

目 次

1 章 触媒化学の概要

1.1 序 論	1
1.1.1 触媒とは何か	1
1.1.2 熱力学平衡と反応速度	2
1.1.3 触媒の種類	4
1.1.4 触媒発展の歴史	7
1.2 分子の活性化と触媒機能の発現	8
1.2.1 分子の活性化	8
1.2.2 触媒機能の発現	11
1.3 触媒の利用	14
1.3.1 石油ベースの化学工業	14
1.3.2 広がる触媒の応用分野	15
1.4 触媒の研究と設計	15
1.4.1 触媒の研究法	15
1.4.2 触媒化学と関連分野	16
コラム プレンステッド酸とルイス酸	11
カルボニウムイオンとカルベニウムイオン	11
二元機能触媒	12
ゼオライトおよびメソ多孔体の合成	14

2 章 触媒反応プロセス

2.1 プロセス開発と触媒	18
2.2 プロセス開発のニーズ	20
2.3 グリーンケミストリーと触媒プロセス	22
2.4 生産コストと触媒の寿命	27
2.5 反応器の分類と選定	30
コラム グリーンケミストリーの評価指標	24

3 章 エネルギーと化学原料製造のための触媒プロセス

3.1 石油の利用と触媒化学	33
----------------------	----

3.2	石油脱硫のプロセス	35
3.3	炭化水素のクラッキング	37
3.3.1	クラッキング反応の概要	39
3.3.2	触媒と反応機構	39
3.3.3	工業プロセス	44
3.4	ナフサの接触改質	44
3.4.1	反応の概要	45
3.4.2	触媒と反応機構	47
3.4.3	工業プロセス	48
3.5	水素および合成ガスの製造（炭化水素の水蒸気改質）	49
3.5.1	反応の概要（熱力学的考察）	49
3.5.2	触媒と反応機構	51
3.5.3	工業プロセス	52
3.6	無機化学品の製造	53
3.6.1	アンモニアの製造	53
3.6.2	硝酸の製造	56
3.6.3	硫酸の製造	58
3.7	天然ガスの利用	60
3.7.1	フィッシャー・トロプシュ合成	62
3.7.2	MTG および MTO 反応	64
3.7.3	ケミカルズの合成	65
コラム	オクタン価	35
	アンモニア合成用の新しい触媒	57
	シェールガスとメタンハイドレート	61
	バイオマス	61

4 章 石油化学工業の概要 67

コラム	ナフサ	67
	エチレン製造は熱分解	67

5 章 化学品製造のための触媒プロセス—不均一系固体触媒反応—

5.1	水素化	71
5.1.1	ベンゼンの水素化によるシクロヘキサンの製造	71
5.1.2	ベンゼンの部分水素化によるシクロヘキセンの合成	72
5.1.3	油脂の選択的水素化	73
5.1.4	オレフィンの水素化精製	74

5.1.5	水素化脱アルキル	75
5.2	酸化反応	76
5.2.1	酸化反応プロセスの種類と触媒の機能	76
5.2.2	エチレンオキシドやプロピレンオキシドの製造	77
5.2.3	プロピレンのアリル酸化とアンモ酸化	79
5.2.4	無水マレイン酸および無水フタル酸の製造	82
5.2.5	メタノールからのホルムアルデヒド製造	85
5.2.6	塩化ビニルの製造（オキシ塩素化法）	86
5.2.7	塩化水素の酸化による塩素製造プロセス	87
5.3	脱水素触媒	87
5.3.1	エチルベンゼンの脱水素によるスチレンの製造	87
5.3.2	アルコールの脱水素	88
5.3.3	<i>n</i> -ヘキサンの脱水素環化によるベンゼンの製造	88
5.4	酸触媒反応	89
5.4.1	炭化水素の変換	89
5.4.2	オレフィンの水和	91
5.5	固体塩基触媒反応	94
5.5.1	2,6-キシレノールの合成（フェノールのメタノールによるアルキル化）	94
5.5.2	5-エチリデンビスシクロ [2.2.1] ヘプト-2-エンの合成 （5-ビニルシクロ [2.2.1] ヘプト-2-エンの二重結合移行）	94
5.5.3	<i>o</i> -トリルペンテンの合成（ <i>o</i> -キシレンのブタジエンによる側鎖 アルキル化）-Amoco プロセスの第1段階	95
5.5.4	ビニルシクロヘキサンの合成（シクロヘキシルエタノールの脱水）	95
5.5.5	ジイソプロピルケトンの合成	96
5.6	オレフィンのメタセシス	96
コラム	ϵ -カプロラクタムの製法	73
	プロピレンのアリル酸化とアンモ酸化の触媒化学	83
	クメン法	90
	アルコールの脱水反応機構	95

6章 化学品製造のための触媒プロセス—均一系触媒反応—

6.1	均一系触媒プロセスの歴史	99
6.2	有機金属化合物の基本反応	102
6.3	均一系触媒反応プロセス	104
6.3.1	一酸化炭素を用いるプロセス	104
6.3.2	オレフィンの重合プロセス	107

6.3.3	オレフィンのメタセシス	115
6.3.4	クロスカップリング反応	116
6.3.5	オレフィンとジエンへの付加反応	117
6.3.6	均一系酸化反応プロセス	118
6.3.7	ポリマーの製造プロセス	122
6.3.8	均一系不斉触媒反応	125
コラム	ポリプロピレン製造用触媒の改良	111

7 章 環境関連触媒

7.1	脱硝触媒	127
7.1.1	NO _x の低減法	127
7.1.2	アンモニアによるNO _x の接触還元	128
7.1.3	炭化水素または含酸素有機化合物を還元剤とするNO _x 選択接触還元	129
7.2	自動車用触媒	130
7.2.1	ガソリンエンジン車の触媒	130
7.2.2	ディーゼルエンジン車の触媒	133
7.3	燃料電池システム	137
7.3.1	燃料電池の種類と電極触媒	137
7.3.2	燃料改質システムと触媒	139
7.4	光触媒	141
7.4.1	半導体光触媒の原理と機能	141
7.4.2	水の光分解	142
7.4.3	光触媒による環境浄化	144
7.4.4	超親水性の活用	145
7.5	触媒燃焼と関連分野	145
7.5.1	触媒燃焼の温度域と応用	146
7.5.2	触媒燃焼用触媒	146
7.5.3	ガスタービンへの応用	147
7.5.4	悪臭成分や揮発性有機化合物の触媒燃焼処理	147
7.5.5	家電製品，自動車用部品などへの応用	148
7.6	その他の環境触媒	150
7.6.1	触媒湿式酸化分解	150
7.6.2	常温型CO酸化触媒	150
7.6.3	医療用N ₂ Oの触媒分解	150
コラム	日本の自動車排出ガス規制（新車）の変遷	130
	ハニカムセルの断面形状	131

冷間始動時の排ガス浄化	132
オゾン層における触媒反応	151

8 章 固体触媒の材料と調製法

8.1 固体触媒の構成，材料，機能	152
8.1.1 主な固体触媒の材料，機能	152
8.1.2 触媒担体	156
8.1.3 触媒調製例のフローチャートと主要工程	158
8.2 触媒調製法の種類と特徴	159
8.2.1 沈殿法	159
8.2.2 ゲル化法，ゾル-ゲル法	160
8.2.3 含浸法	160
8.2.4 イオン交換法	161
8.2.5 水熱合成法	162
8.2.6 メソポーラス材料の合成法	162
8.2.7 その他の方法	162
8.3 触媒調製法の単位操作と制御因子	163
8.3.1 沈殿生成	163
8.3.2 ろ過，水洗	164
8.3.3 含浸，イオン交換	164
8.3.4 乾燥	165
8.3.5 熱処理，焼成	166
8.3.6 還元	167
8.3.7 その他の活性化処理法	168
8.4 固体触媒のマイクロ構造，活性成分の分布，分散度の制御	168
8.4.1 非担持触媒のマイクロ構造の制御	168
8.4.2 担持触媒における活性成分の分布制御	170
8.5 固体触媒の使用環境と最適物理的因子	171
8.5.1 固体触媒の物理的因子の最適化	171
8.5.2 固体触媒の形状と特徴	172
コラム 擬液相	156
光析出法	163

9 章 吸着と不均一触媒反応速度式

9.1 吸着	175
9.1.1 物理吸着と化学吸着	175

9.1.2 吸着熱	178
9.1.3 吸着量の関数	179
9.1.4 吸着等温線	180
9.2 不均一系触媒反応のメカニズムと速度式	187
9.2.1 不均一系触媒反応の速度	187
9.2.2 Langmuir-Hinshelwood 機構と Rideal-Eley 機構	189
9.2.3 Langmuir-Hinshelwood 機構の速度式	189
9.2.4 触媒の活性試験	192
9.2.5 同位体を用いる反応機構の推定	195

10 章 固体触媒のキャラクタリゼーション

10.1 吸着を利用するキャラクタリゼーション	198
10.1.1 細孔分布	198
10.1.2 金属の露出表面積の測定	199
10.1.3 表面酸性・塩基性の測定	200
10.2 触媒の表面とバルクの分光学的なキャラクタリゼーション	202
10.2.1 XRD	205
10.2.2 電子顕微鏡	206
10.2.3 XPS	208
10.2.4 AES	210
10.2.5 LEED	210
10.2.6 EXAFS : 広域 X 線吸収微細構造	217
10.2.7 XANES : X 線吸収端近傍微細構造	219
10.2.8 ESR	220
10.2.9 IR	222
10.2.10 NMR	224
10.2.11 STM	225
10.3 表面吸着種の状態	226
10.3.1 昇温脱離法	226
10.3.2 IR	227
10.3.3 EELS	229
巻末課題	231
参考書	233
索引	235