

シンポジウム | イノベーション共創プログラム (CIP) : 有機電解合成の今: 最新技術動向と化学品製造への応用の可能性

■ 2026年3月20日(金) 9:00 ~ 11:40 | 会場 A1432 (14号館 [3階] 1432)

[A1432-4am] 有機電解合成の今: 最新技術動向と化学品製造への応用の可能性

座長, シンポジウム関係者: 生長 幸之助 (産業技術総合研究所)、竹内 勝彦 (産業技術総合研究所)、藤村 樹 (株式会社カネカ)

有機電解合成は1848年のコルベ電解反応から始まった歴史ある合成反応であります。化学品製造の歴史においては、石油化学の台頭や反応装置の制限から、アクリロニトリルの二量化のようなごく一部の反応を除いてこれまでほとんど工業化されていませんでした。しかし、近年、風力発電や太陽光発電というグリーン電力の普及が見込まれておりその直接活用が可能なこと、化学品製造にCO₂排出量削減への貢献が期待されること、反応装置や電極・膜・電解質の発達で適用可能な反応が増えてきたことなどから、有機電解合成の工業化に注目が集まりつつあります。また、学術の現場でも汎用の電解合成装置が販売されるようになることで、電気化学の専門家でなくとも電解合成に挑戦できるようになり、新たな知見・視点が有機電解合成の分野に持ち込まれる環境が生まれつつあります。本セッションでは、このように産・学で盛り上がりをもせる有機電解合成の分野において活発に研究を展開している先生方にご登壇頂き、その最新動向を学ぶことで有機電解合成の発展と産業化への道筋について議論する場を提供いたします。

聴講後の[アンケート](#)へのご協力をお願いいたします。

9:00 ~ 9:05

開会挨拶

◆ 日本語 ◆ 依頼講演

9:05 ~ 9:35

[A1432-4am-01] 電解アミド化を活用した液相ペプチド合成

○岡田 洋平¹ (1.東京農工大学)

◆ 日本語 ◆ 依頼講演

9:35 ~ 10:05

[A1432-4am-02] 高付加価値化合物を効率的に合成可能な「CO₂タンデム電解プロセス」の開発

○井川 博之¹、洪 達超¹、大山 晃平¹、藤沼 尚洋¹ (1.積水化学工業株式会社)

10:05 ~ 10:15

[4A143201-04-4add] インキュベーションタイム

◆ 日本語 ◆ 依頼講演

10:15 ~ 10:45

[A1432-4am-03] 間接電解法によるイミン系共有結合性有機構造体薄膜の合成と多様な機能性表面への展開

○佐藤 宏亮¹ (1.Science Tokyo)

◆ 日本語 ◆ 基調講演

10:45 ~ 11:35

[A1432-4am-04] 高速有機電解合成化学: フラスコ研究からフロー研究まで

○永木 愛一郎¹ (1.北海道大学)

11:35 ~ 11:40

[4A143201-04-7add] 閉会挨拶

電解アミド化を活用した液相ペプチド合成

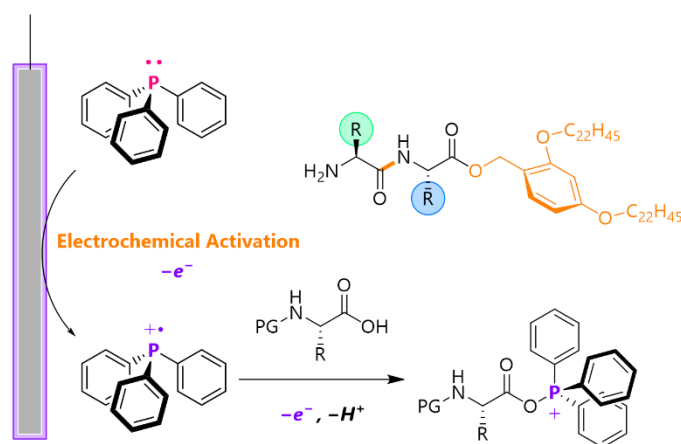
(東農工大院) ○岡田 洋平

Liquid-Phase Peptide Synthesis Enabled by Electrochemical Amidation (*Tokyo University of Agriculture and Technology*) ○Yohei Okada

We have been developing tag-assisted liquid-phase peptide synthesis (LPPS) using hydrophobic benzyl alcohols as soluble supports. In general, tag-assisted LPPS would provide a greener approach than solid-phase method in terms of the consumption of amino acids, coupling reagents, and solvents. While the amount of coupling reagents used in our method can be minimized (ca. 1.2 eq.), stoichiometric usage is still needed. In the present study, we have focused on electrochemical amidation without the use of typical coupling reagents for tag-assisted LPPS. In this method, triarylphosphines are used as electrochemically activatable coupling reagents. Single electron oxidation of the phosphines generates their radical cation species, which functions as coupling reagents through the activation of carboxylic acids.

Keywords : *Liquid-Phase Peptide Synthesis; Electrochemical Amidation; Soluble Support (Tag); Triarylphosphine; Radical Cation*

我々はこれまで、疎水性のベンジルアルコールを可溶性担体（タグ）として用い液相ペプチド合成（LPPS）の研究開発に従事してきた。一般に、アミノ酸や縮合剤、それに溶媒の使用量に関して、タグ LPPS では固相法よりもグリーンな方法論が提供できる。しかしながら、縮合剤の使用量を必要最小限（1.2 eq.）に抑えることができるものの、依然として量論量の使用が必要である。本研究では、我々はタグ LPPS において、典型的な縮合剤を用いない「電解アミド化」に着目した。この方法では、トリアリールホスフィンを経電化学的に活性化可能な縮合剤として用いる。ホスフィンの一電子酸化によって対応するラジカルカチオンが生じ、これがカルボン酸を活性化することで縮合剤として機能する。



1) (a) Nagahara, S.; Okada, Y.; Kitano, Y.; Chiba, K. *Chem. Sci.* **2021**, *12*, 12911–12917; (b) Shingo Shinjo-Nagahara, S.; Okada, Y.; Hiratsuka, G.; Kitano, Y.; Chiba, K. *Chem. Eur. J.* **2024**, *30*, e202402552.

高付加価値化合物を効率的に合成可能な CO₂ タンデム電解プロセスの開発

(積水化学工業株式会社¹⁾) ○井川 博之¹・洪 達超¹、大山 晃平¹、藤沼 尚洋¹

Development of the "CO₂ Tandem Electrolysis Process" for Efficient Synthesis of High-Value-Added Compounds (¹SEKISUI CHEMICAL CO., LTD.) ○Hiroyuki Ikawa,¹ Dachao Hong,¹ Kouhei Ooyama,¹ Naohiro Fujinuma¹

Toward a carbon-neutral society, Sekisui Chemical is developing electrochemical CO₂ conversion technologies that reduce CO₂ to value-added products. Compared with many other CCU approaches, CO₂ electrolysis can operate without the direct use of H₂ as a chemical reductant. However, conventional CO₂ electrolysis typically targets C1 and C2 products, and the electricity cost required to produce these chemicals can be higher than their market value, making commercialization challenging.

To address this issue, we are developing a "CO₂ tandem electrolysis process" to synthesize higher-value C3+ products from CO₂: CO is generated at the cathode by CO₂ reduction, while the anode is used to convert CO into high-value C3+ compounds rather than performing oxygen evolution. For the cathodic reaction, we developed a new catalyst prepared by pyrolyzing cobalt and a nitrogen-containing polymer that were highly dispersed on a carbon support. By optimizing the electrode architecture, we achieved 90% Faradaic efficiency for CO at a current density of 1 A/cm². To advance toward commercialization, we are also evaluating scale-up of the electrolysis cell.

Keywords : CO₂ electrolysis, CCU, organic electrolysis

カーボンニュートラル実現に貢献するため、積水化学は電気化学的な還元反応を用いて CO₂ を有価物に変える CO₂ 電解の研究開発に取り組んでいる。CO₂ 電解は、ほかの多くの CCU 技術とは異なり、水素を用いて CO₂ を還元する必要がない点に優位性がある。しかし、従来の CO₂ 電解では C1、C2 化合物を生成することが多く、C1、C2 化合物は市場価値に対して必要な電力コストが大きいため採算を合わせることが難しい。

我々は CO₂ から電気的に C3 以上化合物の高付加価値化合物を合成することでこの課題を解決する取り組みを行っている、具体的には、カソードで CO₂ を電気的に還元して CO を合成し、アノードでは従来の水の酸化による酸素生成に代えて、CO から C3 以上の高付加価値化合物を合成する「CO₂ タンデム電解プロセス」を開発している。特にカソード反応において、コバルト原子と窒素含有ポリマーを炭素担体上に高分散担持した新規触媒を開発した¹⁾。さらに電極構造を最適化することにより、電流密度 1 A/cm²においてファラデー効率 90%の高選択性を達成した。加えて、商用化に向けて、電解セルのスケールアップ検討も行っている。

本講演では、これらの技術的背景と研究成果について、紹介する。

1) Fujinuma, N. and co-workers, *Adv. Energy Mater.* **2020**, 2001645

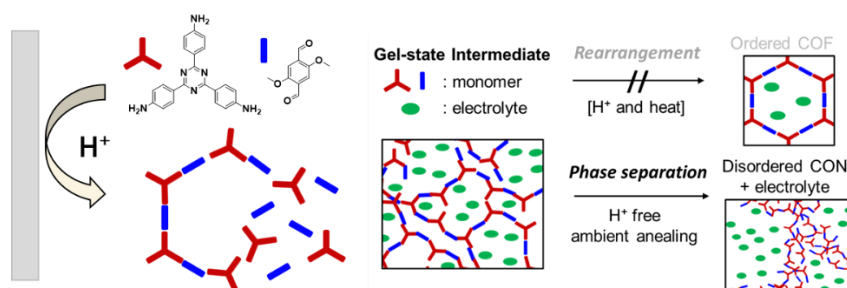
間接電解法によるイミン系共有結合性有機構造体薄膜の合成と多様な機能性表面への展開

(科学大物質理工) ○佐藤 宏亮

Electrochemical indirect synthesis of imine-bonded covalent organic framework films and applications based on their versatile functional surface (School of Materials and Chemical Technology, Institute of Science Tokyo) ○Kosuke Sato

We have proposed an indirect electrochemical synthesis of imine-linked covalent organic frameworks (COFs) using electrochemically generated acid (EGA). EGA is produced locally at the electrode surface, promoting imine-bond formation at the interface-confined space. In the presence of monomers, EGA lead COFs formation on electrode surfaces under ambient conditions within a short time. Although the resulting films exhibited condition-dependent crystallinity, their thickness and surface morphologies could be tuned by electrolysis parameters. As application model-cases, we demonstrate (1) hydrophobic coatings, (2) electrocatalysts, and (3) selective permeation membranes. COF film with a sponge structure exhibited superhydrophobicity and showed high solvent resistance. Furthermore, the fabrication of COF/nanocarbon composites was performed, achieving the single-nanometer scale COF deposition. The obtained COF/carbon composite electrodes exhibited electrocatalyst activity for oxygen reduction in alkaline aqueous solutions. *Keywords* : Covalent Organic Frameworks; Electrochemical Synthesis; Thin Film Synthesis; Electrogenerated Acid

電解発生酸 (EGA) を触媒として利用したイミン系 COF の間接電解合成法とその応用を提案してきた¹⁻³。EGA は、電気化学反応により電極表面に局所的に生成するため、表面近傍においてイミン結合の形成を促進する。モノマー共存下、電解酸化で酸触媒を供給することで、常温短時間工程で COF を電極表面に合成した。得られた薄膜に結晶性の高低はあるものの、電解条件の変更により膜厚や表面形状の制御が可能であった。COF 薄膜の応用例として、1)撥水性コーティング、2)電極触媒、3)選択透過膜などを提示した。相分離によるスポンジ構造を持つ薄膜は超撥水性を発現し、COF の化学的安定性を反映した高い溶媒耐性を示した。また、COF をシングルナノメートルスケールで基材表面に形成した COF/ナノカーボン複合体を作製したところ、水溶液中における酸素還元電極触媒として高い活性を示した。



1) K. Sato, S. Inagi, et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2023, 62, e202307343. 2) K. Sato, S. Inagi, *Small*, 2025, 21, 2410475. 3) K. Sato, et al. *ACS Appl. Nano Mater.* 2025, 8, 19, 9832.

高速有機電解合成化学：フラスコ研究からフロー研究まで

(北大院理) 永木 愛一郎

Flash Electroorganic Chemistry: From Flask Research to Flow Research
(Graduate School of Science, Hokkaido University) ○Aiichiro Nagaki

Speeding up the synthetic chemistry that supplies medicinal, agrochemical, and functional materials has been expected to contribute considerably to sustainable development of society. However, synthetic chemistry is dominated by mild reactions over long periods of time, and the time required for synthesis could be a bottleneck in carrying out R&D and synthetic production. In this presentation, we show our recent results to flash electroorganic chemistry guided by flow microreactor research together with flask research.

Keywords : electroorganic chemistry, speed-up, flow, batch

医薬品や農薬、機能性材料などを供給する合成化学の高速化は社会発展に大きく貢献すると期待される。しかし、合成に要する反応、合成の時間が研究開発や生産全体を通した時間的ボトルネックとなりうる。本講演では、高速反応の制御（フラッシュケミストリー）、反応の高速化、合成法の高速化、研究開発の高速化について、有機電解合成化学の内容を中心に紹介したい。

- 1) 永木愛一郎, 有機合成化学協会誌 **2024**, 82, 2-13.
- 2) (a) Takumi, M.; Sakaue, H.; Nagaki, A. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2022**, 61, e202116177. (b) Takumi, M.; Sakaue, H.; Shibasaki, D.; Nagaki, A. *Chem. Commun.* **2022**, 58, 8344-8347.
- 3) Soutome, H.; Yamashita, H.; Shimizu, Y.; Takumi, M.; Ashikari, Y.; Nagaki, A. *Nat. Commun.* **2024**, 15, 4873.
- 4) Muta, K.; Okamoto, K.; Nakayama, H.; Wada, S.; Nagaki, A. *Nat. Commun.* **2025**, 16, 416.
- 5) Okamoto, K.; Yoo, D. E.; Yoshioka, R.; Nakasato, R.; Ashikari, Y.; Kitayama, K.; Nagaki, A. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2025**, 64, e202416875.