

1. 研究開発の目的

塗装作業は、塗布、セッティング、乾燥の3工程で構成され、前の2工程では、低濃度 VOC が多量に排出され、最後の乾燥工程では、高温加熱に伴い VOC の他にヤニや悪臭が排出される。VOC は大気中の光化学オキシダントや PM2.5 の原因物質であり、各事業所の事業形態に応じて VOC 削減対策は取られているが、乾燥炉排ガス処理装置の開発は遅れている。

平成 20 年度の都苦情受付件数を見ても、悪臭と大気汚染の占める比率は 35% と高い状況である。高温排気ガスを処理できる触媒燃焼法は、低温処理が可能で各種産業施設で多数使用されているが、ヤニを含む塗装乾燥炉向けの適用事例は少ない。

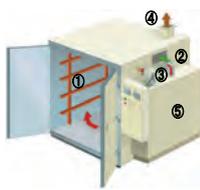
東京大学と都産技研が共同で開発した触媒（以下、TIRI 触媒と呼ぶ）は、従来の白金触媒に対して、① VOC 処理性能はほぼ同じ、② 酢酸エチルとヤニを約 100℃ 低温で除去、③ 悪臭除去性能が高い、④ 材料費が安価などの特長を有する。

そこで、TIRI 触媒を搭載した金庫型乾燥炉用 VOC・悪臭処理装置の製品化を目的に、① 省面積、② 省エネ、③ 設備・維持費が安価、のコンセプトで試作機を製作し、塗料を用いた実負荷実験により装置基本性能と仕様の明確化を図った。

2. 研究開発の内容

(1) 塗装乾燥炉の特性調査

図1は熱風式金庫型乾燥炉の構造と機能を示す。乾燥炉加熱熱量は炉体・吸気空気加熱量、放熱量などで決まり、吸気量を低減すると、乾燥炉加熱熱量は大幅に低減でき省エネ化が図れるが、炉内 VOC 濃度は労働安全衛生規則で対象 VOC の爆発下限値の 30% 未満にするよう規制されている。図2は乾燥炉排気濃度と成分の一例を示す。乾燥立上工程は塗料成分由来の VOC が排出され、乾燥定温工程は加熱による熱変性でホルムアルデヒドなどが増加し悪臭が発生する。



部品名	機能	加熱熱量比率(%)
①炉体	被塗物収納と気密性確保	30
②吸気	VOCの希釈空気導入	62
③循環	熱風ガスを炉内に供給	8
④排気	VOCとヤニ排出	-
⑤加熱源	炉体、吸気空気、循環空気の加熱	100

図1 乾燥炉構造と機能

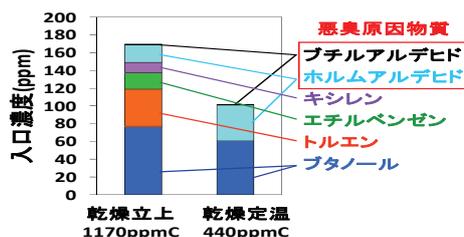


図2 乾燥炉排気濃度と成分

(2) 省面積化の検討

図3は処理装置の設置場所比較結果を示す。中小事業所では設置場所の確保が装置導入時の課題となるので、設置面積が不要な乾燥炉上部搭載形を採用した。

(3) 低圧損化の検討

図4は方式別の圧損比較結果を示す。TIRI 触媒は、触媒被毒となるヤニを VOC とともに 300℃ 前後で処理できるので、ヤニ処理材が不要で、低圧化で送風機動力の低減、省エネ化が図れる。

(4) 省エネ化の検討

図5は通常の処理装置のフローを示す。乾燥炉の排気ガスは触媒ヒータで加熱され、ヤニ処理材を経由して触媒槽で VOC を分解後、熱交換器で熱を利用して排出される。図6は開発装置のフローを示す。乾燥炉の排気ガスは触媒ヒータで加熱され、触媒槽で VOC 分解後、浄化高温ガスとなる。このガスの大部分を乾燥炉加熱循環用に利用する方式のため、乾燥炉の吸気量を低減しても炉内 VOC 濃度は高濃度にならず、残量を熱交換器で利用するので、乾燥ヒータ容量は小さくなり設備電力と運転電力の省エネ化が可能である。

方式	別置方式	開発方式
配 置	1F K, T 2F K, T ダクト	1F K
設置面積	△ (必要)	○ (不要)
装置流入温度	△ (ダクト放熱で低下)	○ (低下無し)
送風機動力	△ (ダクト圧損で増加)	○ (増加無し)
ダクト工事	△ (有り)	○ (不要)
評価	△	◎ (採用)

図3 設置場所比較

方式	従来方式(白金触媒)	開発方式(TIRI触媒)
ヤニ分解温度	450~500℃	300~350℃
ヤニ除去方法	前処理材に付着で分離	VOC分解温度とともに除去
前処理材抵抗	1600Pa(層高70mm)	0(前処理材無し)
触媒材抵抗	350Pa(層高200mm)	350Pa(層高200mm)
抵抗合計	1950Pa	350Pa

図4 低圧損化比較

研究開発体制



小島正行



萩原利哉



藤井恭子



水越厚史

リーダー 小島正行 都産技研
 参画研究者 萩原利哉、藤井恭子、水越厚史
 都産技研
 参画企業 日立プラント建設サービス株式会社

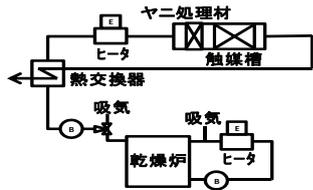


図5 通常装置フロー

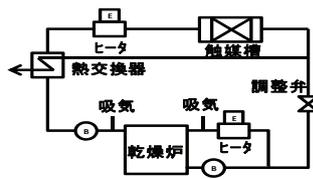


図6 開発装置フロー



図7 試作機外観

3. 研究開発の成果

図7の試作機(乾燥炉容積: 1m³、触媒ヒータ: 4kW、乾燥炉ヒータ: 6kW)に塗装試験片(W0.4×L0.5m)を数枚、充填して各種実験を行った。

(1) VOC 除去性能

図8上段はVOC除去性能試験結果を示す。入口濃度は乾燥5分後に1,150ppmC、乾燥立上終了間際に700ppmCとなり以後低下した。出口濃度は最大6.5ppmCで20分後以降は1ppmC以下となり平均除去率は99%以上であった。なお、計測はFIDで行った。

(2) 悪臭除去性能

表1は三比較式において袋法の結果を示す。出口の臭気指数15は住居地域で煙突を設ければ設置可能な臭気指数22以下である。

表1 TIRI 触媒脱臭性能

採取時間	検体名称	臭気濃度	臭気指数	脱臭効率	臭質
乾燥定温	入口ガス	13,000	41	—	樹脂のコゲ臭
	出口ガス	31	15	99.8%	かすかな刺激臭

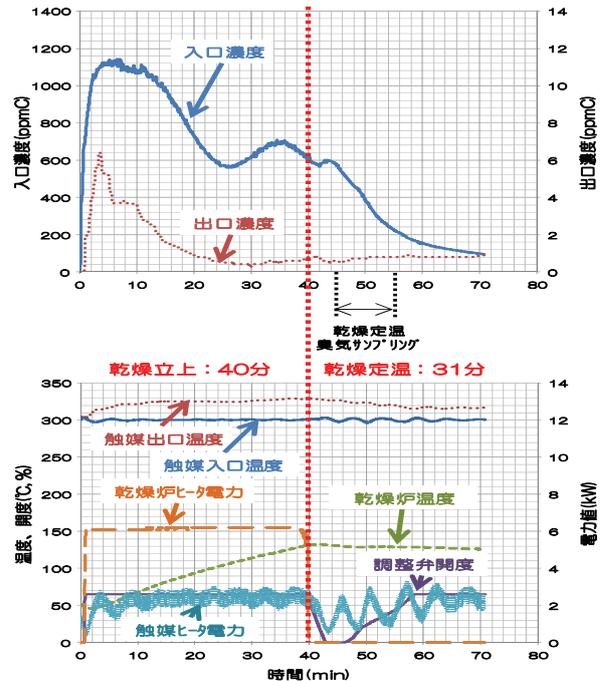


図8 乾燥炉排ガス処理結果

(3) 制御方法

図8下段は運転時の各種データを示す。触媒出入口温度が300°Cに到達後、乾燥炉内に塗装物を充填し、乾燥炉扉を開けて乾燥を開始した。触媒出口温度はVOCの触媒分解熱により30°C程度上昇、その間に、乾燥炉は乾燥ヒータと調整弁で制御される処理装置からの熱風で昇温され130°Cに到達した。乾燥定温工程では、乾燥ヒータはOFF状態で、調整弁は開度65~0%の間でPID制御され、触媒ヒータは4kW定格の約65%負荷でPID制御された。塗料を用いた実負荷時電力は、触媒反応熱により無負荷運転時より12%減で運転できた。

(4) 省エネルギー効果

表1は試作機をもとに検討した結果を示す。設備電力は従来方式112.2kWに対して、開発方式は54%低減の51.7kW、運転費は従来方式141.2万円に対して、開発方式は52%低減の68.7万円となった。開発方式の運転費(年)は乾燥炉単独43.5万円に対して25.2万円アップで、毎月約2.1万円で悪臭ガスとVOCの浄化が可能である。

表1 省エネルギー効果の比較

方式	A乾燥炉	B従来方式	C開発方式
構造	K	R	R
吸・排気量(Nm ³ /min)	5	5	MAX1
乾燥炉温度(°C)	180	180	180
処理風量(Nm ³ /min)	—	5	3
処理装置温度(°C)	—	450	300
設備動力(kW)	40.4 (36+2.2+2.2)	112.2(100) (36+2.2+63+11)	51.7(46) (13+2.2+31+5.5)
電気代(万円/年)	37.5	112.2(100)	48.7(44)
消耗品他(万円/年)	6	29	20
運転費(万円/年)	43.5	141.2(100)	68.7(48)

条件: 1. 乾燥炉容積: 5m³、2. 昇温時間: 60分、3. 乾燥時間: 80分、4. 稼働回数: 2回/日 × 260日/年、5. 電気代: 20円/kWh、6 気温: 20°C

4. 今後の展望

実塗料を使用した試作機での実験結果から、処理装置浄化ガスを乾燥炉に戻す方式と白金触媒に変わるTIRI触媒の採用で、当初の目標であるVOCとヤニの同時処理が可能で、省面積・省エネ・低維持費を満足できる結果となった。今後は、システムの簡素化による原価低減を行うとともに、触媒のヤニ耐久性などの信頼性向上を図り、製品の普及を進めていく。

1. 研究開発の目的

事業所から排出される VOC 削減方法にはインプラント（工程内対策）とエンドオブパイプ（VOC 処理装置の設置）があり、各事業所では事業形態に応じて対策中である。エンドオブパイプの処理装置は小型機と大規模事業所向に開発されたものが多く、中小企業向け処理装置の開発は遅れているのが現状である。本研究は中小塗装工場向けで、2005 年度、環境省の委託で東京都環境局他が実施した「中小企業向け VOC 脱臭処理装置のニーズに関するアンケート調査結果」のニーズである低濃度大風量や塗装ミストにも対応でき、設備・維持管理費が安価で、設置面積が小さいなどの要件を満たす処理装置の基本構造・仕様の明確化を図る。

2. 研究開発の内容

(1) 開発ターゲットと要件

表 1 に示すフェーズ I 結果による開発要件と塗装ブース排出ガスの下記特性から活性炭吸着材方式を採用した。

- ① 作業員の安全性確保の法規制から塗装ブース内換気風速が速いため、VOC 濃度は低く、発熱量も低い
- ② 塗料成分は顔料、樹脂分、溶剤から構成されているので排ガスには付着性ミストが混入している
- ③ 各種塗料が用いられているので排出ガス中の VOC 成分も多岐にわたる
- ④ スプレーガンによる ON・OFF 運転やガン洗浄で VOC 濃度は変動する

(2) 装置開発上の留意点

フェーズ II の処理装置開発においては下記に留意した。

- ① フェーズ I 結果の検証と課題抽出及びシステム比較による優位性の確認
- ② ミストが活性炭吸着部に流入すると圧損上昇と活性炭吸着性能低下となるので除去する方式検討
- ③ 設備導入費を安くするために工場製作一体搬入構造として現場工事を削減

(3) 装置構造案

上記留意点から装置構造として2案に絞りこんで研究を進めた。

A 案：ミストと VOC を個々に除去するフィルター部と活性炭吸着部を組合せた方式（図 1）

B 案：ミストと VOC を同時処理する活性炭プレコート方式（図 2）

表 1 開発要件

項目	内容
稼働日数（日/年）	260
稼働時間（h/日）	6
処理風量（ m^3/h ）	10,000
VOC 流入負荷（ $\text{kg}/6\text{h}$ ）	8（トルエン換算値：32ppm）
ミスト流入負荷（ $\text{kg}/6\text{h}$ ）	0.348
VOC 除去率（%）	50（トルエン換算値：16ppm）
ミスト除去率（%）	100
設置面積（ m^2 ）	3.3

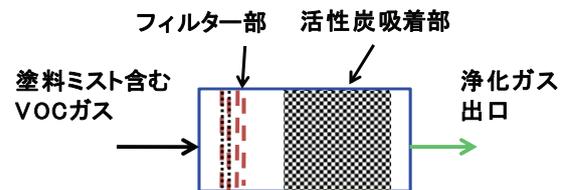


図 1 A 案方式

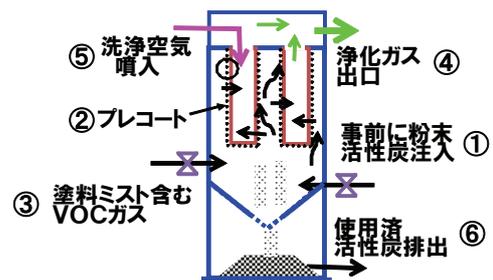


図 2 B 案方式

研究開発体制



小島正行



伊瀬洋昭



平野康之

リーダー 小島正行 都産技研
 参画研究者 伊瀬洋昭、平野康之 都産技研
 参画企業 日立プラント建設サービス株式会社

3. 研究開発の成果

(1) 塗装ミストの影響

塗装ブースのミスト捕集効率率は 95%前後のため、未除去ミストは後段に流出する。そこで、塗装ブースと活性炭吸着部を組合わせた試験装置を用いて塗料をスプレーガンにて 0.2 g/s(実機の 1/10 量)噴射して 20 分間通気した結果、圧損上昇は 600Pa であった(図3)。この時のミスト除去率は 100%、活性炭 VOC 吸着量は数%低下した。観察の結果、活性炭層上流面と空隙部に直径数 μm の球状でミストが付着していた。このことから、A 案方式ではミスト流入条件とリサイクル可能な金属フィルター(詳細は 26「金属繊維フィルターの開発」参照)性能から金属と繊維フィルターを組合わせた構造とした。

(2) VOC 処理性能

B 案方式実験装置(ろ過面積 0.5 m^2)を用いてトルエン含有ガスを通気し動的破過性能実験を実施した結果、処理後濃度が 16ppm を超える破過時間は約 200 分であった(図4)。流入負荷(処理前濃度は実機流入濃度の約 3 倍)と通気時間 200 分から実機では 10 時間運転に相当し、表1の要件である 6 時間をクリアできることが判明した。

(3) ミスト・VOC 同時処理性能

B 案方式実験装置と塗装ブースを組合せて(1)項と同条件で 13 分間通気した結果、圧損上昇は 80Pa、ミストとトルエン除去率は 100%であった(図5)。観察結果から、ミストは活性炭層(1 mm 未満)表面に薄っすらと付着している程度で活性炭層内部には到達していない。通気時間と流入負荷からミスト・VOC 同時処理でもクリアできることが判明した。

(4) 実機基本構造・仕様

実験結果により、設計検討した処理量 10,000 m^3/h の A 案と B 案の現状の装置基本構造・仕様を示す(表2、図6及び図7)。表1の要件に対して両方式とも処理性能、設置面積は満足する。本体価格は A 案より B 案のほうが安価であるが、更なる価格低減には LV(ろ過速度)向上・ろ過材最適化実験と原価低減及び標準化設計などの検討が必要である。処理装置導入による B 案維持管理費は木炭など安価な吸着材の採用や、現状塗装ブースフィルターをリサイクル可能な金属フィルターに交換することで低減が図れる。

4. 今後の展望

実塗料を用いた実験により現在までに得られた結果をベースに設計検討を行い、フィルター無しでミストと VOC の同時処理が可能な B 案を提案し、装置基本構造・仕様の明確化ができた。本研究により得られた成果を活用して、関連プラント・装置メーカーとユーザの連携による開発が推進されることを期待する。

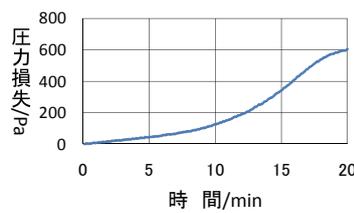


図3 塗装ミストの影響

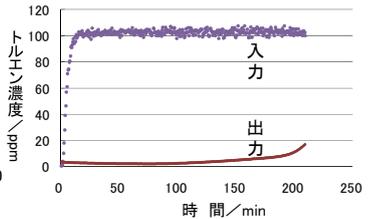


図4 VOC 処理性能

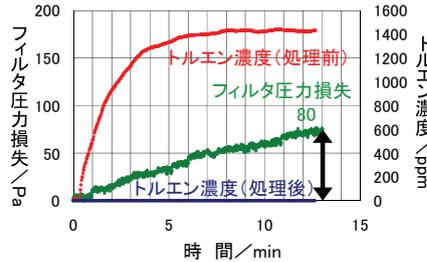


図5 ミスト・VOC 同時処理性能

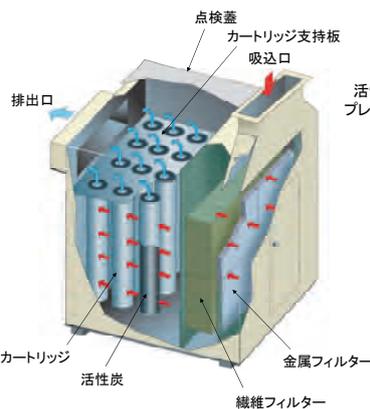


図6 A 案構造

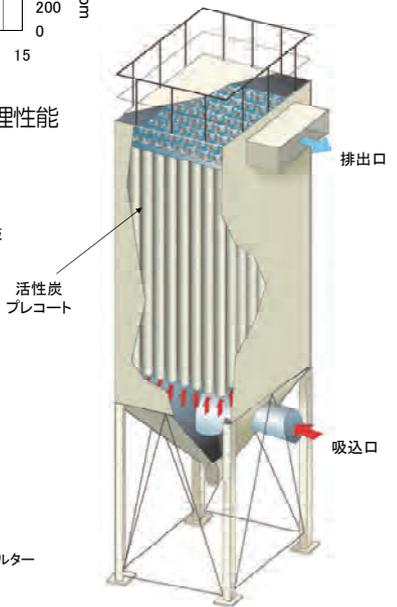


図7 B 案構造

表2 実機基本仕様

	A案方式	B案方式
構成	フィルター部+吸着部	円筒形ろ布
寸法 (m)	W1.7×L1.9×H2	□1.75×H6.75
設置面積 (m^2)	3.3	3.1
活性炭種類	破碎活性炭	粉末活性炭
LV (m/min)	15	1.5
SV ($1/\text{h}$)	11000	150000
設備圧損 (Pa)	2100	3800
設備動力 (kw)	15	20.7

1. 研究開発の目的

塗装工程から排出される VOC と塗装ミスト混じりの排気ガスは、塗装ブースのフィルターで塗装ミスト類を除去したあとに活性炭吸着法などで VOC を除去し大気放出されているが、フィルターの塗装ミスト除去率は 95% 程度なため、残存塗装ミストが活性炭吸着部に流入して十分な性能を発揮できない。この状況に対して、塗装ミストと VOC を効率的に除去でき省面積、省エネで安価な処理装置の開発が求められている。

そこで、中小塗装工場向けの省面積、省エネで安価なバグフィルター型 VOC・ミスト処理装置の製品化を目的に縮小モデル機を試作し、塗料による実負荷実験を行い基本構造・仕様の明確化を図った。

2. 研究開発の内容

設備価格が安価な活性炭吸着法において、VOC 吸着能力を維持しながら塗装ミストも同時除去できる安価な粉末活性炭 (ACP) とバグフィルターを組み合わせた処理装置の開発を行った。処理装置の縮小モデル機を試作して、ACP の処理性能を調査し、塗装工場への適用について検討した。

(1) 開発要件

有機溶剤中毒予防規則により、中小企業における塗装作業の換気量は $10000 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 程度であることが多く、表 1 に示す操業条件を標準とした。また、1 日に排出される塗装ミストの固形分量は、表 1 条件から 275 g d^{-1} と仮定した。

(2) 縮小モデル機

図 1 に示す縮小モデル機を試作し、不織布製バグフィルター ($\phi 155 \times H 257 \text{ mm}$) を 4 本固定し、粒度の異なる ACP をフィルター上流側に保持させ ACP の圧力損失、吸着率を測定した。表 2 に実験条件を示す。

バグフィルターの ACP 量を変化させ、ACP の圧力損失を測定した。また、縮小モデル機の $72 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ (線速度 $LV: 0.04 \text{ m s}^{-1}$) において、塗装ミストの固形分量 1.98 g は実稼働工場の 1 日分に等しく、ACP をバグフィルター上流側に保持させた後に、ミスト 2.14 g を付着させ、ミストによる圧力損失を測定した。 $36 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ ($LV: 0.04 \text{ m s}^{-1}$) での実験も 2.14 g の付着量とした。

トルエンガス 100 ppm を ACP へ導入し、ACP 通過後の濃度が 15 ppm に到達するまでトルエンを通気させ、トルエン導入量と ACP 量から吸着率を求めた。また、ACP 量を変化させ、吸着率の変化も調査した。

表 1 塗装工場の操業条件モデル

換気風量	$10000 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$
操業時間	6 h d^{-1}
塗料種	アミノアルキド樹脂塗料
塗料消費量 (シンナーを含む)	15.8 kg d^{-1}
塗着効率	$40 \text{ wt}\%$
塗装ブースの種類	乾式ブース
乾式ブースの塗装ミスト除去効率	$94.2 \text{ wt}\%$
塗料固形分比率	$50 \text{ wt}\%$, (白色)

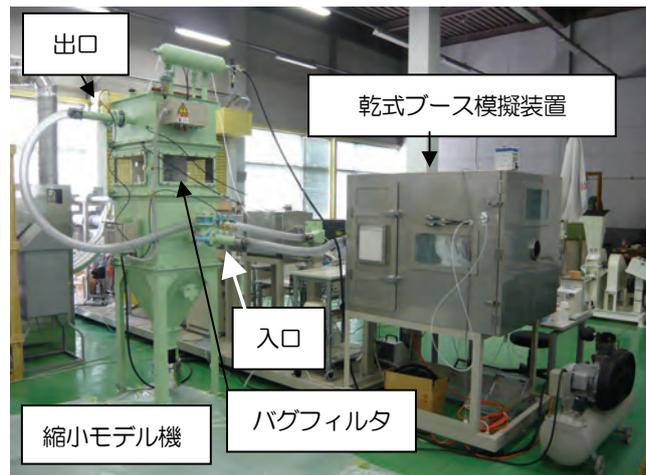


図 1 縮小モデル機

表 2 圧力損失測定の実験条件

活性炭層面積 m^2	0.5	
風量 m^3h^{-1} (LV: m s^{-1})	36 (0.02), 72 (0.04)	
使用活性炭 メジアン径 μm	PG-1PD	19
	PG-1PD(B)	37
	PG-1PD(C)	67

研究開発体制



小島正行



伊瀬洋昭



平野康之

リーダー 小島正行 都産技研

参画研究者 伊瀬洋昭、平野康之 都産技研

3. 研究開発の成果

(1) ACP の圧力損失

図2にACP保持量と圧力損失の関係、図3にミスト付着による圧力損失の変化を示す。使用する粉末活性炭の粒径によって圧力損失を低下できる事が明らかになった。

(2) ACP のVOC処理性能

図4にトルエン吸着率とACP保持量の関係を示す。ACP保持量が増加すると吸着率は低下した。この原因はACP量増加により活性炭層は不均一な厚さとなり、流れに偏りが生じ、抵抗の少ないACP層部を通過するガスが多くなったためと考えられる。

(3) 実機的设计

実機のLVを 0.04 m s^{-1} と設定し、実機の設置面積を 3.3 m^2 以下とした場合、実験で使用した外径 0.155 m 、4本でのバグフィルター設置面積 0.233 m^2 から、長さ 2.55 m のバグフィルター56本を $W1.76 \times L1.86 \text{ m}$ 内の平面内に装備する設計となる。

$LV0.04 \text{ m s}^{-1}$ の吸着率の設計値は、図4から、PG-1PDは、およそ30~25wt%の範囲であるので最小の25wt%を用い、同様にPG-1PD(B)は20wt%、PG-1PD(C)は10wt%とそれぞれ設定し、1日の必要なACP量を次に求めた。1日のVOC処理量は 7.9 kg であるから、PG-1PDを使用する場合は 31.6 kg 、PG-1PD(B)は 39.5 kg 、PG-1PD(C)は 79 kg 必要になる。ACP保持面積は 69.4 m^2 であるからACP量はそれぞれ表3に示す値となる。ACP量から圧力損失はそれぞれ図2及び3から推定され、表3の値となる。

圧力損失と吸着率から使用するACPはPG-1PD(B)が適し、実機の圧力損失は 1.3 kPa と設計される。バグフィルター型VOC処理装置仕様を下記にまとめる。

- ①風量: $10\,000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$
- ②装置設置面積: 3.26 m^2
- ③バグフィルター本数 ($\Phi 0.155 \times 2.55 \text{ m}$): 56本
- ④粉体保持面積: 69.4 m^2
- ⑤粉末活性炭量 39.5 kg d^{-1} (使用メジアン径 $37 \mu\text{m}$)
- ⑥装置圧力損失: 1.3 kPa

4. 今後の展開

実塗料を用いた実験により、現在までに得られた結果をベースに設計を行い、従来装備されていた塗装ミストフィルターなしでミストとVOCの同時処理が可能な方法を提案し、装置基本構造・仕様の明確化ができた。また、粉末活性炭を使用したバグフィルター型VOC・ミスト同時処理装置は、需要が多い設置面積 3.3 m^2 以内に設置可能であることも分かった。今後は、バグフィルターの外径やバグフィルター間の距離等の最適化と標準設計による原価低減や塗装工場のフィールドデータ取得による耐久性、信頼性の確認が必要である。

表3 吸着率の設定による必要保持量と圧力損失

型番	吸着率 wt%	粉末活性炭保持量 g m^{-2}	粉末活性炭圧力損失 kPa	塗装ミスト付着後の圧力損失 kPa
PG-1PD	25	455	5	0.4
PG-1PD(B)	20	569	1.3	0.1
PG-1PD(C)	10	1138	1	0.15

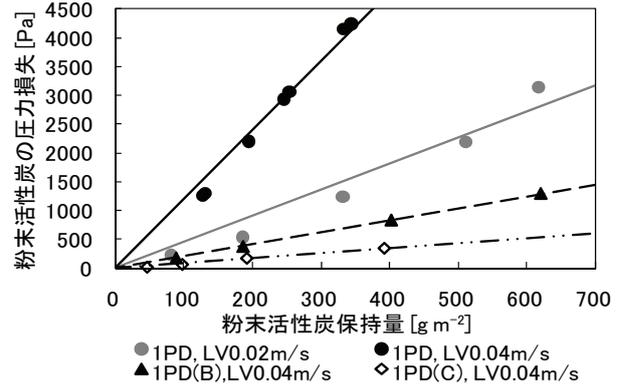


図2 粒度ごとの粉末活性炭保持量と圧力損失の関係

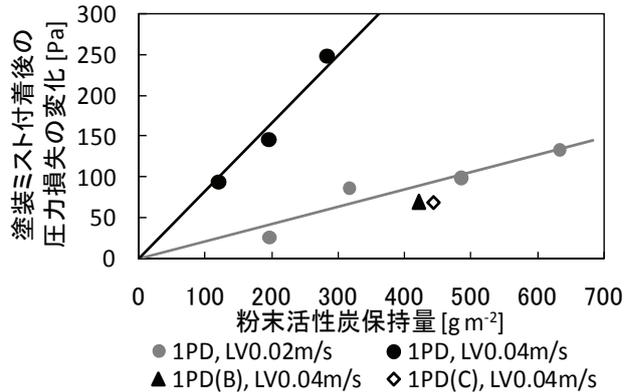


図3 ミスト付着による粉末活性炭の圧力損失の上昇

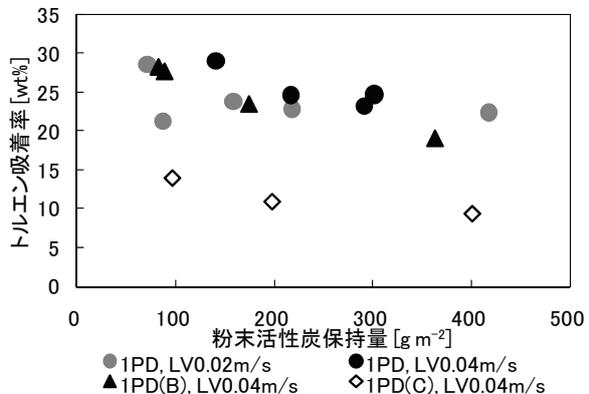


図4 粉末活性炭保持量とトルエン吸着率の関係

1. 研究開発の目的

VOCの削減技術・低減技術には、吸着法や分解法など多くが検討・実施されている。本研究では、分解法の一つとしてプラズマを用いたガス浄化方法に着目した。この方法では、プラズマ放電場中（プラズマ空間内）に処理対象のVOCガスを導入することで、VOCがその場で分解されるため運用が簡単である。また、処理効率を向上させるため、貴金属（白金、パラジウム、ロジウム等）の触媒を併用することもある。問題点としては、装置の小型化を検討する必要があること、分解時の副生成物対策を考慮することが挙げられる。

これらを踏まえ、大気圧プラズマ励起と触媒活性を時間的に共存させた化学反応器（Plasma Assisted Catalytic Technology: PACT）¹⁾を基礎とし、改良により小型化とVOC分解効率向上を図る²⁾ことを目的とした。また、可変要因の定量的把握を行い、広範囲な濃度と風量への対応可能性と、副生成物の抑制を検証した。

研究の成果をもとに、低濃度（～100ppm）、低風量（～2Nm³/m）条件下での分解率50%以上を達成し、オフィスや病院等でも使用できる、VOC等の小型有害ガス処理装置を実現することを目標とした。

2. 研究開発の内容

化学反応器の分解効率向上のため、プラズマ発生用電極及び電源の改良を行い、電源装置の出力改善と電極の面積積化により従来の6倍の出力を有する試作機を作製し、図1に示す簡易ガス分解評価装置を用いて検証した。

電極は、プラズマ励起と触媒活性との相乗効果を効率化するため、図2に示す構造とした。すなわち、プラズマ発生電極の表面に触媒材料を担持し、処理対象ガスがプラズマと触媒に同時に接触するように工夫した。

図3に、VOCの一種である酸化エチレン（滅菌ガスとして医療機関で用いられる）の分解特性を評価した結果を示す。ブロックダイアグラムに示すように、簡易ガス分解評価装置の内部に100ppmの濃度となるようにボンベから酸化エチレンガスを供給した。このときの初期濃度をガス



図1 簡易ガス分解評価装置

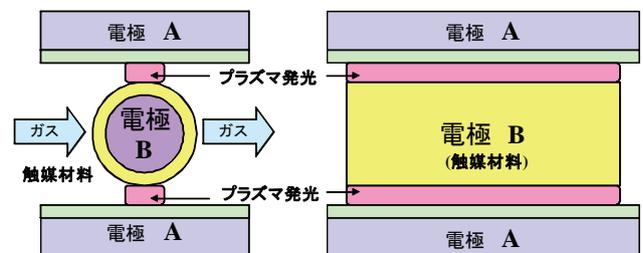


図2 プラズマ発生電極の模式図

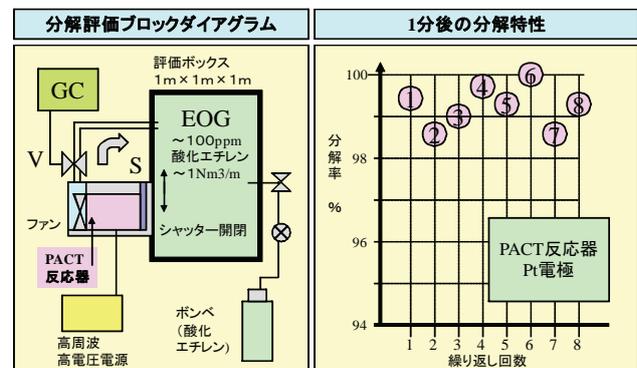


図3 酸化エチレンの分解評価ブロックダイアグラムと、処理開始1分後の分解結果

研究開発体制



林 佑二



三尾 淳

リーダー 林 佑二 インパクトワールド(株) 代表取締役
 参画研究者 三尾 淳 都産技研

クロマトグラフにより測定した。その後、1分間シャッターを開けて分解処理を行い、再び濃度を測定して分解率を算出した。図3右の測定結果から、8回の評価でいずれも分解率98%を上回っており、迅速かつ効率よく環境を浄化できることが確認できた。

プラズマによるVOC分解で発生する副生成物のうち、特にオゾンについて検証を進めている。現在までに、化学反応器の運転条件を種々設定することでオゾンの発生を抑制することを試みており、低減の可能性を見出している。

3. 研究開発の成果

図4は、本研究の成果をもとに開発した医療用ガス分解装置の、実用化機である。本装置は、「プラズマと触媒が共存する環境を作り出す技術」PACTをキーワードにして、低濃度・小風量条件下でのVOC、特に医療用滅菌ガスの酸化エチレンガスを高効率で分解・浄化が可能な医療用ガス分解装置として販売を開始した³⁾。

表1にこの装置の主な仕様を示した。一般の家庭用コンセントに接続可能であり、机上にも設置できるサイズとしている。本装置はプラズマと触媒の相乗効果を引き出すため、電極に印加する電圧は可変とした。なお、放電部の電極表面には白金触媒を施している。

図5に、開発した医療用ガス分解装置により酸化エチレン分解特性を示す。ステンレス(SUS)電極よりも白金触媒電極において分解速度が速く、短時間で法規制値(1ppm以下)を達成できることが分かる。この処理時間は最速で1分以内を実現可能である。

【参考文献】1) 米国特許 5474747 (1995年). 2) 特願 2009-204833.

3) インパクトワールド株式会社ホームページ、URL：
<http://www.impact-world.jp/>

4. 今後の展開

平成20年12月24日に、関東経済産業局長から中小企業基盤整備機構新連携補助金の「新連携コア企業」(課題名「プラズマ・触媒融合技術による有害ガス浄化サービスの事業化」)に認定された。本研究により開発したガス分解装置を事業の中心に据え、種々の環境における有害ガス処理を視野にいたした活動を開始している。

平成22年度には「第23回中小企業優秀新技術・新製品賞」に応募、奨励賞及び産学官連携特別賞を受賞した。現在、開発した装置は10社と商談中である。



図4 開発した医療用ガス分解装置

表1 開発した医療用ガス分解装置の仕様

項目	仕様
用途	亜酸化窒素、酸化エチレン
風量(m ³ /分)	最大 2 m ³ /分
入力	AC 100V
消費電力(W)	300W
寸法(mm)	W280 D320 H390
質量(kg)	10.0
メンテナンス	フィルター類

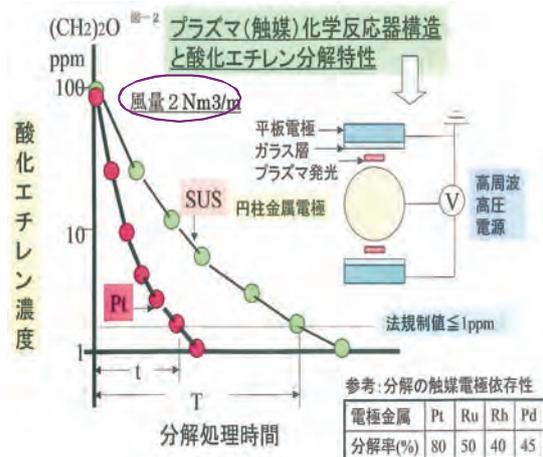


図5 開発した分解装置の特性

1. 研究開発の目的

既存の塗装ブースに設置可能な低コストの VOC 排ガス処理装置の具現化のために、吸脱着処理が同時に行われる従来の処理装置を吸着装置と脱着装置とに分離して運用できるシステムの実現を試みている。吸着と脱着の各工程を分離し、塗装ブース（排出サイト）では吸着工程のみとすれば投資負担を軽減でき設置面積を抑制できることと、活性炭等吸着体に吸着された VOC を専門工場等（処理サイト）で一括して脱着できれば脱着効率を向上できるという可能性を秘めている。しかしその一方で、本システムでは、活性炭等の吸着材の輸送手段が必要となることから、輸送コストを低減するための新たな解決策が求められることになる。輸送手段まで含めた表題のリサイクルシステムを、エネルギーパフォーマンスを最小化した分離処理システムで樹立しようとするものである。そのために VOC 処理装置向けのセンシング技術の構築と、センシング対象となる処理装置を模擬し、連続的に吸着試験が実施可能な、吸脱着試験装置の実現を目的として研究開発を進めた。

2. 研究開発の内容

対象とする塗装ブースでは、塗装ミストを含んだ平均濃度 700ppmC(トルエン換算 100ppm)の VOC ガスが、断続的に排出される。

基本的な吸着装置の構成は、塗装ブースからの廃棄ガスを活性炭等の吸着材で吸着して浄化するというものとなるが、吸着材の前後に VOC センサを設置し、前置の VOC センサは、吸着材への VOC 吸着量を計量する。そして、後置の VOC センサは、吸着材が破過していないかどうかを検出する。これら両者によって、吸着材の破過に至るまでの予想時間と、装置が確実に機能しているかどうかを確認でき、吸着材の輸送コストを抑えることが可能になる。

その際に問題となるのは、塗装ミストあるいは連続運転によってセンサの劣化が進行することであり、①「センサの異常を検出するための手段」が必要となる。また、測定対象濃度に有効となる低コストの VOC センサは、現段階では半導体型センサに絞られるが、図 1 に示す試験装置によってセンサの出力電圧をサンプリングした結果、半導体型センサは大気の状態によってゼロ点が変わるとともに、電源供給直後あるいは VOC ガス投入後の浄化ガスによるゼロ点への復帰時間が図 2 のとおり極めて長いため、②「ゼロ点の予測とキャリブレーション時間の短縮方法」が必要となる。

さらに、長時間に渡ってセンサの性能を確認するには、実際に吸着材の前後にセンサを取り付け、連続的に VOC ガスを発生させて吸着させるのと同時に、吸着材を再生する脱着機構を備えた③「自動流路切替えが可能な吸脱着試験装置」が必要となる。以上①～③の課題を解決するため、実験装置の設計と実装を行った。



図 1 初期のセンサ試験装置

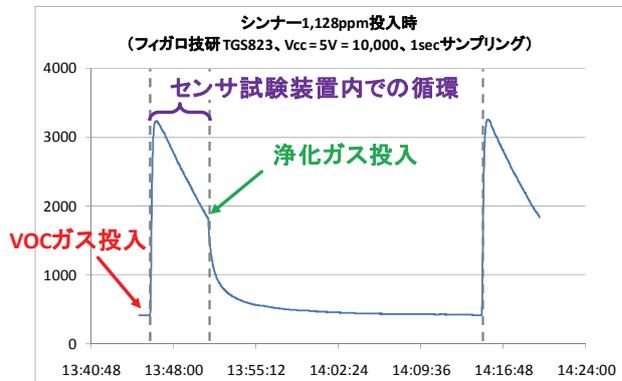


図 2 VOC ガス投入後の半導体型センサの挙動

研究開発体制



森川 潔



武田有志



佐藤俊彦



佐取 朗

リーダー 森川 潔 株式会社モリカワ代表取締役社長
 参画研究者 武田有志 都産技研
 佐藤俊彦 都産技研（現 株式会社モリカワ）
 佐取 朗 前立教大学大学院教授

3. 研究開発の成果

課題①に対して開発したセンシング機構は、VOC センサが 2 つ設置されており、片方のセンサで吸着材への VOC ガス投入量を常時計量し、他方のセンサで吸着材からの浄化ガスを計測する。また、プログラミングされたバルブにより流路を切り替えることで、吸着材への VOC ガスを 2 つのセンサで同時に計測でき、2 つのセンサレベルを比較することでセンサの劣化状況を監視できる仕組みになっている。流路に取り付けるセンサに対しては、防爆、かつ、交換が容易、そして、信号劣化抑制のため、A/D 変換チップを内蔵可能な SUS 製のプラグ式ネジ込み治具を開発した (図3)。

課題②における半導体型センサの立上り/立下り時間については、センサ出力に対して過渡解析を行った結果、表 1 に示す a) 及び b) の 2 つの曲線が得られた。これらの曲線が得られたことで、最小二乗法を適用することにより、センサの出力値が安定するまで待つ場合と比べ、誤差が 5%未満であれば、立上り時間は 0.555 倍、すなわち、1.80 倍、立下り時間は 0.0176 倍、すなわち、56.8 倍の速さでセンサの到達値を予想可能である。

課題③に対して開発した吸脱着試験装置は、吸着材が充填される 2 つの吸脱着塔並びに流路切替えバルブから構成されており、すべての主要なバルブは右側にある制御盤から電気的に開閉することが可能となっている (図4)。装置は、一方の吸脱着塔が吸着している間に、もう一方の吸脱着塔が脱着できるようにプログラムすることができ、吸着材前後の VOC ガス濃度を連続的に長時間、繰り返してセンシングすることが可能である。本装置は、VOC センサの耐久試験に利用できるだけでなく、吸着材の繰返し吸着性能を測る、あるいは、吸脱着塔の形状を変えての圧力損失を計測できる装置となっている。

以上の結果、VOC 処理リサイクルシステムのための、半導体型センサを備えた低コストの VOC 処理装置実現の可能性が開けた。

【参考文献】 1)特開 2009-210455. 2)特開 2009-125670.

4. 今後の展開

VOC 処理リサイクルシステムの実現には、以上に述べた吸着工程だけでなく、脱着工程にも目を向ける必要がある。脱着工程では、輸送コスト削減のため吸着材での残存 VOC ガスを如何にして減らすかが重要な課題となる。そこで我々は、過熱蒸気による高効率脱着と、その際に問題となる水と VOC の混合液を分離する方法について、現在、継続的に研究を進めている。脱着工程におけるセンシングでは、高濃度の VOC ガスが発生するため、接触燃焼式センサを利用する等の改善が必要になる。センシング技術はシステムの自動化だけでなく、PRTR 制度における排出量管理の上で重要な要素であると位置づけしており、包括的な VOC の回収・リサイクルを行うグリーン・サービサイジング事業へと発展させ、その立ち上げを目指している。

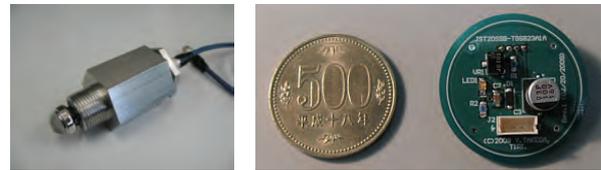
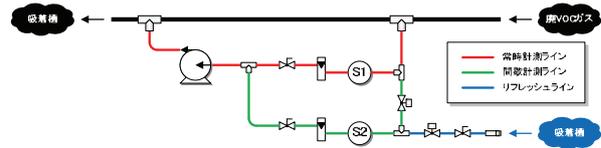


図3 開発したセンシング機構とセンサプラグ

表1 センサレベル取得までの時間短縮率

a) 立上り (VOC ガス投入後) の応答曲線

$$V_{out}(x, t) = G_{gas}(x) \times (1 - e^{-t/\tau}) + V_{out}(t_0)$$

b) 立下り (浄化ガス投入後) の応答曲線

$$V_{out}(x, t) = V_{out}(t_0) - G_{air}(x) \times (1 - e^{-\sqrt{t}/\tau})$$

誤差	立上り時間 (時間短縮率)	立下り時間 (時間短縮率)
5%未満	5秒 (0.555)	25秒 (0.0176)
3%未満	5秒 (0.555)	98秒 (0.0690)
1%未満	9秒 (1.000)	443秒 (0.3120)



図4 開発したセンシング環境となる吸脱着試験装置

1. 研究開発の目的

VOC は大気汚染だけでなく土壌汚染をも引き起こし、製造業やクリーニング店の事業転換及び工場建替え等の阻害要因となっている。土壌汚染の約半分がテトラクロロエチレンやトリクロロエチレンなどの VOC であり、重金属（六価クロム、鉛、水銀など）に匹敵する汚染の広がりを見せている。東京の指定区域は土地面積の小さいものも多く、鍍金業の 17 m² を最小に、大半が 1,000 m² 以下である。また、住宅やオフィスなどと近接した土地が多く、隣接する道路の幅も狭いことから掘削除去が困難な場合が多い。そこで、大掛かりな土木工事が不要で、維持管理も容易な狭小サイト向け土壌浄化装置の開発を目的とした。

2. 研究開発の内容

従来の VOC 汚染土壌浄化装置を図 1 に示す。地下に漏洩した VOC は、土壌間隙中の原液、ガス、地下水中原液、溶解分として存在する。従来の浄化装置は、土壌間隙中のガスを吸引し、活性炭が充填されたタンクに通気するものである。ガス中の VOC は活性炭に吸着され、浄化された空気が排出される。土壌間隙中の VOC ガスが排除されることにより、土壌間隙中の VOC 原液、地下水に溶解した VOC は土壌ガス中に移行する。これにより、土壌間隙中の VOC ガスのみならず、VOC 原液、地下水中の VOC も除去される。この浄化装置は主に、吸引井戸、真空ポンプ、活性炭吸着槽から構成される非常に簡易なものであり、狭小サイトに適している。しかし、活性炭の交換が必要であることと、使用済み活性炭の運搬途中における VOC の漏洩が懸念されている。

開発技術は、活性炭吸着槽の代わりとして、光触媒による VOC 分解槽を用いるものである。光触媒の作用を図 2 に示す。光触媒に紫外線などのエネルギーを与えることによって空気中の酸素はスーパーオキシドイオンに変換する。スーパーオキシドイオンは強力な酸化剤であり、VOC を分解することができる。光触媒のエネルギー源としては紫外線ランプが一般的であるが、高価であるためケミカルランプ、蛍光灯の使用を試みた。同時に、代表的な光触媒である酸化チタンに加え、近年可視光応答型として開発が進められている酸化タングステンについても検討した。

また、光触媒による VOC 分解を一次反応と仮定すると、分解前の VOC 濃度が高いほど単位時間当たりの VOC 分解量が多くなり、設備をコンパクト化できる可能性がある。そこで、光触媒による分解の前処理として、吸着材による濃縮を試みた。

研究開発体制



宮林哲司 小坂幸夫 杉森博和 藤井恭子 紋川 亮

リーダ 宮林哲司 株式会社日立プラントテクノロジー
 参画研究者 小坂幸夫、杉森博和、藤井恭子、紋川 亮
 都産技研

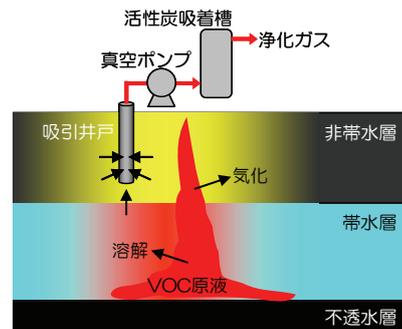


図1 従来の VOC 汚染土壌浄化装置

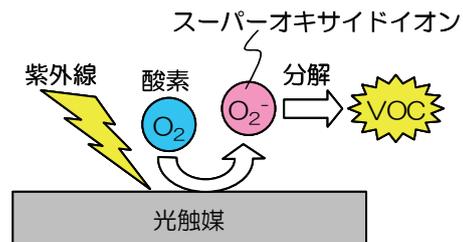


図2 光触媒による VOC の分解

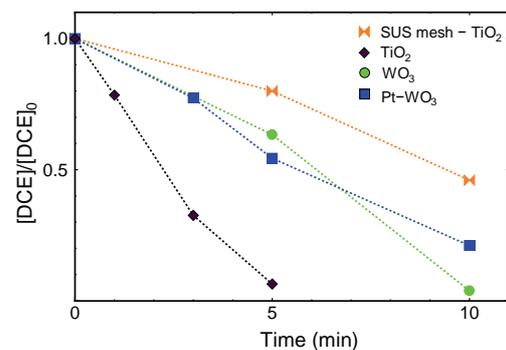


図3 光触媒による cis-DCE の分解
 (光源：ケミカルランプ)

3. 研究開発の成果

(1) 装置の目標仕様

本プロジェクトのVOC処理装置の目標である、設置面積3.3 m²以下、価格300万円以下を達成するためには、できるだけ市販品を利用することが必要であり、主機となる触媒分解塔の仕様を以下のように設定した。

- ・分解塔形状：250Aパイプ、高さ1.5m×8塔
- ・光源：40W直管ランプ、長さ1.2m×1本/塔

また、ドラム缶1本分のテトラクロロエチレン（PCE）が存在する汚染サイトを5年以内に浄化するためには、式①で示される分解速度が必要である。

$$C = C_0 \cdot e^{-0.75T} \quad \text{①}$$

ここで、C：PCE分解目標値（30 ppm）、C₀：PCE初期濃度（仮定値100 ppm）、T：分解時間（min）、0.75：分解速度定数である。

(2) 光触媒と吸着材の基礎性能

光源、触媒を選定するため、静的環境におけるcis-1,2-ジクロロエチレン（cis-DCE）分解実験を行った。結果を図3に示す。市販の酸化チタン（TiO₂）や酸化タングステン（WO₃）を利用することにより、cis-DCEを効率的に分解できることを確認した。また、処理装置に実装するために、TiO₂を電気泳動電着法にてステンレス繊維に固定し、同様の実験を行った（SUS mesh-TiO₂）。

触媒分解塔をコンパクトにするためには、土壤ガスを濃縮することが有効である。そこで、PCEを吸着させた各種吸着材について、温度に対するPCE脱着挙動を検証した。熱重量測定-FTIR発生ガス同時分析（TG-FTIR）を用いて解析した結果を図4に示す。PCEの脱着に要する時間を比較すると、合成高分子系及びシリカ系吸着材が活性炭に比べ脱着性に優れ、80℃という比較的低温で脱着が可能であることを明らかにした。

(3) サイト実験結果

実際の土壤汚染サイトで実施した小型触媒分解塔を用いた実験の様子を図5に示す。Glass FiberにTiO₂を固定したもののPCE分解速度定数は1.57であり、目標値を満足することができた。

4. 今後の展開

今後製品化に当たっては、実寸の触媒分解塔を用いた長期実証実験、及び吸脱着塔の連続実験による経済性や寿命などの確認が必要である。

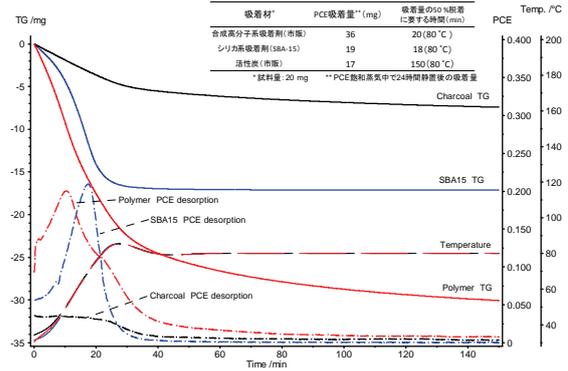


図4 各種吸着材のPCE脱着特性
(室温から2K/minで昇温、80℃で保持)



図5 サイト実験の様子

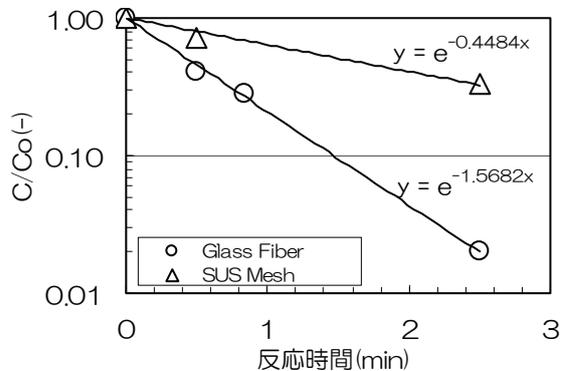


図6 サイト実験におけるPCE分解

1. 研究開発の目的

中小塗装工場では、エアガン等を用いて塗料を高圧で吹き付け塗装を行う場合、塗料の一部が雰囲気中にミストとして飛散する。この塗料ミストを捕集する従来のフィルターは、ポリエステル繊維やガラス繊維などからなる不織布を加工したものをしていた。しかしながら、塗装ミストは樹脂成分が多いため、捕集後のフィルターの再生処理は難しく、殆どは埋立てや焼却処分されている。このため、再生して繰り返し使用することができるフィルターが求められている。

そこで、本研究ではフィルターの繰り返し使用を考慮して、1,000℃以上の耐熱性を有する金属繊維を使用し、その繊維で捕集効率が高い不織布構造の編物を考案し、フィルターへの活用を試みた。さらに、塗装ブースシミュレータを用いて、模擬的に塗料を噴霧して、市販品と開発品のフィルターによるミスト捕集効率の評価を行った。

2. 研究開発の内容

(1) 交燃糸及び金属繊維フィルターの開発

耐熱性金属繊維には、線径 30 μm と 60 μm の金属線を使用した。収縮糸には、編成・熱水処理後に生じる 50% 以上の強い収縮や、沸騰水処理後に耐熱性金属繊維 100% の組成にするため、水溶性ピニロン繊維で高収縮タイプの糸とした。燃糸機には、積極的に燃りをかけられるリング加燃機構を有する合燃糸機を用い、耐熱性金属繊維と水溶性収縮繊維の交燃糸を試作した (図1)。

編機の給糸装置は、糸のビシやカール発生の抑制及び安定した給糸を行うため、ビリ防止の装置を使用した。さらに、編み針は耐久性を考慮して DLC 加工を施し編成を行った (図2)。編物の収縮及び水溶性糸の溶解には、小判ダライを用いて、浴槽に浸漬し熱水及び沸騰水処理を施した。

(2) フィルター性能試験

フィルター性能試験は、実際の塗装を模擬した方法で行った。図3の性能評価装置は、塗装ミスト発生部、ミスト捕集用フィルター性能試験部、VOC 吸着材性能試験部、風量計測部、風量調整部などからなり、可変な条件での測定を可能とした。

塗装ミスト発生部に難燃性のクラフト紙からなる 1 次フィルターを 2 枚設置した。ミスト捕集フィルター性能試験部に試験用フィルターを設置した。スプレーガンを用いて塗料を噴霧した後、1 次フィルターを通過したフィルター上流側のミストと、試験フィルターで捕集され、これを通過したフィルター下流側のミストにより、ミスト捕集効率や圧力損失を測定した。



図1 金属繊維と収縮繊維の交燃糸



図2 収縮処理前の金属繊維編物



図3 フィルター性能評価装置

研究開発体制



樋口明久



堀江 暁

リーダー

樋口明久 都産技研

参画研究者

堀江 暁 都産技研

富岡 孝宏、木村 英雄

日本バイリーン株式会社

3. 研究開発の成果

(1) 金属繊維フィルターの開発

撚り数や水溶性収縮糸本数と収縮率の関係を検討した。その結果、撚り数 400 回/m 以下、収縮繊維が 1 本以上であれば、熱処理後に交撚糸を 50%以上収縮可能であった。交撚糸で編成した後、熱水処理を施すことで面積が 30%収縮され、高密度化が図れるとともに、収縮繊維の収縮力により金属繊維が不規則に変形して、不織布のフィルターを模擬した網目状の構造が形成された (図4)。

(2) 金属繊維フィルターの性能

①線径及び積層枚数と捕集効率の関係

線径、積層枚数などを変化させた金属繊維編物を、風速 3m/sの条件で塗装ミストを捕集したときの捕集効率を検討した。結果を図5に示す。金属繊維編物は、細線化や積層枚数の増加にともない、捕集効率や圧力損失が増加する傾向を示した。また、未収縮の金属繊維編物の捕集効率が低い値を示した。これは、収縮による変形、高密度化に加え、細線化や積層枚数の増加により、慣性衝突の回数が増加して、高い捕集効率を示したと考えられる。

②市販フィルターとの比較

7枚積層した金属繊維編物と市販品の不織布フィルターを比較した結果を図6に示す。開発品は、高捕集効率を有する市販品Aと比較して、捕集効率は低い値を示したが、使い捨てフィルターである市販品BやCのフィルターと同程度の捕集効率を有していた。

また、風速 1m/sでのフィルターの上流側と下流側のミスト粒度分布は、1次フィルターを通過したフィルター上流側のミストは、バラツキが見受けられるが、0.4~11 μm に分布し、2.1~3.3 μm のものが多かった。通過したミストにおいては、分布の山が細かい粒径に移行する傾向を示した。なお、1次フィルター通過前の塗装ミスト (スプレーから噴出するミスト) は主に 10~80 μm に分布している。

③再生後のフィルター性能

ミスト捕集後の金属繊維編物について、トルエンを使用し再生処理を施し、同一条件 (風速 1m/s、7枚積層) で、フィルター性能の再試験を行った。その結果、再生後も捕集効率の低下は認められなかった (図7)。

4. 今後の展望

本研究により金属繊維を活用した不織布構造を有する編物の製造に成功した。開発品をフィルターに使用することで、塗装工場から排出される大量の塗装ミストを効率良く捕集でき、しかも、フィルターごと再生することで、繰り返し使用が可能であった。現在、企業へのライセンス及び技術移転を図っており、今後は塗装業界などへの普及を進めていく。

さらに開発品は、無機繊維や収縮繊維の材質を、使用用途に合わせて選択することで、多種多様な用途に供することが可能であり、フィルター以外に、燃焼バーナー用マットや断熱材、燃料電池用部材などへの応用が期待できる。

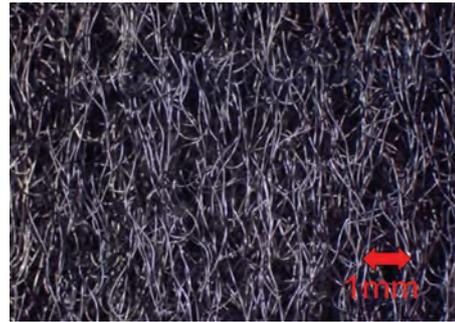


図4 収縮後の金属繊維フィルター

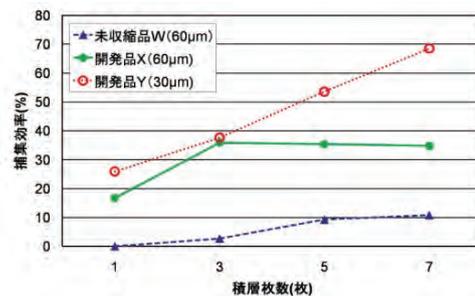


図5 線径と積層枚数と捕集効率の関係

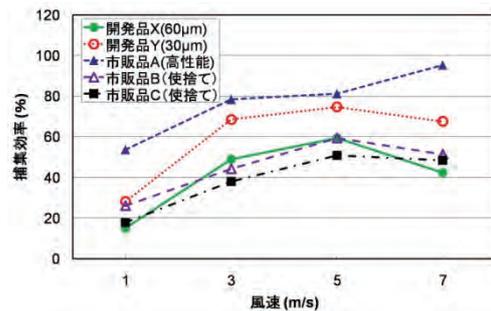


図6 市販品と開発品の捕集効率の比較

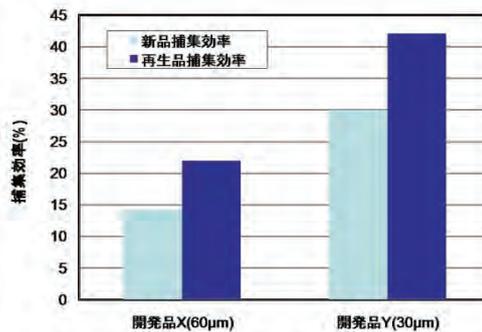


図7 再生処理前後の捕集効率の比較