

2011年2月23日
ERL推進委員会

ERL利用研究検討

～ERLで目指す放射光サイエンス～

物構研・放射光
足立伸一

アウトライン

- 次世代放射光が目指す光源特性
 - 輝度の向上
 - 空間コヒーレンスの向上
 - 短パルス性能の向上
 - 時間コヒーレンスの実現
- ERLが実現する放射光サイエンス
 - 放射光利用研究の現状と将来像
 - 社会的ニーズ～持続可能な社会の実現に向けて
 - 人類未踏の物質サイエンス
- まとめ

放射光源と利用研究の進化

第1世代

高エネルギー加速器を間借り利用

第2世代

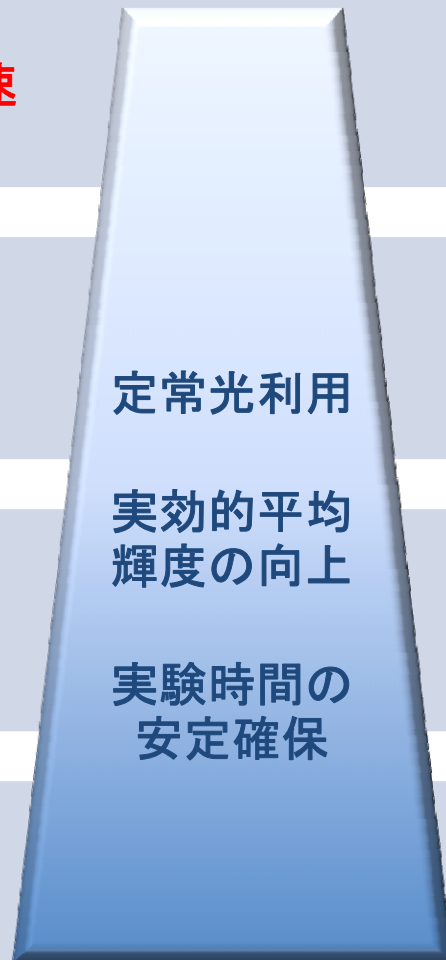
占有利用
偏向電磁石中心

第3世代

挿入光源中心

第4世代

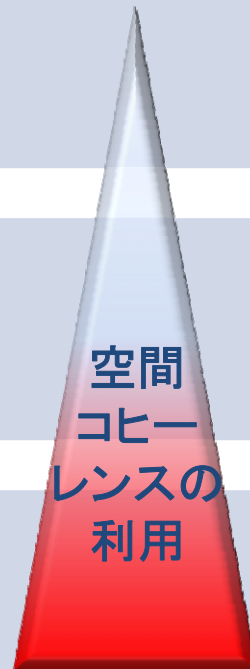
線形加速器
自己増幅



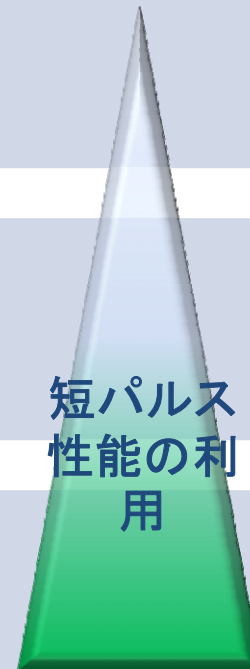
定常光利用

実効的平均
輝度の向上

実験時間の
安定確保



空間
コヒー
レンスの
利用



短パルス
性能の利
用



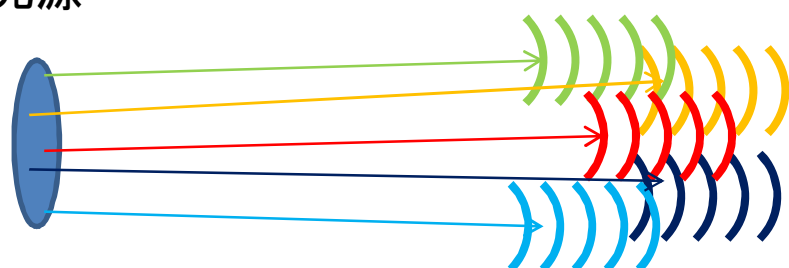
時間コ
ヒーレン
スの実現

次世代放射光が目指す光源特性(1)

- 輝度の向上
 - 望みのサイズ、エネルギー幅のビームを光学素子に余分な負荷をかけることなく供給する
- 空間コヒーレンスの向上
 - 物性変数の空間分布を、光の位相情報を用いて検出する
- 短パルス性能の向上
 - 物性変数の時間断面(スナップショット)を、光の短パルス性能を用いて検出する
- 時間コヒーレンスの実現
 - 物性変数の時間発展を、光の位相情報を用いて検出する

次世代放射光が目指す光源特性(2)

光源



Case1: 現在(第3世代まで)の放射光源(インコヒーレント光源)

- ・高輝度
- ・波長可変性
- ・可変偏光



Case2: ERLとSASE-XFEL光源
空間コヒーレント光源

- ・回折限界光源



Case3: ERL + XFEL-O
空間および時間コヒーレント光源

- ・回折限界 & フーリエ限界光源

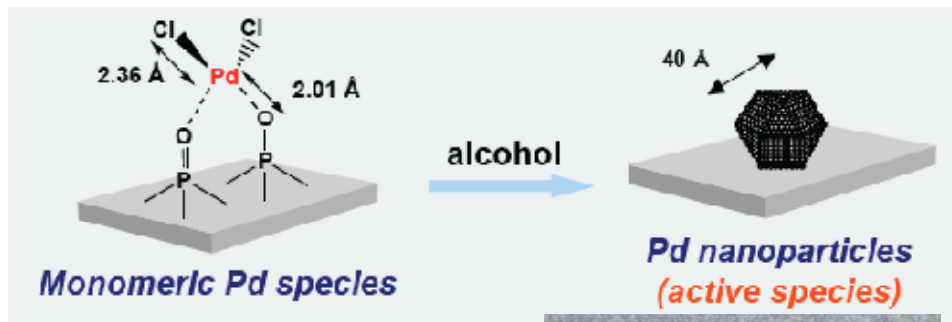
ERLが実現する放射光サイエンス(1)

輝度の向上

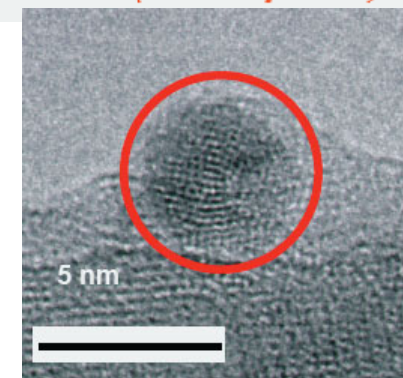
- X線領域で回折限界を達成
- 波長オーダーの集光が可能に
- ナノビームの利用が可能に

輝度を活かした放射光研究①

高機能な不均一固体触媒の開発



不均一固体触媒反応
全体からピンポイントへ
XAFS研究



高機能な不均一固体触媒の開発と評価
(燃料電池、排ガス除去、光触媒など)

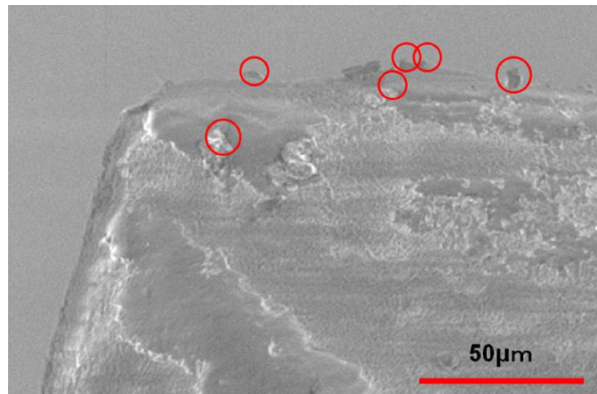
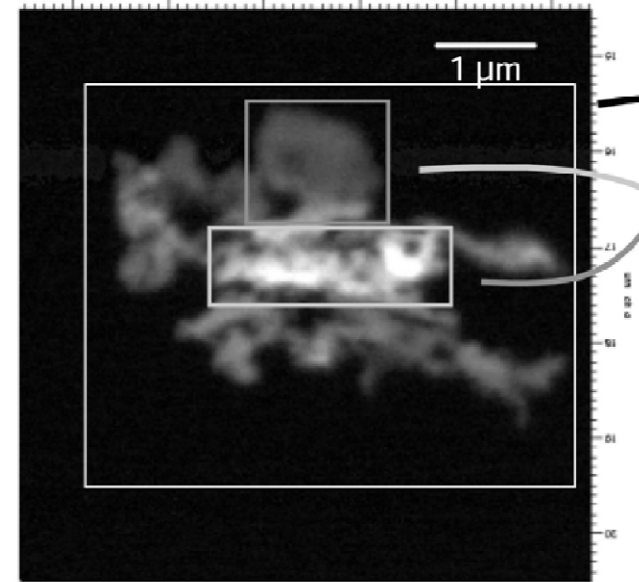
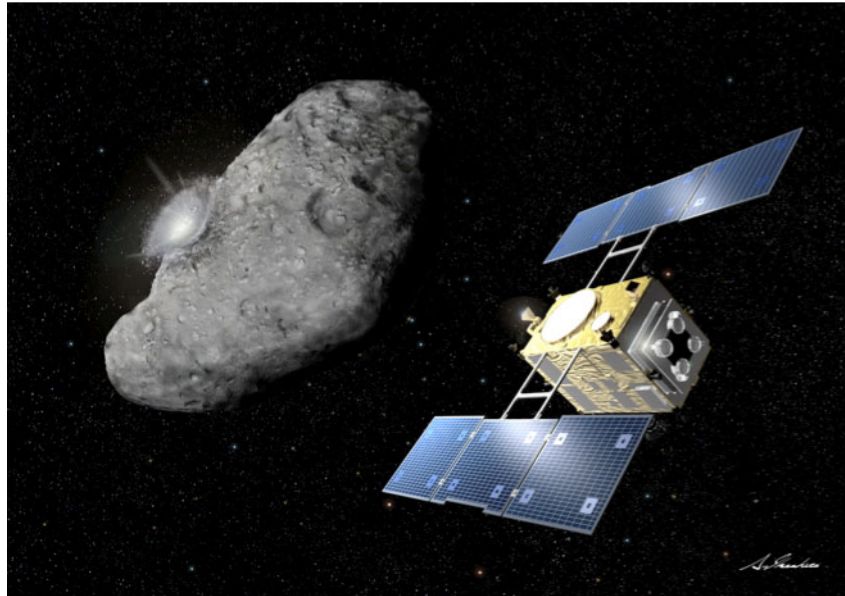
グリーンイノベーション分野

ナビーム

分光

輝度を活かした放射光研究②

宇宙塵から地球の起源を探る



スターダスト計画、はやブサなどにより採取された宇宙塵微粒子の分析
ミクロン以下の微粒子の化学状態分析を行うためには、ナノメートルオーダーのX線ビームが不可欠

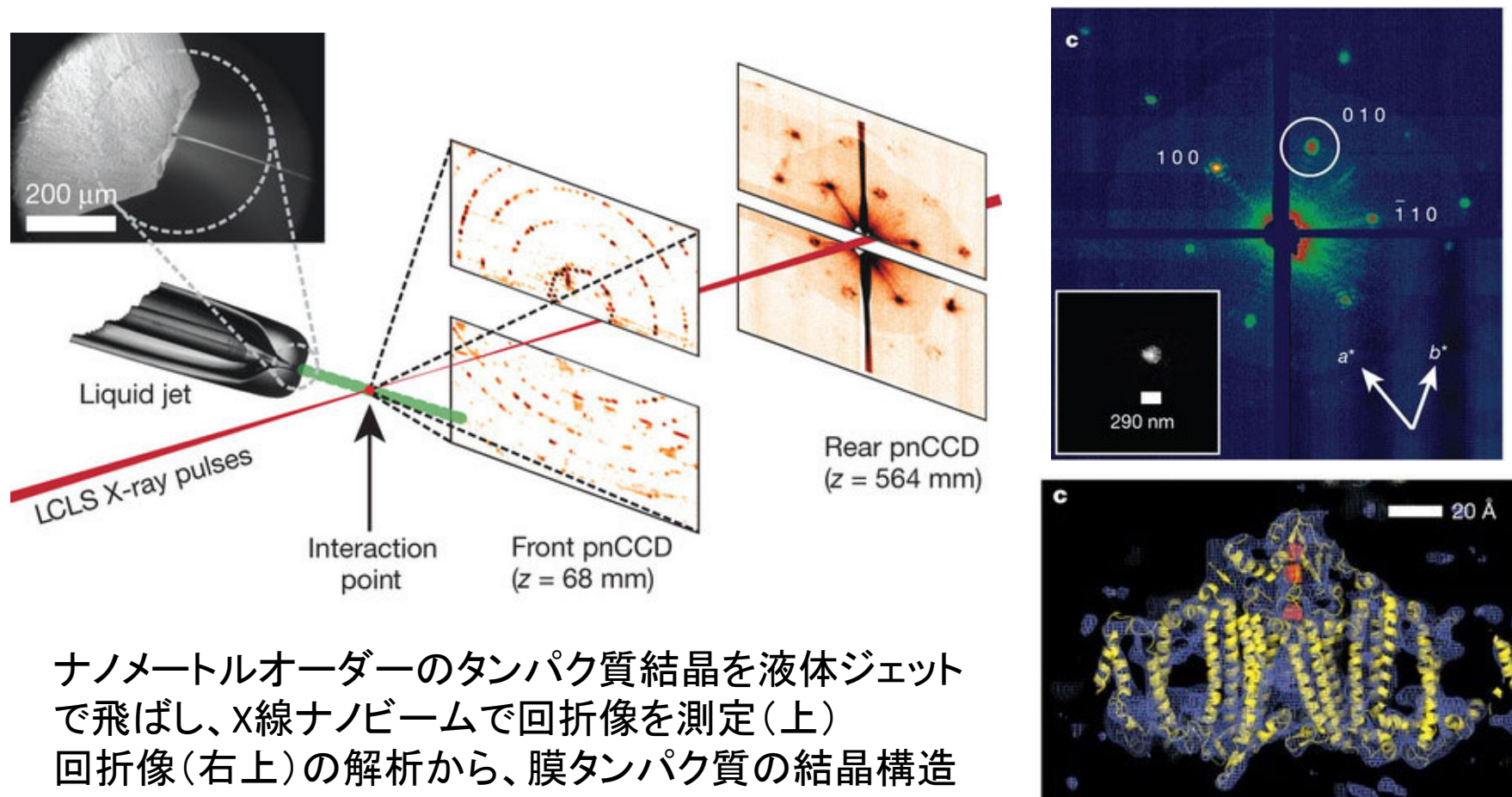
宇宙・地球科学分野

ナビーム

分光

輝度を活かした放射光研究③

タンパク質ナノ結晶構造解析



ナノメートルオーダーのタンパク質結晶を液体ジェットで飛ばし、X線ナノビームで回折像を測定(上)
回折像(右上)の解析から、膜タンパク質の結晶構造(光合成系I複合体)が得られた(右下)

Femtosecond X-ray protein nanocrystallography
Chapman et al. Nature (2011) 470, 73-77.

ライフイノベーション分野

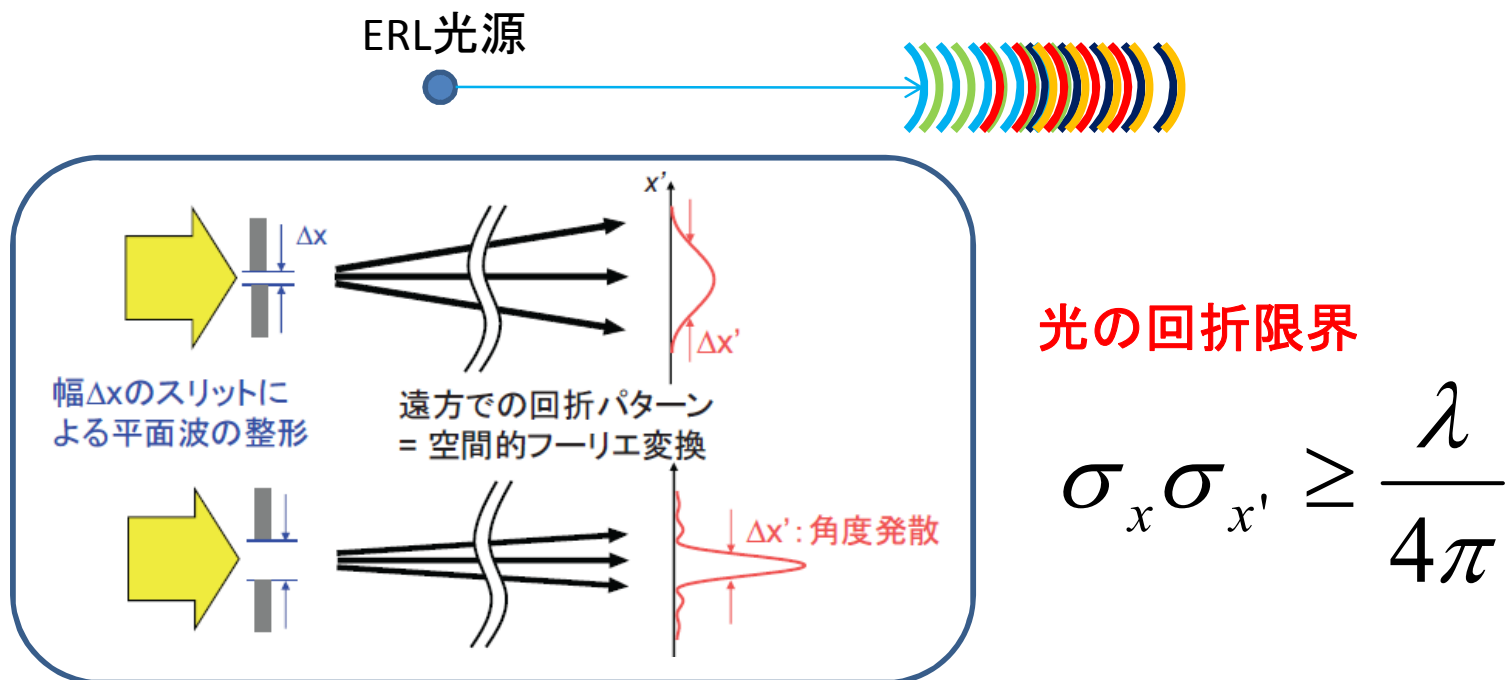
ナノビーム

回折

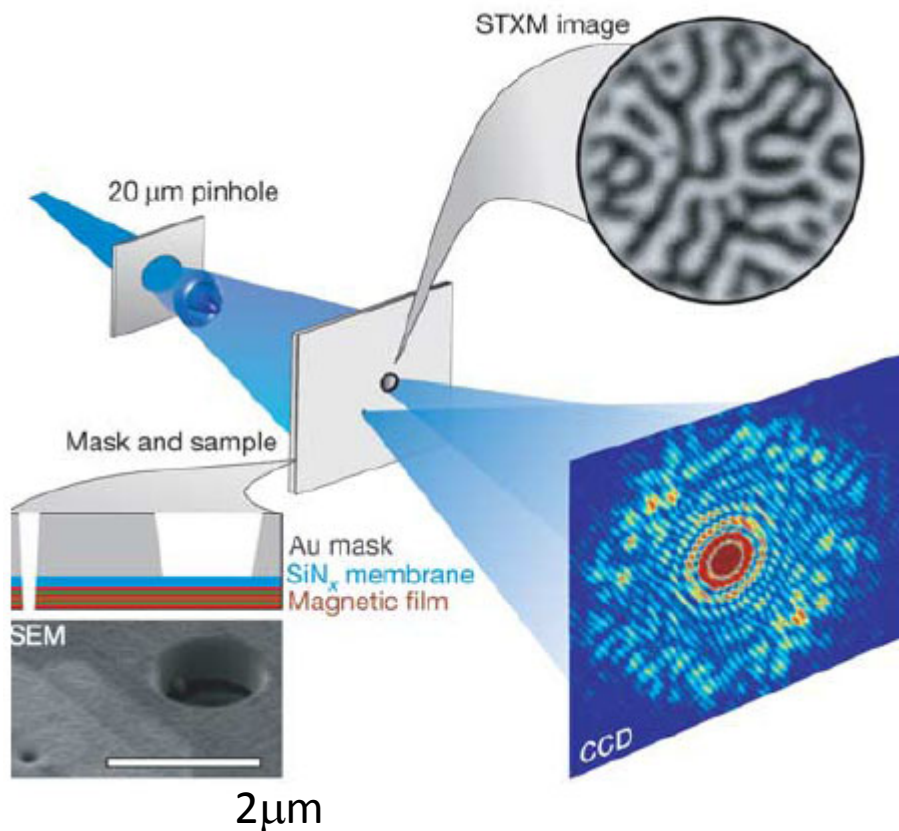
ERLが実現する放射光サイエンス(2)

空間コヒーレンスの向上

- 光の位相情報から構造情報を得る
- 非周期性(非結晶性)試料が対象に

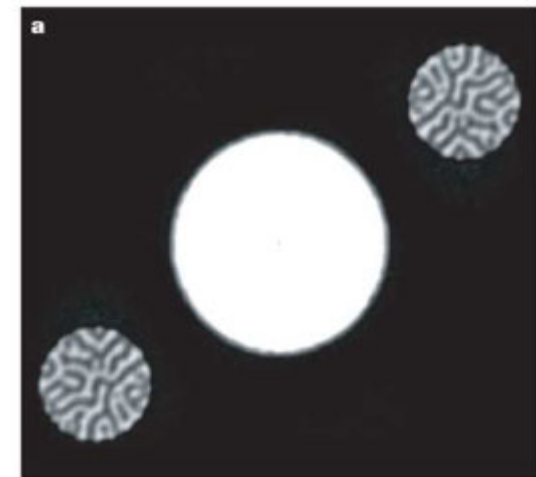


空間コヒーレンスを活かした放射光研究例 非結晶試料の構造を原子レベルで解析する



磁気ドメインのホログラフィー観察
非結晶性の試料(例: Co/Pt多層膜)について
光の干渉像から磁気構造の情報が得られる
⇒不均一系の物理: 複数の秩序相の競合、
高温超伝導相とストライプ構造など

フーリエ
変換



**Lensless imaging of magnetic nanostructures by
X-ray spectro-holography**

Eisebitt et al. Nature (2004) 432, 885-888.

グリーンイノベーション分野

空間コヒー
レンス

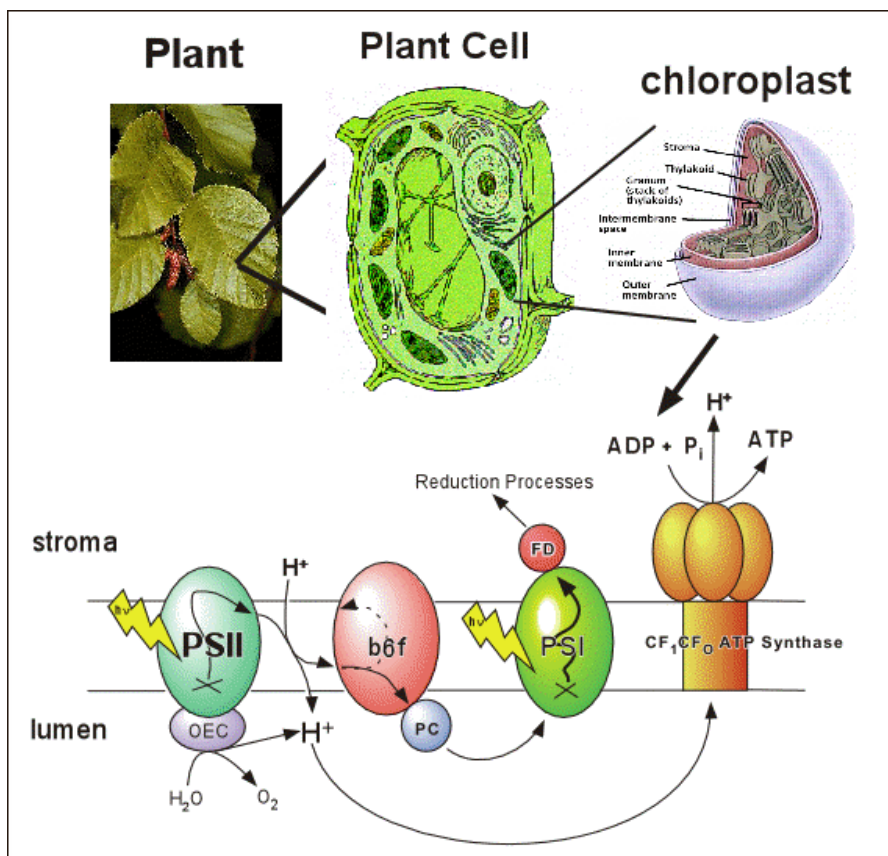
イメージング

ERLが実現する放射光サイエンス(3)

短パルス性能の向上

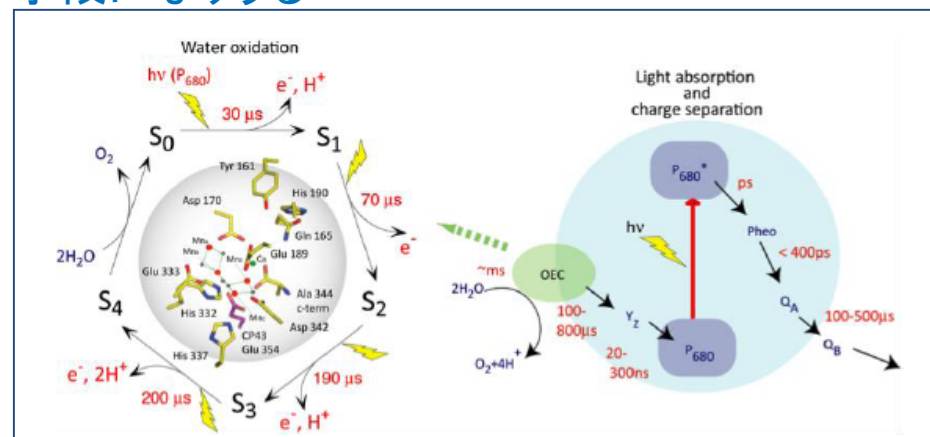
- 物性変数の時間断面(スナップショット)を、光の短パルス性能を用いて検出する
- ピコ秒からフェムト秒オーダーへ

短パルス性能を活かした放射光研究 高速現象をスナップショットで捉える



太陽光エネルギーを化学エネルギーに変換する光合成反応の理解は、エネルギー問題を解決する上で、基礎・応用面から極めて重要

しかし、最も重要な水を酸化して水素と酸素に変える反応機構がいまだに理解されていない
⇒放射光時間分解測定は極めて有力な測定手段になりうる

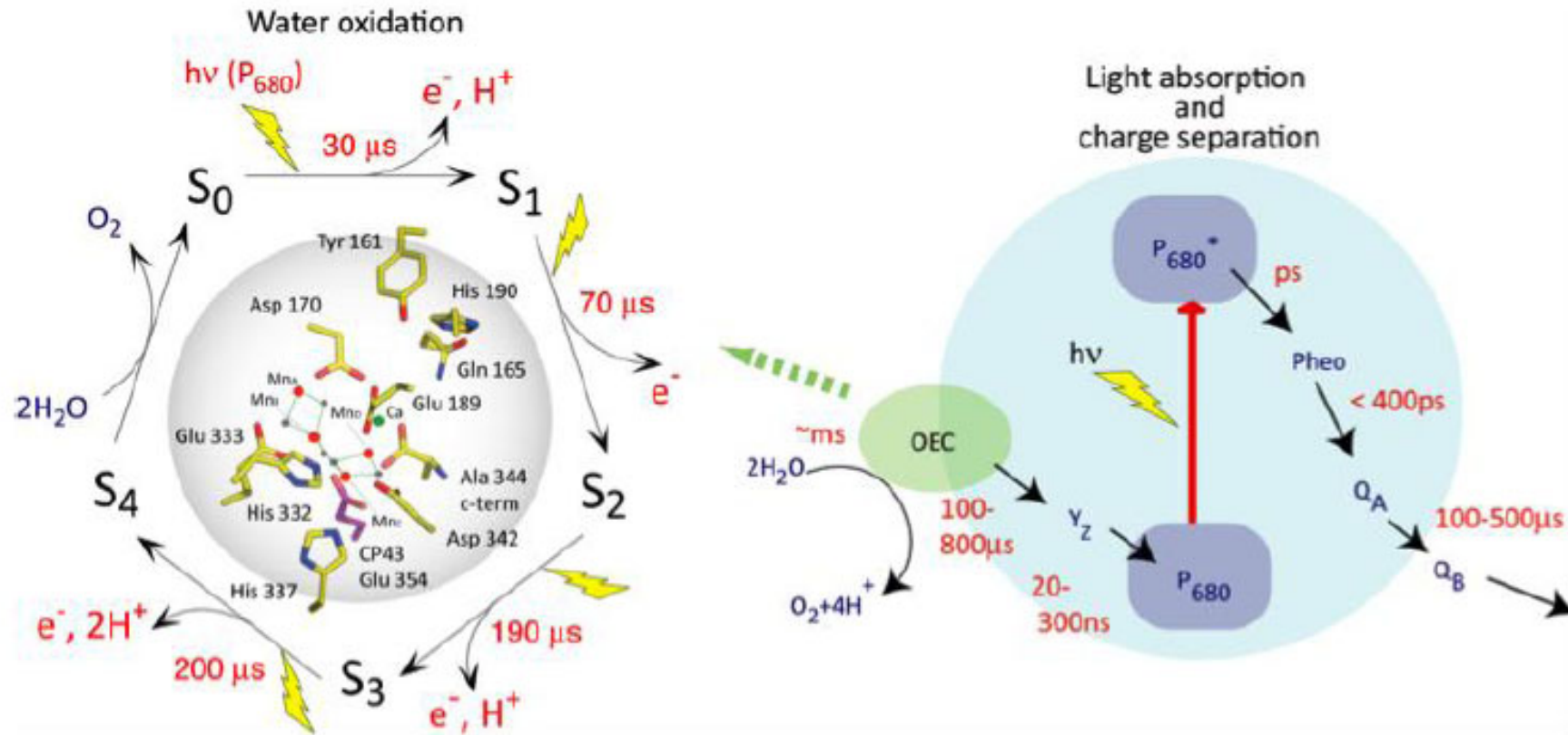


グリーンイノベーション分野

短パルス

XAFS、回折

短パルス性能を活かした放射光研究 高速現象をスナップショットで捉える



グリーンイノベーション分野

短パルス

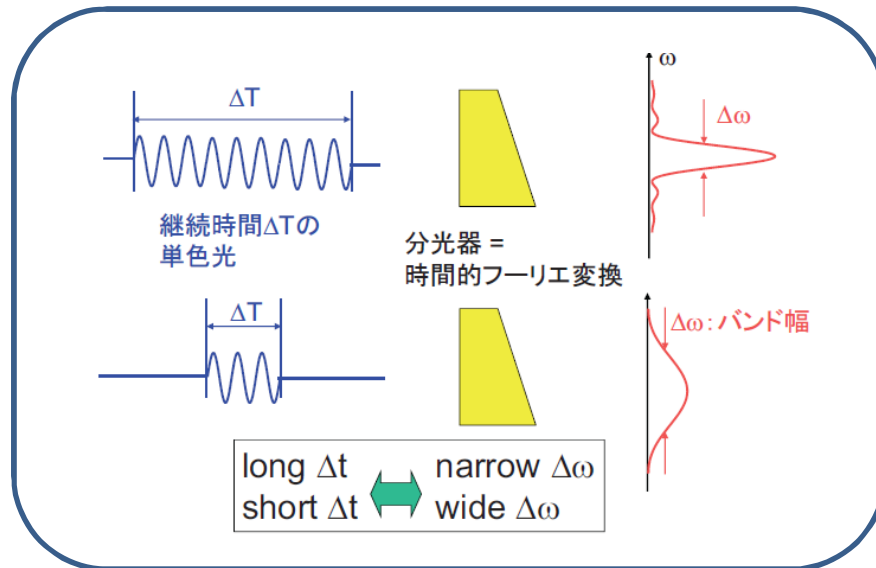
XAFS、回折

ERLが実現する放射光サイエンス(4)

時間コヒーレンスの実現

- 物性変数の時間発展を、光の位相情報を用いて検出する

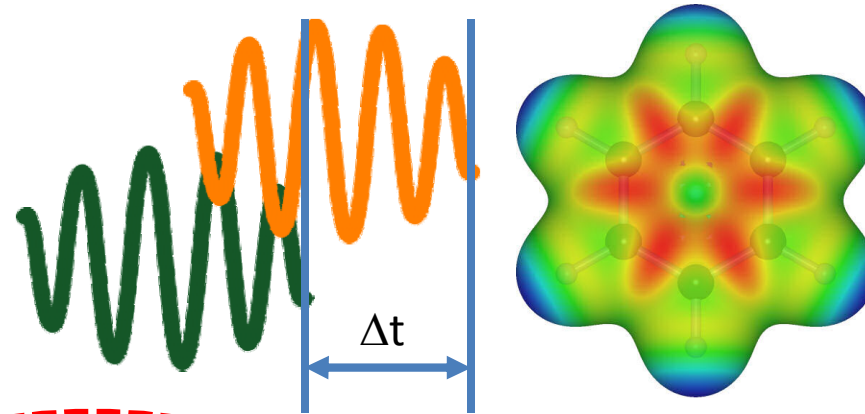
ERL + XFEL-O光源



光のフーリエ限界

$$\Delta\omega\Delta t \geq \text{const.}$$

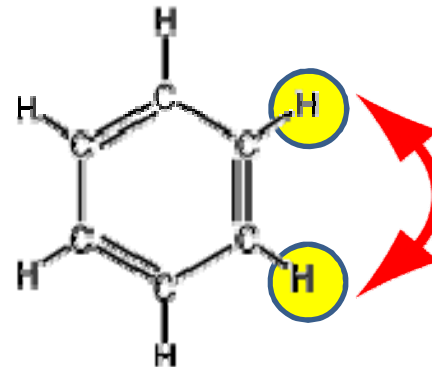
光の時間コヒーレンスと物質(1)



光の周波数	MHz (10^6Hz)	GHz (10^9Hz)	THz (10^{12}Hz)	PHz (10^{15}Hz)	EHz (10^{18}Hz)
光の波長	0.3km (10^3m)	0.3m (10^0m)	0.3mm (10^{-3}m)	0.3 μm (10^{-6}m)	0.3nm (10^{-9}m)

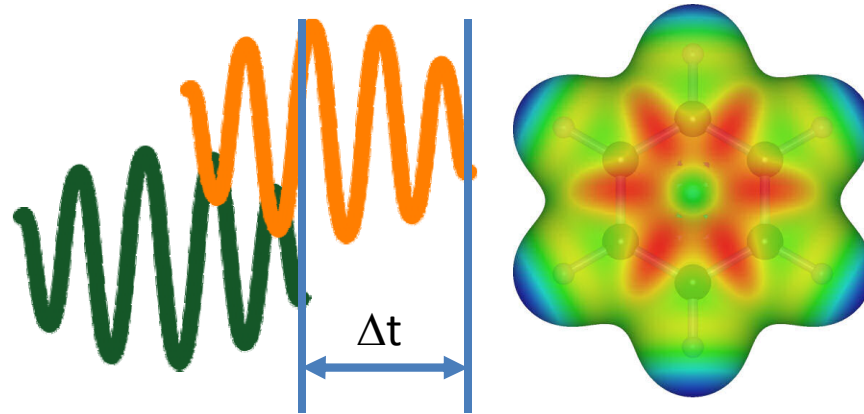
ラジオ波領域

多次元核磁気共鳴(NMR)
物質の核スピン間に内在する
コヒーレンスの情報を引き出す



核スピン結合

光の時間コヒーレンスと物質(2)

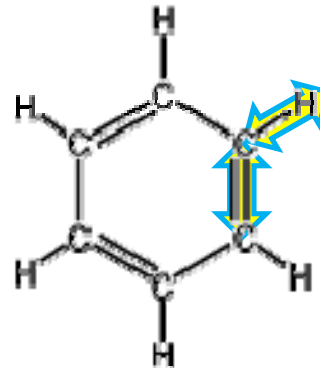


光の周波数	MHz (10^6Hz)	GHz (10^9Hz)	THz (10^{12}Hz)	PHz (10^{15}Hz)	EHz (10^{18}Hz)
光の波長	0.3km (10^3m)	0.3m (10^0m)	0.3mm (10^{-3}m)	0.3 μm (10^{-6}m)	0.3nm (10^{-9}m)

赤外領域

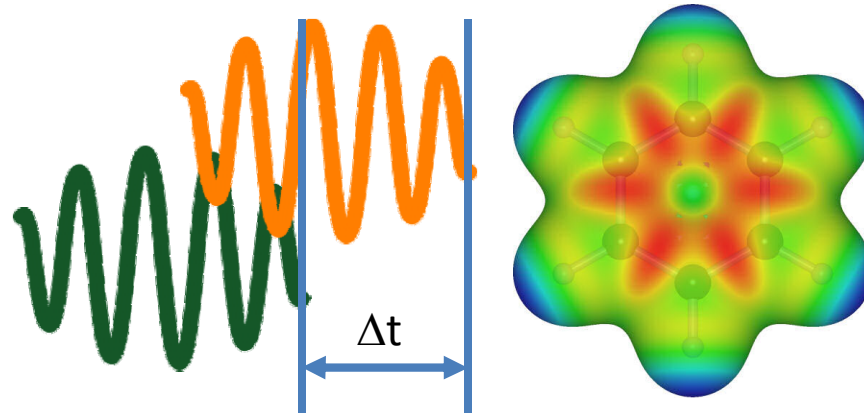
多次元振動分光

物質の**振動順位間**に内在する
コヒーレンスの情報を引き出す



フォトンエコー

光の時間コヒーレンスと物質 (3)

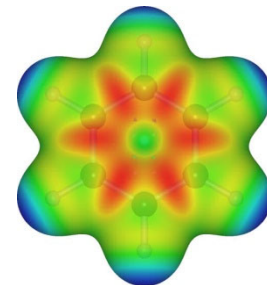


光の周波数	MHz (10^6Hz)	GHz (10^9Hz)	THz (10^{12}Hz)	PHz (10^{15}Hz)	EHz (10^{18}Hz)
光の波長	0.3km (10^3m)	0.3m (10^0m)	0.3mm (10^{-3}m)	0.3 μm (10^{-6}m)	0.3nm (10^{-9}m)

X線領域

多次元X線分光

物質の**電子状態間**に内在する
コヒーレンスの情報を引き出す



**電子状態間の
時空間相関
= 反応の可視化**

次世代光源性能のまとめ

	ナノビーム	空間コヒーレンス	フェムト秒短パルス	時間コヒーレンス
第3世代放射光	△	△	×	×
Ultimate storage ring	○	○	×	×
SASE-XFEL	○	○	○	×
ERL	○	○	○	×
ERL + XFEL-O	○	○	○	○