

B3-01 水圏機能材料の先端構造・状態解析

原田慈久(東大物性研)

水のネットワークは、水素結合という方向性を持った比較的弱い結合力によって支配されており、その特異な性質は、水が材料と接する界面でより顕著に、そして多様な形で表れる。水圏機能材料は、この界面水の性質を機能の一部として利用する一連の材料を指す。その中で水は、水素結合の構造・運動を調節しながら、生体親和性、潤滑・摩擦、分離、結晶成長、接着・剥離、触媒反応等の様々な機能を制御する媒体として働く。

これらの機能の本質を理解し、制御するためには、幅広い空間・時間スケールで水と材料の相互作用を観察する必要がある。赤外吸収は、材料と水双方の構造変化を追えるというメリットがあり、高輝度放射光を赤外光源とすれば、界面近傍の情報を抽出することも可能である。X線、中性子を用いた散乱・回折は液体の局所構造を定量化するために欠かせない。一方水分子の集団的振る舞いを理解するためには、テラヘルツ光などの比較的low振動数の光が利用される。吸着・接着や反応など、電子の授受を伴う機能の場合、その本質を理解するには水の分極を司る電子のレベルまで遡って理解する必要がある。そこで、近年急速に発展し、世界中で注目を集める放射光軟X線分光が威力を発揮する。

令和元年度より始まった新学術領域「水圏機能材料」(東大加藤隆史領域代表)において、これらの先端構造・状態解析ツールを駆使する計測グループ¹⁾が組織され、これまでに水圏で生体親和性、接着、選択的イオン透過、外部刺激応答発光、分子折り畳み等の機能を発揮する材料を対象とした分析が行われている。例えば、新型コロナウイルス感染症の治療に用いられる体外式人工肺(ECMO)において循環チューブの血栓形成が問題となっており、優れた生体親和性を持つポリマーの開発が急がれている。そこで九大田中賢らが開発した優れた生体親和材料である poly(2-methoxyethyl acrylate) (PMEA) 類縁体を対象とした放射光赤外分光、放射光軟X線分光を組み合わせた解析を行ったところ、カルボニル基に吸着する水分子を起点とした特異な水素結合ネットワークの形成が、生体親和性を保持する鍵を握る可能性が示唆された²⁾。一方、東大加藤らが開発した自己組織化液晶高分子は、1nm オーダーで細孔径を調節することが可能で、イオン半径の小さな NaCl よりも、イオン半径の大きな MgSO₄ をよく通すというイオン選択透過性を示す³⁾。この機能は単純な“分子ふるい”の概念では説明できず、放射光軟X線発光分光によって、イオンの水和が持つ水素結合構造の違いがイオン透過性と相関することが示された⁴⁾。これらはいずれも材料の機能に関与する水を分子レベルで捉えた成果であり、従来の界面水の概念を超えて、分子レベルの材料制御に繋げることのできる知見である。

1) 中性子散乱：瀬戸秀紀(高エ機構)、放射光赤外分光：池本夕佳(JASRI)、テラヘルツ分光：菱田真史(筑波大)、軟X線吸収・発光分光：原田慈久(東大物性研)

2) 日本経済新聞 2020年5月11日朝刊「人工肺「エクモ」の血栓、発生原因を解明」

3) T. Sakamoto, T. Kato *et al.*, *Adv. Sci.* **5** (2018) 1700405.

4) R. Watanabe, T. Sakamoto, K. Yamazoe, J. Miyawaki, T. Kato, Y. Harada, *submitted*.

PROFILE

原田慈久(東京大学物性研究所・極限コヒーレント光科学研究センター 教授)

- ① 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了後、2000年理化学研究所基礎科学特別研究員、2007年東京大学特任講師、2009年同特任准教授、2011年東京大学物性研究所准教授を経て、2018年より現職。博士(工学)。専門は放射光軟X線分光の新規手法開拓と応用。主な受賞歴として、日本物理学会論文賞(2004年)、放射光学会若手奨励賞(2005年)など。2008年軟X線発光分光で水のマイクロ不均一性を見出し、以来水の構造と機能の関係解明に取り組んでいる。日本物理学会、放射光学会、日本化学会、日本表面真空学会、電気化学会などに所属。