

最近の吸着装置

河添 邦太朗

固体吸着剤を使用してガスあるいは液を処理し、微量成分を除去する場合は、化学工業のみでなく、諸工業において見受けられるようになった。また環境衛生の面からも吸着剤の使用がふえてきている。その場合現在使われている装置について概説した。

1. 緒言

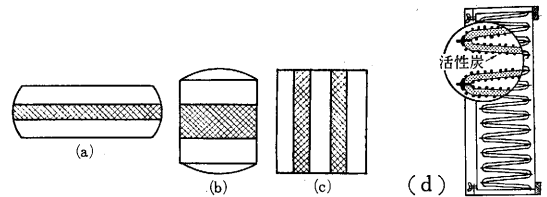
活性炭、活性アルミナ、シリカゲル、モレキュラーシープ等の固体吸着剤によりガスあるいは液を処理し微量成分の除去を行なう操作が、化学工業のみならず公害防止その他環境衛生の面から最近急速に各方面で行なわれるようになってきた。従来、化学工業においては各種の溶剤の回収、ガスの脱湿、炭化水素分離等に、食品工業においては糖液その他の脱色精製等にこのような吸着除去が使われてきたが、最近では用廃水処理、空気浄化等への利用が活発である。利用の現況を第1表に示した。

以下、固体吸着剤でガスあるいは溶液を処理する場合の装置につき、吸着剤の状態から分類して概説する。

2. 固定層装置

(1) 気体の吸着

吸着剤を容器内に充填して使用する方法が広く用いられている。充填の型式を第1図に示した。吸着剤は被吸着成分の濃度に応じて飽和値が存在するから、通常は再生してくり返し使用する。その際は、第1図(a), (b), (c)のように水平円筒容器あるいは堅型の塔に吸着剤を層高30cm~2mくらい充填したものを2個ないし数個1セットとし、切替弁により2塔1セットの場合であると一つの塔を吸着に使用し、その間ほかの塔の再生を行なう。(a)はおもに溶剤回収に用いられる、(b)は最も一般的で、これに加熱再生用にフィンチューブを入れたも



第1図 固定層吸着における充填方式

のあるいはコイルを入れたものもある。(c)は環状に吸着剤を充填したもので、気体の乾燥、溶剤回収等に用いられている。第2図はその1例で2塔吸着、1塔再生の3塔1セットとなっている。

空気浄化のように、ごく微量の不純物の除去のため長期間の使用に耐える場合には、層を薄くして透過断面積を大きくとる。第1図(d)はこのような活性炭フィルターを示す。

第1図(a), (b), (c)のような吸着塔を数個並べて弁切換えで使用するかわりに、一つの装置の中で吸着剤層を幾室かに分けてそれを順次使うものもみられる。

第3図(a)は横型のドラムに吸着剤を充填し、このドラムを回転し、上部で吸着、最下部で水蒸気脱着を行なう溶剤回収装置である。(b)は堅型の吸着剤層を扇形に区切り、この小室への配管を切り換えて吸着、脱着をくり返すもの¹⁾で、国内でも用いられている。

これらはいずれも水蒸気脱着のみで、水蒸気を追い出

第1表 吸着の応用例

業種あるいは施設	使用目的	吸着剤	
(化学工業関係)	合繊化繊工業 プラスチック ゴム フィルム	溶剤回収 (アセトン, ベンゼン, CS ₂ , エーテル, エタノール等の回収)	活性炭
	石油化学工業および石油工業	炭化水素分離, オレフィン (ガスおよび液) の水分除去 石油製品, LPG 等の脱硫, 精製	活性炭, シリカゲル, モレキュラーシープ, 活性アルミナ, モレキュラーシープ, 活性炭, 白土, モレキュラーシープ
	食品工業	蔗糖, 調味料, 酒類等の脱色, 精製	活性炭
	医薬品工業	抗菌性物質, ビタミン等の精製	活性炭
(各種工業)	塗装	溶剤回収 (アルコール類, ベンジン等)	活性炭
	印刷工業	" (ベンゼン, トルエン等)	"
	浄水場 工場排水処理	有機物, 不純物の除去 有機物, 有害物質の除去	"
	自動制御	制御用空気の脱湿	シリカゲル, アルミナ, モレキュラーシープ
電子工業その他	ふんい気ガスの脱湿, 精製	シリカゲル, アルミナ, モレキュラーシープおよび活性炭	
美術館, 博物館	空気浄化	活性炭	

す乾燥工程がはぶかれている。したがって、水蒸気の影響が少ない選択的吸着が行なわれる炭化水素の吸着に適している。

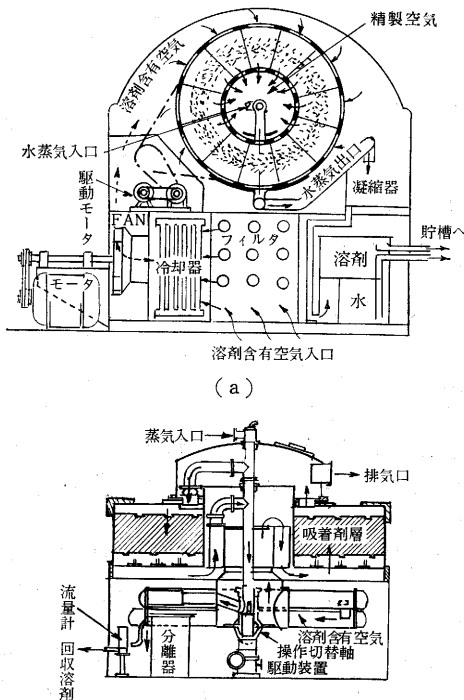
再生方式……気体の吸着を行なう場合は、吸着剤から被吸着成分を追い出し（回収も行なわれる）吸着能力を回復せしめ再使用することが多いが、この再生の方式の選定

かんは吸着法の経済性を左右する重要なポイントであるといっても過言ではない。また、再生方式によって吸着装置の形式あるいは、吸着操作の時間設定が決まってくる。

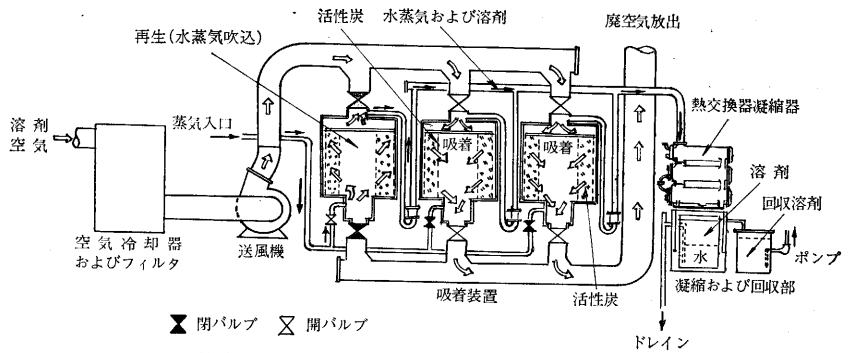
再生方式としては

1) 加熱再生 (thermal swing) ……吸着剤の温度を上げて再生を行なうもので空気乾燥、天然ガソリン回収等でとられているが、通常は加熱ガスを通して再生する。

2) 減圧再生 (pressure swing) ……加圧状態で吸着を行ない、つぎに常圧ないし減圧にして吸着成分を追い出す。この方式の特徴は短時間で再生が可能である。モレキュラーシーブを用いて石油留分から n-パラフィンの分離を行なう Iso Siv プロセス²⁾はこの例である。



(b)
第 3 図



第 2 図 円筒状吸着剤層を用いた溶剤回収装置

3) purge gas stripping ……吸着力のほとんどないガスを流して再生を行なうもので、空気の乾燥における熱風再生の空気はパージガスとしても働いている。

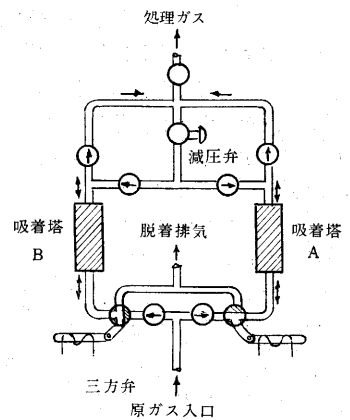
4) 置換再生 (displacement) ……吸着されるガスによって置換し再生するもので、溶剤回収における水蒸気脱着の水蒸気は、熱源と同時に置換の役割を果たしている。また炭化水素混合液の吸着分離において置換法がとられている。アロソープ法、Molex 法などはその例である。

サイクル時間

再生方式によって吸着・再生のサイクルの時間が異なってくる。

最近の傾向として短サイクル化が計られている。これは装置が小型化でき、吸着剤の充填量も少なく済み経済的となるからで、このための再生方式がいろいろ考案されているが、今後もこの方向に装置の進歩がみられよう。

短時間サイクルの例を第 4 図に示した。計装用空気の乾燥に用いられ数 kg/cm² の加圧空気を A 塔で吸着し、えられた乾燥空気の一部を減圧弁を通して B 塔に回し、吸着された水分を追い出す。吸着熱で吸着剤層の温度が高くなっている



第 4 図

にはその熱量が利用される。三方弁の切換えで A, B 交互に吸着、再生を行なうが、サイクル時間は数分という短いものである。吸着と再生の圧力が異なるので、このような方法が可能なので、吸着剤としてはシリカゲル等の脱湿剤が使われる。その他活性炭による天然ガソリンの回収においても再生温度を上げて短サイクル化がは

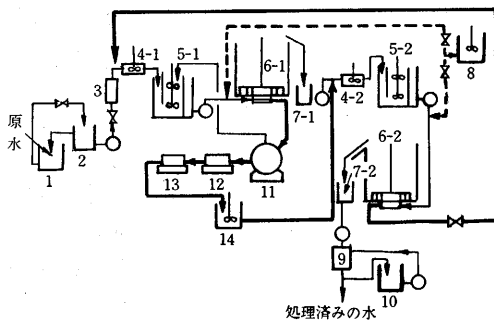
かられている。

(2) 液の吸着

粒子内での拡散抵抗が、ガスの場合に比して大きいので、必要な充填層高が大となる。たとえばガスの場合 0.5~1.5 m, 空気浄化の場合数 cm に対して液では最低 1 m, 通常数 m あるいは 10 m 以上を要す。空間速度 (SV) でいえばガスで 1000~10000 (hr⁻¹) に対して液では 0.1~0.3 (hr⁻¹), 大きいものでも 2~5 である。

吸着剤粒径が小さくなれば SV が大きくとれ、必要層高が小さくなるので、今後粒径の小さいものを使用する方向に進むのではあるまいか。

層高が長くなるので装置としては、一般に第 1 図 (b) のような堅型が多く用いられる。糖液の脱色精製, 水中の有機物除去, 各種溶剤の脱水, オレフィンの脱水等の例がみられるが, 特殊な例として水に溶けた溶剤 (酢酸エチル) の回収も行なわれている。吸着剤の再生は水分除去の場合は熱風, 有機物除去の場合は焼成による。



第 5 図 粉末活性炭の再生を含む水処理

3. 粉末連続方式

食品工業や用排水処理等で粉末活性炭を用いて液の脱色, 脱臭, 精製等が行なわれているが活性炭の使い捨てが多い。水の中の有機物除去において粉末活性炭を再生して再使用する方式を第 5 図に示した³⁾。これは攪拌槽で吸着剤と液を接触させることは変わりがないが, 次に凝集剤を添加し凝集沈殿によって沈降槽で分離する点に特徴を有している。再生は 400°C で行ない, 再生の損失は 5% 以下であるという。粒状炭の固定層方式を使用する場合に比し, 粉末炭の連続方式であると吸着剤のホールドアップが少なく済み, 設備費も少ない等の利点があり, たとえば数万 t/day といった大量処理の場合考慮されてよい方法である。欠点としては取扱いに問題があるほか, 精製の純度が固定層に比して一般に低いことで高度の精製を行なうには数段の処理を行なう必要があり固定層の方がすぐれている。

4. 移動層装置

固定層の場合は何塔かを 1 セットとして弁切換えによりガスまたは液を処理するが, これに対し, 粒子を反対方向に動かして連続的な処理を行なう装置が, 大容量の

場合にとられている。このような粒子を充填状態で移動させ, 向流に流体を通すのが移動層装置で, 固定層に対して移動層の特徴は理論的には, 層高が固定層における吸着帯 (吸着が行なわれる部分) の長さでよいことである。したがって, 吸着帯が長くなり固定層では不利な場合にとくに適しており, 液の吸着であるとか, ガスの場合も吸着量が少ない成分の分離に使われる。

(1) ガス吸着

第 6 図はガス吸着における移動層の例として有名なハイパーソーバー⁴⁾を示したものである。

原料ガスが塔に入ると, 下降する吸着剤 (活性炭) により選択的に吸着される成分は吸着されて下降し, ストリッパーで加熱され, さらに水蒸気により脱着され塔底ガスとして分けられる。一方吸着されない成分は塔を上昇して塔頂ガスとしてとり出される。水蒸気脱着された活性炭はガスで塔頂に送られる。

この方式は CH₄, H₂, C₂H₄, C₂H₂ 等の分離, あるいはアンモニア合成における H₂ 中の CO, CO₂ 等の除去等に用いられている。

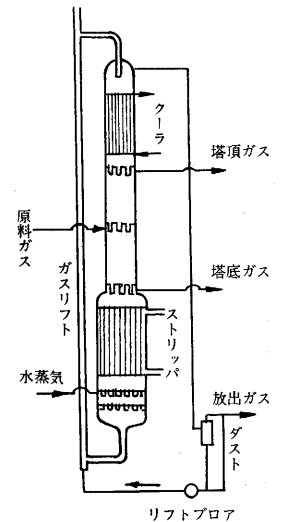
ガスと吸着剤の接

触方式が向流的でなく十字流となる例として第 7 図のクロスソーバーが, 挙げられる。これは 2 枚の金網の間で吸着剤層を downward に移動させこれと直角にガスを通す方式で, 連続化が主目的のものであるが, ガスの透過断面積を大きくとれることも大きな利点である。

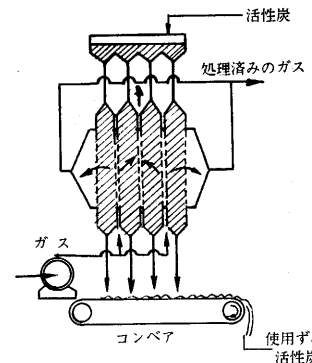
(2) 溶液吸着

現在移動層による連続化は各方面で注目されており, 糖液の脱色糖製においては盛んに使用されるようになった。

第 8 図は糖液の脱色方式 (CAP プロセス)⁵⁾の例で, 吸着塔を液が上向きに流れ, それにより吸着剤層は幾分膨張した状態にある。塔上部から供給された吸着剤は下降し塔下部の円錐部からスラリー状で連続的に排出され

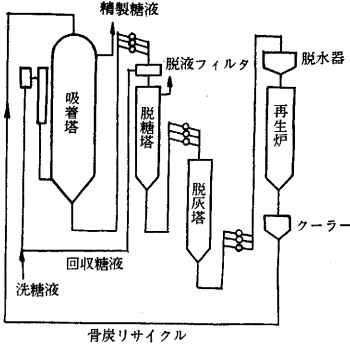


第 6 図 ハイパーソーバー



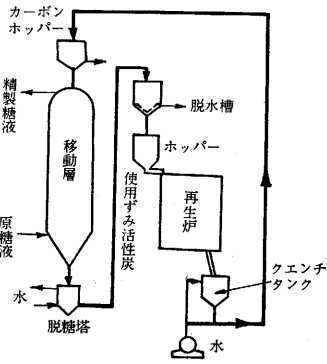
第 7 図 クロスソーバー

る。吸着剤はその後同様な方式の塔で脱糖，脱灰され，再生に回される。これらはすべて連続的に，行なわれる。



第 8 図 CAP 方式 (骨炭使用の例)

第 9 図のパルスベッド方式⁶⁾は吸着剤層の移動を間歇的に (たとえば 1 日 1 回) 行なうもので，液と固体粒子の動く方向は CAP 方式と変わらない。吸着剤層が固定層と同様な充填状態にある点も CAP 方式と異なる。



第 9 図 パルスベッド方式

なお，吸着剤層を上方に，液を下向きに動かす方式もある。

骨炭，活性炭の再生には最近ヘレシヨフ炉が用いられることが多い。

5. 流動層装置

ガスまたは液の上昇流により粒子層を流動化させ，かつガスや液中の特定成分の吸着を行なう装置で，通常は幾段かの流動層を重ねて用いる。その際粒子は上段に供給され，各段を経て最下段から排出される。移動層装置と同じく連続向流の装置である。

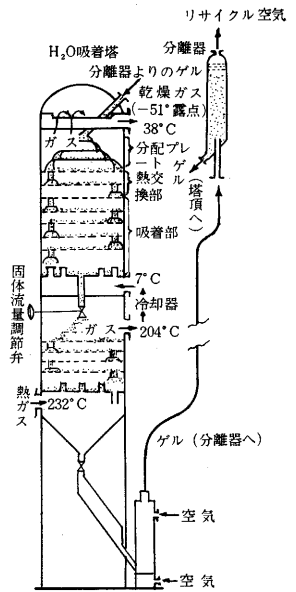
流動層では，流体の流速が大きいので塔径が小さくでき，また特にガスの場合固定層に比して物質移動係数が大きいので，接触層高を浅くして圧損失を小さくできる利点もある。

一方粒子の流動による摩耗の問題があるが，ガス吸着ではだいたい吸着剤の 1 サイクル当たり 0.01~0.03% といった程度で，したがって平均的には 3000 サイクル以上使用でき，この問題も大きな障害ではない。今後大量処理の場合に對し応用の可能性は大きいと思われる。

しかし，液処理の場合は前述のように粒内抵抗が大で物質移動係数が小さいため，流動層を用いることはあまり得策ではない。ただ，粒子が重くなって比重による分離が起こる場合とか，処理液が固形物を含む場合等には用いられよう。ここではガスの例について述べる。

第 10 図にシリカゲルによる空気の脱湿 (乾燥) に用いられている例⁷⁾を示した。これはもともと硝酸製造の

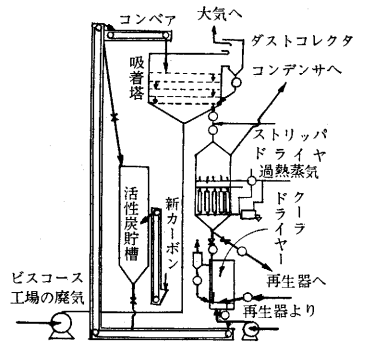
Wisconsin プロセスの一部として発展した塔径 3 m，塔高 21 m という大型のもので，分配プレート，吸着部 (6 段) をへて再生部に入り加熱ガスで再生されたシリカゲルはエアリフトで分離器に入り，塔頂へ供給される。各段のシリカゲル流動層の層高は静止状態で 5 cm で，また空気の流速は 1.4 m/sec，入口露点 7°C が出口で -50°C となる。シリカゲル循環量 2.2 t/hr，プレートの形式は多孔板で開孔比 13%，孔径は約 5 mmφ で，一方吸着剤は 6~12 メッシュである。



第 10 図 連続流動層脱湿装置

段効率 は 80~90%，同じ型式の塔で NO₂ の濃縮を行なう場合は 20~30% となっている。

溶剤回収においても大型の流動層が，用いられている⁸⁾。これは第 11 図のように活性炭



第 11 図 二硫化炭素回収用流動層吸着装置

(椰子殻炭 6~14 メッシュ) を用いた 5 段の塔で，塔径 11.3 m，高さ 13.5 m である。活性炭の流動層高 5~7.5 cm，ガス流速 11.3 m/sec，活性炭の循環量 23 t/hr，ガスの処理量 425,000 Nm³/hr，原ガス中の CS₂ 濃度約 3 g/m³ (ほかに H₂S 30 ppm) で回収率約 90% と報告されている。大型の処理装置を用いて従来捨てていた溶剤濃度の低い廃空気まで処理して回収量の増加を計ったもので，流動層の長所を利用した方法として注目される。

6. クロマトグラフィーその他

クロマトグラフィーによる溶液中の成分の分離は医薬品，抗生物質，核酸物質等の分野で工業的に行なわれているが，その連続化も今後の発展が期待される。連続クロマトグラフィーによるガスの成分分離の例を第 12 図に示した⁹⁾。(a) のように A, B 2 成分の混合ガスとキャリアガス (N₂, CO₂, H₂ 等) を wave generator により混合して吸着剤 (ここではシリカゲル 200~230 メッシュ)

の充填層に通じる。混合ガスの濃度を正弦波状に変化させると、吸着力の差により各成分の出口の濃度波形がずれる。これを図(b)に示した。したがって出口の切換弁によりA, Bそれぞれに富むガスを取り出すことができる。

このほか第7図のようなクロスフロー方式でも成分の分離が可能である。

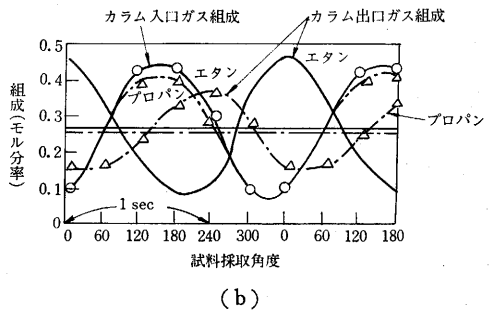
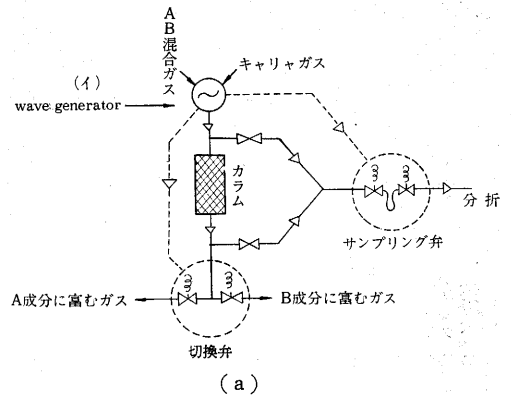
7. むすび

以上吸着装置について現状を述べたが、かたがた吸着装置の型式選定の一助ともなれば幸いである。また使用目的に応じて適切な装置を選ぶことも大切であるが、それ以前に、再生方式、連続化、サイクル時間短縮などのプロセス設計面における問題を十分検討することの方がより重要であることもつけ加えておきたい。

(1965年9月8日受理)

文献

- 1) 三好泉ほか; 化学工場 8 (8) 19 (1964)
- 2) Avery, W. F. & M. N. Lee; Oil & Gas Journal, 60, June 4, p. 121 (1962)
- 3) Davies D. S. & R. A. Kaplan; Chem. Eng. Progr., 60 (12) 46 (1964)
- 4) Berg C. et al.; Trans. Am. Instn. Chem. Engrs., 42, 665 (1946)
- 5) Marcy W.; Intern. Sugar Journal, 63 (11) 340, 63 (12) 368 (1961)
- 6) 梁田敏郎; 澱粉糖技術研究会報, 30号 104 (1964)
- 7) Ermenc E. D.; Chem. Eng. Progr., 52, 488 (1956) Chem. Eng., 68, May 29, p. 87 (1961)
- 8) Rowson H. M.; Brit. Chem. Eng., 8, 180 (1963), Chem. Eng., 70, Apr. 15, p. 92 (1963)



第12図 連続ガスクロマトグラフィによる分離

- 9) Thompson D. W.; Trans. Instn. Chem. Engrs., 39 289 (1961)

次号予告 (11月号)

防災・公害特集号

巻頭言

防災・公害特集号に寄せて..... 岡 本 舜 三

特集

耐震工学研究の現状..... 岡 本 舜 三

機械系構造物の耐震設計
——原子力発電所に関する研究を中心として—— 佐 藤 壽 芳 穂
柴 田 真 穂

高層および地下の建物の防災対策について..... 星 野 昌 一

公害に関する法的規制の現状と問題点..... 潮 見 俊 隆

水質汚染について..... 木 村 恒 行

大気汚染問題の現状..... 菊 池 真 一
鈴 木 伸