

分子空間制御に基づく太陽光利用 CO₂ 分離・回収・資源化

(東京理大工¹) ○今堀 龍志¹

CO₂ capture and utilization with sunlight based on control of molecular space (¹*Graduate School of Engineering, Tokyo University of Science*) ○Tatsushi Imahori¹

To accomplish carbon neutral by 2050, carbon-recycle that captures CO₂ and utilizes it as a resource must be put to practical use. In particular, CO₂ capture and transformation to chemicals doubly reduce atmospheric CO₂ through CO₂ capture and replacement of use of fossil carbon resource. However, development of the carbon-recycle technologies to chemicals is limited. While various CO₂ capture technologies have been developed and are under development, the technologies include heating and/or high-pressure process with high energy, which is likely to emit CO₂ in the energy production process. CO₂ transformations to chemicals with less CO₂-emission process are also limited. Our group is developing carbon-recycle technologies using sustainable sunlight. CO₂ capture and release technology with sunlight has been developed based on control of molecular space with photo-responsive structural changes. CO₂ transformations forming a C-C bond with sunlight has also been developed with visible-light-redox catalysis, which constructs nuclei of chemicals by the C-C bond formation and enables synthesis of various chemicals. Sustainable carbon-recycle technologies with sunlight could expand the application and accomplish practical use.

Keywords : CCU; Sunlight; Azobenzene; Photo-redox catalysis; C-C bond formation

2050 年カーボンニュートラルを実現するために、CO₂ を分離・回収し、資源として利用するカーボンリサイクル技術の開発が求められている。特に CO₂ を分離・回収し、化学品に作り替える技術は、大気中 CO₂ の直接的な削減と化石炭素資源の使用回避による CO₂ 削減効果が二重に期待できるため重要であるが、現状は開発が遅れている。カーボンリサイクル技術は CO₂ 削減技術であることから、CO₂ を排出しないプロセスであることが求められるが、開発が進められている CO₂ 分離・回収技術は加熱や圧力制御等の高エネルギープロセスを含み、CO₂ を間接的に排出してしまうため、低 CO₂ 排出の理想的な CO₂ 分離・回収技術の開発には至っていない。分離・回収した CO₂ を化学品に作り替える技術は、CO₂ から CO やメタノール等の基幹物質を合成する技術開発が盛んに進められているが、高温高压条件の高エネルギープロセスか、効率性の低い変換技術になっている。また、より下流側の医薬品や塗料等の原料となる機能性化学品の合成に関しては、ポリカーボネート等の含酸素化学品の合成に限られており、多様な機能性化学品を低 CO₂ 排出で合成する手法の開発が必要である。

我々のグループは、低 CO₂ 排出のカーボンリサイクル技術として、再生可能エネルギーである太陽光を利用した技術開発を計画し、光構造変換を利用した分子空間制御を基盤に CO₂ の吸収と放出を切り替える光応答性固液相転移 CO₂ 吸収剤によって、太陽光による CO₂ 分離・回収を実現した。また、太陽光中の可視光を利用した光酸化還元触媒反応によって、金属触媒を用いず、加熱・高压条件を用いない省資源・省エネルギー型の C-C 結合形成 CO₂ 変換反応を開発した。

太陽光を利用した CO₂ 分離・回収技術

光や熱によって構造変換するアゾベンゼンを利用し、光によって CO₂ の吸収・放出を操る光応答性固液相転移 CO₂ 吸収剤を設計開発した (図 1) ¹⁾。CO₂ 吸収と CO₂ 放出を別の状態の吸収剤で行うため、それぞれがエネルギーを使用せず自発的に CO₂ 吸収と放出を行い、CO₂ の吸収と放出切り替えに光構造変換を利用する。太陽光の利用により、低 CO₂ 排出の CO₂ 分離・回収が可能となる。

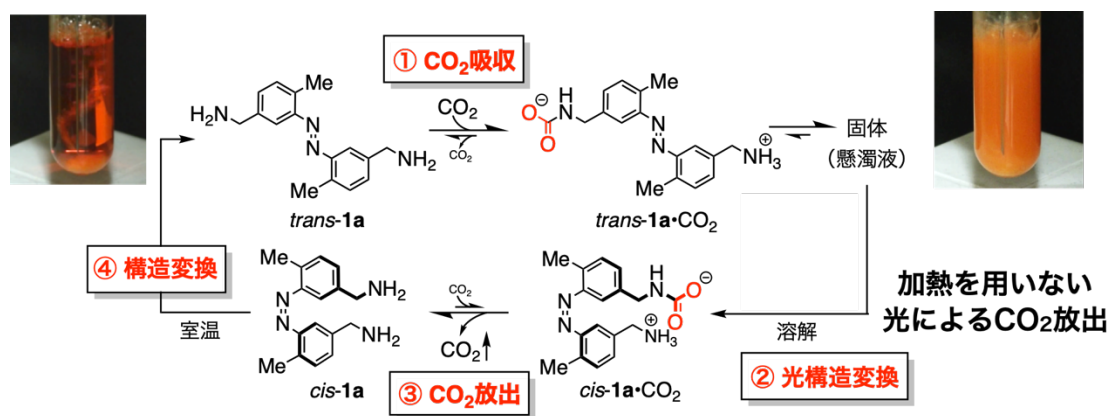


図 1. 光応答性固液相転移 CO₂ 吸収剤による CO₂ 吸収・放出

太陽光を利用した C-C 結合形成 CO₂ 変換反応

分離・回収した CO₂ を低 CO₂ 排出のプロセスによって化学資源化するために、可視光酸化還元触媒を用いた末端アルキンと CO₂ による C-C 結合形成反応を開発した (図 2)。本反応は、金属触媒を用いず、常温・常圧下で可視光 (青色) 照射によって進行し、省資源・省エネ・低 CO₂ 排出の理想的な CO₂ 変換法として捉えられる。現段階で、最高収率 >99%、15 以上の反応基質が適用可能となっている。また、結合解離エネルギーが高く、光酸化還元触媒反応に適用が困難な末端アルキンの C-H 結合の反応である。C-H 結合と CO₂ の光酸化還元触媒 C-C 結合形成反応も例が少ない。

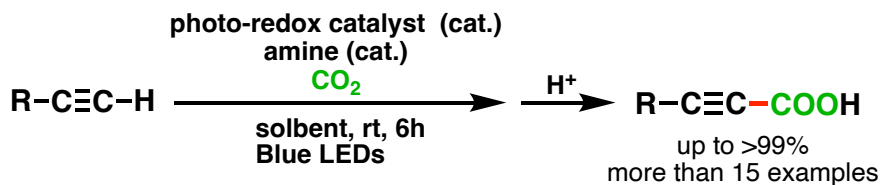


図 2. 可視光酸化還元触媒による末端アルキンと CO₂ の C-C 結合形成反応

1) 今堀龍志他、特願 2019-36824、2021-502674、PTC/JP2020/0085522、国際公開番号 WO2020-175711、EP20763430.4、GB20763430.4、FR20763430.4、DE20763430.4