

分離技術シリーズ 23

# 吸着材とその応用

## —その性質と利用法—

竹内 雍・望月 和博 編著

分離技術会

## 「分離技術シリーズ」の継続刊行に当たって

研究開発とは、新しい原理や現象を発見することばかりではなく、原理・現象は既知であっても新しい方法を案出するとか、あるいは新しい組み合わせを創案することによって、新しい技術、商品、品質、機能、用途、方法等々を創出することである。

本会は主に化学品の製造に関わる分離技術を包括的に扱う専門の学会であるが、研究者・技術者を糾合して正に関連分野の研究・開発の進展を目指し、急激な変化に対応しようと心がけている。

すでに何冊か刊行された本シリーズのなかには、本学会誌「分離技術」誌に掲載された論文によっているものもある。しかし、論文に記載された技術を取捨選択し、それらの組み合わせを考えて執筆されたものであるから、上述の視点から成書としての価値は高いといえるであろう。

さて、最近あらたな構想のもとに、本委員会よりいろいろな分野の権威者に執筆を依頼し、本シリーズに書き下ろしの著作物が加えられることになったのは誠に慶賀に堪えない次第である。分離技術の益々の発展に寄与することは勿論、読者諸兄姉に研鑽のお役に立つものと信じている。

分離技術シリーズ出版委員会  
委員長 小島博光

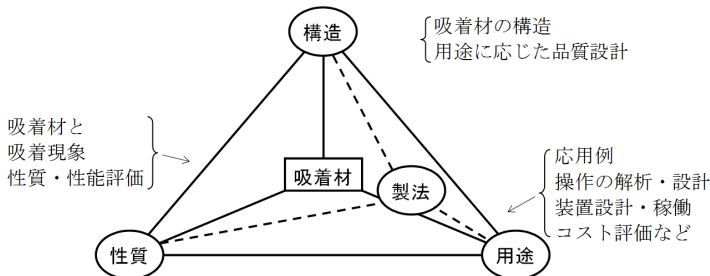
# 序

分離技術，あるいは分離操作は，対象によってプロセスや材(分離材)を選び，操作条件を定めて適切な作業を行ってはじめて初期の効果が得られるものであるから，優れた材料がなくては分離技術は成り立たないことはいうまでもないことであろう．とりわけ，吸着技術はまさに分離材である吸着材によって結果が大方決まってしまうので，操作条件を決めることは二の次となることも少なくないようである．

ところで，吸着技術はとかく他の技術と併用されたり脇役を勤めてきたが，最近ではハイテクあるいは高度分離精製技術の中核的存在となってきた感がある．その結果，吸着材について平易な解説書を望む声が高まっている．そこで，ご要望に応じて生まれたのが本書である．

本書は，分離技術者のみならず，新たに吸着操作に取り組む人達を対象に，吸着材の構造に基づく性質，製法，および応用をできる限り易しく述べたものである．

吸着材をめぐる問題は，簡単にいえば下図のような四面体で表わせるであろう．ケミカルエンジニアにとって必要な操作設計，あるいは操作の解析の立場で書かれた著書や解説書は多いが，吸着材とは何か，それはどのような構造をしたもので，どのような性質を持つように作られたか，また，それは日常的，あるいは工業的にどのように使われているかを関連づけながら易しく解説したものはあまり見られないように思われる．そこで，本書はそのような事項について質問と回答(Q & A)方式で易しく説明している．



本書は五章と付録からなる。第1章および第2章では、基礎的あるいは共通の事項を説明している。すなわち、第1章では、吸着材と吸着現象について、特に吸着平衡をまとめて説明した。第2章では、吸着材の構造や性質とその測定・評価法を概説している。また、吸着性能を決める鍵となるのは、吸着平衡のほかに吸着速度であって、それを理解し、測定することは、多少高度な知識を必要とする事項であって、吸着操作の解析や設計のために必要と考えられるので、第2章後半にてできるだけ平易に解説した。

第3章から第5章は吸着材を、1. 炭素質、2. シリカ・アルミナ系およびゼオライト系、3. 高分子系に大別して、製法、構造、性質、用途の全般にわたり企業の専門家に解説頂いた。

本書は入門書とはいえ、かなりレベルの高い内容を扱っているので、あらためて初心者のために、本書の使い方を示して置きたい。特定の吸着材、例えば活性炭について知識を得たい方は、第1章の1.1はじめにを読んでから第3章へ進み、その後、必要に応じて性質や性能の評価を述べた第2章に戻り、さらに吸着平衡や吸着速度について第1章後半を読むようにして頂ければ、次第に深い知識が得られるであろう。こうして、さらに高度な専門書や便覧類を使いこなせるようになるであろう。

幸いにもわが国では、ほとんどすべての種類の吸着材が国産品として市販されている上に、その製造技術も世界的に高い水準にある。ご希望に応じて吸着材を選べば安心して利用できることを述べて置きたい。

終わりに、本書刊行にあたり、種々ご示唆、ご鞭撻頂いた分離技術会出版委員会の委員各位、特に三澤忠則氏(事務局長)に深謝の意を表す。

2011年10月

編集者 竹内 雍・望月 和博

# 目 次

第 1 章 吸着材と吸着現象	1
1. 1 はじめに	1
1. 2 吸着という現象とその物理化学的説明	6
1. 3 吸着平衡, 特に吸着等温線について	16
1. 3. 1 はじめに	16
1. 3. 2 固体表面への吸着	17
1. 3. 3 単一成分系の吸着等温線	19
1. 3. 4 I 型の吸着等温線について	20
1. 3. 5 Langmuir の吸着等温式とその温度変化	23
1. 3. 6 他の型の吸着等温線および細孔空間での吸着について	27
1. 3. 7 熱力学に基づく吸着式-吸着ポテンシャル理論	29
1. 3. 8 多成分系の吸着平衡-特に吸着等温線について	33
1. 4 吸着速度-吸着における物質移動-について	35
1. 4. 1 はじめに	35
1. 4. 2 単一成分の固定層吸着について	37
1. 4. 3 吸着質の移動過程-境膜拡散と粒内拡散-および 固定層吸着の基本式	42
1. 5 脱離・再生について	43
1. 6 吸着を応用した工業的操作の概要と吸着操作・装置	44
1. 7 おわりに	48
第 2 章 吸着材の性質および吸着性能の測定・評価	50
2. 1 はじめに	50
2. 2 吸着材の物性とその測定	50
2. 2. 1 粒形と粒子構造および粒径	53
2. 2. 2 吸着材および吸着材粒子層の性質	54
2. 2. 3 吸着材粒子の比表面積	58

2. 2. 4	細孔構造, 細孔容積, 細孔径とその分布	
	—細孔容積の測定法—	58
2. 3	吸着材の化学的性質—耐熱性, 耐薬品性, 使用中の 性能変化(劣化)など—	64
2. 3. 1	吸着材の耐熱性	64
2. 3. 2	吸着材の耐薬品性	65
2. 3. 3	吸着材の使用中の性能低下(劣化)	66
2. 4	吸着性能の測定・評価—吸着平衡と吸着速度	68
2. 4. 1	単一成分系の吸着の測定	69
2. 4. 2	単一成分系の吸着速度測定とその解析	76
2. 4. 3	その他の方法	86
2. 5	データの利用—簡単な単一成分系吸着操作の設計—	87
2. 6	多成分系吸着について—測定と解析—	88
2. 6. 1	はじめに	88
2. 6. 2	多成分系の吸着平衡測定とその解析	88
2. 6. 3	多成分系の吸着速度の測定と解析 —特に流通式吸着法について—	93
2. 7	おわりに	97
第3章	活性炭—製法, 構造と性質および用途	98
3. 1	はじめに	98
3. 2	粉末炭, 粒状炭および成型炭	99
3. 2. 1	活性炭の分類について	99
3. 2. 2	各活性炭の代表的な製造方法	103
3. 2. 3	気相用活性炭の用途とその具体例	106
3. 2. 4	液相用活性炭の用途とその具体例	116
3. 2. 5	活性炭を使った吸着実験について	126
3. 3	繊維状活性炭(ACF)	127
3. 3. 1	はじめに	127
3. 3. 2	ACFの性質	128
3. 3. 3	物性の測定方法	129
3. 3. 4	ACFの特徴	131

3. 3. 5	ACFの製法と用途	133
3. 3. 6	その他	137
3. 4	触媒および触媒担体としての活性炭	138
3. 4. 1	はじめに	138
3. 4. 2	触媒担体としての利用	138
3. 4. 3	触媒としての利用	141
3. 4. 5	活性炭に求められる性能のまとめ	141
3. 5	おわりに	142
<b>第4章</b>	<b>シリカ・アルミナ系吸着材—製法、構造と性質および用途</b>	<b>144</b>
4. 1	はじめに	144
4. 2	シリカ・アルミナ系吸着材	145
4. 2. 1	はじめに	145
4. 2. 2	ネオビードMSCの製法	148
4. 3	スメクタイト系吸着材	151
4. 3. 1	酸性白土	151
4. 3. 2	活性白土	152
4. 4	シリカマグネシア系吸着材(ミズカライフ)について	156
4. 4. 1	ミズカライフの物性と吸湿特性	156
4. 4. 2	ミズカライフの新しい利用	158
4. 5	ゼオライト系吸着材	159
4. 5. 1	ゼオライトの構造と性質	159
4. 5. 2	ゼオライト(A, X型)およびハイシリカゼオライトの製法	162
4. 5. 3	ゼオライトの用途	165
4. 6	触媒および触媒担体としてのゼオライト	171
4. 7	その他の新規のゼオライト吸着剤	173
4. 8	おわりに	174
<b>第5章</b>	<b>高分子吸着材ほか—製法、構造と性質および用途</b>	<b>176</b>
5. 1	はじめに	176
5. 2	高分子吸着材の製法	177

5. 3	高分子吸着材の構造と性質	181
5. 3. 1	疎水性	182
5. 3. 2	細孔分布	183
5. 4	高分子吸着材の応用	185
5. 4. 1	液体中の特定成分の分離	186
5. 4. 2	キレート樹脂による特殊廃水処理	188
5. 5	イオン交換樹脂および新規の高分子吸着材	191
5. 6	おわりに	193
	索引	195



## 執筆者

### 竹内 雍(編集者)

明治大学名誉教授, 分離技術会名誉会員,  
序文, 第1章, 第2章 2.1, 2.2, 2.3, 2.7, 第3章 3.1, 3.5, 第4章 4.1,  
4.8, 第5章 5.1, 項目索引

### 望月 和博(編集協力者)

東京大学生産技術研究所第4部 特任准教授  
第2章 2.2, 2.3, 第5章 5.6

### 古谷 英二

明治大学理工学部応用化学科教授  
第2章 2.4, 2.5, 2.6

### 藤井 達夫

日本エンバイロケミカルズ株式会社 活性炭事業部営業部長  
第3章 3.2, 3.4

### 浅見 圭一

日本スピンドル製造株式会社 ミキシング事業センター開発部長(元 株式会社アドール技術部長)  
第3章 3.3

### 山本 仁

水澤化学工業株式会社 中条工場技術部第一グループマネジャー  
第4章 4.2, 4.3, 4.4(分担執筆者; 井上博雄, 中川英之)

### 小川 宏

東ソー株式会社 南陽研究所ゼオライトグループリーダー  
第4章 4.5, 4.6, 4.7

### 益戸 孝

ローム・アンド・ハース・ジャパン株式会社(ダウケミカルグループ) 相馬工場イオン交換樹脂中核技術グループ技術推進リーダー  
第5章 5.2, 5.3, 5.4, 5.5