

君塚 信夫

九州大学大学院工学研究院・教授(工学博士)



〔業績〕 ナノ界面の自己組織化制御に基づく機能性高分子システムの創成

Development of Functional Molecular Systems Based on Self-Assembly

分子の自己組織化を利用して、精密に構造制御されたナノマテリアルを構築し、卓越した機能や物性を創出してゆくことは、化学の将来を握る重要課題である。このためには、分子組織化の新しい概念ならびに方法論を開拓し発展させることが不可欠である。

君塚信夫氏は、分子の自己組織化ならびにナノレベル界面の設計を基軸とし、金属錯体物性科学をはじめとする異分野の融合に基づくナノマテリアル化学の新領域を開拓してきた。以下に、同氏のおもな研究業績を紹介する。

(1) 一次元金属錯体を主鎖とする分子集積型高分子の開発とその特性

これまで固体物性科学の研究対象とされてきた一次元金属錯体を脂溶性に変換し、溶液中で超分子ポリマーとして取り扱う新しい方法論を開拓した。まず擬一次元ハロゲン架橋混合原子価錯体を脂質で被覆する方法論を開発し、得られた錯体が一次元共役鎖を保持したまま有機溶媒に分散できることを明らかにした。この一次元錯体/脂質複合体においては金属種やハロゲン元素、脂質の分子構造に依存して共役電子構造を制御でき(超分子バンドギャップ工学)、またこれら一次元電子系の形成を分子組織化によって制御すること、ならびに錯体鎖の巨視的配向制御を達成した。

さらに同氏は、脂溶性トリアゾール配位子を含む一次元Co(II)錯体において、有機溶媒中におけるヒートセット型ゲル形成をはじめて実現した。Co(II)錯体の加温にともなう6配位から4配位構造への配位構造変化が、アルキル鎖の配向結晶化とナノファイバー形成を誘起することを明らかにし、配位化学に基づくエネルギーランドスケープの超分子制御を実現した。さらに、脂質で被覆された一次元Fe(II)トリアゾール錯体においては、固体状態に比べ溶液中で低スピン錯体が著しく安定化されるというユニークな現象を見だし、溶液系に独自の金属錯体の疎媒性収縮(ナノ界面効果)やスピンコンバージョン現象を達成した。

(2) 分子適応性を有する(アダプティブな)自己組織化システムの開発

分子やナノ粒子の表面において、ヌクレオチドとランタニドイオンから成る配位ネットワークを水中で形成させる“アダプティブな自己組織化”の概念ならびに技術を開発した。この配位ネットワークはナノ粒子を与え、内包されたゲスト分子のコ

ンフォメーションや酸素分子の透過が規制されること、またこれらの配位ナノ粒子がMRI造影剤、細胞内光プローブなど多彩に応用できることを示した。さらに、配位不飽和な両親媒性Tb(III)錯体の自己組織化により、高エネルギーリン酸化化合物の結合に応じてアロステリックな発光強度の増大を示す分子適応型ナノインターフェースの構築に成功した。

(3) イオン液体を媒体とする分子組織化学ならびに界面材料化学の創成

イオン液体は、不揮発性の機能性溶媒として電池化学をはじめとするさまざまな分野で注目を集めている。同氏は、イオン液体を分子組織化や生体高分子の媒体とする研究にいち早く取り組み、エーテル結合ならびにハロゲンイオンを含むイオン液体が糖や多糖を溶解すること、また糖脂質やカチオン性脂質がイオン液体中で安定な二分子膜、ならびに分子組織性イオンゲルを形成することをはじめて明らかにした。同氏はさらに、イオン液体中で形成される有機溶媒のマイクロ液滴を鋳型とする金属酸化物中空粒子の一段階合成や、イオン液体表面における水溶性ナノ粒子の二次元集積など、自己組織化や界面化学の概念を導入したイオン液体化学の新領域を開拓した。

(4) 自己組織化による金属ナノ結晶の構造制御と散逸ナノ構造の発見

同氏は金属ナノ結晶の形成を“酸化還元反応をともなう自己組織化”という新しい視点で捉え、水中で光還元と溶存酸素を利用した酸化溶解反応を競争的に行うことによって、花卉状などのユニークな形状を有する金属ナノシートが形成されることを見いだした(ナノ彫刻法)。また巨視的な水-有機界面で形成された金錯体のイオン対が、濃度勾配と疎水性相互作用を駆動力として水相へナノファイバー状に成長する現象を見だし、ナノレベルの散逸構造(散逸ナノ構造)の存在をはじめて示した。これにより、非平衡系の分子組織化とナノ科学を融合させた。

以上のように、君塚氏は、独創的な着想によって分子の自己組織化とナノ界面制御に基づく新しいナノマテリアル科学の新領域を切り拓き、高分子化学、錯体化学や超分子化学をはじめとするさまざまな分野に大きなインパクトを与えた。これらの先駆的な研究成果は国内外の高い評価を得ており、同氏の業績は高分子学会賞に値すると認められた。