

## 全館空調住宅に設置された HEPA フィルタの長期実生活環境における集塵効果の経過報告

### A Long Term Study of Dust Removal Effect of a HEPA filter Installed in a Real House of the Whole Building Air Conditioning System

正会員 ○相曾 一浩 (OMソーラー)      正会員 盧 炫佑 (OMソーラー)  
 正会員 楠 崇史 (OMソーラー)      正会員 浦田 浩作 (トルネックス)  
 非会員 山口 晃 (トルネックス)      非会員 伊藤千佳子 (トルネックス)

Kazuhiro AISO\*<sup>1</sup> Hyunwoo ROH\*<sup>1</sup> Takafumi KUSUNOKI\*<sup>1</sup> Kousaku URATA\*<sup>2</sup> Akira YAMAGUCHI\*<sup>2</sup> Chikako ITO\*<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup> OM Solar, Inc    \*<sup>2</sup> Tornex Inc.

A HEPA filter was installed in a house with the air-conditioning systems throughout the building to measure the air cleanliness of the whole house. Measurements were taken in the case of continuous operation and when dust was collected after diffusing it into the house. In addition, changes in air purification performance over time and changes in airflow and pressure loss of treated air over time are reported in this paper.

#### はじめに

室内に長期浮遊滞留する粉じんの削減として換気による方法は黄砂や花粉やPM2.5などの増大により近年控えたいた方法となっている。また最近では住宅の空気清浄手段として個別の空気清浄機がコロナウイルスの影響などもあり普及が進んでいる。

一方で住宅の高断熱高气密化が進んできたことにより住宅空調のシステムとして全館空調が普及している。

このように全館空調が進んできた住宅では空気清浄システムとして個別の空気清浄ユニットを採用するのは、購入コストやランニングコスト、清浄特性の担保の面で適切とは言えないと考えられる。

筆者らはこれまで全館空調住宅に、全館一括清浄できる電気集塵機を設置して、全館空気清浄特性や時間経過後の特性を計測してきた。

本報では同じく時間経過後の HEPA フィルタについて、特性の変化や経時後の特性や圧損や風量の変化について改めて確認した。HEPA フィルタの経時後の特性については報告がほとんどないため、お客様からの問い合わせや質問に的確に答えられるデータや知見を確保するために本報の実験を行った。

#### 1. 試験概要

##### 1.1 対象住宅

昨年実施した住宅と同じ対象住宅、静岡県浜松市東部にある木造2階建て住宅で内装の壁は珪藻土仕上げである。以下に対象住宅の仕様を示す。

- ・設置場所：静岡県浜松市中央区積志町

- ・延べ床面積：121 m<sup>2</sup> (1階 80 m<sup>2</sup>、2階 41 m<sup>2</sup>)
- ・宅内気積：330.3 m<sup>3</sup> (有効気積 224.6 m<sup>3</sup>)
- ・UA 値：0.51W/m<sup>2</sup>K
- ・C 値：約 1.0 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>
- ・家族構成：夫婦+小学生男児2名

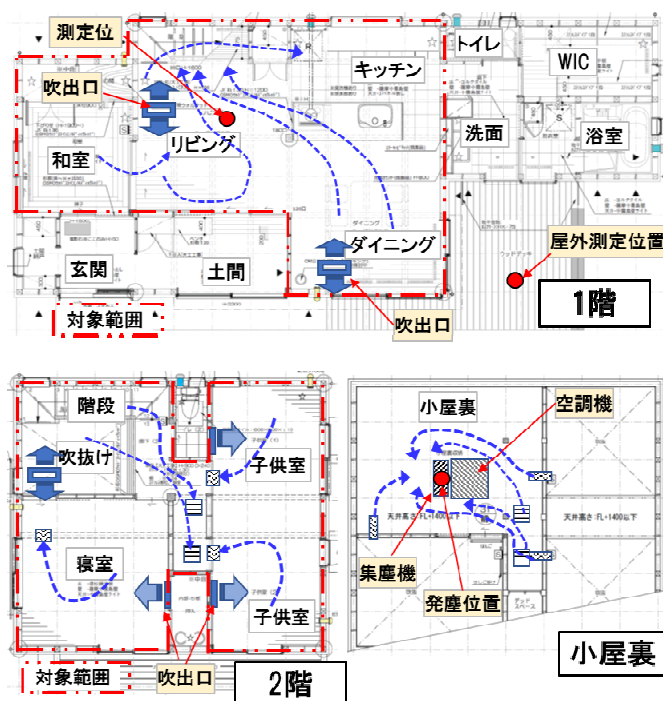


図-1 対象住宅の平面図と空調システム図

有効気積は対象住宅で LDK や和室、階段室、吹抜け、寝室、洋室1・洋室2など空調空気がもつぱら通過する部屋を示している。

## 1.2 システム概要

全館空調のシステムの図は図-1 に示す状態で小屋裏に設置され、冷暖房熱交換器とファンを持った全館空調機の室内機の吸い込み口に集塵ユニットが直接接続されて、HEPA フィルタか電気集塵機を格納し、最後部から室内循環空気を吸い込む。

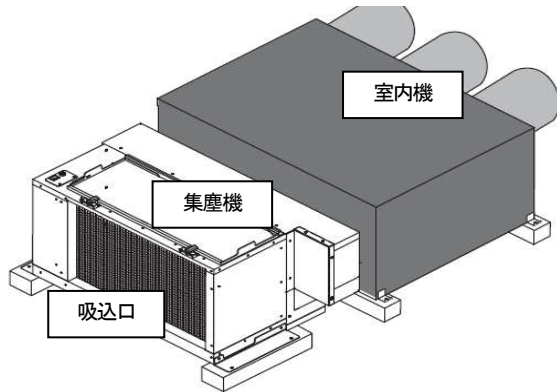


図-2 本実験に使用した全館空調機と集塵機外観

小屋裏は全館空調システムのリターンチャンバーになっていて室内に循環した空気がすべて戻ってくる。戻り空気は集塵されて冷暖房空調処理され室内機が持っている3つのファンで各室に断熱フレキダクトを通して送風される。本システムでは1系統は床下、残りの2系統は1階系統と2階系統に分けて送風され、まんべんなく各階に送風されるように計画されている。

## 1.3 実験方法

実験概要は全館空調システムを弱運転（設計風量 800 m<sup>3</sup>/h）しておき小屋裏で指定の線香を焚くことで粉じんを発生させて、1階のリビングで粉じん量をパーティクルカウンターで測定して粉じん濃度変化を測定する方法で行った。（図-1 参照）

### a 試験方法

#### 1) 発塵方法

発塵方法としては筆者らが以前から使用して実績がある銘柄の線香を一定時間焚く方法を採用した。粉じん発生量をほぼ一定に保つことができ、粉じん粒径は0.3 μm～10 μmの幅広い範囲で発生する。また、外気条件の影響を受けにくく、パーティクルカウンターで測定可能な粉じん濃度状態にすることができる。また、発塵開始と終了のコントロールの自由度が高い。

#### 2) 試験項目

##### ① 拡散抑制試験

発塵の際に集塵機で室内への拡散をどれだけ抑制できるかを確認する試験で以下の方法で測定する。

- 0分～5分：プレフィルタのみで送風弱運転
- 5分～10分：HEPA フィルタ装着(集塵機 ON)
- 10分～20分：線香点火
- 20分～50分：線香消火

※10分以降はHEPA フィルタ、電気集塵機 ON

##### ② 拡散後集塵試験

集塵しない状態で発塵して宅内に粉じんを拡散したうえで、HEPA フィルタまたは集塵機による集塵状況を以下の方法で測定する。

- 0分～5分：プレフィルタのみで送風弱運転
- 5分～10分：HEPA フィルタ装着(集塵機 ON)
- 10分～20分：線香点火、HEPA フィルタ取り外し、または集塵機 OFF
- 20分～50分：線香消火、HEPA フィルタ装着または、集塵機 ON

##### ③ 風量、圧損計測

風量は風速が安定している HEPA フィルタの吸い込み口を9点測定して平均風速に正面面積0.138225 m<sup>2</sup>を乗じて算出した。また、圧力損失はフィルタの風下側直近の穴からマノメータで測定した。



図-3 計測点と計測結果

HEPAフィルタ：弱風量 240301			
圧損 82Pa	(m/s)		平均
1.1	1.2	1.2	1.17
1	1	1.2	1.07
1.1	1	1.2	1.10
平均風速			1.11
風量 (m <sup>3</sup> )			552.9

HEPAフィルタ：弱風量 240126			
圧損 85Pa	(m/s)		平均
1.2	1.1	1.1	1.13
1.1	1	1	1.03
1.1	1.1	1	1.07
平均風速			1.08
風量 (m <sup>3</sup> )			536.3

なお、各試験では空調機の風量を弱風量（設計風量 800 m<sup>3</sup>/h）として試験するが、HEPA フィルタと電気集塵機では圧損の違いで風量が異なる。

HEPAフィルタ：弱風量 231222			
圧損 78Pa	(m/s)		平均
1.5	1.5	1.5	1.50
1.5	1.5	1.6	1.53
1.6	1.5	1.6	1.57
平均風速			1.53
風量			763.0

##### b HEPA フィルタ・電気集塵機の仕様

本実験に使用した HEPA フィルタ（図-3）は静電式 HEPA フィルタと言われるもので仕様性能は、風量 900 m<sup>3</sup>/h 時の初期圧力損失 66.2Pa、集塵効率 99.924%である。（中国国家标准規格 GB/T13554-2008）

静電式 HEPA フィルタは、フィルタの網目の細かさに加えて、静電気力で粒子を吸着させる構成になっていて、比較的大きな粒子はフィルタの網目で捕集し、小さな粒子はフィルタの静電気力で引きつけて吸着させる。

網目の細かさだけで粒子を捕集する通常の HEPA フィルタに比べ、目詰まりしにくいいため集塵力が長持ちするとされている。

また、本システムによる集塵特性をリファレンスするために同寸法の電気集塵フィルタの特性も測定している。同機はトルネックス社製の EPBOS-PA で集塵部本体は図-5 に示す。電気集塵フィルタは集塵機収納ケース本体に格納されて、制御としては積算

運転時間が 12 か月を超えるか吸着板にホコリが附着して制御電流などの内部特性の変化を検出してメンテナンスランプを点灯する仕組みとなっている。

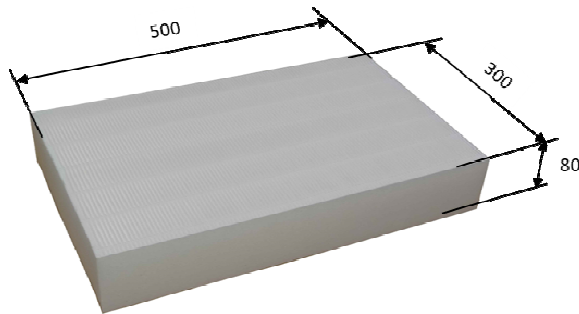


図-4 HEPA フィルタの外観写真

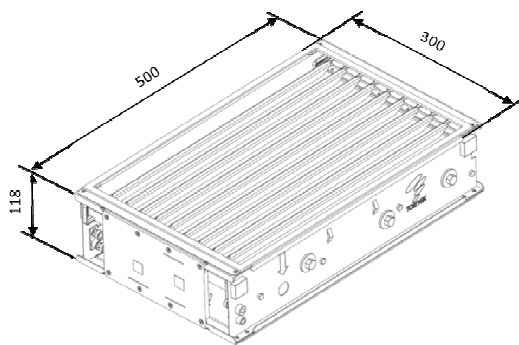


図-5 電気集塵フィルタの外観

集塵機ユニットの構成としては電気集塵フィルタの風上側には粗大塵などを捕集する金属メッシュフィルタ (HEPA フィルタ装着時も使用)、風下側にはコロナ放電により発生したオゾンを分解する活性炭フィルタが装着されている。

### c 計測器

風速計はニールセン・ケラーマン社ケストレル 4500 を使用した。

微差圧計は山本製作所製マノスターゲージ WO81 を使用した。

粉塵量計測機として使用しているパーティクルカウンターはエアリーテクノロジー社製の半導体レーザー光散乱式パーティクルカウンターでモデル P611 を使用した。

測定は毎分 1 回 1 L の空気を採取して、その中の 0.3 μm 以下の粉じん成分を毎分カウントする方法とした。(その他の粒径も同時に測定)

## 2. 試験結果

### 2.1 風量と圧損の経過計測

図-6 は HEPA フィルタと電気集塵機の風量と圧損の経過測定の結果を示している。(表-1 は実測値) 12 月 22 日から 1 か月経過した時点で HEPA フィルタの圧損は 7Pa 増えて風量が 230 m<sup>3</sup>/h 減少している。初期の圧損上昇による風量低下が起こっているとみられ

るが、その後少しずつ風量の増加と圧損の減少が観測されている。同時に電気集塵機の計測をしているが、こちらは変化がない。

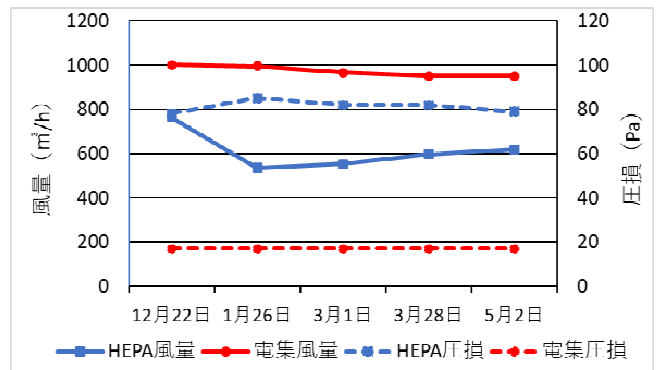


図-6 HEPA フィルタと電気集塵機の風量・圧損の経過計測

### 2.2 初期集塵試験結果

図-7 は HEPA フィルタと電気集塵機の初期抑制試験結果を示している。0.3 μm の粉じん個数の推移で途中 10 分間発塵している。HEPA フィルタのほうが少し個数が少ないが、風量が 2/3 程度に減っているため、発塵停止後 30 分で、ほぼ同じ室内環境になっている。

図-8 は HEPA フィルタと電気集塵機の拡散後集塵試験で、発塵の際に HEPA フィルタを外し一度粉じんを住宅内に拡散させてから集塵する試験である。HEPA フィルタは風量が減少しているため、拡散させた粉じんの除去は電気集塵機より 10 分程度遅れている。

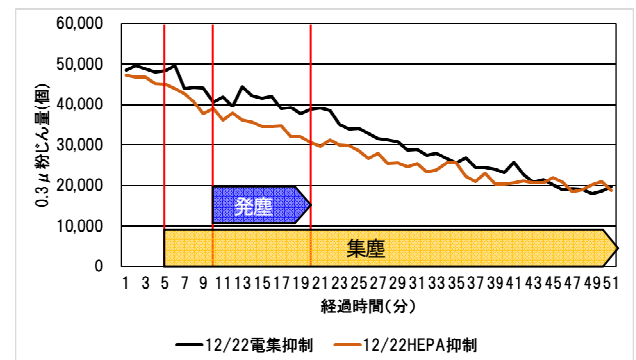


図-7 HEPA フィルタと電気集塵機の初期抑制試験

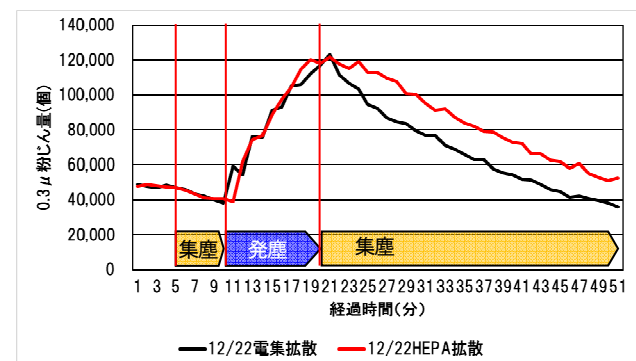


図-8 HEPA フィルタと電気集塵機の初期拡散試験



## 2.3 経過試験結果

図-9はHEPAフィルタの拡散抑制試験を0ヶ月から2ヶ月ごとに4か月経過まで示している。4ヶ月を超えて圧損が低下した時期から抑制効果が低下している。

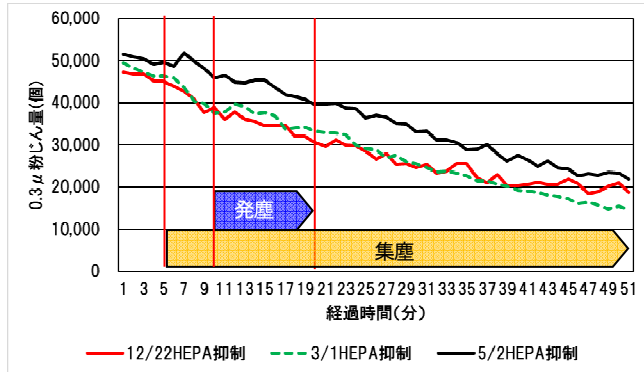


図-9 HEPAフィルタの拡散抑制試験経過測定結果

図-10はHEPAフィルタの拡散後集塵試験を0ヶ月から2ヶ月ごとに4か月経過まで示している。拡散抑制試験と同じく4ヶ月を超えて圧損が低下した時期から拡散後の集塵効果が低下している。風量が回復しているにもかかわらず、集塵特性が劣化していることがわかる。

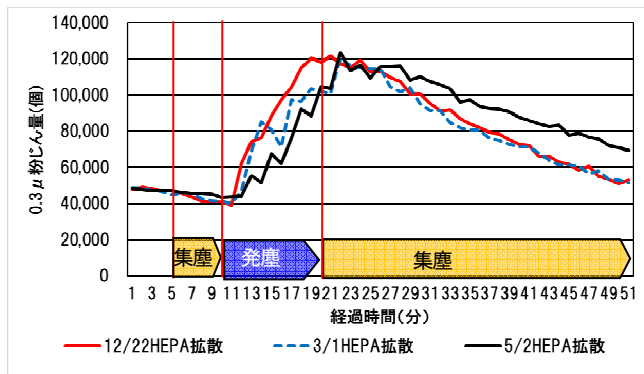


図-10 HEPAフィルタの拡散後集塵試験経過測定

図-11はHEPAフィルタの拡散抑制試験の結果で $0.5\mu\text{m} \cdot 0.7\mu\text{m}$ の粉じん個数の推移比較である。図から4か月経過後も大型粒径の特性には大きな差がないように見られる。仮定であるが、4か月経過して静電HEPAフィルタの静電特性が失われて $0.3\mu\text{m}$ 程度の細かな粉じん捕集特性が劣化した一方、比較的大きな粉じんの捕集効果は維持されているのではないかと考えられる。

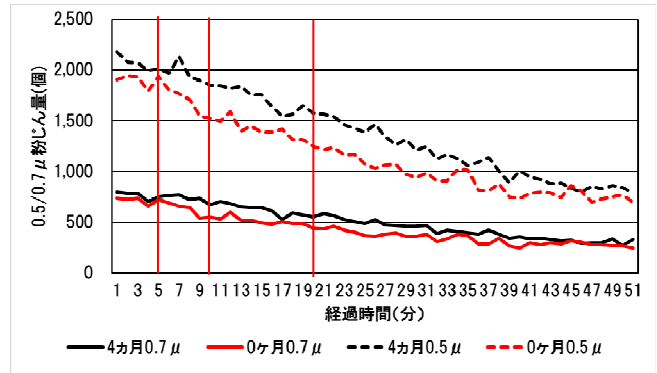


図-11 HEPAフィルタの $0.5\mu\text{m} \cdot 0.7\mu\text{m}$ 粉じんの拡散抑制試験比較

## 3. まとめ

これまでHEPAフィルタの実邸での計測報告がなく、経過観察した報告もなかったため、工務店や客先への説明が不十分と感じていたが、今回4ヶ月ではあるが実測ができて以下の知見を得た。

- 1) 全館空調システムにHEPAフィルタか電気集塵機のどちらかを付けて連続運転させた上で、室内で発塵しても室内粉じんは減少する。
  - 2) HEPAフィルタを付けた場合と電気集塵機を付けた場合では、電気集塵機に比べてHEPAフィルタの圧損が大きいため、本機の場合風量が $2/3$ 以下程度に減少する。
  - 3) 静電式HEPAフィルタを連続使用すると本実験では4か月程度から拡散抑制効果も拡散後集塵効果も低下する。
  - 4) HEPAフィルタの帯電効果が低下するとフィルタの圧損が少なる現象がみられる。
- 以上、4か月間の試験であるが、大会報告までさらに4か月程度の試験が可能なので、大会では補足報告を行いたい。

最後に本実験研究に長らくご自宅を提供いただいた石田様ご家族に紙面を借りて感謝を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 相曾一浩, 盧炫佑, 楠崇史, 浦田浩作, 山口晃, 伊藤千佳子: 全館空調住宅に設置された電気集塵機の長期実生活環境における集塵効果の経過報告, 空気調和衛生工学会大会講演論文集(2023,福井)P21-24
- 2) 大西豊, 木村洋, 丹羽幸佑: HEPAフィルタ搭載の全館空調システムを用いた全館空気清浄効果, 空気調和衛生工学会大会講演論文集(2021,福島)P129-132
- 3) 永吉健太郎: 家庭用空気清浄機の微粒子除去技術および電気集じんの概要と研究動向, 室内環境(2020)Vol.23 No2 P151-160