

# 溶剤ガス処理装置

## “POLYAD™ PROCESS (ポリアドプロセス)”

The POLYAD™ PROCESS for VOC Emission Control.



技術開発本部 第1研究室  
野田 晃  
Akira Noda  
道場 研二  
Kenji Michiba

The POLYAD™ PROCESS was developed by a Swedish company, Chematur Engineering AB, in response to the increasing regulatory pressure on the emission of Volatile Organic Compound (VOC). We have introduced this process and started sales activities for it.

The POLYAD™ PROCESS is a continuous fluidized bed process for the reduction and/or recovery of VOC emission, by the use of special polymer adsorbents. The polymer has macropores and is superior to activated carbon. It is easy to desorb, is insensitive to high humidity, and has no catalytic effects on solvents. Further, the high abrasion resistance of the polymer makes it ideal for the fluidized bed process.

The POLYAD™ PROCESS is easy to operate, is reliable, and has lower energy cost than other adsorption systems. It is particularly well suited to applications with large air volume and low solvent concentration.

### まえがき

最近、欧米を中心として、光化学オキシダントの低減化を目的にして各国協調の基に VOC (揮発性有機化合物) の総量規制が行われつつある<sup>1)2)</sup>。VOC とは、大気圏の光化学反応に関与する有機化合物とされているが、その大半は、ほとんどの産業で使用されている有機溶剤である。

さらに、光化学オキシダント問題とは関係ないが、低濃度であっても長期的に暴露されることによって、人間の健康への影響が懸念される未規制の物質に対する関心も各国で高まってきており、既に米国では189の物質、ドイツでも約150の物質が有害大気汚染物質として規制を打ち出しつつある<sup>3)4)</sup>。この規制は、我が国の治療志向に対して予防志向と言われており、長期を見通した体系的な対策をとる必要性が求められている。

このように、海外各国では、VOC と有害大気汚染物質の両面から規制が進められているが、日本では国としての規制はまだなく、悪臭防止法を含めた一部の有機溶剤を規制しているに過ぎない<sup>5)</sup>。しかし、環境庁は大気汚染を防止するための検討会を発足させ、規制化への動きを活発に進めつつある<sup>6)7)</sup>。

当社は、このような動きを勘案して、この度、スウェーデンの Chematur Engineering AB (ケマチュアエンジニアリング) から、VOC 規制に対応するために開発された溶剤ガス処理装置 “POLYAD™ PROCESS” を技術導入した。本プロセスは、ポリマー吸着剤を採用した連続流動床式のプロセスであり、特に大風量で低濃度の排ガス処理に適している。

本稿では、この POLYAD™ PROCESS (ポリアドプロ

セス) のプロセスフロー、特長、適用分野を中心に紹介する。

### 1. プロセスの概要

ポリアドプロセスは、吸着塔の流動床内でポリマー吸着剤と排ガスを向流接触させることによって溶剤含有ガスを浄化させる装置で、このポリマー吸着剤を脱着塔で加熱再生させて、吸着塔と脱着塔間でこのポリマーを循環移送させることによって、連続的に処理することが出来るプロセスである。

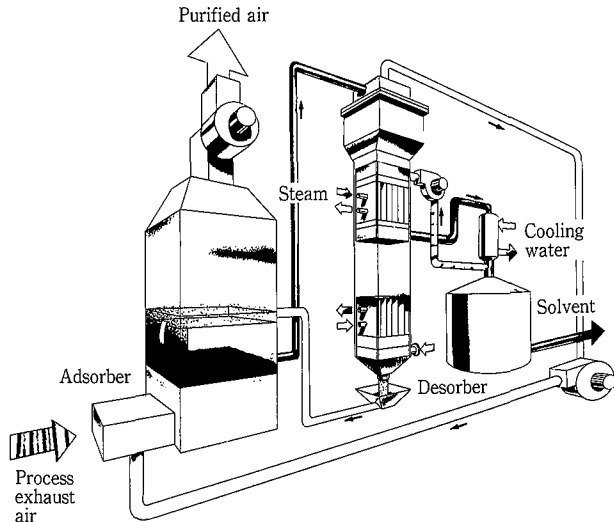
また、脱着塔で脱離された脱着ガスの最終処理方法によって2種類のタイプに分類される。1つは、脱着ガスをコンデンサーに導いて凝縮し、液体として回収するタイプで、他方は、脱着ガスを燃焼装置に導いて無害な水 (H<sub>2</sub>O) と二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) に分解する燃焼除去タイプである。これらの処理タイプは、それぞれの処理目的に応じて選択される。回収タイプは、回収した溶剤を再利用する場合には大きな経済効果が期待出来る。しかし、現実的には、再利用が可能なのは単一成分含有ガスに限られており、混合成分の場合は回収しても再利用できず、廃棄物としての処理を必要とすることがほとんどである。このような混合成分の場合には、他方の燃焼除去タイプが選択されることが多く、設備コストも回収タイプより若干安くなる。

### 2. プロセスフロー

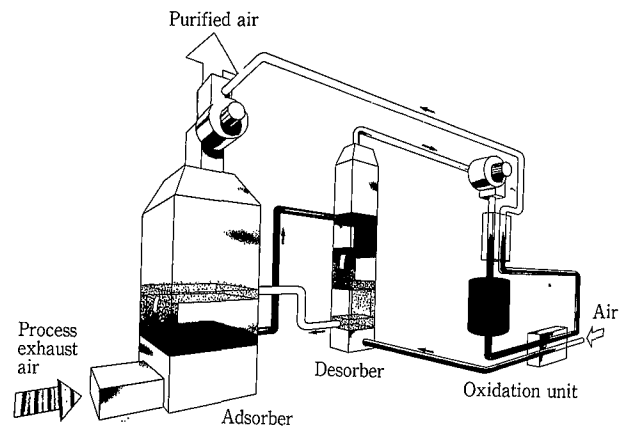
#### 2.1 回収タイプ

回収タイプの標準フローを第1図に示す。

フローに従って溶剤含有ガスとポリマー吸着剤のそれぞれの流れについて説明する。まず、溶剤含有ガスは吸着塔下部より供給され、上向流で各段のポリマー吸着剤を流動



第1図 ポリアドプロセス回収タイプのプロセスフロー  
Fig. 1 POLYAD™ PROCESS of recovery type.



第2図 ポリアドプロセス燃焼除去タイプのプロセスフロー  
Fig. 2 POLYAD™ PROCESS of incineration type.

させつつ接触し、浄化ガスとして塔頂から排出される。一方、ポリマー吸着剤は、最上段に供給された後、流動しながら1段ごとに順次下段方向へ移動し、最下段に達した吸着能力の低下したポリマーは抜き出されて脱着塔へ移送され、再生された後吸着塔へ戻される。

吸着塔は、前述のごとく多段流動床式であり、各段において流動しているポリマー吸着剤によって溶剤を吸着除去して、浄化ガスとして排出する。吸着塔の段数は、溶剤の種類や濃度、要求される除去率等を考慮して決定される。

脱着塔は、移動床式であり、吸着塔から上部に移送されたポリマー吸着剤は、塔内で溶剤が脱着される温度にまで間接的に加熱され、再生される。この間接加熱の熱交換器には、通常は水蒸気が用いられる。ポリマーから脱離した溶剤は、脱着塔下部より吸引される少量のキャリアガスと共にコンデンサーへ導かれる。この時、導かれたガスは、コンデンサーにて凝縮出来る濃度にまで濃縮されている。また、熱交換器を通過したポリマー吸着剤は、吸着能力を高めるために冷却された後、吸着塔上部に戻される。

コンデンサーで、冷却凝縮されてタンクに回収された溶剤は再利用される。コンデンサーには、通常は工水を用いるが、低沸点溶剤の場合は、もっと温度の低いチラー水を併用する。

前述のように、本タイプは、ポリマー吸着剤を循環使用することによって、排ガスの完全な連続処理を行いつつ、溶剤を回収することが出来る。

## 2.2 燃焼除去タイプ

燃焼除去タイプのプロセスフローを第2図に示す。

吸着塔は、回収タイプと構造的に同じであり、溶剤含有ガス及びポリマー吸着剤の挙動も前節で説明したとおりである。

脱着塔は、回収タイプの移動床と異なって多段流動床式で、吸着塔と同じ構造である。吸着塔から脱着塔上部に移

送されたポリマー吸着剤は、各段で流動しながら下部より流入される加熱ガスと接触することにより脱着エネルギーを与えられる。脱離された溶剤は、このガスと共に直接式または触媒式燃焼装置により酸化分解された後、無害ガスとして大気に排出される。

脱着用の加熱ガスは、消費エネルギーを低減するために、燃焼装置から排出される高温ガス（直接式；約800℃、触媒式；約400℃）を利用して熱交換器によって発生させることが通常行われる。この時、加熱ガスは、原ガス量の数～数十分の一であるため、燃焼装置に導入されるガス濃度は数～数十倍に濃縮される。従って、燃焼に必要な補助燃料は少量で済むことになり、さらに、溶剤の性質、濃度によっては自然も可能である。また同時に、この燃焼の流量も原ガスの数～数十分の一となるので、燃焼装置も小さくなり、設備コストの面で有利である。

前述のように、本タイプでは、吸着塔と脱着塔が組合わさって濃縮装置の役割を果たしており、連続的に経済かつ安全な燃焼除去が可能である。

## 3. 特長

ポリアドプロセスの主な特長は、①ポリマー吸着剤、②流動床の2つである。これらを採用したことによって、大風量・低濃度の溶剤含有ガスを低ランニングコストで処理することを可能にした。さらに、回収タイプの場合は、③間接加熱による脱着法を採用したことにより、排水発生等のスチーム直接脱着法を持つ問題点を解決した。これら3つの特長によって生まれる利点を次に述べる。

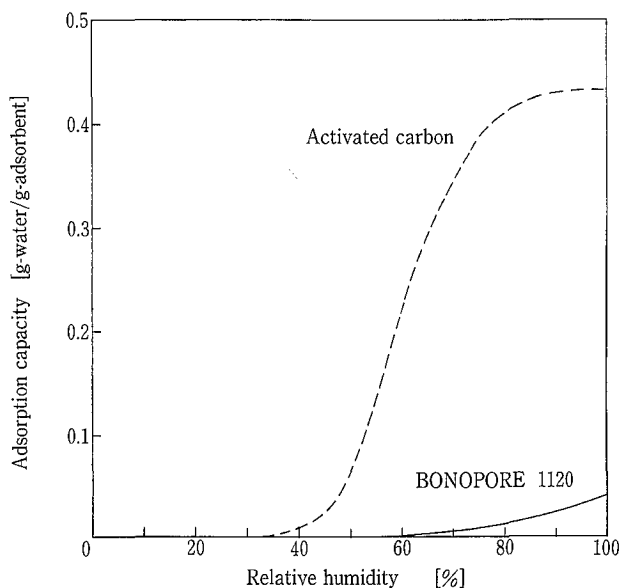
### ①ポリマー吸着剤による利点

- 活性炭に比べて脱着が容易なために再生エネルギーが低減出来る。
- 耐磨耗性に優れており、流動床で使用しても補充量は少量である。
- 活性炭のように溶剤に対する触媒作用がなく、安全で

第 1 表 BONOPORE 1120 と活性炭の物性比較

Table 1 Comparison of Properties, BONOPORE 1120 vs. Activated Carbon (AC).

Adsorbents		BONOPORE 1120	AC(Fiber)	AC(Granule)
Relative surface area	[ $\text{m}^2/\text{g}$ ]	800	1 500	1 250
Average pore size	[ $\text{\AA}$ ]	80	25	30
Particle size	[mm]	0.5	—	4
Bulk density	[ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]	0.3	0.07	0.43
Adsorption capacity of toluene at 500 ppm	[wt%]	7	37	36
Adsorption capacity of water at 84 RH%	[wt%]	1.8	30~50	



第 3 図 水分吸着量

Fig. 3 Water adsorption capacity.

回収溶剤の品質が高い。

d. 高湿ガスに対しても、水分を吸着しにくい。

②流動床による利点

e. デッドスペースが出来にくく、局所的な異常高温現象が少ないので安全である。

f. 固定床式のように切換のための駆動バルブ、制御部が少ないので、構造がシンプルでメンテナンスも容易である。

g. 圧力損失が少なく、固定床二塔式のように吸着と脱着工程ごとに加熱・冷却を繰り返さないで熱損失が少ない。

③間接加熱式脱着を採用したことによる利点

h. 排水が発生しないので、排水処理設備が不要である。

i. 水分が溶剤中に混入しないので、回収溶剤の品質が高い。

4. ポリマー吸着剤

写真 1 に、ポリマー吸着剤の代表例として BONOPORE 1120 (ポノポア, Chematur 社製) を示す。このポリマー吸着剤は、基本的には溶剤の種類によって選定される。

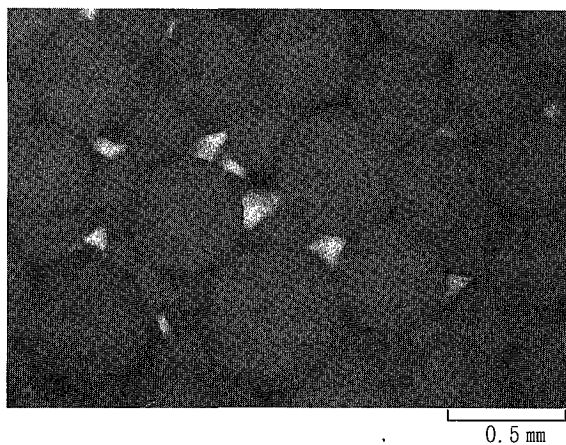


写真 1 ポリマー吸着剤, BONOPORE 1120

Photo.1 Polymer adsorbent, BONOPORE 1120.

第 1 表に、BONOPORE 1120 と活性炭の物性を比較した。ポノポアは、平均細孔径  $80 \text{\AA}$ 、比表面積約  $800 \text{ m}^2/\text{g}$  に調整されたスチレン系の重合体で、平均粒径は約  $0.5 \text{ mm}$ 、かさ密度は約  $0.3 \text{ g}/\text{cm}^3$  である。活性炭との大きな違いは、素材自体の性質はもちろんであるが、その他に細孔径が大きいことが挙げられる。細孔径が大きいため、比表面積が小さくなり、吸着量は低下するが、逆に、脱着が容易となる。ポリアドプロセスの場合、吸着剤を連続的に循環再生して用いるために、この脱着性能の良さが大きなポイントとなる。また、細孔径が大きくなれば、分子径の小さい水分子(約  $3.3 \text{\AA}$ ) を補足しにくくなるため、その結果、水分吸着量が少なくなって高湿ガスへの対応が可能になる。例えば、相対湿度  $84 \%$  ガスに対する水分吸着量は、活性炭の  $30 \sim 50 \text{ wt}\%$  に比較して、ポノポアは  $1.8 \text{ wt}\%$  しか吸着しない(第 3 図)。

また、最近、脱着性能や耐水性能を下げ、吸着能力を活性炭に近づけたポリマー吸着剤も開発されており、今後はガス条件によってポノポアと使い分けていく予定である。

5. 適用分野

有機溶剤は、ほとんどの工業分野で用いられているが、使用量が多いと思われるのは次のような工場である。

- 塗装工場
- 繊維工場
- 印刷工場
- 各種洗浄工場

第 2 表 各処理設備の選定基準  
Table 2 Choice of various treating methods.

	Flow rate, m <sup>3</sup> /min			Concentration, ppm		
	<50	50~400	> 400	<1 000	1 000~3 000	> 3 000
<b>【Recovery】</b>						
A. Condensation	○					○
B. Fixed bed adsorption	○	○		○	○	
C. Fluidized bed adsorption			○	○		
D. Rotor concentration+B			○	○		
<b>【Incineration】</b>						
E. Recuperative thermal incineration	○	○				○
F. Catalytic incineration	○	○			○	
G. Regenerative incineration			○	○		
H. Concentration+E or F			○	○		

- ・化学工場
- ・磁気テープ・粘着テープ製造工場
- ・半導体製造工場
- ・ドライクリーニング 等

写真 2 に、樹脂成形工場への納入例を示す。

これらの各種有機溶剤使用工場から排出される溶剤の種類は、用途によって多岐にわたっているが、ポリアドプロセスで処理出来る代表的な溶剤は次のとおりである。

◇炭化水素類

トルエン、キシレン、スチレン、ナフサ等

◇アルコール類

エタノール、IPA、ブタノール等

◇エステル類

酢酸エチル、酢酸ブチル等

◇ケトン類

MEK, MIBK 等

◇ハロゲン化炭化水素類

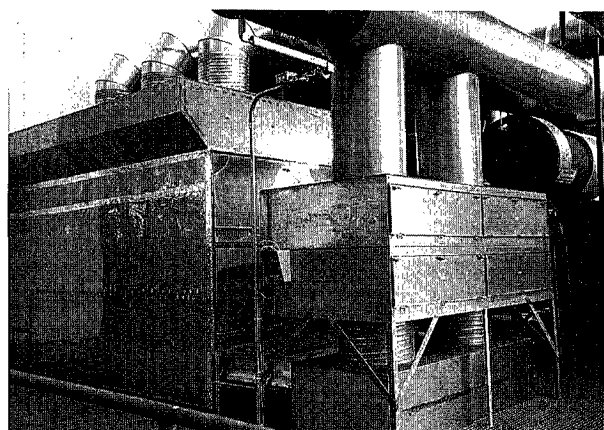
トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン等

前述以外の溶剤でも、沸点が60~180℃程度であれば、ほとんど経済的に処理可能である。ただし、一般的に言われるように、物理吸着は、低沸点あるいは極性の強い成分に対して吸着能力が低下することが知られており、この現象はポリマー吸着剤の場合でも同様である。例えば、沸点が82℃であるIPAのような溶剤に対しては、吸着能力を高めたポリマー吸着剤を採用する必要がある。

6. 各処理設備の最適風量と濃度

有機溶剤ガスの処理は、回収して再利用したいのか、それとも燃焼除去したいのかの目的に応じて、装置機能及び経済性の両面からトータルの評価をして最適な設備を選定することが必要である。

既に国内でも多数の環境装置メーカーから、数多くのタイプの処理装置が商品化されているが、どんなガス条件においても全て経済的、かつ安全に処理出来る万能な装置はない。各メーカーの特長もあるので一概には言えないが、各処理タイプごとに適する風量、溶剤濃度についてまとめると第2表のようになる。



Solvent : Styrene  
Air flow rate : 60 000 m<sup>3</sup>/h  
Solvent quantity : 10 kg/h  
Removal efficiency : 92~93%

写真 2 ポリアドプロセス  
Photo. 2 POLYAD™ PROCESS

ポリアドプロセスは、表内の記号で言うと、回収タイプはC、燃焼除去タイプはHに分類されるが、濃縮倍率が高くとれることもあり、どちらも大風量・低濃度のガス処理にメリットが多くなる。しかし、風量が小さくても、反応性の高い溶剤（スチレン等）や水に溶解し易い溶剤に対しては、ポリマー吸着剤の利点を発揮して、本プロセスの適用性がある。

7. ランニングコスト

7.1 ケース1；回収タイプ

次のガス条件において、ポリアドプロセスの回収タイプを採用した場合、

【原ガス条件】

溶剤種類：トルエン  
 風 量：300 m<sup>3</sup>/min  
 温 度：22℃  
 入口濃度：500 ppm  
 出口濃度：20 ppm

ユーティリティー消費量は、次のようになる。

	消費量	年間コスト [千円/y]	回 収 量 [kg/h]	回収コスト [千円/y]
電 力	40 kW	4 800	—	—
蒸 気	60 kg/h	2 400	—	—
冷 却 水	3.8 ton/h	500	—	—
吸着剤補充	—	2 000	—	—
溶 剤	—	—	32	15 300
合 計	—	9 700	—	15 300

ただし、各ユーティリティー単価及び運転時間は、次のように仮定した。

電 力 15円/kWh  
 蒸 気 5円/kg  
 冷 却 水 15円/ton  
 溶 剤 60円/kg  
 運転時間 8 000 h/y

この場合、国内で実績の多い繊維活性炭を用いた固定床吸着-スチーム脱着式の溶剤回収装置と比較して、年間コストは1/2~2/3程度になり、非常に経済的であり、かつ安全である。

また、回収の場合には、溶剤が再利用出来ることを考慮に入れる必要がある。原ガス条件から、回収溶剂量は年間約256 tonとなり、溶剤単価を60円/kgと仮定すると15 300千円が年間で回収されたことになるから、年間ユーティリティー消費量を十分上回る経済効果が生まれていることがわかる。

7.2 ケース2；燃焼除去タイプ

次のガス条件において、ポリアドプロセス触媒燃焼除去タイプを採用した場合、

【原ガス条件】

溶剤種類：IPA、酢酸ブチル等混合系溶剤  
 風 量：600 m<sup>3</sup>/min  
 温 度：30℃  
 入口濃度：120 ppm  
 出口濃度：10 ppm

ユーティリティー消費量は、次のようになる。

	消費量	年間コスト [千円/y]
電 力	48 kW	5 800
吸着剤補充	—	2 500
合 計	—	8 300

ただし、各ユーティリティー単価及び運転時間は、回収タイプと同じとした。また、スタートアップ時には、触媒燃焼装置の温度を上昇させるために、約30分間120 kWh/hの電力が必要になるが、その後は自燃するため補助燃料は不要である。このケースで、触媒燃焼装置によって濃縮せずに直接処理した場合、補助燃料が大量に必要になり、触媒劣化による触媒交換費等を併せると年間コストは非常に増大し、さらに本プロセスの優位性が発揮される。

む す び

国際的なVOC規制は、VOCが原因となって発生する光化学オキシダントが、国境を越えて近隣諸国に被害を及ぼすことを防止するために実施されている。1991年11月に、ECE（国連ヨーロッパ経済委員会）による議定書が締結され、その加盟国（米、カナダ、EC、EFTA等23ヶ国）は、2000年までに基準年に対して30%の削減を約束している。この約束を達成するために、各国は総量規制を実施することになったので、今まで見過ごされていた大風量・低濃度ガスに対する処理設備の必要性が増大している<sup>9)</sup>。日本では、この分野の規制対策を明確にすべく検討が進められているが、国際的立場からも早急に法制化する方向に向かうものと思われる。地方自治体レベルでは、既に大阪府が1994年11月より光化学スモッグ防止を目的にした炭化水素規制を開始したこと等からも<sup>9)</sup>、国レベルでの規制も今後一層拍車がかかるものと考えられる。

今回、紹介したPOLYAD™PROCESS（ポリアドプロセス）は、スウェーデンにおいてこのVOC処理を目的に開発されたプロセスで、既に18基が納入されている。我が国でも近々、規制が開始されれば、大風量・低濃度ガスを経済的、かつ安全に処理できる装置への必要性が高まると予想され、本プロセスが環境保全のために大いに役立つものと期待している。

〔参考文献〕

- 1) (社)日本産業機械工業会他：平成4年度光化学大気汚染の原因物質の炭化水素の削減対策に関する調査研究報告書。
- 2) 出雲正矩：PPM, Vol. 23, No. 10 (1992).
- 3) 藤倉まなみ：生活と環境, Vol. 38, No. 8 (1993).
- 4) 柳下正治：PPM, Vol. 26, No. 10 (1995).
- 5) 松本真治：環境管理, Vol. 31, No. 9 (1995).