

醱酵機械裝置

友田宜孝
坂口謹一郎
山田正一
朝井勇宣
編集

醱酵機械裝置

友田宜孝
坂口謹一郎
山田正一
朝井勇宣
編集

江苏工业学院图书馆
藏书章

微生物工学講座

3



共立出版株式会社

序

微生物工学講座が華々しく発刊されてからこのかた巻を追うに従って次第に世の名声が高まりつつあることは真に喜ばしい限りである。これは本講座の主旨と企図が時代の要求に合致し、しかも執筆者に最高権威者を得てそれぞれ蘊蓄を傾けて時代の要求に答えられているためであると信ずるのである。本講座の出現によって微生物工学そのものが大きく浮き彫りされ、燦然と光輝を放つようになったときえ思えるのである。

さて本巻には微生物工学としての機械装置が盛られている。いうまでもなく微生物工学は微生物方面の学術だけで成り立つものではない。必ず機械装置の学術あるいは化学工学が必要なものである。ことに近年は工場の合理化、オートメーション等が強調されるようになってきたから一層機械装置の面が重要度を増してきたのである。抗生物質の大量生産、連続蒸餾、連続醗酵等の実際は全く機械装置の適否に依存することが多いのである。本巻はこれらの問題に対して多くの示唆を与えるものと思う。しかも本巻にはこの方面の最適任者が執筆されているから必ず読者を益することが多いであろうと信ずるのである。醗酵化学や微生物学などの方面とはやや趣きを異にしているが、読者諸賢は本書について十分に研究を積まれんことを希望する次第である。

昭和 31 年 10 月

友 田 宜 孝

頁	行	誤	正
8	↑ 3	いる不便があるので、	いるのは不便なので、
9	↑ 3	なる。(e) (d) は	なる (e)。(d) は
34	↓ 4	増加させる	増加させ化学反応を容易にする
35	↑ 5	a, b : 恒数	a, b : 定数
36	↓ 9	m, n : 恒数	m, n : 定数
37	↑ 2	C_x : 恒数	C_x : 定数
53	↓ 10	半径と槽半径	距離と槽半径
59	↓ 6	$\left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg sec}^2} \right]$	$\left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg sec}^2} \right]^{***}$
"	脚注追加		***本書では Kg は動を kg
62	↑ 9	$P \propto N_P$	$P \propto N_P$ [は質量を表す
"	↑ 7	$P_G \propto (N_P) \rho$	$P_G \propto (N_P) \rho$
"	↑ 4	$\xi_P =$	$\zeta_P =$
63	↓ 3	$\xi_P = f$	$\zeta_P = f$
69	↑ 2	サイクロトン	サイクロン
70	↑ 3	$C_{D00} = \frac{14}{Re_p}$	$C_{D00} = \frac{1}{Re_p}$
71	↑ 8	$R \propto u^2$	$R \propto u^2$
88	↓ 1	$\frac{\pi D_c}{n_i}$	πD_c u_i
89	↑ 10	$D_{pc} \propto$	$D_{pc} \propto$
97	↓ 10	真空式濾過装置	真空式濾過装置
103	↓ 7	$= \frac{k \cdot A}{k \left(\frac{V}{A} + c \right)}$	$= \frac{k \cdot A}{2 \left(\frac{V}{A} + c \right)}$
"	↑ 3	(6.7) 式より	(6.8) 式より
104	↑ 9	$0.5 \times 10^{-3} 1.0 \times 10^{-3}$	$0.5 \times 10^{-3} 1.0 \times 10^{-3}$
143	図Ⅷ・6	図版左右を天地に訂正	(Cascade cooler)
"	↑ 2	(Cascade cooler)	(Cascade cooler)
148	↓ 2	$q \int_{L_2}^{L_1} \dots$	$q \int_{L_1}^{L_2} \dots$
154	↓ 1	$h \left(\frac{u'^2}{k'^3 \rho'^2 g} \right)^{\frac{1}{3}} (1.47)$	$h \left(\frac{\mu'^2}{k'^3 \rho'^2 g} \right)^{\frac{1}{3}} = (1.47)$
157	↓ 11	$(2.14 \times 10^4)^{-0.2} =$	$(2.14 \times 10^4)^{-0.2} =$
159	↑ 12	$\left(\frac{C_p \mu'}{k} \right)^{\frac{2}{3}}$	$\left(\frac{C_p \mu'}{k} \right)^{\frac{2}{3}}$
163	↓ 1	$= U_d$	$U_d =$
170	↓ 12	(K は恒数)	(K は定数)
"	↑ 9	$K = A e^{-\frac{q}{RT}}$	$K = A e^{-\frac{q}{RT}}$

頁	行	誤	正
170	↑ 8	ガス恒数,	ガス定数,
171	表IX・1中	K·cal/mole を削除	
"	"	活性化エネルギー E	活性化エネルギー EK, cal/mole
188	↑ 5	(9) の	(7) の
192	↓ 11	$\frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x_1}$	$\frac{\alpha x_1}{1 + (\alpha - 1)x_1}$
"	↑ 3	$= \frac{18p_s}{M_B \cdot P_B} = \frac{18(\pi - P_B)}{M_B P_B}$	$= \frac{18p_s}{M_B \cdot p_B} = \frac{18(\pi - p_B)}{M_B p_B}$
193	↑ 12	5~7 程度	5~7% 程度
195	↑ 5	A 塔に	B 槽に
210	↓ 10	R, F, P, x _p ,	R, F, P, x _p ,
211	↑ 11	12.5 段	12.5 段
"	↑ 10	11.5 段	11.5 段
220	↓ 9	$v_2 = \sqrt{\frac{2 - (p_1 - p_2)G_c}{\rho(1 - m^2)}}$	$v_2 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)G_c}{\rho(1 - m^2)}}$
231	↑ 14	こはらは	これらは
242	↓ 10	パイロット弁の	パイロット弁 (A) の

目 次

I. 総 論

1. 序 言	1
2. 微生物工業と化学工学	2

II. 機械・装置の要素

1. ねじ, ボルトおよびナット	5
i. ねじ	5
ii. ボルトおよびナット	7
2. 管および管継手	10
i. 管	10
ii. 管継手	12
3. 弁および安全弁	15
i. 弁	15
ii. 安全弁	22
4. 伝導装置	23
i. 伝導装置の種類	23
ii. 巻掛伝導装置	23
5. 各種漏洩防止法	28
i. 概 説	28
ii. 固定された継ぎ目 (分解, 点検, その他の目的でしばしば取り外す必要がある箇所) の漏洩防止	28
iii. 回転運動部分の漏洩防止	30
iv. 往復運動部分の漏洩防止	31

III. 粉 碎 機

1. 粉碎の目的	34
2. 粉碎の理論	34

i.	粒度分布の法則	35
ii.	粉碎に要するエネルギー	37
iii.	砕料物質の差	39
3.	粉碎の条件	39
i.	循環粉碎	39
ii.	湿式粉碎と乾式粉碎	39
iii.	温度	40
4.	粉碎機の種類	40
5.	衝撃式粉碎機	41
6.	細粉碎機	43

IV. 攪拌装置

1.	概 説	46
2.	タンク式攪拌装置	48
i.	攪拌羽根の分類	49
ii.	代表的攪拌羽根のフローパターン	50
iii.	攪拌所要動力	58
3.	流動式攪拌装置	64
i.	ジェット・ポンプによる液-液混合	64
ii.	エア・リフトなど	66

V. 分離機

1.	概 説	69
2.	分離理論序説	70
i.	流体中を運動する粒子のうける流動抵抗	70
ii.	流体中における粒子の移動速度	72
iii.	遠心効果	72
3.	シャープレス遠心分離機	74
i.	構造の概要	74
ii.	分離機構	75
4.	ドラバル型遠心分離機	79

i. 構造の大要	79
ii. 分離機構	80
5. サイクロン	86
i. サイクロンの構造および分離機構	86
ii. 液体サイクロン	89

VI. 濾過装置

1. 概説	93
2. 濾過装置	94
i. 重力式濾過装置	94
ii. 圧力式濾過装置	95
iii. 真空式濾過装置	97
iv. 遠心濾過機	98
3. 濾過理論	99
i. 序論	99
ii. 濾過に関する基礎式	100
iii. 定圧濾過	103
iv. 定率濾過	107
v. 水洗操作	108
4. 空気濾過	109
i. 空気濾過装置	109
ii. 綿およびガラス繊維の雑菌濾過能力	112

VII. 輸送機

1. 固体輸送	116
i. おもな固体(粉体, 粒体)輸送機	116
ii. 固体輸送動力	118
2. 液体輸送	122
i. おもな液体輸送機	122
ii. 液体輸送動力	126
3. 気体輸送	134

i. おもな気体輸送機	134
ii. 所要動力	136

VIII. 伝熱装置

1. 序 説	139
2. 各種熱交換器	140
i. 套管型熱交換器 (Shell and tube heat exchanger)	140
ii. 2重管式熱交換器 (Double-pipe heat exchanger)	143
iii. 蛇管式熱交換器 (Coil type heat exchanger)	143
iv. 水平管の外面冷却器	143
v. 熱板型熱交換器 (Plate heater)	144
3. 伝熱の機構	145
i. 伝導 (Conduction)	145
ii. 対流 (Convection)	145
iii. 輻射 (Radiation)	146
4. 種々な伝熱速度式	147
i. 伝 導	147
ii. 対 流	149
5. 伝導装置に関する計算例題	154

IX. 蒸 煮 機

1. 蒸煮の目的	168
2. 微生物の殺菌	169
i. 死滅の対数法則	170
ii. 温度係数	170
iii. 乾熱殺菌	171
iv. 湿熱殺菌	172
v. 死滅の対数法則からのずれ	173
3. 蒸 解	173
i. 澱粉の α 化	173
ii. 原料組織の柔軟化	174

iii. 粘度の低下	175
iv. 加酸蒸煮	175
4. 蒸煮装置の分類	176
5. 固相型蒸煮機	176
6. 液相型回分式蒸煮機	176
i. ヘンツェ型	177
ii. 横型	177
iii. 球型(地球型)	178
7. 連続蒸煮機	178
i. 連続蒸煮の目的	179
ii. わが国における連続蒸煮機	182
iii. 間接加熱式連続蒸煮機	184
iv. 液槽式連続蒸煮機	187

X. 蒸 溜 装 置

1. 緒 論	190
2. 蒸 溜 装 置	193
i. 系統図 (Flow sheet, Flow diagram)	193
ii. 蒸溜装置各論	196
3. 蒸 溜 理 論	202
i. 予備的考察	203
ii. Ponchon-Savarit の図解法	206
iii. Mc Cabe-Thiele の図解法	208
4. 蒸溜に関する 2~3 の計算例	212

XI. 各種計測法および工場計器

1. 序 言	217
2. 流速(流量)の測定	217
i. ピトー管 (Pitot tube)	217
ii. 差圧式流量計	219
iii. 面積式流量計 (Area flow meter)	222

3. 圧力の測定	223
i. U字管圧力計 (U tube manometer)	224
ii. 環状差圧天秤 (Ring manometer)	225
iii. ブルドン管圧力計 (Bourdon gauge)	226
4. 温度の測定	227
i. 熱電温度計 (Thermo electric pyrometer)	227
ii. 抵抗温度計 (Resistance thermometer)	234
5. 自動制御機構の例	239
索 引	1~4

I. 総論

1. 序言

本講座の第3巻として醸酵工場における種々な機械装置についての収録が企画されたのであるが、戦前においても既に醸酵機械に関する著述乃至カタログ集の類で世に出版されているものも2~3にとどまらない。

醸酵工場の諸設備をアルコール工場を例にとって列挙すれば、原料の粉碎、輸送、醸酵醪の濾過に関する諸設備、空気の濾過除菌装置、冷却水、空気の輸送機（ポンプ、圧縮機）など、いわゆる機械的またはこれに近いと考えられる操作に伴う諸装置、さらに蒸煮機および蒸溜装置のごとく物質の移動および熱の出入を伴う設備などがおもなものであって、これらをそれぞれ単独に切りはなして一つの機械または装置と考えれば特に醸酵工場にのみ通用する特別なものと見做さるべき設備は甚だ少ないようである。

例えば蒸煮機（digester）にしても、パルプ工場において原木中の繊維素を重亜硫酸石灰の薬液で蒸解する木釜と称する装置は、アルコール工場の蒸煮機と細かい点ではかなり異なっているが、全体として共通する箇所も少なくない。その他、蒸溜装置、粉碎機、輸送機に至っては他の化学工業で活用されているものと同じ仕様のもので醸酵工場の設備としての要求を満たすものも多い。

これらの諸設備、例えば粉碎機、蒸溜装置、輸送機、伝熱装置などについては、現象の解析、装置の改善に関する戦後の研究成果は著しく、それらは学術雑誌上のみならず単行の書籍としても多数発表されている。

本書においては、これら既刊の参考文献類を参照しつつ、特に醸酵工場に関係があると思われる箇所を収録し、各種の機械、装置に関する研究の現況を述べ、かつ将来への発展にも言及することが、本巻の企画の意図であろうと推察される。

しかして醸酵工場といえども一つの化学工業プラントであり、化工プラントはこれら諸設備の有機的総合体であって、単に個々の設備を並べたものではな

く、工学的諸計算，工場立地，衛生および法律上の観点をも尊重しつつ微生物に関する豊富な知識と経験とをもって始めて工場を満足に運転することが可能である。

2. 微生物工業と化学工学

ハーバー (Fritz Haber) は 1908 年，実験室的に空中窒素固定によりアンモニア合成に成功したが，これを工業的規模に拡大するに際してボッシュ (Karl Bosch) が協力し今日の大工業の基礎を築いた有名な史実は実験室で発見したプロセスを工業化する過程において工学が担う重要性を説明するにはこの場合いささか飛躍しすぎる嫌いはあるが，ともかくも最近では戦後わが国で急速に発展した抗生物質（製薬）工業の生長の経過を回顧しても，抗生物質生産を工業化するに際して工学，特に化学工学が果たした役割の重要性は明らかであろう。化学工学はある化工プラントの建設に当り，そこに採用されるプロセスに応じて各種の機械，装置を選定し，それらの主要諸元を決定して全プラントの最も合理的かつ経済的な運用をはかるべき実施面とそれぞれの機械，装置の設計に当ってはその根拠となるべき原理を追求する，物理化学的，応用物理学的方向の研究面をもった工学であって，これが取り扱う物質の種類，その性質などはそれぞれのプロセスによって異なりかつ対象となる現象も広範囲に及ぶから，多岐にわたる機械，装置をいわゆる単位操作 (unit operation) にもとづいて分類する。

しかしこれらの単位操作は，濾過，遠心分離，粉碎，混合など物質の相の変化を伴わない機械的単位操作と，蒸発，蒸溜，吸収，調湿など物質の相の変化を伴う，いわゆる拡散的単位操作とに細分されよう。

化学工学はそれが取り扱う物質相として固体，液体，ガス体のほかに液-ガス系，固-液系さらに複雑な非ニュートン性流体がありしかもこれらの相の変化，化学反応速度をも実際面および研究面の対象とする点において単なる機械工学とは区別されなければならない。

さて，以上のごとき操作および装置が化工プラントの建設，運用に際しての構成要素となるのであって，これらの諸装置に関し当該の現象を前述のごとく

応用物理学的または物理化学的に解析し、操作の原理、装置設計の資料を求めるのが化学工学の研究目標であるが、醸酵工場の設備においては単に無生物のみならず、生物を取り扱う点につき、従来の化学工学では見られない新たな発展、すなわち微生物工業と化学工学との結合が、まずその研究面について実際に実現されることが切望されるのである。

次にこれらの事項を少し具体的に述べてみよう。

実験室である新しいプロセスが発見され、これを工業的規模（中間試験規模も含む）で実施する段階を想像しよう。

まず実験室の経験、実際上および種々な考察にもとづいて原料、中間製品および完成品の各単位操作間の流れを示す定性的な系統図（qualitative flow diagram or flow sheet）を作成する。

次に、製品の日産または月産量を規準にしてプロセス全体について物質収支、熱収支を立て、原料、中間製品の量、冷却水量、電気量、蒸気量などの数値を系統図に書き込み、ここに定量的な系統図（quantitative flow diagram）を作成する。

この段階に至れば、例えば伝熱装置についてはその伝熱負荷（Heat duty）、大体の伝熱面積、濾過装置であればその容量、型式、濾過面積、濾過圧力、濾過に要する時間、パイプ輸送についてはポンプのヘッド、流量にもとづきその型式、馬力数を計算しなければならない。ここにおいて、実験室で得たデータを工業装置の設計に役立たせる必要が起るのである。例えばある醗を毎時1,000lの速度で濾過すべき必要がある場合に、その濾過装置例えばフィルタープレスの諸元（板枠の寸法、枚数、濾過面積）を決めなければならない。この際にその醗の濾過特性のデータが必要不可欠であって、単に濾過しやすいまたは濾過しにくいなどの曖昧な表現ではどうにもならないわけである。

かくして、そのプロセスに使用する各種装置の選定、主要諸元の決定、装置の配置、装置間の配管などを決定すれば、各装置の細部にわたる設計計算を行うのである。

微生物を利用した実験を行う際にそのデータが工業的にも有意義になるよう

に努めることは、微生物工業に化学工学または化学工学的考え方を導入する一つの手近な過程であろう。

本書は微生物を専門とする読者に工場の最新設備を羅列してその性能を列記するよりも、最初に機械装置の基礎事項を述べ、最後に極めて重要な各種の計測法および工場計器の初歩に触れる外、大体において諸装置および操作に関する化学工学的な考え方に重点をおくつもりである。かかる傾向は必ずしも満足すべきものではなく、真に微生物にその基盤を置いて、将来これら各章の内容が適宜削除されかつ加筆されることが最も望ましいと考えられる。

(合葉修一)

II. 機械・装置の要素

1. ねじ、ボルトおよびナット

i. ねじ 図 II・1 の直角三角形 ABC を直径 d の円筒に捲くとき、辺 AB は円筒面上において、つる巻線を描く。この線が、ねじの基本であって、これに沿って種々な形状の断面積を有する帯を捲きつけたものがねじである。

図 II・1 (a) において

$$\tan \alpha = \frac{h}{\pi d}$$

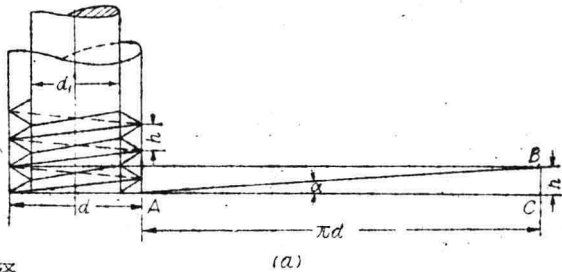
ここに

α : つる巻角

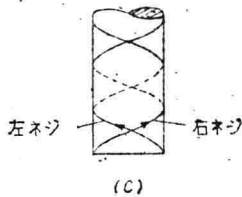
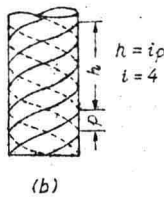
d : ねじの外径

h : リード

d_1 : ねじの谷の径



というのが、同図 (b) にみるごとく 2 個以上 i 個のつる巻線を同時に捲きつけたものが多重 (i 重) ねじである。この場合、



ピッチ p は

図 II・1

$p = \frac{h}{i}$ で、(a) におけるごとく 1 重ねじにおいては

$$p = h$$

また

ねじの有効径 $d_e = \frac{d + d_1}{2}$

有効つる巻角 $\tan \alpha_e = \frac{h}{\pi d_e}$

で、ねじの大きさはその外径 d によって区別する。円筒外表面上につる巻線を捲きつけた型式のねじは**おねじ**、円筒内面にこれと嵌合するときねじ山を有す

るものをめねじとよぶが、つる巻線の捲きつけ方によって、右ねじ、および左ねじがある。しかしながら、ねじを右に回すと、ねじはその軸方向へ進む右ねじを用いる場合が多い(図 II・1(c))。

ねじはあらゆる機械部品の締結用、動力伝達用として広範な用途を有するから、その量産および互換性を目的として以前からその寸法は細部にわたって規格で定められている。

わが国ではウィットウォース (whitworth) ねじ、およびメートルねじが採用されている。

ウィットウォースねじは、その寸法をインチ、ねじ山の角度は 55° 、1インチ当りのねじ山数でピッチを表わすが、メートルねじは、ねじ山の角度が 60° 、しかしてピッチは相隣るねじ山

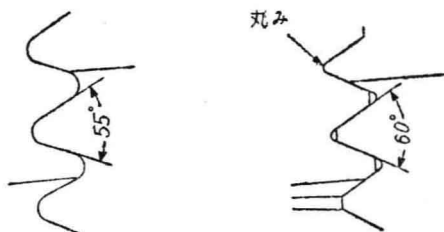


図 II・2

間の距離でこれを mm で表わす(図 II・2)。

ねじにはその使用箇所によって機能的に種々のものがあり、細目ねじはねじ山の高さが低く、ピッチ小、かつつる巻角が小であるから、比較的谷部の断面積が大で荷重変動がある場合などに用いられるねじである。

管用ねじは細目ねじよりもさらにピッチを小にしたもので、つる巻角は小、したがって締めやすくかつ緩み難いので、管の継手* などに用いられるねじである。しかして管の継手にはしばしばテーパをつけたテーパねじ** が用いられる。

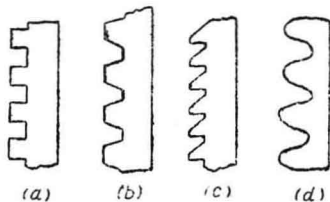


図 II・3

その他、図 II・3 (a)~(c) のごとく、ねじ山の断面の形状によって三角ねじのほ

かにそれぞれ、四角ねじ、梯形ねじ、鋸歯ねじとよばれるねじがあるが、これ

* 12 頁 ii 参照

** 12 頁 ii a 参照