

# イオン交換における総括物質移動係数について

Mass Transfer Coefficients in Ion Exchange.

山 本 寛・丸 山 隆・有 吉 繁 樹

## 1 ま え が き

イオン交換装置を設計するにはイオン交換体の指定、作業条件の決定、イオン交換平衡値、および交換速度に関する数値が必要である。従来交換平衡に関する研究論文は極めて多いが、速度に関するものは比較的少なく、とくに設計に役立つ数値は、はなはだ少ない。

イオン交換速度の律速因子には a) 境膜における物質移動, b) 粒内の物質移動, c) イオン交換反応速度の三つがあるが、稀薄溶液でのイオン交換では多くの場合イオン交換速度は飽和度の低い範囲では主として境膜におけるイオンの拡散速度によって決定され、飽和度が大きくなるに従って粒内拡散速度が支配するようになってゆくことが知られている。

しかし工学的な設計計算には物質移動係数ができるだけ簡単な式で示されていることが望ましく、一つの方法として全イオン交換過程の平均をとった総括物質移動係数を用いることも便利である。

この報告は総括物質移動係数と作業条件のうち、液流速との関係を一つの系について行なったものである。

## 2 実 験

1価-2価交換の1例として H<sup>+</sup>-Ca<sup>++</sup> 交換について行なった。

イオン交換樹脂 Amberlite IR-120

供給液 CaCl<sub>2</sub> 水溶液、濃度 50, 100, 200, 300, 500 ppm (CaCO<sub>3</sub> 換算) 空塔液流速 6.5~30 cm/min

再生剤 10% HCl 水溶液、再生レベル 1.24/l-樹脂

Ca の分析 E.D.T.A. 滴定法

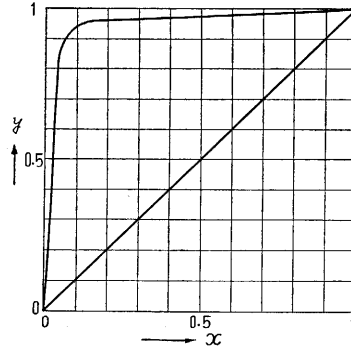
実験は常温で行ない、平衡測定は攪拌法により、また漏出測定はガラス製カラムを用いた。

## 3 結 果

(1) 平衡関係 質量作用の定律が適用できれば平衡関係は

$$y(1-y)^2 = (K'q_0/C_0) \cdot x(1-x)^2 \quad (1)$$

で表わされる。(2)の実験条件では K', q<sub>0</sub> の変化は小さいから平衡曲線の彎曲に影響する因子は C<sub>0</sub> だけである。しかし実際には C<sub>0</sub> も極めて小さいので、各全イオン濃



第 1 図

度について測定した曲線はほとんど一致し、第 1 図の曲線が得られた。

## (2) 総括物質移動係数

### 1) 総括物質移動係数の算出

x-y 平衡曲線

が十分に凸型の場合には樹脂層中に定形の濃度分布を有する交換帯が形成され、一定速度で層内を進行することはよく知られている。

この場合の交換帯層高は漏出点を定めれば次式で与えられる。

$$H = \frac{V}{KaS} \int_{x_{e1}}^{x_{e2}} \frac{dx}{x-x^*} \quad (2)$$

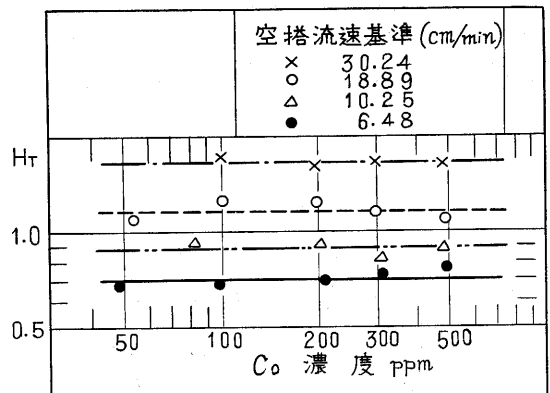
定積分の項は N<sub>T</sub> に相当し、平衡曲線と、作業条件から定まる操作線から直ちに計算できる。積分外の項は H<sub>T</sub> に相当し、総括容量係数 Ka は H を測定することによって求めることができる。

### 2) 結果の表わし方

次元解析によれば液膜基準の総括 H.T.U. は次式で表わされる。

$$1/H_T a = \text{const} (R_e)^m (S_c)^n \quad (3)$$

1) に述べたように K は飽和度によって変化する値であるが、工学的な目的には、全領域の平均値をとった H<sub>T</sub>



第 2 図

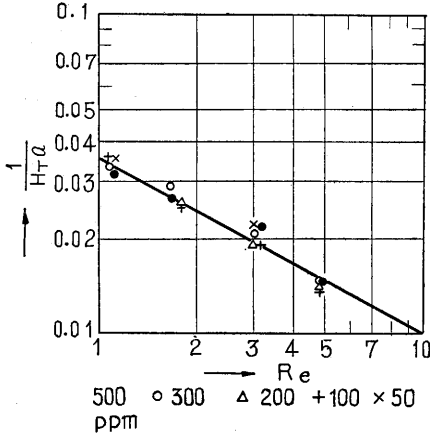
を使用した方が便利である。

3) 実験結果

a) 供給液濃度の  $H_T$  に及ぼす影響 第2図に示すごとく  $H_T$  は流速が一定ならば  $C_0$  に無関係に一定である。

b)  $H_T$  に及ぼす ( $Re$ ) の影響  $H_T$  は (3) 式のように、( $Re$ ) と ( $S_c$ ) の函数と考えられるが、この実験では  $Ca^{++}$  の水溶液だけを扱ったので ( $S_c$ ) の影響は判らない。

$H_T$  に対する ( $Re$ ) の影響は第3図に図示した。測定値はほぼ直線上にのり、図から実験式を求めると



第3図

$$\frac{1}{H_T a} = 0.036 (Re)^{-0.55} \quad (4)$$

が得られる。

前記のように上式には ( $S_c$ ) の影響が考慮されていないが(常数項の中に含まれる)、イオン交換操作の大部分は稀薄水溶液に対して行なわれるので  $S_c$  の影響はそれほど重要とは思われない。したがって (4) 式は  $D_f$  が大体同程度の2価イオンについても1価-2価交換の  $H_T$  を求める一つの目安として役立つものである。

c) 表面積  $a$  の測定 一定容積の膨潤イオン交換樹脂を篩分けして粒度分布を測定し、各粒は球とみなして、単位充填層当りの表面積  $a$  を算出した。測定結果を次表に示す。

充填層 1cc 当りの表面積 $a$			
篩目 (メッシュ)	平均径* (cm)	粒数†	表面積 ( $cm^2$ )
~16	0.110	59.8	2.25
16~20	0.092°	380.8	10.1
20~24	0.077°	422.6	7.9°
24~30	0.065°	565.5	7.5°
30~40	0.050°	1598.5	12.8°
40~50	0.035°	262.1	1.0°
50~	0.027°	150.6	3.5°
計			42.1

備考 \* 両篩目の平均値

† 1cc 当りに換算した数値

測定結果によれば膨潤H型 Amberlite IR-120 の  $a$  は  $42.1 cm^2$  である。

4 使用記号

- $a$ : 充填層単位容積当りの表面積 [ $cm^2/cm^3$ ]
- $C$ : 液濃度 [ppm]
- $C_0$ : 層入口における液濃度(供給液) [“]
- $C^*$ : 交換量  $q$  に対応する平衡液濃度 [“]
- $C_{e1}$ : 漏出点濃度 [“]
- $C_{e2}$ :  $C_0 - C_{e1}$  [“]
- $d_p$ : イオン交換樹脂の有効径 [cm]
- $D_f$ : 液膜の  $Ca^{++}$  の分子拡散係数 [ $cm^2/sec$ ]
- $H$ : 交換帯層高 [cm]
- $H_T$ : 液膜基準の総括  $H.T.U. = V/Ka \cdot S$  [cm]
- $Ka$ : 総括容量係数 [ $sec^{-1}$ ]
- $K'$ :  $K(\gamma C_{a-R})^2 / (\gamma_{H-R})$  [—]
- $K$ : 平衡恒数 [—]
- $m$ : 実験から定まる定数 [—]
- $n$ : “ [—]
- $N_T$ : 移動単位数 =  $\int_{x_{e1}}^{x_{e2}} \frac{dx}{x-x^*}$  [—]
- $q$ : イオン交換量 [ $mg/cm^3$ ]
- $q_0$ :  $C_0$  と平衡交換量 [“]
- $(Re)$ : レーノルズ数  $d_p \rho u / \mu$  [—]
- $S$ : 層の断面積 [ $cm^2$ ]
- $(S_c)$ : シュミット数  $\mu / \rho D_f$  [—]
- $u$ : 空塔液線流速 [ $cm/sec$ ]
- $V$ : 液流速 [ $cm^3/sec$ ]
- $x$ :  $C/C_0$  [—]
- $y$ :  $q/q_0$  [—]
- $\gamma$ : 活量係数 [—]
- $\rho$ : 密度 [ $g/cm^3$ ]
- $\mu$ : 粘度 (センチポイズ) [ $g/cm \cdot sec \times \frac{1}{100}$ ]

\* \* \* \*