

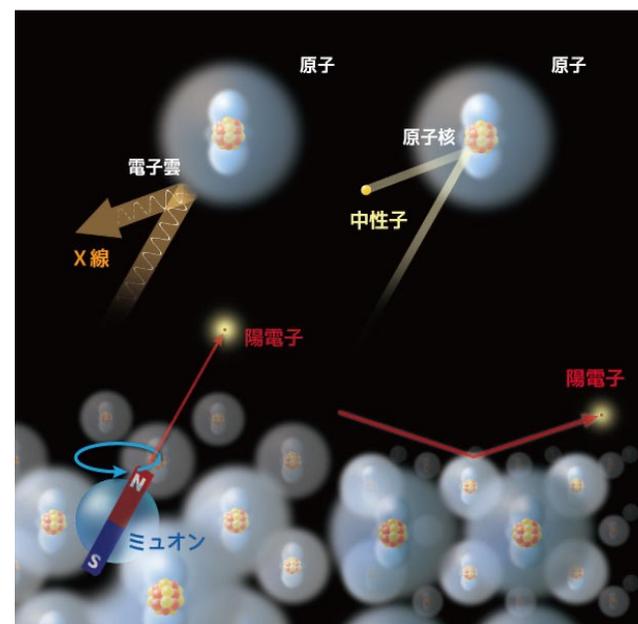
# 総合研究大学院大学

## 高エネルギー加速器研究科・物質構造科学専攻

物質構造科学専攻は、基盤機関であるKEK物構研のもつ4つのプローブ(放射光・低速陽電子・中性子・ミュオン)をそれぞれ、あるいは複数のプローブを協奏的に使い、新しい手法の開発や、先端的な物質・生命研究をを行っています。次のページから、研究の一部を紹介します。より詳細な研究内容は、物構研ホームページ(<https://www2.kek.jp/imss/>)を参照してください

### 研究紹介

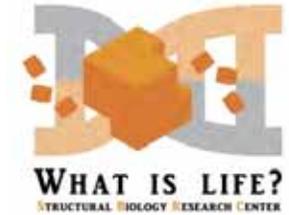
1. 構造生物学研究センター
2. 低速陽電子科学分野
3. ソフトマターグループ
4. 水素誘起物性研究グループ
5. 固体物理学研究部門
6. 材料科学研究部門
7. 局所スピン相関物性グループ
8. ミュオン科学グループ



専攻での研究内容への質問や、進学に関する問い合わせは、専攻長 熊井 玲児 [reiji.kumai\[at\]kek.jp](mailto:reiji.kumai@kek.jp) まで。([at] は @ に変えてください)

# 構造生物学研究センター

Structural Biology Research Center: SBRC



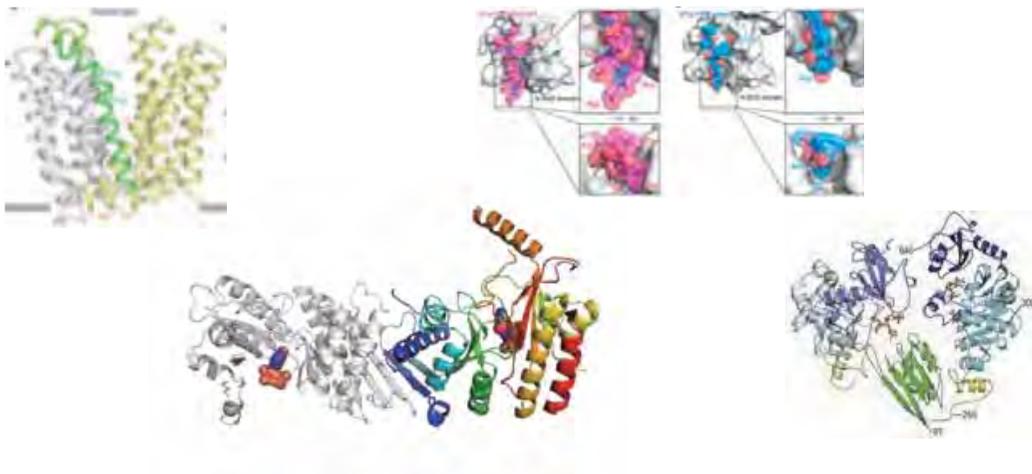
放射光X線（結晶構造解析、溶液散乱）やクライオ電子顕微鏡を使って生体高分子の立体構造を調べるための技術開発を行うとともに、構造解析を実際に行って、それを生物学へ展開しています。幅広い共同研究を行っています。

## 放射光ビームライン、クライオ電顕、結晶化ロボットに関する研究



測定手法開発、機器開発（ロボット）、ソフトウェア開発（DB, AI etc）、全自動測定、解析

## 構造生物学の研究



**ピロリ菌のがん蛋白質と胃がんの関係**

なぜ日本に胃がんが多いのか？

**細胞内GTPセンサーの発見**

がん代謝とがん治療

**先天性筋ジストロフィーの分子基盤**

糖鎖合成と疾病

**多剤耐性の分子機構**

膜蛋白質と感染症

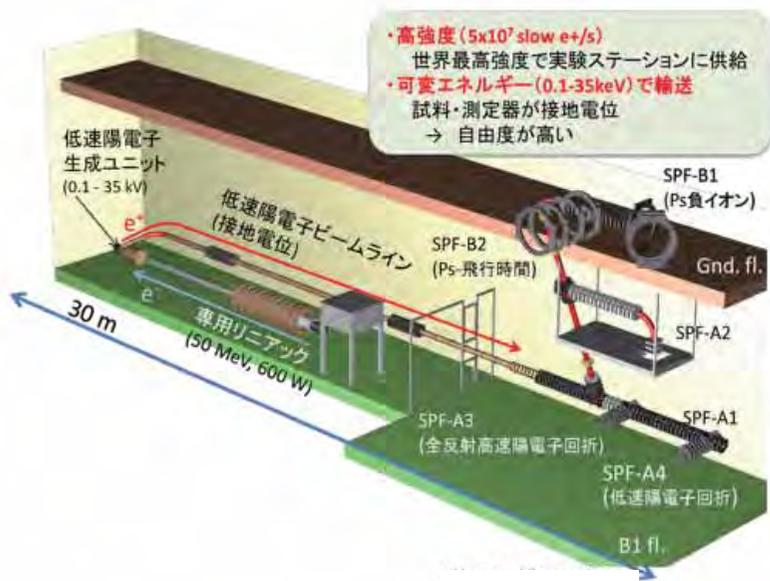
# 物質構造科学専攻 低速陽電子科学分野

加速器を用いた陽電子生成・制御技術により、電子の反粒子である**陽電子**を発生させエネルギー可変の低速陽電子ビームとして以下の物質科学の研究を行っています。

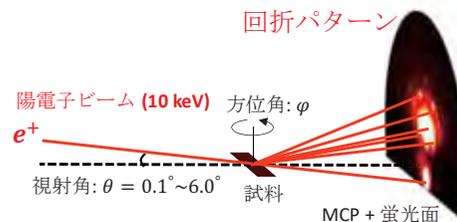
- 陽電子回折法による物質表面原子層の原子配列の研究**  
 陽電子回折法は表面感度が高く、物質表面数原子層に絞って原子配列を高精度に捉えます。
- ポジトロニウムの原子物理およびそれを利用した表面電子状態の研究**  
 ポジトロニウムは、陽電子と電子が結合した非常に軽い原子で、そのレーザー冷却実験と、ポジトロニウム飛行時間法を使った表面研究を行っています。



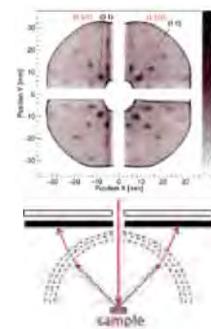
## 低速陽電子実験施設 (SPF)



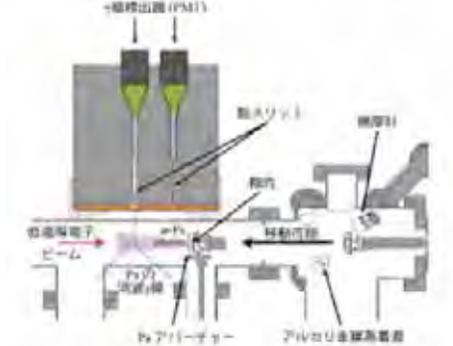
## 全反射高速陽電子回折 (TRHEPD, トレプト)



## 低速陽電子回折 (LEPD, レプト)



## ポジトロニウム飛行時間



## 担当教員



教授 永井康介



准教授 和田健



助教 望月出海

## ダイヤモンドフェロー



兵頭俊夫

反粒子を用いた物理学実験に取り組みたい学生を歓迎いたします。

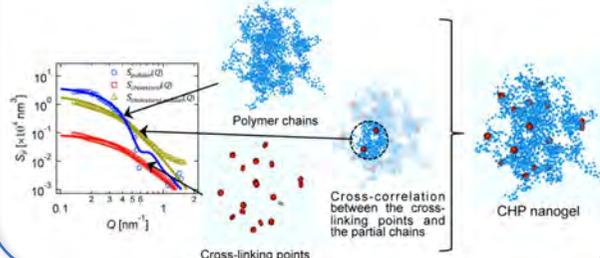
# ソフトマターグループ

高分子や液晶、コロイド、両親媒性分子等の物質は、固体に比べてやわらかな性質を持つことから「ソフトマター」と総称されています。このソフトマターは軽くて強い素材として、あるいは洗浄やコーティング等のための機能性物質として、身の回りのあらゆるところで使われています。またタンパク質や細胞膜などの生体物質の基本構成要素でもあります。それらのソフトマターがどのような構造を持ちどのように機能を発揮しているのか、とすることをテーマに研究を行っています。



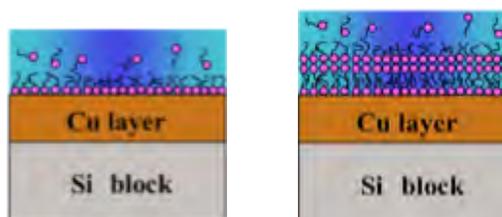
## ソフトマターの精密構造解析

コントラスト変調中性子小角散乱法によるナノゲルの精密構造解析. ナノゲル中の架橋点の分布を定量的に評価.



## 摩擦低減メカニズム

潤滑液に添加剤を入れた時の摩擦低減メカニズムを探る

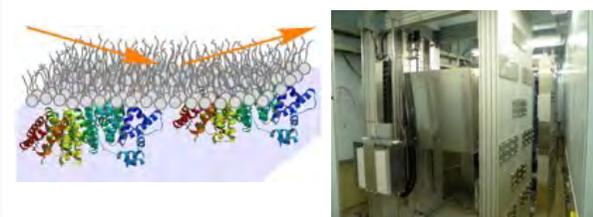


非回転時

回転時

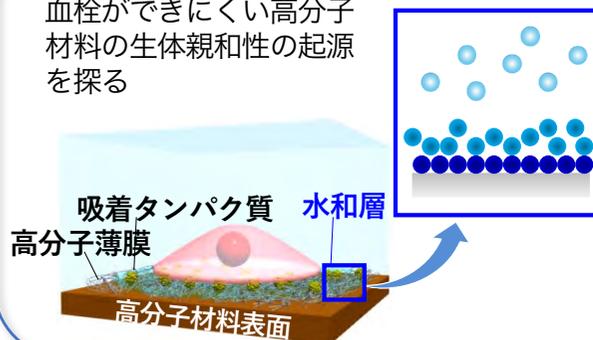
## 中性子反射率計(BL16)

固液界面や自由表面の構造を調べる



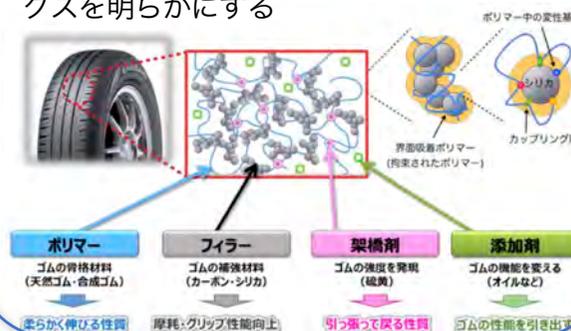
## 生体親和性材料と水和水

血栓ができにくい高分子材料の生体親和性の起源を探る



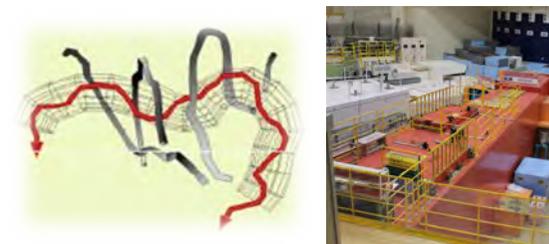
## タイヤ内部のフィラー/高分子

フィラー界面の高分子の構造とダイナミクスを明らかにする



## スピネコー分光器群(BL06)

最高エネルギー分解能の中性子非弾性散乱装置でスローダイナミクスを調べる



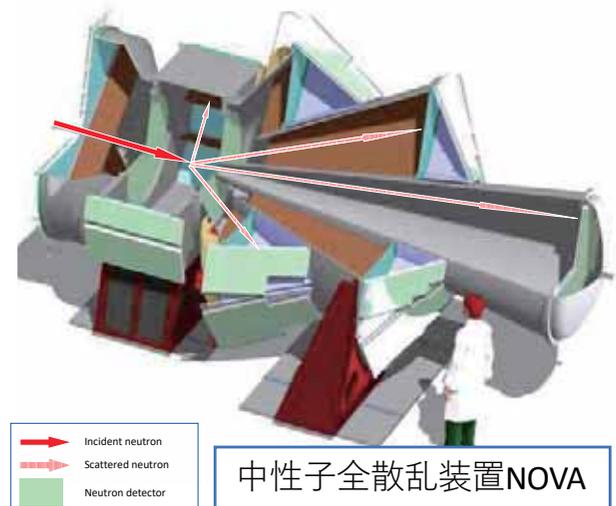
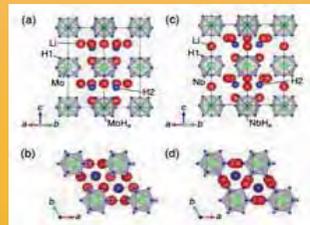
# 水素誘起物性研究グループ

大友 季哉<sup>1,2</sup>, 池田 一貴<sup>1,2</sup>, 本田孝志<sup>1,2</sup>, 大下 英敏<sup>2</sup>, 鈴谷 賢太郎<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>総研大, <sup>2</sup>物構研, KEK, <sup>3</sup>J-PARC センター, JAEA

物質中の水素を高精度で観測して、  
水素と物性の関係を明らかにする

## □ 物質

- 水素貯蔵材料
  - 特性劣化の解明
- 高密度水素化物
  - 超イオン伝導、超伝導材料の開発研究
- 磁性体の磁気構造解析



中性子全散乱装置NOVA

## □ 手法

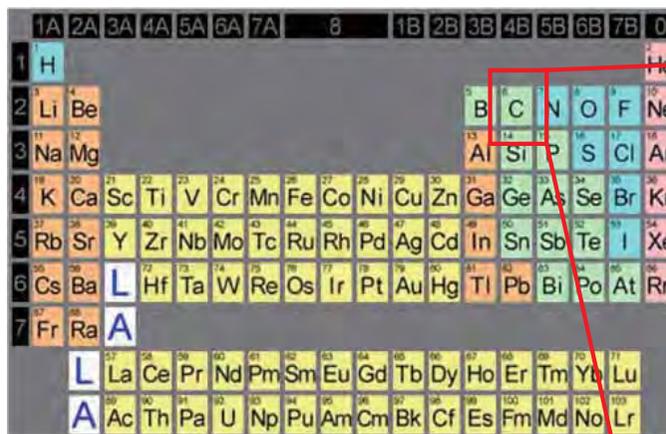
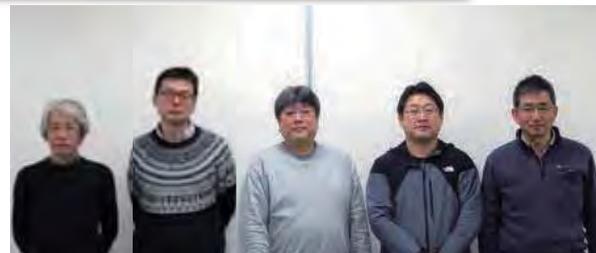
- 物質中水素観測の高度化
  - J-PARC中性子実験装置による中性子観測の限界への挑戦



# 固体物理学研究部門

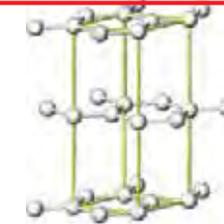
多数の原子や分子が集合した「凝縮系」では、それらの集合様式によって、示す物性に大きな違いをもつことは珍しくありません。私たちの身の回りにある金属や半導体、誘電体、磁性体などの物質の多くは、それらの物質中の電子が集合化することによってはじめて発現する機能をもっています。これらの物質のミクロからメゾスコピックな領域の構造や電子状態からマクロな物性を理解するために、実験的あるいは理論的な研究を行い、新奇な物性の開拓や新たな材料の開発を推進しています。

同じ元素からできている物質でも構造が違くと性質が全く異なる





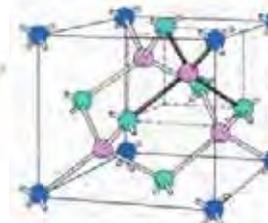
鉛筆の芯

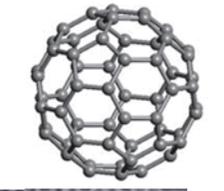


グラファイト



ダイヤモンド





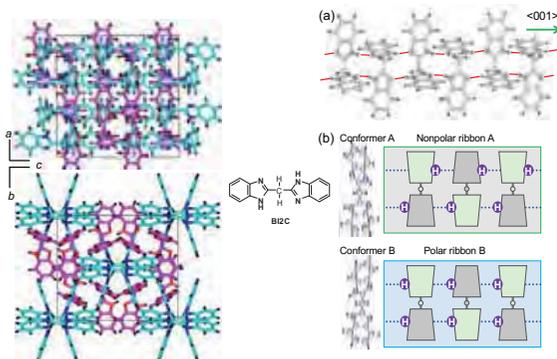


フラーレン  
ナノチューブ  
グラフェン

## 最近の研究成果

### 有機強誘電体・メタ誘電体

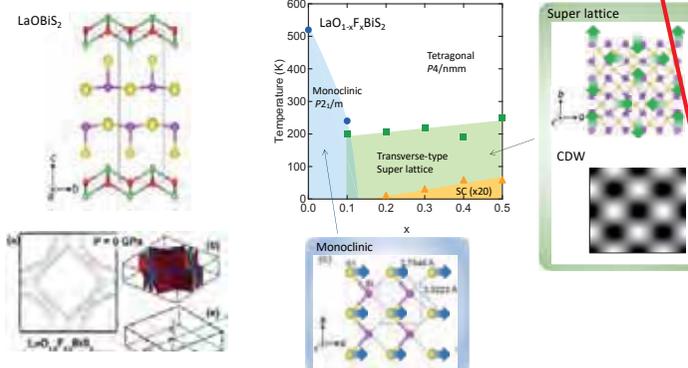
・常誘電体の電場誘起分極発現



常誘電体を用いて電場下で分極を整列させる = メタ誘電体の候補物質 B12C

### 新規二次元超伝導体

新規二次元超伝導体LnOBiS<sub>2</sub>におけるCDW

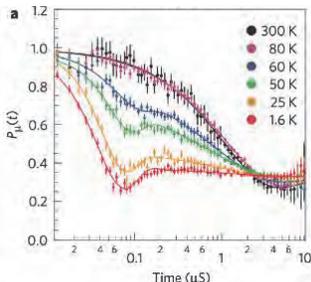




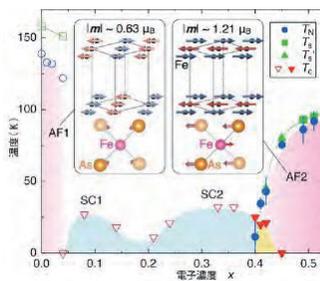
# 局所スピン相関物性グループ

## ミュオンビームで物質の内部を探る

### 鉄系超伝導体の磁性



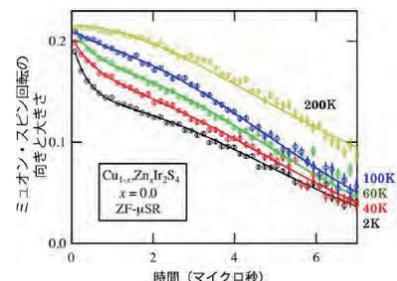
LaFeAsO<sub>0.55</sub>H<sub>0.45</sub>のミュオンスピン緩和スペクトル。低温で発見した磁気秩序がスペクトルの形状に影響している。



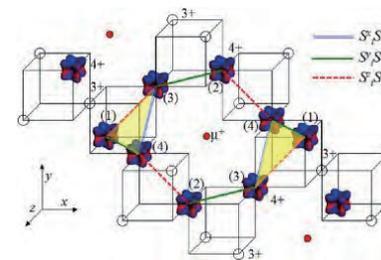
電子濃度(酸素と水素で置換した割合)が大きい領域における新奇な磁気秩序相の構造をミュオンで明らかにした。

鉄系超伝導体における陰イオンを水素で置換した物質が高温超伝導体として有力視されている。ミュオンスピン緩和法でLaFeAsO<sub>1-x</sub>H<sub>x</sub>の磁気秩序相の構造を明らかにした[1]。

### 遷移金属化合物のスピン軌道相互作用



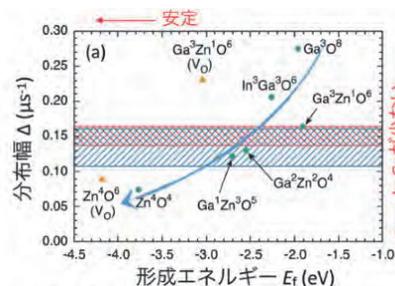
CuIr<sub>2</sub>S<sub>4</sub>のミュオンスピン回転スペクトル。低温になるほど乱れた内部磁場の影響が顕著に現れる。



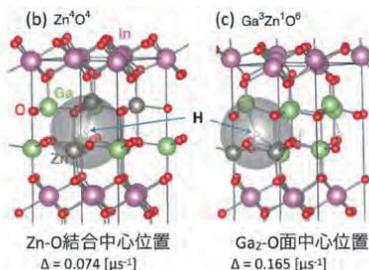
ミュオンで明らかにしたIrイオンの電子状態。スピン軌道相互作用により磁気的なフラストレーションが生じる。

遷移金属化合物の物性に対するスピン軌道相互作用の寄与は未解明。ミュオンスピン回転法でCuIr<sub>2</sub>S<sub>4</sub>スピネル化合物におけるスピン軌道相互作用に由来する新奇な磁気相を観測した[2]。

### 半導体における格子欠陥の局所電子構造



実験で求めたミュオン近傍の磁場分布の幅Δと計算で求めた水素のエネルギー-E<sub>f</sub>の関係



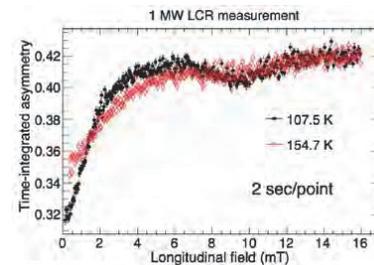
IGZO中のMuの挙動を分析して特定した水素原子の位置

透明半導体として広く実用化されているIGZOの性能には不純物水素が大きく関与している。ミュオニウム(Mu= $\mu^+e^-$ )で格子欠陥にある水素原子の挙動を模擬して局所電子構造を解明した[3]。

### $\mu$ SR分光器の開発・解析の高度化



超伝導磁石と3000ch.の検出器からなるミュオンスピン分光器



時々刻々と磁場を変えながらの高速データ収集技術を開発中

世界最高強度のパルスミュオンビームを用いた実験のためには瞬間的に多数発生する粒子を過不足なく数え上げる必要があり、大規模な計測システムと高度な解析ツールが必要となる。

[1] <https://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20140317100000/>

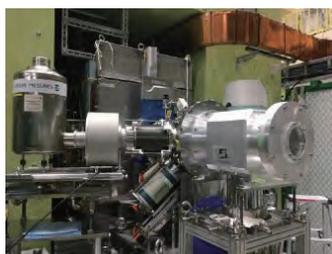
[2] <https://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20140226140000/>

[3] <https://www.kek.jp/ja/newsroom/2019/09/27/1500/>

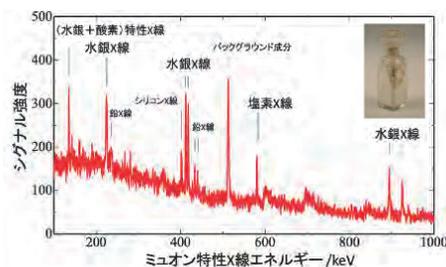
# ミュオン科学グループ

## ミュオンビームであらゆる謎を解く・極限に挑む

### ミュオンX線による元素分析



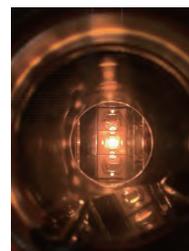
ゲルマニウム検出器と試料設置チェンバー



緒方洪庵の薬瓶の中身を塩化水銀と解明。

世界最高強度の $\mu$ ビームと高分解能X線検出器を駆使して物質内部の元素量を非破壊分析。文化財<sup>[1]</sup>・小惑星<sup>[2]</sup>の組成やLiイオン電池内部に析出した金属Liを定量<sup>[3]</sup>することに成功。

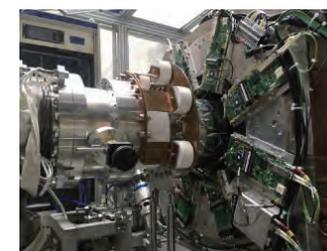
### 超低速ミュオン顕微鏡



高温タングステン標的



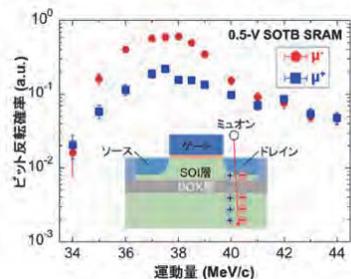
Kr気体における四波混合を用いた波長変換器



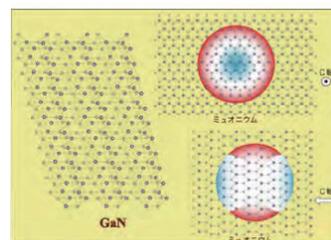
512チャンネルのミュオンスピン分光器

ミュオニウム原子( $\text{Mu}=\mu^+e^-$ )のレーザー共鳴イオン化を利用した極低エネルギー・高時間分解能の実現。加速器技術と量子光学の融合による究極のビームで表面・界面の局所分析を目指す。

### ミュオンによる半導体研究



メモリのビットがビーム照射によって反転する確率



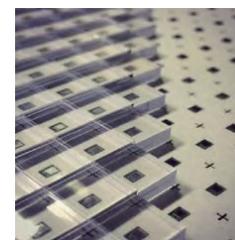
窒化ガリウム中の不純物水素の状態をミュオニウムで再現

ミュオンの性質を様々な形で利用したユニークな研究を基礎から応用まで幅広く展開。メモリデバイスが誤動作する原因を定量化<sup>[4]</sup>。ミュオニウムで半導体の電気伝導性の起源を解明<sup>[5]</sup>。

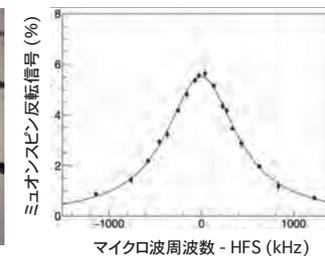
### 基礎物理定数の精密測定



磁気遮蔽内部のMuHFS分光装置



細分化された陽電子検出器



MuHFSのマイクロ波共鳴曲線

大強度ビーム、精密磁場制御、粒子検出器、マイクロ波・レーザー技術などミュオン科学の粋を集めて極限の精度で物理定数を決定する。ミュオニウムの超微細構造(HFS)・1S-2S準位差の分光。

[1] <https://www.kek.jp/ja/press/20210312-3/>

[2] <https://www.kek.jp/ja/newsroom/2020/06/16/1647/>

[3] <https://www.kek.jp/ja/newsroom/2014/05/27/1800/>

[4] <https://www.kek.jp/ja/newsroom/2018/05/29/1000/>

[5] <https://www2.kek.jp/ja/newskek/2004/marapr/GaN.html>