

澤田 敏樹

東京工業大学物質理工学院  
助教

生体高分子の階層的な集合化を利用したナノスケール熱動態の理解と機能制御

## § 1. 研究成果の概要

繊維状ウイルスの一種である M13 バクテリオファージが非共有結合を基にして集合化した集合体(フィルム)が示す高熱伝導化の機構解明に加え、フィルムを放熱材(熱界面材料)として利用するための有用性を拡張することを目的とした。これまでの結果から、欠陥のない集合体を形成させることが重要であることを見出している。高熱伝導性が発現するための必須構造を明らかにするため、ランダムな集合体と比較して 10 倍以上と高い熱拡散率を示しながらも、その中で熱拡散率の異なるフィルムを系統的に調製し、その集合構造を詳細に評価した。その結果、ファージが形成するスメクチック液晶配向したドメインのサイズがより大きく、それらが数百マイクロメートルに渡って高度に配向することが高熱伝導化には重要であることが明らかとなった。また、集合化の過程を架橋剤によって固定化しながら評価することで、コーヒーリング効果(すなわちマランゴニ対流)に基づく液滴内部で濃度上昇に伴う液晶配向が生じており、それが規則的な集合化に寄与していることが明らかとなった。

一方で、フィルムを形成しているファージはタンパク質と DNA からなる生体高分子集合体であるため、水系でしか取り扱うことができず、有機溶媒を利用したプロセスには展開することが不可能であった。そのため、両親媒性分子であるオリゴエチレングリコールをファージ表層に有機化学的に導入し、ファージ分子の有機溶媒耐性や溶解性を向上させることを検討した。鎖長の異なるオリゴエチレングリコールを用いて検討した結果、鎖長が長いほど導入率が低下する傾向が見られたが、鎖長が長いオリゴエチレングリコールを用いた方がファージの有機溶媒耐性が向上することがわかった。実際に、有機溶媒系からフィルムを調製した結果、鎖長 10 のオリゴエチレングリコールを導入した場合には、水系から調製した場合の熱拡散率と大きな違いは見られなかったが、オリゴエチ

レングリコール鎖長が短い場合もしくは導入しなかった場合には、有機溶媒系からフィルム調製すると熱拡散率は大幅に低下した(図)。以上から、生体高分子集合体であるファージを有機溶媒系で取り扱うことに成功し、複雑なモルフォロジー表面をもつ基板や疎水性の高い基板であっても、密着したフィルムをその場調製できることが明らかとなった。

図 水系あるいは有機溶媒系から調製したファージフィルムの熱拡散率

