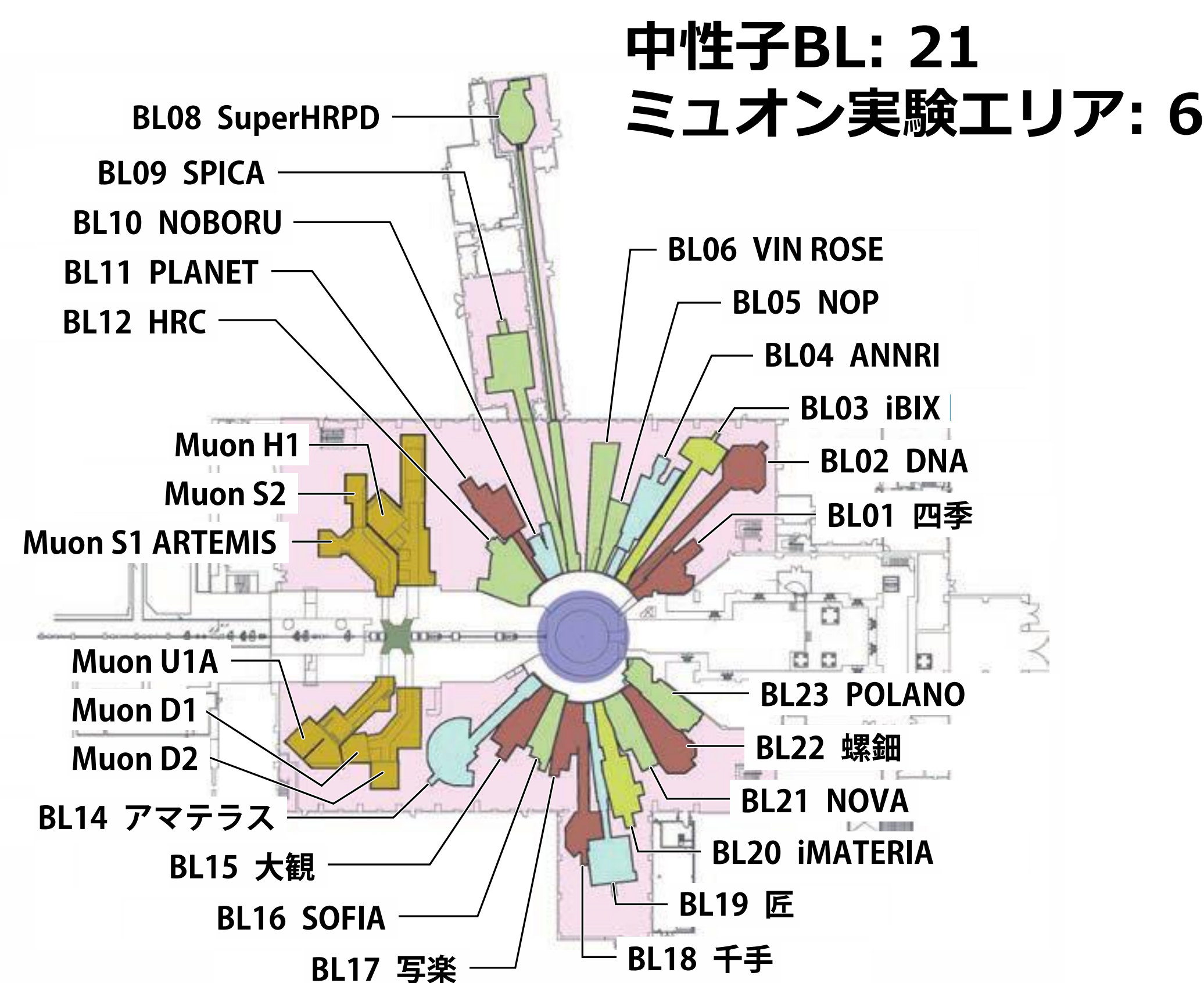


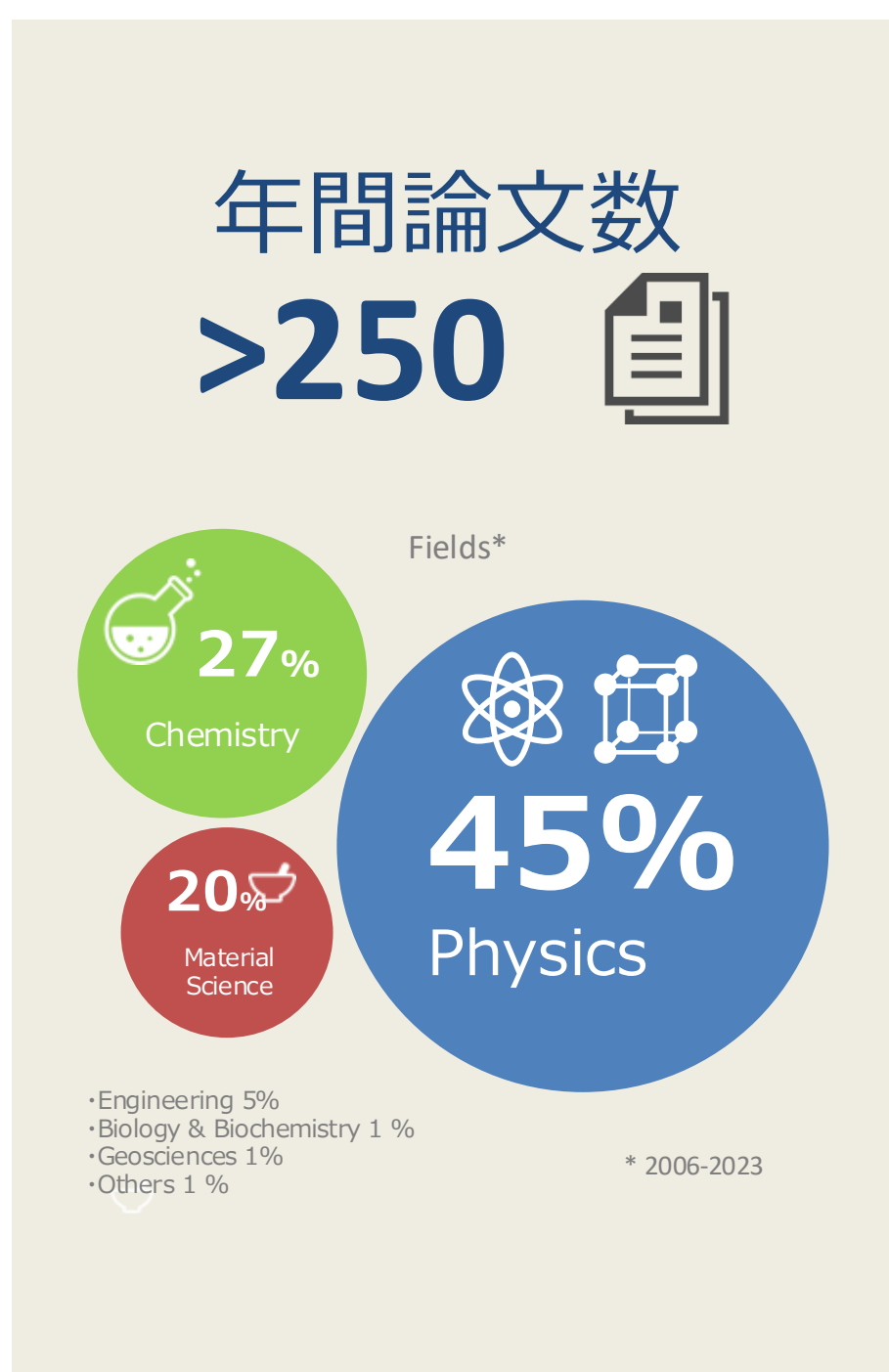
J-PARC 物質・生命科学実験施設における「水素」材料科学



物質・生命科学実験施設（MLF）概要



中性子BL: 21
ミュオン実験エリア: 6



中性子・ミュオンをプローブとして使う



軽元素が得意

中性子は水素やリチウムなど軽元素にも感度があります。また正ミュオンは水素の同位体として振る舞います。



磁性

中性子もミュオンも小さな磁石として振る舞うため物質の磁気的な性質を調べられます。



透過率が高い

中性子もミュオンも透過率が高く物質内部の情報を得られます。



動きを見る

中性子非弾性/準弾性散乱やμSRにより分子や原子のダイナミクスを調べられます。

MLFを利用した水素材料科学の成果例

水素添加によるステンレス鋼の強度・延性向上メカニズム

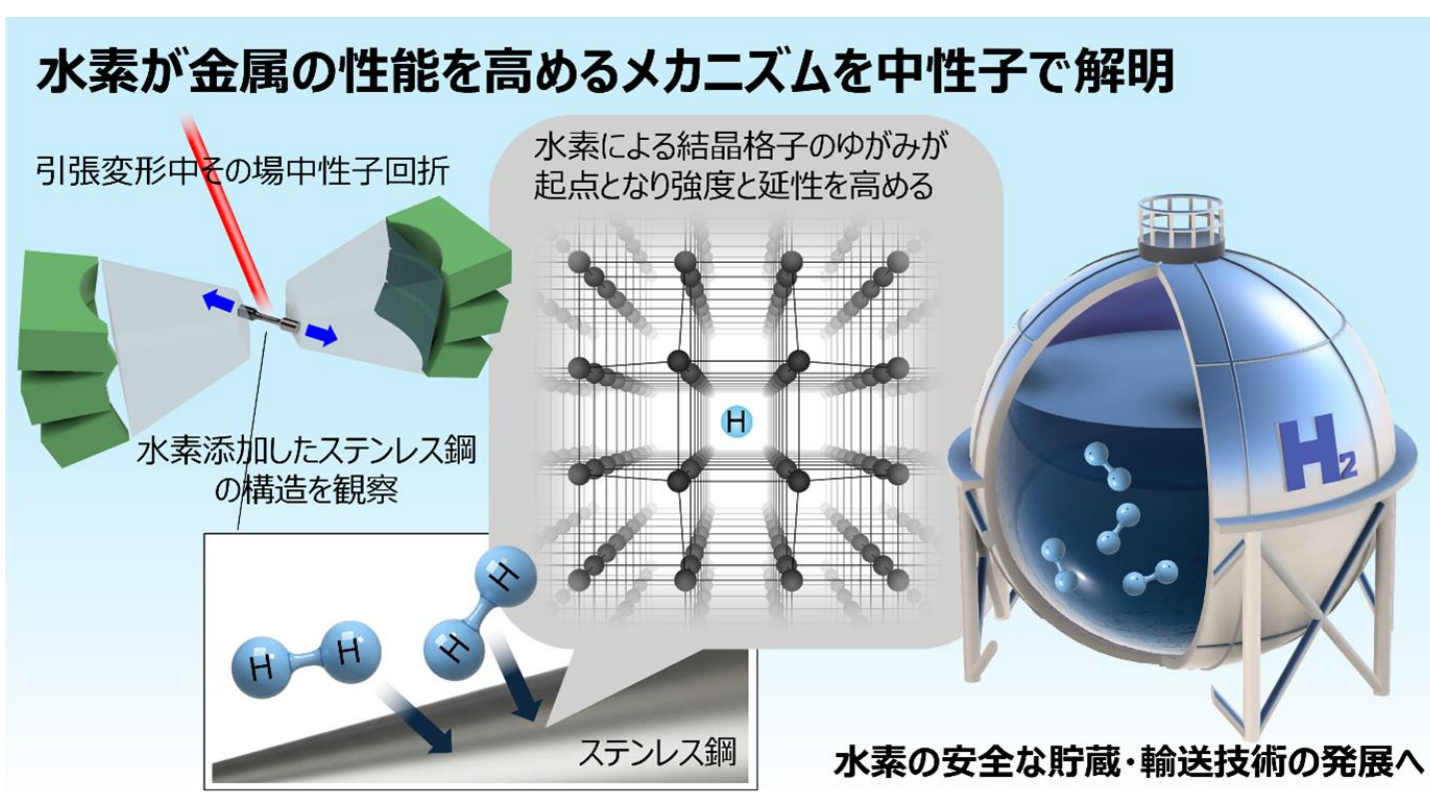
- 水素に強い金属材料を開発し、より安全な水素社会を目指す -

BL09

水素は金属を脆化させる要因とされてきたが、特定のステンレス鋼においては水素添加により強度と延性が向上する現象が報告された。この現象の仕組みを解明するため、工学材料回折装置「匠」において引張試験中その場中性子回折実験を行った。

回折パターンを解析した結果、水素が格子間に侵入することで結晶格子が膨張し、転位の運動が抑制されて強度が増す「固溶強化」が生じることが示された。さらに、固溶強化によって変形中の応力が高まり、より小さなひずみで変形双晶が形成され始めるため、これが延性の向上につながっていると考えられる。

Ito et al., Acta Materialia (2025)
10.1016/j.actamat.2025.120767



高圧下における鉄中への水素の取り込み

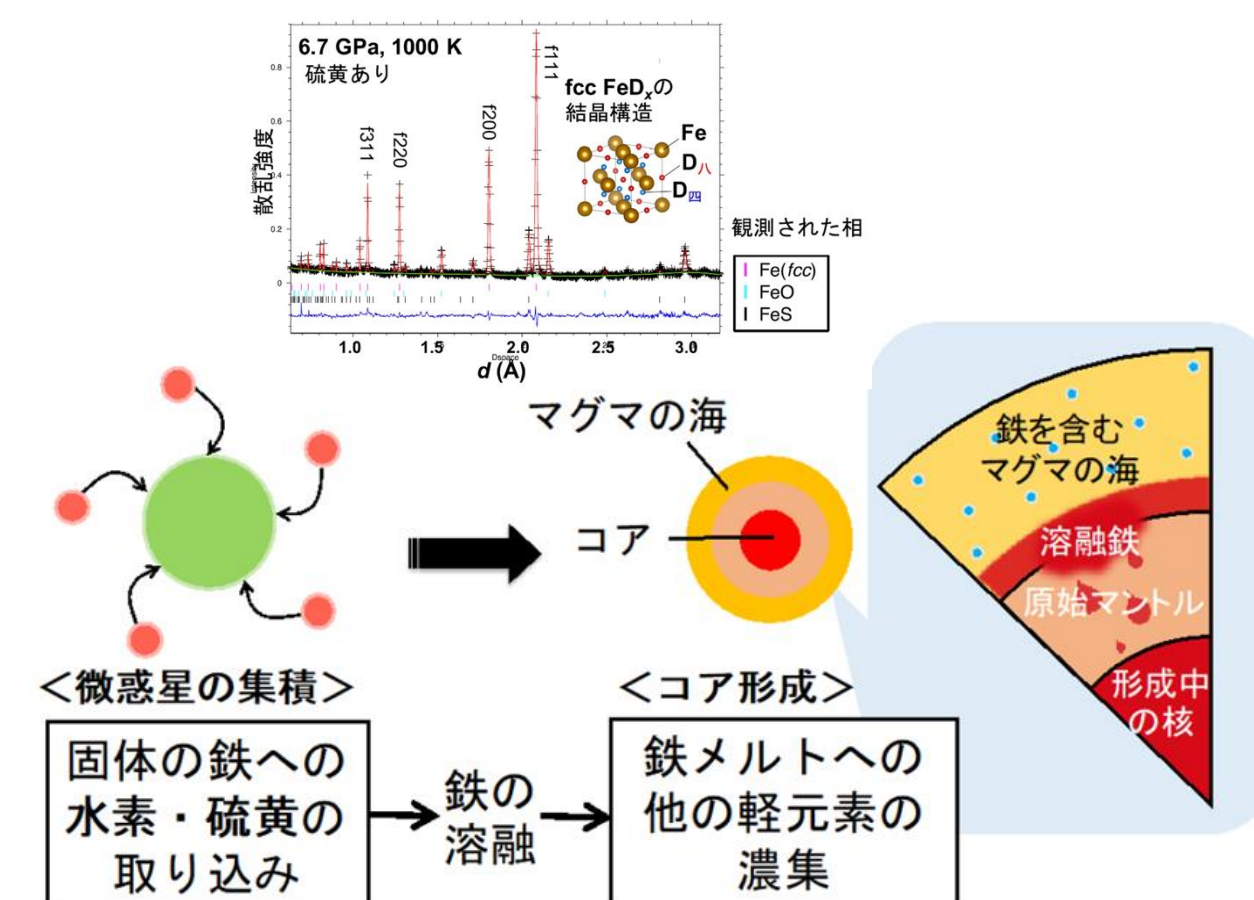
- 地球核形成時の模擬実験による核に取り込まれる軽元素の理解 -

BL11

原始地球の組成を見立てた試料について高温高圧下でのその場中性子回折実験を行い、鉄の水素化に及ぼす硫黄の影響を明らかにした。

その結果、硫黄を含んだ試料では、硫黄を含まない試料に比べて少ないことが明らかになった。原始地球では始源物質が累積していく初期段階で、水素は固体の鉄へと優先的に溶け込み、水素化鉄と硫化鉄の共存によって鉄の融点を大幅に下げ、より低い温度で融けやすくなったことで核が形成されたと考えられる。

Iizuka et al., Sci. Report (2021)
10.1038/s41598-021-91801-3



燃料電池内部の生成水の中性子イメージング

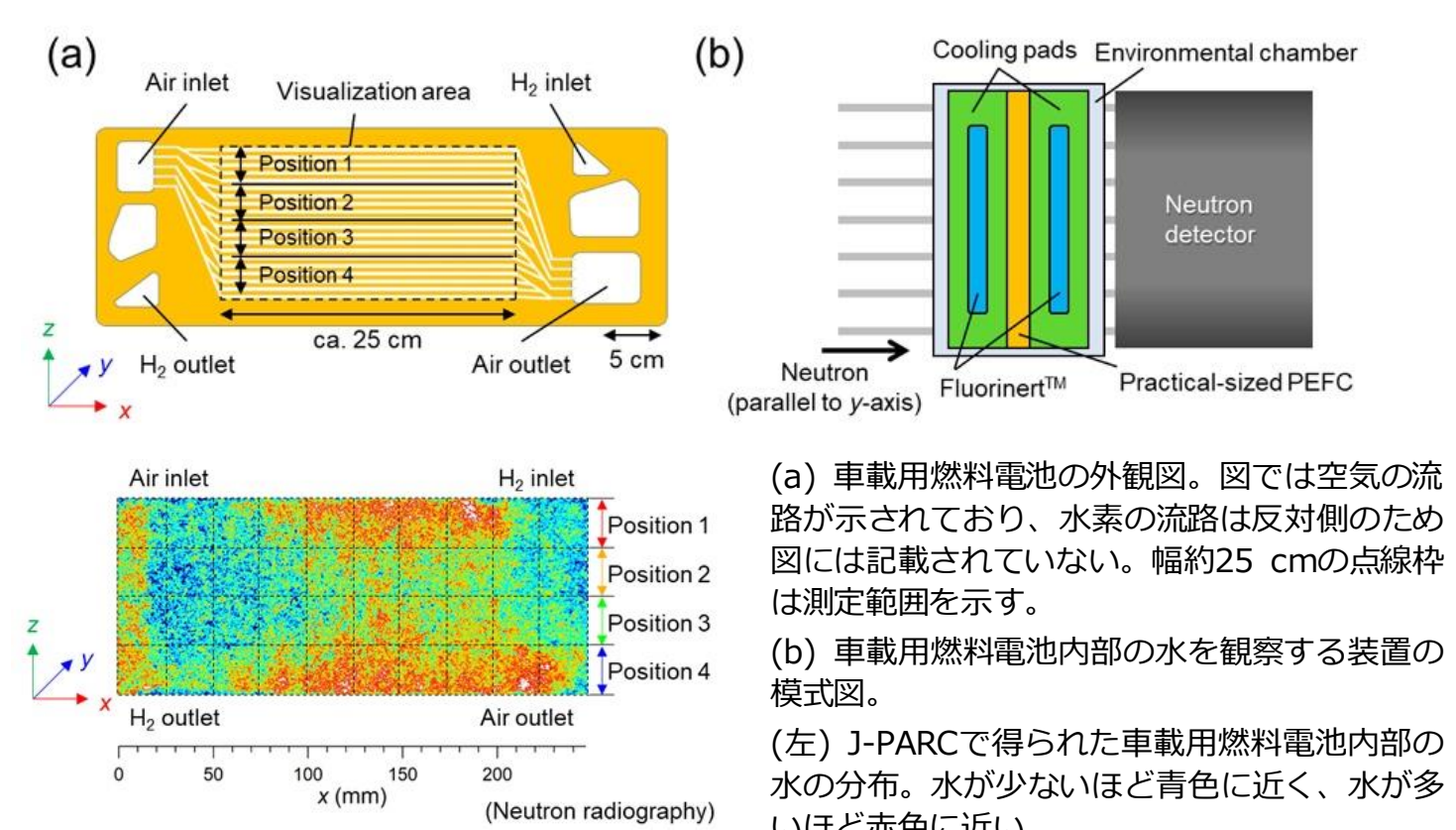
- 発電性能の向上に大きく貢献-

BL22

燃料電池の発電性能の向上には、発電によって生成される「水」の管理が重要となる。水が燃料電池内部に滞留すると、電極への水素や酸素の供給が阻害され、発電性能が低下する恐れがあるため、燃料電池内での水の滞留・排出機構を理解する必要があった。

大面積パルス中性子ビームと大型環境模擬装置を組み合わせることで、車載用大型燃料電池内部の水を可視化する技術を開発した。発電中の車載燃料電池内部で水が滞留する様子を観察することが可能となり、流路の設計などに応用が期待される。

Yohimune et al., Energy Express (2023)
10.1021/acsenergylett.3c01096



アイオノマー膜のプロトン輸送と界面構造

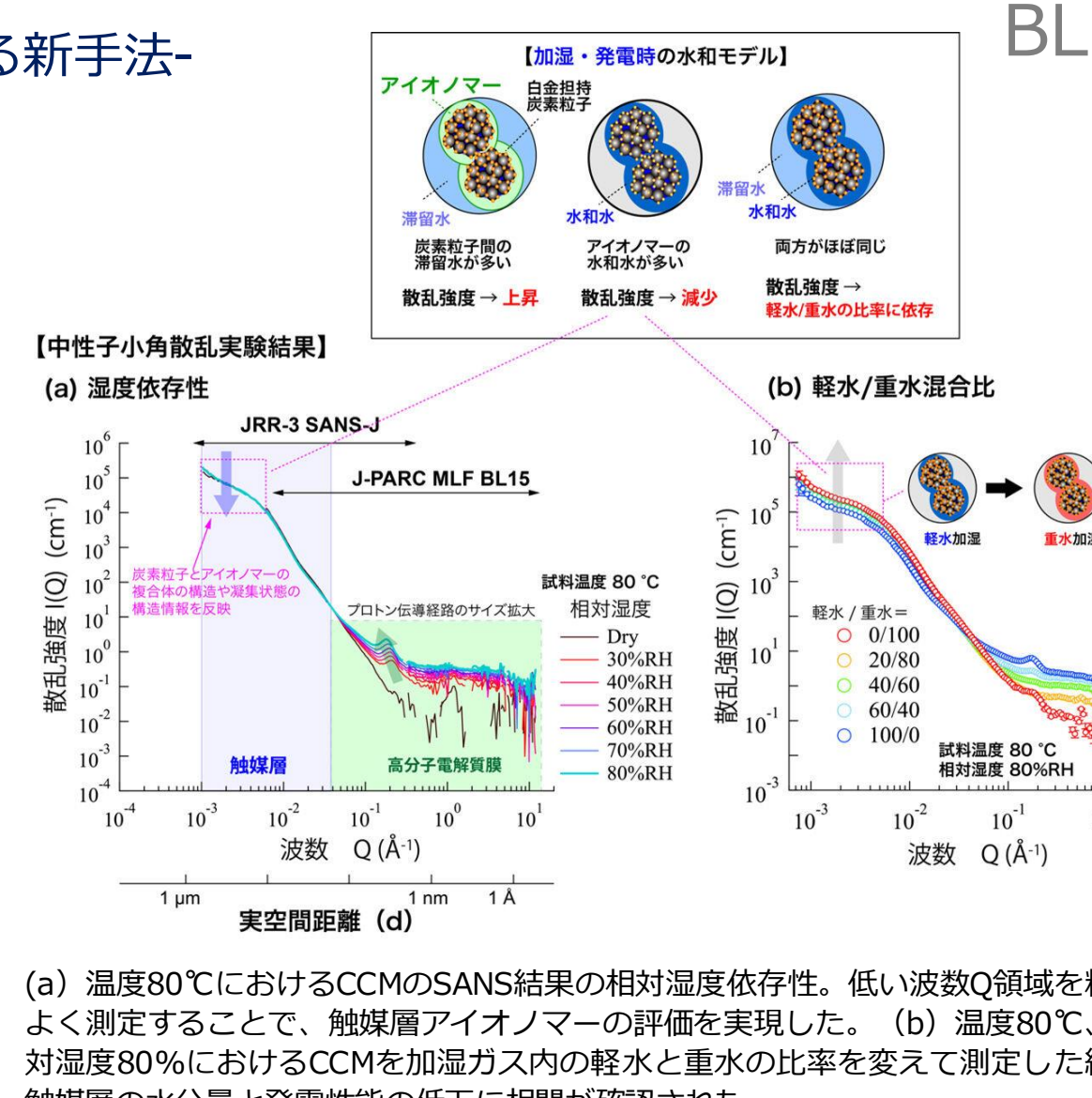
- 燃料電池触媒層内の“水”を定量的に評価する新手法-

BL15

燃料電池の発電特性は燃料電池内部の水の挙動と密接に関連しており、その制御は重要である。しかし、触媒層を構成するアイオノマー（イオン伝導性高分子）の中の水の挙動の理解は不十分だった。

本研究では、中性子小角散乱を利用して、燃料電池触媒層内のアイオノマーの含水率を数分で定量評価する手法を開発した。これにより、稼働中の含水状態の変化を高感度・短時間で可視化することが可能となった。

Iwase et al., Chemical Engineering J. (2025)
10.1016/j.cej.2025.161321



水素貯蔵材料 MgH₂中の水素状態のμSR観察

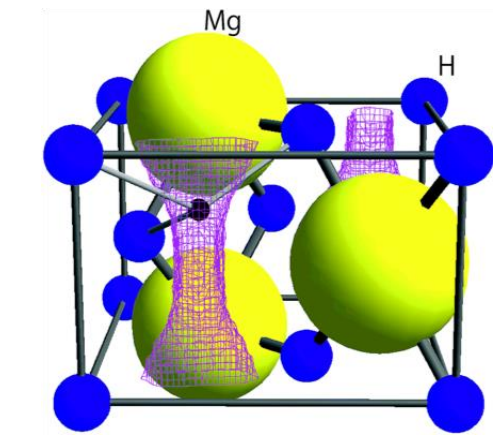
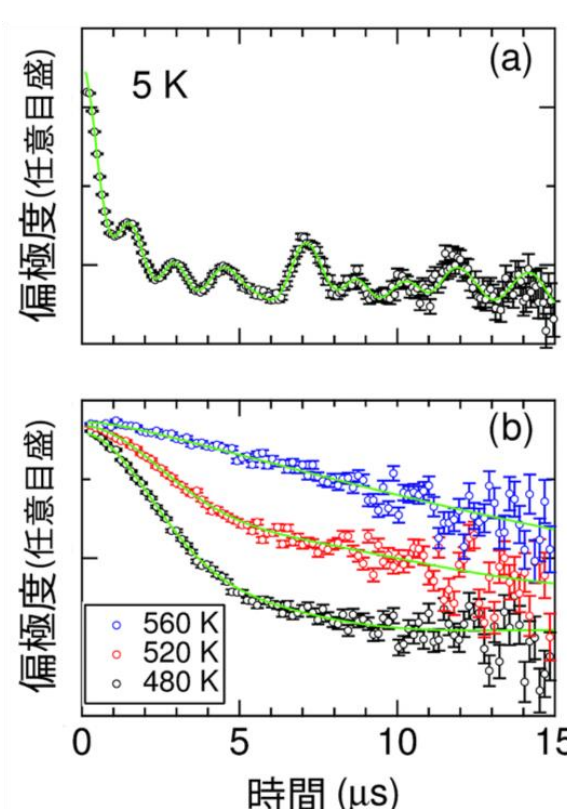
- 粉砕によるMgH₂水素脱離促進効果の微視的理解 -

D1

本研究では、粉砕加工の有無によって粒径の異なるMgH₂に対し、μSR測定と水素ガス圧力測定を組み合わせた「その場同時測定」を広い温度範囲で実施し、水素の局所状態と脱離挙動を調べた。

解析の結果、粉砕加工を施したMgH₂では、水素脱離温度よりもかなり低い温度から水素の拡散運動が活発化し、温度上昇とともにその運動がさらに促進されることが明らかになった。これにより、粉砕によって生じた表面や非結晶領域が水素拡散と脱離を促進し、水素脱離温度の低下につながるという微視的メカニズムが示唆された。

Sugiyama et al., Sustain. Energy Fuel. (2019)
10.1039/C8SE00568K



(上) MgH₂結晶と打ち込まれたミュオンの静止位置。黒い小さい球が、計算により予想されたミュオンの静止位置を表す。この位置でミュオンを感じる、水素の原子核がつくる内部磁場を測定することにより、水素の運動の様子を知ることができる。

低温(a)で見られた特徴的な振動パターンが高温(b)では見られず、水素の熱振動により、H-μ-HやH-μの結合体が安定に存在できなくなったことを示している。

MLFの利用相談はこちらへ



J-JOIN

中性子・ミュオン利用ポータルサイト

- ・J-PARC/JRR-3の特徴に合わせ基礎研究から産業利用まで幅広く対応
- ・有償随時課題の受付窓口
- ・コーディネーターが申請をアレンジ

