

## 論 文

## カーボンスート用移動ベルト型電気集塵装置 (I)

増田 閃一\*, 文 在徳\*

(1982年1月25日受理)

## Moving Belt Type Electrostatic Precipitator for Control of Carbon Soot Particulates (I)

S. MASUDA\* and J.-D. MOON\*

(Received January 25, 1982)

A novel moving-belt type electrostatic precipitator (MBEP) is proposed and tested for control of carbon soot particulates. The MBEP has its two inlet ports at the centre of its casing and each two outlet ports at its both ends. Through these four openings the supporting rods of a frame for corona wires extend outside, and they are supported by insulators in the clean areas. This outside supporting avoids the degradation of insulation due to carbon contamination. The collecting electrode is a thin stainless steel belt with 0.1 mm thickness driven by a low-speed motor so that the reentrainment of collected soot is avoided. The collected soot is pressed between the belt and the rollers in the shielded chambers at the both ends of the casing, and the produced carbon flake is scraped off mechanically to fall into the hoppers. As a result, the volume of the collected soot is reduced to ca. 1/5 of its original volume, so that its later handling becomes substantially easier. The collection efficiency of a MBEP model is measured using the wire type and multi-needle type corona electrodes and a simulated soot, ranging in size from 0.06 to 2.0  $\mu\text{m}$  ( $\text{MMD}=1.0 \mu\text{m}$ ). It amounts to 96% for the wire type discharge electrode, and 97% for the multi-needle type one at gas velocity of 0.5 m/s and gas temperature of 50°C when the belt is moving. But it drops to 82% and 90% respectively when the gas velocity is raised to 1.0 m/s. The contamination of the discharge electrodes by soot deposition lowers its collection performance. The mechanical cleaning of the discharge wires with the use of a moving wire provides a very satisfactory result, especially when the gas velocity is low.

## 1. 序 論

最近、ディーゼル機関からのスートが大気汚染上大きな問題になっている。その排出量は 0.23~0.84 g/mile (50~100 mg/m<sup>3</sup>) であって同規模のガソリン機関の 30~100 倍で、重量の 70% が 1  $\mu\text{m}$  以下 (重量平均粒径 0.3  $\mu\text{m}$ ) という微細な粒径のため大気中に長く浮遊し、呼吸により体内に吸入される率が高い。ディーゼルスートの主体は未燃焼カーボン粒子であるが、その表面には液状ないし固体状の種々の有害成分が付着しているのでその健康に与える影響が問題視され<sup>1,2)</sup>、各国とも近い将来なんらかの規準を設けてその排出を規制する気運にある (米国では 1982 年に小型車およびトラックで

0.60 g/mile 以下に、また、1985 年には小型車で 0.20 g/mile 以下、トラックで 0.26 g/mile 以下に規制する予定であったが現在延期されている)。

ディーゼルスートの捕集には、(1)圧力損失が小さい、(2)サブミクロン粒子に対しても高い捕集性能を有する等の理由で電気集塵装置が一つの有力な手段と考えられている。しかし、その適用には根本的な難点があった。すなわち、(1)スートの電気抵抗率が非常に低いので絶縁部が汚れて絶縁性能が失われる、(2)集塵板上に捕集されたスートは再飛散しやすく、槌打ができない、(3)見掛け比重が非常に小さいので捕集したスートの体積が大きくその容器が過大となる、(4)粒子径が非常に小さく、電気集塵をもってしてもその捕集には工夫を要する、(5)処理ガスが高温かつ多量である等々である。筆者らはこれらの難点を解決した移動ベルト型電気集塵装置(moving-belt type ESP; 以下 MBEP と略す)を考案試作し、都市ガスの燃焼により発生した模擬スートを用いてその集塵効

\* 東京大学工学部電気工学科 (113 東京都文京区本郷 7-3-1)

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Tokyo, 3-1, Hongo 7-chome, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan

果が十分高く運転も安定であることを確認した<sup>3-5)</sup>。

しかし、この装置の唯一の問題点は放電極がストートの堆積により肥大することである<sup>6,7)</sup>。この放電極のストートはいったん堆積すると強いハンマリングによつても落ちず、集塵効率を大幅に減少させるのでその対策として移動線型放電極について検討した。なお電気的方法によつてもこの問題が解決できる可能性を見いだしたが、それについては別に報告する、また、本実験により得られた集塵率測定結果の理論的解析も別に報告する予定である。

## 2. 実験装置および実験方法

### 2.1 移動ベルト型電気集塵装置

本実験に用いたMBEPの構成を図1に、全実験装置の写真を図2に示す。この集塵装置は左右の有効長90cm、有効高さ40cm（ベルトの有効幅は38cm）、有効幅6cmで、装置内平均ガス流速1m/sにおいて約2.7m<sup>3</sup>/minのガス量（容積2,000ccのディーゼルエンジン排ガス量に相当）の処理ができる。ガスを中央の上下部a<sub>1</sub>、a<sub>2</sub>から導入して衝突させ、左右に分流させて集塵空間を通過させる。浄化されたガスは左右の上下の出口b<sub>1</sub>～b<sub>4</sub>から排出される。この出口を貫通してコロナ放電極のフレームの支持棒をケーシングの外に突出させ、外側の清浄空気中で碍子により絶縁支持する。この方法によりカーボンストートによる碍子の絶縁低下を完全に防ぐことができ、常に最高の電圧が印加できる。集塵極は薄いステンレス鋼ベルトで、両側のローラによって張架され、低速モータによって移動する。集塵極に捕集されたストートは非常に見掛け比重が低く、再飛散しやすいので集塵極の槌打は不可能である。しかし、ストートはベルトとともに両端の隔室内に移動し、ローラで圧着される

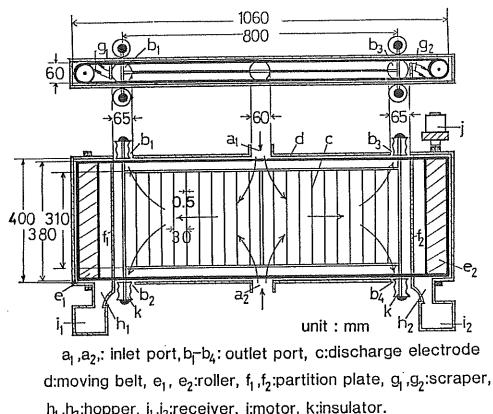


図1 移動ベルト型電気集塵装置の構成図

Fig. 1 Construction of moving-belt type electrostatic precipitator.

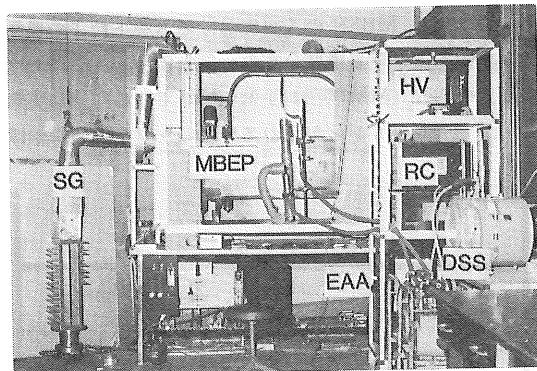
ことによりその体積が約1/5に低減固化された後、スクリーパg<sub>1</sub>, g<sub>2</sub>によってベルトとローラの両方から除去される。剝離したストートは隔壁下部ホッパを通ってタンクi<sub>1</sub>, i<sub>2</sub>に入る。

### 2.2 スート発生装置

ストート発生装置は図3に示すように都市ガスと空気を1対10の容積比率で混合のうえ、燃焼させて生じた長炎を上方の金属網で急冷させてカーボン微粒子を発生させる。発生装置の出口に吸引ファンを付けてそのモータ入力電圧を調節することにより集塵装置内の流速を変化させる。得られたストートの濃度は最大150mg/Nm<sup>3</sup>、最大供給ガス量は4.5m<sup>3</sup>/min程度である。

### 2.3 粒径分布の測定法

ストート粒径分布の測定は沈降法（microscopic sedimentation analyzer, SA-M1D, 島津製）、光散乱法



SG: soot generator, MBEP: moving-belt type electrostatic precipitator, HV: dc high voltage power supply, RC: Royco particle counter, EAA: electrical aerosol analyzer, DSS: dust sampling system.

図2 実験装置

Fig. 2 Photograph of testing equipment.

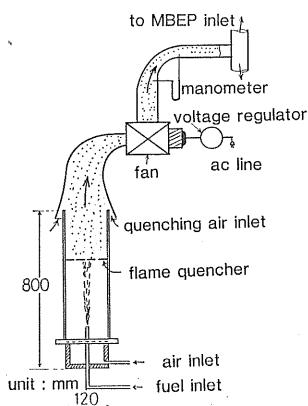


図3 カーボンストート発生装置

Fig. 3<sup>st</sup> Schematic of soot generator.

(Royco, Model 203) および電気モビリティ法 (electrical aerosol analyzer, Tsi-Kanomax, Model 3030) を用いて行なった。

#### 2.4 集塵率の測定法

種々のガス流速において MBEP の入口と出口でガスの等速同時吸引を行ない、ストートを円筒濾紙の内部に捕集のうえ乾燥秤量し、これから集塵率を算出した (JIS Z-8808 法)。

#### 3. 集塵実験結果および考察

本集塵装置で線型放電極 (図 4) および多針型放電極 (図 5) を用いた場合の電流密度-電界強度特性を図 6 に示す。図からわかるように両放電極とも電流密度と電界強度の値は通常の大型工業用 EP のそれぞれ 10 倍および 1.5 倍程度も高くとることが可能である。この結果、荷電時定数が著しく短くなつて荷電速度の遅いサブミクロン粒子も十分荷電されるし、高いクーロン力も得られる。図 7 に本 MBEP の入口におけるストート粒子の典型的な個数および重量濃度分布の一例を示す。入口における質量中心径 (MMD) は約  $1.0 \mu\text{m}$  で、この値は実際のディーゼルエンジンからのストートのマフラー位置における

る値 (約  $0.3 \mu\text{m}$ ) の約 3 倍である。しかし、粒子の抵抗率はほぼ同じ程度で約  $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$  である。図 8 に両放電極を用いた場合の集塵率を示す。電流密度が高い多針

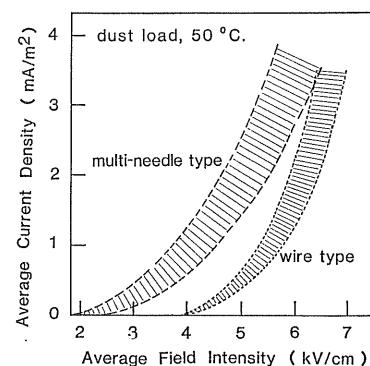


図 6 線型および多針型放電極の電流密度-電界強度特性  
Fig. 6 Field intensity vs. corona current density.

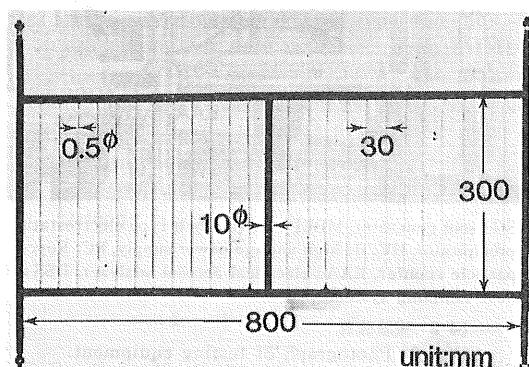


図 4 線型放電極  
Fig. 4 Wire type discharge electrode.

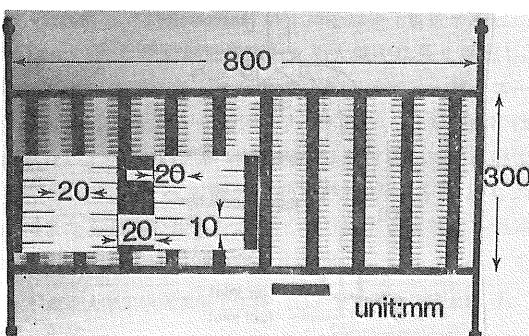


図 5 多針型放電極  
Fig. 5 Multi-needle type discharge electrode.

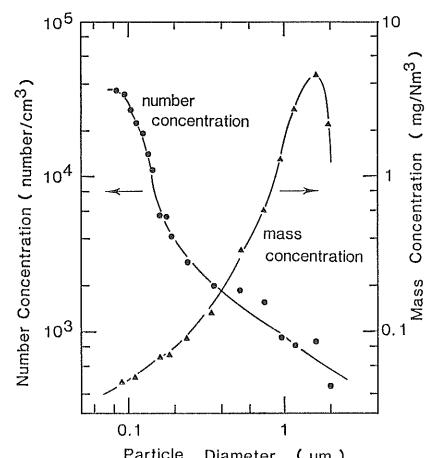
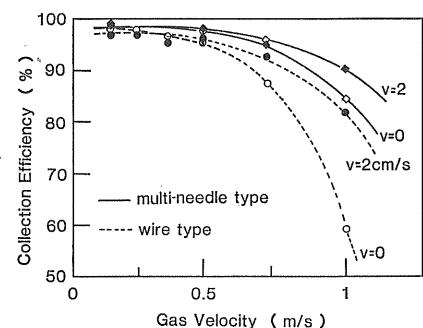


図 7 集塵室入口でのカーボンストートの粒径分布  
Fig. 7 Size distribution of soot at the inlet of the MBEP.



wire type:  $E=6 \text{kV/cm}$ ,  $J=1.8 \text{ mA/m}^2$ ,  $T=40^\circ\text{C}$  and  
multi-needle type:  $E=5.5 \text{kV/cm}$ ,  $J=3.0 \text{ mA/m}^2$ ,  $T=40^\circ\text{C}$

図 8 線型および多針型放電極の集塵効率と平均ガス流速特性  
Fig. 8 Collection performance vs. average gas velocity.

型放電極のほうが線型放電極より集塵率が高く、また、ベルトを移動させた場合のほうが移動させない場合より集塵率が高い。前者は高い電流密度によって荷電能力の上昇と電気的付着力の増加（再飛散の低減をもたらす）が得られるためと思われる。後者はベルトを移動させることによりストーク付着厚さを常に薄く保ちうるので再飛散が抑制されるためと考えられる<sup>8)</sup>。

本実験で用いたストーク粒子の大きさは上述のとおり、実際のディーゼルストークよりもかなり大きい（MMD で約 3 倍）ので本実験の結果をただちにディーゼルストークに適用することはできない。しかしディーゼルストークをあらかじめ適当な機械的ないし電気的凝集器<sup>3,9)</sup>に通すことにより容易に本実験のストーク粒子と同程度以上の粒径に凝集させることができる。したがって、このような凝集器と組み合わせることにより、本 MBEP をディーゼルエンジン用の小型かつ高捕集率の集塵装置として使用できるものと考えられる。

#### 4. 放電線肥大とその対策

カーボンストークの電気集塵に当たっての最大の問題点は放電極が時間とともにストークの付着により肥大し、コロナ電流の減少、ひいては捕集能力の低下を招くということである。そこで線型放電極を用いた場合についてこの肥大現象と対策を検討した。

##### 4.1 放電線肥大と集塵率

本 MBEP の運転時間による集塵率、放電線肥大半径および電流密度の変化を図 9 に示す。ストークの付着により放電線の半径が運転時間とともに直線的に増加する。電流密度は直線的に減少し、集塵率は初期値の 92% から 120 分後には 60% に減ずる。図 10 に放電線が肥大した場合（1 時間後）としない場合の集塵率とガス流速

の関係を示す。とくにガスの流速が遅く、ストークの濃度が濃い場合には放電線が肥大しやすいのでその結果集塵率の低下が顕著となる。

##### 4.2 放電線肥大の対策

放電線の肥大を防止するためには、(1)細い放電線を使

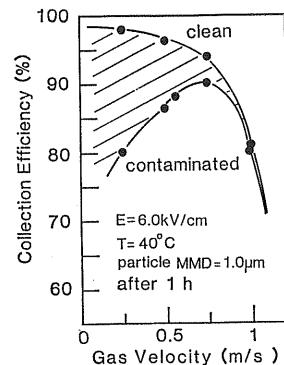


図 10 放電線の汚損有無と集塵率の平均ガス流速との関係  
Fig. 10 Collection efficiency vs. average gas velocity for clean and contaminated wires.

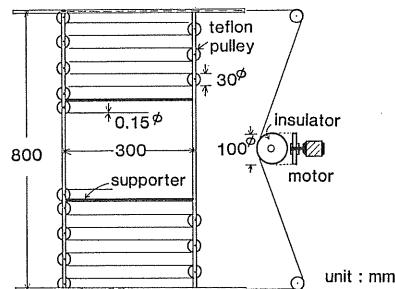


図 11 移動線型放電極の構成図  
Fig. 11 Schematic of self-cleaning moving corona wire.

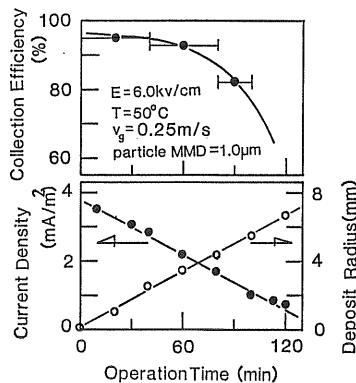


図 9 集塵率、放電線肥大半径および電流密度の時間特性  
Fig. 9 Collection performance, current density and deposit radius vs. operation time.

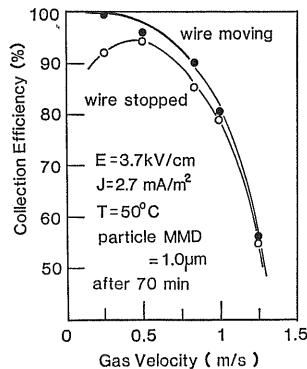


図 12 移動線型放電極の効果  
Fig. 12 Effect on collection performance of self-cleaning moving corona wire.

用する、(2)放電線を加熱する、(3)付着スートを機械的に除去するの三つの方法が有効であることを実験的に見いだした。このなかでもっとも確実な方法は(3)であるので、図11に示すような移動線型放電極を考案試作してその性能を検討した。放電線は直径30mmのテフロンブーリー(溝の深さ2mm)で張架し、低速モータにより移動させるとブーリーの溝に嵌合する際、スートが連続的に除去されて放電線が清掃される。図12に移動線型放電極を用いた70分後の集塵性能の測定結果を示す。図からわかるように本方式の効果は放電線が肥大しやすいガスの流速の遅い領域でとくに顕著である。

## 5. 結 論

以上の実験結果から次のような結論が得られた。

(1) 集塵装置の出口を通して放電極を外部で絶縁支持することによって碍子のスートによる汚染を完全に防止でき、常にきわめて高い電界強度と電流密度を維持できた。

(2) 集塵極を移動ベルト型にすることにより再飛散を低減させて、質量中心径(MMD)1μm程度の微細なスート粒子でも線型放電極の場合、ガス流速0.5m/sで96%, 1.0m/sで82%, 多針型放電極の場合、流速0.5m/sで97%, 1.0m/sで90%の高い集塵率で捕集できた。

(3) ベルトに捕えられたスートをローラとベルト間で圧縮することによりスートの容積も約1/5倍に低減でき、確実にスクレッピングできた。

(4) 隔室と集塵空間とを分離板とスクレッパによって二重遮蔽することにより、二次再飛散を完全に抑えることができた。

(5) 放電線のスート付着による肥大防止には細い放電

線(直径0.2mmφ以下)の使用、放電線の電気加熱、付着スートの機械的除去の三つの方法が有効であった。

(6) とくに機械的方法である移動線型放電極はいちばん確実な方法であると考えられ、その効果はガスの流速が遅く、スートの濃度が濃い場合にもっとも顕著であった。したがって、移動線型放電極またはこれと類似の自己クリーニング放電極(たとえば、有刺チェーン放電極など)を本MBEPに用いることにより放電線肥大を完全に防止でき、長期間連続してMMD=1.0μm程度のカーボンスートを効果的に捕集できることが明らかとなつた。

## 参 考 文 献

- 1) T. Biggs, J. Throgmorton and M. Karaffa : EPA-450/3-78-038, EPA USA (1978)
- 2) M.G. Faulkner, E.B. Dismukes, J.R. McDonald, D.H. Pontius and A.H. Dean : EPA-600/7-79-232a, EPA USA (1979)
- 3) S. Masuda, J. Moon and K. Aoi : Proc. of 5th International Clean Air Congress (1980) in printing
- 4) 増田閃一, 文在徳: 静電気学会講演論文集'80, p. 1, 静電気学会 (1980)
- 5) S. Masuda and J. Moon : Proc. of the U.S.-Japan Seminar on Measurement and Control of Particulates Generated from Human Activities, p. 6.38, EPRI, CS-2145-SR (1981)
- 6) S. Masuda and J. Moon : Int. Symp. on Powder Technology 81 (1981)
- 7) 増田閃一, 文在徳: 静電気学会講演論文集'81, p. 165, 静電気学会 (1981)
- 8) 青木功, 松山卓蔵: 静電気学会誌, 2 (1978) 207
- 9) D.C. Drehmel, J. DuBard, G. Faulkner and J. McDonald : Proc. of the U.S.-Japan Seminar on Measurement and Control of Particulates Generated from Human Activities, p. 6.1, EPRI, CS-2145-SR (1981)