

軟X線深さ分解XAFS/XMCD法によるスピントロニクス材料研究の夜明け

Daybreak of spintronics material research by means of soft X-ray depth-resolved XAFS/XMCD technique

実験責任者 雨宮 健太 (KEK物構研)



実験手法 電子 or 蛍光X線の角度で検出深度を制御

実験参加者

手法開発, 装置の整備:
雨宮健太 (物構研), 阪田薫穂 (物構研), 鈴木真粧子 (群馬大, 物構研客員)

材料研究 (測定, 解析含む):
桜庭裕弥, 藤田裕一, 磯上慎二, 首藤浩文 (NIMS), 永沼博 (東北大), 三輪真嗣, 坂本祥哉, 志賀雅亘 (東大), 薬師寺啓 (産総研), 柳原英人, 小野田浩成 (筑波大), 櫻井浩, 伊藤遥, 石井翔也 (群馬大)

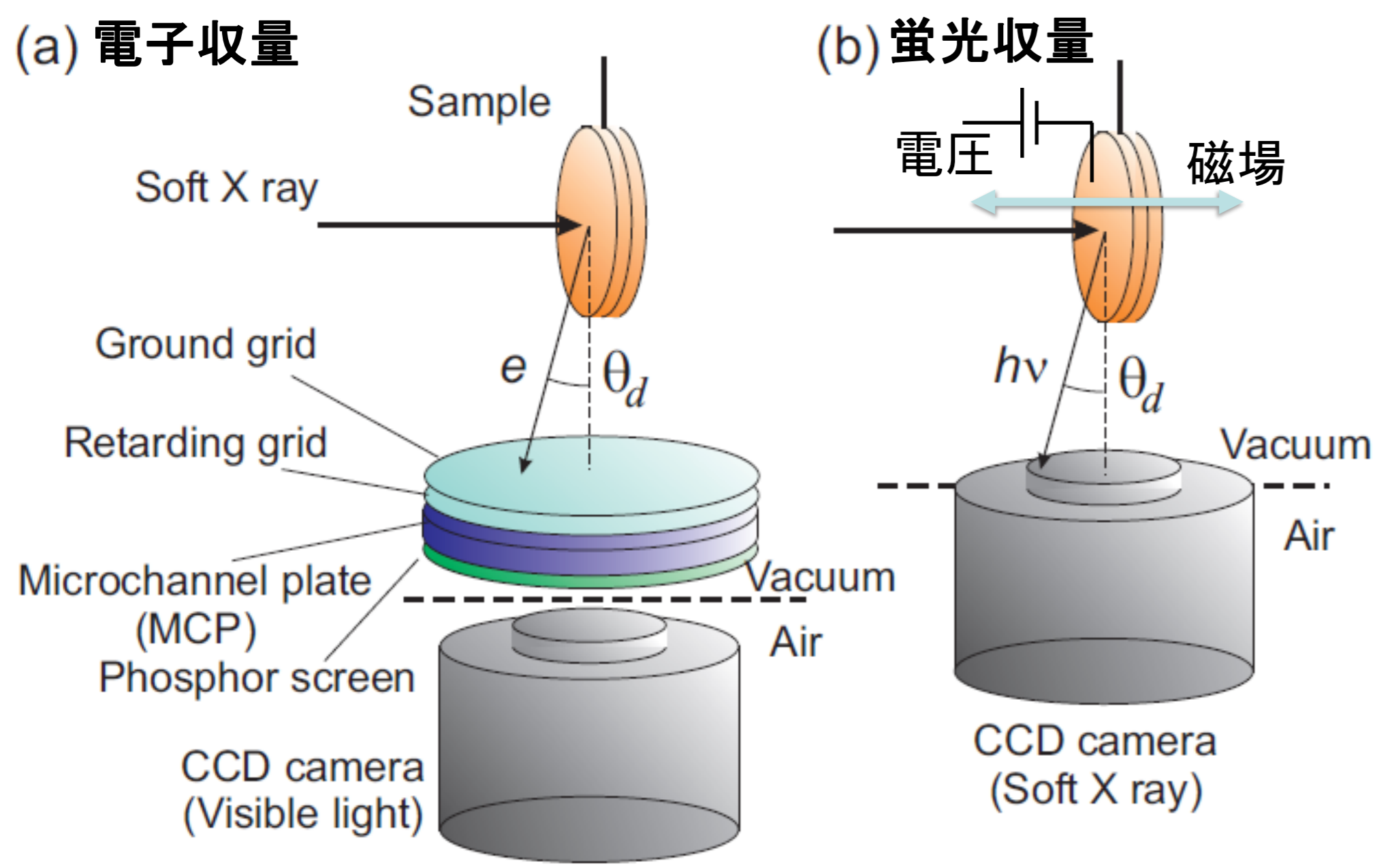
実施ビームタイム(2021年度)

第1期: 9.33日 @16A, 15.0日 @7A, 第2期: 9.0日 @16A, 13.5日 @7A, 第3期: 6.0日 @16A, 7.0日 @7A

成果の公開

原著論文: 公開済み6報, 投稿中2報, 準備中1報, Proceedings: 1報

- [1] M. Suzuki-Sakamaki et al., Proc. International Conference on Technology and Social Science (2021).
- [2] K. Sakata et al., Nano Lett. 21 (2021) 7152. <https://doi.org/10.1002/admi.202101034>
- [3] Y. Fujita et al., Phys. Rev. B 104 (2021) L140403. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.104.L140403>
- [4] M. Shiga et al., Phys. Rev. B 104 (2021) L140406. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.104.L140406>
- [5] S. Sakamoto et al., Phys. Rev. B 104 (2021) 134431. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.104.134431>
- [6] H. Onoda et al., Adv. Mater. Interfaces 8 (2021) 2101034. <https://doi.org/10.1002/admi.202101034>
- [7] H. Naganuma et al., ACS Nano (2022). <https://doi.org/10.1021/acsnano.1c09843>



深さ分解能: 0.2 - 1 nm
測定可能深さ: ~5 nm
外場中測定: 不可
測定時間: 比較的短い

深さ分解能: 0.2 - 10 nm
測定可能深さ: ~50 nm
外場中測定: 可

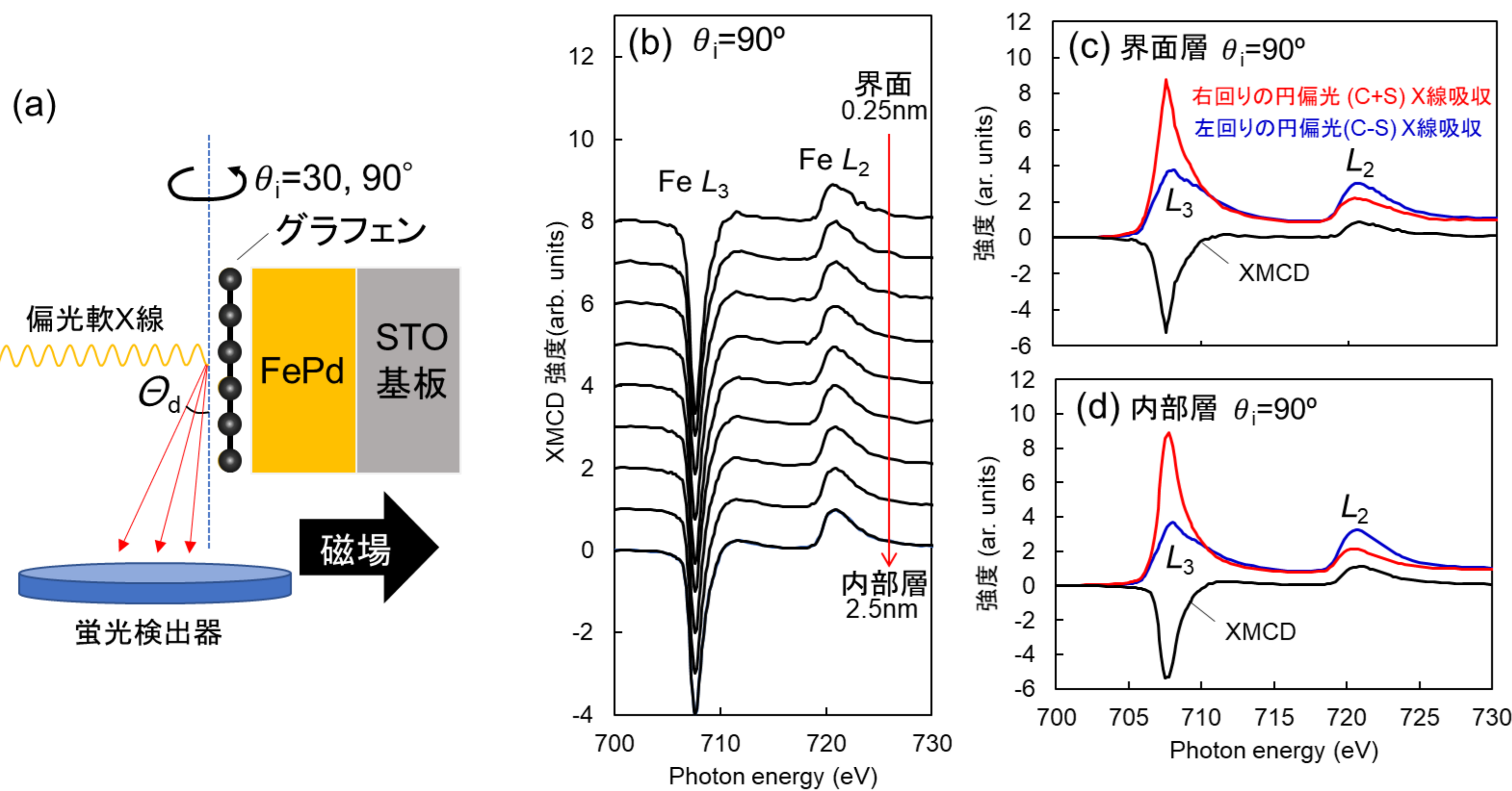
成果例 1: グラフェン/FePd合金界面における垂直磁気異方性

プレスリリース: ファンデルワールス力による“つよく”・“しなやか”な新しい結合
—強磁性トンネル接合素子の構成材料としてグラフェン二次元物質/規則合金の異種結晶界面に期待—

<https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/03/pr20220302.pdf>

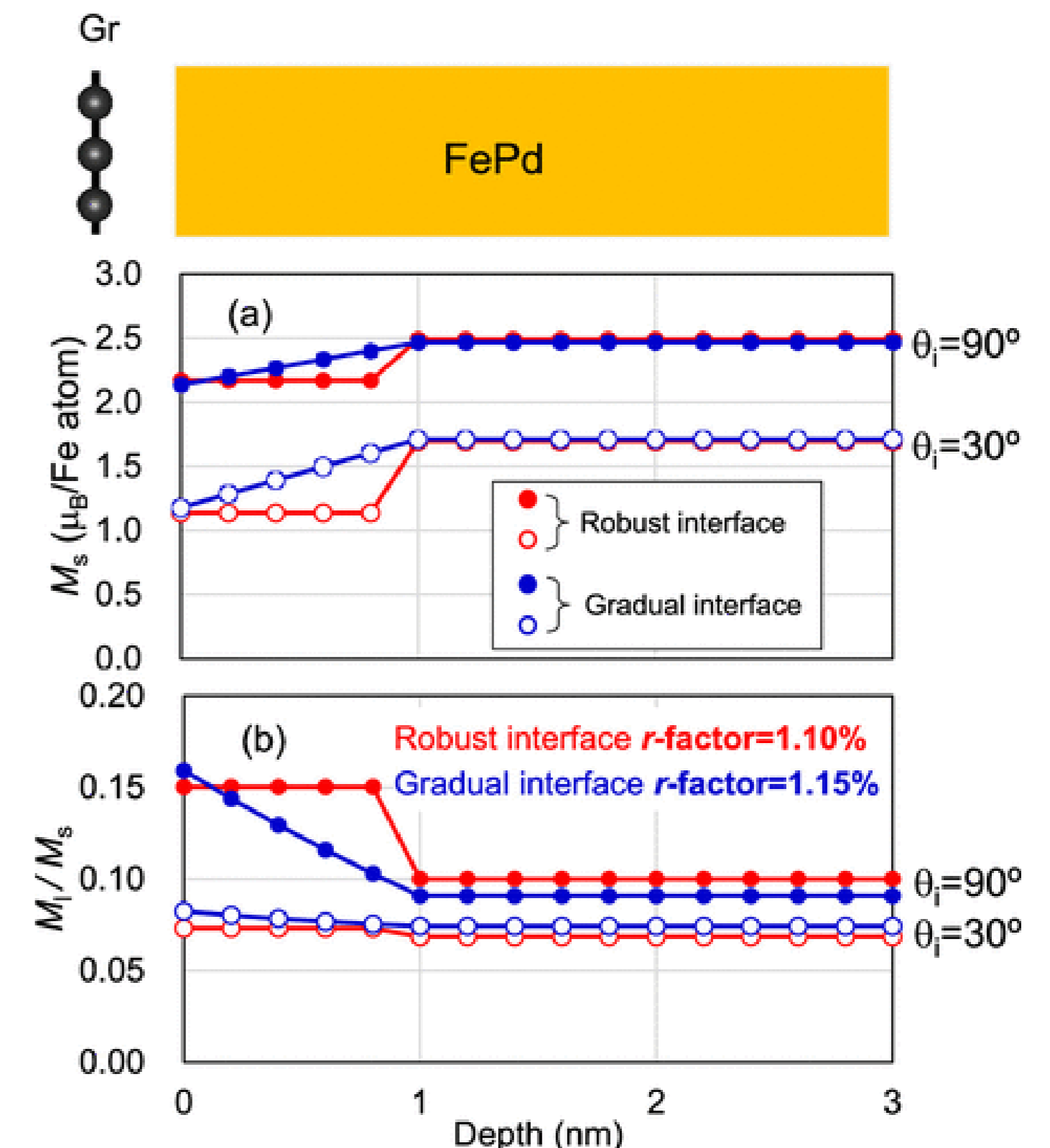
- ファンデルワールス力により, 異種結晶界面が“つよく”・“しなやか”に結合することを発見
- グラフェンとL1₀-FePd規則合金の界面に垂直磁気異方性が誘起されることを発見
- 六方晶グラフェンと正方晶L1₀-FePd規則合金の異種結晶界面の原子位置を理論と実験の両方により正確に決定
- X nm世代のMRAMに向けたグラフェン/L1₀-FePd規則合金記録層に期待

“Unveiling chemisorbed crystallographically heterogeneous graphene/L1₀-FePd interface with robust and anisotropic orbital-moment”, H. Naganuma, M. Nishijima, H. Adachi, M. Uemoto, H. Shinya, S. Yasui, H. Morioka, A. Hirata, F. Godel, M.-B. Martin, B. Dlubak, P. Seneor, and K. Amemiya, ACS Nano (2022). <https://doi.org/10.1021/acsnano.1c09843>



(a) 深さ分解 XMCD の測定セットアップの模式図, (b) 検出深度を 0.25 nm から 2.5 nm まで変えた XMCD スペクトル, (c) 界面および (d) 内部層の左右円偏光XASとXMCDスペクトル

直入射($\theta_i = 90$)および斜入射($\theta_i = 30$)のデータから求めた(a)スピン磁気モーメントおよび(b)軌道とスピン磁気モーメントの比の深さ分布。界面で強い垂直磁気異方性が見られる。



成果例 2: Au/Co/Au界面における磁気モーメントの異方性の決定

※論文未発表のため図は割愛

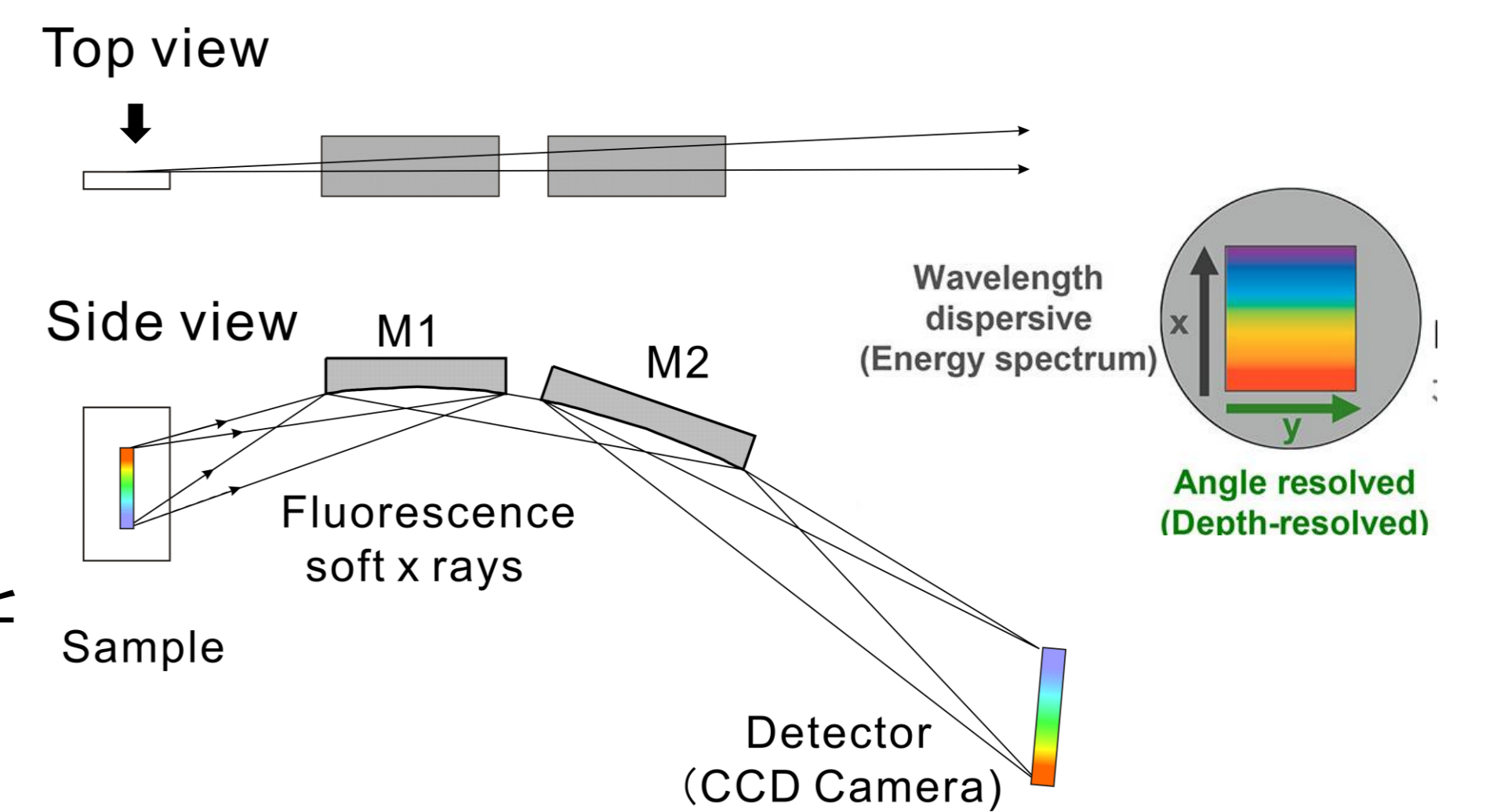
“Determination of Anisotropy in Magnetic Moments at the Interface of Au/Co/Au Thin Film without Thickness-Dependent Experiment”, K. Amemiya and K. Sakata, submitted.

- 12 kOeの磁場中での深さ分解XMCD測定により, 界面におけるスピン磁気モーメント, 軌道磁気モーメント, 磁気ダイポールモーメントの異方性を, 厚さを変えた実験を行うことなく決定
- Auとの界面においてCoの軌道磁気モーメントが垂直方向に大きいものに対し, 内部層では逆の傾向にあることを明らかに

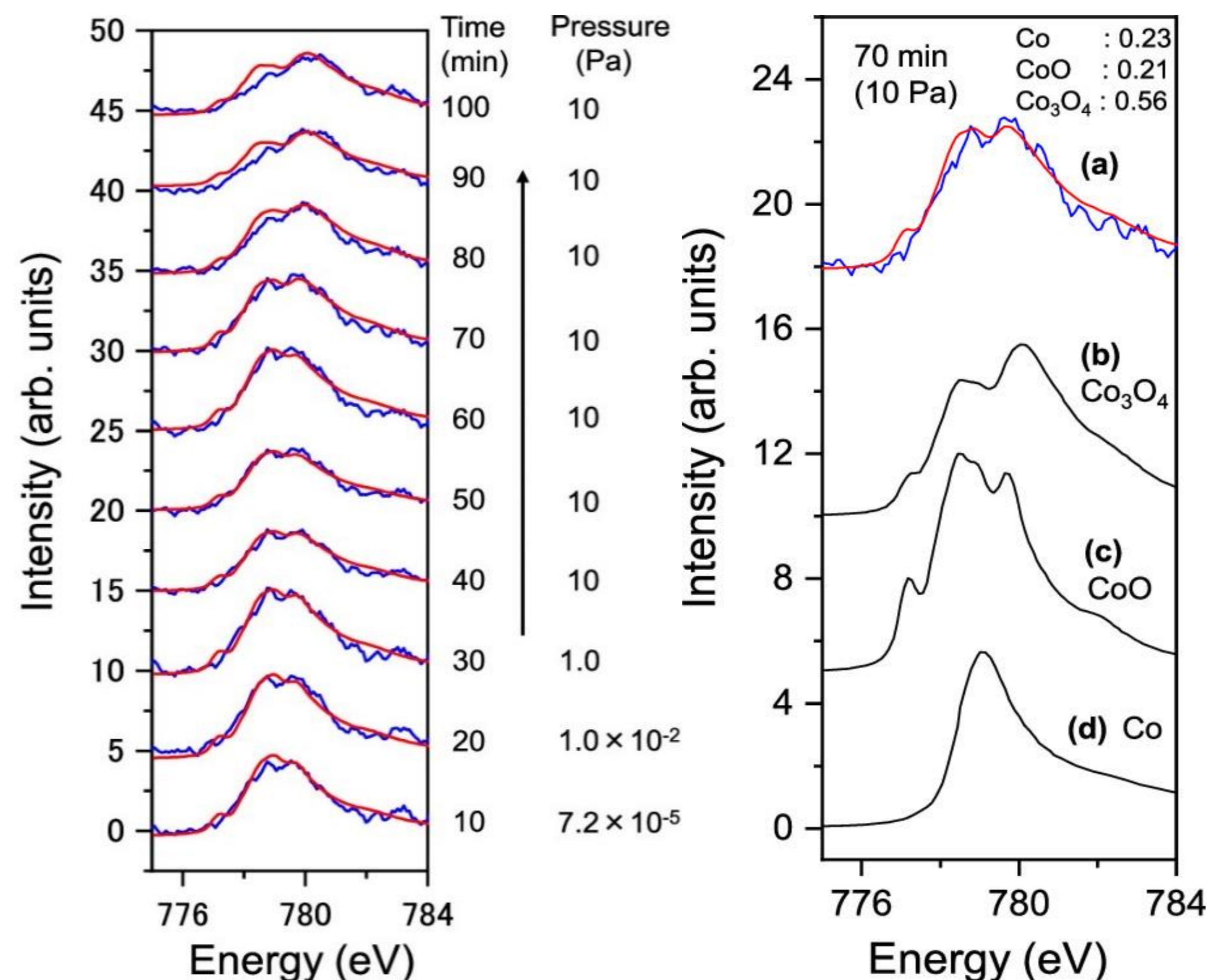
成果例 3: Co表面の酸化過程のリアルタイム深さ分解追跡

“Real-Time Observation of Surface Chemical Reactions Proceeding in the Depth Direction by Wavelength-Dispersive Soft X-ray Absorption Spectroscopy”, K. Sakata, M. Suzuki-Sakamaki, and K. Amemiya, Nano Lett. 21 (2021) 7152. <https://doi.org/10.1002/admi.202101034>

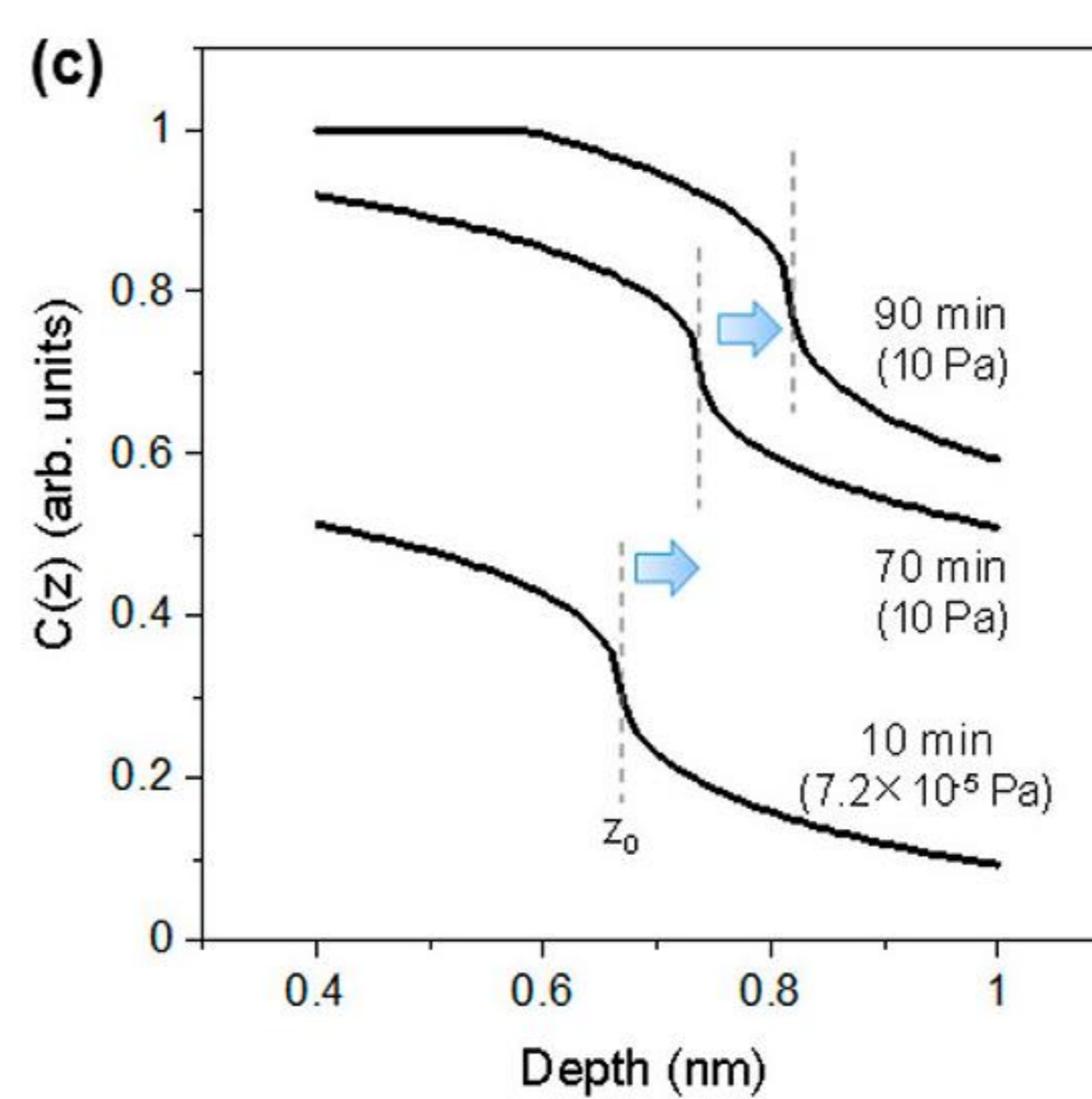
- 時間分解測定と深さ分解測定を同時に実現
- 最大10 Paの大気導入によるCo酸化過程を追跡し, 深さ方向に酸化が進行する様子をリアルタイム観察
- 1 Pa程度までと10 Paで酸化の進み方が大きく変化することを明らかに



蛍光収量法による波長分散型XASと深さ分解XASの同時測定の模式図



大気導入下でのCo L吸収端XASの時間変化とフィッティングの例



Co₃O₄成分の深さ方向分布の時間変化

