凝縮を併用した光触媒法による高性能オイルミストおよび臭気成分除去

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 井上, 照雄, 野口, 裕史, 大西, 元, 多田, 幸生, 瀧本, 昭 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/29504

日本冷凍空調学会論文集
Trans. of the JSRAE
Vol.27, No.2 (2010)
原稿受付：2009年11月18日

論　　文

凝縮を併用した光触媒法による高性能オイルミストおよび臭気成分除去

Removal of Oil-mist and Odorous Component by a Using Photochatalyst With Condensation

井上　照雄*　　野口　裕史**　　大西　元***
Teruo INOUE　　Hirofumi NOGUCHI　　Hajime ONISHI
多田　幸生***　　瀧本　昭***
Yukio TADA　　Akira TAKIMOTO

* 金沢大学大学院自然科学研究科　(920-1192 石川県金沢市角間町)
Graduate School of Natural Science & Technology, Kanazawa University
(Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa 920-1192)
**トヨタ自動車株式会社（471-0857 愛知県豊田市トヨタ町 1 番地）
Toyota Motor Corporation (1, Toyota-machi, Toyota, Aichi 471-857)
*** 金沢大学理工研究域機械工学系　(920-1192 石川県金沢市角間町)
College of Science & Engineering, Kanazawa University (Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa 920-1192)

Summary

The air cleaning is one of the social problems from the view of the living environment and the health recently. A commercial kitchen and food factory generate the exhaust gas including the odorous components and the oil-mist, but it is difficult to clean this gas without frequent maintenance for disposal of oil. Various ideas have been suggested and used for it, but the decisive solution has not been found yet. This paper is concerning of proposal of the photocatalyst method which used the condensation together to clean the gas including oil-mist and odorous component. and it was clarified experimentally about the influence of operation condition and surface shape of the condensation side for the removal of oil-mist and the odorous components of formaldehyde, amine and ammonia.

Key words : Air cleaning, Condensation, Photocatalyst , Oil-mist, Deodorization

1．緒　言

近年，温暖化の影響を中心に地球規模の環境問題の改善が緊急，重要課題となる一方，身近な安心・安全な暮らしを求めるべく，大気汚染や悪臭等の空気質への関心も高まっている．これら大気汚染及び悪臭の大半は，産業の発展や都市化により発生した大気中の浮遊微粒子が原因であり効率的な除去・回収は重要な課題[1)]となっている．最近では，食品工場やサービス産

Fax:+81 76-234-4743　E-mail:t-inoue@stu.kanazawa-u.ac.jp
Paper presented at 2009 JSRAE Annual Conference, October 20-24th, 2009, Tokyo, Japan

業の厨房などの排気ガスの悪臭苦情も増加傾向にある．しかも，これらの排気ガスはアルデヒドや硫化水素等の有害物質が含まれているにも拘わらず，対策が追いつかないのが現状である．

これら食品工場や厨房等から発生する排気ガスは，魚肉臭やたまねぎ等の食材の加熱などで揮散する臭気成分と焼き物やフライ等の油調理の際に発生する油煙（以下オイルミストと称する）が多く含まれていて，この厨房からの排気ガスを脱臭するには，臭気成分と共にこのオイルミストを除去する必要がある．

一般的に，オイルミストは排気ダクト入口に設置されたグリスフィルター等で除去されるが，特にフライの調理から発生するオイルミストは粒径 0.01～0.5 μm の[2] と微細でもあり，オイルミストを除去することは技術的・経済的に高レベルで高価なものとなる．現在，食品工場や厨房排気ガスの清浄化システムとして，フィルター方式や吸着方式などの脱臭システムが提案，実用化[3-4] されているが，オイルミストの油脂成分がフィルターや吸着剤表面に付着して短期間で機能低下する．そのため，付着した油脂成分に対しての定期的なメンテナンスが必要となることから，より高機能で効率的なオイルミスト回収技術の開発が要望されている．

著者らは，これまで浮遊微粒子などやガス状汚染物質の除去技術[5-7]に関して，凝縮を併用した新 UV 光触媒方式として光触媒凝縮液膜法を提案し，その有効性を明らかにしてきた．本研究は，この凝縮によるガス吸収効果と光触媒の酸化分解，親水性の機能[8] を利用した空気清浄化システムの，さらにオイルミストを含む厨房排気ガスに対する有効性とその運転条件の影響などについて，実験的に追求したものである．

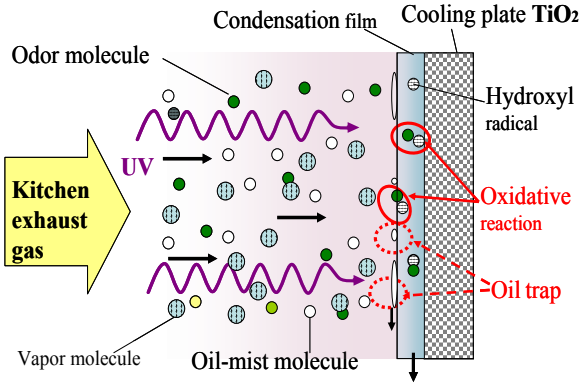


Fig. 1　Mechanism of Gas cleaning

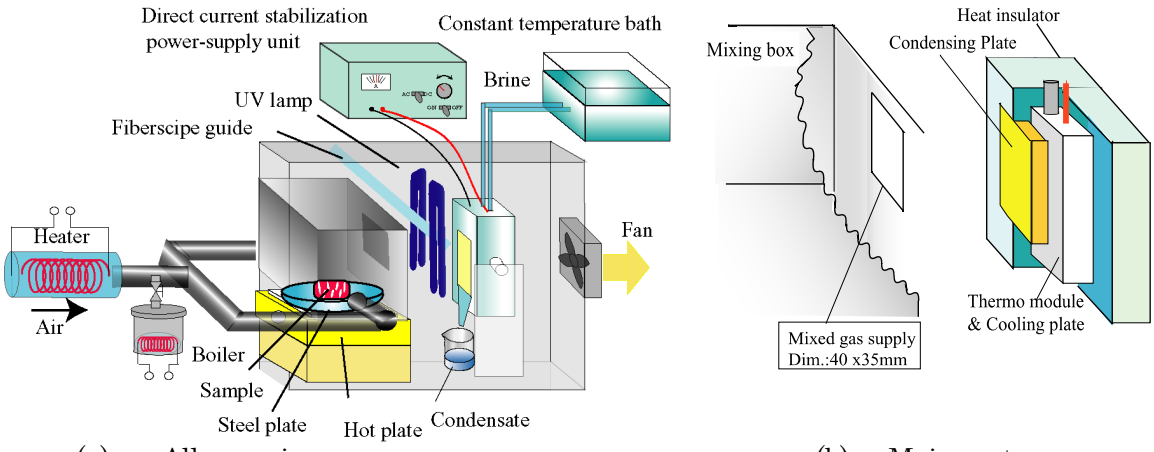
2．システムの概要

提案システムの概要を Fig. 1 に示す．本システムは冷却した酸化チタン薄膜をコーティングした冷却面へ臭気成分・オイルミストなど含む排気ガスの中の水蒸気を壁面凝縮させると共に臭気成分を凝縮液膜へ吸着させ，UV 光触媒の OH ラジカルにより酸化分解する．同時に，オイルミストは拡散運動により壁面凝縮液膜上に付着・凝固し，凝縮液と共に回収するところに主たる特徴がある．

具体的には，臭気成分を含むオイルミストと温度，濃度を調整した水蒸気とからなる混合気を冷却した UV 光触媒面に接触させ凝縮させる．この凝縮過程で UV 光触媒の親水化作用により冷却面全面に凝縮液膜が形成され，その後，凝縮液として回収する．この時，光触媒処理されていない冷却面での凝縮液は，オイルと水の不溶性や冷却面の表面張力などにより滴状凝縮形態で流下するに対して，UV 光触媒面ではその親水化作用により冷却面全面に水分の凝縮液膜が形成され，オイルミスト（油脂分）はより多く液膜表面に付着・凝固する．一方，臭気ガス成分は凝縮液膜表面での気相拡散輸送により凝縮液膜中に吸収拡散し，UV 光触媒の OH ラジカルの酸化分解作用により，水と二酸化炭素に変換されオイルミストと共に凝縮液として回収される．

3．実験装置と方法

実験装置の概要構成を Fig. 2 (a) に示す．排ガスとして水蒸気に臭気成分ガスとオイルミストを混合し供給する試料加熱部・混合ガス生成部，供給された混合ガスを凝縮・酸化分解作用を行う光触媒凝縮面と凝縮面温度を制御する電子冷却装置からなる Fig. 2 (b) に示す実験装置主要部，および光触媒効果を発現させる紫外線照射部及び各種測定系から構成される．主要部はアクリル製壁の空間内（高さ:300mm, 幅:165mm,



(a) All over view (b) Main parts

Fig. 2 Experimental Apparatus

長さ：400mm）に設置されている．冷却面寸法はAタイプ（高さ：50mm，幅：50mm）とBタイプ（高さ：40mm，幅：35mm）を使用し，光触媒面は純銅板にTiO_2を厚さ0.3μmでスパッタリングコーテイングしたものであり，波長が360nm付近にピークを持つ紫外線ランプ（三共電気社製6W-FPL6BLB）で，強度I_w=1.5mW/cm^{2}の紫外線を照射することで光触媒効果を発現させた．

実験は，試料として豚肉脂身のミンチをホットプレートによりオイルミスト回収試験では5gを10min.，脱臭試験では20gを15min.，一定温度h=300℃で加熱しオイルミストを発生させ，その臭気成分と共に水蒸気に添加混合する．混合試料ガスを主流温度T_g＝60℃一定のもと，主流蒸気濃度C_v＝60～80%RH，に調節し，混合ガス供給口より主流速度U＝0.6，3.1m/sec，流量Q=0.00084，0.00434m^3/sec で，混合ガス供給口より60mmの距離に設置した表面温度T_w＝0～30℃の所定条件に設定された光触媒冷却面に衝突させ，脱臭・脱オイル後，清浄空気として排出される．

測定は，オイルミスト回収速度，凝縮速度および脱臭速度について行った．まず，オイルミスト回収速度M_oについては，予め蒸留水にオイルと表面活性剤をそれぞれ定量混合し白濁化した液体を分光光度計（島津製作所製SPECTONICS 20A）により検定曲線を作成し，一定時間回収した凝縮液に表面活性剤を混合攪拌し分光光度計により測定・検定した油脂濃度より回収量を算出した．凝縮速度M_vは冷却面で凝縮・流下した凝縮液を採取し，電子天秤（島津製作所製AUW220）で重量を測定し，前述のオイルミスト回収量を差し引き，測定時間より算出した．凝縮液膜厚さδは冷却面に付着した凝縮液を吸取紙により採取し，電子天秤（島津製作所製AUW220）で重量と冷却面の面積より平均凝縮液膜厚さとして算出した．また，脱臭速度については，装置出口の排気ガスをガスバッグに回収，その中のホルムアルデヒド(図中記号for)，アミン(ami)，アンモニア(amm)の各成分に対してガス検知管によって測定を行い，光触媒装置の動作有無のデーターから脱臭率η_Dを算出した．

4．実験結果と考察

4.1 光触媒凝縮液膜法と凝縮法との比較

本研究で提案するUV光触媒に凝縮を併用した「光触媒凝縮液膜法」(図中記号Ti）と冷却面

Table 1 Operation conditions

T_g	60 ℃
C_{vin}	60 , 80 %RH
T_w	0 , 15, 30 ℃
U	3.1 m/sec
Q	0.00434 m^3/sec
Specification of condensing plate	A-type Height:50mm, Width:50mm Surface: flat

のみによる凝縮法（図中記号 Cu）の比較として，主流温度 Tg と凝縮面温度 Tw の差 ΔT （$=Tg-Tw$）と凝縮速度 Mv の関係についての比較を Fig. 3 に，この実験の操作条件を Table 1 に示す．

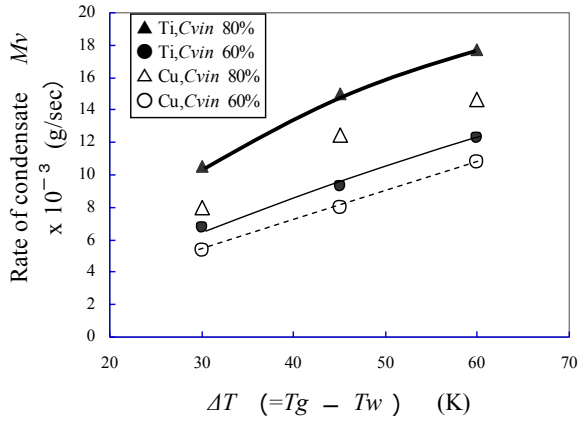


Fig. 3　Rate of condensation of photocatalysts(Ti) and condensation method(Cu)

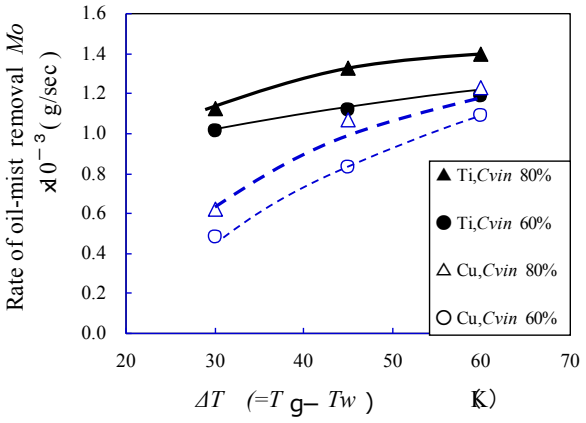


Fig. 4　Rate of oil-mist removal of photocatalysts(Ti) and condensation method(Cu)

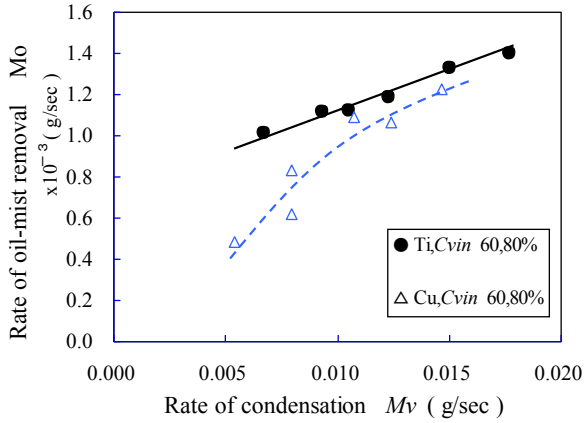
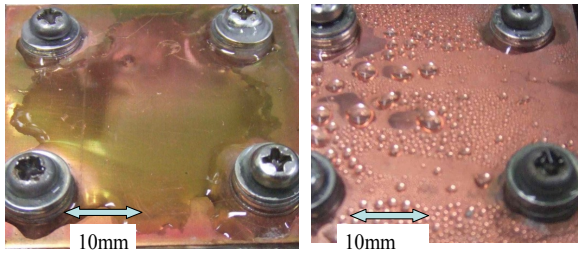


Fig. 5 Relation between rate of oil-mist removal and rate of condensation

この図より，凝縮速度は光触媒凝縮液膜法および凝縮法ともに，ΔT が 30～60K の範囲では凝縮速度が ΔT の増加とともに増加するが，黒シンボルで示す光触媒凝縮液膜法が約 115～130%とより高い値を示している．このことは UV 光触媒の親水化作用により凝縮液膜が光触媒面全面に形成され，凝縮が促進されたためと考えられる．

次に，オイルミストの回収速度 Mo と ΔT との関係および凝縮速度との関係を Figs. 4 および 5 にそれぞれ示す．Fig. 4 の結果より，オイルミスト回収速度は，同 ΔT 範囲において ΔT の増加と共に増加傾向にあり，光触媒凝縮法の方が約 110～210%高い結果を示す．それも ΔT が大きくなると，その差は小さくなっている．

同様に，Fig. 5 の凝縮速度との結果についても光触媒凝縮液膜法では，オイルミスト回収速度は凝縮速度に対して凝縮法より高いレベルで一次的に増加するが，凝縮法では凝縮速度が小さい領域で回収速度が大幅に低く，凝縮速度が増すにつれ，回収速度が増加して光触媒凝縮液膜法のレベルに漸近している．これは光触媒凝縮液膜法の場合，前述の様に，凝縮液膜が光触媒面全面に形成され，オイルミストが付着・凝固して回収速度が向上するものと言える．一方，凝縮法の場合，凝縮速度が小さい領域では生成された凝縮液の凝縮形態は表面張力により液滴状態となり，オイルミストが付着・凝固するのに必要な凝縮液膜面積が少なくオイルミスト回収速度も低いレベルであるが，凝縮速度が増すにつれ付着液滴が増加し液滴同士の合体結合によって凝縮液膜表面積も増加し，オイルミスト回収速度が増加したものと考えられる．



Phtocatalyst with condensing method (a)　　Condensing method (b)

Tg :60℃,　$Cvin$:60%RH,　Tw : 15℃

Fig. 6　Observation of condensate

Fig. 6 (a),(b)に凝縮面の代表的な凝縮の様相を ΔT=45 K，蒸気濃度 $Cvin$=60%RH の操作条件での光触媒凝縮法(a)と凝縮法(b)を比較して示す．これより，凝縮法は凝縮面全面に液滴状態を呈するのに対して，光触媒凝縮液膜法は光触媒の親水化によりほぼ全面濡れ状態になっており，オイルミストが凝縮液面に付着するために必要な凝縮液膜面積が十分確保されていることが理解できる．これらのことから，光触媒凝縮液膜法の方が凝縮法と比較して，主流温度，蒸気濃度が同じ気流では，凝縮速度は大きく，オイルミスト回収速度も優れており，また凝縮速度増加に対しても，オイルミスト回収速度が一次的に推移する．特に，凝縮速度が小さい操作条件においてオイルミストの回収に対して凝縮法より有利であることがわかる．

次に，Fig. 7 に脱臭性能について，ホルムアルデヒド，アミンおよびアンモニアの臭気成分の脱臭率 η_D に対する光触媒凝縮液膜法と凝縮法を比較して示す．ΔT が 30～60K の範囲では，ΔT が増加すると脱臭率も増加し，蒸気濃度が 60%RH の場合約 155～245%，80%RH で約 145～180%と凝縮法に対して，光触媒凝縮液膜法の方が良好な結果になっている．また，凝縮速度に対するホルムアルデヒドの臭気成分の脱臭率 η_D の関係，および凝縮速度と凝縮面での凝縮液膜厚さ δ との関係を Fig. 8 に示す．これより，凝縮法では，凝縮速度が増すと凝縮液膜厚さが増加し，脱臭率も高くなっている．一方，光触媒凝縮法の場合，脱臭率は凝縮法の約 150%まで増加するが，凝縮液膜厚さは約 0.19mm 以上増加していない．この薄膜化の維持により，凝縮速度促進と共に臭気成分凝縮液膜内への拡散輸送の促進と，吸収された臭気成分の光触媒による効果的な OH ラジカルによる酸化分解により，脱臭率が高くなったものと考えられる．

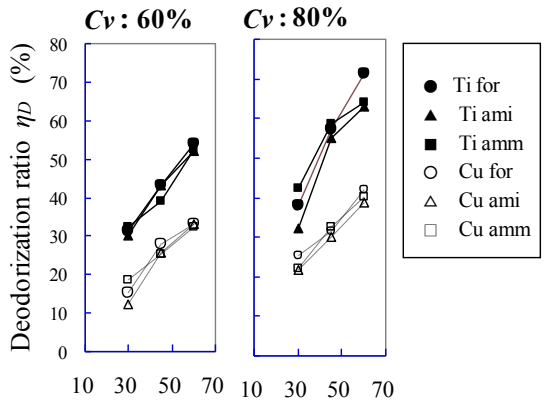


Fig. 7　Deodorization ratio of Photocatalysts and Condensation method

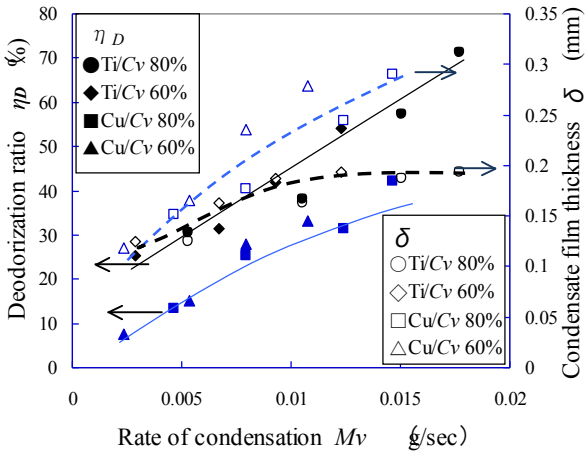


Fig. 8　Deodorization ratio and condensate film thickness

4.2 光触媒面の形状による影響

オイルミスト回収に対する光触媒表面形状の影響について，凹凸形状の表面張力による伝熱

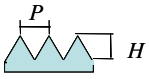
Table 2　Operating conditions

Tg	60 ℃
$Cvin$	60 , 80% RH
Tw	0 , 15, 30 ℃
U	0.6 m/sec
Q	0.00084 m^3/sec
Specification of condensing plate	B-type Height:40mm, Width:35mm Surface: Table3

Table 3　Dimension of fin surface

	Height (mm)	Pitch (mm)	Area (mm²)
flat	―――	―――	1400
Fin #1	2.0	2.0	3127
Fin #2	3.0	3.0	3127

H:Height
P: Pitch



効果[9]と光触媒の親水性の視点よりフィン形状を評価した．Table 2 に実験操作条件を，Table 3 に光触媒面の諸元を示す．本研究での主流速度の条件としては形状の影響の検出及び厨房排気の面風速の低速域での設置をも考慮して，U=0.6m/sec とした．また Fin#1 と Fin#2 はフィンの高さ H とピッチ P の関係が相似形であり，同一実表面積である．

これらフィン付面と平滑面の計 3 種の光触媒

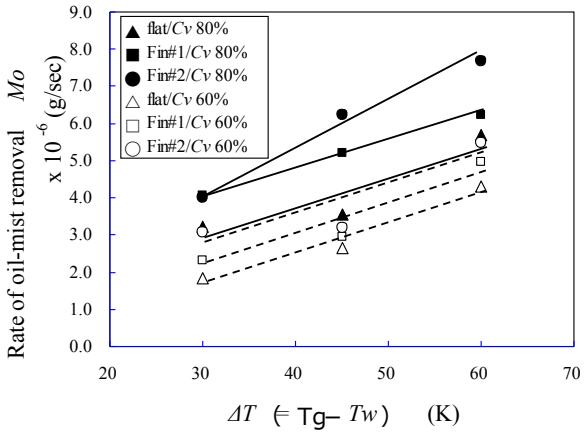


Fig. 9 Rate of oil-mist removal for fin surfaces

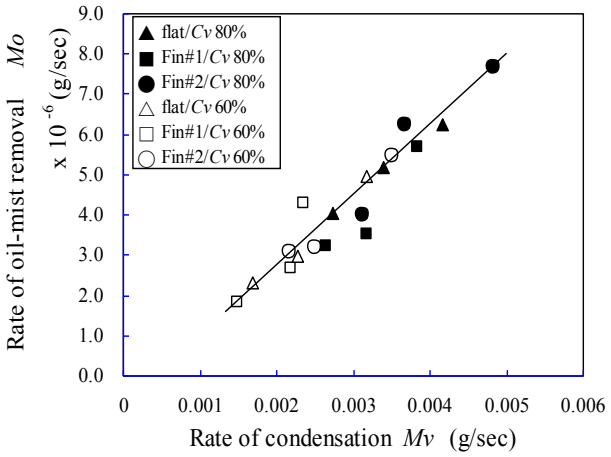


Fig. 10 Relation between rate of oil-mist removal and rate of condensation

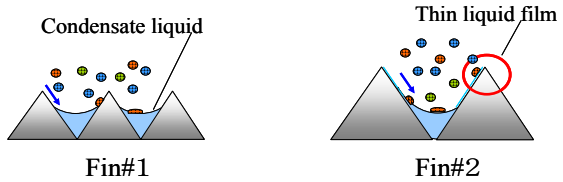


Fig. 11 Cross section of fin groove during condensing (Conceptual diagram)

の表面形状を用いたオイルミスト回収速度と ΔT との関係を Fig. 9 に，凝縮速度との関係を Fig. 10 にそれぞれ示す．Fig. 9 より，オイルミスト回収速度は，ΔT が 30～60 K の範囲では平滑面に比較して，Fin#1 では約 110~130%，Fin#2 で約 120~175%とフィン付面の方がより大きいことがわかる．また，オイルミスト回収速度と凝縮速度には，Fig. 10 に示すように表面形状に無関係にある一定の関係が成り立っており，オイルミスト回収に対する重要な知見を与えるものと言える．

これらのことから，オイルミストは光触媒冷却面の凝縮液膜表面で凝縮凝固して凝縮液と共に回収されるが，フィン形状は表面積の増加に加えて，凝縮液の表面張力によってフィン溝底部への移動，及び光触媒面の親水化作用によるフィン山部での凝縮液膜の薄膜化の影響による凝縮速度が増加することにより，オイルミスト回収速度が高くなったものと考えられる．

また，Fin#1 と Fin#2 の溝形状の比較においては，同じ表面積にも拘わらず Fin#2 が高い回収速度を示している．これは光触媒の親水性により，光触媒面全面に凝縮液膜が形成されると共に，Fig. 11 に示すように凝縮液は表面張力によりフィン溝底部へ移動し流下する[9]．この場合 Fin# 1 は溝寸法が小さいため，凝縮速度が増すと凝縮液が溢れる状態となりフィン効果が少なくなるが，一方，Fin#2 の場合溝が大きく凝縮速度が増加しても，フィン山部で凝縮液の薄膜部の表面積が確保され，フィン効果が有効に作用し凝縮速度が促進されオイルミスト回収速度が高くなった結果と考えられる．

次に，脱臭性能として排ガス中のホルムアルデヒド，アミン，およびアンモニアの臭気成分について臭気濃度より評価した結果を示す．Fig. 12 に，ホルムアルデヒド脱臭率について凝縮速度との関係を示す．脱臭率は，凝縮速度が増すと向上し，平滑面の場合で約 40%，Fin#1 で約 60%，Fin#2 で約 80%まで達し，その後ほぼ一定で推移する傾向を示す．また，Figs. 13, 14 に示すアミンおよびアンモニアの各臭気成分の脱臭率も，ホルムアルデヒドとほぼ同様の傾向を示す．これについては，凝縮液膜へのオイル

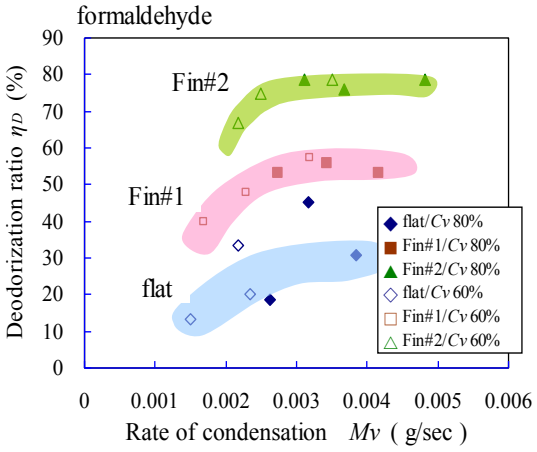


Fig. 12 Relation between deodorization ratio and rate of condensation

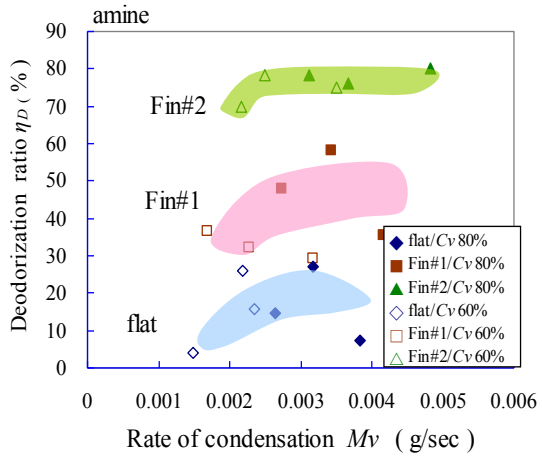


Fig. 13 Relation between deodorization ratio and rate of condensation

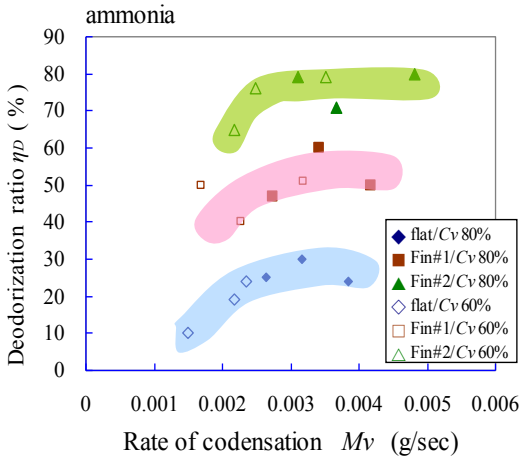


Fig. 14 Relation between deodorization ratio and rate of condensation

ミストの回収と同様に，伝熱面をフィン形状としたことにより，光触媒面積が増加したこと，および表面張力による凝縮液の移動と光触媒の親水性によるフィン山部の薄膜化が促進されたことによるものと考えられる．特に Fin#2 では凝縮液膜の薄膜の占める面積が Fig.11 に示すようにより大きくなるため，同じ凝縮速度においても，臭気成分の液膜内光触媒面への効果的な拡散輸送量の増加ならびに触媒面上でのより大きい OH ラジカル酸化分解力により，脱臭率が向上したものと考えられる． また，凝縮速度の増加にともない，いずれの脱臭率もある一定に漸近する傾向を示すことについても，上述の理由からフィンの寸法効果より，フィン山部の薄膜部の面積が多く，凝縮全表面積に対する比率が高いことにより，凝縮速度が小さくても高い脱臭率となり，その後凝縮液膜の薄膜が維持され、一定で推移したものと考えられる．

すなわち，凝縮速度の増加により光触媒面上の凝縮液膜厚さが増加し，液膜中に吸収され拡散する臭気成分の光触媒による OH ラジカルとの反応速度が低下することになるが，光触媒面をフィン付き面とすることにより，光触媒の親水性による凝縮液膜薄膜化の表面積が十分確保され，高効率な反応速度を得るより効果的な手段であると言える．

以上の結果から，光触媒凝縮液膜法は凝縮法と比較して，凝縮液膜の生成促進によりオイルミスト回収効果，光触媒による臭気成分の酸化分解性能と凝縮液膜の薄膜化により，その効果が促進されていることが明らかにされた．また光触媒面のフィン形状の採用はオイルミスト回収および臭気成分の除去に対して効果を示すとともに，脱臭性能と凝縮速度の関係において，最小凝縮速度，すなわち最適操作条件の存在を示唆し，オイルミストを含んだ排気ガスの清浄化に対し有効な方法であることが明らかになった．

5．結　論

空気清浄化システムによる厨房排気ガスからのオイルミストおよび臭気成分除去への有効性

について実験的に追求を行い，以下の結果を得た．

（１）厨房排気に含まれる油脂分としてのオイルミスト回収において光触媒凝縮液膜法は凝縮法に比してより優れている．

（２）光触媒凝縮液膜法での凝縮液膜厚さと凝縮速度の関係が明らかにされた．

（３）オイルミスト回収速度と凝縮速度には，表面形状に無関係に一定の関係が成立する．

（４）オイルミスト回収速度，脱臭性能に対する光触媒表面形状の影響が明らかにされた．

（５）厨房などのオイルミストを含む排気ガスの空気清浄化に対して，本方式が有効である．

文　献

1） 藤本武利：エアロゾル研究，**14 (1)** ,19-26 (1999)

2） 荻田俊輔，近藤靖史，吉野一，古山光彦，藤田美和子：空気調和･衛生学会大会学術講演論文集，627-630，長野,（2006）

3) 環境省環境管理局大気生活環境室編：「ひと目分かる脱臭装置選択ガイド」2003 年版，10-11，東京（2003）

4） 増田淳二：生活衛生，**50 (5)**, 307-312, (2006)

5） 瀧本昭，多田幸生，大西元，宮田好司：第 40 回日本伝熱シンポジウム講演論文集 793-794，2003-5　広島（2003）.

6） 瀧本昭，多田幸生，大西元，塩地博：第 41 回日本伝熱シンポジウム講演論文集，53-54，富山,（2004）.

7） A.Takimoto, Y. Tada, H.Onishi, K.Miyata：Thermal Science & Engineering，**12**,51-521 (2004)

8） 橋本和仁, 藤嶋昭著:図解光触媒のすべて，工業調査会，　東京（2003）

9) 平沢茂樹，森康夫，土方邦夫，中山亘:機論（B 編），48（427），527-535，(1982)