

Symposium | Co-Innovation Program (CIP) : Carbon recycling technology to achieve carbon neutrality

📅 Thu. Mar 27, 2025 1:20 PM - 3:40 PM JST | Thu. Mar 27, 2025 4:20 AM - 6:40 AM UTC 🏠
[E]F403(F403, Bldg. 4, Area 2 [4F])

[[E]F403-2pm] Carbon recycling technology to achieve carbon neutrality

Chair, Symposium organizer: Yasushi Sekine, Yusuke Sunada, Hideshi Sasakura, Koichi Matsushita, Yutaka Amao

2020年10日の「2050年カーボンニュートラル」宣言を契機として、2030年度までの温室効果ガス削減目標を2013年度比で46%削減とし、さらには2050年には完全にカーボンニュートラルを達成すべく、明確な方針も示されており、これらの目標達成のためには、再生可能エネルギーを用いた水素製造、CO₂の水素化や有価物への触媒的変換だけでなく、CO₂の直接回収に加え、資源としての廃プラスチックの回収と再利用に代表されるカーボンリサイクル技術との連携が必要となります。本セッションでは、これらの研究について世界をリードする研究者を紹介いたします。カーボンニュートラル達成のためのカーボンリサイクルについてどんな挑戦が必要か、活発な議論の場の提供を考えております。

本セッションは**午前**、**午後**に実施されます。
聴講後の[アンケート](#)へのご協力をお願いいたします。

📍 Japanese 📍 Invited Lecture

1:20 PM - 1:50 PM JST | 4:20 AM - 4:50 AM UTC

[[E]F403-2pm-01]

Developments of high efficient CO₂ capture from air and CO₂ conversion catalysts

○Seiji Yamazoe¹ (1. Tokyo Metropolitan University)

📍 Japanese 📍 Invited Lecture

1:50 PM - 2:20 PM JST | 4:50 AM - 5:20 AM UTC

[[E]F403-2pm-02]

Development of biomass-based acrylic resins and marine biodegradable plastics, and future prospects

○Yasumasa Takenaka¹ (1. RIKEN)

2:20 PM - 2:30 PM JST | 5:20 AM - 5:30 AM UTC

[2E_F40304-07-3add]

Incubation Time

📍 Japanese 📍 Invited Lecture

2:30 PM - 3:00 PM JST | 5:30 AM - 6:00 AM UTC

[[E]F403-2pm-03]

Development of CO₂-methanation technology at INPEX bridge to net zero by 2050 - Progress of NEDO-400 Nm³-CO₂/h scale demonstration project -

○TATSUKI WAKAYAMA¹ (1. INPEX Corporation)

📍 Japanese 📍 Invited Lecture

3:00 PM - 3:30 PM JST | 6:00 AM - 6:30 AM UTC

[[E]F403-2pm-04]

The Challenge of the “e-Methane Revolution” Using SOEC Methanation Technology to achieve Carbon Neutral without Changing Lifestyles or Industries

○Hisao OHNISHI¹ (1. OSAKA GAS Co., Ltd.)

3:30 PM - 3:40 PM JST | 6:30 AM - 6:40 AM UTC

Closing Remarks

大気からの二酸化炭素高速回収技術および二酸化炭素変換触媒の開発

(都立大院理) ○山添誠司

Developments of high efficient CO₂ capture from air and CO₂ conversion catalysts (¹Graduate School of Science, Tokyo Metropolitan University) ○Seiji Yamazoe

Reduction of CO₂ concentration in the air and CO₂ conversion to useful chemical products are essential for realizing a sustainable society. Our group developed CO₂ absorption system from air (direct air capture, DAC) by diamine solutions which induce phase-separation phenomenon¹⁻³ and catalytic CO₂ conversion using basic metal oxide clusters⁴⁻⁶. Here, I introduce our recent results for DAC system and catalytic CO₂ conversions. In the DAC system, we found that diamine solution such as isophoronediamine, which reacts with low concentrated CO₂ to form solid carbamic acid, showed high CO₂ removal efficiency from air compared with other phase separation systems and the conventional amine solution method. The CO₂ absorption mechanism and CO₂ desorption conditions at low temperature were studied. In the catalytic CO₂ conversion systems, we applied basic Nb and Ta oxide clusters, which can activate CO₂ on Lewis base sites, for CO₂ fixation reaction to styrene oxide and amine compounds. In addition, we developed bifunctional catalysts by the combination of basic metal oxide clusters and supported metal catalysts, which were active for *N*-formylation of piperidine using CO₂.

Keywords : CO₂, Direct air capture, diamine, metal oxide clusters, catalysts

大気中の CO₂ 濃度を回収し、回収した CO₂ を有用な化学品に変換することは、持続可能な社会の実現に必要不可欠である。我々の研究室では、相分離現象を引き起こすジアミン溶液による大気からの CO₂ 吸収システム (direct air capture、DAC) と、塩基触媒である金属酸化物クラスターを用いた CO₂ 変換反応を開発している。本発表では、我々が開発してきたこれら DAC システムと触媒による CO₂ 変換反応に関する最近の成果を紹介する。DAC システムでは、イソホロンジアミン等の、低濃度 CO₂ と反応して固体のカルバミン酸を生成するジアミン溶液が、他の相分離システムや従来のアミン溶液法と比較して、大気からの CO₂ 除去効率が高いことを見出した。当日は CO₂ 吸収機構や吸収した CO₂ の低温での脱離システムについて発表する。触媒による CO₂ 変換反応では、ルイス塩基点上で CO₂ を活性化できる Nb および Ta の酸化物クラスターを、スチレンオキシドおよびアミン化合物への CO₂ 固定反応触媒に応用した。さらに、これら金属酸化物クラスターと担持金属触媒を複合させることで二機能性触媒を開発し、これら触媒が CO₂ を用いたピペリジンの *N*-ホルミル化反応に活性を示すことを見出した。

- 1) F. Cao *et al.*, *ACS Omega*, **2024**, 9 49513. 2) F. Cao *et al.*, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **2024**, 97, uoae096.
3) S. Kikkawa *et al.*, *ACS Environ. Au*, **2022**, 2, 354. 4) S. Kikkawa *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2024**, 136, e202401526. 5) T. Matsuyama *et al.*, *J. Phys. Chem. C*, **2024**, 128, 2953. 6) V. Chudatemiya, *et al.*, *Asian J. Org. Chem.*, **2023**, 12, e202200521. 7) S. Kikkawa *et al.*, *Chem. Commun.*, **2022**, 58, 9018.

バイオマスアクリル樹脂および海洋生分解性バイオマスプラスチックの開発と今後の展望

(理研) ○竹中 康将

Development of Biomass-based Acrylic Resins and Marine Biodegradable Plastics, and Future Prospects (*Bioplastic Research Team, RIKEN Center for Sustainable Resource Science*)

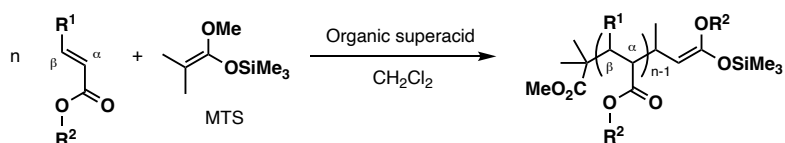
○Yasumasa Takenaka

In this presentation, the polymerization method of biomass acrylic monomers and the physical properties of the obtained polymers will be explained. And then, the development of new marine biodegradable plastic materials with Poly(ethylene succinate) (PES) skeleton, the physical properties of the obtained PES-based copolymers, and their biodegradability in seawater will be explained. The current status and latest trends in the development of biomass-based plastics, including new biomass-derived materials that we are developing, will be touched upon, and the future prospects for biomass plastic production will be discussed.

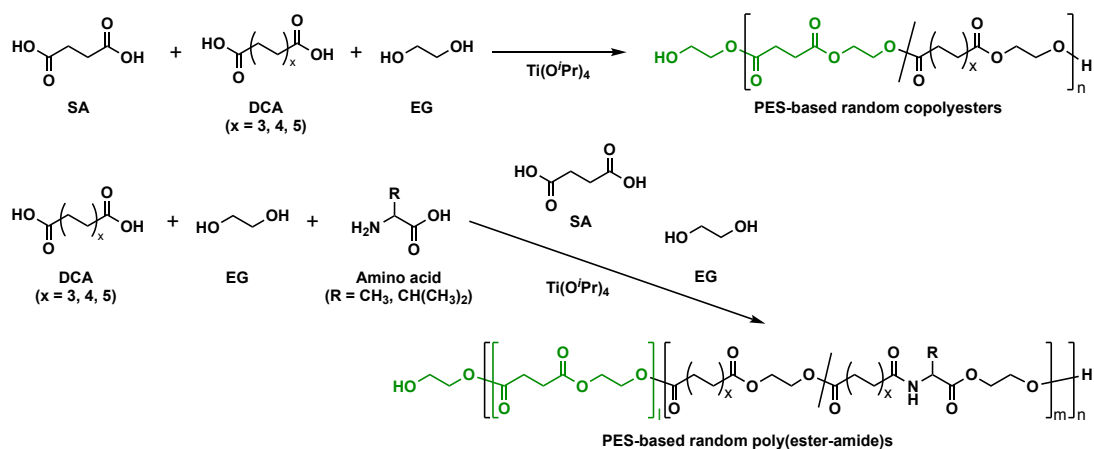
Keywords : *Acrylic Resin; Marine Biodegradable Plastics; Biomass; Polyester*

プラスチックは、我々の日常生活に欠かせない身近な材料となっている。プラスチックの製造に用いられる合成ポリマーには、炭素源として地中に固定されていた原油から分離される化合物が原料として使用されている。また、使用後に廃棄されたプラスチックおよび未利用プラスチックの多くが、熱源として再利用されているため、地球温暖化の原因の一つとされる二酸化炭素の濃度増加を引き起こす。そのため、再生可能資源であるバイオマスから取得できる化合物を原料に用いて製造されるバイオマスプラスチックの開発に注目が集まり、それらの普及に期待が高まった。しかしながら、バイオマスプラスチックの製造に用いるバイオマスモノマーの種類が少なく、原価も高いことから広く普及するにはほど遠い現状がある。

我々は、これまで石油由来の機能性ポリマーとして知られていたアクリル樹脂のバイオマス化に取り組んできた。本研究で用いたクロトン酸は、環境中の微生物である大腸菌の体内から見つかったポリ-3-ヒドロキシブタン酸(P3HB)の熱分解により生成する脂肪族バイオマスアクリルモノマーであり、桂皮酸誘導体は、リグニンの熱分解物として知られている芳香族バイオマスアクリルモノマーである。これらのバイオマスアクリルモノマーの重合方法が見出せば、バイオマスアクリルポリマーの開発が可能となる。しかしながら、これらのバイオマスアクリルモノマーは、ラジカル重合では重合が進行しない難重合性モノマーとして知られていたため、新たな重合方法の開発が必要であった。本講演では、バイオマスアクリルモノマーの重合方法の説明と得られたポリマーの物性評価について解説を行う¹⁻⁵⁾。



また、石油由来のプラスチックに用いられる合成ポリマーの多くは、環境中で生分解されないものが多く、特に廃棄プラスチックが海洋環境中に流れ着いた場合には、マイクロプラスチックとして海洋環境を汚染すると言った問題が指摘されている。そこで、我々は、海洋環境中で生分解されるプラスチック材料の開発を進めた。本研究では、高いガスバリア性を有する生分解性ポリマーであるポリエチレンサクシネート (PES) を基本骨格とした海洋生分解性樹脂素材の開発を行い、長鎖ジカルボン酸を導入することにより、海水中では生分解しない PES の海洋生分解性を誘導することに成功した。本講演では、PES 骨格を有する新規な海洋生分解性樹脂素材の開発と得られたポリマーの材料特性および海水中での生分解性発現について解説を行う^{6,7)}。



また、我々が開発を進めてきた新しいバイオマス由来の材料を含め、バイオマスプラスチック開発の現状と最新動向に触れ、今後のバイオマスプラスチック生産の展望について議論する。

- 1) Group-Transfer Polymerization of Various Crotonates Using Organic Acid Catalysts. Y. Takenaka, H. Abe, *Macromolecules* **2019**, 52, 4052.
- 2) Unique acrylic resins with aromatic side chains by homopolymerization of cinnamic monomers. M. Imada, Y. Takenaka, H. Hatanaka, T. Tsuge, H. Abe, *Connum. Chem.* **2019**, 2, 109.
- 3) Effect of Disyndiotacticity on the Glass Transition Temperature of Poly(ethyl crotonate)s Synthesized by Group-Transfer Polymerization Catalyzed by Organic Acids. M. Imada, Y. Takenaka, T. Tsuge, H. Abe, *Macromolecules* **2020**, 53, 7759.
- 4) Kinetic modeling study of the group-transfer polymerization of alkyl crotonates using a silicon Lewis acid catalyst. M. Imada, Y. Takenaka, T. Tsuge, H. Abe, *Polym. Chem.* **2020**, 11, 5981.
- 5) Copolymers incorporated with b-substituted acrylate synthesized by organo-catalyzed group-transfer polymerization. M. Imada, Y. Takenaka, T. Tsuge, H. Abe, *Polym. J.* **2021**, 53, 989.
- 6) Improving the marine biodegradability of poly(alkylene succinate)-based copolymers. S. Kumagai, S. Hayashi, A. Katsuragi, M. Imada, K. Sato, H. Abe, N. Asakura, Y. Takenaka, *Polym. J.* **2024**, 56, 416.
- 7) One-Pot Synthesis of Marine-Biodegradable Poly(Ethylene Succinate)-Based Ester Amide Copolymers Containing Amino Acid. S. Kumagai, S. Hayashi, A. Katsuragi, M. Imada, K. Sato, H. Abe, N. Asakura, Y. Takenaka, *ACS Appl. Polym. Mater.* **2024**, 6, 8339.

2050 年のネットゼロに向けた INPEX における CO₂-メタネーション技術の開発～NEDO-400 Nm³-CO₂/h スケールの実証事業の進捗について～

(株式会社 INPEX 水素・CCUS 事業開発本部 技術開発ユニット¹) ○若山 樹¹
 Development of CO₂-methanation technology at INPEX bridge to net zero by 2050 - Progress of NEDO-400 Nm³-CO₂/h scale demonstration project- (¹Technical Development & Coordination Unit, Hydrogen & CCUS Development Division, INPEX Corporation) ○Tatsuki Wakayama¹

The greatest advantage of synthetic methane (e-methane) production by CO₂-methanation is that it enables low-carbonization through carbon recycling without changing existing infrastructure for natural gas or city gas. INPEX has been carrying out a NEDO demonstration project on a scale of 400 Nm³-CO₂/h, one of the largest in the world, since FY2021, and the completion of the demonstration facility is imminent. In FY2025, pre-commissioning and commissioning of the demonstration facility will be carried out, followed by demonstration operation and injection of synthetic methane into own natural gas pipeline. This presentation will provide an overview of INPEX's efforts toward 2050 Net Zero and the progress of the NEDO demonstration project.

Keywords : Carbon Recycle, CO₂-Methanation, CCU, H₂, Synthetic Methane

CO₂-メタネーションによる合成メタン(e-methane)生産は、カーボンリサイクルのみならず、天然ガスや都市ガスの既存インフラの変更無く、低炭素化が可能であることが最大の利点である。INPEX では、2021 年度から世界最大級となる 400 Nm³-CO₂/h スケールの NEDO 実証事業を実施しており、実証設備の構築終了が目前となっている。2025 年度は、実証設備の試運転準備（プレコミッショニング）や試運転（コミッショニング）を経て、実証運転や合成メタンの導管注入に至る予定である。本講演では INPEX の 2050 ネットゼロへの取組みや NEDO 実証事業の進捗について概説する。

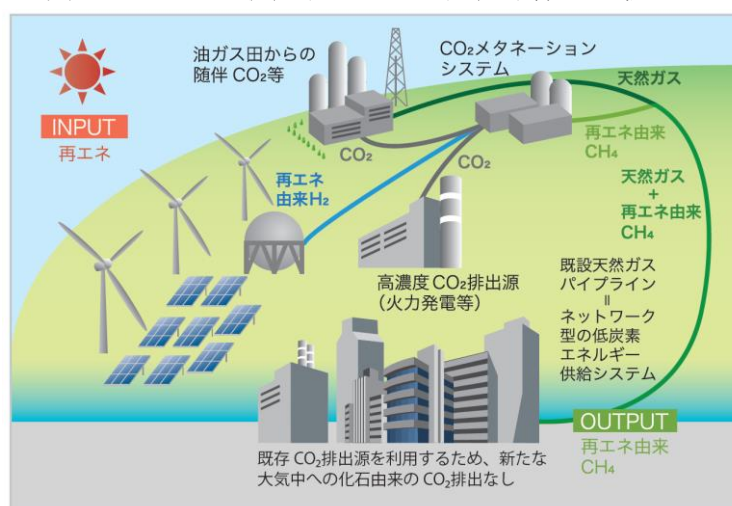


図 1. CO₂-メタネーションの概念（再エネ由来 CH₄=合成メタン）。

暮らしや産業を変えないカーボンニュートラル化を目指した SOEC メタネーション技術による“e-メタン革命”への挑戦

(大阪ガス株式会社¹) ○大西 久男¹

The Challenge of the “e-Methane Revolution” using SOEC Methanation Technology to achieve Carbon Neutral without Changing Lifestyles or Industries (¹OSAKA GAS Co., Ltd.)
○Hisao OHNISHI¹

SOEC methanation technology can produce e-methane from water, CO₂, and non-fossil electricity with extremely high energy conversion efficiency, and is expected to be an innovative technology with highest potential for cost reduction among green fuels such as hydrogen. The presentation will include an overview of this technology, our initiatives, the superiority of e-methane as a renewable energy import carrier using this technology, and the “e-methane revolution” aimed to achieve carbon neutral without changing lifestyles or industries.

Keywords : e-methane, SOEC (Solid Oxide Electrolysis Cell), Methanation, Renewable energy carriers, Carbon recycling

e-メタンは、エネルギー密度の高いエネルギーキャリアで、バイオマス等と同様にカーボンニュートラルな非化石燃料（図1）であり、天然ガスの輸送・貯蔵・配送インフラや消費機器、発電設備等をそのまま活用できるため、暮らしや産業を変えずに熱需要や電力需要の円滑なカーボンニュートラル化を進めることができる

合理的な燃料として近年注目されており、「水素基本戦略」（2023 年改訂）における“水素”の定義に「合成メタン（e-メタン）」が含まれることとなった。

SOEC メタネーションシステムは、水と CO₂ を原料として非化石電力から非常に高いエネルギー変換効率で e-メタンを製造可能な技術であり、電力を SOEC（SOFC の逆機能素子）に供給し、水蒸気等を電気分解して水素などに変換し、

メタン化反応装置においてメタンを合成するものである（図2）。700℃程度的高温では低い電圧で電解が進むため電力を大幅に削減できることに加えて、メタン合成反応の排熱を SOEC に供給する水蒸気の気化等に有効利用できるため、電力からメタンへのエネルギー変換効率が 85～90% と非常に高く、製造コストの大部分を占める電力の必要量がグリーン水素よりも少ないため、低コスト化ポテンシャルが高い革新的な

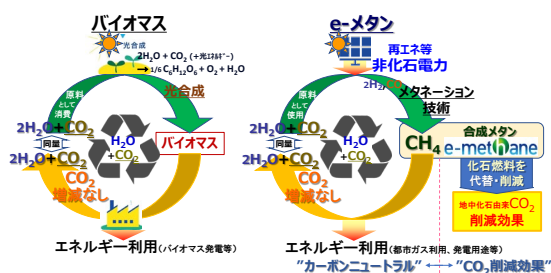


図1 バイオマスと e-メタンの製造・利用サイクルの比較

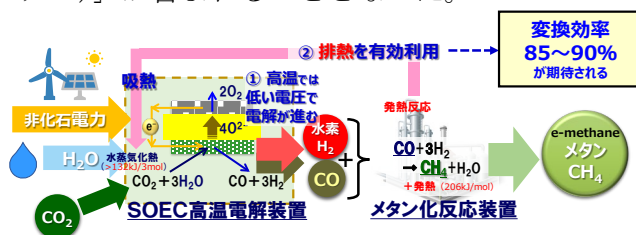


図2 SOEC メタネーションシステムの概要

技術として期待されている。このシステムは、SOFC コージェネレーションシステムと逆機能構成のものであり、当社で蓄積してきた SOFC 関連技術や代替天然ガス製造技術の知見などを活用し技術開発を進めている。システム大型化を実現するためには SOEC のスケールアップ開発が重要課題であり、低コスト化とスケールアップに適した金属支持型 SOEC の独自開発を進めている。

現在、「グリーンイノベーション基金事業／SOEC メタネーション技術革新事業」(図3)にて、産総研等の関係機関と共に開発を進めており、2030年度までに技術を確認し、更に実証による大規模化、導入拡大を進めていく計画である。SOEC メタネーションの実用化より、サバティエ反応を下回る製造コスト実現を見通し、設備の大規模化、高効率化、適地選定などにより、2050年時点には従来 LNG 並みのコストを目指している。

海外の安価な再生可能エネルギーの各種輸入キャリアにつき、海外再エネ電力による製造から国内輸入後、国内送配手前までの費用を積み上げ試算した結果(図4)によると、各種キャリア製造設備の技術開発や大規模化などに伴う設備コストダウンが進行した場合、SOEC メタネーション技術により製造された液化 e-メタンのコストが最も低くなる。

SOEC メタネーション技術による“e-メタン革命”の提供価値は、暮らしや産業の仕組みを変えずに“熱需要”と“電力需要”の両方の CN 化を実現することである。熱需要においては、都市ガスのお客さまに、「都市ガスをそのまま使い

続けていたら、いつの間にか CN が達成できていた」と喜んでいただくことを目指したい。また、電力需要においては、“再エネ大量導入に伴う電力供給不安定化やコストアップ”を従来 LNG 火力発電並みコストの“e-メタン発電”により解消し、CN 時代にあって、これまで通りに安心して電力をお使い頂ける社会の実現に貢献したい。

1) 大西久男, 世界経済評論, 2024, 68, 101.

SOECメタネーション技術革新事業

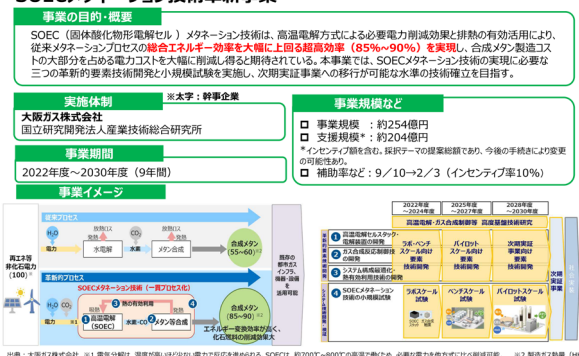


図3 SOEC メタネーション技術革新事業

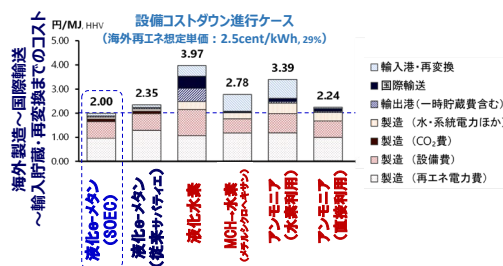


図4 各種海外再エネ電力
輸入キャリアのコスト比較

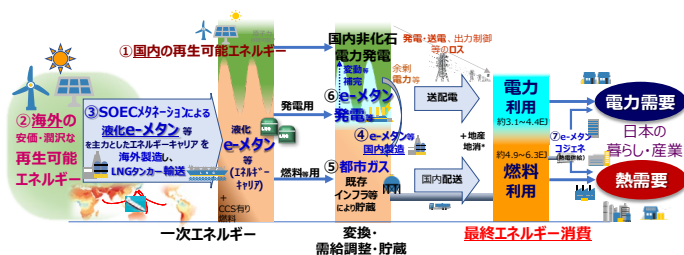


図5 2050年CN時代の“e-メタン革命”の姿