

洗浄可能プレ・メイン一体型フィルタの性能確認に 関する研究

藤原孝行 前山二郎* 松江昭彦** 高山むつ子*** 上野幸太****

(*前山技術士事務所 **株式会社ユニパック

日本ケンブリッジフィルター株式会社 *近藤工業株式会社)

要 旨

本研究の目的は、再生可能な洗浄可能型フィルタについて、基本的性能はもとより、衛生上の課題など確認することである。

結果について、フィルタは、9回洗浄後においても性能が回復することが分かった。空気搬送動力は、フィルタ自体が低圧損であることがわかり19.7%の省エネ率を確認した。洗浄後の殺菌性能では、オゾンを用いた洗浄の結果、未使用のフィルタと同程度の細菌数に回復することが分かった。

キーワード：空調、フィルタ洗浄、空気調和機

Research on performance verification of the main pre-integrated washable filters

FUJIWARA Takayuki, MAEYAMA Jiro*, MATSUE Akihiko**, TAKAYAMA Mutsuko***, UENO Kouta****

(*Maeyama professional engineer office **Unipac Co.,Ltd. ***Cambridge Filter Japan, Ltd. ****Kondoh Industries, Ltd.)

Summary

The purpose of this study is to evaluate the basic performance of washable filter that can be reused repeatedly, as well as the sanitary issues.

As a result, the filtering performance was found to recover even after the 9 washes. Power requirement for air transport was found to be 19.7% energy saving as a result of its swells pressure drop. The outcome of disinfection treated with ozone after cleaning was that the number of bacteria decreased as the same level as the filter unused.

Key words: Air-conditioning, washable filters, air conditioner

1 はじめに

地球温暖化防止対策は、国や東京都を中心に削減目標を明確にし、強力に進められている。CO₂ 排出量は近年、民生部門の増加が際立っており、その削減が喫緊の課題となっている。中でも空調設備の CO₂ 排出量は、ビル全体の排出量に占めるウエイトも大きく、熱源機器はもとより換気システムにおいても CO₂ 削減の対策が求められている。

一方、一般ビルでは、働く人の健康を維持するために中性能フィルタが多用されるようになった。中性能フィルタの使用の現状は、通常1年間使用した後使い捨てとなっており、廃棄物増大の一因ともなっている。ゼロエミッション対応としてビル用のフィルタに対しても解決策が求められている。このようなニーズに対応する目的で、近年洗浄可能型フィルタが複数社により開発され、その性能に対する期待も高くなってきた。

再生可能な洗浄可能型フィルタについては、フィルタの基本的性能はもとより、衛生上の課題など確認する必要がある。特に洗浄可能型フィルタ（プレ・メイン一体）（以降、洗浄可能型フィルタ）は、運転由来の CO₂ 削減効果及び LC(CO₂) 削減効果が見込めることから、洗浄後の性能回復について検証試験を行い、製造から運用、廃棄に至るまでの二酸化炭素排出量 LC(CO₂) について検証・考察し、洗浄可能型フィルタの有効性を確認することを目的とする研究を2年間実施した。本報では洗浄後の回復と空気搬送動力の削減効果の測定結果を中心に報告する。

2 フィルタ性能検証と洗浄回復検証

(1) 目的

フィルタ洗浄という再生手段において、洗浄可能型フィルタが有する性能(構造的要因含む)を維持し、性能が回復されることを検証する。

(2) 供試フィルタ

名称：洗浄可能型フィルタ(型式：CM-56-60F)

サイズ：600mm×600mm×150mm

定格流量：56m³/min

平均粒子捕集率：60%以上(JIS B 9908 形式2 比色法)

初期圧力損失：110Pa 以下

最終圧力損失：280Pa

(3) 試験方法

JIS B 9908⁻²⁰⁰¹ “換気用エアフィルタユニット・換気用電気集じん器の性能試験方法”の形式2（比色法）に準拠した大型水平性能試験装置によりフィルタの圧力損失測定、粒子捕集率測定及び粉じん保持容量の測定を行なった。試験は、計10回繰り返し行い、その間に9回のフィルタ洗浄を行なった。フィルタの洗浄工程を図-1に示す。

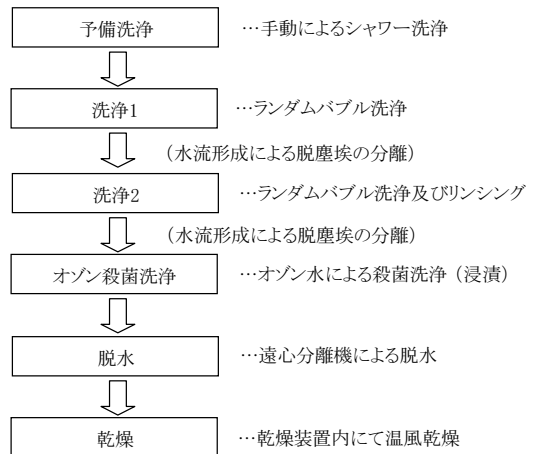


図-1 フィルタ洗浄工程

ア フィルタの上流側より試験用ダスト(JIS-11 種)を $3 \pm 2 \text{ mg/m}^3$ の濃度で供給し、粉じん濃度計(じん埃計)によってフィルタ上流側濃度と下流側濃度を測定した。

イ フィルタ圧力損失は試験用ダスト(JIS-15 種)を $70 \pm 30 \text{ mg/m}^3$ を供給し増大させた。

ウ 圧力損失回復率算定式

空気清浄協会委員会報告“中高性能エアフィルタの洗浄再使用に関する研究会”による式を用いた。

エ 平均粒子捕集率算定式

フィルタの初期圧力損失から最終圧力損失まで粉じんの供給と捕集効率を測定し、供給した粉じん量の加重平均にて算出した

(4) 検証結果

① 圧力損失及び圧力損失回復率

洗浄後の圧力損失回復率は、日本空気清浄協会(JACA)委員会報告“中高性能エアフィルタの洗浄再使用に関する研究会”にて協議された90%以上という判定値を満足する内容であった。洗浄9回目のフィルタにおいても94.1%の回復率が得られている。

初期圧力損失の変化を図-2に示す。

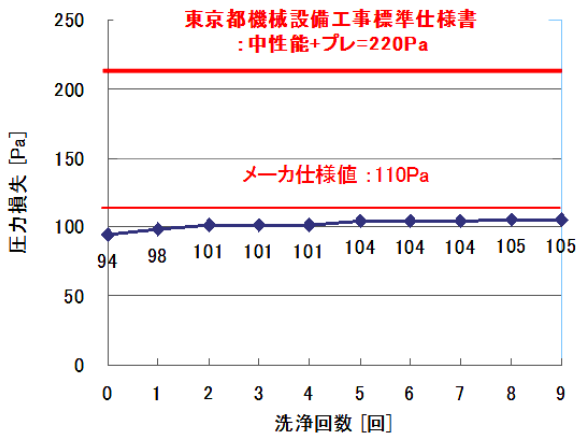


図-2 初期圧力損失の変化

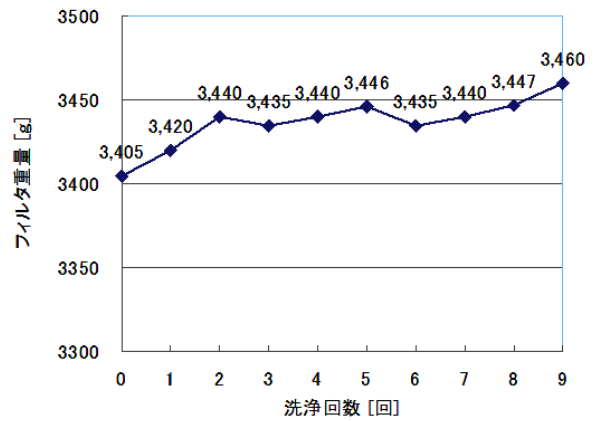


図-4 フィルタ重量の変化

② 平均粒子捕集率

初期（新品）から洗浄9回目までの繰り返し検証においては、図-3で示すように平均粒子捕集率 70%以上を維持することが確認された（メーカー仕様値は60%以上）。洗浄7、8回目品は、粉じん負荷のみを実施し、粒子捕集率の測定は未実施。

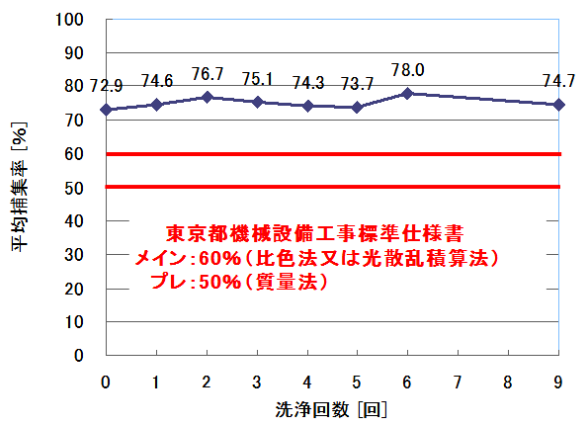


図-3 平均粒子捕集率の変化

③ フィルタ重量及び粉じん保持容量

フィルタの洗浄回数と重量の変化については、図-4に示すように、フィルタ洗浄を繰り返す毎に、フィルタ重量が増加する傾向にあることが推測された。洗浄9回後では、約55g増加（初期と比較して1.6%増）となったが、これは、洗浄や通風では離脱しないサブミクロン粒子による影響と推測される。

また、図-5で示すように、フィルタ洗浄を繰り返す毎に、粉じん保持容量が減少（試験でばらつきはあるものの）する傾向が見られた。これもサブミクロン粒子の残留が影響しているものと推測される。

フィルタ洗浄を9回行った後でもメーカー仕様値 800g/m²を満足する結果であった。

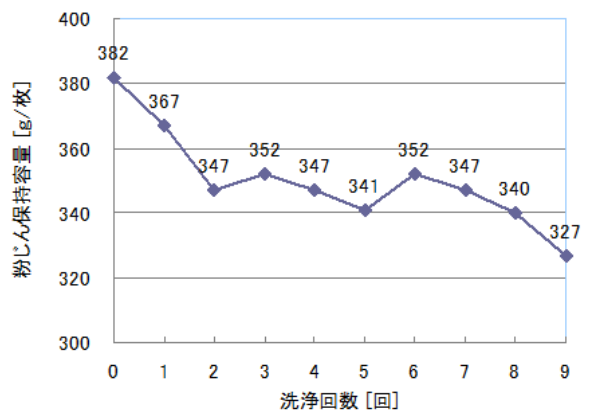


図-5 フィルタ1枚当たりの粉じん保持容量の変化

④ 寸法測定

9回洗浄後のフィルタ寸法測定では、新品時と比較しても差がなく、洗浄に耐えうる十分な強度を有することが確認できた。

⑤ フィルタ洗浄における殺菌効果の検証

フィルタユニットの再生を目的に設計されたオゾン水による洗浄槽における殺菌効果を検討した。（試験品：HOW-2005（ハマネツ）、濃度：4ppm、作用時間：1分、3分）

試験菌としては、空気環境中に存在し、フィルタに付着する可能性が高い細菌2種と真菌（かびおよび酵母）3種の計5菌種（①黄色ぶどう球菌②枯草菌：芽胞③クロコウジカビ④アオカビ⑤赤色酵母）を対象とした。

メインフィルタの結果を図-6に示した。実験では、実装置を想定した水量とシャワー方式の装置を用いた。フィルタ試験片に対し、3分間オゾン水をシャワーした後のフィルタ上の試験菌数を測定した結果、オゾン水シャワー3分後、②枯草菌：芽胞を除く試験菌について、いずれも3桁の菌数減少が認められた。

②枯草菌：芽胞は、各種の殺菌剤に対して耐性を有す

る菌であり、オゾンに対する耐性があるといわれているが、メインフィルタの場合で約2桁の菌数減少が認められた。

これらの結果からフィルタ表面に付着させた菌に対してオゾン水シャワーの殺菌効果が認められた。またこれらの菌数は、未使用品と同程度であり、本装置によって再生処理したフィルタユニットは、未使用品と同程度の細菌数まで回復していると推測できる。

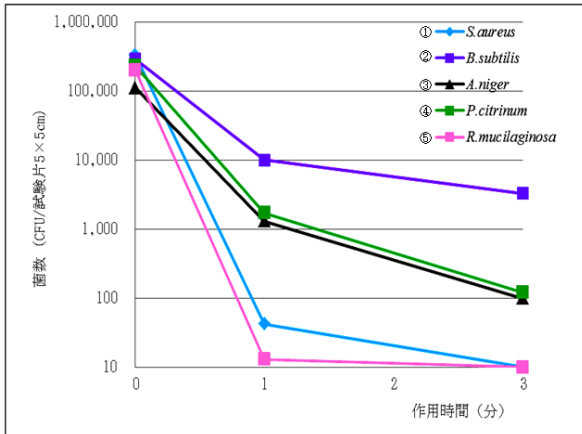


図-6 オゾン水による殺菌性 (メインフィルタ)

3 空気搬送動力のフィールド試験

(1) 目的

今まで多くの文献で、運転由来のCO₂排出量の根拠となる空気搬送動力は下式(1)にて算出されている。

$$W = \frac{Q \times \Delta P \times T}{\eta \times 1000} \quad [\text{kWh}] \quad \dots (1)$$

Q : 処理風量 [m³/s]
 ΔP : 平均圧力損失 [Pa]
 T : 運転時間 [h]
 η : ファン効率 0.7

定格運転点における空気搬送動力を算出するに(1)式は有効であるが、実際の空調機ではフィルタ圧損等が変化するため風量も変動する。変風量方式が採用された空調機ではファンの回転数まで制御される。ライフサイクルのような長期間の動力試算に(1)式にて風量、圧力の平均値を用いる方法は適正とは言い難い。

今回、東京都環境科学研究所の空調機に従来型フィルタと洗浄可能型フィルタを取付けフィルタ圧損と回転数を変化させて空気搬送動力を測定した。この測定結果によりフィルタ圧損、ファン回転数と空気搬送動力の関係を求め、運転由来のCO₂排出量を算出する。

(2) 試験装置

試験に用いた空調機と測定装置を下記に示す。

ア 供試フィルタ

洗浄可能型フィルタは前述の通り

従来型フィルタ

名称：プレフィルタ

サイズ：595mm×595mm×1mm

定格流量：56m³/min

初期圧力損失：90Pa以下

最終圧力損失：200Pa以下

名称：メインフィルタ

サイズ：610mm×610mm×70mm

定格流量：56m³/min

平均粒子捕集率：60%以上 (JIS B 9908 形式2法)

初期圧力損失：50Pa以下

最終圧力損失：294Pa以下

イ 測定項目並びに測定器

フィルタ差圧測定：微差圧計

空調機差圧測定：微差圧計

風量検出器：複合式ピトー管センサー

圧力伝送器：EMT 1 B0FVD50

風量指示計：EMP 3 D010M (0~7,000m³/h)

インバータ：3φ200V 5.5kW

ファン回転数：デジタル回転計

(3) 試験方法

試験方法は、新品の従来型フィルタと新品並びに事前に堆じん(負荷用粉じん：シリカ)させた洗浄可能型フィルタ(プレ・メイン一体)を使って測定した。

それぞれのフィルタにシリカを堆じん圧損180Pa、240Pa、280Pa、になるように堆じんさせたフィルタを取り換えて測定した。風量も、25%、50%、75%、100%と変化させ計測を行った。

試験対象空調機を図-7に示す。

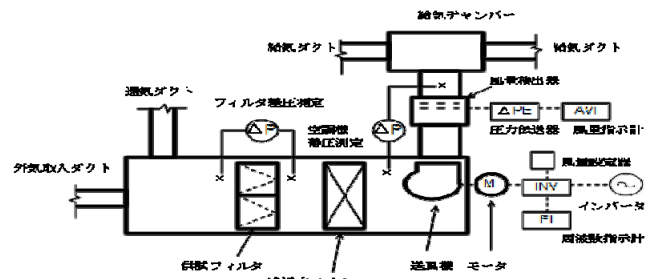


図-7 試験対象空調機

3階実験室系統空調機

風量	6,200m ³ /h
送風機	5.5kW (軸動力 3.62kW)
回転数	1,590rpm
全静圧	1,098Pa
冷却能力	82.6kW
加熱能力	47.7kW
蒸気加湿	40kg/h

(4) 測定結果

40点の測定値を用い重回帰分析により風量、フィルタ圧損、ファンの回転数より求まる空気搬送動力式(2)を得た。

$$W = -0.000222 \times Q \cdot \Delta P + 3.296 \times (r/r_0)^{2.8} + 0.238 \dots (2)$$

ここで W : 空気搬送動力 kW Q・ΔP : 風量×フィルタ圧損 m³Pa/s

r : ファン回転数 rpm r₀ : 定格回転数 rpm

実測値と(2)式を使った空気搬送動力計算値との誤差を図-8に示す。一部誤差も見られるが、総じて(2)式にて近似できることが分る。

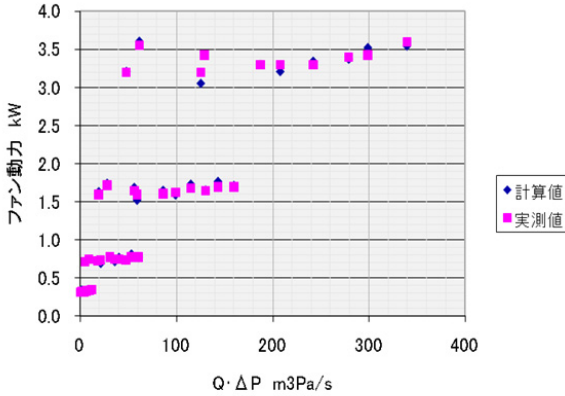


図-8 空気搬送動力計算値の誤差

この特性式は、東京都環境科学研究所の空調機固有のものであり、一般式ではない。しかし、風量(6, 200m³/h)、静圧(1, 079Pa)は事務所ビルにおける標準的なスペックであり、フィルタ圧損の違いによる省エネ率を比較できると判断し、従来型フィルタを洗浄可能型フィルタに更新した場合の省エネ率を、定回転方式(定風量方式)と変風量方式の空調機について算出した。

その結果は表-1に示すように、定風量方式では19.7%、変風量方式では7.2%の省エネ率であった。

表-1 従来フィルタから洗浄可能型フィルタに更新した場合の省エネ率

空調方式	ファン動力 kW		省エネ率
	従来型フィルタ	洗浄可能型フィルタ (プレ・メイン一体)	
定風量方式	3.10kW	2.49kW	19.7%
変風量方式	1.00kW	0.93kW	7.2%

ア 定風量方式ではフィルタの最終圧損時に設計風量が確保できる回転数を求め、平均フィルタ圧損時における空気搬送動力を(2)式より算出した。

イ 変風量方式は、期間成績係数 IPVL (Integrated Part Load Value) の負荷とその発生比率を用いて平均フィルタ圧損時における空気搬送動力より算出した。

さらに、この省エネ率により東京都内の事務所ビルに洗浄可能型フィルタを展開した場合のCO₂削減効果も試算し

た。空調方式によるが、従来型フィルタを洗浄可能型フィルタに更新することにより事務所ビルのCO₂排出量を1.5~1.6%削減できることが分った。

表-2 洗浄可能型に更新した場合のCO₂削減ポテンシャル

対象	CO ₂ 削減量	削減率	備考
東京都環境科学研究所	2.81t-CO ₂ /年		同仕様空調機 5台
東京国際フォーラム	224.6t-CO ₂ /年	1.6%	610×610 相当高性能フィルタ 956枚 CO ₂ 排出量 14,378t-CO ₂ /年 (平成21年度エネルギー使用状況届出書)
東京都内事務所ビル	58,000~ 62,900t-CO ₂ /年	1.5~ 1.6%	定回転方式 60% 変風量方式 40% テナントを含む事務所ビル排出量 385万t-CO ₂ /年(東京都環境局)

4 LC(CO₂)の検証

(1) 目的

製造から廃棄に至るまでのCO₂排出量の計算手法について検証及び考察をし、大規模施設におけるCO₂排出量、電力消費量及びライフサイクルアセスメント(使用を除く)を試算し洗浄可能型フィルタのLC(CO₂)の評価を行なった。

(2) 算定方法

環境負荷を定量化する手法の1つであるLCA(Life Cycle Assessment)手法に基づき、フィルタ製造から廃棄までのCO₂排出量を算定する。

図-9は、LC(CO₂)の評価の対象とした工程を示す。



図-9 LC(CO₂)の評価の対象とした工程

算定は以下のマニュアルガイドラインを参考にした。

- ・環境省、経済産業省「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver2.4, 3.1」
- ・経済産業省、国土交通省「ロジスティック分野におけるCO₂排出量算定方法共通ガイドライン Ver2.0」

(3) 検証結果

洗浄可能型フィルタ及び従来型フィルタについて使用時を除く運用モデルのシミュレーションを行った。

使用時を含めたLC(CO₂)のシミュレーションは、フィルタの使用環境、条件によって使用時のCO₂排出量に差が生じるため、ここでは使用時を除いてシミュレーションを行った。

その結果を図-10に示す。洗浄可能型フィルタは、3回洗浄した後に廃棄(想定寿命4サイクル)となるが、その間に従来品の場合は材料調達、製造、廃棄等全ての工程を繰り返すことになるため、その差は年々大きくなる。想定寿命の4年サイクルでは、従来品の23~33%(8~

13kg CO₂/枚以上)CO₂の排出量が抑制されることが分かった。

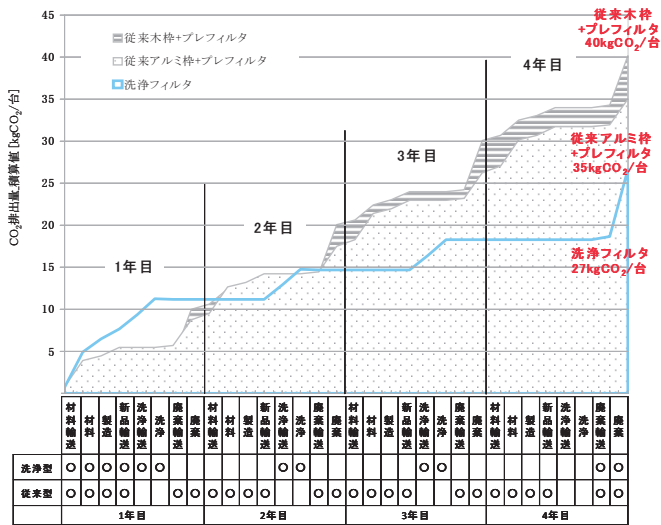


図-10 LC(CO₂)の比較 (使用時除く)

今後は、本研究成果が省エネ・低炭素社会の実現に役立つとともに、各メーカ及び関係企業の更なる性能向上を目指したフィルタの技術開発を期待する。

参考文献

- 1) 空気清浄協会委員会報告：空気清浄第 39 巻第 4 号 (2001, 11, 30)
- 2) オゾン水処理研究会：上水処理におけるオゾン処理技術、オゾン水処理研究 (1986)
- 3) Sobsey : Inactivation of healthrelated microorganism in water by disinfection process (1989)
- 4) U. S. E. P. A., Office of Drinking Water (1989)
- 5) 金子光美著：水の消毒 (1997)

5 フィルタ処理時における回収エネルギー

今回の洗浄可能フィルタの廃棄は、最終処理するオリックス資源循環 (株) 寄居工場で行われており、ガス化改質方式 (サーモセレクト方式) を採用した施設である。寄居工場のエネルギー効率 (発電効率) は約 13.4% (オリックス資料) である。

洗浄可能フィルタを寄居工場にて処理する場合、約 3,100kcal/枚のエネルギーが回収できる。回収エネルギーを単純に A 重油単位発熱量 9,341kcal/L で除すると約 0.33L 分に相当し、単純計算ではあるが、約 0.90 kgCO₂ の二酸化炭素を削減できる計算になった (A 重油燃料使用の排出係数 2.71)。

6 まとめ

本報の結果は、東京都が推進する低炭素社会の実現に寄与するためのポテンシャルの可能性として、空調動力低減効果の確認、再利用に対する衛生上の安全性の確認、洗浄再使用による LC(CO₂) の低減効果などが得られた。

また、この結果は、経済産業省が推進する ZEB (ゼロ・エネルギー・ビルディング) の実現に貢献できる知見として大きな期待が持てる結果といえる。

しかし、この研究成果が民生部門の低炭素社会の実現に寄与するためには、建築設備の設計・施工部門との連携及び運用面などいくつかの課題がある。また一方で、東日本大震災によるこれからの電力不足は、ますますの省エネの推進が求められ、空調搬送動力の低減が果たす役割は大きい。