- 16) 井本立也ら: “重合反応工学” 日刊工業 (1970)
- 17) Kenics: USP-3286992
- 18) Koppers: JP-S 36-17292
- 19) Koppers: USP-3126365
- 20) Kurare: JP-S 43-11856
- 21) 間藤太雄, 寛前恒夫: “重合の反応工学”, 化学同人 (1968)
- 22) Mayo, F.F. and F.M. Lewis: *J. Am. Chem. Soc.*, **66**, 1594 (1944)
- 23) Monsanto: JP-S 42-26170
- 24) Monte Catini: JP-S 37-3291
- 25) 村上泰弘: ケミカルエンジニアリング, No.2, 49, No.3, 55 (1969)
- 26) Nihon Rayon: JP-S 42-5453
- 27) Nihon Rayon: JP-S 42-19275
- 28) O'Driscoll, K.F. and R. Knorr: *Macromolecules*, **1**, 367 (1968)
- 29) Onderzoekingsinstitut: BP-840212
- 30) 大島栄次: 化学技術, **23**, 123 (1971)

- 31) 大島栄次: “重合の反応工学” 化学同人 (1968)
- 32) Parker, N.: *Chem. Eng.*, **72**, Sept., 179 (1965)
- 33) Petro Chemicals: JP-S 36-13441
- 34) Philips: JP-S 37-10087
- 35) Rodenacker, W.: *Chemie-Ing.-Tech.*, **38**, 175 (1964)
- 36) 佐伯康治: “ポリマー製造プロセス” 工業調査会 (1971)
- 37) Schulz, G.V.: *Z. Phys. Chem.*, **B 6**, 290 (1956)
- 38) Tadmor, Z. and J. A. Biesenberger: *I. E. C. Fund.*, **5**, No. 3, 336 (1966)
- 39) Teijin: JP-S 36-17791, 17792
- 40) Tobolsky, A.V. et al.: *J. Am. Chem. Soc.*, **82**, 1277 (1960)
- 41) Toray: JP-S 42-21757
- 42) Toyokoatsu: FP-1440011
- 43) Trommsdorff, E. et al.: *Makromol. Chem.*, **1**, 169 (1948)
- 44) 宇野精二, 鈴木昭三: 化学工学, **30**, 687 (1966)
- 45) 山口興治: “重合の反応工学” 化学同人 (1968)
- 46) 山本一夫: “重合の反応工学” 化学同人 (1968)
- 47) 弓削耕, 北川克一: 高分子, **10**, 84 (1970)

6. 高温反応装置*

杉山幸男**

はじめに

高温反応装置の関与する工業分野は化学工業にとどまらず、金属工業、窯業、原子炉材工業、電子材料工業などときわめて幅広い、従来、なにをもって高温反応装置とするかには定説がなく、多くは燃料の燃焼温度を目安とするか、単に1,000°C近傍を目安とするなどとしていくようである。しかし、高温反応操作は各工業の発展の過渡的な用語として生まれたものであり、定説には時間の猶予が必要である。したがって、本稿においてはひとまず1,000°C前後を一つの目安として高温反応装置に関する1968年以降の研究のおもなものを反応工学的な面に観点をしぼってレビューする。

周知のように反応工学は化学反応を工業スケールで操作するとき生ずる諸問題、つまり、熱、物質の移動過程、混合、分散、接触効率、接触時間分布などと化学反応との関連を研究、体系化し、反応装置の設計、操作、制御あるいは開発に役立たせようとする学問である。したがって、反応装置を反応工学的観点から見た場合、まず接触方式(装置形式)による分類が便利である。最近、国井⁽⁴⁾は高温反応工学なる学問体系を提唱し、高温反応装置を反応工学的にアプローチする手法を提案して

いる。つまり、高温反応装置を接触方式に基づいて分類し、基礎反応工学と反応装置工学とに分けて研究の方向を示唆している。しかし、高温反応装置における接触方式は高温発生手段によって大きな制約を受け、その間の反応工学的な問題も高温発生手段ごとに特異な面も多い。反応装置に関連する高温発生の諸方法を分類、整理すると図1のようになる⁽⁵⁾。ここではやや統一性に欠くが、研究の現況をふまえて、高温反応装置を便宜的に固相、液相、気相の各項に分け、各項ごとに最近の研究の動向を概説する。

1. 固相反応装置

固体は一般に反応性に乏しく、固相反応(無触媒)は

図1 高温発生手段の分類

* 昭和47年4月17日受理

** Sachio Sugiyama (正会員) 名古屋大学工学部化学工学科

従来から高温で操作されることが多い。そのため固相反応装置を高温反応装置として眺めた場合、研究の多くは従来の研究の延長上にあり、通常温度の反応装置と接触する部分も多い。固相反応装置の根本的な改良のためには、むしろ反応温度を低下させる努力、あるいは気相反応化することに向けられるべきと思われるが、現在のこのような努力のほとんどは純化学的なベースで行なわれている。

1.1 固相反応の基礎

固・気、固・液、固・固を問わず固相反応の総括反応速度は熱、物質の移動過程によって大きな影響を受け、基礎反応工学からの研究、つまり単一固体粒子に関連する研究の重要性が他に比べて強調される。そのため、本レビューの観点からはやや逸脱するが、固相反応に関する最近の基礎反応工学的な研究のおもなものを表1に示す。また、Wen and Wang⁽¹⁵⁾は固・気反応に関して、いわゆる core モデルに準拠した研究の大纲を詳細に総説している。

1.2 固定層型反応装置

固定層型の固相反応装置の多くは固・気反応を操作するために用いられる。この種の反応装置においては個々の反応の特異性を考慮しつつスケールアップと諸操作因子との関連を検討することがまず重要となるが、基礎反応工学的研究の充実と相まってある程度の理論的予知の可能な現況にある。

Scott⁽¹⁷⁾は原子炉の冷却材としてヘリウムを用いたとき汚染源となる微量水素の除去を酸化銅を充填した固定層で行ない、このときの破過曲線を固定層内の気体流れに関してはピストン流、固体内の反応に関しては core モデルを仮定して解析し、実験と検証するとともに、結果を図2および3に示すように無次元パラメータ、 $X(=C/C_0)$, $Z(=3C_0(Ft - V_i F_e)/4\pi b^2 G \rho_s V_i)$, $K_I(=4\pi e D \rho_b V_i/F)$, $K_E(=k_f a V_i/F)$ を用いて一つの図表に整理している。また、杉山⁽¹⁷⁾は石膏の脱水反応を例にとり、脱水反応完結時間を伝熱の見地から解析して無次元パラメータを整理し、同種の図表を作成している。そのほか、Bishoff⁽¹⁸⁾、森山⁽¹⁹⁾によって解析的近似手段が報告されているが、非等温、非等濃度場での解析はまだ不十分のようである。ややおもむきは異なるが、固定層型反応装置のひとつの改良として気流中に反応に関与しない固体微粒子を流動化させるいわゆる Fluidized-Fixed Bed がある。固体微粒子の作用によって固体表面における熱、物質の移動が促進される。Royston⁽²⁰⁾は気流中に固体粒子の浮遊した場合の粒子-流体間伝熱係数を測定し、図4に結果をまとめている。F-F 層については Kato⁽⁴³⁾、Kim⁽⁴⁴⁾、杉山⁽⁴⁵⁾の研究がある。また F-F 層においては層内の雰囲気が均一化し、反応処理の迅速化、装置の小型化に効果があると思われ、今後

図2 無次元破過曲線

図3 10% 破過時間 (無次元)

図4 固体粒子を気流中に浮遊させた場合の粒子-流体間伝熱係数 (充填層)

表1 固体反応に関する基礎反応工学的研究

core モデル:	52), 53), 37)~39), 72), 90), 114)
zone モデル:	91)~95)
固・気反応	heterogeneous モデル: 120), 105)
	複合反応解析: 116), 117), 93), 94)
	実験的研究: 4), 15), 10), 112), 79), 6), 111), 61), 11), 12), 106), 5), 103), 96)
固・液反応:	20), 22)
固・固反応:	69), 47), 95), 104), 80)

が期待される。

1.3 移動層型反応装置

移動層型の固相反応装置も固定層型の場合と同様に

図5 化学蒸着層の成長速度

表2 固体表面反応操作に関する研究

化学蒸着: 68), 7)
高純度精製: 8), 2), 55), 66)

表3 溶融体の反応に関する研究

反応基質: 113), 54), 24), 109), 77), 62), 30)
反応装置: 71), 25), 78), 51), 56), 50)

固・気反応に多用され、ピストン流による連続操作が可能な点で有利である。しかし、固体の供給、排出の機構に困難を伴いがちなため実験室的スケールでのデータの蓄積に乏しいきらいがある。最近の研究としては、^{63, 64)}による一連の研究、Ishida and Wen⁶⁵⁾による研究などが挙げられるが、とくに Ishida and Wen は core モデルによって固体内での分布をも考慮しつつ非等温、非定常場での解析を試みている点で注目される。

1.4 流動層型反応装置

この型の反応装置も主として固・気反応操作に用いられるが、固体粒子の挙動が完全混合型であるため連続操作にあたって転化率を高めることに難点があり、いきおい層を多段化する必要がある。流動層型反応装置における固・気反応解析に関する初期の研究に Feinmann and Anner⁷⁹⁾ による報告がある。彼らは固体粒子については界面化学反応律速 (core モデルに基づきながら化学反応速度を律速過程とするには論理的にやや矛盾する場合もあるが、固体が微粒子であるため工学的便法として研究の大勢を占めている)、層内の気体流れについては完全混合を仮定して回分操作における層内見かけ反応速度について検討を加えているが、その後 Athavale and Altekar⁸⁾ はこの仮定を流通式の多段流動層の場合に応用する手法を示し、イルメナイト中の酸化鉄の塩酸ガスによる選択塩素化の実験を検証している。しかし、流動層内の気体流れには周知のように複雑な要因が多々あり、スケールアップに関する諸因子についても今後の検討を要する点が多いが、これらに関しては Kunii ら⁴⁹⁾あるいは、⁶⁸⁾の研究が注目に値する。また、流動層型反応装置

に関する開発的研究としては Anastasia ら¹⁾のウラニウム-プルトニウム混合物のフッ化プロセス、杉山ら⁹⁹⁾の傾斜型流動層などが挙げられる。

1.5 回転円筒型反応装置

この型の反応装置も固・気あるいは固・固反応装置としてすぐれた特徴をもち、工業上重要であるが、移動層型の場合と同様に実験室スケールのデータ蓄積に乏しい感がある。最近、Sass⁷⁵⁾はロータリーキルン内の伝熱に関して、1) 固・気間、2) 気・壁間、3) 固・壁間の三つに伝熱機構を分け、装置軸方向温度分布、壁からの熱損失をも考えに入れて計算機モデルを作り、実操業中の測定データと比較検討している。そのほか、篠原ら⁸⁵⁾の研究がある。

1.6 固体表面における反応による操作

固体表面と気相との間の無触媒化学反応を利用して金属の高純度精製あるいは固体の表面処理 (化学蒸着) を行なおうとする試みが比較的古くからなされているが、最近に至り、この方面の工業上の使途が高まり、処理も大型化するようになって反応工学的観点からの研究が散見されるようになった。図5は Takahashi ら¹⁰⁸⁾による炭化チタニウムコーティングの実験結果の1例であるが、固体表面における析出速度、析出層の物理的、化学的性状は一般に反応表面の温度によって大きな影響を受けるため、まず反応表面温度に対する解析が反応工学にとって重要であり、いわゆる反応 (あるいは相変化) を伴う固体表面における熱と物質の同時移動という大きな研究テーマの一環としての取り扱いが進みつつある。ここで最近の研究のおもなものをまとめて表2に示す。

2. 液相反応装置

本講では便宜的に気・液、液・液間の反応を液相反応として扱う。液相反応のうち高温反応として重要なものは溶融体の反応であるが、従来溶融体の反応は金属工業、窯業などの分野において平衡論を主体とした研究に始終し、装置工学的観点からの研究に乏しい傾向にあった。しかし、近年ミクロキネティクスを含めた速度論的研究、溶融体の流動、熱移動、物質移動に関する研究などが通常温度域での研究の方法論を大幅に取り入れながら急速に進展したと相まってこの方面に関する反応工学的研究に活発化の兆が認められる。ここではその詳述を割合するが、表3が研究の大綱を知るうえで参考になると思われる。

3. 気相反応装置

高温の気相反応においては、炭化水素類の熱分解、ハロゲン化物あるいは窒素物の合成など無触媒気相反応が

主対象となる。そのため反応操作にあたっては温度（絶対値および分布）が第一義的に重要なパラメータであり、反応装置の形式は高温発生、温度維持、反応凍結（多くは急冷）などの方法と密接な関係にある。

3・1 管型反応装置

ここでは外熱あるいは燃焼ガスなどを熱媒体として加熱する通常の管型反応装置およびその変形（充填層あるいは流動層を用いて加熱効率をあげるものなど）について述べ、衝撃波、プラズマなどを利用するものについては別項で述べる。

この型の高温反応装置のほとんどは炭化水素類の熱分解操作に用いられている。炭化水素の熱分解機構についてはエタン、プロパンなどの低級炭化水素を中心に従来より詳細な研究が数多く行なわれているが、最近の研究の傾向として、より高温下における熱分解、ブタン類、不飽和族の熱分解、2成分以上の混合ガスの熱分解などへの進展が認められる。また、ナフサ以上の重油質、たとえばケロシン、ワックス、原油などへの原料転換の要請に応じた基礎研究も散見される。表4にこれらの炭化水素の熱分解機構に関する最近の研究のおもなものをまとめた。装置工学的な面からの研究は比較的少ないが、原田ら³²⁾の非等温過程についての取り扱い、Edwards and Furgason²⁸⁾、杉山ら^{100,101)}の伝熱的見地よりの検討などが注目される。そのほか、最近いわゆる電弧法とは別にグロー放電などの比較的弱いレベルの放電による空中イオンを利用して比較的分子量の小さい気体の反応合理化に展開を計ろうとする試みがなされている。Clarke and Fox²¹⁾はガス状カーボンと水素からアセチレンを合成する反応に放電が加わると反応時間の短縮、熱効率の上昇に効果があることを指摘している。また、Hespら³⁴⁾、Carbaughら¹⁸⁾の研究がある。

3・2 火炎型反応装置

酸化、ハロゲン化などの発熱気相反応、炭化水素の熱分解における原料ガスの部分燃焼など反応に伴う発熱を利用して、バーナーから原料ガスを噴出させつつ予混合型あるいは拡散型の火炎反応層を形成させ、反応を処理しようとする装置がこの型に属する。この型の反応装置においては反応処理が迅速なため管型にくらべて装置が小型化するが、火炎の安定限界が比較的小さいため操作条件が限定される。また、火炎一般の場合と同様に反応層内に比較的大きな温度および濃度の分布ができやすく、対応手段を講じる必要がある。Frazier and Wendt³¹⁾は水素-プロム混合ガスの予混合層流炎について、反応層内の温度および濃度分布を解析している。また、Howard and Essenhigh³³⁾は微粉炭の部分燃焼型火炎反応層について検討を加えているが開発的研究として注目される。そのほか、城塚ら^{83,84)}、Mackinven⁶⁷⁾などの研究がある。

図6 急冷特性の比較

表4 炭化水素の熱分解反応機構に関する研究

低級炭化水素: 16), 17), 81), 74), 76), 87),
49), 23), 14)
重質油, 石炭類: 119), 118)

表5 プラズマジェット熱伝達に関する研究

管内表面: 41), 88), 36)
プラズマ内固体表面: 19)
ふく射: 27), 58)
基礎物性: 67), 45), 42), 26)

3・3 衝撃波を利用する反応装置

衝撃波は衝撃波端の高温部とその後の断熱膨張に基づく急冷部とがある。急熱、急冷特性にすぐれている。しかし、操作が断続的であるため反応機構解析には適するが、工業的反應装置として利用するには難点がある。Benson⁹⁾、城塚ら⁸⁵⁾などのプロパンを中心とした低級炭化水素の熱分解、Raoら⁷⁰⁾の青酸ガスの合成、Miyamaら⁵⁹⁾のアンモニアガスの酸化などの研究がある。

3・4 プラズマ反応装置

プラズマジェット、高周波誘導プラズマなど比較的低温度 ($1\sim3\times10^4\text{K}$) のプラズマを化学反応に利用する試みが近年種々の観点から活発に行なわれ、化学衝撃波管などをも含めていわゆる高温化学なる領域が急速に展開し、わが国においてもこの方面に関する成書³³⁾が認められるようになった。また、Vurgel and Polak¹¹⁰⁾はプラズマ化学に関する詳細な展望を行なっている。一方、プラズマ反応装置を反応工学から眺めた場合、種々の観点はあがあるが、まずプラズマ本体への反応ガスの混合、その過程での温度分布、さらに反応凍結のための急冷システムなどが主要な問題となる。Smithら⁸⁹⁾はアルゴンプラズマへの窒素ガスの混合過程について実験を行ない、温度および濃度分布を測定している。それによると、プラズマ本体と窒素ガスとの混合が十分となっても、本体と窒素ガスとの間には大きな温度ギャップが残存していることが認められ、これは反応の代表温度の取

り扱いに関連して注目値する結果である。また, Sundstrom and DeMichiell¹⁰²⁾ は高温ガスの急冷システムを4種の異なった方法を用いて検討している。その結果, 図6に示すようにガス吹き込み, 流動層, 液噴霧, 冷却管の順に急冷特性がよいと述べている。そのほか, 基礎研究として重要なプラズマジェットの高伝達に関する最近の研究のおもなものを表5にまとめた。プラズマジェット発生機構, 基礎物性値の変化などの影響についての検討がこれらの研究の要点である。

おわりに

以上, 高温反応装置に関する最近の研究についてレビューした。高温反応の関与する工業分野は幅広く, 研究

の観点も多岐多様にわたっているため, レビューに偏った面も多々あったと思われる。高温反応の諸分野は反応の迅速化に伴う装置の小型化, 新しい反応プロセスの開発に対する期待などあって夢多き分野ではあるが, NO_x などあらたな公害の発生源ともなり, 均衡のとれた研究の発展が望まれる。

使用記号

a : 充填層比表面積 [cm^2/cm^3], b : 充填粒子半径 [cm],
 c : 反応ガス濃度 [$\text{g-mole}/\text{cm}^3$], D : 拡散係数 [cm^2/sec],
 F : ガス流量 [cm^3/sec], F_0 : 充填層空隙率 [—],
 G : 反応当量 [$\text{g-mole}/\text{cc}$], k_f : 物質移動係数 [cm/sec],
 V_t : 充填層体積 [cm^3], ϵ : 充填粒子空隙率 [—],
 ρ_s : 充填粒子かさ密度 [g/cm^3]

引用文献

- 1) Anastasia, L.J. et al.: *I. E. C. Process Des. Develop.*, 10, 150 (1971)
- 2) Arizumi, T. and T. Nishinaga: *J. Phys. Chem., Solids Suppl.*, 1, 295 (1967)
- 3) Athavale, A.S. and V.A. Altekar: *I. E. C., Process Des. Develop.*, 10, 523 (1971)
- 4) Barnett, H.E. and C.L. Mantell: *ibid.*, 7, 285 (1968)
- 5) Barnett, J.H. and F.J. Armson: *Iron and Steel*, 43, 151 (1970)
- 6) Basu, S.N. and A. Ghosh: *J. Iron Steel Inst.*, 208, 765 (1970)
- 7) Barton, H.J. and O. Trass: *Can. J. of Chem. Eng.*, 47, 20 (1969)
- 8) Beak, J. R.: *Brit. J. of Appl. Phys.*, 1, 1229 (1968)
- 9) Benson, A.M.: *A. I. Ch. E. Journal*, 13, 903 (1967)
- 10) Birk, J.R. et al.: *I. E. C., Process Des. Develop.*, 10, 7 (1971)
- 11) Birks, N. and T. Flatley: *J. Iron Steel Inst.*, 208, 523 (1971)
- 12) Birks, N. and R.P. Salisbury: *ibid.*, 209, 534 (1971)
- 13) Bischoff, K.B.: *I. E. C. Fund.*, 8, 665 (1969)
- 14) Blackmore, J.E. and W.H. Corcoran: *I. E. C., Process Des. Develop.*, 8, 206 (1969)
- 15) Boryta, D.A. and D.A. Mass: *ibid.*, 10, 489 (1971)
- 16) Buckens, A.F. and G.F. Froment: *I. E. C., Process Des. Develop.*, 7, 435 (1968)
- 17) Buckens, A.F. and G.F. Froment: *ibid.*, 10, 309 (1971)
- 18) Carbaugh, D.C. et al.: *J. Chem. Phys.*, 47, (1967)
- 19) Chevalier, P.H. et al.: *A. I. Ch. E. Journal*, 18, 520 (1970)
- 20) Chin, Y. and L.F. Albright: *I. E. C., Process Des. Develop.*, 10, 1 (1971)
- 21) Clarke, J.T. and B.R. Fox: *I. E. C., Fund.*, 7, 197 (1968)
- 22) Cordell, G.B. and L.F. Albright: *ibid.*, 8, 278 (1968)
- 23) Crynes, B.L. and L.F. Albright: *ibid.*, 8, 25 (1969)
- 24) Daines, W.L. and R.D. Pehlke: *Met. Trans.*, 2, 1203 (1971)
- 25) Domalks, W. et al.: *Stahl und Eisen*, 88, 906 (1968)
- 26) Emmons, H.W.: *Phys. of Fluids*, 10, 1125 (1967)
- 27) Evans, D.L. and R.S. Tankin: *ibid.*, 10, 1137 (1967)
- 28) Edwards, L.L. and R.R. Furgason: *I. E. C., Fund.*, 7, 440 (1968)
- 29) Feinmann, J. and W.D. Anner: *A. I. Ch. E. Journal*, 10, 652 (1964)
- 30) Filippov, S.I. et al.: *Izv. Vuzov. Cher. Mat.*, 14, 18 (1971)
- 31) Frazier, G.C. Jr and J. Wendt: *Chem. Eng. Sci.*, 24, 95 (1969)
- 32) 原口ら: 化学工学, 33, 786 (1969)
- 33) 早川, 松本: “プラズマ化学とその応用” 養華房 (1971)
- 34) Hesp, W.R. et al.: *J. Appl. Chem.*, 17, 306 (1967)
- 35) Howard, J.B. and R.H. Essenhight: *I. E. C., Process Des. Develop.*, 8, 74 (1967)
- 36) Incropera, F.P. and G. Leppert: *Int. J. Heat Mass Transfer*, 10, 1861 (1967)
- 37) Ishida, M. and C.Y. Wen: *A. I. Ch. E. Journal*, 14, 311 (1968)
- 38) Ishida, M. and T. Shirai: *J. Chem. Eng. Japan*, 2, 180 (1969)
- 39) Ishida, M. and T. Shirai: *ibid.*, 3, 196 (1970)
- 40) Ishida, M. and C.Y. Wen: *I. E. C., Process Des. Develop.*, 10, 164 (1971)
- 41) Johson, J.R. et al.: *ibid.*, 7, 34 (1968)
- 42) Kanazawa, A. and I. Kimura: *AIAA Journal*, 5, 1315 (1967)
- 43) Kato, et al.: *Int. Chem. Eng.*, 8, 346 (1968)
- 44) Kim, K.J. et al.: *ibid.*, 8, 472 (1968)
- 45) Knopp, C.F. and A.B. Cambel: *Phys. of Fluids*, 8, 989 (1966)
- 46) 国井: 化学工学, 30, 1046 (1966)
- 47) Kunii, D. and K. Otsuka: *J. Chem. Eng. Japan*, 2, 46 (1969)
- 48) Kunii, D. and O. Levenspiel: “Fluidization Engineering”, John Wiley and Sons, p. 405 (1969)
- 49) Kunugi, T. et al.: *I. E. C., Fund.*, 8, 319 (1970)
- 50) Lahiri, A.K. et al.: *J. Iron Steel Inst.*, 207, 293 (1969)
- 51) Lange, K.W.: *Arch. Eisenhiittern*, 42, 233 (1971)
- 52) Luss, D.: *Can. J. Chem. Eng.*, 48, 154 (1968)
- 53) Luss, D. and J.D. Amudson: *A. I. Ch. E. Journal*, 15, 194 (1969)
- 54) Majdic, A. et al.: *Arch-Eisenhiittern*, 41, 11 (1970)
- 55) Mattox, D.M. et al.: *J. Vacuum Sci. Tech.*, 4, 123 (1968)
- 56) Mazanek, E. et al.: *Iron and Steel*, 43, 20 (1970)
- 57) Mackinven: *Combust. and Flame*, 11, 109 (1967)
- 58) Mandell, D.A. and R.D. Cess: *Int. J. Heat Mass Transfer*, 13, 1 (1970)
- 59) Miyama, H. et al.: *Combust. and Flame*, 11, 359 (1967)
- 60) 森山: 化学工学, 34, 1308 (1970)
- 61) Mortimer, D. et al.: *J. Iron Steel Inst.*, 207, 1599 (1969)
- 62) Mitchell, A. and B. Burel: *Met. Trans.*, 1, 2253 (1970)
- 63) 磯ら: 金属学会誌, 32, 209 (1968)
- 64) 磯ら: 化学工学協会 34 年会前集 (1969)

- 65) 藤, 森: 化学工学, 34, 1802 (1970)
- 66) Muly, E. C. and A. Aronson: *J. Vacuum Sci. Tech.*, 4, 123 (1969)
- 67) Myronuk, D. J. and S. L. Soo: *Int. J. Heat Mass Transfer*, 14, 1433 (1971)
- 68) Pearce, M. L. and R. W. Marek: *J. Amer. Ceram. Soc.*, 51, 84 (1968)
- 69) Pinerio, G. et al.: *I. E. C., Process Des. Develop.*, 10, 478 (1971)
- 70) Rao, V. et al.: *Can. J. Chem. Eng.*, 45, 61 (1967)
- 71) Rediko, A. N. et al.: *Izvestiya Akademii Nauk, USSR*, 6, 28 (1969)
- 72) Ross, L. W.: *A. I. Ch. E. Journal*, 14, 136 (1968)
- 73) Royston, D.: *I. E. C., Process Des. Develop.*, 10, 145 (1971)
- 74) Robinson, K. K. and E. Weger: *I. E. C., Fund.*, 10, 193 (1971)
- 75) Saas, A.: *I. E. C., Process Des. Develop.*, 6, 532 (1967)
- 76) Sakai, et al.: *ibid.*, 10, 305 (1971)
- 77) Schenck, H. et al.: *Arch. Eisenhiitern*, 42, 79 (1971)
- 78) Schulz, H. P. et al.: *Stahl und Eisen*, 91, 165 (1971)
- 79) Seth, B. B. L.: *J. Iron Steel Inst.*, 207, 1104 (1969)
- 80) Sehgal, V. D.: *ibid.*, 207, 95 (1969)
- 81) Shah, G. B. et al.: *I. E. C., Fund.*, 10, 13 (1971)
- 82) 城塚ら: “高温工学” 化工協会東海支部編, p. 5 (1970)
- 83) 城塚, 西井: 化学工学, 32, 464 (1968)
- 84) 城塚, 西井: 同上, 34, 623 (1970)
- 85) 城塚ら: 同上, 33, 663 (1969)
- 86) 藤原ら: 化学工学協会第5回秋季大会前刷集 (1971)
- 87) Smis, J. A.: *I. E. C., Process Des. Develop.*, 10, 265 (1971)
- 88) Skrivan, J. F. and W. Jaskowsky: *ibid.*, 4, 371 (1965)
- 89) Smith, D. L. et al.: *A. I. Ch. E. Journal*, 17, 482 (1971)
- 90) 杉山ら: 化学工学, 33, 1276 (1969)
- 91) 杉山ら: 同上, 31, 48 (1967)
- 92) 杉山, 架谷: 同上, 30, 734 (1966)
- 93) 杉山ら: 同上, 32, 576 (1968)
- 94) 杉山ら: 同上, 33, 186 (1969)
- 95) 杉山ら: 化学工学協会第5回秋季大会前刷集 (1971)
- 96) 杉山ら: 工業化学雑誌, 74, 336 (1971)
- 97) 杉山ら: 化学工学, 35, 239 (1971)
- 98) 杉山ら: 同上, 35, 1152 (1971)
- 99) 杉山ら: 同上, 34, 649 (1970)
- 100) 杉山ら: 工業化学雑誌, 71, 73 (1963)
- 101) 杉山ら: 化学工学, 35, 442 (1971)
- 102) Sundstrom, D. W. and R. L. DeMichiel: *I. E. C., Process Des. Develop.*, 10, 114 (1971)
- 103) Surttees, N. et al.: *J. Iron Steel Inst.*, 208, 669 (1970)
- 104) Swisher, J. H.: *Trans. Met. Soc., AIME*, 242, 2433 (1968)
- 105) Szekely, J. and J. W. Evans: *Met. Trans.*, 2, 1691 (1971)
- 106) Szekely, J. and J. W. Evans: *ibid.*, 2, 1699 (1971)
- 107) Scott, C. D.: *A. I. Ch. E. Journal*, 15, 116 (1969)
- 108) Takahashi, T. et al.: *J. Electrochem. Soc.*, 114, 1230 (1967)
- 109) Tomilon, U. I. et al.: *Izv. Vuzov. Cher. Met.*, 8, 5 (1971)
- 110) Vurgel, F. B. and L. S. Polak: *Ind. Eng. Chem.*, 62, (6), 8 (1970)
- 111) Walker, R. D. et al.: *J. Iron Steel Inst.*, 208, 67 (1970)
- 112) Walsh, P. N. et al.: *J. Chem. Phys.*, 46, 3571 (1967)
- 113) Wahlster, M. et al.: *Stahl und Eisen*, 88, 1193 (1968)
- 114) Wang, S. C.: *A. I. Ch. E. Journal*, 15, 624 (1969)
- 115) Wen, C. Y. and S. C. Wang: *Ind. Eng. Chem.*, 62, (8), 30 (1970)
- 116) Wen, C. Y. and L. Y. Wei: *A. I. Ch. E. Journal*, 16, 843 (1970)
- 117) Wen, C. Y. and L. Y. Wei: *ibid.*, 17, 265 (1971)
- 118) Wiser, W. H. et al.: *I. E. C., Process Des. Develop.*, 6, 133 (1967)
- 119) Worrell, G. R. et al.: *ibid.*, 6, 89 (1967)
- 120) Yoshida, K. and D. Kunii: *J. Chem. Eng. Japan*, 2, 170 (1969)

■ 反応工学にかんする新刊書 *****

1) K. G. Denbigh, C. R. Turner: “Chemical Reactor Theory”, 2nd ed. Cambridge Univ. Press, 221 pp (1971)

すでに定評のある初版が、最近の進歩をとりいれて改訂されたものであるが、執筆方針はこの版にもそのまま受けつがれている。1, 2章で主な反応器形式や、反応速度論、熱力学に関する主要な項目を簡潔にのべたあと、3, 4章で管型反応器、流通式槽型反応器がやや詳細に説明されている。つづく4つの章で混合、滞留時間分布、化学反応における化学的因子、物質移動、熱効果を扱っている。最後の章は反応器の安定性、最適化の問題で、数学的詳細に立入ることを極力さけて、物理的概念を把握させるよう定性的な説明につとめている。

滞留時間分布と物質移動効果の扱いが初版に比べて詳しく、40ページの増加分がほぼこれに当てられている。しかし、発展のいじめるしいこの分野にもかかわらず、1960年代の後半の文献の数が少ないのは淋しい。

なお、この版では初版にくらべて数多くの例題がとり入れられ、各章末に一括してあった問題も、本文中に適当に分散されて、一そう教育的効果を高めている。

本書は学部学生のための反応工学の入門書として書かれたもので、基本的概念の説明に重点がおかれ、数学的記述を最小限にとどめている。このことがまた本書の大きな特徴であって、限られた紙数のなかで反応工学の概要と本質とが充分もられており、最も適切な反応工学の入門書として学生はもとより、化学者や反応工学を専攻していない方にも広くおすすめる名書である。

2) A. R. Cooper, G. V. Jeffreys: “Chemical Kinetics and Reactor Design”, Oliver and Boyd, Edinburgh, 390 pp (1971)

最近ますます拡大しつつある化学工学の諸分野を一冊にまとめることをさけて、特定のトピックについて分冊として、学生向けに安価に、手軽に提供しようとして企画された化学工学シリーズの一冊であることが扉に明記されている。本書は化学反応速度論、反応器解析、設計の学部学生のテキストとして書かれたものであるが、いわゆる入門から初段までといった研究者にも役立つ好著である。1章は序論で、2章で化学プロセスを定量的に把握するための物質、エネルギー収支を扱っている。3章では実験データの解析法の説明と、反応速度式の開発が行なわれ、残りの章で、これら速度式が反応器の選定や設計にどのように適用されるか、均一系反応と不均一系反応とに分けて詳細に論じられている。

本書全般を通して実際の化学反応を扱った例題が数多く説明され、各章末には種々多彩な問題が答と共に一括してまとめられている。

さきの Denbigh の著書が数式を極力さけてその本質を説明しようとしているのと対照的に、本書の著者の一人、Jeffreys が “Mathematical Method in Chem. Eng.” Academic Press (1963) の著者であることから分かるように、本書は比較的簡単な数学を用いて現象を定量的に数式で説明しようとしている。このことは、また別の意味で、すぐれた入門書としてすすめることのできる本書の特徴ともなっている。

(大竹 伝 雄)