

# JACI NEWS LETTER

Japan Association for Chemical Innovation  
公益社団法人 新化学技術推進協会

No.85 2023.8

## HEADLINE

01 変化を見据える高分子科学

02 研究最前線  
多孔性金属錯体を用いた精密高分子分離

04 GSC話題  
再生可能エネルギー電力由来のグリーンアンモニア製造技術とその活用

06 JACI トピックス  
第16回STGA/受賞者紹介

08 募集案内 第17回STGA

## 変化を見据える 高分子科学



公益社団法人 高分子学会  
会長 伊藤 耕三

高分子材料は、自動車、航空機、電子・電気、建築、情報、食品、ヘルスケア分野など広範な産業分野で金属・無機材料の代替材料として開発され大量に利用されている。近年、地球環境保全の見地から、CO<sub>2</sub>排出量の削減や資源循環型社会構築などに対する配慮が材料開発の段階から求められるようになってきた。一方で、マイクロプラスチックによる海洋汚染が世界的注目を集めるようになり、地球レベルでの環境保全への取り組みが一層高いレベルで求められている。このような状況の中で、サプライチェーン全体として産業競争力の向上や環境負荷を最小化するサーキュラーエコノミーシステムの構築を目指した技術開発が喫緊の課題となっている。また、消費者の行動変容を促す環境整備や特に欧州を意識した国際的な法規制への対応も加速する必要がある。

2023年7月13日には欧州委員会によるELV規制案にて、新車への再生プラスチック利用目標25%(2030年)が提案された。もしこの規制が成立してしまうと、自動車用プラスチックからのリサイクルだけでは再生材が足りないことになり、一般消費財からの再生材を自動車に利用する必要が出てくる。その結果、再生材の方がバージン材よりも高価になるという逆転現象が起こる可能性があり、プラスチックのビジネスモデルがリニアエコノミーからサーキュラーエコノミーに大きく変わることが予想されている。それとともに、製品や部品にカーボンフットプリントや再生材の比率などのサステナビリティに関する情報を書き込み、生産者、消費者、リサイクラーなどが情報を共有できるようなデジタル化のシステム(デジタル・プロダクト・パスポート)が欧州を中心に議論されている。リサイクルは単なる環境問題の解決というだけでなく、輸出産業における産業競争力の維持・強化という点でも今後ますます重要になると考えられている。

このような社会環境の大きな変化の中で、高分子科学は歴史的転換点を迎えようとしている。高分子学会は産業界と強力に連携しながら、高分子の循環の科学に取り組む所存である。



新化学技術推進協会は、人と環境の健康・安全と、持続可能な社会をめざすGSC推進の考え方にたち、技術革新の原動力となる新しい科学技術発展に貢献することを目的とした、公益社団法人です。

# 多孔性金属錯体を用いた精密高分子分離

東京大学大学院工学系研究科 教授 植村 卓史

ほとんどの合成高分子は異なる分子量や構造の分布を有する重合体の混合物である。そのため、生体高分子のような一義的構造を持つ高分子の創製を夢見て、1990年代のリビングラジカル重合を皮切りに、様々な重合法の開発が行われてきたが、完璧な構造制御は未だ困難である。では、「合成」による構造制御と異なるアプローチで高分子の構造制御は出来ないだろうか？多種多様な高分子鎖が確率的に存在する高分子混合物の中にも、欲しい構造の鎖が一定割合で存在する。それを認識して、精密に分離することができれば、これまでの常識となっていた合成による制御から大きなパラダイムシフトが起こる。しかし、これが難しいのは低分

子化合物では一般的な分離法（蒸留、再結晶、抽出など）が高分子では全く役に立たないところである。すなわち、高分子鎖内の一部に異種構造があったとしても、その部分を特定し、該当箇所を含む鎖だけを取り除くことはできない。その上、高分子は鎖状形態特有の絡み合いがある。溶液中でも折れまがり、もつれあいながら存在するため、高分子は単なる「かたまり」として認識するしかない。したがって、サイズ排除クロマトグラフィーを用いればかたまりの大きさ（＝鎖の長さ）は識別できるが、既存技術では長い鎖中のわずかな構造違いを認識して分離することは困難を極めていた。

最近、筆者らは金属イオンと有機架

橋配位子との自己集合によって構築される多孔性金属錯体（MOF）のナノ空間に高分子を吸着させるという手法で、その解決を図った。ここで「ナノ空間への高分子の吸着」と記述しているが、実は1 nmを切るような極細チャンネルに高分子鎖が侵入することは、エントロピー損失が大きすぎて、起こりえないと信じこまれていた。しかし、筆者らは直径数Åの一次元MOFチャンネルにも、高分子が自発的に導入されることを世界で初めて発見した<sup>1)</sup>。これはMOFの分子性空間が高分子と強い相互作用を示すため、エントロピー損失に打ち勝つ大きな吸着熱を発生しながら、高分子鎖がナノ空間に侵入する<sup>2)</sup>。この現象を利用するこ

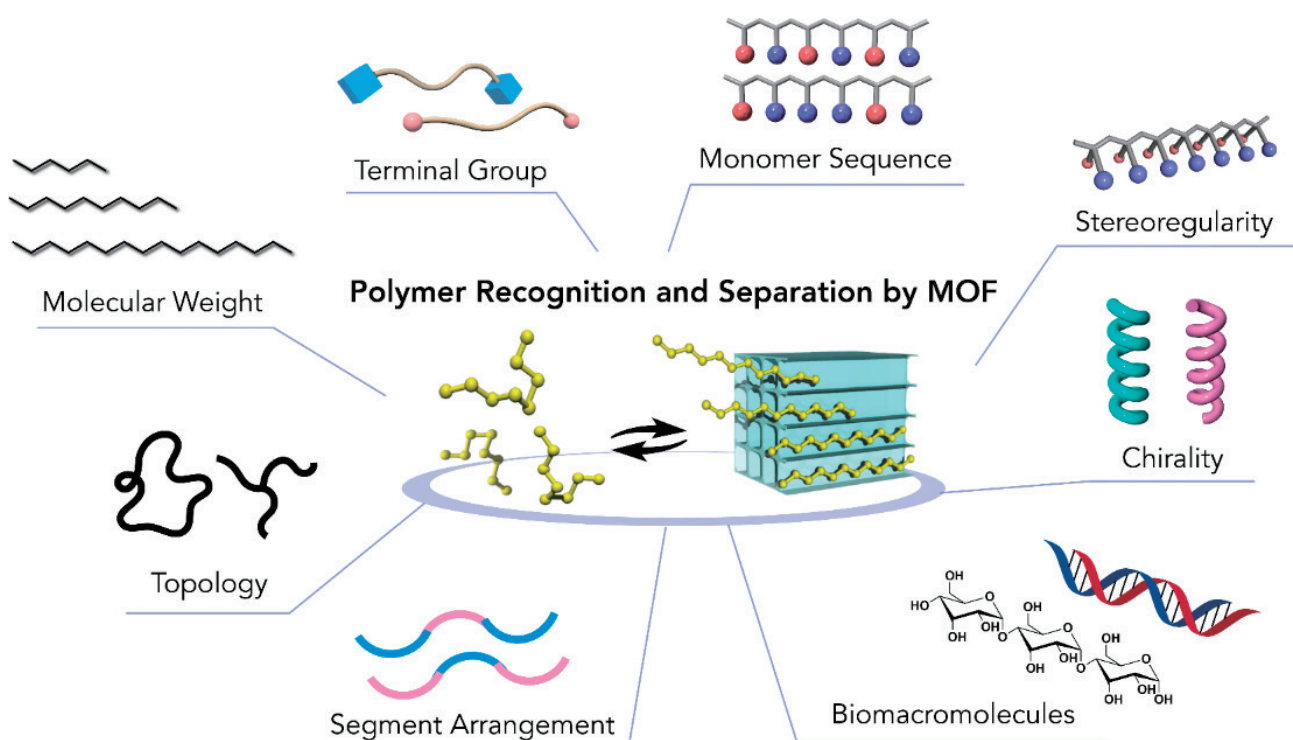


図1 MOFを利用した高分子の精密認識と分離

近年の高度情報化社会を背景に、あらゆる製品の材料となる高分子化合物にも高機能化が要求されるため、構造的乱れの極めて少ない超精密高分子の提供が必要となっている。人々の生活は高分子に強く依存する一方で、環境負荷・資源問題という観点から、高分子材料を有効利用するための方策も必須となってきている。本稿では、金属錯体からなるナノ空間材料を使うことで、高分子鎖中のわずかに原子一個レベルの構造違いでさえ見分ける革新的な分離技術を基盤に、欲しい高分子材料を簡単に手にでき、有効利用される循環型社会実現への期待を述べたい。

とで、従来法では不可能な高分子の認識・分離を可能にした(図1)<sup>3)</sup>。例えば、末端構造のみ異なる高分子は鎖長が長くなるほど末端基の影響が薄れ、既存技術ではその違いを認識して分離することは出来ない。筆者らはMOFを使うことで、分子量が数万もある高分子の末端基のみの違いを見極め、完全たる純度で精製することに成功した<sup>4)</sup>。更には、MOF粒子を充填したカラムを試作し、高分子の液体クロマト(HPLC)分離を行った。HPLCによる分離では、細孔内への高分子の吸脱着が幾度となく繰り返されるため、MOF-高分子間相互作用が増幅する。その結果、末端の構造差異がほとんど無くても保持時間が異なり、長い鎖中のたっ

た1原子レベルの違いでさえ判別する驚異の認識能を示した<sup>5)</sup>。本手法を用いれば、糸まり状の高分子鎖を引き延ばしてMOF空間に配列できるため、鎖構造を余すことなく認識できる。これにより、分子量の違いはもちろん、線状と環状の違い、共重合体中のモノマー組成でさえ見極める他に比類を見ない高分子認識・分離を実現した<sup>6)</sup>。

MOF空間を分離場とした新アプローチにより、これまでの精密重合・合成に頼らずとも、構造制御された高分子を提供できる。これらは付加価値の高い高分子材料として電子デバイスや医療分野に利用され、我々の生活を益々豊かにしてくれるだろう。しかし、環境へのやさしさ・資源の有効利用と

いう側面から、ここ数年で人々の高分子材料に対する評価が低下していることも事実である。循環型社会の実現を見据え、再生可能な高分子の需要が増えていく中、高分子材料のリサイクルは益々重要な課題となっている。長い高分子鎖中の1原子レベルの違いを見極められるMOF材料を使えば、種々の汎用プラスチックの混合物や複合体から狙いの高分子のみを取り出すことは原理的に難しくない。ここで紹介した研究・技術がその一助になればと願っている。

#### 参考文献

- 1) T. Uemura, N. Yanai, S. Watanabe, H. Tanaka, R. Numaguchi, M. T. Miyahara, Y. Ohta, M. Nagaoka, S. Kitagawa, *Nat. Commun.* **1**, 83 (2010).
- 2) T. Uemura, G. Washino, S. Kitagawa, H. Takahashi, A. Yoshida, K. Takeyasu, M. Takayanagi, M. Nagaoka, *J. Phys. Chem. C* **119**, 21504 (2015).
- 3) N. Hosono, T. Uemura, *Acc. Chem. Res.* **54**, 3593 (2021). N. Hosono, T. Uemura, *Matter* **3**, 652 (2020).
- 4) B. Le Ouay, C. Watanabe, S. Mochizuki, M. Takayanagi, M. Nagaoka, T. Kitao, T. Uemura, *Nat. Commun.* **9**, 3635 (2018).
- 5) N. Mizutani, N. Hosono, B. Le Ouay, T. Kitao, R. Matsuura, T. Kubo, T. Uemura, *J. Am. Chem. Soc.* **142**, 3701 (2020).
- 6) N. Oe, N. Hosono, T. Uemura, *Chem. Sci.* **12**, 12576 (2021). T. Sawayama, Y. Wang, T. Watanabe, M. Takayanagi, T. Yamamoto, N. Hosono, T. Uemura, *Angew. Chem. Int. Ed.* **60**, 11830 (2021).



# 再生可能エネルギー電力由来の グリーンアンモニア製造技術とその活用

日揮ホールディングス株式会社 サステナビリティ協創ユニット 甲斐 元崇

## 1. はじめに

アンモニアはこれまで肥料・化学原料として主に使われてきたが、低炭素・脱炭素社会に向けた潮流のなか、燃料や水素キャリアとしても注目されている。但し、現状の化石燃料から製造されるアンモニアはその製造過程においてCO<sub>2</sub>を排出することから、クリーンなアンモニア製造方法の確立が求められている。クリーンアンモニアには、主に化石燃料由来のアンモニア製造過程で排出されるCO<sub>2</sub>を回収・貯留または有効利用して製造されるブルーアンモニアと、再生可能エネルギーから製造されるグリーンアンモニアとがあるが、ここでは再生可能エネルギー電

力由来のグリーンアンモニア製造技術とその活用について述べる。

## 2. 再生可能エネルギー電力由来のグリーンアンモニア製造技術

再生可能エネルギー電力由来のグリーンアンモニアについては、特に再生可能エネルギーが豊富で発電単価が安い中東・豪州・米州を中心に世界中で様々な計画が発表または検討されている。その主な製造方法としては、再生可能エネルギー電力と水を原料に、水電気分解装置で水素を製造し、窒素は空気から分離し、水素と窒素を原料に反応器でアンモニア合成し、アンモニアを液化・分離することで製造さ

れる。一方、太陽光や風力など変動性の再生可能エネルギー由来の場合、水電気分解装置にて製造される水素も変動するが、下流のアンモニアは急激な変動に対応できない為、蓄電池や水素バッファータンクなどによる変動吸収の対応が必要となる。図1に変動性再生可能エネルギー電力由来のグリーンアンモニア製造プラントのブロックフロー図を示す。そこで当社は変動性再生可能エネルギー電力由来のグリーンアンモニアプラント設備構成最適化検討ツールとしてGAPAO™を開発し、事業性検討において、GAPAO™を活用した最適なプラント構成・設備容量を提案している。

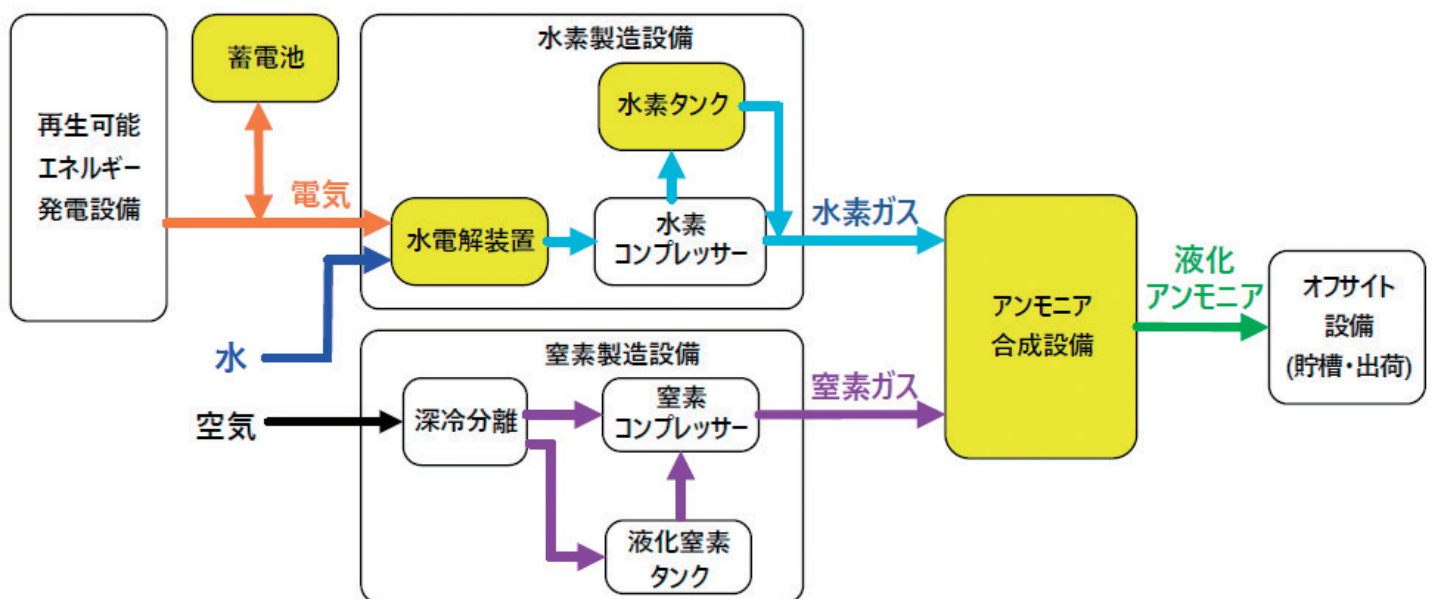


図1 変動性再生可能エネルギー電力由来のグリーンアンモニア製造プラントのフロー図

さらに当社は旭化成株式会社と共同で、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が公募した「グリーンイノベーション（GI）基金事業/再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造」に対し、「大規模アルカリ水電解水素製造システムの開発およびグリーンケミカルプラントの実証」事業に採択され、プロジェクトを開始した<sup>1)</sup>。その中で、「グリーンケミカルプラントの実証」が共同実施の対象である。本プロジェクトは中規模実証のフェーズ1と、大規模実証のフェーズ2とに分かれており、フェーズ1にてグリーンアンモニア製造実証を実施する予定であり、実

証プラント建設予定地の福島県浪江町と立地に関する基本協定を締結し、EPCを開始した<sup>2)</sup>。図2に、フェーズ1のスキームを示す。水電解装置は旭化成の所掌で10MW規模のアルカリ型水電解装置、アンモニア製造設備は当社の所掌で日産4トン規模、且つ変動対応で低負荷でも運転可能な設計となっている。また、それらの設備の運転を制御する「統合制御システム」を共同で開発し、実証する計画である。図3に統合制御システムのスキームを示すが、グリーンアンモニアプラントの運転において、原料となる再生可能エネルギー発電の変動と不確実性に対応する必要があり、特に予期せぬプラント

のシャットダウンを如何に回避するかがポイントになる。統合制御システムは、運転中の実際の発電量だけでなく、気象予測を含む将来の発電量予測データをインプット情報として取り込むことで、現在あるべき最適な運転状態・計画を導き出すシステムである。

### 3. クリーンアンモニアの活用

アンモニアは現在、肥料や化学品原料などとして利用・消費されており、今後は化石燃料由来のものからグリーンアンモニアに置き換えられ、肥料・化学品の低炭素化に貢献することが期待されている。また、アンモニアは利用時にCO<sub>2</sub>を排出しないクリーンな

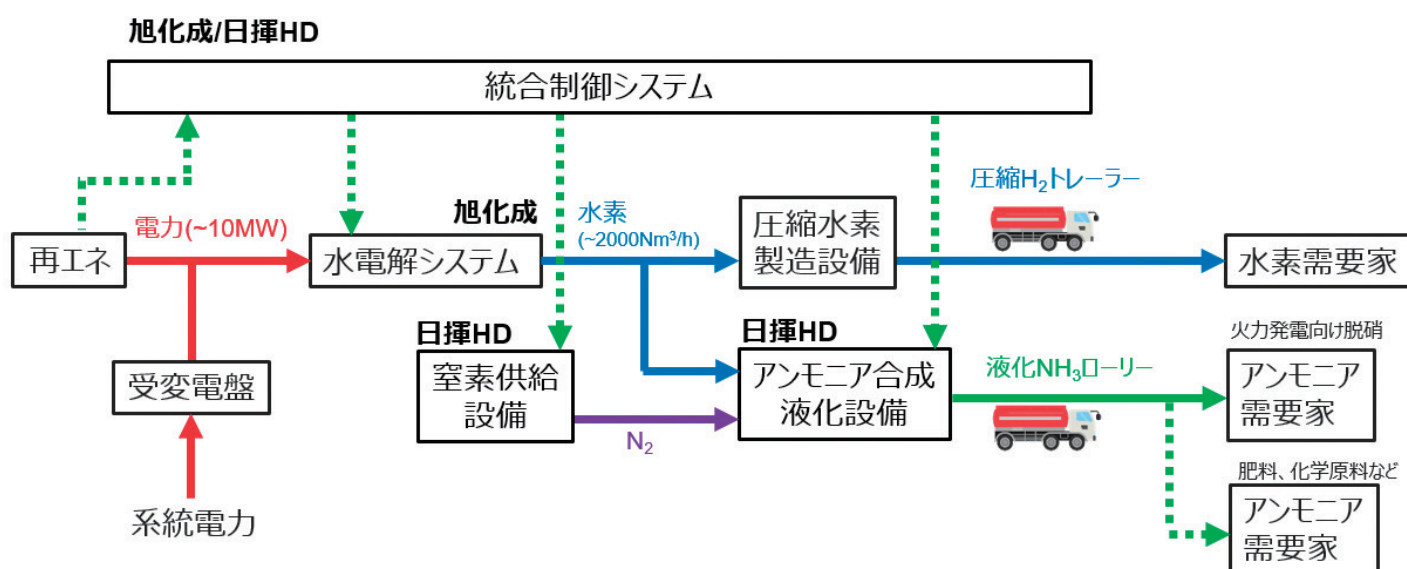


図2 NEDO GI基金（フェーズ1）グリーンアンモニア実証スキーム

## 再生可能エネルギー電力由来の グリーンアンモニア製造技術とその活用

燃料としても期待されており、JERA 碧南石炭火力発電所でのアンモニア混焼実証試験が開始され、2023年度には大規模混焼（熱量比20%）の開始を目指すとしている<sup>3)</sup>。将来的には石炭火力へのアンモニア混焼からアンモニア専焼化も期待されている。さらに天然ガスタービンでのアンモニア混焼およ

び専焼も研究開発、および船舶の燃料利用についてもアンモニア燃料船と混焼・専焼エンジンの研究開発が進められ、早期実装が期待されている<sup>4),5)</sup>。一方、水素を原料とした製品や水素燃料電池自動車などアンモニアを直接利用できない用途もあり、そういう用途にはアンモニアを水素キャリアとし

て、アンモニア分解による水素供給という方法もあるが、現状は電気炉による金属熱処理用途など限定的で小規模な商業実績のみである<sup>6),7)</sup>。今後の実用化に向けて、大規模且つ高効率なシステムの開発・実証が期待されている。

### 参考文献・出典

- 1) <https://www.jgc.com/jp/news/assets/pdf/20210826j.pdf>
- 2) <https://www.jgc.com/jp/news/2023/20230322-3.html>
- 3) [https://www.jera.co.jp/news/information/20220531\\_917](https://www.jera.co.jp/news/information/20220531_917)
- 4) [https://www.ihico.jp/ihico/all\\_news/2022/resources\\_energy\\_environment/1197937\\_3473.html](https://www.ihico.jp/ihico/all_news/2022/resources_energy_environment/1197937_3473.html)
- 5) [https://www.mes.co.jp/press/2022/1128\\_001907.html](https://www.mes.co.jp/press/2022/1128_001907.html)
- 6) <https://www.jgccc.com/products/catalysts/catalysts-category/ambient-gas-production/index.html>
- 7) <http://www.siliconit.co.jp/ammonia.html>

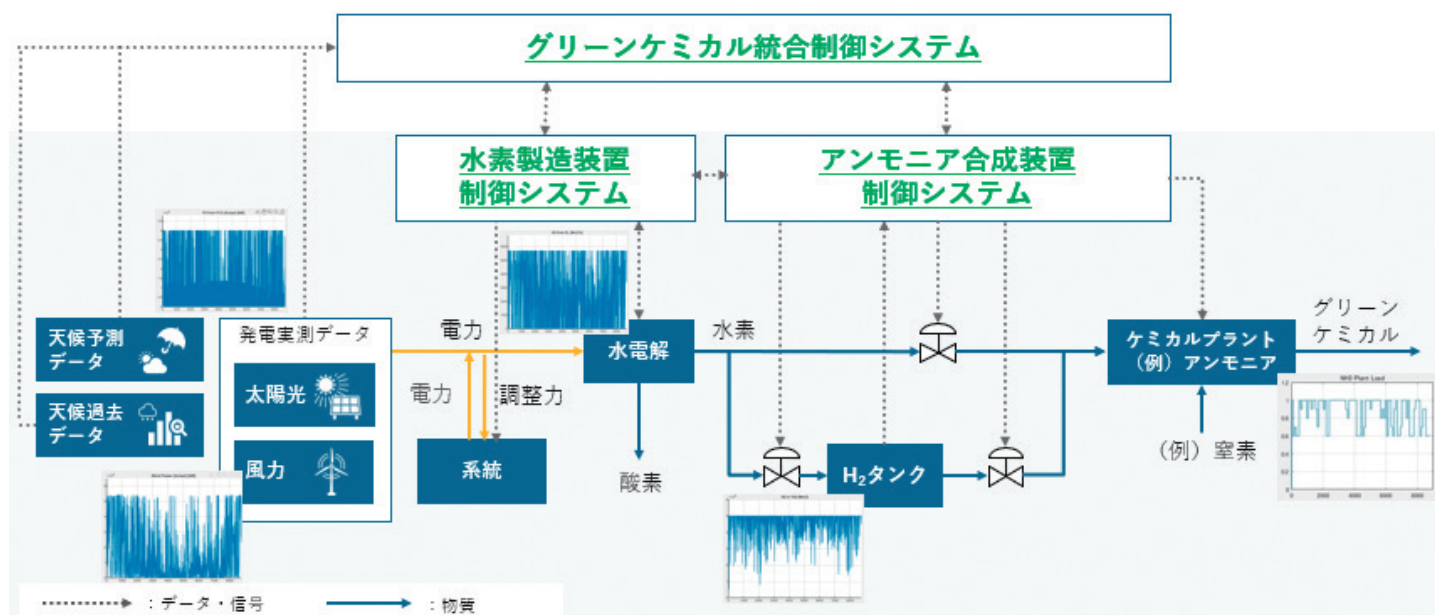


図3 NEDO GI基金グリーンケミカル統合制御システムスキーム



## 第16回STGA受賞者 (GSC Student Travel Grant Award)

2022年11月に第16回STGAの応募が始まり、多数の応募の中からGSCに関する優れた業績が認められた5名が選出されました。受賞者は2023年11月29日から12月1日に開催されるAOC-8 (8th Asia-Oceania Conference on GSC) に参加し、オーラル、ポスター発表を行います。受賞者5名からのメッセージをご紹介します。(敬称略、学年は2022年11月時点)



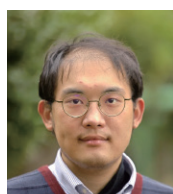
七條 慶太 九州大学大学院工学府応用化学専攻 D2

研究テーマ 「無尽蔵な太陽光エネルギーを利用する環境汚染物質からのファインケミカル合成」  
この度は第16回STGAに選出していただき、大変光栄です。太陽光エネルギーを用いて環境汚染物質をファインケミカルへ変換する手法の開発は重要です。国際会議では、自身の研究をアピールするとともに、GSCに関して積極的に学ぶことで、社会へ貢献できる研究者へ成長したいと思います。



夏 康 東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻 D2

研究テーマ 「環境調和型酸化反応を指向したポリオキシメタレート修飾金属ナノ粒子触媒の開発」  
この度は第16回STGAに選出していただき、新化学技術推進協会をはじめとする関係者の方々に厚く御礼申し上げます。高活性と耐久性を両立するポリオキシメタレート修飾した金属ナノ粒子触媒の開発は、工学的かつ基礎学術的に重要な研究です。国際学会においても、この分野を広める発表をする所存です。



陳 碩 東京大学工学系研究科化学生命工学専攻 D2

研究テーマ 「超高速脱塩を可能にするフルオラスナノチャンネル」

Thank you for this incredible honor. Receiving this award is deeply meaningful to me. I would like to extend my thanks to my supervisor Prof. Takuzo Aida, Dr. Yoshimitsu Itoh, colleagues, mentors, and friends for their support. This award also reminds me of the important task ahead in water purification. It is my hope that my research will inspire others to develop new technologies and make meaningful contributions to a green future.



竹内 未佳 大阪公立大学大学院理学研究科化学専攻 M1

研究テーマ 「生体/可視光吸収色素を用いた CO<sub>2</sub>およびビルビン酸を原料とするプラスチック原材料合成系の構築」  
この度は第16回STGAに選出していただき、大変光栄に存じます。本研究では生体触媒を用いる二酸化炭素固定により有用物質を合成する光化学系を構築しました。国際学会参加を通じ、GSCに関する知見を広げることで本研究のさらなる発展へ繋げたいと考えております。



橋本 直樹 大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻 D1

研究テーマ 「反応雰囲気下における高耐久化を目的としたハイエントロピー合金ナノ粒子触媒の開発」  
この度は第16回STGAに選出していただき、大変光栄です。今回の受賞につきまして、新化学技術推進協会をはじめとする関係者の方々に厚く御礼申し上げます。ハイエントロピー合金はGSCをはじめ多くの分野で注目されている新材料です。国際学会への参加・発表を通して本研究の発信・発展に繋がりたいと思います。

# 募集案内 第17回 STGA GSC Student Travel Grant Award

**GSCNIは若手研究者を応援します**  
Japan Association for Chemical Innovation

**第17回 GSC Student Travel Grant Award 候補者募集**

募集期間  
2023年 2023年  
8.1~10.23  
(火) (日)

シン・化学へ挑戦する。

〒102-0075 東京都千代田区三番町2 三番町KSビル2F  
TEL: 03-6272-6880 FAX: 03-5211-5920  
https://www.jaci.or.jp/



- 対象者は大学院生及びこれに相当する学生
- 今回の募集対象会議は協会が指定する2024年に開催予定のGSCに関する国際会議（アトランタで開催予定の第28回Green Chemistry & Engineering Conference 等）です。
- 締切 2023年10月23日（月）

JACIホームページからご応募ください

<https://www.jaci.or.jp>

## 編集後記

暑さが大変厳しい日々が続いておりますが、いかがお過ごしでしょうか。6月13日・14日開催の第12回 JACI/GSCシンポジウムでは、約700名の方々にご参加いただき、千代田区の一橋講堂のポスター会場も

- 大変盛況となりました。ご参加の皆さまには対面ならではの活発な討論をしていただき、感謝しております。また、今春よりX(旧Twitter)での情報発信に注力しております。これまであまりご覧になったことがない方も是非覗いてみてください。



## JACIニュースレター

発行  
公益社団法人新化学技術推進協会 (JACI)  
〒102-0075 東京都千代田区三番町2  
三番町KSビル2F  
TEL: 03-6272-6880  
https://www.jaci.or.jp/  
編集 JACI 総務部

JACIのGSCネットワークは、次の団体が構成されています。

- (国研) 科学技術振興機構、(一財) 化学研究評価機構、(公社) 化学工学会、(一社) 化学情報協会、関西化学工業協会、(一社) 近畿化学協会、合成樹脂工業協会、(公社) 高分子学会、(公社) 高分子学会高分子同友会、(公財) 相模中央化学研究所、(国研) 産業技術総合研究所、(一社) 触媒学会、(国研) 新エネルギー・産業技術総合開発機構、(独研) 製品評価技術基盤機構、石油化学工業協会、(公社) 石油学会、(公財) 地球環境産業技術研究機構、(公社) 電気化学会、(地独) 東京都立産業技術研究センター、(公社) 日本化学会、(一社) 日本化学工業協会、日本吸着学会、(公社) 日本セラミックス協会、(一社) 日本塗料工業会、日本バイオマテリアル学会、(一社) 日本分析機器工業会、(一社) 日本膜学会、(一財) パイオインダストリー協会、(国研) 物質・材料研究機構、(一社) プラスチック循環利用協会、(公社) 有機合成化学協会、(国研) 理化学研究所

