低電圧空気清浄装置の研究*

吉川 英夫^{*1}, 小松 丈之郎^{*2}
郡 正治^{*3}, 池田 尊^{*4}Study on the Development of Air Cleaner Equipment
using Low Electric VoltageHideo YOSHIKAWA, Takeshiro KOMATSU,
Masaharu KOHRI and Takashi IKEDA

Since a conventional air cleaner equipment generally uses more than 6.6 kV ionized voltage for dust charging and 3.5 kV electric voltage as a dust collector, ozone which are discussed with respect to be detrimental to human health are generating. This paper presents a new air cleaner equipment which utilizes low electric voltage to efficiently collect floating dusts in air without generating ozone effects.

Key Words: Environmental Engineering, Air Cleaner, Ozone Generating, Dust Collector, Particulate, Conductive Filter

1. ま え が き

現在, 一般に使用されている高効率の静電式空気清浄装置はイオン化部鋼線に約6~10 kVの直流電圧を用いて, 空気中を浮遊している微粒子ダスト(以下ダストという)に電荷を付加し, 約3~6 kVを用いる電気捕集部を組合せて捕集する。この方式は高電圧部よりオゾンを発生させるので, 臭気と人間の健康に問題がある。

本研究で, 開発した低電圧空気清浄装置はダストを含む空気の流れを送風機で作り, その上流側に導電性のネット(負極), 下流側に導電性フィルタ(正極)を配置し, 両者の間に12~200 Vの電圧を加えることができるようにした装置である。ダストは負極ネットを通過するとき負帯電ダストになり, 下流の正極フィルタで電氣的に捕集される原理である。したがって, オゾンを発生させない方法である。

本研究に用いた導電性ネットおよびフィルタには通

気性のステンレスネット, 高分子繊維および不織布に銅粉を被覆したものおよび炭素繊維フェルトを用いた。

試験は透明材料を用いたモデル試験装置と実用規模の空気清浄装置で行った。前者ではレーザ光線を用いて可視化によりダストの捕集状況を確認し, さらにパーティクルカウンタを使用して計数し捕集効率を計算した。後者では前述の低電圧による試験結果を応用した実用規模の空気清浄装置を作り, 高電圧空気清浄装置と捕集効率の比較および密閉空間におけるダスト濃度減少速度の比較試験を行った。

以上の結果より, 低電圧空気清浄装置の微細粒径のダスト捕集性能は負極ネットの形状と枚数に影響される。そこで負極側に導電性不織布材を用いると, 高電圧空気清浄装置とほぼ同等の捕集効率を得ることができていることを明らかにした。また, オゾンは原理的に発生せず, 密閉室内の浄化には高電圧空気清浄装置とほぼ同等の時間で可能であり, 高電圧を使用しないので取扱いおよび安全性も向上できる。その内容を紹介する。

2. 試験装置および方法

2.1 本装置の基本的考え方 図1に示すように

* 平成5年3月31日 第70期通常総会講演会において講演, 原稿受付 平成5年6月21日。

^{*1} 正員, 千葉工業大学 (〒275 習志野市津田沼2-17-1)。

^{*2} 学生員, 千葉工業大学大学院。

^{*3} 千葉工業大学。

^{*4} 正員, SRI 東アジア本部 (〒100 東京都千代田区千代田1-1-1)。

電気的中性ダスト(以下中性ダストという, ○印)は流れの上流に設置されたステンレス鋼製ネット(以下SSネットという)を通過するとき, 負帯電ダスト(⊖印)になって下流に設置された正極フィルタにおいて, クーロンの法則により電気的に捕集される。なお, SSネットは直流電源の負側に, 正極フィルタは正側に接続されている。

図2は正極フィルタにダストが捕集される要領を説明したもので, 微細ナイロン繊維織布に銅粉を被覆して導電性にしたものを説明用に拡大したものである。いま, 負帯電ダストが紙面の裏側から表側に不良導体の空気とともに流れてくるとき, 正電極に接続してある正極フィルタに電気的に吸着され捕集される。したがって, 織布の空間より微細なダストも捕集することができる。このような捕集要領は不織布, SSネットおよび炭素繊維ネットの場合も同様である。

2.2 供試材料 負極側に使用される材料は60メッシュから200メッシュのSSフィルタならびに不織布, 240メッシュおよび420メッシュのナイロン製織布に約100nm銅粉を無電解めっきで被覆したフィルタ(以下Fフィルタという)である。

正極側に使用される材料は負極側に用いたSSネットと同材のSSフィルタ, Fフィルタおよびピッチ系炭素繊維フィルタ(以下CFフィルタという)である。後者は直径約13 μ mで表面積0.2m²/g, 密度1.6

g/ml, 比抵抗約 $4.0 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ の導電材である。

2.3 試験装置 試験装置はダストを含む空気の流れと吸着挙動を目視できるモデル試験装置と, 実用規模で高電圧によるダストの帯電および捕集部と互換性のある低電圧空気清浄装置からなる。

(1) モデル試験装置 本装置は図3に示すように電気的に不良導体の透明材料を用いて, く形断面40 $\times$ 30mmで長さ210mmの容器を垂直に設置し, その下端にシガレット1本を取付ける。本装置の上方に小形ファンを設けて, その電圧を調整し容器内の空気の流速が一定になるように制御した。

容器の相対する2面にはCF, FおよびSSフィルタをちょう付し, これを直流電源の正極側に接続した。また, シガレットと容器の中間に取付けられた60メッシュSSネット6枚は直流電源の負極側に接続し, 正極側と負極側の間に電圧調整器で直流12Vから100Vを加えた。

シガレットからのタバコの煙と空気に含まれる中性のダストがSSネット群を通過するときに負帯電ダストになり, 容器内のCF, FまたはSSフィルタに電気的に捕集される。そのとき, 煙と空気の流れはその中に含まれるダストが正極側に移動するため, 湾曲して見える。この様子はレーザ光線を用いて目視し, 図3に示すように正極フィルタに到達する距離Aを実測した。このAの値は電圧, 材料およびタバコの煙の流速により変化した。また, それが捕集効率に影響することをパーティクルカウンタを用いて計数した。

パーティクルカウンタは高濃度のタバコの煙を20倍に希釈し, 空気とともに浮遊している各径の各粒子数を $0.28 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 中で光軸交角70°側方散乱方式で0.5l/minで吸引し, 34sで計数するものでJISB 9971に準拠したものである。

(2) 試験用空気清浄装置 図4は試験用空気清浄装置を示し, ダストの帯電および捕集部ならびに電

図1 低電圧空気清浄装置の原理説明図

図2 F-filterの拡大と吸着説明図

図3 モデル試験装置

図4 試験用空気清浄装置

図5 クロスフローファンの性能曲線

圧変換部は低電圧用と高電圧用との交換を可能にした。

図4の(a)は低電圧帯電部のSSネット群と捕集部の正極フィルタ群を一体に収納した低電圧フィルタケースを示す。捕集部はFフィルタの間に20~180mm厚さのCFフィルタをサンドイッチにしたものを代表例として示している。

図4(b)は高電圧用の帯電部と捕集部を示す。前者は6.6kVを加える4本の細線および後者は正負極板を約3mm間隔に配置したものを一体にした高電圧フィルタケースの詳細を示す。試験用空気清浄装置には上述の箱形ケースを2個装てんできる。

図5は試験用空気清浄装置に組み込まれているクロスファンの性能曲線を示す。

試験方法は装置入口にタバコの煙を吹きこみ入口と出口における各粒子の径についての個数をパーティクルカウンタを用いて計数した。また、内法床面積1.21m²で高さ1.6m、容積1.94m³の密閉室を利用し、その中に試験用空気清浄装置を設置し、その中で市販の線香を5本燃焼させた後、装置を作動させ、濃度減少速度すなわち時間経過と濃度変化をパーティクルカウ

図6 電圧とダスト捕集率および湾曲距離の関係

ンタを用いて計数した。

3. 試験結果

3.1 モデル試験 タバコの煙の流れと正極フィルタに加えた電圧の関係は図3に示すように、電圧をかけないときには正極フィルタに接触しないで上方に自然に拡散しながら容器出口から放出されるので、距離Aは長くなる。次に正極フィルタとシガレットと容器中間付近に設置した負極ネット群に直流電圧を加えると、タバコの煙は正極フィルタに向かって湾曲して流れるようになり、Aは減少し、表面に接触して流れる距離が増加する。ここで用いた捕集効率は次式による。

$$\text{捕集効率 } \eta_i = (N_{1i} - N_{2i}) / N_{1i}$$

N_{1i} : 直径 i の入口粒子数

N_{2i} : 直径 i の出口粒子数

i は本試験で用いたパーティクルカウンタで計測できる粒子で、0.12, 0.2, 0.3, 0.5 μm および 1.0 μm の5段階である。

図6は電圧と捕集効率の関係を粒子径と正極フィルタ材料をパラメータにしてまとめたものである。

捕集効率は電圧増加とともに向上するが、粒子径0.2 μm 以下のとき、正極フィルタ材質による影響はほとんどなかった。しかし、0.3 μm および 0.5 μm と

大きくなるにしたがって、正極材の影響が捕集効率にあらわれた。

試験結果によると、その捕集効率は表面と網目の粗さにより CF、F および 200 メッシュ SS フィルタの順となり、電圧および粒径が大きいほど差が見られた。電圧と正極フィルタ種類とタバコの煙の接触長さが捕集効率に影響していることがわかる。

図 7 は負極ネットに 60 メッシュ 1 枚を固定し、タバコの煙と平行に設置した正極フィルタの CF および F フィルタの表面積を変化させて、 $0.3\mu\text{m}$ および $0.5\mu\text{m}$ 径のダストをパラメータにして電圧と捕集効率の試験結果をまとめた。

この試験結果では、捕集率を向上させるには正極フィルタとタバコの煙の接触面積を増加させる必要のあることを示している。

3・2 空気清浄装置試験 本試験は One Thru の捕集効率と密閉室内に設置したときのダスト濃度減少速度試験からなる。

(1) 捕集効率向上試験 負極ネットおよび正極フィルタの材料および通過流速と容積が捕集効率に与える影響を試験した。まず、負極側を F フィルタ 1 枚に固定し、正極側には種々の CF フィルタを表面積および通過容積を変化させて捕集効率への影響を試験した。

図 8 は縦軸に捕集効率、横軸に CF フィルタ容積を通過して流れる流量 (l/h) をその容積 (l) で除した空間

速度 (h^{-1}) をとり、粒子径 0.3 と $0.5\mu\text{m}$ をパラメータにしてまとめた。テスト I, II は CF フィルタ厚さを 5mm とし、前者はモデル試験と同じ $40\times 30\text{mm}$ の通気孔を 14 個設け、後者は $40\times 15\text{mm}$ の通気孔 28 個設けた。テスト III~V は、通気孔に流れ方向厚さの異なる同一 CF を埋めて厚さを $90, 140\text{mm}$ および 180mm とし、その上下面に 1 枚ずつの F フィルタを取付けサンドイッチにした。図 8 では正極フィルタの仕様を CF フィルタの質量で表示した。なお、流量はフィルタの入口出口の圧力損失と図 5 のクロスファンの性能曲線を用いてそれぞれを求め、V は正極フィルタの容積とした。SV 値が増加すると捕集効率は低下する。また、粒径が大きいほど捕集効率も増加している。正極側の SV 値を減らしてもそれほど捕集効果を示さずかえって通風損失を増大させる結果となった。

次に負極ネット側の種類が捕集効率に与える影響を試験した。

表 1 は負極側に不織布 F フィルタ 1 枚または 200 メッシュ SS ネット 6 枚を用いたときの捕集効率をダスト径をパラメータにまとめたものである。本表より、捕集効率は 200 メッシュ SS ネット 6 枚と不織布 F フィルタ 1 枚とがほぼ同等であることがわかる。また、図 9 には正極フィルタに不織布 F フィルタ 2 枚を固定し、負極ネットに不織布 F フィルタ、織布 420 メッシュおよび 240 メッシュ F フィルタを 1 枚用いたとき、ダスト径と捕集効率の関係を示した。また、参考に

図 7 電圧と表面積の変化と捕集効率の関係

図 8 空間速度 SV とダスト捕集効率の関係

負極ネットに200メッシュSSネット1枚および電圧0Vのそれぞれの場合の試験結果も示した。この結果より、不織布Fフィルタが最も優れた性能を示した。

以上の原因をみるために、表1にSSネット、不織布Fフィルタおよび420メッシュFフィルタの100倍顕微鏡拡大スケッチを示した。不織布Fフィルタの通過面積が小さく表されているが、紙面の上下方向に交互に組合され、ダストが導電材の銅粉との帯電確率が多いものと考えられる。

以上の結果より、低電圧空気清浄装置において、正極フィルタにCFフィルタ10mmを2枚の不織布Fフィルタでサンドイッチしたものをを用いて、負極ネット

表1 SSフィルタとFフィルタ捕集効率の比較

Dust dia. μm		0.3		0.5		1		2	
Negative mat×No.		SS-6	F-1	SS-6	F-1	SS-6	F-1	SS-6	F-1
Inlet dust No. No/m^3		3.3×10^6		7.5×10^5		5.9×10^5		4.4×10^4	
Collective eff. %	DC 12	V	1	1	3	3	12	13	16
	DC 24	V	4	4	7	6	18	19	23
	DC 48	V	7	8	9	9	20	21	25

- Note 1) Positive : F-filter 2 pieces.
 2) SS-6 : 200mesh SS-filter 6 pieces.
 3) F-1 : F-filter one piece.
 4) Test condition : Humidity 54%, 760.8mmHg, 25°C.
 5) Filter enlargement sketch $\times 100$.

図9 各負極ネットの性能比較

トにFフィルタを7枚用いると、高電圧空気清浄装置とほぼ同等の捕集効率を得ることができたことを図10に示している。そのときの前者の通風損失は2.3mmAqで、風量は $3.6\text{m}^3/\text{min}$ で、後者はそれぞれ1.8mmAqと $3.8\text{m}^3/\text{min}$ であった。

(2) 密閉室内におけるダスト濃度減少速度 本試験は密閉室内において、高圧および低圧の空気清浄装置の性能を比較した。まず室内において、市販の線香を5本燃焼させた後、空気清浄装置を作動させ、10minでダスト濃度が低下する過程をパーティクルカウンタで計数したものである。

図11は負極側帯電部に不織布Fフィルタ1枚を用い、正極側の捕集部にFフィルタ2枚とCFフィルタ

- Note 1) Tabaco smoke
 2) — 6.6kV+3.5kV 2sets 0.3 μm particle dia.
 3) - - - 6.6kV+3.5kV 2sets 0.5 μm particle dia.
 4) Negative 7pieces $\Delta P=2.3\text{mmAq}$

図10 低電圧フィルタと高電圧フィルタの性能

図11 1.94 m³室内における各粒子の濃度減少速度

図 12 空間速度 (SV) と捕集効率の関係

90 mm および 180 mm 厚さをサンドイッチにしたテスト III およびテスト V を用いた。また、比較のため帯電部に 6.6 kV と捕集部に 3.5 kV フィルタを一体にしたフィルタケースを 1 箱および 2 箱の場合も示した。

以上の結果より、正極側の CF フィルタの通過厚さを増加しても、通風損失を増すのみで高電圧空気清浄装置 1 箱に近づけることも難しいこともわかった。

また図 11 には、負極側に不織布 F フィルタを 3 枚および 7 枚にして、正極側に、2 枚の不織布 F フィルタの間に 10 mm の CF フィルタをサンドイッチにしたものを用いて、横軸に経過時間とダスト濃度減少率を低電圧空気清浄装置と高電圧空気清浄装置に 2 個のフィルタケースを用いた場合とを比較して示した。この結果より、負極側フィルタの増加を考慮することが捕集効率を向上させることになる。

4. 考 察

(1) モデル試験結果より、低電圧空気清浄装置は図 1 に示した原理にしたがって、ダストが負極側の帯電部で負電荷ダストになり、下流に流れに平行に設置された正極側の捕集部で電氣的に捕集される基本原理を可視化および捕集効率により明らかになった。

(2) 捕集効率は負極フィルタおよび正極フィルタの材料表面積および流速により調節することができるが、その効率向上には負極側の材料およびダストとの帯電要領が重要になる。本装置が高電圧空気清浄装置と同じ形状か、それ以下の形状で可能になったのは図 9 の結果より負極側でダストを有効に帯電する不織布 F フィルタの開発の結果と考える。

(3) 粒子径の小さいとき、捕集効率の低いのは粒子表面における帯電量が少ないためと考えられる。

(4) 図 12 は図 8 の SV 値と捕集効率との関係を示したもので、かなり広い範囲の SV 値にわたって捕集効率を保持することができた。

(5) 本試験結果より、不織布 F フィルタを負極および正極フィルタについて適当に用いる設計をすると、6.6 kV および 3.5 kV を組合せたフィルタケース二段のものと同様か、それ以上のものを一段で設計できることを示している。なお、室内清浄化は使用するファン仕様の設計を考慮しなければならない。

(6) 自動車のバッテリーを直接用いた低電圧空気清浄装置について、すでに電圧と正極側フィルタの増強についての報告がされているが⁽¹⁾、本報告では負極側の帯電部に対する考慮が捕集効率を向上させる設計に重要であることおよび 200 V までの広い範囲にわたる試験および考察がなされた。

5. ま と め

基礎試験において、直流低電圧で帯電部の導電性フィルタにより負帯電ダストは流れに平行に設置された正極フィルタにおいてもかなり小径のものまで電氣的に捕集されることが示された。

この結果を空気清浄装置に応用し、(1)図 9 と表 1 の負極側フィルタの形状ならびに図 10 の枚数の増加によって、小径ダストの One Thru の捕集効率が電圧のないときと比較して電圧による影響を受けることおよび帯電部フィルタの形状と枚数増加が流れに直角方向の厚さの増加による物理的捕獲の助け(通風損失の高いフィルタ)より効果のあることを示した。(2)室内におけるダスト粒子濃度減少速度試験では送風機の空気との混合率および風量も関係するが、上述の試験結果より、図 11 に示すように電圧の影響が正極フィルタの厚みの影響よりも大きく、風量の減少も高電圧空気清浄装置に比べて約 5% 以内、0.3, 0.5 μm 平均の捕集効率をほぼ同等にすることができた。

以上の結果より、実際の設計では低電圧の印加電圧による効果を最大とするよう、すなわち風量を適切にし通風抵抗を少なくして捕集効率を向上させるよう、送風機を含めて設計することができると考える。また、本報告はその基礎的な資料を提供したものである。

文 献

- (1) 吉川・小松・池田・ほか 1 名, SAE Paper, No. 930020 (1993).