

光で溶ける有機材料—再生可能な感光性有機材料の基盤技術の創出

研究代表者

則包 恭央 独立行政法人 産業技術総合研究所 電子光技術研究部門



1. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- ・「光で溶ける有機材料」についての体系的な研究を実施。機能材料系構築のための分子設計指針を得た。
- ・プロセス材料（繰り返し使用できるフォトレジストや接着材料）としてのデモンストレーションを実施した。
- ・繰り返し使用可能な感光性材料の開発により、廃棄物の削減、省資源化、および革新的プロセスの実現に貢献し、これらによりグリーンイノベーションの加速化が期待される。

2. 研究の背景と達成目標

通常物質は、熱によって固体と液体の間を相変化する。一方で研究代表者らは、可逆的な光化学反応である光異性化反応を利用することにより、光照射によって固体（結晶）から液体へと相転移を起こし（溶け）、さらに加熱によって再び固体に戻ることが可能な有機材料を世界で初めて開発した（図1a）。そこで本研究では、この新奇有機材料系についての体系的な理解に加え、これを突破口とし、固体と液体の状態間を光によって自由自在に操ることが可能な革新的機能材料系へと発展させることを目指す。そのために次の4つのサブテーマについて検討した。①「光で溶ける」現象を起こすための分子構造設計の理解、②「光で溶ける」反応機構の解明、③「光で固化する」材料の構築、および④光で溶けるガラス材料の構築。

3. 研究成果

上記の目的を達成するため、約40種類の新規化合物を新たに合成し、分子構造と光応答性との関連について系統的に検討を行った。その結果、固体（結晶）中での光反応性を確保し、かつ反応後が室温で液体を示すための分子デザインの指針を得た。

さらに、上記にて合成した化合物について、結晶構造解析、分光学的測定、および計算機シミュレーション等を用いて、分子レベルの動的な挙動が巨視的な相変化に与える影響について検討を行った。

網羅的な合成と光機能性評価によって、「光で固化する」化合物群（図1b,c）を見出し、さらにそのための分子設計指針を得た。一方で、固体状態（結晶やガラス状態）を任意に制御することは、材料としての製膜性や機械的強度を確保する上で重要である。そこで、分子の結晶化プロセスと分子構造との関連についての知見をもとに、熔融状態から固化する際において、結晶多形やガラス状態を作り分けるための分子設計と固化プロセスの指針を得た。

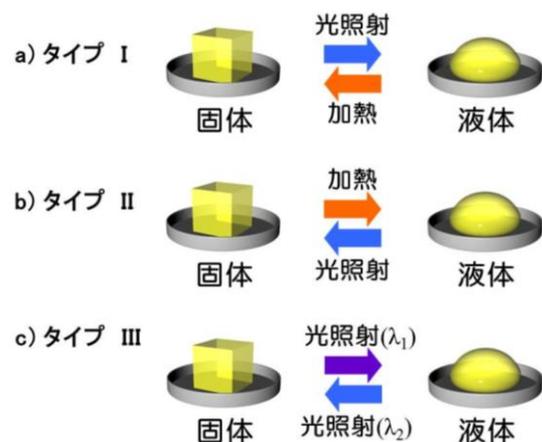


図1 光で液・固体の間を相転移する材料系の分類図。bとcが光で固化する材料系に相当する。

本研究の発展として、「光で溶ける有機材料」の応用可能性とプロセス適合性を検証するため、開発した化合物群について、フォトレジストおよび光接着剤としてのデモンストレーションを行い、機能性を確認した。

4. 今後の展開

感光性材料は既に大きな産業分野を形成しているが、既存の感光性材料は、不可逆的な光化学反応を利用しているため、一度光を当ててしまうと元の状態に戻すことは原理的に不可能であった。本研究では、通常は熱の出入りで起こる物質の状態変化（融解、凝固）を、光を用いて起こすことを実現させた。これは、物質科学の全く新しい概念として、学術および産業応用の両側面において波及効果が期待される。この研究の波及効果のイメージを図2に示す。本研究分野が発展することにより、廃棄物の削減および省資源化を通してグリーンイノベーションの加速化と産業への貢献が期待される。さらに、本研究で取り扱う材料系は、従来と全く異なる物理現象を示すことから、これまでになかったプロセス技術への応用も期待され、現時点では予想困難な分野における応用もありうる。そのため、研究代表者らは、本現象の基礎と応用の両側面から研究を継続している。

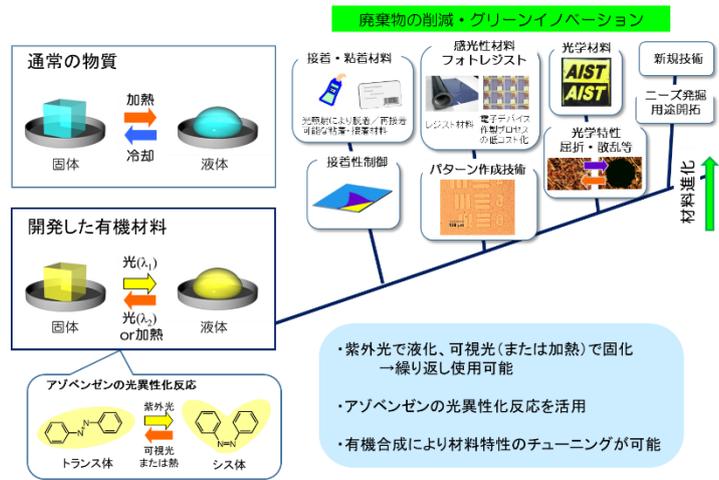


図2 光で溶ける有機材料の波及効果を示す模式図。

5. 発表実績

【論文発表】

- 1) Manabu Hoshino, Emi Uchida, Yasuo Norikane, Reiko Azumi, Shunsuke Nozawa, Ayana Tomita, Tokushi Sato, Shin-ichi Adachi, Shin-ya Koshihara “Crystal Melting by Light: X-ray Crystal Structure Analysis of an Azo Crystal Showing Photoinduced Crystal-Melt Transition” *Journal of the American Chemical Society*, in press.
- 2) Emi Uchida, Kouji Sakaki, Yumiko Nakamura, Reiko Azumi, Yuki Hirai, Haruhisa Akiyama, Masaru Yoshida, Yasuo Norikane, “Control of the Orientation and Photoinduced Phase Transitions of Macrocyclic Azobenzene” *Chemistry - A European Journal*, 19, 17291-17397 (2013).
- 3) Yasuo Norikane, “Physical and Photochemical Properties of Macrocyclic Azobenzenes” *Journal of Photopolymer Science and Technology*, 25, 153-158 (2012).

【学術講演】

- 4) 光による液体・固体相変化材料、則包恭央、13-2 光反応・電子用材料研究会 2013年度第4回ナノインプリント技術研究会、産業技術総合研究所 臨海副都心センター、2013年11月15日
- 5) 光異性化反応を活用した光で融ける有機材料の開発とその可能性、則包恭央、第28回茨城地区「若手の会」交流会、つくばセミナーハウス(つくばみらい市)、2013年10月8日
- 6) Organic materials that liquefy upon light irradiation: Reversible crystal-liquid phase transition utilizing photoisomerization of azobenzene、則包恭央、日本化学会第93春季年会 アジア国際シンポジウム、立命館大学 びわこ・くさつキャンパス(滋賀県草津市)、2013年3月24日

【出版等】

- 7) 機能材料、32巻5号49頁～54頁、紫外線照射で液体に変化する再利用可能な感光性有機材料、則包恭央、シーエムシー出版、2012/04/05