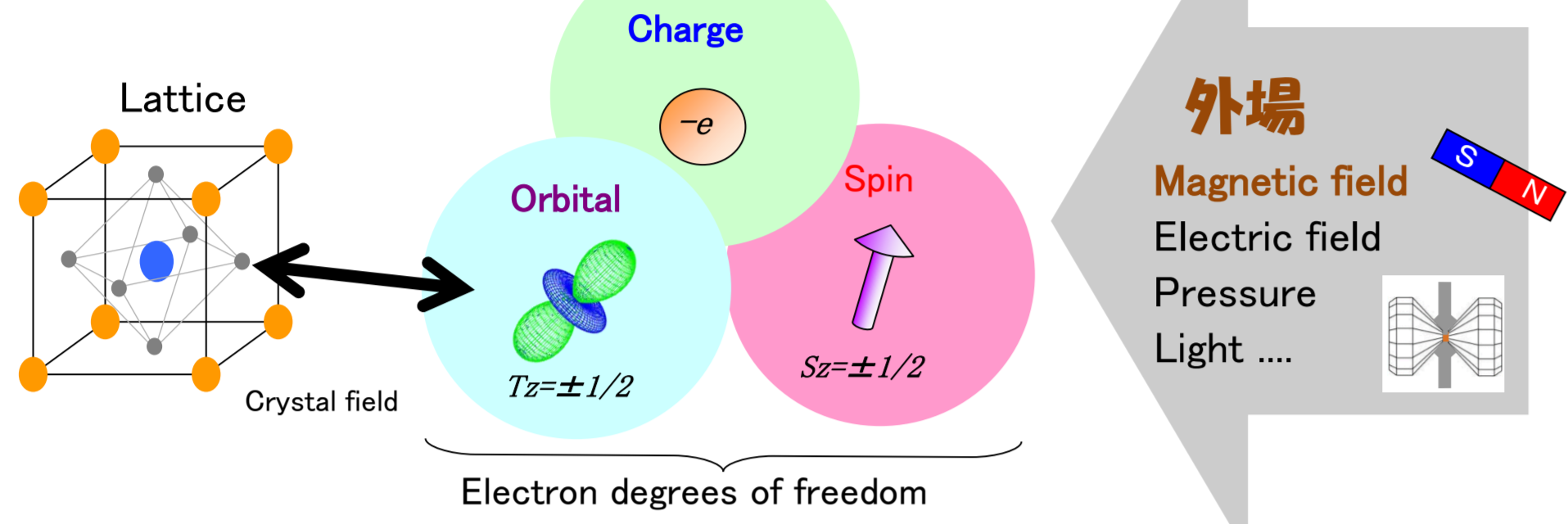


研究代表者: 物質構造科学研究所、放射光科学研究施設/構造物性研究センター 中尾裕則
実験グループ: 構造物性研究センターG (KEK)、山田/澤G・堀内G (産総研)、岩佐G (東北大)、宮坂G、花咲G (阪大)、有馬G、十倉G、上田G (東大)、寺崎G (名大) 勝藤G (早大)、野上G (岡山大)、田口G (理研)、網塚G (北大)
実験課題有効期間: 2009年10月 ~ 2012年9月
実験ステーション: BL-3A, 4C, 8A, 8B, 11B, 16A (各期 1-4週間ずつ程度利用)

研究目的

強相関電子系で注目されている高温超伝導、巨大磁気抵抗効果といった顕著な物性は、電子の局在状態と遷歴状態の狭間で発現する。したがって、強相関電子系で重要となっている電子の持つ自由度である電荷・軌道・スピンの結晶格子上での多様な振る舞いだけでなく、局在性と遷歴性の競合した電子状態の研究が、新奇物性発現メカニズムの解明の上で極めて重要といえる。そこで本S課題では、硬X線領域での共鳴X線散乱(RXS)を用いた電荷・軌道・格子の秩序状態の研究に加え、軟X線領域でのRXS実験により、軌道混成に寄与している遷歴的電子と局在的な電子の状態を区別して観測すること、さらにその外場依存性を調べることで、『軌道混成』をパラメータとした物性発現機構の解明を目指している。

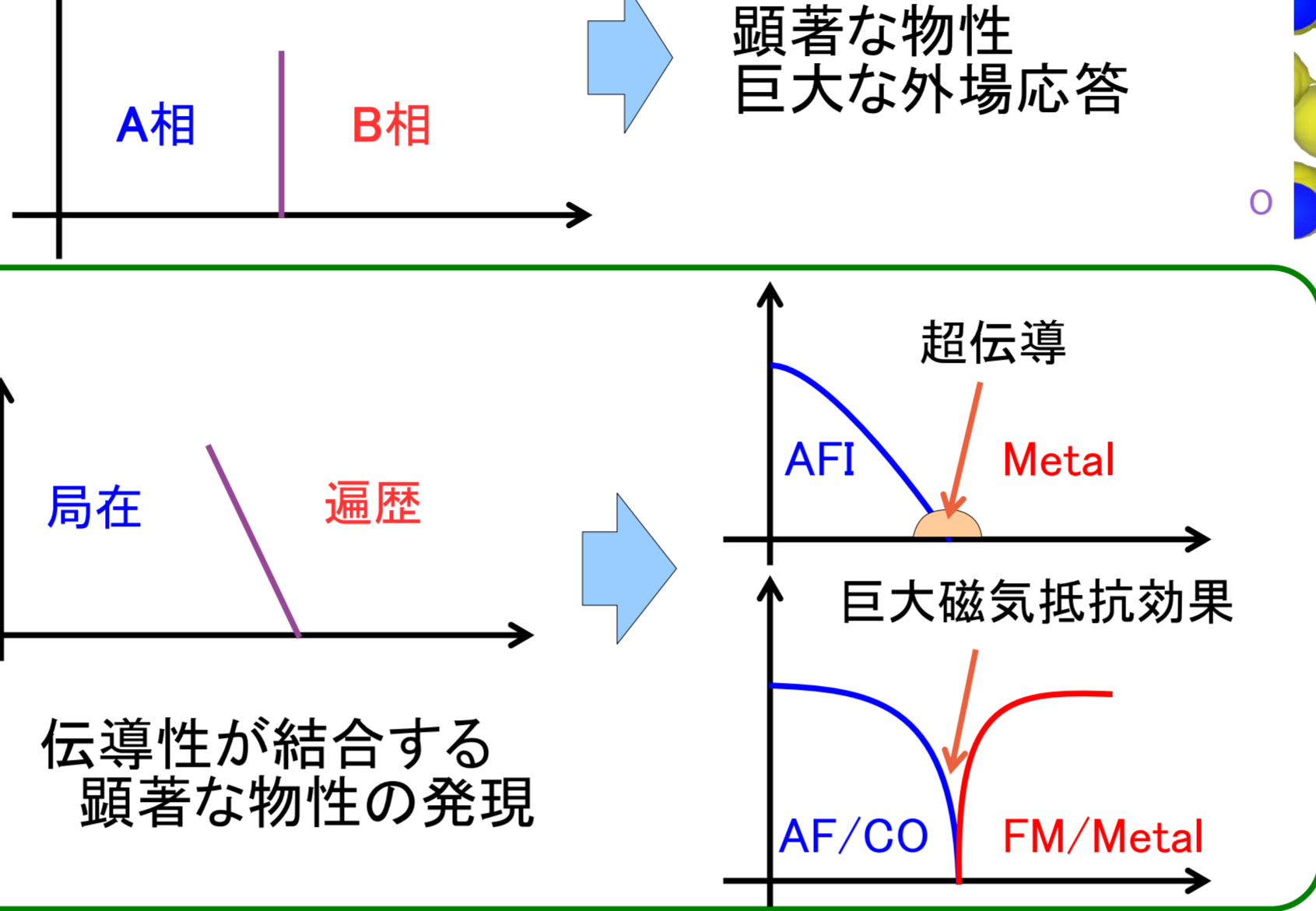
強相関電子系



Various remarkable physical properties

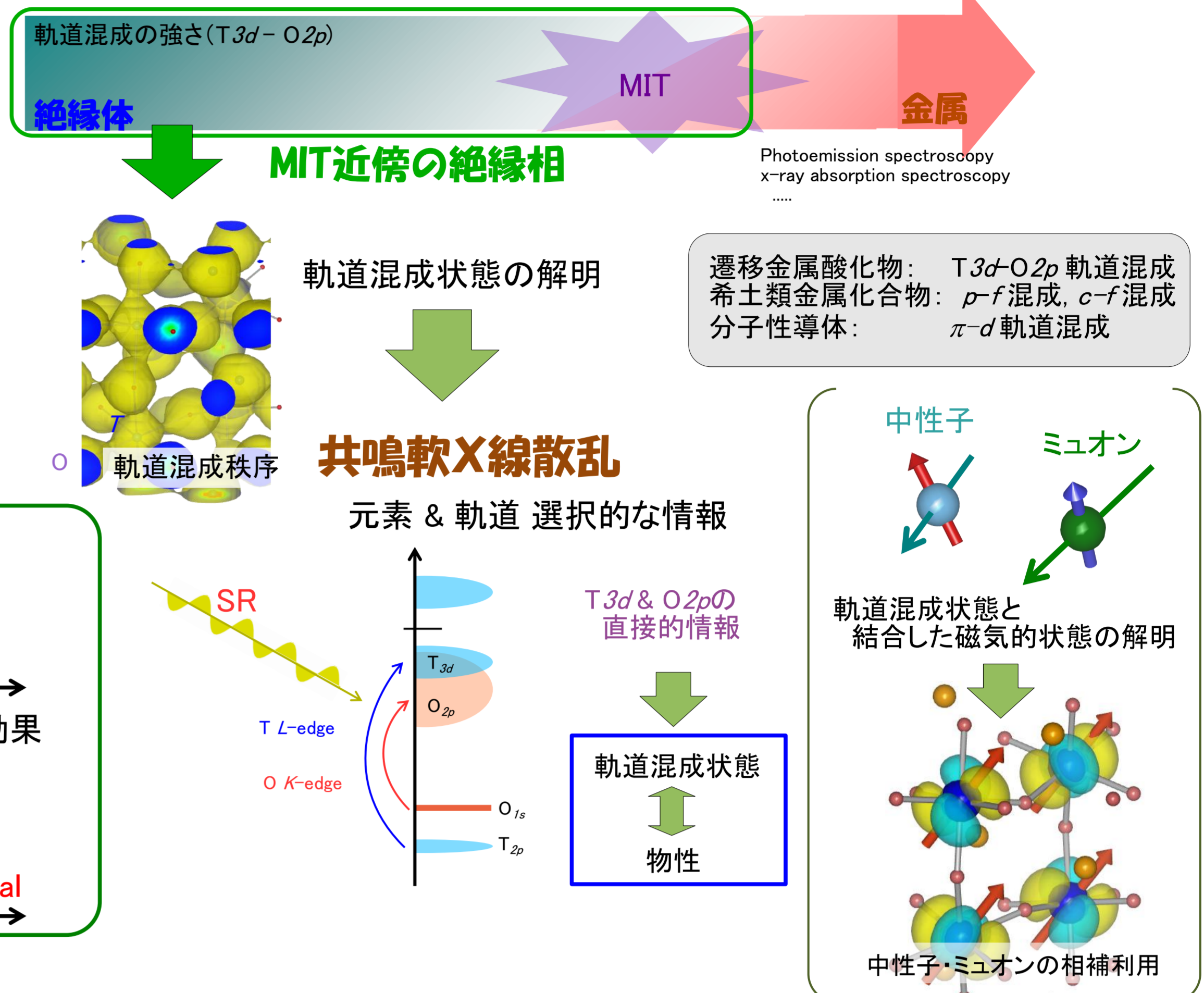
- High T_c superconductivity.
- Colossal magnetoresistance effect.
- Gigantic magnetoelectric effect.

競合する2相



局在性の強い電子(遷移金属3d,4d,希土類金属4f,5f)と
 遷歴性の強い電子(酸素2pなど)の軌道混成状態が物性を支配

軌道混成秩序



軌道混成状態の観測から、物性発現の微視的な機構の解明へ

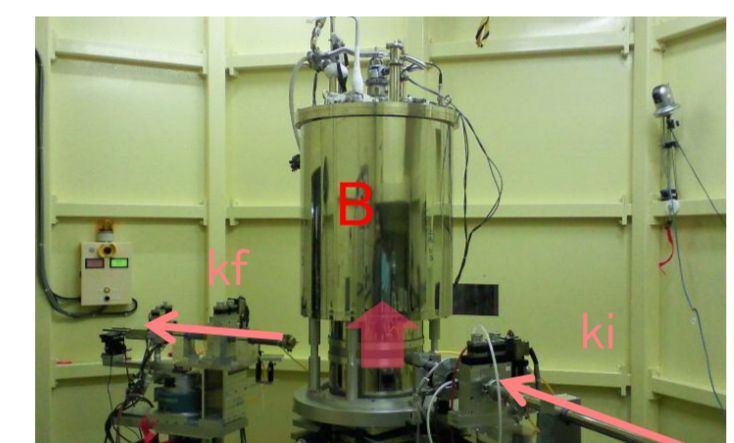
実験装置整備

軟X線領域での快速かつ精度の高い回折実験を目指して

超伝導磁石搭載型軟X線2軸回折計



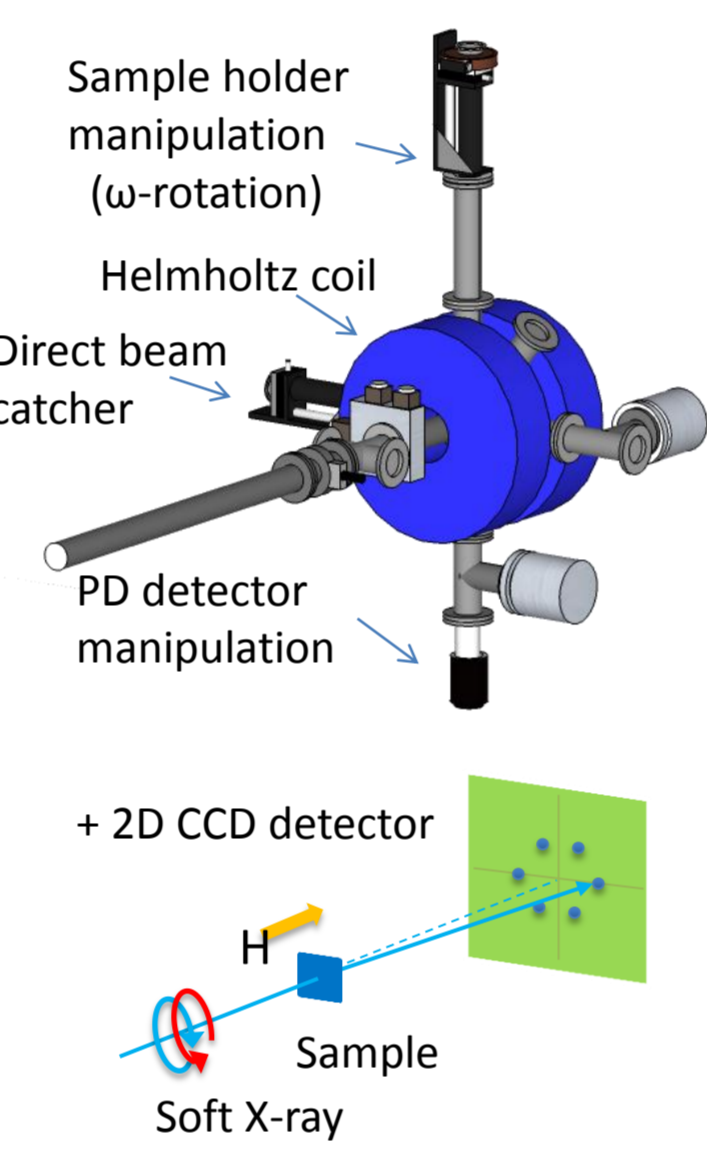
軟X線領域での実験:
 外場としての磁場の重要性



磁場中散乱実験 at BL-3A
 温度: 10-300 K, 磁場: ±7.5 T
 今年度末に超伝導磁石が納入

BL-3Aでの硬X線領域での実験との相補性

軟X線小角散乱装置



測定対象: 10-100nm程度
 温度: 10-300 K, 磁場: ±0.4 T

強誘電体のドメイン構造と電子状態の関係の解明、マルチフェロ系の誘電・磁気特性とスカーミオン格子

汎用軟X線2軸回折計

硬X線領域での構造物性研究では、物性に対応した結晶構造の対称性の変化を捉えるために、広い逆格子空間を一挙に測定するBL-8A,8Bのような装置と、極めて微弱な信号をS/N良く測定するためのBL-4C, 3Aのような4軸回折計を相補的に利用するのが一般的。
 しかしながら、現在開発中の軟X線領域での回折装置は、後者に対応する装置であるものの、簡便に広い逆空間を取り逃しなく測定できるものがなく、実験の1つのネックとなってきた。
 そこで、2次元検出器CCDカメラが搭載できるだけでなく、簡便に回折実験が行える、汎用回折計を現在新たに建設中である。

軟X線回折実験用 X線検出器

共鳴散乱実験では、物性変化に伴う僅かな電子状態の変化を捉えることが必要であり、硬X線領域では基本反射の8ヶ落ちまでの信号を捉えられるようになっている。しかしながら、以下のように軟X線領域ではX線検出の効率が悪いことが判明。実験の妨げとなっている。

既存の軟X線検出器
 1. フォトダイオード: 10°程度の光子が必要(硬X線)
 電流検出: エネルギー分解能なし

2. MCP, チャンネルトロン: だいたい光子100個に1個の検出効率

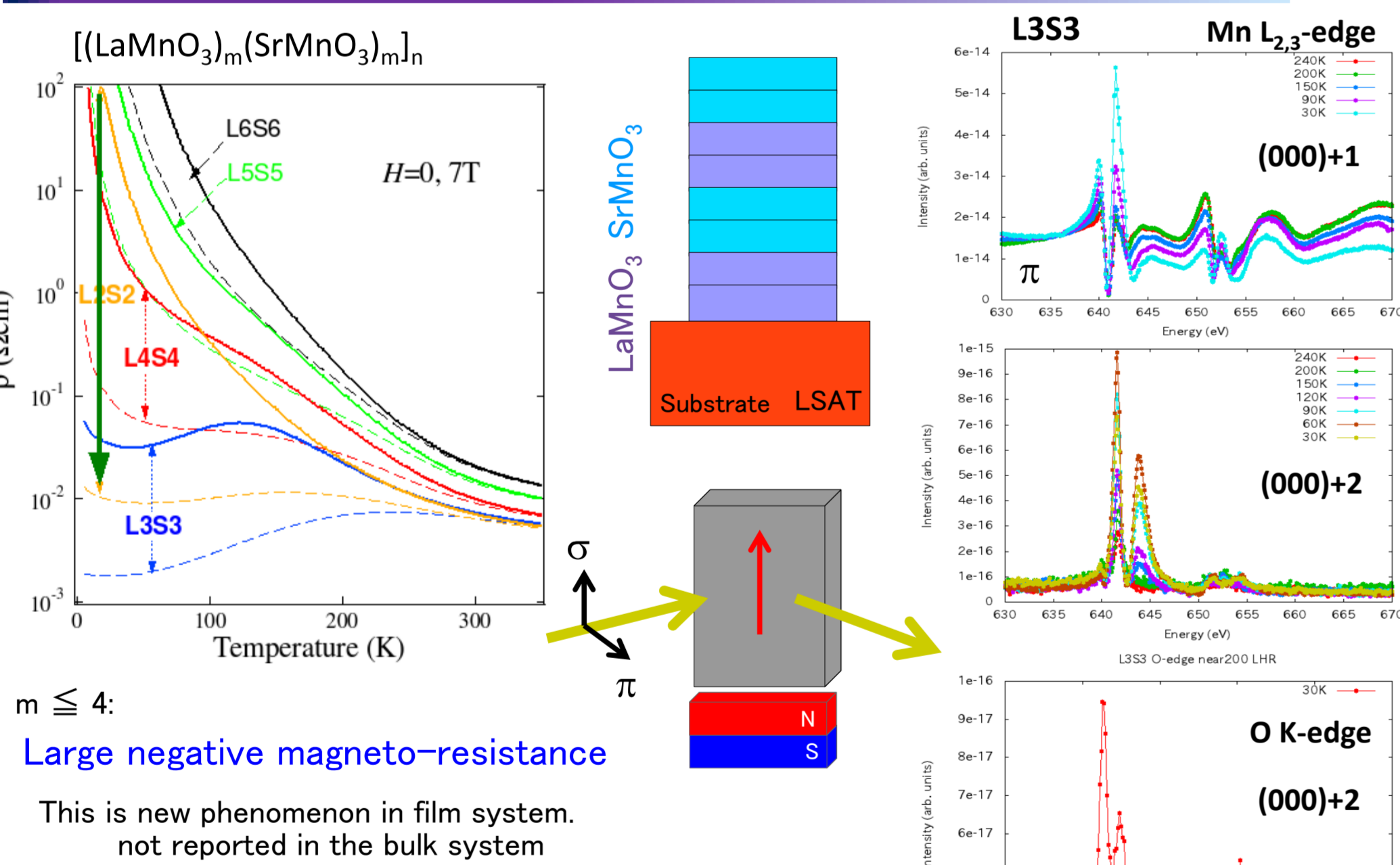
電子 X線の侵入長 > 電子の脱出長
 原理的に1光子検出不可能

SDDを用いた共鳴軟X線散乱用 1光子検出可能な検出器の開発
2次元X線検出器: 軟X線用CCDカメラの開発 が急務

研究結果

巨大磁気抵抗とMn3d-O2p軌道混成の関係の解明を目指して

須田山(KEK)、山田(産総研): BL-16A



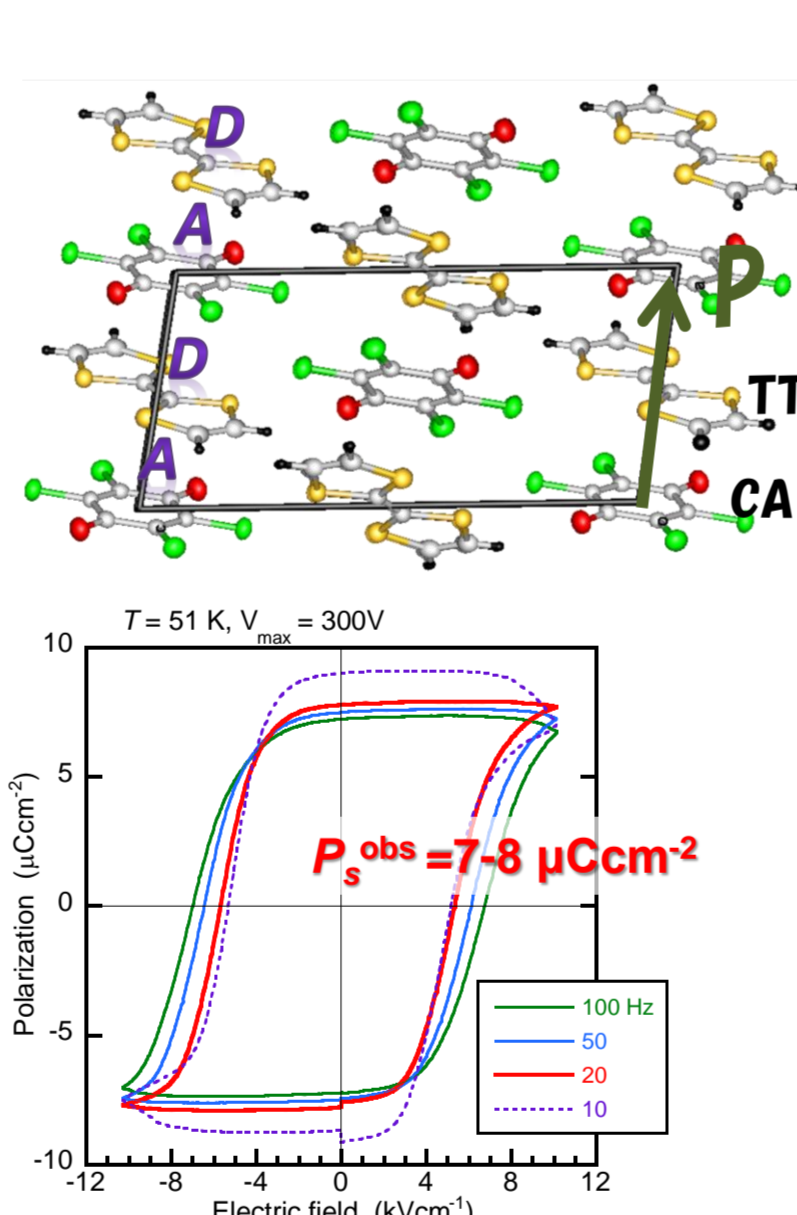
Large negative magnetoresistance
 This is new phenomenon in film system, not reported in the bulk system

(000)+2のO2pの共鳴信号とLaMnO3-SrMnO3界面状態
 さらには、MR効果の機構の微視的な解明を目指して

有機強誘電体の分極Pの起源の電子状態としての解明

中尾(KEK)、堀内(産総研): BL-11B,16A

TTF-CA

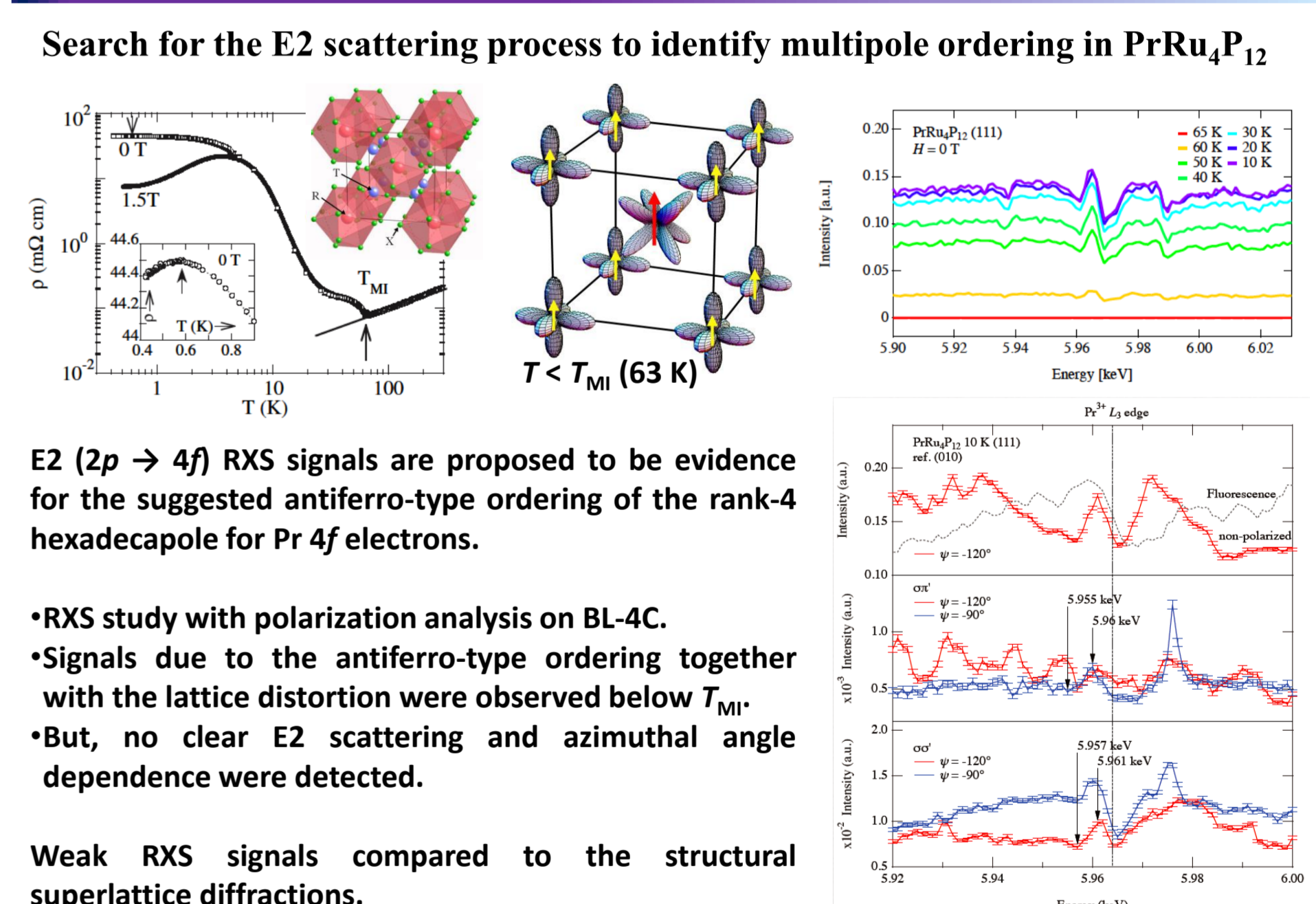


単純な分子変位では説明できない
 極めて大きい自発分極

XASにより、S K-edgeでのTTF分子のLUMOレベルの観測に成功
 NI転移、さらには強誘電性発現の起源を明らかにする。

Metal-nonmetal transition and antiferro-type multipole ordering in PrRu4P12

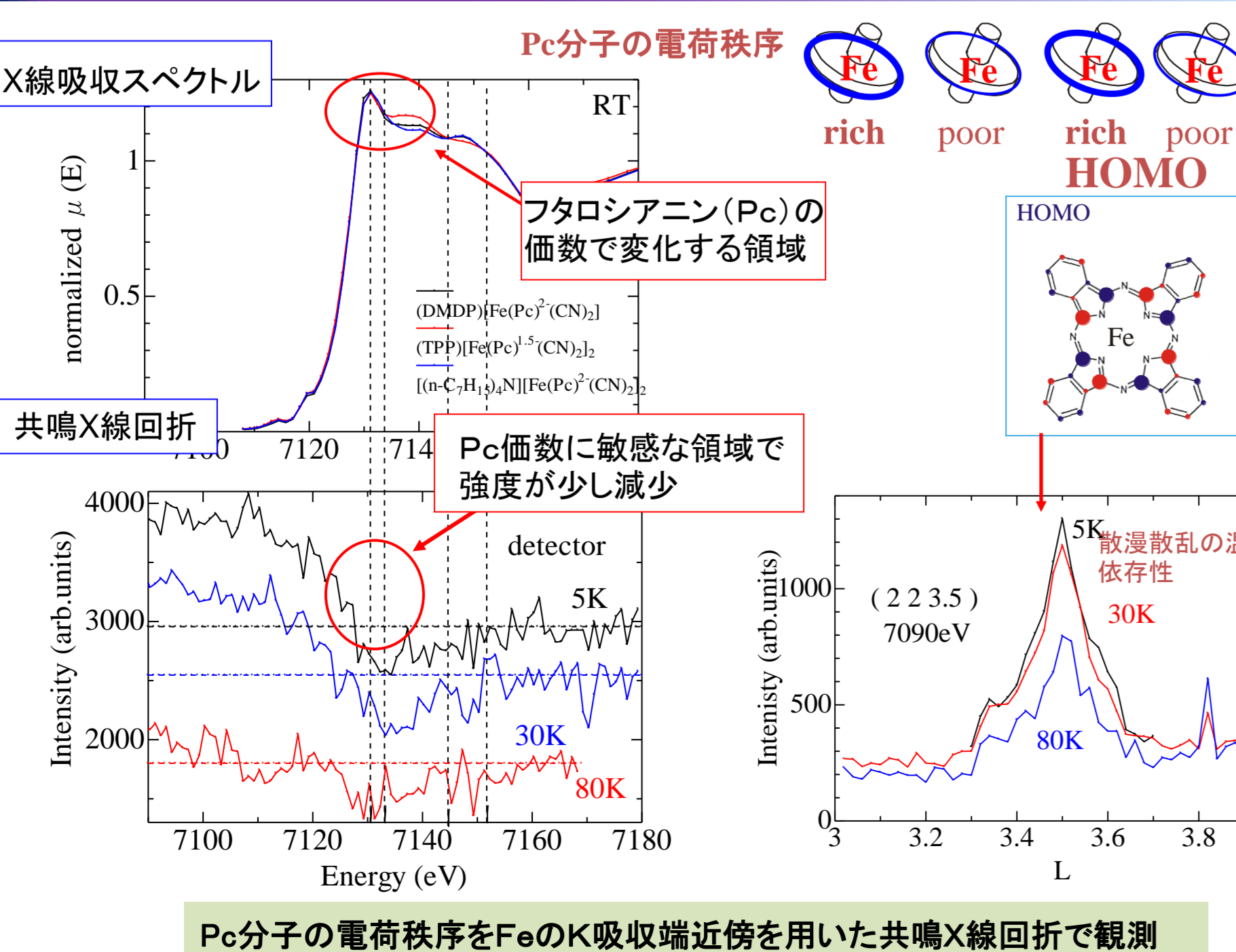
岩佐(東北大): BL-3A, 4C, 11B



Pr 4f multipole orderとp-f混成効果の解明を目指して (Pr 4f, P 3p)
 P K-edge (2.15 keV)での共鳴X線散乱実験へ

巨大磁気抵抗を示すフタロシアニン分子系伝導体の共鳴X線散乱

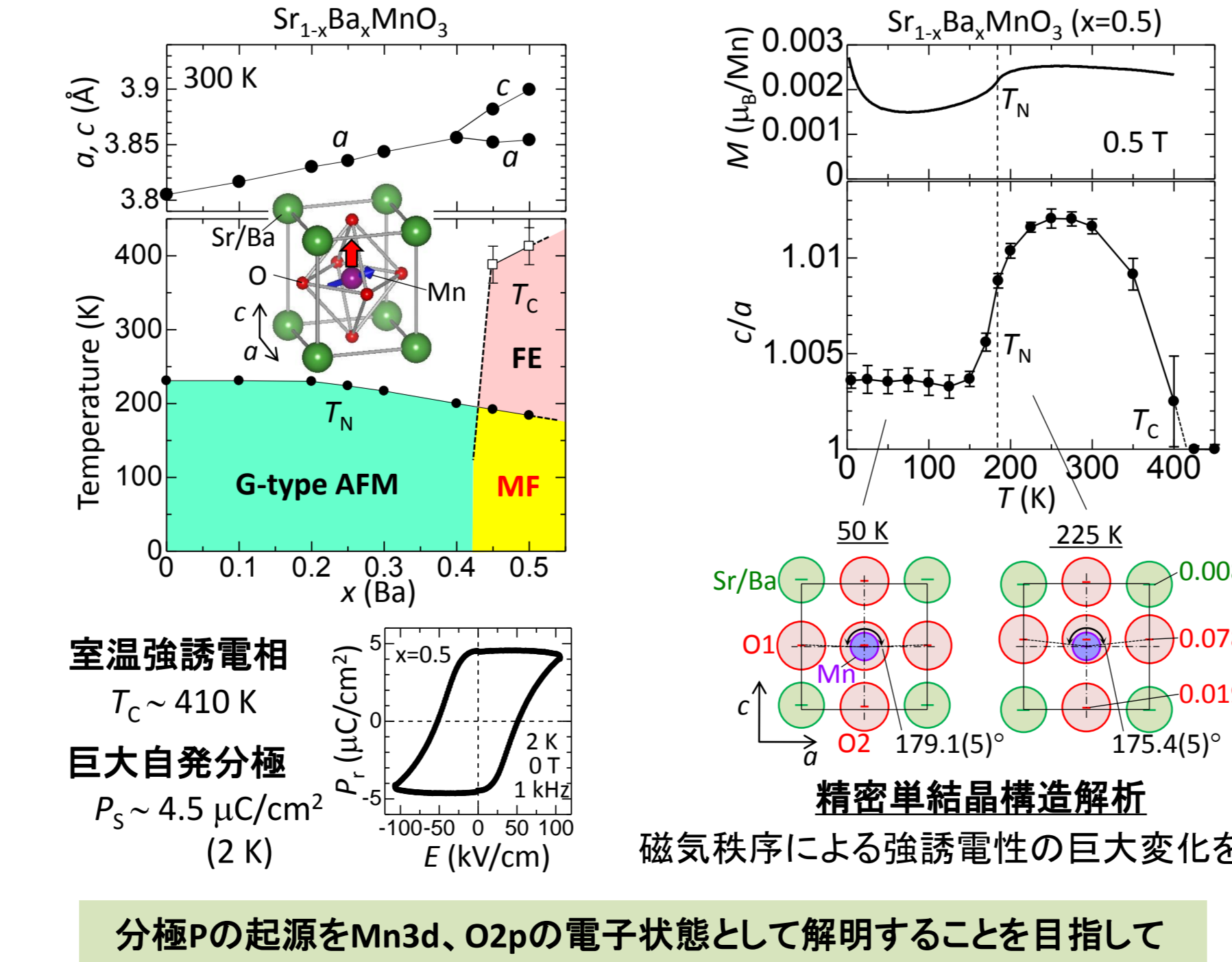
花咲(阪大)、野上(岡山大): BL-3A, 4C



Pc分子の電荷秩序をFeのK吸収端近傍を用いた共鳴X線回折で観測

磁性イオン変位型強誘電体の発見と巨大磁気-格子結合の解明

H. Sakai et al., Phys. Rev. Lett. 107, 137601 (2011): BL-8A



分極Pの起源をMn3d, O2pの電子状態として解明することを目指して

論文・学会発表等

・物理学会、応用物理学会、放射光学会、結晶学会、物構研シンポジウム等
 ・構造物性研究センター研究会
 ・本研究プロジェクト「強相関電子系における軌道混成秩序とその外場応答」の現状と今後の展開を議論した。

主な発表論文:

- H. Nakao et al., J. Phys. Soc. Jpn. 80 (2011) 023711.
- H. Sakai et al., Phys. Rev. Lett. 107 (2011) 137606.
- R. Fukuta et al., Phys. Rev. B 84 (2011) 140409.
- Y. Tokunaga et al., Phys. Rev. B 84 (2011) 060406.
- W. Kobayashi et al., Phys. Rev. B 84 (2011) 085118.
- J. Okamoto et al., J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 184 (2011) 224.
- T. Toriyama et al. Phys. Rev. Lett. 107 (2011) 266402.
- H. Nakao et al., J. Phys. Soc. Jpn. 81 (2012) 024715.
- H. Wadachi et al., Phys. Rev. Lett. 108 (2012) 0472023.

今回のPFシンポでの関連する発表:

- 08-01: 共鳴X線磁気散乱によるバイロクロア型イリジウム酸化物における長距離磁気秩序の観測
- 08-03: Ba₂Ru₃Ir₂O₁₀の物性
- 08-04: LaCo₃Rh₂O₇のスピンの状態制御によって誘起される強磁性
- 08-05: マルチフェロイックMn酸化物薄膜の硬・軟X線回折
- 08-06: 共鳴軟X線小角散乱による長周期磁気構造の観測
- 08-08: ペロブスカイト型バナジウム酸化物の磁気・軌道秩序に対するランダムネス効果
- 08-10: La_{0.5}Sr_{0.5}Mn_{0.97}Fe_{0.03}O₄におけるX線誘起による電荷・軌道の秩序-無秩序転移の研究
- 08-11: 単結晶構造解析によるURu₂Si₂の隠れた秩序状態の解明
- 08-12: 共鳴X線散乱によるURu₂Si₂の隠れた秩序状態の解明
- 23-02: 放射光スピネル型MnV₂O₇の格子軌道電子状態に対するCr,Mo置換効果