

化学機械技術 20

化学工学協会
編

化学機械技術

20

化学工学協会
編

丸善株式会社

化学機械技術 第20集

¥ 1,300

昭和43年5月20日発行

© 1968

編者 社団法人 化学工学協会

発行所 丸善株式会社

編者との申合せ
により検印省略

代表者 司 忠
東京都中央区日本橋通2丁目6番地

印刷 中央印刷株式会社・製本 切石製本株式会社

序

戦後まもなく化学工学協会関西支部の一事業として発足した「化学機械技術講習会」は本年ではや第20回をむかえることになった。本講習会は化学工業の著しい発展に対処するために、この方面の現場技術者を対象として毎年5月に行なわれるものである。したがって、とりあげるテーマは産業界で関心が深く重要視されるものである。この第20回のテーマも関西支部常任幹事会において十分に討議、検討を行ない選ばれたものである。

一昨年、昨年は、固液分離、晶析、流動層、気液反応、真空、吸着イオン交換などの各種の単位操作を中心に解説を行ない聴講者から好評をいただいたが、本年はこれらに続くものとして反応装置の最適条件、プロセスの経済的評価法などの化学工学の最近の話題と工業用水の諸問題、化学工場建設計画、化学プロセスの計算機制御の四つの主テーマをとりあげた。これらの問題はいずれも単位操作などとは異なった意味で重要で、非常に難しい問題であり、今回この問題を取りあげることは十分意義があると信ずる。

また執筆をお願いした方々は現在この方面の第一線で活躍中の方々ばかりであり、聴講者ならびに読者諸氏に十分満足いただけると確信する次第である。

1968年5月

社団法人 化学工学協会

目 次

反応装置の最適条件 (楠 浩 一 郎)

1. ま え が き	1
2. 最適化の手法	2
2・1 最大原理	2
2・2 最大傾斜(線)法 (method of steepest descent)	3
2・3 アナログ計算機の利用	5
3. 各種反応器の最適条件	8
3・1 多段連続反応槽	8
3・2 半回分式反応器	10
3・3 回分式反応器	11
3・4 管型反応器	11
3・5 槽型反応器と管型反応器の組合せ	16
3・6 リサイクル系	17
4. 実装置における最適条件	19
4・1 最適条件の具体化に際しての問題点	19
4・2 実装置への応用	20
使用記号	21
引用文献	22

プロセスの経済的評価法 (高 岡 成 禎)

1. はじめに	25
2. プラント建設費の推算	26
2・1 見積の種類と推算法	26

2・2 係数法 (factor estimates)	30
2・3 SRI の方法	36
3. 製造原価の計算	45
3・1 統計値における製造原価	45
3・2 装置能力および操業率が変わった場合の製造原価	45
4. おわりに	49
引用文献	49

高粘度液の輸送機械 (佐 藤 隆 一)

1. はじめに	51
2. 往復動型高粘度ポンプ	51
2・1 チェッキ弁の解析	51
2・2 高粘度液の場合のチェッキ弁の挙動	55
2・3 高粘度液用強制作動弁	57
2・4 吸込性能	60
2・5 往復動型高粘度ポンプの使用例	62
3. スクリュー型高粘度ポンプ	63
3・1 一軸型スクリューポンプ	64
3・2 二軸型スクリューポンプ	65
3・3 三軸型スクリューポンプ	67
3・4 その他のポンプ	67
4. あとがき	67
引用文献	68

冷水塔計画の際の諸問題 (奥 村 栄 次 郎)

(冷水塔の設計と性能試験)

1. はじめに	69
---------------	----

2. 冷水塔基礎理論の概要	69
2・1 向流型冷水塔の解析	70
2・2 直交流冷水塔の解析	75
3. 構造設計について	79
3・1 構造計画	79
3・2 構造計算	79
3・3 レッドウッドおよびダグラスファー材の許容応力	82
3・4 温度の影響	83
4. 冷水塔の性能試験と判定	83
4・1 性能試験	83
4・2 性能試験運転時の条件	84
4・3 試験実施中の定常化	84
4・4 性能試験の方法	84
4・5 測定機器と測定方法について	85
4・6 測定結果の記録	89
4・7 性能の判定	89
引用文献	92

空冷式熱交換器の経済性 (大 石 博)

1. はじめに	93
2. 空冷と水冷の経済比較	93
3. 空冷熱交の設計	97
3・1 通風形式	97
3・2 フィンチューブ	98
3・3 ファン径と空冷熱交の寸法	100
3・4 伝熱係数	101
3・5 空気の圧力損失	104

3・6	ファンの選定	105
3・7	重 量	109
4.	価 格	110
4・1	価 格 構 成	110
4・2	単位面積当りの価格	110
4・3	圧力による価格の変化	111
4・4	材料による価格の変化	111
4・5	騒音対策による価格の変化	112
5.	参 考 資 料	114
	引 用 文 献	114

海水による冷却の問題と対策について (山 本 昇 三)

1.	はじめに	115
2.	海水による金属材料の腐食	116
3.	取水設備の防食	117
3・1	鉄鋼構造物	117
3・2	導 水 管	118
4.	熱交換器管の腐食と対策	119
4・1	腐 食 形 態	119
4・2	潰 食 (一般的なもの)	120
4・3	インレット・アタック	123
4・4	異物による局部腐食	124
4・5	汚染水腐食	125
5.	付着生物の防除	126
5・1	付着生物について	126
5・2	塩 素 処 理	127
5・3	海 水 電 解	128

5・4 防汚塗料	129
5・5 そ の 他	129
6. 汚染水腐食	129
6・1 腐食の状況	129
6・2 河海水の汚染	130
6・3 水質と腐食	131
6・4 対 策	133
引用文献	134

工場建設のスケジュール化と管理（広 瀬 正 次）

1. はじめに	135
2. 工場建設の手順と日程計画の関係	136
2・1 企業化決定前の手順	136
2・2 企業化決定後の手順	138
3. 日程計画と実施諸計画との関係	139
3・1 予算計画との関連	140
3・2 動員計画との関連	142
3・3 施工計画との関連	143
4. 工場建設のスケジュール化	145
4・1 大日程計画とその細分	147
4・2 作業手順の作成	147
4・3 作業時間の見積	151
4・4 スケジュールの細分	153
5. 工場建設の工程管理	155
5・1 Progress scale (工程測定単位)	155
5・2 工程管理の手法	156
5・3 日程の追跡と計画の修正	159

6. おわりに	159
参考文献	160

プラントレイアウトと配管 (藤 井 道 夫)

1. はじめに	161
2. プラントレイアウトの主眼点	162
2・1 配管費の節減	162
2・2 据付の容易	163
2・3 運転の円滑	164
2・4 安全の確保	165
2・5 保守の容易	165
3. レイアウトの手順	165
3・1 必要な資料	166
3・2 パイプブラックの位置の予定	166
3・3 機器の仮配置	167
3・4 機器の高さ	168
3・5 同種機器のまとめ	168
3・6 架構の計画	168
3・7 機器の間隔	168
3・8 総合的検討	169
4. レイアウトの個別手法	169
4・1 パイプブラック	169
4・2 塔および槽	170
4・3 熱交換器	171
4・4 ポンプ	173
4・5 コンプレッサー	174
4・6 加熱炉	174

4.7 架 構	175
4.8 電気関係	175
4.9 配 管	176
5. おわりに	176
参考文献	177

プラント建設費のエスティメーション (柴 田 文 彦)

1. はじめに	179
2. プラント建設費の構成要素	180
2.1 プロセス機器類	180
2.2 現場工事費	181
2.3 運 搬 費	181
2.4 直接仮設費	182
2.5 総合仮設費	182
2.6 予備費 (危険費)	182
2.7 設 計 料	183
2.8 試 運 転 費	184
2.9 現 場 経 費	184
2.10 保 險 料	184
2.11 一般管理費	185
3. プラント建設費の Preliminary Estimation	185
4. 詳細見積	193
5. 見積資料の準備	194
6. 詳細積算法	196
6.1 塔, 槽, 熱交換器類	196
6.2 ポンプ, コンプレッサー, 原動機類	198
6.3 据付工事	198

6・4 配管工事	198
6・5 電気, 計装工事	199
6・6 保温, 塗装工事	199
6・7 鉄骨, 架構工事	199
6・8 建家, 基礎工事	199
6・9 荷造, 輸送費	199
6・10 仮設費, 現場諸雑費	199
6・11 エンジニアリング費, 建設会社請負報酬	199
6・12 予 備 費	199
7. 建設契約の方式	199
7・1 Cost-Plus 方式	200
7・2 Cost-Plus with Guaranteed Maximum 方式	200
7・3 Cost-Plus with Guaranteed Maximum and Incentive 方式	201
7・4 Cost-Plus with Guaranteed Maximum and Provision for Escalation 方式	201
7・5 Bonus/Penalty, Time and Completion 方式	202
7・6 Bonus/Penalty, Operation and Performance 方式	203
7・7 Lump-Sum based on Definite Specification 方式	203
7・8 Lump-Sum based on Preliminary Specification 方式	203
7・9 Unit Price Contract, Flat Rate	204
7・10 Unit Price Contract, Sliding Rate	204
7・11 Convertible Contract	205
7・12 Time and Materials	205
8. おわりに	206
引用文献	206

計算制御の現状と将来 (寺 尾 満)

1. 電子計算機の制御への利用	209
2. 計算制御の現状	212
3. 最近の制御論と計算制御	215
4. 制御用計算機と計算制御装置	216
5. 計算制御の将来と問題点	220
引用文献	224

メーカー側より見たプロセス計算機制御の諸問題 (三 浦 武 雄)

1. は し が き	225
2. 計算機制御システム決定上の諸問題	226
2・1 計算機制御導入の決定 (計算機制御の経済性)	226
2・2 計算機制御方式の決定	228
3. 制御用計算機の決定	230
3・1 各種計算技術の特長	230
3・2 アナログ計算技術の制御への適用	230
3・3 ハイブリッド技術の利用	233
3・4 デジタル制御用計算機の動向	235
4. 計算機制御開発の態勢	239
5. 計算機制御における数学モデル (マスモデル) の作製	241
5・1 数学モデル作製のための一般的要件	241
5・2 モデル作製の一般的順序と方法	243
5・3 モデル作製のための解析手法	245
5・4 適応モデルと学習モデル	246
6. お わ り に	247
引用文献	248

化学工業の計算機制御の問題点 (藤田 威雄・堀 信一)

1. はしがき	249
2. 計算機制御の必要性の評価	250
3. プロセスへの計算機適用の検討	257
4. 計算機制御システムの検討	260
4・1 総 合	260
4・2 ハードウェア	262
4・3 ソフトウェア	267
5. 計算機制御システムの運転	270
6. おわりに	271
引用文献	272

反応装置の最適条件

楠 浩一郎*

1. ま え が き

反応装置の設計もしくは操作に際しては、その収益や収量（つまり目的関数）を最大にすることを目標として操作条件が選ばれる。装置が大型化すればするほどこれは重要なことである。この最適操作条件に関する研究は1931年のLeitenberger¹⁾の断熱多段反応器における二酸化イオウの酸化に関するものが最初のものである。また多段連続攪拌槽の反応効率の比較に始まるDenbigh²⁾の一連の研究は良く知られている。しかしこの分野の本格的な発展は電子計算機の発達によるものであって、この10年来のことである。一般に反応系は多変数非線型系であるから、その極値を求めるには莫大な繰返し計算を必要とする。電子計算機がこの演算を可能にするとともに、電子計算機の使用に適した最適化の手法—山登り法^{3,4)}、ダイナミックプログラミング（以下DPと表わす）、ポントリヤギンの最大原理など—があいついで開発された。もちろんこれらの手法は反応装置の最適化のために考案されたものではないが、これを使用することによって反応系の最適化の研究は飛躍的な発展をとげた。わが国においても1957年の此木の多段触媒反応装置設計に関する論文⁵⁾以来かなりの研究がある。これらの詳細はAris⁶⁾、Kramersら⁷⁾、Denbigh⁸⁾、Fanら^{9,10)}の著書およびKrevelenら¹¹⁾、久保田¹²⁾、西村ら¹³⁾の総説を参照されたい。また本講では反応装置と限っているが、反応装置も化学プロセスの一要素であるから実際にはプロセス全体の最適化との関連において考慮されなければならない。これについては化学工学の特集¹⁴⁾

* 九州大学工学部

や梅田¹⁵⁾の解説などを参照されたい。数学的手法については Rosenbrock¹⁶⁾, Wilde¹⁶⁾の著書がある。

本講においてはまず最適化の手法として最新のアナログ計算機による最大傾斜線法を中心に概説した後、最近の諸家の研究の中から各種反応器における最適条件とその問題点について紹介解説する。

2. 最適化の手法¹⁷⁾

いま反応器の収益もしくは収量などその目的の達成度を P とし、反応器内の濃度、温度、圧力など状態変数を x 、滞留時間、触媒量、原料濃度、器壁温度など設計上操作上自由に取りうる変数を y とするとき

$$P=f(x, y) \quad (1)$$

または

$$P=F[x, y(t)] \quad (2)$$

と表わしそれぞれ目的関数、目的汎関数と呼ぶ。このとき最適化とはこの P を最大もしくは最小にするように y を決定することである。これは微分法または変分法^{18,19)}によって求まる。しかし実際には y には制限条件があるので変分法の計算は容易でなく、反応器の最適化に変分法を使用した例はきわめて少ない。良く使われているのは DP、最大原理および最大傾斜線法である。

DP^{6,18,20)}は多段連続反応槽のような離散系の最適化にとくに有効である。これは「最適政策は最初の状態、最初の決定がどのようなものであろうと残りの決定は最初の決定から生じる状態に関して最適でなければならない」という最適性の原理に基づいている。この方法では最適条件は必ず求まるが、4成分以上を含む反応系では計算機の記憶容量が不足する恐れがある。

2.1 最大原理^{9,19,21-23)}

つぎの連立微分方程式で表わされる系を考える。

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n; y_1, y_2, \dots, y_r) \quad i=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$t_0 \leq t \leq t_e \quad (4)$$

$$x_i(t_0) = x_{i0} \quad (5)$$

この系において

$$\phi_i[y_1(t), y_2(t), \dots, y_r(t)] \leq 0 \quad (6)$$

という制限条件に従い、状態の終端値の関数である目的関数

$$P = \sum_{i=1}^n c_i x_i(t_e) \quad (c_i: \text{与えられた定数}) \quad (7)$$

を最大(もしくは最小)ならしめる区分的に連続な操作変数 $y_j(t)$ ($j=1, 2, \dots, r$) を求める。ここで t の範囲 t_e が指定されているかどうか、状態変数の終端値が指定されているかどうかで取扱いが若干異なるが、 t_e は指定され、 $x_i(t_e)$ は指定されていない場合について述べることにする。最大原理によれば最適条件 $y_j(t)$ はつぎのような関数である。次式の関数を満たす補助変数 z_i およびハミルトン関数 H を導入する。

$$\frac{dz_i}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial x_i} = -\sum_{j=1}^n z_j \frac{\partial f_j}{\partial x_i} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$z_i(t_e) = -c_i \quad (9)$$

$$H = \sum_{i=1}^n z_i f_i \quad (10)$$

P を最大(または最小)ならしめる $y_j(t)$ は上式を満たし、かつ $t_0 \leq t \leq t_e$ に対して H を最小(または最大)ならしめるものである。 H の最小値が極値の場合には

$$\frac{\partial H}{\partial y_j} = 0 \quad (11)$$

ただし最大原理は必要条件を述べているにすぎないので、使用に際しては十分な検討が必要である。

2.2 最大傾斜(線)法 (method of steepest descent)^{24, 25)}

$$P = f(y_1, y_2, \dots, y_r) \quad (12)$$