



## 研究課題名 2次元性を基盤とするソフトマテリアルサイエンスの開拓

東京工業大学・科学技術創成研究院・教授

ふくしま たかのり

福島 孝典

研究課題番号： 21H05024

研究者番号： 70281970

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 139,800千円

キーワード： 2次元分子集合化、ソフトマテリアル、有機薄膜、自己組織化単分子膜、トリプチセン

### 【研究の背景・目的】

グラフェンや遷移金属カルコゲナイド、またファンデルワールス材料と呼ばれる物質系に象徴されるように、2次元性は特異な物性発現のための重要な構造要素である。しかし有機物質系においては、構成要素となる分子の配向や配列を制御して2次元構造を構築するための合理的な設計指針は確立されていない。本研究では、2次元ハニカム構造への集合化を強力に誘起する三脚型トリプチセン(図)を「2次元超分子足場」とするアプローチにより、種々の官能基や機能団を用い、固体表面上の単分子膜から、2次元集合体が1次元積層した「2次元+1次元」の次元性をもつ多層膜、さらにはバルクな結晶や高分子集合体までも含む広範な物質群を対象に、配列・配向を高度に制御した2次元集合体を創製する。こうして得られる、多様な化学的および物理的性質を示すホモおよびヘテロ界面を特徴とする物質系において、2次元性によって発現する機能や新現象を探索する。

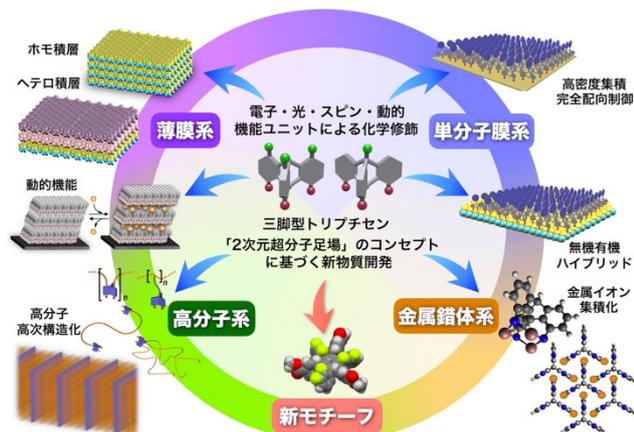


図 三脚型トリプチセンを超分子足場とする機能団の高配向・配列規則的な2次元集合体構築に基づく本研究の物質開発スコープ。

### 【研究の方法】

本研究では、無機や炭素系材料が示す物性や機能の模倣ではなく、有機分子・高分子ならではの特性を活かした機能開拓に取り組む。2次元ハニカム状超分子足場を利用する有機構造体構築のアプローチを深化、発展させ、分子系の特徴である自在設計性、柔らかさ、刺激応答性、運動性ととともに、無機や金属材料との複合化も視野に入れ、官能基や分子機能団の相互配置や配列の対称性まで含めた精密2次元集積化により、ホモ・ヘテロ界面構造の造り込みを単分子膜～薄膜～バルクなどの物質系で実現し、創発的な新機能創出を

指す。具体的には以下の研究を推進する。

- (1) 三脚型トリプチセンを超分子足場として利用した $\pi$ 電子系ユニットの2次元集合化
  - (2) 配位性官能基を導入した三脚型トリプチセンと典型元素や遷移金属との複合化による新規2次元性有機・無機ハイブリッド薄膜の構築
  - (3) 酸化還元能を付与した三脚型トリプチセンの2次元集合化に基づく、電荷注入によりスピン状態や密度を制御可能な薄膜創製
  - (4) 可逆な構造変化や物質の取り込みが可能な薄膜の創製に基づく協奏的集団運動システムの構築
  - (5) 三脚型トリプチセンの高分子への導入による2次元集合性スマートソフトマテリアルの開発
- 上記の研究項目に加えて、新たな2次元集合化モチーフの開発にも取り組み、2次元性を基盤とするソフトマテリアルの新構造、新機能創出を図る。

### 【期待される成果と意義】

2次元超分子足場を用いる本アプローチが適用できる物質系のスコープは広く、 $\pi$ 電子、スピン、ダイポール、回転子ユニットなどの低分子系機能団から、高分子系、および遷移金属錯体系にまで及ぶ。物質形態としては、薄膜や多層構造をもつ液晶・結晶のみならず、金属や無機固体表面上で形成する自己組織化単分子膜まで視野に入れている。2次元超分子足場を基盤とする「ナノスケールの構造規則性を巨視的スケールにまでボトムアップする技術」ならびに「表面改質技術」は、学術的な新規性ばかりでなく、産業界における重要性も高い。例えば、新たな表面構造・性質の自在設計技術、異種物質の接着技術への応用展開が期待される。有機物質系における2次元性をキーワードとし、多種多様な物質系、物質形態に普遍的に適用できるシステムやアプローチは過去に例がない。本研究によって得られる成果は学術的にも工学的にもインパクトを与えることが期待できる。

### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ F. Ishiwari, G. Nascimbeni, E. Sauter, H. Tago, Y. Shoji, S. Fujii, M. Kiguchi, T. Tada, M. Zharnikov, E. Zojer, T. Fukushima, *J. Am. Chem. Soc.* **2019**, *141*, 5995–6005.
- ・ F. Ishiwari, Y. Shoji, T. Fukushima, *Chem. Sci.* **2018**, *9*, 2028–2041.
- ・ N. Seiki, Y. Shoji, T. Kajitani, F. Ishiwari, A. Kosaka, T. Hikima, M. Takata, T. Someya, T. Fukushima, *Science* **2015**, *348*, 1122–1126.

### 【ホームページ等】

<http://fuku.res.titech.ac.jp>