中性子小角散乱装置パンフレット(2021年7月版)

中性子小角・広角散乱装置(大観)

1. 施設名

J-PARC, MLF

2. 特徴

高い空間・時間分解能での小角・広角散乱の高効率測定を実現し、サブナノから ミクロンまでの幅広い空間スケールの金属、磁性体、超伝導体、ソフトマター、 生体高分子及びそれらの複合体等の構造と非平衡現象を解明する。

ビームライン番号	BL15
モデレータ	結合型液体水素モデレータ
入射中性子波長範囲	0.8~7.8 Å(非偏極中性子)
	2.5~7.8 Å(偏極中性子)
散乱角範囲	0~50°, 139~163°
<i>q</i> 範囲	7×10 ^{-₄} ~17 Å ⁻¹ (非偏極中性子)
	7×10 ^{-₄} ~2.5 Å ⁻¹ (偏極中性子)
散乱断面積範囲	10 ⁻⁴ ~10 ⁶ cm ⁻¹
標準ビームサイズ	10×10 mm ²
試料環境機器	
・試料交換機	10 試料, 温度:2~125 ℃
・3K/4K クライオスタット	
	温度:3~300 K
・1Tesla マグネット	磁場:–1~1 T, 磁場⊥ビーム
	開口角:–32~32 [。] (前方・後方方向)
・4Tesla クライオマグネット	
	磁場:–4~4 T, 磁場//ビーム
	開口角:–45~45°(前方・後方方向)
	温度:0.3~300 K
・10Tesla マグネット	
	磁場:0~10 T, 磁場⊥ビーム
	開口角:–50~50 [。] (水平前方方向),
	–22~22 [°] (水平後方方向),

-5~5°(鉛直方向)

 ・レオメータ
 トルク:10⁻³~200 mMm 角速度:10⁻⁹~314 rad/s 温度:-50~150 ℃
 ・引張試験機
 引張力:10²~10³ N 負荷速度:10⁻²~10² mm/min ストローク:100 mm 温度:RT~300 ℃ 雰囲気:真空,窒素ガス,調湿
 ・ガス/蒸気吸着測定装置

- 測定可能孔サイズ:3.5~5,000 Å 吸着物:N₂, Ar, H₂O, D₂O 等 温度:RT~1,100 ℃
- 4. 利用例

・レーザー加熱装置

4-1. 相転移の狭間に出現する新たな創発磁気モノポール格子 -二つのトポロジ カル磁気構造が移り変る様子を解明- (2019/3/5 プレスリリース)

トポロジカル磁気構造は、省エネルギー型の磁気メモリーデバイスへの応用の観 点から、その生成・消去の手法に関して様々な研究が行われています。利用研究 グループは、スキルミオン格子を持つ化合物 MnSi と創発磁気モノポール格子を 持つ化合物 MnGe の固溶体である MnSi_{1-x}Ge_xの磁気構造や物性を「大観」の小 角・広角散乱測定性能を使用した詳細な実験や理論計算により解明し、中間組成

(x = 0.4~0.6)における新しい創発磁気モノポール格子の実現可能性を見出しました。



図 1. MnSi におけるスキルミオン格子と MnGe における創発磁気モノポール格子の模式図と MnSi_{1-x}Ge_xにおいて磁気構造が存在する温度・磁場範囲の変化の様子



図 2. 新しく発見された創発磁気モノポール・反モノポールの中性子散乱パターンと磁気構造

参考文献:

・"中性子で解き明かすトポロジカル磁気相転移 -スキルミオン格子から創発磁気モノポール格子 へ-",藤代有絵子,金澤直也,日本中性子科学会誌「波紋」,**30**,144 (2020).

"Topological transitions among skyrmion- and hedgehog-lattice states in cubic chiral magnets", Y. Fujishiro, N. Kanazawa, T. Nakajima, X. Z. Yu, K. Ohishi, Y. Kawamura, K. Kakurai, T. Arima, H. Mitamura, A. Miyake, K. Akiba, M. Tokunaga, A. Matsuo, K. Kindo, T. Koretsune, R. Arita, and Y. Tokura, Nature Communications, **10**, 1059 (2019).

4-2. 高分子電解質膜のマルチレベル構造を広い Q レンジのコントラスト変化 SANS 法で解明

特殊なスルホン化処理を施したシンジオタクティックポリスチレン(s-sPS)膜 は、燃料電池やエネルギー貯蔵用途に適した魅力的な材料になります。利用研究 グループは、結晶性を維持しながら非晶質相のみを均一にスルホン化するととも に、耐酸化分解性を向上させるフラーレンを組み込んだ膜の乾燥状態及び水和状 態のマルチレベル構造を「大観」で観測しました。その結果、水和水は低水和度 ではラメラ間領域とバルクアモルファス領域に同程度に分布し、水和度を上げる とバルクアモルファス領域に優位に蓄積し、さらに高い水和度(飽和)では、水 のドメインが水チャネルに進化し、ラメラスタックの変位や配向の変化を誘発し ますが、結晶性(膜の堅牢性)は維持されることが分かりました。



図 2.(左) 赤道及び子午線方向に平均化した s-sPS 膜の散乱曲線, (右) s-sPS 膜の階層構造観測

参考文献:

 "The multilevel structure of sulfonated syndiotactic-polystyrene model polyelectrolyte membranes resolved extended Q-range contrast variation SANS", M. M. Schiavone, H. Iwase, S. Takata, and A. Radulescu, Membranes, 9, 136 (2019).

4-3. 磁気渦の生成・消滅過程を100分の1秒単位で観測 -J-PARC MLF のパ ルス中性子を用いたストロボ撮影に成功- (2018/7/25 プレスリリース)

次世代の情報記憶媒体への応用が期待される磁気スキルミオンの代表的な観測方 法の一つに「中性子小角散乱法」がありますが、その生成・消滅過程等、非常に 短い時間で起こっている過渡現象を観測することはこれまで不可能でした。利用 研究グループは、MnSiで現れる磁気スキルミオンに対して、急激な温度上昇・ 下降を与えた際に起こる変化の過程を「大観」で大強度パルス中性子ビームを使 用して観測しました。その結果、温度の上昇によって磁気スキルミオンが消滅す る様子や急速な冷却過程で生成された磁気スキルミオンが本来存在できない低温 まで過冷却状態で残る様子等を100分の1秒単位の高い時間分解能で"ストロボ 写真"のように観測することに初めて成功しました。



図3. 本実験で確立されたストロボスコピック中性子小角散乱法の概念図

参考文献:

 "Phase-transition kinetics of magnetic skyrmions investigated by stroboscopic small-angle neutron scattering", T. Nakajima, Y. Inamura, T. Ito, K. Ohishi, H. Oike, F. Kagawa, A. Kikkawa, Y. Taguchi, K. Kakurai, Y. Tokura, and T. Arima, Physical Review B, 98, 014424 (2018).

5. 装置担当者

装置責任者 鈴木淳市(CROSS,中性子科学センター), j_suzuki[at]cross.or.jp 副装置責任者 高田慎一(JAEA, J-PARC センター), shinichi.takata[at]j-parc.jp 大石一城(CROSS,中性子科学センター), k_ohishi[at]cross.or.jp 岩瀬裕希 (CROSS, 中性子科学センター), h_iwase[at]cross.or.jp 河村幸彦 (CROSS, 中性子科学センター), y_kawamura[at]cross.or.jp 廣井孝介 (JAEA, J-PARC センター), kosuke.hiroi[at]j-parc.jp 森川利明 (CROSS, 中性子科学センター), t_morikawa[at]cross.or.jp 上田実咲 (CROSS, 中性子科学センター), m_ueda[at]cross.or.jp

6. Web サイト

装置	https://mlfinfo.jp/ja/bl15/
利用成果	https://mlfinfo.jp/ja/bl15/publications.html

中性子小角散乱装置(SANS-J)

1. 施設名

JRR-3, ガイドホール

2. 特徴

ナノから数マイクロメールの空間スケールに渡る物質の構造を観察することがで きる。偏極中性子を入射ビームとして利用することができる。中性子偏極度解析 により試料からの非干渉性散乱成分の定量的な評価ができる。

3. 仕様

ビームライン番号	C3-2
モデレータ	液体水素(20K)
入射中性子波長範囲	6.5 Å
散乱角範囲	< 45°
<i>q</i> 範囲	3×10 ⁻⁴ ∼5×10 ⁻¹ Å ⁻¹
標準ビームサイズ	$10 \mathrm{mm}\phi$
試料環境機器	
・試料交換機	12 試料, 温度:-20~160 ℃
・1Tesla 水冷常伝導磁石	ā
	磁場:−1~1 T, 磁場⊥ビーム
・核燃料物質の利用	ウラン(U)、トリウム(Th)を試料として取り扱う
	ことができる。

4. 利用例

4-1. 高分子による3次元フォトニック結晶製作過程のその場観察

ブロックコポリマーをバルク重合によって合成する過程で起こるミクロ相分離を 利用して3次元フォトニック結晶を作製している。SANS-Jでは、数ナノメート ルの高分子鎖が重合された後にミクロ相分離が誘起され、そのドメインサイズが 可視光を反射するスケールに成長する過程を捉えている。

参考文献:

 "Photonic crystals fabricated by block copolymerization-induced microphase separation", R. Motokawa, T. Taniguchi, T. Kumada, Y. Iida, S. Aoyagi, Y. Sasaki, M. Kohri, and K. Kishikawa, Macromolecules, **49**, 6041-6049 (2016).

5. 装置担当者

装置責任者 熊田高之(JAEA,物質科学研究センター),kumada.takayuki[at]jaea.go.jp 元川竜平(JAEA,物質科学研究センター),motokawa.ryuhei[at]jaea.go.jp 大場洋次郎(JAEA,物質科学研究センター),oba.yojiro[at]jaea.go.jp 中川洋(JAEA,物質科学研究センター),nakagawa.hiroshi[at]jaea.go.jp

6. Web サイト

装置	https://jrr3uo.jaea.go.jp/about/institution/sans.htm
利用成果	https://msrc.jaea.go.jp/center_grp.html?grp=kaiso

中性子小角散乱装置(PNO)

1. 施設名

JRR-3, 炉室

2. 特徴

サブミクロンから数10マイクロメールスケールの物質の構造を観察することが できる Bonse-Hart 型の中性子超小角散乱装置。2022 年度以降のユーザーへの マシンタイム提供を予定している。

ビームライン番号	3G
入射中性子波長範囲	2.0 Å
<i>q</i> 範囲	2×10 ⁻⁵ ∼4×10 ⁻³ Å

標準ビームサイズ 30 mm(縦方向)
 試料環境機器
 ・試料交換機 8 試料, 温度: 5~80 ℃

4. 利用例

4-1. スチレンーブタジエンランダム共重合体におけるフィラー粒子の溶融階層 構造

スチレン-ブタジエンランダム共重合体におけるフィラー粒子の空間分布を PNO による中性子超小角散乱測定を用いて解明している。この共重合体中におけるフ ィラーは、質量フラクタル構造を持つコンパクトなクラスターと弱い相互作用に よって結合したマイクロメートルスケールの大きなクラスターの2つの状態をと ることを明らかにしている。

参考文献:

• "Hierarchically self-organized dissipative structures of filler particles in poly(styreneran-butadiene) rubbers", D. Yamaguchi, T. Yuasa, T. Sone, T. Tominaga, Y. Noda, S. Koizumi, and T. Hashimoto, Macromolecules, **50**, 7739-7759 (2017).

5. 装置担当者

装置責任者 熊田高之(JAEA,物質科学研究センター),kumada.takayuki[at]jaea.go.jp
 元川竜平(JAEA,物質科学研究センター),motokawa.ryuhei[at]jaea.go.jp
 大場洋次郎(JAEA,物質科学研究センター),oba.yojiro[at]jaea.go.jp

中性子小角散乱装置(SANS-U)

1. 施設名

JRR-3, ガイドホール

2. 特徴

ナノから数マイクロメールの空間スケールに渡る物質の構造を観察することがで きる汎用性の高い小角中性子散乱装置である。

ビームライン番号	C1-2
モデレータ	液体水素(20 K)

入射中性子波長範囲 *q*範囲 標準ビームサイズ 7.0 Å ± 10% (可変)
4×10⁻⁴~4×10⁻¹ Å⁻¹
10 mmφ (ピンホール型 SANS)
15 mmφ (集光型 SANS)

試料環境機器

・試料交換機

12 試料, 温度: 4~90 ℃



図 1. SANS-U の観測領域

4. 利用例

4-1. コントラスト変調 SANS によるナノコンポジットゲルの構造評価 クレイと高分子、溶媒からなる3成分系に対して、軽水と重水の混合比率を変化 させることで、溶媒のコントラストを調整し、それぞれの成分の空間分布を評価 できる。

4-2. 小角中性子散乱によるタンパク質の構造評価

On Neutron Line UV 照射装置を用いて、αB クリスタリンの UV 凝集過程を 時分割 SANS 測定により明らかにした。また、タンパク質の代謝に関わる Proteasome システムにおいて、コア因子の 20S Proteasome と制御因子 PA28 の溶液中での解離会合の様態を SANS 測定により明らかにした。

参考文献:

• "Small-angle neutron scattering on polymer gels: phase behavior, inhomogeneities and deformation mechanisms", M. Shibayama, Polymer Journal, **43**, 18–34 (2011).

"SANS investigation of assembly state of proteasome activator 28 and the 20S proteasome", M. Sugiyama, et al., Journal of Physics: Conference Series, 247, 01202 (2010).

• "Structural evolution of human recombinant α B-crystallin under UV irradiation", M. Sugiyama, et al., Biomacromolecules, **9(2)** 431-434 (2008).

装置関連論文:

• "Modernization of the small-angle neutron scattering spectrometer SANS-U by upgrade to a focusing SANS spectrometer", H. Iwase, et al, Journal of Applied Crystallography, **44**, 558 (2011).

5. 装置担当者

装置責任者 Li Xiang(東京大学,物性研究所), x.li[at]issp.u-tokyo.ac.jp 眞弓皓一(東京大学,物性研究所),kmayumi[at]g.ecc.u-tokyo.ac.jp 杉山正明(京都大学,複合原子力科学研究所),sugiyama[at]rri.kyoto-u.ac.jp 井上倫太郎(京都大学,複合原子力科学研究所),rintaro[at]rri.kyoto-u.ac.jp

6. Web サイト

装置	http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/neutron/inst/sans-u/
利用成果	http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/neutron/inst/sansu/Publications/
	publications.html

中性子中小角散乱装置(iANS)

1. 施設名

北海道大学パルス中性子源

2. 特徴

小角散乱装置としては大きな q 領域の測定に適した装置。10nm 以下の微細組織 解析に最適化されている。ピンホール型のビームを用いているため、異方性のある 散乱パターンの評価が行え、強磁性体の磁気散乱成分と核散乱成分とを分離するた め、0.6T の磁場印加が可能。概ね、1週間/月の頻度で運用中。利用方法は北大 との共同研究の形で進める。いつでも相談可能。

ビームライン番号 入射中性子波長範囲 *q*範囲 標準ビームサイズ 試料環境機器

・磁場印加装置

・温度

Right 4.0~10 Å(主として使用する波長範囲) 0.025~0.7 Å⁻¹ 12 mm*φ*

0.6 T(永久磁石による固定磁場:図1) 5~80 ℃(2022 年予定)



図1. iANS で磁場印加に使用する NdFeB 磁石ホルダー

4. 利用例

4-1. 金属材料のナノ構造解析

金属材料を主たるターゲットに位置づけ、本施設に有する高エネルギーラボX線小角散乱装置と併用しての利用を基本とする¹。これにより、中性子とX線とのコントラスト差を活用し、ナノ構造の組成についての議論²や合金の複合添加における各元素の役割の抽出³等を行っている。

参考文献:

 "Intermediate-angle neutron scattering instrument for quantitative and nondestructive characetrization of nanostructure in steels and other alloys", T. Ishida, M.
 Ohnuma, B.S. Seong, and M. Furusaka, ISIJ International, **57**, 1831-1837 (2017).

・"中性子小角散乱/X線小角散乱強度比較による 7000 系アルミニウム合金の時効初期過程の検討",林恭平,大沼正人,倉本繁,軽金属学会第 140 回概要集,講演番号 21 (2021).

・"マルテンサイト系析出硬化型ステンレス鋼の降伏応力におよぼす析出相の影響", 高橋伸幸, 岡本晃彦, 鈴木和哉, 大沼正人, 電気製鋼, **91**, 73-78 (2020).

5. 装置担当者

装置責任者 大沼正人(北海道大学,工学研究院応用量子科学部門),

ohnuma.masato[at]eng.hokudai.ac.jp

北大中性子源施設責任者

加美山隆(北海道大学,工学研究院応用量子科学部門),

takashik[at]eng.hokudai.ac.jp

中性子小角散乱装置(KUMASANS)

1. 施設名

京都大学 複合原子力科学研究所

2. 特徴

京都大学複合原子力科学研究所が所有する研究用原子炉 KUR の CN-2 導管に常 設された中性子小角散乱装置であり、2 回反射 NiC/Ti 多層膜ソーラーミラー型の 中性子モノクロメーターにより、波長分解能 20%程度の単色中性子ビームが試料 に入射される。モノクロメーターを交換することにより、3 つの波長の中性子が選 択可能である。原子炉の最大出力運転(5MW)時に、試料位置での最大中性子強 度は 10⁴ n/s 程度である。試料位置のレイアウトの自由度が比較的高いため、バ ンジョーセルや角セル等の溶液セルやフィルム用試料ホルダー等、多様な形状の試 料を設置可能である。

京都大学複合原子力科学研究所の共同利用装置として供用されており、1MW 運転 48 時間+5MW 運転 6 時間を標準とする利用パターンでユーザーにビームタイムを提供している。

3. 仕様

ビームライン番号	CN-2
入射中性子波長範囲	2.8, 4.4, 5.6 Å
<i>q</i> 範囲	0.015∼0.35 Å⁻¹
標準ビームサイズ	6×6 mm ²
試料環境機器	
・磁場印加装置	0.5 T(永久磁石による固定磁場)
・温度	-20~200 ℃(循環恒温槽 Lauda RE206 仕様値)

4. 利用例

4-1. 鉄鋼材料の析出物構造解析

鉄鋼材料の力学特性に影響を及ぼす析出物や介在物の分散状態を評価する目的 で、本装置を用いた SANS 測定による構造解析研究が実施された。

4-2. 鉄鋼材料の析出物構造解析

水素吸蔵セルを用いた *in-situ* SANS 測定により、水素吸収放出に伴う水素吸蔵 合金表面の構造変化を明らかにする研究が実施された。

4-3. 溶液中の界面活性剤ミセルの構造解析

溶液中から有用イオンや有害イオンを抽出分離するための界面活性剤研究において、重金属イオンを吸着したミセルの溶液中の構造解析に関する研究が実施された。

参考文献:

"New compact small-angle neutron scattering spectrometer", M. Sugiyama and Y.
 Maeda, Japanese Journal of Applied Physics, **33**, 6396–6402 (1994).

・"京大原子炉実験装置(イメージング&SANS)", 齊藤泰司, 大場洋次郎, 日野正裕, 日本中性子 科学会誌「波紋」, **25**, 225–230 (2015).

・"マルテンサイト系析出硬化型ステンレス鋼の降伏応力におよぼす析出相の影響",高橋伸幸,岡本晃彦,鈴木和哉,大沼正人,電気製鋼,**91**,73-78,(2020).

5. 装置担当者

装置責任者 杉山正明(京都大学,複合原子力科学研究所),

sugiyama.masaaki.5n[at]kyoto-u.ac.jp

佐藤信浩(京都大学, 複合原子力科学研究所),

sato.nobuhiro.5u[at]kyoto-u.ac.jp

・本パンフレットの作成、公開は日本中性子科学会の施設連携活動として行われて います。

・本パンフレットの最新版は日本中性子科学会の Web ページからご覧頂けます。

・パンフレットの改定は年2回(5月、11月)を予定しています。