



領域代表者	東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授	
	今岡 享稔（いまおか たかね）	研究者番号:80398635
研究領域情報	領域番号：22B207 キーワード：触媒科学、ナノ材料、カーボンニュートラル、分離膜	研究期間：2022年度～2024年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

カーボンニュートラル社会の実現には社会活動で排出されるあらゆる二酸化炭素(CO₂)を有用な化学物質に還元する技術が必要がある。しかし、現在利用できる方法は高温かつ高濃度のCO₂が必要であり、工場排気などごく一部のCO₂しか利用できない。常温・常圧・高選択的CO₂還元の実現を目指し、本領域研究はこの難題克服に不可欠な3つの超えるべき壁、すなわち①触媒活性の壁(サバティエ限界)、②選択性の壁(転化率-選択性相反)、③物質輸送の壁(ロブソン限界)に注目する。それぞれの壁を超える駆動力に焦点を当て、複合的に反応を駆動するための新しい学理「反応駆動学」を開拓する(図1)。

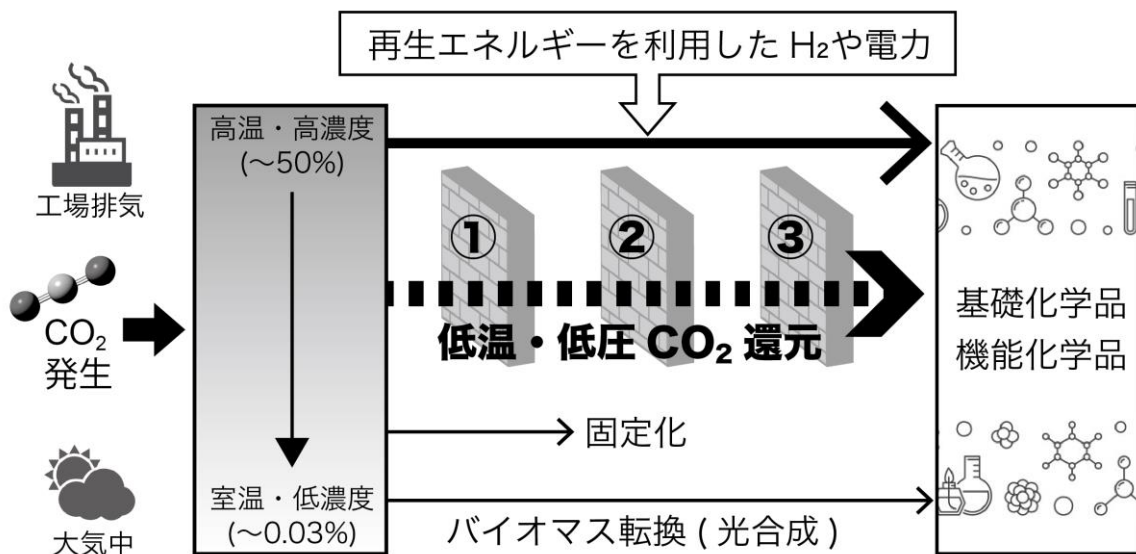


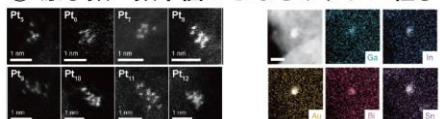
図1 本研究領域がめざす目標と克服すべき3つの壁

●研究アプローチ

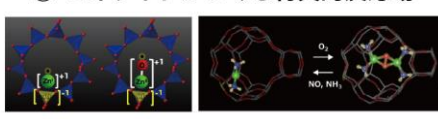
①～③の壁は複数の化学プロセス(化学反応や物質移動)のトレードオフによるものであり、CO₂還元のみならず様々な物質変換の至るところに立ちはだかる。ところが、例えば①の壁は金属/無機物質固体表面や金属錯体などの従来型活性点をもつ触媒設計の単なる延長では突破できないことが理論的に実証されてしまっている。本研究領域は基礎科学に立ち返り、こうした課題を解決しようとするものである。本領域の名称であり研究テーマでもある「反応駆動学」とは、①～③の元となるトレードオフ解決につながる、新しい化学反応の駆動力に関する科学を指す。

原子数個から数十個で構成される超微小金属/合金粒子(サブナノ粒子)は、低温(室温)でCO₂還元を進行させる動的な触媒活性点として期待されている。例えば、CO₂濃縮能のあるゼオライト(沸石の一種)の内部微小空間にサブナノ粒子を導入、反応による生成する水を活性点から効果的に排出する選択的物質輸送膜と組み合わせることで、CO₂還元の常温・常圧駆動の実現が見込まれる(図2)。

① 原子数～数十個からなるサブナノ粒子



② ゼオライトがつくる特異的反応場



③ 動的な高分子膜による物質輸送の科学

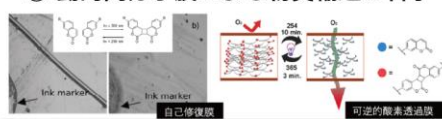


図2 高難度反応駆動にむけた研究アプローチ

● 研究組織の概要と各研究者の役割 (図3)

今岡(A01班)が超微小金属/合金粒子(サブナノ粒子)の高速探索を実施する。得られた有力な超微小粒子触媒の候補を、織田(A02班)が合成するゼオライトに導入する。このゼオライトはCO₂を内部で200倍以上に濃縮できるので、反応に必要な圧力を大幅に低下させ、常温・常圧駆動可能なCO₂還元触媒の誕生が期待される。

優れた触媒が得られた次のステップとして、これをフロー型システムに組み込み実用的な反応速度で動作させるためには、活性点に原料物質であるCO₂や水素のみを選択的に送り込み、生成する水を活性点から効果的に排出する選択的物質輸送膜が必要である。この輸送膜の作製を齋藤(A03班)が担当する。

本領域の研究分担者3名は、計測、理論計算、微細加工の技術を提供し、班横断的に活動する横串として位置付けられている。

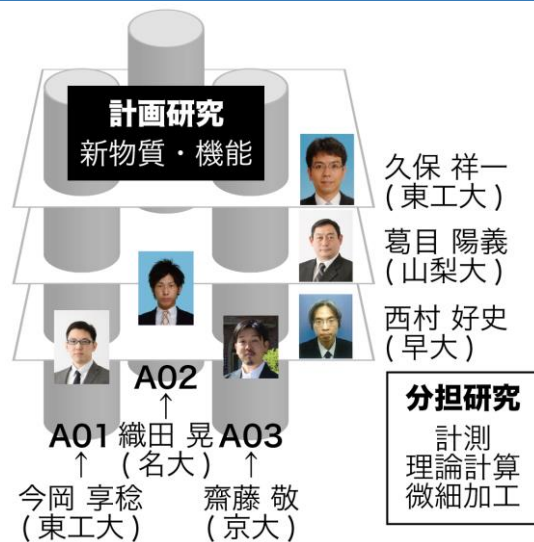


図3 研究組織の概要

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

● 目指す具体的な研究のゴール

本研究領域の推進によって将来期待される具体的な成果物は、CO₂を常温・常圧にて選択的に有用な化学物質へ変換できる触媒システムである。しかし前述したとおり、現存する触媒やそれを取り込んだシステムの単なる改良では実現が不可能であることが理論的に実証されているのが現状である。これを克服するにはどうすれば良いのだろうか？本領域ではこれまでの触媒科学が前提としていた「動かない不変の活性点」という前提を取り除くことがこの画期的物質変換につながることを実証したい。そこで、3つの壁を乗り越えてCO₂還元反応を効率的に駆動する動的な活性点や反応場の設計、およびその動作機構に関する新しい学術の原型を「反応駆動学」として纏めることが本研究領域の当初目標である(図4)。

● 融合領域の形成へ

本研究領域に現在所属する研究者の専門分野は、有機化学、無機化学、錯体化学、電気化学、触媒科学、表面科学、計算化学、理論化学、ナノ構造科学、分光化学、グリーン化学など物質科学の広範をカバーする(図5)。しかし上に挙げるようなカーボンニュートラル社会の実現という究極のゴールに到達するには、さらなる異分野研究者の戦略的取り込みが必要である。本研究領域では「反応駆動学」の創出にむけた研究活動を実施するとともに、領域の拡大と融合を目指した研究者交流活動にも力を入れる。

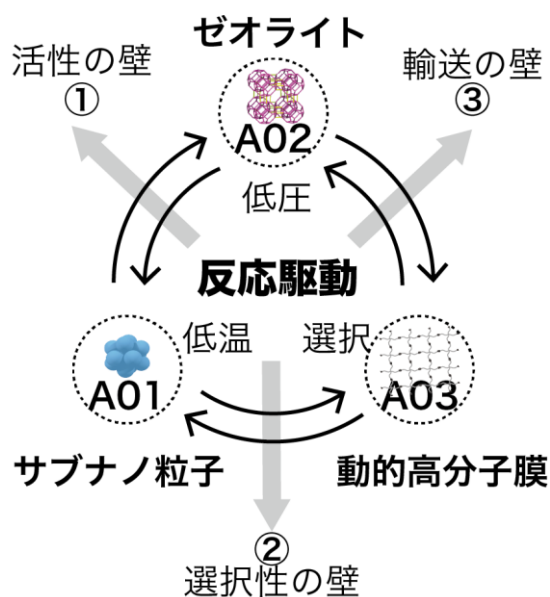


図4 CO₂還元反応の効率駆動に資する新学術の創成

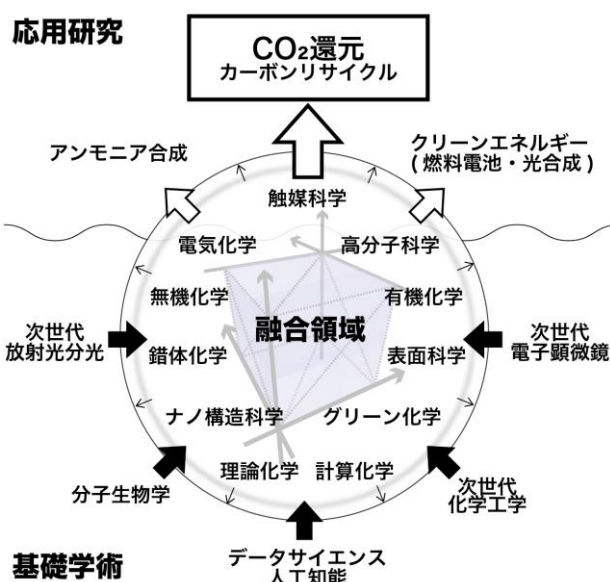


図5 反応駆動学を核とした融合領域の形成

