

## 【基盤研究(S)】

### 大区分E



## 研究課題名 マルチスケール界面分子科学による革新的機能材料の創成

東京大学・大学院工学系研究科・教授 **あいだ たくぞう**  
**相田 卓三**

研究課題番号：18H05260 研究者番号：00167769

キーワード：超分子化学、複合材料・物性、物理的摂動、表面界面

#### 【研究の背景・目的】

生体組織は、構造的に著しく異方的である。より厳密にいうと、分子からナノスケールを超え、メゾ・巨視スケールにいたる「階層的異方構造」からなり、この特異構造が、多様かつ特異な物性・機能の発現を担う。この「階層的異方構造」の形成プロセスは、「熱力学平衡支配の組織化」とは本質的に異なり、イオン勾配、浸透圧、流束、剪断力といった生体内の様々な「物理的摂動」を巧みに利用している。

超分子化学の目覚ましい発展により、ナノスケールまでの分子組織化は、今や化学の標準的ツールになっている。しかし、ナノ構造がさらに組織化してできる巨視スケール構造の予測・制御は、組織化の階層があがるにつれて可逆的な熱力学平衡支配から不可逆的な速度論支配に移行するため、一般に不可能である。これはボトムアップ材料設計の Missing Link であり、超分子化学の応用展開を著しく妨げている。

本プロジェクトでは、生体内の組織化に学び、「物理的摂動下での組織構造の形成」に焦点をあて、分子スケールからナノ・メゾスケールを超え、巨視スケールにいたる高度に制御された階層的異方構造からなるソフトマテリアルを設計するとともに、その異方性に由来する格別な物性・機能の開拓をめざす。

#### 【研究の方法】

物理的摂動として電場・磁場などを用いた配向制御材料はすでに知られている。しかし、本研究プロジェクトでは、工学的・物理的側面の強いそれらの研究とは一線を画し、新たに「表面・界面」を「組織化の自由度を三次元から二次元下げる物理的摂動」として用いるとともに、研究代表者がこれまで

に独自に開拓してきた「メッセージ性の強い」モチーフを投入し、「化学と物理を橋渡しする学際的な材料科学研究」を展開する。具体的には、(1) 自己修復ポリマーガラス、(2) 巨大な静電容量を示すイオン液体多価電解質、(3) チタニアナノシートをはじめとする非球状多価電解質の磁場配向など、表面・界面が深く関わる材料科学に注目し、研究を進める。

#### 【期待される成果と意義】

本研究で開拓される新学理は、基礎科学的な重要性に加え、人々の生活を一変させる応用技術にも直結する。(1) 自己修復ポリマーガラスの開拓により、硬いと自己修復しないという、高分子科学の常識を打ち破る。柔らかいゴムに加え、硬いプラスチックが広く自己修復可能となり、持続可能社会実現への大きな一歩となる。(2) 多価電解質が示す巨大な静電容量は、高機能電気二重層キャパシタの開発に繋がり、大容量蓄電デバイスとしての社会実装が期待できる。(3) チタニアナノシートに代表される剛直な異方的多価電解質が物理的摂動のある条件下で示す特異な配向挙動は「異方性コロイド科学」を開拓するとともに、伝統的な構造材料の分野に大きな一石を投じるものであり、今なお当該分野の夢である「人工関節・人工筋肉」をより現実的なものにする。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Y. Yanagisawa *et al.* Mechanically robust, readily repairable polymers via tailored noncovalent cross-linking, *Science* 359, 72–76 (2018).
- M. Matsumoto *et al.* Ultrahigh-throughput exfoliation of graphite into pristine ‘single-layer’ graphene using microwaves and molecularly engineered ionic liquids, *Nature Chem.* 7, 730–736 (2015).
- M. Liu *et al.* An anisotropic hydrogel with electrostatic repulsion between cofacially aligned nanosheets, *Nature* 517, 68–72 (2015).

#### 【研究期間と研究経費】

平成 30 年度–34 年度  
148,800 千円

#### 【ホームページ等】

<http://macro.chem.t.u-tokyo.ac.jp/>  
aida@macro.t.u-tokyo.ac.jp

