

<製品紹介>

蓄熱式燃焼脱臭装置 RTO

Introduction of Regenerative Thermal Oxidizer



(気)大気環境部エンジニアリンググループ
道場 研 二
Kenji Michiba

当社は、排ガス中の揮発性有機化合物（以下、VOC）処理および脱臭処理ニーズに応えるべく、蓄熱式燃焼脱臭装置（以下、RTO）を海外メーカより技術導入し、国内販売を開始した。

当社 RTO の主な特長は、95 % 以上の高い熱回収率と 99 % 以上の高い除去性能を有することである。この高い熱回収率は、熱交換方式にハニカム構造のセラミック製蓄熱材をもちいることによりえられる。他の燃焼装置にくらべ、ランニングコストおよび CO₂ 発生量が低減できるため、経済面および環境面で優れた装置といえる。高い除去性能は、燃焼室内温度を 800 °C 以上の高温に維持し、完全に VOC を酸化分解するために必要な滞留時間を与えることによりえられる。

We have concluded the licensed agreement of Regenerative Thermal Oxidizer (hereinafter called RTO) from a foreign company, and has started marketing RTO in Japan in order to satisfy the needs for the treatment of the volatile organic compounds (hereinafter called VOC) removal and the deodorization. The main characteristics of RTO are the high heat recovery efficiency over 95 percent and the high removal efficiency over 99 percent. The high heat recovery efficiency can be achieved by using the honeycomb shaped regenerative material that is made of ceramic. RTO is superior equipment economically and environmentally because its running cost and the amount of the exhausted CO₂ are less than those of the other thermal oxidizers. The high removal efficiency can be achieved by keeping the high temperature, over 800 °C, and by holding the required retention time long enough to oxidize the VOC perfectly.

Key Words :

燃	焼	incineration
蓄熱式燃焼脱臭装置		regenerative thermal oxidizer
揮発性有機化合物		volatile organic compounds
脱	臭	deodorization

まえがき

欧米での揮発性有機化合物（VOC）に対する規制は、個別物質に対する濃度規制および総量規制があり、非常に厳しい状況である。この背景、その優れた性能及び低ランニングコストから欧米では蓄熱式燃焼脱臭装置（RTO）は一躍脚光を浴び、幅広い分野で適用されている。

一方、日本では、ISO の取得や PRTR 法に基づく自主規制、および悪臭防止法や大気汚染防止法による法的規制等が挙げられるが、欧米における規制にくらべ緩いといわざるをえない。しかし、ダイオキシン対策が一段落した今、さらなる VOC 規制が予想される。また、VOC 処理方式としてはこの 4 ~ 5 年では、RTO が主流となりつつある。

現在、日本のRTOメーカーの大部分は、その技術を海外より導入している。当社においても、納入実績が豊富で蓄熱材に対する技術力が優れているメーカーから技術導入を2001年12月におこなった。

1. 当社RTOの概略

VOCを含む排ガス処理方法には、活性炭といった吸着剤をもちいた吸着法、凝縮法や洗浄法など様々な方法があるが、その中で燃焼法はもっとも簡易であるとともに、さまざまなVOCを除去できるという点で有効な処理方法の一つである。また、古くから様々な産業分野に適用されてきた。

燃焼法の原理は、炭素(C)、水素(H)および酸素(O)を主成分とするVOCを高温下で酸化分解し、炭酸ガス(CO₂)および水蒸気(H₂O)に変換する方法である。燃焼装置は、直接式燃焼装置、触媒式酸化(燃焼)装置およびRTOに大別される。

直接式燃焼装置は、VOCを含む排ガスを700~800℃に保った燃焼室内にて酸化分解をおこなう。非常に簡易であり、安定した性能がえられる。燃焼室から排出される高温ガスは、熱回収率50%程度のプレート式熱交換器をもちいて、入口ガスの事前加熱にもちいられる。熱回収率が低いため、経済的な装置であるとはいえないが、廃熱をボイラーや温水発生に利用するといった廃熱回収をおこなえる場合及び小風量の処理においては、メリットが大きい。

触媒式酸化装置は、酸化室内に酸化を促進させる触媒を設置することにより、250~350℃といった比較的低温下にてVOCを酸化分解することが可能であるため、直接式燃焼装置にくらべると経済的であるといえる。熱交換器は、直接式燃焼装置と同様にプレート式をもちいる。一方、触媒は非常にデリケートであり、有機シリコン、硫黄化合物及び有機金属化合物などの触媒毒と呼ばれる物質が処理ガス中に含まれる場合には、触媒の寿命が短くなり、ランニングコストが大幅に増加するため、注意が必要である。

当社RTOは、炉内温度を800℃以上の高温下で酸化分解するという点では、直接式燃焼装置の一つといえる。しかし、熱交換方式が大きく異なっている。熱交換器の代わりにセラミック製のハニカム型蓄熱材を使用し、交互にガスを昇温・降温させるといった熱再生の原理をもちいている。この原理を用いることにより、熱効率が95%以上と非常に高くなり、省エネが図れることが特長である。

一般的な型式である三塔方式RTOにおける各工程でのフローを図1に示す。

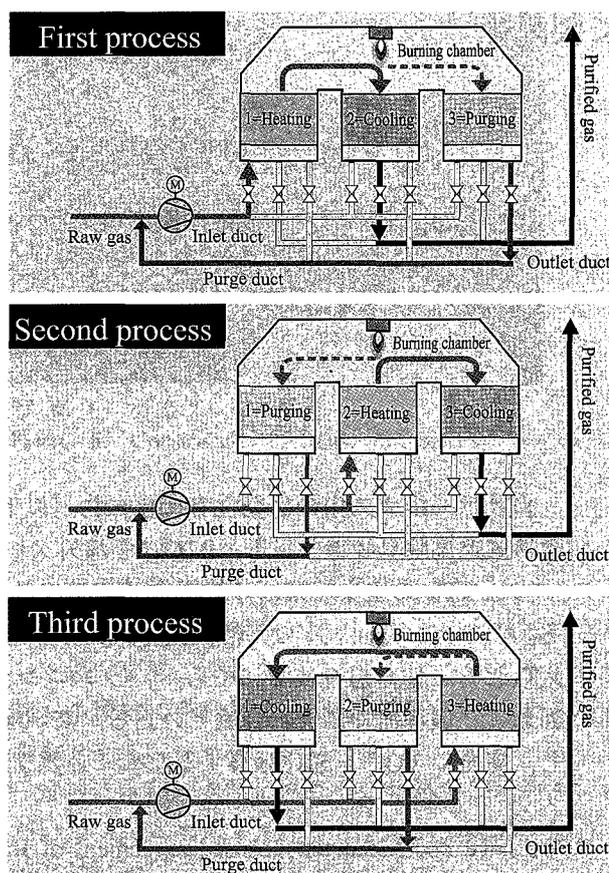


図1 フロー
Fig.1 Flow

●第一工程

蓄熱室1(加熱)

ファンにて吸引された原ガスが蓄熱室内の蓄熱材から熱をえて、加熱される。

蓄熱室2(冷却)

燃焼室にて酸化分解された高温の処理ガスが蓄熱材を通過することにより、蓄熱材へ熱を与える。

処理ガス自身は、冷却される。

蓄熱室3(パージ)

(第三工程における加熱終了後の)蓄熱室下部においては、ガス温度が低いために酸化分解されずに未処理ガスが残留している。そこで、燃焼室内の処理ガスを通させて、この未処理ガスを原ガスへ戻すことによって、安定した高い除去性能99%以上がえられる。この操作をパージといい、原ガスとくらべると、約10分の1の風量としている。

燃焼室(酸化分解)

燃焼室内を800℃以上の高温を保つように、蓄

熱室（加熱）通過後のガス温度に応じてバーナを比例制御運転する。

この室内では、VOCを熱酸化させるための必要条件である800℃以上の高温および1秒以上の接触時間を与えることにより、原ガス中に含まれるVOCを完全に酸化分解し、除去・脱臭する。

●第二工程

蓄熱室1（パージ）

第一工程にて、蓄熱室内に残留している未処理ガスをパージする。

蓄熱室2（加熱）

第一工程にて蓄熱された蓄熱材から熱を受け取り、原ガスを加熱する。

蓄熱室3（冷却）

処理ガスを蓄熱室に通すことによって、蓄熱材に熱を与え、処理ガスを冷却する。

燃焼室（酸化分解）

原ガス中に含まれるVOCを完全に酸化分解し、除去・脱臭する。

●第三工程

蓄熱室1（冷却）

処理ガスを蓄熱室に通すことによって、蓄熱材に熱を与え、処理ガスを冷却する。

蓄熱室2（パージ）

第一工程にて、蓄熱室内に残留している未処理ガスをパージする。

蓄熱室3（加熱）

第一工程にて蓄熱された蓄熱材から熱を受け取り、原ガスを加熱する。

燃焼室（酸化分解）

原ガス中に含まれるVOCを完全に酸化分解し、除去・脱臭する。

各工程を90～120秒のサイクルにて切り替えることにより、連続運転を実施し、高い熱回収率95%がえられる。

2. 機器構成

次にRTOの機器構成に関して述べる。

2.1 装置本体

本体は、セラミック製のハニカム蓄熱材が充填された2ないし3室の蓄熱室とその上部に連結された燃焼室1室から構成される。

蓄熱室および燃焼室内面は、セラミック製の断熱材が敷き詰められており、室内温度Max.1000℃まで耐えることが可能である。

ケーシング材質は、標準でSSを使用する。外気

温度にもよるが、上述した内部の断熱効果によりケーシング鉄板表面温度は55℃以下となる。

2.2 蓄熱材

蓄熱材の外観を写真1に示す。セラミック製のハニカム構造で、断面あたり1600個のセルが空いている。また、蓄熱材1個のサイズは、 150×300 Hである。

耐腐食および耐熱衝撃性に非常に優れており、寿命は半永久的である。

処理風量に応じ、断面積当たりの個数が決定し、必要な熱回収率に応じ、蓄熱材の段数が決定される。4段または5段が標準である。

2.3 出入口ダクトおよび切替弁

各蓄熱室に連結された出入口ダクト中にポペット弁と呼ばれる切替弁が取り付けられている。このポペット弁は、円形のプレートに対して垂直に取り付けられたシャフトをエアシリンダにて上げ下げすることにより、ガス流路の開閉を実施している。

2.4 パージダクト

上述した工程におけるパージを実施するためのダクトであり、出入口ダクトにくらべ、口径が小さい。切替には、エア駆動のバタフライ弁をもちいている。加えて、後述する空焼きに必要なラインでもある。

2.5 ホットバイパス

原ガス中に含まれるVOCが燃焼室内で酸化分解され、その発熱によりガスが昇温される。たとえば、トルエン1000ppmを酸化分解すると、約125℃上昇する。ここでVOC濃度が高い場合には、燃焼室内温度が1000℃を越えることも考えられる。室内温度がある一定値以上に達した際に、室内の高温ガスを直接排出するためのラインをホットバイパスという。

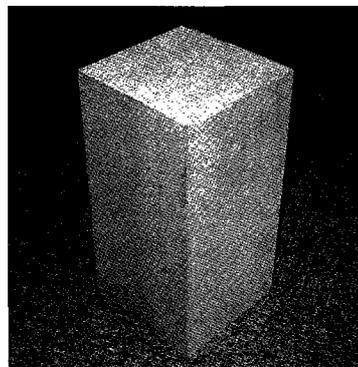


写真1 セラミック製ハニカム蓄熱材

Photo 1 Honeycomb shaped regenerative material made of ceramic

室内温度を常時監視しながら、必要に応じホットバイパス中のバタフライ弁の開度を調整し、過剰の熱を排出する。

2.6 ファン

製造プロセスなどの VOC 発生源からガスを吸引するためのファンである。

2.7 バーナ

燃焼室内温度を800℃以上に立ち上げるため、および維持するための熱源としてバーナが使用される。燃料として液化ガスまたは灯油を使用する。

3. 当社 RTO の特長

3.1 高い熱回収率

上述したセラミック製ハニカム蓄熱材をもちいることにより、高い熱回収率がえられる。蓄熱段数が4段時に95.5%、5段時に96.6%の熱回収率がえられる。

なお、熱回収率の定義は、次式で表される。

$$\eta = (T_c - T_{out}) / (T_c - T_{in}) \times 100$$

η : 熱回収率 [%]

T_c : 燃焼室内温度 [°C]

T_{in} : 入口ガス温度 [°C]

T_{out} : 出口ガス温度 [°C]

ここで、蓄熱段数4段、すなわち熱回収率95.5%において、入口ガス温度30℃、燃焼室温度を820℃とすると出口ガス温度は、上式より約66℃となる。出入口のガス温度差36℃分の熱量と装置表面からの放熱量の総量を VOC 燃焼時における発熱量で補える時は、自然運転と呼ばれる運転が可能となる。この自然運転とは、燃料の補給無しに、燃焼室内温度820℃が保たれる運転である。

装置表面からの放熱量は、外気条件および装置の大きさにより一概にはいえないが、上記温度設定ではトルエンの場合約360 ppm 以上であれば、自然運転は可能となり、非常に経済的な装置といえる。

この自然運転は、地球温暖化防止の観点からも重要である。補助燃料を必要としないため、装置から発生する CO₂ 量もかなり低減できるからである。加えて、サーマル NO_x も低減できる。

RTO は、トルエン濃度360 ppm という比較的低い濃度において自然運転が可能、すなわち燃料が不要のため、低い VOC 濃度に対して有効的な装置といえる。

3.2 高い除去性能

二塔式の場合には、三塔式でのパージ工程がなくなり、各蓄熱室にて加熱と冷却のみが繰り返されるため、加熱後の未処理ガスが排出される。すなわち、

バルブ切替ごとに約90秒毎に未処理ガスが瞬間的に排出されるため、平均除去率は95%となる。

三塔式の場合には、上述したように99%以上の高い除去性能がえられる。なお、ガス出入口の切替バルブのシール部に背圧をかけることにより、より高い除去性能をえることも可能である。

脱臭を目的とする場合は、安定した性能が必要となるため、三塔式 RTO が望ましいが、排出される VOC の絶対量を低減する目的であれば、二塔式で十分といえる。

3.3 運転中に空焼きが可能

原ガス中には、VOC のみならずヤニ、タールやミストなどといった不純物が含まれるケースは多い。このような物質が含まれる場合は、それらが蓄熱室下部の蓄熱材に付着することによって閉塞し、通常運転に支障をきたす。

これら付着したタールなどを除去する方法が空焼きと呼ばれる運転である。この空焼きは、蓄熱室下部の温度を強制的に400℃近い温度まで加温し、タールなどを酸化分解する方法である。実際の操作は、本来三塔で運転している状態から二塔運転に切替、残りの蓄熱室に連結しているパージダクト中のバタフライ弁を常時開とする。800℃以上の高温ガスが蓄熱室を上部から下部へ少量流れることによって、蓄熱室下部の蓄熱材の温度が徐々に上昇し、400℃となるまで継続する。この温度を2~3時間維持することによって蓄熱材に付着したタールなどが熱で完全に酸化分解される。その後、蓄熱材下部の温度が下がるまで放置し、通常三塔運転に戻す。したがって、空焼き運転中は二塔式となり、除去性能は95%となる。

4. 適用範囲および分野

RTO の最適条件は、風量が大きく、濃度が低い原ガスといわれている。この理由は、上述したように比較的低い VOC 濃度に対して補助燃料が不要の自然運転が可能のためである。上述したトルエン濃度360 ppm では、他の燃焼装置、直接式燃焼装置や触媒式酸化装置では、自然は不可能であるため、補助燃料が必要となる。この補助燃料は、風量に比例するため、風量が大きければ大きいほど、燃料が必要となり、ランニングコストが高くなる。反対に自然する RTO の場合には、風量が大きくなっても補助燃料は不要である。すなわち、風量が大きくなるにともない、そのランニングコストの差が大きくなる。入口の VOC 濃度は、安全面から各 VOC の固有値である爆発下限界濃度 (L.E.L.) の4分の1の

濃度を最大と設定している。濃度が高い場合、過剰の熱が発生するため、ホットバイパスで系外へ排出する。この際、この熱を利用し、廃熱回収をおこなうことも可能である。

処理物質に対する注意点は、ハロゲン系元素 (Cl 等) および硫黄元素 (S) を有する物質の処理である。これらの物質は、燃焼室内で酸化され、酸性ガスである HCl (塩化水素) や SO_x (硫黄酸化物) を生成する。これらの酸性物質を含むガスの温度が低下した際に、ガス中の水分と結合し、HCl (塩酸) や H₂SO₄ (硫酸) として、結露し腐食の原因となる。この結露する温度を酸露点温度といい、ガス中の水分量と酸性ガス濃度に依存する。この酸露点には注意が必要である。

有機シリコンは、触媒毒と呼ばれる物質のため、触媒式酸化装置での処理は困難であり、RTO での処理ニーズは大きい。有機シリコンは、高温下で酸化し、二酸化けい素という微粒子ダストとなるため、蓄熱材部で閉塞が起こる可能性がある。したがって、その濃度には注意が必要である。ダストに関しても、同様に濃度および粒径に注意が必要である。

提携先の納入実績では、各種塗装工程、セラミック製造工程および樹脂製造工程からの排ガス処理が多い。処理風量 20 000 m³ N/h における実機の外観

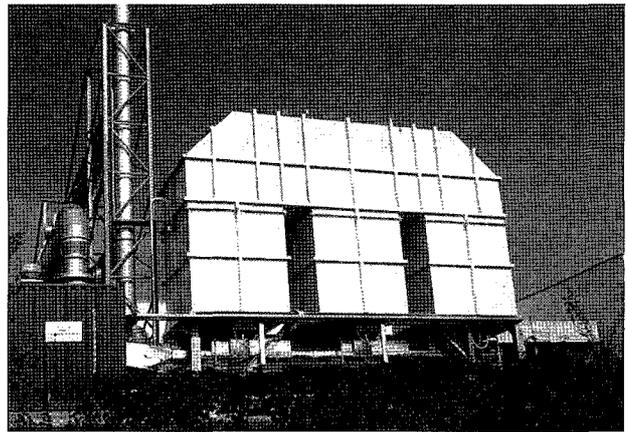


写真 2 RTO 実機外観
Photo 2 Outside view of RTO

を写真 2 に示す。

溶剤を含めた VOC はすべての業界で使用されているといっても過言ではないが、日本の市場における主な適用分野は、化学工業、食品工業、半導体工業や薬品工業である。

5. 各 VOC 処理装置との比較

次に述べる原ガス条件において、代表的な各 VOC 処理装置とのランニングコスト比較を表 1 に示す。表からあきらかなように RTO はランニングコスト面において最も優位性が高い。

表 1 ランニングコスト比較
Table 1 Comparison of running cost

Equipment	Regenerative thermal oxidizer		Direct thermal oxidizer		Catalytic oxidizer		Solvent recovery equipment using activated carbon fiber	
Removal efficiency	99 %		98 %		98 %		90 %	
Space	10 000×4 500×7 500 H		4 800×3 300×6 000 H		4 800×4 000×6 000 H		3 500×6 000×6 000 H	
Weight	27 000 kg		6 500 kg		5 000 kg		8 000 kg	
Running cost								
Electricity	14.6 kW	1 791 k¥/y	18.8 kW	2 306 k¥/y	15.8 kW	1 938 k¥/y	20 kW	2 453 k¥/y
LNG	1.1 Nm ³ /h	318 k¥/y	97.9 Nm ³ /h	28 300 k¥/y	40.7 Nm ³ /h	11 766 k¥/y	— Nm ³ /h	— k¥/y
Industrial water	— m ³ /h	— k¥/y	— m ³ /h	— k¥/y	— m ³ /h	— k¥/y	18 m ³ /h	3 154 k¥/y
Steam	— kg/h	— k¥/y	— kg/h	— k¥/y	— kg/h	— k¥/y	120 kg/h	7 358 k¥/y
Others					Catalyst 2 500 k¥/y		activated carbon fiber	2 125 k¥/y
	Total 2 109 k¥/y		Total 30 606 k¥/y		Total 16 204 k¥/y		Total 15 090 k¥/y	
Amount of generated CO ₂	36 kg/h		289 kg/h		139 kg/h		34 kg/h	

ガス風量	6 600 m ³ N/h
ガス温度	30 ℃
処理物質・濃度	トルエン300 ppm
運転時間	8 760 h/y
単 価	電気 14円/kWh
	LNG 33円/Nm ³
	工水 20円/t
	蒸気 7円/kg

6. テスト機仕様

現地にて実際の原ガスをもちいたテストをおこないたいというニーズに応えるべく、当社ではテスト機を保有している。客先敷地内でのテストを考慮し、熱源はバーナーではなく、電気ヒーターをもちいている点を除いては、実機と同形式である。また、テスト機をもちいて、タールなどの付着状況や空焼きによる除去確認も可能である。

テスト機の仕様を下記に示す。また、装置外観を写真3に示す。

テスト機仕様

塔 式	三塔式
処理風量	100 m ³ N/h
サイズ	1 900 W×4 300 L×2 400 H
重 量	2 500 kg
ヒーター容量	3 kW×2

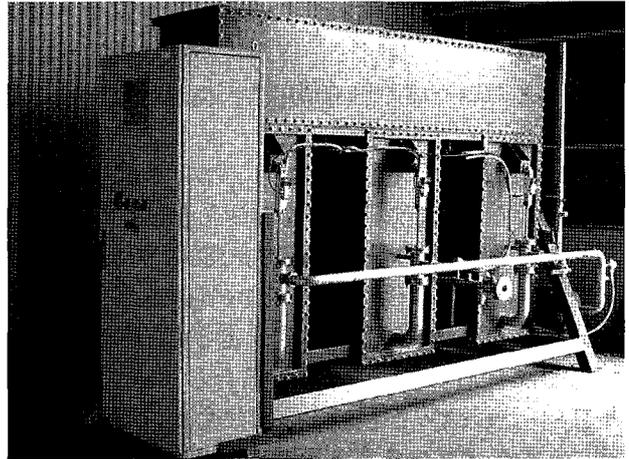


写真 3 テスト機外観
Photo 3 Outside view of pilot plant

蓄熱材 セラミック製ハニカム蓄熱材
5段

供給電気容量 200 V×3φ, 17.5 kVA

む す び

当社 RTO は、今後さらなる強化が推測される VOC 規制に対してもっとも有効な処理装置であるといえる。

今後、実績の蓄積とともに改善、改良に努め、環境装置メーカーとして社会に貢献したいと考える。

連絡先

道 場 研 二 気熱装置事業部
大気環境部
エンジニアリンググループ

TEL 078 - 232 - 8134
FAX 078 - 232 - 8067
E-mail k.michiba@pantec.co.jp