有機化学の情報化 —現状と将来展望—

中山 伸一*・吉田 政幸*

Inclining toward Intellectual Organic Chemistry.

— Present and Future States —

Shin-ichi NAKAYAMA* and Masayuki YOSHIDA*

Researches of organic chemistry are now in a great revolution, which is aroused by the followings; (1) popularization of AI systems for organic chemistry such as synthetic design systems and structure analysis ones, (2) laboratory automation, and (3) changes in social consciousness. This article discusses the contents of the present revolution as well as the directions of the future one.

解説

現在、有機化学の研究は大きな変革の時期にある。変革は、(1) 合成経路設計システムや構造決定システムのような人間の頭脳労働の代理機能を持つシステムの普及、(2) LA化の進行による情報環境の整備、(3) 社会意識の変化、によってもたらされたものである。本文では、現在起こりつつある変革の内容と将来の方向について論じた。

1. 情報化とは何か

このところ超伝導材料開発のニュースが新聞紙上を賑わしているが、今から二十年ほど前には情報が世にもてはやされていた。ところで、超伝導材料と云えば語の意味ははっきりしているが、情報とか情報化、情報化社会と云った語の意味は人により様々に解釈され、明確ではない。意味が曖昧だからと云って日常的には何の支障もないが、有機化学の情報化を論じるにあたっては、情報化の意味をある程度はっきりさせておくことが必要であろう。それには、情報の意味を明確にしてから情報化の意味を考えるのも一つの方法であるが、ここでは別のアプローチをしてみよう。

情報化と云う語は様々な使われ方をする。例えば、「工場やオフィスの情報化が進んでいる」と云うように使われる。この場合、情報化とは一義的には工場やオフィスへのコンピュータの導入を意味し、二義的にはそれ

による生産性や事務処理の効率化、省力化、自動化、作業内容の精密化を指すものである。やや一般的に表現するなら、情報化とは、コンピュータの導入によって人間が使用する機器の機能を高度化し、人間のローカルで直接的な活動の代理機能の向上を図ることと捉えられる。

さて、情報化と云う語は、「通信技術が発達し、通信施設が整備された社会を指して、情報化が進んでいる」と云うように使われることもある。この場合の情報化とは、情報インフラストラクチャが整備され、社会システムの利用が盛んになり、情報の流通が活発な状況を指すものである。云うならば、情報化とは情報の社会的環境の変化を指すものと捉えられる。

上記の二つの意味での情報化が進めば、人々の知的関心が拡大し、情報に対するかかわり方や意識も変わってくる。それとともに人間の価値観などの社会意識や産業のパラダイムも大きく変わる。このような現象を指して情報化という場合もある。

このように情報化と云う語は大よそ三通りの意味に使われている。そこで、有機化学の情報化も研究活動、情報環境、研究価値観の視点から眺め、その現状と将来の展望を探ってみよう。

2. 研究活動の情報化

2.1. 実験労働の情報化 日常の研究は大別して二つの要素から成立している。即ち、日常の実験労働と問題解決のための頭脳労働である。情報化を実験労働の効率化、省力化、自動化、内容の高度化と捉えると、有機化学の研究の情報化は、実験の各ステップにおける機械化、自動化技術の向上と密接にかかわっている。例えば、NMRについてみると、多核種 NMR や 400MHz 超

* 図書館情報大学 ()

* University of Library and Information Science ()

高分解能 NMR などの普及、二次元 NMR 法の導入により、物質の構造についてのより詳細な情報が得られるようになってきた。それはとりもなおさず、実験労働の内容の高度化を意味しているものと理解される。また、多重掃引のおかげで、測定に要する試料もごく少量で充分になった。少量の試料の分離、生成はクロマトグラフィーによって自動的に行うことができる。その結果、実験のスケールは小さくなり、実験の時間も大幅に短縮され、実験労働も省力化されつつある。

この種の情報化は分離、分析技術の向上によってもたらされている。それに対して、有機合成の基本的操作である加熱、攪はん、添加、抽出、再結晶、蒸留などの技術の進歩はそれほどでもない。合成プロセスをシステム化し、自動化する研究もあまり進んでいない。研究が最先端までくれば、プロセスのコントロールを機械だけにまかせるわけにはいかないが、いつでも最先端にいるわけではない。日常の研究では既知試料の調製に多くの時間がとられているのも事実である。このような現状をみると、合成プロセスの自動化を真剣に考える時期にきているのではなからうか。

2.2. 頭脳労働の情報化 有機化学の研究において、研究者は構造決定や合成経路設計など解決しなくてはならない問題にしばしば遭遇する。研究者はこれまでのこのような問題の解決に頭脳を使ってきた。ところが最近では、人間のこのような頭脳労働の代理機能をもつシステムが種々開発されている。本特集の主旨はこのようなシステムの解説である。個々のシステムの詳しい内容は各解説を見ていただくとして、ここではその概略を述べておく。

すでに市販されていたり、公衆回線によりアクセスできたり、大学などの大型計算機センターで簡単に使えるその種のシステムとして、合成経路設計システム、構造決定システム、分子設計システムなどがある。合成経路設計システムは、合成目的物を設定したときに、それを合成する経路を設計するシステムである。システムには、既知反応の組み合わせで設計するものと、理論的に行うものがあり、前者を稼動させるためには反応を覚えさせてやる必要がある。構造決定システムはスペクトルデータなどから部分構造、平面構造、立体構造を推定するシステムである。最近では各種の分析機器のデータをオンラインで取り込み構造決定する総合分析システムもつくられている。分子設計システムは化合物の構造から薬理活性、物性、反応性を予測したり、平面構造から立体構造を計算するシステムである。構造活性相関解析、分子軌道計算、分子力学計算はこのシステムのサブ

Table 1 AI systems for organic chemistry.

システム名	作 成 者
合成経路設計システム	(理論型)
CAMEO	Jorgensen
EROS	Ugi
GRACE	米田
?	Hendrickson
	(経験型)
OCSS/LHASA	Corey
SECS	Wipke
CASP	ヨーロッパ企業連合
SYNCHM2	Celenter
?	Bersohn
構造決定システム	(¹ H)
?	Miller
	(MS)
DENDRAL/CONGEN/GENOA	スタンフォード大学
	(IR + ¹³ C)
CASE	Munk
	(IR + ¹ H + ¹³ C)
CHEMICS	佐々木
分子設計システム	(分子軌道法)
JAMOL 3	
GACF 2	
GAUSSIAN82	
	(分子力学法)
MM1/MM2	Allinger
CHARMM	Karplus
AMBER	Kollman
総合システム	
ANCHOR	富士通, クレハ
ACACS	日電, 住化
CHEMLAB	サール
MOLY	ローム & ハース
TRIBBLE	デュポン

システムに位置付けられる。もちろんそれらのシステムを有機的に結びつけた統合システムもある。主要なシステムを表 1 にあげておく。

これ以外にも高分子設計システム、実験に直接関係するものとしてクロマトカラム選択システム、触媒選択システムなど多数の頭脳労働の代理機能をもつシステムが開発されている。

ところで、有機化学の研究で頭脳を使うのは合成や構造決定、実験ばかりではない。ハメット則の発見のように、物性や生理活性などの観測値と構造の関係を解析

し、経験式を作り、関係の本質を追求するのも研究の大きな目的の一つである。これまで有機化学者は、この様な関係を直感的に発見してきたが、観測される現象が様々な要因からなる場合は関係の発見は困難である。このような場合に多変量解析やパタン認識の手法が役立つが、残念ながら有機化学者のこれらの手法に対する関心は低い。

以上に述べたように、人間の頭脳労働の情報化は着々と進んでいる。とは云うものの、個々のシステムはまだ完全ではない。また、作るべきシステムもまだまだ多数ある。例えば、これまでのシステムの多くは、構造を入力してやるとそのもののスペクトル、物性、生理活性などを予測するが、その逆に性質から構造を創出することはできない。このような場合、人間ならそのような性質を持つ化合物を検索し、次にこれまでに得た経験や知識から性質-構造の関係を分析し、新しい構造を考え出す。このような思考プロセスをシステム化した人工知能システムも今後は構築されるであろう。そうすると、どのような性質を持つ化合物を合成すべきかということが有機化学の主要な問題になるであろうし、またそうなれば化学の教育の内容も変わってくるであろう。

3. 情報環境の変動

3.1. オンライン情報検索 有機化学者の情報環境は、文献情報やファクト情報に関するデータベースの整備とそれらを利用するためのオンライン情報検索システムの普及により大きく変わりつつある。

有機化学者は通常、研究関連分野の論文誌に定期的な目を通し、関連分野の最新の情報を得ている。CA Selects や SDI (Selective Dissemination of Information) サービスの利用も広がりつつあるが、論文誌が情報入手の主役であることには変わりがない。

あるテーマについて研究を始めるときとか、研究が完了したときには、そのテーマに関する情報を現在から過去にさかのぼって徹底的に調査する必要がある。従来、このような調査はケミカルアブストラクツ(CA)を使って行われていたが、最近ではオンライン情報検索による調査が一般化している。オンラインによる検索ではAND、ORなどのロジック検索が可能であり、検索した文献の複写依頼も出来るなど大変便利である。検索結果を端末のパーソナルコンピュータのファイルにダウンロードすれば、必要なときにいつでも引き出せる。システムによっては部分構造式による検索も出来るし、文献の抄録もその場でみられる。このようなオンライン情報検索システムの出現により文献調査の能率は一段と上が

ったが、現在の文献検索方式は必ずしも完全ではない。

有機化学者がしばしば必要とする情報の一つに、反応や合成についての情報がある。反応や合成そのものを研究対象とした論文に記載されているこれらの情報は、文献検索で抽出されるが、それ以外の論文にある反応や合成についての情報は、これまでの文献検索では探すことができない。そこで、これらの情報だけを特別に収集し、データベース化した反応データベースが作成され、公開されている。また、米国のケミカルアブストラクトサービス(CAS)でも最近、反応を構造、部分構造、CAS登録番号で指定したり、試薬、生成物、反応物、溶媒などを指定して検索するサービスを開始する予定である。

一般に文献検索の効率は呼び出し率(検索された目的の文献総数/目的の文献数)と適合率(=検索された目的の文献総数/検索された文献総数)によって計られる。およそ70万件の生物医学文献からなるMedlarsデータベースを用い、300の質問について呼び出し率と適合率が吟味されている²⁾。それによると、これらの値は質問の内容によって変わる。呼び出し率と適合率の間には、呼び出し率が上がる(0.89)と適合率が下がり(0.20)、その逆に適合率が上がれば(0.80)呼び出し率は下がる(0.19)という関係がある。300の質問についての呼び出し率、適合率の平均値は、それぞれ0.58、0.50である。化学文献の検索でも事情はあまり変わらないであろう。とすると、我々は知らないうちに、多数の重要な文献をミスしていることになる。文献を少数のキーワードで代表させている現在のシステムでは、このようなトラブルが起こるのも当然である。それを防ぐ方法として、全文データベースシステムが検討されている。

全文データベースとは文献の書誌事項ばかりではなく、本文の全てが収録されているデータベースである。このシステムでは、副詞、冠詞、数詞、前置詞、代名詞などの特別な語以外は文献中に現れる全ての自然語をキーワードとして検索できる。化学文献では内容の範囲がある程度限られ、使用される語もかなり限定されているので、呼び出し率は上がる。さらに、検索しながら必要な文献の本文が読めるので、化学者にとって有力な道具となるであろう。現在、アメリカ化学会が代表的論文誌の全文データベースを提供している³⁾。論文誌の全文データベースによる提供が増え、それらがネットワーク化される日も近いであろう。

有機化学者はこれまで、物質の同定、確認のためにデータブックを用い、物質名や構造式からスペクトル

データや物性データを調べてきた。そのために種々のデータブックが用意されているが、それらを用いてスペクトルデータや物性データから物質名を同定したり、関連物質を検索するのは難しい。ファクト情報が冊子体で蓄積されている以上仕方がないことであるが、データベース化しておけば多面的な検索が可能になる。さらに、種々のスペクトルデータベース、熱力学的物性データベース、毒性データベースなどの各ファクトデータベースを化合物辞書で結び付ければ、各種ファクトデータベースの複合検索が可能になる。実際このようなシステムが CIS (Chemical Information System) から提供されている (図 1)。

Fig. 1 Architecture of CIS systems.

有機化学関連の主要データベースを参考までに表 2 にあげておく。

3.2. 情報のローカル処理 オンライン情報検索は便利な道具として広く利用されている。ところで、これを実際に使用してみると、検索結果を見ながら次にどうするか落ち着いて考える余裕がない。それと云うのも、検索に要する時間が検索費用に加算されるからであろう。それはさておき、大局的な観点に立って考えると、情報の集中管理はシステムの脆弱性、情報の支配の面から望ましくない。システムの分散化による情報のローカルな処理が今後の情報化の方向であろう。その動きは具体的にマイクロコンピュータや CD-ROM の普及に見ることができる。

現在、多くの化学研究室にマイクロコンピュータが導入されている。これらはオンライン情報検索の端末やワープロ、数値計算に使われるほかに、実験内容などのパーソナルデータベースの構築にも利用されている。企業の研究所の中には研究所ぐるみで実験ノートや報告書

Table 2 Major data-bases for organic chemistry.

データ ベース名	内容	プロデューサ名
文献データベース		
CA SEARCH	化学全般	CAS
CAS ONLINE	構造検索, 抄録	CAS
CRDS	有機合成反応	Dewent Publ. Ltd.
ISI-IC	同上	ISI
CLAIMS	特許	IFI/Plenum Data Cmp
INPADOC	同上	Int. Pat. Doc. Cent
JAPATIC	同上	JAPIO
ファクトデータベース		
ID-IR	IR スペクトル	旭化成
IRSS	同上	NIH/EPA, KIBK
IR-SPAN	同上	三菱化成
SPECTRA	マスマスペクトル	NBS, NIH/EPA
MSSS	同上	NIH/EPA, MSDC
C13NMR	¹³ CNMR	BASF AG
CNMR	同上	NIH/EPA, NIC
HEILBRON	物性データ	Chapman & Hall Ltd.
PPDS	同上	ICE
DERMAL	薬理データ	EPA, OTS
RTECS	毒性データ	NIH
TOXLINE	同上	NLM
全文データベース		
CFTX	ACS の論文誌	ACS
化合物辞書データベース		
CHEMNAME	化合物辞書	CAS
EURECAS	同上 (構造可)	CAS
SANSS	同上	NIH/EPA

のデータベース化を進めているところもある。最近ではマイクロコンピュータが組み込まれた分析機器の普及で、ファクトデータが電子的に取り扱えるようになり、フロッピーベースでスペクトル情報を自分のマイクロコンピュータに取り込むこともできる。普段の実験ノートやこのように取り込んだデータは電子的に様々な処理が可能である。処理したデータとワープロ機能がつけられれば報告書などの作成が効率的に行えるであろうし、昔やったことが報告書や実験ノートの検索により容易に引き出せるようになるだろう。

CD-ROM は一枚のディスクに記憶された膨大な量の情報を検索できるシステムで、このところ出版業界が普及に熱を入れている。これらは通常の情報検索システムと同等の機能を有しており、中には全文データベースの

機能までもも取り込んでいるものもある。一年分の特許情報、*Org. Synth.* などを入力したディスクがすでに市販されている。今後、論文誌、CA、バイルシュタイン、有機化合物事典、物性データ集、スペクトルデータ集などが収録されたCDが市販されれば、情報の利用が一段と活発になるであろう。

個人的なことはパーソナルデータベースを、公的なことはCD-ROMを使ったデータベースをそれぞれうまく使えば、かなりのことがローカルに処理できるようになる。自分が持っているシステムなら、いくら時間をかけても通信費はかからず、研究者は検索などの処理をじっくり考えながら行うことができる。

3.3. ネットワーク化の動き 中央集中型のコンピュータをTSSで利用するのは、通信費用やシステム維持などの点で問題がある。かと言って各研究者が完全に独立のシステムを持ってしまうと云うのも考え物である。個人が作成できるデータベースなどは高々知れたものであるし、CD-ROMのような形で提供されるデータベースなども個人で購入するには高価である。比較的高機能のワークステーションをローカルエリアネットワーク(LAN)でつないだシステムは、上記の両システムの間接的なものとして考えられる。各研究者はそれぞれのワークステーション上で情報を作成し、その中に蓄積すれば、他の研究者はネットワークを介してそれらの情報を使うことができる。

情報をこのような形で共有化できるようになったら、実験ノートワークステーション上で直接作って行くことが推奨されるだろう。報告書や論文に書ききれない実験データや論文作成に至らなかったネガティブなデータまでもが公表されれば、そのLANにつながる研究者の研究効率の向上に役立つ。もちろん、そうするためには検索し易い形で実験ノートを作成する必要がある。また、このLANに種々の計測機器などをつなげば、研究所内のLAN化が実現する。研究者は自分の机の上から各種の機器を制御し、データをオンラインで得ることができる。

現在、情報収集はオンライン情報検索のお陰でずいぶん効率的になってきた。しかし、今使えるオンライン情報検索の多くは、大規模データベースを対象としたものであり、一般的な情報や特殊な情報の収集には依然として図書館の利用が必要である。この様な状況もLANを介してレーザーディスクやCD-ROMなどが使えるようになれば改善される。Annual ReportsやSpecialists Periodical Reports等の図書館にしかないような本がCD-ROMなどに収録されれば、研究者はいながらに

てそれらを見ることができる。もちろん、それらは全文データベース的な使い方ができるだろうし、必要などころは自分のファイルにコピーしたりハードコピーを取ったりできるだろう。これが電子図書館の姿である。

電子図書館は研究者が図書館に行く労力を無くしてくれると共に、自分の手元に置いておく図書も無くしてくれ、省スペース化や本の重複購入の無駄を省くのにも寄与するだろう。

さらに一歩進めば、各々のLANを電話回線などを介して相互に結ぶこともできる(図2)。そうなれば一台のワークステーションで他のLAN内に流通している情

Fig. 2 Future information environments for researches of organic chemistry.

報を引き出したり、各種のオンライン情報検索へのアクセスができる。そのような環境が充実してくると、電子雑誌の構想が実現化してくる。

現在、多くの研究者がワープロを使って論文を作成するようになってきた。ワープロの持つ文書作成環境は手書きによるものに比べて効率的である。ワープロを使って作成した論文は、そのまま回線を使って他の人に送ることができる。電子雑誌のシステムでは、まず著者がこのように回線を使って論文を編集者に送る。編集者はレフリーにそれを送って審査を依頼する。そしてレフリーが賛成すれば論文を公表用のファイルに入れる。読者はそのファイルを雑誌のかわりに見るというものである。

電子雑誌のシステムでは、論文の流通までの時間が短縮される利点がある。雑誌の購読者にとっては、雑誌を手元におかなくて済む利点もある。*J. Org. Chem.* や

J. Am. Chem. Soc. の一年分はだんだん膨大になってきており、雑誌の重みで床が抜けるのではないかと危惧している購読者も少なくないであろう。電子雑誌になれば、必要なのはワークステーションだけで、机の片隅の場所を占有するだけですむ。

もちろん電子雑誌を全文データベースシステムに載せればより使いやすくなる。雑誌のバックナンバーを週及的に見返すような作業はコンピュータが一瞬のうちにやってくれる。そうすると論文をコピーしたり、整理してファイルを作るというような努力はなくなるだろう。

4. 社会意識の変動とその影響

テクノロジーの発達による人間の代理機能の向上は、社会の諸分野においていろいろな形で発現している。企業活動では、例えば事業部門のOA化、生産部門のFA化等である。一方、コンピュータと通信ネットワークが統合して形成される情報化インフラストラクチャが整備され、エレクトロニックバイキング、切符予約、CATV、VANなど社会システムも着々と開発されている。それにともない、ソフトウェア産業、情報流通サービス業、シンクタンクなどの情報産業も成長している。産業構造も「重厚長大」から「軽薄短小」へと移行した。「軽薄短少」はまた、製品開発のコンセプトでもある。製品開発はニーズ志向性が強まり、製品コストにおける情報の占める割合が大きい、いわゆる高付加価値製品が次々と世に送り出されている。

これらの現象は相互に影響し合い、社会全体の意識も変えつつある。その変化が情報化と云われるものである。まず、現代生活の基礎と枠組みとを作る考え方、生き方は、工業時代の非個性化、平均化から個性化、多様化、分散化へと移行している。工業化がある水準に達し、マスコミュニケーションにより情報が十分に伝達されるようになると、社会の全員が同じようなものと情報を入手する。そこから平均化が社会の目標となる。平均化、非個性化がさらに進めば、逆に個性的であろうとする。テクノロジーの発達で多様なニーズに対応した製品、情報の提供が可能となり、個性化、多様化が社会の目標となる。多様なものが充足されると、さらに「ものから心へ」の移行があり、知的関心が高まる。

価値観にも変化が起こりつつある。従来の伝統的価値観は勤労、節約、自己犠牲、時間厳守など人間の自然的性情を抑制するものである。人間の代理機能が高度に発達すると、このような価値観は相対的に低くなり、新たに健康、快適、便利などの人間の自然的性情を満足させることに重きを置く価値観が生まれてくる。

事実、週休2日制も定着しつつある。残無デーと称し、一週間に一日、残業無しの日をもうける企業もでてきた。肉体を酷使し、ひたすら働くばかりが能ではない。企業としてはゆっくり休んで、知的能力を開発してくれと云うわけである。日本生産性本部が行った「新産業社会-変貌を迫られる日本経営」のディスカッションによると、経済尺度も従来のGNP（国民総生産）至上主義から、将来は精神的満足まで取り込んだGNH（Growth National Happiness）に移行し、企業組織もピラミッド型からネットワーク型に変わり、個人の主体的行動が重要視されるようになると云うのである。そこに至る過程として、経済同友会は、企業人の姿勢として、「柔考挑戦」を提唱している。「柔考挑戦」は「重厚長大」をもじったものであるが、与えられた仕事を真面目にこなすだけの受身ではなく、柔軟な思考で企業の利益となるようなアイデアや問題を考え、それに挑戦する姿勢が望ましいと云う意味である。これは、現代人の生き方のスローガンでもある。

人間は誰しも時代に条件付けられ、支配され、影響されて生きている。その一方で、時代に働きかけ、時代を作っている。ヘーゲルがいみじくも述べたように、「個人はもともと誰しも時代の子」である。ならば、有機化学の研究も、現代の社会意識である情報化の影響を受けているはずであろう。事実、影響の跡が随所に認められる。

研究の方向について考えてみよう。まず、高付加価値製品の開発のコンセプトを受け、ファインケミカル思考が定着した。多様化、分散化の流れの中で、研究のターゲットも第三、第四周期典型元素に、また生物学、農学、薬学、医学などの他の分野にも拡大しつつある。従来からの微視的で本質的な学問的探求に加え、医薬、農薬の合成のようにニーズに基づく目的研究が盛んである。

化学者はこれまで働き者であった。化学の実験室の明りは夜遅くまでこうこうと輝き、化学者にとって長時間にわたって実験するのが最高の善であった。しかし、長時間の実験は実験の情報化によって短縮されよう。実験時間が短縮された分だけ、また実験しても意味がない。短縮された時間は知的労働に使ってこそ意味がある。そうすると、研究のスタイルも、「この天然物から何か新しい生理活性物質が見つかるかも知れない」式の発見的研究から、「仮説-演えき-実証」の科学的探求の研究に移るだろう。そこにおいては、「AとBを混ぜ、そこにCを加えたら、これまでとは違ったDができるだろう」などの比較的単純な仮説ではなく、より深い考

えに基づく仮説が要求される。

実験の情報化が極限まで進めば、研究の成果は、何をするか、どのような問題意識を持つかによって決まる。若年の研究者は、問題が与えられると、獲物を追う獵犬のように問題解決にまい進する。そこで問題解決型の思考が定着する。ところが、問題解決思考は人工知能に任せられるようになる。となると、問題を発想することが重要になるが、残念なことにそのような考えに慣れていない。今後は基礎研究でも応用研究でも明確なミッションを持ち、研究者一人一人がこれまで以上に「柔考挑戦」の姿勢を取ることが要求されよう。

他の科学分野、例えば建築学の分野では、何を研究すべきかを社会工学的に研究する建築計画の分野がかなり

以前から誕生している。有機化学にも将来そのような分野が誕生するであろう。

(昭和62年7月13日受理)

文 献

- 1) 日本産業技術振興協会, 化学工業の技術開発の情報化に関する調査 (1985)
- 2) F.W.Lancaster, "Evaluation of the Medlars Demand Search Service", (1968) National Library of Medicine
- 3) S.W.Terrant, *J. Chem. Inf. Comput. Sci.*, **24**, 230 (1984)
- 4) M.Turoff, S.R.Hilts, *J. Am. Soc. Inf. Sci.*, **33**, 195 (1982)

次 号 予 定

巻 頭 言

創造性豊かな研究開発への挑戦.....豊田 貞男

総説および総合論文

混合溶媒を用いる水素化ホウ素ナトリウムおよび水素化

ホウ素リチウムによる官能基選択的還元.....硯合 憲三

D-マンニトールを原料とするキラルビルディングブロックの

合成.....高野 誠一

小笠原国郎

インドール-2-カルボン酸およびその誘導体の化学.....村上 泰興

非環状ポリエーテルイオノフォアの合成と機能.....平谷 和久

苦味物質 Amarolide の全合成.....廣田 洋

高橋 武美

ケミカルス覚え書き

シアヌル酸クロリド.....島村 忠男

十 字 路

コロナンド, クリプタンド, スフェランド, カリクサレン,

ボダンド.....平田 和久

イオノフォア.....平田 和久

ワートン反応.....廣田 洋

REVINDEX, 新しい合成, 第45巻総目次ほか