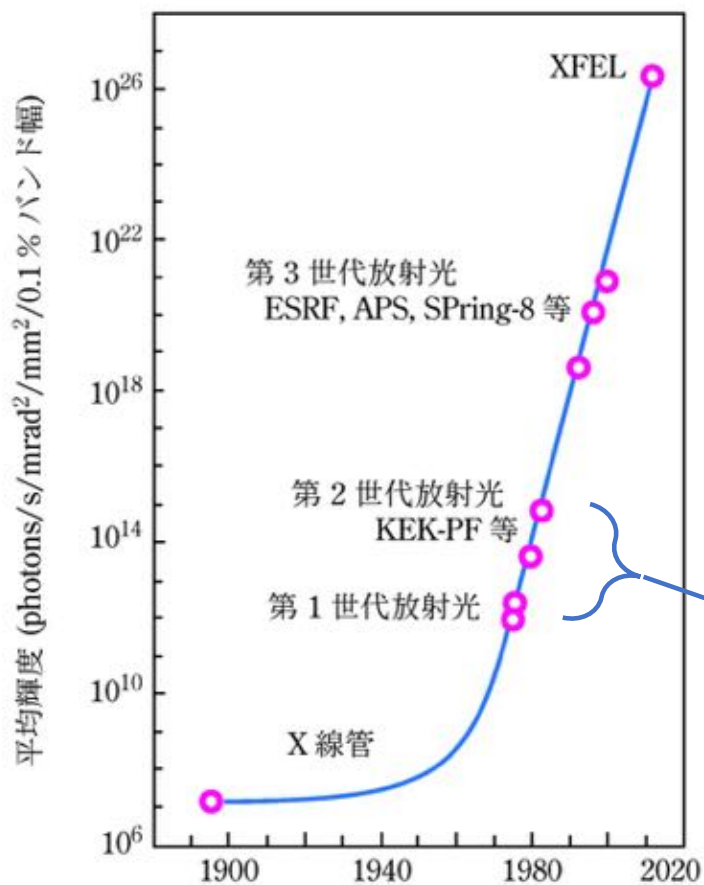


レーザープラズマ電子加速技術の 研究開発成果

量子科学技術研究開発機構(QST)



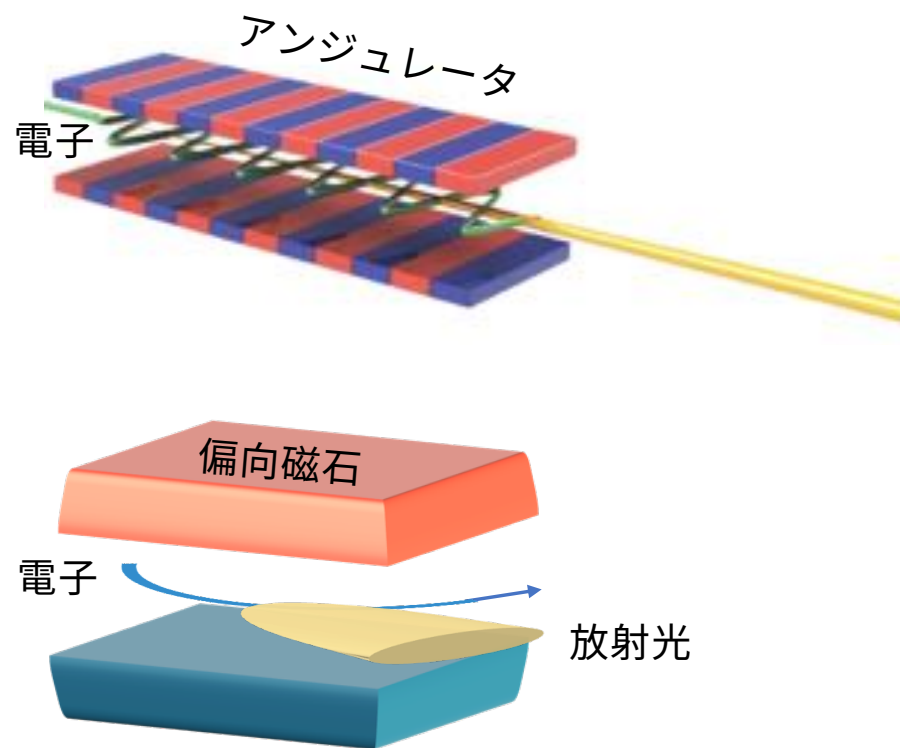
「レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証」2023年度シンポジウム
開催日：2023/08/02 場所：科学技術振興機構 東京本部別館



後藤俊治 ぶんせき2015より

X線領域のレーザー

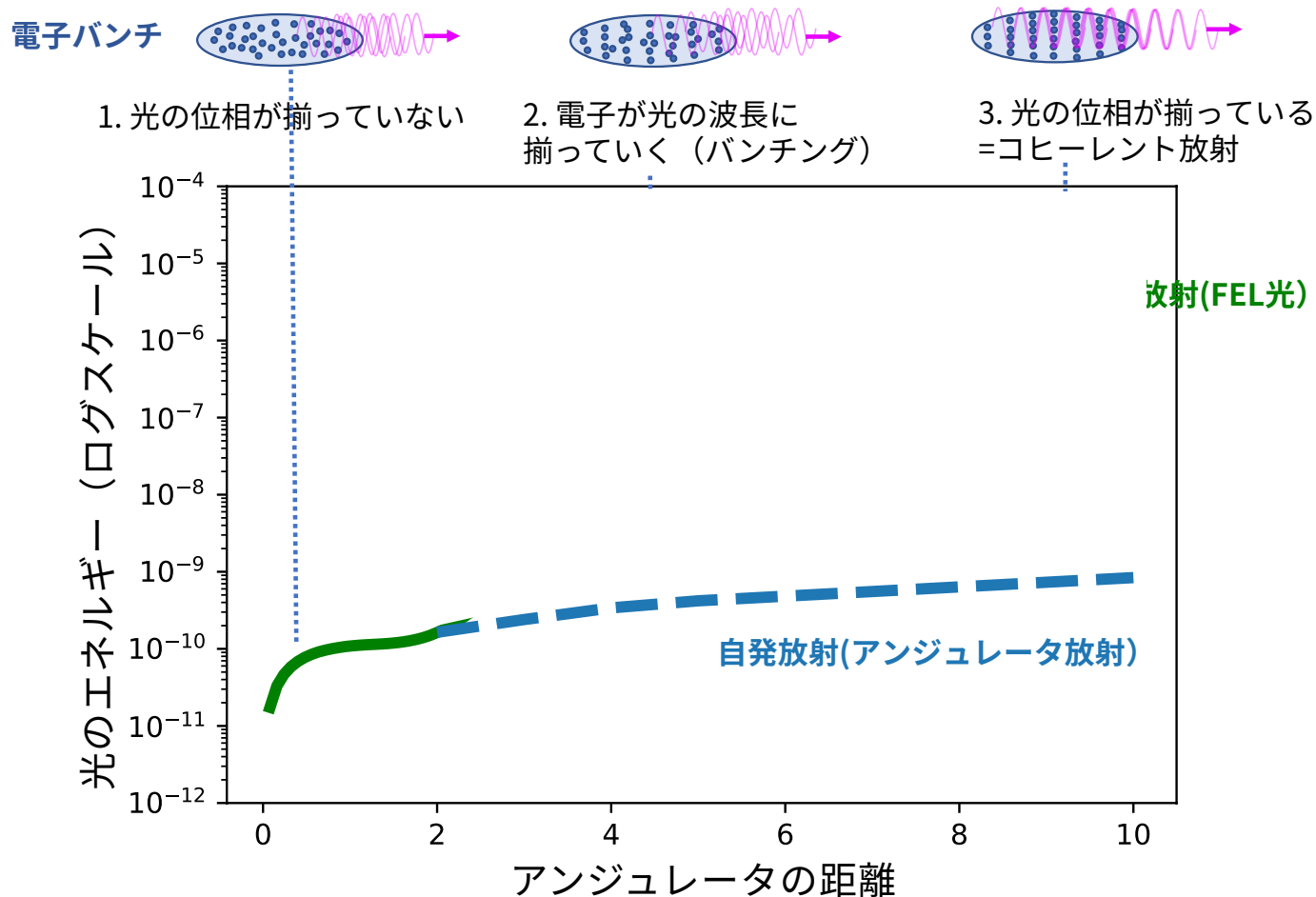
高輝度・短パルス・コヒーレント



「レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証」2023年度シンポジウム

開催日：2023/08/02 場所：科学技術振興機構 東京本部別館

アンジュレータ放射とFEL光

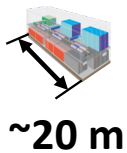


XFELは役に立つが、サイズが大きい！

米田先生資料より



2011~ SACLA(日本)



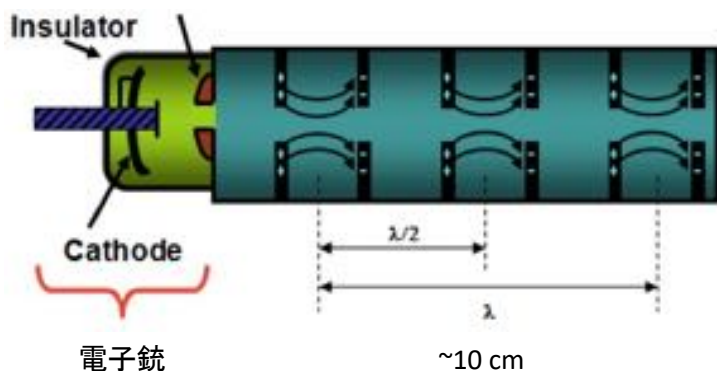
レーザープラズマ加速で
XFELの小型化を目指す

😊 極めて魅力的な装置

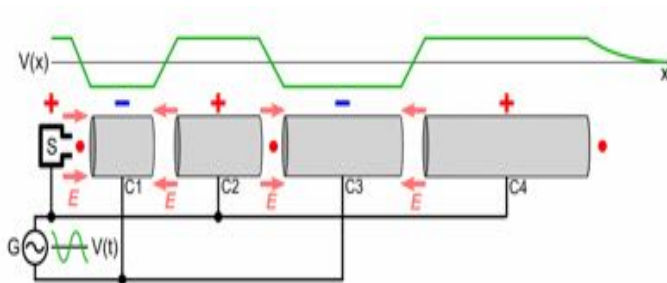
😞 サイズが大きい
直線型なのでビームライン少
気軽には使えない…



高周波加速器(リニアック)

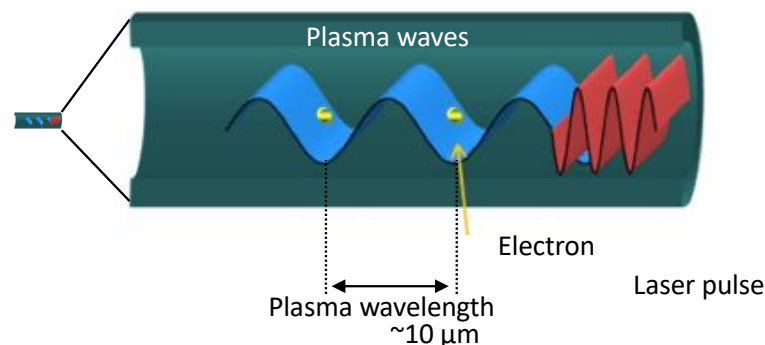


加速勾配 $\sim 10-100$ MV/m

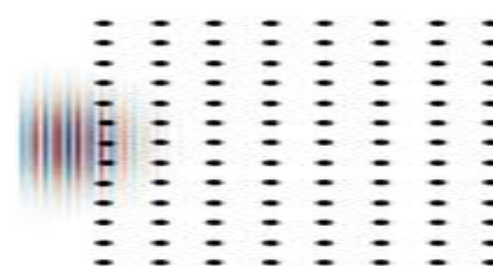


https://en.wikipedia.org/wiki/Linear_particle_accelerator

レーザープラズマ加速



$\sim 10-100$ GV/m
 $= 10,000-100,000$ MV/m



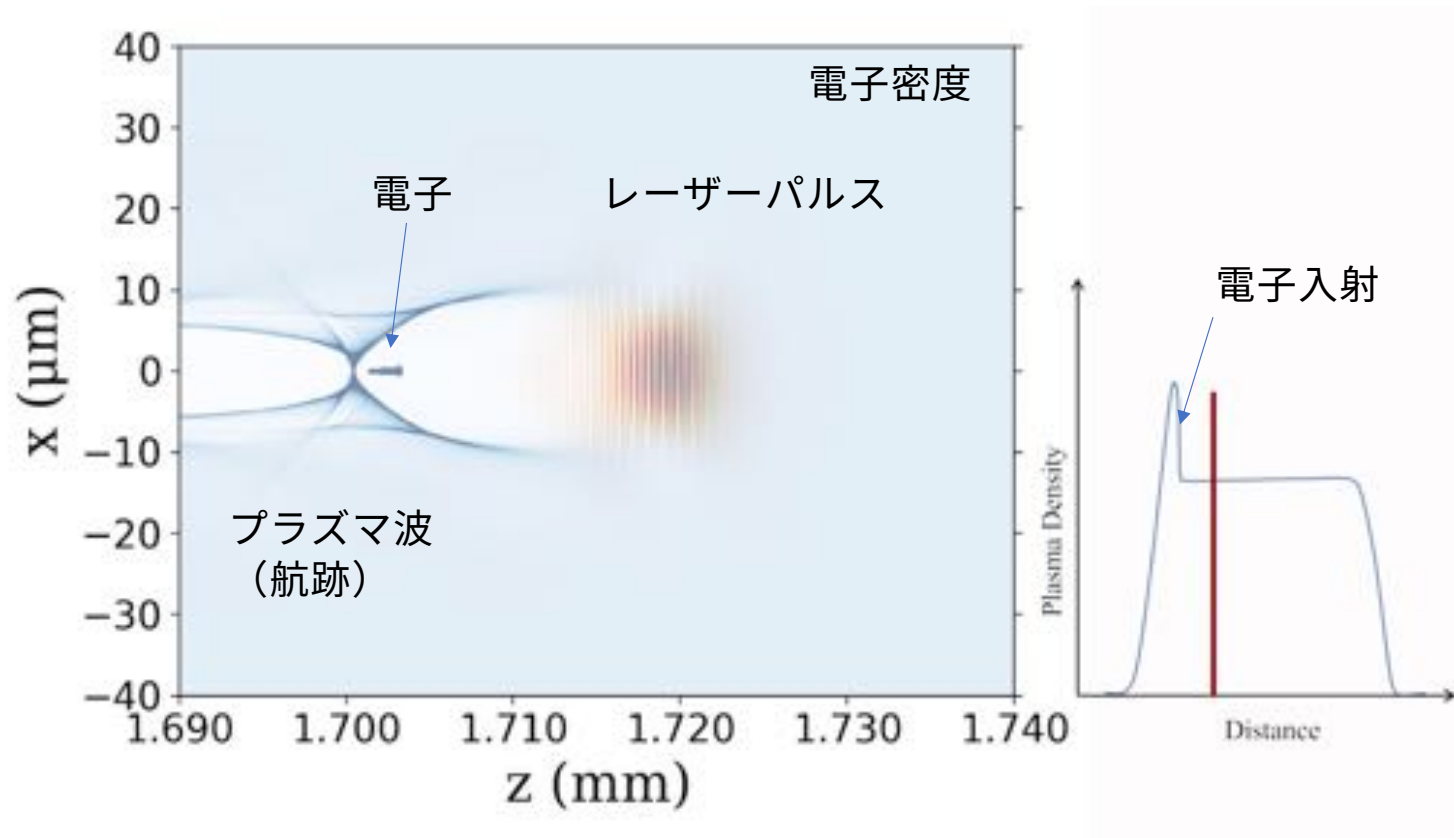
~ 1000 倍の
 加速勾配
 →小型化が可能

<http://wp.lancs.ac.uk/spiral/research/laser-driven-plasma-wakefield-acceleration/>



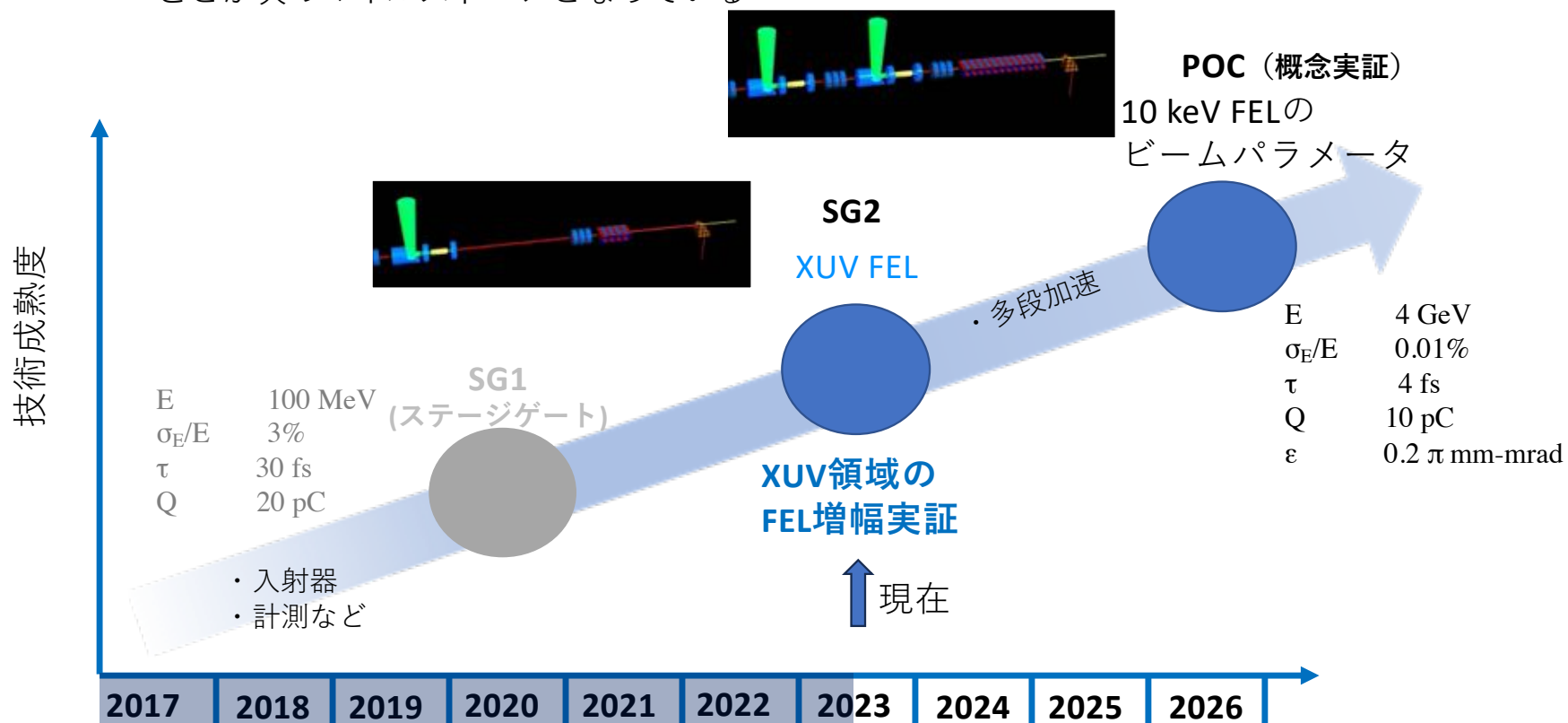
<https://www.youtube.com/watch?v=pGWoDR8R760>

「レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証」2023年度シンポジウム
開催日：2023/08/02 場所：科学技術振興機構 東京本部別館



本プロジェクトの計画（電子加速FEL）

- **最終目標** 10 keVのXFELを実現できる電子ビーム性能を実証
- **中間目標** 各要素技術を統合した技術レベルの実証を行う
- 世界的にもXUV領域でのFEL増幅（アンジュレータからの放射ではなく増幅）を達成することが次のマイルストーンとなっている

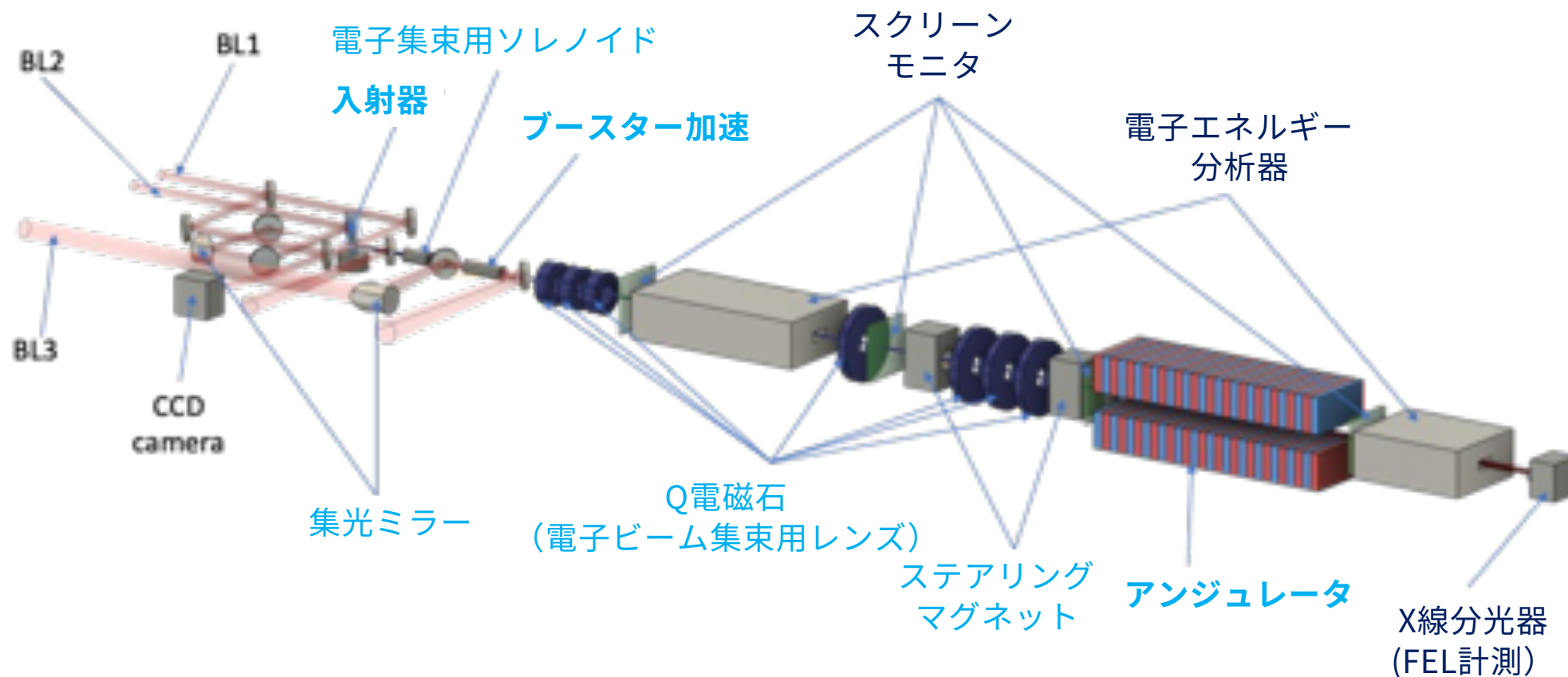


「レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証」2023年度シンポジウム

開催日：2023/08/02 場所：科学技術振興機構 東京本部別館

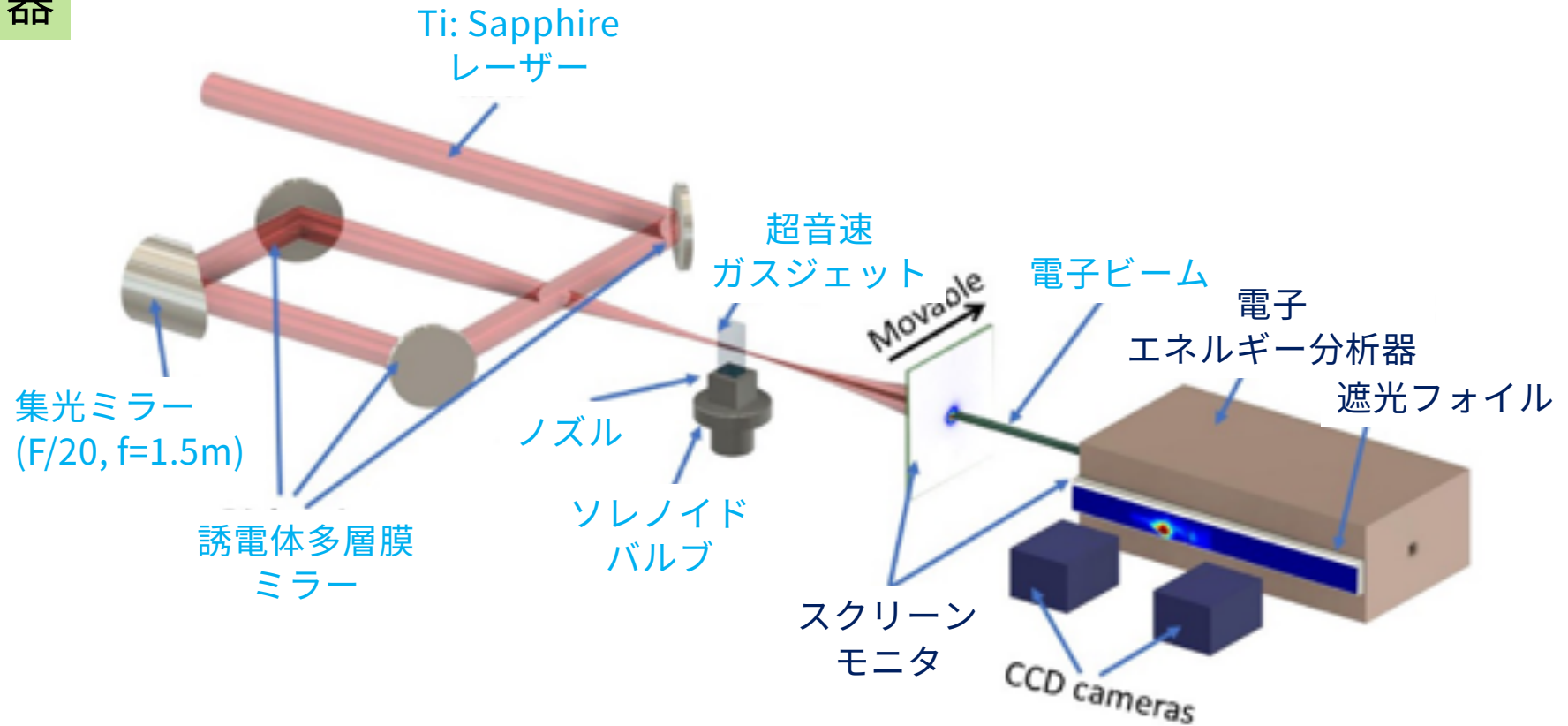
レーザープラズマ加速器の構成図

最終型

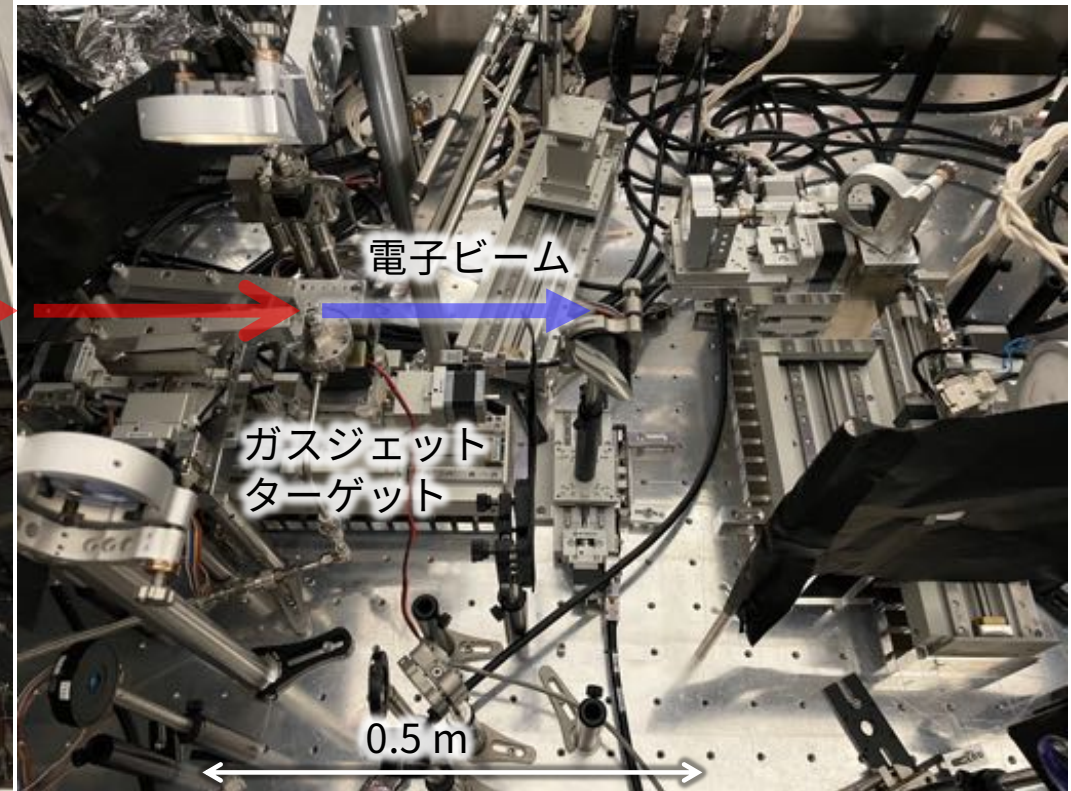
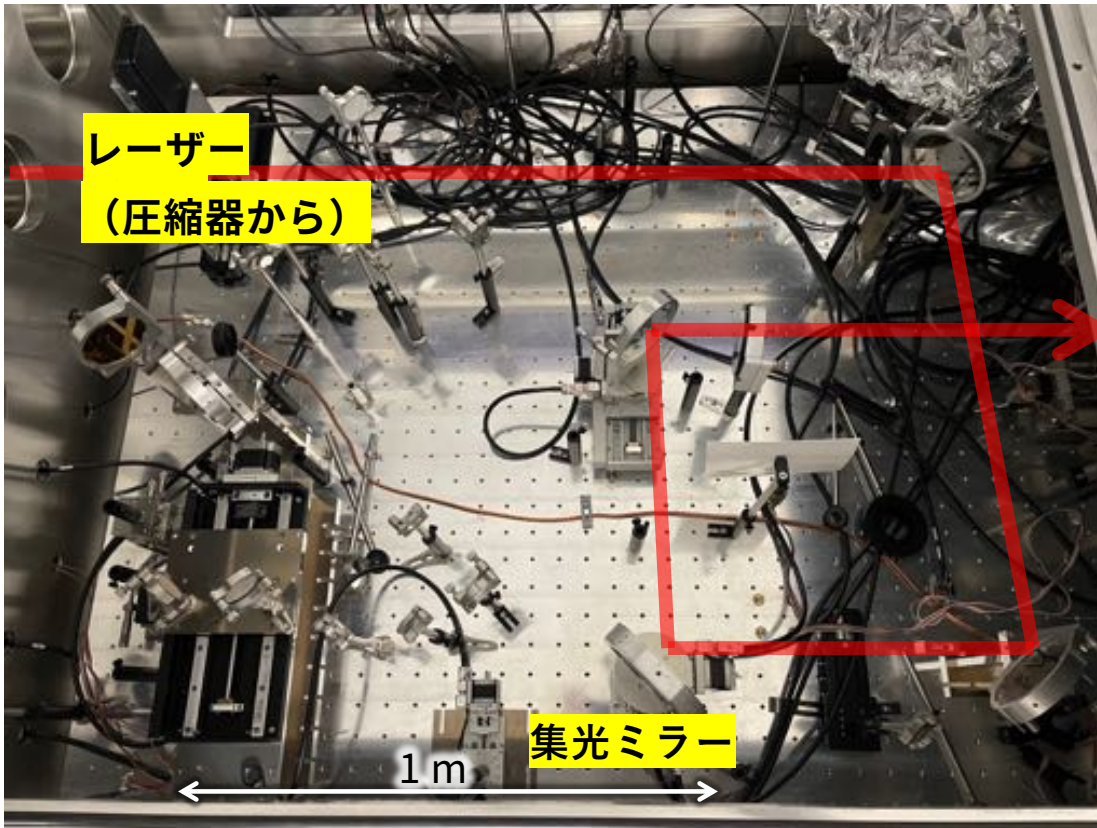


現在のレーザープラズマ加速 (入射器)

入射器



電子発生実験装置

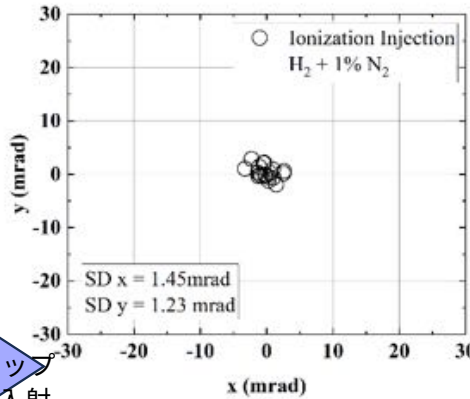


2018年当時

■ 電子ビームのプロファイル



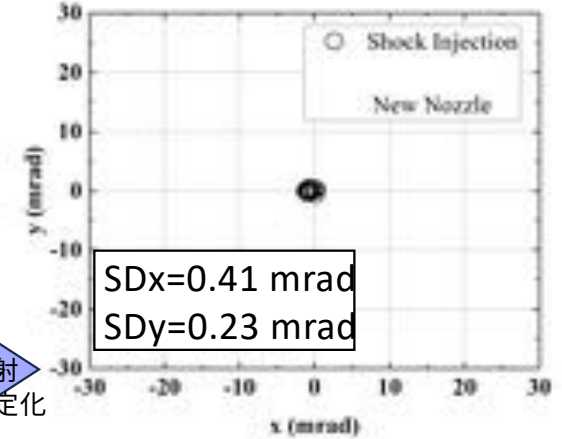
2022年



- ・レーザーパワーアップ
- ・イオン化入射

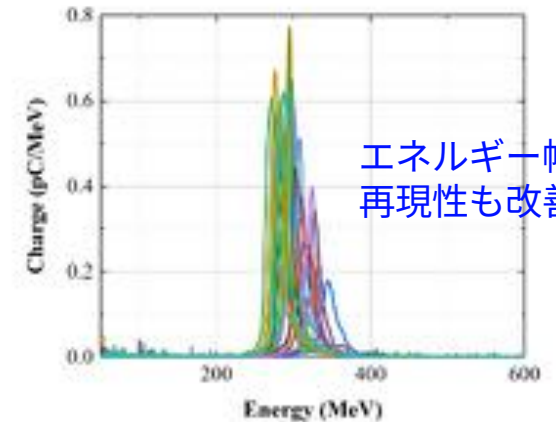
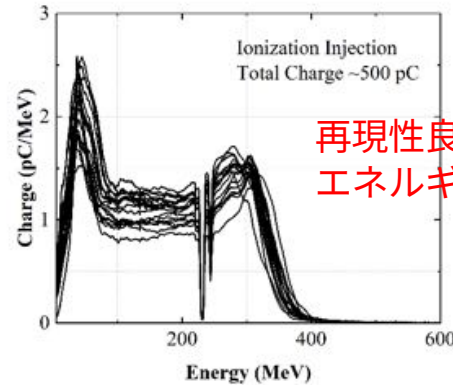
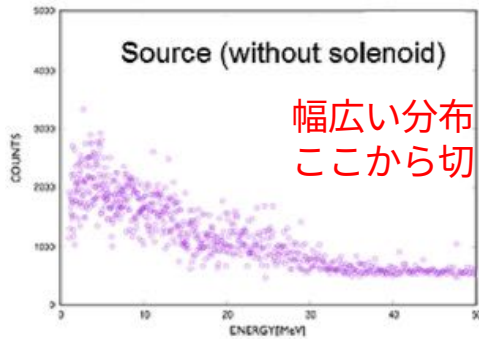
2023年

New Nozzle with Mask



- ・マスク
- ・衝撃波入射
- ・ノズル安定化

■ 電子エネルギー分布



「レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証」2023年度シンポジウム
開催日：2023/08/02 場所：科学技術振興機構 東京本部別館

最新のレーザープラズマ電子加速の結果

非公開

電子ビームの改善：バンチ長計測(暫定解析)

非公開

XUV FELの発振のシミュレーション

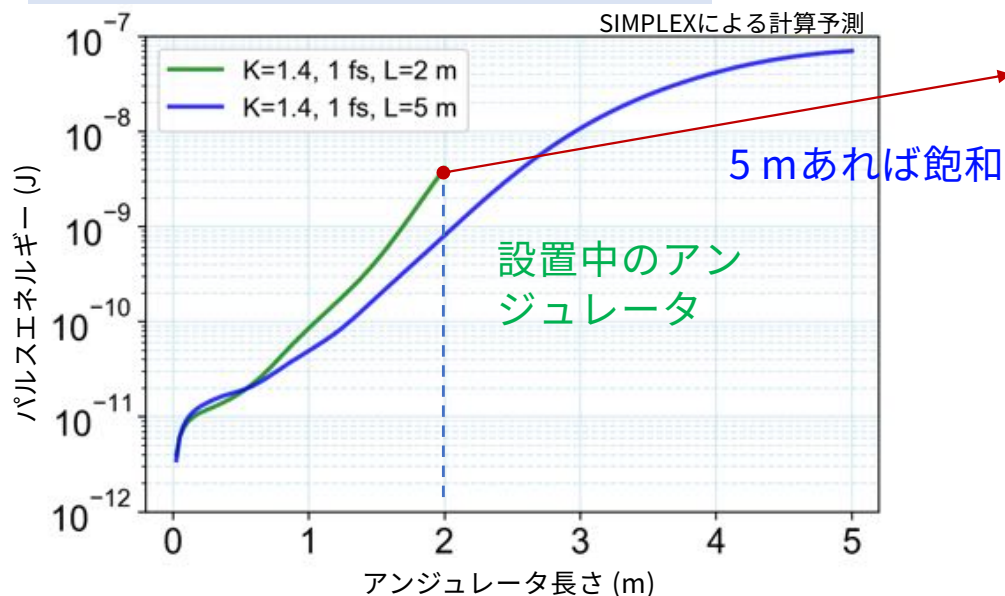
電子ビーム

電子エネルギー $E_p=360$ MeV
 電荷量 20 pC in $1/e^2$
 エネルギー拡がり $\sigma/E_p=0.52\%$ (rms)
 エミッタンス 0.2 mm-mrad (仮定)
 バンチ長 1 fs (rms)

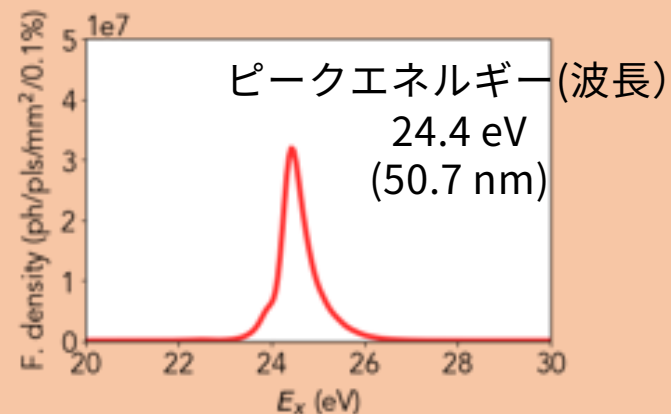
アンジュレータ

K値 $K=1.4$
 周期長 $\lambda_u=25$ mm
 長さ $L=2$ m

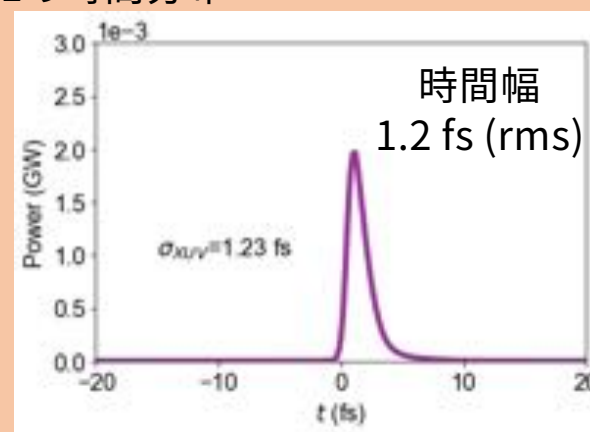
XUV-FEL実証に必要な電子性能を達成!



FELのスペクトル



FELの時間分布



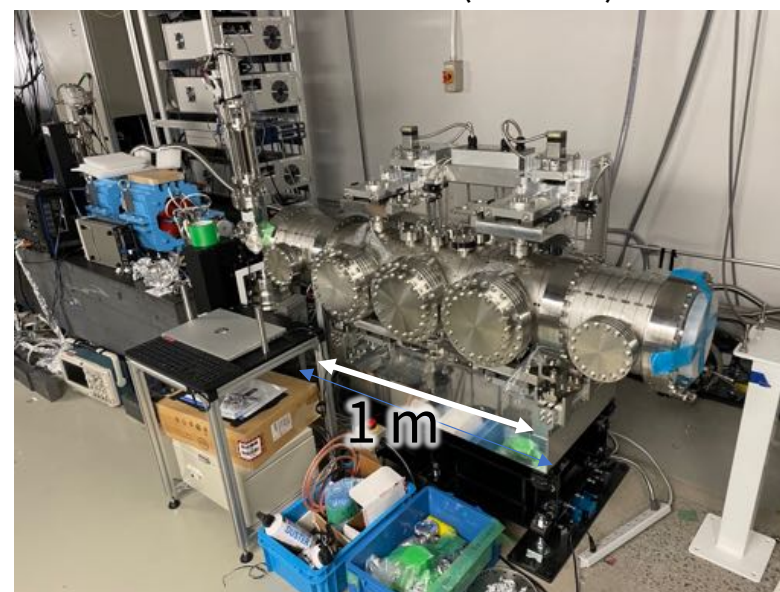
• 磁場吸引力相殺型の小型アンジュレータ開発

- 長さ 4.5 m
- 周期長 18 mm

- 長さ変更(1m→2 m **インストール中**)
- 磁石交換、周期長 (25 mm)

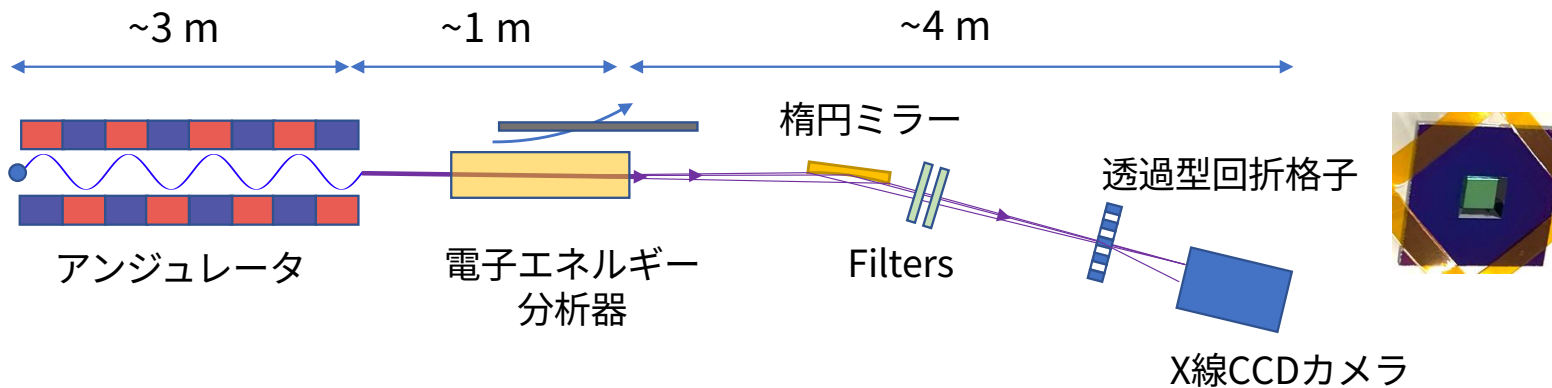
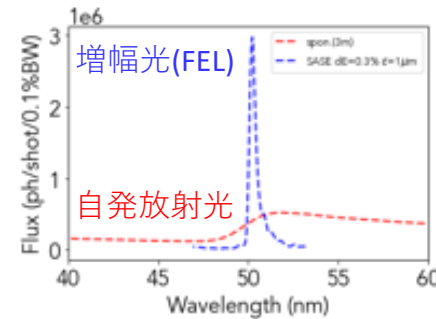


旧SCSSアンジュレータ (真空封止型)
> 10,000 kg

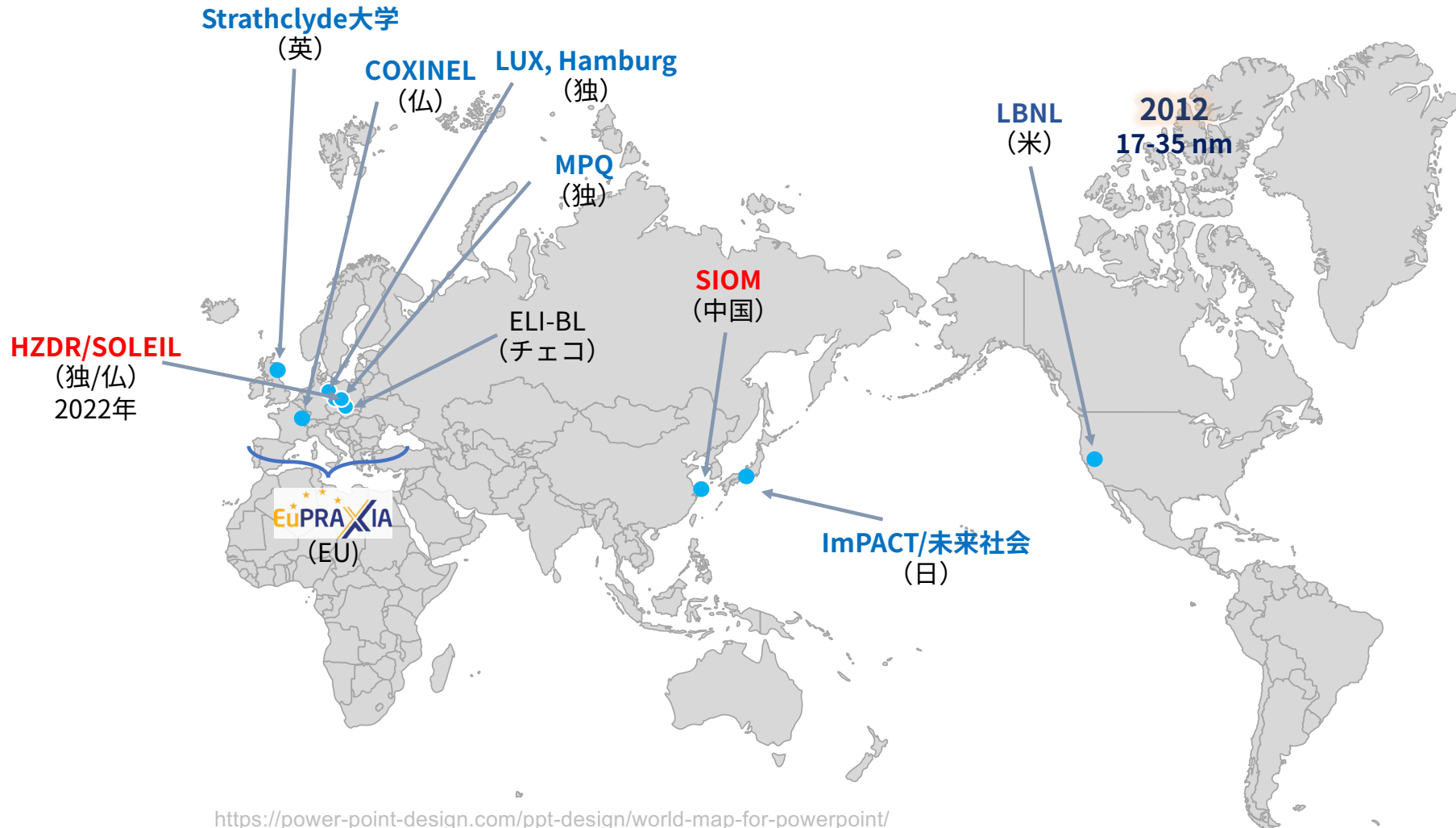


磁場吸引力相殺型
< 500 kg
駆動機構、架台が軽量化

- 楕円ミラーと透過型回折格子、X線カメラからなるイメージング分光器を構築
- 自発放射光からXUV分光計測を狙う。



世界の状況：レーザー加速FEL

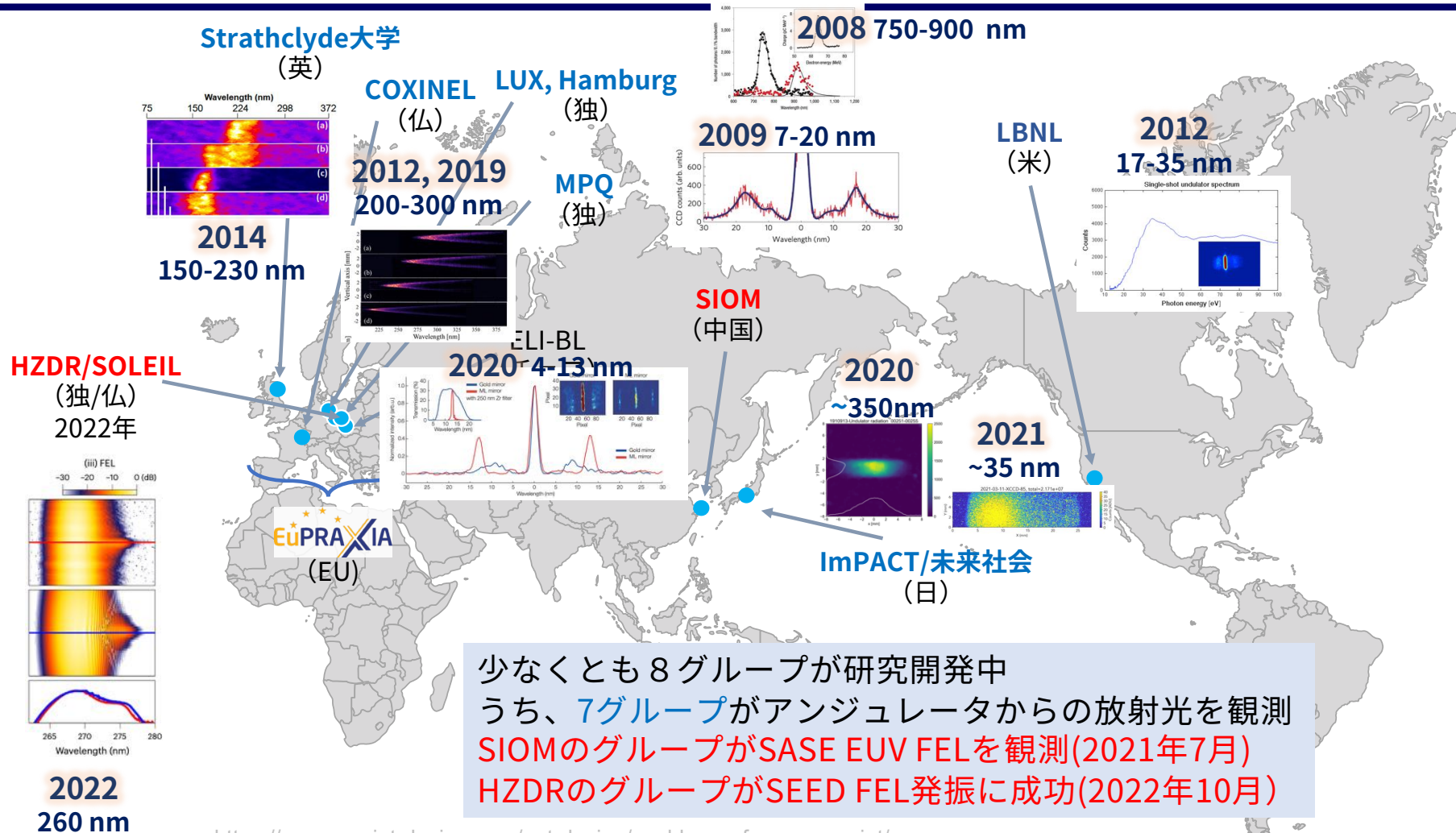


<https://power-point-design.com/ppt-design/world-map-for-powerpoint/>

「レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証」2023年度シンポジウム

開催日：2023/08/02 場所：科学技術振興機構 東京本部別館

世界の状況：レーザー加速FEL



少なくとも8グループが研究開発中
うち、7グループがアンジュレータからの放射光を観測
SIOMのグループがSASE EUV FELを観測(2021年7月)
HZDRのグループがSEED FEL発振に成功(2022年10月)

<https://power-point-design.com/ppt-design/world-map-for-powerpoint/>

「レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証」2023年度シンポジウム
開催日：2023/08/02 場所：科学技術振興機構 東京本部別館

レーザー電子加速/FELのベンチマーク

Rev4

	JST未来 (日本)	SIOM (中国)	Hamburg (ドイツ)	HZDR/SOLEIL (ドイツ/仏)	LBNL (米国)
レーザーパワー	23 TW (0.5 J, 25 fs)	200 TW (~4.8J, 24 fs)	50 TW (2J, 42fs)	70 TW (2.1J, 30 fs)	850 TW (31 J, 35 fs)
入射方式	衝撃波入射	衝撃波入射	イオン化入射	イオン化入射	自己入射
電子エネルギー	360 MeV (±6%)	490 MeV	368 MeV (±2.4%)	188 MeV (±3.2%)	7.8 GeV
相対エネルギー拡がり (rms)	0.59% (±38%) Best0.36%	Best 0.34%	6% (±27%)	6.3% (±0.8%)	-
エミッタンス		0.25 mm-mrad*		0.36 mm-mrad	
電荷量	20 pC (±60%)	22.8 pC	25 pC (±11%)	~75 pC (Max 110pC)	5 pC (7 GeV- 8.5 GeV)
バンチ長 (rms)	< 3 fs (推定値)	1.6 fs (推定値)		6.3 fs (±10%)	
繰返し	0.03 Hz		1 Hz		
特長	<ul style="list-style-type: none"> 低エネルギーのノイズなし 小型レーザー 	SASE FEL増幅 (27 nm)	連続運転で安定電子発生	Seed FEL増幅 (260 nm)	最高エネルギー

「レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証」2023年度シンポジウム

開催日：2023/08/02 場所：科学技術振興機構 東京本部別館

■これまでの成果

✓ 安定な電子入射器の開発

XUV領域のFEL発振が期待できる世界トップ級の電子を生成

✓ 磁力相殺型小型アンジュレータの開発

■今後の予定

□ 開発した電子ビームによるXUV領域でのFEL発振の実証

□ レーザー加速電子ビームとFELのユーザープラットホーム化

電子ビーム利用研究（XUV FEL、創薬、高エネルギーX線、…）