Integrated Chemical Process の開発による合成プロセスの 自動化

折田 明浩
大寺 純蔵*

Automation of Organic Synthesis on the Basis of Integrated Chemical Process

Akihiro Orita and Junzo Otera*

The automation of multi-step chemical processes has been realized. A new concept for one-pot processes has been advanced which enables integration of various types of reactions involving carbon-carbon bond formations and functional group modifications. In the meantime, an automated synthesizer to accommodate such one-pot processes has been devised. This machine allows us to reproduce usual bench work: treatment of air-sensitive materials, control of temperature from -78°C to 100°C within $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ accuracy, and successive addition of reagents. Several examples which were successfully conducted on the machine are described.

Key words: integrated chemical process, sulfone, double elimination, diene, acetylene, automation, green process

はじめに

有機合成プロセスは通常、複数の素反応から構成される。まず、入手容易な出発原料が最初の中間体に化学変換され、抽出・単離精製の後に次の反応へと供される。これら一連の工程を逐次繰り返すことにより、最終的に出発原料から目的化合物への変換が達成される。こうした複数の反応からなる化学プロセスを自動化できれば、経済的にもエコロジカルにも意義深いことは誰の目にも明らかであろう。事実、工業的の化学プラントはそのほとんどが完全自動化されている。一方、実験室のベンチワークについても、高い作業効率や省エネルギーばかりでなく、クリーンで安全な作業環境を実現する実験の自動化が古くから求められてきた。しかしながら、こうした実験室の自動化は全く進んでいないのが現状である。この背景には次の2つの要因を挙げることができる。(1)実験室では煩雑な操作を含む多種多様な反応が行われるため、汎用性を持った多目的型の合成装置を設計しなければならない。そのためルーチン作業がその主な用途である化学プラントに比べてはるかに複雑な装置が必要になる。(2)小スケール反応に起因する問題点が多い。例えば、不活性ガス雰囲気下で反応を行う場合、反応スケールが小さくなるにつれて、反応系内に混入した酸素

や水分の影響がより大きく反映される。少量の反応剤を正確に秤量、添加するのも容易ではない。また、センシング技術を含め、反応スケールが小さくなるにつれて温度のコントロールが困難になる。これらの問題点を克服し、独自の自動合成装置を開発した企業も少なくない。その中のいくつかは、すでに実用レベルにまで達している¹⁾。しかしながら、これらの自動合成装置はいずれも、反応条件の最適化を指向して設計されており、合成化学者が日頃行っている操作を完全に再現できる装置は全く見あたらない。そこで我々は従来の自動合成装置に備わっていなかった機能を持つ合成装置の開発に着手した。すなわち、完全な不活性ガス雰囲気下での反応、低温下での正確な温度管理、複数の反応剤の投入、こうした機能を合成装置に付与することにより、ベンチワークでの実験を完全に再現することを目指した。

始めに述べたように、合成プロセスは一般に複数の反応から構成される。さて、このような合成プロセスを実験室で自動化するにはどうしたらよいのであろうか？

これには2通りの解決法が考えられる。ひとつめは、いわゆる「ロボット工学」に頼る手法であり、卓上にロボットアームを持つ化学プラントのミニチュア版ワークステーションを作成することになる。しかし、こうした合成装置の作成には多額の費用が必要である。さらに空気中や熱的に不安定な化合物をベンチワークスケールで取り扱うには不向きである。合成プロセスの自動化を実現するためのもうひとつの解決策は、出来る限り簡便な操作からなる反応プロセスを設計することである。すな

* 岡山理科大学工学部応用化学科

* Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, Okayama University of Science ()

わち、複数の化学反応を同一の反応器(ワンポット)で連続して行うことができれば、そのプロセスの自動化は極めて容易であろう²⁾。当然のことながら合成装置に必要な構造や機能も「ワークステーション」ほど複雑にならないため、装置に掛かる費用も少なくて済む。こうした考えのもと我々は新しいワンポットプロセスの設計概念とそれに適した自動合成装置の開発に並行して取り組むことにした。

これまでもワンポットプロセスは数多く報告されているが³⁾、その多くは基質の合成に相当の手間と時間を掛ける必要があり、原料合成の労力を考慮すると、プロセス全体としては必ずしも簡便とは言い難い。さらに、これまでに知られているワンポットプロセスは、付加反応など炭素-炭素結合生成反応のみから構成されており、官能基変換は通常含まれない。従って、こうした問題点や欠点を解決しない限り実用的なワンポットプロセスの創出は不可能である。そこで我々は、反応条件が一致あるいは類似でさえあれば基本的に、あらゆる種類の変換反応が連結可能になるワンポットプロセスの設計に向けた全く新しい概念を創出した。

1. コンセプト

ワンポットプロセス設計に向けて我々が創出した概念を説明する前に、従来の合成プロセスがどのように立案・設計されてきたかを考えてみよう。出発原料 S から目的化合物 P を合成する際、まずはじめに合成ルートを立てる。すなわち目的化合物 P から原料 S への逆合成が最初のステップとなる。ここでは原料 S から中間体 X を経て目的化合物 P に至る 2 段階反応について考えてみる(スキーム 1)。まず、1 段階目の反応、す

Scheme 1 Conventional synthetic process.

なわち原料 S から中間体 X への反応が最適化される。続いて中間体 X から目的化合物 P への変換が最適化さ

れる。こうして完成された S から P への合成プロセスでは、2 つの反応がいずれも他方の反応とは無関係に最適化されている。このとき、各反応条件が偶然に一致していれば 2 つの反応をワンポットプロセスとして連続して実施することが可能である。しかし、各段階の素反応が独立して最適化されているので、こうした幸運は希であろう。そこで、我々はもっと容易にワンポットプロセスを構築するための新たな方法論を創出した(スキーム 2)。

Scheme 2 Integrated chemical process.

まずはじめに、従来通り合成ルートを立案する。続いて、各段階の素反応に適用可能と思われる共通の反応条件を設定する。それから、この共通の条件下で個々の反応を最適化する。こうして最適化された各反応は同一あるいは類似の条件下で実施できることから、必然的にワンポット反応として行うことが可能なはずである。また、炭素-炭素結合生成反応だけでなく官能基変換を含め、原理的には何段階でも連結が可能である。我々は、このように設計したワンポット反応を「Integrated Chemical Process」と名付けた。このプロセスは、そこに含まれる中間体の抽出や精製をいっさい行わず、必要な反応剤を順次添加することによりワンポットで出発原料を目的化合物まで変換する。従って、反応操作が極めて簡便であるばかりでなく、物質損失が最小限に抑えられることから全収率の向上も期待できる。以下に、「Integrated Chemical Process」による様々な有用化合物の合成例を示す。

2. スルホンの二重脱離反応

我々はスルホンとアルデヒドとを出発原料とするジエンおよびアセチレンの合成ルートをすでに報告している⁴⁾。このプロセスは 3 つの素反応から構成される。すなわち、(1)スルホンのアルデヒドへの付加、(2)ヒドロ

Scheme 3 Preparation of diene and acetylene by means of double elimination of sulfone.

キシル基の保護, (3)保護されたヒドロキシル基およびスルホン基の連続した脱離反応, という3工程である(スキーム3)。3工程目の脱離反応では, 保護されたヒドロキシル基の脱離により, ビニルスルホンが生成する。このときビニルスルホンが熱力学的により安定なアリルスルホンに異性化, 続いてスルフィン酸の1, 4-脱離反応が生起すればジエンが生成する。一方, ビニルスルホンの異性化が進行しない場合には, スルフィン酸の1, 2-脱離によってアセチレンが生成することになる。

さて, このプロセスの第1および第3工程, すなわちアルドール型付加反応と二重脱離反応は塩基性条件下で行われ, 第2工程の反応であるヒドロキシル基の保護は酸性条件下で実施される。従って酸性条件下で行われているヒドロキシル基の保護反応を塩基性条件下で行うことができれば, 付加・保護・脱離という3工程からなるプ

ロセスが「Integrated Chemical Process」として, 容易にワンポット化できることになる。以下に実例を示す。

2.1 ビタミンAの合成

我々はC₁₀+C₁₀からなるビタミンAの合成プロセスを報告している(スキーム4)⁵⁾。このプロセスは3工程から構成される。(1)シクロゲラニルスルホンから調製したアニオンのC₁₀アルデヒドへの付加反応, (2)生成したβ-ヒドロキシルスルホンのMOMエーテルあるいはTHPエーテルへの変換, (3)塩基を用いた脱離反応によるβ-アルコキシルスルホンのビタミンAへの変換である。この3ステッププロセスをワンポットプロセスとして簡略化できれば, 実用的なビタミンAの合成プロセスが実現できると考えた。

このプロセスでは2段階目の反応, すなわちアルコールの保護だけが酸性条件下で行われており, 第1, 第3段階目の反応はいずれも塩基性条件下で反応条件が最適

Scheme 4 Synthesis of vitamin A by means of double elimination of sulfone.

Scheme 5 Integrated chemical process for vitamin A synthesis by means of double elimination of sulfone.

Scheme 8 Synthetic route of polycyclic aromatic compound.

Scheme 9 Homologation of polycyclic aromatic compound.

2.3 アセチレンの合成

すでに述べたが、スルホンの2重脱離反応はアセチレン化合物の合成にも有効である。このプロセスを塩基性という共通の条件下で連続して行ったところ、ワンポットで目的とするアセチレンが得られた(スキーム10)⁹⁾。

ベンジルスルホンからアニオンを調製後、ベンズアル

Scheme 10 Integrated chemical process for alkyne.

Scheme 13 Integrated chemical process for hexatriyne.

デヒド、クロロシランを加えた。続いてLDAを添加すると、シラノールおよびスルフィン酸の脱離により目的とするアセチレン化合物が86%で得られた。この反応では、中間体としてβ-シロキスルホンを経由するが、同じ中間体がPeterson脱離反応でも発生することが予想される。そこで、スキーム11に示したように、スル

Scheme 11 Integrated chemical process for alkyne by means of Peterson olefination and elimination of sulfone.

ホンのシリル化、アルデヒドへの付加、Peterson脱離、スルフィン酸の脱離を連続して試みたところ、対応するアセチレンを得ることができた。この反応はエンインやジインを含め様々なアセチレン化合物の合成に応用することが可能である(スキーム12)。この場合も中間体精

Scheme 12 Integrated chemical process for functionalized alkynes.

製過程での物質損失を避けることができるため、ステップワイズに反応を行った場合と比較して収率の向上が観測された。

トリイン骨格もワンポットプロセスによる構築が可能である(スキーム13)。直鎖ポリインは有機材料として

重要であるが¹⁰⁾，その合成は困難であり，実用的かつ簡便なトリイン構築法の開発が待たれていた¹¹⁾。3-フェニルプロパルギルスルホンと3-フェニルプロピナールの混合物にカリウムメトキシドを加えると，アルドール型付加反応が生起する。続けて，トリメチルクロロシラン，リチウムヘキサメチルジシラジドを作用させたところ，目的とするトリインが78%の収率で得られた。また，アルコールの保護に用いるクロロシランをはじめてから系中に添加することにより，反応工程をさらに簡略化することも可能である。

我々のワンポットアセチレン合成法はアリールアセチレン類にも適用可能である。アリールアセチレンの合成¹²⁾はこれまでも精力的に研究が行われてきたが，実用的な合成手段はハロゲン化アリールと末端アセチレンとの菌頭カップリング¹³⁾のみである。一方，我々の反応は従来の手法では合成が困難なハロゲンやアセタールといった官能基を持つアリールアセチレンも合成することが可能である(スキーム14)。

例えば，アセタールスルホン4とナフタレンカルボアルデヒドとを出発原料に用いて，二重脱離反応を行うと，アセタールを有するアセチレン5が生成する。アセタールを脱保護，続いてスルホン4と反応させると，フェニレンエチニレンが導入されたアセタール6が得られる。脱保護とスルホン4との反応を繰り返すことにより，アリールアセチレンオリゴマーが良好な収率で得られた(スキーム15)。

Scheme 14 Integrated chemical process for functionalized diphenylacetylenes.

3. ワンポット反応を指向した自動合成装置

我々は「Integrated Chemical Process」という全く新しい概念を合成プロセスの設計に導入し，これまで反応，単離精製の繰り返しで構成されていた合成プロセスをワンポット反応として実現することに成功した。さて，この論文の冒頭でも述べたが，ワンポット反応は実験操作が極めて簡便であることから，合成プロセスの自動化が比較的容易に実現できるものと予想される。そこで我々は合成プロセスの設計と並行して，自動合成装置(MEDLEY)の開発を行った¹⁴⁾。図1に我々が設計した

Scheme 15 Homologation of phenylene-ethynylene scaffolds.

Fig. 1 Schematic diagram of automatic synthesizer (MED-LEY).

合成装置の全体図を示した。この装置は、コントロール部(ARS¹⁵)およびシーケンサー、反応器、リザーバー、定量ポンプ、冷却装置から構成される。装置内部は、外気から完全に遮断されており、反応器内を減圧・窒素またはアルゴンで置換後、不活性ガス雰囲気下にて反応を行うことが可能である。反応温度は、反応液に直接差し込んだ温度センサーでモニターされ、設定温度との差が±0.1℃以内に収まるようARSによって管理される。基質や反応剤はリザーバーから定量ポンプによって送液され、滴下速度はARSによって制御される。反応剤を滴下する順番と滴下量はシーケンサーによって管理されるが、設定した仕込量との誤差は、1%以内であった。この装置では、設定した反応温度に忠実に従うようARSが刻々と変化する反応温度をモニターしながら反応剤の滴下速度を決定する機能を持つ。そのため、滴下に要する時間を正確に予想することは困難である。そこで我々は、この自動合成装置にアドバンスコントロールという新たな機能を付け加えた。すなわち、滴下が終了した時点で、次のステップにプログラムを進めるようにした。この機能によって、より効果的に合成プロセスを実行できるばかりでなく、滴下時間を気にすることなく反応温度の設定だけで容易に反応プログラムを入力することが可能になった。また、3層構造の反応器も新たに作成した(図2)。一番外側は真空層であり、断熱効果をも高める構造になっている。その内側の層を冷メタノールが循環する。最も内側には反応層があるが、これは温メタノール(通常は常温のメタノール)が循環する蛇管で覆われている。反応層内の温度は蛇管の温メタノールと中間層の冷メタノールの流量をARSがコントロールすることにより素早く調節される。例えば、反応層の内部を-78℃から20℃まで5分以内に昇温したり、室温から-78℃まで10分以内に冷却することが可能である。

Fig. 2 Cross section of the reactor.

実際にこの自動合成装置を使って、空气中不安定な反応剤を用いて反応を行ったところ、付加反応や置換反応が速やかに進行した(式1, 2)。また、固体の塩基や触媒前駆体を予め反応容器内に入れておけば、遷移金属触媒を用いた炭素-炭素結合生成反応も可能である(式3, 4)^{16, 17}。さらに、ルイス酸触媒も利用できた(式5)¹⁸。

いずれも、不活性ガス雰囲気下での反応で、プログラム通りの正確な滴下や温度管理が実現されており、我々化学者が実験台上で行った場合と同じ収率で有機反応を再現することが実証された。

また、スルホンを出発原料に用いたアルデヒドへの付加反応やPetersonオレフィン化反応も問題なく行うことができた(式6, 7)。

スキーム 16 には、アセチレンのワンポット合成を自動合成装置で行った結果を示す。装置内を窒素置換した後、3層構造の反応器にスルホンと THF を、リザーバーに反応剤を投入した。続いて温度や攪拌時間等の反応条件を入力して自動合成をスタートさせたところ、16 回の操作が実行され、ベンチワークの結果が再現された。この間、人の手による操作は全く不要であり、コンピューターに入力したプログラムが冷却・加熱といった反応温度の管理から、反応剤の正確な添加までを実行している。

Scheme 16 Automated double elimination of sulfone on MEDLEY.

4. 5-(β-スルホニルビニル) インドールの合成

複数の素反応をワンポットで実施する「Integrated Chemical Process」はグリーンプロセスの実現にも有効である。すなわち、合成プロセスに含まれる有害な中間

体を系中で調製、続けて次の反応に供することにより、有害物質を環境中にまったく放出しないクリーンなプロセスを構築することができた。

5-(β-スルホニルビニル) インドール 7 は医薬品として様々な誘導体が知られているが、ビニルスルホンと 5-ハロインドールとの Heck 反応によって合成されるのが一般的である(スキーム 17)。ビニルスルホンは有機

Scheme 17 Synthesis of 5-(β-vinylsulfonyl) indole.

合成に幅広く利用されているものの、催涙性や強い刺激性を持つことが報告されている。そのためビニルスルホンを取り扱う際には開放系での作業を避けるなど、十分に注意を払わなければならない。そこで我々は無害な 2-スルホニルエタノールを出発原料として系中でビニルスルホンを調製、続けて Heck 反応を実施することを試みた(スキーム 18)¹⁹⁾。このプロセスでは有害な中間体

Scheme 18 Integrated chemical process for β-arylvinylsulfones.

を反応器の外に一切出さないで、実験者が有害物質にさらされることはない。

スルホニルエタノールとスルホン酸無水物とをトリエチルアミン存在下で反応させたところ、ビニルスルホンの生成が TLC 分析によって確認された。続いて、ハロゲン化アリール、酢酸パラジウム、ホスフィンを加えて加熱したところ、期待した Heck 反応が進行し目的とする β-アリアルビニルスルホンが得られた。スキーム 19 には中間体のビニルスルホンを単離精製後、改めて Heck 反応を行った場合の全収率を括弧内に示した。やはりこの場合にもワンポットプロセスの方が高い収率で目的生成物を与えた。

このプロセスをスルホン酸無水物の代わりにスルホン酸クロリドや塩化チオニルを用いて行った場合には、ビニルスルホンの生成は確認されるものの、続く Heck 反応がほとんど進行しなかった。

Scheme 19 Integrated chemical process for β -arylvinylsulfone synthesis.

続いて、このプロセスを5-(β -スルホニルビニル)インドールの合成に応用した(スキーム 20)。トリエチルアミン共存下、スルホニルエタノールとトリフルオロメタンスルホン酸無水物とを反応させた。続いて、5-ブロモインドール 8 と触媒を添加して加熱したところ、5-(β -スルホニルビニル)インドール 9 が58%の単離収率で得られた。この場合、スルホニルエタノールをブロモインドールよりも過剰量用いているため、反応終了後、少量のビニルスルホンが反応系中に残っていることがHPLCにより確認された。そこで、反応後に少量のジエチルアミンを添加し、ビニルスルホン进行分解した。こうしたワンポットプロセスにより、有害な合成中間体を反応系外に一切出さない、グリーンプロセスを実現することに成功した。

Scheme 20 Integrated chemical process for synthesis of 9.

最後にこのプロセスを自動合成装置で行った(スキーム 21)。反応器にスルホニルエタノールの DMF 溶液を、リザーバーに必要な反応剤を入れた。反応温度や攪拌時間をプログラムした後に自動合成装置をスタートさせると、9つの操作が正確に実施された。

Scheme 21 Automated synthesis of 9 on MEDLEY.

おわりに

近年、実験環境の改善という目的だけでなく、製造方法の改良という観点からもベンチワークレベルでの実験操作の自動化が注目を浴びている。特に、反応の自動化に向けた動きは年間生産量が数キロから数百キロといった比較的少量の医薬品や精密化学製品の製造分野において、これからますます重要になるであろう。こうした要求に応じて行くには、様々な反応、多種多様な反応条件に対応できる多目的型自動合成装置が必要である。こうした少量の化合物合成が自動合成装置を用いたワンポットプロセスで実現できれば、経済的にもエコロジカルにもその有用性は大きく、自動合成装置を用いた有機合成の新たな展開が期待される。

こうした状況に鑑み、我々は「Integrated Chemical Process」という新しい概念をプロセス設計に導入した。「同一あるいは類似の反応条件下で全ての反応を行う」というコンセプトに基づいて設計した合成プロセスは、必要な反応剤を反応器に順に加えていくという極めて直截的な操作によって実施される。従って、このような合成プロセスの自動化はさほど困難とは思えない。事実、様々な Integrated Chemical Process を我々が設計した自動合成装置で何ら問題なく行うことができた。

近い将来、自動合成装置は現在と比較にならないくらいにまで普及し、いずれは自動合成が日常的な作業になるであろう。そのような研究環境では、現在行われているように合成化学者が合成ルートを考え、プロセス化学者がプロセス設計を行い、そして最後に化学工学の専門家が自動化するという分業制は極めて非効率であり、化

学者が有機合成を行う際に、「Integrated Chemical Process」を指向した合成ルートを念頭に置くことが日常的に行われるようになるであろう。

本研究は日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業「高度プロセス」の援助によって行われたものであり、ここに得られた成果はすべて公開されている。興味のある方は、遠慮なく筆者まで連絡願いたい。

(2001年2月19日受理)

文 献

- 1) 自動合成装置に関する最近の総説: (a) J. S. Lindsey, *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, 17, 15 (1992); (b) T. Sugawara, D. G. Cork, *Lab. Rob. Autom.*, 8, 221 (1996); (c) M. Harre, U. Tilstam, H. Weinmann, *Org. Process Res. Dev.*, 3, 304 (1999)
- 2) 反応プロセス設計に関する著書: O. Reip, *Principles of Process Research and Chemical Development in the Pharmaceutical Industry*; John Wiley & Sons, Inc., New York, 1998
- 3) (a) G. H. Posner, *Chem. Rev.*, 86, 831 (1986); (b) L. F. Tietze, U. Beifuss, *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, 32, 131 (1993); (c) ワンポット反応に関する特別号: *Chem. Rev.*, 96, No. 1 (1996); *Tetrahedron*, 52, 35 (1996)
- 4) J. Otera, H. Misawa, K. Sugimoto, *J. Org. Chem.*, 51, 3830 (1986)
- 5) J. Otera, H. Misawa, T. Onishi, S. Suzuki, Y. Fujita, *J. Org. Chem.*, 51, 3834 (1986)
- 6) A. Orita, Y. Yamashita, A. Toh, J. Otera, *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, 36, 779 (1997)
- 7) A. Orita, J. Yaruva, J. Otera, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 38, 2267 (1999)
- 8) M. Muller, C. Kubel, K. Mullen, *Chem. Eur. J.*, 4, 2099 (1998)
- 9) A. Orita, N. Yoshioka, P. Struwe, A. Braier, A. Beckmann, J. Otera, *Chem. Eur. J.*, 5, 1355 (1999)
- 10) R. Lagow, J. J. Kampa, H. C. Wei, S. L. Battle, J. W. Genge, D. A. Laude, C. J. Harper, R. Bau, R. C. Stevens, J. F. How, E. Munson, *Science*, 267, 362 (1995)
- 11) Y. Rubin, S. S. Lin, C. B. Knobler, J. Anthony, A. M. Boldi, F. Diederich, *J. Am. Chem. Soc.*, 113, 6943 (1991)

- 12) (a) J. M. Tour, *Chem. Rev.*, 96, 537 (1996); (b) J. S. Moore, *Acc. Chem. Res.*, 30, 402 (1997)
- 13) K. Sonogashira, Y. Tohda, N. Hagihara, *Tetrahedron Lett.*, 1975, 446
- 14) A. Orita, Y. Yasui, J. Otera, *Org. Process Res. Dev.*, 4, 333 (2000); *idem*, *Org. Process Res. Dev.*, 4, 337 (2000)
- 15) ARS (Automatic Reaction System) は相互薬工株式会社から販売されている反応コントローラーである。反応液の内温や外温、冷媒の温度をセンサーによってモニターし、反応剤の滴下速度や冷媒の循環速度を決定する。
- 16) S. Saito, M. Sakai, N. Miyaura, *Tetrahedron Lett.*, 37, 2993 (1996)
- 17) F. Dubois, M. Gingras, *Tetrahedron Lett.*, 39, 5039 (1998)
- 18) A. Kawada, S. Mitamura, S. Kobayashi, *Synlett*, 1994, 545
- 19) A. Orita, M. Katakami, Y. Yasui, A. Kurihara, J. Otera, *Green Chem.*, 3, 13 (2001)

PROFILE

折田明浩 岡山理科大学工学部応用化学科・講師 博士(工学)

〔経歴〕1994年大阪大学大学院工学研究科応用精密化学専攻博士後期課程修了、同年東京大学大学院工学研究科化学生命工学科助手、1995年岡山理科大学工学部応用化学科助手、1997年より現職。〔専門〕有機合成化学、有機金属化学。〔連絡先〕
e-mail: akira@chem.uo-o.ac.jp

大寺純蔵 岡山理科大学工学部応用化学科・教授 工学博士

〔経歴〕1971年大阪大学大学院博士課程修了、1979年岡山理科大学理学部助教授、1986年より現職。〔専門〕有機合成化学、有機金属化学。〔連絡先〕e-mail: takashi@chem.uo-o.ac.jp

書 評

「グリーンケミストリー」持続社会のための化学

御園生誠・村橋俊一 編

A 5判・224頁 定価(本体2,900円+税) 講談社

本書は前半でグリーンケミストリーの定義や理念などを、後半でグリーンケミストリーを指向した実際の有機合成を、a) 均一系金属錯体の触媒反応、b) 水系溶媒での触媒反応、c) 超臨界流体(主に二酸化炭素)での反応、d) バイオ触媒反応、e) 固体酸触媒反応など例を挙げて分かりやすく解説している。これからの有機合成

化学は環境への負荷削減を前提に進めていく必要があり、有機化学を携わる研究者そして教育者も本書を一読する必要はあると思う。ただ、先の Anastas の「グリーンケミストリー」(丸善)に比べ、詳細なデータが組み込まれて内容が充実した分、前半で読み難いところもある。(東郷秀雄)