

無機工業化学

(第3版)

安藤淳平 著
佐治孝

81.11
185(13)

無機工業化学

(第3版)

安藤 淳平 著
佐治 孝



東京化学同人

あん どう じゅん へい
安 藤 淳 平

1925 年 東京都に生まれる
1946 年 東京大学工学部 卒
現 中央大学理工学部 教授
専 攻 無機工業化学
工学博士

さ じ たくし
佐 治 孝

1922 年 神奈川県に生まれる
1951 年 東京工業大学工学部 卒
現 東京工業大学 教授
専 攻 金属電気化学
工学博士

第1版第1刷 1973年3月20日 発行
第7刷 1978年4月21日 発行
第2版第1刷 1980年3月1日 発行
第4刷 1984年2月1日 発行
第3版第1刷 1986年3月28日 発行

無 機 工 業 化 学 (第3版)

© 1986

著 者 安 藤 淳 平
佐 治 孝

発 行 者 植 木 厚

発 行 株式会社東京化学同人
東京都文京区千石3丁目36番7号
電話946-5311(代)・振替東京3-84301

印 刷 中央印刷株式会社
製 本 株式会社松岳社

ISBN 4-8079-0258-X

Printed in Japan

まえがき

本書は大学の教科書あるいは参考書として、無機製造工業や電気化学工業以外に窯業、金属化学工業、原子力化学工業を含む無機系化学工業全般について、総合的に解説したものである。

過去 10 年間のわが国の非常な経済発展に伴い、無機系化学工業も面目を一新した。これらの新しい事象を知ることでもあるが、その変化の要因や動向、さらにはその基礎にある不変の原理を把握することが大切であろう。この観点から、本書の叙述にあたっては下記の諸点に留意した。

化学の基礎理論と技術および工業との関連を明確に理解できるようにすること。各種のプロセスや製造装置については、わが国で用いられている最も新しい将来性のあるものを中心とし、外国の模様や過去のものについても重要なものについては言及して変化の動向がわかるようにすること。無機系化学工業の各分野相互の関連を明らかにし、他工業との関連も言及すること。化学工業が当面している最大の課題である、公害とその防止対策についても述べること。図や表を多く用い、文章は要点を簡潔に示すこと。

本書ではページ数の関係もあってあまり細部にわたる叙述は省いてあり、さらに専門的な知識を必要とする場合の参考として巻末に主要な参考文献を示した。これらの多くは本書の執筆にあたっても参照させていただいたものである。また、学生諸君の勉学の便をはかるため、各章ごとに問題を付し、計算問題の答を巻末に記した。本書が無機工業化学の基本的な理解に役立てば幸いである。

1973 年 2 月

安 藤 淳 平
佐 治 孝

改訂に寄せて

本書の初版が出版されてから間もなく、石油ショックによってわが国の高度成長は終わりを告げ、焦点は環境対策からさらにエネルギー問題へと移ってきている。したがって、この間の化学工業技術の進歩発展は生産技術そのものにはあまりなく、環境やエネルギー問題に関するものが多い。すなわち、食塩電解の水銀法中止に伴うイオン交換膜法の発展、脱硫・脱硝など排ガス処理の普及、各種新エネルギーの開発などがあり、関連するものとしては生物電気化学の著しい進歩がある。

このような情勢から、本書の改訂に当たっては、環境関係とエネルギー関係の項を拡充し、イオン交換膜法その他の新技術の記述を加え、生物電気化学の一章を付加した。また各種の統計資料は最近のものを追加した。

今回の改訂にあたり、電解に関する各種の新情報をお寄せいただいた、鹿島電解株式会社社長八幡屋 正 博士に謝意を表する。

1980年2月

安 藤 淳 平
佐 治 孝

再改訂に寄せて

今回の第3版では、最近発展が目覚ましいニューセラミックスと新金属材料についての2章を追加した。また、原子炉の記述(42章)を改訂し、さらに、各所の記述や生産統計などを新しくした。

1986年2月

安 藤 淳 平
佐 治 孝

F 8711 /103

无机工业化学

第3版

(日3 -10 /459)

C—00 480

8/11

9

目 次

I. 総 論

1. 化学工業概論

1.1 化学工業の分野	2	1.4 エネルギー問題	8
1.2 化学工業の歴史と動向	3	1.5 化学と環境問題	14
1.3 無機化学工業の生産システムと プロセス (製造工程)	6		

2. 化学結合・物性・相変化

2.1 化学結合・物性と工業分野との 関連	16	2.7 2成分系固体の状態図による 分類	23
2.2 原子・イオンの大きさと配位の 形式	17	2.8 2成分系固溶体	24
2.3 結晶, 格子欠陥, 融液	18	2.9 共晶点 (共融点) をもつ場合	25
2.4 非晶質固体	20	2.10 化合物を生成する場合	26
2.5 混合物と相律	21	2.11 2成分系液体の沸点	27
2.6 1成分系と相転移	22	2.12 3成分系と4成分系	29

3. 無機工業化学反応通論

3.1 序 説	30	3.5 固体と気体の反応	38
3.2 自由エネルギーと化学平衡	31	3.6 固体と液体の反応	38
3.3 反応熱と化学反応	34	3.7 固相反応	40
3.4 均一系反応の反応速度	35	3.8 化学反応と触媒	40

4. 無機化学工業の操作と装置

4.1 単位操作と単位反応工程	43	4.4 炉と熱交換器	48
4.2 反応器	44	4.5 各種単位操作の装置	50
4.3 燃料と燃焼	46		

5. 測定と制御

5.1 測定対象	52	5.5 組織および構造の測定	56
5.2 状態および物理量の測定	52	5.6 熱変化の測定	56
5.3 化学成分の測定	53	5.7 性質の試験	57
5.4 プロセス制御と計装	54		

6. 水と水処理

6.1 各種の用水と水質基準	58	6.5 廃水処理法	62
6.2 工業用水	59	6.6 都市下水の処理と再利用	64
6.3 海水の淡水化	60	6.7 放射性廃水の処理	65
6.4 廃水の種類	61		

7. 大気汚染とその防止

7.1 各種の大気汚染物質	66	7.5 窒素酸化物の発生と規制	71
7.2 硫黄酸化物(SO_2)の発生と規制	66	7.6 固定発生源の NO_x 対策	71
7.3 重油の脱硫	68	7.7 その他の有害ガスとその処理	73
7.4 排煙脱硫	69	7.8 粉塵	74

II. 無機製造化学工業

8. 酸・塩基・塩の反応と耐食材料

8.1 無機製造化学工業の性格	78	8.4 高温での酸・塩基反応	82
8.2 酸・塩基とその反応（水溶液 反応）	78	8.5 耐食材料の種類	83
8.3 塩とその反応（水溶液反応）	80	8.6 金属材料	84
		8.7 非金属材料	84

9. 海塩工業およびカリウム塩

9.1 塩と海水	86	9.4 天然カリウム塩	89
9.2 製塩法	87	9.5 海水マグネシア	91
9.3 にがり（苦汁）	89	9.6 臭素	91

10. ソーダ工業と塩素工業

10.1 ソーダ工業の製品	92	10.3 アンモニアソーダ法	93
10.2 Lebranc 法	93	10.4 塩安ソーダ法（塩安併産法）	95

10・5 炭酸ナトリウムの性質と用途 …96	10・8 塩素系漂白剤 ……97
10・6 カセイソーダ ……97	10・9 塩 酸 ……98
10・7 塩 素 ……97	10・10 その他の塩素誘導体 ……99

11. 硫 酸

11・1 硫酸製造の歴史と生産量 ……100	11・6 硝酸法による硫酸製造 ……103
11・2 硫酸の性質, 規格, 用途 ……101	11・7 接触法による硫酸製造 ……104
11・3 原 料 ……102	11・8 硫酸製造の原単位 ……107
11・4 バイ焼炉 ……102	11・9 希硫酸の濃縮 ……108
11・5 焼鉱処理 ……103	

12. アンモニアと硝酸

12・1 窒素工業の発展 ……109	12・4 アンモニア合成装置 ……115
12・2 アンモニア合成の理論 ……110	12・5 硝 酸 ……116
12・3 原料ガスの製造 ……112	

13. 無機工業薬品と顔料

13・1 各種の無機工業薬品 ……120	13・3 顔 料 ……122
13・2 ケイ素化合物 ……120	

14. 化学肥料通論

14・1 植物に必要な元素 ……125	14・5 肥料の吸湿性 ……129
14・2 化学肥料工業の発展 ……127	14・6 肥料の固結 ……129
14・3 肥料の分類 ……127	
14・4 土壌中での変化と植物による 吸収率 ……128	

15. 窒 素 肥 料

15・1 主要な窒素肥料の成分と 生産量 ……130	15・4 その他のアンモニア系肥料 ……135
15・2 硫 安 ……131	15・5 緩効性窒素肥料 ……135
15・3 尿 素 ……132	15・6 石灰窒素 ……136

16. リン酸とリン酸肥料

16・1 生産の動向	137	16・5 湿式リン酸	140
16・2 リン鉱石	138	16・6 過リン酸石灰	143
16・3 リンと乾式リン酸	138	16・7 重過リン酸石灰	144
16・4 縮合リン酸	139	16・8 溶成リン肥と焼成リン肥	144

17. カリ肥料, 複合肥料, その他の肥料

17・1 カリ肥料	147	17・5 新種高濃度複合肥料	152
17・2 複合肥料の分類	147	17・6 液体肥料とサスペンション肥料	153
17・3 配合肥料	148	17・7 石灰質, ケイ酸質肥料	154
17・4 化成肥料	149		

II. 電気化学工業

18. 電気化学工業とその基礎理論

18・1 電気化学工業の分類	156	18・4 電解と過電圧	161
18・2 電池反応と起電力	157	18・5 半導体電極と電極反応	163
18・3 電極反応と電極電位	158		

19. 電池

19・1 エネルギーの変換	167	19・4 2次電池	175
19・2 電池の基礎	168	19・5 その他の電池	178
19・3 1次電池	172		

20. 電解工業

20・1 序説	181	20・5 食塩の電解	190
20・2 電解効率と電解条件	183	20・6 電解酸化還元	192
20・3 電解装置	186	20・7 金属の電解や金	194
20・4 水電解	188	20・8 融解塩電解	196

21. 電熱化学工業

21・1 序説	198	21・4 フェロアロイ	202
21・2 電気炉	198	21・5 その他の電熱化学工業製品	202
21・3 カーバイド	201		

22. 界面電解

22.1 界面電気現象と界面電解	203	22.3 界面電気現象の応用	206
22.2 界面電解の基礎	204		

IV. 金属化学工業

23. 金属とその物理的性質

23.1 金属の特徴と用途	210	23.5 金属の機械的性質	213
23.2 金属の分類	211	23.6 金属の導電率	216
23.3 金属中の電子状態	212	23.7 金属の熱伝導率	219
23.4 金属の比重, 融点, 沸点, 原子容 および原子価	213	23.8 金属の熱電子と光電子の放射	219
		23.9 金属の磁氣的性質	220

24. 合金とその物理的性質

24.1 合金の特性と用途	222	24.4 合金の状態図	225
24.2 合金の表面状態	223	24.5 合金の機械的性質	227
24.3 合金の結晶構造	224	24.6 合金の電気抵抗	228

25. 金属の化学的性質と製錬

25.1 水溶液中の反応	230	25.4 金属の鉱石と製錬	232
25.2 金属の還元性	231	25.5 乾式製錬	233
25.3 金属の酸化	232	25.6 湿式製錬	236

26. 鉄と鋼

26.1 鉄と鋼の分類	239	26.6 鉄鋼の性質	245
26.2 製鉄工業の性格	239	26.7 鋼の熱処理と加工処理	247
26.3 製鉄	240	26.8 特殊鋼とその用途	248
26.4 製鋼	242	26.9 銑鉄(鑄鉄)の性質と用途	249
26.5 純鉄の製造	245		

27. 銅とアルミニウム

27.1 銅の製錬	250	27.4 アルミニウムとアルミニウム合金 の性質と用途	257
27.2 銅と銅合金の用途	252		
27.3 アルミニウムの製錬	253		

28. その他の非鉄金属

- 28・1 実用非鉄金属の製法と用途……259 28・2 比較的新しい金属材料……259

29. 高純度金属の製造

- 29・1 概説……266 29・3 気相分解法……268
29・2 帯溶融法……266

30. 金属の腐食と防食

- 30・1 金属の腐食……270 30・2 金属の防食……274

31. 金属の表面処理

- 31・1 表面処理の目的と分類……276 31・3 非金属の被覆法……279
31・2 メッキ……276 31・4 その他の金属表面処理……280

V. 窯業（セラミックス工業）

32. 窯業の基礎

- 32・1 窯業の性格……284 32・5 鉱物の熱変化……290
32・2 ケイ酸塩類の構造と分類……285 32・6 焼結……291
32・3 主要な岩石と構成鉱物……286 32・7 固体反応の速度……292
32・4 2成分系と3成分系……288

33. 窯業の原料

- 33・1 ケイ石……294 33・6 ドロマイト, マグネサイト,
33・2 粘土……295 海水マグネシア……299
33・3 粘土鉱物の構造……297 33・7 セッコウ……299
33・4 アルミナ系粘土鉱物……298 33・8 その他の原料……301
33・5 石灰石……298

34. セメントとセメント関連製品

- 34・1 セメントの定義と分類……302 34・4 ポルトランドセメントの焼成
34・2 ポルトランドセメントの組成……303 反応……307
34・3 ポルトランドセメントの製法……304

34.5	ポルトランドセメントの凝結 と硬化……………	308	34.9	ジェットセメント……………	310
34.6	混合セメント……………	308	34.10	気硬性セメント……………	310
34.7	コンクリートの性質……………	309	34.11	特殊セメント……………	311
34.8	アルミナセメント……………	309	34.12	セメント製品と関連製品……………	311

35. ガラスとほうろう

35.1	ガラスの構造と特性……………	313	35.4	各種のガラス……………	318
35.2	ガラスの性質……………	314	35.5	ほうろう……………	321
35.3	ガラスの製法……………	316			

36. 耐火物と断熱材

36.1	高融点物質の種類と用途……………	323	36.4	製法の分類……………	326
36.2	耐火度の測定法……………	324	36.5	各種の耐火物……………	327
36.3	耐火物の種類と性質……………	324	36.6	断熱材……………	329

37. 陶磁器

37.1	陶磁器の分類と生産額……………	331	37.3	陶磁器の製法……………	333
37.2	陶磁器の原料……………	331	37.4	特殊陶磁器……………	335

38. 黒鉛と炭素製品

38.1	黒鉛および無定形炭素……………	337	38.5	不浸透性カーボン……………	341
38.2	炭素の原料……………	339	38.6	新種炭素製品……………	341
38.3	電気材料と耐火物……………	339	38.7	活性炭……………	342
38.4	カーボンブラック……………	340	38.8	原子炉用黒鉛……………	342

39. 合成鉱物

39.1	鉱物の合成……………	342	39.5	人造宝石……………	346
39.2	熔融法による単結晶の合成……………	343	39.6	研磨材……………	347
39.3	その他の方法による単結晶の 合成……………	344	39.7	非金属発熱体……………	349
39.4	ウイスキー……………	346	39.8	その他の合成鉱物……………	349

VI. その他の無機化学工業

40. 電気材料・電子材料

40.1 電子の挙動による分類	352	40.5 磁性材料	354
40.2 導電材料	352	40.6 半導体	356
40.3 絶縁材料	353	40.7 けい光体	358
40.4 誘電材料	353		

41. 複合材料

41.1 複合材料の分類	360	41.3 分散強化複合材料	362
41.2 繊維による強化	360	41.4 その他の複合材料	365

42. 原子力工業化学

42.1 原子力	366	42.7 核融合	372
42.2 中性子と原子核の反応	367	42.8 原子力エネルギーの化学工業 への応用	372
42.3 原子炉	368	42.9 放射性同位体の利用	373
42.4 各種の原子炉とその材料	369		
42.5 高速増殖炉	370		
42.6 核燃料の処理および原子炉 材料の損傷	371		

43. 生物電気化学

43.1 生命現象と電気化学	374	43.3 細胞膜電位と神経伝達	378
43.2 生体内の反応とエネルギー 変換	376	43.4 生物電池と微生物電池	380

44. ニューセラミックス (ファインセラミックス)

44.1 ニューセラミックスの特質と 種類	381	44.4 各種ニューセラミックスの 製造と利用	387
44.2 焼結体とガラス質	383	44.5 ガラス質ニューセラミックス	390
44.3 製造の化学	385		

45. 新金属材料

45.1 新金属材料の発展	392	45.2 アモルファス合金	392
---------------	-----	---------------	-----

45·3 形状記憶合金·····	395	45·4 超電導合金·····	397
参考文献 ·····			401
章末問題解答·····	7		405
索引 ·····			409

I

総論

8211
138

1. 化学工業概論

1・1 化学工業の分野

A. 化学工業の分類 化学工業は原料に化学的処理をほどこして有用な製品をつくる工業であり、無機化学工業と有機化学工業とに大別される。無機化学工業は、狭い意味では酸・アルカリ・無機薬品・肥料の製造工業を指すが、本書では電気化学工業、金属製錬工業、窯業、原子力化学工業などを含めた広い意味の無機系化学工業を取扱う(表 1・1)。

表 1・1 化学工業の分類

無機化学工業(広義)	無機製造工業: 酸, アルカリ, 無機薬品, 肥料など 電気化学工業: 電池, カセイソーダ, カーバイドなど 窯業: ガラス, セメント, 陶磁器など 金属化学工業: 鉄, 銅, アルミニウム, チタンなど
有機化学工業(広義)	プラスチック, 合成繊維, 合成ゴム, 染料, 油脂, 塗料, 香料, 石油精製, 食品, 紙など

B. 無機化学工業の性格 無機化学工業は有機化学工業にくらべると、比較的簡単なプロセス(製造工程)により、硫酸、アンモニア、セメント、鉄などのように安い製品を1工場1日で1,000~10,000tという多量つくることや、1,000~2,000℃という高温を用いることが特徴であった。しかし最近はこの差違が明確ではなくなってきた。すなわち、石油化学工場では1日に1,000tのエチレンをつくり、あるいはアセチレンの製造に1,500℃以上の高温を用いるようになり、他方、無機製品でも電子材料のように綿密な作業による高価な製品もつくられるようになった。さらに最近では無機、有機の中間物としてのシリコン類や、双方の特徴を生かしたガラス繊維強化プラスチックのような複合材料の発展が著しい。

C. 化学工業と他産業との関連 化学工業は医薬や陶磁器などの日常生活用の製品をつくるだけでなく、広く他の産業に対して材料を提供する。すなわち、機械工業には鉄、アルミニウム、プラスチックなど、土木・建築に対してはセメント、人工骨材、合成建材など、電気工業に対しては電気材料、電子材料など、農業には肥料や農薬