

論 文

ワイドスパン電気集じん装置の性能特性

能祖茂幸*, 坂井正和*, 与川慎太郎*

(1979年10月24日受付)

Performance Characteristics of Electrostatic Precipitators
with Increased Electrode Spacing

S. NOSO,* M. SAKAI* and S. YOKAWA*

(Received October 24, 1979)

The performance characteristics of electrostatic precipitators with increased electrode spacing has been investigated on several sorts of dust at a pilot plant in a laboratory and pilot precipitators at sites. The relationship between effective migration velocity, operating voltage and electrode spacing is studied. When the electrode spacing is increased 60%, the effective migration velocity increase more than 60% in some cases and less than 60% in another cases. With investigation into these results, the sparking voltage and the corona quenching phenomena are discussed as the factors to determine the performance of increased spacing precipitators.

1. まえがき

過去、電気集じん装置（以下EPと略す）のダクトピッチ（集じん極板の間隔）は、Deutschの理論¹⁾により狭いほうが良いと考えられ²⁾、製作面とのかねあいで200~300mm程度が採用されていた。しかし、近年、ダクトピッチを従来の200~300mmより広くしたEP、いわゆるワイドスパンEPが従来型EPとほとんど同じ性能を挙げるという事実が見いだされ³⁻⁷⁾、多くのワイドスパンEPが製作されている。この現実に対する理論的説明としては、極間の電界強度の上昇、イオン風の影響、ダストの静電凝集の影響、ガスと垂直方向のダスト濃度勾配の影響⁸⁾等が提案されているが、まだ完全に解明されてはいない。

われわれは、EPメーカーの立場から、住友重機械工業(株)（以下当社とする）にて実施した数多くのテスト結果より、ワイドスパンEPの性能の特性についてまとめたので、この現象の理論的解明の一助とすべく以下に報告する。

2. 実験装置およびテスト

当社にて、昭和50年以降に実施したワイドスパンEP

に関する主要なテストを表1に示す。セメント工業仕上げミル排ガスダストを対象に最初の長期テストを行ない、以降、製鉄工業、電力工業、製紙工業等の各種排ガスダストに対象を変え、その性能特性の把握、確認を行なった。表1の実験装置の項目で、FM-EPと略記したものは当社研究所に設置した大型の実験プラントであり、その主要仕様を表2に、装置の外観を図1に示す。

この装置は、多目的研究のため、ダスト供給装置から熱風炉、ボイラまで備えた、この種の実験装置としては最大規模のテスト装置であり、ガスおよびダスト条件を変えて種々のテストが可能である。また表1の実験装置の項目で、PM-EPと略記したものは、実際のダスト発生源に持ち込み、現地にてテストができる可搬式のモーダルテスト用EPである。その主要仕様を表3に示す。

3. ワイドスパンEP評価の指標

従来、EPの性能を評価するための指標としては、Deutsch式に基づく下記の見掛け集じん速度（以下 ω 値と略す）が広く使用されていた¹⁾。

$$\omega = -(Q/A)\ln(1-\eta) \quad (1)$$

ここに ω : 見掛け集じん速度, Q : 処理ガス流量,

A : 全集じん極面積, η : 集じん率

しかし、ワイドスパンEPが比較の対照に加わると、この ω 値によるEP性能の評価は複雑になる。たとえば、ダクトピッチ250mmの ω 値6cm/sのEPとダクトピッチ500mmの ω 値10cm/sのEPを比較した場合、前者のほうが ω 値は低いが、同一容量内の集じん率は前者の方が高い場合がある。

* 住友重機械工業株式会社 環境装置部 (101 東京都千代田区神田錦町 2-1)

Environmental Engineering Department, Sumitomo Heavy Industries Co., Ltd., 2-1, Kanda-nishikicho, Chiyoda-ku, Tokyo 101, Japan

表 1 広電極間隔化における実施テスト
Table 1 Experiments on increased electrode spacing.

No.	Name of test	Date	Equipment	Sort of dust
1	Fundamental test	Oct. 1975-Feb. 1977	FM-EP	Cement finish mill
2	Theoretical study	Oct. 1975-Feb. 1977	Computer	—
3	Dust change (1)	Mar. 1977	FM-EP	Ironwork sintering plant
4	Dust change (2)	Apr. 1977	FM-EP	Utility boiler fly-ash
5	Site test (1)	July 1977	PM-EP	Pulp recovery boiler
6	Site test (2)	Nov.-Dec. 1977	PM-EP	Cement repol kiln
7	High gas temp.	Dec. 1977	FM-EP	Cement SP kiln
8	Site test (3)	Jan. 1978	PM-EP	Cement finish mill
9	High dust content	Mar.-Apr. 1978	PM-EP	Cement SP kiln
10	Site test (4)	Jan. 1979	PM-EP	Dry de SO _x

表 2 FM-EP 実験プラントの主要仕様
Table 2 Specification of FM-EP test plant.

Item	Specification
Gas volume	0-230 m ³ /min
Gas temp.	Room temp.-400°C
Moisture	Air-10 vol % (at 120 m ³ /min)
Dust content	0-40 g/Nm ³ (at 120 m ³ /min)
Type	Dry, horizontal gas flow
Structure	1 chamber, 3 fields
Duct spacing	1st field 200-1,200 mm changable, 2-3rd field 250 mm
Silicon rectifier	-200 kV×200 mA 1 set -55 kV×30 mA 1 set ±55 kV×30 mA 1 set

ん面積 A が 2 倍あるためより高い集じん率 η を有していると考えられ、高性能であるといえる。

これらの混乱を除くため、下記の指標を提案したい。

$$\omega^* = (250/2b)\omega \quad (2)$$

ここに、 b : ダクトピッチ($2 \times$ 正負電極間隔)(mm),

ω^* : 規準化見掛け集じん速度(オメガスター)

この ω^* 値は、ワイドスパン EP の ω 値をダクトピッチ 250 mm の従来型 EP の ω 値に換算したものであり、この指標を使うことにより種々のダクトピッチの EP 性能が容易に比較できる。本稿では、以降この ω^* 値により議論する。

4. 実験結果

4.1 ワイドスパン EP 性能良の場合

表 1 にて示した各種ダストに対するテストで、ワイドスパン EP の ω^* 値が従来型 EP の ω^* 値より大となる

場合と小となる場合があり、テスト条件によっても異なった結果がでてくる。したがってワイドスパン EP は従来型 EP に比較して常に高性能なわけではなく、排ガスおよびダスト条件により、適、不適が決定されることがわかった。ここでは、ワイドスパン EP が適当と判断されるダストに対する実験結果を以下に述べる。

図 2 に表 1 のテスト番号 1 のセメント工業仕上げミルダスト使用のテストから、ダクトピッチ $2b$ と ω^* 値の関係を示す。なお、本テストは、当社研究所に設置の FM-EP にて実施され、ダストは実機 EP 捕集のものを輸送し使用した。またテスト条件は、各ダクトピッチともガス温度 200°C、ガス中水分 5%、EP 内平均ガス流速 1 m/s、電流密度 0.4 mA/m² であり、槌打は約 1 時間の 1 条件測定中は無槌打で、条件変更ごとに実施した。ダスト濃度の測定は、JIS 法と、重量法式の連続自動煤じん計を併用している。

ここで縦軸の ω^* 値は、 $2b=250$ mm の場合を 100% として比率で示している。また、図中で C_1 と記したものは EP 入口ダスト濃度であり、テストは電流密度 0.4 mA/m² 一定にて行なっている。

ダスト濃度が 5 g/Nm³ 以下の場合は、 ω^* 値はダクトピッチの増加に伴って増加し、 $2b=600$ mm 以上で 130% 程度の値で飽和している。これに対し、ダスト濃度が 17 g/Nm³ の場合は、傾向は同一と思われるが、 ω^* 値の増加は小さい。このダスト濃度の相違により、ワイドスパン EP と従来型 EP の ω^* 値の比が異なってくることから、ダクトピッチによって、 ω^* 値とダスト濃度が異なる関係を持っていることが予測できる。このテストでの ω^* 値とダスト濃度の関係を図 3 に示す。

図 3 の縦軸の ω^* 値は、 $C_1=5$ g/Nm³ の場合を 100% として比率で示している。この図から、従来型 EP に比較し、ワイドスパン EP ではダスト濃度が増加した場合

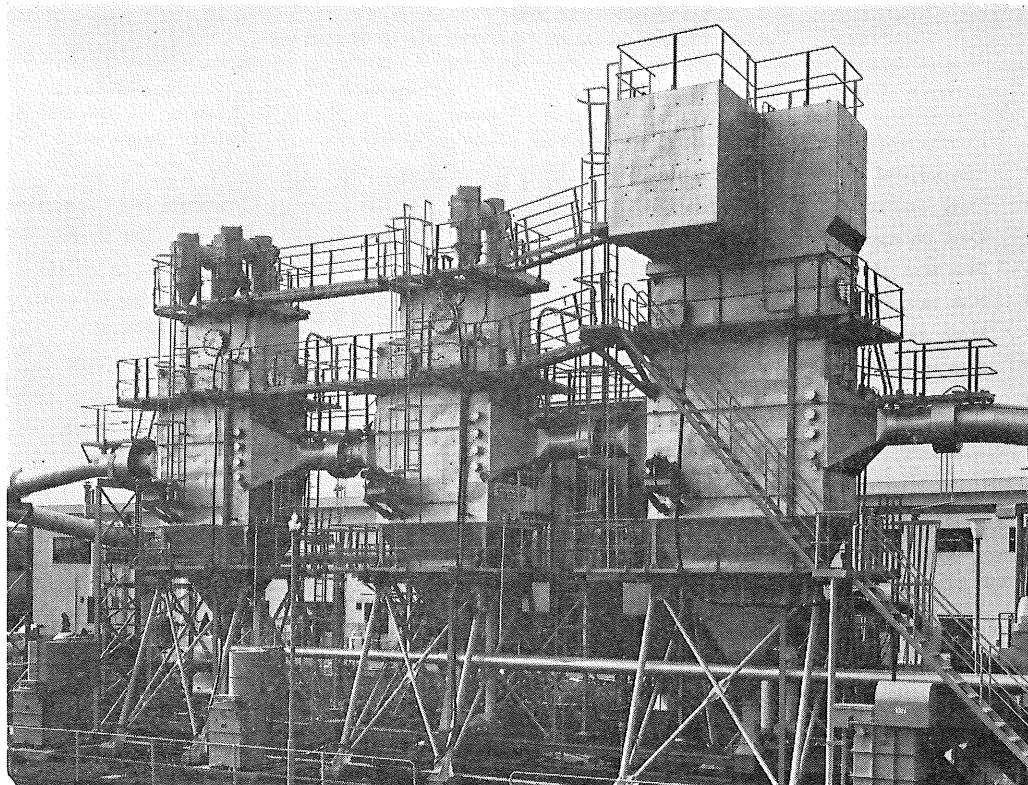


図 1 FM-EP 外観
Fig. 1 View of FM-EP test plant.

表 3 PM-EP 実験プラントの主要仕様
Table 3 Specification of PM-EP test plant.

Item	Specification
Gas volume	25 m ³ /min
Gas temp.	
Moisture	{ Same as site condition
Dust content	
Type	Dry horizontal gas flow
Structure	1 chamber, 4 fields
Duct spacing	250-400 mm changable
Silicon rectifier	-60 kV × 30 mA 2 sets

の ω^* 値增加が早く飽和し、減少はじめることが明らかである。

このダスト濃度の役割をより詳細に調べるために、このテストでの EP 荷電圧の状態を示したのが図 4 である。ここに、 V_{sp} ：スパーク開始電圧、 $V_{0.4}$ ：電流密度 0.4 mA/m² 流した場合の荷電圧、 $V_{0.1}$ ：電流密度 0.1 mA/m² 流した場合の荷電圧である。

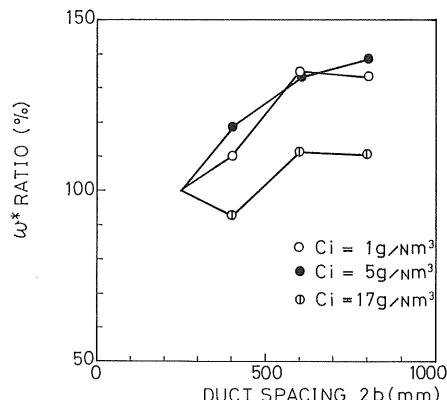


図 2 ダクトピッチと ω^* 値の関係 (テスト番号 1)
Fig. 2 ω^* value vs. duct spacing (test No. 1).

$V_{0.1}$, $V_{0.4}$ はダスト濃度 C_i の増加につれて増加するのに対し、 V_{sp} は C_i の増加につれて減少する。また 0.4 mA/m² の電流をスパークなしで流せる限界のダスト濃度は、従来型の EP の $2b=250$ mm では 30 g/Nm³ 程度であるのに対し、ワイドスペイン EP ($2b=800$ mm)

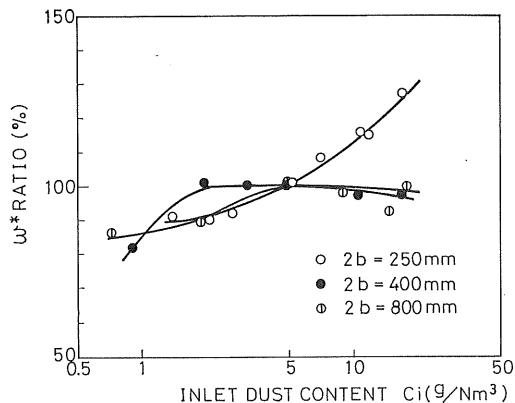


図 3 入口ダスト濃度と ω^* 値の関係 (テスト番号 1)
Fig. 3 ω^* value vs. inlet dust concentration (test No. 1).

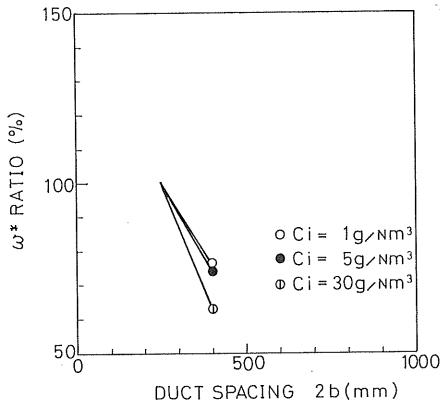


図 5 ダクトピッチと ω^* 値の関係 (テスト番号 4)
Fig. 5 ω^* value vs. duct spacing (test No. 4).

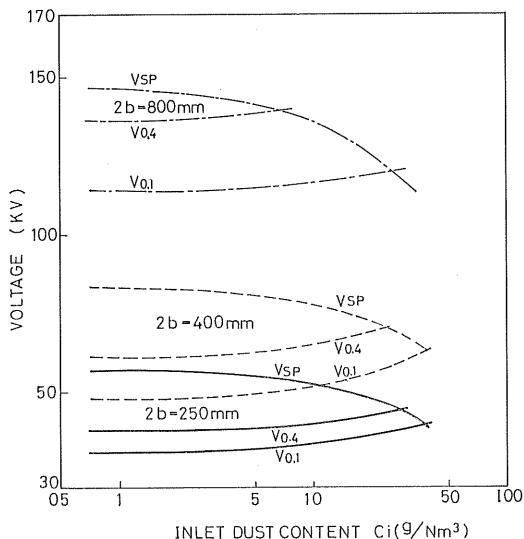


図 4 EP 荷電状況 (テスト番号 1)
Fig. 4 Operating voltage vs. inlet dust concentration (test No. 1).

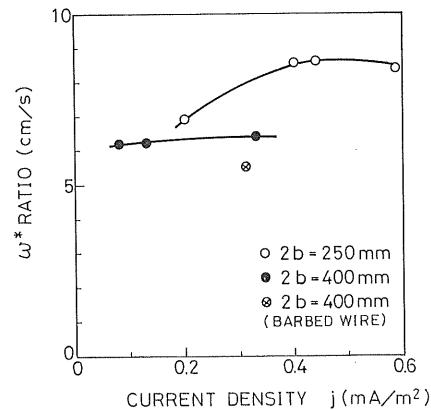


図 6 電流密度と ω^* 値の関係 (テスト番号 4)
Fig. 6 ω^* value vs. current density (test No. 4).

ラフライッシュ使用のテストから、ダクトピッチ $2b$ と ω^* 値の関係を示す。テスト条件は、各ダクトピッチともガス温度 350°C 、ガス中水分 7%、EP 内ガス流速 1.45 m/s であり、槌打要領、ダスト濃度測定要領等は前項のテストと同様である。

ここで電流密度は、 $2b=250 \text{ mm}$ の場合は 0.4 mA/m^2 であるが、 $2b=400 \text{ mm}$ の場合はスパークが激しいため $0.1 \sim 0.2 \text{ mA/m}^2$ としている。この場合では、ダスト濃度の効果傾向は前項結果と同一であるが、ダスト濃度が 1 g/Nm^3 と少ない場合でもワイドスパン EP の ω^* 値は従来型 EP の 80% 以下である。

図 5にて、過度のスパーク発生によりテストでの電流密度を一定に保持できなかった点を明確にするため、 ω^* 値と電流密度の関係を調べたのが図 6である。本図より、電流密度を 0.4 mA/m^2 まで流しても、ワイドスパン EP の ω^* 値の増加は望めないと判断される。

になると 7 g/Nm^3 程度まで減少する。したがって、ダクトピッチが大きいほど高ダスト濃度の場合の EP 荷電状態の悪化が激しく、これにより高ダスト濃度になるとワイドスパン EP の優秀性が失われることがわかる。

なお、このダスト濃度に対するワイドスパン EP の特性は、ダスト濃度を変化させた他のすべてのテストで同一傾向となっている。

4.2 ワイドスパン EP 性能悪の場合

ここでは、ワイドスパン EP が不適当と判断されるダストに対する実験結果を以下に述べる。

図 5に表 1 テスト番号 4 の電力工業低硫黄炭燃焼ポイ

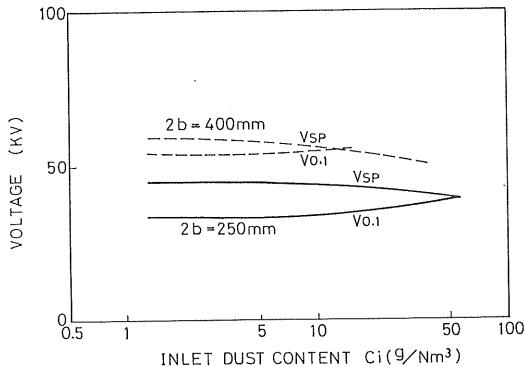


図 7 EP 荷電状況 (テスト番号 4)

Fig. 7 Operating voltage vs. inlet dust concentration (test No. 4)

さらに図中に、ワイドスパン EP の ω^* 値が電流密度の増加に伴い増加しないのはスパークの頻発に起因すると考えられるため、放電極をより電流の流れやすい有刺線に交換し、スパークの少ない状態でテストした結果も示している。しかし、この場合もワイドスパン EP での良い結果は得られなかった。

図 7 に、このテストでの EP 荷電圧の状態を示す。前項のワイドスパン EP 性能良の場合に比較し、全体にスパーク開始電圧が低く、とくにワイドスパン EP では安定に荷電できる範囲が小さいことがわかる。

5. 考 察

実験結果に示したワイドスパン EP 性能良の場合と悪い場合の比較から、ワイドスパン EP の適否がその荷電状態の良否に左右されることが明らかである。この点をよりはっきりさせるため、表 1 テスト番号 1 でのダスト濃度ゼロの場合のダクトピッチと荷電圧の関係を図 8 に示す (ガス温度 200°C)。

本図でとくに注目すべき点は、電流密度 0.1 mA/m^2 流すときの荷電圧 $V_{0.1}$ とスパーク開始電圧 V_{sp} はほぼ平行であるが、電流密度 0.4 mA/m^2 流すときの荷電圧 $V_{0.4}$ はより急な勾配を持っており、ダクトピッチ $2b$ の増加に伴って $V_{0.4} \sim V_{sp}$ の幅が減少している点である。このことは、ダクトピッチが大きいほど良好な EP 性能を保つ荷電が維持しにくいことを意味し、荷電の安定性が悪いことになる。

図 8 はダスト濃度ゼロの場合であるが、ガス中にダストがある場合には、ダストの空間電荷によるコロナ抑制効果 (corona quenching) により運転電圧 $V_{0.1}, V_{0.4}$ は図 8 よりも上昇する。実際、テスト中の観察でも、ガス量、温度、水分を設定後、ダストを供給すると同時に電

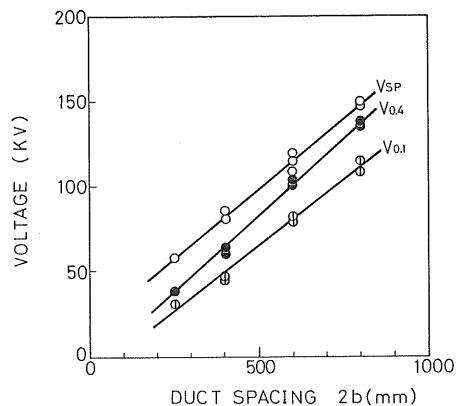


図 8 ダクトピッチと EP 荷電圧の関係

Fig. 8 Operating voltage vs. duct spacing.

圧の上昇が見られた。なお、テストは 1 条件約 1 時間無撃打にて実施したため、電極へのダスト付着により電圧が徐々に上昇する現象が観察されたが、図 4, 7 のデータとしてはダスト供給直後の電圧を使用しているため、これらの効果は含まれていない。

Awad ら⁹⁾によれば、このコロナ抑制効果はダクトピッチ $2b$ が大きいほど大きい。これに対し、スパーク電圧 V_{sp} は、ガス中にダストがある場合下降する。したがって、ダストのある場合には、図 8 の $V_{0.4} \sim V_{sp}$ の幅は減少し、ダストの種類、濃度によっては高性能を維持できる良好な荷電が確保できなくなる。

この傾向はダクトピッチ大のワイドスパン EP ほど大きいため、従来型 EP との ω^* 値の比較においてはワイドスパン EP の性能悪化という形で現われてくる。この現象が、4.1 に示したダスト濃度の効果、4.2 に示したワイドスパン EP 性能が従来型 EP 以下となったことの原因と考えられる。したがって、ワイドスパン EP 適用の際は、荷電状況の予測がとくに重要であり、通常、ワイドスパン EP に適するダストに対しても、ダストの粒径分布、スパーク電圧等を十分検討して、ダスト濃度の高いガス上流第 1 区は従来型とする等の考慮が必要となる。また、ワイドスパンとして適当なダクトピッチ $2b$ は、図 3 にて、 $2b=600 \text{ mm}$ にて ω^* 値の上昇が飽和していること、 $2b$ を大きくするに従って荷電安定性が悪くなることを考慮すれば、 $400 \sim 600 \text{ mm}$ 程度と考えられる。

なお、当社にて行なったワイドスパン EP に対するコストの比較においても、ダクトピッチの最適値は 600 mm 以下となり、総合的にも $400 \sim 600 \text{ mm}$ のピッチが最適と考えられる。

6. 結 言

当社にて 1975 年以降行なわれた各種ダストでのワイドスパン EP に関するテストにより得られた結果を以下にまとめる。

- (1) ワイドスパン EP は常に従来型 EP に比較して優れているのではなく、ガスおよびダストの条件により個々に優劣が異なる。
- (2) ダクトピッチが広いほど EP の高性能運転範囲は狭いため、スパーク電圧が高く安定荷電が確保できる場合はワイドスパン EP は従来型 EP よりも優れているが、スパーク電圧が低く荷電が不安定となる場合はワイドスパン EP は従来型 EP に劣る。
- (3) 同一の現象から、ダスト濃度が高い場合ワイドスパン EP は不適当であるという特性が生じ、ワイドスパン EP の適用が適当なダストに対しても、高ダスト濃度となるガス上流第 1 区目は従来型 EP とする等の考慮が必要となる。

(4) ワイドスパン EP の適正ダクトピッチは性能面、コスト面より 400~600 mm と考えられる。

なお、これらのテスト結果を踏まえ、現在、数多くの当社製ワイドスパン EP が乾式、湿式とも稼動中である。

参 考 文 献

- 1) W. Deutsch: Ann. Phys. (Leipzig), 68 (1922), 335.
- 2) H.J. White: *Industrial Electrostatic Precipitation*, Addison-Wesley, Massachusetts (1963).
- 3) D.O. Heinrich: Staub-Reinhalt. Luft, 38, 11 (1978), 446.
- 4) S. Masuda: Inst. Phys. Conf. Ser., 27 (1975), 154.
- 5) 滝本 健: 静電気学会誌, 3, 4 (1979), 224.
- 6) 能祖茂幸, 西村行夫, 与川慎太郎, 光崎成昭, 富田 武, 林 健一, 田中 明, 野田隆明, 三重野光博, 黒木 進, 浦上正治: 住友重機械技報, 26, 78 (1978), 72.
- 7) G. Dinelli, C. Borgatti and M. Rea : J. Air Pollut. Control Assoc., 29, 3 (1979), 242.
- 8) P. Cooperman: APCA Annual Meeting, Paper No. 76-42.2 (1976).
- 9) M.B. Awad and G.S.P. Castle: J. Air Pollut. Control Assoc., 25, 2 (1975), 172.