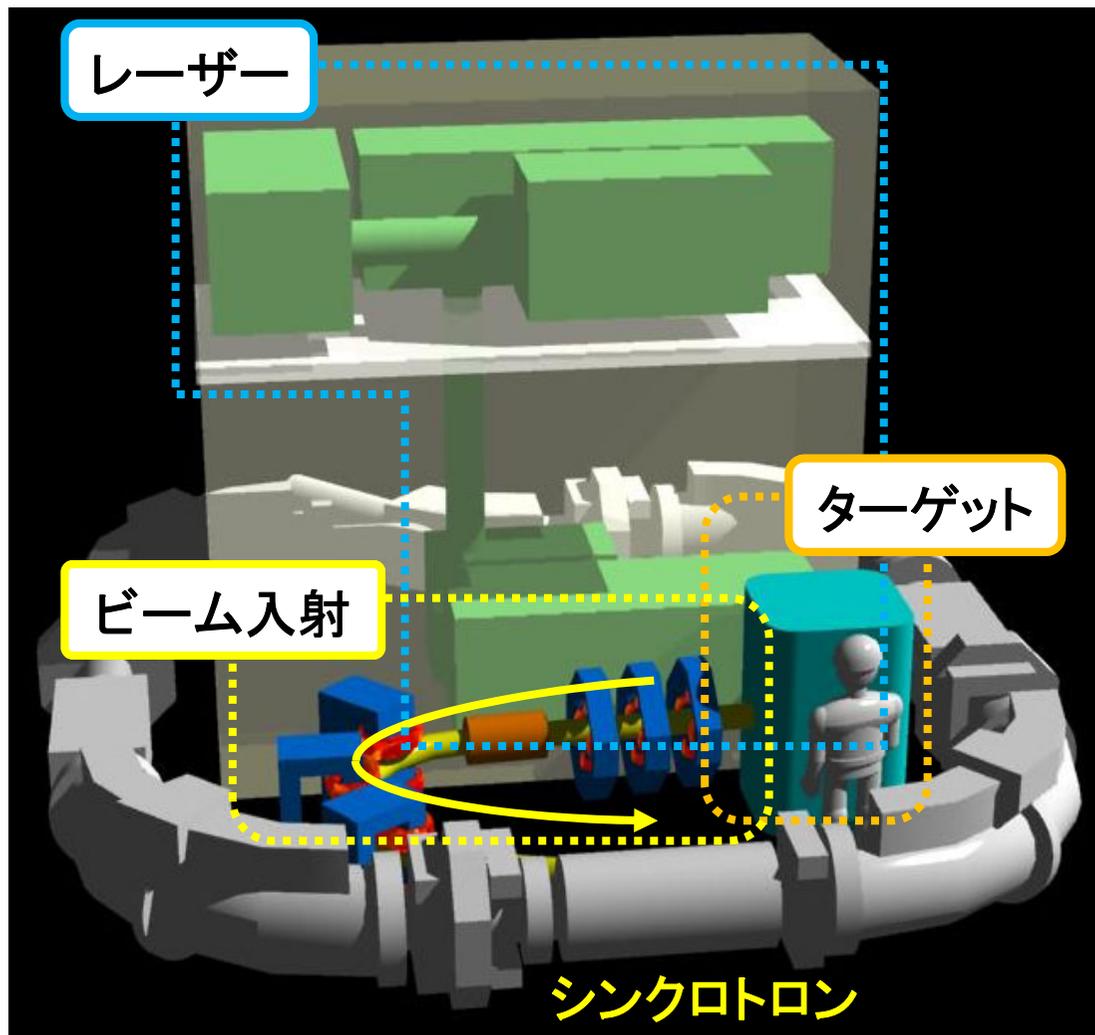
量子メス



- 装置が巨大で高額
→超伝導技術とレーザー加速技術により、画期的な小型化を達成し国際的普及へ
- 腫瘍によっては、除去が完璧ではない
→マルチイオン照射技術により、治療短期化に向けた高性能化を実現



レーザー加速入射器とシンクロトン



レーザー

高品質パルス
パルスエネルギー
繰り返し, etc.

ターゲット

高純度炭素の繰り返し供給
真空度、デブリ対策, etc.

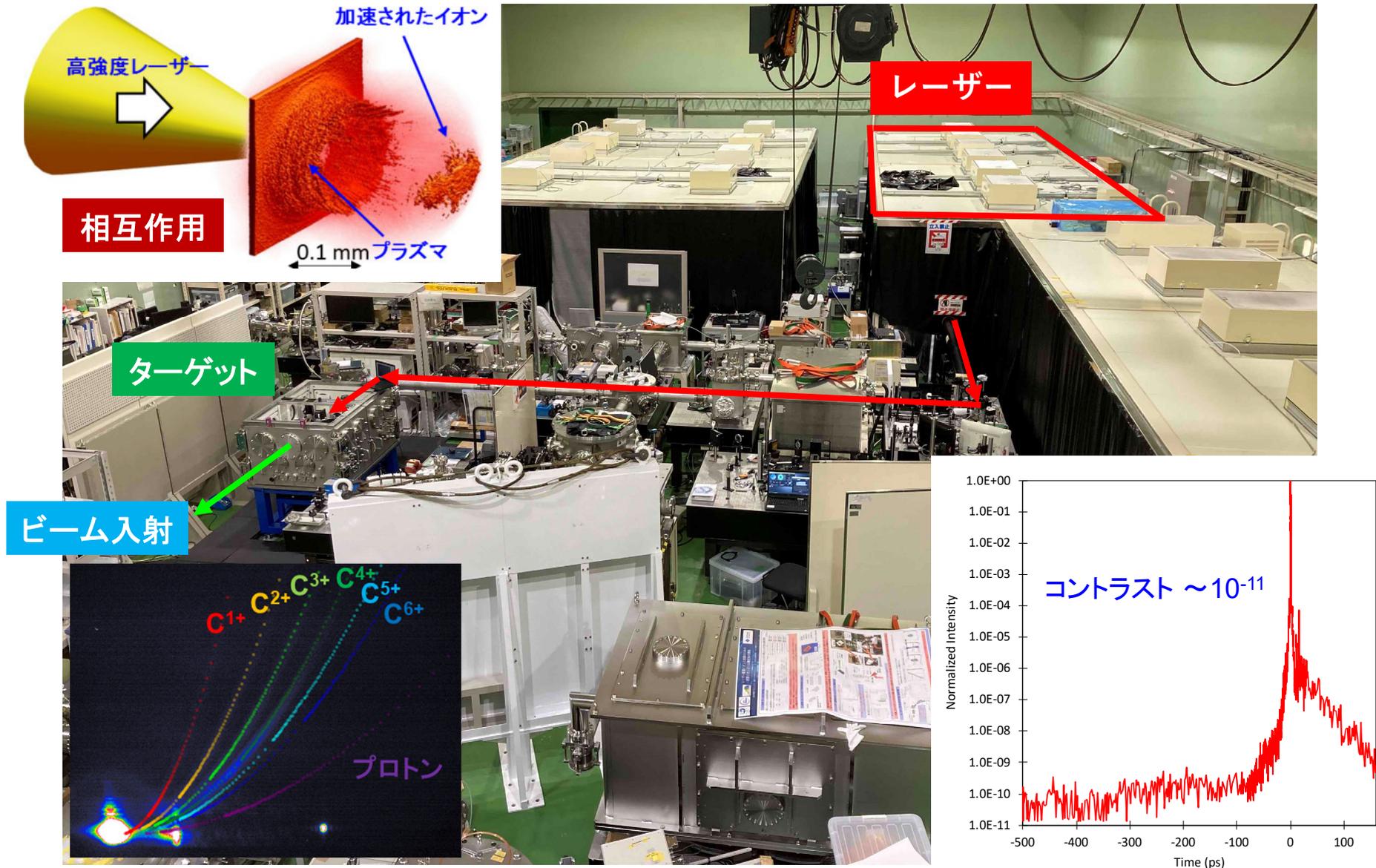
ビーム入射

有限立体角成分の捕集
ビーム輸送
バンチ圧縮(位相回転)
真空度、モニター, etc.

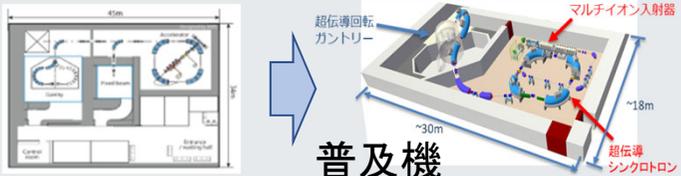
相互作用

レーザーと薄膜プラズマ
炭素ビーム発生特性
レーザー仕様、効率, etc.

イオン加速プラットフォーム (QST関西研)



研究開発スケジュール

	ステージ	第1ステージ				第2ステージ			第3ステージ		
	年度	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
未来社会	電子加速 	<ul style="list-style-type: none"> 電子加速プラットフォーム整備 ガスターゲット技術開発 電子加速技術開発 モニター／制御技術開発 ビームライン／アンジュレータ 				<ul style="list-style-type: none"> 要素技術改良／高度化 XUV-FEL実証 電子ビーム応用開発 			<ul style="list-style-type: none"> 電子ビーム高度化 → XFEL等へ 電子ビーム応用開発 → 創薬・医療応用等 		
	レーザー	<ul style="list-style-type: none"> DFC／アクティブミラーレーザー 超高耐力光学素子 				<ul style="list-style-type: none"> 高度化／加速用レーザーシステム検討 					
	イオン加速 	<ul style="list-style-type: none"> イオン加速プラットフォーム構築 薄膜ターゲット技術開発 イオン加速技術開発 ビーム入射／モニター開発 				<ul style="list-style-type: none"> 高コントラスト化 加速イオン高純度化 MeV級炭素イオン発生 MeV級炭素イオン輸送 			<ul style="list-style-type: none"> 高度化／高効率化 入射器システム実証 → QST量子メス 第5世代装置 		
QST	量子メス (第4世代)	<ul style="list-style-type: none"> 要素技術開発 超伝導シンクロトロン マルチイオン照射 				<ul style="list-style-type: none"> 実証機開発 (第4世代) 			 <p>普及機</p>		

- 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を推進
- 昨年度より、第2ステージ(2021～2023年度)。イオン加速では量子メスに使用する入射器の実証が目標。
- QST、産業界と密に連携して技術開発・システム化を推進。第2ステージの目標・POCを達成し、社会課題解決に貢献



**JST
MIRAI 未来社会創造事業**

With accelerators and lasers, we can realize a new era that has never been imagined before.