

## 多段流動層による連続吸着

福田 義民・河添 邦太郎・趙 容達

**緒言** 多段流動層による連続吸着とは流動層（固体粒子が上向きの流体によって浮遊し流動状態にある）を多段にして固体吸着剤と流体とを向流に流し、連続的に流体中のある成分を吸着分離する操作である。その場合の所要段数や物質移動係数に関する解析的関係を示すとともに、2段ないし4段の活性炭の流動層を使用してヨード—沃化カリ溶液からヨードを連続的に吸着した結果について述べる。

**単一流動層における物質移動**  $c_i$  [g/cc] なる濃度の流体が下から流動層に入り、吸着剤を流動せしめながら被吸着質の一部を吸着され、 $c_0$  [g/cc] なる濃度で出て行くとする。流体の流量を  $Q$  [cc/sec] とすれば、単位時間に流動層で吸着される被吸着質の量は  $Q(c_i - c_0)$  に等しく、またこの吸着量は物質移動の速度を考えると次のようになる。

$$Q(c_i - c_0) = KaV(\Delta c)_m \quad (1)$$

ここに  $K$  は物質移動の総括係数 [cm/sec]、 $V$  は流動層の体積 [cc]、 $a$  は流動層の単位体積中の固体吸着剤の表面積 [cm<sup>2</sup>/cc]、 $(\Delta c)_m$  は流動層における流体固体間の総括濃度差（流体の濃度とその点の吸着剤の吸着量に平衡な濃度との差）の平均値である。

流動層においては吸着剤は十分混合し合うので吸着量は層内一様と見做され、したがって吸着量に平衡な濃度  $c^*$  [g/cc] も層内すべて同一の値を持つ。また流体の方の back mixing は起らぬと考えられるから、 $(\Delta c)_m$  として流動層の入口と出口における総括濃度差  $(c_i - c^*)$  と  $(c_0 - c^*)$  との対数平均をとって良い。すなわち

$$(\Delta c)_m = (c_i - c_0) / \ln \frac{c_i - c^*}{c_0 - c^*} \quad (2)$$

流動層の層高を  $H$  [cm] 断面積を  $A$  [cm<sup>2</sup>] とすると (1), (2) から

$$\ln \frac{c_i - c^*}{c_0 - c^*} = \frac{KaH}{Q/A} \quad (3)$$

$c^*$  の値はその時間の吸着量  $q$  [g/g] が判れば等温線によって得られるから、 $c_i$ ,  $c_0$  の測定値より  $K$  の値を計算することができる。

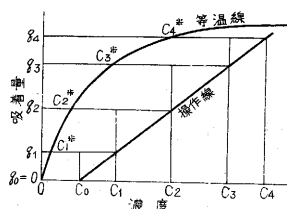
**多段流動層における連続吸着** 連続向流的に多段流動層で吸着操作を行う場合、吸着剤の供給量を  $Q_s$  [g/sec] 上から数えて  $n$  番目の第  $n$  段の流動層に入る流体の濃度を  $c_n$  [g/cc]、第  $n$  段から over flow する吸着剤の吸着量を  $q_n$  [g/g] で表わすと（第1図参照）定常状態では、第  $n$  段より上の部分全体の物質収支から

$$q_n - q_0 = (Q/Q_s)(c_n - c_0) \quad (4)$$

この関係は流体の供給される最下段にも適用される。

$$q_i - q_0 = (Q/Q_s)(c_i - c_0) \quad (5)$$

したがって  $c_n$  と  $q_n$  の関係——操作線——は  $(c_0$ ,



第2図

$q_0$  点と  $(c_i, q_i)$  点を結ぶ直線で表わされ、その勾配は液・固供給比  $Q/Q_s$  である。第2図は第1図の如き4段、 $q_0 = 0$  の場合の操作線、濃度、吸着量等の関係を示す。

一方 (3) を第  $n$  段に应用すると

$$\ln \frac{c_n - c_n^*}{c_{n-1} - c_n^*} = \frac{KaH}{Q/A} \quad (6)$$

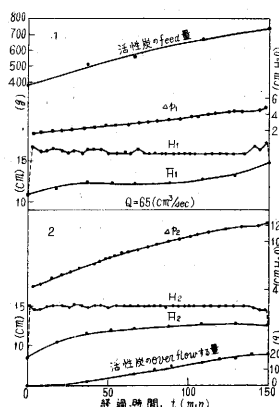
$c_n^*$  は第  $n$  段における  $c^*$  を表わし層内一様であり、 $c_n$  が与えられると第2図の如く求められるから、 $c_n$  と  $c_{n-1}$  とを測定すれば  $K$  の数値を計算できる。

また  $K$  の値は流体の流速、吸着剤の粒径その他のいろいろの因子によって影響されるが、これらが予め実験的に求められておれば、(6) と第2図の如き作図によって段数計算や容量計算を行うことができる。

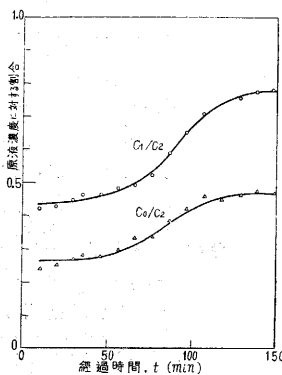
**実験装置** 装置の概略は第1図の如くで、吸着剤は12~20 mesh の顆粒活性炭を、溶液はヨードの  $KI$  溶液の  $N/100$  を使用した。活性炭は上部 feeder より第1段に入り、以下順次ある時間滞留しては下の段に over flow する。溶液は左上の over flow tank を経て最下段に入り各段を上昇して塔頂から排出される。流動層の下部は目皿板でこれに活性炭の over flow pipe を固定し、流動層の周壁は内径 80mm のガラス円筒にして流動状態を観察し得るようにした。活性炭の feeder と over flow pipe の下部には solenoid valve をとりつけ、電流を断続的に流して開閉し流出量を調節した。

## 研 究 速 報

各段に未吸着の活性炭を入れて原液を通した場合、定常状態に達するまでの流動層の層高  $H$ 、静止層高  $\bar{H}$ 、圧力降下  $\Delta p$  等の変化や活性炭の給排出の状態は第3図の如くで濃度変化は第4図のようである。 $\bar{H}$  は流体の送入を短時間中断して静止の層高を測定したもので段上の活性炭滞留量

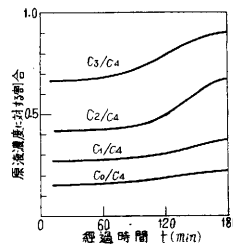


第 3 図



第 4 図

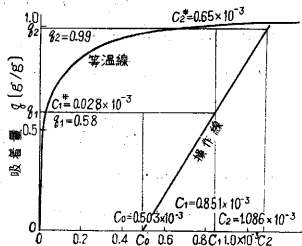
に比例する。その増加は吸着によって活性炭の比重が増すため、同じ理由から  $\Delta p$  も上



第 5 図

昇する。また4段の場合の濃度変化を第5図に示した。

段数が2段の場合第3、4図の如き過渡状態の後定常状態に達するが、定常における各段の液濃度と液・固供給比から操作線を描き、吸着量  $q_1$ ,  $q_2$ 、平衡濃度  $c_1^*$ ,  $c_2^*$  を graphical に求めると第6図のようになる。これらの数値から(6)式によって各段の  $K$  の数値を求めた。



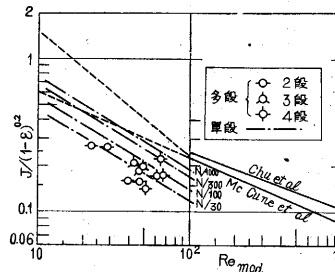
第 6 図

**K の検討** 被吸着質が吸着される過程において粒外の流体境膜における拡散と粒内拡散の二つの段階を経るから、以上の如くして得た  $K$  の値はこの両段階の抵抗を含む。まず流体境膜拡散の方であるが、Gamson<sup>1)</sup>の相関関係を使って McCune 等<sup>2)</sup> および Chu 等<sup>3)</sup> の data (いずれも流動粒子が球) を第7図に示した。

$$J = \frac{k}{Q/A} \left( \frac{\mu}{\rho D} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad Re_{mod} = \frac{6(Q/A)\rho}{\mu}$$

$\varepsilon$  は空間率,  $k$  は物質移動の流体境膜係数,  $D$  は拡散係数,  $\mu$  と  $\rho$  はそれぞれ流体の粘性係数と密度である。

次に粒内拡散の抵抗の方は簡単でないが、もしこれが境膜抵抗に対して無視できて境膜拡散が支配的な場合には総括係数  $K$  が境膜係数  $k$  に等しくなる。



第 7 図

それ故、得られた  $K$  を用いて  $J = (K/Q/A)(\mu/\rho D)^{\frac{2}{3}}$  の値を計算し、第7図にとって  $K$  を  $k$  と比較して見る。結果は相当下廻るがこれは粒内抵抗ばかりでなく、粒子が破砕物であることも原因している。

この関係を明らかにするため、同一破砕活性炭を使用して1段の流動層で測定した結果<sup>4)</sup>を引用してみよう。同図に---で描いた平行な4本の直線がそれである。その  $N/1000$  の場合は、粒子が球でないから形状係数で補正し、その値として0.85~0.90位をとれば Chu や McCune の data と一致してくる。この形状係数は妥当なものであるから、溶液濃度が小の場合は粒内拡散は関係せず、 $K$  が小さいのは形状によると見做して良いであろう。また図から、原液濃度が大きになると粒内抵抗が加わりさらに  $K$  の値が小さくなることが知れる。

多段流動層の data は大体良いが、1段流動層の同一濃度 ( $N/100$ ) の場合に比し1割前後小さい。一つの原因は overflow pipe の存在であって、この周りに液が集るのが活性炭の運動から観察される。もう一つは活性炭が吸着が進むに従い相当比重を増すので、流動層内で complete mixing が行われず吸着量の多いものは下に、少ないものは上に集る傾向があるためである。流動層内の活性炭の吸着量を各部分について測った結果上下で30%程度の差違が認められた。一段流動層のは吸着量が少ない初期の data であって complete mixing にあったと考えられる。活性炭を流動層の底から抜けばこの効果は逆に現われて  $K$  が2割位は増加すると思われる。

**結語** 以上段数計算や容量計算のための関係と総括係数の測定値について述べた。この結果から、使用した多段流動層装置が大体良好であること、ただし吸着剤の排出は流動層の底から行う方が良いことが結論される。

(1956. 5. 22)

## 文 献

- (1) Gamson; Chem. Eng. Progress, **47**, 19 (1951)
- (2) McCune & Wilhelm; I.E.C., **41**, 1135 (1949)
- (3) Chu, Kalil & Wetteroth; Chem. Eng. Progress, **49**, 141 (1953)
- (4) 未発表