

例題
演習

化学工学

光 武 量 著

81.17055
194

例題演習 化学工学

光 武 量 著

36-10-109

産業図書

<著者略歴>

昭和6年 九州帝国大学工学部応用化学科卒
現 在 九州産業大学教授(工学部工業化学教室)
工学博士

例題
演習 化学工学

昭和39年6月30日 初 版
昭和54年1月30日 第16刷

著 者

みつ 光 たけ 武 はかる 量

発行者

森 田 勝 久

東京都千代田区外神田1の4の21

発行所

産業図書株式会社

東京都千代田区外神田1の4の21

郵便番号 101-91

電話 東京(253) 7821番(代表)

振替口座 東京 2-27724番

印刷所

土井印刷株式会社

東京都中央区築地 2-8-2

(昇栄社製本)

© Hakaru Mitsutake 1964 定価 1,900 円

推 薦 序

筆者が化学工学を専攻しはじめたのは昭和の初期である。当時は化学工学の内容はもちろん、その名称さえも、業界でも学界でもまた一般社会でも殆んど認識されていなかった。しかるにその後の発展は誠に著しく、多くの大学や数個の工業高等学校に应用化学科と並んで化学工学は必須科目となっている。1931年創立の化学工学協会は機関誌「化学工学」の発行の外に「化学工学便覧」を出版し、また学術講演会、シンポジウム、講習会などを開催して化学工学の教育普及と新しい進歩の紹介に努めている。

しかし新しい技術者の養成のためにはまず化学工学の基礎を明確に理解させることが肝要である。このためには好個のテキストや参考書が望ましい。かような目的の著書がすでに数種出版されており、それぞれの特徴があるが、一長一失あるはやむを得ない。筆者自身の著書もあるが、何分古過ぎるのが難点である。

本書の著者は1931年九州大学卒業以来十数年間化学工場において実地の貴重な経験を積み重ね、その間に発展しつつあった化学工学に興味深く勉強して実際の作業に活用するに努力され、さらに戦後は教職に転じて化学工学を担当し、教職の立場から学生が理解しやすいように解説するに努力された。本書はその両方の体験の結果である。

さて、化学工学は、広義に解釈すれば、化学工業すなわち化学反応を利用して生産を経済的に行なう事業の技術全般に関するものである。当初にはいわゆる単位操作が主体であり、これに関する研究と教育とは実際の工業に著しく貢献した。その後に内容が発展的に拡大されて、反応操作を対象とする反応工学や、プロセス全体を対象とするプロセス設計や、使用者の立場からの計測と制御なども加わって来た。また基礎を深く究めるために移動現象 (Transport Phenomena) や工学基礎 (Engineering science) の重要性も認められて来たが、それは高級の問題である。

本書は主として単位操作に関する解説である。「例題演習化学工学」という表題

(2)

の趣旨に従い、装置や操作に関する記述をなるべく簡単に要約して、数多くの数値計算例を挙げて解説しているのが特徴である。初学者は単に理論式や実験式を与えられただけでは、これをよく理解し活用することはむずかしい。数値表やグラフから所要の数値を読みとり、これを式に入れて計算し、その結果を検討してはじめて本当に理解し得るのである。

しかしながら一般に特徴というものはその対象によって長所ともなり短所ともなる。筆者は本書の特徴が多くの読者に対して長所として役立つよう念願する。

1964年4月

東北大学名誉教授

工学博士 八 田 四 郎 次

序 文

日本の多くの大学の工学部や工業大学の中の化学に関する学科はほとんど「応用化学科」という名称になっている。文部省でも好んで応用化学と呼んでいる。これは東京大学の工学部に応用化学科が設置されてから相当長い歴史を持っているからであろう。

この応用化学という名称は英語の Applied Chemistry の直訳であるが、この名称は古く英国に発しているとは私は思っている。Applied は応用の、とか応用された、とかいう形容詞であるから、Applied Chemistry とは応用の化学であろうか、応用された化学であろうか。

応用化学科という名称のほかに「工業化学科」という名称がまた多くの大学で用いられている。これは英語の Industrial Chemistry の直訳であると思われる。

私はある大学で工業化学科の学生に工業化学という学問の意味は何かと質問してみたことがある。学生は即座に「工業に応用する化学」とであると答えた。

この表現に従えば Applied Chemistry もまた応用する化学であって、工業に応用する化学ということになる。

応用化学といい工業化学といい、その学問は化学である。そして、その名において学んだものは化学者である。しかし理学部で純正化学(Pure Chemistry)を学んだものとはおのずから相違がある筈である。つまり前者は工業に応用される化学を学ぶのであろう。

試みに工学部に属する学科をあげてみると、土木工学科(Civil Engineering)、機械工学科(Mechanical Engineering)、電気工学科(Electrical Engineering)、鉱山工学科(Mining Engineering)、金属工学科(Metallurgical Engineering)などである。そうすると化学に関する学科は当然化学工学科(Chemical Engineering)、といわねばなるまい。

工学部における学科はいうまでもなくすべて何々工学科であるのは当然なので

(4)

ある。それなのに化学に関する限り、これを化学工学科といわずに、応用化学科といたり、工業化学科といたりするのは私にはわからない。

工業教育協会の討議の席上で化学工業の会社で指導的立場にある人からしばしば聞く言葉は、応用化学科又は工業化学科の卒業生が新しく入社する場合、その勤務場所に対する希望を尋ねられて、実験室や研究室に所属することを欲し、現場の生産に従事することを進んで求めないのは、何か工業教育に欠陥があるのではないかということである。

このことは私にとって極めて興味あることで、応用化学といい工業化学といえは、化学が本筋であって、その学生が将来進む途は工業に応用される化学、であるという意識が強く、わが途は Engineering であるという意識が欠除していることを証明するにほかならないと私は思うのである。

いうまでもなく化学工場における生産は実験や研究の上に基礎を置いている。然し結局は生産が目的であり経済の上に立っている。ここに Engineer が 必要なのである。

工学はいわゆる Engineering Science の上に基礎を置き工業技術を骨とし生産と経済収支を肉としている。化学工学もまたその工学の中で化学的な物質を化学的に取り扱う学問なのである。然し Engineering Science に基礎を置いておる以上化学ばかりでなく、物理的、数学的取り扱いにもその根拠を置いている。

光武氏の著述する本書は化学工学と題してはいるけれども、実は応用化学科又は工業化学科の学生に化学技術者として観念的に最も欠除している化学工学の一部である物理的、数学的取り扱いの部分の説いたものであって著者もまた総論においてこのことをことわっている。

著者は九州大学工学部応用化学科の出身、戦前満州において満州化学工業、奉天曹達、満鉄化学工場などの各工場にあって Engineer として活躍した工業経験者である。目下化学工学の物理的、数学的取り扱いの面、いわゆる単位操作といわれる化学工学の面を教授し且つ研究に精進しつつある。そのかたわら学徒のために独自の見解を以て、理解し易き特色ある本書を編修した。

本書は化学工学の基礎である物質収支，エネルギー収支の上に立って数学的取り扱いに力を入れ，その演習のため例題も多数挿入して理論の解明を助けている。この途に進まんとするものの好個の伴侶たることは疑いない。

昭和39年6月

九州大学名誉教授

工学博士 和田 正 雄

自 序

本書は化学工学の基本的原理をなしている単位操作中の必須項目について、その要点をわかりやすく解説し、将来化学装置の設計、操作、計画および管理に携わろうとする学生の教材、参考書、または技術者、研究者の備忘書として役立てることを目標として手頃な一冊にまとめたもので、より詳細な専門書に入るための基礎知識としても必要なものであると信ずる。

執筆に当っては特に次の諸点に留意した。

1. 記述は出来るだけ簡潔を旨としたが、要点は省略することなくむしろ深く掘り下げて説明し、独学者の自習書にも適するよう心がけた。
2. 機器、装置はその代表的なものについて機構の要点のみを略図によって説明した。
3. 例題、演習問題などは原理の理解に役立つとともに実地的なものを選んだ。
4. 術語その他についてはできるだけ新しい表現法に従った。たとえば、従来“Unit process”を「単位反応」と称したものを「単位プロセス」としたごとくである。

以上により、もし本書が化学工学における頭書の目標を幾分にても果たすことができるならば筆者のこの上ない幸せとするところである。

本書の内容については検討を重ねた積りであるが、なお当を欠いた点、誤りの点などあることと思われる。大方の御叱正を乞うしだいである。

なお、第2章流体流動中の乱流における速度分布、第6章熱移動中の完全黒体間の輻射熱移動と角係数、第10章蒸留中のポンション・サバリー法による蒸留理論段数の計算などの部分については、一般に初学者にとって比較的難解の部に属するので、本書では一応の簡明な説明に止めた。詳細については他の著書あるいは文献を参考とされたい。

終りに、本書を著わすに際しては巻末の著書に負うところが少なくない。ま

(8)

た、東北大学名誉教授・千代田化工建設株式会社相談役 八田四郎次先生 並びに九州大学名誉教授・元福岡大学工学部長 和田正雄先生方の御懇篤なる御指導と御助言とを賜わり、かつ産業図書株式会社編集長 長島正喜氏には多大の御支援を頂いた。ここにこれらの方々に対し、深く感謝の意を表する。

昭和39年6月

著 者 し る す

先に八田先生を亡くし、今夏（8月1日）また序文を頂いた和田正雄先生と永久にお別れすることとなった。死は人の世の常とは云え無常の感一入である。先生はとりわけ工業教育と精神教育に熱意を注がれ、我が国の工業教育の発展に大きく寄与された。茲に謹んでご冥福をお祈りします。

（昭和53年8月4日記す。著者）

目 次

序 文

第1章 総 論	1
1・1 化学工学の意義	1
1・2 化学工学の内容	1
(1) 化学工学基礎	1
(2) 物理的単位操作	2
(3) 化学的単位プロセス	2
(4) そ の 他	2
1・3 化学工学における基礎事項	2
(1) 単位と換算	2
i) 基本単位と誘導単位	2
ii) 単位の換算	2
(2) 質量単位と重量単位	3
i) 質量	4
ii) 重量	3
iii) 重力換算係数	4
(3) 圧 力	4
i) 絶対圧とゲージ圧	5
ii) 真空度	5
(4) ガス定数	6
(5) 粘 度	6
(6) 比重量と比容	9
(7) 重量%とモル分率	9
(8) 物質収支とエネルギー収支	9
i) 物質収支	9
ii) エネルギー収支	10
(9) 平衡と物質移動速度	10
(10) 経済収支	11
1・4 重要な数学的事項	11
(1) 試算法	11
(2) 図積分	12
(3) 実験式の解法	13
i) $y = ax^n$	13
ii) $y = ab^{nx}$	14

(10)

iii) $z = ax^2y^2$	14
(4) 次元解析.....	15
i) 次元.....	15
ii) 無次元.....	15
iii) 次元解析.....	16
(5) 三角座標による三成分図解.....	17
i) 座標系における和.....	17
ii) 座標系における差.....	18
演習問題.....	20

第2章 流体流動.....21

2・1 流体輸送機器，管および付属品.....21

(1) 液体の輸送.....	21
i) 往復ポンプ.....	21
ii) 回転ポンプ.....	21
iii) 遠心ポンプ.....	21
iv) 軸流ポンプ.....	21
v) 特殊ポンプ.....	21
(2) 気体の輸送.....	22
i) 圧縮機.....	22
ii) 送風機.....	22
iii) 通風機.....	22
(3) 管およびその付属品.....	22
i) 管の種類.....	22
ii) 管継手類.....	23
iii) 弁類.....	24

2・2 流体流動の基礎理論.....26

(1) 流体のエネルギー収支.....	26
i) エネルギー保存の法則.....	26
ii) 流体における位置および運動 のエネルギー.....	26
iii) 流体の圧力によるエネ ルギ.....	27
iv) ベルヌーイの定理.....	27
v) 実在流体の輸送における全 エネルギー収支.....	28
vi) 流体の機械的エネルギー収支.....	31
(2) 流体の円管中における速度分布.....	37
i) 層流と乱流およびレイノルズ数.....	37
ii) 助走区間.....	38
iii) 層流における速度分布およびハーゲン・ポアズイユの式.....	38
iv) 乱流における速度分布.....	40
a) $1/r$ 乗法則.....	40
b) 対数法則.....	40
(3) 流体輸送における管内の摩擦損失.....	41
i) 直管における摩擦損失または摩擦圧損失.....	41
ii) 急激な拡大，縮小，入口の形状などによる摩擦損失.....	43
iii) 出口管端における摩擦損失.....	44

(4) 静圧と動圧	48
2・3 流量測定	49
(1) ビトー管	49
(2) オリフィス・メータ	50
i) 非圧縮性流体の場合	51
ii) 圧縮性流体の場合	52
(3) ロータメータ	52
演習問題	54
第3章 粉碎と粉体	57
3・1 粉碎概説	57
(1) 粉碎の目的	57
(2) 粉碎操作	57
i) 閉回路粉碎と開回路粉碎	57
ii) 湿式粉碎と乾式粉碎	57
(3) 原料の性質	57
(4) 粉碎の作用と機構	58
3・2 粉碎の理論	59
(1) リッチンガーの法則	59
(2) キャックの法則	59
(3) ボンドの法則	60
3・3 粉碎機の分類	61
(1) 粗 碎	61
i) 咀碎機	61
ii) 旋動破碎機	61
(2) 中 碎	62
i) ロール粉碎機	62
ii) 円板粉碎機	62
iii) 回転衝撃粉碎機	62
iv) 搗臼	62
v) エッジ・ランナ	62
(3) 微粉碎	62
i) ボール・ミル	62
ii) チューブ・ミル	63
iii) ロッド・ミル	63
iv) 遠心ロール・ミル	63
(4) 超微粉碎	63
i) ミクロ超微粉碎機	63
ii) 摩擦円板ミル	63
iii) プレミア・コロイドミル	63
iv) 流体粉碎機	63
3・4 粉体の性状	64

(12)

(1) 粒 径	64
i) 単一粒径	64
ii) 平均粒径	64
(2) 形状係数	65
i) 表面積形状係数	65
ii) 体積形状係数	65
iii) 比表面積形状係数	66
(3) 重量%, 形状係数および平均粒径の関係	67
i) 算術平均の場合	67
ii) 平均体積径の場合	67
iii) 平均表面積径の場合	67
iv) 体面積平均径の場合	67
v) 比表面積の場合	67
(4) 空隙率	69
i) 一定粒径の場合	69
ii) 粒径の異なる場合	69
iii) その他の場合	69
(5) 粉体層における流体の透過圧	70
3・5 粒径分布(または粒度分布)	71
(1) 頻度分布, 累積通過分布および累積残留分布	71
(2) 頻度分布曲線の数式による表わし方(ロジソ・ラムラーの指数法則)	72
3・6 粉体の粒径, 比表面積および粒径分布の測定法	75
(1) 篩分法	75
(2) 液体沈降法	76
i) アンドレアゼン・ビベット法	76
(3) 空気透過法	77
(4) 吸着法	77
(5) 比濁計法(光透過法)	77
演習問題	79
第4章 粉体の機械的分離および捕集	82
4・1 粉体の機械的分離法の分類	82
4・2 篩分法	82
4・3 重力沈降法	83
(1) 重力沈降の基礎理論	83
i) 流体中の物体の運動における抵抗	83
ii) 粒子の自由沈降速度	84
iii) 二種の粒子の沈降分離	85
(2) 重力沈降装置	86
i) 重力沈降室	86
ii) Howard 集塵装置	87
iii) 沈降槽	87
iv) フル分級機	87

v) 上昇流型沈降分離装置	87	vi) ジョグ	87
vii) 沈降濃縮槽	88		
(8) 連続沈降濃縮装置の設計	88		
i) 所要面積	88	ii) 容積および深さ	88
4・4 衝突法	90		
(1) 衝突効率と分離数	90		
(2) 衝突沈降装置	92		
(3) 洗浄集塵装置	92		
i) 充填塔	92	ii) タイゼン・ワッシャー	92
iii) サイクロン・スクラバ	92	iv) ペンデュリ・スクラバ	92
4・5 濾過集塵法	92		
(1) バッグ・フィルター	92		
(2) 充填層	93		
4・6 遠心沈降法	93		
(1) 遠心分離の理論	93		
i) 遠心力および遠心効果	93	ii) 回転液体の示す圧力	94
iii) 遠心力場における液体中の固体粒子の運動	95		
(2) 遠心沈降装置	96		
i) サイクロン	96	ii) エヤー・セパレーター	97
iii) 遠心沈降機	98		
4・7 電気的分離法	101		
(1) 磁気的分離法(磁力選鉱法)	101		
(2) 静電気的分離法(コットレル集塵法)	101		
4・8 その他の分離法	102		
(1) 浮遊選鉱法	102		
(2) 音波集塵法	102		
4・9 濾過	102		
(1) 濾過の意義	102		
(2) 濾材および濾過助材	103		
(3) 濾液および濾滓の量的関係	103		
4・10 濾過の理論	104		
(1) 濾過における基礎方程式	104		

(14)

(2) 濾材の抵抗	105
(8) 濾滓の抵抗	105
(4) 恒圧濾過の方程式	106
(5) オリバー・フィルターの濾過式	108
(6) 濾滓の洗浄速度	109
i) フィルター・プレスの場合	109
ii) オリバー・フィルターの場合	109
(7) 濾滓洗浄の理論	110
(8) 遠心濾過の理論	110
4・11 濾過装置	113
(1) 重力濾過器	113
(2) 回分式濾過器(圧力および真空濾過器)	113
i) 圧濾器	113
ii) 葉状濾過器	114
(3) 連続式回転濾過器	115
i) オリバー・フィルター	115
ii) アメリカン・フィルター	115
iii) ドルコ濾過器	115
iv) パード・ヤング濾過器	115
v) プレコート・カッティング・フィルター	115
(4) 遠心濾過機	116
i) 回分式バスケット型遠心分離機	116
ii) 連続式水平型遠心分離機	116
演習問題	116

第5章 混 合

5・1 混合概説	119
(1) 混合の目的	119
(2) 混合の分類	119
(3) 混合作用に影響を与える物理的条件	119
i) 液体混合の場合	119
ii) 固体混合の場合	119
5・2 混合の理論	120
(1) 混合の度合	120
i) 液体における混合度	120
ii) 固体における混合度	120
iii) 粒径の異なるものの混合における混合度	122
(2) 混合速度	122
(3) 攪拌による固体の溶解および気泡の分散	122
i) 攪拌による固体の溶解速度	123
ii) 攪拌による気泡の液中への分散	124
5・3 混合機の分類	124

(1) 混合機	124
i) 回転円筒混合機	124
ii) 混合翼付固定型混合機	125
(2) 捏和機	125
i) 腕型捏和機	125
ii) バッグ・ミル	125
iii) スクリュー型押出機	126
iv) ロール捏和機	126
v) エッジ・ランナ	126
vi) 垂直式捏和機	126
vii) 土練機	126
(3) 攪拌機	126
i) 櫛型攪拌機	126
ii) プロペラ攪拌機	126
iii) タービン型攪拌機	127
iv) らせん攪拌機	127
v) 空気攪拌機	127
vi) ジェット・ミキサー	127
vii) その他の攪拌機	127
5・4 攪拌所要動力	127
(1) 攪拌羽根の回転所要動力計算一般式	127
(2) 櫛型攪拌機	129
(3) タービン攪拌機	130
演習問題	131
第6章 熱移動	132
6・1 伝導伝熱	132
(1) フーリエの法則	132
(2) 熱伝導度	133
i) 固体の熱伝導度	133
ii) 異種物体の層における熱伝導	134
a) 平板状の場合	134
b) 中空円筒状の場合	135
6・2 対流伝熱	137
(1) 熱貫流および熱伝達	137
(2) 平均温度差	140
(3) 境膜温度	141
(4) 境膜伝熱係数	142
6・3 境膜伝熱係数を求める実験式	143
(1) 相の変化を伴わぬ対流伝熱	143
i) 円管内乱流の場合	143
ii) 円管内層流の場合	144
iii) 円管外流れの場合	145
iv) 自然対流の場合	146
(2) 相の変化を伴う対流伝熱	146
i) 蒸気凝縮伝熱	146