

「何ができる?どこがすごい?」～各装置の紹介～

大強度型中性子小中角散乱装置 大観

鈴木淳市*

1. 大観で何ができる?

大観は、従来の多くの中性子小角散乱装置が持っていた数 nm から数 μm のスケールの構造の解析性能に加え、約 0.1 nm の構造の解析性能も備えた新しいタイプの中性子小角散乱装置である。

中性子小角散乱法は、その解析可能な空間スケールの広さから、金属材料、磁性材料、超伝導材料、ソフトマター、生体高分子等の様々な対象の平均構造や揺らぎ、中長距離秩序の解析に利用されてきた。しかし、近年のナノサイエンスの進展により、ナノ粒子やナノ析出物の粒径や数密度、あるいは、粒界面等のナノ構造の制御が材料特性や物質機能の向上に有効であることが認識され、このようなナノ構造の定量的解析性能が中性子小角散乱法にも求められるようになった。ナノ構造体の散乱断面積は基本的に小さく、その構造を十分な統計精度で解析するには、長時間の測定が従来必要とされた。しかし、大観では広い空間スケールの構造を短時間で同時測定できるようになる。

大観には様々な物質の構造解析に対応して種々の試料環境制御装置が用意される。作成条件の異なる数多くの試料を効率良く測定するための自動試料交換装置、試料の温度を制御するクライオスタット ($T_{\min} < 1\text{ K}$) や高温炉 ($T_{\max} > 1200\text{ K}$)、真空雰囲気及びガス雰囲気、磁性材料の磁気構造の制御や強磁性を示す鉄鋼材料の磁気散乱成分の分離に必要な電磁石 ($B_{\max} > 1\text{ T}$)、生体高分子溶液の水素/重水素 (H/D) コントラストを制御する装置、そしてこれらの装置の組合せ等である。

試料の形状は入射ビーム方向に薄い平板を標準とする。標準的なビームサイズは $10 \times 10\text{ mm}^2$ である。試料の厚みは試料の全断面積に依存して異なるが、多重散乱を抑制するために、中性子透過率が 0.8 nm の最長波長の中性子に対して 80% 以上となるように調整する。これは多くの試料に対して約 1 mm となる。

2. 大観はどこがすごい?

図 1 はシミュレーションにより求めた結晶性微粒子 (粒径 = 6 nm) の散乱強度プロファイルである。ただし、高 q 領域での散乱強度が 1 になるように規格化されている。大観では、J-PARC のパルス中性子源で発生する大強度の中性子ビームを利用することで、図 1 の横軸に示す q 領域 ($q = 5 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^2\text{ nm}^{-1}$) での測定を高効率かつ高分解能に行うことができる。この q 領域では小角散乱と同時に結晶の Bragg 回折等も測定できるので、例えば、金属材料の析出過程を、従来のように析出物の粒径や数密度等の粗視化情報だけから評価するのではなく、析出物の内部や表面等の原子構造情報も含めて評価できる。また、大強度の中性子ビームの利用は、鉄鋼材料の相変態過程における短時間ダイナミクスやビームの偏極化による磁性材料の高精度評価も可能にする。これらの性能により、大観は世界的にユニークな中性子小角散乱装置となる。大観と原子力機構の研究炉 JRR-3 に設置の小角散乱装置 SANS-J-II の特徴の比較を表 1 にまとめる。

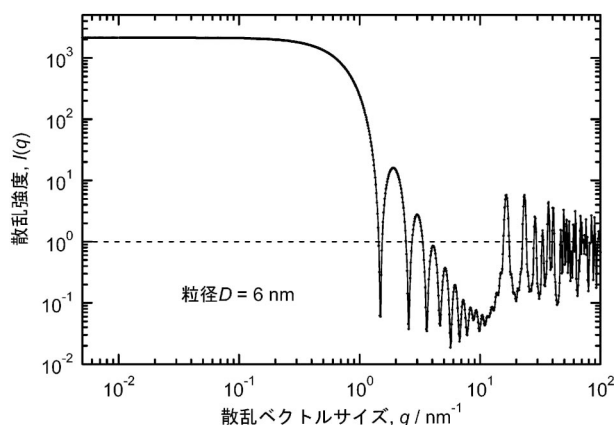


図 1 粒径 6 nm の結晶性微粒子の散乱強度プロファイル (シミュレーション結果)。ただし、高 q 領域の散乱強度が 1 になるように規格化されている。

* 日本原子力研究開発機構 J-PARC センター; 研究主幹 (〒319-1195 那珂郡東海村白方白根 2-4) High-Intensity Smaller-Angle Neutron Scattering Instrument, TAIKAN; Jun-ichi Suzuki (J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki)
Keywords: small-angle neutron scattering, pulse beam, nanostructure, microstructure
2009年5月8日受理

表1 大観は何ができる？ どこがすごい？

	JRR-3 SANS-J-II	J-PARC 大観
測定対象および測定領域	$S(q)$ 散乱, $q = 1 \times 10^{-3} \sim 20 \text{ nm}^{-1}$	$S(q)$ 散乱, $q = 5 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^2 \text{ nm}^{-1}$
中性子波長およびフラックス	$\lambda = 0.65 \text{ nm}$ (単色法, 標準), $\Phi \sim 10^5 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (20 MW)	$\lambda = 0.05 \sim 0.8 \text{ nm}$ (白色 TOF 法), $\Phi \sim 10^7 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (1 MW)
得られる情報	数 nm ~ 数 μm のスケールの平均構造や揺らぎ, 中長距離秩序	約 0.1 nm ~ 数 μm のスケールの平均構造や揺らぎ, 短距離及び中長距離秩序
対象研究分野	散乱断面積の大きなソフトマター, 磁性材料, 金属材料やそれらの長時間ダイナミクス	ナノ構造が重要な金属材料, 磁性材料, 生体高分子, ソフトマターやそれらの短時間ダイナミクス
ビームサイズ	10 mm ϕ (標準)	10 \times 10 mm ² (標準)
特殊環境	温度 = 1 ~ 1200 K, 磁束密度 < 10 T	温度 = 1 ~ 1200 K, 磁束密度 < 10 T, H/D コントラスト制御装置
測定時間	10 min ~ 6 h (試料に依存)	10 s ~ 1 h (試料に依存)
装置特徴	世界唯一の偏極集光光学系を搭載	同左, 結晶の Bragg 回折も測定可能
装置運用状況	年間150日運転	2011年度稼働予定
J-PARC 関連装置		iMATERIA, NOVA

3. 大観を活用するために

大観は2011年度に稼働の予定である。大観の装置構成や期待性能は文献(1)にも詳しく紹介されているので、ご覧いただきたい。大観については、今後 J-PARC の Web サイト (<http://j-parc.jp/>)でも紹介していく計画である。一方、大観との特徴の違いはあるが、国内では研究炉 JRR-3 に設置の小角散乱装置 SANS-J-II および SANS-U や極小角散乱装置 PNO を利用して中性子小角散乱実験を行うことができる。SANS-J-II 及び PNO の利用については、原子力機構の施設利用の Web サイト (<http://sangaku.jaea.go.jp/3-facility/>)を、SANS-U の利用については東京大学物性研究所・附属中性子科学研究施設の Web サイト (<http://neutrons.issp.u-tokyo.ac.jp/>)をご覧いただきたい。また、これらの施設の利用者団体である J-PARC/MLF 利用者懇談会 (<http://is.j-parc.jp/mlfuser/>)、中性子産業利用推進協議会 (<http://www.j-neutron.com/>)、茨城県中性子利用促進研究会 (<http://www.sf21-ibaraki.jp/>)には、小角散乱法の利用をテ

ーマとする研究会が設けられ、小角散乱法の基礎から応用までの最新情報の交換が行われている。これらの情報の中で、主に金属材料を対象とする中性子および X 線小角散乱法の相補的利用については文献(2)~(4)にまとめられているので、ご覧いただきたい。以上のような情報を活用して頂くことで、小角散乱法の利用が広がることを期待したい。

文 献

- (1) 鈴木淳市, 篠原武尚, 高田慎一, 奥 隆之, 鈴木賢太郎, 相澤一也, 新井正敏, 大友季哉, 杉山正明: 日本結晶学会誌, **50**(2008), 24-28.
- (2) 大沼正人, 鈴木淳市: 分析化学, **55**(2006), 381-390.: X 線および中性子小角散乱法による金属材料の微細組織解析について解説されている。
- (3) 大沼正人, 鈴木淳市: ふえらむ, **11**(2006), 631-640.: 中性子および X 線小角散乱法によるミクロ組織定量測定について解説されている。
- (4) Y. Oba, T. Shinohara, T. Oku, J. Suzuki, M. Ohnuma and T. Sato: J. Phys. Soc. Jpn., **78**(2009), 044711-1-6.: 偏極中性子小角散乱法による Pd 微粒子の磁気構造解析に関する論文である。