

光・量子ビームの相補的利用

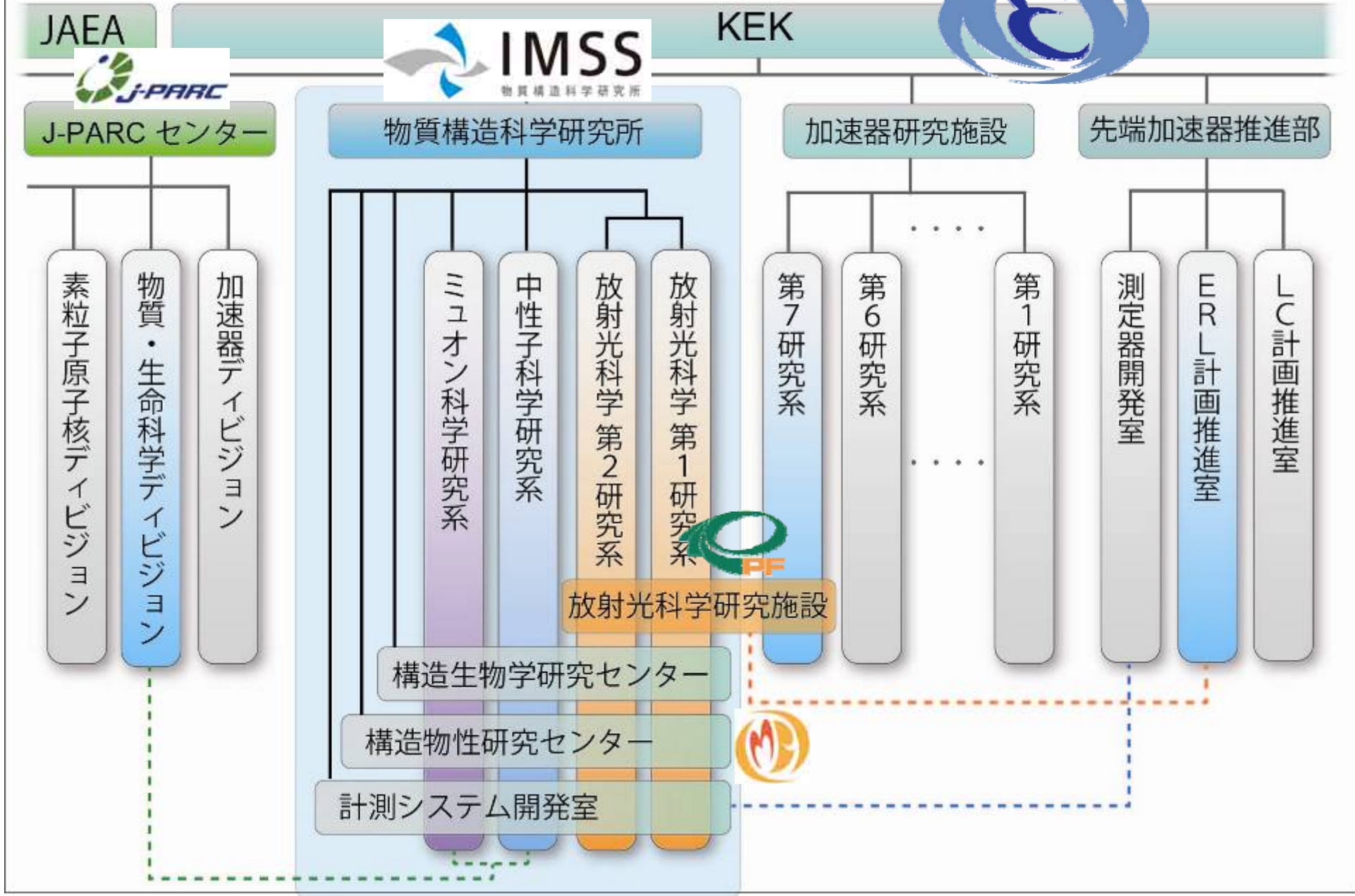
—光・量子ビームプラットホームの形成—



高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所
放射光科学研究施設 (Photon Factory) /
構造物性研究センター
(Condensed Matter Research Center: CMRC)

村上 洋一

物質構造科学研究所 組織図



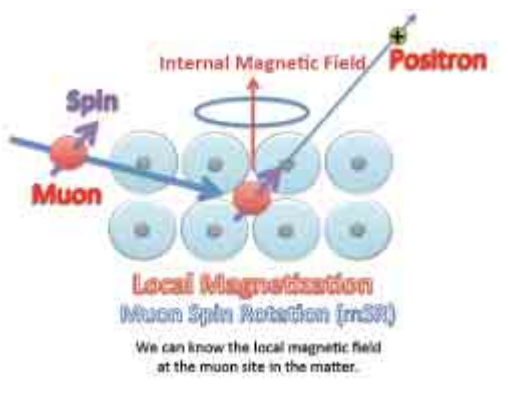
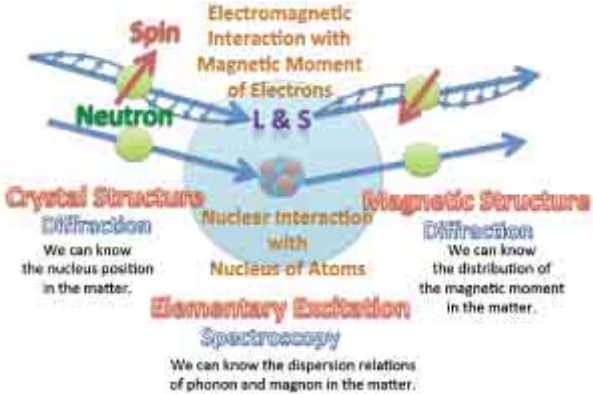
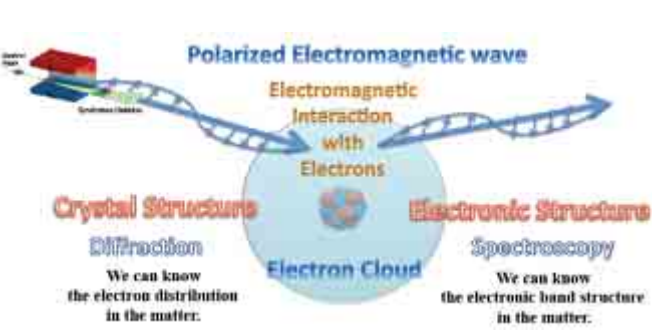
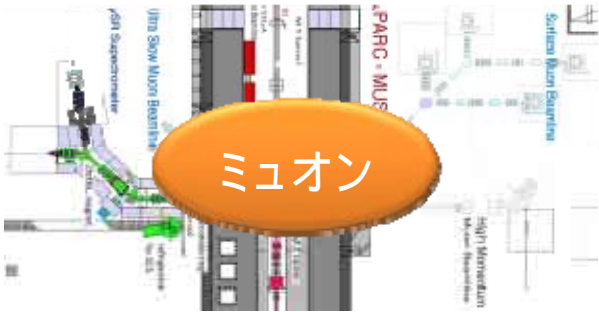
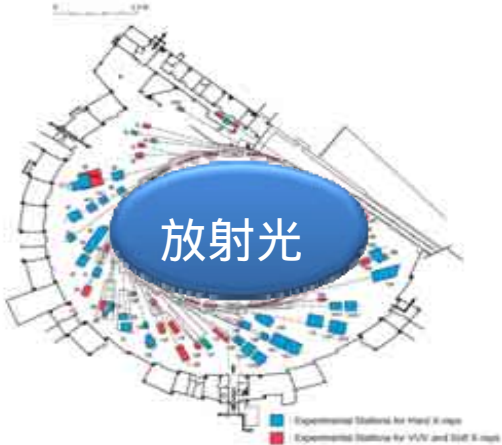
OUTLINE

1. 光・量子ビームの相補的利用
KEK・物構研を例として
光・量子ビームプラットフォームの形成
2. 放射光X線・軟X線・レーザーの相補的利用：
先端的相補利用
ピコ秒～フェムト秒放射光X線光源を用いた
物質の電子状態・構造ダイナミクス研究の展開
3. 中性子・ミュオンの相補利用：
フロンティア相補利用
階層的ダイナミクスの深さ分解測定

量子ビーム相補利用により目指すもの



結晶構造から電子構造まで精密測定
バルク構造から局所(表面・界面)構造
静的構造から動的構造



量子ビームプラットフォームの形成1

放射光(X線・軟X線)・中性子・ミュオン・電子・陽電子などの量子ビームを相補的に(それぞれのビームの強みを活かして)利用することにより拓く **共同利用研究・先端的科学研究・人材育成**

KEK・物構研を例として

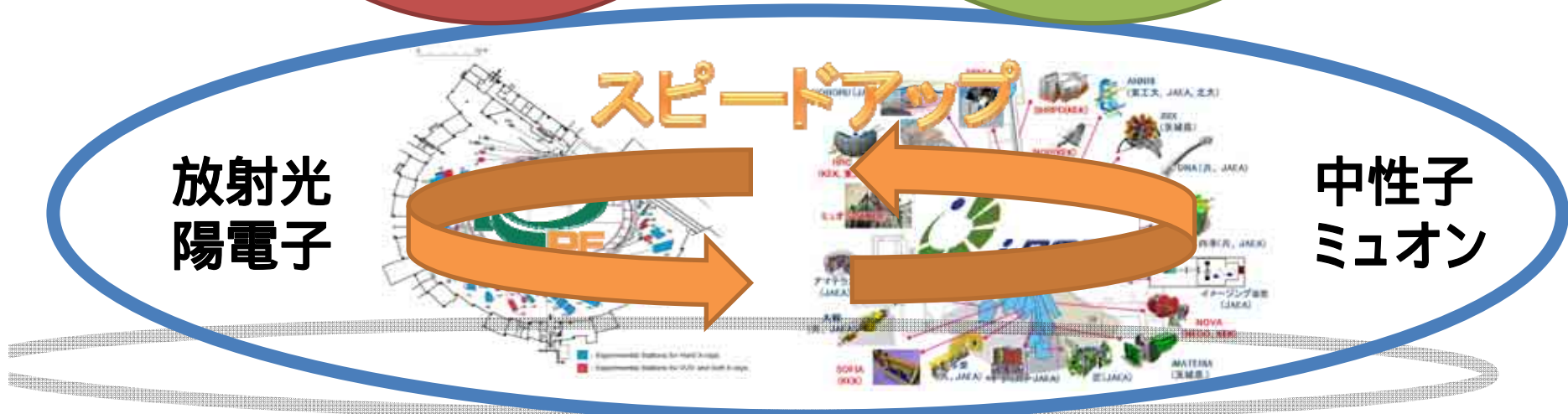
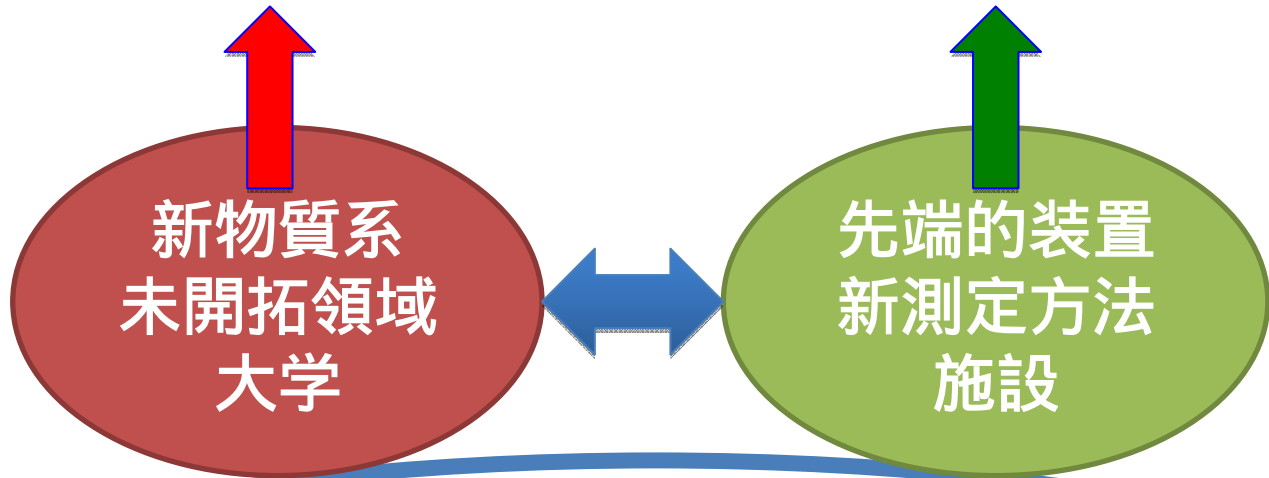
ピークの引き上げ
先端的科学研究



量子ビームプラットフォームの形成2

フロンティア相補利用

先端的相補利用



量子ビームプラットフォーム

量子ビームプラットホームの形成3

All Japanでの量子ビームプラットホーム化 大学・産業界との連携



量子ビームプラットホームの国際ネットワーク化

放射光・中性子・ミュオンの相補利用



ESRFとの協力



DESYとの協力: PETRAIII, FLASH, EuroFELとの共同研究



ISIS/DIAMONDとの協力



PSI/SINQ, SLS, SμS との協力



NSLSII, APS, SNS, ...との協力

アジア・オセアニア地区での協力



NSRRC



SSRF



Australian Synchrotron



ピコ秒～フェムト秒放射光X線光源を用いた
物質の電子状態・構造ダイナミクス研究の展開
～蓄積リング光源からコンパクトERL光源へ～

先端的相補利用



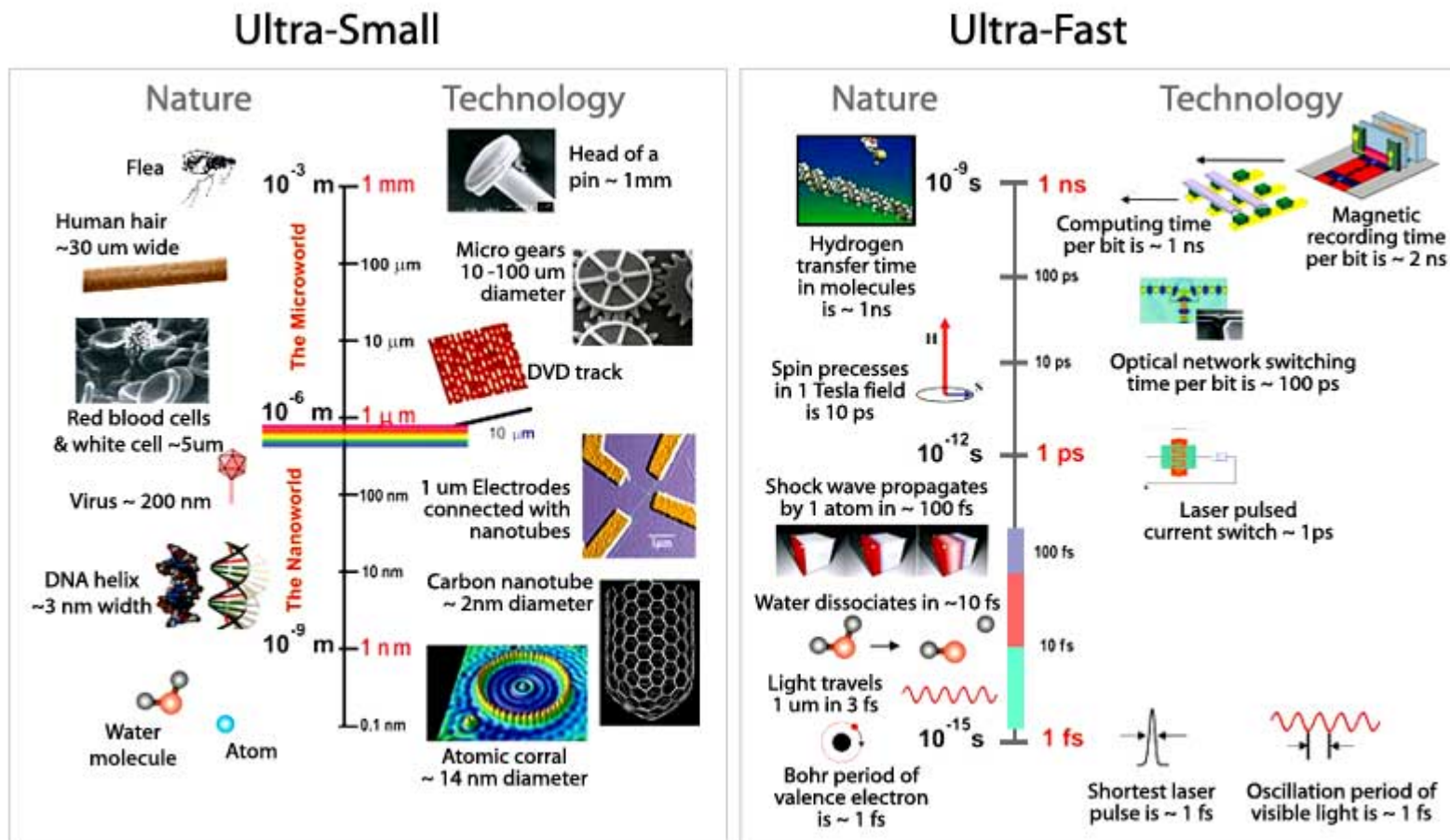
KEK

物質構造科学研究所

足立伸一

村上洋一

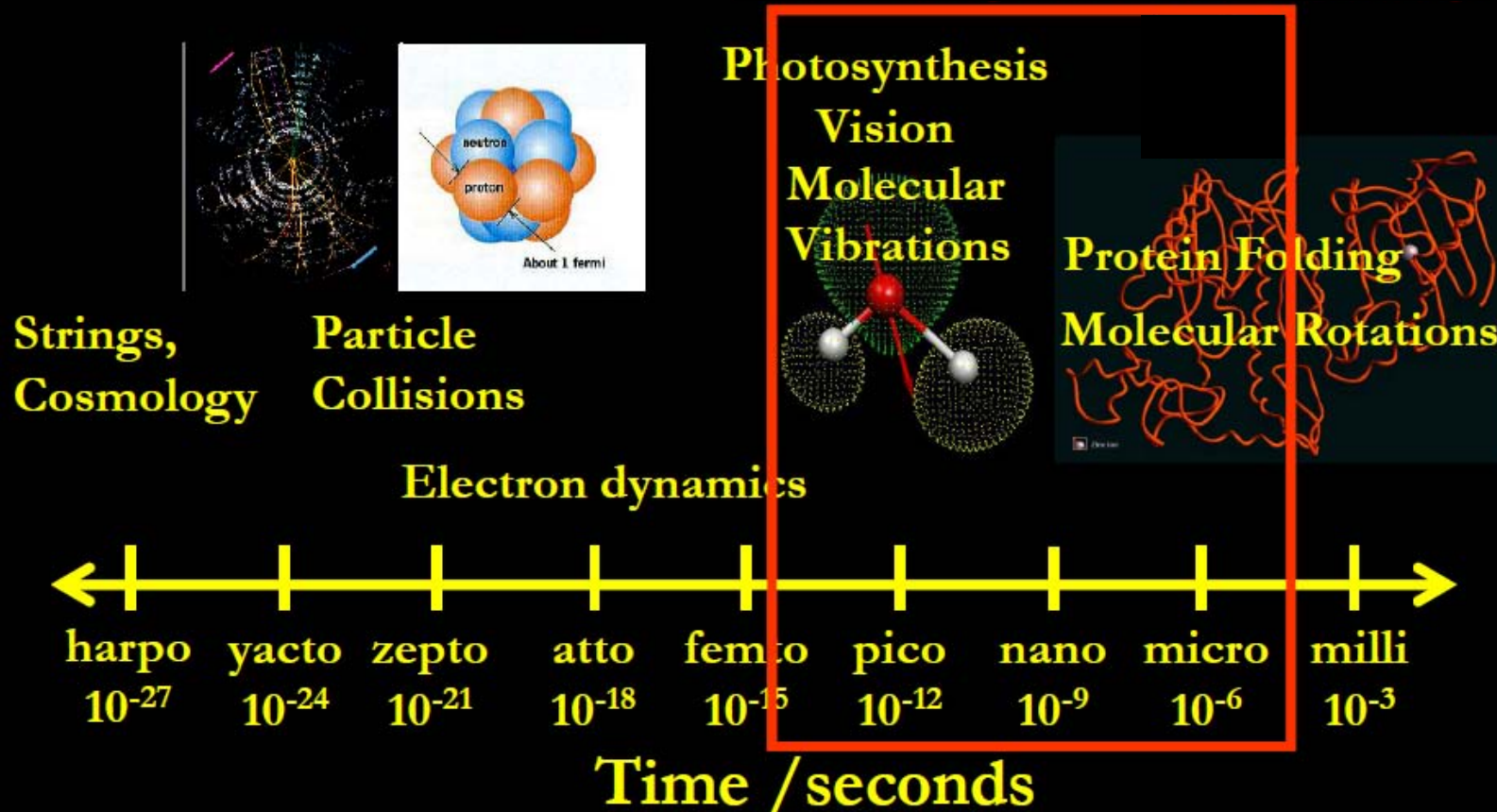
量子ビームによる物質科学が目指すもの より精密に、より高速に



LCLS HP

https://slacportal.slac.stanford.edu/sites/lcls_public/Pages/Default.aspx

物理・化学・生命現象の時間スケール



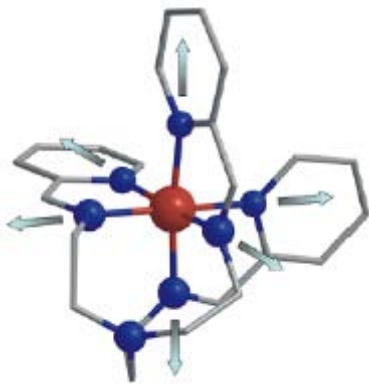
Courtesy of Christian Bressler (European XFEL)

軟X線～硬X線領域での 超高速ダイナミクス研究

軟X線領域: 100-1000eV

内殻電子状態の分光測定

C・N・Oの内殻を元素選択的に励起
遷移金属の軟X線 (2p → 3d) 励起

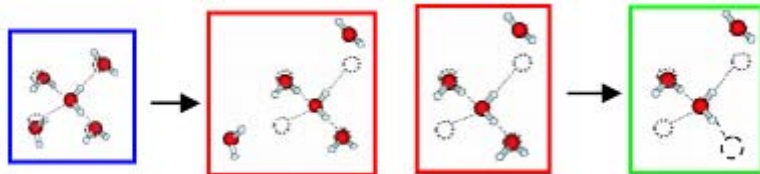


時間分解軟X線吸収による
溶液中のFe錯体の
光誘起スピン状態遷移の観測

Huse N. *et al.*
J. Am. Chem. Soc.,
132, 6809-6816 (2010).

レーザーによるO-H振動励起後の水の構造変化を
軟X線吸収分光により観測する試み

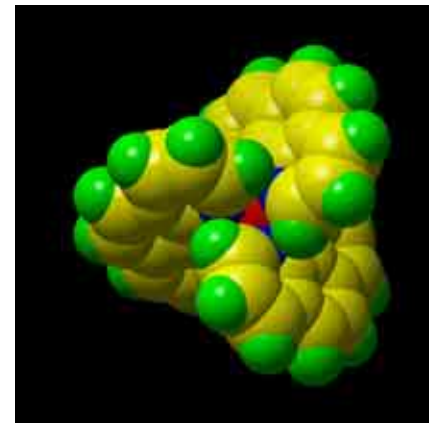
Wernet P., *J. Phys. Conf. Ser.*, 190, 012055 (4pp).



硬X線領域: 1 - 50 keV

物質構造の直接プローブ

結晶性試料をX線回折手法で測定
非晶質試料をX線散乱やEXAFS手法で測定

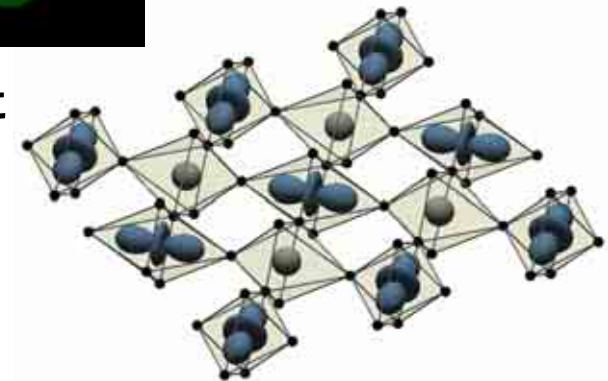


時間分解EXAFS法による
光誘起スピンクロスオー
バー構造転移の観測

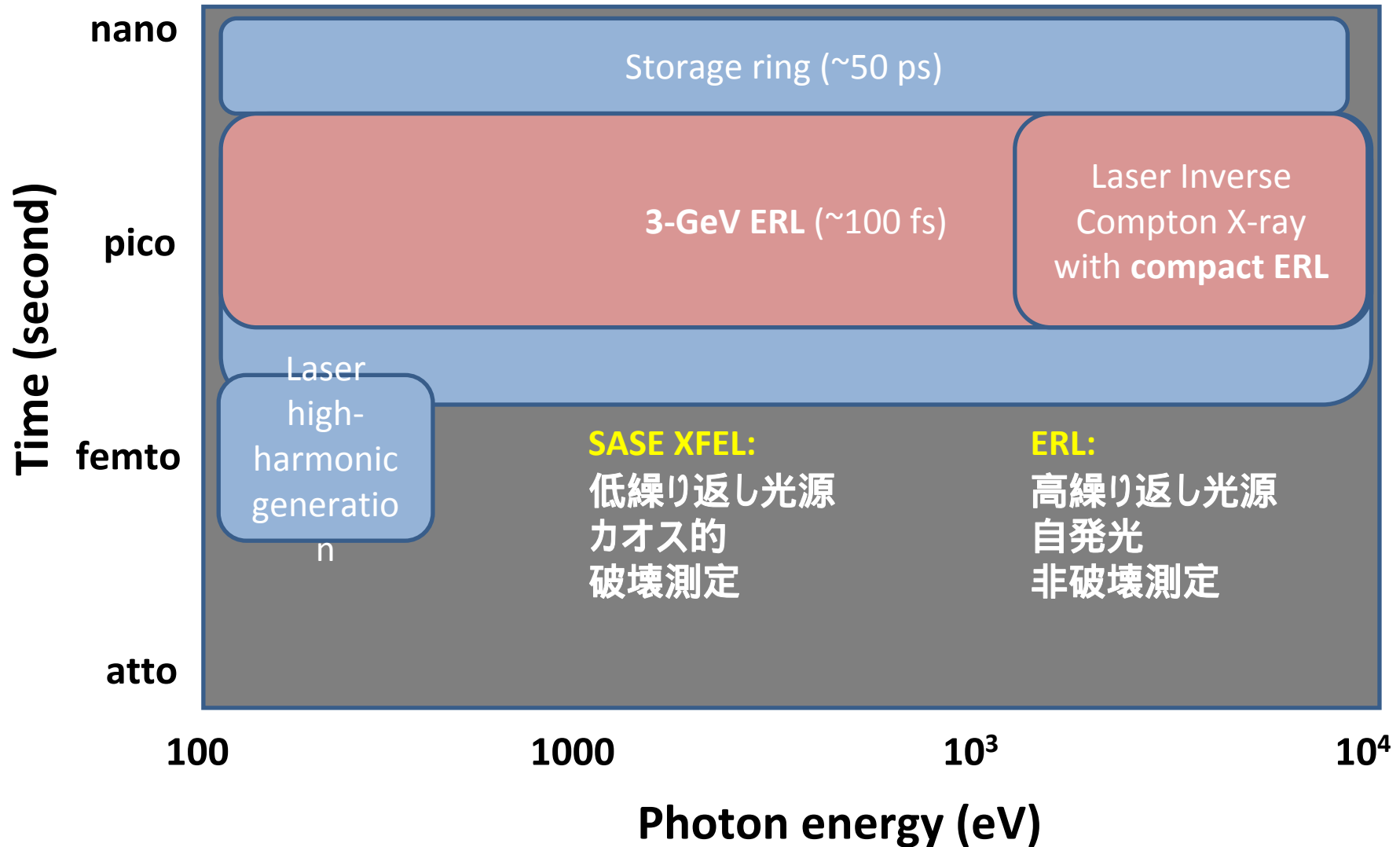
Nozawa *et al.*
J. Am. Chem. Soc.,
132, 61-63 (2010).

時間分解X線回折法に
よるマンガン酸化物薄
膜の光誘起構造転移

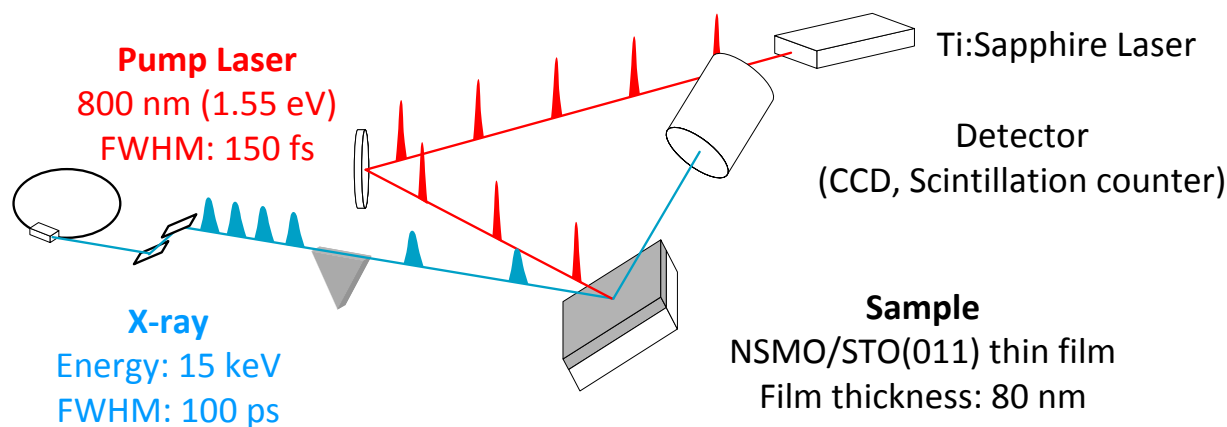
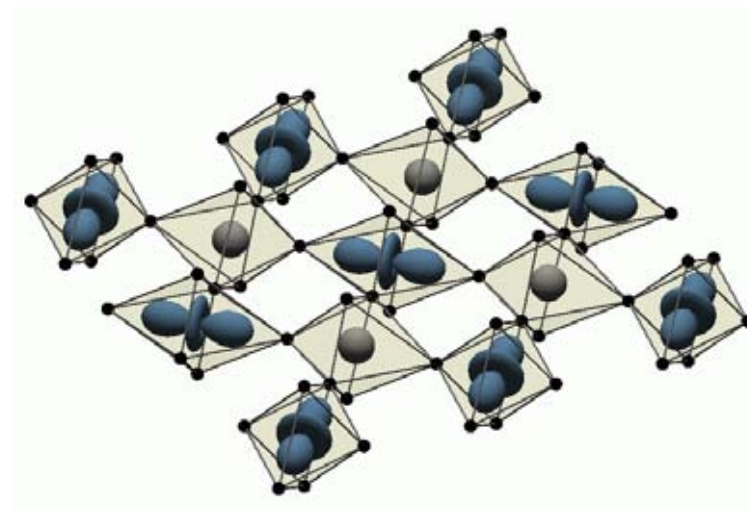
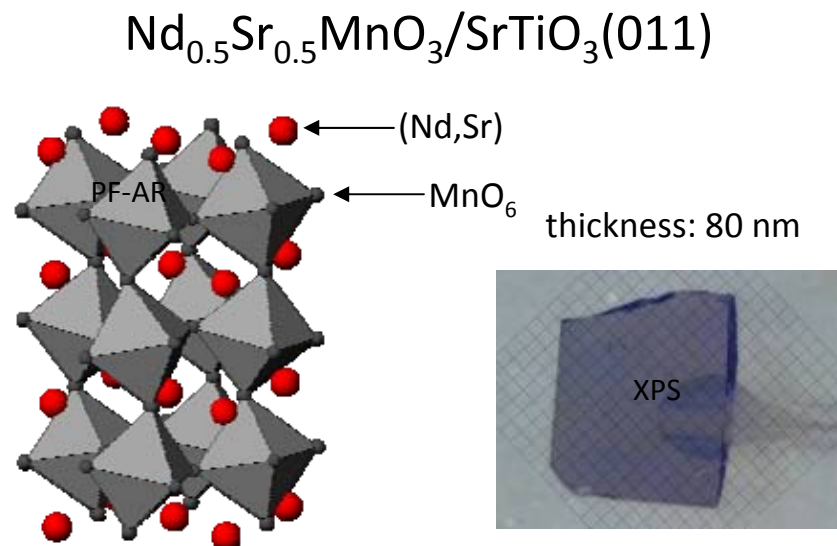
Ichikawa *et al.*
Nature Materials,
10, 101-105 (2011)



軟X線～硬X線領域での パルスX線光源～世界の趨勢

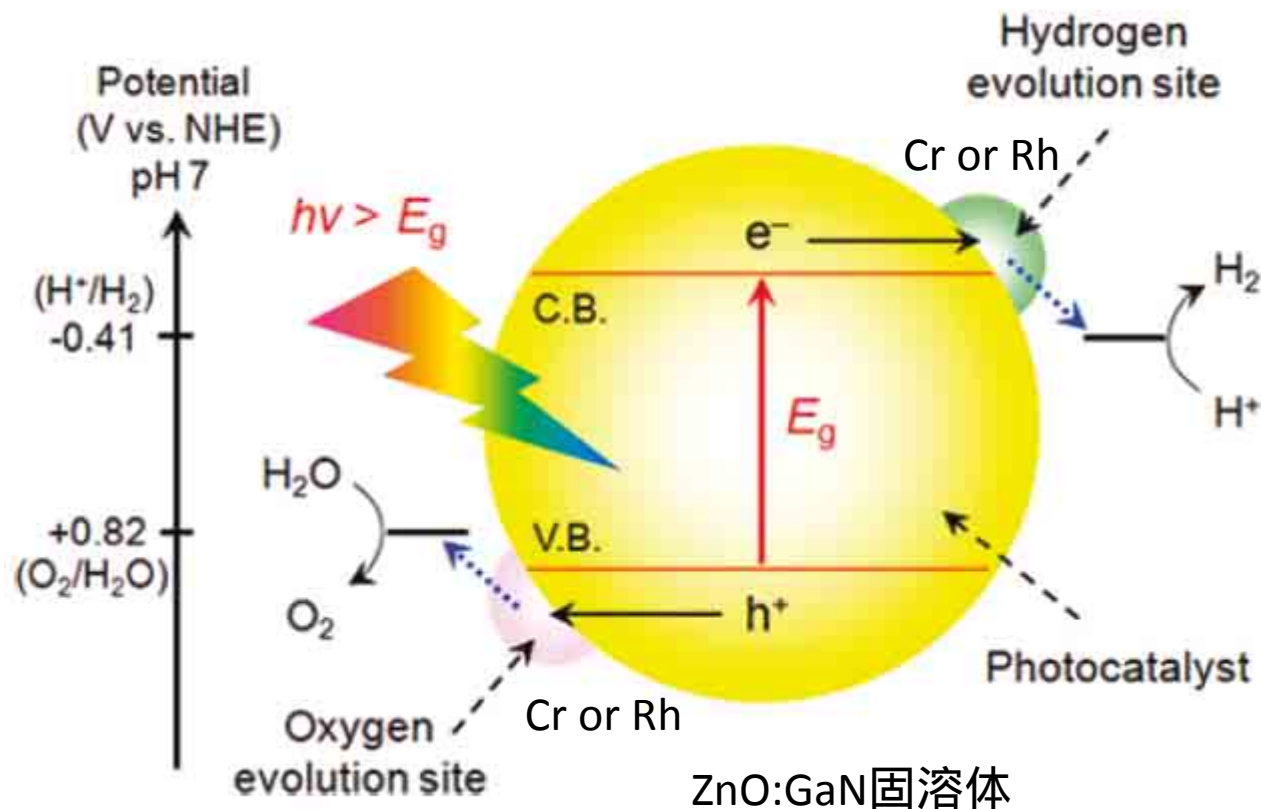


蓄積リングを利用したピコ秒時間分解 硬X線利用実験例



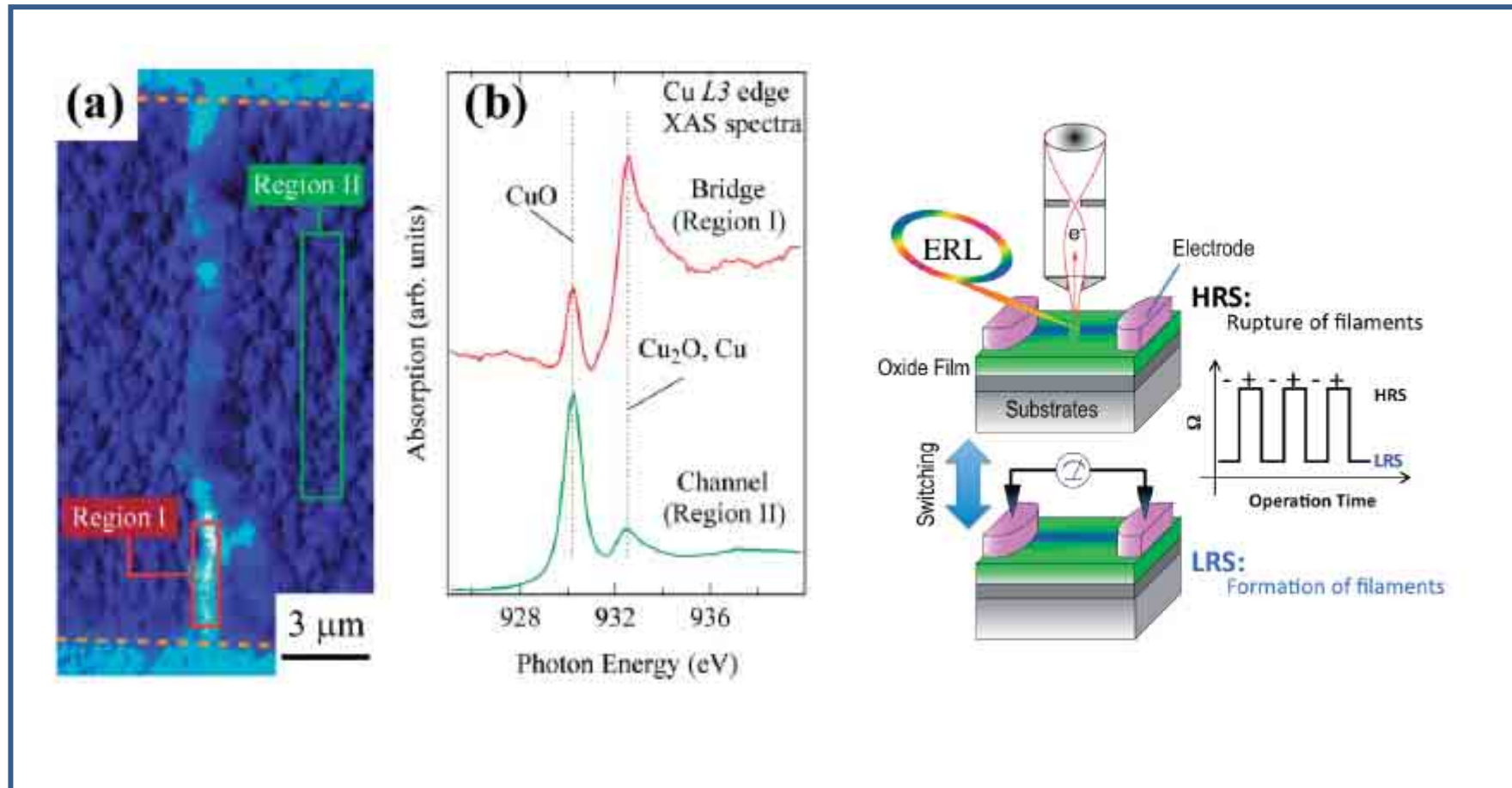
Ichikawa *et al.* Nature Materials, 10, 101–105 (2011)

ピコ秒時間分解軟X線利用実験 光触媒反応への応用



Maeda, K. and Domen K. (2010) *J. Phys. Chem. Lett.* **1**, 2655.

ピコ秒時間分解軟X線利用実験 How does ReRAM work?

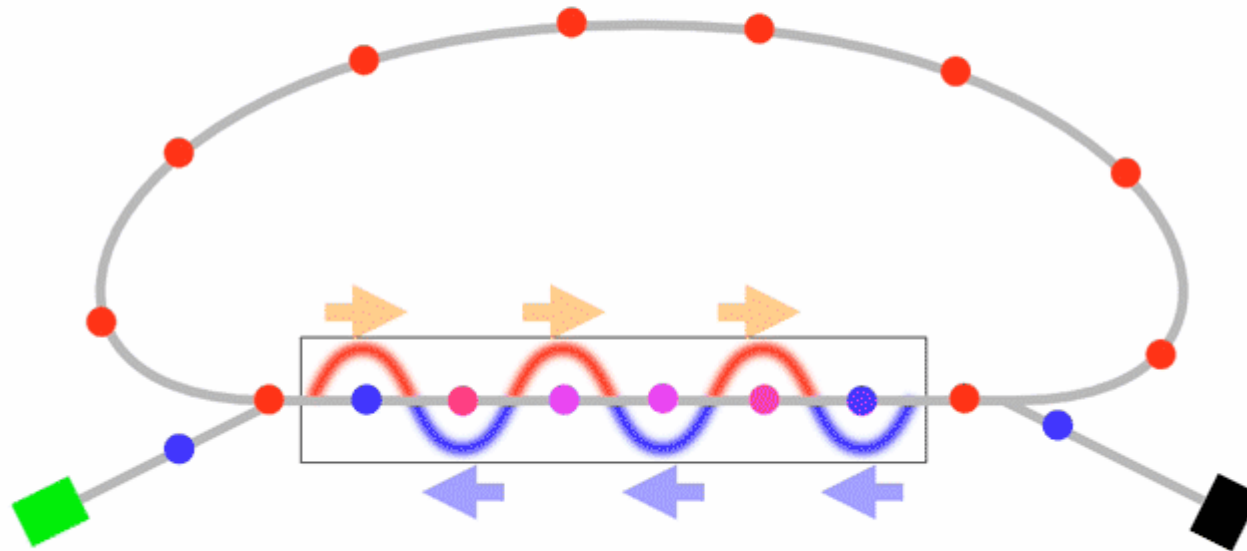


Courtesy of Prof. Hiroshi Kumigashira (KEK PF)
(ERL Conceptual Design Report)

次世代軟X線～硬X線 フェムト秒光源に向けて

エネルギー回収型リニアック光源 (Energy Recovery Linac: ERL)

KEK Energy Recovery Linac (ERL) project at 3 GeV



Linac based light source:

- 1) Diffraction-limited beam $\epsilon \sim 17 \text{ pmrad} \sim \frac{1}{4}$
- 2) Short pulse capability $\sim 100 \text{ femtosecond}$
- 3) High repetition rate 1.3 GHz

Compact ERL

A test facility of 3GeV ERL

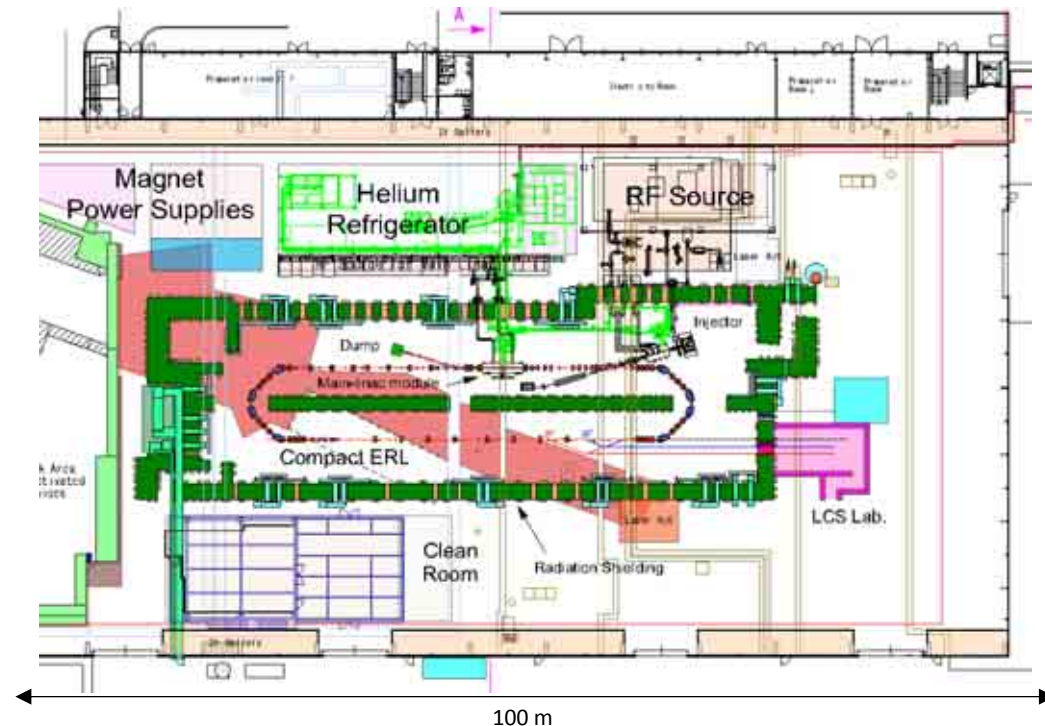
- 本機3GeV ERL型放射光源において必要な加速技術の実証を行う



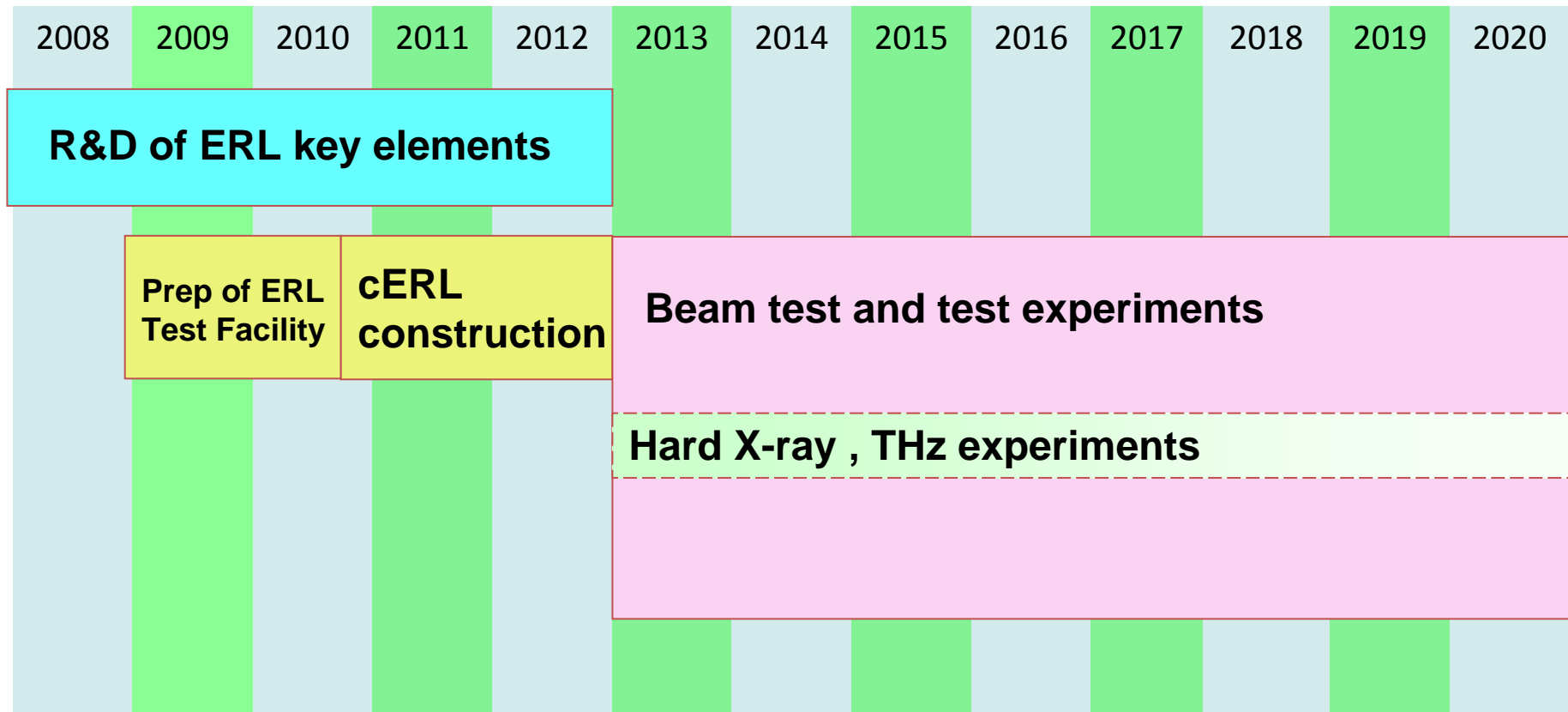
Parameters of the Compact ERL

	Parameters
Beam energy (upgradability)	35 MeV 125 MeV (single loop) 245 MeV (double loops)
Injection energy	5 MeV
Average current	10 mA (100 mA in future)
Acc. gradient (main linac)	15 MV/m
Normalized emittance	0.1 mm-mrad (7.7 pC) 1 mm-mrad (77 pC)
Bunch length (rms)	1 - 3 ps (usual) ~ 100 fs (with B.C.)
RF frequency	1.3 GHz

(2013年3月の試運転における目標値)



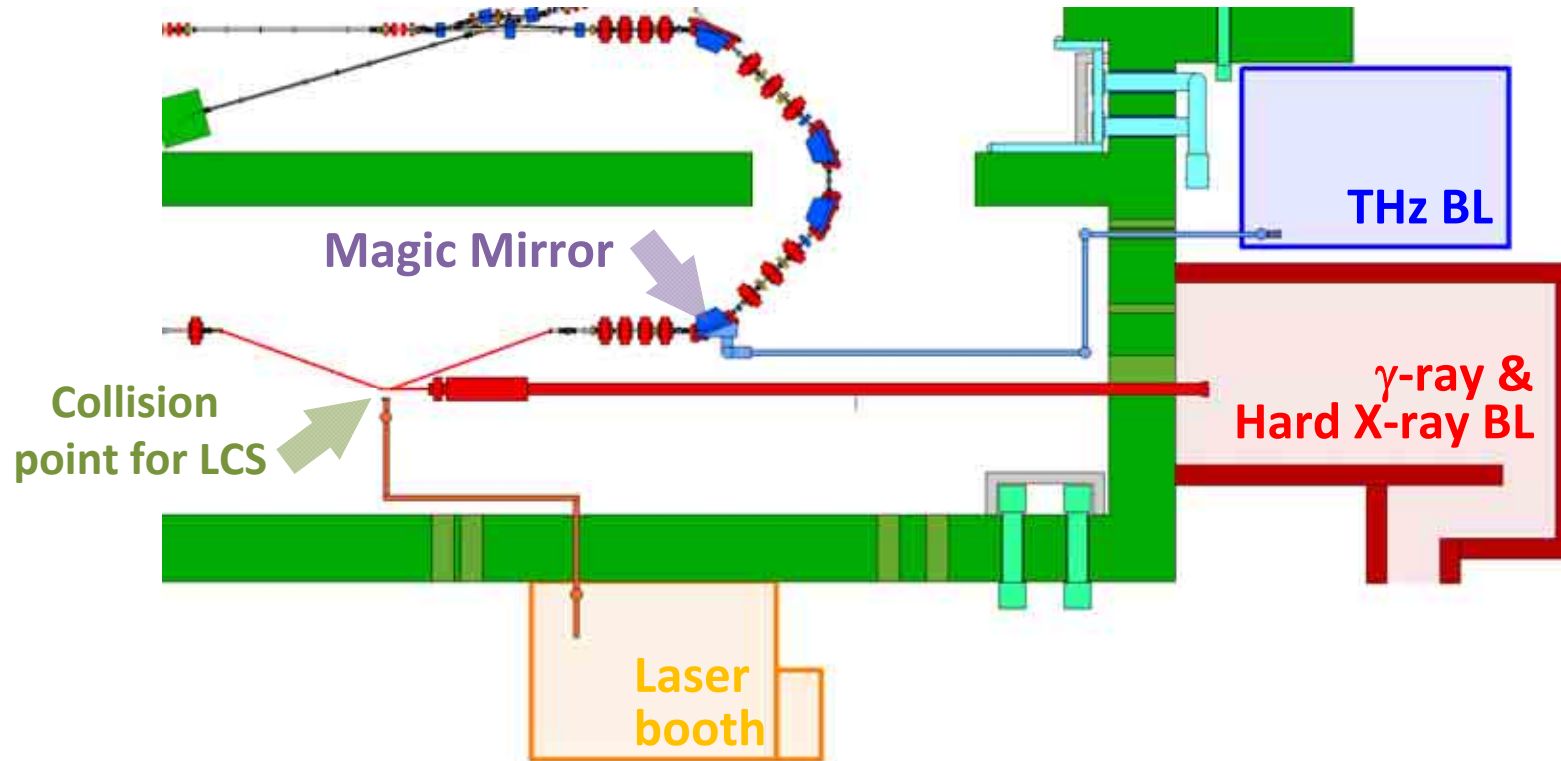
cERLの建設・利用スケジュール



- ビーム運転に伴いcERLから得られる光をユーザー利用実験用の提供
- 2013年度より硬X線とテラヘルツ光の先端的な利用研究を想定して各々のビームライン建設が開始される予定

コンパクトERLにおける利用研究

放射光科学とレーザー科学の融合



レーザー逆コンプトンX線ビームライン

共振器によるLCSを用いた高flux光源

■高視野と共振器による高fluxイメージング

90度衝突LCS散乱を利用したフェムト秒光源

■100fs準単色光を用いた時間分解X線実験

テラヘルツ光ビームライン

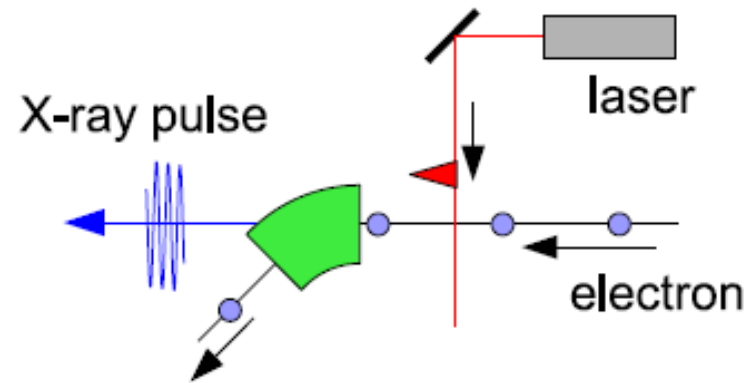
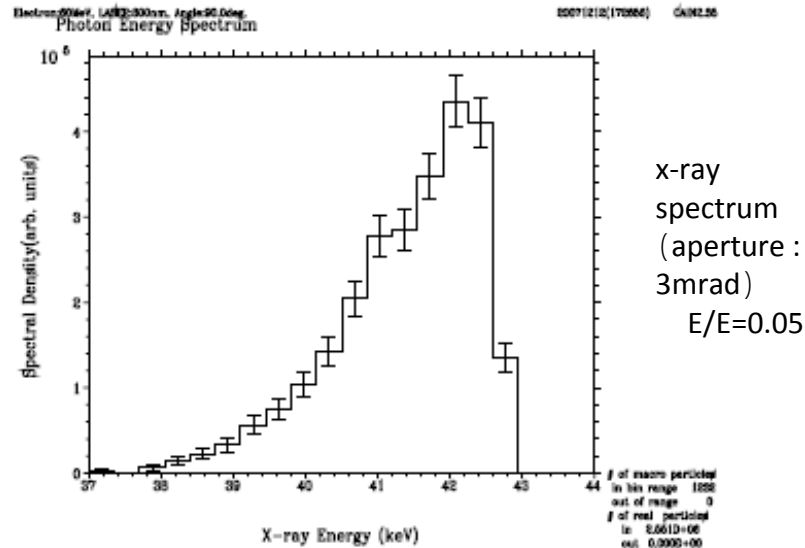
CSRを用いた高強度コヒーレントTHz光源

■meV領域における電子状態変化の観測

■コヒーレント性を利用したイメージング

■フォノン励起用フェムト秒光源

コンパクトERL:レーザー逆コンプトンX線 フェムト秒時間分解X線ビームライン整備



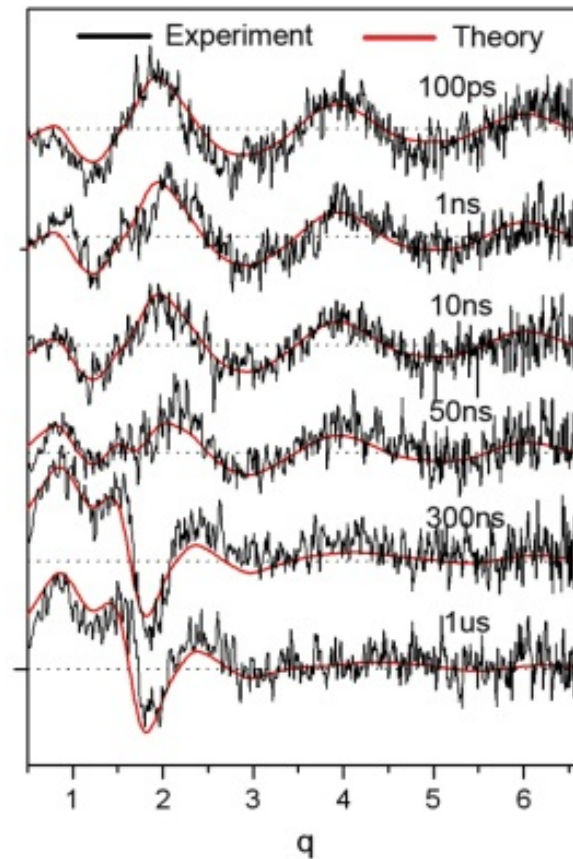
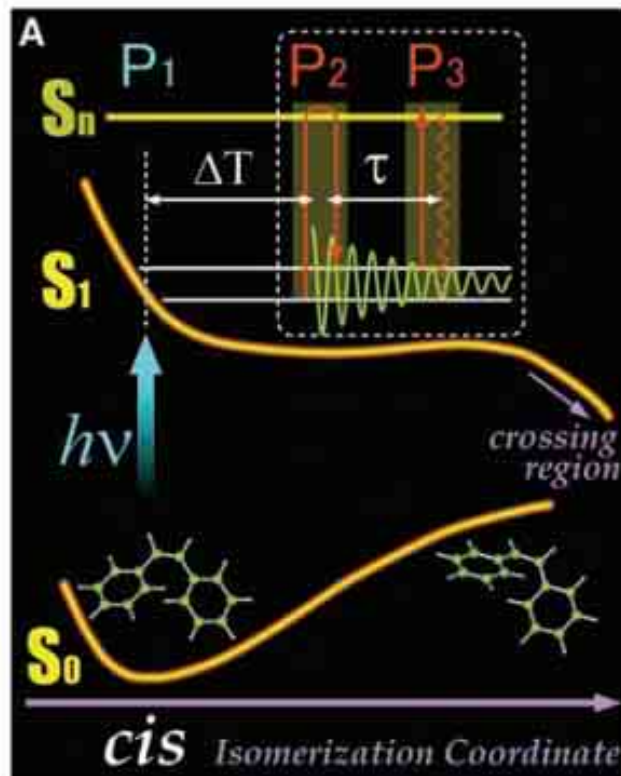
Laser	
Wavelength	800 nm
Pulse energy	10 mJ
Frequency	1 kHz
Pulse width	50 fs
Beam size	20um

Electron bunch	
Energy	60 MeV
Charge	0.1 nC
Bunch width	1ps
Bunch size	20um
Emittance	1mm-mrad

Laser-Compton X-ray	
Averaged X-ray Flux	3.9×10^7 phs/s · 100% bw
X-Ray pulse width	110 fs

フェムト秒オーダーの 物質ダイナミクス研究へ

I₃⁻



Photoisomerization reaction in stilbene
(*cis* → *trans* : < 1ps)

S. Takeuchi *et al.*, *Science*, **322** (2008) 1073.

Direct structural visualization of photoreaction intermediate by WAXS with 100 fs quasi-monochromatic X-Ray

まとめ

- 軟X線～硬X線放射光源と長短パルスレーザー光源を組み合わせた、物質の電子状態と構造の高速ダイナミクス研究展開が今後ますます注目される
- コンパクトERLの低エミッタンス電子ビームとパルスレーザーとの相互作用により、新たなフェムト秒硬X線光源が利用可能となる

大強度パルス中性子・ミュオンを相補的に用いた 階層的ダイナミクスの深さ分解測定

フロンティア相補利用



KEK

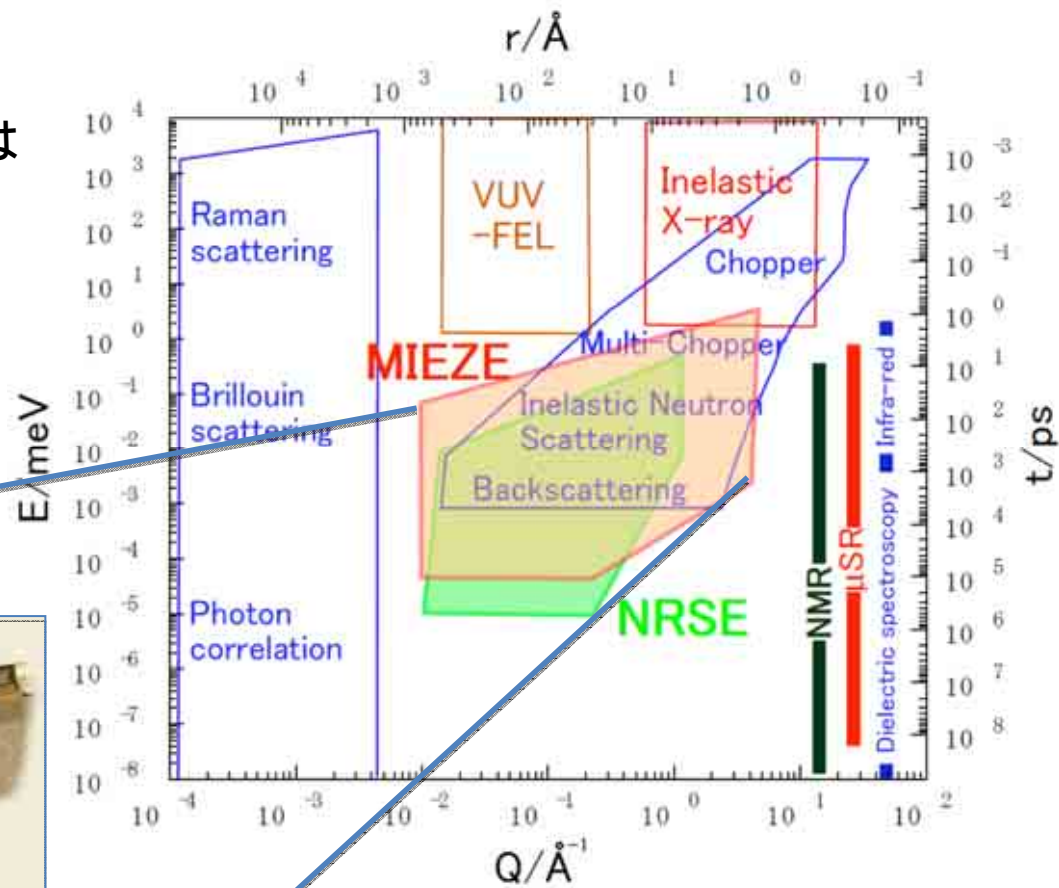
物質構造科学研究所

瀬戸秀紀

門野良典

中性子スピネコー分光法

中性子非弾性散乱測定法としては
最もエネルギー分解能が高い

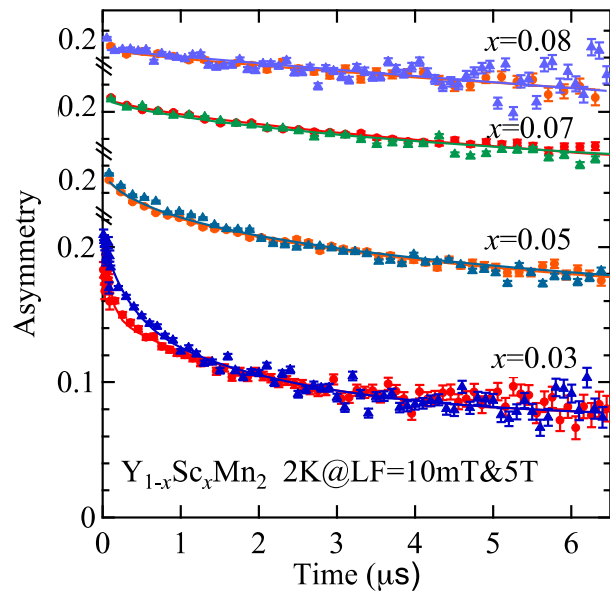
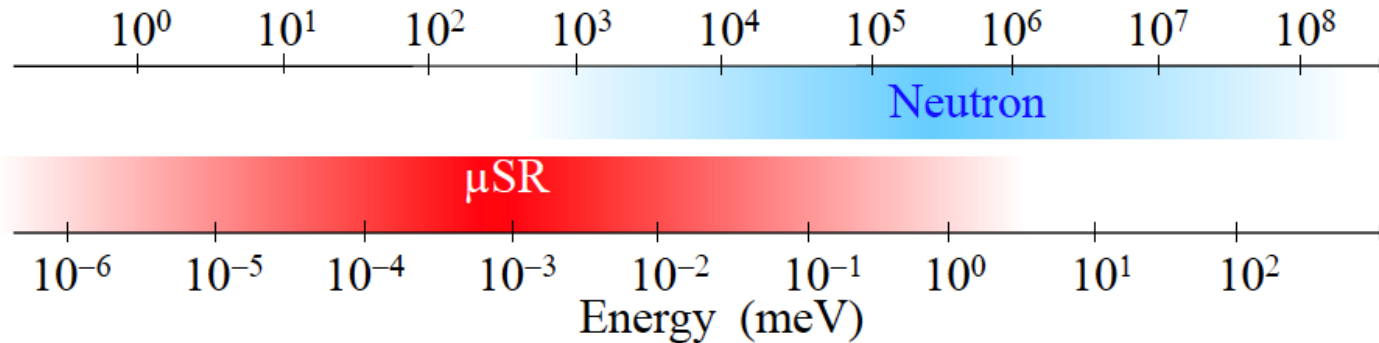


J-PARCに中性子スピネコー分光器
群VIN-ROSEを建設中

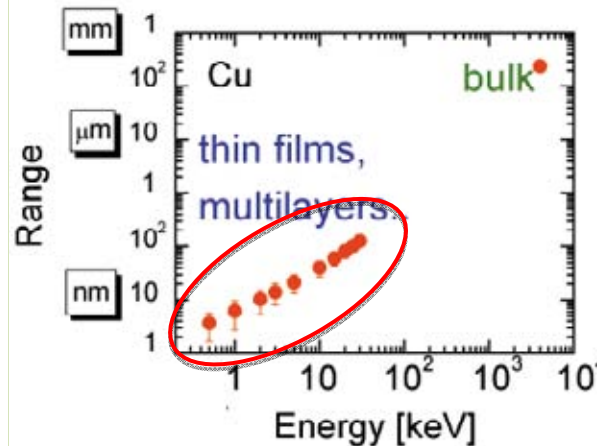
ミュオンスピン回転・緩和法

中性子と相補的な
有感時間領域

揺らぎの周波数 ν (MHz)



J-PARCに超低速ミュオンビームラインを建設中:



これにより

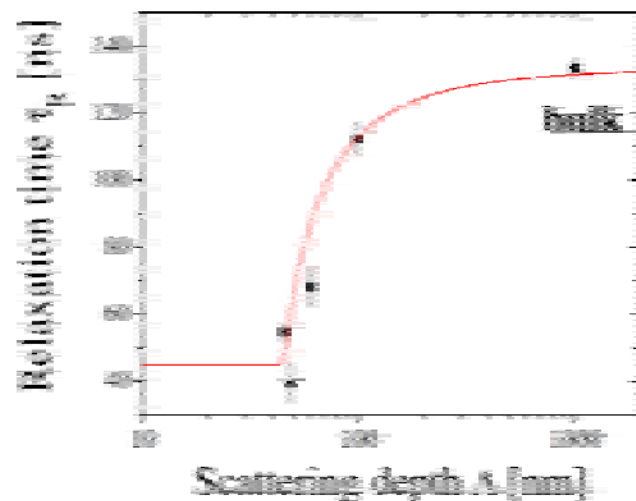
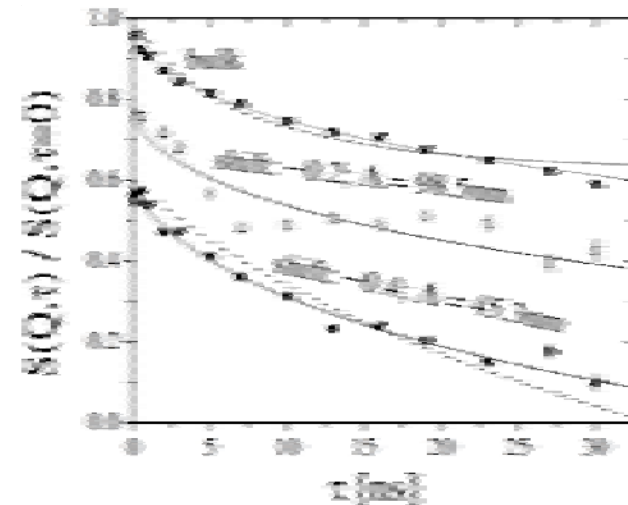
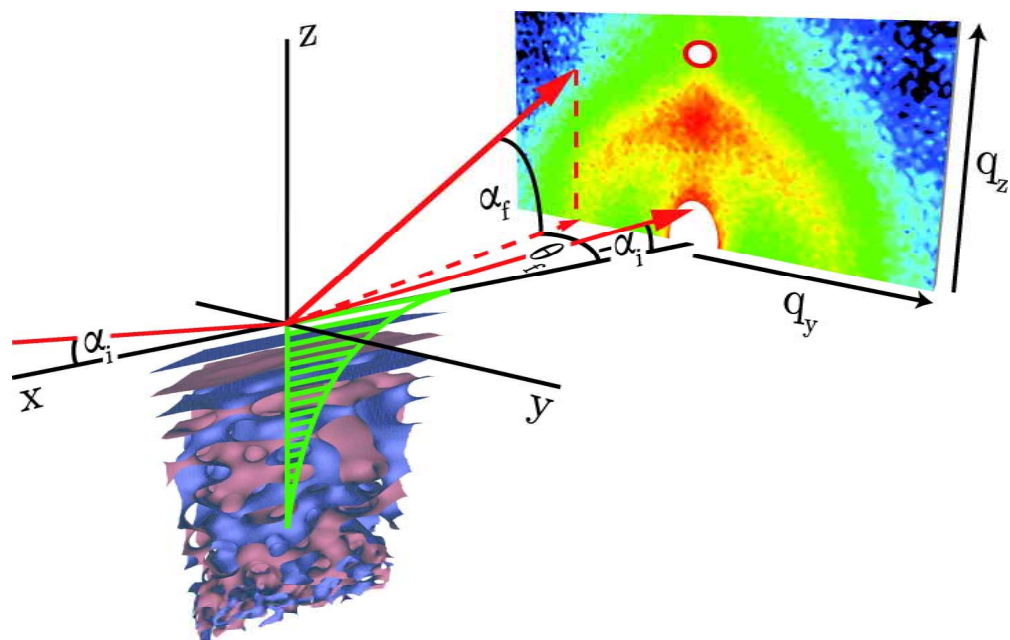
打ち込み深さを制御
可能: 0nm-200nm
深さ方向の位置分解
能: 2-5 nm 1 nmを
めざす。

深さ分解ダイナミクス測定

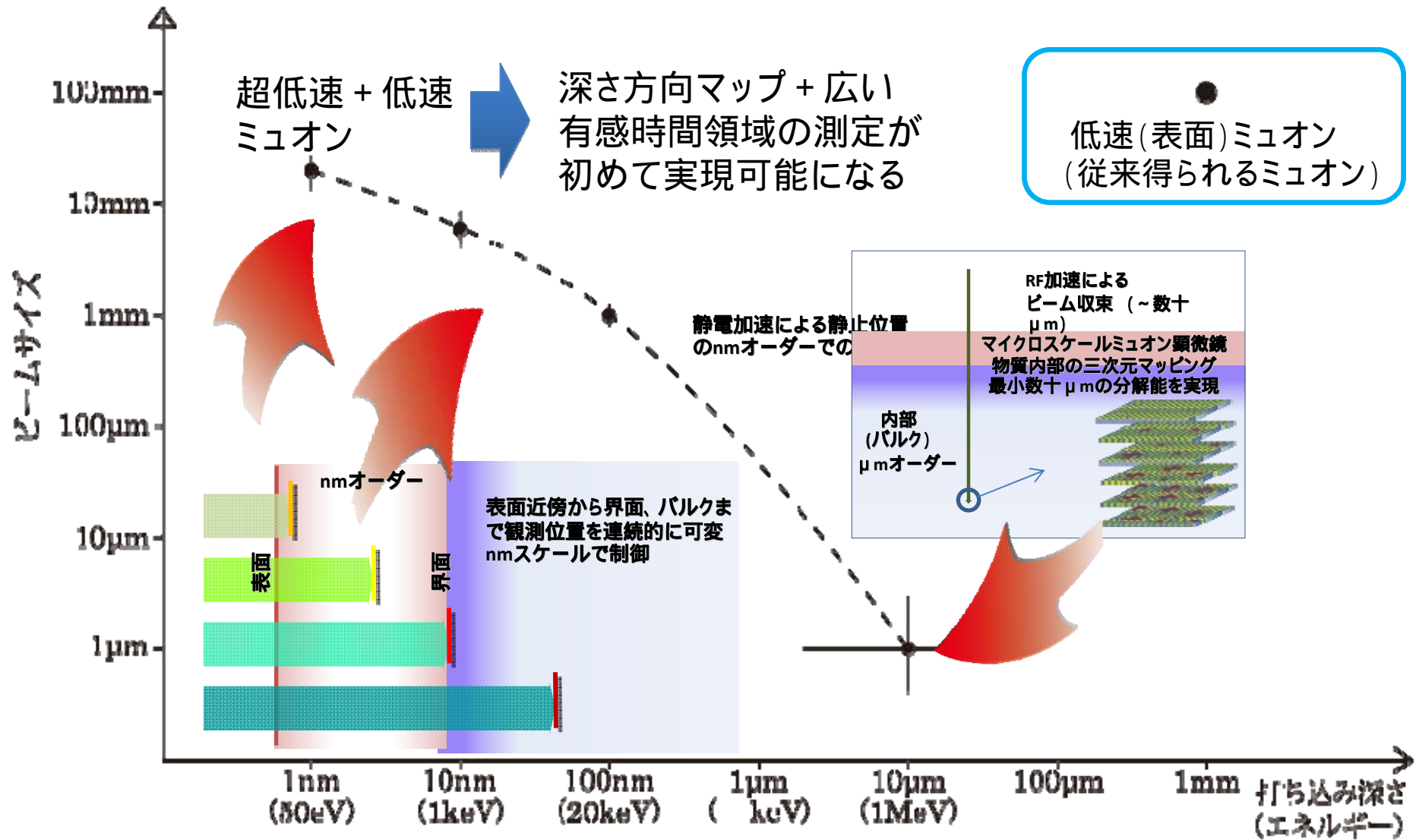
強力な中性子源
集光中性子光学系
磁気デバイス開発



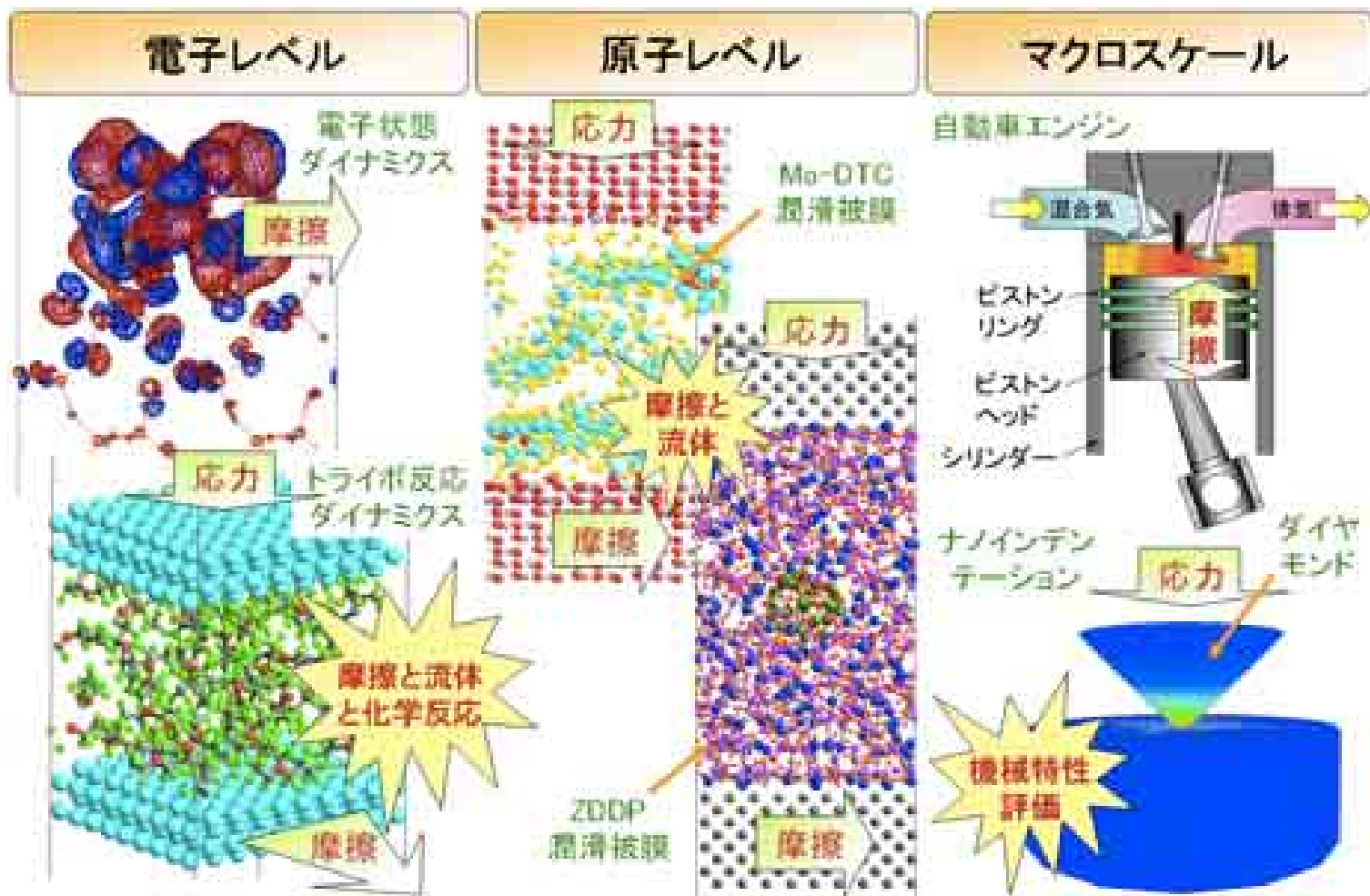
初めて実現可能になる



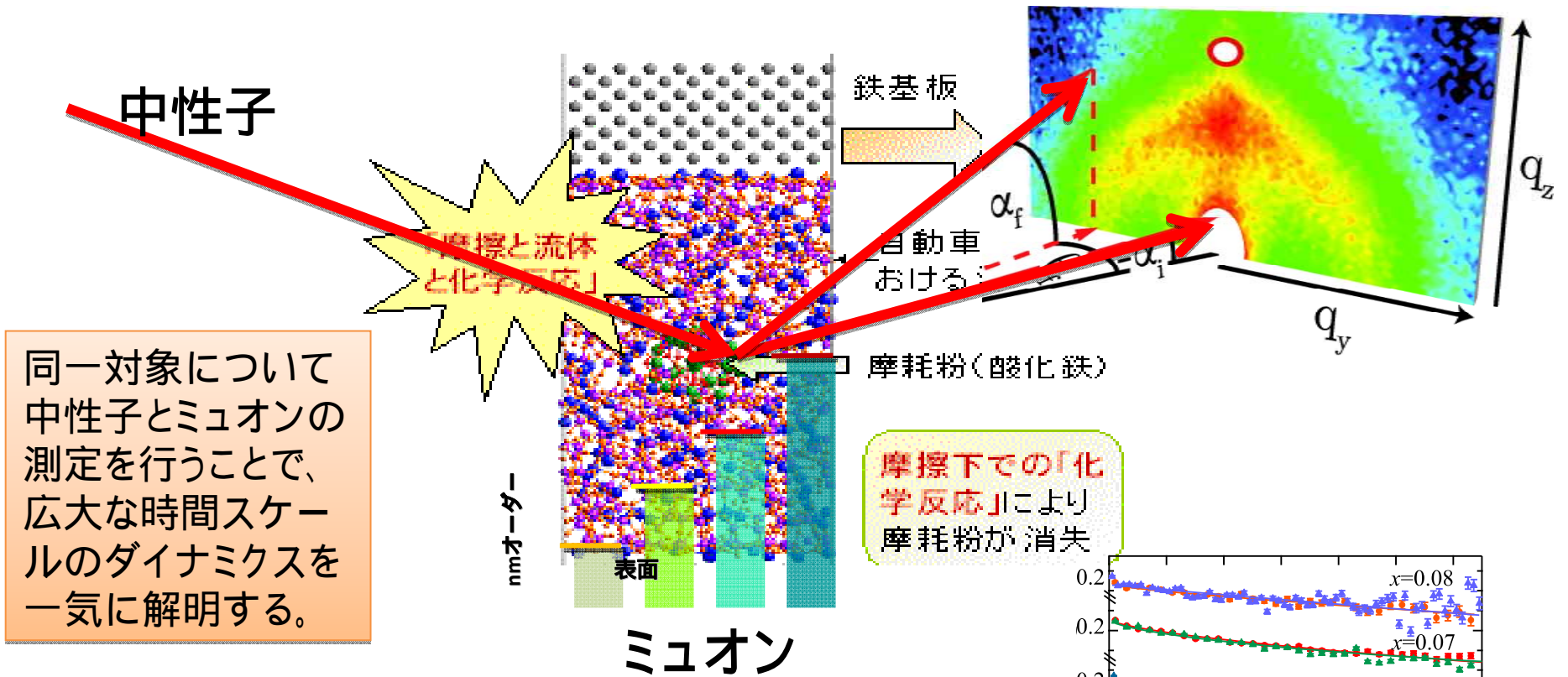
深さ分解ダイナミクス の測定



Tribology (摩擦と潤滑の科学)への展開

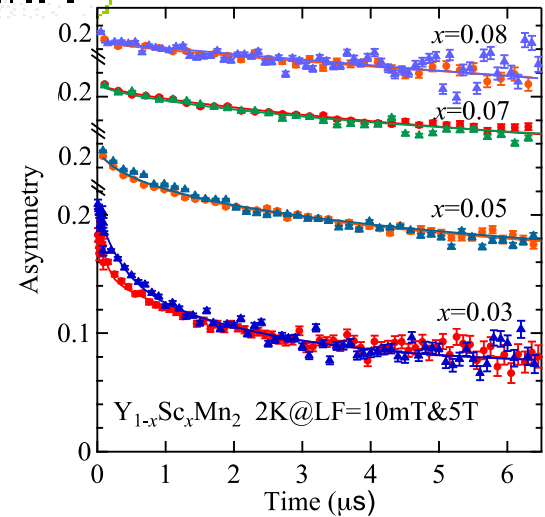
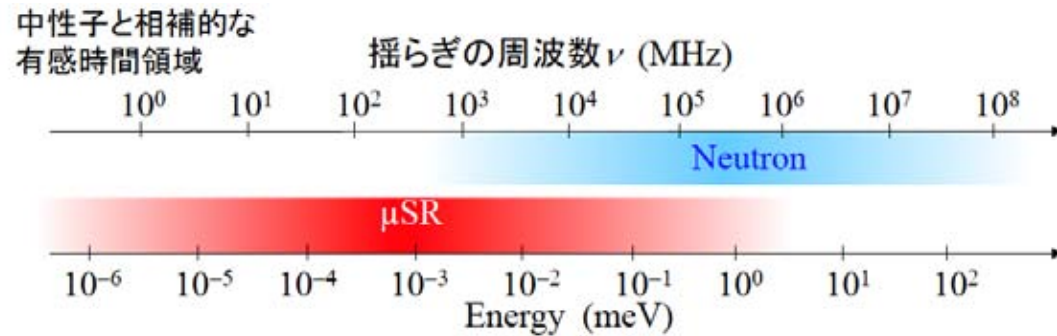


構造と運動の場所依存性を見る

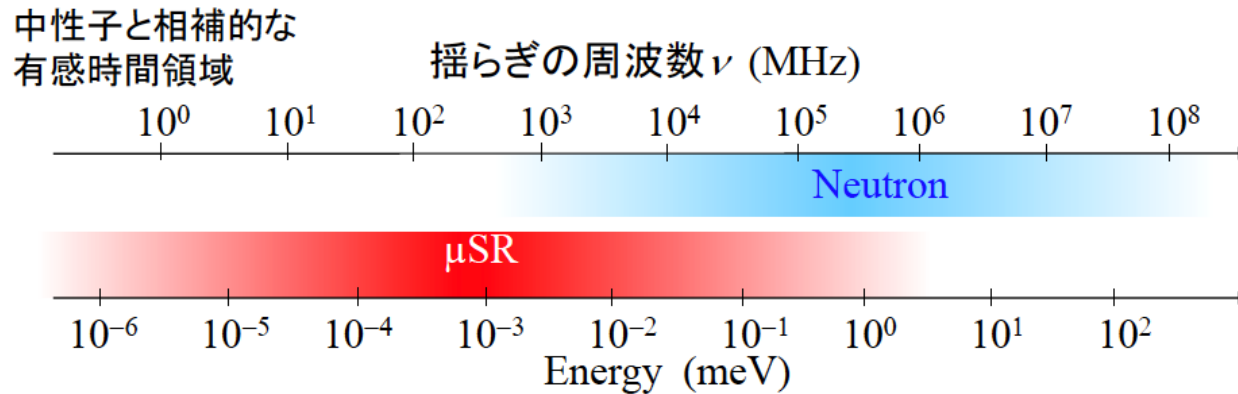


同一対象について中性子とミュオンの測定を行うことで、広大な時間スケールのダイナミクスを一気に解明する。

摩擦下での「化学反応」により摩擦粉が消失



まとめ



広いエネルギー範囲でのダイナミクス観測が重要

中性子をより低エネルギー側に、
ミュオンをより高エネルギー側に、拡張する。

中性子では原子・分子からクラスター(共同現象)
ミュオンではバルクからクラスターへ
構造の階層性からダイナミクスの階層性へ