

MLF高度化の必要性

新規中性子実験装置BL13の必要性を中心に

2026年5月15日

J-PARCセンター 物質・生命科学ディビジョン

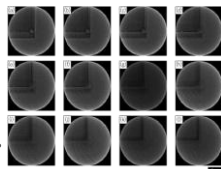
中村 充孝

中性子が貢献しうる戦略17分野

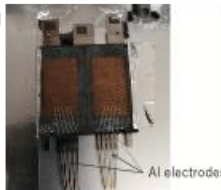
AI・半導体

- 反射率・偏極反射率・イメージングにより、半導体の埋もれた界面、磁化深さ分布、実装内部欠陥を非破壊で評価

⇒ 製品の内部欠損、製造プロセスの高度化、微細化に貢献



- 中性子を用いた3次元ラミノグラフィにより、パワー半導体中の100マイクロメートル程度の欠陥の観測が可能であることを実証済み



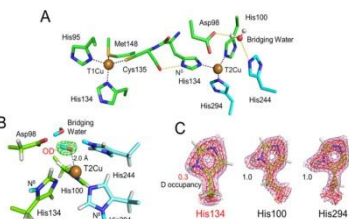
● Copper ● Lead-free solder
● Si semiconductor ● Mold resin

創薬・先端医療、合成生物学・バイオ

- SANS・反射率・イメージング・中性子結晶構造解析により、タンパク質中の水素原子位置、プロトン化状態、水和構造を決定

⇒ 中性子は、合成生物学・バイオにおいて、酵素反応の水素移動、複合体構造、膜中の配置を明らかにする基盤計測技術である。

- 合成生物学で重要な酵素改変・機能設計では、反応の鍵になる水素移動を見られる



Kono et al., Biophys Physicobiol. 2022

量子

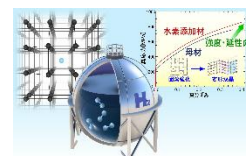
- 非弾性散乱・偏極中性子により、量子磁性・スピン励起・ヘテロ界面の主力手法

⇒ 中性子散乱は、量子分野において、量子材料の磁気構造、スピン励起、分枝化励起、さらには量子相関・エンタングルメントの実験的評価を可能にする基盤計測技術である。特に量子磁性体、スピン液体候補、トポロジカル磁性体、量子ビット候補材料では、性能や新奇性を決める微視的自由度が磁氣的であることが多く、中性子はその直接観測手段として国際競争力の中核を担う

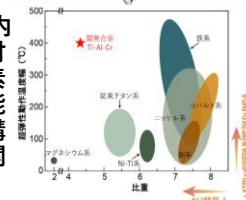
- 新奇材料、量子デバイスとして期待されているスピントロニクスやトポロジカル材料などの実現に向け、散乱・偏極などの技術に注目

マテリアル (重要鉱物・部素材)

- 散乱・回折・非弾性散乱により、永久磁石、合金、複合材、軽元素・磁性・欠陥を同時に追える



⇒ 金属などの材料内部の構造の解明、材料内部における水素などの軽元素の機能発現の解明、内部構造と機能発現の解明に貢献



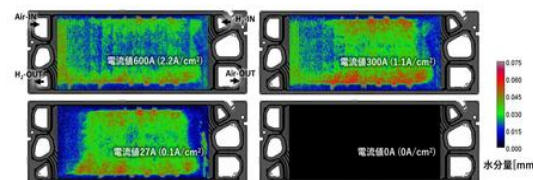
- 水素社会の実現に不可欠な水素脆化を起こさない新しい鋼材の開発や、極低温の宇宙空間、液体水素環境など、宇宙開発や水素社会の発展に期待

資源・エネルギー安全保障・GX

- 散乱・回折・オペランドにより、水素・電池・燃料電池・グリーン鉄で軽元素と拡散を直接評価

⇒ 燃料電池などの電池類の開発・実用に貢献、さらなる高性能化・低コスト化に期待

- 実際に車載される燃料電池中の水の挙動などを燃料電池を実際稼働(発電)させながらリアルタイムで観察



フュージョンエネルギー

- 回折・散乱・イメージングにより、照射損傷・トリチウム/水素保持・構造材料の内部応力を評価

⇒ フュージョン分野では、核融合炉の成立を左右する課題が「中性子損傷」「異材接合の内部応力」「He/H欠陥」「トリチウム保持・増殖」に集中しているため中性子が有用である。中性子回折・イメージング・SANSは、ダイバータやブランケットの内部構造・内部応力・ナノ欠陥を非破壊で評価でき、ITER/DEMO材料開発に直結

- ダイバータや第一壁では、WとCuのような異材接合が不可欠であることがIAEAの技術文書に記載 IAEA-TECDOC-1545

- ミュオン粒子が媒介となって起きるミュオン触媒核融合に大きく貢献できる見込み

⇒ 重水素の高温プラズマを必要としないミュオン触媒核融合においてミュオン粒子入射器として貢献

防衛産業

造船

航空・宇宙

海洋

- **マテリアル分野への関連**：残留応力、腐食、水分侵入、水素脆化、接合部劣化など「大型構造物の非破壊内部評価」などの技術で貢献

防災・国土強靱化

港湾ロジスティクス

- **マテリアル分野への関連**：厚板溶接、老朽インフラ、耐震・耐久、遠隔機械の構造信頼性など「大型構造物の非破壊内部評価」などの技術で貢献

- コンクリート・土壌における水の浸透など、長期間にわたる変質・劣化、自然災害発生時などの被害拡大のメカニズムの把握など、「軽元素の可視化技術」などの技術で貢献

- ミュオンの透過力に基づく、内部物質透視技術により、コンテナ等の内部にある危険物質の発見などにおいて貢献

フードテック

- **合成生物学・バイオへの関連**：植物の水輸送、根圏、含水分布、装置材料の耐久評価、油脂中の水素の結合など分子の経時・温度変化の分析により貢献

新規装置BL13が必要とされる戦略分野

BL13はマイクロメータ領域に現れる観測対象をターゲットとする



創薬・先端医療

薬物キャリアや人工組織
材料の階層構造



航空・宇宙

複合材の微小損傷と多孔材
の熱輸送構造
接着/接合部の亀裂・剥離



フードテック

脂肪球の凝集や粉体分散、
代替肉の繊維構造



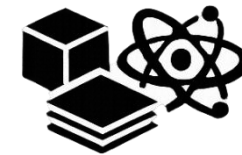
防災・国土強靱化

材料劣化やコンクリート内部の浸食構
造、土壌への透水メカニズム
構造物の水素脆化（水素凝集・偏析）



資源・エネルギー安全保障・GX

燃料電池・電池材料・多孔体の
構造、金属Li析出



マテリアル

複合材料や3Dプリント材内部の
ひずみ・欠陥分布

※ 過去に相談を受けたものの「既存装置では実現不可」として断ったテーマ

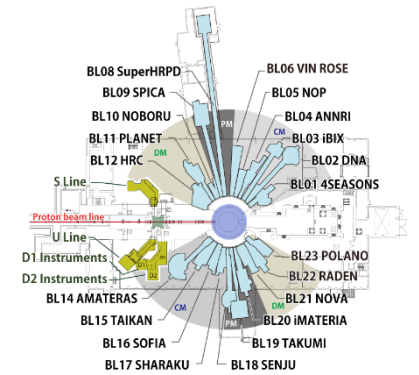
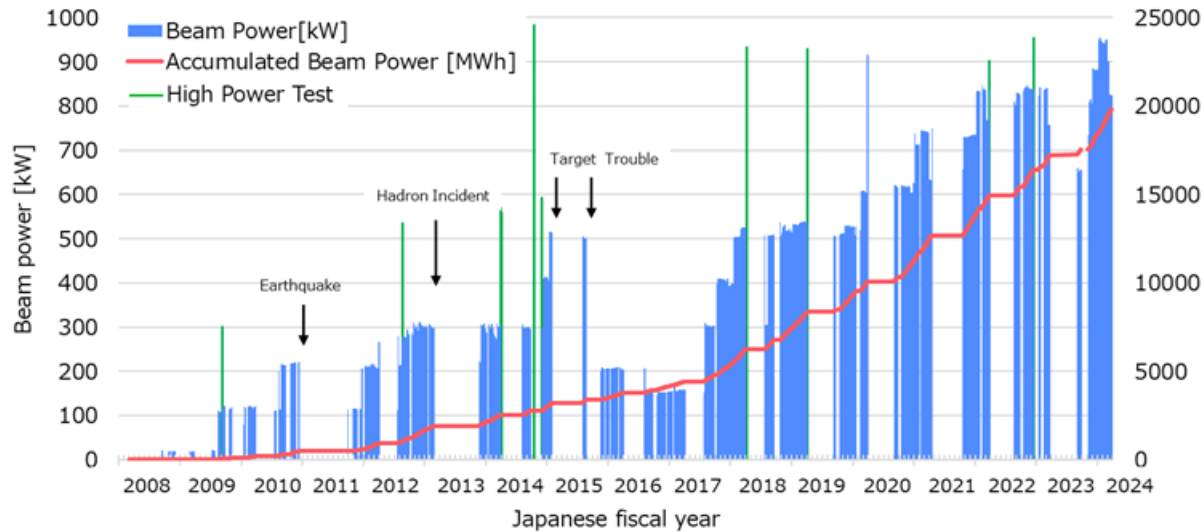
※ 過去に実験を実施したものの目標達成できなかったテーマ

- マイクロメータ領域は従来の中性子実験装置ではアクセスできなかった
= 中性子の特徴を活かした観測・測定が未開拓の領域

MLF高度化計画におけるBL13の位置付け



2008年：ファーストビーム
2024年：1MW安定運転達成



2026年5月現在：
21台の中性子実験装置が運用中
空きポート：BL07(PM)
BL13(CM)

○ 1MW安定運転達成時、すでに実験装置の老朽化が進行
→ 2025年度より **MLF-double** をスタート

※ MLF-doubleでの問い：我々は既存施設のポテンシャルを最大限に活かしているか？

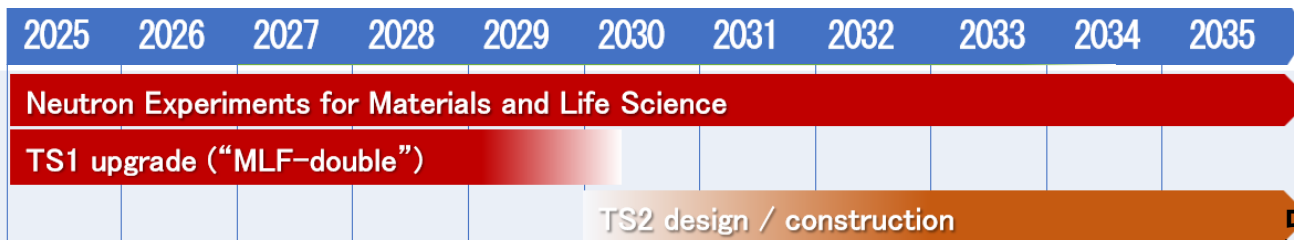
➤ 実績：大面積検出器@BL18、高速T0チョッパー@BL15
MLF高度化推進室 発足、データサイエンスセクション 発足、他

➤ 計画進行中：中性子輸送系更新@BL14、
高速T0チョッパー@BL11、他



MLF-double 最優先課題：
新規中性子実験装置BL13の建設

MLF
物質・生命科学
実験施設



今なぜBL13が必要か ～ 国家戦略

第7期科学技術・イノベーション基本計画（2026-2030）

第7期計画に貢献するには2029年までにBL13の完成・供用が必要

「科学とビジネスの近接化」

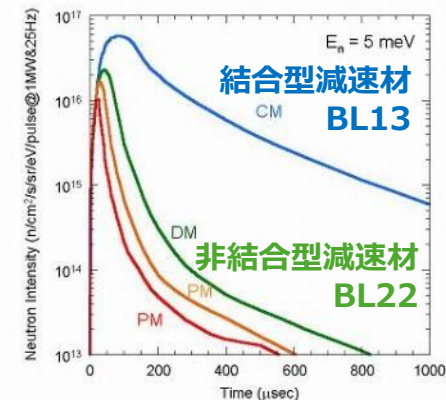
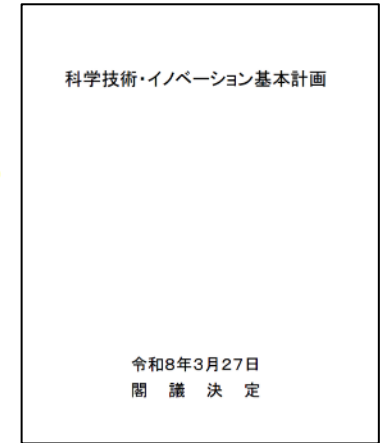
基礎研究の段階から社会実装を見据えた研究開発が同時並行的に進行

- 学術利用 or 産業利用 の色分けはほぼ無意味になりつつある
- 成果創出に至るスピード、つまり、**即戦力**装置が求められている

BL13こそが今求められている装置

- + MLF最強のビームフラックス（結合型減速材）を利用
- + すでに学術利用・産業利用双方で実績のあるイメージング&SANSの二刀流装置

BL13では、最新技術を取り込むと同時に、既存装置の問題点と反省点をカバーすることでさらに機能を強化する



今なぜBL13が必要か ～ 産業ロードマップ

多くの産業ロードマップが2030年頃を「実証から社会実装への転換点」と位置付け

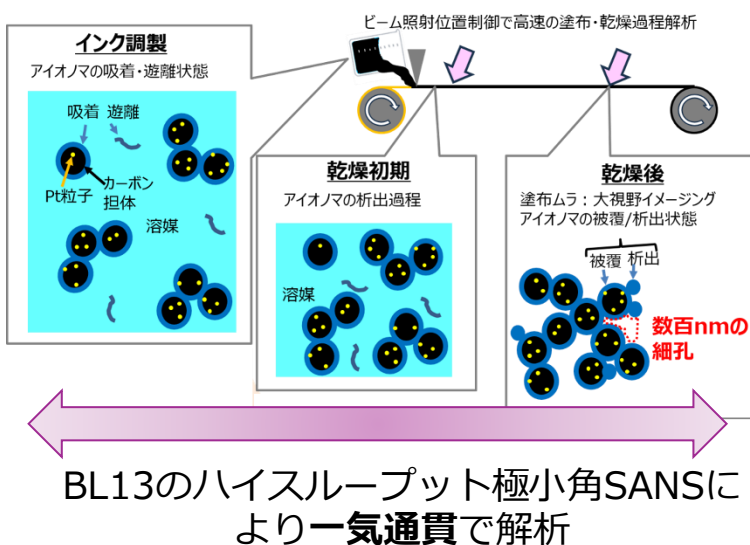
我が国はJ-PARCとSPring-8を有する強みを最大限に活かして競争を勝ち抜く

- GX実現に向けた基本方針（2023年2月）
次世代革新炉、水素・アンモニア、核融合発電、CO2回収・貯留、その他
- 水素・燃料電池戦略ロードマップ（2014年6月、2019年3月改訂）
→ 燃料電池・水素技術開発ロードマップ（2025年3月）

鉄鋼：2030年度に粗鋼トンあたり石炭使用量原単位の2013年比2%減
化学：2030年度に石炭使用の2013年比3割減 or 調達電気の非化石比率59%
紙パルプ：2030年度に石炭使用の2013年比3割減 or 調達電気の非化石比率59%
セメント：2030年度に焼成工程の非化石比率28% / 廃コンクリートの回収・流通のための環境整備

<https://www.meti.go.jp/press/2025/12/20251226003/20251226003-1.pdf>（2025年12月）

BL13に求められる水素・燃料電池戦略ロードマップへの貢献 I ～ 製造プロセス解析



触媒インク = 触媒粒子とアイオノマの分散液
→ プロセス毎に分散構造が変化している

微細構造の最適化が課題

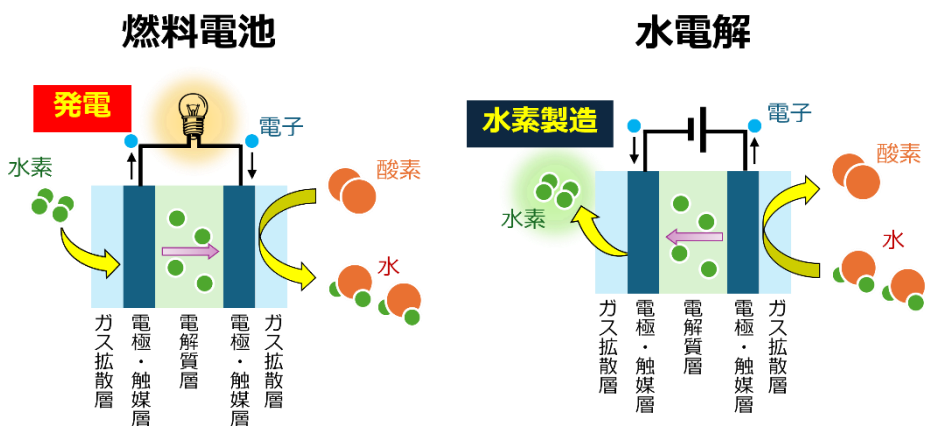
カンやコツに頼った試行錯誤、各種組み合わせ総当たり（膨大な費用と時間）
→ BL13によるハイスループット極小角SANS測定により最適化を実現

- ✓ 製造プロセス研究の重要性は**米国・中国がすでに指摘しているが、量子ビームによるin-situ製造プロセス解析に取り組んでいるのは日本のみ**

今なぜBL13が必要か ～ 産業ロードマップ

我が国はJ-PARCとSPring-8を有する強みを最大限に活かして競争を勝ち抜く

BL13に求められる水素・燃料電池戦略ロードマップへの貢献 II ～ 水電解セル中の気泡解析



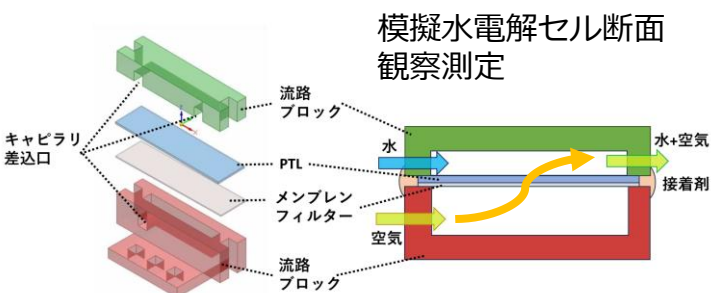
○ 水電解

「気泡」の制御は、水電解装置の効率を左右する
想定される気泡発生箇所 = 電極・触媒層内、ガス拡散層内
触媒層/ガス拡散層 界面

気泡がもたらす悪影響

- ・ 電極の有効面積減少による抵抗増大
- ・ 物質移動をブロック
- ・ 気泡の離脱時の衝撃による電極・触媒層の劣化

※ BL22 RADENでの気泡分布観察例



✓ BL22 RADENでは、流路に気泡が詰まっている様子の観察に成功しているが、ガス拡散層中の気泡は見えない

→ BL13で空間分解能10um以下を達成し、ガス拡散層中の気泡観察に挑戦する

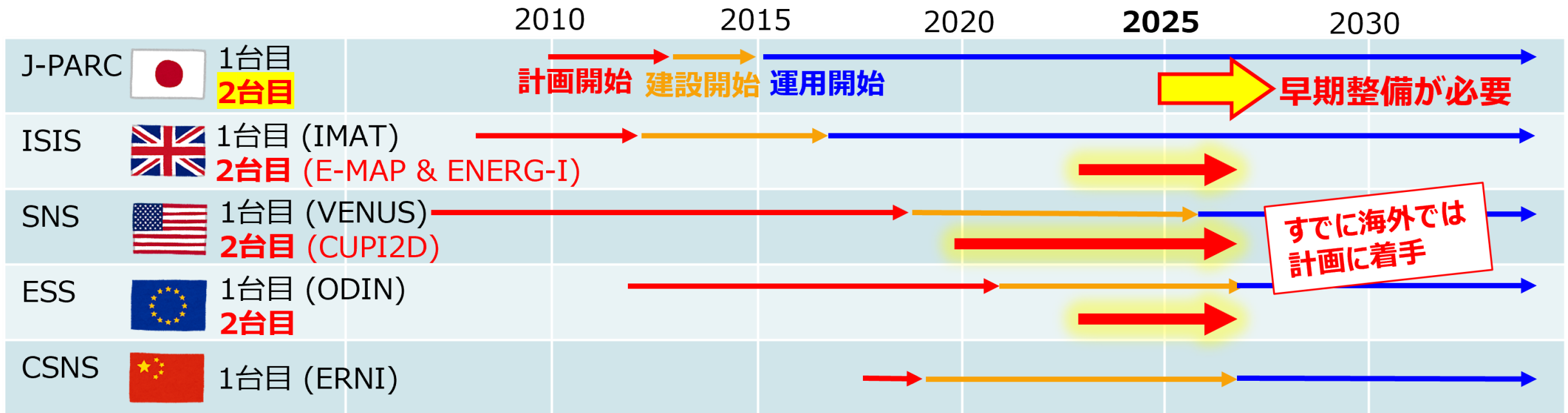
空気を送り込んで
ガス拡散層→流路→セル外の様子を観察

※出典：第15回 FC-Cubic*オープンシンポジウム発表資料より（2024年11月1日 豊田中央研究所・長井様）

*FC-Cubic: 固体高分子形燃料電池（PEFC）の研究開発を支える共通基盤技術の構築と高度化を目的として設立された一般社団法人
主要な参画企業・団体：トヨタ自動車、本田技研、東芝、山梨大学 等

今なぜBL13が必要か ～ 国際競争

パルス中性子イメージング装置の開発競争



○ なぜ、世界中がこぞって中性子イメージング装置を作ろうとしているのか？

→ 単なる施設間の競争ではなく、**自国の産業を下支えする国際競争力強化**を意識

→ 2030年頃までには各国の新規イメージング装置が出揃う

今なぜBL13が必要か ～ 国際競争

極小角SANS装置の開発競争

○ 国内の状況：

PNO@JRR3が稼働中 測定時間の長さがネックとなり多数のユーザーが海外装置へ流出

- ・海外に行けず、実験そのものをあきらめたユーザーも
- ・ユーザーのみならず技術や知見も流出（経済安全保障上の問題）

→ BL13の実現により測定時間は**1/20**程度に短縮 国内ユーザーの呼び戻しが可能に

○ 海外の稼働装置：

パルス施設：Larmor@ISIS(英国) 稼働中 $d_{max} \sim 38\mu\text{m}$ 世界最高性能

→ BL13 の目標値 $d_{max} \sim 50\mu\text{m}$

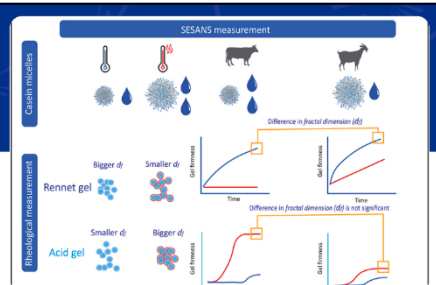
定常炉施設：SESANS@TU Delft (独国) 稼働中 $d_{max} \sim 16\mu\text{m}$

SESANS@CMRR (中国) 計画中 $d_{max} \sim 30\mu\text{m}$ (目標値)

Revealing the structure of cow and goat milk proteins

19 Feb 2026 - Peter Hurrell

For the first time, researchers from Wageningen University and Research and Eindhoven University of Technology, in the Netherlands, and scientists at the ISIS Neutron and Muon Source, have used spin echo small angle neutron scattering (SESANS) to examine the structure of the protein casein in heated and unheated milk from cows and goats.



<https://www.isis.stfc.ac.uk/science-highlights/revealing-the-structure-of-cow-and-goat-milk-proteins/>

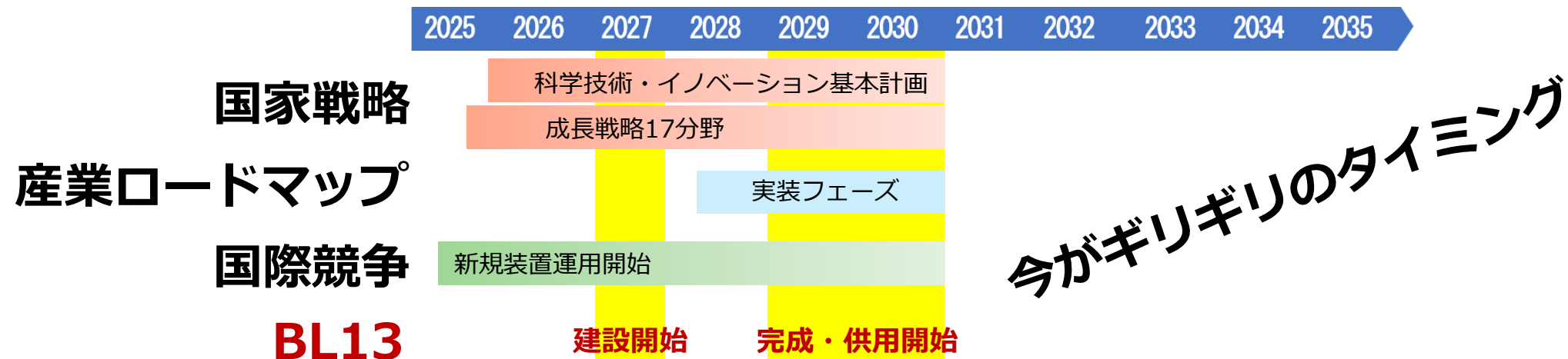
✓ Larmor@ISISから顕著な成果が出始めてきた
BL13 vs Larmor は線源勝負であり、強度で**10倍**の勝ち目

✓ BL13成功のキー：超電導Wollastonプリズムの開発
→ JRR3スタッフ（大学&JAEA）やKEKとの施設間連携により超電導マグネット開発を加速し、BL13 に実装

**世界最高性能のハイスループット極小角SANS装置
を実用化するのがBL13**

まとめ

- 2029年は、国家戦略・産業ロードマップ・国際競争の三つの波が重なる唯一の年であり、このタイミングでBL13を稼働させることは、日本が次世代産業の国際競争で主導権を維持するための最低条件である。



參考資料

MLF既存装置で目標達成できなかった実例集

マテリアル

- タイヤのゴムの中の水の浸透、溝にできる液膜の厚さ評価（タイヤメーカー）
- スタッドレスタイヤと氷の接触部での氷の融解と水分分布（タイヤメーカー）
- ケーブル絶縁体の欠陥探査（電機メーカー）
- PCU（パワーコントロールユニット）素子内部の欠陥、応力分布（豊田中研）
- その他

資源・エネルギー安全保障・GX

- 電池内部のLi移動、金属Li析出（豊田中研、慶応大）
- 水電解セル中での気泡の発生挙動（豊田中研）
- 熱交換器金属配管中の冷媒の流動・気化挙動（関西大）
- その他

防災・国土強靱化

- 土壌中の透水、吸水メカニズム（岩手大）
- 金属中の水素の偏析、脆化の起点（九州大）
- その他

航空・宇宙

- 航空機部材の接着状態の評価、接合部の亀裂・剥離（機械メーカー）
- 隕石・鋳物中の水分分布（東北大、SPring-8）
- その他

フードテック

- 米粉パンの発酵過程（学術）
- その他

**BL13は多くのテーマで
現状を打破しうる**

「燃料電池・水素技術開発ロードマップ」において 中性子が貢献しうる技術課題の記載

p.104: 2.2.8 膜電極接合体 (MEA)

PEMWE での触媒層内における電子、プロトン、気相、液相の輸送メカニズムの解明はまだ不十分であり、PEFC でのメカニズム解明の取組も参考にした上で、輸送メカニズムに基づいて触媒層、MEA の構造を最適化するとともに、最適構造MEA の製造方法を検討する必要がある。

p.109: 2.2.12 多孔質輸送層 (PTL)

現状では、PTL 材料の濡れ性や空孔の構造や大きさの分布が気泡排出に及ぼす影響は十分に解明されていない。そのため、PTL 内の気泡排出メカニズムを解明し、排出メカニズムに基づいて構造を最適化するとともに、最適構造PTL の生産方法を検討する必要がある。

p.111: 2.2.14 評価解析・標準化

電極反応によって発生した水素、酸素は一度イオノマに溶存した後、気泡となると考えられる。溶存した物質が、触媒層、PTL のどの位置で気泡として発生するかなど、気泡発生メカニズムは解明されていない。

高度オペランド計測技術による気泡移動や気液二相流挙動の可視化技術と、気液二相流数値解析技術を連携することで、メカニズム解明や解析技術の精度向上を加速することが可能になる。