

精密有機合成

実験マニュアル

高野 誠一・小笠原 国郎

共 訳

東京 南江堂 京都

精密有機合成

実験マニュアル

L.F. Tietze · Th. Eicher

共 著

(東北大学教授) (東北大学助教授)

高野 誠一・小笠原国郎

共 訳

東京 南江堂 京都

訳者略歴

高野 誠 一 薬学博士

昭和6年2月18日生
昭和28年 東京大学医学部薬学科 卒
昭和34年 東北大学医学部薬学科 助教授
昭和47年 東北大学薬学部 教授
(製薬化学科薬品合成化学教室)
現在に至る

小笠原 国 郎 薬学博士

昭和13年6月1日生
昭和37年 東北大学医学部薬学科 卒
昭和40年 東北大学医学部薬学科 助手
昭和47年 東北大学薬学部 助教授
(製薬化学科薬品合成化学教室)
現在に至る

著作権者との
契約により
検印省略

精密有機合成 [実験マニュアル]

定価 9,500 円

昭和58年10月15日 第1刷発行

著 者 Lutz-Friedjan Tietze
Theophil Eicher
訳 者 高 野 誠 一
小 笠 原 国 郎
発行者 小 立 武 彦
印刷所 日 東 紙 工 株 式 会 社

発行所 株式会社 南 江 堂

本店 113 東京都文京区本郷三丁目42番6号
電話 03-811-7234 (代)・振替東京2-149
支店 604 京都市中京区寺町通御池南
電話 075-221-7841 (代)・振替京都9-5050

乱丁や落丁などの場合にはおとりかえします
—製本・三水舎—



Printed in Japan

© S. Takano, K. Ogasawara 1983

3043-428031-5626

Vorwort zur japanischen Ausgabe

Die Grundlage der Organischen Chemie ist das Experiment. Am Experiment und durch das Experiment werden neue Ideen geboren, mechanistische Aspekte geprüft und die Wege zu Synthesen wichtiger Verbindungen geebnet. Auch in den Nachbardisziplinen wie der Biologie, Gentechnologie und Umweltanalyse ist die Kenntnis chemischer Methoden für den Fortschritt maßgeblich. So wäre zum Beispiel die dramatische Entwicklung der Biologie in den vergangenen Jahren ohne die auf Emil Fischer zurückgehenden präparativen Erfahrungen im Bereich der Kohlenhydratchemie oder die von Khorana erarbeiteten Kenntnisse auf dem Gebiet der Nucleotidsynthese nicht möglich gewesen.

Der experimentellen Ausbildung der Chemiestudenten an den Universitäten in Deutschland kommt besondere Bedeutung zu. Dieser Tradition folgend haben wir das vorliegende Buch geschrieben, das nicht nur den Studenten sondern auch den an Hochschule und in der Industrie wissenschaftlich tätigen Chemiker ansprechen soll, um ihn mit neuen und altbewährten Methoden vertraut zu machen.

Bei der Fülle der chemischen Literatur ist eine Auswahl schwierig, dennoch hoffen wir, daß die vorgestellten und experimentell geprüften Reaktionen, Umwandlungen und Synthesen ein abgerundetes Bild ergeben.

Wir freuen uns besonders, daß als erste Übersetzung eine japanische Ausgabe unseres Buches erscheinen wird und knüpfen daran die Hoffnung, daß die seit langem bestehenden wissenschaftlichen Kontakte zwischen unseren Ländern weiter vertieft werden.

Göttingen und Saarbrücken
31. 8. 1983

Lutz-Friedjan Tietze
Theophil Eicher

序 文

有機合成化学は、人智の遠くおよばざる自然の造化の妙に対し化学者が挑戦を重ねてきた歴史の中で発展し、重要な学問分野となったが近年まさにルネッサンスともいふべき驚異的進歩をもたらしつつあることは、その膨大な報文数からも明らかである。

数多くの有機合成化学上の重要課題が天然物化学や、理論化学的に興味深い化合物の化学の分野から提起されてきており、また、生化学、薬学および工学の各分野から続々と生まれてくる問題の解決や、必要性を満たすためにも有機合成化学者の活躍の重要性がますます認識されてきている。

有機合成化学は種々の官能基をどのような単位反応で形成してゆくかということが基本になっており、それによって反応のタイプが決まってくる。必要とする官能基を形成するのにどのようなタイプの反応を採用したらよいかを検討するには典型的な有機反応機構に照らして思考を進めてゆくのが極めて有意義である。

本書は有機合成化学という枠内で、興味深く、かつ重要な化合物について、反応のタイプと反応機構によって化合物と官能基とを関連づけ、これに基づいた実験を行うことによって膨大な有機合成化学を包括的に理解させ、整理させることを目的とするものである。

本書ではすぐれた装置を用い、合成的に重要な新しい反応を取り入れて有機化合物の合成を行うことを基本にしている。それゆえ、比較的古い反応も含まれてはいるが、位置選択的あるいは立体選択的手法など最近開発された合成手法をより重視している。したがって、当然のことながら次版の内容には有機合成化学の進歩に応じて反応および合成反応のいくつかを交換しなければならないと考えている。

本書は第一に学生実習のために書かれたものであり、実習指導者ならびに実習生のために講義やセミナーなどの参考となるような興味あると思われる項目を第9章に追加してある。

本書は単なる合成法あるいは個々の化合物の合成手法を知りたい場合にも使用できるし、また一連の実習を積み重ねて行くことにより多段階の実習を完全に実施し、個々の反応間の関連性を理解させることにも活用することができる。本書はできるだけ広範に有機化学の要点に触れ、困難な合成手法は避けるようにしてはいるが、単に学部学生のための有機化学実習にとどまらず、大学院学生の実習書としても役立つものであると思われるし、さらに大学や会社において研究に従事する人々にとっても便利な本になるものと考えている。

また、本書を有機化学のテキストとして講義に使用しても良いと思われる。原則的に本書は直接的には反応機構に触れず、扱っている化合物について理論的および反応機構的な関連についてはくわしくは述べられていないが、各章にある短い説明や実験の部の最後にある参照や注意事項によって、必要な指導書や文献を知ることができ、それによって、過去の膨大な理論的背景を知ることができるはずである。

さらに総説や文献の数多くの引用によって必要な題材をさらに深く掘り下げることができるであろう。第9章には本書で取り扱われている代表的化合物が項目ごとに分類してあり、実験セミナーのテーマとして役立つものと思われる。実習生はこれらのことによって、実験によって得られた習練を理論的に完全なものにすることができるであろう。

本書の意図を理解し、本書中の参照や注意によって自主性および責任感を持って化学実習が行われることを強く望むものである。

本書の構成と利用指針

実験計画、有機化学反応の準備および実施、装置、および実験記録についての一般的注意(p. 1~)に続き、まずアルケン、アルキン、ハロゲン化アルキル、アルコール、エーテル、オキシラン、有機硫黄化合物、アミン、アルデヒドとケトンおよびそれらの誘導体、カルボン酸とその誘導体、芳香族化合物の順で合成と変換が述べられている(p. 29~)。この際得られたそれぞれの官能基を持つ化合物は複雑な分子の合成に合成素子(building block)として利用される。C-C結合(p. 155~)に関する重要な方法の紹介について、環状炭化水素化合物(p. 228~)、複素環化合物(p. 301~)、および色素(p. 367~)の合成と変換、さらに官能基の保護およびアイソトープ標識などの手法(p. 385~)、また位置および立体選択の反応の例(p. 399~)が含まれている。重要な章の一つとして、アルカロイド、アミノ酸、ペプチド、炭水化物、テルペン、ビタミン、フェロモン、プロスタグランジン、殺虫剤、および医薬品の領域から代表的な合成例をとりあげ、これらの合成計画と概念は逆合成分解の原理に基づいて論じられている(p. 433~)。本書で扱われている反応例の大部分はいずれかのまとまった合成の一部を構成しているものであり、それらは「合成スキーム」としてまとめられている(p. 527~)。これらは基本的(直列的あるいは並列的のいずれでも)な合成であるが、個々の段階には特徴的で困難な場合が含まれ、それゆえ重要な変換や反応についてはそれぞれ見出し語を付けてある。

「合成スキーム」は合成反応について概略的な情報を得たい場合に役立つであろう。

各章には短い序論があり、扱っている主題を要約し、個々の反応と合成に関連づけさせており、新しい報文や原報などの参考文献が挙げてある。すべての参考文献は各章ごとに巻末にまとめられている。

序論のつぎには1段階および多段階からなる合成例が述べられており、各合成段階ごとに実験操作と実験要領が中心となるように構成されている。

これらは以下のような要領で示されている：**化合物の表示**は便宜上、記号を付して行った。すなわち、該当する章(A, B, C, …)，合成対象物質番号(1, 2, 3, …)，および反応段階(a, b, c, …)が付記されている。**難易度の標示**(★/★★/★★★)もまた異なったレベルでの実習における利用と分類のために行った。化合物名に付した文献はその化合物の起源を示すものである。

反応式には基質、生成体、およびその他重要な反応種について、分子量などの若干の情報が付記されてある。特に、特別な装置(たとえば光化学反応や電解反応の装置)については示唆が与えられてある。適切な反応装置の選択と組立ては**実験準備**の重要な要素であるので、装置については詳細に述べていない。それゆえ装置に関しては、一般的な装置の組み立て方(p.

7～), 指導者の助言, あるいは学生自身の実験経験に基づいて使い方をなすべきである。実験部の記述は二つの部分に分かれている。まず、**反応の実施**が示されており、多くの場合、含まれる基質の毒性や精製法に関する注意が補足されている。ついで第二の部分には**後処理**、**単離**、**精製**について示されている。その際、個々の工程が詳細に解説されており、反応が失敗に終わった場合の本質的な原因についても示されている。後処理については非常に簡潔に述べられている。この部分には純度 (mp, bp, n_D , tlc, 等) と成績体に関する安定性、毒性、およびその特徴についての情報が示されている。さらに、合成された化合物のスペクトルデータ (IR, NMR, UV, 等) および誘導体による**同定** (機器および化学的に) が示されている。

実験の部の終わりには短い**要点**と**キーワード**によって理論的背景が示されており、さらに合成手法、反応の形成および反応機構、別途合成法や実験に関する補足が示されている。

キーワードは**索引** (p. 627～) にまとめられており、化合物名とともにそれに関連する合成法の存在が直ちに見出せるようにしてある。序論においても述べられているが、個々の合成間の理論面および実際面の関連が示してあり、最後に調製した化合物を合成素子 (building block) とする他の変換反応への**適用**が示されている。

謝 辞

本書を著述するに当たって各専門分野からの貴重な実験データをお寄せいただいた次の多くの諸先生方、すなわち R. Appel (Bonn), H.J. Bestmann (Erlangen), H. Dürr (Saarbrücken), D. Enders (Gießen), B. Franck (Münster), K. Hafner (Darmstadt), M. Hanack (Tübingen), R.W. Hoffmann (Marburg), D. Hoppe (Göttingen), S. Hünig (Würzburg), A. Krebs (Hamburg), R. Kreher (Lübeck), F.W. Lichtenthaler (Darmstadt), T.N. Mitchell (Dortmund), H. Musso (Karlsruhe), W.P. Neumann (Dortmund), H. Paulsen (Hamburg), M. Regitz (Kaiserslautern), H.J. Schäfer (Münster), U. Schöllkopf (Göttingen), D. Seebach (Zürich), W. Steglich (Bonn), W. Tochtermann (Kiel), F. Vögtle (Bonn), E. Vogel (Köln), H. Pommer, E. Hahn, A. Nürenbach (BASF AG), S. Schütz, W. Haaf (Bayer AG), E.-J. Brunke (Dragoco), K.-H. Schulte-Elte (Firmenich), K. Weissmehl, W. Bartmann (Hoechst AG) の諸教授ならびに諸博士に対し衷心より厚く御礼申し上げる。

この企画でなされた実験には化学工業界より人的および物的な大きな支援をいただいた。

実験例を確認、選択するための追試験がなされた段階では Dortmund 大学と Göttingen 大学の両研究グループにきびしい実験上の労苦が課せられた。これらの方々のたゆまぬ勤勉と協力がなかったならば本書は生まれなかったであろう。著者らはこれらの方々ならびに本書のタイトルページに記されている協力者の研究チームの方々に深甚なる謝意を表する。

清書原稿の作製や整理について多大の御助力を願った E. Esdar 夫人, K. Beek 夫人, P.-M. Ott 夫人ならびに R. Faltin 夫人, Ch. Nettelbeck 夫人, E. Brodhage 夫人, E. Pfeil 夫人の皆様に心から感謝する。

W. Löttke 教授, H. Musso 教授, W. Kreiser 教授ならびに D. Hoppe 教授には原稿の御校閲と御激励を賜った。

この企画が成就したのは、作製の各段階で示された Georg Thieme 出版および、特に P. Heinrich 博士の御理解ある御支援と御協力のお蔭でもあり、著者らは誠に幸運であった。また I. Naumczyk 夫人には多数の反応図式を適度の縮小版とするのにひと方ならぬ御配慮をいただいた。

一冊の本を完成させるには、著者は周囲の人々に大きな忍耐や心づかいを求めなければならぬ。その意味で著者らは家族の者に心から感謝したい。

Göttingen および Dortmund にて

1981 年 9 月

Lutz-Friedjan Tietze
Theophil Eicher

訳者序文

本書は1982年西ドイツ化学工業財団の著作賞受賞の榮譽に輝く名著, L.-F. Tietze, Th. Eicher 共著「Reaktionen und Synthesen im organisch-chemischen Praktikum」の邦訳である。

Tietze 教授と訳者の一人, 小笠原が米国 MIT の G. Büchi 教授の研究室で留学の時期を同じくした誼みで, Tietze 教授から邦訳を提案されたのが本書出版の動機である。

新しい試薬の開発, 新反応の発見をはじめエナンチオ選択的合成手法も含めた高立体選択的合成法の展開に至るまで近年における有機合成化学の進歩は誠にめざましいものがあるが, これらをいかに効果的に有機合成化学の実習教育に反映させてゆくかは, まさに至難の課題である。

本書の原本を手にし, 著者らがすぐれた基本構想と教育的熱意に基づいてこの難題に見事な解答を与え, 有機合成化学の実験書として画期的な様式を生み出したことに対し心から敬服するとともに, われわれ研究室一同の勉強も兼ねて, 浅学菲才をも顧みずに敢えて邦訳のご提案に応じさせていただいた次第である。

本書の特徴の一つは, 収載されている化合物や反応がいずれも重要かつ新鮮で興味深いものであるばかりでなく, それらが反応様式, 反応機構, 反応の選択性, 多段階合成の計画の立て方, 官能基の変換, 官能基の保護, さらに新しい試薬, 装置の有効な活用法から実験の安全にわたるまで, 有機合成化学の要点とともに調和をもって巧みに取り入れられ, 系統的に関連づけられていることである。なお, 記載されている実験データは厳密に再試験, 再確認されたもののようで, 原報と量的スケールが異なるのはそのためであろう。

反応機構については, くわしくは述べられてはいないが適切な文献が数多く引用されており, それらによってその反応の膨大な理論的背景も学び取ることができるように配慮されている。

また, 合成対象化合物は章 (A, B, C …), 化合物番号 (1, 2, 3…) および反応段階 (a, b, c …) の各記号の組合せで分類され, 合成上の難易度も★印の数で示されている上に, 各スペクトルデータならびに反応機構や合成手法の要点がキーワードなどを用いて簡潔に印象深く標示され, 利用に役立てられている。

なお, 個々の反応が一連の合成経路の中でどのような部分を構成しているかは, 第8章にまとめられた多数の合成スキームを見ることによって容易に理解できるであろう。

原本は初版ということもあって, かなりの訂正を要する箇所が見出されたが, これらについては Tietze 教授と連絡をとりつつ, 訂正した。

翻訳に当たっては, 特に実験の部に関して, できるだけ原文に忠実であることを心掛けたが, 反面, 日本文としてはやや生硬なものとなったことをおそれている。化合物名などについて

ては原則として英文名で示し、索引は完全に英文名で記載した。日常の化学文献のほとんどを英文に依存している我々にとって、そのほうがよりなじみやすいと考えたからである。記述されている内容が広範な専門分野にわたっていることもあり、かつ深遠な表現でのべられている部分も多く、果して著者らの真意が正確に伝えられたかどうか心許ない次第であるが誤りや不備な箇所があれば各位のご叱正とご批判をいただければ幸いである。

終わりに邦訳に際して、一部ご助力を願った後藤恵美子氏をはじめ当研究室の学生諸君に謝意を表するとともに、本書の出版にひとかたならぬご理解とご尽力をいただいた株式会社南江堂の小松政吉、田村和俊の両氏をはじめ皆様に深謝する。

昭和58年7月

訳 者

省略記号

一般的省略記号

g	グラム	mp	融点
mg	ミリグラム	decomp.	分解点
l	リットル	n_D	比施光度 (Na D 線)
ml	ミリリットル	tlc	薄層クロマトグラフィー
mmol	ミリモル	ca.	約
min	分	dil.	希
h	時	conc.	濃
d	日	sat.	飽和
bp	沸点		

置換基およびよく使用される化合物の省略記号

Ac	$-\text{CO}-\text{CH}_3$ (Acetyl)	Tos	$-\text{SO}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_3$ (<i>p</i>) (<i>p</i> -Toluenesulfonyl)
Ar	Aryl	DDQ	Dichlorodicyano- <i>p</i> -benzoquinone
nBu	$-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$ (<i>n</i> -Butyl)	Diglyme	Diglycoldimethyl Ether
iBu	$-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ (<i>iso</i> -Butyl)	DME	Dimethoxyethane
sBu	$-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ (<i>sec</i> -Butyl)	DMF	Dimethylformamide
tBu	$-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ (<i>tert</i> -Butyl)	DMSO	Dimethyl Sulfoxide
Et	$-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ (Ethyl)	NBS	<i>N</i> -Bromosuccinimide
Me	$-\text{CH}_3$ (Methyl)	PPA	Polyphosphoric Acid
Ph	$-\text{C}_6\text{H}_5$ (Phenyl)	TFA	Trifluoroacetic Acid
Pr	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ (<i>n</i> -Propyl)	THF	Tetrahydrofuran
iPr	$-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ (<i>iso</i> -Propyl)		

目 次

1. 化学反応を行うための一般的注意	1
1.1 実験室における安全	1
1.2 事故の際の応急処置	3
1.3 化学反応の計画, 準備, および実施	4
1.4 標準的実験装置	7
1.5 反応生成体の単離と精製	23
1.5.1 反応の後処理	23
1.5.2 反応生成体の単離と精製の方法	24
1.5.3 純度の基準と純度のチェック	27
2. 官能基の形成および変換	29
2.1 アルケンおよびアルキン	29
2.1.1 アルケン	29
A-1 Cyclohexene	30
A-2 2-Heptene	31
A-3 (Z)-6-(Tetrahydro-2-pyranyloxy)hex-3-en-1-ol	32
A-4a-b 1,6-Diacetoxy-(Z)-hex-3-ene	32
A-4a 1,6-Diacetoxy-(E)-3-triethylsilylhex-3-ene	32
A-4b 1,6-Diacetoxy-(Z)-hex-3-ene	33
2.1.2 アルキン	34
A-5 3,3-Dimethylbutyne-1	35
A-6a-b Cyclooctyne	35
A-6a 1-Bromocyclooctene	35
A-6b Cyclooctyne	36
A-7a-b Diphenylacetylene	37
A-7a Benzil Dihydrazone	37

A-7b	Diphenylacetylene	37
A-8	4,4-Dimethyl-6-heptyn-2-one	38
A-9	1-Hexyne	39
2.2	ハロゲン化アルキル	40
B-1	1,2-Dibromo-3,3-dimethylbutane	41
B-2 ₁	1-Bromoheptane	42
B-2 ₂	1-Bromoheptane	42
B-3	2,2'-Bis(bromomethyl)biphenyl	43
B-4	1-Bromo-3-methyl-2-butene (Prenyl Bromide)	44
B-5	<i>n</i> -Pentyl Chloride	44
B-6	1-Chlorononane	45
B-7	Phenacyl Bromide	45
B-8	Dibromo-Meldrum Acid (5,5-Dibromo-2,2-dimethyl- 4,6-dioxo-1,3-dioxane)	46
B-9	2-Bromohexanal	46
B-10	4-(Bromomethyl)benzoic Acid	47
B-11	Benzyl Iodide	48
2.3	アルコール (水酸化化合物)	49
C-1	5-Nonanol	50
C-2	4-(<i>p</i> -Tolyl)-4-hydroxybutyric Acid	51
C-3	1-(<i>p</i> -Tolyl)butane-1,4-diol	52
C-4	2,2'-Bis(hydroxymethyl)biphenyl	52
C-5	2-Cyclohexenol	53
C-6	(-)- <i>cis</i> -Myrtanol	54
C-7	β -Phenylethanol	55
C-8	<i>trans</i> -1,2-Cyclohexanediol	56
2.4	エーテルおよびオキシラン	57
D-1	Resorcin Dimethyl Ether	58
D-2	(+)-(R,R)-2,3-Dimethoxy- <i>N,N,N',N'</i> -tetra- methylsuccinic Acid Diamide	58
D-3	Isophorone Oxide	59
D-4	<i>cis</i> -2,3-Epoxy cyclohexanol	60

D-5	1-Phenyl-1-(β -styryl)oxirane	61
2.5	硫黄化合物	62
E-1	3-Chloropropyl Phenyl Sulfide	63
E-2	Dibenzyl Sulfide	63
E-3	Dibenzyl Sulfone	64
E-4	Trimethylsulfonium Iodide	64
E-5	Trimethyloxosulfonium Iodide	65
E-6	<i>p</i> -Toluenesulfinic Acid	65
E-7	<i>p</i> -Toluenesulfinyl Chloride	66
E-8	(-)-(1 <i>R</i> , 2 <i>S</i> , 5 <i>R</i>)-Menthyl (<i>S</i>)- <i>p</i> -Toluenesulfinate	67
2.6	アミン	68
F-1	<i>p</i> -Bromoaniline	71
F-2a-c	Ethylhexylamine	72
F-2a	<i>n</i> -Hexylamine	72
F-2b	<i>N</i> -Hexylbenzalimine	72
F-2c	Ethylhexylamine	73
F-3	(+)-(<i>S,S</i>)-1,4-Bis(dimethylamino)-2,3-dimethoxybutane (DDB)	74
F-4a-c	2-Dimethylamino-1,3-diphenylpropan-1-one	74
F-4a	<i>N,N</i> -Dimethylbenzylamine	74
F-4b	Benzyl dimethylphenacylammonium Bromide	75
F-4c	2-Dimethylamino-1,3-diphenylpropan-1-one	76
F-5	Hexylmethylamine	76
F-6	<i>N</i> -Cyclohexylbenzylamine (Cyclohexylamine)	77
F-7a-c	Benzylamine	78
F-7a	<i>N</i> -Benzylhexamethylenetetraminium Chloride	78
F-7b	Benzylaminomethyl Sulfite	78
F-7c	Benzylamine	79
F-8	1,8-Bis(dimethylamino)naphthalene	80
F-9a-b	<i>N</i> -Ethyl- <i>m</i> -toluidine	81
F-9a	<i>N</i> -Ethyl- <i>m</i> -methylformanilide	81
F-9b	<i>N</i> -Ethyl- <i>m</i> -toluidine	81
F-10a-b	2-Aminohexane	82

F-10a	2-Acetylaminohexane [<i>N</i> -(2-Hexyl)acetamide]	82
F-10b	2-Aminohexane	83
2.7	アルデヒドとケトンおよびそれらの誘導体	84
2.7.1	アルデヒドとケトン	84
G-1 ₁₋₃	Octanal I	87
G-1 ₁	1-Octanol の Na ₂ Cr ₂ O ₇ -H ₂ SO ₄ による酸化	87
G-1 ₂	1-Octanol の Pyridinium Chlorochromate (PCC) による酸化	88
G-1 ₃	1-Octyl <i>p</i> -Toluenesulfonate の DMSO による酸化	88
G-2	Cyclohexanone	89
G-3a-b	(-)-Menthone	90
G-3a	PCC-Al ₂ O ₃ コンプレックスの調製	90
G-3b	(-)-Menthone	91
G-4	5-Cholesten-3-one	91
G-5a-b	Citronellal	92
G-5a	Pyridinium Dichromate (PDC)	92
G-5b	Citronellal (3,7-Dimethyl-6-octenal)	92
G-6	Geranial (3,7-Dimethyl-2,6-octadienal)	93
G-7	1-(<i>p</i> -Tolyl)-4-hydroxybutan-1-one	94
G-8	4-Nitrobenzaldehyde	95
G-9	Cyclohexylaldehyde	95
G-10a/G-10b	1-Hexanal/1-Hexanalimine	96
G-11	Octanal II	97
G-12a-c	Octan-3-one	98
G-12a	Caproyl Chloride	98
G-12b	<i>N</i> -Caproylimidazole	99
G-12c	Octan-3-one	99
G-13 ₁	1-Phenylpentan-3-one I	100
G-13 ₂	1-Phenylpentan-3-one II	101
G-14	4-(<i>p</i> -Tolyl)butyric Acid	102
G-15a-c	(<i>E</i>)-4-Acetoxy-2-methyl-2-butenal	103
G-15a	1-Chloro-2-methyl-3-buten-2-ol (Isoprene Chlorohydrin)	103
G-15b	(<i>E</i>)-1-Acetoxy-4-chloro-3-methyl-2-butene	103

G-15c	(E)-4-Acetoxy-2-methyl-2-butenal	104
2.7.2	アルテピドおよびケトンの誘導体	105
G-16	1,1-Dimethoxybutane	105
G-17	Bis-dimethylaminomethane	106
G-18	2-Methyl-1,3-dithiane	106
G-19	β -Methoxystyrene	107
G-20a-b	Cyclohex-2-en-1-one	108
G-20a	3-Isobutoxycyclohex-2-en-1-one	108
G-20b	Cyclohex-2-en-1-one	108
2.8	カルボン酸およびその誘導体	110
2.8.1	カルボン酸	110
H-1	Adipic Acid	111
H-2	4-Nitrophenylacetic Acid	112
H-3a-b	4-Methyl-4-phenylvaleric Acid	113
H-3a	4-Methyl-4-phenylvaleric Acid Thiomorpholide	113
H-3b	4-Methyl-4-phenylvaleric Acid	113
H-4	Phenylacetic Acid, Methyl Ester	114
H-5	3-Methyl-2-butenic Acid (β , β -Dimethylacrylic Acid, Senecic Acid)	115
H-6	2-Cyanobiphenyl-2'-carboxylic Acid	116
2.8.2	カルボン酸誘導体	117
H-7	<i>p</i> -Toluic Acid, Ethyl Ester	119
H-8	Diphenyl-2,2'-dicarboxylic Acid, Dimethyl Ester	120
H-9	2-Methyl-3-nitrobenzoic Acid, Methyl Ester	120
H-10	Adipic Acid, Diethyl Ester	121
H-11	(4-Methoxyphenyl)acetic Acid, Methyl Ester	121
H-12	(+)-(R, R)-Tartaric Acid, Diethyl Ester	122
H-13	<i>p</i> -Cresyl Acetate	123
H-14	2-Acetyl-1-(4-chlorobenzoyloxy)-4-methylbenzene	123
H-15	Glycine, Ethyl Ester, Hydrochloride	124
H-16	2,2-Dimethyl-4,6-dioxo-1,3-dioxane (Meldrum Acid)	125
H-17	3,3-Dimethylacryloyl Chloride (Senecyl Chloride)	125

H-18	Cyclohexanecarboxylic Acid Chloride	126
H-19	4-Chlorobenzoyl Chloride	127
H-20	4-Nitrobenzoyl Chloride	127
H-21	Succinic Anhydride	128
H-22	<i>N</i> -Methylformanilide	128
H-23	<i>N,N</i> -Dimethylcyclohexanecarboxamide	129
H-24	<i>N</i> -Formylglycine, Ethyl Ester	130
H-25	(+)-(R,R)- <i>N,N,N',N'</i> -Tetramethyltartaric Acid Diamide	130
H-26	α -Phenylacetamide	131
H-27	Azacyclotridecan-2-one	132
H-28	Capronitrile	133
2.9	芳香族化合物の反応	134
I-1a-c	4- <i>tert</i> -Butylphthalic Acid	135
I-1a	<i>tert</i> -Butyl Chloride	135
I-1b	4- <i>tert</i> -Butyl-1,2-dimethylbenzene	135
I-1c	4- <i>tert</i> -Butylphthalic Acid	136
I-2	Isopropylbenzene (Cumene)	136
I-3	4-Acetylcumene (1-Acetyl-4-isopropylbenzene)	137
I-4	β -(4-Methylbenzoyl)propionic Acid	138
I-5	2,4-Dimethoxybenzaldehyde	138
I-6	4-Methyl-4-phenylpentan-2-one	139
I-7	2-Acetyl-4-methylphenol	140
I-8	4,5-Dibromoveratrole	140
I-9a-b	<i>N</i> -Acetyl-2-nitro- <i>p</i> -toluidine	141
I-9a	<i>N</i> -Acetyl- <i>p</i> -toluidine	141
I-9b	<i>N</i> -Acetyl-2-nitro- <i>p</i> -toluidine	142
I-10	(4-Nitrophenyl)acetonitrile	142
I-11	2,4-Dichloro-5-sulfamylbenzoic Acid	143
I-12	<i>p</i> -Nitrobromobenzene	144
I-13	<i>o</i> -Iodobenzoic Acid	145
I-14a-d	1,2,3-Tribromobenzene	145
I-14a	2,6-Dibromo-4-nitroaniline	145
I-14b	1,2,3-Tribromo-5-nitrobenzene	146