

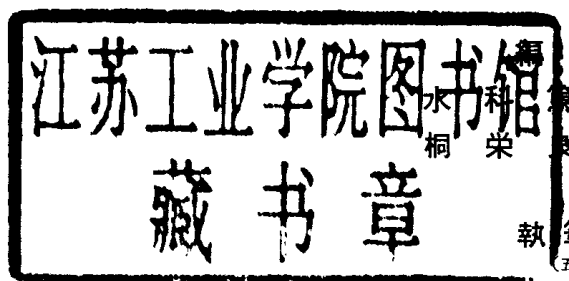
化学工学概論

桐水

52
7/7723
181



化学工学概論



者郎三

執筆者
(五十音順)

岡	崎	守	男
荻	野	文	丸
佐	田	栄	三
橋	本	健	治
牧	野	和	孝

産業図書

<編者略歴>

みず しな とく ろう
水 科 篤 郎

昭和17年 京都帝国大学工学部化学機械学科卒業

昭和23年 工学博士

昭和31年 京都大学工学部教授

とう えい りょう ぞう
桐 栄 良 三

昭和18年 京都帝国大学工学部化学機械学科卒業

昭和28年 工学博士

昭和36年 京都大学工学部教授

<執筆者略歴>

おか ぎき もり せ
岡 崎 守 男

昭和31年 京都大学工学部化学機械学科卒業

昭和42年 京都大学工学部助教授

昭和50年 工学博士

おぎ の みみ まる
荻 野 文 丸

昭和38年 京都大学工学部化学機械学科卒業

昭和44年 京都大学工学部助教授

昭和46年 工学博士

さ だ えい ぞう
佐 田 栄 三

昭和23年 名古屋大学工学部応用化学科卒業

昭和33年 工学博士

昭和52年 京都大学工学部教授

はし もと けん じ
橋 本 健 治

昭和33年 京都大学工学部化学機械学科卒業

昭和39年 工学博士

昭和50年 京都大学工学部教授

まき の かず たか
牧 野 和 孝

昭和33年 名古屋大学工学部化学工学科卒業

昭和46年 工学博士

昭和49年 京都大学工学部助教授

化学工学概論

定価 2900 円

昭和54年 3月19日 初 版

編 者 水 科 篤 郎
桐 栄 良 三

発 行 者 森 田 勝 久

発 行 所 産 業 図 書 株 式 会 社

東京都千代田区外神田1-4-21

郵便番号 101-91

電 話 東京 (253) 7821 (代)

振替口座 東京 2-27724 番

© Tokuro Mizushima 1979
Ryozo Toei

東陽印刷・清水製本

序

産業図書から名著「化学機械の理論と計算」が出版されてから30年、「化学工学概論」の執筆を要望されてすでに久しい。一つには手頃な書籍がほしいということ、もう一つには反応装置や装置制御も含めた本がほしいということがその理由であった。

諸般の事情からのびのびになってきたが、ここによりやく本書を発刊する運びとなった。本書は京都大学化学工学教室に勤務する教授、助教授7名の執筆、編集によるもので、何度も原稿を回覧して検討を重ねた。

内容は化学工業量論、移動現象等の化学工学基礎と、流体系拡散単位操作、固相系拡散単位操作、機械的単位操作等の単位操作、反応装置工学および装置制御を含め、化学工学全般にわたりなるべくわかりやすいように記述することにつとめた。また演習の便のために、例題を多く挿入し、各章・節の終りにまとめた問題にも答を付した。また巻末に諸物性値を付録としてまとめた。

単位はSIを使用した。世界的傾向としてSI単位への切り換えが行なわれていること、日本の化学工学協会でもSI単位への移行が決定されていることに基づくものである。

各章の分担は次のごとくである。

第1章	化学工業量論	橋本健治
第2章	移動現象	荻野文丸
第3章	流体系拡散単位操作	佐田栄三
	(3.4節)	岡崎守男

第4章	固相系拡散単位操作	岡崎守男
第5章	機械的単位操作	牧野和孝
第6章	化学反応装置	橋本健治
第7章	装置制御	牧野和孝
付 録		岡崎守男

校正その他の誤りも皆無とはいえまい。読者諸氏の御注意により、さらに内容を改善していく所存であるから、ここに御叱正をお願いする次第である。最後に本書が化学工学を学ぶ人々に役立ちうることを望む。

1979年2月

編者識

目 次

序

第1章 化学工業量論	1
1.1 単 位	1
1.1.1 単位系	1
1.1.2 国際単位系 (SI)	2
1.1.3 単位の換算	4
1.2 物質収支	5
1.2.1 物質収支の基礎式	5
1.2.2 物質収支の計算	6
1.3 エネルギー収支	13
1.3.1 エネルギー収支式	13
1.3.2 物理的過程のエンタルピー変化	16
1.3.3 化学反応に伴うエンタルピー変化	17
1.4 問 題	20
第2章 移動現象	23
2.1 流 動	24
2.1.1 管内の流動	24
2.1.2 流体摩擦係数	31
2.1.3 流れ系の収支式	34
2.1.4 圧力, 流速, 流量の測定	42
2.1.5 流体輸送機	48
2.1.6 問 題	51
2.2 伝 熱	51
2.2.1 熱伝導	52

2.2.2 対流伝熱と伝熱係数	57
2.2.3 熱交換器	71
2.2.4 ふく射伝熱	77
2.2.5 問 題	82
2.3 蒸 発	83
2.3.1 蒸発器の種類	83
2.3.2 蒸発の計算	86
2.3.3 多重効用蒸発	90
2.3.4 問 題	91
2.4 拡 散	91
2.4.1 拡散基礎	91
2.4.2 物質移動係数	96
2.4.3 問 題	100
第3章 流体系拡散単位操作	103
3.1 ガス吸収	103
3.1.1 気体の溶解度	103
3.1.2 吸収速度	105
3.1.3 吸収装置	109
3.1.4 充てん塔の設計	115
3.1.5 問 題	128
3.2 蒸 留	129
3.2.1 気液平衡	129
3.2.2 単蒸留	134
3.2.3 水蒸気蒸留および減圧蒸留	136
3.2.4 フラッシュ蒸留および平衡分縮	137
3.2.5 精留装置	138
3.2.6 連続精留段塔の設計	141
3.2.7 共沸蒸留および抽出蒸留	151
3.2.8 問 題	151
3.3 液液抽出	152
3.3.1 液液平衡	152
3.3.2 液液抽出装置	155
3.3.3 抽剤の選択	157
3.3.4 抽出装置の段数計算	157
3.3.5 固液抽出	165
3.3.6 問 題	167
3.4 空気調湿・水冷却	169
3.4.1 湿り空気の物性	169
3.4.2 気液間の熱・物質同時移動	170

3.4.3 湿度図表	173
3.4.4 空気調湿および水冷却	178
3.4.5 問 題	185
第4章 固相系拡散単位操作	187
4.1 吸 着	187
4.1.1 吸着と吸着剤	187
4.1.2 吸着平衡	189
4.1.3 吸着操作と装置設計	192
4.1.4 吸着装置	198
4.1.5 イオン交換	200
4.1.6 問 題	202
4.2 乾 燥	202
4.2.1 各種材料の乾燥機構と乾燥特性	202
4.2.2 乾燥装置	206
4.2.3 定率乾燥速度	212
4.2.4 減率乾燥速度	217
4.2.5 連続式熱風乾燥装置の設計	218
4.2.6 問 題	224
第5章 機械的単位操作	227
5.1 流体中の単一粒子の挙動	227
5.1.1 抵抗係数とレイノルズ数	227
5.1.2 重力下の粒子の沈降と終末速度	229
5.1.3 遠心力下における粒子の運動	232
5.1.4 障害物まわりの粒子の運動	235
5.2 粒子充てん層を通過する流れ	237
5.2.1 D'Arcy の式と透過率	237
5.2.2 Kozeny-Carman の式	239
5.3 粒度分布	242
5.3.1 粒子径	242
5.3.2 平均粒子径	243
5.3.3 粒径分布	245
5.4 集じん	248
5.4.1 重力集じん	249
5.4.2 遠心力集じん (サイクロン)	252
5.4.3 フィルター集じん	255
5.4.4 洗浄集じん	260
5.4.5 その他	263

5.5 固液分離	264
5.5.1 沈降濃縮	264
5.5.2 連続式シックナー	265
5.5.3 遠心分離	270
5.6 濾 過	273
5.6.1 濾材と濾過圧力	273
5.6.2 濾過装置	274
5.6.3 濾過方程式	276
5.6.4 連続式回転円筒濾過器の濾過方程式	277
5.7 粉 砕	278
5.7.1 粉碎のエネルギーと速度	279
5.7.2 粉碎操作	281
5.7.3 粉碎機	283
5.8 問 題	285
 第6章 化学反応装置	 287
6.1 化学反応と反応装置の分類	287
6.1.1 化学反応	287
6.1.2 反応装置	287
6.2 反応速度式	289
6.2.1 反応速度の定義	289
6.2.2 反応速度式	291
6.2.3 定常状態の近似	291
6.2.4 律速段階の近似	293
6.3 反応速度に対する物質移動の影響	294
6.3.1 触媒粒子内での物質移動	294
6.3.2 触媒有効係数	295
6.4 反応速度の解析と反応器の設計	297
6.4.1 量論関係	297
6.4.2 反応器の設計方程式	300
6.4.3 等温反応操作	303
6.4.4 反応装置における熱収支	308
6.4.5 断熱回分反応器の設計	308
6.5 工業反応装置	310
6.5.1 攪拌槽型反応器	310
6.5.2 管型反応器	312
6.5.3 固定層反応器	313
6.5.4 流動層反応器	314
6.5.5 その他の反応器	315
6.6 問 題	317

第7章 装置制御	321
7.1 自動制御系の構成	321
7.2 入出力関係と伝達関数	324
7.3 制御系のブロック線図	326
7.4 ステップ応答とインパルス応答	327
7.4.1 ステップ応答	327
7.4.2 インパルス応答	330
7.5 プロセス調節計	331
7.5.1 比例調節計 (P調節計)	331
7.5.2 積分調節計 (I調節計)	331
7.5.3 微分調節計 (D調節計)	332
7.5.4 比例・積分・微分調節計 (PID調節計)	332
7.6 制御系の安定性	333
7.7 問 題	335
付 録	337
索 引	365

第1章 化学工業量論

化学工業においては、物質とエネルギーの質的ならびに量的な変化を取り扱う。その場合に、諸量の定量的表現の基礎になる単位とその換算、化学反応の成分間の量的関係、ならびに物質収支とエネルギー収支の計算法についての知識が基礎事項の一つになる。このような分野を化学工業量論と呼んでいる。

1.1 単 位

1.1.1 単 位 系

物理量を数値として定量的に表現するには基準となる単位を定めて、その何倍になるかを決定すればよい。単位は基本単位と組立て単位にわかれる。長さ、時間などは基本単位であり、面積、速度などは基本単位の組合せによって表わせる組立て単位である。基本単位のとり方は一義的ではない。基本単位として長さ、質量、時間を用いる単位系を絶対単位系という。そのうち、 $[cm]$ 、 $[g]$ 、 $[s]$ を基本単位とする系を CGS 単位系といい、 $[m]$ 、 $[kg]$ 、 $[s]$ を基本単位とする場合を MKS 単位系という。これらの絶対単位系は物理学の分野で採用されている。これに対して、長さ $[m]$ 、力 $[Kg]$ および、時間 $[s]$ を基本単位に選ぶ系を重力単位系という。この単位系は機械工学の分野で用いられてきた。

一方、化学工学では、質量 $[kg]$ 、密度 $[kg/m^3]$ 、粘度 $[kg/m \cdot s]$ などの諸量を絶対単位系で表わし、力 $[Kg]$ 、圧力 $[Kg/m^2]$ 、仕事 $[Kg \cdot m]$ などを重力単位系で表わしてきた。このように絶対および重力単位を併用する単位系を

工学単位系という。

工学単位系における最大の難点は、一つの式の中に質量 [kg] と力 [Kg] とが含まれるとき各項が必ずしも次元的に等しくならないという点である。この矛盾を解決するために、換算係数を用いて式中の各項の次元を絶対単位系か重力単位系のいずれかに統一する必要がある。その係数を重力換算係数 g_c とする。 g_c は $9.807 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{Kg}\cdot\text{s}^2$ なる値をもつ。

このように学問の専門分野で異なった単位系が長い間用いられている。さらにイギリスおよびアメリカでは長さを 10 進法でない ft (フィート)、質量を lb (ポンド) でそれぞれ表わしており、相互の関係が複雑であり、換算に時間がかかり不便であった。それを克服するために合理的に構成された国際単位系 (SI と略称される) が新たに制定され、各国がその実施にふみきっている。本書においては原則としてこの SI を使用する。次に SI の概要を説明する。

1.1.2 国際単位系 (SI)

SI は従来の MKS 系の絶対単位を基本にしてそれを合理的に整理した単位系である。SI は表 1.1 に示す 7 種の基本単位と 2 種の補助単位より成立している。物質の量は mol (モル) で表わされる。1 mol は 0.012 kg の炭素 12 に含まれる炭素原子と同数の単位粒子 (原子、分子、イオンなど) を含む系の物質の量と定義される。したがって、次元的に健全な理論式に含まれる分子量 M に数値を代入するときは、式中のすべての物理量に SI を使用する場合には M には $[\text{kg}/\text{mol}]$ の単位で表わした数値を代入しなければならない。

基本単位からつくられる組立て単位のうちで固有の名称を与えられる単位は 17 個あるが、表 1.2 に本書によく現われる代表的な組立て単位の名称とその定義を示す。

質量 1 kg の物体に $1 \text{ m}/\text{s}^2$ の加速度を生じる力を 1 N (ニュートン) と定義する。 1 N の力が 1 m^2 の面積に作用するときの圧力が 1 Pa (パスカル) である。 1 N の力が作用して物体を 1 m 移動させる仕事量 (エネルギー) が 1 J (ジュール) である。また、 1 s (秒) 当り 1 J の仕事をする仕事率を 1 W (ワット) と定義する。上記の諸単位を SI 基本単位の kg , m および s で表わしたときの定義と組立て単位の相互関係も表 1.2 に与えられている。

表 1.1 SI 基本単位 (7 個) と SI 補助単位 (2 個)

物 理 量	単 位 の 名 称		単位の記号
長 さ	メートル	metre	m
質 量	キログラム	kilogramme	kg
時 間	秒	second	s
電 流	アンペア	ampere	A
熱力学温度	ケルビン	kelvin	K
光 度	カンデラ	candela	cd
物質の量	モル	mole	mol
平面角	ラジアン	radian	rad
立体角	ステラジアン	steradian	sr

表 1.2 固有の名称をもつ組立て単位

物 理 量	単位の名称	単位の記号	SI 基本単位および組立て単位による定義
力	newton	N	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} = \text{J} \cdot \text{m}^{-1}$
圧 力	pascal	Pa	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} = \text{N} \cdot \text{m}^{-2} = \text{J} \cdot \text{m}^{-3}$
エネルギー	joule	J	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{Pa} \cdot \text{m}^3$
仕事率	watt	W	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} = \text{J} \cdot \text{s}^{-1}$
周波数	hertz	Hz	s^{-1}
電 荷	coulomb	C	$\text{A} \cdot \text{s}$
電位差	volt	V	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = \text{J} \cdot \text{C}^{-1}$
電気抵抗	ohm	Ω	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2} = \text{V} \cdot \text{A}^{-1}$

表 1.3 おもな SI 接頭語

大 き さ	名 称	記 号
10^3	kilo	k
10^6	mega	M
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p

SI では原則的には一つの物理量に一種の単位を用いるから、すべての物理量の間の換算係数は1になる。その反面、誘導された単位が実用上便利な大きさ（たとえば0.1～1000程度の数値）になるとは限らない。そこで表1.3に示すような各種の接頭語の使用が認められている。標準大気圧 $1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ は $10^6 = 1 \text{ mega}$ であるから 0.1013 MPa のように書くことができる。

SI は合理的な単位系であり、従来の単位系からSIへの切換えが促進されることが望ましいが、現実的には、SIの移行は漸進的に進められるであろう。付録13に単位換算表がまとめられている。

1.1.3 単位の換算

非SIで表わされている量と式をSIによって表現する換算法を例題によって示す。

例題 1.1 気体定数 $R = 0.08205 \text{ l} \cdot \text{atm} / \text{mol} \cdot \text{K}$ をSIによって表わせ。

解 単位の換算表を用いて非SIのlとatmをSIに直す。

$$1 \text{ l} = 10^{-3} \text{ m}^3, \quad 1 \text{ atm} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$$

であるから

$$\begin{aligned} R &= 0.08205 \times 10^{-3} \times 1.01325 \times 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{Pa} / \text{mol} \cdot \text{K} \\ &= 8.314 \text{ m}^3 \cdot \text{Pa} / \text{mol} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

が得られる。さらに表1.2より

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ J} / \text{m}^3 = 1 \text{ kg} / \text{m} \cdot \text{s}^2$$

の関係を用いると

$$R = 8.314 \text{ J} / \text{mol} \cdot \text{K} = 8.314 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2 \cdot \text{mol} \cdot \text{K}$$

が得られる。

気体定数 R の値は、圧力と体積のとり方により、 $R = 0.08205 \text{ l} \cdot \text{atm} / \text{mol} \cdot \text{K}$ あるいは $R = 82.05 \text{ cm}^3 \cdot \text{atm} / \text{mol} \cdot \text{K}$ になり、熱力学における熱量や仕事量の計算、反応熱や平衡定数の計算には $R = 1.987 \text{ cal} / \text{mol} \cdot \text{K}$ なる値を使用してきたが、SIでは圧力にPa、体積に m^3 、エネルギーにJを用いると $R = 8.314 \text{ J} / \text{mol} \cdot \text{K}$ だけを記憶しておけばよい。

例題 1.2 2原子ガスが管内を乱流で流れるときのガス側伝熱係数 h は次の

有次元式で表わされる.

$$h = 0.0156 c_p G^{0.8} / D^{0.2} \quad (i)$$

ここに h は $[\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$, c_p は定圧比熱容量 $[\text{kcal}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}]$, G はガス質量速度 $[\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$, D は管内径 $[\text{m}]$ の単位をもつ. この式を SI で表わせ.

解 式 (i) の比例定数を A とおくと, 次のような単位をもつ.

$$\begin{aligned} [A] &= \left[\frac{h D^{0.2}}{c_p G^{0.8}} \right] = \left[\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \frac{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{kcal}} \cdot \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \right)^{-0.8} (\text{m})^{0.2} \right] \\ &= [\text{kg}^{0.2} / \text{m}^{0.2} \cdot \text{h}^{0.2}] \end{aligned}$$

1 h = 3600 s であるから

$$\begin{aligned} A &= 0.0156 \text{ kg}^{0.2} / \text{m}^{0.2} \cdot \text{h}^{0.2} = (0.0156) (3600)^{-0.2} \text{ kg}^{0.2} / \text{m}^{0.2} \cdot \text{s}^{0.2} \\ &= 3.03 \times 10^{-3} \text{ kg}^{0.2} / \text{m}^{0.2} \cdot \text{s}^{0.2} \end{aligned}$$

したがって SI では

$$h' = 3.03 \times 10^{-3} c_p' G'^{0.8} / D'^{0.2}$$

となる. ただし, h' は $[\text{J}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}]$, c_p' は $[\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}]$, G' は $[\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}]$ ならびに D' は $[\text{m}]$ の単位をそれぞれもつ.

1.2 物質収支

化学工業では各種の物質の流れを取り扱うが, 装置内を物質が流れる間に, 物理的および化学的变化を受けてその量および物質そのものが変化する. その変化を定量的に考察することを物質収支という.

1.2.1 物質収支の基礎式

物質収支の計算を行なうには, まず, 閉じた空間を系として設定し, そこに出入りする物質の収支関係を考えればよい. 系としては, プロセスの全体あるいは任意の部分を選ぶことができる.

任意の成分 J に対する一般的な物質収支式は

$$\left(\begin{array}{c} J \text{ 成分の系内} \\ \text{での蓄積量} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} J \text{ 成分の系} \\ \text{への入量} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} J \text{ 成分の系} \\ \text{からの出量} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} J \text{ 成分の} \\ \text{生成量} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} J \text{ 成分の} \\ \text{消失量} \end{array} \right) \quad (1.1)$$

のように書ける。定常状態では左辺が0になる。上式は質量基準でも物質質量(モル)基準でも成立するが、反応を伴う場合には、物質質量基準を採用する方が計算が簡単になる。

個々の成分ではなくて、全物質の質量に着目すると、質量保存の法則によって式(1.1)の右辺の第3項および第4項がともにゼロになり、次式が成立する。

$$\left(\begin{array}{c} \text{全物質の系内での} \\ \text{質量蓄積量} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{全物質の系へ} \\ \text{流入する質量} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{全物質の系から} \\ \text{流出する質量} \end{array} \right) \quad (1.2)$$

一方、化学反応を含む場合でも、ある元素、Eに着目すると、同様に次式が成立する。

$$\left(\begin{array}{c} \text{元素Eの系内} \\ \text{での蓄積量} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{元素Eの} \\ \text{系への入量} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{元素Eの} \\ \text{系からの出量} \end{array} \right) \quad (1.3)$$

1.2.2 物質収支の計算

物質収支の計算は、次のような手順に従って進めるのがよい。

- (1) プロセスの簡単な略図を書き、与えられたデータを記入する。化学反応が起こる場合は化学反応式を書いておく。
- (2) 計算のために適当な基準を選定する。問題に基準が与えられている場合があるが、その基準が問題を解くときに最も便利な基準であるとは限らない。
- (3) 各成分に対して物質収支式がたてられるが、未知数の数が多くなると計算が複雑になってくる。系に流入する物質のうちで、系内で変化せずに流出する物質が存在することがある。たとえば燃焼反応における空気中の N_2 のような物質である。このような物質を手がかり物質という。この手がかり物質にまず着目すると、収支計算が簡単になることが多い。

以下の例題によって物質収支計算の具体的な進め方を示す。

a. 手がかり物質の活用

例題 1.3 モル分率で 0.25 の CO_2 と 0.75 の NH_3 からなる混合ガスを酸性水溶液に通して NH_3 を吸収させたところ、出口ガス中の NH_3 のモル分率は 0.375 になった。入口ガス中の NH_3 に対して吸収された NH_3 の割合

を求めよ。ただし CO_2 の吸収と水溶液の蒸発は考えなくてもよい。

解 基準：入口ガス 100 mol.

その中に $\text{CO}_2=25$ mol, $\text{NH}_3=75$ mol 含まれている。 CO_2 は吸収されずにそのまま排出されるから、この場合の手がかり物質は CO_2 である。25 mol の CO_2 は出口において、 $1-0.375=0.625$ のモル分率に相当する。一方、出口における NH_3 のモル分率は 0.375 である。したがって

$$\text{出口の } \text{NH}_3 = 25 \times \frac{0.375}{0.625} = 15 \text{ mol}$$

$$\text{NH}_3 \text{ の吸収率} = \frac{75-15}{75} \times 100 = 80\%$$

b. 燃 焼 反 応

燃焼の問題を解くときに必要な用語を説明する。

(i) **湿り燃焼ガス：**燃焼過程で得られる水蒸気を含んだ全気体。(ii) **乾き燃焼ガス：**燃焼ガス中から水蒸気を除外した全気体。(iii) **理論空気：**完全燃焼に必要な空気量。(iv) **過剰空気：**理論空気よりも過剰に含まれている空気量。C から CO_2 と CO が生成しても、過剰空気は C より CO_2 のみが生成するとして計算する。(v) **過剰空気率：**次式より計算できる。

$$\text{過剰空気率} = \frac{\text{過剰空気}}{\text{理論空気}} \times 100\% \quad (1.4)$$

例題 1.4 CとHよりなる燃料油を空気で燃焼したところ、乾き燃焼ガス基準で次の組成をもった燃焼ガスが得られた。

$$\text{CO}_2=13.4 \text{ vol}\% \quad \text{O}_2=3.6\% \quad \text{N}_2=83.0\%$$

次の各項を計算せよ。

- (a) 過剰空気率 [%]
- (b) 燃料油の組成
- (c) 100 kg の油から発生
する湿り燃焼ガス量 [mol]
と各成分のモル分率

解 フローシートを図 1.1 に示す。

基準：乾き燃焼ガス 100 mol

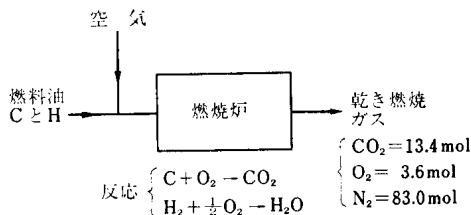


図 1.1 燃焼プロセス