

ERLサイエンスワークショップ

2009.7.9-11

KEK

時間分解測定法による物質研究 セッション取りまとめ

KEK-PF

足立伸一

時間分解測定法による物質研究 セッション

15:15-17:55	時間分解測定法による物質研究：座長 腰原 伸也（東京工業大学） : ディスカッションリーダー・世話人 足立 伸一（KEK）
15:15-15:50	<u>「次世代フェムト秒放射光を利用した時間分解測定技術」</u> 田中 義人（播磨理研）
15:50-16:25	<u>「反応する分子の超高速実時間構造追跡、そして次世代放射光への期待」</u> 田原 太平（理研）
16:25-17:00	<u>「時間分解XAFSによる物質化学研究の展開」</u> 稲田 康宏（立命館大学）
17:00-17:35	<u>「有機伝導体における光誘起相転移の超高速分光と次世代放射光への期待」</u> 岩井 伸一郎（東北大学）
17:35-17:55	ディスカッション

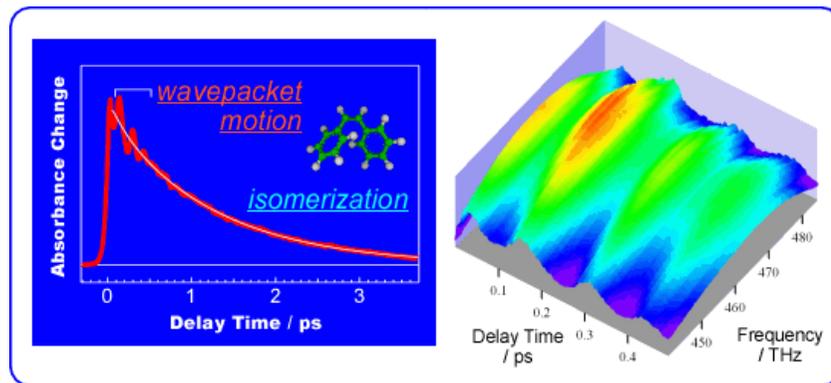
時間分解X線光源としてのERLの特徴とは？

田中 義人先生（播磨理研）

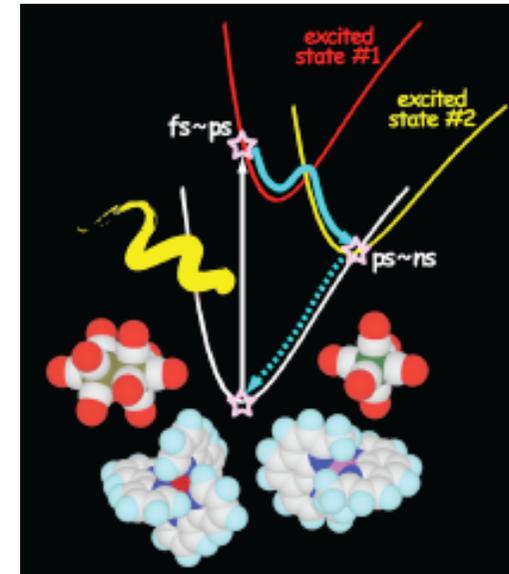
- フェムト秒以上の時間領域を連続的にカバーする。
 - 10^{-15} sec以上をログスケールで切れ目なく測定.
 - 時間スケールの階層性の測定に最適.
- 単発ではなく、Pump-probe測定に適している。
 - 非破壊・摂動測定.
 - 微小な変化を、積算により精度良く測定する.
- 微小ビームにより、高繰り返しレーザーとの組み合わせが可能になる。（レーザーの集光サイズに課題）

ERLで目指すべき時間領域のサイエンスとは？

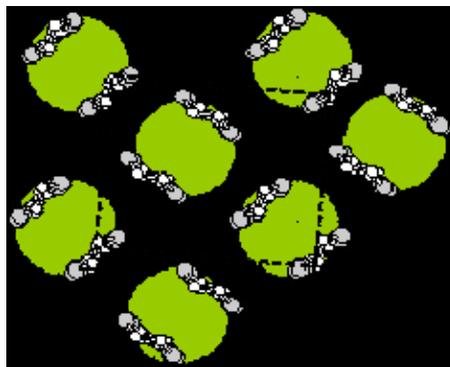
フェムト秒オーダー以上の原子配置の変化を観る



田原 太平先生 (理研)
溶液系
分子励起状態の構造
振動緩和



稲田 康宏先生 (立命館大学)
光触媒
反応中間体構造
触媒反応の高効率化



岩井 伸一郎先生 (東北大学)
固体
無機・有機電荷移動錯体
金属・絶縁体相転移
相転移の前駆現象
ドメイン成長過程

気相反応にも適用可能

フェムト秒の前にピコ秒の検討が重要 (PF-ARにおけるピコ秒オーダー時間分解測定例)

Laser shock-induced lattice deformation of CdS single crystal (TR single-shot Laue diffraction: $\tau \sim 1\text{ns} \sim 10\text{ns}$)

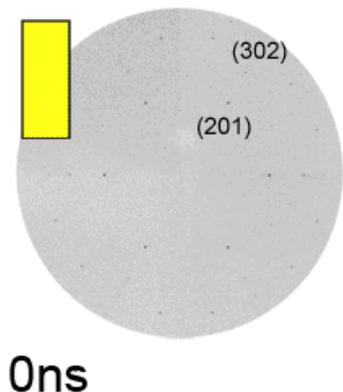
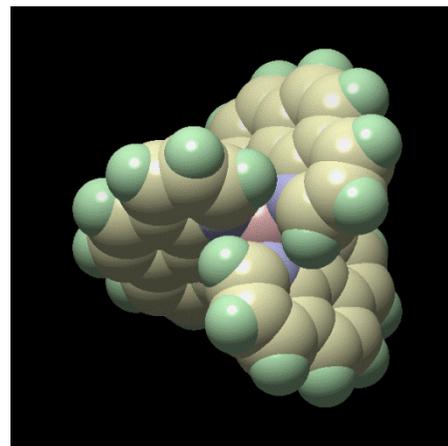
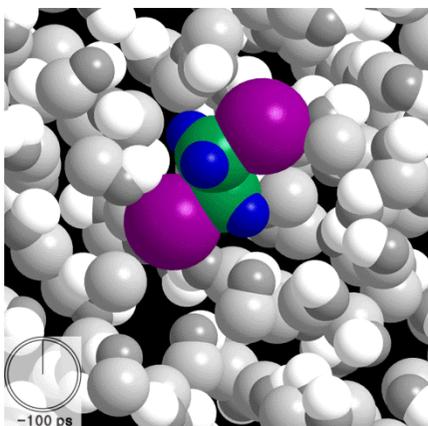


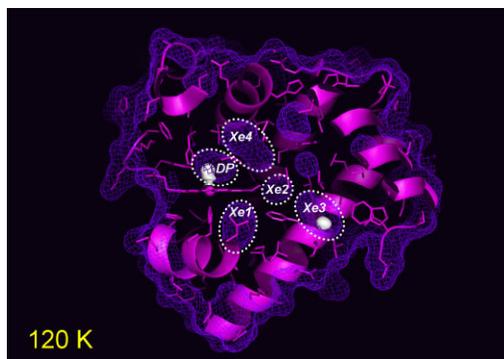
Photo-induced spin-crossover transition of metal complex in solution (TR-XAFS: $\tau \sim 700\text{ps}$)



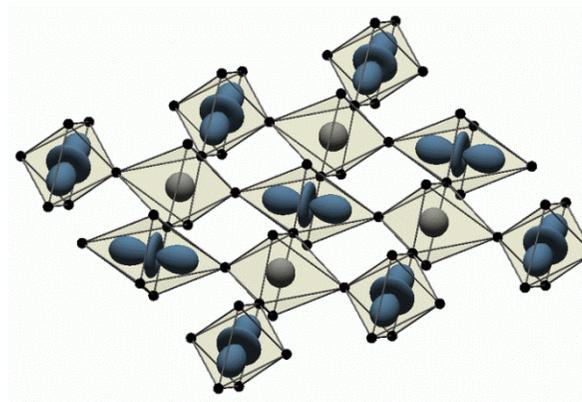
Photochemical reaction in liquid (TR-solution scattering: $\tau \sim 100\text{ps} \sim 1\mu\text{s}$)



Ligand migration dynamics in protein crystal ($\tau \sim 800\text{min}$)



Picosecond photoresponse of perovskite manganite (NSMO) thin film ($\tau \sim 50\text{ps} \sim 2\text{ns}$)



Open Questions

- フェムト秒X線をレーザーと組み合わせる際の技術的な問題点とは？
- X線パルス繰り返し周波数と平均X線フォトン密度の妥協点は？
- 共振器型XFEL(XFEL-O)を用いた時間領域サイエンスの展望とは？

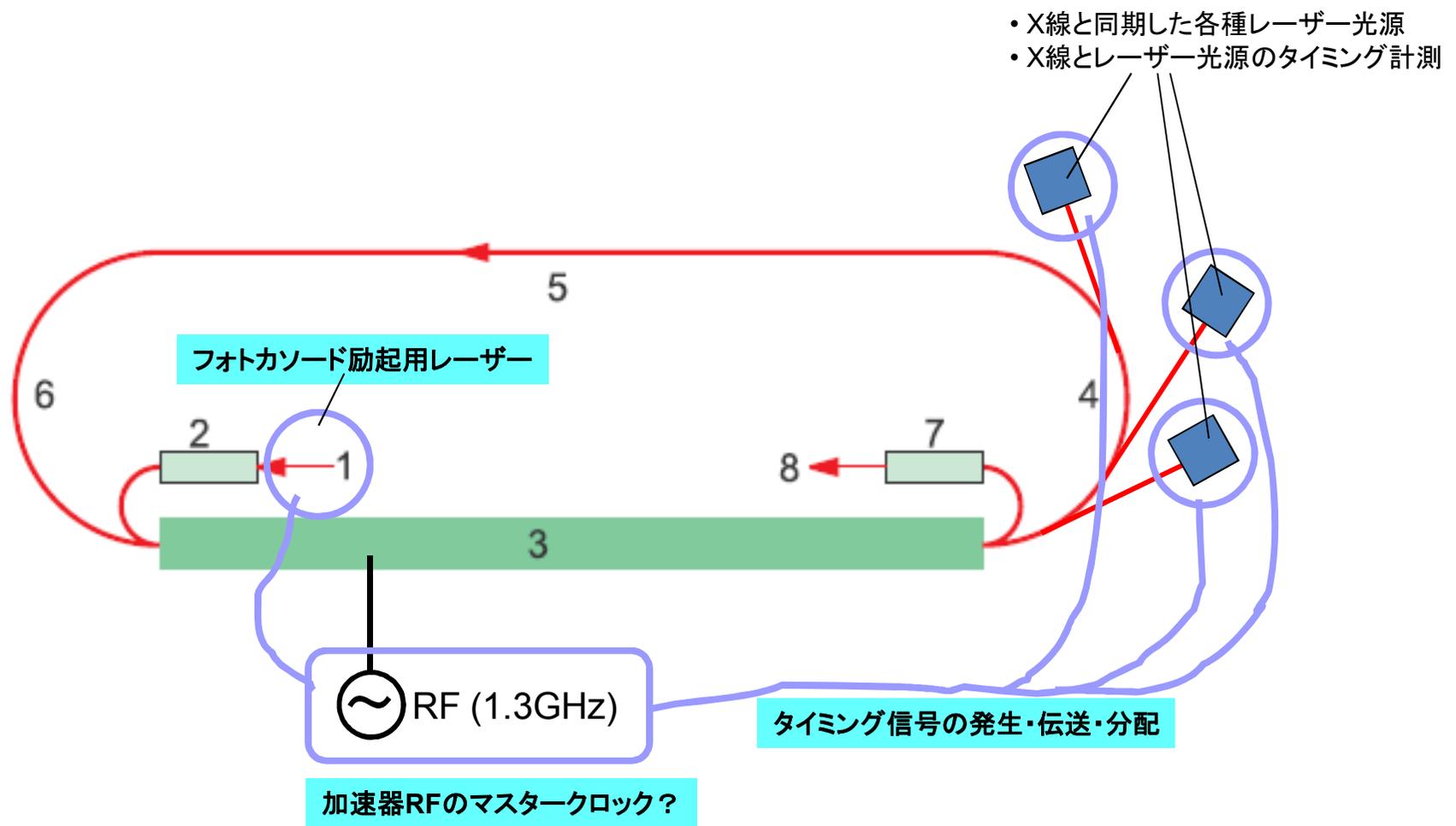
フェムト秒X線をレーザーと組み合わせる 際の技術的な問題点とは？

田中 義人先生（播磨理研）

- レーザーと放射光の同期
 - RF基準信号を介した同期
 - 高周波信号の低ジッター性能の利用
 - 遅いドリフトはフィードバックで補償
- 遅延時間制御
 - デイレイライン
 - 遅延フェーズシフター
 - 高周波の利用
- 繰り返し周波数の制御
 - ビームサイズが小さくなることにより、高繰り返しレーザーを有効に利用できる。(MHzオーダー)
 - 現象の回復時間に依存
 - レーザーサイズはどこまで絞ればよいか. $\sim 1\mu\text{m}$ (NA=1)は可能だが、実用的には作動距離に問題あり？

レーザー屋から見たERL

by 板谷治郎先生(東大物性研)



Open Questions

- フェムト秒X線をレーザーと組み合わせる際の技術的な問題点とは？
- X線パルス繰り返し周波数と平均X線フォトン密度の妥協点は？
- 共振器型XFEL(XFEL-O)を用いた時間領域サイエンスの展望とは？

X線パルス繰り返し周波数と平均X線フォトン密度の妥協点は？

- ERLのパルスあたりのフォトン数は少ない(電荷量が少ない). 高繰り返し(1.3GHz)で、平均輝度を稼ぐ.
- 1.3GHzのまま、Pump-probeができるか？
- 繰り返し周波数と平均フォトン数はトレードオフ.
- 繰り返し周波数の最適仕様は？

試料位置での平均X線光子密度の見積

PF-ARとERL, SASE-FELの比較

	PF-AR NW14 (794kHz)	ERL High flux (1.3GHz) mode	ERL Ultrafast (1MHz) mode	XFEL-O (1MHz)	SASE-FEL (60 Hz)
1バンチあたりの 電荷量	76 nC	77pC	~ 1 nC	77pC	~ 1 nC
蓄積電流	60 mA	100 mA	100 μ A	100 μ A	50 nA
平均輝度	~ 10^{17}	~ 10^{23}	~ 10^{21}	~ 10^{27}	~ 10^{23}
1パルスあたりの 光子数 0.1% b.w.	~ 10^9	~ 10^6	~ 10^6	~ 10^9	~ 10^{13}
平均フラックス phs/sec/0.1%bw	~ 10^{15}	~ 10^{15}	~ 10^{13}	~ 10^{15}	~ 10^{14}
試料位置でのビー ムサイズ	~ 100 μ m	~ 100nm	~ 100nm	~ 100nm	~ 100nm
試料位置での平均 X線光子密度 (Figure Of Merit)	1	~ 10^6	~ 10^4	~ 10^6	~ 10^5
パルス幅 (RMS)	62 ps	< 1 ps	< 100 fs	< 1 ps	< 100 fs

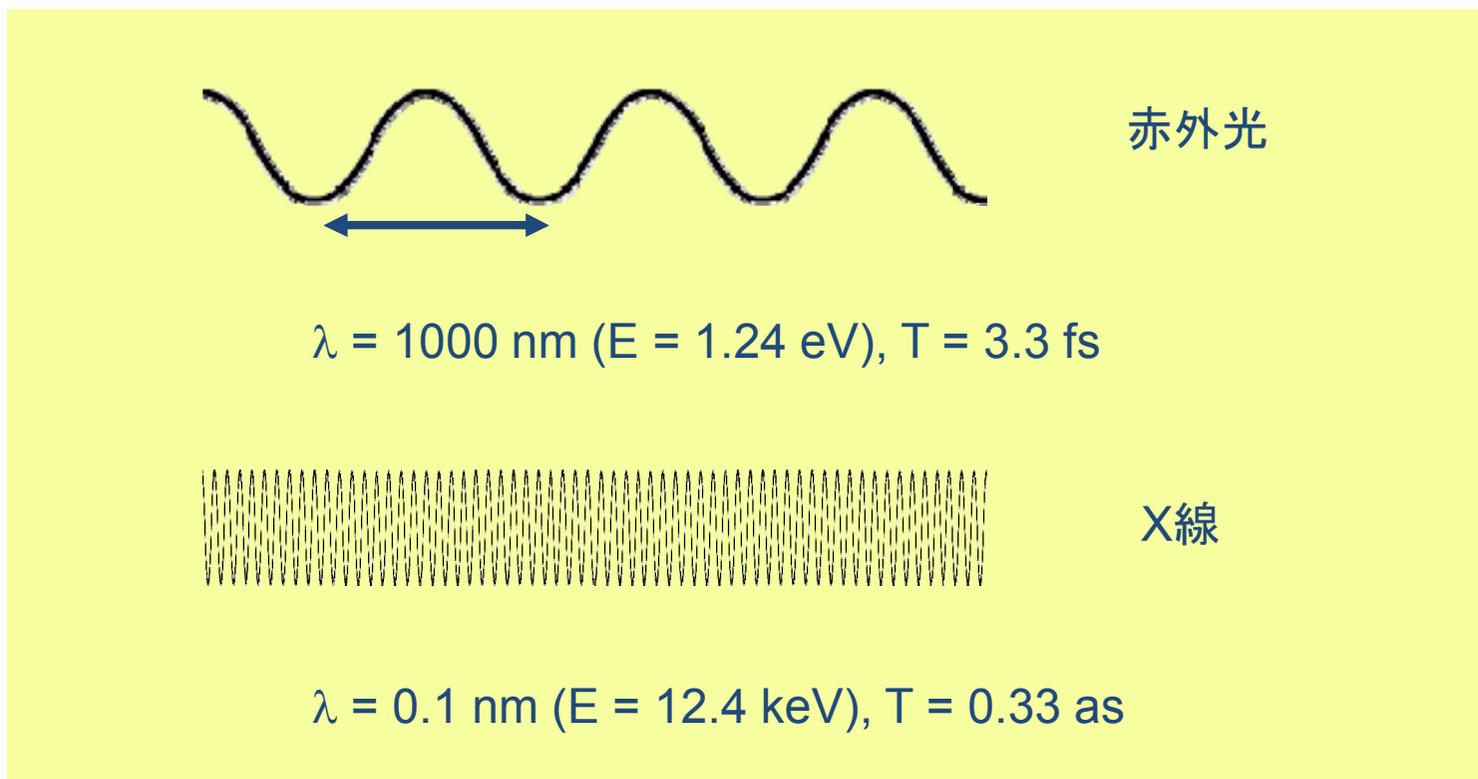
Open Questions

- フェムト秒X線をレーザーと組み合わせる際の技術的な問題点とは？
- X線パルス繰り返し周波数と平均X線フォトン密度の妥協点は？
- 共振器型XFEL(XFEL-O)を用いた時間領域サイエンスの展望とは？

共振器型XFEL(XFEL-O)と時間領域サイエンスの展望とは？

- X線レーザーによる励起
- X線領域の非線形光学
 - タイムゼロ測定
 - パラメトリック変換
- X線領域の動的散乱(スペックル)
 - タンパク質の構造揺らぎ
 - (光誘起)相転移のドメイン成長
- ヘテロダイン法の応用
- 100fsにわたる時間コヒーレンスの利用

X線の時間コヒーレンス利用が実現すると？

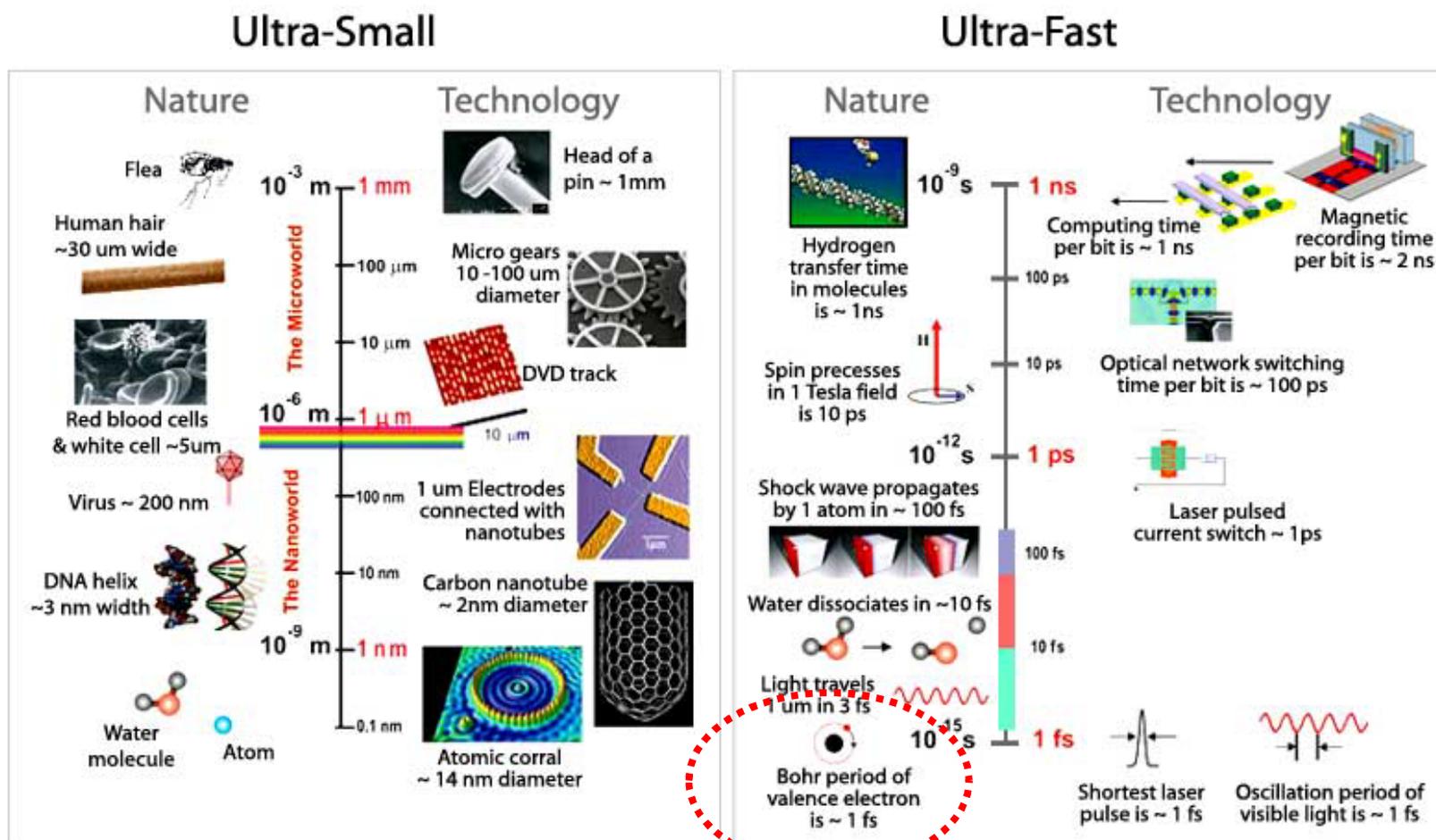


もし時間コヒーレンスのあるX線があったら、それを用いた実験の時間分解能は、X線のパルス幅ではなく、スペクトル幅(meV)の逆数で決まる。フェムト秒X線レーザーパルスのエネルギー分解能は $\Delta E/E \sim 10^{-6}$ 。

シングルモードは、アト秒・ピコメートルの時間・空間分解能をもつ。

ピコメータ・アト秒のサイエンスとは？

電子励起過程のダイナミクス



アト秒の電子励起過程はコヒーレント. 原子核は止まっている.
コヒーレントな内殻電子励起とデコヒーレンスの過程が観測できるか.

LCLS HP: <http://ssrl.slac.stanford.edu/lcls/glossary.html>

アト秒ピコメートル精度の 時空間コヒーレント制御

796

特集

アト秒ケミストリー

近年のめざましいレーザー光源の発展により、超高速時間領域の反応の測定が可能となってきた。この領域では、従来の化学反応とは異なる現象が観測されることがわかってきた。本企画では、アト秒 (10^{-18} 秒) 領域のレーザー分光にスポットを当て、そのレーザーの発信から分光までを特集する。

- 1 アト秒精度で制御する
——アト秒ピコメートル精度の時空間コヒーレント制御
大森賢治
- 2 高強度アト秒パルス列
——真空・極端紫外域の超高速光パルスの発生とその非線形光学
鍋川康夫・緑川克美
- 3 アト秒で分子を見る——アト秒科学の分子科学への展開
沖野友哉・山内 薫

日本化学会
化学と工業2009年7月号特集

Open Questions & Tentative Answers

- 時間分解X線光源としてのERLの特徴とは？
 - フェムト秒以上をログスケールで連続的にカバーする
 - 微小ビームにより、高繰り返しレーザーとの組み合わせが可能に
- ERL(=高繰り返しフェムト秒X線)を用いた時間領域のサイエンスとは？
 - 固体、液体、気体など、たくさんある。ピコ秒領域での予備実験が重要。
- フェムト秒X線をレーザーと組み合わせる際の技術的な問題点とは？
 - 同期、遅延時間、繰り返し周波数
- X線パルス繰り返し周波数と平均X線光子密度の妥協点は？
 - 1MHzが、とりあえずの最適条件か
- 共振器型XFEL(XFEL-O)を用いた時間領域サイエンスの展望とは？
 - X線レーザーによる励起、非線形光学、動的散乱
 - ピコメータ、アト秒のサイエンス