

# Air Cleaner の除塵性能に関する研究

油槽式クリーナーの性能と作用機構について

中 馬 豊

Studies on the Dust Proof Faculties of Air Cleaner on Farm Engines

III. On the Faculties of Oil-bath Air Cleaner

Yutaka CHUMA

(Laboratory of Agricultural Machinery)

## I 序 言

農用発動機に用いられるエアクリーナーに濾網式と油槽式 (Oil-bath cleaner) がある。濾網式は専ら濾網作用に依存し、油槽式はさらに遠心慣性効果の利用による粒子分離機構を附加したものである。濾網式の性能試験ならびに性能向上策については既に報告した。ここに油槽式に関する性能試験、改良試験、作用機構の力学的考察の一部を報告する。

## II 試験方法

(1) 実験装置および方法：前報<sup>1)</sup>に準ずる。

(2) 供試器：かつら M2 型 4~5.5 HP 附属のクリーナーとする。

以下特に断りない限り運転は 1,300 r.p.m. 3/4 負荷の 3.26 HP (富士電気動力計による) とする。供

### 関 係 諸 元

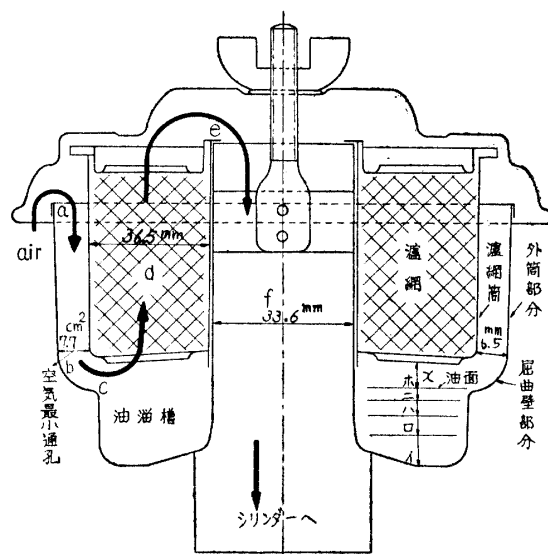
かつら M2 型 筒 径	90 mm
行 程	100 mm
気筒容積	635 cm <sup>3</sup>
出 力	4~5.5 HP
r. p. m.	1200~1600
クリーナーエレメント	金 網 wire wool
エレメント 空隙率	91.68 %

給塵砂はタイラー標準篩 200 メッシュ (0.075 mm 以下) 通過のもの 30 gm を用いたが、途中導塵管内に溜るため、クリーナーに達する正味量は 22 gm 程度である。

(3) 供試器：エアークリーナーについて各部名称構造寸法は第 1 図の通りとする。

実験に際しては同種のもの 2 個を併用し、A B と区別した。

(4) 実験後、油溜オイルへの侵入塵砂の定量は、同 オイル を ガソリンエーテルで溶解し、ガラスフィルター、サッカーを用いて溶脱した残溜物として求めた。



油面の高さ	油 量	X
イ	0 gm	22.5 mm
ロ	22.5	16.1
ハ	標記適正量	11.4
ニ	60.5	7.5
ホ	最 大 量	4.9

X は油面から濾網筒下部迄の距離 (mm) とする。

第 1 図 供試エアークリーナー

1) 鹿大農学部学術報告, 3 (1954).

### III 試 験 内 容

基礎性能の中、第1報の内容に類似するものは除外し、油槽式クリーナーに特異と思われる内容事項について検討した。

(1) 油溜油面の高低と除塵率(クリーナーA) 油溜にモビール(Standard Vacuum 40番)をそれぞれ 0, 20, 45, 60, 74 gm 注入し各種油面高さが除塵性能に及ぼす影響を検討する。45 gm は油溜槽に標記された適正油面、74 gm は油溜の最上部油面に相当し、これ以上の油量は傾斜振動により濾網底部に接触浸潤する。油量と濾網(エレメント)底部の距離および通気路断面積は第1図に附記した。本項目は濾網に含油せしめないで所謂乾燥状態として行つたものである。

(2) 油溜オイルの濃度と除塵率 油溜オイルの濃度を白灯油の添加により次の4段階にわけ、除塵率に及ぼす影響を検討した。(標記油面、濾網は乾燥状態、クリーナーAB)

- i) モビール 30 番 50 cc (モビール対白灯油の容積比は 1:0)
- ii) モビール 30 番 25 cc と白灯油 25 cc (1:1)
- iii) モビール 30 番 16.7 cc と白灯油 33.3 cc (1:2)
- iv) 白灯油 50 cc (0:1)

(3) 油溜オイルの汚濁程度と除塵率(クリーナーB) 油溜オイル(モビール 30 番、以下同様の項も同じ)は運転時間の増加に伴つて、吸気中から脱離された塵砂が沈積して汚濁される。この汚濁程度と除塵性能の関係を検討した。油溜は常に適正油面、油溜オイルへの混塵量はそれぞれ 10, 20, 30, 40 % (容量計算)にした。エレメントは乾燥状態。

(4) エアクリーナーの有効除塵限界について エアクリーナーを長期間手入れせずに連続使用した時幾何の塵砂量までを有効に除去しうるかを明にするため、約 20 gm 宛の砂塵を数回供給し、その都度これらの累計送塵量に対する除塵率を求めた。油溜は標記適正油面。濾網は 5 gm 注油した最良状態の場合<sup>2)</sup>(クリーナーB)と乾燥状態(クリーナーA)とを併せ試みた。

(5) 濾網(エレメント)の注油効果(クリーナーA) 濾網内に塵砂吸着液として 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10 gm のモビールを浸潤せしめ、除塵率に及ぼす効果を検討した。

(6) 塵砂の粒径と除塵率の関係(クリーナーB) 実作業場に期待される塵砂の粒径を4段階にわけ、この粒径の差異が除塵率に与える影響を検討した。粒子径はタイラー標準篩 200 メッシュ通過のものをさらに流水分級法で分級して、次の範囲のものをえた。61~21 $\mu$ , 27~13 $\mu$ , 25~17 $\mu$ , 12~8 $\mu$ 。

油溜は標記油面、濾網は乾燥状態。

(7) 異種粒子に対する除塵率 発動機の圃場使用に関連があると思われる塵砂、BHC 粉剤、消石灰の3種の粒子につき除塵率を比較した。

B.M.E.P.<sup>3)</sup>を一定(3.55)、回転数を 1200, 1300, 1500 r.p.m. に変えた時の除塵率も比較した。油溜モビールは 30 番使用。

(8) 改造試験 作用原理に基き二三の改造を試みた。遠心力を極度に発生せしめるため濾網筒外周に旋回案内羽根を取つけ、また離脱された粒子を十分に油槽面に吸着させるよう、油槽屈曲壁の部分直円筒に改造して従来のもものと比較した。

(9) ボレンス装備クリーナーの性能試験。

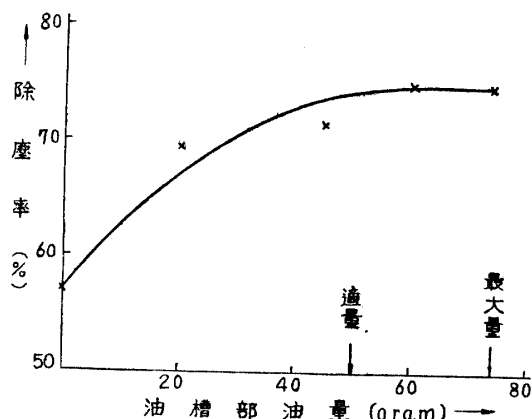
(10) クリーナー各部の力学的作用機構について考察した。

2) (5) 項参照。

3) Brake mean effective pressure.

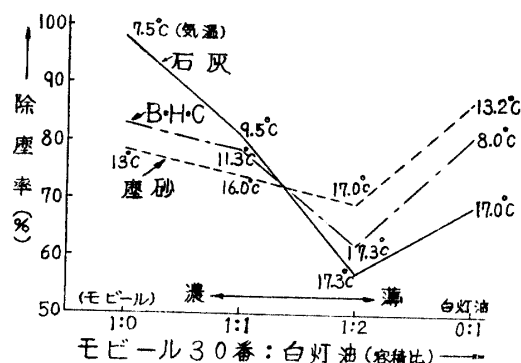
## IV 試験結果及び考察

(1) 油溜油面の高底と除塵率 第2図-(1)は油溜油面に伴う除塵率の変化である。油面を零から適量迄高めるにつれて除塵率はかなり顕著な向上を示し、さらに適量から最高油面までの間においては僅かに上昇する。この最高油面とは濾網下面に接触しない範囲の最多油量であつて、この結果によればクリーナーの標記油面は、むしろ許容最低油面と見做すのが適當である。この零と最高油面の間においては18%の除塵率の差がある。なおこれら両極限の油面差に基く吸気圧損失の差は、運転開始時に2～3mm水柱、30分間の運転終了時において5～6mm水柱であつて実用上何等の支障を来たさない。



第2図-(1)油面の高低と除塵率

(2) 油溜オイルの濃度と除塵率 一般に運転試験において油溜オイルの濃度差に基く除塵率の変化は、高濃度側では明瞭な結果を示すが、低濃度側ではかなりの彷徨性を持ち一定の傾向を把握し難い。これは発動機振動がクリーナーに波及して油溜油面の動揺が激しく、このために低濃度油は濾網下底部に不規則に浸潤し、第5項にのべる「注油の効果」が部分的に加わるためである。そこでモビール対白灯油の



第2図-(2)油溜オイルの濃度と除塵率

混合比1:2以下の低濃度側において別途に防振装置を講じて試みた所<sup>4)</sup>、第2図-(2)に示す結果をえた。すなわち油溜オイルの濃度が低下するにつれて除塵率は低下を示すが、混合比1:2以後においては上昇する。理由はこの防振装置でもなお吸気振動の影響は除外できなく、濾網に「注油の効果」を附加したものと考えられる。

なお本項の内容は本質的には「粘度と除塵率」の問題に帰すると思われるので室温の影響も無視できない。使用したオイル粘度の測定値を附記する。

(3) 油溜オイルの汚濁程度と除塵率 i) 第3図(1)によれば油溜オイルの塵砂混入量の増加するにつれて除塵率は低下する。塵砂混入

量の増加は粘度を高め<sup>5)</sup>オイルの飛散性を低下せしめる反面、振動傾斜等によつて一旦濾網下部に附着した油は滴下困難となり濾網は閉塞され易くなる。なおこの場合の粘度は第(2)項のモビール

油溜オイルの粘度(レッドウッド秒)

混合比	温 度	
	50°C	100°C
モビール：灯油 1：0	236.0 秒	51.2 秒
〃 1：1	39.6	30.6
〃 1：2	33.0	27.8
〃 0：1	27.4	26.0

4) 第1報第1図の固定函とクリーナー函との連結管を切断してゴムチューブで連結し、さらにクリーナー函は吊り下げて防振処置を施した。

5) 著者：空冷小型発動機における潤滑油劣化の解析的検討について、第1図-(イ)を参照農業機械学会誌 15 (2), (1954)。

30 番の場合より高粘度側になるから（第2図(2)を左側に延長），この2項を一諸にして考えると，モビール 30 番の粘度が高除塵率をうるためには最良で，これより高低いずれの粘度に向つても次第に低下したことが認められる。

ii) 同図に油溜の捕塵率を併記した。

クリーナーに供給した塵砂量を  $A$ ，油溜が捕捉した塵砂量を  $B$  とすれば

油溜の捕塵率  $= B/A \times 100\%$  である。

油溜内のオイルの混塵量が  $0 \sim 30\%$  間では捕塵率は徐々に低下し， $30\%$  以上では急激に低下する。従つて，クリーナー全体としての除塵率はともあれ，油槽式の特性を維持するためには混塵量は  $30\%$  を限界とすることが望ましい。

iii) 第(3)図-(2)は運転中にクリーナー内の各部分に堆積する塵砂量を（油溜オイルの各種混塵量に対して）検べたものである。

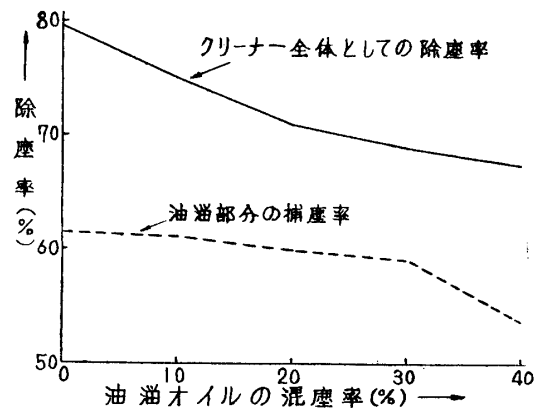
油溜部分の捕塵量は濾網部分の約3倍をしめることは注目値する。同じくシリンダー内に侵入する塵砂量は濾網の捕捉量よりはるかに多量である。シリンダー内に侵入する塵砂が全部機関内部の摩耗に預るものとすれば，まことに慄然たるものがあるが，これらの中多くは排気ガスと共に排出され，残りが摩耗に加わるものと推察される。これらの動きの詳細についてはあらためて検討するつもりである。

なお同図において油溜に捕捉される塵砂量は油溜オイルの混塵量が  $0 \sim 20\%$  の間においては増加するが， $20\%$  以上になると漸減し，またシリンダー内に侵入する塵砂量は油溜オイルの混塵量増加に伴つて概ね増加することも注目される。

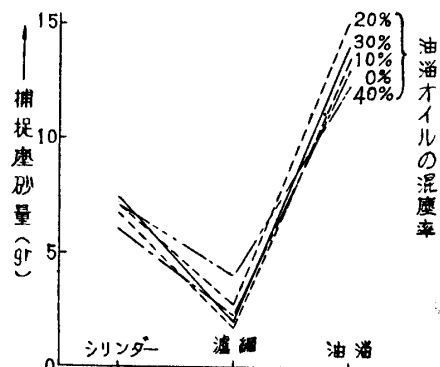
iv) 第3図-(3)は油溜，濾網底部，同頂部およびフィルター<sup>6)</sup>面上（シリンダー内に侵入するはずの粒子）の粒子径を測定したものである。

大粒子はまず，外筒下部の屈曲壁面上の慣性，遠心力のため分離され油溜内に突入するが，小粒子は気流と共に濾網内を転々と進行し，遂にシリンダー内に侵入することが想像される。

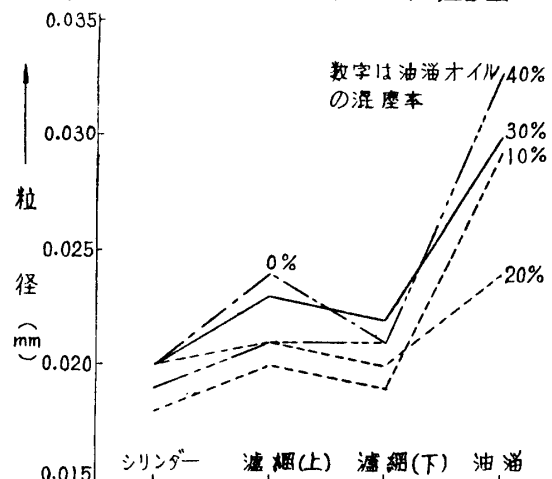
(4) エアクリーナーの有効除塵限界  $20\text{ gm}$  前後の塵砂を数回送つた累積送塵量に対し，その各途中における除塵率およびクリーナー各部の堆積量を検べた結果は第4図の通りである。但し(1)は濾網に  $5\text{ gm}$  注油，(2)は濾網乾燥の状態である。



第3図-(1) オイルの汚れと除塵率

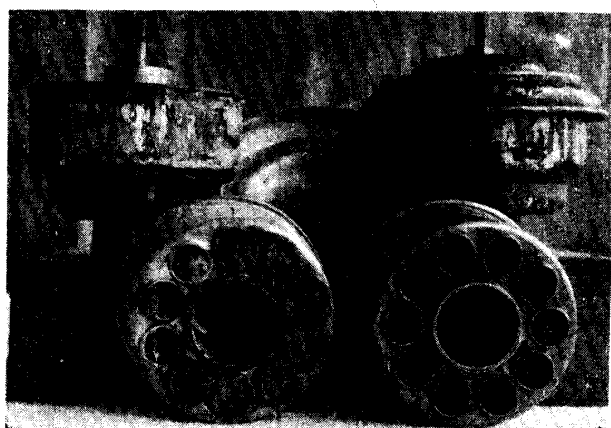
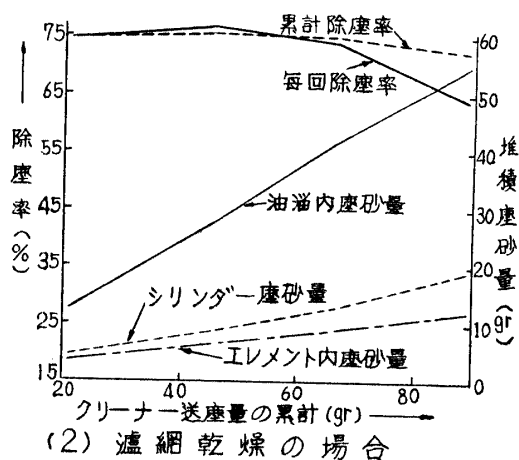
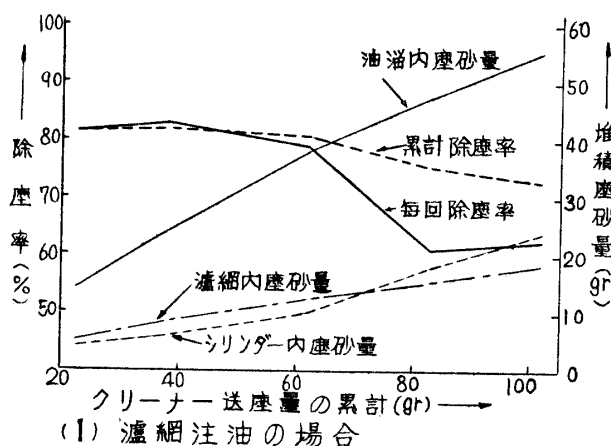


第3図-(2) クリーナー各部の捕捉塵砂量

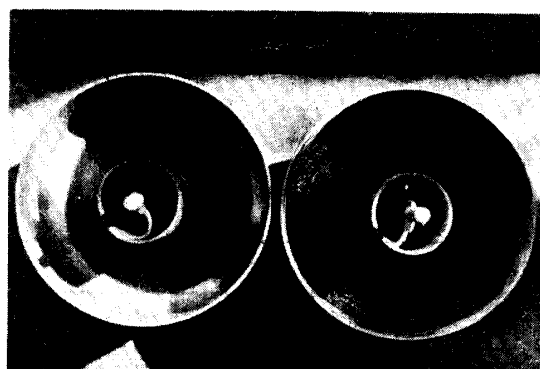


第3図-(3) クリーナー各部の粒子径

6) 本実験装置において最終的に吸気を濾過する部分で，約一尺平方のフランネルおよび濾紙を重ね合せた濾し布の部分である。



(3) 濾網通気孔の閉塞



(4) 屈曲壁の塵砂堆積

第4図 累加送塵量と除塵性能

i) クリーナー各部の堆積量は送塵量に応じて漸増するが、除塵率は送塵量  $60\text{ gm}$  近辺から稍大きな低下を示す。除塵率の計算値は、毎回と、累計の場合とで稍異り、前者の方が動きが大きい。

ii) 油溜、濾網内に堆積する塵砂量は送塵量に応じて直線的に増加する。

油溜と濾網部分における捕塵量の比率は、濾網注油の場合  $3:1$  を保ち、濾網乾燥の場合は実験初期  $3.57:1$ 、実験末期  $4.58:1$  となつた。すなわち濾網乾燥の場合、油溜の負担は運転初期のみならず末期においてはさらに重くなる。シリンダー侵入量は、濾網注油の場合、送塵総量  $70\text{ gm}$  に達して始めて濾網の捕捉量より多くなるが、乾燥状態の場合は終始シリンダー侵入量の方が多い。

iii) 第4図-(3)は、 $62\text{ gm}$  送塵後に濾網筒下端部の通気孔面積が塵砂のため、約  $65\%$  閉塞された状態を示すが、 $80\text{ gm}$  送塵して運転した後は  $75\sim 80\%$  に達した。同図(4)は油溜直前の通気路屈曲壁部分に塵砂の堆積した状況であり何れも供試前のものと比較した。

この i) iii) 項の結果を総合して、クリーナーの一応の耐塵許容限界は送塵総量が  $60\sim 70\text{ gm}$  に達した時と見做される<sup>7)</sup>。

(5) 濾網の注油効果 第5図(1)に示す通り、除塵率は濾網内の通気路附近に  $2.5\text{ gm}$  注油することにより急上昇し、以後油量を増加するにつれて徐々に上昇する。実際の発動機使用状態に

7) 各種の作業環境下の運転において、この量に到達する所要時間を調査する事は安全運転を期する上により資料となる。

においては、油溜オイルは振動、傾斜等のため、ある程度濾網底部に附着するから除塵率はかなり上昇することが考えられる。

(6) 塵砂の粒径と除塵率 第5図(2)によれば、微細な粒子を用いるほど除塵率は低下し、 $8\mu \sim 61\mu$ の粒径範囲内において略30%の差をみることができる。

また同図(3)は、各粒径別にクリーナー各部に堆積した塵砂量を示したもので、いずれも送塵量を同量(22gm)にした時の比較値である。大粒子を使用した場合は油溜内に突入する量が多く、小粒子を用いた場合はシリンダー内まで到達する量の多い傾向も認められる。これらの事実は一応微粒子薬剤利用の動力撒布機のクリーナーにおいて、かなり厄介な問題を予測せしめるものがある。

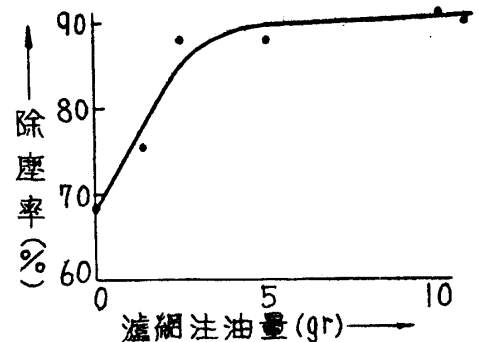
(7) 異種粒子に対する除塵率 供試した粒子の性状は次表のようなものである。

名 称	比 重	粒 径	外 形
塵 砂	2.384	$23.8\mu$	各粒子は団状になり難い
BHC粉剤	2.328	11.7	粒子が団状になり易く、吸湿性強し
消石灰	2.320	14.1	"

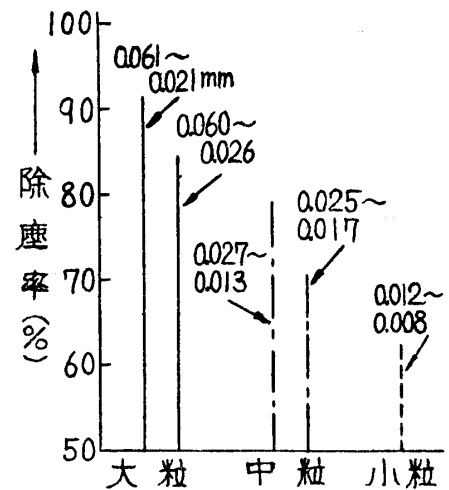
消石灰とBHC粉剤は使用直前よく乾燥させ、分散解膠を計つたが、凝集して隅部に沈積し易いので運転中は特に留意して振蕩した。

第6図(1)は粒子の外形、(2)は粒径分布曲線、(3)は試験結果である。

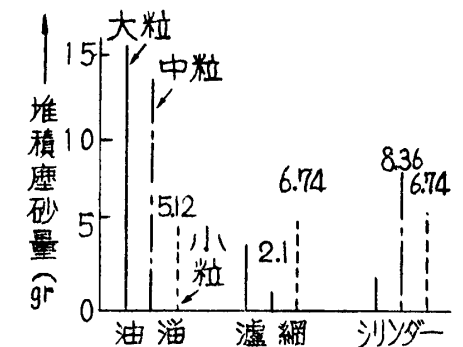
i) 同図(3)によれば油溜部分の捕塵率<sup>8)</sup>は、各粒子共 *r.p.m.* 上昇と共に心持ち増加するが、濾網部分の捕塵率は高回転では低下する(シリンダーに侵入する分は *r.p.m.* の上昇と共に増加する)。従つて *r.p.m.* (従つて流速)の増加は濾網の側から除塵率を低下させるものとみることができる。総体的には前報の濾網式クリーナーに比較し、*r.p.m.* による除塵率の変化は少いが、これは油槽式(Oil-bath cleaner)の一つの特徴とみることができる。



(1) 濾網注油と除塵効果



(2) 塵砂の粒径と除塵率



(3) 粒径別の各部塵砂堆積量

第5図 濾網注油量・粒径の差異と除塵効果

8) 捕塵率は油溜りでは  $\frac{B}{A} \times 100\%$

濾網では  $\frac{C}{A-B} \times 100\%$

A 供給粒子量

B 油溜に捕捉された粒子量

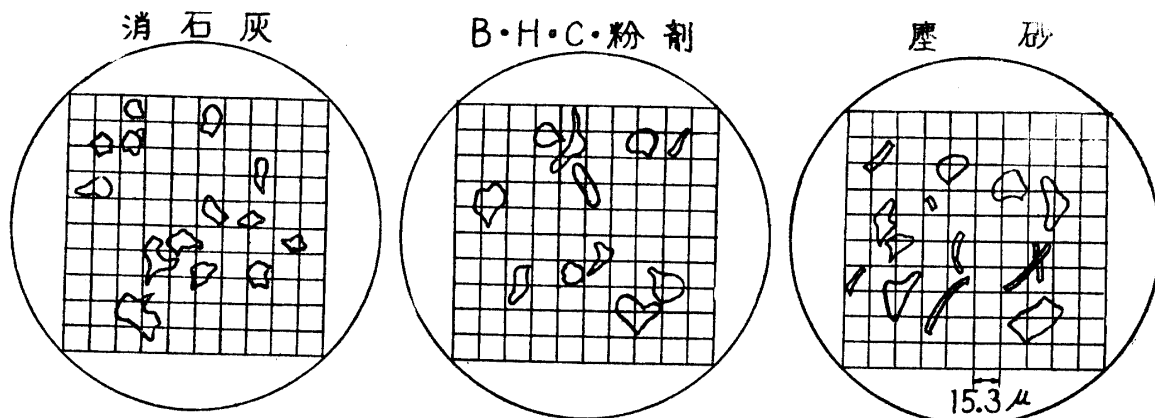
C 濾網に捕捉された粒子量

ii) 同図 (3) より油溜部分の捕塵率は、塵砂、消石灰、BHC 粉剤の順で、概ね比重、粒径の大きさに従う。この理由は後述の V-(3) 項の作用機構からして当然であるが、同図 (4) によれば、除塵率の良否は消石灰、BHC 粉剤、塵砂の順である。これは比重粒径等の問題の外に、架橋現象発生の難易（後述の V-[1] 参照）が大きく影響するものと考えられる。

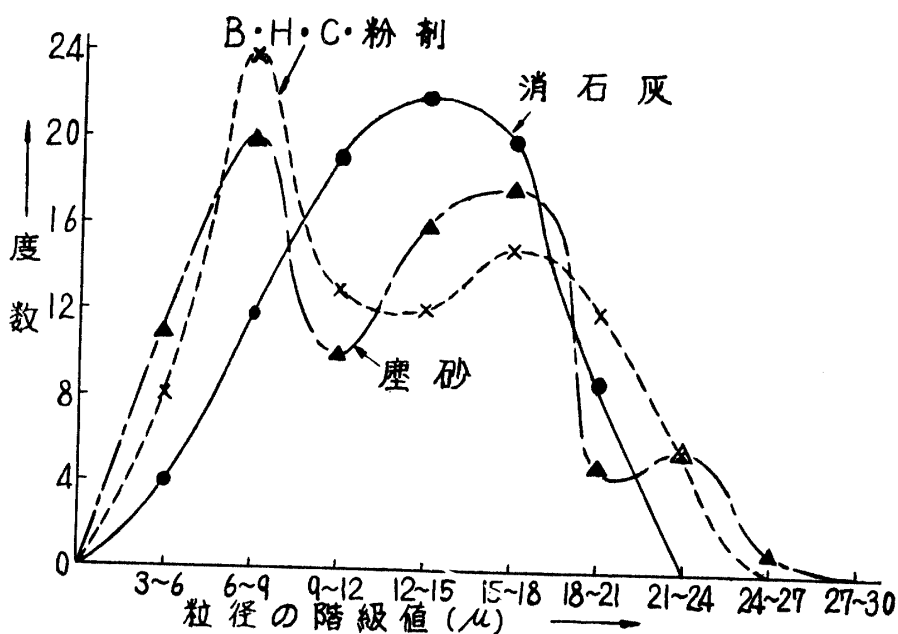
(8) 改造試験 濾網、濾網と外筒間の下向通路、油溜槽 (shell) の 3 部分に簡単に行いうる改造を試み供試した。

濾網については前報にのべたことがそのまま通用されるので略する。

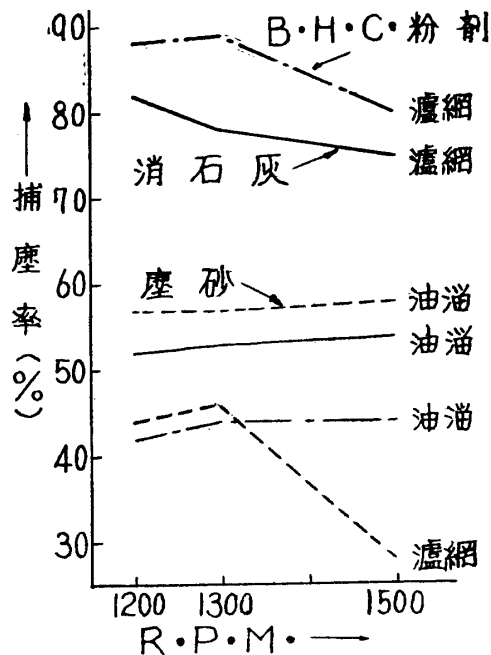
i) 濾網筒の外筒間隙における改造 この部分の粒子分離機構は第 1 図の屈曲壁 bc 部分において、吸気が反転上昇する際に、混在粒子がその慣性、遠心力の働きによつて、壁底面および油溜内に衝突離脱するものであるが、この下降通路において、さらにサイクロンで行われている遠心効果利用の作用機構を附加する目的を以て第 7 図-(1) のように濾網筒外部に案内羽根を取付けた（簡単なハンダ付けで可能）。図の右端は 3 枚羽根の  $1/3$  回転巻。羽根傾斜  $20^\circ$  で筒に沿った気流の水平旋回角は  $120^\circ$ 。図の中央は 1 枚羽根の 3 回巻、筒に沿った気流の水平旋回角は  $360^\circ \times 3$  である。



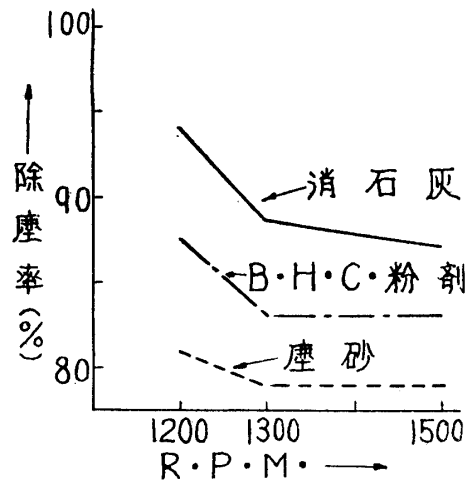
第 6 図-(1) 使用粒子の形状 (600 倍) 1 目盛— $15.3 \mu$



第 6 図-(2) 粉末粒子の粒径分布曲線



第6図—(3) クリーナー各部の捕塵率



第6図—(4) 各粒子の除塵率

この試作品を従来の油溜槽に組合せて試験した結果は第1表の通りである。

第 1 表 改 造 ク リ ー ナ ー の 性 能

油 溜 槽	性 能	従 来 の も の			3 枚羽根付 1/3 回巻			1 枚羽根付 3 回巻		
		除塵率	油溜捕塵率	濾網捕塵率	除塵率	油溜捕塵率	濾網捕塵率	除塵率	油溜捕塵率	濾網捕塵率
イ	従来のも	78.6 %	54.2 %	53.3 %	80.8 %	55.4 %	50.3 %	46.9 %	31.8 %	26.7 %
ロ	改造したもの	61.4	36.7	58.3	92.1	78.5	66.3	55.5	21.9	29.8

すなわち除塵率は3枚羽根型、従来の型、1枚羽根3回巻の順である。取付羽根に帰因する吸気圧損失は1枚羽根型が最大であるが水柱1mm程度に過ぎない<sup>9)</sup>。3枚羽根型が好結果を示したのは明らかに遠心効果の顕れである。1枚羽根型の不良原因は流入口面積が狭いため処理空気量が少なく、また羽根と空気間の摩擦抵抗の増加に基づくものである。

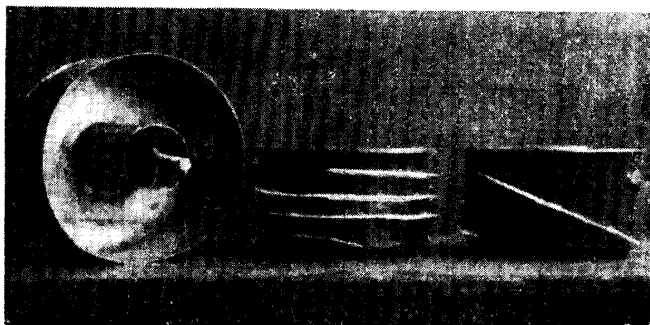
ii) 油溜槽直前の屈曲壁部分(第1図のb, c)は粒子を衝突分離する重要な個所であるが、使用後の状況は第4図(4)にみるように、この部分に粒子が堆積し、然も粗面状態となるから流通抵抗を増加し、若干なりとも通路面積を狭める外、一度ここに沈積した粒子も反転気流と共に再び運び去られる可能性は十分にある。この欠陥を防止するため、この屈曲部を除外して単なる直円筒の油溜槽とし、オイル面を屈曲壁の上端相当位置まで高めることにした。すなわち、濾網筒と外筒の間隙abを流下する混塵気体は直接油面に衝突せしめるわけである。第7図左端はこの油溜槽である。

本器を用いた試験結果を第1表のロ列に示した。すなわち、改造油溜槽に3枚羽根付の濾網を用いたものは92.1%の最高除塵率を示した。第7図(2)はこの性能試験の一例であるが順当な経過をみることができる。

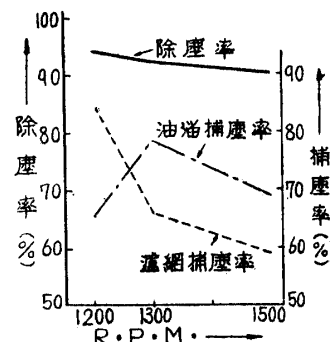
iii) (イ) この種クリーナーに全く無視されて来た濾網筒に案内羽根を取付けることは、旋回気流が容易に得られ、工作も極めて簡単で効果は大きい。しかしその螺旋角の大小は分離通路の長短

9) 取付羽根外周端と外筒部分の間隙は1.0mmに保つた。





第7図一(1) 濾網筒, 油溜の改造



第7図一(2) 改造クリーナーの性能

に関係し、サイクロンの試験報告に徴しても明なように<sup>10)</sup>、圧力損失、分離効率、分離粒子の大小等に関係がある。例えば螺旋角大なれば圧力損失は小、分離効率は低下するが、比較的多くの吸気量と大きな粒子の脱離に適するであろう。

(ロ) 従来の型式において、油溜槽直前に屈曲壁を取付けて絞つてある理由は流速を早めて、慣性、遠心効果を高め、または油面振動の軽減を計るにあると思われるが、一旦沈積した粒子を濾網側に持ち去るといつた逆効果も見逃し得ないようである。従つてこの屈曲壁を油面に代替させることは好結果を生む所以と考えられる。

(ハ) 3枚羽根付濾網筒と、改良型油溜槽の併用は従来型に比べ13.5%の効率増進を示したが、この油溜槽と従来の濾網筒(案内羽根をつけないもの)の併用は、除塵率を著しく低下させた。

(9) 国外製品の性能試験 第8図は Bolens power hoe 塔載の Kohler engine 用エアクリナー (Eaton stamping Company 製), 第2表はその性能試験結果である。

構造及び容量は殆んど前記と同様。

油溜兼外筒部分は透明プラスチックで内部を6区に仕切つたのは、油面の動揺防止と補強のためと考えられる。使用オイルは夏40番、冬30番で、標記された油面は第1図の最高油面に相当し、IV(1)項にのべた誤り易い「標記」に比べ、適正な指示である。

第2表は油溜の適正油面と、限界最低油面における成績であるが、性能が著しく安定している。



第8図 Eaton Stamping Co 製品

第2表 Eaton Stamping Co 製クリーナーの性能 (1300 r.p.m. 3/4 負荷)

区分	油溜油面	除塵率(塵砂)	油溜捕塵率	エレメント捕塵率
イ	標記規定量	88.2%	55.4	73.5
ロ	屈曲部以下 3mm	88.0	52.0	84.2

10) 池森亀鶴：日本機械学会論文集 **15** (50), (1949). 村上泰蔵, 福永節夫：**18** (73), (1952).

村上泰蔵, 福永節夫：**18** (73), (1952).

伊谷鋼一：**18** (69), (1952)；**19** (81), (1953).

上滝具貞：**20** (97), (1954).

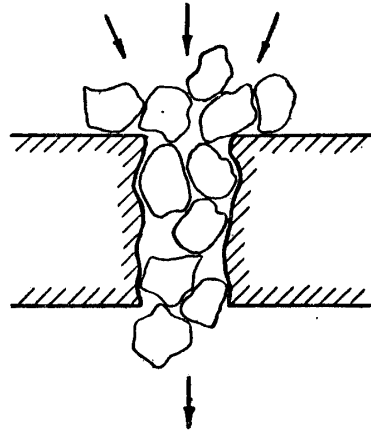
## (10) クリーナー各部分の作用機構について

## i) 濾網部分の作用機構と問題の所在

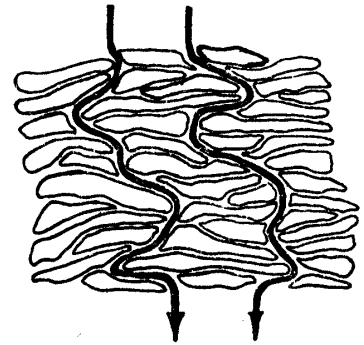
(イ) 多孔質の濾層による捕捉作用をみるに、その空隙寸法は常に捕捉粒子に比較してかなり大きいので、機械的な濾過作用は余り働かない。この場合固体粒子は孔壁に附着して逐次空隙を狭め、遂に細粒を捕捉しうるに至るものである。かりに空隙が粒子より細かく、機械的な篩の作用が一次的に働く場合が存在しても、余り緻密な濾層では通気抵抗を増し早期に目塞りを来すので使用困難となる。かかるものはエアクリーナーとしても実在しないからここには論外とする。

さて前者の働きは、所謂架橋現象(Bridge Formation)に相当するものである。

第9図(1)のように孔壁に個体粒子が堆積されれば、小濾孔が形成されて小粒子を捕捉することができる。この作用は当然粒子の



第9図—(1) 粒状物質による  
架橋現象



第9図—(2) 扁平物質による  
圧縮性堆積層

性状に大きく左右されるもので、粒状、針状の粒子は気流の通過し易い堆積層を形成するが、コロイド性あるいは扁平な粒子は気流通過の非常に困難な圧縮性の堆積性を形成し易い。さらに、構成繊維の太さ、絡み方等は濾過性を支配する最も重要な要素になることは当然予測される。

(ロ) 濾層の内における粒子の運動を考えてみる。濾層内気流屈曲部において粒子は流線から外れて濾層に吹きつけられるが、最近の如く煙霧質が取扱われるようになると、粒子(半径 $1 \times 10^{-5} \text{cm}$ 以下)の熱運動に基く衝突作用、すなわち熱運動効果も重要な因子となる。粒子が大きくなる程遠心慣性効果が大きくなり、他方粒子が小なるほど熱運動効果が加わり、この間において濾過効率上最も不都合な粒子(透過性の最大値を示すもの)が期待されるが、実際には濾過内の滞留時間、濾層構造、附着性等多くの素因も加わるので解析は困難である。次に濾層繊維に衝突した粒子がその個所に永久に附着するか、または弾性、風圧、熱運動等のため再び離散するかという問題があるが、これは粒子、濾層両者間の附着力、換言すれば表面物理化学的性質に関係するもので、特に「濡れ」の問題など重要な因子となるであろう。

(ハ) 濾層の組織は不均一の場合が多いが、これは必ずしも不都合ではない\*。すなわち組織不均一のために空気の通過し易い所が点在し、粒子はそこにまず沈積附着して孔隙を充填し、次いで他の孔隙に及ぶので、初期における堆積層の圧縮性の排除、使用時間の延長上からみれば確かに意義がある。

## ii) 濾網部分の作用機構に関する力学的考察

## 共通記号

$A$ : 全濾過面積  $[\text{cm}^2]$

$V$ :  $\theta$  時間までの通気量  $[\text{cm}^3]$  または  $[\text{kg}]$

$\theta$ : 濾過時間  $[\text{min}]$  または  $[\text{hr}]$

\* 勿論直接吹抜けを生ずるような大間隙の存する場合は別である。

$v$ : 濾過面における堆積粒子の容積  $[cm^3/kg]$

$P_T$ : 堆積層の全濾過圧力  $[kg/cm^2]$

$P_1$ : 堆積層と濾網との境界面における圧力  $[kg/cm^2]$

$R$ : 堆積層の全抵抗を粘度  $\mu$  で割った値

$r$ : 堆積層の比抵抗 (単位容積当の抵抗を  $\mu$  で割った値)

$r'$ :  $r = r' P^s$  なる式における係数

$r''$ :  $r' = r'' (1-s)$  なる式で表される係数

$L$ : 堆積層の厚み  $[cm]$

$\rho/A$ : 濾網の抵抗を粘度  $\mu$  で割った値 ( $\rho$  は一つの係数)

$m$ : 閉塞指数  $s$ : 圧縮指数

$\rho'$ :  $\rho = \rho' (P - P_1)^m$  なる式における係数

クリーナーの使用実況, すなわち濾網間隙は粒子である程度閉塞されており 使用時間と共に, 濾網入口附近に粒子堆積が増加してゆくものとして考える.

(イ) 濾網小間隙の流れ 堆積粒子は形状不規則で密に形成され, 毛管通路を形成し, 従つて粒子間隙の流れを層流とみなす. 毛管径均一としてその両端の差圧は Poiseuilles' Law により

$$P = 32 \mu L u / g d^2$$

ただし  $\mu$ : 粘度,  $L$ : 毛管長さ,  $u$ : 平均流速,  $d$ : 毛管径,  $g$ : 重力加速度, 従つて堆積粒子層面積を  $A$ , 単位面積の毛管数  $n$  とすれば

$$dV/d\theta = n A u \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{n \pi d^4 \rho g A}{128 \mu L}$$

すなわち通気量は面積, 圧力に比例し, 厚さに逆比例する. 堆積粒子層が高圧縮性のものであれば, 圧力増加により毛管は狭められ, 圧力増加の割合には通気量は増加しないことになる.

(ロ) 濾過抵抗 発動機の吸気作用に伴つてクリーナーの前後に圧力勾配を発生する. この圧力を濾過全圧力と仮称すれば, 濾過全圧力を濾過全抵抗で除したものは濾過通気速度である. すなわち

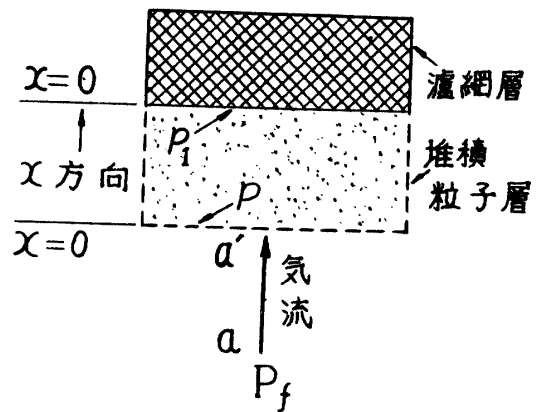
$$dV/d\theta = P_T / \mu (R + \rho/A) \quad \dots\dots\dots (1)$$

この値の大小は堆積粒子層の圧力損失に比例するものと考えられる.

右辺の分母における濾過全抵抗を大別して (イ) 堆積粒子層による抵抗, (ロ) 濾過器内部抵抗すなわち (濾網抵抗 + 通路抵抗) となるが, 当初の前提からして濾網間隙の閉塞抵抗は (ロ) の中に含むものとする. 通路抵抗は濾網に比べ無視小とみなして (ロ) を濾過面積に逆比例する形として表現した.

堆積粒子層の抵抗

第10図において粒子は  $a$  から  $a'$  に運ばれて衝突停止し, 運搬気流はさらに堆積層内に侵入するから摩擦引力を生じて  $a'$  を層内に押しこもうとする. 層内の粒子は類似の引力と同時にその背後の粒子による堆積圧力を受ける. すなわち  $x$  の方向に進むにつれて気体圧力  $P_T$  は減少するが, 粒子の圧縮圧力  $P$  は増加する. この二種の圧力の合計は, 全層内全ての点で全圧  $P_T$  に等しいとみなされるから次の関係が成り立つ.



第10図 堆積層内の機構

$$P = P_T - P_1 \quad \text{または} \quad dP = -dP_1$$

いま堆積粒子層内の任意の点の比抵抗を  $f(P)$  で表しうるものと仮定し、ある瞬間にすべての層内の点で通気速度を均一として取扱えば

$$\frac{dV}{d\theta} = \text{一定} = \frac{P_T - P_1}{\mu R} = \frac{A}{\mu} \frac{dP}{f(P) dx}$$

上式を  $x$  が  $0 \sim L$ ,  $P$  が  $0 \sim (P_T - P_1)$  の間に積分すれば

$$R = \frac{L(P_T - P_1)}{A \int_0^{P_T - P_1} \frac{dP}{f(P)}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

すなわち、比抵抗は堆積層両端面の差圧の函数として表わされることがわかる。

いま、 $r = f(P) = r'P^s$  と仮定すれば (2) 式は

$$R = \frac{L}{A} (P_T - P_1) (r') (1-S) P^{s-1} = \frac{L}{A} (r') (1-S) (P_T - P_1)^s = \frac{L}{A} (r'') (P_T - P_1)^s$$

すなわち比抵抗は  $r' = (1-S)(P_T - P_1)^s$  さらに  $r''(P_T - P_1)^s$  で表しうる。

次に堆積層の容積は  $LA$ 、気流が持込む塵砂容積は  $vV$  であつて両者は等しい筈であるから

$$L = \frac{vV}{A} \quad \therefore R = \frac{L}{A} r'' (P_T - P_1)^s = \frac{r'' v V}{A^2} (P_T - P_1)^s \quad \dots\dots\dots(3)$$

濾過内部抵抗

次に濾過器内部抵抗については、これを全圧力と模式図における濾網前面圧力との差の冪函数として考えれば  $\rho = \rho'(P_T - P_1)^m$  である。

以上二つの抵抗値を (1) 式に代入すれば

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{P_T}{\mu(R + \frac{\rho}{A})} = \frac{P_T}{\mu \left\{ \frac{r'' v V}{A^2} \left(1 - \frac{P_1}{P_T}\right)^s P_T^s + \frac{\rho'}{A} \left(1 - \frac{P_1}{P_T}\right)^m P_T^m \right\}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{P_1}{P_T} \text{ が小の場合 } \frac{dV}{d\theta} = \frac{P_T A^2}{\mu (r'' v P_T^s V + \rho' A P_T^m)} \quad \dots\dots\dots(5)$$

(4) (5) 式は一般の場合の濾過通気速度に外ならない。

(ハ) 堆積層の圧密性の影響 堆積 Dust 層の性質が、圧縮性か非圧縮性かによつてここに実用上濾過性能にかなりの差異を与えるものと考えられる。ここに非圧縮性とは通気圧力が増しても粒子間隙の直径が減少しないものを指す。

圃場塵砂類の中、塵砂、炭カル等粒状の堅い粒子は近似的に非圧縮性と考えられる。この時  $S=0$  であるから (5) 式は

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{P_T A^2}{\mu (r'' v V + \rho' A P_T^m)}$$

これも、エアクリナーの場合に相当すると考えられる恒圧濾過操作に対し積分すれば、次の関係をうる。

$$P\theta = \frac{r'' v \mu}{2} \left( \frac{V}{A} \right)^2 + \rho' \mu P_T^m \left( \frac{V}{A} \right)$$

しかるに堆積粒子が圧縮性（均質とする）と見做しうる場合は（例えば動撒に用いる吸湿性の粉末薬剤が堆積すれば、むしろこれに近いかも知れない）(5) 式より

$$P\theta = -\frac{r''v\mu}{2} P_{T^s} \left( \frac{V}{A} \right)^2 + \rho'\mu P_{T^m} \left( \frac{V}{A} \right)$$

の関係が得られる。

(ニ) エアークリーナーと恒圧濾過 エアークリーナーの濾過機構は恒圧濾過とみなすことができる。すなわち恒率濾過では圧力を徐々に高めるが、発動機の実際運転の時間的経過範囲内では吸気圧力一定、従つてクリーナー濾過圧力も一定とみなしうる。

いま初めから高圧を作用させると、堆積層は薄く、濾過抵抗は小であるから濾過初速度は大きい。これは堆積層の附着粒子を再び浮遊せしめ、次段階の小間隙に押しこみ、閉塞を生ぜしめる。所謂剝離現象 (Scouring effect) を伴い易い。このようにして濾過の初期の段階において大なる閉塞的抵抗を引き起し、かつ操作の終りまで残留するので平均の濾過速度が減少する理である。これはまた粒子径が不均一なほど起し易いことも容易に想像される。また恒圧濾過では初速度が大きいために微視的には通過空気が多少不純物を伴うことも考えられる。(イ) 項でも触れたように、圧縮性の大きい粒子の濾過においては、送気圧力の増加による効率上昇はあまり期待できないので、むしろ圧力を適当に制限したい。実用的には断面積の大きなクリーナーが有効ということになる。任意材質の濾網毎に、各種性状の塵埃源（特に動撒用薬剤粉末）に対する最大許容濾過圧力を実験的に求めることは、近時問題となつている動撒用エアークリーナーの改良設計上貴重な資料となる。

(ホ) なお濾網の作用機構のミクロ的な解析にそのまま適用される例として、植松外<sup>11)</sup>は一樣な噴霧の流れの中に、流れに対して垂直に置かれた円柱および平板に対する霧粒の捕捉率を理論的に求め、DAVIES<sup>12)</sup> は気流中に置かれた1本の吸塵体（円筒）に、気体中の粒子が捕捉される機構を解析し、吸塵体の細いほど集塵効率 (Efficiency of collection) が高くなることを述べているがいずれも興味深い資料である。

### iii) 気流反転個所における遠心効果

油槽上部の屈曲壁部分における反転気流は、その方向変換による慣性力と回転運動に基く遠心力が作用するため分離力は大きい。さきの実験によつても濾網の3倍を分離することが明らかとなつた。

いま球形粒子が重力の作用下で沈降する時は、粒子の運動方程式は

$$\left( \frac{\pi}{6} \right) d^3 \rho_s \frac{du}{dt} = \left( \frac{\pi}{6} \right) d^3 (\rho_s - \rho) g - \phi d^2 u^2 \rho$$

$d$ : 粒径,  $\rho_s$ : 粒子密度,  $\rho$ : 気体密度,  $u$ : 流速, 最終沈降速度は  $du/dt = 0$  より

$$u = \sqrt{\frac{\pi g d (\rho_s - \rho)}{6 \cdot \phi \cdot \rho}}$$

粒子径を Stokes 式の適用範囲内とすれば,  $\phi = 3\pi/Re = 3\pi\mu/du\rho$  ( $Re$ : レイノルズ数) より, 重力による分離速度は  $u = g(\rho_s - \rho) d^2/18\mu$  .....(1)

しかるに回転半径  $r$ , 角速度  $w$  の回転気流の場合は,  $g$  の代りに遠心力  $r \cdot w^2$  が働くから, 同様にして分離速度は

$$u_c = (\rho_s - \rho) d^2 r \cdot w^2 / 18\mu \quad \text{.....(2)}$$

11) 植松時雄, 狩野武外: 繊維機械学会誌, 8 (2), (1954).

12) DAVIES, C.N.: *Inst. Mech. Engs.* 185~213 (1952).

故に両者の比は

$$u_c/u = r \cdot \omega^2 / g = v^2 / r \cdot g$$

すなわち重力で分離できない場合でも遠心力では分離可能である。すなわち流速  $v$  を大に、回転半径  $r$  を小にすれば大きな分離速度をうる。

## VI 摘 要

- (1) 油溜油面の上昇は除塵率を高める。0～最高油面間で18%の差を生じた。
- (2) 油溜オイルを稀釈すれば除塵率は低下するが、一定濃度以下では上昇する。油面が動揺し濾網底部から浸潤し易くなるためと考えられる。
- (3) 油溜オイルの塵砂混入量20%において除塵率は徐々に低下し、30%以後は急速となる。運転間各部の捕捉塵砂量は、油溜が濾網の3倍、クリーナー透過量は濾網の捕捉量と匹敵、あるいはより以上となるが、大部分排気ガスとして空中に還元するものと思われる。
- (4) クリーナーに供給する塵砂総量60～70gmにおいて除塵率は急激に低下し始める。
- (5) 濾網は運転間、振動傾斜のため注油効果に加わり、除塵率はかなり高度に保たれる。
- (9) 同種の塵砂間においては、小径粒子が、クリーナー末端部まで透過する。
- (7)  $r.p.m.$  の増加は、濾網の捕塵率を低下させるが溜溜の捕塵率は心持ち増加させる。クリーナー除塵率は濾網式に比べ変化が少い。
- 消石灰、BHC 粉剤、塵砂粒子に対する除塵率は前者が良好である。
- 異種粒子に対する除塵率は粒径、比重よりも架橋現象発生の難易が大きく左右する。
- (8) 濾網筒外周に旋回案内羽根を取つけて遠心分離させた粒子を、直接、油溜油面に衝突させるよう改造した所、従来型に比し13.6%除塵率を向上した。
- (9) Eaton Stamping Co. 製品の性能は、安定性にとみ特に濾網部分が優秀と認められる。
- (10) 濾網の力学的作用機構、架橋現象、粒子運動、濾網組織不均一性の得失等に関し、問題の所在を考究した。
- (11) 濾網細隙間の空気流れと、諸因子の関係を求めた。
- (12) クリーナーの濾過抵抗を、堆積粒子層の抵抗と濾過器内部抵抗とに大別してのべた。
- (13) 濾網の濾過方式を略恒圧濾過とみなし、特に初期に発生し易い剥離現象、閉塞作用について考察した。
- (14) 濾網の Micro 的作用機構の究明に有用な研究2例を引用した。
- (15) 外筒低部の気流反転個所における遠心一慣性効果について述べた。

### 〔後記〕

本研究の一部は昭和30年度文部省科研費の援助によつた。また指導支援戴いた九大森周六教授、鹿大黒木敏郎助教授に謝意を表し実験に多大の労を提供された大迫貞雄教室員、摺木輝男学生の労を多とする。

### *R é s u m é*

The influence of several factors upon the operation of the oil-bath air cleaner of farm engines was investigated and the following facts were found.

1. The dust proof faculty of the cleaner advances with the increase of oil depth in the cleaner shell: the faculty at maximum depth is superior as much as 18 percent to that at minimum.
2. The faculty in question is affected by the viscosity of mobile oil in the cleaner shell: it decreases as far as the certain degree of decline of the viscosity, but beyond that, on the contrary, increases.
3. Mobile oil in the cleaner should be renewed when the contamination amounts to 20 %. At the contamination of over 30 % diminishes the faculty remarkably.
4. The air capacity diminishes in proportion to the excess amount over 60 ~ 65 grams of dust particles supplied to the cleaner.
5. The annexation of mobile oil to the element raises the dust proof percentage. It will therefore be attributed to the adherence of oil to the element under tremulous circumstances that this sort of cleaner sustains its high faculty.
6. So far as the same sort of dust is concerned, the smaller the dust particle is, the more it passes through the cleaner.
7. The injurious effect of the farm dusts tested on the dust proof faculty is less in the order: soil dust > BHC powder > slaked lime.
8. By means of the annexation of guide vane to the element tube and the replacement of bended wall above the oil reservoir with the rightangled wall, the capacity of the cleaner was increased by 13.6 percent.
9. According to the comparative test, the cleaner of the Kohler engine of Bøllens power hoe, especially its element, proved to have excellent capacity.
10. Discussion on the moving mechanism of element, with special reference to "bridge formation", particle dynamics, and the ununiformity of element texture is given.
11. Functional relation of the general factors with reference to air flow through the filtration layer is described.
12. Description on the cleaner resistance consisting of the resistance of dust-laden layer and the inner resistance of cleaner is given.
13. "Scouring effect" and "plugging" at the cleaner element which are liable to occur at the first stage of the constant pressure filtration are concerned.
14. Centrifugal effect resulting from the inertial resistance of the particle to change its direction of travel in conformance with the streamlines of the flowing air at the bottom of the cleaner is stated.