

東京大学環境報告書 2022 原稿記載要領

1. 掲載の形式

①標題、②概要、③本文とする。

※詳細は別紙掲載例をご参考ください。

2. 難易度

高校 2 年生程度が理解可能な、できるだけ分かり易い内容とする。

3. 文字数

・ 標題：32 文字以内

・ 概要：200～250 文字程度（欄内に図を掲載する場合）、300～350 文字程度（図の掲載がない場合）

・ 本文：1000～1200 文字程度（概要の欄の幅、本文中の図の掲載枚数及びサイズ等により増減）

・ フォント：種類は問わないが、英数字は半角とする。

※機種依存文字や外字等を使用する場合、文字が正しく表記されない可能性がありますので、原稿送付時にご連絡ください。

※別紙掲載例（本資料の次ページ）の文字数は、標題：21 文字、概要：277 文字、本文：約 1600 文字となっています。実際に執筆いただく際の参考としてください。

※標題についてはある程度調整が可能です。副題等で文字数の限度を超える場合はご相談ください。

4. 文体

「です」「ます」調 で口語文章体とする。

5. 年度

2021 年度の取り組み（継続中の研究については 2021 年度の成果等）を中心とした内容とする。

※それ以前の取り組みや、2022 年度以降の展望を含めてご紹介いただくことは問題ございません。

6. 年号

西暦表記を基本とするが、学校行事等の年度があるものは元号表記とする。

7. 写真・図表

読みやすさを考慮し、概要及び本文に掲載する写真・図表を 2～3 枚準備する（概要 1、本文 1～2）。

本文の写真・図表は 3 枚以上も可。1 枚のサイズが小さくならないよう、写真・図表 1 枚につき文字数 200～300 字程度調整してください。

写真・図表のデータは JPG 形式で 1MB 以上のサイズとする。

※著作権への抵触が無いよう、できるだけ自前のものご用意ください。

また、一般の方が写った写真は肖像権の使用確認が必要になる場合があります。

8. 原稿のデータ形式

Microsoft Word 形式

9. その他

1) 所属及び氏名と併せて研究室等の URL を掲載しますので、必ずご記入ください。

2) 作成いただいた原稿は、読みやすさやデザイン上の理由で編集・校正させていただく場合があることをご了承ください。（編集・校正の際にはご連絡いたします。）

6

環境にかかわる教育・研究

05

物性研究所
教授 吉信 淳▶ <https://yoshinobu.issp.u-tokyo.ac.jp/>

二酸化炭素の有効利用を目指したモデル触媒表面における化学反応の研究

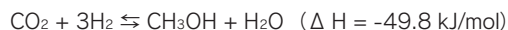
温室効果ガスの一つである二酸化炭素は、人間の生産活動だけでなく熱帯の泥炭地からの発生や森林火災などにより増加しており、地球環境とくに気候変動に大きな影響を与えていると考えられています。二酸化炭素の排出量を減らすために、発生した二酸化炭素を回収し有効利用することや貯蔵することなど様々な取り組みがなされています。二酸化炭素は非常に安定な分子ですが、触媒を使って水素と反応させると、メタノールなどの有用な化学物質に転換できます。しかし、触媒表面における反応機構は、まだ完全に理解されていません。最新の表面分析機器による実験的観測やファンデルワールス力を含めた第一原理計算により、モデル触媒表面における二酸化炭素の吸着や反応が原子スケールで解明されつつあります。さらに、雰囲気中の表面反応を観測できる雰囲気光電子分光が利用できるようになりました。

最近、気候変動が原因と考えられる異常気象が国内外で発生しています。温室効果ガスの一つである二酸化炭素(CO₂)は、人間の生産活動だけでなく熱帯の泥炭地からの発生や森林火災などにより増加しており、地球環境とくに気候変動に大きな影響を与えていると考えられています。2015年12月に採択されたパリ協定では、世界の平均気温上昇を産業革命前と比較して、2℃より充分低く抑え、1.5℃に抑える努力を追求することを目的としています。このために、「今世紀後半には、温室効果ガスの人為的な排出と吸収源による除去の均衡を達成するよう、排出ピークをできるだけ早期に迎え、最新の科学に従って急激に削減すること」が、世界全体の目標として掲げられています。2015年9月に国連で採択されたSDGs(持続可能な開発目標)においても13番目のゴールとして「気候変動に具体的な対策を」が掲げられています。国内外で二酸化炭素の排出量を減らすために、発生した二酸化炭素を回収し原料として有効利用することや貯蔵することなど、様々な取り組みがなされています。

二酸化炭素は非常に安定な分子ですが、銅(Cu)系触媒を使って水素(H₂)と反応させると、メタノール(CH₃OH)などの有用な化学物質に転換できます。しかし、触媒表面における反応機構は、まだ完全に理解されていません。最新の表面分析機器による実験的観測やファンデルワールス力を含めた第一原理計算により、モデル触媒表面における二酸化炭素の吸着や反応が原子スケールで解明されつつあります。実際の触媒としては、酸化物に担持された金属ナノ粒子が使用されますが、基礎研究の対象とするモデル触媒表面として単結晶金属表面がよく使われます。図1はCu(997)表面のモデル図です。このCu(997)表面は、最密充填のテラス(111)面と9列ごとの周期的なステップから構成されています。このように、よく規定されたCuステップ表面をモデル触媒として超高真空中で実験を行うことにより、吸着や表面反応におけるテラスとステップ役割を解明することができます。Cu表面にCO₂分子を真空中で吸着させるためには、60K以下の低温が必要になります。つまり、液体窒素ではなく液体Heを使って試料を冷却することが必要になります。低温のCu表面にCO₂分子を吸着させ、昇温脱離質量分析という方法で脱離過程を定量的に観測したところ、Cu表面での吸着エネルギーが25kJ/molであることが実験的に求められました。一方、従来の第一原理計算ではCO₂の吸着エネルギーを正確に再現することはできなかったのですが、最近のファンデルワールス相互作用を含めた第一原理計算を使えば、実験値を定量的に再現できるようになりました。

実際の触媒反応は真空中で表面反応が進行しているわけではな

く、気体雰囲気中における化学平衡のもとで起こります。例えば、CO₂の水素化によるメタノール合成は以下の化学式で示され、右向きメタノール合成反応は分子数が減少する発熱反応であり、化学平衡の観点からは低温・高圧が有利であることがわかります。



現在、メタノールは、Cu/ZnO/Al₂O₃触媒を使って合成ガス(一酸化炭素と水素)から製造されていますが、CO₂からのメタノール合成は工業化されていません。化石資源であるメタンのスチーム・リフォーミングによる合成ガスを利用するコストに比べて、CO₂の回収(捕捉)と自然エネルギーによるH₂製造のコストが高いからです。低温で迅速に反応を進行させることのできる触媒を開発することができれば、高い平衡転化率になり、経済的に成り立つプロセスに近づくことが期待されています。

実際の触媒反応にできるだけ近い条件で表面過程を観察するために、最近では「オペランド観測」が世界的に進められています。物性研究所では、東京大学放射光分野融合国際卓越拠点(SPring-8 BL07LSU)に雰囲気光電子分光システムを構築しました。雰囲気中の表面状態をX線光電子分光で観測しながら、同時に、分子の吸着・脱離過程を質量分析計で観測することができ、プロセス中の触媒や材料の表面研究に利用されています(図2)。

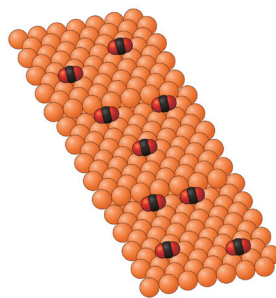


図1 Cu(997)表面に吸着したCO₂分子のモデル図。CO₂分子は分子軸を表面に平行にしてテラスやステップに吸着する。

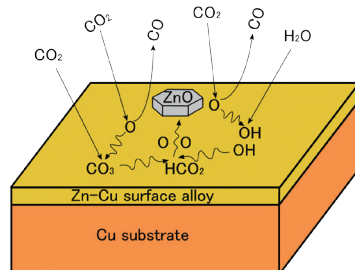


図2 Cu単結晶表面に構築したZnO/ZnCu表面合金/Cuモデル触媒におけるCO₂とH₂O分子の反応モデル図。雰囲気X線光電子分光により表面の化学種が同定でき、気体分子は質量分析計で定量的に解析できる。