

日立遠心抽出機

Hitachi Quadronic

太田 俊朗*
Toshiharu Ōta吉永 正二*
Shōji Yoshinaga

要 旨

昭和42年末にアメリカのLiquid Dinamic社と技術提携を行なって、日立遠心抽出機の製造、販売を開始したが、先方技術の受入と今後の改良のために、その性能に関して種々実験、検討を進めている。本稿はこの機器の紹介と、今までに行なった研究結果の概要を述べたものである。

1. 緒 言

化学工業の急速な発展に伴い、製品の高純度化、生産量の増大が要求されるにつれて、化学機械全般にわたって開発改良が盛んになった。抽出は物質移動の研究の中で、蒸留・吸収に比べ未知の分野が多い単位操作であったが、この方面の研究も盛んになり、多くの形式の抽出機が開発されている。しかし現在実用化されている抽出機には一長一短があって完全なものはなく、それぞれ用途に応じて適材適所に使われている。そのうちで、遠心抽出機は遠心力を利用しており、塔式に比べ次の点がすぐれている。

- (1) ホールドアップが小さく、床面積、高さが低い割りに処理量が多い。
- (2) 小形の割りに液～液の混合効果および分離効果がすぐれているので抽出効率がよい。
- (3) 滞留時間が非常に小さいので、変質しやすい物質系の処理に適している。
- (4) 始動時より短時間で定常運転にはいることができる。
- (5) コンパクトで、完全密閉用運転が可能。このため大気への溶剤の損失がほとんどない。また操作温度の調整が容易であり、保温は不要である。
- (6) 比重差の小さい物質系(最小0.02ぐらい)の処理もフラッシュディンクを生ずることなく容易に行なわれる。

遠心抽出機も数種類のタイプが市場には出ているが、日立遠心抽出機は上記の特長に加え、次の特長を有している。

- (1) 液通過孔の面積が変更できるよう円板柱を有しているので、大きな処理量変化に対応することができる。またエマルジョン化傾向の大きな液の処理が可能である。
- (2) 導液管を有しているので、各種液～液に応じた混合域、分離域の調整が可能であるため、最適運転条件が容易に得られる。また遠心分離機としても使用可能となる。
- (3) 国産品であるため、輸入品に比べ価格が安く、アフターサービスもじゅうぶんできる。

日立遠心抽出機につき構造の概略、設計法、性能実験、応用されるプロセスについて述べる。

2. 構 造

抽出機の主体は混合、分離を行なわせるロータとそれを駆動し軽液、重液の流入・流出用通過みぞを有する軸よりなっている。固定配管部と回転軸の接続部分のもつれ防止のため駆動側、反駆動側とも大小各1個ずつのメカニカルシールを使用している。ロータ内の2液のホールドアップ変更は軽液の出口において背圧調整バルブの調整により行なわれる。またロータおよび軸は下部ケーシングの上にベアリングでささえられ、上部ケーシングでカバーされている。

* 日立製作所笠戸工場

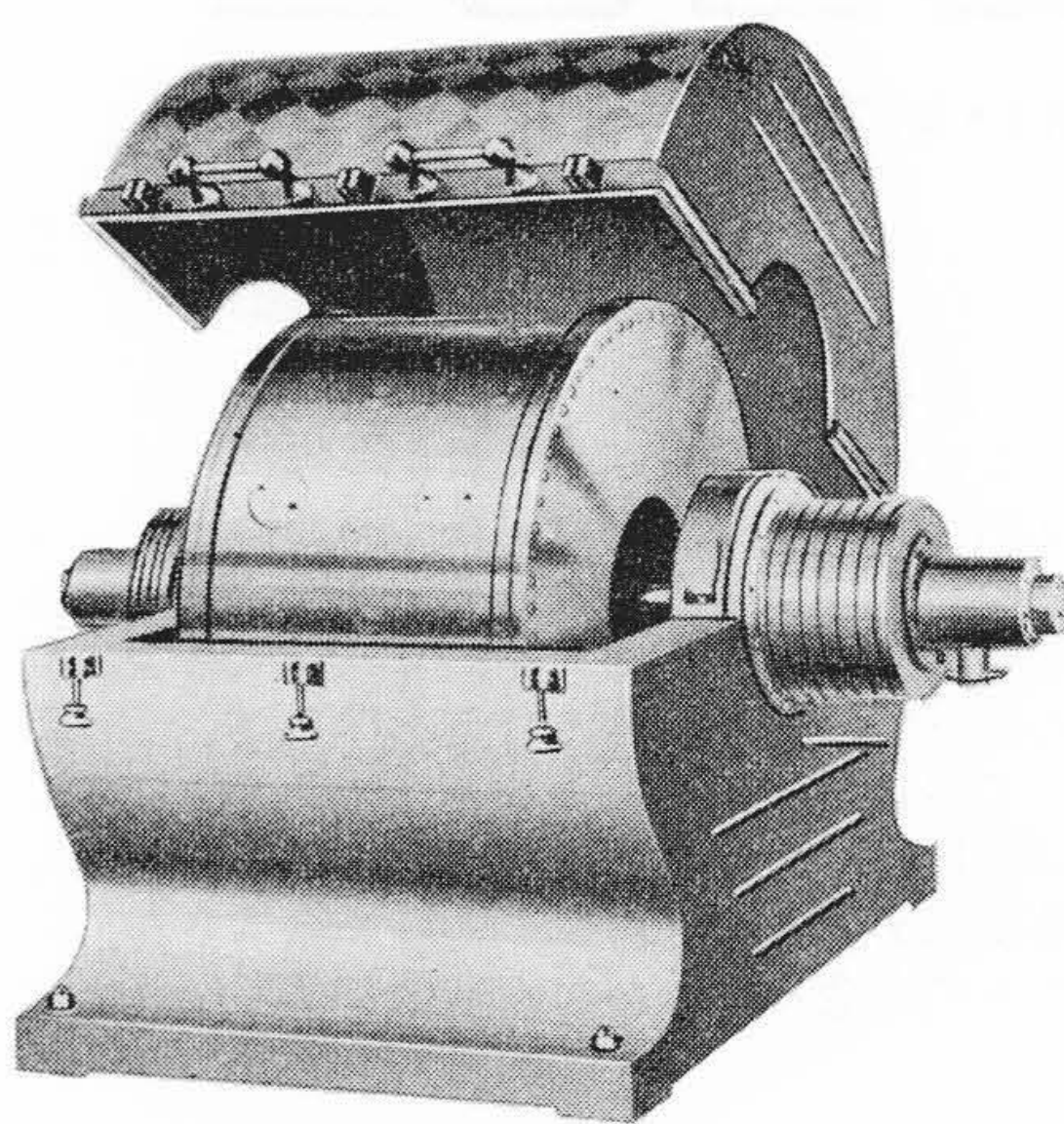


図1 日立遠心抽出機

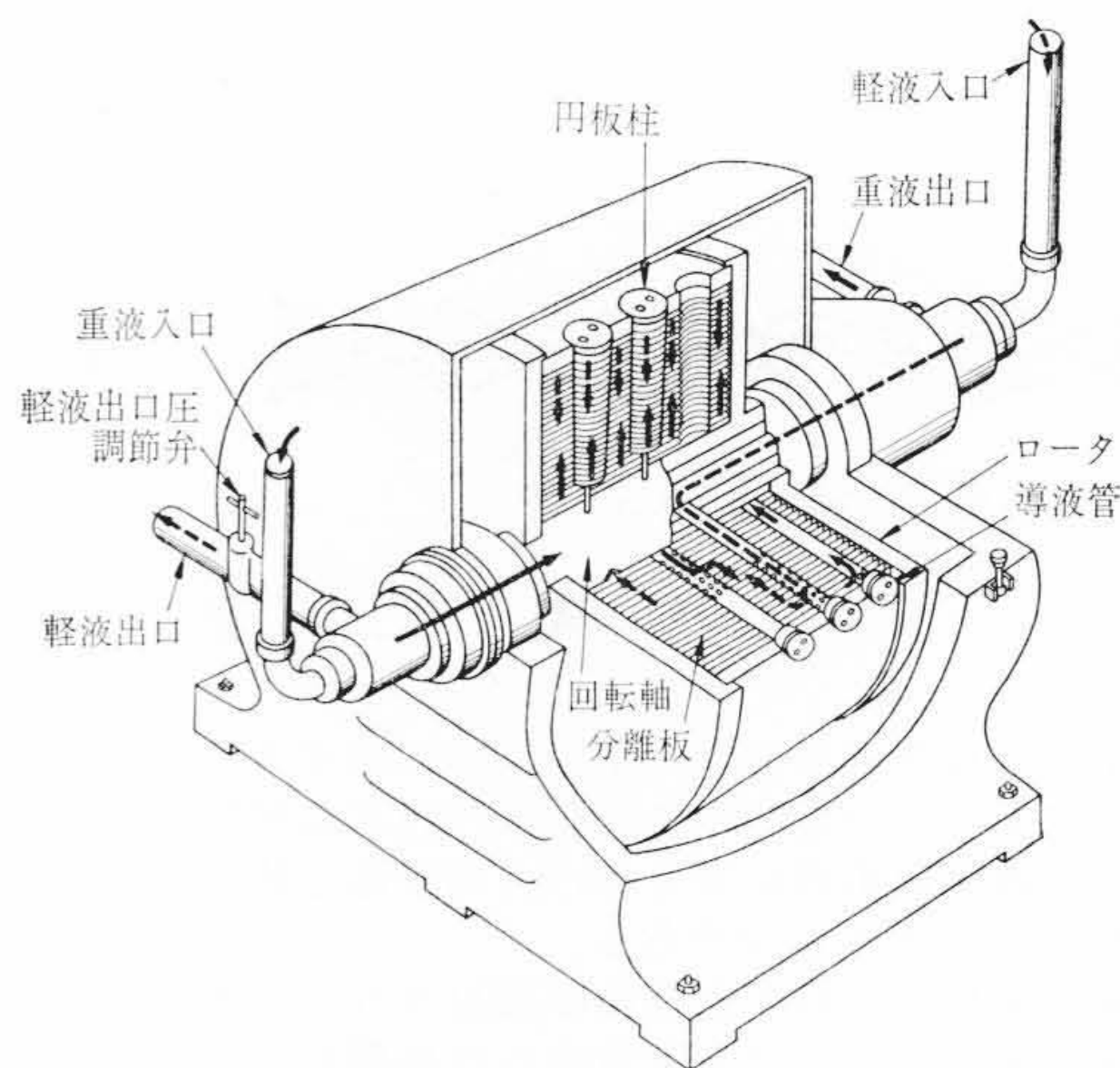
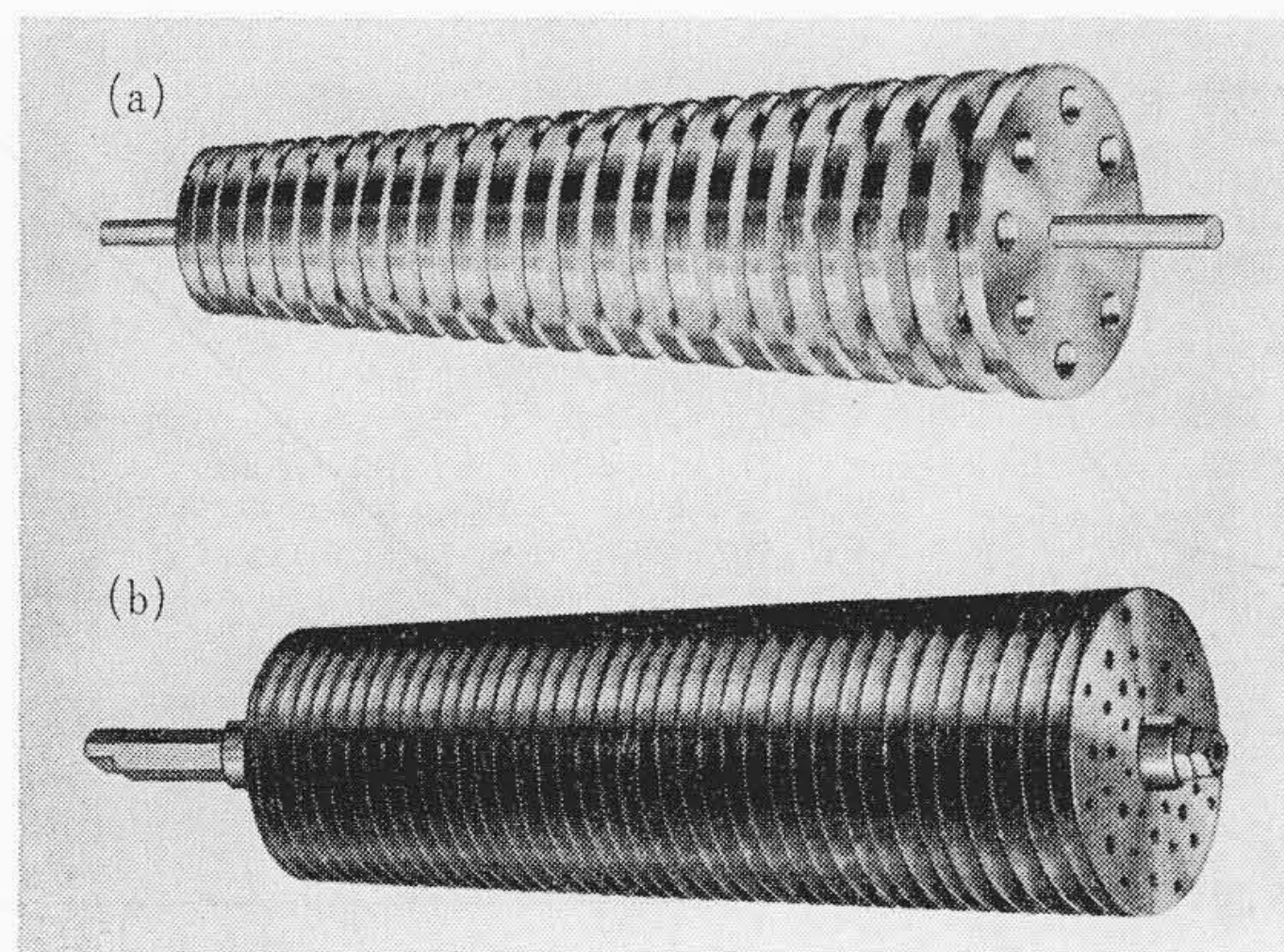


図2 日立遠心抽出機ロータ内構造図

駆動装置はモータと無段変速機よりなり、通常プーリおよびベルトを介して回転軸を駆動する。

ロータ構造は図2に示したとおりで、回転軸に取り付けられたロータ内部には、軸と同心円状の多数の板(分離板)があり、円板柱および導液管はこれら板上にあけられた穴を貫通して軸に達している。両液(重液および軽液)は円板柱および分離板に設けられた穴を通じて流れる。円板柱に設けられた穴の面積は自由に決められるが、ある場合には全穴面積の60%に達することもある。分離板のピッチ(間隔)は一定の方法で定められ、外周に進むに従って大きくなっている。この分離板の枚数、ピッチ、穴面積は抽出機の性能、特に最大処理量、理論段数に重大な関係がある。

図3は円板柱の一例であるが、①は数個の穴を持った2枚ずつ対になった円板を何段か重ね、軸で連結したものである。この円板



(a) マスタカラム (b) 標準カラム

図3 日立遠心抽出機円板柱

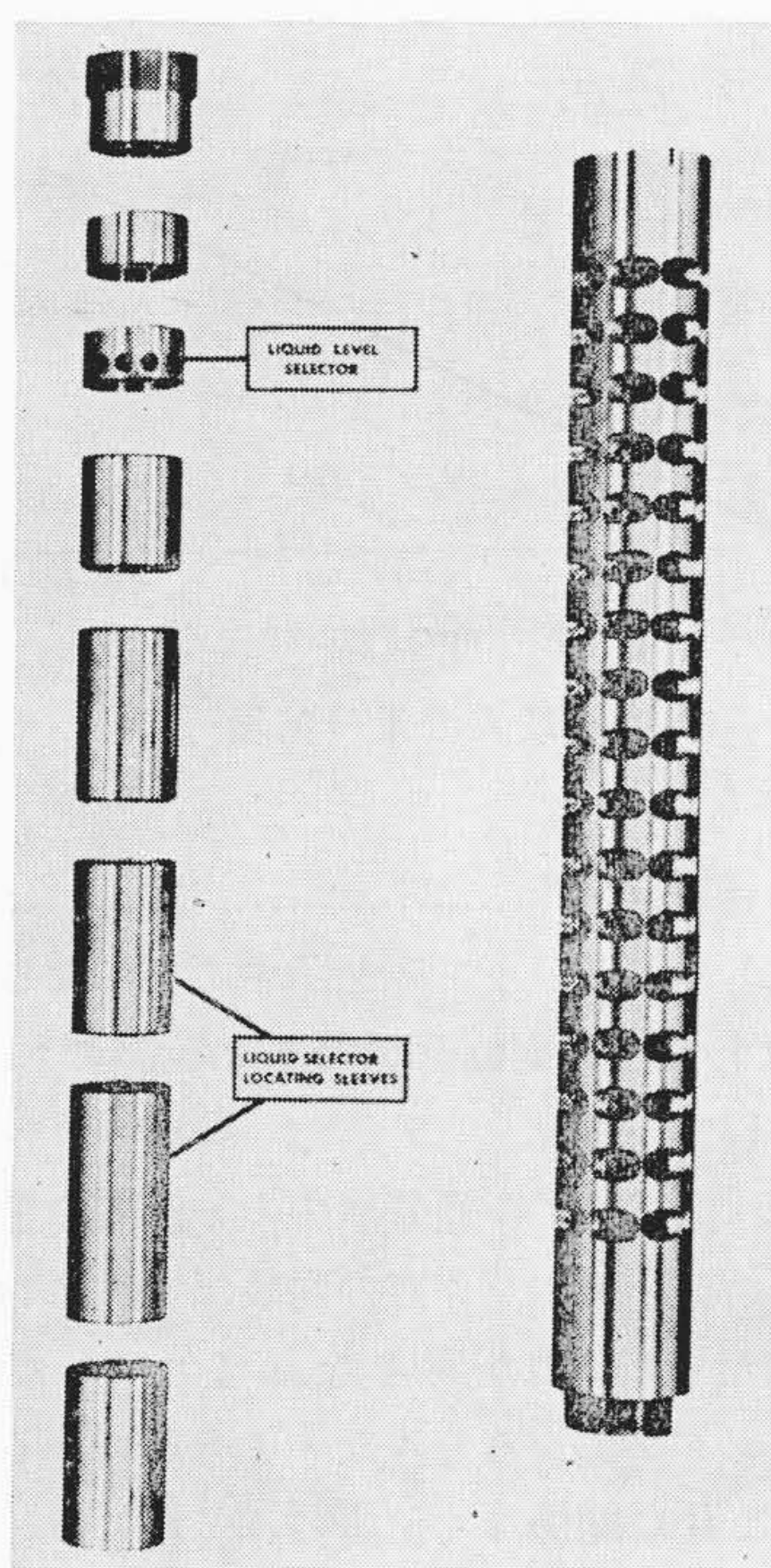


図4 日立遠心抽出機導液管

は元来分離板の一部を構成するもので、分離板と同じ位置にセットされる。対になっている穴あき円板の上部のものの下部のものに対する相互位置を変えることにより、液が通れる穴の大きさを自由に変化させることができる。また②のように穴のパターンを固定したものもある。この穴の変更により多くの抽出系、抽出条件の変化に対応することができる。もちろん穴パターンを変えるため円板柱をロータから取り出し再びそう入することは簡単である。

導液管は図4に示すように、液の流出口となる多数の穴が、軸方向に等間隔に配置された管で、この中には図4に示すように取り出し可能な中空の多数のスリーブがはいっている。各スリーブの中の一つは導液管の穴と一致する流出口があけてある。なお、この穴あきスリーブは軸方向には、一方が閉じられている。このため穴あきスリーブの閉じた側を円周方向にむけ、その位置を適当に変えることにより、軽液・重液のいずれの流入位置をも自由に変化させることができる。円板柱と同様に分離板を貫通してあけられた穴を通して、軸に取り付けられ、回転軸から液を導く。もちろんこの導液管も、簡単に取りはずし可能であるが、導液管を外に取り出さなくても、スリーブだけ簡単に取り出し、容易に流出位置を変えることができる。

メカニカルシール構造は図5に示すとおりである。ロータを貫通する軸は、2重管または3重管になっていて、中心みぞが、軽液・

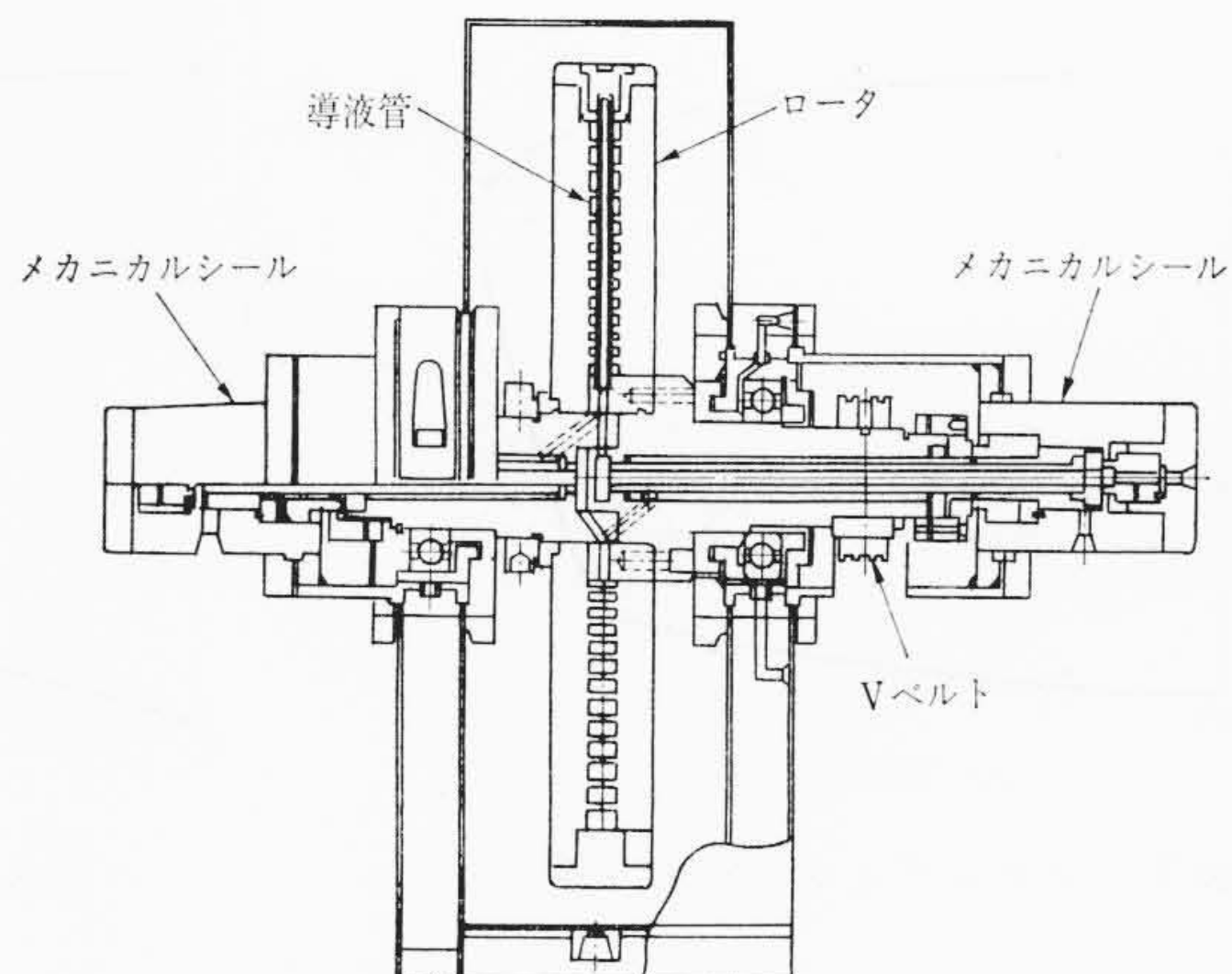
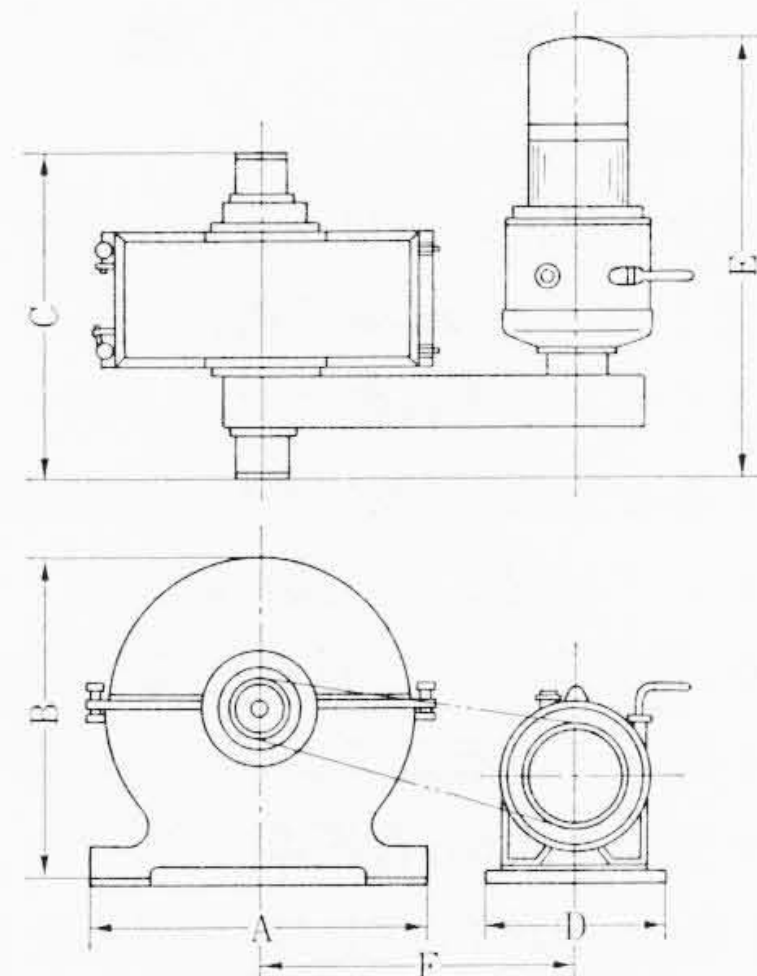


図5 日立遠心抽出機メカニカルシール説明図



標準 形式	回転数 rpm	全処 理量 l/m	モータ ー出力 kW	概 略 寸 法 単位 mm					
				A	B	C	D	E	F
1801	4,500	4	3.7	665	615	655	360	1,025	600
03	4,500	20	3.7	665	615	680	360	1,025	600
2403	3,200	60	3.7	915	890	1,000	360	1,100	900
06	3,200	120	3.7	915	890	1,100	360	1,100	900
12	3,200	240	5.5	915	890	1,250	360	1,150	900
18	3,200	360	7.5	915	890	1,400	550	1,200	900
24	3,200	480	7.5	915	890	1,550	550	1,200	900
3603	2,000	70	5.5	1,420	1,355	1,200	360	1,170	1,100
06	2,000	150	5.5	1,420	1,355	1,500	360	1,170	1,100
12	2,000	300	11	1,420	1,355	1,720	600	1,300	1,100
18	2,000	450	15	1,420	1,355	1,870	600	1,400	1,100
24	2,000	600	18.5	1,420	1,355	2,020	600	1,500	1,100
36	2,000	900	22	1,420	1,355	2,335	800	1,600	1,200
4803	1,600	100	15	1,675	1,550	1,200	600	1,400	1,200
12	1,600	500	18.5	1,675	1,550	1,800	600	1,400	1,200
24	1,600	1,000	22	1,675	1,550	2,300	800	1,800	1,300
36	1,600	1,500	30	1,675	1,550	2,600	800	2,000	1,300
48	1,600	2,000	30	1,675	1,550	3,000	800	2,000	1,300

図6 日立遠心抽出機標準仕様

重液の流入みぞとなって、外側が両液の流出みぞとなっているものが一般的である。これらそれぞれの流入みぞ、流出みぞの回転部分と固定部分とは、シールリングによって接しており、高回転、かつ高圧液の漏えいを防ぐために精密に仕上げられている。これらシールリングは図5に示すように、回転部は超硬合金、固定部はカーボン製となっており、その固定カーボンリングをそれぞれ数個のスプリングでおさえ回転リングに密接させるようになっている。テフロンパッキンにより、回転リング、固定リングはおののシールされている。メカニカルシールの構造は高速回転のポンプなどと大差はないが、軸端に取り付けられているため軸ぶれに対してはきわめて鋭敏で、特に精密な仕上げが要求される。

3. 日立遠心抽出機の標準仕様

図6に示すとおりであるが、回転数は液比重が1の場合を示している。

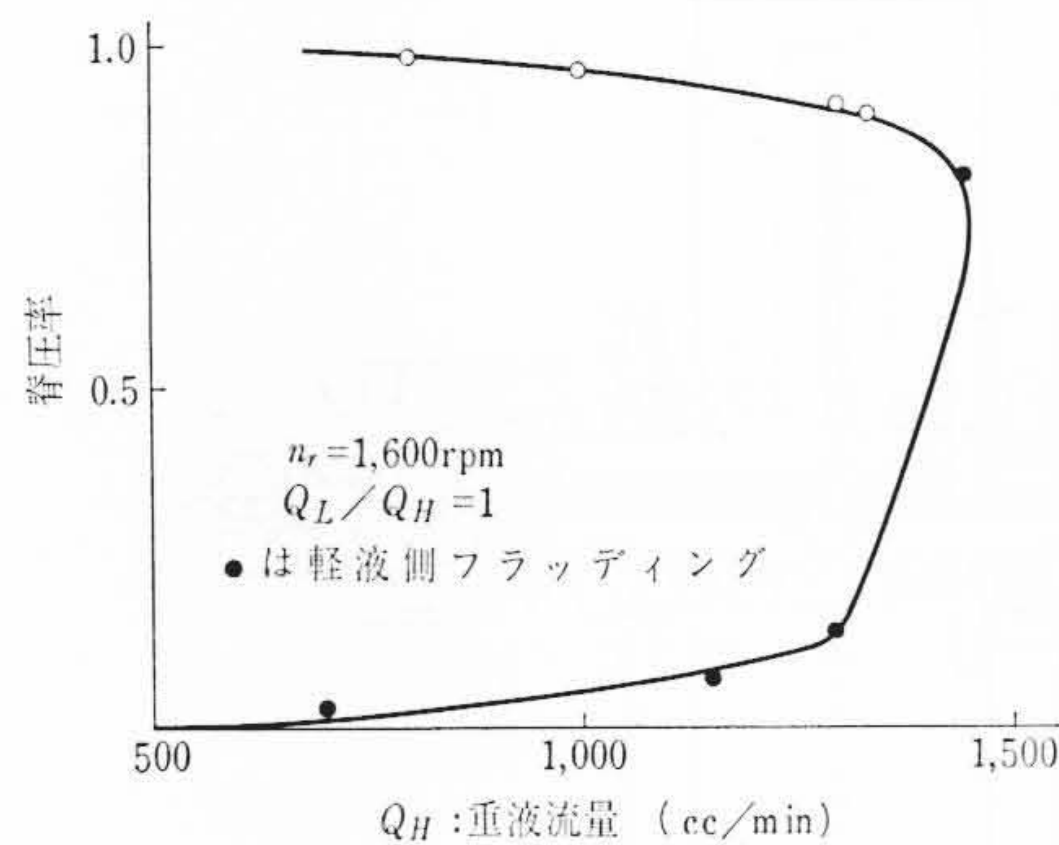


図7 フラッディング点の一例

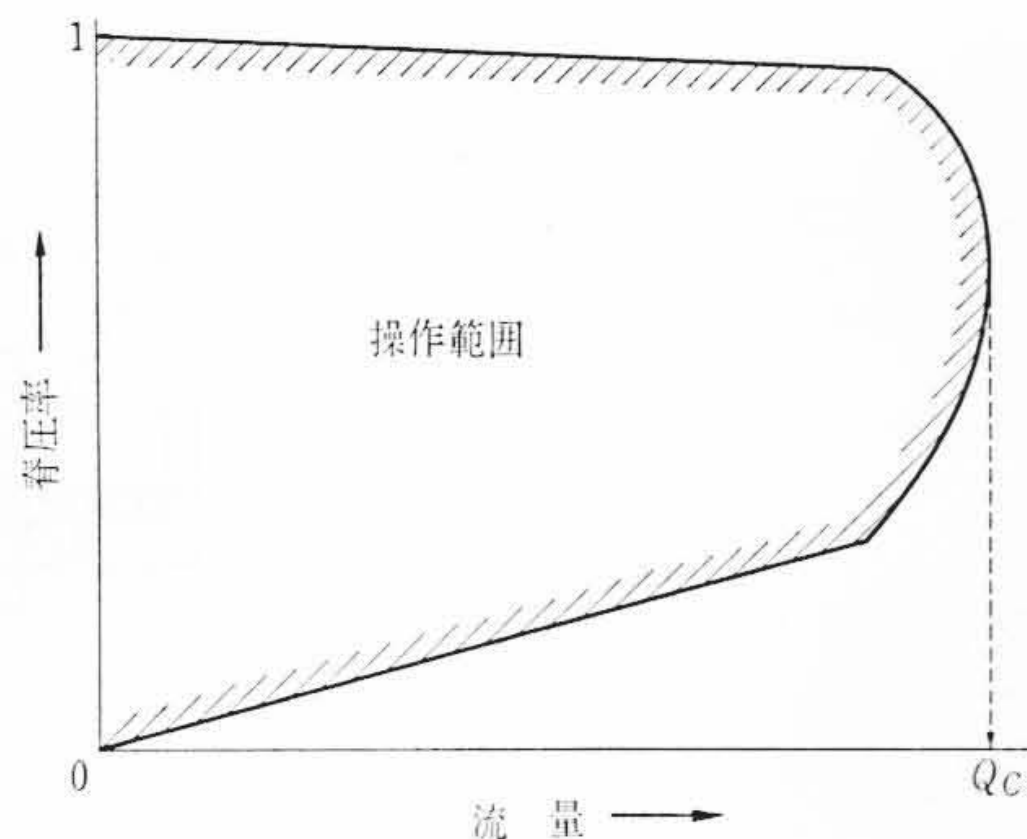


図8 操作範囲の模型図

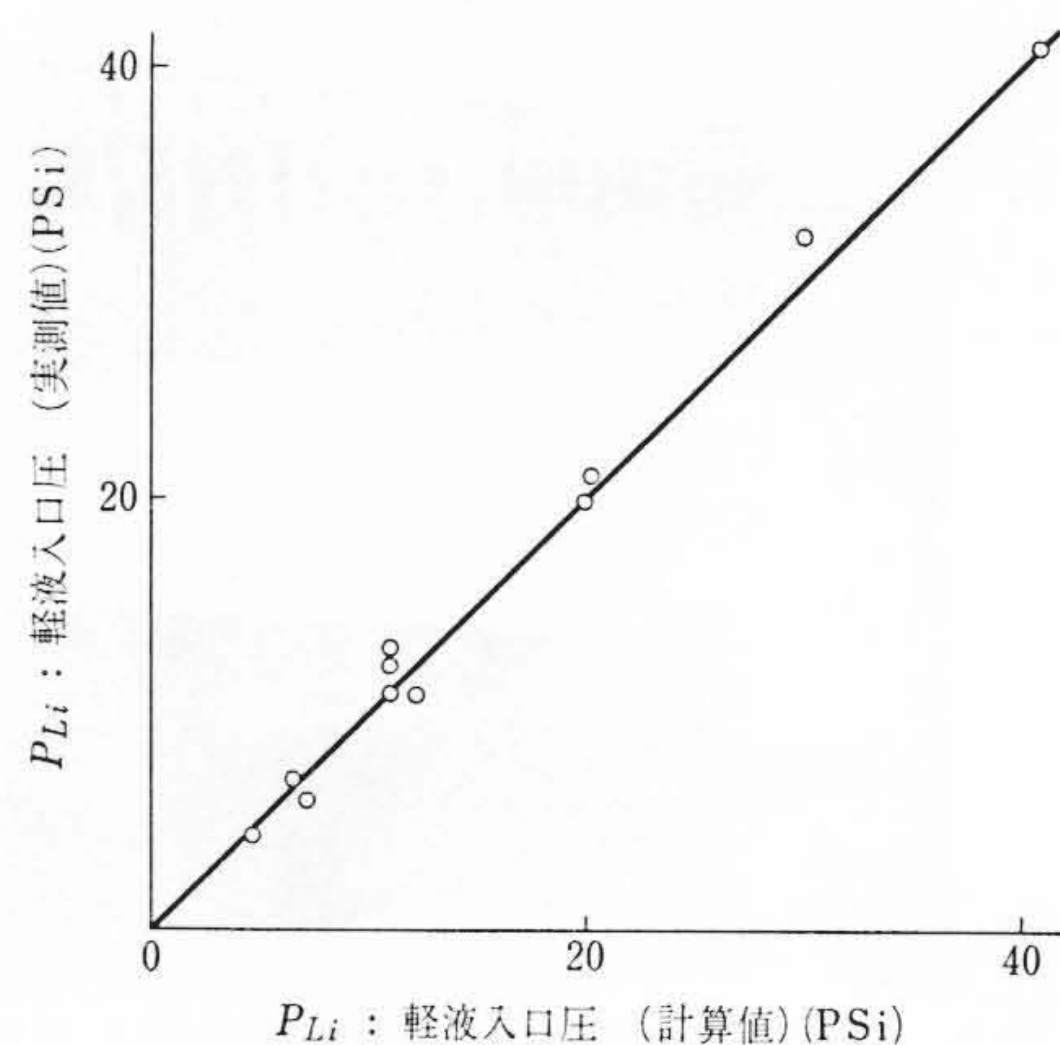


図9 入口圧の計算値・実測値の比較

4. 性能

4.1 流動性能

液流量が一定の場合、軽液の出口圧を極端に小さくすると軽液出口に重液が混入してくる。いわゆる軽液側フラッディングが起こり、逆に極端に大きくすると重液側にフラッディングが起こる。さらに液流量を大とすると背圧(軽液出口圧)に関係なく、重液または軽液側でフラッディングが起こる。操作範囲はフラッディングが起こらない範囲であり、操作条件より見ると、液流量および背圧によってフラッディングが起こると考えてよい。実験用小形遠心抽出機を用い、フラッディング点を求め、背圧率 (P_{Lo}/P_{Li} これを B とおく、 P_{Li} : 軽液入口圧力 P_{Lo} : 軽液出口圧力)と液流量 Q で整理した。その結果の一例を図7に示す。重液側フラッディングでの B を B_{FH} 、軽液側のそれを B_{FL} とすると、図7よりわかるように、 B_{FH} は流量が大となると約1より漸次小となり、 B_{FL} はほぼ0より漸次大となる。さらに流量 Q が大となると重・軽液両側で同時にフラッディングが起こり、この流量 Q_c (Q_c を最大流量と定義する) より大とすると重・軽液のどちらかの一方の出口でかならずフラッディングを起こすことになる。また実験によれば操作条件すなわち回転数、液系が異なっても B_{FH} 、 B_{FL} の曲線はほとんど一定の値となる。これらの関係を模型的に示すと図8のように操作範囲は $B_{FH} < B < B_{FL}$ 、 $Q < Q_c$ であり Q_c は回転数、円板柱の孔径が大となれば大となり、また物性値によって定まるものである。

Barson 氏ら⁽¹⁾によれば流れの抵抗が小のとき、軽液入口圧 P_{Li} はロータの角速度 ω 、重、軽液の密度差 $\Delta\rho$ との間で

$$P_{Li} = \omega^2 \cdot r_0^2 \cdot \Delta\rho / 2g \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに g : 重力加速度

r_0^2 : 重液出口の半径方向位置

図9は P_{Li} の計算値と実測値を比較したものであるが、(1)式が成立することが読みとれる。Jacobsen 氏ら⁽²⁾によれば、背圧 P_{Lo} ロータ内の軽液ホールドアップと一次関係があるとしている。筆者らはロータ内部の見える遠心抽出機で液の流れ挙動を観察した。この結果、重液はロータ外周に、軽液は内周に集まり、重、軽液の主界面は明確に認められることを確認した。

今ロータ内のバンド上の穴を通る液の流れ抵抗は無視できるほど小さく、連続層中の分散層のホールドアップは小であるとし無視する。ロータ内の主界面の位置を r_c で示し、重液の入口位置はロータの中心に近く無視すると P_{Lo} は $\Delta\rho \cdot \omega^2 \cdot (r_0^2 - V_H/\pi b)/2g$ で示されるが⁽²⁾、これを変形して次式を得る。

$$P_{Lo} = \Delta\rho \cdot \omega^2 \cdot \{r_0^2 - (r_0^2 - r_c^2)\} / 2g = \Delta\rho \cdot r_c^2 / 2g \quad \dots\dots (2)$$

ここに V_H : 重液のホールドアップ $V_H = \pi b (r_0^2 - r_c^2)$

b : ロータの幅

そこで(1)式を代入すると $B = P_{Lo}/P_{Li}$ は次式のようになる。

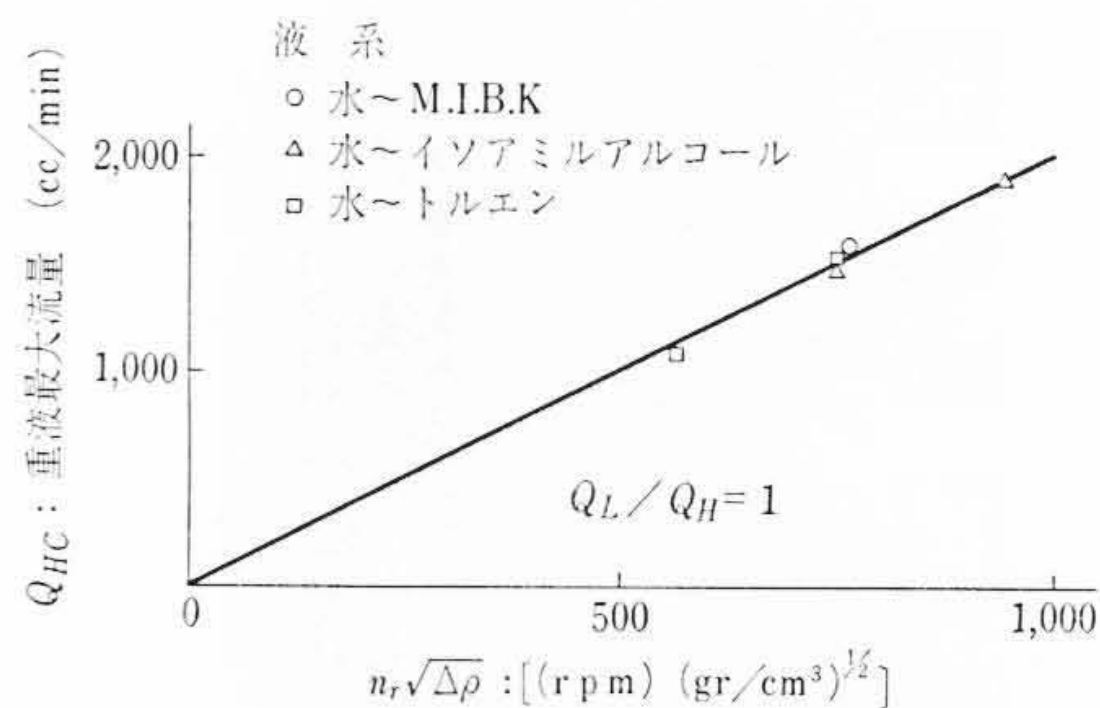


図10 最大流量の整理

$$B = P_{Lo}/P_{Li} = (r_c/r_0)^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

すなわち B は軽液のホールドアップ率を示すことになり、また B が大きくなると r_c すなわち主界面位置が大となる。これは重液が分散相となることを示している。

(3)式の計算は流れ抵抗および連続層中の分散層の量が無視した式であるが、図7のフラッディング点の現象は大体において、主界面が極端に移動し、たとえば B が大となって $r_c = r_0$ に達したときに重液側フラッディングが起こるとみなすことができる。

一方最大流量 Q_c は B に関係なく流量のみで起こる。円板柱の穴をオリフィスとみなし、液がこの穴を通過するのに必要な圧力はロータの回転によって生ずると考えると Q_c は

$$Q_c \propto \omega \sqrt{\Delta\rho} \propto n_r \sqrt{\Delta\rho}$$

(n_r : ロータ回転数)で示される。Todd 氏⁽³⁾は Q_c と n_r の関係を実験的に求め、 $Q_c \propto n_r$ なることを示している。図10は筆者らの実験結果を Q_c と $n_r \sqrt{\Delta\rho}$ で示したものであるが、 $Q_c \propto n_r \sqrt{\Delta\rho}$ となることが図よりほぼ読み取られる。以上のことは Q_c およびフラッディング点をほぼ推測できることを示し、装置形式が定まった場合操作範囲が推定できることになる。

4.2 抽出性能

実験用小形遠心抽出機を用い、水-酢酸-メチルイソブチルケトン(MIBK)系を用いて抽出実験を行なった。実験はMIBK中に酢酸を加え、水で抽出する方法をとった。

抽出効率に及ぼす因子のうち、日立遠心抽出機の特長の一つはロータ回転数が変化できること、および背圧操作によって分散相を軽・重液いずれにも容易に変え得ることである。種々の条件で抽出実験を行なった結果、傾向的には重力場の抽出塔で考察されている事柄がだいたいにおいて適用できることがわかっている⁽⁴⁾。そこで日立遠心抽出機の特長と思われる二、三の条件下の結果を以下図11、12、13に示す。背圧率 B と理論段数 n_T の関係を示したのが図10である。 B は前項で示したように主界面の位置を示し、 B が大きなときは重液が分散相となっていると考えることができる。図より $B \approx 0.2$

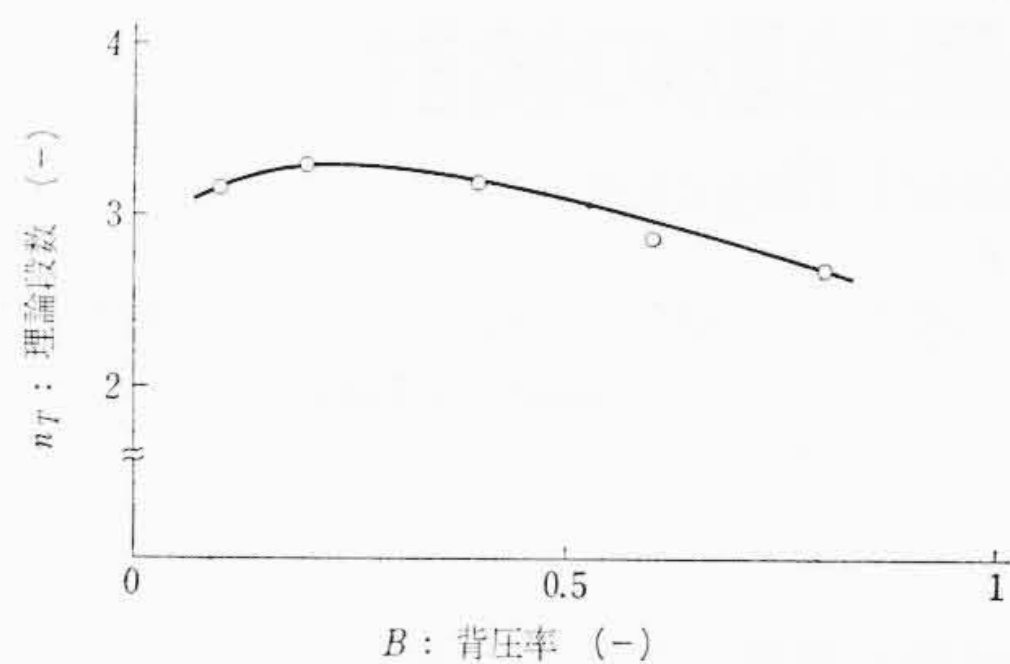


図 11 背圧率と理論段数の関係

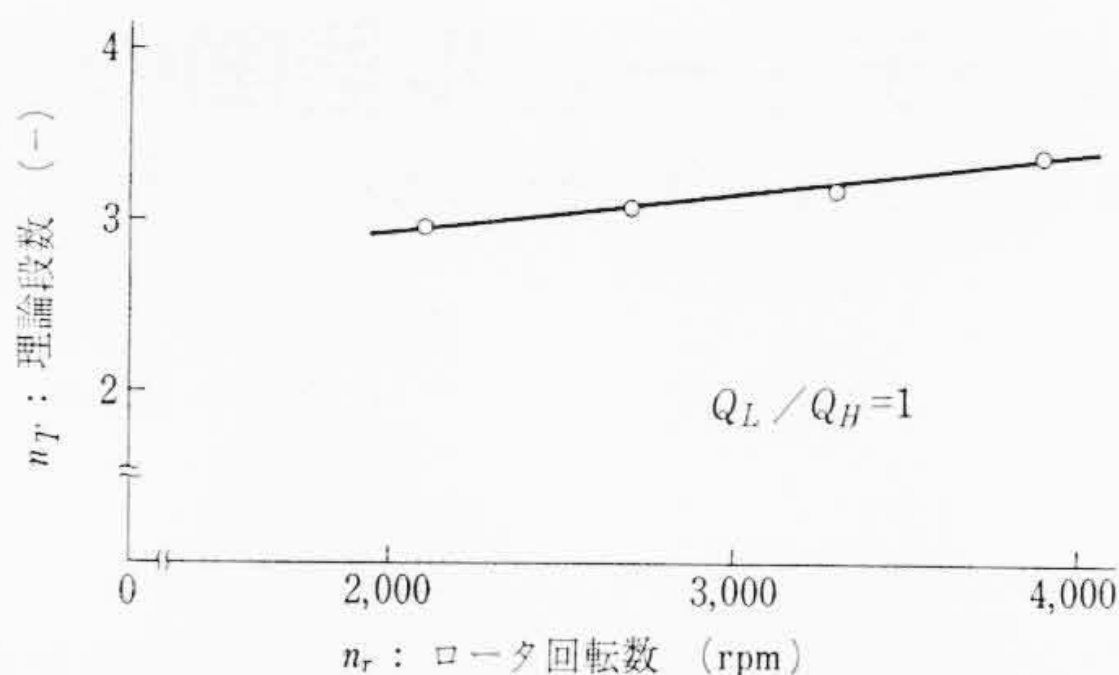


図 12 ロータ回転数と理論段数の関係

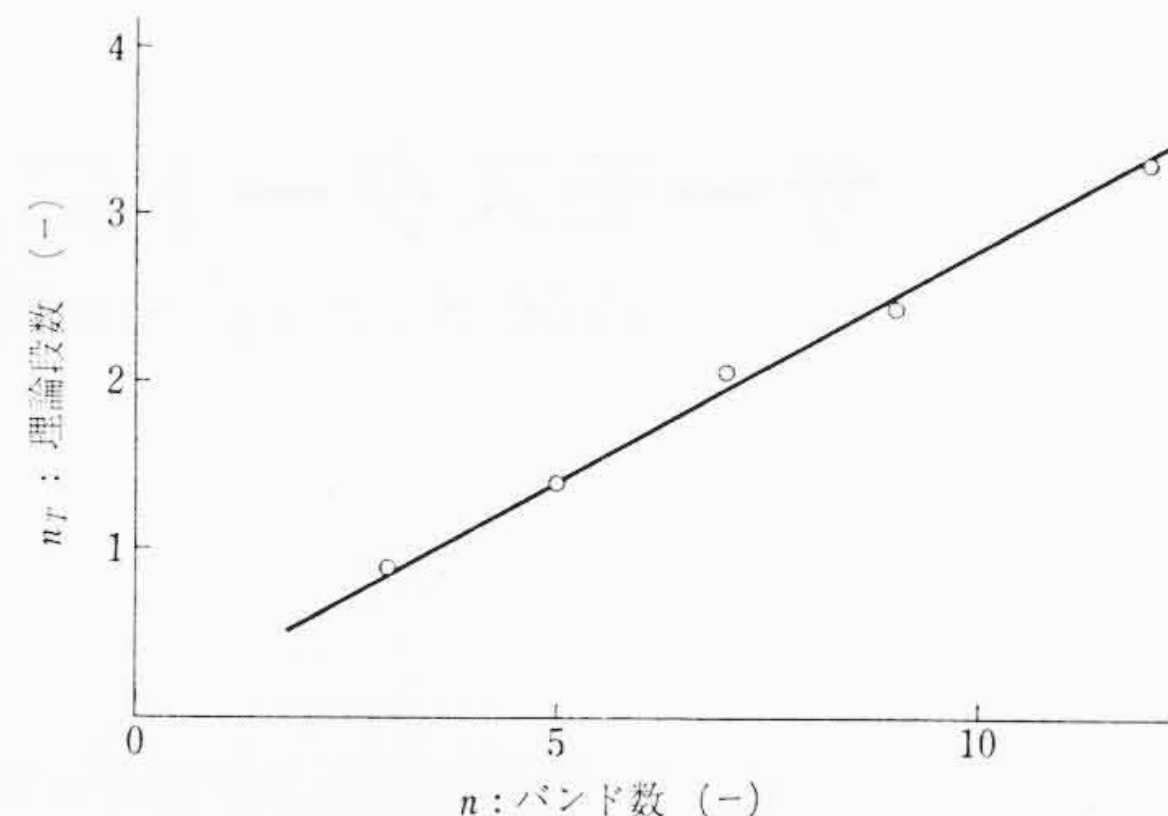


図 13 バンド数と理論段数の関係

で最大となり、 B が大きくなると n_T は小、すなわち重液が分散するほうが n_T は小であることがわかる。この結果は Barson 氏ら⁽¹⁾の結果と一致している。ロータ回転数 n_r と理論段数との関係を示したのが図 12 である。図 12 より n_r が大となると n_T が大となる。このことは遠心抽出機の特長で、回転数が大になるほど重・軽液の間の相対速度が大となり、分散—連続相間の乱れが大となるためと思われる。

図 13 はロータ内の重液の入口位置を固定し、軽液入口位置を変えることにより、重・軽液が接触する回数を変えた実験、すなわちバンド間隔を一定にして、有効バンド数を変えた実験である。その結果、バンド数に対し n_T はほぼ比例して増大する。バンド数を増すことはロータ内で分散、合一の回数を増大させることになり、理論段数が増すことは当然の結果である。またこのことは抽出効率のスケールアップの重要な要素であり、径の大きな遠心抽出機はバンド数が増大し、理論段数は増大することになる。

5. 応用プロセス

5.1 スラリーの混入したプロセス

一般に処理液中にスラリーが混入している場合、スラリーがロータバンドや壁に押しつけられて流れにくくなるため処理がむずかしくなるので、操作上注意すべきことは固体粒子と液体の比重差に応じてロータスピードを低くしたり、液通過孔をできるだけ大きくすることなどである。スラリーが液中に存在している遠心抽出機の適用可能なプロセスには次のようなものがある。

- (1) 抗生物質の抽出
- (2) 大豆油の脱ゴム、カ性ソーダおよび水洗浄
- (3) ある種の希金属の抽出
- (4) 油溶性硫酸塩の除去
- (5) 潤滑油の酸処理
- (6) 砂糖キビワックスの脱樹脂
- (7) モノマー、ポリマー分離
- (8) 磷酸塩(アンチノック剤)精製
- (9) ナイロン中間体精製
- (10) せっけんの水洗および仕上げ

5.2 エマルジョン化しやすい液処理

エマルジョンになりやすい液—液を処理する場合、一般の抽出機においては表面活性剤を入れているが、日立遠心抽出機においては、カラムの穴を大きくしたり、回転を低くすることにより、ほとんど表面活性剤を入れないで抽出を行なうことができる。エマルジョンを起こすプロセスの例として次のようなものがある。

- (1) 抗生物質の抽出
- (2) フェノールによる潤滑油抽出
- (3) 油溶性硫酸塩の除法
- (4) 植物油の連続精製
- (5) 希金属の抽出
- (6) せっけんの水洗および仕上げ

5.3 高粘度液の処理

タービンポンプで送れる程度のものは処理可能で、大豆油の脱ガムプロセスでは最高 50,000 cp までの処理実績を持っている。一般に高粘度になると、混合しにくくなるので、液通過孔を小さくして接触効果を上げることも考慮している。

6. 結 言

以上のように、遠心力を利用した比較的新しい形の抽出機である日立遠心抽出機について紹介した。また構造、用途について述べた。本機の大きな特長の一つは 2 液を向流接触させる所のロータを高速で回転させる構造であるため、従来の抽出機に比較して分離能力が大であり、このことから(1)処理量が大でホールディングタイムが短い。(2)エマルジョンを起こしやすい系でも使用可能であるなどである。

日立遠心抽出機の性能を実験機を用いて求めた結果によれば抽出性能はほかの抽出機に比較して小形の割に大であることおよび操作範囲は簡単な式でほぼ推算できることを示した。

参 考 文 献

- (1) N. Barson et al: C.E.P. 49, No. 5, 243 (1953)
- (2) F.M. Jacobsen et al: A.I.ch. E. J. 2, No. 3, 283 (1956)
- (3) D.B. Todd: C. E. P. 62, No. 8, 119 (1960)
- (4) 橋本等: ⑤ 研報第 1402 号 (1968)