総　　説

J. Jpn. Soc. Colour Mater., **94**〔10〕, 270–275 (2021)

界面構造の設計および制御による機能性有機無機複合材料の構築

村井一喜*,†

*信州大学学術研究院繊維学系　長野県上田市常田3-15-1（〒386-8567）
† Corresponding Author, E-mail: murai_kazuki@shinshu-u.ac.jp

（2021年8月24日受付，2021年9月22日受理）

要　　旨

本稿では，バイオミネラリゼーションにより構築される硬組織の階層的かつ秩序的構造の形成機構の解析に加え，生体の組織界面における生体高分子集合体の構造制御に基づく機能発現に倣う機能性材料の構築について解説する。形成機構は，核形成および選択的結晶成長を有機物質と無機物質の界面に着目し，概説した。また，機能性材料の構築は外部環境変化により可逆的な構造転移を誘起することで機能を発現する材料について概説した。

キーワード：界面構造，生体模倣技術，自己組織化，有機無機複合材料，生体高分子

1. はじめに

われわれの身の回りには，無数の「界面」が存在する。身近なところではコップに水を注いだときの接触面，窓ガラスについた雨粒との接触面や顔と大気との境目なども広い意味では界面と捉えることができる。また，化学的に見ても界面は多く存在し，きわめて重要な「場」として機能する。一般的な接触角測定を例に考えてみる。**図-1**は，ガラス基板上に水滴を滴下した際に生じる界面を模式的に示したものである。ガラス基板と水の二つの物質間においても三つの界面（気固界面，気液界面および固液界面）が存在する。また，生物も界面を反応場として巧みに利用することで，その生命活動を維持している。生物の生命活動の維持は，生化学反応のネットワークである代謝により達成されている。これらの生化学反応は生体高分子が階層的かつ秩序的な構造を有する自己組織化集合体（イオンチャネルや膜会合電子伝達系など）の存在する生体組織界面で行われる。たとえば，アデノシン三リン酸（ATP）の合成と共役した好気的酸化プロセスである膜会合電子伝達系は，細胞小器官の一つであるミトコンドリアの内膜（マトリックスと膜間腔の界面に存在）で行われ，最終的に“生体のエネルギー通貨”であるATPを合成する。つまり，生化学反応において異なる環境が隣接する組織界面は，きわめて重要な反応場である。この界面は生化学反応のみでなく，酸化チタンによる光触媒反応[1,2]，ドラッグデリバリーシステム（DDS）用のナノキャリアやハイドロゲルの外部環境応答性[3-8]に加え，粒子合成やその配列制御としての反応場[9-12]などの工学および医療などのさまざまな研究分野における化学反応または機能制御において重要な役割を有する。そのため，近年，精密な界面構造の設計および制御により特異的な機能を発現する機能性材料の開発が盛んに行われている[13-15]。また，溶媒として水や有機液体（エタノールやアセトンなど）のほかにイオン液体（100℃以下において液体として存在可能な溶融塩）の発見により従来では達成が困難な条件における研究にも展開されている。イオン液体は，きわめて低い蒸気圧（真空下においても蒸発せずに液体として存在することが可能）および優れた物質溶解性を備えているため，真空/液体界面や高温での液固界面での反応など，これまでは反応場としての利用が難しい環境において界面反応が可能となり，その研究領域はめざましく発展を遂げている。本稿では筆者らのこれまでの研究成果を中心に，生体の界面構造の設計および制御に倣い機能を制御した生体材料（バイオマテリアル）の機能性や機能発現に関する研究について概説する。

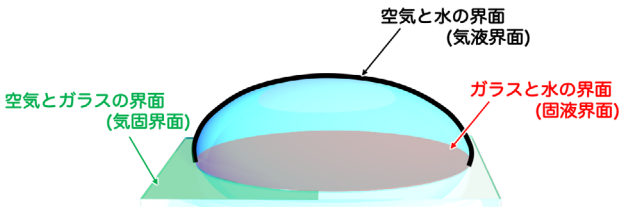

Fig. 1　静的接触角測定における各種界面

〔氏名〕むらい　かずき
〔現職〕信州大学学術研究院繊維学系 助教
〔趣味〕バスケットボール，食べ歩き
〔経歴〕2015年3月名古屋工業大学大学院工学研究科物質工学専攻博士後期課程修了 博士（工学）。2014年4月日本学術振興会特別研究員DC2。2015年4月東京理科大学基礎工学部材料工学科 助教。2018年3月信州大学繊維学部化学・材料学科機能高分子学コース 助教（特定雇用）。2020年4月信州大学学術研究院繊維学系 助教，現在に至る。

【図表について】電子ジャーナルサイト「J-STAGE」ではカラーでご覧いただけます。https://www.jstage.jst.go.jp/browse/shikizai/-char/ja/

2. 生体システムに着想を得た機能性材料の開発

生体高分子の自己組織化により秩序性および階層性を併せもつ組織化体（生体システム）は，外部環境の変化に対して迅速に応答することで連続的かつ可逆的な三次元構造の転移を誘起し，その機能の制御を達成している。そのため，微小な外

© 2021 Journal of the Japan Society of Colour Material