

エアクリーナにおける異物捕捉メカニズムと高性能ろ過材

Mechanism of Trapping Air Cleaner Particles and High-performance Filter Element

田 中 征 一*

Seiichi TANAKA

細 谷 隆 之*

Takayuki HOSOYA

田 中 亨*

Toru TANAKA

古 賀 謙 司*

Kenji KOGA

要 旨

消耗部品となっているエアクリーナエレメントの構成材料であるろ過材料の長寿命化を達成するため、ウェットタイプ不織布とドライタイプ不織布を積層した高性能長寿命エレメントを開発した。

ダスト異物捕捉のメカニズム解析により得られた結果から、ウェット層には繊維の親油性を向上させた不織布にオイルを保持させ、ダストを繊維上に凝集させ目詰まりを低減したウェットタイプ不織布ろ過層を形成した。さらに、ドライ層を積層させた多層化構造とすることにより、ダスト異物の大きさや種類によらず高い捕捉能力とライフ性能の両立を可能とした。

ABSTRACT

Attempting to extend the life of the air cleaner filter element, a consumable part, the project discussed in this paper layered wet- and dry-type non-woven filters to develop a high-performance long-life element.

Based on the results of an analysis of the mechanism of capturing dust particles, the lipophilic properties of the fibers of the non-woven used in the wet layers were enhanced to increase oil retention, enabling dust to be accumulated in specific areas and thus reducing clogging. Dry layers have also been used to produce a multi-layered structure, reconciling the achievement of extended life with a higher level of efficiency in capturing particles of all sizes and types.

1. まえがき

自動車開発では、地球環境保護の観点から、低燃費、リサイクル性の向上、排出ガスのクリーン化等に取り組んでいる。また、エンジンオイル等の油脂類のメンテナンスインターバル延長や消耗部品の交換寿命を伸ばすことで、廃棄物の削減とユーザの利便性を向上することも積極的におこなわれている。エアクリーナエレメント(以下エレメント)は定期的メンテナンスと定期交換が必要な部品の一つであり、地域ごとの異物の特徴に合わせ各種ろ過材を使い分けると共に、メンテナンスインターバルを設定している。特に、砂塵地区などのダスト環境に厳しい地域では微細な異物を除去する必要があり、目の細かく寿命の短いエレメントを使う必要があった。エレメントろ過材料の異物の捕捉メカニズム解析に基づき新発想による長寿命化と微細ダス

*四輪開発センター

トの捕捉性能を両立できるろ過材を用いた高性能エレメントを開発した。その結果、エレメントのメンテナンスインターバルの延長を図ることが可能となった。

2. エレメントへの要求機能

エレメントへの基本的な要求機能は下記の3点である。

(1)ダストライフ

市場交換距離迄に捕捉できる異物量(寿命)

(2)清浄効率

各粒径の異物の捕捉量と異物ろ過した分離量の割合

(3)通気抵抗(空気の通しやすさ)

このうちダストライフと清浄効率向上は一般に相反する性能である。たとえばエンジン内部への異物侵入を低減するため、目の細かいろ過材にて清浄効率を向上

させると、目詰まりが起こりやすくダストライフが低下し、部品の交換サイクルが短くなってしまう。

3. エLEMENTの捕捉異物の種類

市場で使用されたELEMENTを回収し、捕捉異物の分析をおこなった。その結果、異物は組成および性状から大きく三つに分類される。

(1) カーボン異物

粒径は $1\mu\text{m}$ 以下であり、大気中のPM(粒子状物質)等が考えられる。

(2) 無機系ダスト異物

粒径 $1\sim 50\mu\text{m}$ 程度の大きさであり、砂塵等の鉱物に由来するケイ酸塩(砂、クレイ)を主体としたものである。

(3) その他の異物

上記(1)、(2)以外の異物。タイヤ磨耗粉のゴム系異物が多い。Fig. 1 にその重量割合の一例を示す。

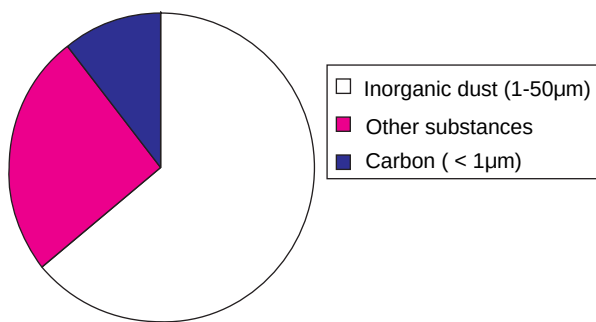


Fig. 1 Classification of trapped particles from used elements in Japan

4. 各異物の捕捉メカニズム

(1) カーボン異物捕捉メカニズム

カーボン異物は粒径が小さいため、空気とELEMENT繊維の摩擦で発生する静電気力を利用して捕捉することが一般的である⁽¹⁾。したがって、カーボン異物はろ過材料が帯電することで捕捉される。体積固有抵抗値が高いほど帯電量は増加することから、ろ過材料の体積固有抵抗値が高いほど清浄効率が高い(Fig. 2)。

(2) 無機系ダストとその他の異物捕捉メカニズム

ELEMENTの繊維にダストが捕捉された状態を Fig. 3 に示す。ダストは繊維のすき間に捕捉されており、ダストの粒径により、その捕捉メカニズムは異なる。粒径の大きなダストに対しての、ろ過材空間率と捕捉清浄効率の関係を Fig. 4 に示す。ろ過材の空間率が低い、すなわちろ過材の目が細かいほど清浄効率は向上する。一方 $5\mu\text{m}$ 以下の微細粒子の捕捉に対しては、カーボン異物

と同様に静電気による捕捉の効果が大きい(Fig. 5)。また、ペーパータイプのろ過材料にオイルを保持させたウェットタイプELEMENTでは、フィルタ表面のオ

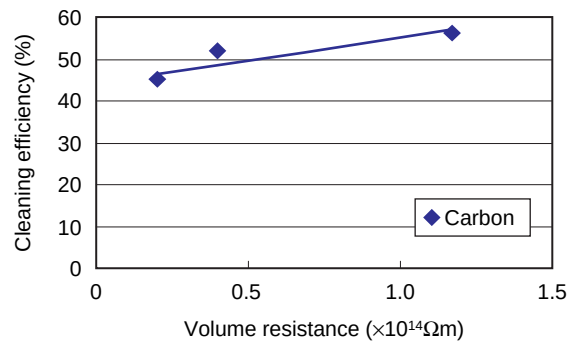


Fig. 2 Cleaning efficiency by Volume resistance



Fig. 3 Dust (1-50 μm) and other substances trapped in filter-fiber

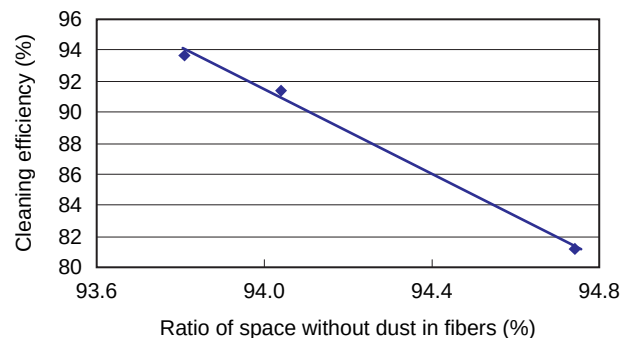


Fig. 4 Correlation of space ratio and cleaning efficiency

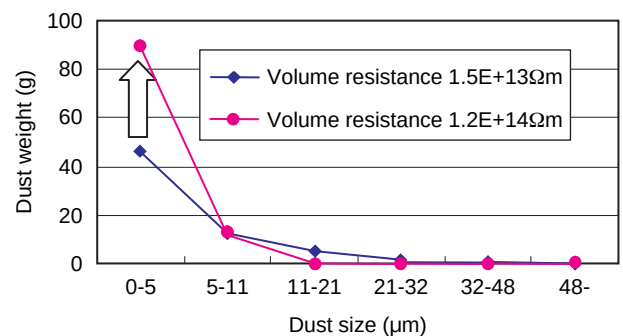


Fig. 5 Ultraparticle dust capture by static electricity

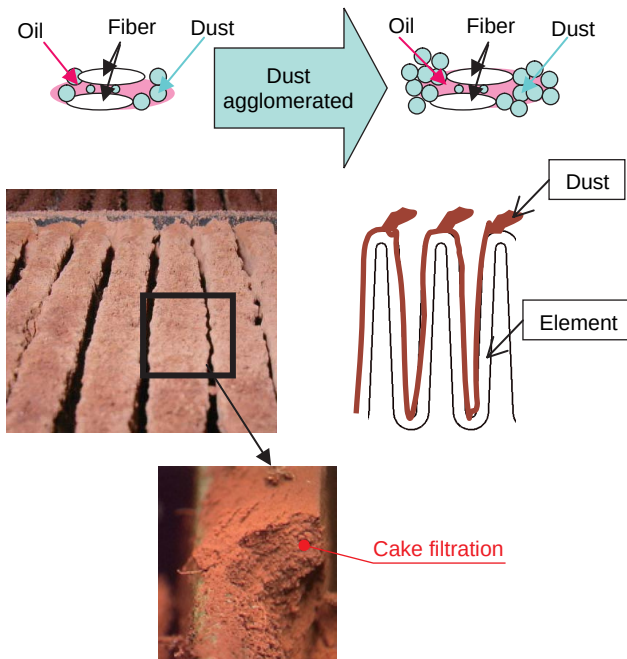


Fig. 6 Cake filtration

イルに捕捉されたダストにオイルが浸透し、そのダストがさらにダストを捕捉するという現象が連鎖的に起こるケーキろ過というメカニズムも起こる⁽²⁾(Fig. 6)。

5. ろ過材の種類と特徴

エレメント素材としては、一般的にペーパータイプのろ過材料、不織布、多孔質フォーム等が使われており、これらは素材で分類すると主にペーパータイプのろ過材料と不織布であり、また、助剤使用(油含浸)の有無でさらにドライとウェットに分けられる。

このうちダスト清浄効率とカーボン清浄効率を重視し一般的には3種類の組み合わせが使われている。各ろ過材の特徴をFig. 7に示す。Fig. 7(a)はダスト清浄効率、Fig. 7(b)はダストライフ、Fig. 7(c)はカーボン清浄効率、Fig. 7(d)はカーボンライフを示す。ドライのペーパータイプのろ過材料は清浄効率が高いが、ダストとカーボンライフが短い。ウェットのペーパータイプのろ過材料は、ダストライフは長いが、カーボン清浄効率が低い。ドライの不織布は、ダストライフは長くカーボン清浄効率も高いが、ダスト清浄効率が低いことがわかる。

また、不織布はその設計、製造自由度の高さから各層の密度や厚みを変化させることができ、多層化をおこなうことでFig. 8のように同一圧損におけるダスト清浄効率の向上を図ることができることも特徴である。

しかし、不織布はドライのペーパータイプ並みの清浄効率とダストライフ延長の両立をすることができない。このため異物が特に細かく量の多い地域では、目の細かいドラ

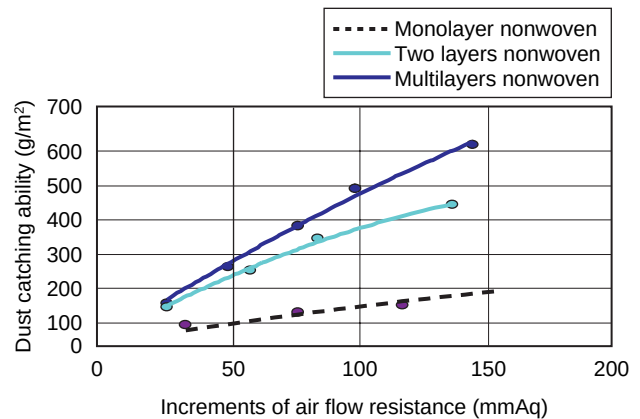


Fig. 8 Effect of multilayer structure

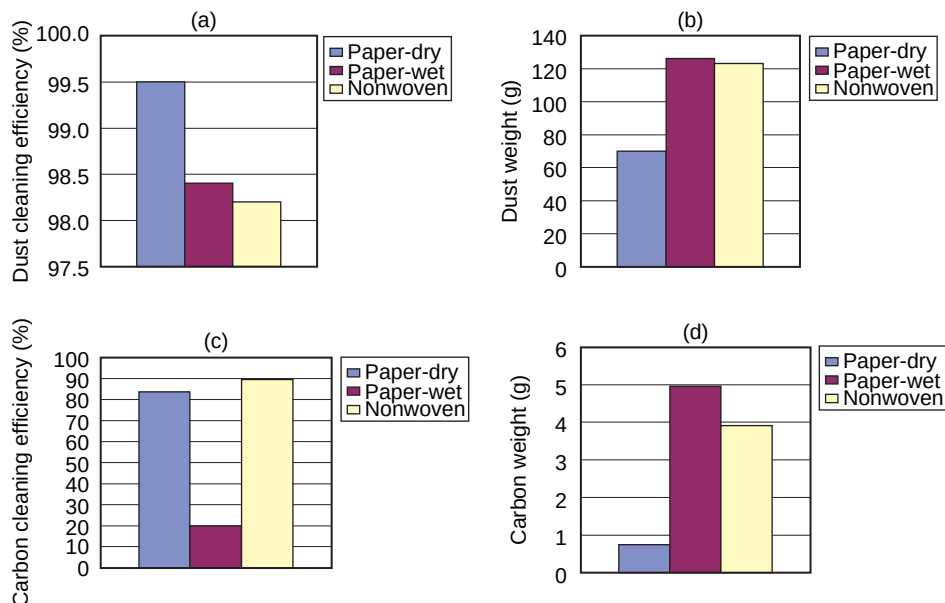


Fig. 7 Filter performance by structure

イのペーパータイプのろ過材料を用い、たとえば走行距離 1 万 km ごとにエアブロー等のメンテナンスが必要とされていた。

6. 高性能ろ過材の開発

ペーパータイプのろ過材料では製法上細かい目をもつ材料構造となるため、さらなる長寿命化は困難である。そこでライフ性能を大きく向上させるため、ライフ性能の高いウェットタイプと不織布を組み合わせたろ過材を検討した。これは繊維の空間で異物を捕捉する不織布のろ過形態に加え、ウェットタイプとすることでケーキろ過によりろ過材表面での異物捕捉を可能とするものである。

6.1. 含油不織布

不織布を用いてケーキろ過をおこなうためには、繊維自身のオイル保持性が重要となる。その一つの手法として異形繊維による表面積拡大と繊維のオイル保持性および付着

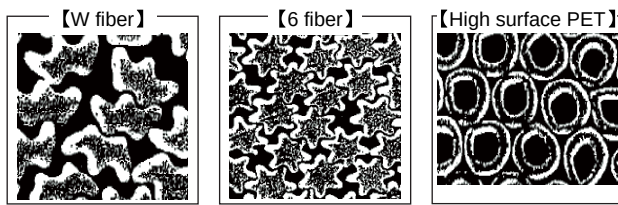


Fig. 9 Photo of fiber cross section

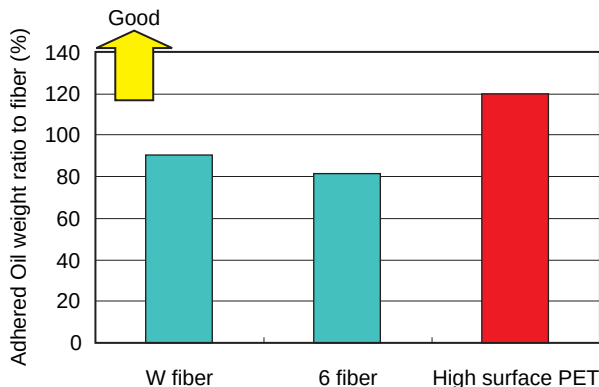


Fig. 10 Property of oil adhered to fibers

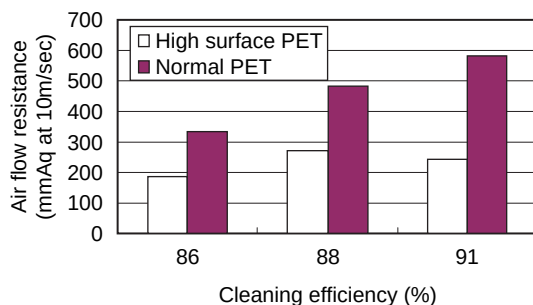


Fig. 11 Dust cleaning efficiency performance

状態を比較した。比較した繊維の断面を Fig. 9 に、Fig. 10 にオイル保持量の比較結果を示す。High surface PET のオイル保持性が最も良好なことが示された。

一般的な円形断面の PET と High surface PET をそれぞれウェット化した性能を比較すると Fig. 11 に示すように清浄効率同等の場合は、通気抵抗の低減が図れた。これは目でのトラップではなく繊維自身で捕捉することを実現できたためと考えられる。ただし、ウェット化したことにより繊維の静電気量が低下しカーボン清浄効率が低下するため、カーボン捕捉層を設ける必要がある。

6.2. 多層化によるろ過性能とダストライフの最適化

Fig. 12 にカーボン捕捉のためのドライ層を追加した開発エレメントの層構成の一例を示す。

ダスト側には含油繊維を用いた粗いウェット層を配置し、クリーン側には繊維密層の高いドライ層を設けた多層化構造とすることで、ダスト清浄効率とカーボン清浄効率およびダストライフのすべてを向上させる構造とした。

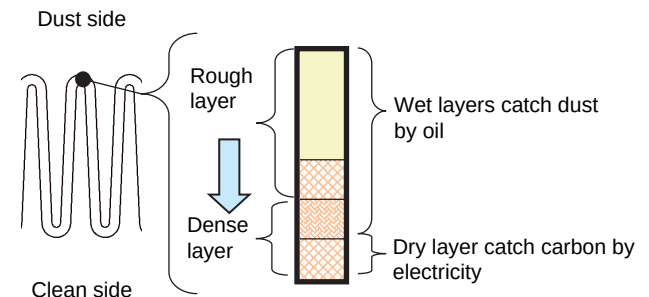


Fig. 12 Filter composition

7. 高性能エレメントの性能

開発した新エレメントのライフ性能を Fig. 13 に示す。従来に対し、清浄効率やカーボンライフを犠牲にするこ

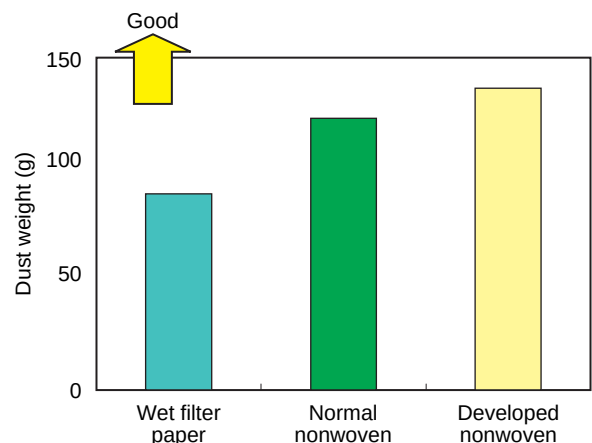


Fig. 13 Trapping dust weight by filter structure

となくダストライフを向上した。

また、繊維・粗密の最適化により、Fig. 14に示すように、異物の大きさや種類によらず、特に細かい異物(JIS11種)の捕捉能力が強化された。

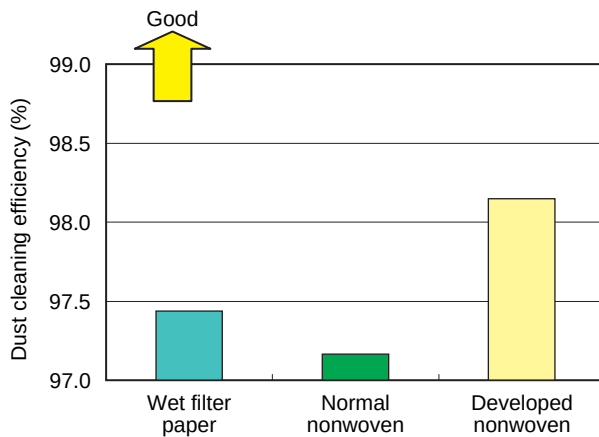


Fig. 14 Cleaning performance for ultra-fine particle (JIS Z 8901 TYPE11) dust

8. まとめ

エレメントの課題であった長寿命化と微細異物の捕捉能力強化に対し、各種異物の捕捉メカニズムを解析することで、相反する特性である異物の捕捉性能とライフ性能を両立させた多層化構造を開発した。

本仕様の確立により、ダスト環境の厳しい地域におけるダスト捕捉性能を確保しつつ、ダストとカーボンライフの向上が図れた。既に本技術は新型 ACCORD, FIT に量産適用されている。

参考文献

- (1) 杉本泰治：濾過，メカニズムと濾材・濾過助剤，地人書館，p.405(1992)
- (2) 高橋幹二：応用エアロゾル学，株式会社養賢堂，p.328 (1984)

■著 者■



田中 征一



田中 亨



細谷 隆之



古賀 謙司