

Title	電気の力でモノづくり：特別な試薬を使わない安全で地球にやさしい有機合成
Sub Title	
Author	池田, 亜希子(Ikeda, Akiko)
Publisher	慶應義塾大学理工学部
Publication year	2024
Jtitle	新版 窮理図解 No.41 (2024. 10) ,p.2- 3
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	慶應理工の電極のかぐく：電気化学でサステナブル社会を紡ぐ 化学科 山本崇史 (准教授) 研究紹介
Genre	Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001002-00000041-0002

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

電気力でモノづくり

特別な試薬を使わない安全で地球にやさしい有機合成

電気力で有機化合物を合成する「有機電解合成」は、特別な試薬を使わないため廃棄物排出量の削減も期待されることから、エコなモノづくりとして世界中で注目されている。競争が激化するこの分野で、山本さんは独自のアプローチで、既存のモノづくりを新しい方法に置き換えていきたいと考えている。

暮らしに欠かせない有機化合物

私たちの身の回りには、人工的につくられた物質があふれている。中でも、「炭素(C)を含む物質(有機化合物)」は、プラスチックやゴム、合成繊維、医薬品などとして、私たちの暮らしを支えている。

人工的に有機化合物をつくるには、通常、原料のほかに、例えば触媒など、反応を促進させるための特別な試薬を用いる。また、高温にするために大量のエネ

ルギーを消費する場合もある。もちろん、使用後の試薬や反応後の廃棄物は適切に回収・処理されているものの、もし特別な試薬や廃棄物のないモノづくりができれば環境負荷を大幅に減らすことができる。

このような背景から、電気力を使った有機合成「有機電解合成」が注目されているのだ。化学科の山本さんは、そんな「有機電解合成」の研究を牽引する研究者の一人である。

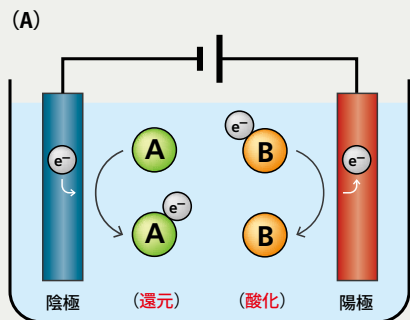
電気力を使う

「有機電解合成」とは？

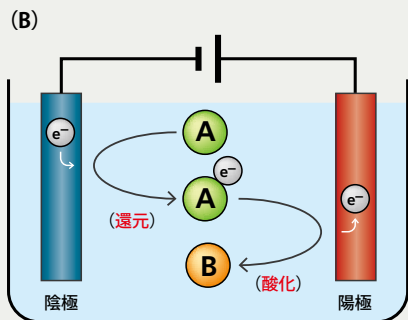
電気力を使う「有機電解合成」とは、どのような方法なのだろうか。中学校で学んだ「水の電気分解(電解)」を覚えていだろうか。図1(A)のように水(H₂O)に陽極と陰極を浸して電気を流すと、陰極では水素(H₂)が発生し、陽極では酸素(O₂)が発生する。このような電子の授受を有機化合物に当てはめて、新たな有機化合物をつくり出そうというモノづくりが、「有機電解合成」である(図1)。特別な試薬の代わりに電気力で行われる電子の授受が化学反応を促進させる。

留学先のマインツ大学での大きな成果

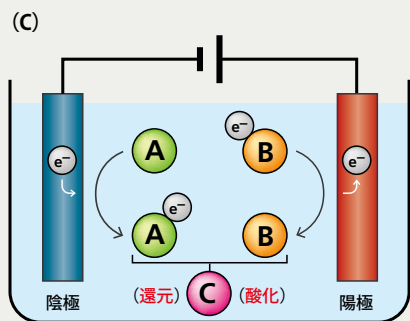
山本さんが有機電解合成の研究を行うようになったのは、2016年にドイツのヨハネス・ゲーテンベルク大学マインツ(通称マインツ大学)に留学したことがきっかけだった。「その頃、私は、それまで取り組んでいた研究分野のスピード感についていけず、自分の将来に不安を感じていました。そんな時、慶應義塾大学の石井・石橋基金『若手研究者育成ものづくり特別事業』で留学の機会を得



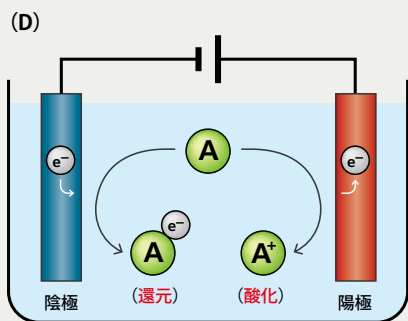
陰極で物質Aが還元され、陽極で物質Bが酸化されそれぞれが目的物質となる。



物質Aがまず陰極で還元され、次に陽極で酸化されて、目的物質Bができる。



陰極で還元された物質Aと、陽極で酸化された物質Bとが反応して目的物質Cが生成する。



物質Aが陰極では還元され、陽極では酸化され、どちらも目的物質となる。

図1
電気力をより効率的に使用する両極電解合成
陰極で還元反応、陽極で酸化反応がそれぞれ起こる。こうして活性化された物質が反応して、目的物質が生成する。「有機電解合成」が特別な試薬を使わないといっても、電気力を効率的に使用できなければ、エネルギーの無駄が生じる。そうならないように、「有機電解合成」では、陰極でも陽極でも目的物質の合成に結びつく「両極電解合成」の開発が盛んに行われている。

たのです。当時、私は栄長泰明教授えいながやすあきの研究室内で専任講師として研究していましたが、新境地を拓きたいと思い、帰国してからも続けられるように、栄長教授の研究テーマであるダイヤモンド電極に関わる研究テーマを探しました」。こうしてマインツ大学のジークフリート・ヴァルトフォゲル教授の下で、ダイヤモンド電極を使った有機電解合成の研究を始めることになった。

2017年には、イソオイゲノールを原料に α -ジイソオイゲノールの合成に成功(図2)。「原料が同じでも、それを溶かす溶媒を変えて電流を流すと、予想と違った物質ができました。ずっと化学を研究してきた私でも、こんなことが起こるのかと衝撃を受けました」と山本さん。

驚かされたのはそれだけではない。化学合成では、特別な工夫をしないと立体異性体が混ざって合成される。立体異性体は性質が異なるため、一度混じってしまうと分離しなくてはならない。そのため、立体異性体を簡単に作り分けることが化学合成における大きな命題である。ところが、この合成では α -ジイソオイゲノールのみができており、そのほかの立体異性体は混ざっていなかったのだ。

こうしてドイツで学び、成果を上げた山本さんは、現在、栄長研究室のダイヤモンド電極を使って「有機電解合成」の研究を進めている。

エコなモノづくりに 押し寄せる競争の波

山本さんが有機電解合成と出会った頃と今とでは、状況が変わってきている。「電気を使って物質を合成しようという試みは歴史が長く、その始まりは1800年代と言われています。1900年代後半に有機電解合成の分野は大きく発展しましたが、誰でも簡単に扱える研究用キットが存在しなかったため、その後あまり研究者人口は増えませんでした。ところが今は違います。いろいろな企業から直感的に使える研究用キットが販売され、有機電解合成の研究を始めるハードルが下がっています。特別な試薬を使う必要がないというだけでなく、電力を太陽光や風力といった再生可能エネルギー由来

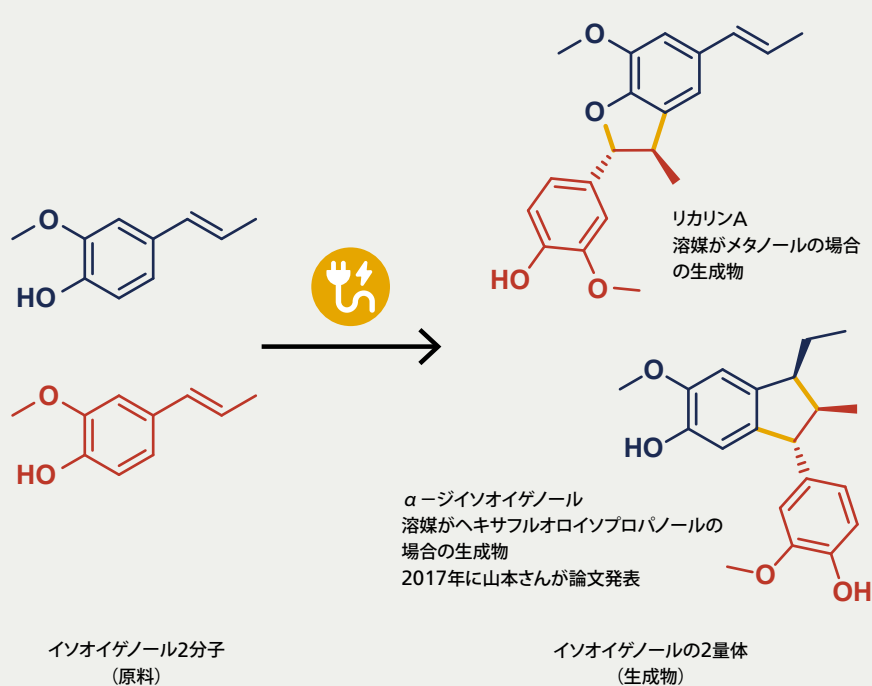


図2 イソオイゲノールを基質にした有機電解合成

これは、山本さんが論文を発表した有機電解合成の成果である。溶媒をヘキサフルオロイソプロパノールにしたところ、原料のイソオイゲノール2分子から α -ジイソオイゲノールが生成した(下)。これまで、溶媒をメタノールにするとリカリンAが生成することが知られていた(上)。溶媒を変えると生成物が変わることは大きな驚きだった。黄色太線は新しく形成する結合を示している。

のものにすれば、二酸化炭素(CO₂)排出量を削減できるモノづくりも可能になることから、世界中で有機電解合成の開発競争が起こっています」。

自分にしかできない研究で 世界と肩を並べる

しかし、以前のように、自分の研究の将来に不安を感じたりすることはない。なぜなら、有機電解合成における重要なファクターである電極に絶対の自信があるからだ。

「栄長研究室で使っているダイヤモンド電極には、有機電解合成をする上で、ほかの電極にはない優れた性質がいくつもあるからです。代表的なものを2つ紹介します。1つ目は、電流を流して生成する反応性が高いラジカル種がダイヤモンド電極の表面では安定に存在できることです。2つ目は、広い電圧範囲で使うことができます。これら2つの特徴をまとめると、一般的に用いられている電極では起こすことができない反応を実現することができるのです」。

さらに、このダイヤモンド電極の独

自の改良も試みている。「かつて私は、次世代デバイスの開発を目指して無機ナノシートの光学的・磁気的な性質について研究をしていました。この時に習得した経験・技術で、電極表面にさまざまな加工を施します。こうして電極表面の性質を変えると、生成物の収率や選択性がどう変わるか。その基礎的な理論の確立を通じて、新しい『電極のかがかく』の開拓を目指しています」。

やりたいことがいろいろある山本さんだが、最終的な目標は「高校生でもすごさが分かる成果を、有機電解合成で達成すること」だと話す。「例えば、教科書に載っているような、すでに産業利用されている反応(ただし、高温・高圧を必要とするもの)を、有機電解合成で置き換えるのです。こうして初めて、地球にやさしいモノづくりを達成したと言えますから…」。

「有機電解合成」には今、激しい競争の波が押し寄せている。その中を山本さんは、研究者としてのこれまでの経験を礎に、自ら定めた大きな目標に向かって、力強く進んでいるのである。

(取材・構成 池田亜希子)