

「ユーザーフロントエンド」計画 by CROSS

2026年5月15日

CROSS中性子科学センター
柴山 充弘、 川北 至信

CROSS中性子科学センター

第一期（2011-2015年度） 自立した研究機関を目指してスタート

第二期（2016-2020年度） 中性子コミュニティに認められる機関に

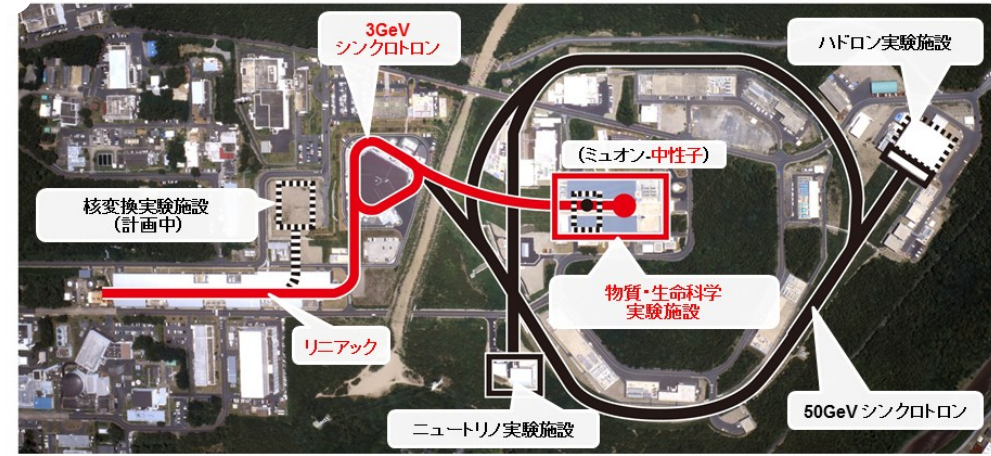
1. 財政改善と制度改革
2. J-PARC MLF 利用促進

第三期（2021-2025年度） MLFをトップレベルの国際研究拠点に

1. 組織間連携の促進による新規利用者獲得・新規利用分野への展開。
2. 1MW大強度中性子ビームの有効利用、ビームタイム利用効率の向上。
3. 新規成果指標の導入、優れた成果の迅速な発信。
4. 世界トップレベルの量子ビーム施設へ、世界中の研究者を施設へ。
5. 中性子科学の発展に貢献する人材の育成。

第四期（2026-2030年度） 中性子をもっと身近に。研究と産業に新たな推進力を。

- 4-1. 1MW大強度中性子ビームを活用した画期的な成果の創出と組織間連携による中性子利用の裾野拡大
- 4-2. AI、DXを活用した利用システムと実験・解析環境の充実
- 4-3. 産学官連携の推進による新たな産業的価値の創出
- 4-4. 中性子科学を先導する人材の育成



— 共用法における特定中性子線施設

J-PARCにおける特定中性子線施設(赤色部分)

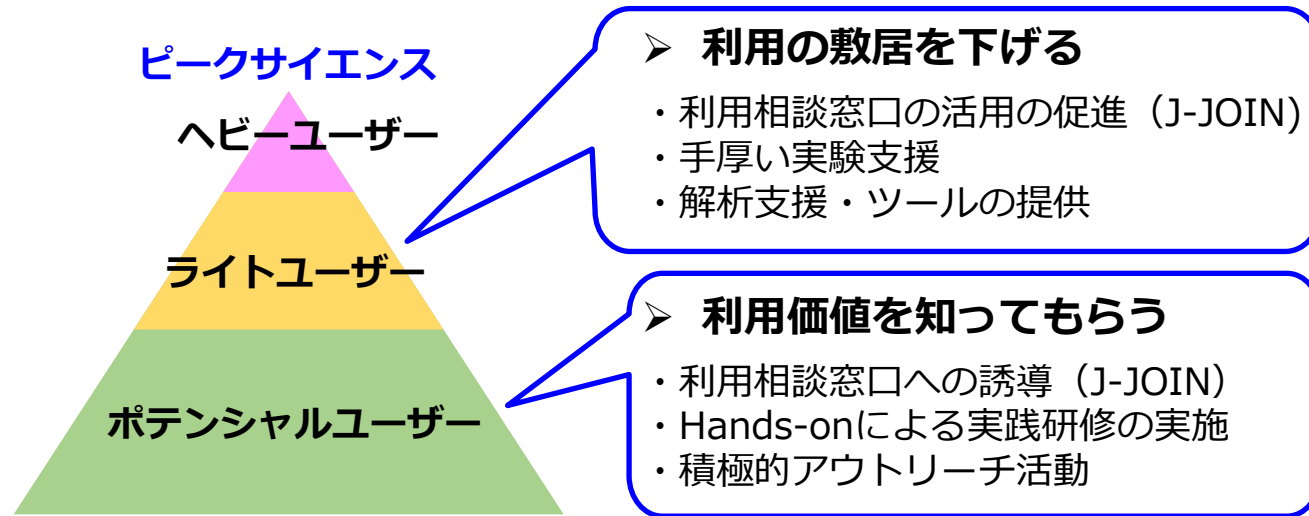
第4期に実現すべきこと

◆ 中性子利用の裾野拡大

ピークサイエンスに加えて、中性子利用の裾野を拡大し、幅広いユーザー層に利用を促進

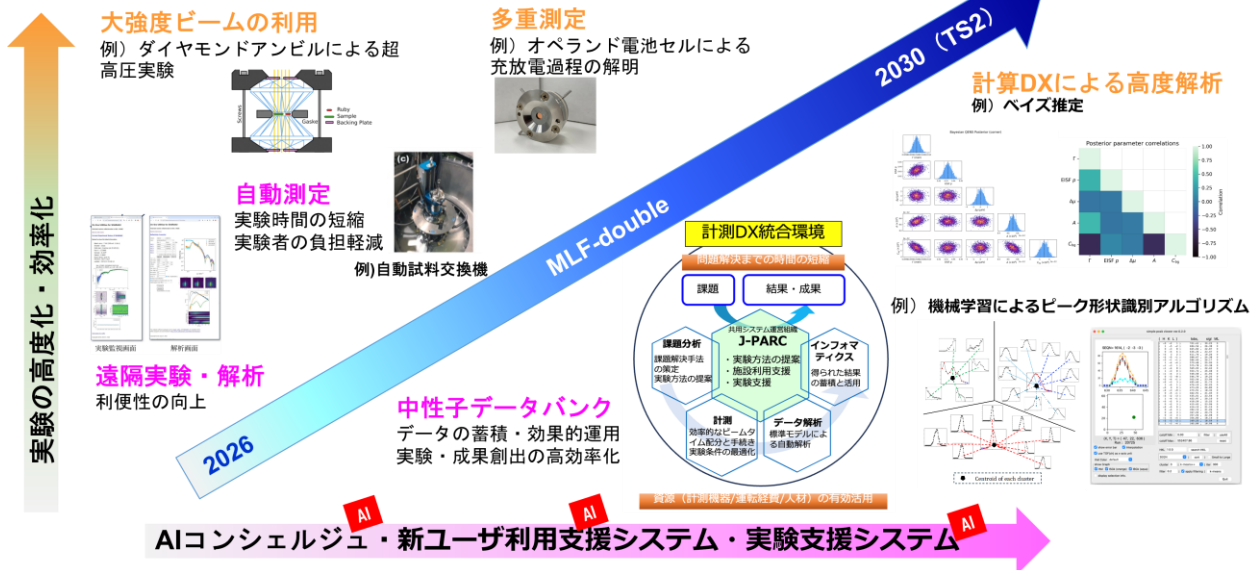


- ・ 利用相談窓口
- ・ 施設間連携：JRR-3, 小型中性子源



4-2. AI、DXを活用した利用システムと実験・解析環境の充実

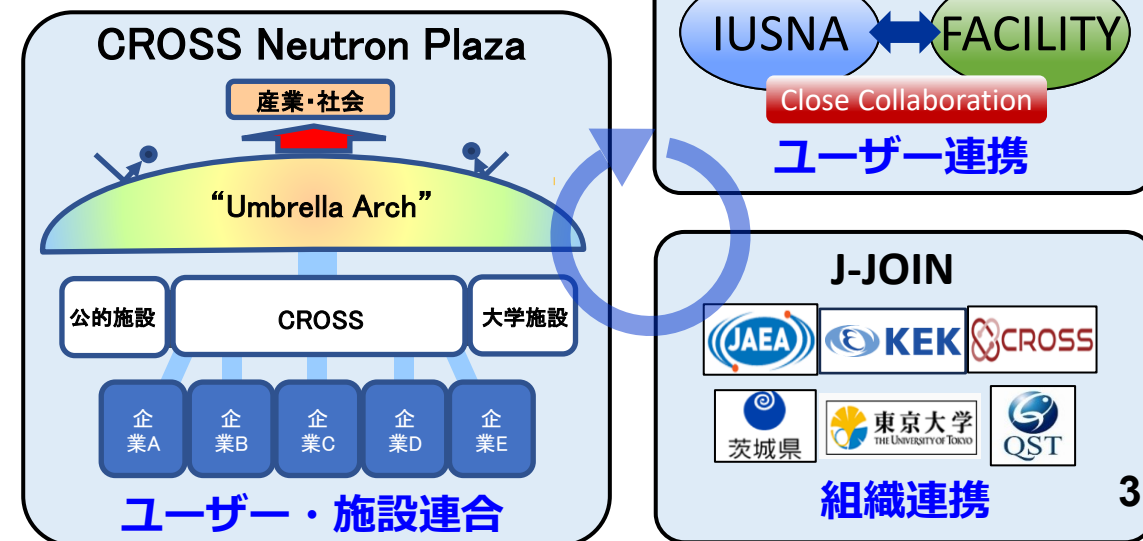
MLFにおける「AI for Science」の実現に向けて



4-3. 産学官連携の推進による新たな産業的価値の創出

重点取組

- ・ 大強度中性子ビームを活かした産業利用の推進
- ・ 組織間連携による活動領域の拡大



第4期に実現すべきこと

◆ 中性子利用の裾野拡大

ピークサイエンスに加えて、中性子利用の裾野を拡大し、幅広いユーザー層に利用を促進



- ・ 利用相談窓口
- ・ 施設間連携：JRR-3, 小型中性子源

ピークサイエンス
ライトユーザー
ポテンシャルユーザー
ポテンシャルユーザーへのアプローチ

- の敷居を下げる
- ・ 利用相談窓口の活用促進 (J-JOIN)
 - ・ 手厚い実験支援
 - ・ 解析支援・ツールの提供

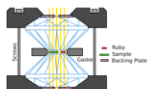
- 利用価値を知ってもらう
- ・ 利用相談窓口への誘導 (J-JOIN)
 - ・ Hands-onによる実践研修の実施
 - ・ 積極的アウトリーチ活動

4-2. AI、DXを活用した利用システムと実験・解析環境の充実

MLFにおける「AI for Science」の実現に向けて

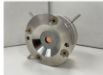
大強度ビームの利用

例) ダイヤモンドアンビルによる超高压実験



多重測定

例) オペランド電池セルによる充放電過程の解明



自動測定

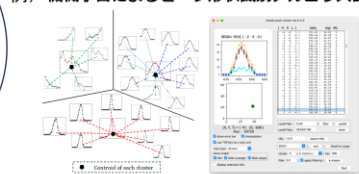
実験時間の短縮
実験者の負担軽減



中性子データバンク
データの蓄積・効果的運用
実験・成果創出の高効率化



例) 機械学習によるピーク形状識別アルゴリズム

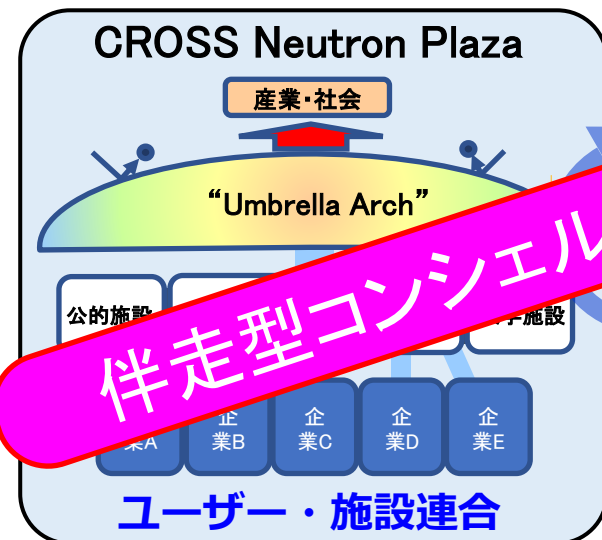


AI コンシェルジュ・新ユーザ利用支援システム・実験支援システム

4-3. 産学官連携の推進による新たな産業的価値の創出

重点取組

- ・ 大強度中性子ビームを活かした産業利用の推進
- ・ 組織間連携による活動領域の拡大



伴走型コンシェルジュの実践

量子ビームにおける「AI for Science」の実現に向けて

背景および解決すべき課題

利用者の課題の捕捉、その解決方法の提案、実験実施、成果創出に至るプロセスに多くの手間と時間がかかり、利用者、施設側双方の負担。MLFの**高度計測環境**からの**高品位の成果創出のボトルネック**となっている。

計測DX統合環境によるソリューション

AIや最新の情報科学手法を利用し、AIコンシェルジェ、利用支援システム、実験支援システム、利用相談から成果創出までの流れを統合的に支援する**計測DX統合環境**を5年程度で整備する。

- (1) 公開情報、非公開情報を含めた各種データの活用。
- (2) AIの利用による効率化。
- (3) 計算科学の応用による実験データ解析手法の高度化。



System A. AIコンシェルジェ

- 過去データを元に課題を分析し、解決方法を提案する
- 課題申請書の作成支援、申請支援
- 場合によっては、AIによる自動課題審査により、課題審査委員会を通さずにビームタイムを配分も



System B. 新ユーザ利用支援システム

- J-PARCが持つユーザ、課題、実験装置、試料環境、化学薬品などのデータベースを統合し、ワンストップで実験準備が整う環境を構築する
- ビームタイム管理機能により、ビームタイム配分の自動化と利用実績の集約を行う

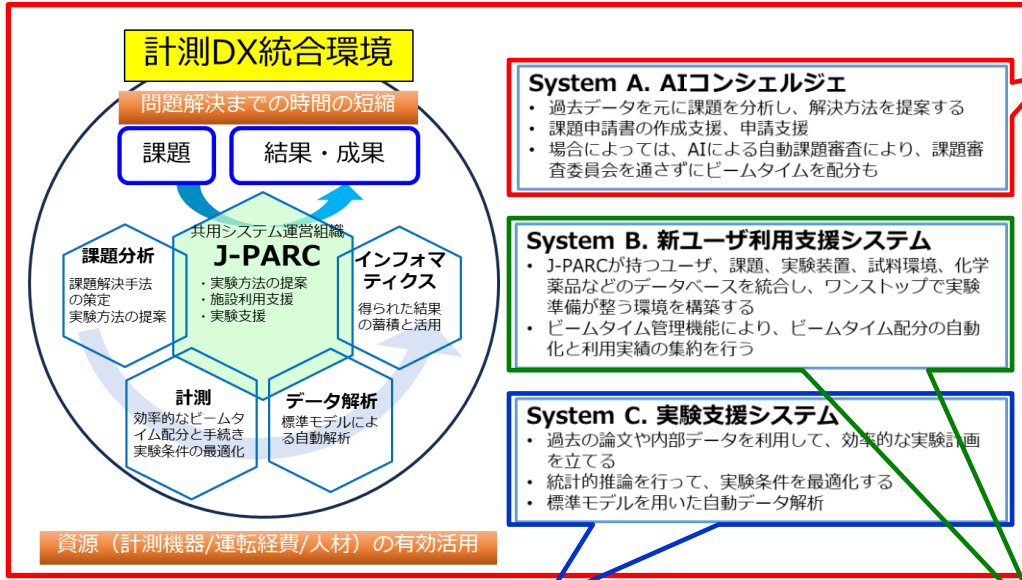
System C. 実験支援システム

- 過去の論文や内部データを利用して、効率的な実験計画を立てる
- 統計的推論を行って、実験条件を最適化する
- 標準モデルを用いた自動データ解析



共用BLでテスト導入して、システム構築を先導する

J-PARC・計測DX統合環境



System A. AIコンサルジェ

- 過去データを元に課題を分析し、解決方法を提案する
- 課題申請書の作成支援、申請支援
- 場合によっては、AIによる自動課題審査により、課題審査委員会を通さずにチームタイムを配分も

System B. 新ユーザ利用支援システム

- J-PARCが持つユーザ、課題、実験装置、試料環境、化学薬品などのデータベースを統合し、ワンストップで実験準備が整う環境を構築する
- チームタイム管理機能により、チームタイム配分の自動化と利用実績の集約を行う

System C. 実験支援システム

- 過去の論文や内部データを利用して、効率的な実験計画を立てる
- 統計的推論を行って、実験条件を最適化する
- 標準モデルを用いた自動データ解析

A ~ユーザーと課題をもれなく捕捉、誘導する~ DXで支援された新ユーザーフロントエンド

■ J-PARCとその研究者だけが蓄積している装置、実験手法、成果に関する膨大な知識、経験、ノウハウを基盤としたAIコンサルジェ

※利用するデータのガバナンスのマネジメントが課題（ユーザーの書類、出版社に権利のある成果論文等……）

【例】汎用のLLM(Notebook LM)を使ったアシスタント試作

BL02のLiイオン伝導研究例は？

以下に、ソースから確認研究例を材料系ごとに分します。

- 硫化物系固体電解質
 - Li₂P₂S₁₁ (電圧印加下)
 - LSPSCおよびLTPS
- 酸化物系固体電解質 (単)
 - ポリマー電ゲルネットワーク (LLZnNbO)
 - ペロブスカイト型 (La)
 - Aサイト欠損ペロブスカイト (NbO₃ (LLNBO))
- ポリマー電解質 (高濃度)
 - PEO-LITFSI系
 - PCL-LITFSI系
- 高濃度電解液 (液体)
 - LITFSA水溶液

実験に必要な試料は？

これらの指定のアイソノマの触媒層の実験報告書では、水のタイプミスを修正するために、資料の形態と量、及び触媒層の厚さを指定する必要があります。また、触媒層の厚さをセルへの封入方法が異なります。

- 試料の形態と調製方法
 - 触媒層 (CL) の形成: アイソノマの重量比 (W/C) が1.0 散放が使用されます。
 - 基板への塗布: この分散液を、触媒層として厚み 100 μm のセルに投入。
- 試料量の推定: 触媒層薄膜のジャイロイド構造高分子 H₂O または D₂O を約 9 wt% 取り除くことで約 80 mg 程度調整。
- ペブチド (Gly-Pro) の水溶液を厚さ 0.13 mm のペブチドセルに投入。
- 生体高分子 (KaiC) の溶液を凍結乾燥。

測定の解析方法は？

- データ処理と基本関数の取得
 - バックグラウンド・セルの差し引きと規格化;
 - 分解関数の取得;
- 動的構造因子 S(Q, E) のモデルフィッティング

$$S(Q, E) = [A_{00}(E) + A_{Stoic}L(E_{Stoic}, E)] + A_{Peak}L(E_{Peak}, E) \otimes R(Q, E) + BG$$
- 動的挙動の定量化と拡散機構の解析
 - 各成分の運動モード (回転、局所、並進拡散) や拡散のパラメータが定量的に導出
 - 拡散機構の特定
 - 水の存在比率の推定
 - 活性化エネルギーの算出

C ~『課題解決』への容易なアクセス~ DXを活用した自動実験、自動解析

■ J-PARCの持つ強固な基盤の元でのDX

- ・ストレージ基盤
- ・データ取得基盤
- ・データ集積系基盤
- ・装置制御系基盤
- ・装置、線源デジタルツイン基盤

【例】MLF DNA(BL02)での準弾性散乱実験データのベイズ統計解析の試行

■ 外部の統計専門家・AI専門家にないJ-PARC研究者の強み

- ・「実験」に関する専門知識
- ・データが『何か』を定義できるのは我々だけ

B ~ユーザーの始まりから終わりまで~ DXで統合された効率的な支援環境

■ J-PARC 18年間に渡るユーザー利用の知識、経験を基盤にした新システム

■ データ利活用（データ公開）システム開発、J-PARCユーザー利用システム改修と連携して実装

■ J-PARC内の知識、能力を集約するのみならず、他大学、研究機関、他施設、外部専門家らとの連携、協力により目的を達成する

量子ビームワンストップ窓口のメリット

解決したい課題を持ったポテンシャル・ユーザー 量子ビーム利用の経験のない研究者 にとって

バラバラな問合せ窓口
的を得た問合せは初心者には難しい

ユーザー

量子ビームで何が
できるか分からないのに、
どこにどのように聞けばよい
のか？

- J-PARC 窓口
- JRR-3 窓口
- 小型中性子源 (理研)
- 小型中性子源 (産総研)
- 小型中性子源 (北大)

一元化された問合せ窓口
まずはAIコンシェルジュ

ユーザー

課題解決にどんな手法があるの
だろう？
量子ビームでできることある
のかな？
どうやって利用するの？

AIコンシェルジュ

科研費の申請書書くのに、
このAI便利なんだよね

ワンストップ窓口
(内部で振り分け)

- J-PARC
- JRR-3
- 小型中性子源 (理研)
- 小型中性子源 (産総研)
- 小型中性子源 (北大)

伴走型コンシェルジュ (利用者支援) に
より実験準備期間を最短にし、
実験実施。
AIも活用した標準的なデータ解析
により、より早く成果まで導く。

成長戦略17分野の以下
のような分野ですぐに
成果が期待できる

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次元ミクログラフィにより、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

Legend: Copper, Lead-free solder, Si semiconductor, Mold resin, Al electrodes

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、分散化励起、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気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相関の解明に貢献
- 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

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、膜中で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変化・機能設計では、反応の鍵となる水素移動を見られる

Kono et al., Biophys Physicbiol, 2022

資源・エネルギー安全保障・GX

- 散乱・回折・オランダにより、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・実用へ貢献、さらなる高性能化・低コスト化に期待
- 実際に搭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、ダイバータやフ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

大型量子ビーム施設間連携

J-PARC
MLF TS1

原子力機構内でパルス中性子源と定常中性子源が隣接していることは大きなメリット

JRR3
施設供用・大学共同利用

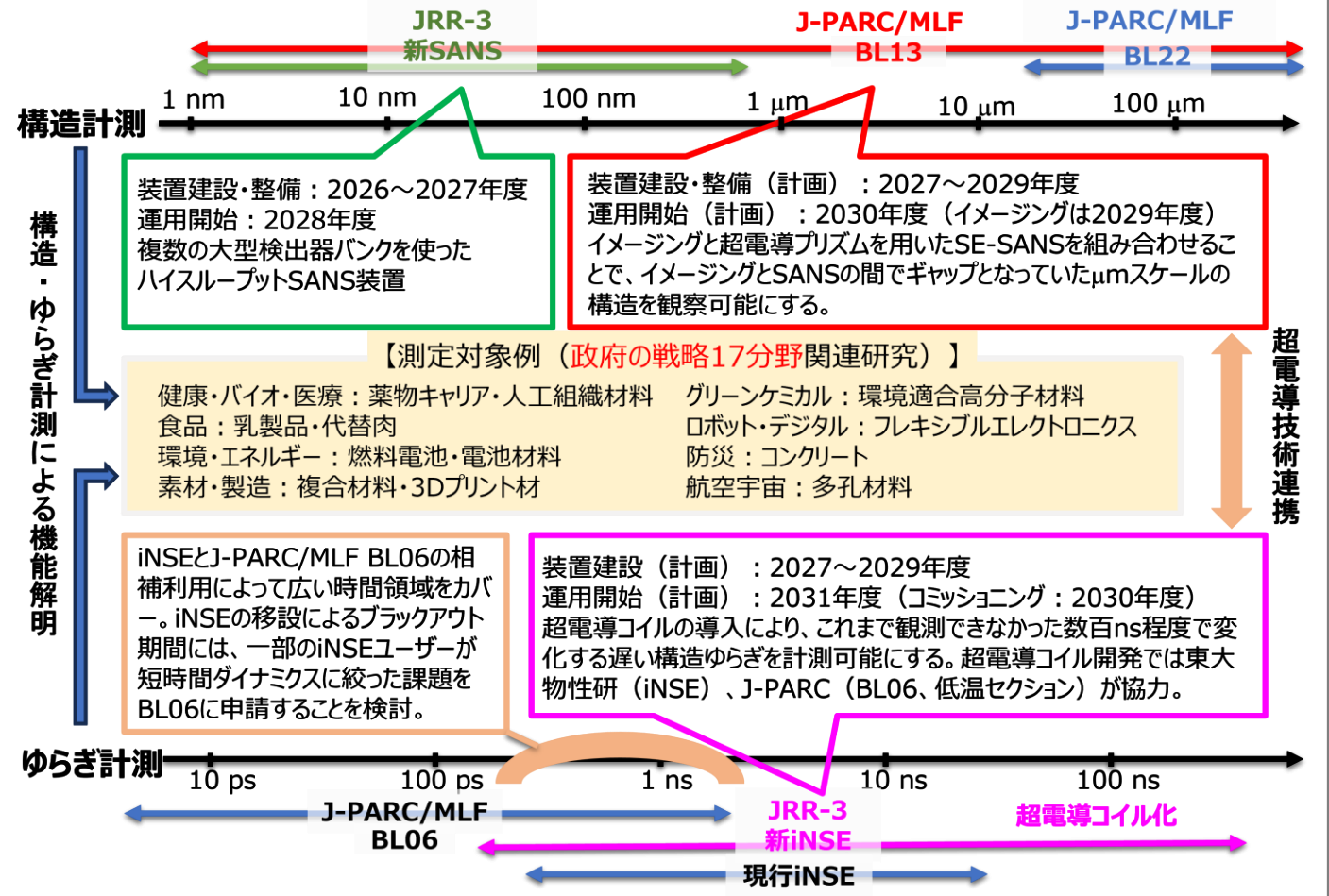
現在連携協力している事項

- 中性子・ミュオンポータルサイト J-JOINの共同運営
- 中性子産業利用報告会の共催
- 中性子・ミュオンスクールの共催
- 兼務スタッフによる共同研究開発

解決すべき課題もある

- ◆ 測定試料の施設間移動
- ◆ 試料の前処理・後処理のラボ利用

構造・ゆらぎ計測の高度化における施設間連携 (JRR-3・J-PARC MLF)



大型量子ビーム施設間連携の将来的理想像

J-PARC
MLF TS1

原子力機構内でパルス中性子源と定常中性子源が隣接していることは大きなメリット

JRR3
施設供用・大学共同利用

JAEA、KEK、CROSS統一的なユーザーフロント
エンド運営と伴走型利用者支援の導入

相談窓口、申請窓口、申請書フォーマット、審査の
共通化、課題採択時の施設を超えた利用機会最適化

ユーザーフロントエンド一体的運営 **CROSS**

共同で技術開発（検出器・ミラー・偏極・重水素化） リソースの効率化を図る

MLF TS2

新試験研究炉建設

新量子ビーム施設

既存のユーザーフロントエンドの導入で利用システム作りを省力化し開始当初から本格運用へ

一体的運営体制の構築と課題

1. J-PARCで進める計測DX統合環境を基盤にして、ユーザーフロントエンドの一体的運営をCROSSが担う。
2. J-PARCとJRR-3の協働を支える体制を目指す（試料の施設間移動、試料の前処理・後処理でのラボ利用など）
3. CROSSが利用料金やデータ解析利用料を一元的に徴収し、それを運営に還元する仕組みを構築する
4. ワンストップに必要な費用、他の施設の支援ができるような連携予算の仕組み作り（ex.交付要綱の改正など）
5. 最終的に効率化が達成されるまでは人員増が必要

中性子・ミュオンでのSPring-8ブラックアウト対応

中性子・ミュオンを使ってフラスアルファの成果を出しませんか

検討中の対応プラン

- ◆ 8サイクル（22日×8＝176日）の利用運転を毎年要望し、ここ数年は7.2サイクル（159日）を基準として運転を認めていただいている。
- ◆ また、現在共用BLの7台で**NUP（New User Promotion）** 課題を受け付け、中性子初心者を支援している。（利用運転の5%を上限、日本語申請可、申請書作成の事前相談）
- ◆ **ブラックアウト対応として、共用BL以外の中性子・ミュオン実験装置にも**NUP課題を拡大し、放射光に習熟した中性子初心者の利用促進を行うため、8サイクル運転を強く要望する。
- ◆ **伴走型利用者支援**を実装する。
- ◆ **相談窓口 J-JOIN**

ユーザーフロントエンド計画

- ◆ (Step1) J-PARC内で計測DX統合環境の構築 AIコンシェルジュの全BL適用
- ◆ (Step2) J-PARC内での伴走型コンシェルジュ開始
- ◆ (Step3) AIコンシェルジュの施設間連携による量子ビームワンストップ窓口運用
- ◆ (Step4) CROSSによるユーザーフロントエンド一体運営 各種利用料の一元徴収と運営への還元の仕組みを構築

これにより

- 全国の量子ビーム施設間のシームレスな連携が実現する。
- 量子ビーム利用がよりシステムチックになり、開発プロセスに組み込まれることにより、「科学研究と社会実装の一体的推進」が実現する。
- ポテンシャルユーザーがより量子ビーム利用を取り入れやすくなる。外部資金申請段階の計画策定にも利用されることにより、若手研究者の研究力向上に寄与できる。
- 将来建設される新量子ビーム施設へ即応でき、利用機会の最大化に寄与できる。

なぜCROSSが？

- ✓ 施設間連携を横に広げていくため、施設に縛られていない組織がまとめやすい。

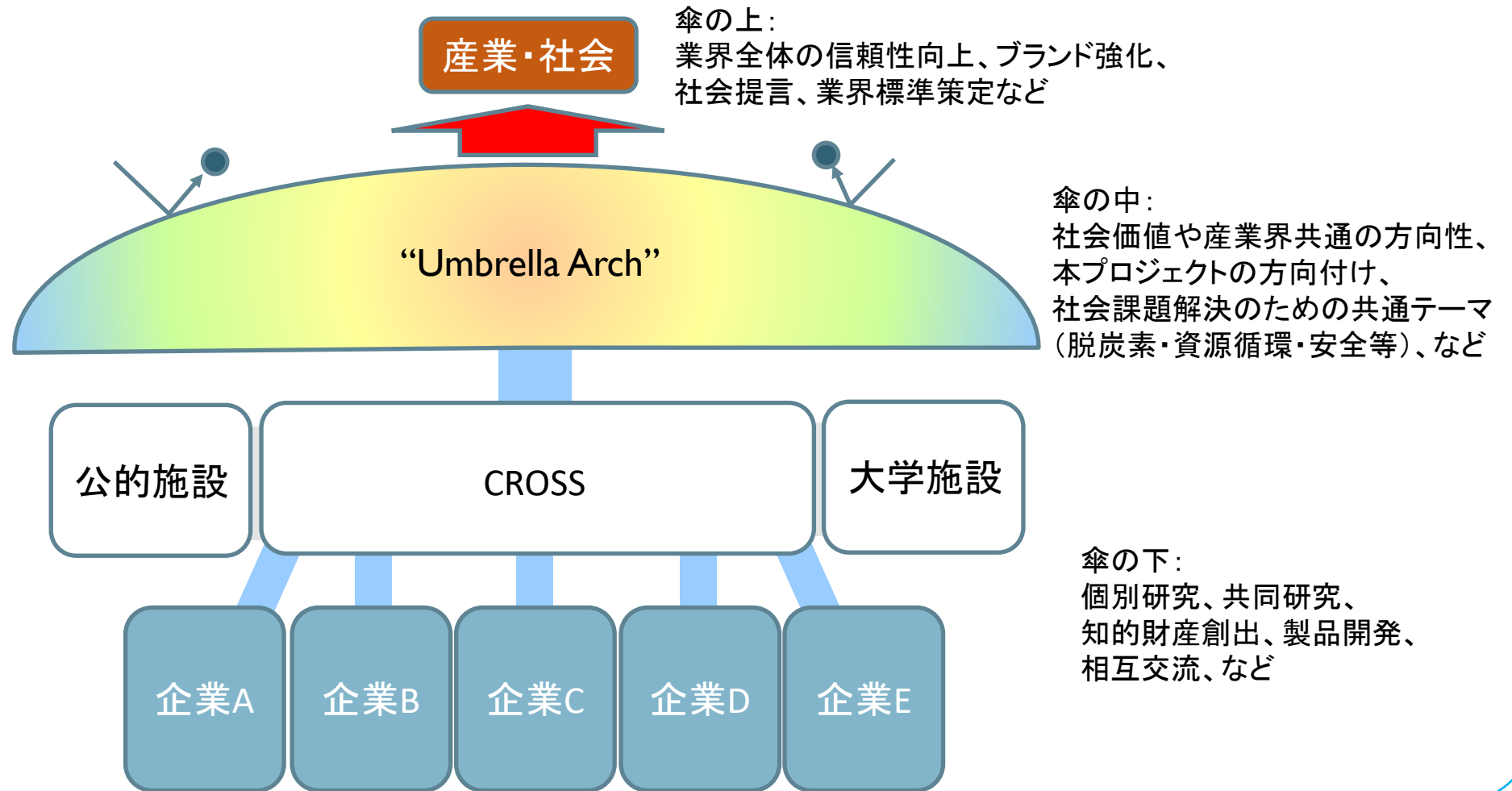
なぜ今？

- AIの進歩は急速。今始めないと海外に大きな後れを作る。
- 第7期「科学技術・イノベーション基本計画」の推進のために。

參考資料

CROSS Neutron Plazaの概要

“Beyond Boundaries – 技術の枠を超え、視野を広げ、産業と社会を動かす”



- ・社会的・産業的目標を共有する連携基盤の形成
- ・産業的意義と学術連携を両立させるコーディネーション拠点としての機能



中性子・ミュオン利用ポータルサイト

<https://jrr3ring.jaea.go.jp/jjoin/>

Joint Office For Innovation

(J-PARC, JRR-3) – JOIN

- ▶ 利用相談窓口の統一（6機関が協力）

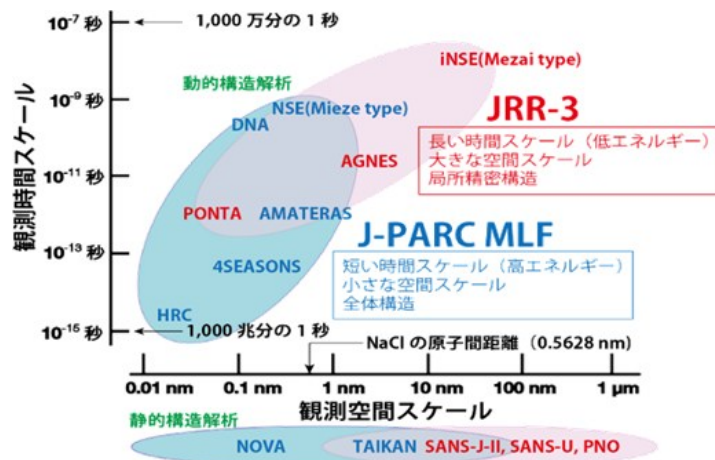
経験豊富なコーディネーターがご相談に応じます



令和3年5月より運用開始



- ▶ 利用案内チャート（施設利用の指針）



ユーザー

中性子・ミュオン利用案内チャート

測定対象

得たい情報

測定手法

物質の構造

粉末回折

小角散乱

単結晶回折

パルス中性子

茨城県 MLF

IMATERIA SuperHRPD SPICA PLANET

IMATERIA 大鏡

IBIX 千手

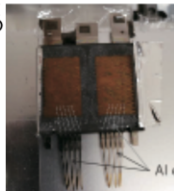
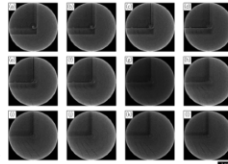
17の重点成長分野と、特定先端大型研究施設が有する研究の強み

17の重点成長分野における、大型研究施設の取組事例

- J-PARCなどの「中性子基盤施設」は、**AI・半導体、量子、マテリアル（重要鉱物・部素材）、創薬・先端医療、合成生物学・バイオ、資源・エネルギー安全保障・GX、フュージョンエネルギー**などの分野で、「他手法で見えにくい物質内部の情報」を観察・分析できるツールとして重要な役割を果たすほか、分野を横断する評価基盤として使用が可能
- これらの研究開発に基づいて、防衛産業、航空・宇宙、海洋、フードテック、防災・国土強靱化、港湾ロボティクスなどの研究開発においても、補完的な技術を支えることが可能

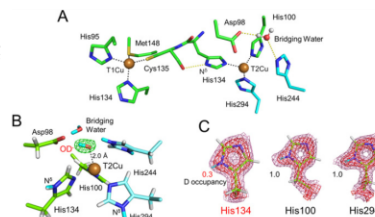
AI・半導体

- 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



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、膜中で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



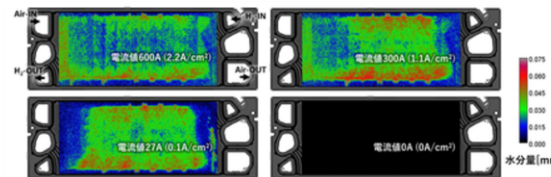
Kono et al., Biophys Physicobiol, 2022

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、分数化励起、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気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

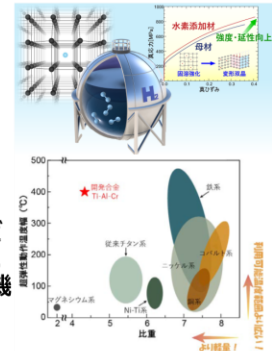
資源・エネルギー安全保障・GX

- 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



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相関の解明に貢献**
- 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



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**

構造・ゆらぎ計測の高度化における施設間連携 (JRR-3・J-PARC MLF)

