

核スピン偏極コントラスト変調中性子小角散乱 (DNP-SANS) の毛髪繊維への応用

(茨大・CROSS) ○能田洋平、小泉 智、前田知貴 (日華化学) 天谷美奈子、小木達也

【緒言】天然繊維においてタンパク質等の構成分子が形成する高次構造を理解するため小角散乱が有効である。中性子小角散乱 (SANS) の特徴として、重水素と軽水素の干渉性散乱長の差を利用したコントラスト変調法の活用が挙げられる。さらに、中性子干渉性散乱長は、水素核および中性子スピンの配向関係によっても大きく変化する (図 1)。核スピン偏極によるコントラスト変調法を「核スピン偏極コントラスト変調法」といい、我々はその手法開発および応用に取り組んできた。コントラストはマイクロドメイン内の化学組成を反映しており、特に水素に敏感に左右される。コントラスト変調による散乱強度変化をひもどくことで、マイクロドメイン内の化学組成に関する情報を取得することが期待される。毛髪繊維は、豊富なシステイン基にもとづくジスルフィド結合 (以下 SS 結合) による強靱な構造によって特徴づけられる。還元処理による SS 結合の切断を施した毛髪 (還元処理毛) について DNP-SANS 法による構造研究に取り組んでいる。ヘアスタイルのデザイン性の向上といった美容の観点のみならず、毛髪構造の基礎理解において重要な課題である。

【実験】J-PARC iMATERIA では核スピン偏極用の 7T 超電導マグネットを導入し高い水素核スピン偏極度での SANS 計測を実現している[1]。効率的な核スピン偏極のため、試料内に電子スピン源すなわちラジカルを導入する必要がある、安定ラジカル TEMPOL の水溶液に毛髪繊維を浸すという簡便な手法によってラジカル導入を実施した。既に、化学処理を施していない毛髪 (未処理毛) について実績がある[2]。図 2 に核スピン偏極状態(1.2K, 6.7T)で観測した還元処理毛髪の SANS プロファイルを示す。

偏極度($P_H P_N$)に応じて、顕著な強度変化の観測に成功した。TD 方向では特徴的な 3 つのピークが見られ、これは中間径繊維(IF)に由来するものである。FAD 方向では、 $q = 0.05 \text{ \AA}^{-1}$ 付近に未処理毛髪では見られなかったショルダーが新たに観測された。この寄与は Debye-Bueche 関数 (相関距離 13.5 \AA) に従うもので、FAD 方向以外においても等方的に観測された。SS 結合が切断した箇所において重水が密集していると考えられる。重水疎密の定量評価を進めている。

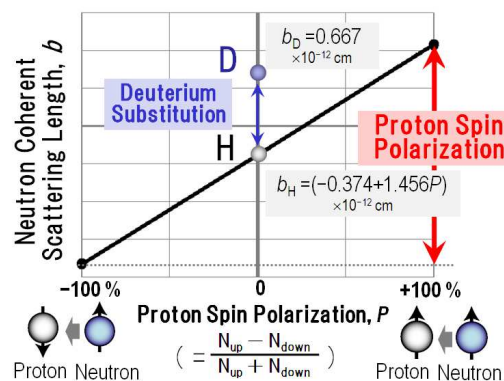


Fig. 1 Contrast variation techniques.

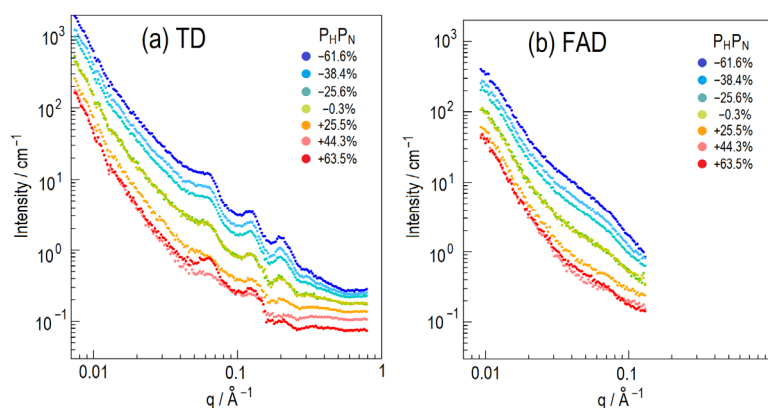


Fig. 2 Transverse direction (TD) and fiber axis direction (FAD) SANS profiles for D_2O -swollen hair under various polarization conditions. P_H and P_N indicates proton and neutron spin polarizations.

[1] Y. Noda, S. Koizumi et al., Quantum Beam Sci. (2020) 4, 33 1-12

[2] Y. Noda, S. Koizumi et al., J. Appl. Cryst. (2023) 56, 1015-1031

DNP SANS technique application to microstructural study of hair fiber, Yohei NODA, Satoshi KOIZUMI, Tomoki MAEDA, Minako AMAYA, and Tatsuya KOGI: Institute of Quantum Beam Science, Ibaraki University, 162-1 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1106, Japan, Tel: +81-29-352-3243, E-mail: yohei.noda.77@vc.ibaraki.ac.jp