

水素を用いた省エネルギーCO₂回収技術を開発

～火力発電所などの排ガスを混合ガス化、直接燃料・化成品原料に～

ポイント

- 地球温暖化対策のため、大気中の二酸化炭素（CO₂）濃度の低減が求められており、CO₂集中排出源からの消費エネルギーが少ないCO₂回収技術の開発が望まれていた。
- 燃焼排ガスからのCO₂回収に一般的に用いられるアミン吸収法において、再生塔へH₂を供給することによりCO₂を効率よく分離する「H₂ストリッピング再生技術」を開発し、再生塔温度の大幅な低温化に成功した。
- さらに、本グループで開発した「相分離型吸収剤」を併用することにより、従来比4分の1という世界最高水準の省エネルギー化を実現した。
- 再生可能エネルギー由来のH₂を用いることにより、燃焼排ガス中のCO₂を多様な炭素化合物に再利用する技術開発の加速とカーボンリサイクルへ貢献が期待される。

JST 戦略的創造研究推進事業 先端的低炭素化技術開発（ALCA）において、名古屋大学の町田 洋 助教らは、温室効果ガスの1種である二酸化炭素（CO₂）を火力発電所の排ガスなどから回収し、利用するために必要なエネルギーを大幅に削減できる技術を開発しました。

従来CO₂の回収には100度を超える温熱や多量のエネルギー（3～4 GJ（ギガジュール）／ton-CO₂）が必要であり、省エネ技術の開発が望まれていました。本研究グループは、これまでになかったCO₂回収技術として、再生塔^{注1}に水素（H₂）ガスを供給するH₂ストリッピング再生技術^{注2}を開発しました。これにより、従来よりも低い温度（85度）で燃焼排ガスをCO₂／H₂ガスに置換できることを明らかにしました。排熱の利用促進や反応熱回収などと組み合わせることでさらなるエネルギー低減が可能です。さらに、本研究グループで開発された相分離型吸収剤と組み合わせることにより、再生塔温度60度、分離回収エネルギー1 GJ／ton-CO₂未満という世界最高水準の省エネルギー効果が得られました。

本技術は、燃焼排ガス中のCO₂と再生可能エネルギー由来のH₂からメタンやメタノール、ガソリンなどを合成する技術に役立つことが期待され、カーボンリサイクルへの貢献が見込まれます。

本研究成果は、2020年6月2日（米国東部夏時間）に米国化学会誌「ACS Sustainable Chemistry & Engineering」のオンライン版で公開されました。

本成果は、以下の事業・研究領域・研究課題によって得られました。

戦略的創造研究推進事業 先端的低炭素化技術開発（ALCA）

研究領域：「炭素循環化学システムの高効率化」

（運営総括：辰巳 敬 製品評価技術基盤機構 理事長）

研究開発課題名：「相分離型省エネルギーCO₂吸収剤の開発」

研究開発代表者：町田 洋（名古屋大学 大学院工学研究科 助教）

研究開発期間：平成27年10月～令和4年3月

JSTは本事業において、温室効果ガスの排出削減を中長期にわたって継続的かつ着実に進めていくために、ブレークスルーの実現や既存の概念を大転換するような『ゲームチェンジング・テクノロジー』の創出を目指し、新たな科学的・技術的知見に基づいて温室効果ガス削減に大きな可能性を有する技術を創出するための研究開発を実施しています。

<研究の背景と経緯>

パリ協定に基づく各国政府の温室効果ガス排出規制強化の中で産業競争力を維持、強化するために、低コストのCO₂削減技術が産業界から期待されています。二酸化炭素回収貯留（CO₂ Capture and Storage: CCS）^{注3)}は有効な手段として考えられていますが、その際にかかるコストやエネルギーは依然高く、低コスト化、省エネルギー化は技術の社会実装への鍵となります。また近年CCSを超え、回収したCO₂を資源化し循環利用する二酸化炭素回収利用（CO₂ Capture and Utilization: CCU）^{注4)}への挑戦が進められています。しかしその際もCO₂を分離回収するエネルギーの削減が求められています。

<研究の内容>

本研究グループは、CO₂分離回収の省エネルギー化の課題において、材料開発とプロセス開発の2点に注力して研究を進めています。今回、プロセス開発に関して、再生塔にH₂を供給するH₂ストリップング再生技術を開発しました（図1）。

従来のCO₂回収・利用プロセスは、燃焼排ガス（CO₂、N₂、O₂など）より純CO₂を回収したのちH₂と混合することでCO₂還元反応を行うプロセスであり、汎用的な吸収液（Monoethanolamine: MEA）では40度程度で燃焼排ガスよりCO₂のみを吸収し、100度を超える温度で純CO₂を再生するケースが多く、3-4GJ/ton-CO₂ものエネルギーがかかっていました。これに対し、再生塔へH₂を供給することで吸収液からCO₂を引き剥がすH₂ストリップング再生技術は塔内のCO₂分圧が下がるため、液相から気相へのCO₂の移動が促進され、低温（85度）で再生することが可能となります（図2、3）。塔頂から回収されるCO₂とH₂の混合ガスは、CO₂還元反応の原料としてそのまま利用されます。本技術により100度以下の低温排熱の利用促進や反応熱回収などで省エネルギー化が促進されます。

本技術は、省エネルギー化が進む最新の吸収液を適用することで、さらなる効果を発揮します。本研究グループで開発した相分離型吸収剤^{注5)}は低温90度の再生が特徴でしたが、H₂ストリップング再生技術と組み合わせると、H₂/CO₂比4（メタン合成条件）で吸収塔50度、再生塔60度で運転可能（図4）で、必要エネルギーは1GJ/ton-CO₂未満という世界最高水準を達成しました。その他の用途（メタノール合成：H₂/CO₂比3、CO合成：H₂/CO₂比1）に対しても、再生塔温度の低温化と省エネルギー化が可能となりました。

<今後の展開>

本研究成果は、CCUプロセス中のCO₂回収プロセスの省エネ化につながります。今後CO₂変換プロセスの研究者と連携し、全CCUプロセスの最適化を進めることで、火力発電所などの排ガスからCO₂を効率回収利用するなど、社会実装への加速が期待されます。

<付記>

本研究は、名古屋大学の江崎 丈裕 研究員（現 福岡大学 助教）、山口 毅 助教、則永 行庸 教授らと共同で行われました。

<参考図>

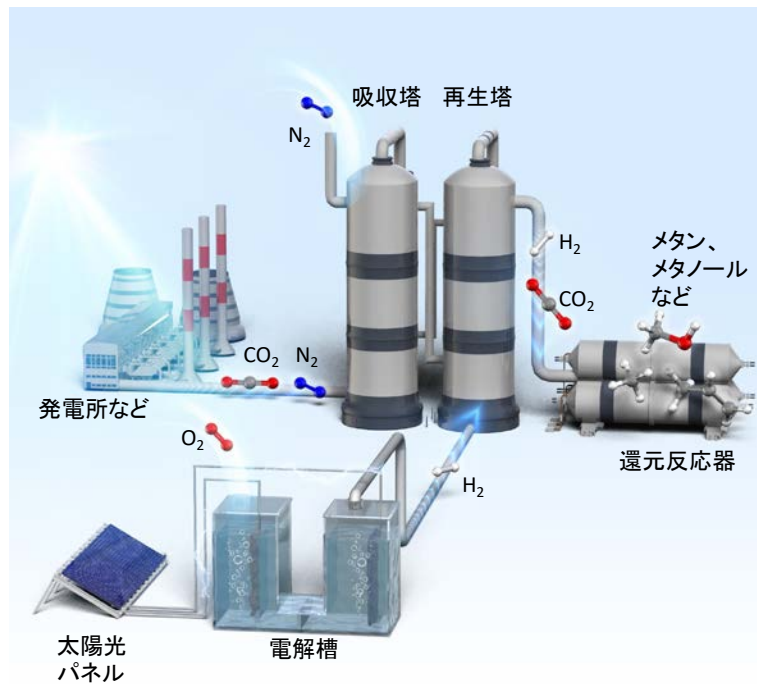
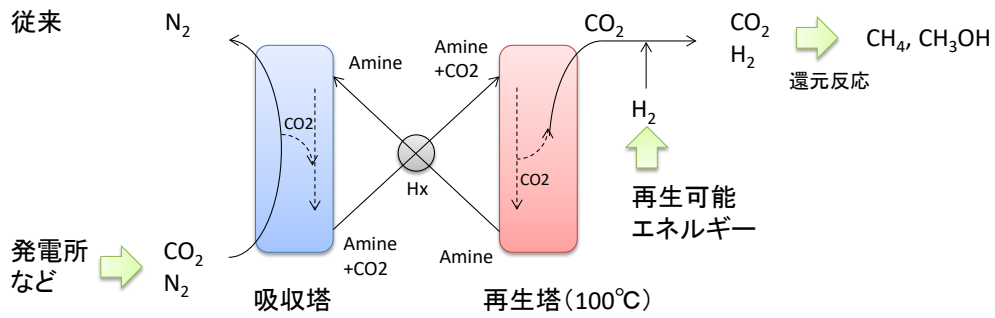


図1 「H₂ストリッピング再生技術」を利用したプロセスの概要

再生塔底部へH₂を供給し吸収液（液相）から気相へCO₂を引き剥がすことで分離が可能となる。塔内のCO₂分圧が下がるため、液相から気相へのCO₂の移動が促進され、低温（85度）で再生することが可能となる。塔頂から回収されるCO₂とH₂の混合ガスは、CO₂還元反応の原料としてそのまま利用できる。この図に示したように、発電所などの排ガスに含まれるCO₂と再生可能エネルギー（太陽光発電など）による電解H₂を用いて、石油原料に依存しない燃料、化成品の製造プロセスが可能となる。



本開発技術

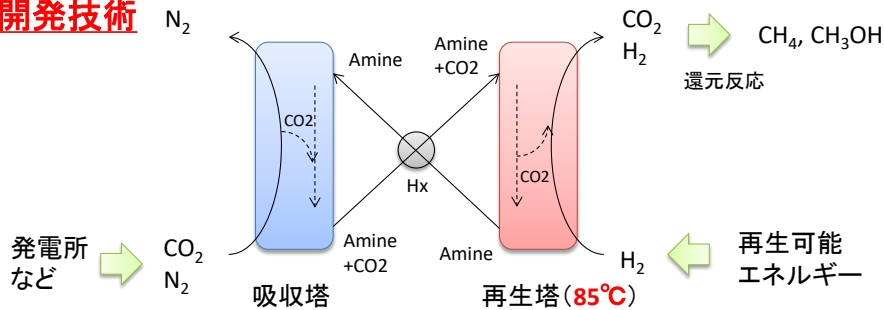


図2 従来技術と本開発技術のプロセス比較

従来のCO₂回収・利用プロセスは、発電所などから排出された燃焼排ガス（CO₂、N₂、O₂など）より吸収塔で純CO₂を回収したのちH₂と混合することでCO₂還元反応を行っていた。汎用的な吸収液は40度程度で燃焼排ガスよりCO₂のみを吸収し、100度を超える温度で純CO₂を再生するケースが多く大量のエネルギーが必要であった。本開発技術はH₂を直接再生塔に投入することで、低温（85度）でCO₂回収を可能とする。

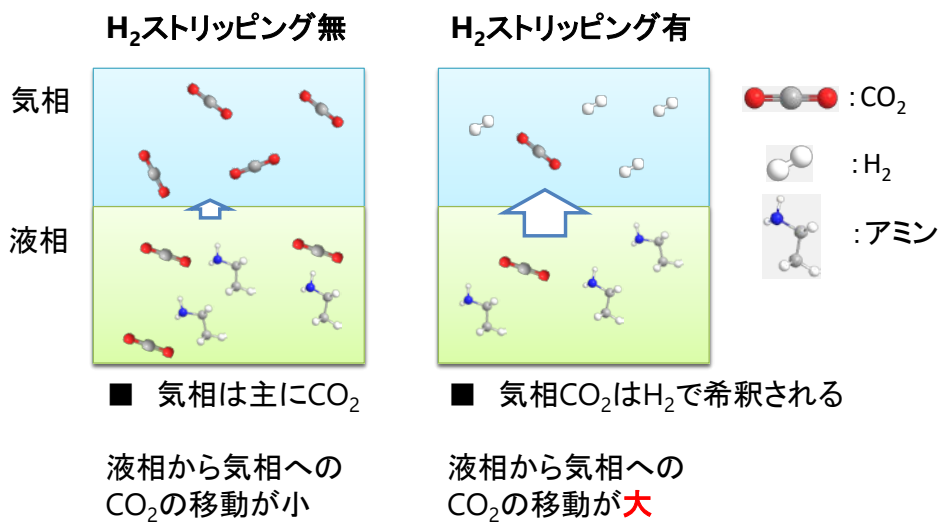


図3 再生塔内部の様子

H₂ストリッピングを行うと気相にH₂が存在することで、CO₂割合が低下する。このことにより液相から気相へのCO₂の移動が促進される。

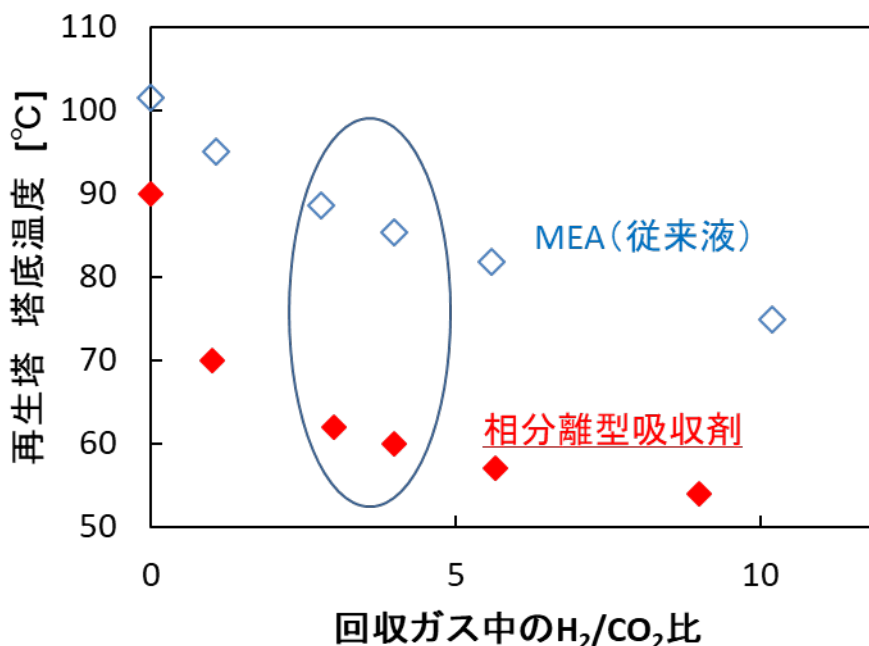


図4 回収ガスのH₂/CO₂比と再生塔温度低減効果の比較

H₂/CO₂比が大きくなると再生塔底部の温度低下が進む。メタン合成ではH₂/CO₂比4が化学量論的に望ましく、メタノール合成ではH₂/CO₂比3が望ましい（図中楕円の部分）。相分離型吸収剤は元々低温での再生が特徴だが、H₂ストリッピングではさらなる低温再生が可能となる。

<用語解説>

注1) 再生塔

発電所などからCO₂を分離回収するアミン吸収法は、CO₂吸収塔と再生塔から構成される。発電所などの燃焼排ガスはCO₂以外にN₂、O₂などが含まれ、そこから純CO₂を回収するプロセスであり、吸収塔では混合ガスからCO₂のみが吸収され、再生塔では加熱により純CO₂のみが再生されるので、混合ガスからCO₂のみが取り出される。

注2) H₂ストリッピング再生技術

CCUの1つであるCO₂と再エネH₂からの燃料や化成品合成は、通常、純CO₂を回収したのち、H₂と混合し、還元反応器に供給される。H₂ストリッピング再生技術では、再生塔下部にH₂ガスを供給する。その結果、塔内のCO₂分圧が低下し、再生が促進され、再生温度の低減や、省エネルギー化につながる。塔頂から回収されるCO₂/H₂混合ガスはそのまま反応器に供給される。

注3) 二酸化炭素回収貯留 (CO₂ Capture and Storage: CCS)

発電所などの排ガスより温室効果ガスCO₂を分離回収し、地中などに隔離する技術。

注4) 二酸化炭素回収利用 (CO₂ Capture and Utilization: CCU)

回収したCO₂を利用価値の高い物質（燃料、化成品、建材など）に変換する技術。

注5) 相分離型吸収剤

CO₂吸収前は均一相であるが、CO₂吸収時に2液相に分離する吸収剤。アミン、有機溶媒、水の適切な組み合わせと組成により本性能がでる。CO₂吸収前のアミンがCO₂と結合することで極性が大きく変化し、分離する。

<論文タイトル>

“Energy-saving CO₂ capture by H₂ gas stripping for integrating CO₂ separation and conversion processes”

(CO₂の分離・転換プロセスの統合を目的としたH₂ストリッピングによる省エネルギーCO₂回収)

DOI : [10.1021/acssuschemeng.0c02459](https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c02459)