

刊行にあたって  
編集委員・執筆者一覧  
凡 例

\*

第 I 部

基礎編

1. 触媒概説(outline of catalysis) .....	3
1.1 触媒の作用(action of catalysts) .....	3
1.1.1 触媒の三大機能(three basic functions) .....	4
1.1.2 触媒の作用機構と反応速度式(mechanism and rate equation) .....	5
1.2 触媒の種類と形態(variety of catalysts) .....	7
1.3 触媒の分類(classification of catalysts) .....	8
1.4 触媒の応用分野(application of catalysts) .....	10
2. 触媒反応速度論(kinetics of catalytic reaction) .....	12
2.1 触媒反応速度式, 反応次数, 素反応と複合反応(rate equation of catalytic reaction, reaction order, elementary reaction and complex reaction) .....	12
2.2 律速段階近似と定常状態近似(rate-determining step approximation and steady-state reaction approximation) .....	13
2.3 空時収量, 空間速度, 接触時間(space time yield, space velocity, contact time) .....	14
2.4 ラングミュア-ヒンシェルウッド機構とイーリー-リディール機構(Langmuir-Hinshelwood mechanism and Eley-Rideal mechanism) .....	15
2.5 ミカエリス-メンテン機構(Michaelis-Menten mechanism) .....	15
2.6 レドックス機構 (マーズ-ヴァン クレベレン機構)(redox mechanism (Mars-van Krevelen mechanism) .....	16
3. 触媒物質・調製・合成法(catalyst materials・preparation・synthesis) .....	17
3.1 担持触媒とその調製法(supported catalysts and the preparation methods) .....	17
3.1.1 含浸法(impregnation methods) .....	17

3.1.2	イオン交換法(ion exchange methods)	18
3.2	酸化物触媒とその調製法(oxide catalysts and the preparation methods)	19
3.2.1	ゾル-ゲル(アルコキシド)法(sol-gel (alkoxide) methods)	19
3.2.2	水熱合成法(hydrothermal synthesis methods)	19
3.2.3	共沈法(coprecipitation methods)	20
3.2.4	混練法(kneading methods)	20
3.2.5	その他(others)	20
3.3	多孔質材料とその合成法(porous materials and the syntheses)	20
3.3.1	ゼオライト(zeolites)	21
3.3.2	リン酸アルミニウム(aluminum phosphates)	21
3.3.3	層状化合物(layered compounds)	22
3.3.4	活性炭(active carbon)	23
3.4	金属錯体触媒(metal complex catalysts)	24
3.4.1	金属固定化触媒(supported metal catalysts)	24
3.4.2	金属クラスター担持触媒(supported metal cluster catalysts)	24
3.5	生体触媒とその応用(biocatalysts and the application)	25
3.6	固体触媒の形状と成形法(solid catalyst shapes and forming operation)	26
4.	触媒設計(catalyst design)	29
4.1	触媒設計の手順(procedure for catalyst design)	29
4.2	活性支配因子(factors determining activity)	30
4.3	火山型活性序列(volcano-shaped activity pattern)	31
4.4	選択性支配因子(factors determining selectivity)	31
4.5	活性劣化機構と対策(mechanism of deactivation and its prevention)	33
4.6	複合効果(compound effect)	34
4.7	電子的因子と幾何学的因子(electronic and geometrical factors)	34
4.8	担体効果と担体の選択(effect and selection of support)	37
4.8.1	担体の役割(role of support)	37
4.8.2	担体の選択(choice of support)	37
4.9	配位子の効果とその選択(effect and selection of ligand)	38
4.10	溶媒効果とその選択(effect and selection of solvent)	39
5.	触媒の解析・分析技術(characterization of catalysts)	41
5.1	触媒構造, 物性(の測定)(structure and properties)	41
5.1.1	組成・構造(composition and crystal structure)	41
5.1.2	表面積(全表面積, 活性成分表面積)(surface area)	42
5.1.3	細孔(pore size and pore volume)	43
5.1.4	熱的性質(吸着熱)(adsorption enthalpy)	45
5.1.5	酸塩基性(acidity, basicity)	45

---

5.1.6	酸化還元特性(redox properties)	46
5.1.7	機械強度(mechanical properties)	46
5.2	主な測定法(analytical methods)	47
5.2.1	X線回折(X-ray diffraction: XRD)	47
5.2.2	電子顕微鏡(transmission electron microscopy: TEM, scanning electron microscopy: SEM)	47
5.2.3	赤外分光およびラマン分光(IR, Raman spectroscopy)	48
5.2.4	可視・紫外分光(UV-Vis)	49
5.2.5	電子分光(XPS, UPS, AES)	50
5.2.6	XAFS(X-ray absorption fine structure)	50
5.2.7	走査プローブ顕微鏡(scanning tunnel microscope: STM, atomic force microscope: AFM)	51
5.2.8	磁気共鳴(nuclear magnetic resonance: NMR, electron spin resonance: ESR)	51
5.2.9	昇温脱離・昇温反応法(temperature-programmed desorption: TPD, temperature-programmed reaction: TPR)	53
6.	触媒反応工学(catalytic reaction engineering)	55
6.1	反応速度の定義(definition of reaction rate)	55
6.2	物質収支と熱収支(mass balance and heat balance)	55
6.3	物質移動の反応速度に与える影響(effect of mass transfer on reaction rate)	56
6.3.1	境膜拡散(laminar film diffusion)	56
6.3.2	細孔内拡散(pore diffusion)	57
7.	触媒反応装置と形式(types of catalytic reactor)	59
7.1	反応装置(reaction apparatus)	59
7.1.1	固定層触媒反応器(fixed bed reactor)	59
7.1.2	流動層型反応装置(fluidized bed reactor)	60
7.1.3	移動層型触媒反応装置(moving bed reactor)	61
7.1.4	攪拌槽型反応器(stirred tank reactor)	61
7.2	反応相による分類(classification by reaction phase)	61
7.3	分離を伴う反応器(reactor with separation)	61
7.4	反応装置材料(materials for catalytic reactor)	62
7.5	反応装置の設計(design of catalytic reactor)	62
7.6	反応装置の運転(operation of catalytic reactor)	62
7.6.1	触媒充填(filling of catalysts)	62
7.6.2	スタートアップとシャットダウン(start-up and shutdown)	63
7.6.3	制御(control of catalytic reactor)	63
7.6.4	安全・防災(safety and disaster prevention)	63

---

8. 触媒の応用分野と課題(application of catalysts)	65
8.1 触媒設計・開発と基礎科学・基礎工学(catalyst design and development)	65
8.2 期待される応用(future opportunities)	66
9. 実用触媒と担体(industrial catalysts and supports)	69
9.1 日本の触媒産業の現状(catalyst industry in Japan)	69
9.2 実用触媒の種類(kinds of industrial catalysts)	70

## 第Ⅱ部

### 実用編 資源エネルギー分野

1. 石油精製における触媒技術(catalytic technology for petroleum refining)	75
1.1 石油精製における触媒技術概論(outline of catalytic technology for petroleum refining)	75
1.2 石油精製触媒の基本構成と調製技術(refining catalyst overview)	77
1.2.1 成形触媒担体, 粉体触媒(shaped-catalyst carriers, fluidized bed catalysts)	77
1.2.2 活性金属(active metals)	79
1.2.3 助触媒(promoters)	79
1.3 石油精製における工業用触媒(commercial catalysts for refining)	80
1.3.1 水素化精製, 水素化脱硫(hydrofining, hydrodesulfurization)	80
1.3.2 接触改質(芳香族化)(catalytic reforming (aromatization))	90
1.3.3 接触分解(catalytic cracking)	98
1.3.4 水素化分解(hydrocracking)	109
1.3.5 アルキレーション(alkylation)	115
1.3.6 重合プロセス(polymerization process)	119
1.3.7 異性化(isomerization)	123
2. 合成ガス・水素製造触媒(catalysts for syngas and hydrogen production)	127
2.1 合成ガス・水素製造における触媒技術概論(outline of catalyst technology for syngas and hydrogen production)	127
2.1.1 基本反応(basic reaction)	128
2.1.2 触媒(catalysts)	129
2.2 合成ガス・水素製造触媒の基本構成と調製技術(basic composition and preparation method of syngas and hydrogen catalysts)	129

---

2.2.1	金属種 (metal)	129
2.2.2	担体 (supports)	130
2.2.3	助触媒 (promoters)	130
2.2.4	触媒調製 (catalyst preparation)	130
2.2.5	C析出 (carbon deposition)	131
2.3	合成ガス・水素製造における工業用触媒 (commercial catalysts for syngas and hydrogen production)	131
2.3.1	スチームリフォーミング (steam reforming)	131
2.3.2	部分酸化 (partial oxidation)	137
3.	GTL反応における触媒技術 (catalytic technology for GTL reactions)	140
3.1	GTL反応とは (what is GTL)	140
3.1.1	一酸化炭素水素化触媒の機能と反応条件 (catalysis of CO hydrogenation)	140
3.2	GTL反応用触媒の基本構成と調製技術 (base of GTL reaction)	141
3.2.1	FT合成 (FT synthesis)	141
3.2.2	メタノール合成とその関連反応 (methanol synthesis and related reactions)	143
3.2.3	その他のGTL関連反応 (other GTL related reactions)	143
3.3	GTL反応における工業用触媒 (catalysts for GTL reaction)	144
3.3.1	FT (フィッシャー・トロプシュ) 合成 (Fischer-Tropsch synthesis)	144
3.3.2	メタノール (methanol)	154
3.3.3	MTG, MTO (methanol-to-gasoline, methanol-to-olefin)	158
3.3.4	ジメチルエーテル (DME)	162
4.	石炭の直接液化・ガス化における触媒技術 (catalytic technology for direct liquefaction and gasification of coal)	167
4.1	石炭転換反応の化学と触媒技術概要 (overview on catalytic technology for coal liquefaction)	167
4.2	石炭直接液化の反応機構と触媒の基本構成, 調製技術 (reaction mechanism, basic composition, and preparation of catalysts for coal liquefaction)	169
4.2.1	液化反応機構 (reaction mechanism of coal liquefaction)	169
4.2.2	液化触媒の基本組成 (basic composition of catalyst for coal liquefaction)	169
4.2.3	調製技術 (preparation technology)	171
4.3	工業プロセスならびに工業触媒 (industrial processes and catalysts for coal liquefaction)	172
4.3.1	プロセスの変遷 (history of coal liquefaction processes)	172
4.3.2	プロセスと触媒 (processes and catalysts)	174

4.4 石炭ガス化におけるガス化触媒の現状と期待(present status and future development for coal gasification) .....	177
<b>5. バイオマスのエネルギー資源化における触媒(catalysts for bioenergy production) .....</b>	<b>179</b>
5.1 バイオマスのエネルギー資源化における触媒技術(catalysts for bioenergy production) .....	179
5.2 バイオマス変換触媒の基本構成と調整技術(catalysts for biomass conversion) .....	181
5.3 バイオマスのエネルギー資源化における工業用触媒(catalysts for bioenergy production) .....	182
5.3.1 エタノール(ethanol) .....	182
5.3.2 バイオディーゼル燃料(bio-diesel fuel) .....	185
5.3.3 ガス化(gasification) .....	187

## 実用編 燃料電池分野

1. 燃料電池における触媒技術概論(introduction of catalysts in fuel cells) .....	193
2. 燃料電池触媒の基本構成と調製技術(catalysts for fuel cells) .....	195
2.1 改質反応(reforming reactions) .....	195
2.2 電極反応(electrode reactions) .....	196
3. 燃料電池の種類と使用触媒(types of fuel cells and catalysts) .....	199
3.1 PEFC(polymer electrolyte fuel cells) .....	199
3.1.1 改質反応(reforming reactions) .....	199
3.1.2 電極反応(electrode reactions) .....	207
3.2 DMFC(direct methanol fuel cells) .....	214
3.2.1 電極反応(electrode reactions) .....	214
3.3 PAFC(phosphoric acid fuel cells) .....	218
3.3.1 改質反応(reforming reactions) .....	218
3.3.2 電極反応(electrode reactions) .....	221
3.4 MCFC(molten carbonate fuel cells) .....	226
3.4.1 改質反応(reforming reactions) .....	226
3.4.2 MCFC 電極反応(electrochemical reactions of MCFC) .....	227
3.5 固体酸化物形燃料電池(solid oxide fuel cells: SOFC) .....	230
3.5.1 改質反応(reforming reactions) .....	232
3.5.2 内部改質(internal reforming) .....	232

**実用編 有機ケミカルズ分野**

1. 有機ケミカルズの概要 (outline of organic chemicals) .....237
- 1.1 バルクケミカルズとファインケミカルズ (bulk chemicals and fine chemicals) .....237
- 1.1.1 定義 (definition) .....237
- 1.1.2 多段階性と多様性 (layer structure and diversity) .....237
- 1.1.3 バルクケミカルズの特徴 (characteristics of bulk chemicals) ...238
- 1.1.4 ファインケミカルズの特徴 (characteristics of fine chemicals) ...238
- 1.2 有機ケミカルズ製造プロセスの特徴 (characteristics of manufacturing processes of organic chemicals) .....239
- 1.2.1 有機ケミカルズ製造プロセスの方式 (systems of organic chemicals manufacture) .....239
- 1.2.2 連続反応プロセスの特徴 (characteristics of continuous reactions) .....239
- 1.2.3 バッチ反応プロセスの特徴 (characteristics of batch reactions) .....239
2. 有機ケミカルズ製造に用いられる触媒の概要 (general aspects of catalysts for organic chemicals) .....241
- 2.1 有機ケミカルズ製造プロセスにおける触媒の重要性 (significance of catalysts in organic chemicals manufacture) .....241
- 2.1.1 量論反応と触媒反応 (stoichiometric reaction and catalytic reactions) .....241
- 2.1.2 プロセス性能の要素 (factors of process performance) .....241
- 2.1.3 プロセス革新と触媒 (process innovation and catalysts) .....242
- 2.2 有機ケミカルズ製造プロセスにおける触媒の形態 (forms of catalysts in processes for organic chemicals manufacturing) .....242
- 2.2.1 気相法固定床触媒 (fixed bed catalysts for gas-phase reactions) .....242
- 2.2.2 気相法流動床触媒 (fluidized bed catalysts for gas-phase reactions) .....242
- 2.2.3 液相法固定床触媒 (fixed bed catalysts for liquid-phase reactions) .....243
- 2.2.4 液相法スラリー触媒 (slurry catalysts for liquid-phase reactions) .....243
- 2.2.5 液相法均一系触媒 (homogeneous catalysts for liquid-phase reactions) .....243

3. 有機ケミカルズ製造プロセスにおける触媒の形態(catalysis in the processes for organic chemicals) .....	244
3.1 分解・改質反応(cracking・reforming reactions) .....	244
3.1.1 熱分解反応(thermal cracking reactions) .....	244
3.1.2 接触分解反応(catalytic cracking reactions) .....	245
3.1.3 改質反応(reforming) .....	246
3.2 水素化・還元反応(hydrogenation・reduction) .....	247
3.2.1 水素化精製(purification by hydrotreating) .....	247
3.2.2 炭素-炭素多重結合の水素化(hydrogenation of C-C multiple-bonds) .....	248
3.2.3 炭素-酸素結合の水素化(hydrogenation of C-O bonds) .....	249
3.2.4 炭素-窒素結合の水素化(hydrogenation of C-N bonds) .....	250
3.2.5 窒素-酸素結合の水素化(hydrogenation of N-O bonds) .....	250
3.2.6 水素化分解(hydrogenolysis) .....	251
3.2.7 選択的水素化(selective hydrogenation) .....	252
3.2.8 その他の水素化・還元反応(miscellaneous hydrogenation・reductions) .....	255
3.2.9 水素化・還元反応利用によるファインケミカルズの合成(utilization of hydrogenation/reduction for fine chemicals synthesis) .....	256
3.2.10 水素化触媒に関する注釈(comments on hydrogenation catalysts) .....	262
3.3 脱水素反応(dehydrogenation) .....	263
3.3.1 炭化水素の脱水素(dehydrogenation of alkanes) .....	263
3.3.2 アルコールの脱水素(dehydrogenation of alcohols) .....	264
3.4 酸化反応(oxidation) .....	264
3.4.1 気相酸化反応(vapor phase oxidation) .....	265
3.4.2 液相酸化反応(liquid phase oxidation) .....	271
3.4.3 新しい酸化技術の開発状況(development of new oxidation processes) .....	276
3.5 異性化反応・不均化反応(isomerization and disproportionation) .....	278
3.5.1 オレフィン性二重結合の異性化(isomerization of alkenes) .....	278
3.5.2 骨格異性化(skeletal isomerization) .....	278
3.5.3 メタセシス反応(metathesis reactions) .....	279
3.5.4 芳香族アルキル基の異性化(isomerization of aromatic alkyl groups) .....	280
3.5.5 芳香族アルキル基のトランスアルキル化(transalkylation of aromatic alkyl groups) .....	280
3.5.6 芳香族カルボン酸基の異性化(isomerization of aromatic carboxylic acid group) .....	281
3.5.7 その他の異性化反応・不均化反応(miscellaneous isomerization and disproportionation reactions) .....	281
3.6 炭素-炭素結合形成反応(C-C bond formation) .....	282
3.6.1 アルキル化(alkylation) .....	282



3.6.2	アシル化(acylation) .....	282
3.6.3	ヒドロホルミル化・カルボニル化(hydroformylation, carbonylation) .....	283
3.6.4	シアン化水素付加反応(hydrocyanation) .....	284
3.6.5	C1化学(C1 chemistry) .....	284
3.6.6	オリゴマー化(oligomerization) .....	284
3.6.7	還元二量化(reductive dimerization) .....	284
3.6.8	酸化カップリング(oxidative coupling) .....	285
3.6.9	ディールス・アルダー反応(Diels-Alder reactions) .....	285
3.6.10	クロスカップリング(cross-coupling) .....	286
3.6.11	シクロプロパン化(cyclopropane formation) .....	286
3.6.12	アルドール反応(aldol reactions) .....	287
3.6.13	その他の炭素-炭素結合形成反応(miscellaneous C-C bond formations) .....	287
3.7	<b>水和反応・加水分解反応・脱水反応(hydration・hydrolysis and dehydration)</b> .....	288
3.7.1	オレフィンの水和(hydration of olefins) .....	288
3.7.2	ニトリルの水和(hydration of nitriles) .....	288
3.7.3	エポキシドの水和およびアルコールの付加(hydration and alcoholysis of epoxides) .....	289
3.7.4	エステル化およびエステルの加水分解(esterification and ester hydrolysis) .....	289
3.7.5	アルコールの脱水反応(dehydration of alcohols) .....	289
3.7.6	エーテル化(etherification) .....	289
3.7.7	その他の水和・脱水反応(miscellaneous hydration and dehydration) .....	290
3.8	<b>その他の官能基導入・変換反応(formation and transformation of miscellaneous functional groups)</b> .....	290
3.8.1	ハロゲン導入反応(transformation of halides) .....	290
3.8.2	脱ハロゲン化水素反応(dehydrohalogenation) .....	291
3.8.3	ハロゲン置換反応(replacement of halides) .....	291
3.8.4	ニトロ化反応(nitration) .....	292
3.8.5	スルホン化反応(sulfonation) .....	292
3.8.6	ヒドロメタル化反応(hydrometallation) .....	293
3.8.7	シアン化水素付加反応(addition of hydrogen cyanide) .....	294
3.8.8	その他の付加反応(miscellaneous addition reactions) .....	294
3.8.9	その他の置換反応(miscellaneous substitution reactions) .....	295
3.8.10	その他の脱離反応(miscellaneous elimination reactions) .....	295
3.9	<b>不斉合成反応(asymmetric reactions)</b> .....	296
3.9.1	不斉炭素-炭素結合生成(asymmetric C-C bond formations) .....	296
3.9.1.1	カルボニル基への不斉1,2-付加(asymmetric 1,2- addition to carbonyls) .....	296
3.9.1.2	カルボニル等価体の不斉アルキル化(asymmetric alkylation of carbonyl equivalents) .....	302

3.9.1.3	不斉アルドール反応 (asymmetric aldol reactions)	303
3.9.2	不斉共役付加 (asymmetric conjugate addition reactions)	306
3.9.2.1	不斉環化 (asymmetric cycloaddition reactions)	306
3.9.2.2	不斉転位 (asymmetric rearrangement)	310
3.9.2.3	不斉ヒドロホルミル化 (asymmetric hydroformation reactions)	313
3.9.2.4	不斉ヒドロビニル化反応 (asymmetric hydrovinylation reactions)	315
3.9.2.5	不斉カップリング反応 (asymmetric coupling reactions)	317
3.9.3	不斉還元 (asymmetric reduction)	322
3.9.3.1	不斉水素化 (asymmetric hydrogenation)	322
3.9.3.2	不斉ヒドロシリル化 (asymmetric hydrosilylation)	328
3.9.3.3	水素化剤による不斉還元 (asymmetric reduction with hydride reagents)	329
3.9.4	不斉酸化 (asymmetric oxidation)	331
3.9.4.1	不斉エポキシ化 (asymmetric epoxidation)	331
3.9.4.2	不斉ジヒドロキシル化 (asymmetric dihydroxylation)	335
<b>4.</b>	<b>有機ケミカルズの製品別触媒 (catalysts for organic chemicals)</b>	<b>336</b>
<b>4.1</b>	<b>炭化水素類 (hydrocarbons)</b>	<b>336</b>
4.1.1	オレフィン類 (olefins)	336
4.1.1.1	エチレン (ethylene)	336
4.1.1.2	プロピレン (propylene)	338
4.1.1.3	1-ブテン (1-butene)	339
4.1.1.4	イソブチレン (isobutylene)	341
4.1.1.5	1-ヘキセン (1-hexene)	343
4.1.1.6	1-オクテン (1-octene)	344
4.1.1.7	4-メチル-1-ペンテン (4-methyl-1-pentene)	344
4.1.1.8	2,3-ジメチルブテン (2,3-dimethylbutene)	345
4.1.1.9	プロピレンオリゴマー (propylene oligomer)	346
4.1.1.10	ブテンオリゴマー (butene oligomer)	346
4.1.1.11	高級オレフィン (higher olefin)	347
4.1.2	共役ジエン類 (conjugated dienes)	348
4.1.2.1	ブタジエン (butadiene)	348
4.1.2.2	イソプレン (isoprene)	348
4.1.3	ポリエン類 (polyenes)	350
4.1.3.1	シクロオクタジエン (cyclooctadiene)	350
4.1.3.2	シクロドデカトリエン (cyclododecatriene)	351
4.1.3.3	シクロオクタテトラエン (cyclooctatetraene)	352
4.1.3.4	エチリデンノルボルネン (5-ethylidene-2-norbornene: ENB)	353
4.1.4	芳香族炭化水素 (aromatic hydrocarbon)	355
4.1.4.1	ベンゼン, トルエン, キシレン類 (BTX: benzene, toluene, xylene)	355
4.1.4.2	エチルベンゼン (ethylbenzene: EB)	358
4.1.4.3	クメン (cumene)	359

4.1.4.4	直鎖型アルキルベンゼン (linear alkylbenzene (LAB))	360
4.1.4.5	スチレン (styrene: SM (styrene monomer))	361
4.1.4.6	ジアリールアルカン (フェニルキシリルエタン, ベンジルトルエン) (diarylkalkanes)	362
4.1.5	飽和炭化水素 (saturated hydrocarbon)	364
4.1.5.1	シクロヘキサン (cyclohexane)	364
4.1.5.2	スクワラン (squalane)	364
4.2	含酸素基礎化学品 (oxygen containing bulk organic chemicals)	366
4.2.1	アルコール類 (alcohols)	366
4.2.1.1	メタノール (methanol)	366
4.2.1.2	エタノール (ethanol)	367
4.2.1.3	<i>n</i> -プロパノール ( <i>n</i> -propanol)	368
4.2.1.4	イソプロパノール (isopropanol: IPA)	368
4.2.1.5	<i>n</i> -ブタノール ( <i>n</i> -butanol)	369
4.2.1.6	<i>sec</i> -ブタノール ( <i>sec</i> -butanol)	370
4.2.1.7	<i>t</i> -ブタノール ( <i>t</i> -butanol: TBA)	371
4.2.1.8	シクロヘキサノール (cyclohexanol)	372
4.2.1.9	アリールアルコール (allyl alcohol)	373
4.2.1.10	2-エチルヘキサノール (2-ethylhexanol)	373
4.2.1.11	オクタノール (octanol)	374
4.2.1.12	高級アルコール (higher alcohols)	375
4.2.1.13	天然油脂系高級アルコール (fatty alcohol)	376
4.2.1.14	エチレングリコール (ethylene glycol: EG)	377
4.2.1.15	1,4-シクロヘキサンジメタノール (1,4-cyclohexane dimethanol)	378
4.2.1.16	1,4-ブタンジオール (1,4-butanediol)	378
4.2.1.17	ペンタエリスリトール (pentaerythritol)	380
4.2.2	フェノール類 (phenols)	382
4.2.2.1	フェノール (phenol)	382
4.2.2.2	ハイドロキノン (hydroquinone)	384
4.2.2.3	カテコール (catechol)	385
4.2.2.4	レゾルシノール (resorcinol)	385
4.2.2.5	ビフェノール (biphenol)	386
4.2.2.6	ビスフェノール A (bisphenol A)	388
4.2.2.7	クレゾール類 (cresols)	389
4.2.2.8	2,6-キシレノール (2,6-xyleneol)	391
4.2.3	アルデヒドおよびケトン類 (aldehydes and ketones)	393
4.2.3.1	ホルムアルデヒド (formaldehyde)	393
4.2.3.2	アセトアルデヒド (acetaldehyde)	394
4.2.3.3	プロピオンアルデヒド (propionaldehyde)	394
4.2.3.4	<i>n</i> -ブチルアルデヒド ( <i>n</i> -butyraldehyde)	395
4.2.3.5	イソブチルアルデヒド (isobutyraldehyde)	396
4.2.3.6	アクロレイン (acrolein)	396
4.2.3.7	クロトンアルデヒド (crotonardehyde)	397
4.2.3.8	アセトン (acetone)	397
4.2.3.9	メチルエチルケトン (methyl ethyl ketone)	398

4.2.3.10	メチルイソブチルケトン (methyl isobutyl ketone)	399
4.2.3.11	シクロヘキサノン (cyclohexanone)	400
4.2.3.12	ベンズアルデヒド (benzaldehyde)	401
4.2.3.13	ケテン (ketene)	402
4.2.4	エポキシド類 (epoxides)	404
4.2.4.1	エチレンオキシド (ethylene oxide)	404
4.2.4.2	プロピレンオキシド (propylene oxide)	405
4.2.4.3	エピクロロヒドリン (epichlorohydrin)	406
4.2.4.4	グリシジルエーテル (glycidylether)	406
4.2.4.5	グリシジルエステル (glycidylester)	407
4.2.4.6	スチレンオキシド (styrene oxide)	408
4.2.5	エーテル類 (ethers)	409
4.2.5.1	ジメチルエーテル (dimethyl eter)	409
4.2.5.2	エチルエーテル (ethyl ether)	410
4.2.5.3	イソプロピルエーテル (isopropyl ether : IPE)	410
4.2.5.4	メチル <i>tert</i> -ブチルエーテル (methyl <i>tert</i> -butyl ether : MTBE)	411
4.2.5.5	テトラヒドロフラン (tetrahydrofuran : THF)	412
4.2.5.6	非イオン界面活性剤 (nonionic surfactants)	412
4.2.5.7	ビニルエーテル類 (vinyl ethers)	413
4.2.6	カルボン酸およびエステル類 (carboxylic acids and esters)	415
4.2.6.1	ギ酸エステル (esters of formic acid)	415
4.2.6.2	酢酸およびエステル (acetic acid and it's esters)	415
4.2.6.3	無水酢酸 (acetic anhydride)	416
4.2.6.4	過酢酸 (peracetic acid)	417
4.2.6.5	酢酸ビニル (vinyl acetate : VAc)	418
4.2.6.6	プロピオン酸 (propionic acid)	419
4.2.6.7	酪酸 (butyric acid)	420
4.2.6.8	アクリル酸およびエステル (acrylic acid and its esters)	421
4.2.6.9	メタクリル酸およびエステル (methacrylic acid and its esters)	422
4.2.6.10	シュウ酸 (oxalic acid)	424
4.2.6.11	無水マレイン酸 (maleic anhydride : MAN)	425
4.2.6.12	フマル酸 (fumaric acid)	426
4.2.6.13	マロン酸およびエステル (malonic acid and its esters)	426
4.2.6.14	高級脂肪酸 (fatty acid)	427
4.2.6.15	アジピン酸 (adipic acid)	428
4.2.6.16	安息香酸およびエステル (benzoic acid and its esters)	430
4.2.6.17	トルイル酸 (toluic acid)	430
4.2.6.18	無水フタル酸 (phthalic anhydride)	430
4.2.6.19	イソフタル酸 (isophthalic acid)	431
4.2.6.20	テレフタル酸 (terephthalic acid)	432
4.2.6.21	トリメリット酸 (trimellitic acid)	433
4.2.6.22	ピロメリット酸 (pyromellitic acid)	434
4.2.6.23	$\beta$ -プロピオラクトン ( $\beta$ -propiolactone)	435
4.2.6.24	$\gamma$ -ブチロラクトン ( $\gamma$ -butyrolactone)	435
4.2.6.25	$\epsilon$ -カプロラクトン ( $\epsilon$ -caprolactone)	437
4.2.6.26	ジケテン (diketene)	437

4.2.6.27	ジアリルフタレート (diallyl phthalate)	438
4.2.6.28	ジメチルカーボネート (dimethyl carbonate)	438
4.2.6.29	エチレンカーボネート (ethylene carbonate)	439
4.2.6.30	プロピレンカーボネート (propylene carbonate)	440
4.2.6.31	ジフェニルカーボネート (diphenyl carbonate)	441
<b>4.3</b>	<b>その他の基礎化学品 (miscellaneous bulk organic chemicals)</b>	<b>443</b>
4.3.1	ニトロ化合物 (nitro compounds)	443
4.3.1.1	ニトロベンゼン (nitrobenzene)	443
4.3.1.2	ジニトロトルエン (dinitrotoluene)	443
4.3.2	アミン類 (amines)	444
4.3.2.1	メチルアミン類 (methylamines)	444
4.3.2.2	エチレンジアミン (ethylene diamine: EDA)	445
4.3.2.3	プロピレンジアミン (propylene diamine: PDA)	445
4.3.2.4	プロピルアミン類 (propylamines)	446
4.3.2.5	<i>n</i> -ブチルアミン類 ( <i>n</i> -butylamines)	446
4.3.2.6	<i>t</i> -ブチルアミン ( <i>t</i> -butylamine)	447
4.3.2.7	エチレンイミン (ethylenimine: EI)	447
4.3.2.8	ヘキサメチレンジアミン (hexamethylenediamine: HMDA)	449
4.3.2.9	アニリン (aniline)	450
4.3.2.10	ピリジン (pyridine)	451
4.3.2.11	ピコリン (picolines)	452
4.3.2.12	尿 素 (urea)	453
4.3.2.13	その他のアミン類 (other amines)	455
4.3.3	ニトリル類 (nitriles)	457
4.3.3.1	アセトニトリル (acetonitrile)	457
4.3.3.2	アクリロニトリル (acrylonitrile)	457
4.3.3.3	ニコチン酸ニトリル (nicotinonitrile)	459
4.3.4	アミドおよびラクタム類 (amides and lactams)	461
4.3.4.1	アクリルアミド (acrylamide)	461
4.3.4.2	$\epsilon$ -カプロラクタム ( $\epsilon$ -caprolactam)	462
4.3.5	イソシアネート類 (isocyanates)	465
4.3.5.1	トリレンジイソシアネート (tolylene diisocyanate: TDI)	465
4.3.5.2	ジフェニルメタンジイソシアネート (diphenyl methane diisocyanate: MDI)	466
4.3.5.3	ヘキサメチレンジイソシアネート (hexamethylene diisocyanate: HDI)	467
4.3.6	含ハロゲン化合物 (halogen containing compounds)	468
4.3.6.1	塩化メチル (methyl chloride)	468
4.3.6.2	クロロメタン類 (chloromethanes)	469
4.3.6.3	塩化エチル (ethyl chloride)	470
4.3.6.4	1,2-ジクロロエタン (1,2-dichloroethane: EDC)	471
4.3.6.5	塩化ビニル (vinyl chloride)	471
4.3.6.6	塩化アリル (allyl chloride)	473
4.3.6.7	クロロプレン (chloroprene)	473
4.3.6.8	クロロベンゼン (chlorobenzenes)	474
<b>4.4</b>	<b>有機ファインケミカルズ (organic fine chemicals)</b>	<b>476</b>

4.4.1 医薬 (pharmaceuticals) .....	476
4.4.1.1 イブプロフェン (ibuprofen) .....	476
4.4.1.2 L-ドーパ (L-dopa) .....	477
4.4.1.3 フェニルアラニン (phenylalanine) .....	478
4.4.1.4 カルバペネム系抗生物質 (carbapenem antibiotics) .....	479
4.4.1.5 シラスタチン (cilastatin) .....	481
4.4.1.6 プロプラノロール (propranolol) .....	482
4.4.1.7 レボフロキサシン (levofloxacin) .....	484
4.4.2 香料 (aroma chemicals) .....	486
4.4.2.1 メントール (menthol) .....	486
4.4.2.2 ジヒドロジャスモン酸メチル (methyl dihydrojasmonate) .....	487
4.4.2.3 $\delta$ -デカラクトン ( $\delta$ -decalactone) .....	488
4.4.2.4 ムスク: <i>l</i> -ムスコン ( <i>l</i> -muscone) .....	488
4.4.2.5 シクロヘキサノール誘導体 (cyclohexanol derivatives) .....	489
4.4.3 液晶化合物 (liquid crystal compounds) .....	491
4.4.3.1 クロスカップリング反応と触媒サイクル (cross coupling and catalytic cycle) .....	491
4.4.3.2 クロスカップリングによる液晶化合物の合成 (synthesis of liquid crystal compounds by cross coupling) .....	493

## 実用編 無機化学・無機フライン化学分野

1. 総論 (introduction) .....	505
2. 基本反応と使用触媒の概要 (outline of basic reactions and catalysts) .....	507
2.1 気相反応 (gas phase reactions) .....	507
2.2 液相反応 (liquid phase reactions) .....	509
2.3 固相反応 (solid phase reactions) .....	509
2.4 電極触媒反応 (electro catalysis reactions) .....	510
3. 各種製品における触媒プロセスと触媒 (catalyst process and catalysts in various products) .....	514
3.1 水 (water) .....	514
3.1.1 浄水 (purified water) .....	514
3.1.2 アルカリイオン水 (alkaline ionized water) .....	518
3.2 水素 (hydrogen) .....	519
3.2.1 石油・石炭からの水素 (hydrogen from petroleum or coal) .....	520
3.2.1.1 水蒸気改質法 (steam reforming) .....	520
3.2.1.2 部分酸化法 (partial oxidation) .....	522
3.2.1.3 石炭ガス化法 (coal gasification) .....	523
3.2.2 電解水素 (electrolytic hydrogen) .....	524

3.2.2.1	水電解の理論(theory of water electrolysis)	524
3.2.2.2	アルカリ水溶液電解法(alkaline water electrolysis)	524
3.2.2.3	固体高分子電解質水電解法(solid polymer electrolyte water electrolysis)	525
3.2.2.4	酸化物固体電解質水蒸気電解法(steam electrolysis by a solid oxide electrolyte)	526
3.2.2.5	食塩電解の副生水素(by-product hydrogen from aqueous NaCl electrolysis)	526
3.2.3	熱化学プロセス(thermochemical process)	527
3.2.3.1	IS プロセス(IS process)	527
3.2.3.2	UT-3 プロセス(UT-3 process)	528
3.3	<b>過酸化水素と無機過酸化物(hydrogen peroxide and inorganic peroxides)</b>	530
3.3.1	過酸化水素(hydrogen peroxide)	530
3.3.1.1	電気化学法(electrolytic process)	530
3.3.1.2	アントラキノン法(quinone process)	530
3.3.1.3	水素と酸素からの直接製法(direct combination of hydrogen and oxygen)	531
3.3.2	オゾン(ozone)	532
3.3.3	ペルオキシ二硫酸カリウム(potassium peroxodisulfate)	533
3.4	<b>窒素および窒素化合物(nitrogen and nitrogen compounds)</b>	534
3.4.1	アンモニア(ammonia)	534
3.4.2	ヒドラジン(hydrazine)	535
3.4.3	ヒドロキシルアミン(hydroxylamine)	536
3.4.4	硝酸(nitric acid)	537
3.5	<b>リンおよびリン化合物(phosphorus and phosphorous compounds)</b>	538
3.5.1	リン酸トリアリール(triaryl phosphates)	540
3.5.2	リン酸クロロアルキルエステル(chloroalkylphosphate ester)	540
3.5.3	ホスホン酸(phosphonic acid)	541
3.6	<b>硫黄および硫黄化合物(sulfur and sulfur compounds)</b>	542
3.6.1	硫黄(sulfur)	542
3.6.2	硫酸(sulfuric acid)	543
3.6.3	二塩化硫黄(sulfur dichloride)	545
3.6.4	塩化チオニル(thionyl chloride)	545
3.6.5	塩化スルフリル(sulfuryl chloride)	545
3.6.6	硫化水素(hydrogen sulfide)	546
3.6.7	多硫化物(polysulfides)	546
3.7	<b>ハロゲンおよびハロゲン化合物(halogen and halogenated compounds)</b>	547
3.7.1	フッ素(fluorine)	547
3.7.2	三フッ化窒素(nitrogen trifluoride)	548
3.7.2.1	化学法(direct fluorination of ammonia and ammonium salts)	549
3.7.2.2	熔融塩電解法(electrolysis of molten salt)	549
3.7.3	塩素(chlorine)	549

3.7.3.1	電解法(chlor-alkali electrolysis process)	549
3.7.3.2	塩化水素の酸化法(oxidation of hydrogen chloride)	551
3.7.4	過塩素酸ナトリウム(sodium perchlorate)	553
3.7.5	ヨウ化水素(hydrogen iodide)	553
3.8	金属(metal)	553
3.8.1	無電解めっき薄膜(electroless plating film)	554
3.9	シリコン(silicone)	558
3.9.1	メチルクロルシラン(methylchlorosilane)	559
3.10	炭素およびセラミックス(carbon and ceramics)	560
3.10.1	ダイヤモンド(diamond)	560
3.10.2	立方晶窒化ホウ素(cubic boron nitride)	563

## 実用編 高分子分野

1.	高分子産業の概要と触媒(polymer industry and polymerization catalysts)	569
1.1	原料ならびに製品の概要(raw materials and polymer products)	569
1.1.1	原料モノマー(monomers as raw materials)	569
1.1.2	熱可塑性樹脂(thermoplastic resins)	570
1.1.3	熱硬化性樹脂(thermoset resins)	570
1.1.4	合成ゴム, その他(synthetic rubbers and others)	571
1.2	高分子産業における触媒(polymerization catalysts in polymer industry)	572
1.2.1	熱可塑性汎用樹脂製造用触媒(catalysts for thermoplastic commodity resins)	572
1.2.2	エンジニアリングプラスチック製造用触媒(catalysts for engineering plastics)	573
1.2.3	熱硬化性樹脂製造用触媒(catalysts for thermoset resins)	573
1.2.4	合成ゴム製造用触媒(catalysts for synthetic rubbers)	574
1.2.5	機能性高分子材料の合成触媒(catalysts for functional polymers)	575
2.	高分子合成反応における触媒(catalysts for polymer synthesis)	576
2.1	重合反応様式と高分子の一次構造(style of polymerization and primary structure of polymer)	577
2.1.1	重縮合(polycondensation)	577
2.1.2	重付加(polyaddition)	579
2.1.3	付加重合(addition polymerization)	579
2.1.4	共重合体の構造(structure of copolymer)	581
2.2	活性種(成長種)タイプ別重合触媒(classification of polymerization cata-	



lysts by propagation species) .....	582
2.2.1 ラジカル重合開始剤 (initiators for radical polymerization) .....	582
2.2.2 アニオン重合開始剤 (initiators for anionic polymerization) .....	584
2.2.3 カチオン重合開始剤 (initiators for cationic polymerization) .....	585
2.2.4 配位重合触媒 (coordination polymerization catalysts) .....	586
2.3 重合プロセスと触媒 (polymerization process and catalysts) .....	587
2.3.1 ポリエチレン製造プロセスの変遷 (transition of polyethylene production process) .....	589
2.3.2 ポリプロピレン製造プロセスの変遷 (transition of polypropylene production process) .....	590
2.4 重合触媒の調製技術と調製プロセス (preparation techniques and processes for polymerization catalysts) .....	591
2.4.1 粒子形成方法 (particle formation methods) .....	592
2.4.2 触媒調合法 (catalyst preparation methods) .....	592
2.4.3 粒度調節方法 (control of particle size and distribution) .....	593
2.4.4 代表的な重合触媒の調製事例 (examples of preparation of major polymerization catalysts) .....	593
2.5 重合触媒の分析解析技術 (analysis techniques of polymerization catalysts) .....	595
2.5.1 触媒のキャラクタリゼーション (characterization of catalysts) .....	595
2.5.2 重合触媒および重合挙動の分析解析 (analysis of polymerization catalysts and polymerization behavior) .....	595
3. 熱可塑性汎用樹脂製造用触媒 (catalysts for thermoplastic commodity resins) .....	598
3.1 低密度ポリエチレン (linear low density polyethylene) .....	598
3.1.1 チーグラー触媒 (Ziegler catalyst) .....	599
3.1.2 シングルサイト触媒 (single-site catalyst) .....	600
3.2 高密度ポリエチレン (high density polyethylene) .....	602
3.2.1 初期のエチレン重合触媒 (early catalysts for high density polyethylene) .....	602
3.2.2 高活性チーグラー触媒 (high mileage Ziegler catalyst) .....	603
3.2.3 フィリップス触媒 (Phillips catalyst) .....	608
3.2.4 メタロセン触媒 (metallocene catalysts) .....	612
3.3 ポリプロピレン (polypropylene) .....	613
3.3.1 チーグラー・ナッタ触媒 (Ziegler-Natta catalyst) .....	614
3.3.2 メタロセン触媒 (metallocene catalysts) .....	622
3.4 ポリ $\alpha$ -オレフィン (poly $\alpha$ -olefin) .....	623
3.5 環状オレフィンポリマー (cyclic olefin polymers) .....	624
3.5.1 ノルボルネン類/エチレンコポリマー (norbornenes/ethylene copolymers) .....	625
3.5.2 ノルボルネン類開環メタセシスポリマー (ring-opening metathesis	

polymer of norbornenes) .....	626
3.5.3 その他の環状オレフィンポリマー (other cyclic olefin polymers) .....	626
3.6 ポリスチレン (polystyrene) .....	626
3.6.1 スチレン重合 (styrene polymerization) .....	626
3.6.2 SPS の製造触媒の開発 (development of catalysts for SPS) .....	627
3.7 エチレン-スチレン共重合体 (ethylene-styrene copolymer) .....	630
3.8 極性ビニルモノマー重合体樹脂 (polymer of polar vinyl monomers) .....	631
3.8.1 アニオン重合触媒によるアクリルモノマーの重合 (polymerization of acrylic monomers with anionic catalysts) .....	633
3.8.2 極性ビニルモノマー重合体合成用チーグラウ・ナッタ触媒 (Ziegler- Natta catalyst for polymerization of polar vinyl monomers) .....	633
3.8.3 メタロセン触媒による極性ビニルモノマーの重合 (metallocene cata- lyst for polymerization of polar vinyl monomers) .....	634
4. 熱硬化性樹脂製造用触媒 (catalysts for thermoset resins) .....	637
4.1 付加縮合型樹脂 (addition and condensation resins) .....	637
4.1.1 フェノール樹脂 (phenolic resins) .....	637
4.1.2 ユリア・メラミン樹脂 (urea and melamin resins) .....	638
4.2 重縮合ラジカル硬化型樹脂 (polycondensation and radical polymerization) .....	639
4.2.1 不飽和ポリエステル樹脂 (unsaturated polyester resins) .....	639
4.2.2 ビニルエステル樹脂 (vinyl ester resins) .....	639
4.3 多付加硬化型樹脂 (polyaddition resins) .....	639
4.3.1 エポキシ樹脂 (epoxy resins) .....	639
4.3.2 ポリウレタン樹脂 (polyurethane resins) .....	640
5. エンジニアリングプラスチック製造用触媒 (catalysts for engineer- ing plastics) .....	641
5.1 ポリエステル (polyesters) .....	642
5.2 ポリアミド (polyamides) .....	643
5.2.1 ナイロン 6 (nylon 6) .....	644
5.2.2 ナイロン 66 (nylon 66) .....	644
5.2.3 モノマーキャストイングナイロン (monomer casting nylon) .....	644
5.3 ポリカーボネート (polycarbonate) .....	645
5.4 ポリフェニレンエーテル (poly(phenylene ether)) .....	646
5.5 ポリアセタール (polyacetal) .....	647
5.5.1 ホモポリマー (homopolymer) .....	647
5.5.2 コポリマー (copolymer) .....	648

6. 特殊樹脂製造用触媒(catalysts for specialty resins) .....	649
6.1 石油樹脂(petroleum resins) .....	649
6.2 ポリイソブチレン(polyisobutylene) .....	650
6.2.1 低分子量ポリイソブチレン(low molecular weight polyisobutylene) .....	650
6.2.2 中分子量ポリイソブチレン(medium molecular weight polyisobutylene) .....	650
6.2.3 高分子量ポリイソブチレン(high molecular weight polyisobutylene) .....	650
6.3 液状ポリブタジエン(liquid polybutadiene) .....	651
6.3.1 リビングアニオン重合(living anionic polymerization) .....	652
6.3.2 連鎖移動アニオン重合(chain-transfer anionic polymerization) .....	652
6.4 フッ素樹脂(fluororesins) .....	653
6.5 シリコン樹脂(silicone resins) .....	654
7. 合成ゴム製造用触媒(catalysts for synthetic rubbers) .....	655
7.1 ジエン系ゴム(diene rubbers) .....	656
7.1.1 ブタジエンゴム(ポリブタジエン)(butadiene rubber (polybutadiene)) .....	656
7.1.2 イソプレンゴム(ポリイソプレン)(isoprene rubber (polyisoprene)) .....	658
7.1.3 スチレンブタジエンゴム(styrene butadiene rubber) .....	659
7.2 エチレン-プロピレン-ジエンゴム(ethylene-propylene-diene rubber) .....	660
7.2.1 製造プロセス(manufacturing processes) .....	661
7.2.2 チーグラ-ナッタ系EP(D)M共重合触媒(Ziegler-Natta catalyst for EP(D)M) .....	661
7.2.3 メタロセン系エチレン-オレフィン共重合触媒(metallocene cata- lysts for ethylene-olefin copolymer) .....	662
7.3 ブチルゴム(butyl rubber) .....	664
7.4 スチレン系熱可塑性エラストマー(styrenic thermoplastic elastomer) .....	665
7.5 エピクロルヒドリン系ゴム(epichlorohydrin rubbers) .....	667
7.6 フッ素ゴム(fluoroelastomers) .....	669
7.7 シリコンゴム(silicone rubbers) .....	670
7.7.1 アルカリ金属触媒(alkali metal catalysts) .....	670
7.7.2 酸触媒(acid catalysts) .....	670
7.8 ウレタンゴム(urethane rubbers) .....	671

8. $\pi$ 共役高分子合成用触媒(catalysts for preparation of conjugated polymers) .....	674
8.1 芳香族系高分子合成用触媒(catalysts for preparation of $\pi$ -conjugated aromatic polymers) .....	675
8.1.1 ポリ( <i>p</i> -フェニレン), ポリチオフェンなどの芳香環, 複素環から成る芳香族系高分子( $\pi$ -conjugated polymers constituted of aromatic or heteroaromatic rings) .....	675
8.1.1.1 金属塩化物を用いた芳香族化合物の酸化重合による合成(synthesis of conjugated polymers prepared by oxidative polymerization of aromatic compounds with metal chloride) .....	675
8.1.1.2 芳香族ジハロゲン化物の脱ハロゲン化重縮合による $\pi$ 共役芳香族系高分子の合成( $\pi$ -conjugated polymers prepared by dehalogenative polycondensation reaction of dihaloaromatic compounds) .....	676
8.1.2 ポリ(アリーレンビニレン), ポリ(アリーレンエチニレン)型高分子(poly(arylene vinylene) and poly(arylene ethynylene)-type $\pi$ -conjugated polymers) .....	679
8.1.2.1 溝呂木・ヘック反応を利用した高分子合成(synthesis of $\pi$ -conjugated polymer via Mizoroki-Heck reaction) .....	679
8.1.2.2 Sonogashira 反応を利用した高分子合成(synthesis of $\pi$ -conjugated polymer via Sonogashira reaction) .....	679
8.2 ポリアセチレン合成用触媒(catalysts for polyacetylene) .....	681
8.2.1 Ti 触媒(Ti catalysts) .....	681
8.2.2 Mo, W 触媒(Mo, W catalysts) .....	681
8.2.3 Nb, Ta 触媒(Nb, Ta catalysts) .....	682
8.2.4 Rh 触媒(Rh catalysts) .....	683
8.2.5 他の 8~10 族の遷移金属触媒 .....	683
9. 塗料, 接着剤工業における触媒(catalysts for coating and adhesive industries) .....	684
9.1 塗料工業における触媒(catalysts for coating industries) .....	685
9.1.1 熱潜在性触媒(thermally latent catalysts) .....	685
9.1.2 光潜在性触媒(photo-latent catalysts) .....	686
9.1.3 触媒の調製法と取扱いの注意点(preparation methods of catalysts and notes for handling) .....	686
9.2 接着剤工業における触媒(catalysts for adhesive agent industries) .....	687
10. 機能性高分子と触媒(catalysts for functional polymers) .....	688
10.1 電気・電子・光機能性高分子と触媒(catalysts for electronic and photonic polymers) .....	688
10.1.1 化学増幅型レジストと触媒(catalysts for chemically amplified resists) .....	688

---

10.1.2	自己触媒的な酸および塩基の発生反応とレジスト (autocatalytic generation of acids and bases for photoresists) .....	690
11.	高分子反応における触媒(catalysts for chemical reaction polymers) .....	691
11.1	水素化(hydrogenation) .....	691
11.2	エポキシ化(epoxidation) .....	692
11.3	ハロゲン化(halogenation) .....	693
11.4	マレイン化(maleation) .....	693
11.5	シリル化(silylation) .....	693
12.	高分子産業における環境対応触媒(catalysts for green chemistry in polymer industry) .....	694
12.1	グリーンポリマー合成用触媒(catalysts for green polymers) .....	694
12.1.1	天然系グリーンポリマーの合成触媒(catalysts for natural green polymers) .....	694
12.1.2	合成系グリーンポリマーの合成触媒(catalysts for synthetic green polymers) .....	695
12.2	リサイクルと重合, 解重合触媒(recycling and catalysts for polymerization and depolymerization) .....	696
12.2.1	化学的リサイクル, 解重合の触媒(catalysts for chemical recycling and depolymerization) .....	697
12.2.1.1	酸触媒(acid catalysts) .....	697
12.2.1.2	塩基触媒(base catalysts) .....	698
12.2.1.3	メタセシス解重合触媒(metathesis depolymerization catalysts) .....	698
13.	重合触媒の将来展望(future trends in olefin polymerization catalysts) .....	701
13.1	シングルサイト触媒(single-site catalysts) .....	702
13.1.1	前周期遷移金属錯体触媒(early transition metal complex catalysts) .....	702
13.1.2	後周期遷移金属錯体触媒(late transition metal complex catalysts) .....	706
13.2	省資源・省エネルギープロセスと新触媒(new catalysts and resource- and energy-saving processes) .....	710
13.2.1	省資源・省エネルギー化の変遷(history of resource and energy-saving processes) .....	710
13.2.2	省資源・省エネルギー化の将来動向(future of resource and energy-saving processes) .....	713
13.3	酵素重合触媒(enzymatic polymerization catalysts) .....	714

---

13.3.1	芳香族ポリマーの合成 (synthesis of polyaromatics) .....	716
13.3.2	多糖類の合成 (synthesis of polysaccharides) .....	718
13.3.3	ポリエステル合成 (synthesis of polyesters) .....	719

## 実用編 生体触媒分野

1.	ケミカルズ (chemicals) .....	723
1.1	酢酸 (acetic acid) .....	723
1.2	昆虫フェロモン (insect pheromone) .....	723
1.3	バイオポリマー (biopolymer) .....	724
1.4	エポキシド (epoxide) .....	724
1.5	アクリルアミド (acrylamide) .....	724
1.6	リジン (lysine) .....	725
1.7	D-アミノ酸 (D-amino acid) .....	725
1.8	L-アスパラギン酸と L-アラニン (L-aspartic acid & L-alanine) .....	726
1.9	L-トリプトファン (L-tryptophan) .....	727
1.10	バラチノース (paratinose) .....	727
1.11	カップリングシュガー (coupling sugar) .....	728
1.12	マルトオリゴ糖 (malto-oligo-saccharide) .....	729
1.13	6-アミノペニシラン酸 (6-aminopenicillanic acid) .....	729
1.14	7-アミノセファロスポラン酸 (7-aminocaphalosporinic acid) .....	729
1.15	L-リンゴ酸 (L-malic acid) .....	729
1.16	長鎖二塩基酸 (long chain dibasic acid) .....	730
1.17	モナスカス系色素 (monascus dye) .....	730
1.18	シクロデキストリン (cyclodextrin) .....	731
1.19	マメコガネの性フェロモン (sex pheromone of Japanese beetle) .....	731
1.20	ジブシーモスの性フェロモン (sex pheromone of gypsy moth) .....	732
1.21	ドウガネブイブイの性フェロモン (sex pheromone of cupreous chafer) .....	732
1.22	アメリカシロヒトリの性フェロモン (sex pheromone of fall webworm) .....	733
1.23	シトラマル酸 (citramalic acid) .....	733
2.	医薬農薬品 (pharmaceutical & agricultural chemicals) .....	734
2.1	プラレスリン (prallethrin) .....	734
2.2	ネプラシノン A (nepulasinon A) .....	734
2.3	ジルチアゼム (diltiazem) .....	734
2.4	塩酸セトラキサート (cetraxate hydrochloride) .....	736
2.5	アデニンアラビノシド (adenine arabinoside) .....	736
2.6	アデノシン三リン酸 (adenosine triphosphate) .....	736
2.7	3'-ホスホアデノシン-5'-ホスホ硫酸 (PAPS) (3'-phosphoadenosine-5'-	

phosphosulfonic acid) .....	737
3. 抗体酵素(antibody enzyme) .....	738
3.1 クロラムフェニコール(chloramphenicol) .....	738
3.2 エポチロン A およびエポチロン C(epothilone A, epothilone C) .....	739
4. バイオマス(biomass) .....	740
4.1 エタノール(ethanol) .....	740
4.2 人工漆(japanese lacquer) .....	740
4.3 セルロース(cellulose) .....	741
4.4 ポリ乳酸(lactic acid polymer) .....	741
4.5 ポリヒドロキシブチラート(polyhydroxybutyrate) .....	741
4.6 キシリトール(xylitol) .....	741
4.7 1,3-ジアシルグリセロール(1,3-diacylglycerol) .....	742
4.8 $\gamma$ -オリザノール( $\gamma$ -oryzanol) .....	742
5. 遺伝子工学(genetic engineering) .....	743
5.1 成長ホルモン(growth hormone) .....	743
5.2 インターロイキン (IL) (interleukin) .....	744
5.3 エリスロポエチン(erythropoietin) .....	745
5.4 インスリン(insulin) .....	746
5.5 トロンボポエチン(thrombopoietin) .....	747
5.6 ヒト血清アルブミン (HSA) (human serum albumin) .....	747
5.7 ムコールレンニン(mucor rennin) .....	748
5.8 ウシキモシン(bovine chymosin) .....	748
5.9 トランスグルタミナーゼ(transglutaminase) .....	748
5.10 診断薬(diagnostics) .....	749

## 実用編 環境触媒分野

1. 環境触媒化学の全体像(overview of environmental catalysis) .....	753
1.1 環境触媒の概念(concept of environmental catalysis) .....	753
1.2 環境触媒に要求される特殊な条件(requirements for environmental catalysis) .....	754
1.3 オゾン層破壊原因物質の作用とその分解(mechanism of ozone layer depletion and catalytic decomposition) .....	754
1.4 地球温暖化原因物質の分解(catalytic decomposition of global warming compounds) .....	755

1.5	酸性雨原因物質の分解(catalytic decomposition of compounds to cause acid rain) .....	759
1.6	海洋汚染原因物質の分解(catalytic decomposition of compounds to cause sea pollution) .....	759
2.	環境技術の総合的評価(evaluation of environmental technologies with holistic views) .....	762
2.1	環境を評価すること(basics for evaluation of environment) .....	762
2.2	評価手法の概観(overview of evaluation methods) .....	763
2.3	ライフサイクルアセスメント(LCA) .....	764
2.4	グリーンインデックス(green indices and metrics) .....	765
2.5	グリーンケミストリーと評価指標(indices and metrics for green and sustainable chemistry) .....	768
3.	水処理と触媒(wastewater treatment and catalysts) .....	772
3.1	処理法(wastewater treatment methods) .....	772
3.1.1	沈降分離(separation by sedimentation) .....	772
3.1.2	浮上分離(separation by flotation) .....	772
3.1.3	ろ過(filtration) .....	773
3.1.4	吸着(adsorption) .....	773
3.1.5	生物学的処理(biological treatments) .....	774
3.1.6	触媒処理(catalytic treatments) .....	774
3.2	対象化合物ごとの触媒処理法(applications of catalytic treatments) .....	775
3.2.1	COD(chemical oxygen demand) .....	775
3.2.2	アンモニア(ammonia) .....	776
3.2.3	硝酸(nitric acid) .....	777
3.2.4	含窒素有機化合物(nitrogen organic compounds) .....	778
3.2.5	有機塩素化合物(organochloric compounds) .....	778
3.2.6	環境ホルモン(内分泌かく乱物質)(endocrine disruptors) .....	779
4.	脱硫触媒(hydrodesulfurization catalysts) .....	781
4.1	水素化精製(hydrorefining) .....	781
4.1.1	オレフィン・芳香族の水素化(hydrogenation of olefins and aromatics) .....	781
4.1.2	水素化脱窒素反応(hydrodenitrogenation) .....	783
4.1.3	水素化分解・水素化脱金属(hydrocracking and hydrodemetallization) .....	783
4.2	軽油(gas oils, diesel fuels) .....	785
4.3	水素化脱硫反応(hydrodesulfurization) .....	786
4.4	CoMo触媒(CoMo catalysts) .....	788
4.4.1	概要(outline) .....	788



4.4.2	触媒作用と触媒活性(catalysis and catalysts activity)	788
4.4.3	触媒調製(catalyst preparation)	789
4.4.4	活性点構造(active sites)	790
4.5	排煙脱硫(flue gas desulfurization)	791
4.5.1	アルカリ吸収法(alkali absorption methods)	791
4.5.2	石灰石膏法(lime stone-gypsum methods)	791
4.5.3	活性炭脱硫(desulfurization by active carbons)	792
4.5.4	活性炭素繊維脱硫(desulfurization by activated carbon fibers)	793
5.	脱硝触媒—自動車(deNO <sub>x</sub> catalysts—automobile)	794
5.1	実用触媒(catalysts for practical use)	794
5.1.1	自動車排ガス(automobile exhaust gas)	794
5.1.2	ガソリンエンジンの燃費改善(improvement of fuel consumption of gasoline engine)	795
5.1.3	排ガス浄化触媒の概要(catalysts for purification of exhaust gas)	795
5.1.4	排ガス触媒用基材(substrates for exhaust catalysts)	797
5.1.5	三元触媒(three-way catalysts)	797
5.1.6	NO <sub>x</sub> 吸蔵還元触媒(NO <sub>x</sub> storage-reduction catalysts)	798
5.2	脱硝触媒の基礎(NO <sub>x</sub> removal catalysts)	800
5.2.1	NO 直接分解(direct NO decomposition)	800
5.2.2	NO 選択還元(selective NO reduction)	801
5.3	二元機能触媒(bifunctional catalysts)	806
5.3.1	ゼオライトの細孔を利用した機能複合化(utilization of micropores of zeolite)	807
5.3.2	「NO 酸化機能+NO <sub>2</sub> 還元機能」複合化効果(combination of NO oxidation and NO <sub>2</sub> reduction)	808
5.3.3	複合化による触媒活性点の水熱安定化(hydrothermal stabilization by bifunctionalization)	809
5.4	亜酸化窒素除去(abatement of nitrous oxide (N <sub>2</sub> O))	811
5.4.1	N <sub>2</sub> O 分解(N <sub>2</sub> O decomposition)	811
5.4.2	選択還元(selective catalytic reduction)	811
5.4.3	実用化への道のり(to practical applications)	813
5.5	NO <sub>x</sub> 吸収剤(NO <sub>x</sub> sorbent)	814
5.5.1	NO <sub>x</sub> の除去システム(NO <sub>x</sub> removal systems)	814
5.5.2	NO <sub>x</sub> 吸収反応の基礎的挙動(basic behavior of NO <sub>x</sub> sorption)	814
5.5.3	吸収剤の構成成分(components of NO <sub>x</sub> sorbents)	816
6.	脱硝触媒—固定発生源(deNO <sub>x</sub> catalysts—stationary sources)	818
6.1	アンモニア添加選択還元法(selective catalytic reduction)	818

6.1.1	SCR 触媒(SCR catalysts)	818
6.1.2	脱硝原理と反応機構(principle and reaction mechanism)	820
6.1.3	脱硝システム(SCR systems)	820
6.1.4	劣化原因と耐久性(causes of deterioration and durability)	821
6.2	尿素脱硝(urea SCR)	824
7.	ディーゼルパーティキュレート処理(treatment of diesel particulate matters)	825
7.1	DPF(diesel particulate filter)	826
7.2	PM 酸化用触媒の種類(PM oxidation catalysts)	827
7.3	SOF 酸化型触媒(SOF oxidation catalysts)	827
7.4	燃料添加型触媒(fuel additive catalysts)	828
7.5	溶融易動型触媒(molten salt catalysts)	828
7.6	間接酸化型触媒(indirectly oxidizing catalysts)	830
7.7	PM と NO <sub>x</sub> の同時除去型(diesel particulate-NO <sub>x</sub> reduction systems)	832
8.	有機化合物処理と触媒(catalysts for treating organic compounds)	835
8.1	ダイオキシン(dioxins)	835
8.1.1	ダイオキシン分解技術(dioxin removal technology)	835
8.1.2	触媒成分と調製法(catalyst composition and preparation)	836
8.1.3	適用分野(application)	837
8.2	VOC(volatile organic compounds)	837
8.2.1	触媒燃焼法(catalytic combustion)	837
8.2.2	光触媒法(photocatalysis)	837
8.2.3	オゾン触媒法(ozonation using catalysts)	838
8.3	産業排ガス(industrial gaseous emission)	839
8.3.1	触媒成分と使用条件(catalyst composition and operating conditions)	839
8.3.2	触媒寿命(catalyst life)	840
8.4	CFC, PFC(chlorofluorocarbon, perfluorocarbon)	841
8.4.1	CFC 分解触媒(CFC decomposition catalysts)	841
8.4.2	PFC 分解触媒(PFC decomposition catalysts)	842
8.5	PCB(polychlorinated biphenyls)	843
8.5.1	光分解法(photolysis)	843
8.5.2	水素化脱塩素法(reductive dechlorination)	843
8.5.3	アルカリ触媒分解法(base catalyzed decomposition)	843

## 展望編

1. ナノテクノロジーにおける触媒(catalysts for nanotechnology)	847
1.1 序(introduction)	847
1.2 金ナノ粒子触媒(nanoparticulate gold catalysts)	848
1.2.1 金ナノ粒子の触媒作用の発見(discovery of catalysis by gold nanoparticles)	848
1.2.2 金ナノ粒子触媒の調製法(preparation methods for nanoparticulate gold catalysts)	848
1.2.3 金ナノ粒子の触媒特性の発現条件(requirements for the genesis of catalysis by gold nanoparticles)	849
1.2.4 金ナノ粒子触媒の作用機構(mechanism of catalysis by gold nanoparticles)	851
1.2.5 触媒活用のポイント(points for catalyst utilization)	852
1.3 金属・有機物ハイブリッドナノ構造体の触媒作用(catalysis of metal-organic hybrid nano-structured systems)	853
1.3.1 金属・有機物ハイブリッドナノ構造体(metal-organic hybrid nano-structured systems)	853
1.3.2 調製法(preparation method)	854
1.3.3 構造と触媒作用(structure and catalysis)	855
1.3.4 将来展望(future aspects)	857
1.4 担持クラスター触媒の構造解析と触媒作用(structural analysis and catalysis of supported metal cluster catalysts)	858
1.4.1 担体の種類(supports)	858
1.4.2 担持クラスター触媒の設計法(chemical design of supported cluster catalysts)	858
1.4.3 担持クラスター触媒の構造解析法(structural analysis of supported cluster catalysts)	858
1.4.4 担持クラスター触媒の活性構造と触媒作用(active structures and catalyses of supported cluster catalysts)	859
1.4.5 ナノ粒子前駆体としての担持クラスターと触媒作用(supported clusters as precursors for nanoparticles and their catalyses)	861
1.4.6 触媒活性構造と触媒反応機構(active structure and catalytic reaction mechanism)	863
1.4.7 課題(task)	863
1.5 シップインボトル法—ナノ構造触媒技術と触媒機能(“ship-in-bottle” catalyst technology and catalytic function)	864
1.5.1 金属クラスターのマイクロ細孔内シップインボトル合成法(ship-in-bottle synthesis of metal clusters in micropores)	864

1.5.2	細孔内のナノ構造物質の触媒特性とナノ空間反応場(catalytic performances of nano-structured materials in micropores and nano-spatial chemistry) .....	865
1.5.3	メソ細孔内のナノ粒子とナノ細線の鋳型合成と触媒特性(templating synthesis of nano-particles and wires in mesoporous materials and their catalysis) .....	866
1.6	<b>ナノ細孔空間内の反応性(reactivities in solid nanospaces)</b> .....	869
1.6.1	分子ポテンシャルからみたナノ空間の意義(enhanced interaction potential fields in solid nanospaces) .....	869
1.6.2	ナノ空間の触媒作用(catalysis of solid nanospace) .....	871
1.6.3	ナノ空間により強調化された化学触媒作用(catalysis enhanced by solid nanospaces) .....	872
2.	<b>クラスター触媒(cluster catalysts)</b> .....	875
2.1	序(introduction) .....	875
2.2	<b>金属クラスターの電子構造と反応性(electronic structures and reactivity of metal clusters)</b> .....	876
2.2.1	電子殻構造(electron shell structure) .....	876
2.2.2	構造揺動(fluctuating states) .....	877
2.2.3	金属クラスターの吸着反応性の測定法(measurements for adsorption reactivity of metal clusters) .....	880
2.2.4	金属クラスターの吸着反応性—電子構造との相関(adsorption reactivity of metal clusters—correlation with electronic structure) .....	881
2.2.5	貴金属クラスターの反応性—電子殻構造との相関(reactivity of precious metal clusters—correlation with electron shell structure) .....	884
2.3	<b>原子数制御されたクラスターの反応(reactions of size-controlled clusters)</b> .....	885
2.3.1	原子数制御されたクラスターの反応—固体表面担持系(reactions of size-controlled clusters—deposited on solid surfaces) .....	885
2.3.2	原子数制御されたクラスターの反応—気相孤立系(reactions of size-controlled clusters—isolated system in the gas phase) .....	889
2.4	<b>クラスター触媒の応用(cluster catalyst for practical use)</b> .....	892
2.4.1	クラスター粒子の合成法(preparation method of cluster catalyst) .....	893
2.4.2	新規な取り組み状況(challenge for new practical use) .....	894
3.	<b>グリーンケミストリーと触媒(green chemistry and catalysts)</b> .....	897
3.1	アトムエコノミー(atom economy) .....	897
3.2	グリーンケミストリーを指向した触媒設計(design of high performance	

199	<b>catalysts for green chemistry)</b> .....	898
3.2.1	分子状酸素を酸化剤とするアルコール酸化反応(alcohol oxidation using molecular oxygen as an oxidant) .....	898
3.2.2	炭素-炭素結合形成反応(carbon-carbon bond-forming reaction) .....	900
3.2.3	炭素ガスの化学的固定化(chemical fixation of carbon dioxide) .....	901
3.3	<b>プロピレンオキシド(propylene oxide)</b> .....	903
3.3.1	開発の現状(the state of the art) .....	903
3.3.2	今後の課題(future subjects) .....	905
3.4	<b>フェノール(phenol)</b> .....	905
3.4.1	特殊酸化剤の利用(utilization of oxidizing reagents) .....	905
3.4.2	還元剤の混合による酸素の活性化(activation of oxygen with reductants) .....	906
3.4.3	膜型反応器の利用(membrane reactor) .....	906
3.5	<b>固体酸プロセス(solid acid catalytic processes)</b> .....	907
3.5.1	固体酸とグリーンケミストリー(solid acids in green chemistry) .....	907
3.6	<b>プラスチック分解と触媒(catalysts for plastic degradation and dehalogenation of plastic derived oil/gas)</b> .....	909
3.6.1	プラスチックの熱分解挙動(thermal degradation of plastics) .....	909
3.6.2	プラスチック分解における触媒プロセスの可能性(applicability of catalysts to plastic degradation processes) .....	911
3.6.3	分解槽における触媒分解の可能性(catalytic degradation of melted plastics) .....	911
3.6.4	有機ハロゲン化合物の触媒・収着の2元機能精製材プロセス(catalytic/sorptive refinement of halogenated organics in plastic derived oil) .....	912
3.7	<b>貴金属触媒のリサイクル(recycling of precious metals in catalysts)</b> .....	913
3.7.1	貴金属の資源(precious metal resources) .....	913
3.7.2	貴金属触媒の重要性(importance of precious metal catalysts) .....	914
3.7.3	リサイクルの実際(recycling of precious metals) .....	914
3.7.4	回収精製方法(recovery of precious metals) .....	915
3.7.5	含有貴金属量の決定(determination of precious metal content) .....	915
4.	<b>マイクロリアクタにおける触媒(catalysts for microreactor)</b> .....	916
4.1	<b>マイクロリアクタの特徴(characteristics of microreactor)</b> .....	916
4.2	<b>マイクロリアクタの特徴を活かした触媒反応(catalytic reactions taking advantage of microreactor)</b> .....	919
4.2.1	均一系触媒を用いる反応(catalytic reactions by using homogeneous catalysts) .....	919

4.2.2	不均一系触媒を用いる反応(catalytic reactions by using heterogeneous catalysts) .....	919
4.2.3	触媒スクリーニング(catalyst screening) .....	922
<b>5.</b>	<b>超臨界流体における触媒(catalysts in supercritical fluid)</b> .....	<b>924</b>
5.1	概論(introduction) .....	924
5.1.1	超臨界流体の特徴(characteristics of supercritical fluid) .....	924
5.1.2	均一系触媒と固体触媒への適用(application to homogeneous and heterogeneous catalysis) .....	924
5.1.3	超臨界相触媒反応の分類(catalytic reactions in supercritical phase) .....	925
5.2	各種超臨界相触媒反応系(catalysis in various supercritical phase) .....	925
5.2.1	超臨界二酸化炭素中の触媒反応(catalysis in supercritical carbon dioxide) .....	925
5.2.2	超臨界二酸化炭素中における酵素反応(enzymatic reactions in supercritical carbon dioxide) .....	927
5.2.3	超臨界水中の触媒反応(catalysis in supercritical water) .....	927
5.2.4	超臨界アルコール中の触媒反応(catalysis in supercritical alcohols) .....	928
5.2.5	超臨界炭化水素における触媒反応(catalysis in supercritical hydrocarbon) .....	929
5.3	未来に向けて(future opportunities) .....	931
<b>6.</b>	<b>高周波を用いる触媒(catalysts using r.f. electric power)</b> .....	<b>932</b>
6.1	高周波を用いる触媒の設計(design of catalysts using r.f. electric power) .....	932
6.2	高周波で生じる共鳴振動による触媒機能の制御(control of catalysis by resonance oscillation) .....	932
6.2.1	共鳴振動の発生(generation of resonance oscillation) .....	932
6.2.2	触媒活性化に有効な振動モード(vibration modes useful for catalyst activation) .....	933
6.2.3	分極場の効果(effects of polarized surfaces) .....	935
6.2.4	振動周波数の効果(effects of resonance frequency) .....	935
6.2.5	格子変位(dynamic lattice displacement) .....	936
6.2.6	仕事関数の変化(changes in work function) .....	937
6.3	高周波で生じる弾性表面波による触媒機能の制御(control of catalysis by surface acoustic waves(SAW)) .....	938
6.3.1	弾性表面波の発生(generation of surface acoustic waves(SAW)) .....	938
6.3.2	触媒活性化(catalyst activation) .....	938
6.3.3	金属酸化物の吸着作用に及ぼす効果(effects of SAW on adsorption) .....	938

---

over metal oxide surfaces) .....	939
6.3.4 格子変位(dynamic lattice displacement) .....	939
6.3.5 仕事関数の変化(changes in work function) .....	939
<b>7. カーボンナノチューブ、カーボンナノホーンと触媒(carbon nanotubes, carbon nanohorns and catalysts) .....</b>	<b>941</b>
7.1 合成法(preparation) .....	941
7.2 担持触媒(supported catalysts) .....	942
7.3 特異性(specificity) .....	944
7.4 水素吸着(hydrogen adsorption) .....	946
<b>8. メンブレンリアクタにおける触媒(catalysis in membrane reactor) .....</b>	<b>949</b>
8.1 メンブレンリアクタの分類とその効用(classification of membrane reactors and its benefits) .....	950
8.1.1 メンブレンエクストラクタ(membrane extractors) .....	950
8.1.2 メンブレンディストリビュータ(membrane distributors) .....	950
8.1.3 メンブレンコンタクタ(membrane contactors) .....	951
8.2 メンブレンリアクタの実例(examples of membrane reactor) .....	951
8.2.1 多孔質支持体(porous support) .....	951
8.2.2 金属膜を用いたメンブレンリアクタ(reactors using metal membrane) .....	951
8.2.3 多孔質膜を用いたメンブレンリアクタ(reactors using porous membrane) .....	953
8.2.4 電子-イオン混合導伝性セラミックを用いたメンブレンリアクタ(reactors using mixed ion conducting ceramic) .....	955
<b>9. 新規分析・解析技術と触媒(new characterization techniques for catalysts) .....</b>	<b>957</b>
9.1 XAFS(X-ray absorption fine structure) .....	957
9.1.1 X線吸収スペクトル(X-ray absorption spectrum) .....	957
9.1.2 EXAFS(extended X-ray absorption fine structure) .....	958
9.1.3 XANES(X-ray absorption near edge structure) .....	959
9.2 HKSF法(HKSF method) .....	960
9.2.1 マイクロ孔の解析(analysis of micropore) .....	960
9.2.2 HKSF法(HKSF method) .....	960
9.2.3 測定と解析(measurement and analysis) .....	961

10. ゼオライトの新しい合成方法(new methods for zeolite synthesis) .....	964
10.1 特徴ある合成法(unique synthetic methods) .....	965
10.1.1 フッ化物を用いる方法 (fluoride methods) .....	965
10.1.2 ゲルマニウムを用いる方法 (germanium methods) .....	965
10.1.3 前駆体を用いる方法 (precursor method) .....	965
10.2 構造的特徴(structural features) .....	966
10.2.1 14員環ゼオライト (14-membered ring zeolites) .....	966
10.2.2 大孔径多次元細孔ゼオライト (large-pore, multi-dimensional zeolites) .....	967
11. 新規触媒材料(future materials for catalysts) .....	969
11.1 メソ多孔体(mesoporous materials) .....	969
11.1.1 シリケート系 (silicate materials) .....	969
11.1.2 有機シリカハイブリッド材料 (organic-silica hybrid materials) .....	970
11.1.3 非シリカ系酸化物 (non-silicious oxides) .....	974
11.1.4 鋳型合成炭素材料 (template-synthesized carbon materials) .....	976
11.2 ヘテロポリ酸(heteropolyacids) .....	979
11.2.1 置換・担持型ポリオキソメタレートを用いた分子状酸素を酸化剤とした選択酸化触媒作用 (selective oxidation with molecular oxygen by transition-metal-substituted polyoxometalates) .....	979
11.2.2 ヘテロポリ酸塩多孔体 (porous heteropoly compounds) .....	985
11.2.3 球状, リング状ナノポリ酸 (fullerene-and nano-ring-like polyoxometalates) .....	988
12. コンビナトリアルケミストリーにおける触媒(combinatorial chemistry for catalysts) .....	993
12.1 コンビナトリアル触媒調製 (combinatorial preparation of catalysts) .....	993
12.2 スプリット合成法 (split synthesis) .....	994
12.3 コンビナトリアル触媒ライブラリのスクリーニング (screening for combinatorial library of catalysts) .....	996
13. コンピュータケミストリーと触媒 (computer chemistry and catalysis) .....	1000
13.1 分子軌道法 (molecular orbital method) .....	1000
13.1.1 既知構造計算 (1点計算) (single point calculation) .....	1000
13.1.2 構造最適化計算 (geometry optimization calculation) .....	1001
13.1.3 半経験的分子軌道法 (semi-empirical MO method) .....	1002



13.1.4	非経験的分子軌道法(non-empirical MO method, ab initio MO method) .....	1002
13.1.5	基底関数(basis set) .....	1003
13.1.6	結晶軌道法(crystal orbital method) .....	1004
13.2	分子力学法(molecular mechanics method) .....	1005
13.3	分子動力学法(molecular dynamics method) .....	1005
13.3.1	概要(outline) .....	1005
13.3.2	原子間ポテンシャル(atom-atom potential) .....	1006
13.4	モンテカルロ法(Monte Carlo method) .....	1006
13.5	第1原理分子動力学法(first principle molecular dynamics method) .....	1006
<hr/>		
14.	温室効果ガスの化学的利用(chemical use of greenhouse gases) .....	1007
<hr/>		
14.1	メタン(methane) .....	1007
14.1.1	メタンの水蒸気改質(steam reforming of methane) .....	1007
14.1.2	メタンからの青酸合成(cyanogens gas production from methane) .....	1007
14.1.3	塩素化メタンの製造(chloromethane production) .....	1007
14.1.4	メタンの酸化カップリング(oxidative coupling of methane) .....	1007
14.1.5	メタンの部分酸化反応(partial oxidation of methane) .....	1009
14.1.6	メタンの官能基化(functionalization of methane) .....	1010
14.2	CO <sub>2</sub> (carbon dioxide) .....	1010
14.2.1	温室効果ガス; CO <sub>2</sub> (greenhouse gas; CO <sub>2</sub> ) .....	1010
14.2.2	CO <sub>2</sub> の再資源化技術の概略(recycling technology of CO <sub>2</sub> ) .....	1011
14.3	亜酸化窒素(nitrous oxide) .....	1016
14.3.1	メタン(methane) .....	1016
14.3.2	ベンゼン(benzene) .....	1016
14.3.3	プロペン(propene) .....	1017
14.3.4	アルコールなど(alcohol etc.) .....	1018
<hr/>		
15.	光触媒(photocatalysts) .....	1019
<hr/>		
15.1	半導体光触媒(semiconductor photocatalysts) .....	1019
15.1.1	半導体光触媒の構造(structure of semiconductor photocatalysts) .....	1020
15.1.2	光触媒反応(photocatalytic reactions) .....	1020
15.1.3	チタニア光触媒(TiO <sub>2</sub> photocatalysts) .....	1021
15.1.4	水の分解光触媒(water splitting photocatalysts) .....	1022
15.1.5	可視光応答性光触媒(visible light responding photocatalysts) .....	1023
15.1.6	2段階光触媒システム(two-step photocatalytic systems) .....	1024

15.2	ゼオライト系光触媒(zeolite photocatalysts) .....	1025
15.2.1	ゼオライト細孔内に構築した金属酸化物種の光触媒作用 (photocatalysis of metal oxides anchored within zeolite cavities and framework) .....	1025
15.2.2	ゼオライト細孔内に構築した遷移金属イオンの光触媒作用 (photocatalysis of transition metal ions exchanged within zeolite cavities) .....	1029
15.3	環境浄化(environmental purification) .....	1031
15.3.1	汚染大気の浄化技術(technologies for purification of poluted air) .....	1031
15.3.2	室内空間の浄化技術(technologies for indoor air quality improve- ment) .....	1033
15.3.3	水の浄化技術(technologies for purification of contaminated water) .....	1034
16.	マイクロ波照射加熱による触媒類似の化学反応(catalytic reac- tions induced by microwave energy absorption) .....	1035
16.1	マイクロ波と物質の相互作用(interactions of materials with microwave energy) .....	1035
16.2	マイクロ波熱触媒反応の特色(characteristics of catalysis enhanced by microwave) .....	1036
16.3	マイクロ波熱触媒反応実例(typical microwave-promoted chemical reac- tions) .....	1036

## 第IV部

### 資料編

1.	用途別市販触媒一覧 .....	1041
2.	市販触媒用担体一覧 .....	1066
3.	触媒メーカー, 担体メーカーの略称 .....	1068

\*

和文索引 .....	1069
欧文索引 .....	1107