

新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする  
次世代フォトニクスの中盤技術  
2017 年度採択研究代表者

|                  |
|------------------|
| 2021 年度<br>年次報告書 |
|------------------|

石田 康博

理化学研究所 創発物性科学研究センター  
チームリーダー

殆どが水よりなる動的フォトニック結晶の開発と応用

## § 1. 研究成果の概要

光の波長の周期を持つ構造体「フォトニック結晶」は、光の性質を操る究極のツールであり、「結晶」の名の通り、通常は固体で作られる。我々は最近、99%の水に 1%の酸化チタンナノシートを加えた流体が高性能のフォトニック結晶となることを見出しており、これは、従来の常識を覆す「大面積配向性・刺激応答性・生体適合性のフォトニック結晶」へ発展しうる。そこで本研究では、前例なきフォトニック結晶の基礎学理を探求、および、高品質・高感度のイメージングやセンシングなどの応用展開を図る。2021 年度は、基礎学理を深化するとともに、応用展開を推進した。

課題 3「動的フォトニック結晶における発光現象の応用」については、天然ポリマーであるゼラチンが、固体状態にて高効率の長寿命リン光を発することを見出した。芳香族を持たないゼラチンがリン光発光できるのは、ゼラチン中に存在するカルボニル基が多点の水素結合で固定され、特殊な色素として振る舞うためであることが明らかとなった。ゼラチンは安全性や無毒性が確約されているとともに、リン光発光能を維持したまま、フィルムや多孔体など多様な形状に加工でき、これまでのリン光物質の常識を超えた応用が期待される。

課題 5「動的フォトニック結晶の発展的応用」については、研究計画当初には想定していなかった、興味深い現象を見出した。動的フォトニック結晶を磁場配向した後に微量の二酸化炭素を局所添加すると、系内に含まれる 20 億枚のナノシートが一律に協働して運動し、巨大かつ高秩序の進行波を発生した。これと並行して起こる構造色の変化を手がかりに、波発生メカニズムを解明することができた。この成果は、分子機械の分野における「複数ユニットをいかに連動して駆動するか」という課題に対し、一つの指針を示すものである。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 石田グループ

- ① 研究代表者: 石田 康博  
(理化学研究所 創発物性科学研究センター チームリーダー)
- ② 研究項目
  - ・有機ナノシートの開発
  - ・呈色機能の制御と応用

### (2) 佐々木グループ

- ① 主たる共同研究者: 佐々木 高義  
(物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクニクス研究拠点 フェロー)
- ② 研究項目
  - ・無機ナノシートの開発
  - ・無機ナノシートの供給

### (3) 荒岡グループ

- ① 主たる共同研究者: 荒岡 史人  
(理化学研究所 創発物性科学研究センター チームリーダー)
- ② 研究項目
  - ・光学分散関係の精査
  - ・発光機能の制御と応用

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) Suzhi Cai, Zhifang Sun, He Wang, Xiaokang Yao, Huili Ma, Wenyong Jia, Shuxu Wang, Zhihao Li, Huifang Shi, Zhongfu An, Yasuhiro Ishida, Takuzo Aida, and Wei Huang, “Ultralong Organic Phosphorescent Foams with High Mechanical Strength”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 143, p. 16256, 2021
- 2) Koki Sano, Xiang Wang, Zhifang Sun, Satoshi Aya, Fumito Araoka, Yasuo Ebina, Takayoshi Sasaki, Yasuhiro Ishida, Takuzo Aida, “Propagating Wave in a Fluid by Coherent Motion of 2D Colloids”, *Nature Communications*, vol. 12, p.6771, 2021