

文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング

第88回 広島大学放射光科学研究所 (2024.7.5)

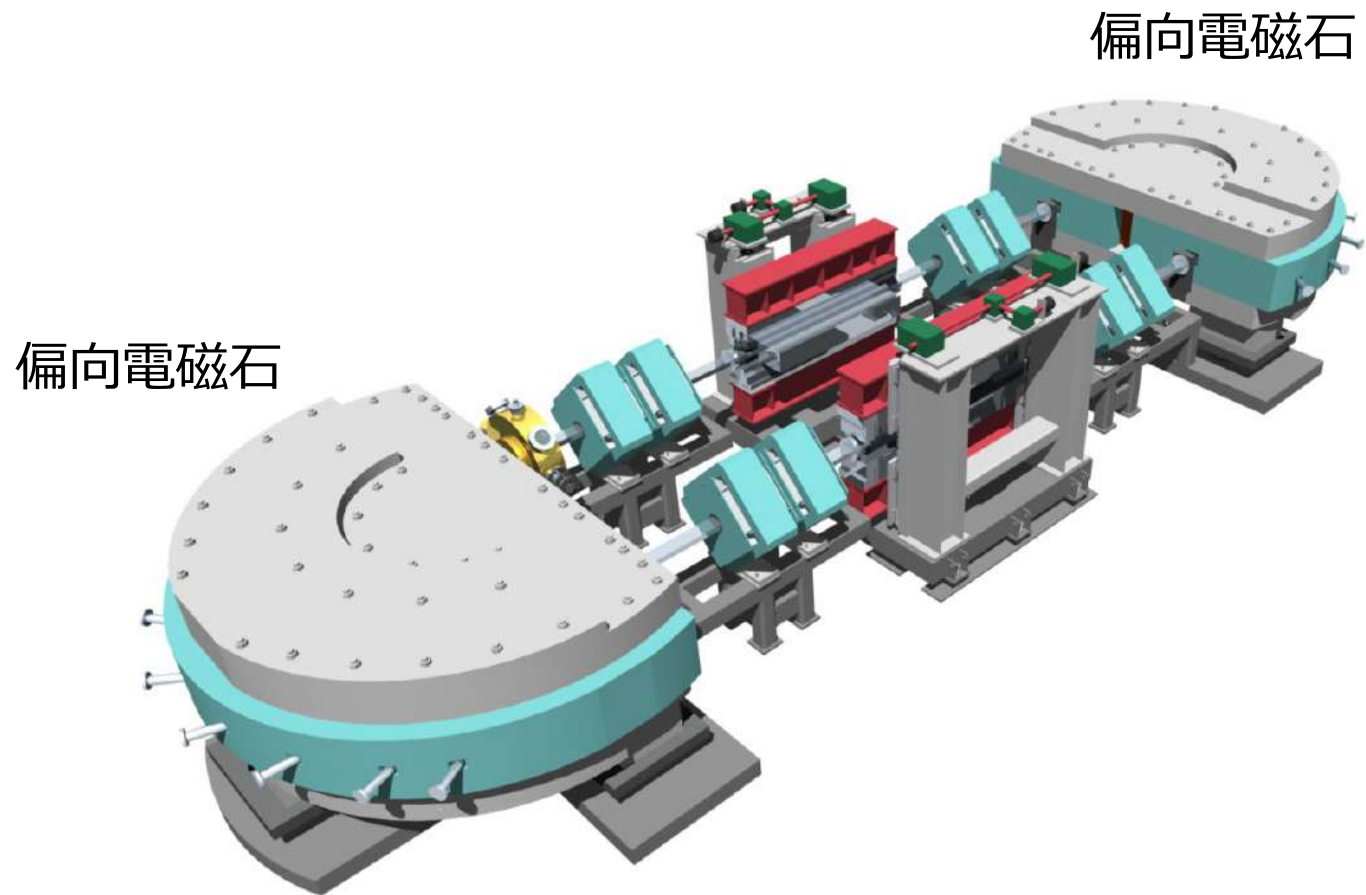
- | | |
|--------------------|--|
| 12:05 – 12:10(5分) | : 研究所の概要
島田賢也 所長 |
| 12:10 – 12:25(15分) | : スピン分解光電子分光を用いた
機能性材料の電子状態観測
角田一樹 特任助教 |
| 12:25 – 12:45(20分) | : 質疑応答 |

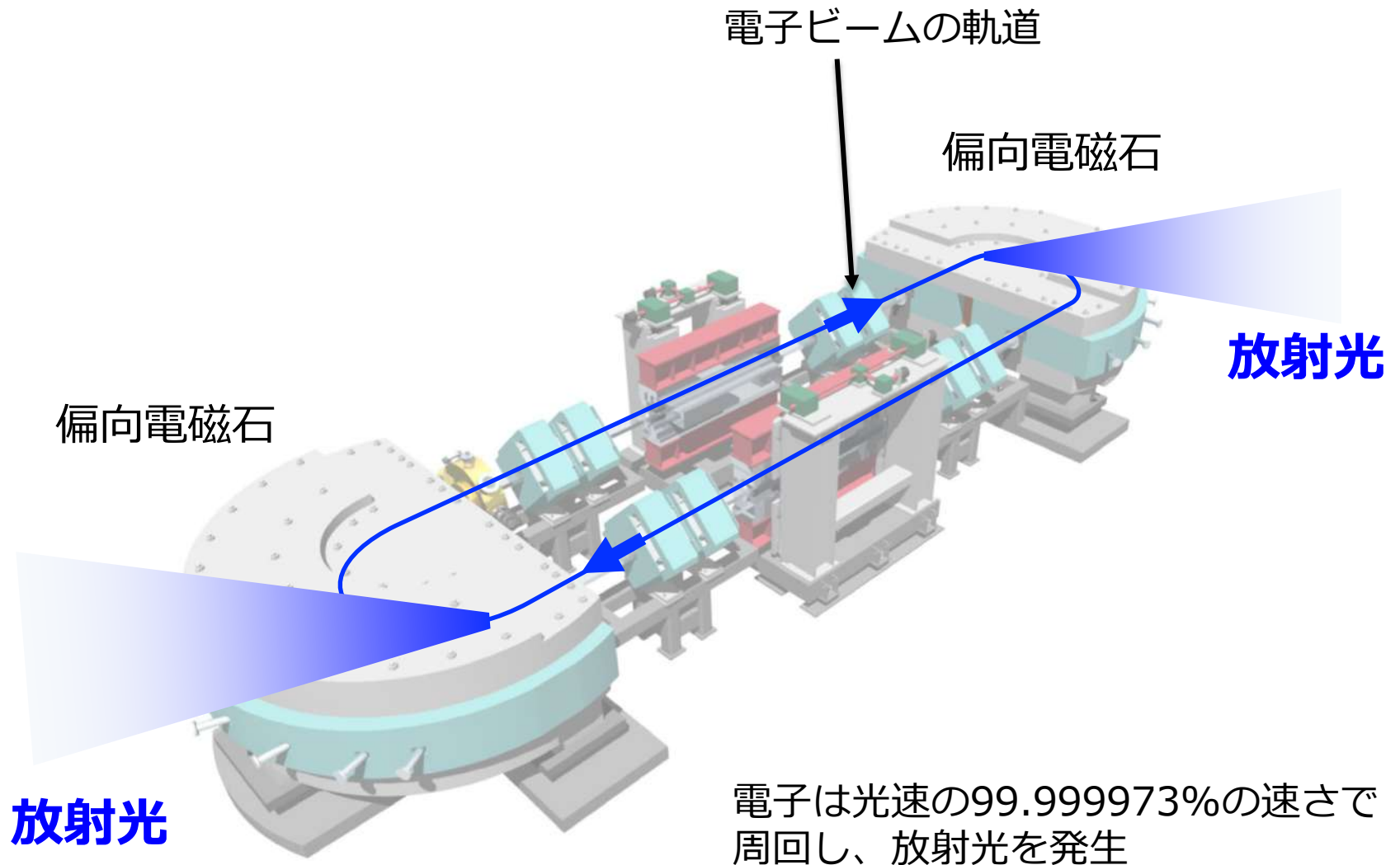


文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング
第88回 広島大学放射光科学研究所 (2024.7.5)

広島大学放射光研究所の概要

広島大学 放射光科学研究所
島田賢也

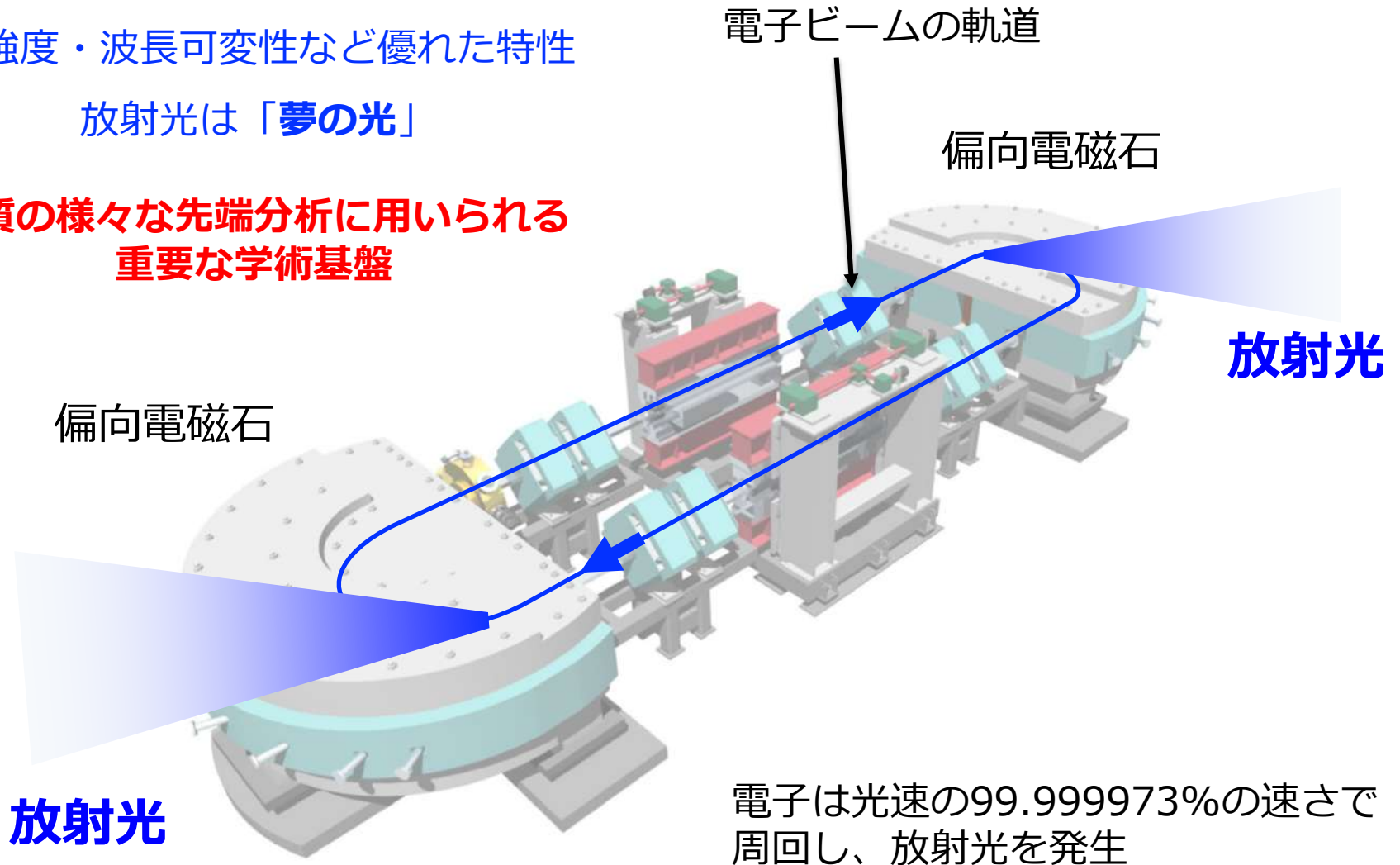




大強度・波長可変性など優れた特性

放射光は「夢の光」

物質の様々な先端分析に用いられる
重要な学術基盤



電子は光速の99.999973%の速さで
周回し、放射光を発生

国立大学法人の中に附置されている唯一の放射光実験施設

沿革

1996年 放射光科学研究センター設立 1997年より利用開始
2002年 全国共同利用施設 → 2010年 共同利用・共同研究拠点
2024年 放射光科学研究所に改組【教育研究組織改革分（組織整備）概算要求】

目的

真空紫外線から軟X線域の放射光を用いた

- ・ 独創的・先端的物質科学研究の推進
- ・ 共同利用・共同研究拠点としての特色を活かした人材育成



放射光実験ホール

国立大学法人の中に附置されている唯一の放射光実験施設

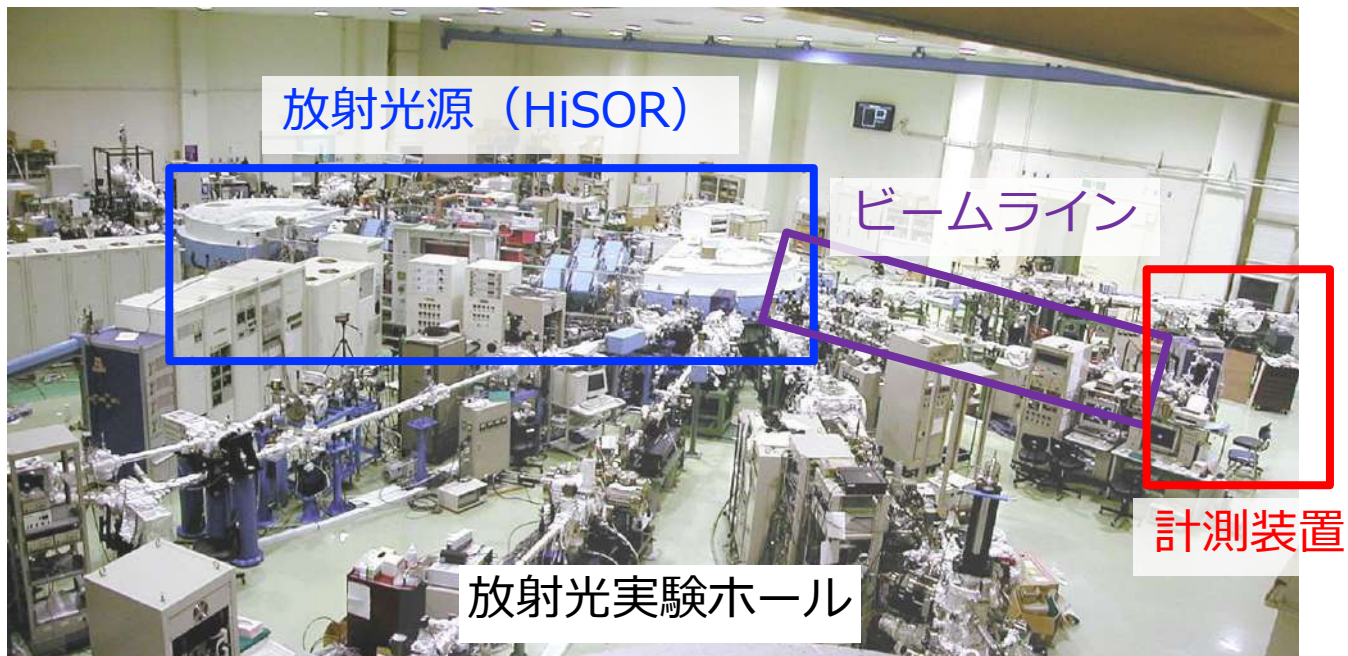
沿革

1996年 放射光科学研究センター設立 1997年より利用開始
2002年 全国共同利用施設 → **2010年** 共同利用・共同研究拠点
2024年 放射光科学研究所に改組【教育研究組織改革分（組織整備）概算要求】

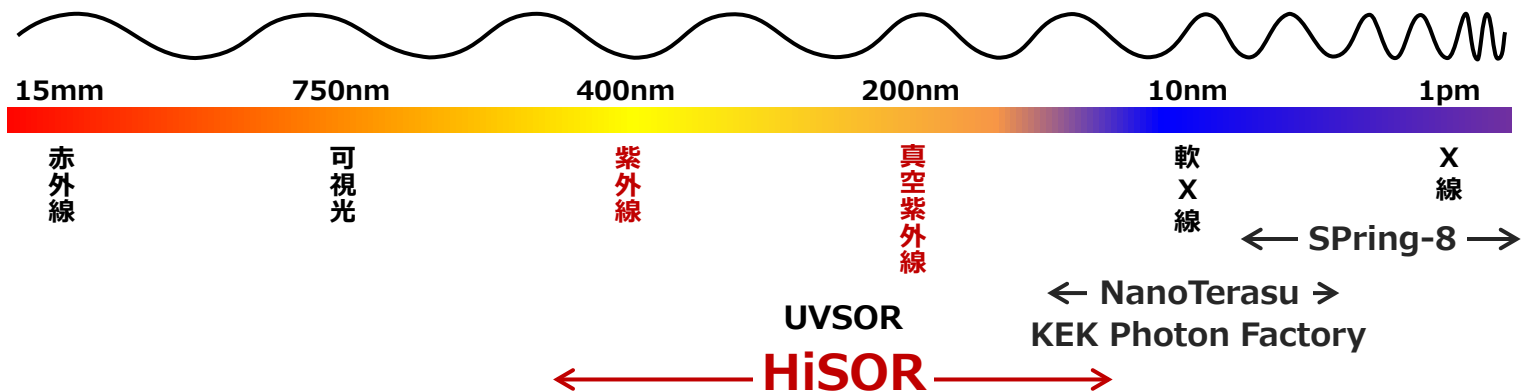
目的

真空紫外線から軟X線域の放射光を用いた

- ・ 独創的・先端的物質科学研究の推進
- ・ 共同研究拠点としての特色を活かした人材育成



	小型放射光施設 (HiSOR, UVSOR)	大型放射光施設 (SPring-8など)
波長	紫外線・真空紫外線	硬X線
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 物質の性質・機能を決定する電子の運動を見る 透過力が弱く表面・界面に敏感 	<ul style="list-style-type: none"> 物質の性質・機能を決定する原子の配列を見る 透過力が強く内部を見る



利用
研究

紫外線域の放射光を活用した世界最高水準の計測技術

- 高解像度電子構造解析
世界初の低エネルギー放射光高分解能光電子分光を開発
- スピン電子構造解析
世界最高性能のスピン分解光電子分光を開発
- 真空紫外円二色性解析
世界初の溶液中の生体物質の立体構造解析法を開発



共同研究機関数 (2004-2023)

国内 82 機関

海外 86 機関

期間 : 2017-2023

共同利用・共同研究課題採択数: 797 課題, 114課題 /年

海外からの課題申請: 31課題 /年, 全課題の27%

受け入れ利用者数: 174人 /年 (実人数)

海外からの利用者: 46人 /年, 全利用者の27%

学位取得者数(1996-2024年)

学内61名、学外39名 (うち海外22名)、合計100名

成果論文の状況 (2017-2023)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2017-2022 Total	2023
SCI論文数	39	39	42	60	41	41	262	33
Top 10% 論文数 (SCI論文数に対する割合)	10 (26%)	1 (3%)	6 (14%)	8 (13%)	5 (12%)	5 (12%)	35 (13%)	-
インパクトファクター(IF)が 7を超える論文 Phys. Rev. Lett. IF=8.385	8 (21%)	3 (8%)	17 (40%)	9 (15%)	11 (27%)	8 (20%)	56 (21%)	4
国際共著論文数 (SCI論文数に対する割合)	23 (59%)	25 (64%)	25 (60%)	35 (58%)	31 (76%)	27 (66%)	166 (63%)	17 (52%)

2024年2月現在

nature

Explore content ▾ About the journal ▾ Publish with us ▾

[nature](#) > [articles](#) > [article](#)

Article | Published: 18 December 2019

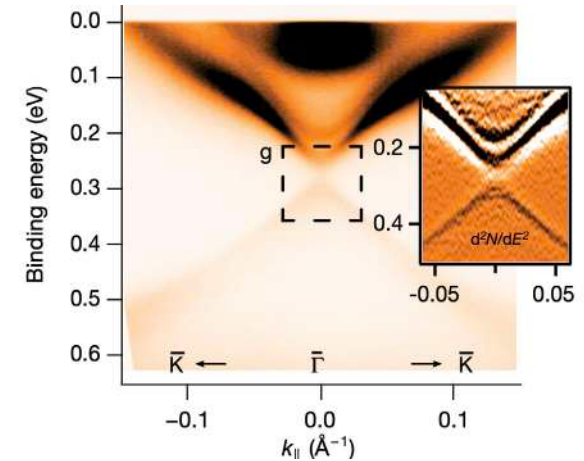
Prediction and observation of an antiferromagnetic topological insulator

[M. M. Otrokov](#) , [I. I. Klimovskikh](#), [H. Bentmann](#), [D. Fstyunin](#), [A. Zeugner](#), [Z. S. Aliev](#), [S. Gaß](#), [A. U. B. Wolter](#), [A. V. Koroleva](#), [A. M. Shikin](#), [M. Blanco-Rey](#), [M. Hoffmann](#), [I. P. Rusinov](#), [A. Yu. Vyazovskaya](#), [S. V. Ereemeev](#), [Yu. M. Koroteev](#), [V. M. Kuznetsov](#), [F. Freyse](#), [J. Sánchez-Barriga](#), [I. R. Amiraslanov](#), [M. B. Babanly](#), [N. T. Mamedov](#), [N. A. Abdullayev](#), [V. N. Zverev](#), ... [E. V. Chulkov](#) [+ Show authors](#)

Nature **576**, 416–422 (2019) | [Cite this article](#)

Nature 576, 416-422 (2019)

HiSOR BL-1, Laser ARPES



nature

[nature](#) > [articles](#) > [article](#)

Article | Published: 14 February 2024

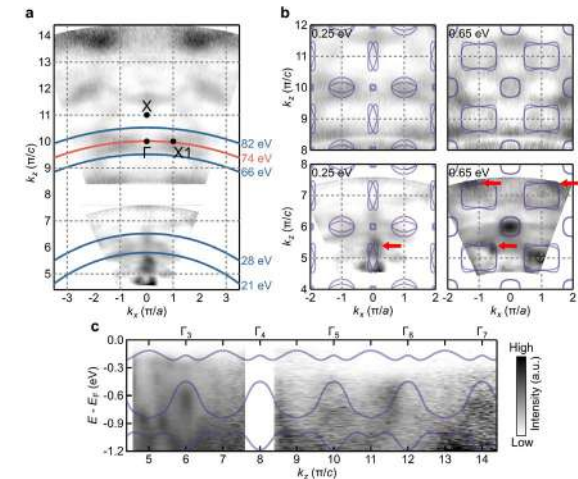
Observation of plaid-like spin splitting in a noncoplanar antiferromagnet

[Yu-Peng Zhu](#), [Xiaobing Chen](#), [Xiang-Rui Liu](#), [Yuntian Liu](#), [Pengfei Liu](#), [Heming Zha](#), [Gexing Qu](#), [Caiyun Hong](#), [Jiayu Li](#), [Zhicheng Jiang](#), [Xiao-Ming Ma](#), [Yu-Jie Hao](#), [Ming-Yuan Zhu](#), [Wenjing Liu](#), [Meng Zeng](#), [Sreehari Jayaram](#), [Malik Lenger](#), [Jianyang Ding](#), [Shu Mo](#), [Kiyohisa Tanaka](#), [Masashi Arita](#), [Zhengtai Liu](#), [Mao Ye](#), [Dawei Shen](#), ... [Chang Liu](#) [+ Show authors](#)

Nature **626**, 523–528 (2024)

Nature 626, 523-528 (2024)

HiSOR BL-9A



nature、science系ジャーナルへの掲載状況 (2003-2024)

Nature 4、Nature Materials 2、Nature Nanotechnology 1、Nature Physics 2、Nature Communications 24、その他nature系ジャーナル 27
Science 1、Science Advances 1

紫外線域の高輝度小型放射光源高度化計画（HiSOR-II計画）

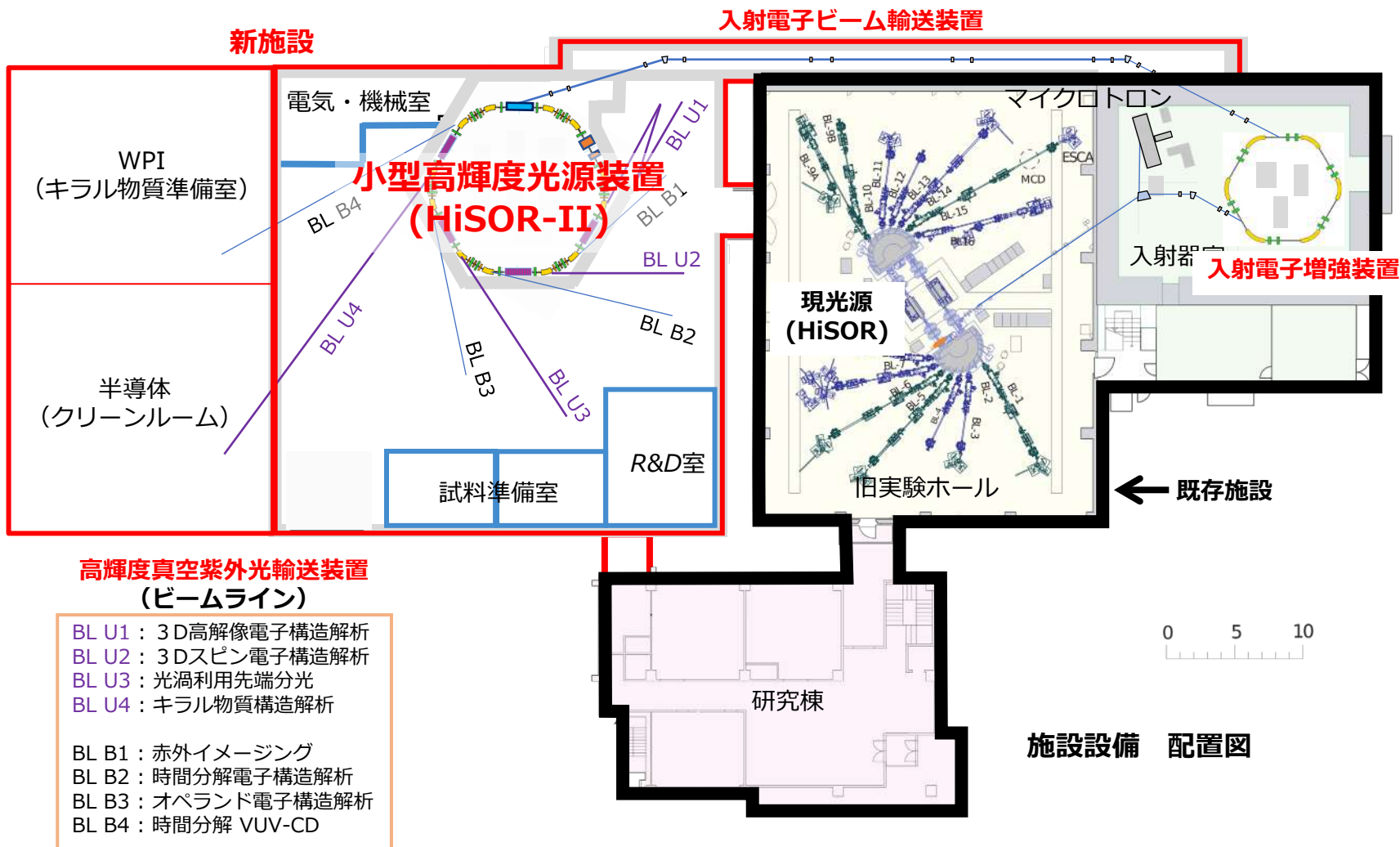


世界最高水準の紫外線域放射光源：強度100倍、強度一定連続自動運転

物質の変化している状態を動的に可視化する



新たな学際研究の開拓、社会への還元



文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング

スピン分解光電子分光を用いた機能性材料の電子状態観測

広島大学 放射光科学研究所 (HiSOR)

角田 一樹 特任助教



自己紹介

学歴

- 2011年3月 米子工業高等専門学校 電子制御工学科 卒業
準学士 (**工学**)
- 2014年3月 広島大学 理学部 物理科学科 卒業
学士 (**理学**)
- 2016年3月 広島大学大学院 理学研究科 博士前期課程 修了
修士 (**理学**)
- 2019年3月 広島大学大学院 理学研究科 博士後期課程 修了
博士 (**理学**)

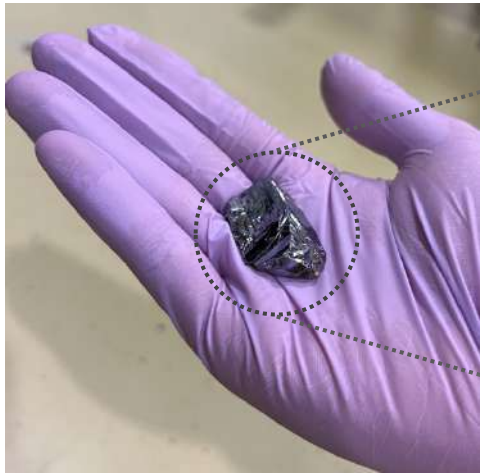
職歴

- 2016年4月 – 2019年3月 日本学術振興会 特別研究員DC1 (広島大学)
- 2019年4月 – 2020年3月 日本学術振興会 特別研究員PD (東京工業大学)
- 2020年4月 – 2023年8月 日本原子力研究開発機構 研究員
- 2023年9月 – 現職

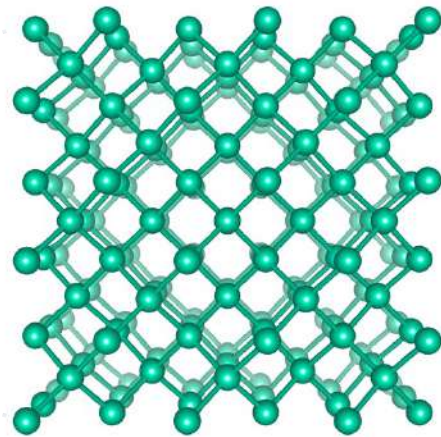
現在の研究テーマ：**光電子分光による電子状態解析**と**新しい装置の開発**

固体中の電子のスピン

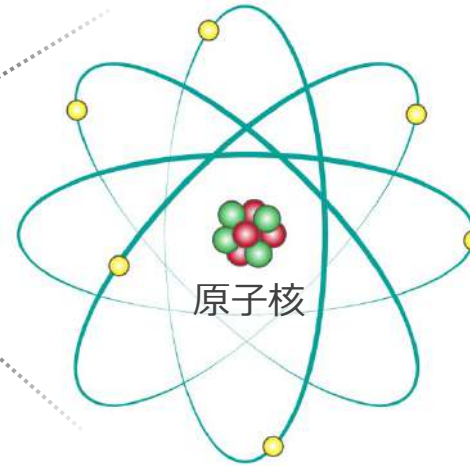
物質



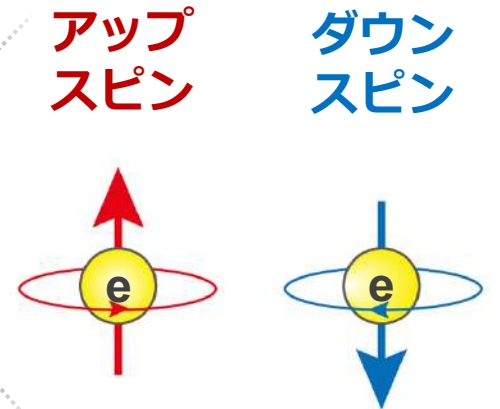
結晶構造



原子



電子



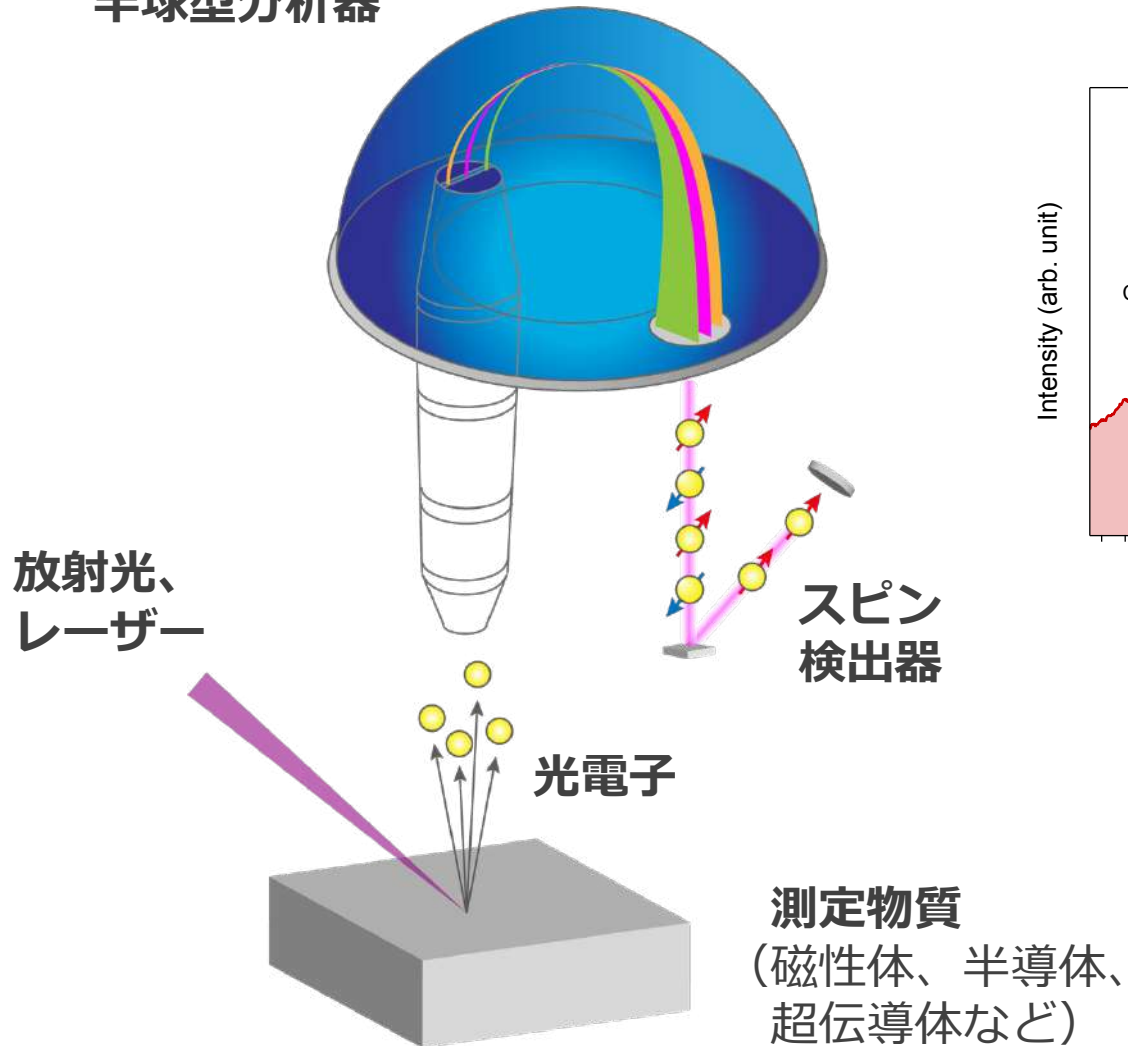
物質を構成する電子は電気的性質「**電荷**」の他に「**スピン**」という自由度を持つ
電子のスピンは最小の磁石であり、**物質の磁氣的性質の源**となる

▶ スピンの応用(スピントロニクス) : HDDヘッド、MRAMなど

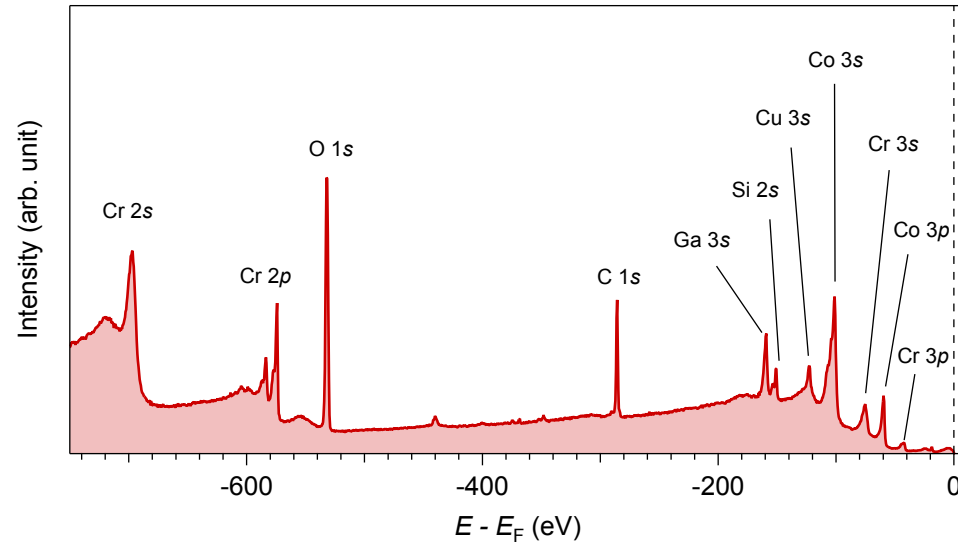
どのようにして電子のスピンを実験的に調べるか？

光電子分光

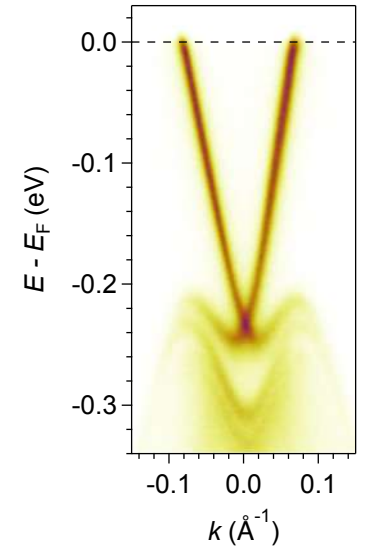
半球型分析器



形状記憶合金の光電子スペクトル



トポロジカル絶縁体のバンド分散

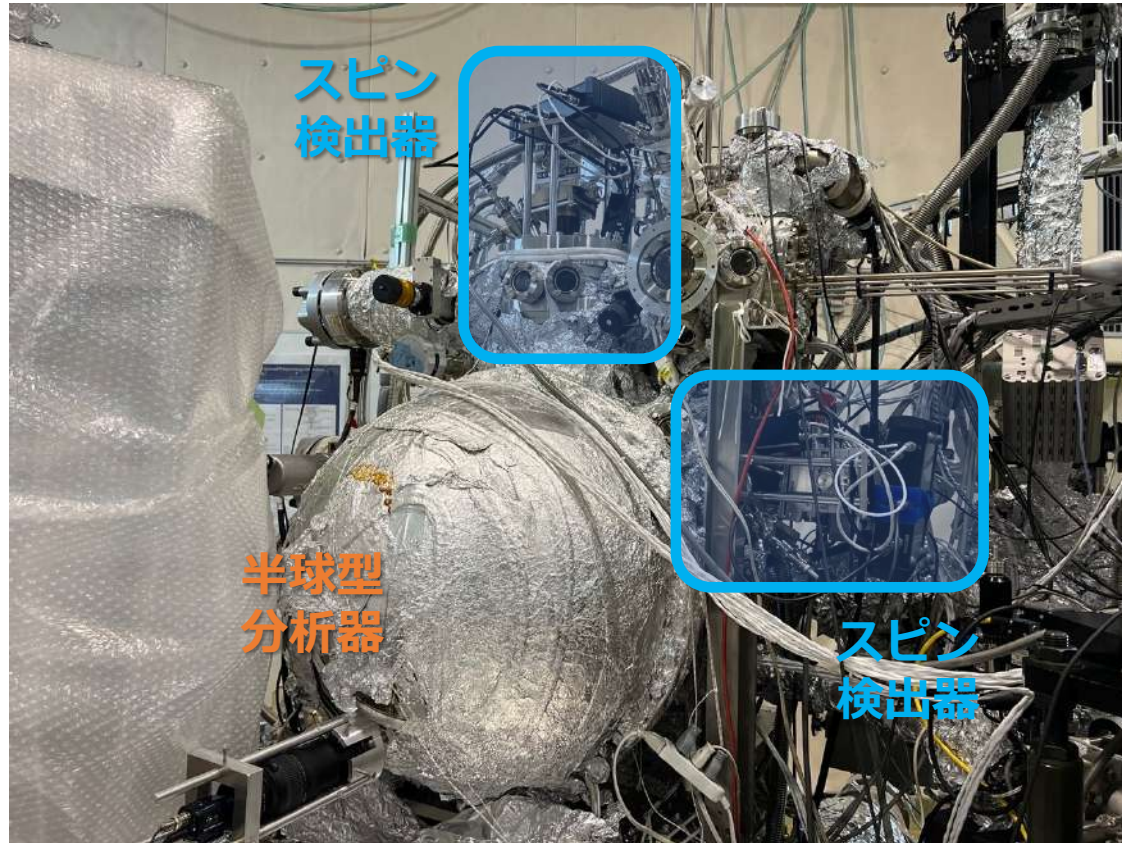


- 構成元素の同定
- 化学状態の分析
- 固体中の電子の速度や有効質量
- **スピン偏極度の定量評価**

固体の電子状態を可視化することができる

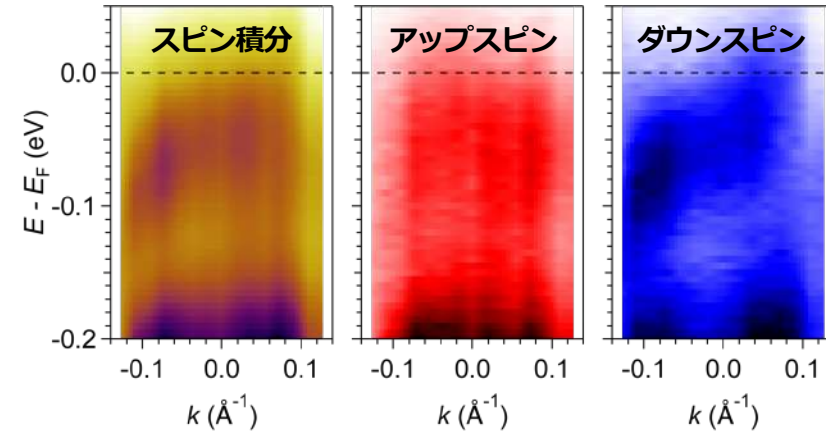
HiSORにおけるスピン分解光電子分光装置

BL-9B (ESPRESSO装置)

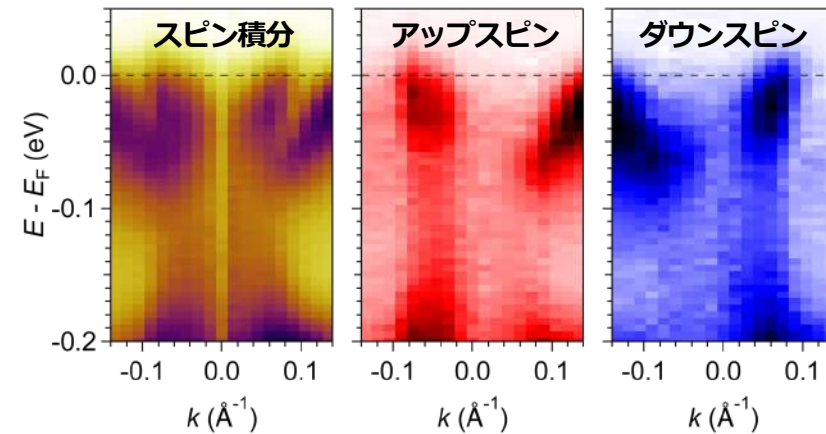


T. Okuda *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **82**, 103302 (2011).

・従来のスピン検出器



・独自開発したスピン検出器



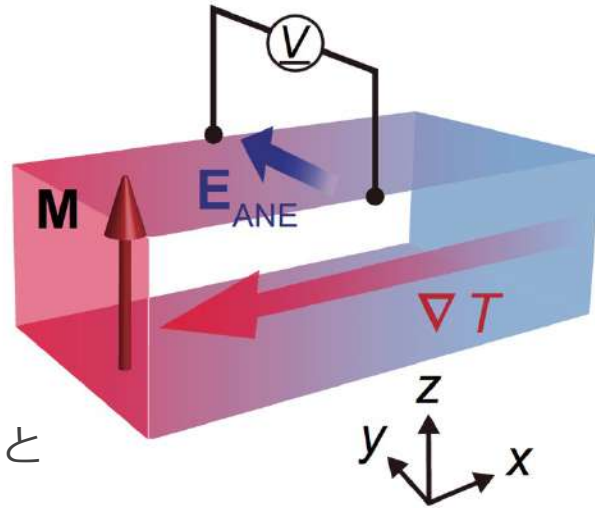
検出効率
×100倍



光電子分光装置に独自開発のスピン検出器を取り付けることで、世界最高性能を実現。
国内外の数多くの研究者との共同研究を推進。

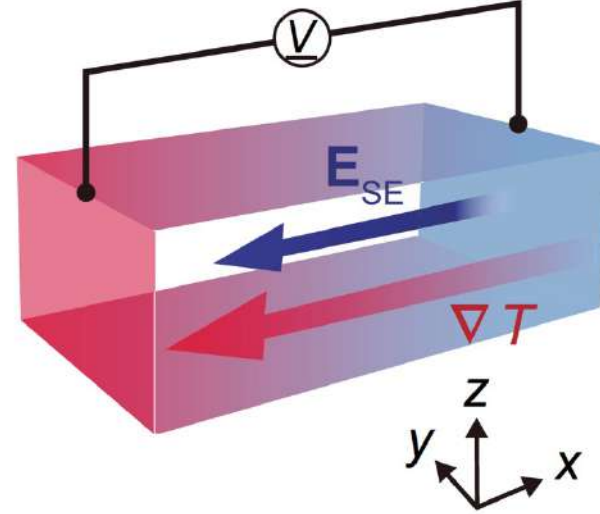
研究ハイライト：磁性体薄膜の熱電変換効率の最大化

異常ネルンスト効果



磁性体に
熱流を印加すると
起電力が発生

ゼーベック効果



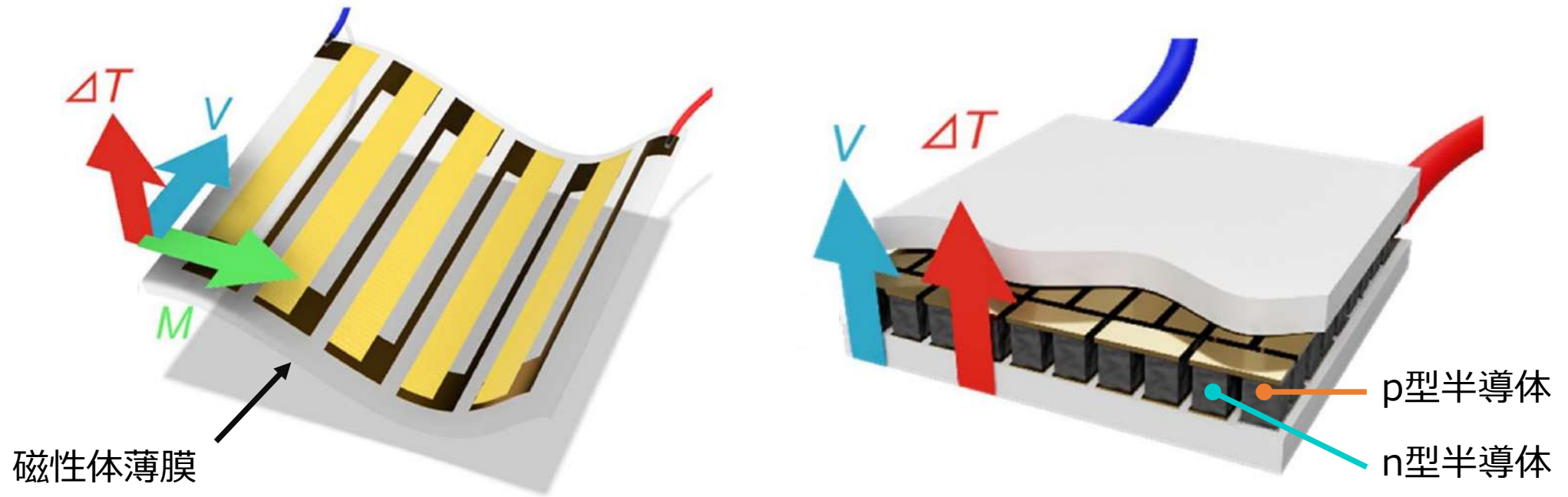
半導体に
熱流を印加すると
起電力が発生

H. Nakayama *et al.*, Phys. Rev. Materials **3**, 114412 (2019).

材料：	Fe, Co, Ni (無毒、磁性元素)	Bi_2Te_3 , PbTe (有毒元素を含む)
柔軟性：	高い	低い
熱電能：	$\sim 0.1 \mu\text{V/K}$	$> 100 \mu\text{V/K}$

- ・ 環境発電素子、高感度熱流センサーへの応用展開
- ・ 熱電能がゼーベック効果に比べて低いことが問題

研究ハイライト：磁性体薄膜の熱電変換効率の最大化

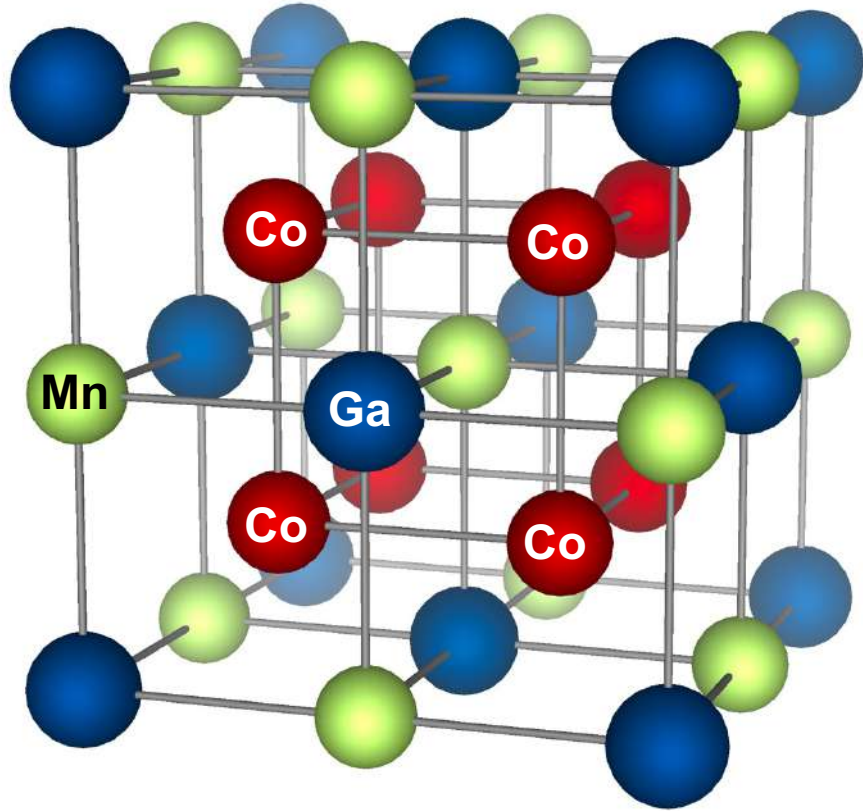


S. Nakatsuji, AAPPS Bulletin 32, 25 (2022).

材料：	Fe, Co, Ni (無毒、磁性元素)	Bi_2Te_3 , PbTe (有毒元素を含む)
柔軟性：	高い	低い
熱電能：	$\sim 0.1 \mu\text{V/K}$	$> 100 \mu\text{V/K}$

- ・環境発電素子、高感度熱流センサーへの応用展開
- ・熱電能がゼーベック効果に比べて低いことが問題

研究ハイライト：磁性体薄膜の熱電変換効率の最大化



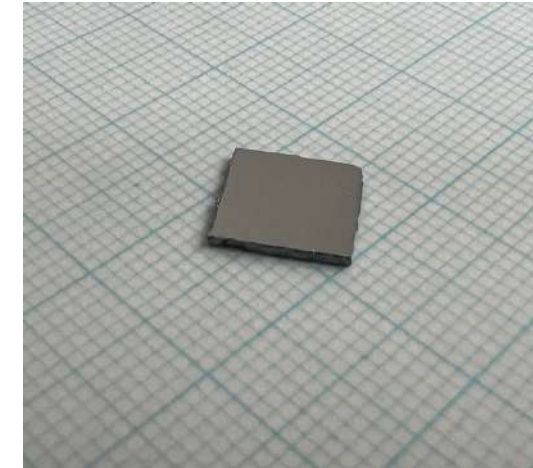
Co₂MnGaの異常ネルンスト効果に注目

バルク単結晶試料



熱電能 : 6.0 $\mu\text{V}/\text{K}$ ★★

薄膜試料 (数十nm)



熱電能 : 2.0~3.0 $\mu\text{V}/\text{K}$

- ・「ワイル粒子」が熱電能を高めている可能性が理論的に示唆
- ・デバイス応用が期待される薄膜試料では熱電能が低いことが問題

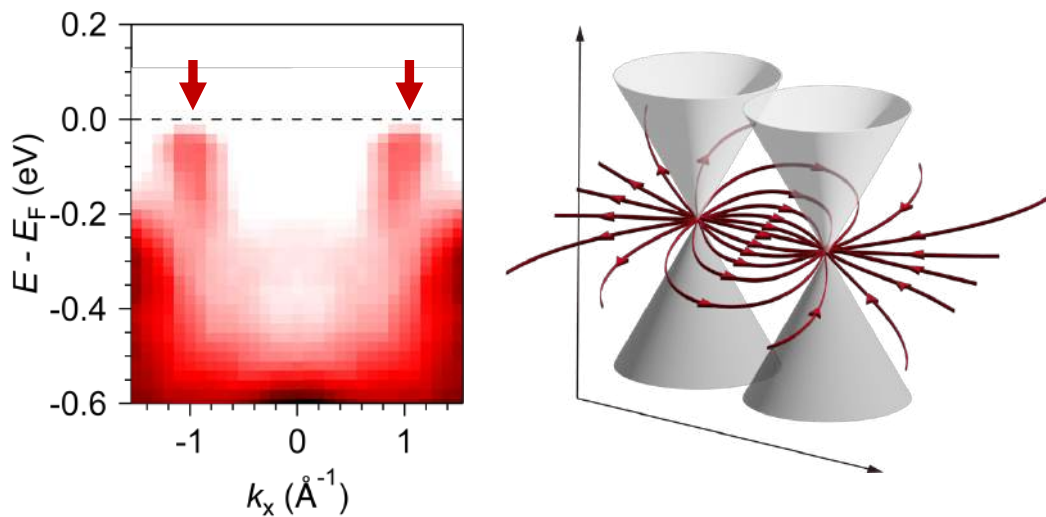
A. Sakai *et al.*, Nat. Phys. **14**, 1119 (2018).

H. Reichlova *et al.*, Appl. Phys. Lett. **113**, 212405 (2018).

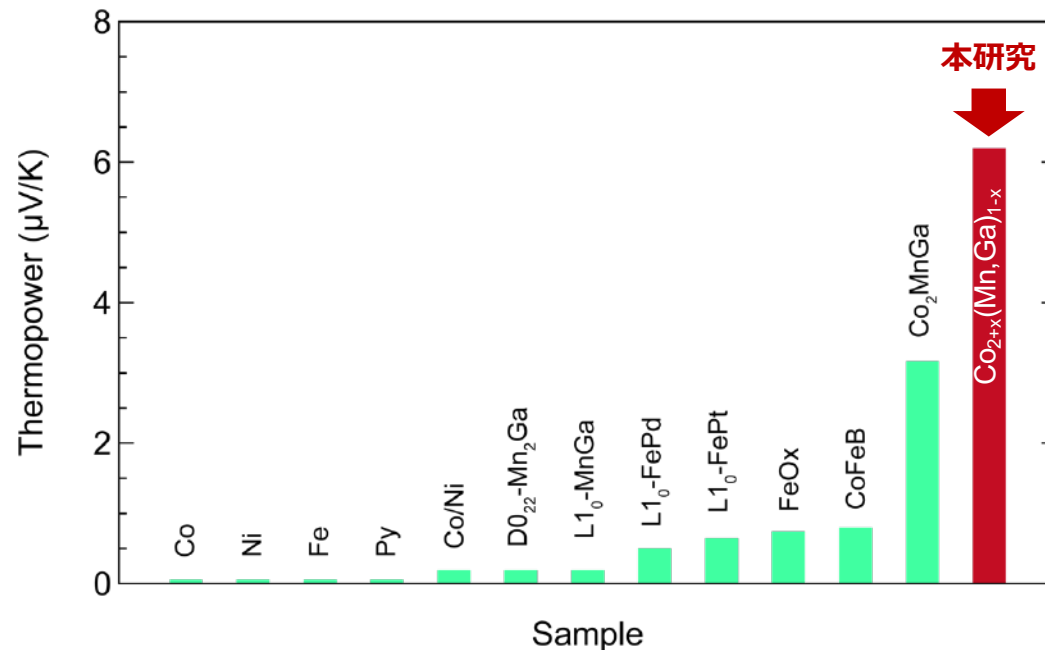
G. H. Park *et al.*, Phys. Rev. B **101**, 060406(R) (2020).

研究ハイライト：磁性体薄膜の熱電変換効率の最大化

Co₂MnGa薄膜のspin分解光電子分光



磁性体薄膜の熱電能



巨大磁場の源となる「**ワイル粒子**」から構成される
spin偏極した線形分散を光電子分光によって観測



電子構造の情報を物質設計・理論計算に
フィードバックすることで
熱電能が最大となる組成比を発見

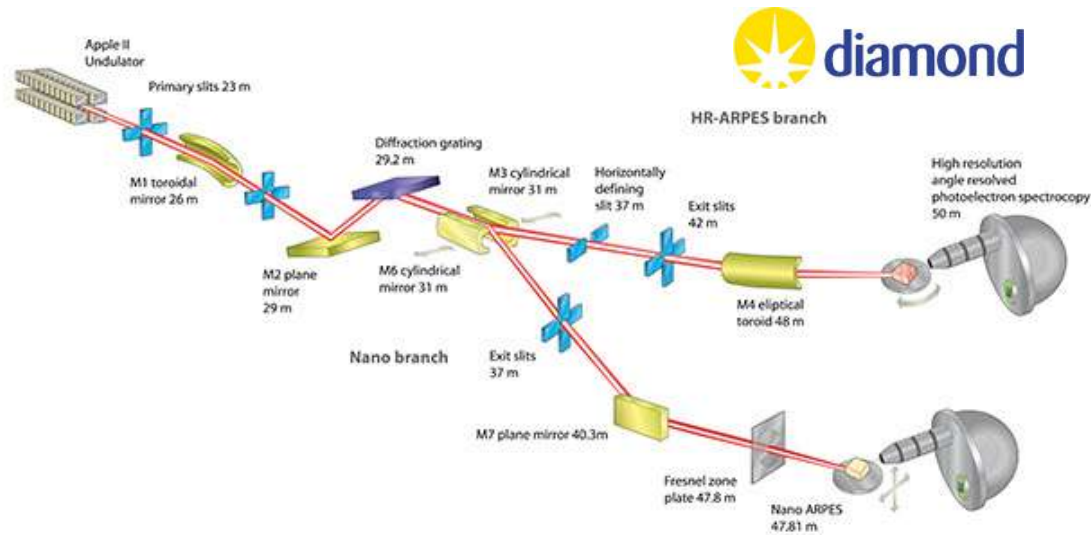
熱電能を高める因子をspin分解光電子分光で解明

室温・ゼロ磁場における最大のネルンスト効果を実現
プレスリリース、Top10%論文

K. Sumida *et al.*, Commun. Mater. 1, 89 (2020).

世界の放射光施設の現状とHiSORのこれから

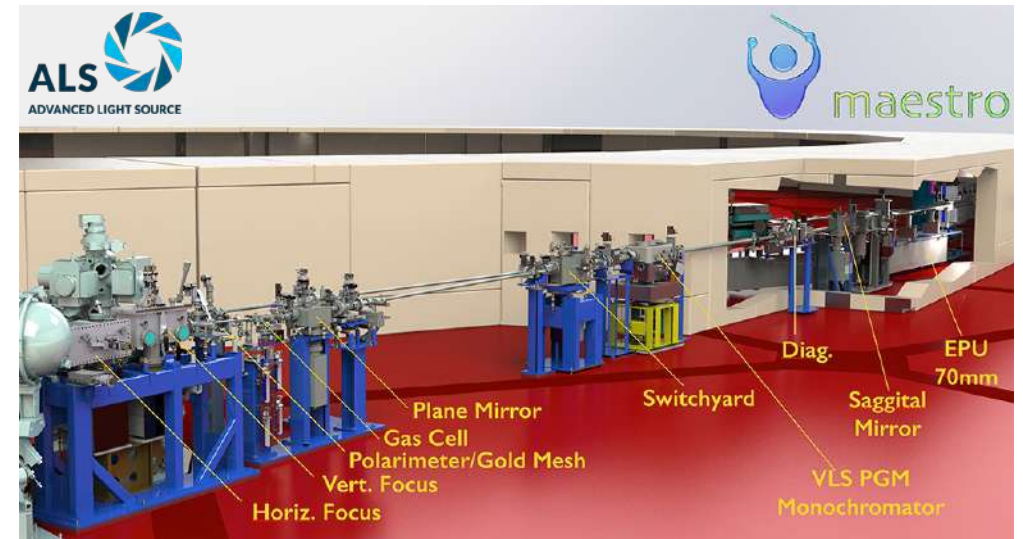
英国 Diamond Light Source



M. Hoesch *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **88**, 013106 (2017).

ナノ集光ビームを活用した**顕微**光電子分光

米国 Advanced Light Source



S. H. Ryu *et al.*, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **266**, 147357 (2023).

外部磁場下（オペランド）での光電子分光

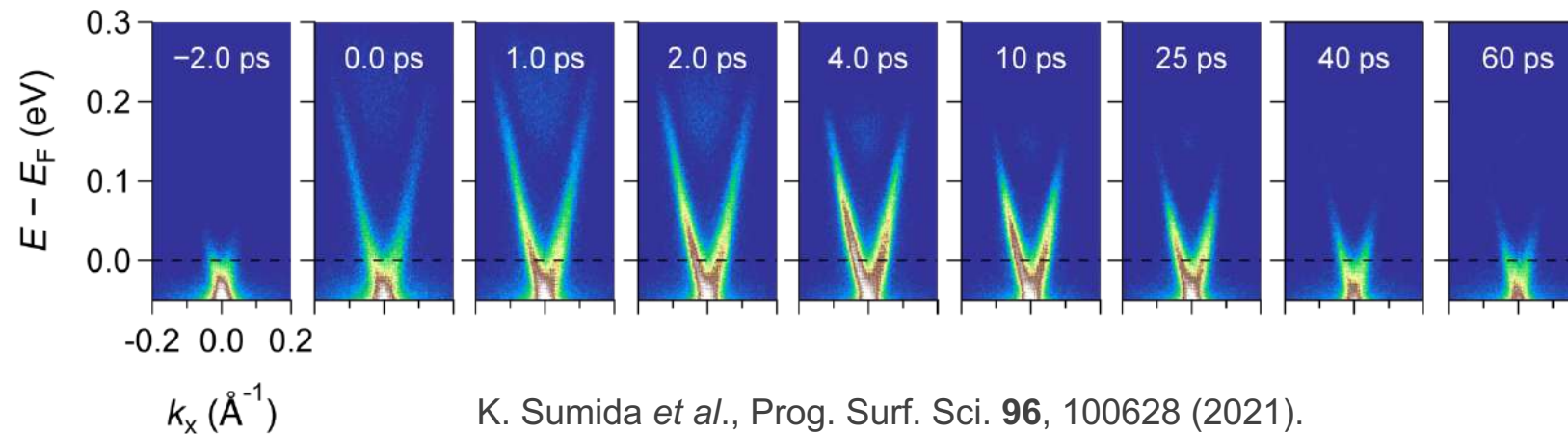
**HiSOR-II高度化計画：放射光の輝度100倍向上、ビームの広がり1/40に改善
スピン分解光電子分光装置に「顕微・オペランド」を組み込み世界一を目指す**

超高速レーザーとスピン検出技術の融合

独国 Marburg University (2018年9月-10月短期滞在)



レーザーの持つ**パルス性**を活用
ピコ秒 (1兆分の1秒) から
フェムト秒 (1000兆分の1秒) の分解能で
固体中の電子の超高速応答を可視化・制御



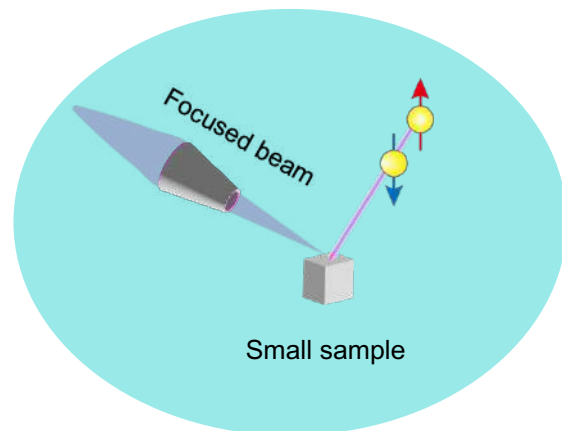
超短パルスレーザーに「スピン検出技術」を組み合わせた研究分野の開拓

まとめ

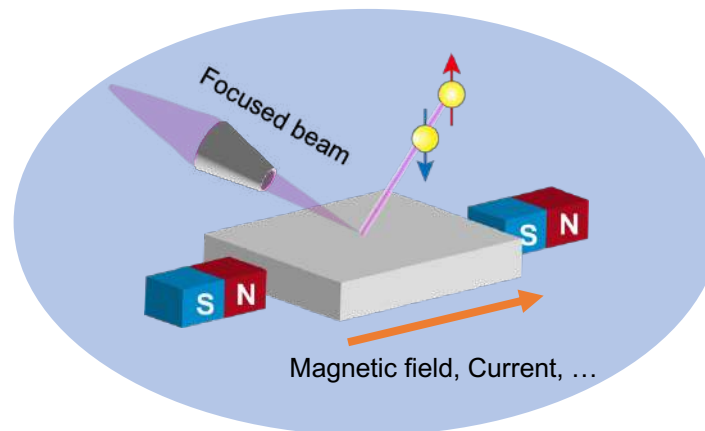
広島大学放射光科学研究所HiSORでは固体物理学研究に必要な不可欠な**高効率スピン検出技術**を独自に開発し、**放射光**と組み合わせることで物質の機能性研究を推進してきた。

今後は、高輝度、高い安定性、微小ビームを利用可能な次世代放射光 (HiSOR-II) にアップグレードすることで**世界一かつ世界でオンリーワンの研究環境**を構築していきたい。

スピン分解+空間分解
(微小試料の顕微分光)



スピン分解+オペランド
(デバイスの動作環境下分光)



スピン分解+時間分解
(超高速分光)

