

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

**CO₂ 化学吸収液の直接水熱処理による
有機物合成**

令和 3 年 10 月

**Direct Synthesis of Organic Substances by Hydrothermal Treatment of
CO₂-Rich Absorbent from CO₂ Capture Process**

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2020-PP-18

概要

CO₂ 排出削減のために、分離回収された CO₂ を燃料や化学物質に転換する CCU 技術が経済性の観点から期待されている。省エネルギーかつ低コストな CCU 技術の確立を目指し、CO₂ を吸収した化学吸収液を直接水熱処理することによりギ酸などの有機化合物を生成し、さらに、同時に吸収液を再生して再利用する CCU プロセスを提案する。その予備的検討として、CO₂ を吸収した吸収液に重炭酸カリウム (KHCO₃) 水溶液を用い、触媒としてニッケル、還元剤として鉄を用いた水熱実験を行った。KHCO₃ 濃度 1.0 M、KHCO₃:Fe:Ni=1:6:6 (モル比) の条件で 300°C、2 時間の加熱により、32.7%のギ酸収率と 77.8%吸収液再生率が得られ、ギ酸生成と吸収液再生を同時に行えることを明らかにした。一方で、最適条件でも吸収液の再生率および CO₂ の利用率を 100%にできないことも分かった。CO₂ 吸収との組み合わせや還元剤の再生などプロセス全体の設計を進め、CCU プロセスとしての実現可能性を評価するとともに、経済的な観点からも本提案プロセスの優位性について検討・提案していく。

Summary

In order to reduce CO₂ emissions, CCU technology, which converts separated and recovered CO₂ into fuels and chemicals, is expected from an economic point of view. In this report, in order to establish energy-saving and low-cost CCU technology, we propose a CCU process in which a CO₂-rich chemical absorbent is directly hydrothermally treated to simultaneously synthesize organic compounds such as formic acid and regenerate and reuse the absorbent. Preliminary experiments of formic acid synthesis by hydrothermal treatment of potassium hydrogen carbonate (KHCO₃) aqueous solution as a CO₂ source were carried out using Ni powder as a catalyst and Fe powder as a reductant. After 2 hours heating at 300°C, the 1 M KHCO₃ aqueous solution containing Ni and Fe at KHCO₃:Fe:Ni=1:6:6 (molar ratio) gave a formic acid yield of 32.7% and an absorbent regeneration rate of 77.8%, indicating that the formic acid synthesis and chemical absorbent regeneration can be simultaneously achieved. However, it was also found that even under optimal conditions, the regeneration rate of the absorbent and the utilization rate of CO₂ cannot reach 100%. We will proceed with the design of the entire process, including the combination with CO₂ absorption and regeneration of the reductant, to evaluate its feasibility as a CCU process, as well as examine and propose the advantages of the proposed process over other CCU processes from an economic standpoint.

目次

概要

1. 本提案／報告の位置づけ 1

 1.1 カーボンリサイクル技術の課題 1

 1.2 CO₂ 化学吸収法と組み合わせた水熱処理による CO₂ からの有機物合成プロセスの提案 ... 1

2. CO₂ 化学吸収液の水熱処理によるギ酸合成および吸収液再生に関する検討 3

 2.1 実験方法 3

 2.2 結果と考察 4

 2.3 反応メカニズムに関する考察 5

 2.4 還元剤の再利用 7

3. まとめ 7

4. 政策立案のための提案 7

参考文献..... 8

1. 本提案／報告の位置づけ

1.1 カーボンリサイクル技術の課題

地球温暖化の抑制が世界の喫緊の課題となっている。産業革命以前からの気温上昇を 1.5°C 未満に抑えるためには 2050 年には世界の正味の CO₂ 排出量をゼロにしなければならない。その達成シナリオの中で二酸化炭素回収貯留（CCS）は不可欠な技術と見られている。しかし、CCS 技術を実行するためには、所要エネルギーやコストを削減しなければならない。また、貯留した CO₂ の安定性、周辺環境への影響など高い信頼性も確保しなければならない。そこで、二酸化炭素回収利用（CCU）が注目されている。その中で、CO₂ を炭素資源として、燃料や化学物質など付加価値の高い物質に変換し再利用するものはカーボンリサイクルと呼ばれている。我が国では 2019 年 6 月にカーボンリサイクル技術ロードマップが策定された（2021 年 7 月改訂）[1]。カーボンリサイクル技術による CO₂ 変換後の製品としては、合成ガス、メタノール等の基幹物質、ポリカーボネート、バイオマス由来化学品、オレフィンや BTX などの化学品、微細藻類由来の液体燃料、その他の CO₂ 由来またはバイオマス由来液体燃料、メタン、DME などのガス燃料、および、コンクリート、炭酸塩などの鉱物が挙げられている。また、共通技術として、CO₂ 分離回収および CO₂ フリー水素が挙げられている。

CO₂ からの燃料や化学物質への変換技術としては、光化学的方法、電気化学的方法、熱化学的方法、生物化学的方法が提案されている。いずれも変換効率、反応速度の向上、触媒の耐久性の向上、低コスト化が課題として挙げられている。また、共通技術となる CO₂ 分離回収についてもプロセスの低コスト化、所要エネルギーの削減が課題として挙げられ、水素については安価な CO₂ フリー水素が必要とされている。

1.2 CO₂ 化学吸収法と組み合わせた水熱処理による CO₂ からの有機物合成プロセスの提案

提案されている様々な CO₂ 変換技術の中でも、高温高压条件下で CO₂ と水を還元剤と触媒存在下で反応させる水熱処理による有機物合成技術は、高価な触媒を必要とせず、また、水素源として水を利用することができるため水素が不要であり、変換効率、コスト、および、安全性の面から有望であると期待されている。水熱処理による CO₂ 還元は 2006 年に Takahashi らによって報告された [2]。NaHCO₃ を CO₂ 源として使用し、ステンレス製のバッチ式反応管内に NaHCO₃ 水溶液と還元剤の Fe 粉末、触媒の Ni 粉末を封入し、300°C の反応でメタンを合成した。Wu らは同様に NaHCO₃ を CO₂ 源とし、還元剤に Fe、触媒に Ni を使用してギ酸を合成した [3]。その後、ギ酸収率を向上するために様々な条件が調査された [4-10]。還元剤として Fe 以外に、Zn, Al, Mn が用いられた例や、触媒として Ni 以外に Cu が用いられており、反応温度、反応時間、炭素源と触媒、還元剤との比、反応管内の充填率の影響が調査されている。生成物も、CH₄、ギ酸以外に、メタノールも報告されており、どの研究も炭素源としては NaHCO₃ が使用されている。

一方、提案されている CO₂ 変換プロセスのうち、水熱処理を除くほぼ全てのプロセスはガス状 CO₂ を出発物質としている。つまり、既にどこかで分離回収されたほぼ純粋な CO₂ が提供されることが前提となっている。しかし、CO₂ を排ガスから分離し純粋な CO₂ として回収するにはエネルギーとコストが掛かる。ここで、例として、化学吸収法による CO₂ 分離回収と組み合わせた、一般的な CCU プロセスを図 1 に示す。化学吸収法により排ガスから CO₂ を分離し、CO₂ を吸収した吸収液は再生装置に送られ、CO₂ を放散し吸収液を再生するとともに、純度の高い CO₂ が得られる。化学吸収法ではこの吸収液を再生する際のエネルギー消費が大きいことが問題となっている。さらに回収された CO₂ は変換サイトまで輸送され、そこでメタンやメタノールなどの有機物に変換されるが、CO₂ を分離回収する場所と CO₂ から有機物に変換するサイトが離れている場合には、その間の輸送エネルギー、コストが必要となる。CCU として全体を一つのシステムとして考えるならば、排ガスからの CO₂ 分離プロセスと組み合わせた CO₂ 変換プロセスが必要で

あり、CO₂ を吸収した吸収液をそのまま変換プロセスに供することができれば、一般的な CCU プロセスに必要な吸収液の再生、輸送の工程が省略でき、所要エネルギー、コストを大幅に削減しながら有用物質を得ることが可能になると考えられる。

そこで、本研究は CO₂ の炭酸アルカリ吸収法に注目した。化学吸収液として K₂CO₃ 水溶液を用いた場合の CO₂ との反応は式 (1-1) で表され、KHCO₃ が生成する。一般的な化学吸収法では、これを高温に加熱、あるいは減圧し、CO₂ を放散させ、純度の高い CO₂ を回収するとともに吸収液を再生する (式 (1-2))。ここで、前述の NaHCO₃ を CO₂ 源として用いた水熱合成の研究を踏まえ、本研究では、CO₂ 吸収後の KHCO₃ 水溶液をそのまま 250℃以上の高温高圧下で水熱処理し、吸収液を K₂CO₃ に再生するとともに、有機物を合成することを提案する (式 (1-4))。再生された K₂CO₃ は再び吸収プロセスに送られ循環利用される。式 (1-2) と (1-3) の反応を一段のプロセス (式 (1-4)) として行うというのが、本研究の提案である。

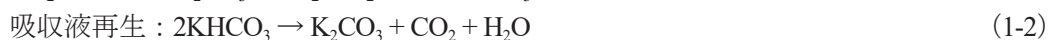
上記提案プロセスを成立させるためには、

- ① 重炭酸アルカリ水溶液の水熱処理による有機物 (ギ酸、メタノール、メタンなど) の合成
- ② 水熱処理による炭酸アルカリ吸収液の再生
- ③ 生成した有機化合物の分離と酸化された金属 (Me_xO_y) の再生

をそれぞれ確実に行い、速度的に整合させる必要がある。

①については前述したとおり先行研究があるが、CO₂ 吸収液の利用を目的としたものではなく、CO₂ 吸収に利用される吸収液濃度の範囲と異なる条件で行われている。また、濃度だけでなく、反応温度、反応時間、反応器内の液体充填率、触媒・還元剤の種類と量など、多くの因子により生成物の種類、収率が大きく変化するため、それらの影響を把握する必要がある。また、②の水熱条件下での吸収液再生については研究例がなく未知の分野である。既往の研究では有機化合物の収率を上げることに主眼が置かれているが、吸収液として再生するためには、投入した炭素の全てを有機化合物に転換せず、炭酸イオンとして液中に残留させる必要がある。このように、有機化合物への転換率を最大化しつつ、吸収液として再生されるための最適条件を探索する必要がある。また、本プロセスが消費エネルギー、コストの観点から他の CO₂ 分離—合成プロセスに比べて優位性があることを示す必要がある。

そこで、CO₂ の化学吸収と水熱処理による有機物合成の一体プロセスの確立のために、CO₂ を吸収した化学吸収液からのギ酸生成と吸収液再生について、実験により予備的検討を行ったので、報告する。



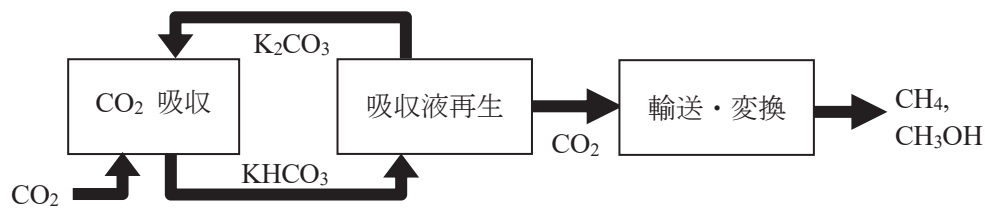


図1 化学吸収を用いた従来のCCUプロセス

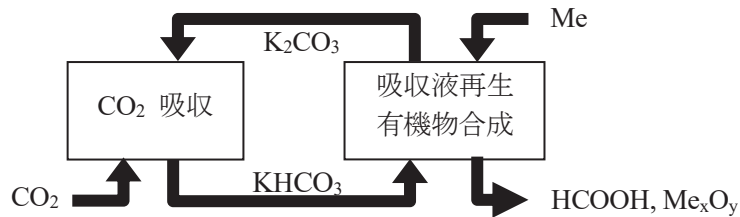


図2 化学吸収を用いた本研究の提案CCUプロセス（Me: 金属）

2. CO₂ 化学吸収液の水熱処理によるギ酸合成および吸収液再生に関する検討

2.1 実験方法

CO₂ 源としてKHCO₃、還元剤としてFe、触媒としてNiを用いた。それぞれの粉末と蒸留水2 mLを内容積6 mLのステンレス製反応管に封入した。CO₂ 源濃度は化学吸収法に使用されている範囲の0.5～2.0 Mに変化させた。還元剤と触媒の量はKHCO₃:Fe:Ni=1:6:6（モル比）を保ちつつ変化させた。反応管を電気管状炉内に挿入し、300℃で2時間反応させた。反応後、液体生成物中のギ酸、炭酸イオン、重炭酸イオンの濃度を求め、原料の重炭酸塩の転換率、ギ酸収率、吸収液の再生率を算出した。

ギ酸収率は定量されたギ酸の濃度をもとに、導入したCO₂ 源の炭素基準の収率を算出した。また、反応管に導入した重炭酸イオンは式(1-1)に従って炭酸イオンに変換される。ここで、この反応が完全に進行した場合、量論係数に従い、原料の半分の炭素が炭酸イオンとして液中に残留し、残りの半分はCO₂として放散される。そこで、この反応が進行した割合を吸収液再生率と定義し、測定された炭酸イオン濃度から吸収液再生率を求めた。

ここで、ギ酸生成の反応過程について考える。式(2-1)で示すように、反応管に添加された重炭酸カリウムは加熱により分解し、CO₂を放出する。一方、還元剤であるFeは水と反応し、水素を生成する（式(2-2)）。生成したCO₂と水素が水中で触媒と反応し、式(2-3)によりギ酸が生成する。一方、水中の重炭酸イオンが水素と直接反応し、ギ酸イオンを生成するという経路も提案されている[7]。



2.2 結果と考察

各条件で2回ずつ行い、各濃度における転換率、ギ酸収率、吸収液再生率の平均値を求め、図3～5に示した。図中のエラーバーは標準偏差を表す。

図3より、KHCO₃濃度を増加させるにつれて転換率は上昇し、1.5～2.0 Mで100%に達した。KHCO₃濃度を増加させると式(2-1)の分解反応により放出されるCO₂の量が増大する。還元剤の量がKHCO₃:Fe:Ni=1:6:6(モル比)に従い増加することで水素の生成量も増大する。生成される気体の量が増大することで内圧が上昇し、溶解するCO₂、水素の量が増大する。これにより、式(2-3)の反応が促進され、より多くのCO₂が消費され、式(2-1)の反応が促進されたと考えられる。さらに、式(2-4)の反応も促進されることにより、重炭酸イオンの消費も促進される。これらの理由により、原料である重炭酸イオンの転換率が上昇したと考えられる。

次に、KHCO₃濃度とギ酸収率の関係を図4に示す。図より、KHCO₃濃度の上昇に伴いギ酸の収率も上昇する傾向となり、1.0 Mで収率32.7%であった。原料であるKHCO₃の量が増大するためギ酸収量も増大するが、加えて、前述したように生成するCO₂と水素の量が増大することで内圧が上昇し、液相に溶解するCO₂と水素の量が増え、さらに式(2-3)、(2-4)の反応が促進されることで、ギ酸収率が上昇したと考えられる。

次に、KHCO₃濃度と吸収液の再生率の関係を図5に示す。図より、KHCO₃濃度が0.5～1.0 Mにおいて再生率は上昇し、1.0 Mで極大値(78%)を取り、1.0～2.0 Mでは低下した。上昇する理由として、式(2-4)の反応に比べ式(2-3)の反応が速いことで、原料の重炭酸イオンの消費に対してCO₂の消費が速く、式(2-1)の反応が進行したと推測した。一方、再生率が低下する理由は、以下のように考えた。KHCO₃濃度を1.0 Mを越えさらに増加させると、濃度増加に伴い触媒の量も増加することと、内圧が上昇し水素の溶解量が増大することによって、式(2-3)に比べ、式(2-4)の反応が促進される。よって、CO₂の消費に比べ原料のHCO₃⁻の消費が速くなり式(2-1)の平衡が反応物側にシフトし、炭酸イオンの量が減ることで再生率が低下したと推測される。

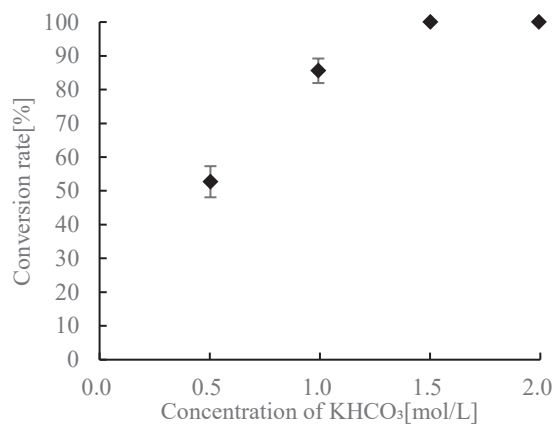


図3 KHCO₃ 濃度と転換率の関係

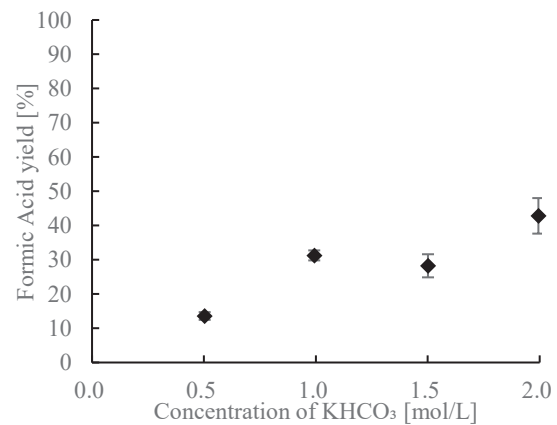


図4 KHCO₃ 濃度とギ酸収率の関係

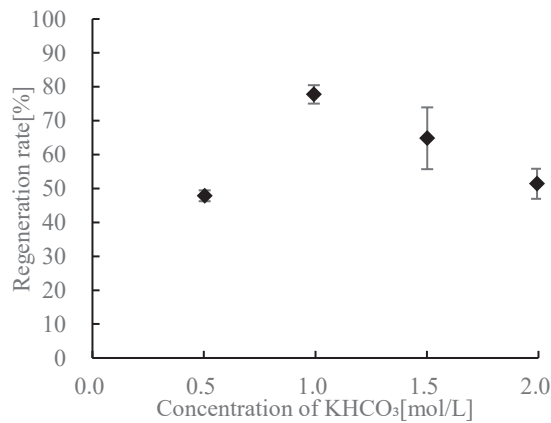


図5 KHCO₃ 濃度と吸収液再生率の関係

2.3 反応メカニズムに関する考察

前節で述べたように、反応後の液体試料に炭酸イオンが検出されたことから、水熱処理によって式 (2-1) に示す反応が進行し、重炭酸塩が分解されたことが確認された。また、生成ガス組成の分析結果から、式 (2-1) によって生成された CO₂ の多くは液相に溶解していると考えられる。この点に関して、Roman-Gonzalez らは pH が 9 以上であれば生成した CO₂ のほとんどが液相中に溶解すると報告した [11]。本実験の大部分の結果でも pH が 9 程度であったことから、生成された CO₂ は液相に溶解していると推測される。

また、別途評価した反応後の固体残渣物の XRD 結果では Fe₃O₄ が観測され、それ以外の鉄酸化物に帰属されるピークは見当たらなかった。したがって、式 (2-2) に示す Fe の酸化が進行していることが確認された。また、Ni の酸化物は観測されなかったことから、Ni は触媒として働いていることが示唆された。

さらに、反応後の液体試料にギ酸が検出されたことから、式 (2-3) または (2-4) の反応が進行していることも確認された。ここで、既往の研究では Cu 触媒の場合について式 (2-4) の重炭酸からのギ酸生成反応が起こると報告されているが、Ni 触媒の場合でも、式 (2-4) の反応が進行している可能性がある。

また、別ロットの実験になるが、反応後のガスを分析したところ、微量のメタンの生成が確認された。式 (2-5) にギ酸からのメタン生成反応式を示すが、Ni 触媒の場合ではメタン生成反応

が進行すると報告されている [11]。式 (2-5) により生成したギ酸からメタンが生成されたか、あるいは、式 (2-6) のように CO₂ を直接水素化してメタンが生成された可能性がある。



これまで述べてきた通り、式 (2-1) の重炭酸イオンの分解反応は速く、速やかに平衡に達すると考えられる。また、式 (2-2) の Fe による水の還元反応も比較的速やかに進行することが報告されており、本研究でもガス分析の結果などから水素は十分生成していることが確認された。また、式 (2-1) により生成した CO₂ は、液の pH が 9 以上と高いため、液中への溶解量も多いと考えられる。一方、液相中でのギ酸生成反応である式 (2-3) および (2-4) の反応は、両方とも液相に溶解した水素が関与しているが、水への水素の溶解度が小さいため、これらのギ酸生成反応が遅く、律速段階であると考えられる。

また、Wu ら [3] は、ギ酸合成における CO₂ の役割を明らかにし、次のような反応過程を推定した。前述の式 (2-2) は式 (2-7) と (2-8) を合わせた総括反応である。



上記の式に示したように、一度 FeCO₃ が生成してから Fe₃O₄ が生成する二段階反応となっており、CO₂ は Fe が水を還元し水素を発生させる反応を触媒することが示された。また、式 (2-2) と (2-3) を統合した総括反応式は次のように書かれる。



Wu ら [3] は 300°C におけるこの総括反応のエンタルピー変化 $\Delta_r H = -80.45 \text{ kJ/mol}$ と推定し、発熱反応であることを示した。

一方、Zhong ら [7] も同様に、式 (2-4) の重炭酸イオンからのギ酸イオンの生成について反応過程を考察し、式 (2-2) と式 (2-4) の反応を統合した次の総括反応式



について、25°C における $\Delta_r G = -72.00 \text{ kJ/mol}$ 、 $\Delta_r H = -61.08 \text{ kJ/mol}$ であると推定した。これらより、この反応は発熱反応であり、自発的に進行することを示した。

このように、重炭酸イオンを炭素源とし、Fe を還元剤として使用した反応は発熱反応であり、発熱を適切に管理することにより自立的に反応温度を維持することが可能であると期待される。これにより、化学吸収液から CO₂ を一旦放散させ純粋な水素を利用するプロセスよりもエネルギー的に有利になる可能性がある。ただし、生成した Fe₃O₄ を再び還元剤として利用するために金属 Fe に還元する必要がある、その消費エネルギーを算入する必要がある。

2.4 還元剤の再利用

本研究が提案する循環型のプロセスを完結させるためには、水熱合成で用いた還元剤を再生し、再利用する必要がある。水を還元し水素を生成する一方で自身が酸化された Fe の酸化物を還元する方法として、Jin らは再生可能なバイオマスからの生成物としてグリセリンに注目し、グリセリンと Fe 酸化物の反応により、Fe を還元するプロセスを提案した [12]。グリセリンによる Fe の還元メカニズムはグリセリンアルコキシド転移で説明される。CO₂ からのギ酸の合成過程で生じた Fe₃O₄ をグリセリンとの反応により、100%も提案されている [13]。この方法は理論計算の段階ではあるものの、還元剤金属（文献では具体的な金属として Zn を想定）を循環的に利用できるとしている。

このように、酸化された還元剤の再生については、省エネルギー化、低炭素化のために、再生可能エネルギーを利用したプロセスを用いる必要がある。

3. まとめ

本提案書では、省エネルギーかつ低コストな CCU 技術の確立を目指した循環型のプロセスを提案した。このプロセスでは、炭酸アルカリ吸収液を用いた CO₂ 吸収と、CO₂ を吸収した吸収液の直接水熱処理を組み合わせ、ギ酸などの有機化合物を生成し、同時に吸収液を再生し再利用することを可能にする。予備的な実験として、CO₂ を吸収した吸収液として重炭酸カリウム水溶液を用い、それを触媒と還元剤とともに水熱処理したところ、KHCO₃ 濃度が 1.0 M、KHCO₃:Fe:Ni=1:6:6（モル比）の時、ギ酸収率が 32.7%、再生率が 77.8%となり、最も高い再生率が得られた。しかし、投入した重炭酸カリウムの全てが炭酸カリウムに再生されず、重炭酸イオンから直接ギ酸が生成する経路も存在するため、炭酸アルカリ吸収液を 100%循環利用することは困難であることが明らかとなった。また、重炭酸カリウムの分解から生じた CO₂ を全てギ酸などの有機物に変換することはできず、一部ガス状の CO₂ として再放出されるため、CO₂ の利用率を 100%に到達させることが困難であることも明らかとなった。

4. 政策立案のための提案

今後の課題としては、100%吸収液が循環利用できないことを考慮し、CO₂ 吸収と組み合わせた合成プロセスを設計する。また、生成したギ酸の回収、酸化された還元剤の再生についても検討する。その上で、投入エネルギー、CO₂ 排出量の評価を行い、CCU プロセスとしての実現可能性を評価する。さらに、本プロセスでは還元剤として Fe 粉末を使用したのが、再エネ由来 H₂ を還元剤として用いた場合とのコスト比較を行う。また、Fe を消費する代わりにギ酸と水素を生成することによる付加価値の向上も加味し、経済的な観点からも本提案プロセスの他の CCU プロセスに対する優位性を検討・提案していく。

なお、本提案書は高橋らの学会発表¹⁾のデータを元に、政策立案に向けてまとめたものである。

¹⁾ 坪, 嶋田, 長田, 福長, 高橋, CO₂ からのギ酸水熱合成における炭酸アルカリ吸収液の濃度の影響, 化学工学会第 52 回秋季大会 (岡山), 2021.

参考文献

- [1] 経済産業省, カーボンリサイクル技術ロードマップ, 2021年7月改訂, <https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210726007/20210726007.pdf>, (アクセス日 2021年9月1日).
- [2] H. Takahashi, et al., CO₂ reduction using hydrothermal method for the selective formation of organic compounds, *J. Mater. Sci.*, 2006, 41, 1585-1589.
- [3] B. Wu, et al., Catalytic conversion of NaHCO₃ into formic acid in mild hydrothermal conditions for CO₂ utilization, *Catalysis Today*, 2009, 148, 405-410.
- [4] Z. Liu, et al., Ready Hydrothermal Reactions from Carbon Dioxide to Methane, *Sust. Chem. Eng.*, 2013, 1, 313-315.
- [5] Z. Huo, et al., Catalytic reduction of carbon dioxide into methanol over copper under hydrothermal conditions, *Catalysis Today*, 2012, 194, 25-29.
- [6] X. Zeng, et al., Theoretical study on highly efficient reduction of CO₂ by in-situ produced hydrogen using Al under mild hydrothermal conditions, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2016, 41, 9140-9144.
- [7] H. Zhong, *et al.*, Highly efficient water splitting and carbon dioxide reduction into formic acid with iron and copper powder, *Chemical Engineering Journal*, 2015, 280, 215-221.
- [8] F. Jin, *et al.*, Highly efficient and autocatalytic H₂O dissociation for CO₂ reduction into formic acid with zinc, *Scientific Reports*, 2014, 4, 4503-4511.
- [9] L. Lyu, et al., No Catalyst Addition and Highly Efficient Dissociation of H₂O for the Reduction of CO₂ to Formic Acid with Mn, *Environ. Sci. Technol.* 2014, 48, 6003-6009.
- [10] Y. Chen, et al., Reduction of CO₂ with water splitting hydrogen under subcritical and supercritical hydrothermal conditions, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2016, 41, 21, 9123-9127.
- [11] D. Roman-Gonzalez, et al., Hydrothermal CO₂ Conversion Using Zinc as Reductant: Batch Reaction, Modeling and parametric analysis of the process, *The Journal of Supercritical Fluids*, 2018, 140, 320-328.
- [12] F. Jin, *et al.*, High-yield reduction of carbon dioxide into formic acid by zero-valent metal/metal oxide redox cycles, *Energy and Environmental Science*, 2011, 4, 881-884.
- [13] M. E. Gálvez, et al., CO₂ Splitting via Two-Step Solar Thermochemical Cycles with Zn/ZnO and FeO/Fe₃O₄ Redox Reactions: Thermodynamic Analysis, *Energy Fuels*, 2008, 22, 3544-3550.

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

CO₂ 化学吸収液の直接水熱処理による有機物合成

令和3年10月

Direct Synthesis of Organic Substances by Hydrothermal Treatment of CO₂-Rich Absorbent from CO₂ Capture Process

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies,
Center for Low Carbon Society Strategy,
Japan Science and Technology Agency,
2021.10

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 特任研究員 高橋 伸英 (TAKAHASHI Nobuhide)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ 8 階
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273
<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2021 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。