

冶金反应工学

名古屋大学教授

工学博士

鞭 巖

名古屋工業大学教授

工学博士

森 山 昭

共 著



76.15
731

冶金反应工学

名古屋大学教授

工学博士

鞭 巖

名古屋工業大学教授

工学博士

森 山 昭

共 著



— 1972 —

東 京

株式會社

養賢堂發行



1972

昭和47年3月15日

第1版発行

著 者 磯 山 昭
森 山 昭

東京都文京区本郷5丁目30番15号

発 行 者 株式会社 養 賢 堂
代 表 者 及 田 幹 雄

印 刷 者 東京都渋谷区猿樂町10番2号
合 資 公 社 真 興 社
負 任 者 堀 田 三 郎

東京都文京区本郷5丁目30番15号

発 行 所 株式会社 養 賢 堂

振替東京25700 電話東京(314)0911(番代兼)平143

冶金反応工学



著作権所有

定価 2000 円

製本所 吉野製本株式会社

序

技術革新の時代の到来とともに、大型化、連続化、自動化、高速化などの言葉で形容される工業技術全般の趨勢のなかで、金属製錬技術は日進月歩の勢いでめざましい進歩を遂げているが、冶金反応工学はこのような技術革新の流れのなかから登場を要望され、従来、black box とみなされていた各種冶金反応装置の諸特性が、最近の反応工学的な理論解析と測定技術の進歩によって次第に解明されるようになった。

元来、反応工学は、Hougen, Watson の著書 "Chemical Process Principle" (1947) によらずにはじめて体系づけられたといわれている。わが国では、1959 年 2 月に化学工学協会東海支部主催の解説反応工学講習会が名古屋市で開催され、その内容は同年 11 月に化学工学協会編：解説反応工学（核書店）として刊行されたが、工学の一分野として反応工学という名称が使用されたのはこれが最初である。当時、著者の一人もこの解説書の執筆を分担したが、12 年後の現在、当時の反応工学を回顧してまさに隔世の感がある。

本書では、金属製錬に携わる技術者や研究者、あるいは、金属工学専攻の大学院学生を対象とし、はじめて反応工学を学ぶ読者を念頭において、冶金反応工学の入門から応用にわたって平易に解説するように心がけた。

本書の内容は、第 1 章から第 6 章までの基礎編と第 7 章から第 11 章までの応用編とに大別できる。基礎編では、とくに、冶金反応および固気系無触媒反応に関連する記述に力点をおき、必要に応じて各章末に例題とその解法を示して、反応工学的な解析手法と考え方を習得する助けとした。応用編では、製鉄・製鋼プロセスで実用されている主要なプラントや操作について各章を設け、各製錬プロセスの特性や数学的なモデル化の手法とモデルに基づいた種種の思考実験の計算結果について解説した。本書の内容は、著者の研究室で得られた研究成果に大きく依存しているが、これが本書の特徴の一つでもある。

本書では、既存の製錬冶金学の分野で散見される工学的な解析手法も含めて、製錬プロセスに固有の反応工学的な諸問題に関する新しい工学的な手法を冶金反応工学として、最初の体系化を試みたつもりである。本書が、製錬分野における在来の冶金学と化学工学との融和のかけ橋となり、この分野の進歩の一助ともなれば幸いである。

最近、鉄冶金の分野で、反応工学的な理論解析の価値を過小評価して経験的に得られた単なる技術的方法論を反応工学と名づけて喧伝するむきがあるが、こうした誤解が普遍化することにもなれば製錬技術の進歩を阻害するおそれがある。化学工業プロセスの理論解析を積極的に推進してきた化学工学や反応工学が化学技術の進歩に顕著な貢献をもたらした現実をふまえて、とくに、製錬技術の将来を託された若い技術者や学生の諸君に、化学工学や反応工学について正しい認識を持たれるよう念願する次第である。

「冶金反応工学」として本書の刊行が企画されたのは1966年のことであり、5年の歳月を経てやっと発刊の運びとなった。この間、多くの製錬技術者から本書の早期の刊行を促されながら、今日まで長い時間的距離をおいてしまったことは著者の怠慢によるものであり、これら技術者の諸兄および出版社の店主及川氏におわびする次第である。

最後に、本書の応用編に盛られている多くの研究成果をあげてくれた当方研究室の卒業生や研究室員、また、その研究の促進に現場のデータを快く提供していただいた製鉄会社の多数の諸賢のご協力とご好意に深く感謝の意を表したい。

1971年12月

著 者

目 次

第1章 緒 論	1
1.1 反応工学とは	1
1.2 反応工学的手法	2
1.2.1 反応工学における反応速度論	2
1.2.2 スケール・アップとパイロットプラント	6
1.2.3 プロセスシステムとプロセス設計	8
1.3 冶金反応工学と製錬プロセス	11
文 献	14

第2章 反応装置の形式と特性	16
2.1 均一相反応操作の反応装置	17
2.1.1 槽型反応器による均一相反応操作	17
2.1.2 管型反応器による均一相反応操作	18
2.2 不均一相反応操作の反応装置	19
2.2.1 槽型反応器	19
2.2.2 反応塔	19
2.2.3 固定層, 流動層および移動層	21
文 献	25

第3章 工業反応速度論	26
-------------	----

3.1 反応速度	26
3.1.1 反応速度の定義	26
3.1.2 反応速度の測定法	27
3.2 均一反応	28
3.2.1 単一反応と複合反応	28
3.2.2 反応次数および速度定数	28
3.2.3 回分法における速度論	30
3.2.4 流通法における速度論	37
3.3 不均一反応	42
3.3.1 固体触媒反応	42
3.3.2 気固系無触媒反応	50
3.3.3 気液反応	55
3.4 冶金プロセスの反応速度	64
3.4.1 酸化鉄のガス還元反応	65
3.4.2 石灰石の分解反応	71
3.4.3 溶融鉄・炭素合金の脱炭反応	73
3.4.4 スラグ・メタル反応	76
例題 3	78
第3章の使用記号	84
文 献	85

第4章 反応装置と操作の解析法	88
4.1 槽型反応装置	89
4.1.1 回分式反応槽	89
4.1.2 流通式反応槽	91
4.1.3 半回分式反応槽	92

(2) 目 次

4.1.4 直列反応槽	93
4.2 流通式管型反応装置	95
4.3 流通式反応装置における 流体混合の効果	97
4.3.1 未転化率	97
4.3.2 反応器の所要容積の比較	98
4.4 不完全混合型の反応装置	100
4.4.1 滞留時間分布	100
4.4.2 滞留時間分布関数の実験	102
4.5 不完全混合流れのモデル	105
4.5.1 複合モデル	105
4.5.2 拡散モデル	110
4.5.3 槽列モデル	114
例題 4	116
第4章の使用記号	123
文 献	123
第5章 反応装置の最適操 作と安定性	125
5.1 目的関数と束縛条件	126
5.1.1 目的関数	126
5.1.2 束縛条件	126
5.2 最適化の手法	127
5.2.1 微分法	128
5.2.2 ラグランジュ乗数法	131
5.2.3 山登り法	133
5.2.4 リニアプログラミング	135
5.2.5 変分法	137
5.2.6 ダイナミックプログラ ミング	139
5.2.7 最大原理	141

5.3 反応装置の安定性	145
5.3.1 槽型反応器の安定性	145
5.3.2 パラメータ感度	148
例題 5	150
第5章の使用記号	155
文 献	156

第6章 流動層, 移動層, 固定 層反応装置の解析

6.1 流動層反応装置	158
6.1.1 回分式流動層による無触 媒反応操作	158
6.1.2 連続式流動層による無触 媒反応操作	160
6.1.3 触媒反応の数学的モデル	167
6.1.4 流動還元	170
6.2 移動槽反応装置の解析	175
6.2.1 等温の無触媒反応操作	175
6.2.2 非等温の触媒反応操作	179
6.3 固定層反応装置の解析	180
6.3.1 等温の無触媒反応操作	180
6.3.2 非等温の触媒反応操作	184
第6章の使用記号	189
文 献	190

第7章 焼 結 機

7.1 DL焼結機の操業	193
7.2 パレット・スピード と生産量	196
7.3 焼結プロセスの理論解析	204
7.3.1 コークスの燃焼速度	204
7.3.2 数学的モデル	206
7.4 層内粒子の温度分布	211

7.4.1	点火炉内のガス温度・ 点火時間・酸素濃度	212
7.4.2	原料粒子の粒子径	214
7.4.3	ガス流量	215
7.4.4	コークス配合率	217
	第7章の使用記号	219
	文 献	220
第8章	高 炉	223
8.1	高炉製鉄プロセス	223
8.2	炉内反応の速度式	230
8.2.1	鉄鉱石のCOガスによる 間接還元反応	230
8.2.2	ソリューション・ロス 反応	232
8.2.3	熔融ウスタイトの直接 還元反応	233
8.2.4	石灰石の分解反応	233
8.2.5	鉄鉱石の水素還元反応	234
8.2.6	炭素と水蒸気の反応	234
8.2.7	水性ガス変換反応	235
8.3	高炉操業の理論解析	235
8.3.1	高炉モデルの研究	235
8.3.2	炉胸部での温度分布の 解析	238
8.3.3	炉頂における粒子およ びガスの温度	240
8.3.4	炉頂ガスの流量と組成、 出鉄量と出滓量	243
8.3.5	羽口レベルでのガスの 流量と組成、ガスとコ ークスの温度	244
8.3.6	炉頂・羽口間の数学的 モデル	247
8.4	数学的モデルによるブ	

	ロセス解析	251
8.4.1	計算方法	251
8.4.2	炉内状況の計算結果	253
8.4.3	操業条件変更の効果	259
	文 献	267
第9章	LD 転 炉	270
9.1	転炉吹錬プロセス	270
9.1.1	炉内反応および吹錬技 術の進歩	270
9.1.2	鋼浴の炭素濃度と温度 の測定および吹錬制御	274
9.1.3	酸素ジェットの効果	280
9.2	吹錬プロセスの理論解析	290
9.2.1	火点表面積の推算	290
9.2.2	石灰の溶化速度	292
9.2.3	スクラップの融解	295
9.2.4	炉内反応に消費される 酸素量	298
9.2.5	スラグ・溶鋼間の炉内 反応	302
9.2.6	炉内プロセス変数の推 移	303
9.3	数学的モデルによるプロ セス解析	307
9.3.1	炉内プロセス変数の推移	307
9.3.2	操業条件変更の効果	310
9.3.3	スクラップ融解の効果	317
	文 献	322
第10章	真空脱ガス装置	326
10.1	流滴による脱ガスプロ セス	326

(4) 目 次

10.2	上昇気泡による脱ガス プロセス	331
10.3	RH 法における脱ガス プロセス	337
10.4	DH 法における脱ガス プロセス	346
	文 献	354

第 11 章 造塊および連続

	鑄造	356
11.1	一次元凝固	356
11.2	円筒状液体の凝固	359
11.3	二次元凝固	362
11.4	凝固問題の数値計算法	366
11.5	連続鑄造	368

11.5.1	理論最小値 $H_{2, \min}$ お よび $H_{3, \min}$	371
11.5.2	設計計算法	372
11.5.3	インゴットの冷却表面 温度を一定に保つ場合	373
	第 11 章の使用記号	374
	文 献	375

付 録

A.	単位と次元	376
B.	無次元群	379
C.	単位換算表	380
D.	粒子比熱の温度変化	381
E.	高炉モデルの誘導	382

索 引

385

第1章 緒 論

1.1 反応工学とは

現在の化学工学は、大きく分けると、単位操作 (unit operation) と反応工学 (reaction engineering) になると考えられている。

単位操作とは、流動、伝熱、蒸発、調湿、乾燥、ガス吸収、抽出、蒸溜、混合、晶析、濾過、遠心分離、粉碎、集じん、沈降濃縮などの物理的な変化を取り扱う操作からなっており、さらに、これらに、粉体の供給輸送、分級、流動化、あるいは、イオン交換なども単位操作として加えられる場合がある。

これらは、いずれも化学工場の製造工程に関連してくる基本的操作であるが、流動や伝熱などは機械工学、航空工学あるいは土木工学などの他の工学の分野にも含まれる基礎的な単位操作である。

これら単位操作は、化学工業プロセスのなかでも、原料の調製や製品の分離、精製などの物理的な変化過程に関連した操作である。一方、化学工業プロセスでは、化学変化を伴う反応プロセスが重要なプロセスとして含まれるので、物理的な変化を取り扱う単位操作だけでは不十分である。そこで、化学的な変化についても単位操作と類似の方法で体系化しようとする単位反応 (unit process, ユニットプロセス) の概念が提唱された。

単位反応とは、化学的な変化を酸化、還元、燃焼、ニトロ化、ハロゲン化、スルホン化、アルキル化、エステル化、重合、縮合、醗酵、接触分解などに分類して、これら各単位の反応について単位操作の場合と同様に基礎的な原理を考えようとするものである。しかし、実際の反応装置内で起こる化学反応プロセスでは、必然的に熱、物質、および、運動量の移動を伴っている。

そこで、工業的な反応プロセスの操作条件の決定や、反応装置の設計、あ

るいは、反応系のプロセス制御に当たっては、物理的な移動現象も考慮して反応プロセスを解析することが必要である。このような観点から、最近、反応工学の概念が提唱されるようになり、現在の化学工学では、単位操作と反応工学が車の両輪として位置づけられている。

化学工学のフィロソフィおよび歴史的な変遷については明確な解説^{1)~3)}が行なわれている。

反応工学は、反応装置内で起こる化学的な変化の速度と、熱、物質および運動量などの物理的な変化の速度をそれぞれ反応速度論と輸送現象 (transport phenomena) 論に基づいて解析し、総合的な反応プロセスを工学的に取り扱う分野であり、その重要な課題となるのは、反応装置の設計やその特性の解明、および反応操作条件の決定や反応プロセスの制御である。したがって反応を伴う生産プロセスの開発に当たっては反応工学が重要な役割を果たすことになる。反応工学の成書として、代表的な内外の書物^{4)~20)}を本章末に列挙しておこう。

1.2 反応工学的手法

本節では、まず、反応工学で基本となる反応速度論の概念について述べ、次に、しばしば話題となるスケール・アップについて概説する。最近、脚光を浴びてきたシステム工学の理論体系のなかでも、とくに、プロセス設計および制御の理論と反応工学の関連について記述する。

1.2.1 反応工学における反応速度論

物理化学で取り扱われている反応速度論は、気体分子運動論に基づく衝突理論、あるいは、量子統計力学に基づく絶対反応速度論、液体論や固体論などの物性物理学や量子化学などに理論上の基礎をおき、同位元素トレーサー法や質量分析法などの高度な実験技術を併用して、純粋な化学反応の速度を決定すると同時に反応の経路や機構などを解明する分野と考えられている。

一方、反応工学では、反応装置内で起こる輸送現象との関連のもので、反応操作条件と反応の進行速度の関係を数式化して総合的な反応速度式を決定

- ・ する手法が行なわれており、その際、反応機構は必ずしも解明されている必要はなく、このようにして求められた速度式は反応装置を設計し、操作条件を決定するのに十分有用となる。

すなわち、実際の反応装置内部で起こる反応プロセスでは、純粹の化学反応のほかに熱および物質などの移動を伴うが、物理化学における反応速度論では、これら物理的な移動過程の影響を完全に切り離して、化学反応自体の進行速度や反応機構が追求されるのに対して、反応工学においては、物理的な移動過程を同時に考慮して反応プロセスの進行速度が決定される。

このように、反応工学では化学反応過程と物理的移動過程を同時に考慮した総括反応速度の概念が使用されているが、van Krevelen²¹⁾は物理化学的な反応速度論を *microkinetics*、また、反応工学で取り扱うそれを *macrokinetics* とよんで両者を区別している。

酸化鉄粒子のガス還元反応を例にとると、ガス境膜内でのガス反応物の移動過程や、反応で生成した金属鉄相の気孔内でのガス反応物の拡散、および気孔内表面での還元過程を同時に考慮して、全体としての還元反応過程が進行する速度を決定して総括反応速度式として表わしたり、反応操作条件によっては、粒子内部での伝熱過程も考慮した解析が行なわれている。

総括反応速度式の導出に当たっては、まず、化学反応と物理的な移動過程を同時に考慮して反応の進行のしかたをモデル化することが必要である。この際、反応に関与するすべての過程を反応モデル中に組み入れる必要はなく、実際の反応過程の速度に実質的にほとんど寄与しない過程を除外して、なるべく単純化したモデルを設定して、数学的な取り扱いの簡便化をはかることが望まれる。

実際の反応で上述のような諸過程が直列的に進行する場合、操作条件によっては、ある特定の単一の過程の抵抗が他の諸過程の抵抗に比べて遙かに大きく、事実上、全体の反応プロセスの進行速度を支配するようになる場合がある。このように、全体の反応プロセスの速度に支配的な影響を及ぼすような過程が律速段階とよばれている。

たとえば、(1.1) 式で表わされる CO_2 によるコークスのガス化反応（ソリュション・ロス）について、境膜内拡散過程、化学反応過程および総括

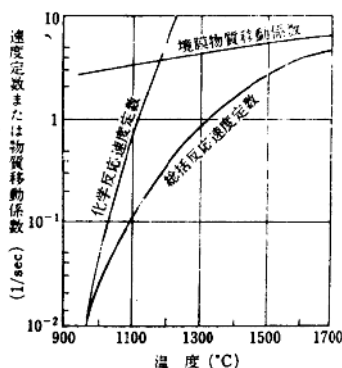


図 1.1 ソリュション・ロス反応の総括反応速度定数、物質移動係数および化学反応速度定数の温度による変化（コークス粒子径：4 cm，気孔率：0.45，ガス流速：76 N cm³/cm²·sec）

反応過程のそれぞれの速度定数の温度による変化を示したのが図 1.1²²⁾である。



図 1.1 から、1180°C 付近の温度をさかいにして、それ以上の高温領域では、化学反応の速度定数が境膜内物質移動係数より大となり、それ以下の低温領域では、逆に、化学反応の速度定数が境膜内物質移動係数より小となることからわかる。このため、1180°C 以上の高温領域では、

温度レベルの増加につれて、物質移動過程の抵抗が総括的な反応の速度を次第に支配するようになり、およそ 1700°C 以上の高温領域では、境膜内拡散過程が (1.1) 式の反応プロセスの律速段階となる。逆に、比較的低温領域では、化学反応過程が全反応プロセスの進行速度により大きな影響を及ぼし、960°C 程度以下の低温範囲では、(1.1) 式の反応プロセスの律速段階は化学反応過程であると考えられるようになる。

高温の条件下では、化学反応速度が大きくなるので、物質移動過程が支配的となり、比較的低温の条件下では、化学反応過程が総括的な反応プロセスを律速するようになるが、このことは、他の種類の反応プロセスでも、一般にいえることであるが、このことから、直ちに、高温条件下の冶金反応プロセスでは、すべて物質移動が律速段階になると考えるのは妥当ではない、律速段階は、各過程の抵抗の相対的な大きさによって判定されるものである。

たとえば、しばしば単純な境膜内拡散律速過程として取り扱われてきた小

型ルツボにおける熔融鉄炭素合金の脱炭反応、 $C(\text{in metal}) + O_2 \rightarrow CO$ について、化学反応過程と境界内拡散過程の両方を考慮した解析の結果、溶融合金の浴面半径および酸化性ガスの流速が変化する際の化学反応過程の抵抗と総括的な反応過程の抵抗の比率は、広い範囲にわたって変化することが示されている (図 1.2)²³⁾。

また、反応操作条件が一定に保たれる場合でも、反応の進行に伴って律速段階となる過程が変わってくる場合がある。たとえば、酸化鉄ペレットのガス還元において、反応の初期には、粒内拡散過程の抵抗が無視できるが、反応の進行に伴って反応界面が粒子内部に進入するので、粒内拡散過程の抵抗が総括的な反応過程の速度に次第に大きく寄与するようになる。このような場合には、反応の開始時から終了時まで、一般に、単一の律速段階で総括的な反応速度を表現することは妥当ではない。

最後に、直列的に進行する素反応からなる化学反応過程でも律速段階の概念が使用されている。

たとえば、酸化鉄の還元反応では、一般に、(1.2) 式のように反応の進行経路が表わされる。

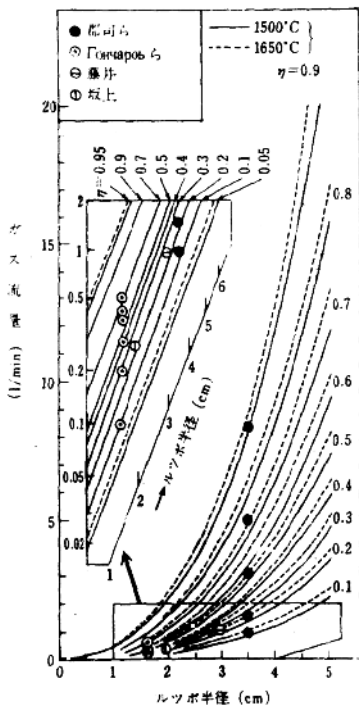
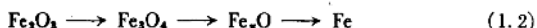
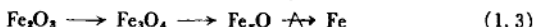


図 1.2 脱炭反応における化学反応抵抗と総括反応抵抗の比, η の実験条件による変化 (図中の研究者については文献 23) 参照)



ある反応条件のもとでは、金属鉄、Fe が生成される素反応の抵抗が、他の各素反応の抵抗に比べてはるかに大きくなり、ヘマタイト、 Fe_2O_3 から金属鉄が生成される全体の還元速度が $\text{Fe}_x\text{O} \rightarrow \text{Fe}$ の素反応の速度によって支配されるようになる。

このように、一般に連続的に進行する化学反応に含まれる特定の反応段階が全反応プロセスの進行の速度を支配する場合にも律速段階という用語が使用され、(1.3) 式のように表示されている。



1.2.2 スケール・アップとパイロットプラント

小規模実験装置から得られる実験データに基づいて工業的な生産規模の実装置を設計する場合のように、装置規模を拡大することをスケール・アップという。

第3章以下で詳しく述べるように、化学反応装置を設計する場合によく採用される手法は、物質収支、熱収支などに基づいて展開された数学的モデルを実装置の諸操作条件に基づいて、解析的に、または数値計算によって解き、反応速度、流動、混合、物質移動、伝熱など反応プロセスに伴う諸過程の数式表現で使用した種々の未知パラメータを実験的あるいは半理論的に決定する。こうして決定されたパラメータの数値がもし妥当な数値になっていなければ数学的モデルに基づいて設計された実際の反応装置が所定の成績をあげることはできなくなる。また、実際の工業生産においては、購入原料事情などに関連して設計段階では予期できない主反応の進行を阻害する有害な不純物や、主反応の進行を阻害する副反応などが介入することもあり、あるいは反応装置内部で物理的な移動現象が反応に複雑な影響を及ぼすため実装置を建設して運転した場合に予期しない結果を生じる場合がある。この種の予期しがたい条件に起因する損失を未然に防ぐために、中間規模の実装置としてパイロットプラントを建設して実際生産に移る前に慎重に設計計算結果の妥当性を検討して実装置での反応成績を推定すれば重大な誤差がさけられる。

パイロットプラントの主要な目的は、新しく計画される生産プラントの適切な設計や操作の資料を求めることである。最近、規模の拡大率をかなり大きくしたり、さらには、パイロットプラントを省略したり、あるいは、できるだけ小規模にすませる傾向などもあるが、原料の品質の変化や、困難な問題が起こった場合、あるいは、小規模な特殊の需要に応じなければならない場合とか、技術者の訓練のための実験装置としてもパイロットプラントを利用することができる。

物理的な変化の過程が主体となっている単位操作の分野では、相似則に基づくスケール・アップの手法が有効に適用される場合があるが、化学反応過程が中心となる反応装置のスケール・アップを相似則に基づいて行なうのは、一般にきわめて困難である。

相似則に基づくスケール・アップで考慮しなければならない問題は、幾何学的相似、力学的相似、熱的相似および化学的相似などである。反応装置の設計において、すべての相似則を満足させること、換言すれば反応プロセスに影響するすべての無次元数を同一にしてスケール・アップを行なうことは不可能なことである。すなわち、化学的相似と力学的相似は通常同時に成立させることは望めないし、固体粒子が反応に関与する場合には幾何学的相似も問題になるが、実際のスケール・アップでは、反応プロセスに重要な影響を及ぼす無次元数だけに着目して行なわれている。

すべての相似則が必ずしも満足されないために現われる現象をスケール効果というが、反応装置のスケール・アップを模型実験によって行なう際には、スケール効果ができるだけ小さくなるように、あらかじめ、反応装置の内部で進行する反応プロセスのうち、最も主要な影響を及ぼす因子に着目して、その相似の条件を保つよう考慮しなければならない。とくに、律速段階が明らかな場合には、この手法は有効である。また、かなり重大なスケール効果が起こる可能性のある場合には、パイロットプラントを使用して実装置のスケール効果を推定するための資料を得ることが必要になる。スケール・アップの手法あるいはパイロットプラントの運用についての成書²⁴⁾⁻²⁶⁾や解

説^{27)~32)}が行なわれている。

1.2.3 プロセスシステムとプロセス設計

反応工学は反応装置内部での反応過程の工学的解析に始まり、反応装置の設計や特性の解析に関連した工学的な分野を確立したが、最近、個々の反応装置の制御や最適化の問題に発展し、さらには化学プラント全体の設計、運転、制御、および最適化も新しい課題として進展する傾向にある。

ここ 10 数年来、電気工学の分野で体系化されるようになったシステム工学 (SE) の理論が、物質の変換を対象とする化学工業や冶金工業のプロセスにも拡張され、プロセス全体の設計、運転、制御、特性、最適化などを取り扱う工学として、いわゆるプロセスシステム工学の分野が急速に発展し、この分野の理論は在来の反応工学の理論にもかなりの影響を及ぼし始めている。システム工学でいう「システム」とは、変換機能の異なる幾つかの部分が結合して構成され、全体として一定の目的を達成しようとする体系を意味しているが、たとえば、混合、反応、分離など機能の異なる単位のプロセスが結合して、全体として物質を物理的あるいは化学的に変換する目的を果たす化学プロセスもまた一つのシステムであり、とくにプロセスシステムとよばれている。

プロセスシステムを構成する単位のプロセスもまた、独自の変換機能をもったシステムであり、これら単位のプロセスをサブシステムとよぶが、サブシステムはさらにより小規模のサブサブシステムから構成されていると考えられる。

たとえば、粗鋼の生産プロセスは原料から粗鋼を生産する一つのプロセスシステムであるが、これは製鉄、製鋼、造塊などのサブシステムから構成されており、さらに、たとえば、製鉄過程は原料配合装置、焼結機、高炉、熱風炉などのサブサブシステムにわけられる。プロセスシステムをこの程度の小規模なサブサブシステムだけに限定して考えると、これらシステムは従来から化学工学や反応工学で取り扱われている対象に帰着する。

プロセス設計とは、プロセスシステム工学の領域で行なわれているプロセ