法によって伝熱面積の最適配分の問題を検討し、各効用缶を等伝熱面積とした場合に比べて、約10%の伝熱面積が節減できると報告している。

以上紹介した文献^{2,3}では、プラント建設費は凝縮伝熱面積に比例するとして目的関数を導いているが、さらに詳細な建設費の算出をし、各段の詳しい収支式と結びつけて、ケース・スタディにより最適設計、操作条件の検討が行なわれている。この種の研究は、各種のプロセスのフィージビリティ・スタディにみられるが、米国のオークリッジ国立研究所の調査報告⁵⁾には、その計算内容が詳しく紹介されている。また、Huangら⁶⁾は垂直管式多重効用缶形式の造水プラントの設計において、ダイナミック・プログラミング法による伝熱面積の配分や、直接探索法による最適形状の決定などを組み入れた計算手順を詳しく報告している。BeamerおよびWilde⁷⁾は離散系最大原理を適用して各段に設計変数を含めた100以上のパラメータの最適化を行なった。60万m³/日の造水プラントを想定し、具体的な数値を与えて計算したところ、従来の計算に比べ3%の造水コストを低下させることができたと報告している。また、各段の伝熱面積を一定とした場合に比べて、1%のコストダウンになったと述べている。

海水淡水化装置としての蒸発プロセスの設計計算では、パラメトリックスタディ用の簡略モデルと、詳細な状態変数の推算によるケーススタディが基本的なもので、詳しい解説⁸⁾もある。それからさらに構造決定、補機設計へと進む。このあたりは、ノウハウや技術情報の蓄積から、検討項目の設定とか、各種制約条件の規定などで、はなばなしい計算はみられない。着眼点としては、各段を均一系とみなさず、蒸発過程、伝熱機構などよりミクロな考察に基づくものである。このあたりで最適化の対象となる課題は、伝熱管の配列の問題に関してジェオメトリック・プログラミングを適用した報告⁹⁾がみられる。着眼点を大きくして、システムを拡大するならば、発電所と造水プラントを結びつけた二重目的プラント、さらにコンビナートモデルなどラージシステムの課題がある。これらの情報はO. S. W., R. and D. Rept., Desalination Abstract, 日本海水学会誌などの刊行物にゆずる。

引用文献

- 1) Burley, M.J.: *Desalination*, 2, 81 (1967)
- 2) O. S. W., R. and D. Rept., No. 251 (1967)
- 3) Itahara, S. and L. I. Stiel: *Ind. Eng. Chem., Process Design and Development*, 5, 309 (1966)
- 4) Itahara, S. and L. I. Stiel: *ibid.*, 8, 256 (1967)
- 5) O. S. W., R. and D. Rept., No. 214 (1966)

* Hiroshi Imai (正会員) 北海道大学工学部

- 6) Huang, C. J., H. M. Lee and A. E. Dukler: *Desalination*, 8, 13 (1969)
- 7) Beamer, J. H. and D. J. Wilde: *ibid.*, 8, 259 (1971)
- 8) 外山茂樹: 化学機械技術 (22), p. 159, 丸善 (1972)
- 9) Avriel, M. and D. J. Wilde: *Ind. Eng. Chem., Process Design and Development*, 7, 256 (1968)

c. 晶析

今井 弘*

晶析操作の最適化も他の拡散操作と同様に、物質収支エネルギー収支を基礎とするが、経済的利益を直接の目的関数とした例は多く見られない。

溶液からの晶析 一般に、溶媒中に結晶を浮遊させて成長させる型の晶析装置では過飽和度の調節により種晶の発生速度、成長速度を制御することにより粒径が大きく、品質のよい結晶を得ることができる。回分式完全混合槽による冷却晶析操作についてMullinら¹⁾は操作時間一定、操作前後の温度はそれぞれ一定の条件下に、冷却速度に関する研究を行なった。過飽和濃度が時間的に一定となるように冷却した場合、単に冷却速度を一定とした場合に比し、得られる結晶の粒径がより大きいことを実験的に示した。連続式完全混合槽型晶析装置についてはLarsonら¹⁰⁾の多段化した場合の扱いがある。総括装置容積一定、生産速度一定のもとで、各段における容積と成長速度を政策変数とし、製品結晶の特定の粒径範囲に含まれる結晶重量を最大とする最適化を二段、三段の場合についてそれぞれ数値計算により例示した¹⁰⁾。粒子の分級取り出しを伴う一段の場合、分級径が小さすぎると完全混合取り出しに近づき、分級径が大き過ぎるとかえって分級の効果がうすれ、得られる結晶の粒径分布は広くなる。このようにして、最適な分級径が存在する。製品の変動係数CV [%], 重量生産速度一定のときの滞在結晶重量 W^* をそれぞれ最小とする分級径が著者⁸⁾により示された。この場合、両者の最適分級径は近いが一致しない。つぎに分級床型晶析装置について従来の円筒型では上部に小さい粒子が存在し空間率が大きく、固液接触面積が少ない。空間率が場所によらず一定となるような逆円錐型晶析槽が城塚ら^{14,15)}によって研究され、同一生産速度を与える円筒型の槽に比し、必要な容積が小さいことが示された¹⁴⁾。

溶融物からの晶析 共晶を形成する異性体の分離には

a. 原料→晶析→蒸留
b. 原料→蒸留→晶析
固-液相平衡図(下半分)と McCabe-Thiele の図解法(上半分)を示す。
記号 A~S 流量 (A=低沸物, B=高沸物, D=塔頂, E=共晶体, F=原料, S=塔底), X, Y=A のモル分率
添字 D: 塔頂, E: 共晶体, F: 原料, S: 塔底

図1 共晶体を形成する二成分系の晶析と蒸留の組み合わせによる分離⁽¹⁾

蒸留操作を晶析操作と組み合わせる方法がある。Clasen⁽¹⁾は、図1に示したように、二つの操作の順番について研究し、aのように先ず晶析により分離しつぎに共晶を蒸留する方が、蒸留塔の所要段数が少なく、総括の分離コストが安いことを示した。また、塔頂と塔底それぞれの組成 X_D , X_S を政策変数とするコストに関する最適化についても触れている。つぎにシルドネット型晶析塔の原料供給位置について、塔長一定のとき、濃縮部が短か過ぎると還流液による結晶付着不純物の洗浄が充分でなく精製物の純度が低下する。逆に回収部が短か過ぎると、原料供給点の不純物濃度が著しく高くなってやはり製品の純度が低下する。Henry⁽²⁾は最適 (= 純度最小となる) 原料供給位置を計算例で示している。多段回転ドラム式晶析装置については、液の還流を行なう方式 (Reflux mode) と、連続式帯域溶融法と同様な方式 (Progressive mode) の比較を行なった Atwood⁽³⁾の研究がある。段数 N_1 を政策変数 精製物生産速度 T_1 と N_1 との比 T_1/N_1 を目的関数にとると、 N_1 が小さくなると、所望の純度を得るためには晶析速度一定では、還流量を多くせねばならず T_1 が小さくなる。 N_1 が大き過ぎると、 T_1 はそれほど増えないので、 T_1/N_1 は小さくなる。このようなわけで、両方の mode について、それぞれ T_1/N_1 を最大にする最適な段数 N_1 が存在するが、Progressive mode の方が効率 T_1/N_1 は高いことが示された⁽¹⁾。帯域溶融法 (Zone melting) の最適化についても二、三報告されている。この方法は、純度の点では正常固化法 (Directional freezing) に劣るが、物質の取り扱い上優れている (例えば文献7)。【さて Avramenko ら^(2,3)は溶融域にマグネット攪拌子を入れ、振動する外部磁石により攪拌したところ、ある振動数で、製品の純度が最大値を持つことを、ベンゼンやステアリン酸について見出した。これは、つぎのように説明される。攪拌強度を上げていくと、固化面の界面における液相不純物濃度は物質移動が促進されて低下する。このため析出する結晶中の平衡濃度が下がり、得られる精製物の純度は上がる。攪拌を強くし過ぎると不純物が結晶にとりこまれ

て、純度の低下をきたす。このとりこみ機構について諸説^(2,3,5)があり明らかでない。つぎに Kirgintsev⁽⁹⁾は溶融域の、通過回数 n と原料棒の長さ L を政策変数とし、指定された純度の部分の長さを l としたとき、効率 l/n ($L+b$) を最大にする問題を数値計算により解いた (b =溶融域の長さ)。問題の意味はつぎのように説明される⁽⁹⁾。 L が小さすぎると純度の高い部分 l は短く、 L が大きすぎると n を大きくとれば l も大きくなるが、効率としては小さくなり、最適な長さが存在する。

その他、氷を作ることによる塩水転換に関連して最適化の報告^(12,13)が見られる。

以上、問題の所在の物理的説明に重点を置いて紹介したが、晶析操作の最適化については進展が充分でなく、今後の発展が期待される。

引用文献

- 1) Atwood, G. R.: *Chem. Eng. Progr. Symp. Series*, **65** (95), 112 (1969)
- 2) Avramenko, N. V., G. M. Dugacheva and A. G. Anikin: *Russian Journal of Physical Chem.*, **44** (5), 673 (1968)
- 3) Avramenko, N. V., G. M. Dugacheva and A. G. Anikin: *Russian Journal of Physical Chem.*, **44** (2), 198 (1970)
- 4) Clasen, H.: *Chemie-Ingenieur-Technik*, **39** (22), 1279 (1967)
- 5) Fedorova, R. F. and P. I. Fedorov: *Russian Journal of Physical Chem.*, **45** (1), 87 (1971)
- 6) Henry, J. D., Jr. and J. E. Powers: *A. I. Ch. E. J.*, **16**, 1055 (1970)
- 7) Herington, E. F. G.: *Zone Melting of Organic Compounds*, p. 132, Blackwell Sci. Pub., Oxford, Great Britain (1963)
- 8) 今井弘: 化工協会第10回総合シンポジウム前刷, p. 53 (1971)
- 9) Kirgintsev, A. N., N. A. Pyl'neva, V. D. Kudrin and K. N. Kudrina: *Russian Journal of Physical Chem. (Zh. Fiz. Khim.)*, **42** (4), 464 (1968)
- 10) Larson, M. A. and P. R. Wolff: *Chem. Eng. Progr. Symp. Series*, **67** (110), 97 (1971)
- 11) Mullin, J. W. and Ny'vlt: *Chem. Eng. Sci.*, **26** (3), 369 (1971)
- 12) Orcutt, J. C.: *Desalination*, **7** (2), 201 (1970); (*Theoretical Chem. Eng. Abstracts*, **7** (3), No. 1503 (1970))
- 13) Shwartz et al.: *Desalination*, **4** (1), 5 (1968); (*Theoretical Chem. Eng. Abstracts*, **5** (5), No. 1703 (1968))
- 14) 城塚正, 豊倉賢, 関谷洋輔, 関為之, 松岡博文: 化工協会第30年会要旨集, p. 73 (1965)
- 15) 城塚正, 豊倉賢: 化学工学, **30**, 359 (1966)