

微細粒子捕集用誘電式高性能ガス清浄装置の開発

Development of Mitsubishi Dielectric Droplet Scrubber (MDDS)
for Collecting Sub-Micron Particle

技術本部 上田 泰稔^{*1}

神戸造船所 加賀見 守男^{*2} 藤谷 宏^{*2}

機械事業本部 富松 一隆^{*3}

重油だきボイラにおいて湿式の脱硫装置を設置した場合、排ガス中の SO_3 が冷却され、微細な SO_3 ミストを形成して煙突出口から可視煙として長く棚引くという問題が生じている。この対策として、アンモニアを注入して硫酸にして回収する方法や、湿式電気集じん装置（湿式 EP）を設置する方法が実用化されているものの、設置スペースやコストの問題からあまり普及していない状況にある。そこで、全く新しい原理に基づき、設置スペースを大幅に低減できる新しい湿式の高効率除じん装置を開発した。本装置は、従来、捕集が困難であった高濃度の SO_3 ミストやそれ以外の微細粒子にも適用できる上、ガス吸収機能を組み込み一体化することも可能である。

At oil-fired boiler plants, SO_3 gas is cooled to form very fine mist through wet FGD, making SO_3 mist difficult to remove at the FGD absorber, causing highly visible smoke from the stack. The optimum measure is installation of wet ESP, but this is usually precluded by space limitation or expense. We developed advanced gas cleaning incorporating wet ESP and wet FGD. This paper introduces the principle of the new technology, along with operation at a commercial-scale plant, where the specific W was twice that of conventional wet ESP.

1. ま え が き

現状の重油だき火力発電所において、湿式の脱硫装置を設置した場合、排ガス中の SO_3 は脱硫装置内で冷却され、非常に微細な SO_3 ミストを形成する。脱硫装置内における SO_3 ミストの除去は、噴霧される吸収液との衝突によってのみ行われるため、除去効率は低く、煙突出口からは未捕集の SO_3 ミストが可視煙として長く棚引くという問題が生じている。

この対策として、アンモニアを注入して SO_3 を硫酸にし、乾式電気集じん装置（乾式 EP）で捕集する方法や、脱硫装置の後段に湿式電気集じん装置（湿式 EP）を設置する方法が実用化されているが、設置スペースやコストの面からあまり普及していない状況にある。

以上のような背景から、 SO_3 ミストを始めとする微細なサブミクロンのミストやダストを高効率に捕集するために、新しい捕集原理を採用した湿式のガス清浄装置（MDDS：Mitsubishi Dielectric Droplet Scrubber）を開発した。ここでは、本方式の捕集原理について述べるとともに、当社の廃棄物焼却炉に設置した実機スケール装置及びラボ試験装置における運転実績について紹介する。

2. 誘電式高性能ガス清浄装置（MDDS）

2.1 装置構成⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

図1に、MDDSを湿式脱硫装置と一体化し、 SO_3 を含むボイラ排ガスへ適用した場合の構造例を示す。排ガスは、装置入口部で水スプレーにより水露点である $50\sim 60^\circ\text{C}$ にまで冷却され、微細な SO_3 ミストを形成する。生成された SO_3 ミスト

は後段に設置された予備荷電部（PC部）で電荷を与えられ、ガス吸収部へ導かれる。ここでは、pH調整された吸収液を多量に噴霧することにより効率良く脱硫などのガス処理を行う。

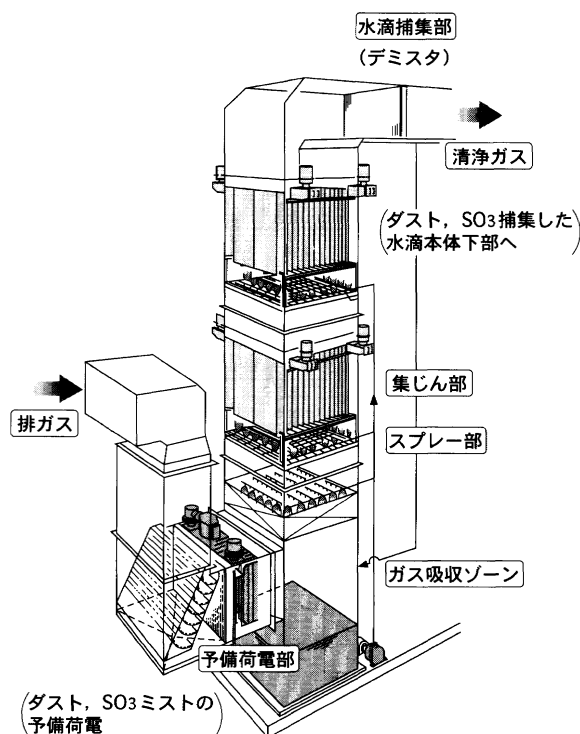


図1 MDDS 実機構成例 MDDSを実機ラインに適用する場合の装置構成の例を示す。
Example of structure of MDDS

*1 高砂研究所流体研究室主席

*2 環境プラント部排煙処理プラント設計課

*3 技術統括グループ主席

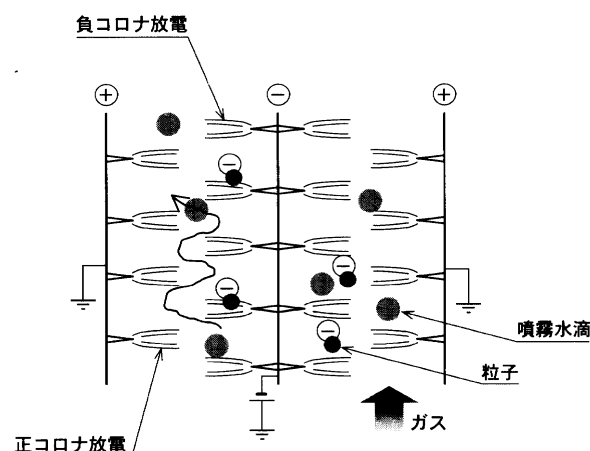


図2 CS部内部における粒子及び噴霧水滴の挙動 CS部における電界場で、粒子及び噴霧水滴がどのような挙動を示すかを模式的に示す。
Behavior of particle inside collecting section

なお、前段に脱硫装置が設置されている場合は、水スプレーによるガスの冷却部及びガス吸収部は省略される。

脱硫などのガス処理をされた排ガスは、ケーシング内を上昇して行く過程で再度水噴霧を行うが、この水噴霧は、微細ダストやSO₃ミストをその表面に捕獲するためのものである。ここで用いられる水には循環吸収液を用いることができるため、更なるガス吸収効果を期待することもできる。

ここで噴霧された水滴は、微細ダストやSO₃ミストと共に、外部電界を与えるゾーンである集じん部（CS部）に導かれる。ここでは、外部電界により噴霧水滴が電極上に捕集されるのを防ぐために、平行平板電極を用いて平等電界を形成する。これにより、噴霧水滴表面には分極電荷が誘起され、PC部で強制的に電荷を与えられた微細ダストやSO₃ミストは電気的な吸引力により噴霧水滴表面に捕集される。このとき、噴霧水滴は誘電分極しているだけなので電極上に捕集されず空間における個数密度を維持することができる。また、さらに、上記平等電界の替りに、図2に示すような、放電板と集じん板に交互にとげを設置し、ガス流れ方向に正負のコロナ放電を交互に形成する直流交番荷電方式の採用が有効である。このような放電の下では、粒子あるいはミストは正負の電荷を交互に受けるため、その度に運動方向が変化することになるが、見掛け上粒径が大きく移動速度の速い噴霧水滴だけが大きく蛇行運動することになり、移動速度の遅い微細ダストや、SO₃ミストは静止していると見なせるため、噴霧水滴との衝突確立を上げることが可能である。CS部で微細ダストやSO₃ミストを捕獲した水滴は粒径が大きいため、最終的に後段に設けたデミスタなどの簡易的な捕集装置で高効率に捕集される。

2.2 捕集原理⁽⁴⁾

本方式は、原理的には、集じん空間に水滴を噴霧して、その水滴に粒子を捕集することで粒子が捕集されるまでの移動距離を短くして捕集効率を上げようというものであり、帯電液滴スクラバの類似技術であるといえる。しかし、本方式は、CS部で外部電界を印加して、噴霧水滴への粒子の捕集効率を

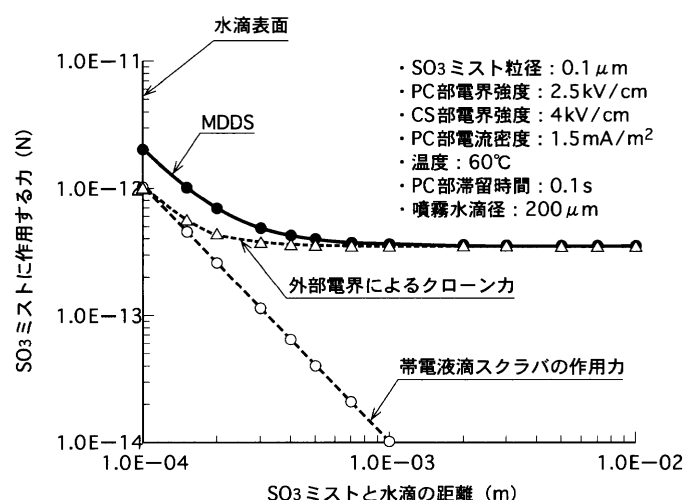


図3 CS部におけるSO₃ミストへの作用力 CS部において捕集対象粒子であるSO₃ミストに働く力の計算値を示す。
Force acting on SO₃ mist inside collecting section

高めているところに大きな違いがある。外部電界がある場合とない場合とでの、噴霧水滴と粒子との間に働く力の比較を図3に示す。この図から、特に、粒子と噴霧水滴とが離れている場合には外部電界による作用力が支配的となることが分かり、外部電界がない場合には、噴霧水滴量を増やして極力粒子と噴霧水滴の距離を短くしなければ捕集効率が上がってこないことが分かる。MDDSにおける作用力は、上記の外部電界がない場合の力と外部電界による力の足し合せになることから、帯電液滴スクラバに比べて水滴上への粒子の捕集効率が大幅に向上することになる。この結果、SO₃ミストのような、従来の電気集じん装置では捕集されにくかったサブミクロン粒子を高効率に捕集することが可能になる。

3. 試験結果

3.1 試験設備

ここでは、本装置でのSO₃ミストの捕集性を評価するために、本装置の初号機として、当社内の廃棄物焼却炉（ガス量25 000 m³N/h）に設置した装置での試験結果と、その後CS部に前述の直流交番荷電方式を採用した場合の、SO₃ミストの捕集効率改善効果を検証するために実施した実機相当の電極構成の試験装置（ガス量4 000 m³N/h）での試験結果について述べる。今回用いた装置仕様を表1に、装置の概略を図4、図5に示す。いずれの装置も、SO₃ガスが存在しないため、図4中に示すようにSO₃ガスの発生装置を持込み、外部からSO₃

表1 装置仕様

Specification of test facilities		
	焼却炉	改良型電極ラボ
ガス量 (m ³ N/h)	25 000	4 100
ガス温度 (°C)	70	30
ダスト濃度 (mg/m ³ N)	300~800	—
SO ₃ ミスト濃度 (ppm)	0~45	10~100
PC部滞留時間 (s)	0.1	0.1
CS部滞留時間 (s)	1.5	1~1.5

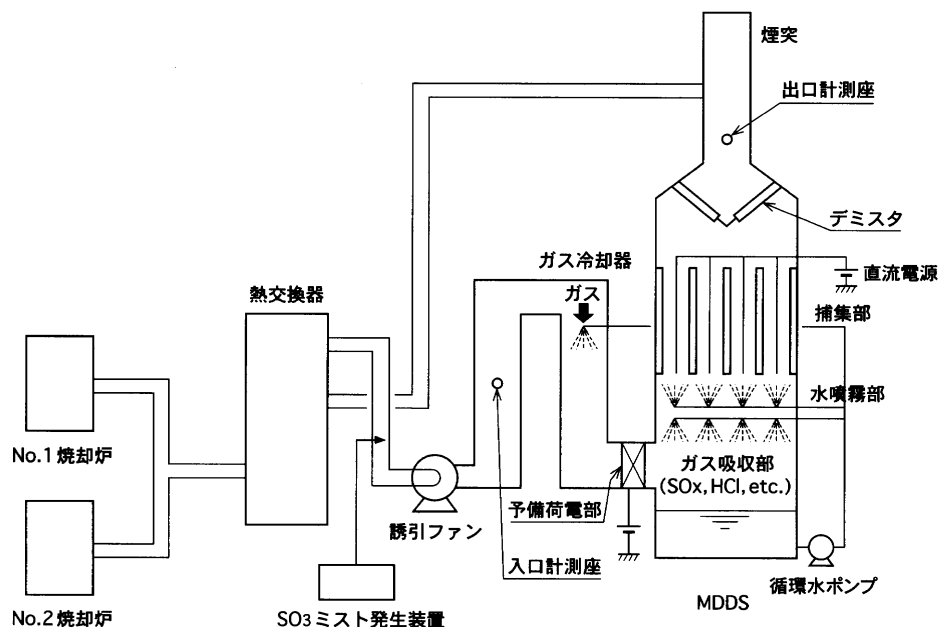


図4 当社廃棄物焼却炉設置装置概略 今回試験を行った、焼却炉煙突と一体化する形で設置した MDDS 初号機を示す。
Schematic diagram of MDDS for waste incinerator plant

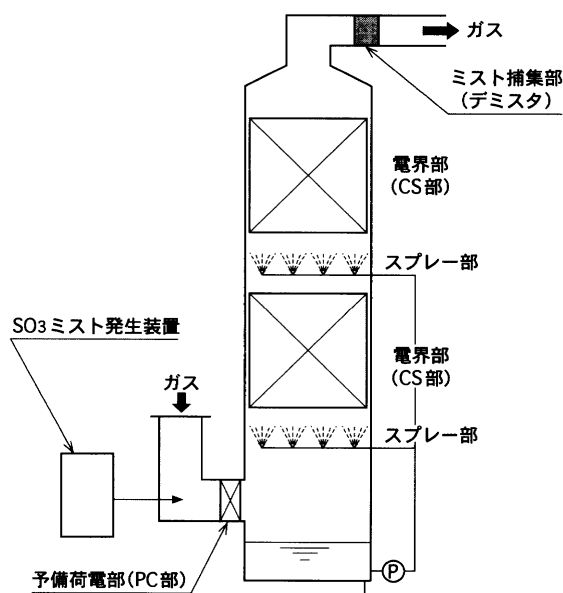


図5 改良型電極試験装置 直流交番荷電を採用した改良型 MDDS 試験装置を示す。
Schematic diagram of advanced type of MDDS

ミストを供給している。このときの SO_3 ミストの平均粒径は約 $0.1\mu\text{m}$ で、実機を想定して、 $30\sim 100\text{ppm}$ の濃度で試験を行った。また、廃棄物焼却炉においては、排ガス中の HCl の吸収試験も併せて実施している。

3.2 試験結果

ここでは、 SO_3 ミスト捕集効率を左右するパラメータとして、ガス量当りの噴霧水量（気液比： L/G ）、 PC 部電圧、 CS 部電圧の変化テストを実施した。また、水噴霧や外部電界の効果を確認するために、 PC 部及び CS 部を ON 、 OFF したときの性能データも取得した。

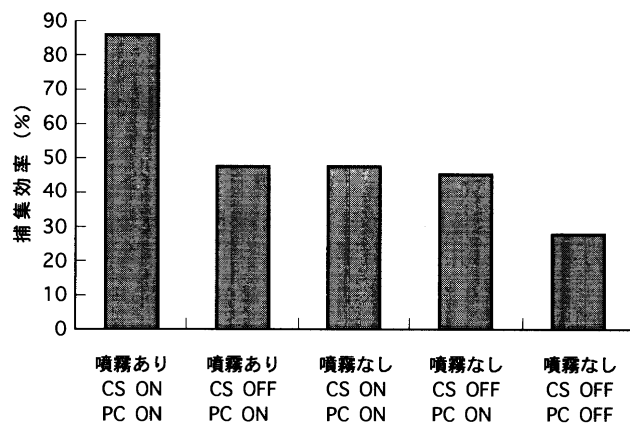


図6 当社廃棄物焼却炉での試験結果 廃棄物焼却炉で SO_3 ミストを供給しながら取得した捕集効率データを示す。
Test results for waste incinerator plant test

廃棄物焼却炉における SO_3 ミスト捕集試験結果を図6に、また、結果の一覧を表2に示す。これらの結果から、 $\text{L/G}=1.0$ 、 CS 部滞留時間 $=1.5\text{s}$ 、 CS 部平均電界強度 4 kV/cm で85%程度の捕集効率を得られていることが分かり、設計効率である80%を達成している。また、ガス吸収部における排ガス中 HCl の吸収も、表2に示すとおり99%以上の効率を達成しており、本装置構成で、ガス吸収と除じんの一体化が可能であることを確認した。

次に、直流交番荷電方式を採用した、図5に示す試験装置で取得した試験結果を図7に示す。この試験においては、空気に SO_3 ミストを供給して供試ガスとしているものの、濃度 $30\sim 100\text{ppm}$ において SO_3 ミストの粒径は $0.1\mu\text{m}$ 程度であることを確認しており、廃棄物焼却炉での試験と SO_3 ミストの条件は等しいものと考えられる。

この結果から、直流交番荷電とすることで、実機相当の電

表2 試験結果一覧表（廃棄物焼却炉）

Representative test results for waste incinerator plant test

PC部荷電		ON	ON	ON	ON	OFF
CS部荷電		ON	ON	OFF	OFF	OFF
水噴霧		ON	OFF	ON	OFF	OFF
ガス量	m ³ N/h	21 800	22 700	23 500	24 000	23 100
ガス温度	℃	69	70	73	72	71
ガス圧力	mmAq	9	10	11	11	9
気液比 (L/G)	l/m ³ N	0.94	—	0.45	—	—
CS部滞留時間	s	1.46	1.4	1.34	1.32	1.37
ダスト捕集効率	%	85.7	47.3	47.1	44.9	27.4
HCl除去効率	%	99.5	95.6	99.5	98.9	99.2

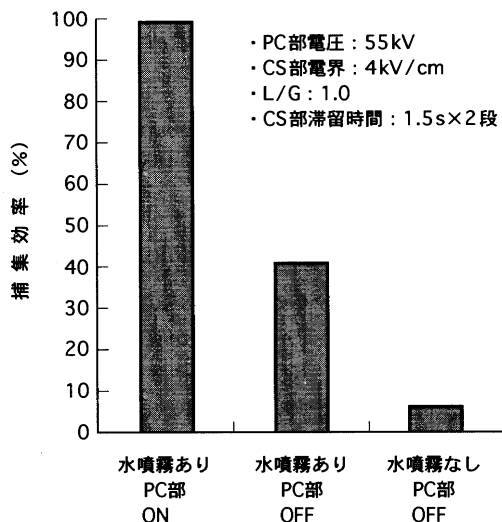


図7 直流交番荷電方式による捕集効率改善効果
直流交番荷電を採用した改良型 MDDS 試験装置での SO₃ミスト捕集効率計測結果を示す。
Test results of advanced type of MDDS

極構成である、3 m 電極を2段積みにした構造において、CS部滞留時間=1.5 s×2段、L/G=1.0×2段、CS部平均電界強度4 kV/cmの条件において、99%以上の捕集効率を達成した。これは、電極1段当りの捕集効率が90%以上であることを示しており、捕集効率が85%程度であった廃棄物焼却炉で採用した平行平板電極方式に比べて直流交番荷電方式による効率改善効果が確認できたといえる。また、入口のSO₃ミスト濃度を変化させた場合も、100 ppm 付近まで捕集効率をほぼ一定に維持できおり、従来型の湿式 EP と異なり、SO₃

表3 従来型湿式 EP との比較

Comparison of capacity between MDDS and conventional wet-type ESP

		占有体積比	集じん面積比	ダスト移動度比
MDDS	PC部	10.0	1.3	—
	CS部	28.0	26.0	—
	デミスタ	28.0	—	—
	合計	66.0	27.3	3.66
従来型湿式 EP		100.0	100.0	1.00

ミスト濃度の捕集効率への影響が小さいことを確認した。

これらの結果を基に求めた、同一効率を得るために必要な従来型湿式 EP の大きさとの比較を表3に示す。

この結果、MDDSは容積ベースで従来の当社湿式 EP の約2/3、また集じん面積ベースでは約1/4の大きさとなり、非常にコンパクトで高効率な装置であることを確認した。

4. ま と め

新しい捕集原理に基づく、湿式の微細粒子高効率捕集装置を開発し、実機スケールの試験結果において、従来の湿式 EP に比べ集じん面積当たり約3倍の捕集性を示すことを実証した。また、高効率化を目指して開発した直流交番荷電の効果により、SO₃ミストの捕集効率が大幅に改善されることも併せて確認した。

本装置は、平成13年度、紫煙対策用のSO₃ミスト捕集装置としての初号機が運開予定であり、実機での性能実証が行える予定である。

本装置がコンパクトで高性能かつガス処理装置としても機能させることができる利点を生かし、今後は、さらに、その適用分野をSO₃ミストの捕集のみならず他分野へも拡大していく予定である。

参 考 文 献

- (1) Bertinat, M. P., Journal of Electrostatics, 9 (1980) p.137
- (2) Koizumi, Y. et al., Journal of Electrostatics, 35 (1995) p.55
- (3) Jaworek, A. et al., IEEE Transactions Industry Applications, Vol. 34, No. 5 (1998) p.985
- (4) 原ほか, 静電気学会誌, Vol. 6, No. 3 (1982) p.163