

極限レーザーと先端放射光技術の融合による 軟X線物性科学の創成



物性研・LASORセンター 辛 埴

量子ビーム技術の革新が、光科学のプラットフォーム化をもたらす

- 物性応用を目指した高調波レーザーの開発
- 次世代放射光につながる、放射光利用技術の高度化



多様な光源技術を包含した
軟X線物性科学の創成

光源・利用技術

施設間の垣根を取り払い、
各光源の特徴も活かした
新しい軟X線光科学を創設

フェムト秒、アト秒まで可能
コヒーレンスが高い

レーザー
科学

共通の
サイエンス

エネルギー可変
平均フラックスが大
ピコ秒

放射光
科学

サイエンスのプラットフォーム化

交差する3つの分光

超高速
分光

超高分解能
分光

顕微
分光

高調波レーザー科学

放射光科学

2つの光科学を推進

極限レーザーと先端放射光技術の融合による 軟X線物性科学の創成

H28年3月

「光・量子融合連携研究開発プログラム」 の中間評価結果

2. 総合評価：S

-
- ・レーザー高次高調波による軟 X 線の発生が予想以上の進展を遂げており、物性研究に利用されているなど、高く評価する。さらに、SPring-8におけるマイクロビーム軟 X 線発生と物性研究への利用でも大きく進展している。これらの今後の研究開発成果や軟 X 線一般供用に期待が持てる。課題内、課題間、企業との連携も良い。
 - ・十分な準備と研究機関の支援もあったため、順調に研究が進んでいる。目標が明確で体制、実現能力ともに目標に見合っているため、今後の展望も期待できる。
 - ・短波長レーザーの開発が予定通り進んでおり、紫外から軟 X 線領域の分光実験も精力的に進められている。軟 X 線領域の科学の新局面を拓く可能性を感じさせる研究進展である。

極限レーザーと先端放射光技術の融合による 軟X線物性科学の創成

(1) 課題の進捗について

- ・繰り返し 1kHz の高強度超短パルス Ti サファイアレーザーの開発で 10mJ/パルスを達成した。

高次高調波発生の手法で 330eV に到達するコヒーレント軟 X 線の発生、および、炭素系物質の K 吸収端における微細吸収構造の観測を達成した。

- ・100MHz 繰り返し 6eV レーザーや 1MHz 繰り返し高次高調波システム用の Yb ファイバーレーザーシステムの開発が順調に進み、目標以上のパワーを実現している。

- ・分光実験ステーションの整備も進み、時間分解光電子分光測定によって、VO₂ における光誘起金属-絶縁体転移、電子ドープしたトポロジカル絶縁体におけるフォノン温度の決定、価数揺動系物質 Yb 化合物における価数揺動の直接観測、グラフェン中のディラック電子によるキャリアマルチプリケーションの直接観測、銅酸化物および鉄系超伝導体における非平衡励起状態電子の緩和過程の直接観測等の物性研究が精力的に進められている。

- ・最終目標の 600eV の高調波レーザーにはまだ達していないが、330eV のコヒーレント軟 X 線発生に成功した。真空紫外領域の高調波レーザーおよびビームライン実験装置の建設も順調に進んでいる。SPring-8 の軟 X 線ビームライン BL25SU の改造も完了し利用されている。論文発表数は 47 件と多い。プレス発表も多く外部発信も努力している。

- ・レーザー高次高調波によって 330eV に達するコヒーレント軟 X 線の発生と、炭素系物質の K 吸収端における微細吸収構造の観測に成功した。また、82eV までの高調波レーザービームラインを利用に供し、価数揺動系物質、グラフェン、高温超電導体などの物性研究に利用されているなど、予想以上の進展を遂げており、高く評価する。さらに、SPring-8 におけるマイクロビーム軟 X 線発生と物性研究への利用でも大きく進展しており、今後の成果に期待が持てる。

極限レーザーと先端放射光技術の融合による 軟X線物性科学の創成

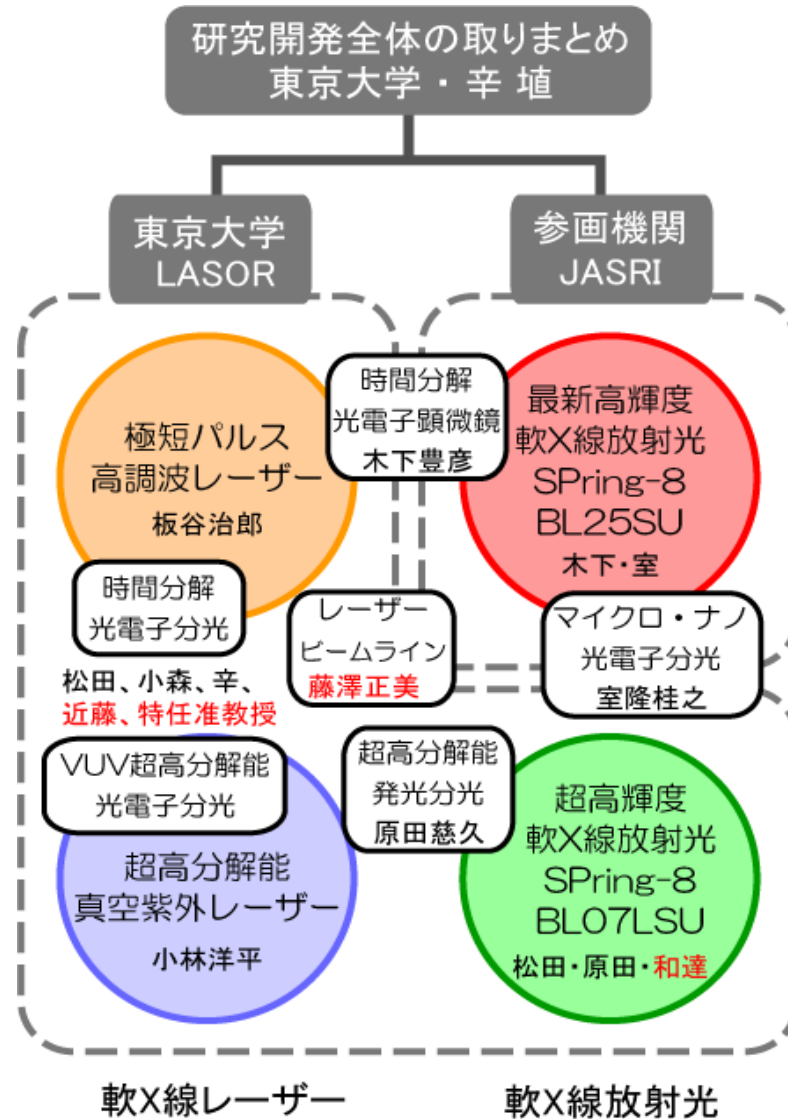
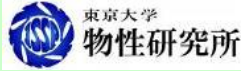
(2) 研究体制について

- ・レーザー開発グループ、分光測定グループ、放射光グループがそれぞれ役割をきっちり果たして成果を挙げている。
- ・コンパクトな研究組織であることもあり、情報共有のための会合等はよく行われている。足立課題「レーザー・放射光融合による光エネルギー変換機構の解明」との共同シンポジウムの開催の他、文科省の他のプログラムや企業との連携研究も行っている。
- ・セミナーや月一度のミーティングなどによって、グループ内の研究連携や情報共有は達成されている。企業への技術協力や技術移転が計画以上に進んでおり、社会への還元が大きい。足立課題との研究連携も本格化しており、相乗効果が期待できる。

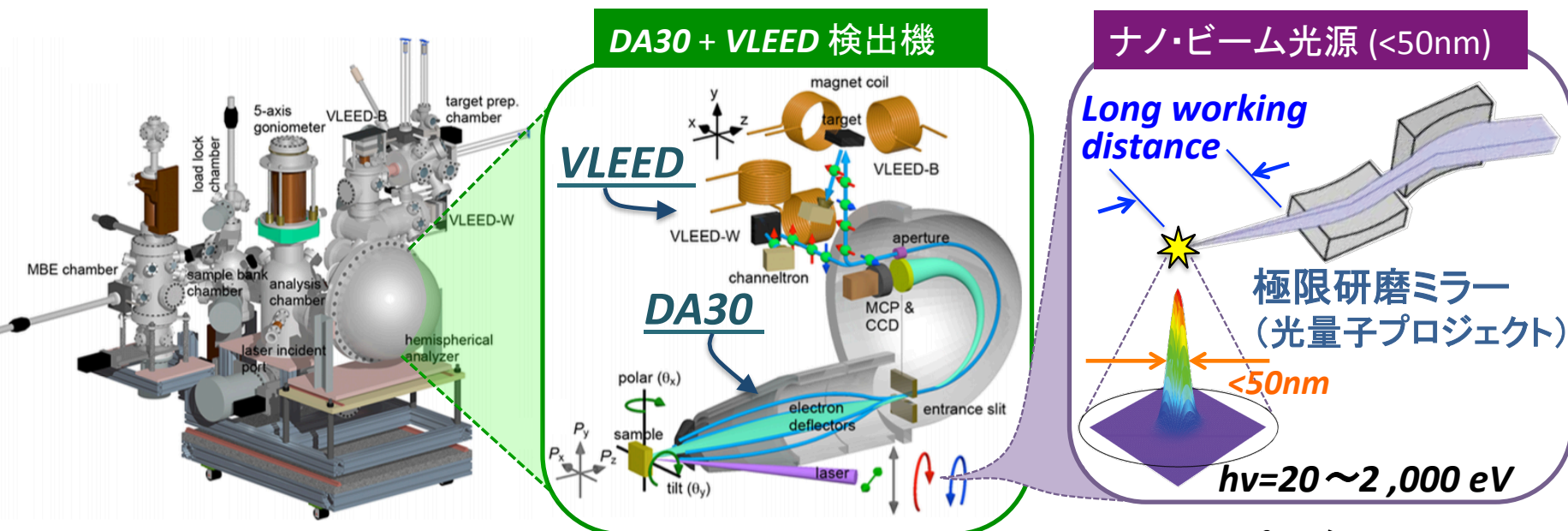
(3) 今後の展望について

- ・高調波レーザーの光子エネルギーの上限に関しては、目標はまだ達成できていないものの、高調波レーザーが軟 X 線源として実用的なものになることを示すという意味では、今後さらに成果が出るのが期待できる状況にある。高調波レーザーの利用はかねてアイデアはあったものの、ビーム強度が弱くて実用にならないとされていたが、本課題における開発によって、SPring-8 の軟 X 線ビームラインとともに、軟 X 線領域の物性科学の進展に貢献することが期待できる。
- ・レーザーと放射光の連携によって更に軟 X 線分光技術を発展させて、その計測プラットフォームを形成し、一般利用に供されると強く期待できる。
- ・真空紫外・軟 X 線領域の分光実験を革新する可能性を秘めた課題であり、今後の進展が大いに期待できる。

極限レーザーと先端放射光技術の融合による 軟X線物性科学の創成



ナノ・スピンARPES



「ナノ・スピンARPES 構想」

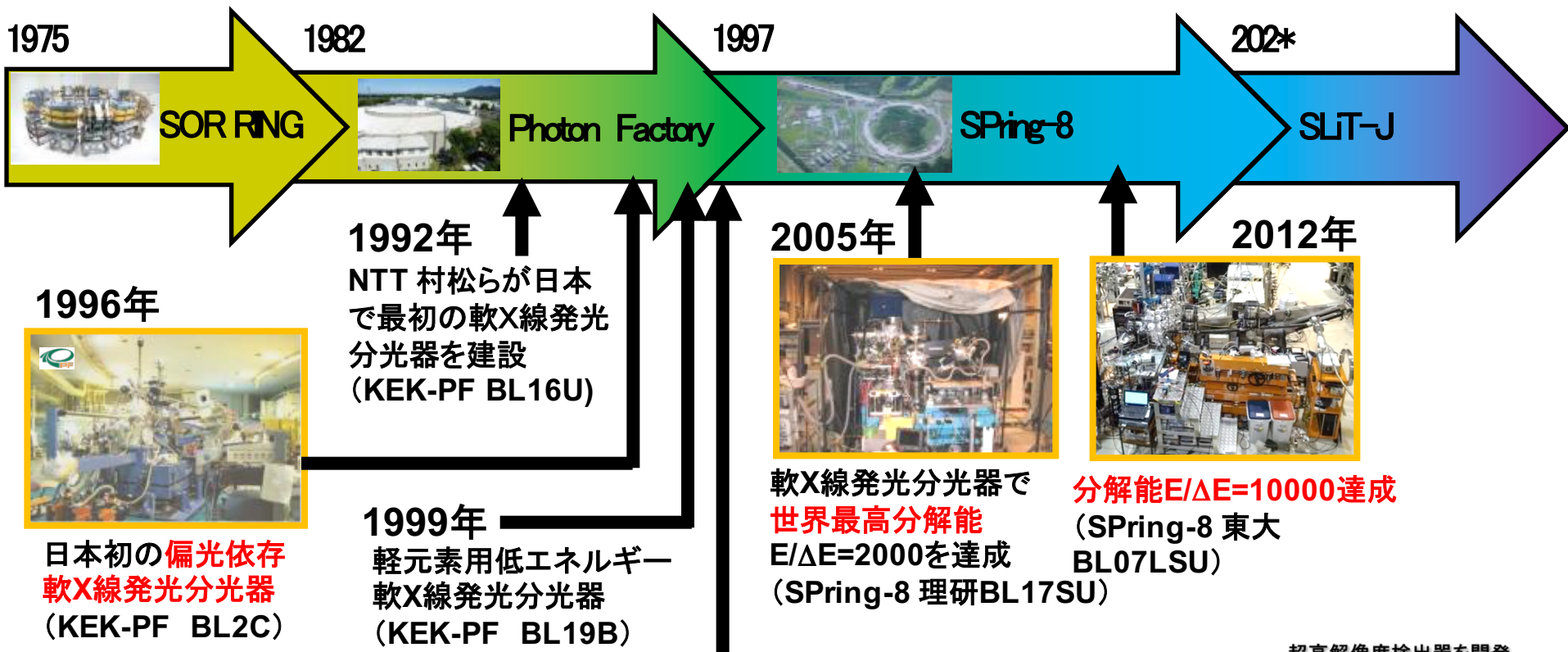
夢物語ではない。

極限技術を持ち、実績を積み上げてきた私達だからこそできる！

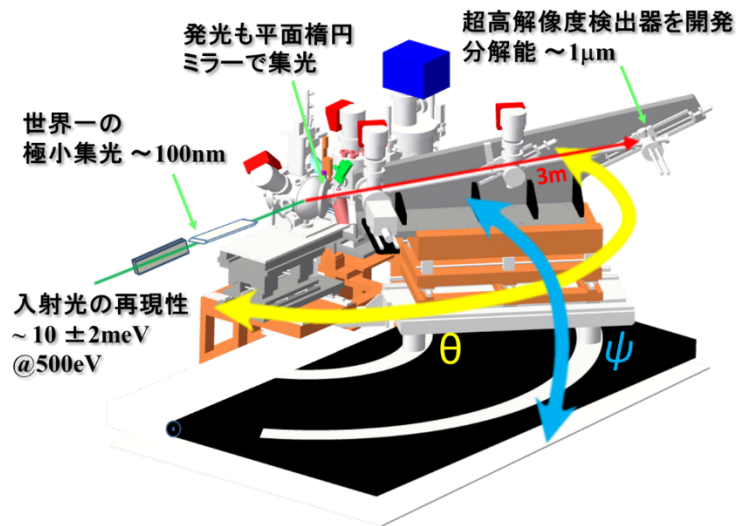
スペック

- ⇒ ナノ・ビーム光源 (極限研磨ミラー)
- ⇒ $20\text{eV} < h\nu < 2,000\text{eV}$ (フェルミオロジーから化学分析まで)
- ⇒ DA30アナライザー (試料固定マッピング)
- ⇒ VLEED 検出器 (高効率スピン観測)

超高分解能2次元角度分解軟X線発光分光ステーション



2001年 世界初の斜入射平面結像型軟X線発光分光器を建設 (SPring-8 BL27SU)



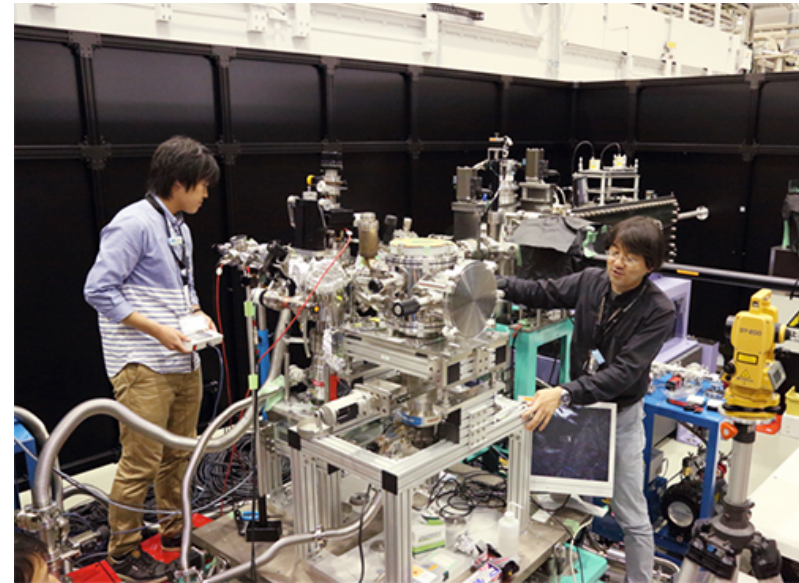
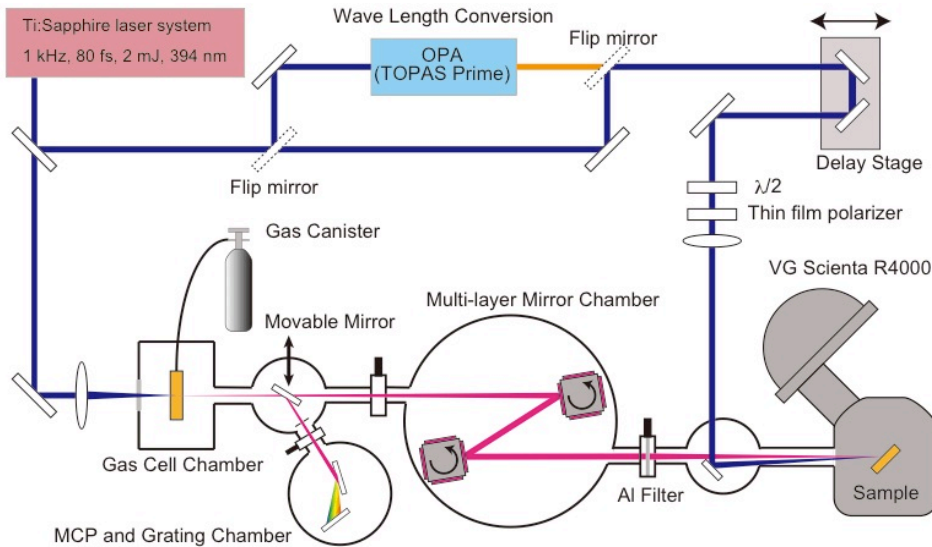
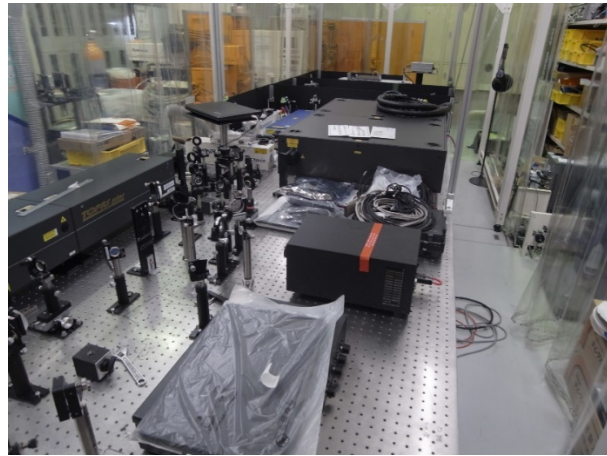
高調波レーザー時間分解ビームラインと 時間分解光電子分光装置

トピックス

2016年7月22日

理化学研究所

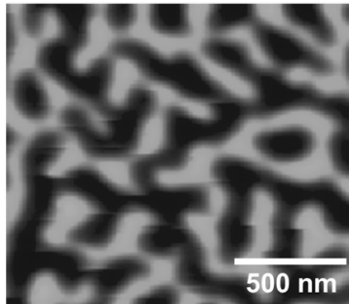
SACLAが「SXFELビームライン」の共用運転を開始
—軟X線FELと硬X線FELを同時に供給する世界初の施設を実現—



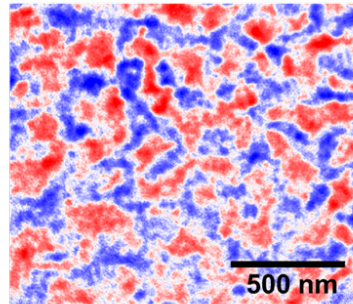
超高分解能レーザーPEEM

(磁区ドメインを数nmの空間分解能で観測)

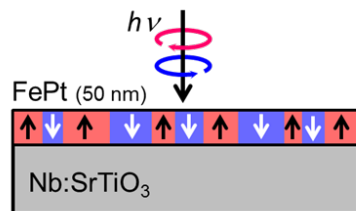
(a) MFM



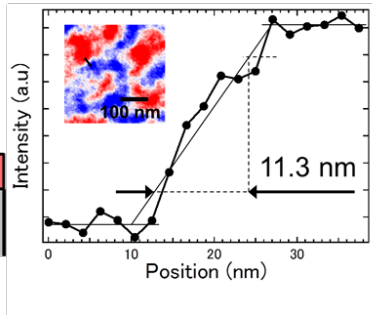
(b) レーザーPEEM



(c)



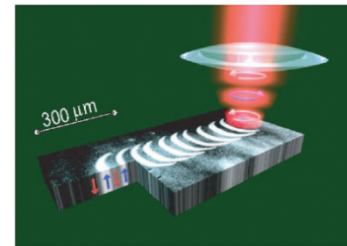
(d)



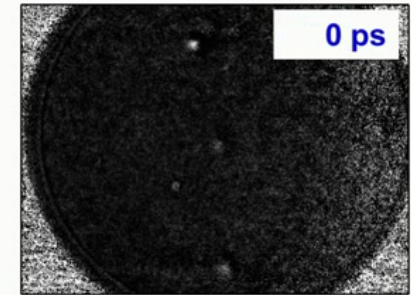
時間分解放射光PEEM

(磁化ダイナミクスを数10 psの時間分解能で観測)

垂直磁化膜GdFeCoの レーザー誘起磁化反転ダイナミクス



$\Delta t: 0 \sim 15$ ns



磁場を用いない超高速磁化反転を実空間で観測。
Phonon-Magnonによる巨大スピン波

NiFe磁気円盤の磁気コアの共鳴運動

