



室内空気中におけるアルデヒド除去用 空気清浄機の開発

Development of an Air Cleaner for Removal
of Aldehydes in Domestic Air

加藤宣文^{*}, 苅部文夫

Norifumi KATO^{*} and Fumio KARIBE

As the draught proofing and insulation of the internal environment of modern houses has been improved, it is becoming recognized that chemical substances generated from interior finishing materials have an influence on human health. Some of the compounds that are implicated in the chemical substance allergy represented by "Sick-building/house syndrome" are aldehydes, carboxylic acids and volatile organic compounds (VOCs). It is necessary to remove such chemical substances to achieve a comfortable indoor environment. At present, ventilation and bake-out are the measures commonly used. However they can be affected by external factors such as weather condition, and require a considerable time to reduce the pollutant generation. An advanced air cleaner, which utilizes chemical filtration and dehumidifying techniques, and which is not affected by external factors was developed to remove these chemical substances. In this study, the performance of the air cleaner in the removal of aldehydes and carboxylic acids were tested. The results showed that it was able to remove the chemical substances efficiently by a combination of dehumidifying and chemical adsorption effects. Moreover, the addition of a bake-out gave an increase in removal efficiency. It is concluded that the advanced air cleaner was able to utilize the comfortable indoor environment in a short time. In this paper, the performance of the air cleaner is discussed.

1 緒 言

近年、住宅における高气密、高断熱化が進み、室内空気の換気量が制限されるため¹⁾、床材、壁材等の内装材から放散する化学汚染物質の濃度が室内空間中で上昇し、人に不快感を与えたり、人体に影響与える等の問題に発展している²⁾。特にホルムアルデヒド等の揮発性有機化合物(VOC)は、「シックビルディング/シックハウス症候群」との関連が示唆されている³⁾。竣工後まもない建築物では、内装材からの化学物質の放散量が多い事が確認されている。それらの化学物質を除去する方法として、現在では室内温度を強制的に上げることにより、内装材から放散量を増加させ(以下ベークアウトと表す)、換気により除去する方法が用いられている⁴⁾。上記の除去方法に対して、本研究では室内汚染化学物質対策用の空気清浄機を開発し、化学物質を強制的に除去する方法を提案した。空気

清浄機による除去方法の利点として、換気を行わなくとも空気清浄化が可能な為、気象条件等の外的要因に影響されずに効率良く除去することが可能である。本研究で開発した空気清浄機は、除湿機と過マンガン酸塩を含んだ化合物を使用したケミカルフィルターを組み合わせた空気清浄機である。組み合わせをすることにより、除湿とケミカルフィルターの効果で高い除去効率を発揮することが可能になる。また、使用している浄化剤は、酸化反応と中和反応の二通りの反応形態を持っており、室内環境中の化学物質を高効率で除去することが期待できる。そこで本研究では、「シックビルディング/シックハウス症候群」の起因となる主な化学物質⁵⁾、アルデヒド類としてホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、カルボン酸としてギ酸、酢酸を対象物質として空気清浄機の性能を調べた。今回は、実際の集合住宅の一室を使用し、実大モデルでの実験を行った⁶⁾ので報告する。

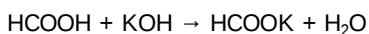
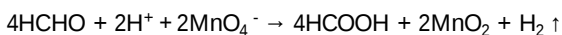
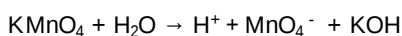
2 実 験

2.1 実験装置

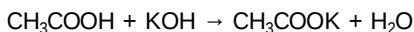
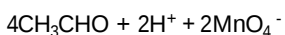
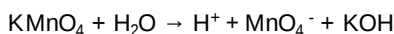
装置の概略をTable 1に、装置図をFig.1に示す。装置の通気面は275×275mmで、処理風量はケミカルフィルター装着前で125m³h⁻¹、装着後で43.6m³h⁻¹であった。除湿機は冷媒としてR12を使用した。除湿能力は9L/dで、常に相対湿度で40RH%になるようにコントロールした。ケミカルフィルターにはサイズw300×h315×t35mmのフィルター枠中に浄化剤ピュアライトE30（日本ピュアテック製）を充填した。ここで使用した浄化剤は、酸化作用と中和反応により浄化剤中に浄化対象ガスを捕捉するものである。

アルデヒドに対する反応式は、

・ホルムアルデヒド



・アセトアルデヒド



である。ホルムアルデヒドとアセトアルデヒドは過マンガン酸カリウムにより酸化され、それぞれギ酸と酢酸に変化する。これらは水酸化カリウムとの中和反応により浄化剤中に捕捉される。空気清浄機による化学物質を除去する流れは、取り込んだ空気を、除湿機により湿度を調整し、ケミカルフィルターを通り化学物質を除去する構造になっている。

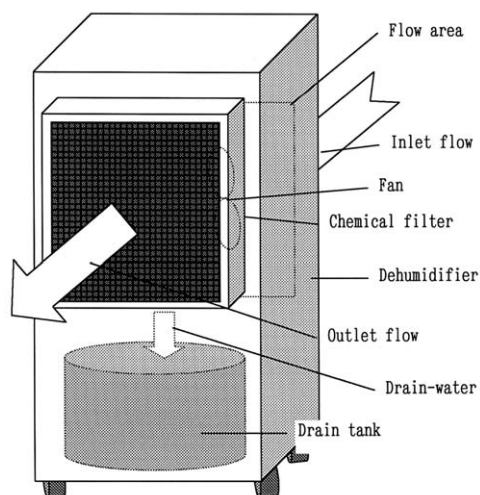


Fig.1 Schematic diagrams of a trial air cleaner.

Table 1 Air cleaner specifications.

Machine body	Size: W355 × D360H655mm
	Air Volume :
	43.6m ³ /h(Filter installed) 125m ³ /h(Filter uninstalled)
Air filter	Size : W305 × D305 × H45mm
	Type : Purelite E30
	Flow area : W275 × D275mm
Dehumidifier	Refrigerant : R-12 0.28kg

2.2 実験

今回の実験に使用した実験室には、竣工して約1年経過したモデルルームを使用した。測定時期には、大気中の温湿度の高い夏季を選んで測定を行った。室内の装飾物等には放散量を多くするため、ホルムアルデヒドを含有しているものを用いた。また室内の換気量及び環境条件が外部の気象条件によって変動しないように、全熱交換機を排気のみで運転するように改良した。モデルルームの環境条件をFig2に示す。

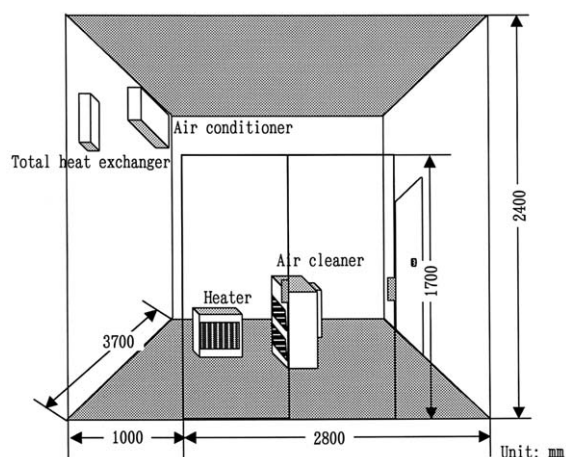


Fig.2 View of a model room.

実験は、4項目の条件を設定(Table 2参照)して行った。まずケース 1では室内換気を十分に行い、エアコンを使用し、温度を23 にコントロールし、換気4時間後および16時間後の測定を行い、空気質の変化を測定した。ケース 4ではヒーターを使用し、室温を40 まで上げて、内装材料からの化学物質の放散量を強制的に上げて実験を行った。ケース2およびケース3は、室温をエアコンで23 にコントロールした状態の実験である。

空気清浄機は、室内の中央に設置し(Fig2参照)、空気質の測定は、Fig.3のスケジュールに従い、30分間室内換気

Table 2 Experimental conditions.

case	Air cleaner	Air filter	Dehumidifier	Air conditioner	Heater
1	off	————	————	on	off
2	on	Uninstalled	on	on	off
3	on	Installed	on	on	off
4	on	Installed	on	on	on

を行い、空気清浄機を稼働する前に室内の空気質のサンプリングを行った。4時間後に空気清浄機を稼働し、16時間以上運転を行い、清浄機の入口と出口について測定した。出口側には補助ダクトを装着し、室内空気との混合を防いだ。分析項目については、アルデヒド類、カルボン酸類について測定した(Table3参照)。また実験中に除湿によって得られた回収水中のカルボン酸類については、イオンクロマトグラフィーにより測定した。

Table 3 Analytical items.

Analytical item	Analytical method
Aldehydes	Sampled by DNPH
	Liquid chromatography
Carboxylic acids	Sampled by impinger
	Ion chromatography

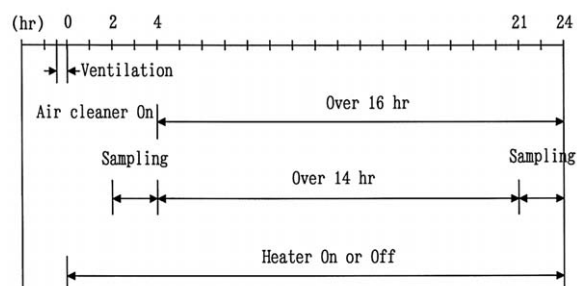


Fig.3 Experimental timetable.

2.3 分析方法

2.3.1 空気中のアルデヒド類の定量分析

内空气の捕集には、ジニトロフェニルヒドラジン(DNPH)含浸シリカゲルカートリッジ(ウォーターズ社製Sep-Pak DNPH-Silica Cartridge)で、前処理フィルター(ウォーターズ社製Sep-Pak Ozone Scrubber)を使用し、流速2 L/min以下に制御しながら50L捕集し、アセトニトリルを用いて抽出した。抽出した試料については、高速液体クロマトグラフィー(島津製作所社製LC-9A)を用いて測定を行った。

2.3.2 空気中のカルボン酸類の定量分析

超純水の入ったインピンジャー内に流速2.0L/minで240Lの空気を捕集し、試料とした。濃縮装置付きのイオンクロマトグラフィー(ダイオネクス社製2000i/sp)を用いて分析を行った。測定には、溶離液として1.0mmolの炭酸水素ナトリウムを使用し、再生液は0.025Nの硫酸を使用し流速は1.5mL/minとした。

2.3.3 回収水中のカルボン酸の定量分析

除湿によって得られた回収水を試料とし、イオンクロマトグラフィー(ダイオネクス社製2000i/sp)を用いて分析を行った。測定条件は2.3.2と同様である。

3 結果

3.1 実験環境

Fig.2の室内空間において、全熱交換機を排気のみに改良した結果、室内の換気量は0.71回h⁻¹であった。装置運転時に処理換気される能力は、除湿機のための運転時で約4.3回/h、フィルター装着時で1.5回h⁻¹であった。ケース1、2および3における温度変化は外気温度に変動されず、21~23の温度幅でほぼ安定していた。ケース4の実験では、ヒーターを使用してからほぼ8時間で40℃にまで室温が上昇した。

3.2 室内空気質の変動(ケース1)

室内を換気後、4時間後および16時間後の室内空気の濃度は変動しなかった(Fig.4参照)。

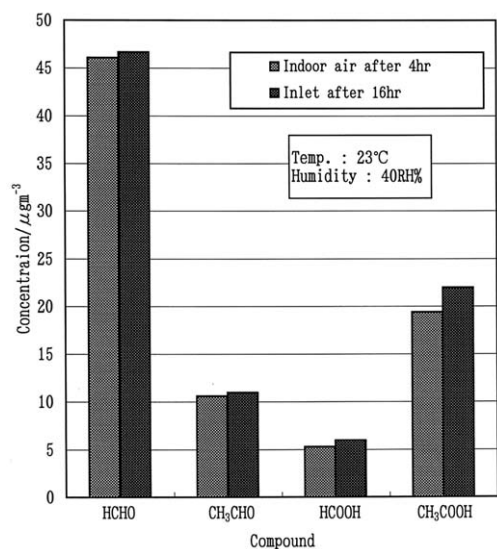


Fig.4 Changes of concentration of aldehydes and carboxylic acids in indoor air at 23 and 40RH%.

3.3 除湿による効果(ケース2)

除湿機のみを運転させ、入口および出口を測定したときの濃度変化をFig.5に示す。ケース2の実験結果より、換気4時間および16時間経過後で、アセトアルデヒド以外の成分に関しては、微かだが濃度減少が見られた。また入口および出口の濃度変化を見ると、アルデヒド類についてはホルムアルデヒドで6.2%、アセトアルデヒドで、6.8%の除去効率を示し、カルボン酸類については、ギ酸で29.7%、酢酸で13.1%の除去効率を示した。以上の結果から、全ての成分において微かではあるが除去効果があることが解った(Fig.8参照)。

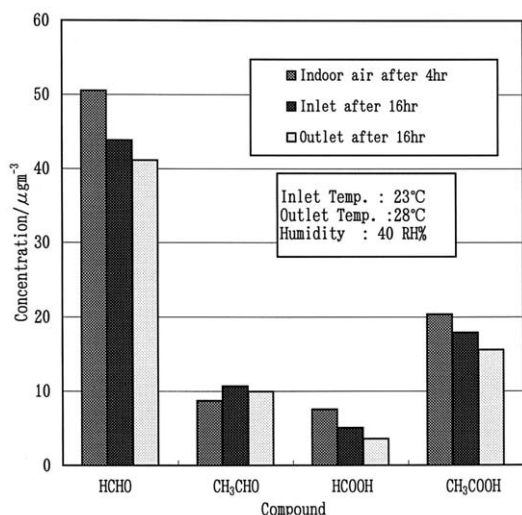


Fig.5 Changes of concentration of aldehydes and carboxylic acids in case 2.

3.4 除湿とケミカルフィルターによる効果(ケース3)

除湿とケミカルフィルターを組み合わせたときの濃度変化をFig.6に示す。換気4時間後の室内濃度と清浄機運転時での濃度変化は、アルデヒド類ではホルムアルデヒドで63.9%、アセトアルデヒドで23.2%であり、カルボン酸類ではギ酸で21.8%、酢酸で27.1%の濃度減少を示した。また浄化剤の入口および出口の濃度より除去率を計算すると、ホルムアルデヒドで84.6%、アセトアルデヒドで33.7%、ギ酸で98.3%、酢酸で86.7%の除去効率を示した(Fig.8参照)。以上の結果より、ホルムアルデヒドは80%以上の除去率を示していることから、効率よく酸化されていることが解った。また、カルボン酸類も入口および出口で濃度が減少しており、効率良く除去されていることが解った。このことより、フィルターを通過中のアルデヒド類は、ケミカルフィルターにより酸化され、カルボン酸類に変化した後、ケミカルフィルターの中和反応によりフィルター中に吸着捕捉されていることが解った。

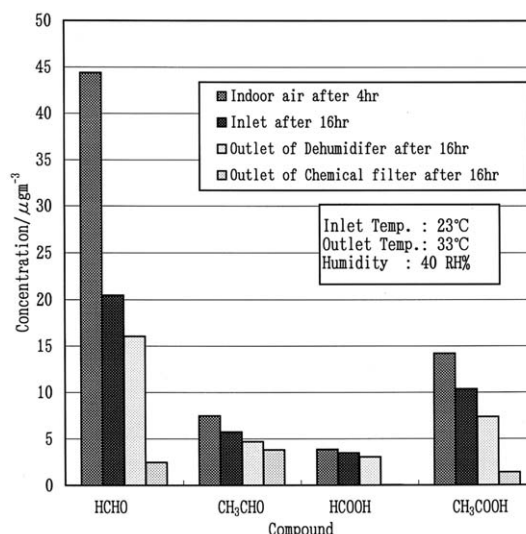


Fig.6 Changes of concentration of aldehydes and carboxylic acids in case 3.

3.5 ベークアウト時の空気清浄機の効果(ケース4)

ケース4の測定結果をFig.7に示す。ベークアウトを行う事により室内雰囲気中のアルデヒド類およびカルボン酸類の濃度が上昇した。ホルムアルデヒドは100 μg/m³以上に上昇し、内装材からの放散量が上昇しているのがわかった。このときの換気4時間後の室内濃度と清浄機運転時での濃度変化は、アルデヒド類ではホルムアルデヒドで48.7%、アセトアルデヒドで17.3%、カルボン酸類ではギ酸で56.6%、酢酸で75.9%の濃度減少を示した。また浄化剤の入口および出口の濃度より除去率を計算すると、ホルムアルデヒドで96.1%、アセトアルデヒドで32.6%、ギ

酸で99.2%，酢酸で98.5%の除去効率を示した(Fig.8参照)。アセトアルデヒド以外の成分では、フィルター直後での除去効率が上昇した。またこの結果より、バークアウトで放散量を上げる事により高効率で吸着除去している事が解った。

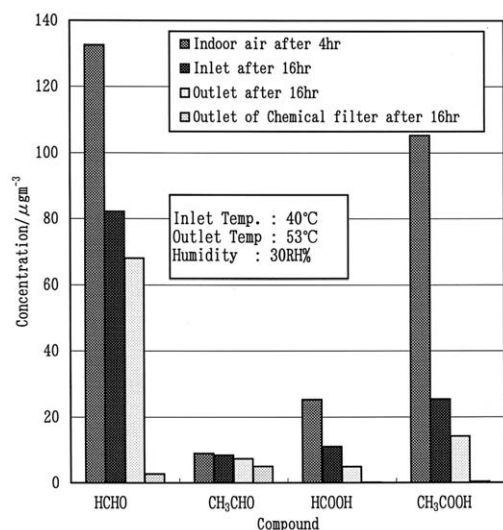


Fig.7 Changes of concentration of aldehydes and carboxylic acids in case 4.

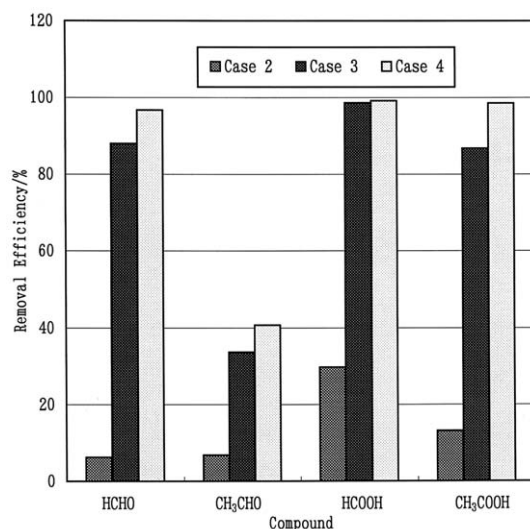


Fig.8 Removal efficiency of a trial air cleaner.

3.6 回収水中のカルボン酸濃度

Fig.9に各ケースにおける回収水中のカルボン酸量を示す。ケース1において除湿により回収された水の量は、18時間運転時で約4000mLが回収され、時間当たりに換算すると222mL回収された。この回収水のカルボン酸成分をイオンクロマトグラフィーで分析すると、回収水中の濃度はギ酸として867.8ng/mL，酢酸として71.6ng/mLであり、

時間当たりに換算するとギ酸で193μg，酢酸で16μg回収されたことになる。同様にケース2によって得られた回収水の量は、3800mLであり、ギ酸で14.6ng/mL，酢酸で907.4ng/mLの濃度であった。これより時間当たりに211mL回収され、時間当たりギ酸が3μg，酢酸が192μg回収された。バークアウトを行ったケース3では得られた回収水が2100mLであり、ギ酸で482.3ng/mL，酢酸で8621ng/mLの濃度であった。これより時間当たりで117mL回収され、時間当たりにギ酸で56μg，酢酸で1006μg回収された。また分析された捕集成分中に、アンモニアなどの水に対して溶解度の高い成分が高い濃度で検出された。

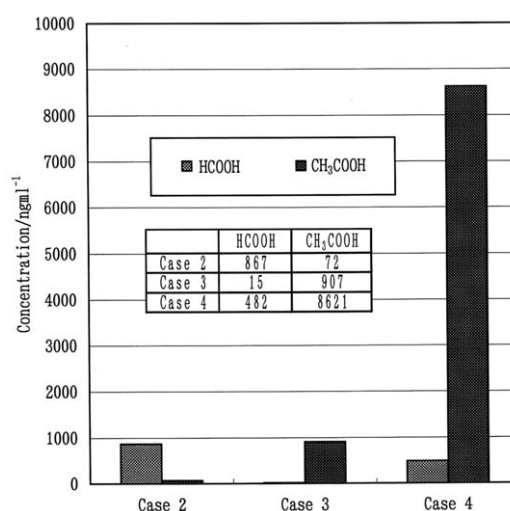


Fig.9 Concentration of carboxylic acids in drain-water of a dehumidifier.

4 考 察

4.1 実験前の空気質

ケース1, 2, 3の室内温度は23℃であり同条件での実験であるため、空気質はほぼ同等の数値を示している。しかし実験を進めていく際に、微かではあるが室内濃度が下がっている。これは内装材等からの放散量が少しずつ減少しているためだと思われる。またケース4におけるバークアウトをしたときの空気質は、全てにおいて高い濃度を示している。特にホルムアルデヒドおよび酢酸については濃度が著しく上昇している。これより内装材中にホルムアルデヒド、酢酸が多く内在していることがわかる。そのため温度が上昇することにより、ホルムアルデヒドおよび酢酸が多く揮発し、空气中に放散する量が増えることを表している。

4.2 除湿による効果

3.3および3.6の測定結果より、室内空気中の化学物質が除湿することにより除去されるのがわかる。実際、ケース1の回収水と空気質の測定結果より、清浄機を通過した全通気量中のギ酸および酢酸の量を計算して捕集率を推定すると、ギ酸で約24%、酢酸で0.7%捕集されていることになる。参考までに回収水中のアンモニアの濃度を測定したところ796.8ng/mLのアンモニアが検出された。この測定結果と空気質の測定結果より捕集率を計算すると、88%ものアンモニアが除去されたことになる。この実験の結果から、除湿する際に水に対して溶解度の高い物質は、除湿エレメント上で凝縮され回収水としてドレインタンク中に捕集されると思われる。また、アセトアルデヒドに関して入口および出口で除去されているのに、4時間後および16時間後で室内濃度が上がっているのは、除湿での除去する量より、外的要因での発生量が勝ってしまったためだと思われる。

4.3 除湿とケミカルフィルターによる効果

3.4の測定結果には、ケミカルフィルターによる吸着効果が良く現れている。しかし、アセトアルデヒドに関しては除去効率を得られていない。それは、除湿による除去効率が低く、また過マンガン酸との反応速度が低いためだと思われる。

4.4 ベークアウト時の除去効率

ケース4において室内の化学物質の濃度を増加させた時、除去効率が上がっている。これは、ケミカルフィルターの性能が入口側の濃度に影響を受けることを表している。そのため、ベークアウトと空気清浄機を組み合わせることにより、反応効率が良くなったものと考えられる。

5 結 論

除湿器と過マンガン酸カリウムを担持させたケミカルフィルターを併用した空気清浄機を試作し、実際のモデルルームで試験を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1)室内空気中の水分を除湿する事により、ホルムアルデヒド、酢酸及びギ酸に対して、ある程度の除去が可能である。また水に対して溶解度の高い物質に対しても同様の効果が得られる。
- (2)ホルムアルデヒドは、除湿とケミカルフィルターにより、高い除去効率を得られる。
- (3)カルボン酸類は、ケミカルフィルターの中和反応により、効率よく除去することが可能である。
- (4)室内温度を上げる事により（ベークアウト）、アルデヒド、カルボン酸、の放散量が多くなる。しかし清浄機を通過後の空気質は、放散量が変化してもほとんど濃度が変化しないため、ベークアウトと空気清浄機を使用することにより、短期間で快適な居住空間を作り出すことが可能である。

文 献

- 1) 高橋元，建築技術，568, 117(1997).
- 2) 東敏昭，建材試験情報，33 ,[3] ,11(1997).
- 3) 上月千佳子，泉邦彦，人間と環境，23 ,[1] ,34(1997) .
- 4) 小竿真一郎，入江建久，堀雅宏他，第17回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, 1999, p.124.
- 5) 健康住宅推進協議会，“空気環境の知識”.
- 6) 呂民俊，石黒武，苅部文夫，木立真敏，第17回空気清浄機とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, 1999, p.338.

著 者		著 者	
氏名	加藤 宣文 *	氏名	苅部 文夫
	Norifumi KATO *		Fumio KARIBE
所属	日本ピュアテック株式会社 研究開発部	所属	日本ピュアテック株式会社 研究開発部