

新しい科学技術を創る 自由電子レーザー

～日本発、世界最小のX線自由電子レーザー
成功に向けた大きな一歩～



独立行政法人理化学研究所
財団法人高輝度光科学研究センター
X線自由電子レーザー計画合同推進本部



2008年7月17日@文科省

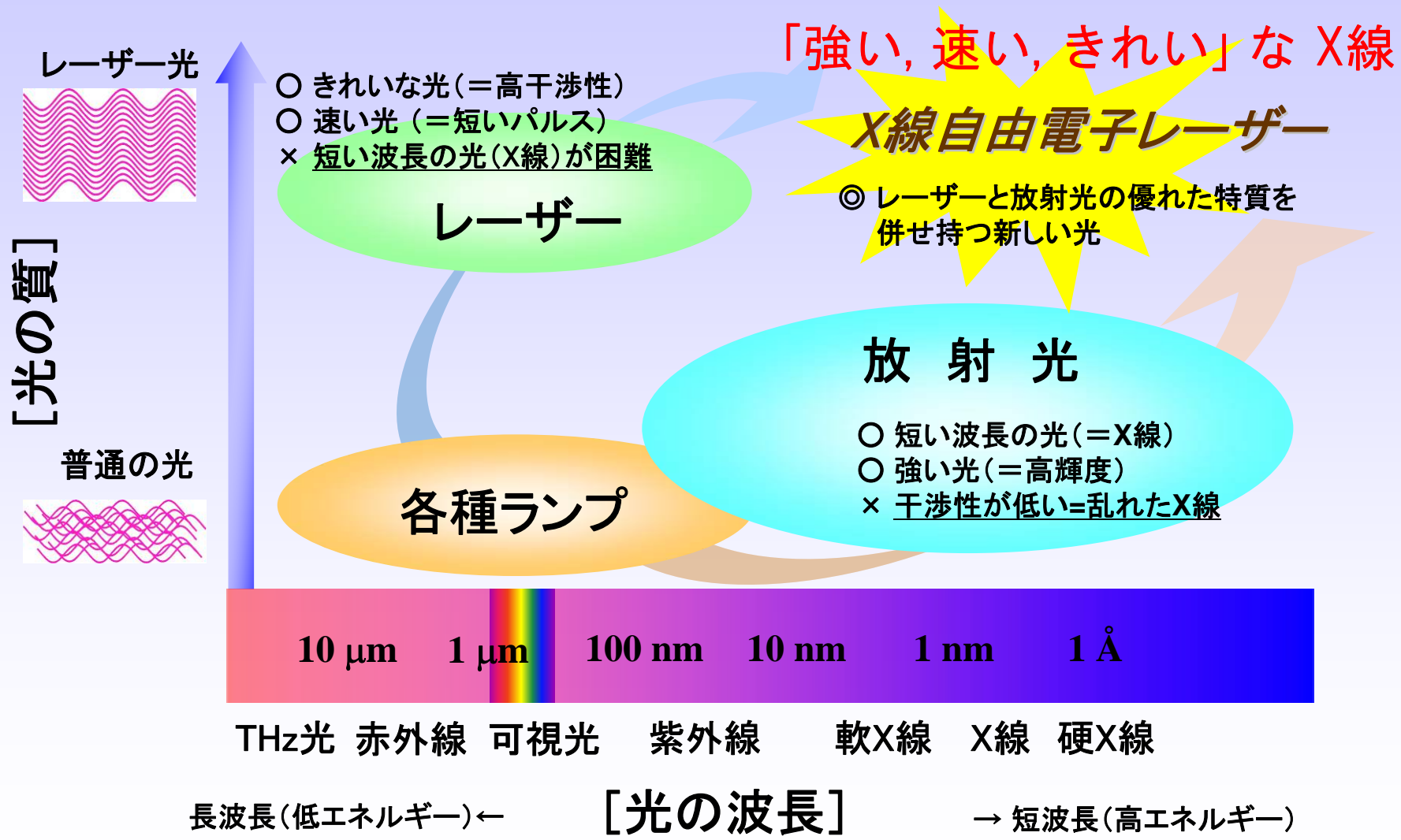
X線 vs. レーザ

20世紀の光科学の推進力



X線 + レーザ = XFEL
21世紀の科学技術を創る

X線自由電子レーザー

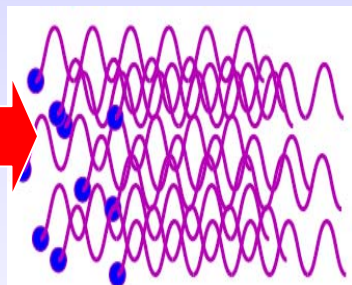


従来の放射光が見るもの

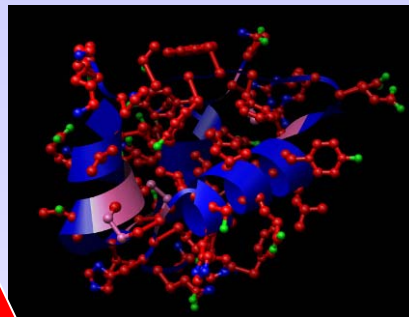
放射光



乱れたX線



タンパク質の分子



解析不能

タンパク質結晶
(インシュリン)



結晶化!!

多くのタンパク質
分子を整列させて
ようやく解析可能

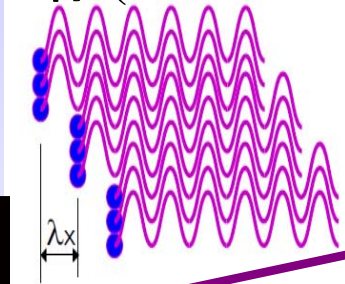
- ・ 結晶が作れば分子の構造がわかる
- ・ タンパク質によって、結晶を作りやすいもの、作りにくいもの、作れないものがある
- ・ 機能の重要度とは全く関係ない

タンパク質の分子を格子に組む

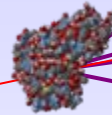
XFELが見るもの

タンパク質分子
たった1個で
原子の並びが
わかる

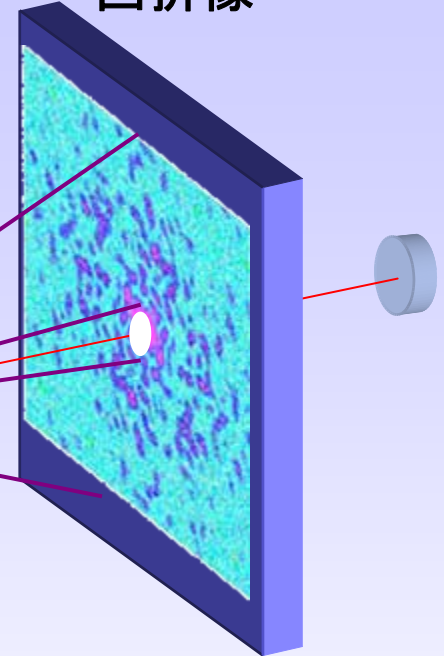
揃ったX線 (コヒーレント)



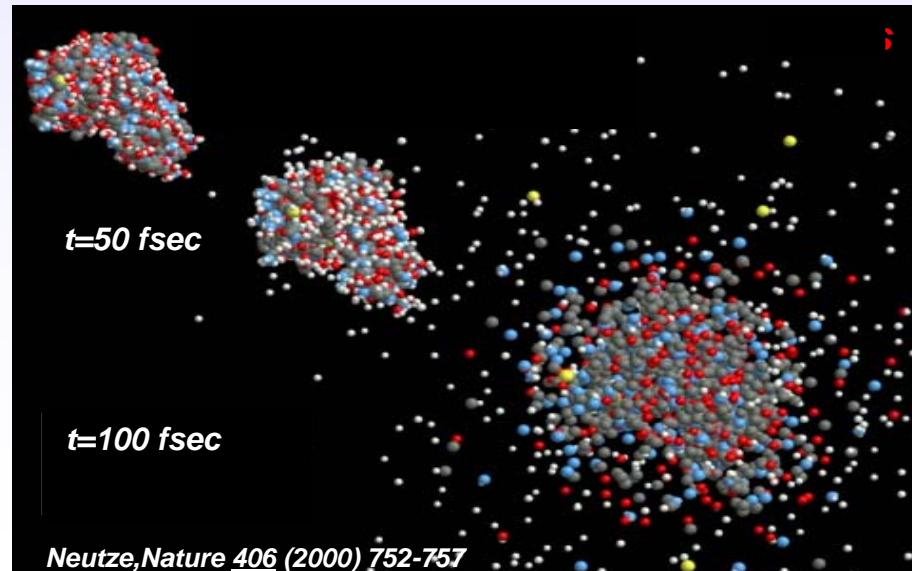
タンパク質1分子



回折像

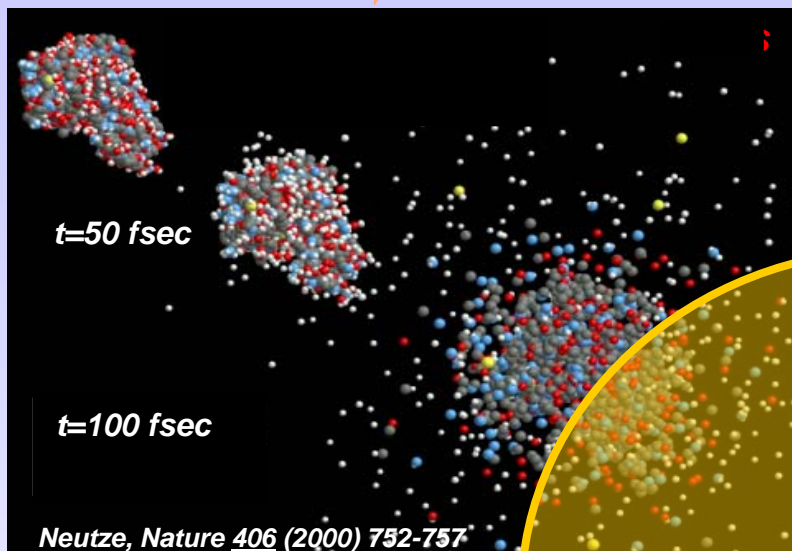


フェムト秒
(1/10000000000000000000秒)
の超高速フラッシュ
「手振れ」なしで超高解像
の撮影

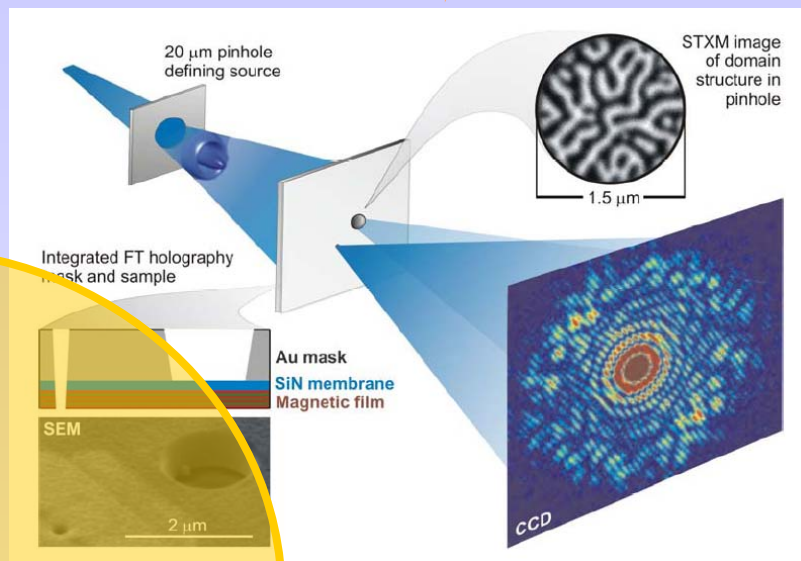


Neutze, Nature 406 (2000) 752-757

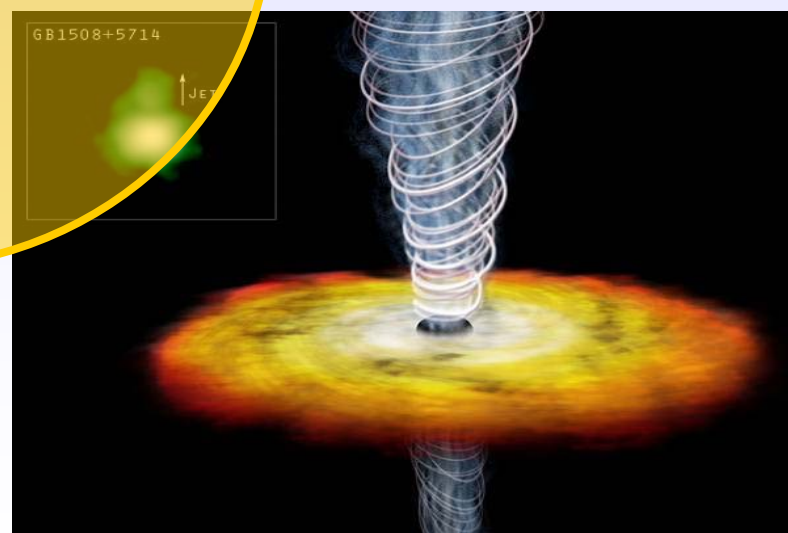
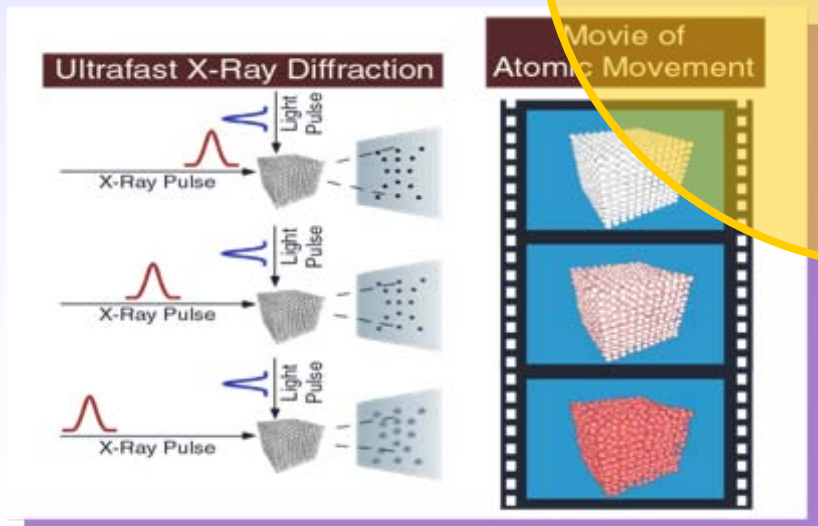
タンパク質 → 難病の根治薬



化学反応の追尾 → 新エネルギー



X線自由電子レーザー

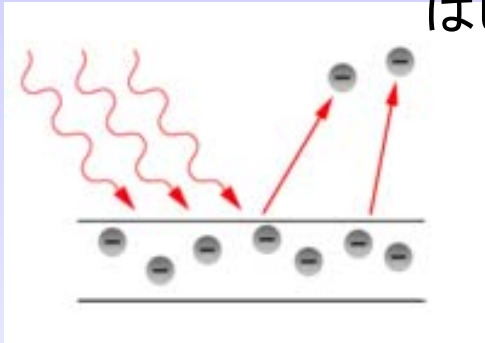


磁性の本質 → 高速・高密度記憶媒体

「あり得ない」状態 → ブラックホール

X線自由電子レーザーは「自由電子」を操る装置： 加速器が必要

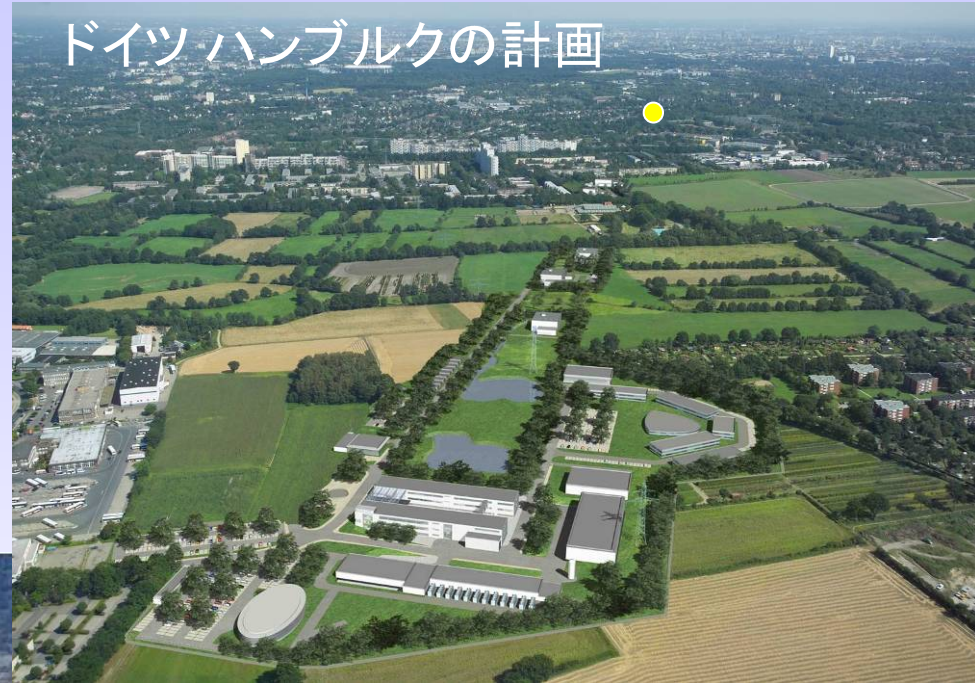
光、熱で刺激



真空中に自由電子を
はじき出す

加速する

曲げる



ドイツハンブルクの計画

アメリカスタンフォードの計画



「規格外」の大きさ

- ・「産むための」コスト, 期間, リスク
- ・「保つための」コスト, 難しさ
- ・世界中でたったの3つ
順番待ちの長蛇の列

日本の進む道



目標: 小型で高性能の発生装置
集中から分散へ

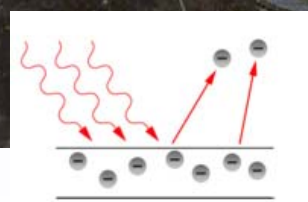
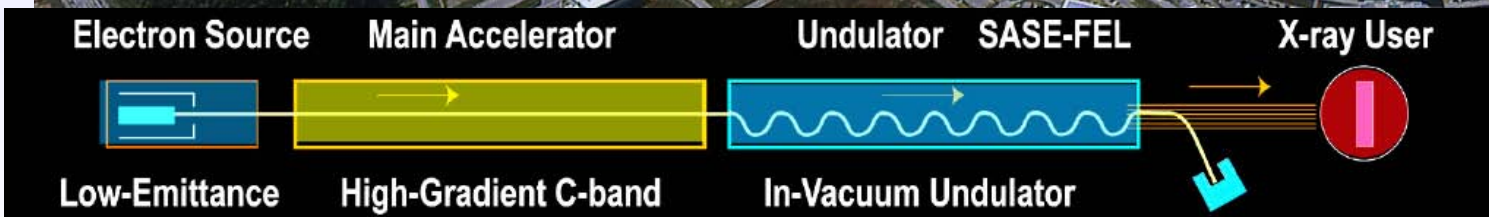
結果: 研究者はもちろん幸せ
国民の財布にもやさしい

手段: 3つのキーテクノロジーの組み合わせ

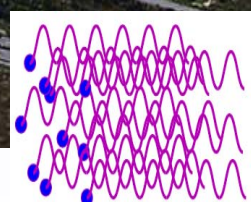
①そっととりだし, ②さっと加速し, ③きゅっと曲げる

日本の「コンパクト」XFEL

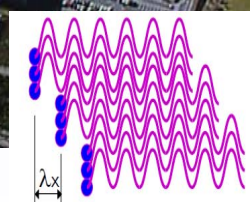
- SPring-8に併設
- 「国家基幹技術」
- 建設期間: 2006~2010年度
- 高いコストパフォーマンス



そっと取り出す



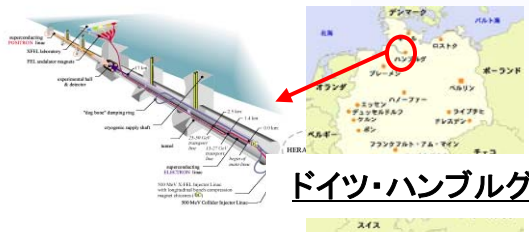
さっと加速



きゅっと曲げる

XFEL計画～欧米との比較～

	欧州 DESY：ドイツ電子シンクロトロン研究所 European X-ray Free Electron Laser	日本 理化学研究所 & 高輝度光科学研究センター	米国 SLAC：スタンフォード大学 線形加速器研究センター LCLS: Liniac Coherent Light Source
全長	約3.3km	約0.7km(最もコンパクト)	約4km(XFEL施設としては約2km)
加速エネルギー	10～20GeV	8GeV (低エネルギーでも発振)	14GeV
発振波長	0.085nm	0.06nm(最も短い)	0.15nm
総コスト	9.08億ユーロ(約1,500億円)	389億円	6.15億ドル以上(約756億円)
運転開始	2013年	2010年	2009～2010年
特徴	EU等13ヶ国共同プロジェクト プロトタイプ機にて、波長13nmのレーザー発振に成功	世界最高性能を 世界に先駆けて実現 第3世代大型放射光施設とX線レーザー施設が共存する世界 唯一の放射光研究拠点	DOEの研究施設整備計画において プライオリティ第3位 既存施設の活用により、3億ドル以上を節減

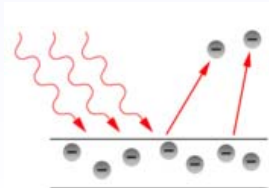
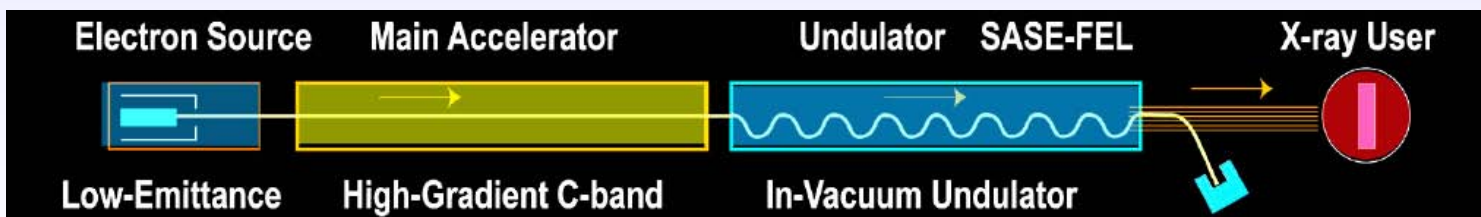


SCSS試験加速器

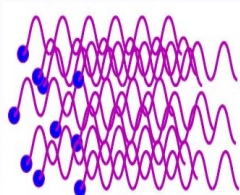


比較

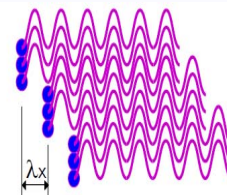
	XFEL	試験加速器	比
電子ビームの 加速エネルギー	8 GeV	250 MeV	32:1
光の波長	0.06 nm (X線)	約60 nm (極紫外線)	1000:1
装置の長さ	700 m	60 m	11:1
加速管の数	64ユニット	2 ユニット	32:1
アンジュレータの数	18ユニット	2 ユニット	9:1



そっと取り出す



さっと加速

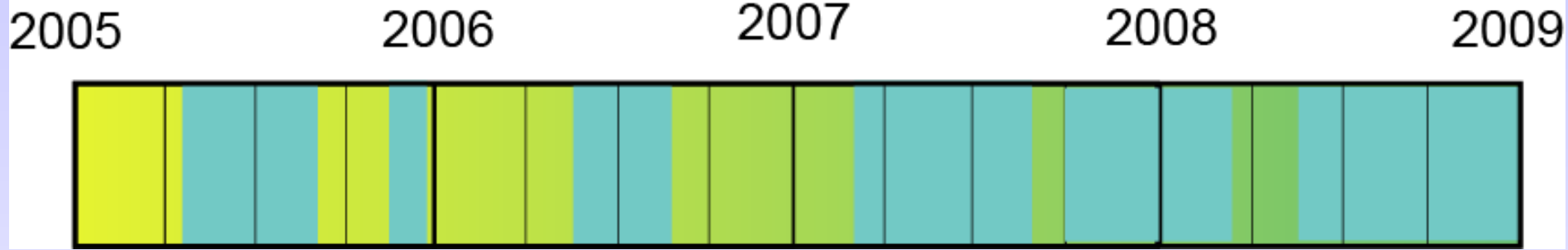


きゅっと曲げる

基本設計は同じ
繰り返しの数が違う

年譜

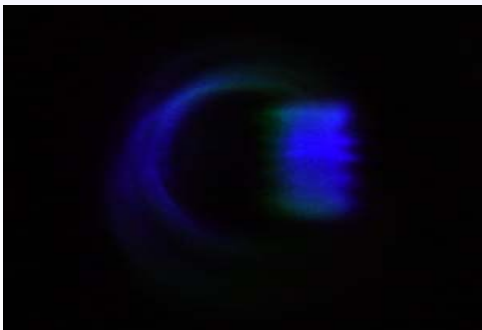
XFEL建設 2006-2010年度



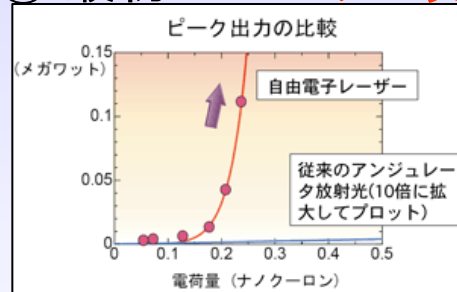
① 装置の建設



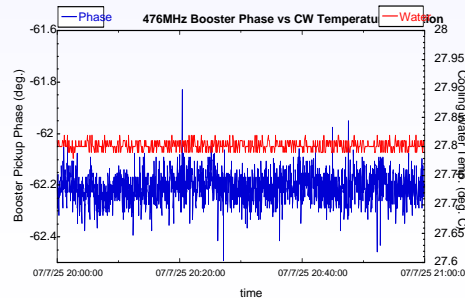
② 最初の光



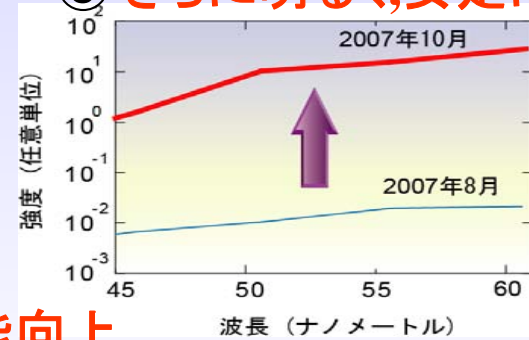
③ 最初のレーザー光



④ 性能向上プロジェクト



⑤ さらに明るく,安定に



⑥ 利用実験



「想定外」

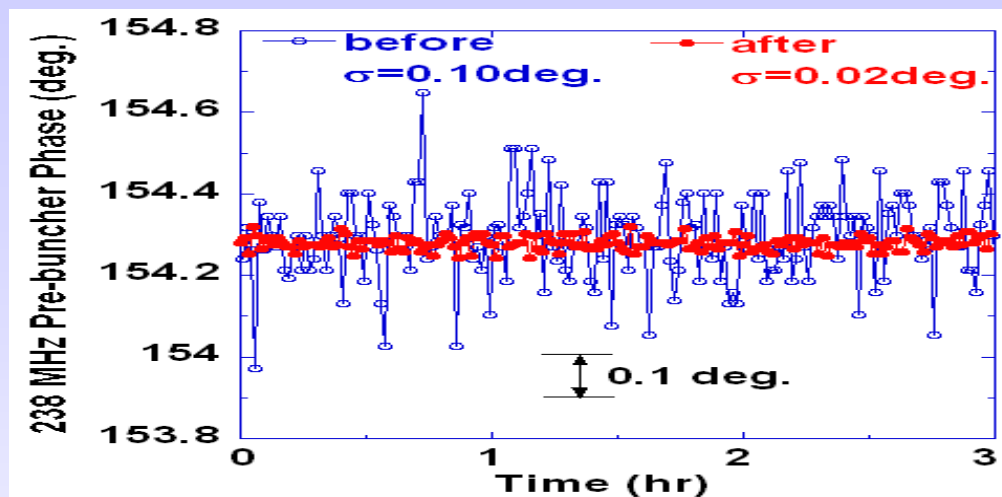
なぜかビームがふらふらする



温度が不安定だった



0.01°Cで安定させた



なぜかビームが変な形になる



アンジュレータの磁場が不均一だった



磁石を入れ替えた

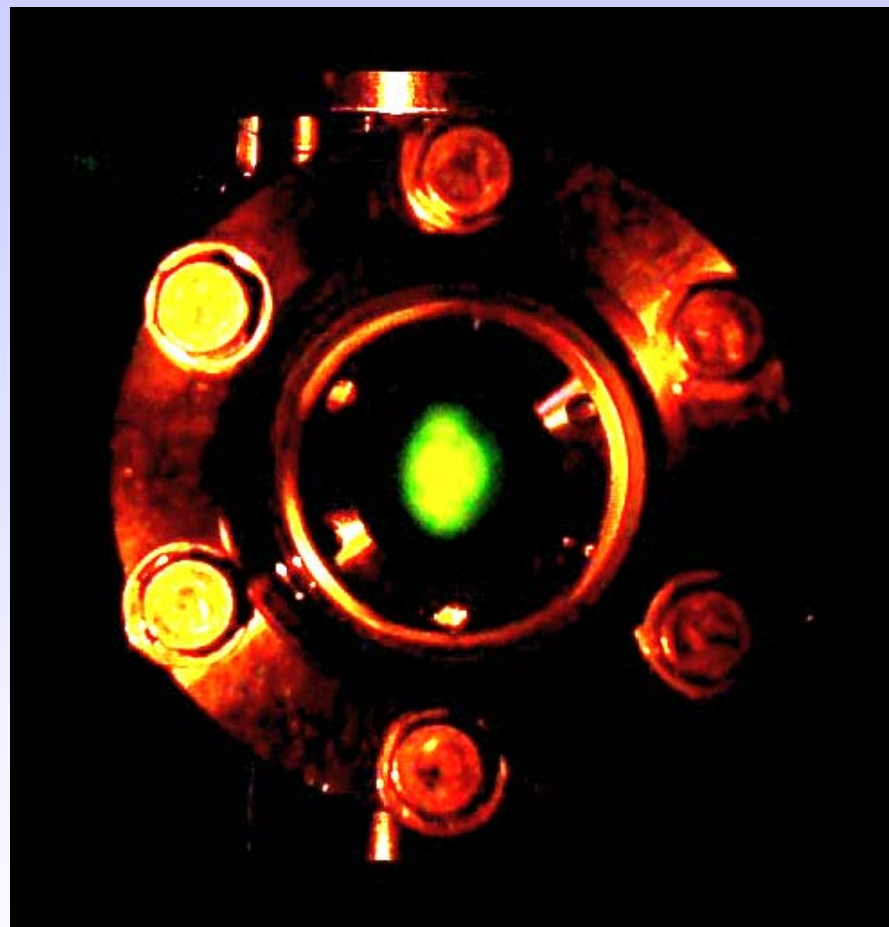
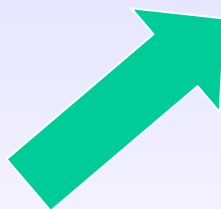
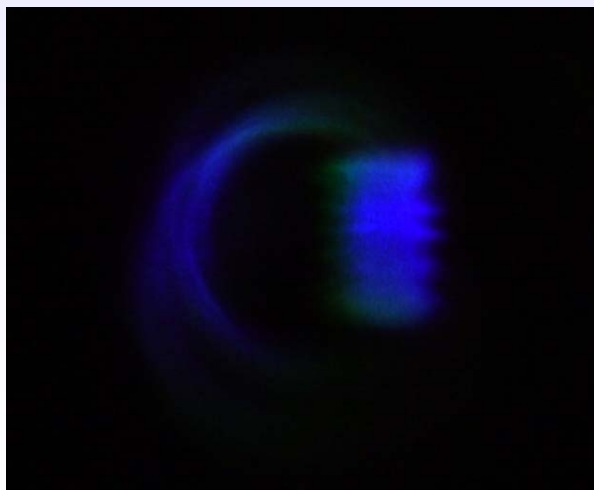


一つ一つ, 地道に解決するしか方法はない

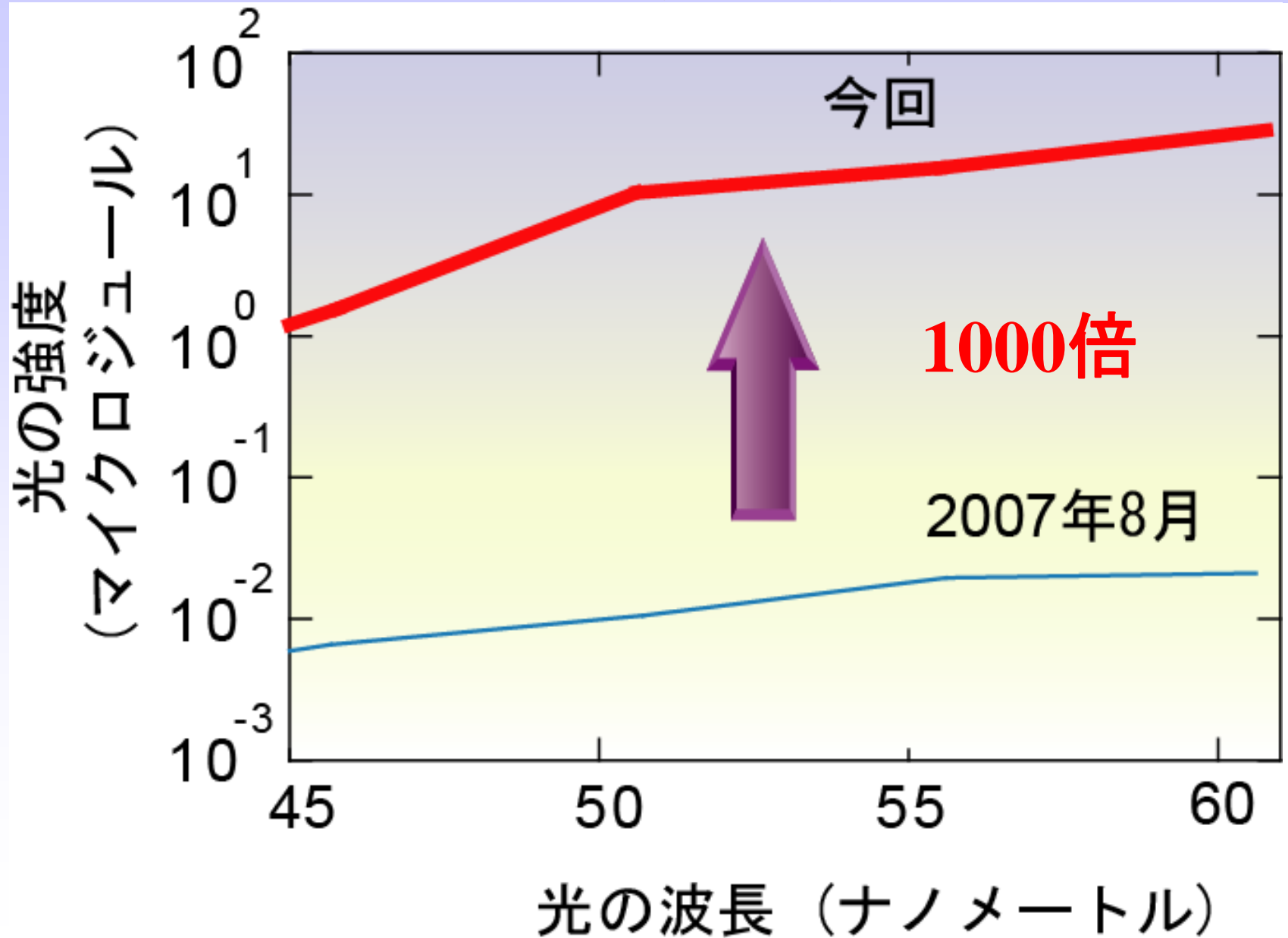
ついに眩しい光が (その1)

今回

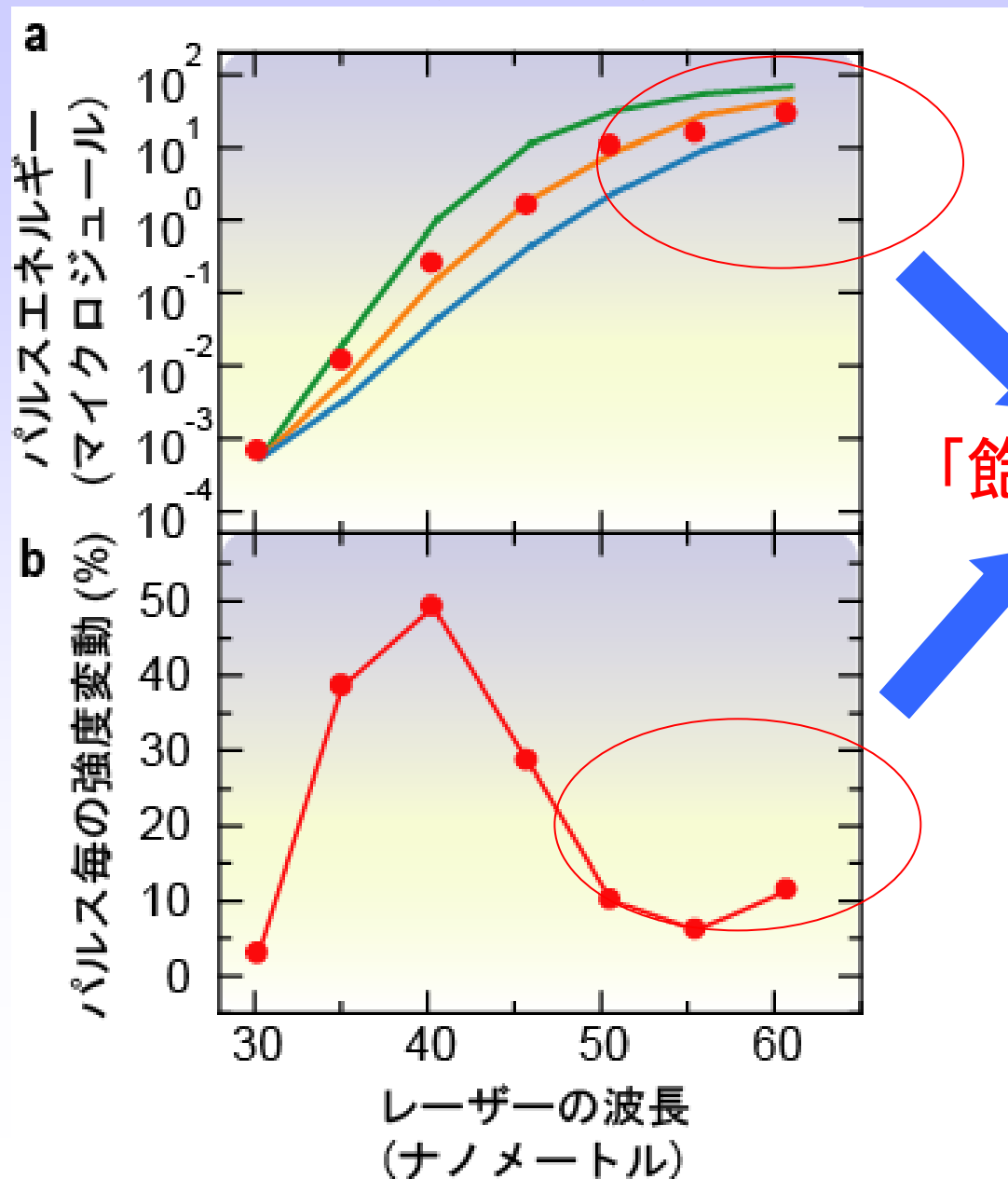
2005年12月



ついに眩しい光が (その2)

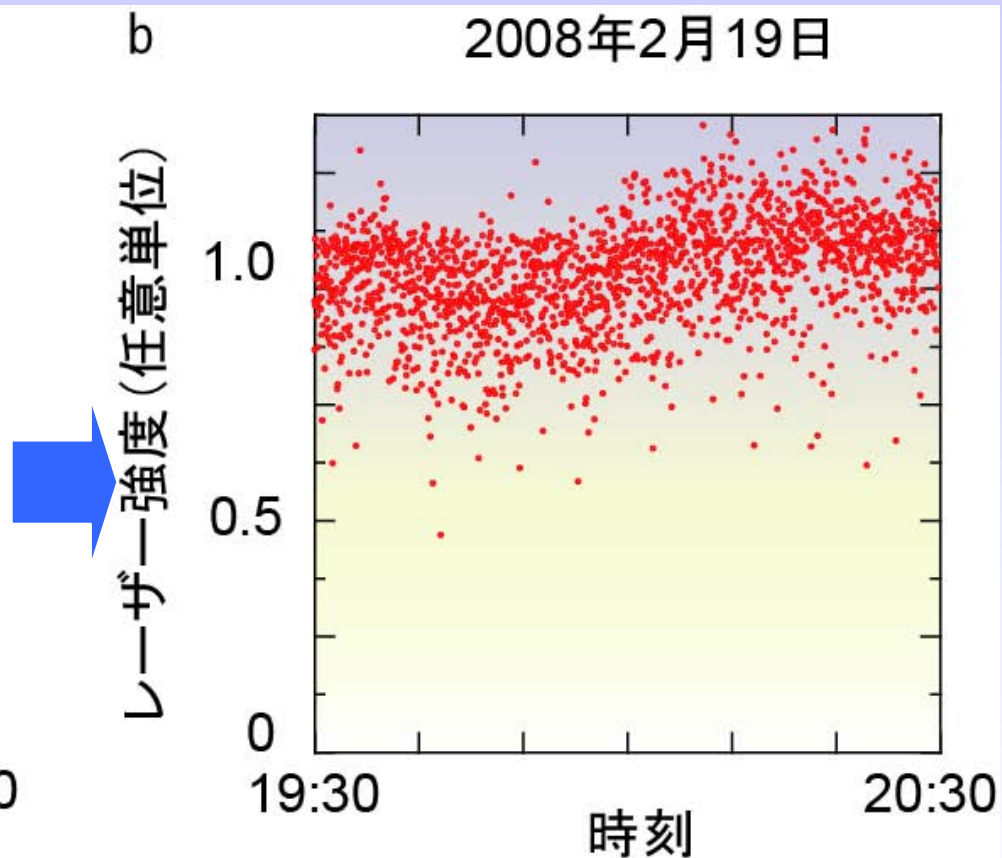
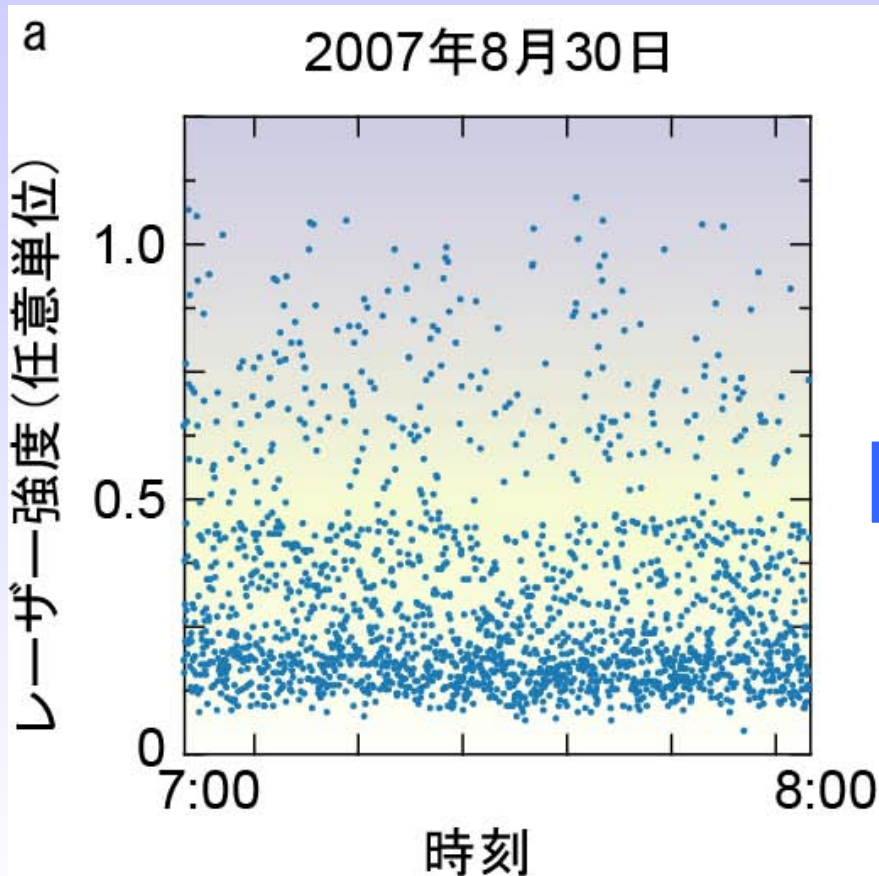


ついに眩しい光が (その3)



「飽和」に到達

高い安定性



装置を立ち上げてからたったの1時間でレーザーを安定に発生
2週間「手放し」運転可能

まとめ

1. 極紫外線レーザーの利用研究の展開

一般公募を行い, 利用運転を開始した

例: 物質に照射し「ありえない状態」をつくる. みる. (エネルギー, 化学反応)

2. 2010年度に完成するXFELへの期待

要素技術開発は完了

「コンパクト化」により, 常識を覆す操作性, 安定性が得られた
世界からも注目を集める

3. もっとコンパクトなXFELの実現

さらに小型化、低コスト化により、多くの機関が所有できる可能性