

帯電ミストによる浮遊粉塵除去システムの開発

マイクロ EC ミスト[®]

高木 賢二

空気中に浮遊した粉塵の除去は集塵機などを用いて集塵して除去するのが一般的であるが、開放空間に浮遊している粉塵は空気を集める方法が難しく有効な除去方法がない。そこで、開放空間に浮遊した粉塵に対して、特殊なノズルで帯電させた水粒子をミスト状に発生させ噴霧することにより、効果的に吸着し除去する技術を開発した。本報では、帯電したミストの発生・散布システム「マイクロ EC ミスト[®]」(以下「本システム」という)の概要、粉塵除去原理、室内実験および実際の建設現場での粉塵除去効果確認の結果について報告する。

キーワード：浮遊粉塵, 粉塵, ミスト, 帯電, ノズル

1. はじめに

近年、高度経済成長期に建設されたインフラのリニューアルおよび増設工事の活発化に伴い、建設現場では周辺に人家が存在する状況が多くあり、そこでの重機走行や解体粉塵が周囲に影響を及ぼし易い状況下での作業を強いられることが多くある。そのため、一層の粉塵対策が求められている。

粉塵対策には、散水や粉塵飛散抑制剤など粉塵の発生を抑制する方法や防塵シートなど粉塵の拡散を抑制する方法は既にいくつかあるが、一度浮遊してしまった粉塵を開放空間において除去する技術はないのが現状である。このため、様々な箇所が発生する工事粉塵の対策は限定的であり、特に、発生した後の浮遊粉塵を除去する方法が求められている。

粉塵の径が数 $10\mu\text{m}$ 程度であると重力による沈降速度は 10^{-3}m/s 程度となり、浮遊した状態で拡散する。解体工事や造成工事で発生する粉塵の粒径は、実測によると6割程度が $10\mu\text{m}$ 以下であり、発生した場合は浮遊するものが多いのが特徴である。一方、浮遊した粉塵を処理する手段は少ない。

粉塵対策技術には、粉塵を発生させない発生抑制、粉塵を拡散させない拡散抑制、浮遊した粉塵を除去する粉塵除去に分類される。表-1に粉塵対策技術と効果の一覧を示す。特に、浮遊粉塵の除去には現状集塵機によるものしかない。集塵機は浮遊粉塵を含む空気を吸引してフィルターあるいは電気集塵で粉塵を除去するものであり、閉鎖空間のように粉塵を含む空気を

表-1 粉塵対策技術と効果

目的	対策	開放空間;屋外	閉鎖空間;室内
発生抑制	放水、ミスト散布	○(1/10に減)	△(要処理)
	飛散抑制剤	◎(1/100に減)	△(要処理)
拡散抑制	防塵シート	○(1/2に減)	○
	仮囲い	○(1/2に減)	—
粉塵除去	集塵機	—	◎(1/100に減)
	マイクロ EC ミスト	○(1/2に減)	○(1/2に減)

(当社比)

を吸引しやすい場所での粉塵除去に効果的である。しかし、開放空間では風の影響により空気の流れの変化が大きく、粉塵を含む空気を吸引することが困難で特殊な場合を除いて適用は難しい。

筆者らは、特殊なノズルで帯電させたミスト(水粒子)を発生させ噴霧することにより、開放空間に浮遊した粉塵をミストに吸着して除去する技術を開発した^{1), 2), 4)}。これにより、これまで有効な除去方法がなかった開放空間での浮遊粉塵の効果的な除去が可能となる。

本報では、本システムの概要、ミストの帯電や静電気による粉塵の吸着など粉塵除去原理、ドラフトチャンバーを用いた室内実験および実際の造成工事の建設現場における粉塵除去効果確認について報告する。

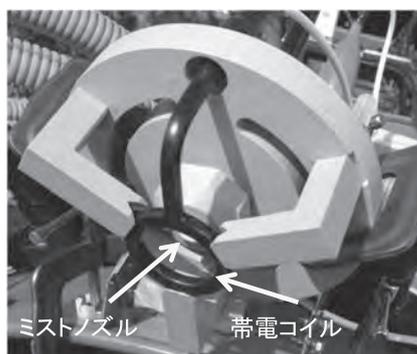
2. システム概要

(1) システム構成

本システムは、帯電ミストファン(写真-1)とポンプ、水槽、電源などで構成される。帯電ミストファ



写真一 本システム概観



写真二 帯電ミストノズル (D = 120 mm)



図一 帯電ミスト発生原理

ンは帯電ミストを発生するノズルを大型ファンと結合させたもので、気流に乗せてミストを噴射する。帯電ミストの発生は誘電帯電方式によるものであり、写真一2の帯電ミストノズルによって、1分間に10リットルの帯電ミスト（電荷量約0.5 mC/kg）を連続して安定的に噴射することを可能にした。ノズル部で発生した帯電ミストがファン部で生成された空気流によって粉塵空間に向けて送り込まれる。

(2) 帯電ノズル

帯電ミストは、マイナスの電荷を載せた200 μ m以下の微細な水の微粒子群で形成された微噴霧である。帯電ミストは、通常のみストでは除去困難とされていた10 μ m以下の浮遊粉塵を静電気力により空間で吸着させて落下させることができる。

帯電ミストを発生させるために写真一2のような帯電ノズルを開発した。帯電ノズルはミストノズルの出口付近に円環の高電圧コイルを配して、高電圧領域を形成する。

3. 粉塵除去原理

(1) 帯電ミスト発生原理

帯電ミストの発生は誘電帯電方式による。ミスト発

生にはスプレーノズルを用いる。スプレーノズルは小さな穴から高圧の水を噴出させるノズルである。ノズルの穴の出口付近では水の表面張力と水の噴出圧力のバランスにより円錐型の水柱が形成され、水柱表面で順次水が剥がれ出されることにより水滴（ミスト）が形成される。帯電ミストノズルではスプレーノズルの出口付近で高電圧をかけたコイルにより高電圧領域を形成させて、この水柱の表面に電荷を与える。これにより電荷をもった表面の水が順次ミストになっていくために、帯電ミストを形成することができる(図一1)。

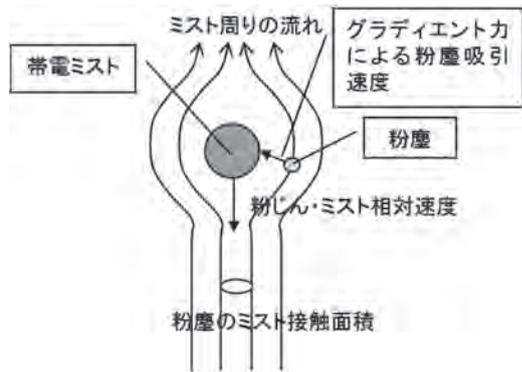
(2) 粉塵吸着のメカニズム

現状、建設現場での粉塵対策は粉塵を発生させない目的で散水あるいは粉塵飛散抑制剤などの対策を行っているが、発生した浮遊粉塵はミスト散布や散水を施しても除去することは難しい。ミスト散布による粉塵除去が困難な原因は主に以下のようなものが考えられる。

- 1) 粉塵とミストは風に乗って同様な速度と方向で移動し、粉塵とミストの相対速度はほぼ重力による終末速度の差になり、粉塵とミストの衝突速度および粉塵量（個数）が極端に小さい。
- 2) ミストと粉塵の相対速度が小さいため、粉塵のミストに対する挙動には乱れが少なく、粉塵はミストをよけて移動する。このため、粉塵がミストに接触する流れ直角方向の面積は極端に小さくなり、吸着しにくくなる。
- 3) 粉塵がミストに衝突する際に表面張力による抵抗を受けるため衝突速度と粉塵の粒径の関係で跳ね返される粉塵もあり、ミスト内部まで侵入してとどまる粉塵の数が減少する。

一方、図一2のようにミストを帯電させることにより次のような効果が生じる。

- 1) ミスト表面の電荷により表面張力が減少する。このため粉塵がミストに衝突し内部へ侵入する際の



図一 帯電ミストの粉塵除去原理

抵抗が減り、ミストに取り込まれる粉塵の数が多くなる。

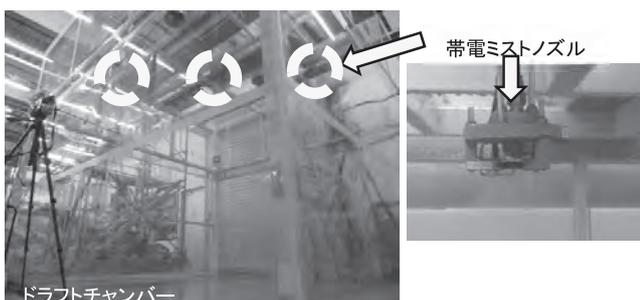
- 2) ミスト周辺での不均一な電界により、電荷のない誘電体である粉塵にグラディエント力³⁾が生じ、粉塵が電界の強い方向(ミスト方向)へ誘引される。これらの効果で、ミストに接触する粉塵の数(粉塵量)が増大し粉塵除去効果が生じる。

4. 室内実験

本システムの粉塵除去性能を定量化する目的で、ドラフトチャンバーを用いた室内実験を行った。

(1) 実験装置

ドラフトチャンバーを用いて閉鎖空間を形成し、風などの外乱がない状況下における粉塵洗い落とし室内実験を実施した。ドラフトチャンバーは写真一3のように縦3m、横3m、高さ3mの区間を帯電防止シートで囲っている。帯電ミストは、上部に設置した帯電ノズル5個から噴霧させた。浮遊させる粉塵はダストフィーダ(柴田科学製, MF-2)から散布し、チャンバー内の上部に設置したファンで循環させた。粉塵濃度の計測はチャンバー内4か所にデジタル粉塵計(柴田科学社製, LD-5)を設置し、吸引口にアルミ管を装着し、アルミ管内でミストを吸着させて混入を防止している。これによりミストの有無によるデジタル粉塵計の



写真一 実験装置概観

計数値への影響がないことを確認した。

(2) 実験結果

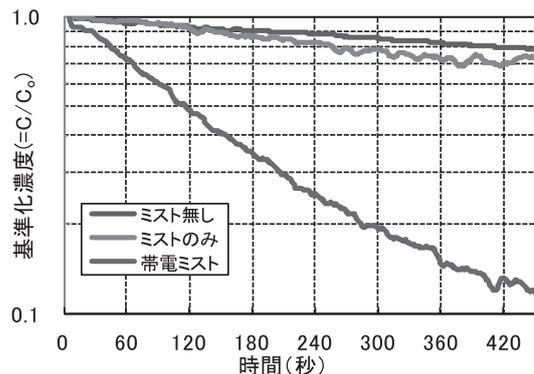
実験に用いた粉塵は、試験用の標準粉塵(JIS Z 8901)の中で「関東ローム7種」、「関東ローム11種」、「珪砂3種」、「フライアッシュ5種」、「黒炭12種」を用いた。

これらの微細な粉塵に対して、ミスト散布によるチャンバー内粉塵濃度を計測した。一方、粉塵濃度 C の低下は、

$$\frac{dC}{dt} = -K \cdot C, \quad \frac{dC}{C} = -K \cdot dt, \quad \frac{C}{C_0} = \exp(-K \cdot t)$$

となり、計測した粉塵濃度の時間 t の変化から濃度の減衰時定数 K を求めることができる。

実験で求めた粉塵濃度の時間変化の一例を図一3に示す。帯電ミスト噴霧による粉塵濃度の減衰が大きいことがわかる。また、帯電のないミストのみのケースでは、重力沈降のみの粉塵の減衰(図中;ミストなし)とほぼ同程度の効果であることを確認した。



図一 粉塵濃度時間変化実験結果(関東ローム11種)

実験から求めた粉塵濃度の減衰時定数の一覧を表一2に示す。帯電していないミストのみの結果と帯電ミストの結果を比較すると、減衰時定数が2倍以上となっており、帯電ミストのケースでの減衰速度が大幅に向上したことが確認できる。

また、数種類のミスト径についての実験も行い、帯電に最適なミスト径は $200 \mu\text{m}$ 以下であることが分かった。

5. 現場実験

実際の建設現場での本システムの粉塵除去効果を検証するために、造成現場での作業時に発生する粉塵を対象に現場実験を行った。実験の対象は、写真一4に示すバックホウ作業時、写真一5に示すダンプトラッ

表一 減衰時定数実験結果

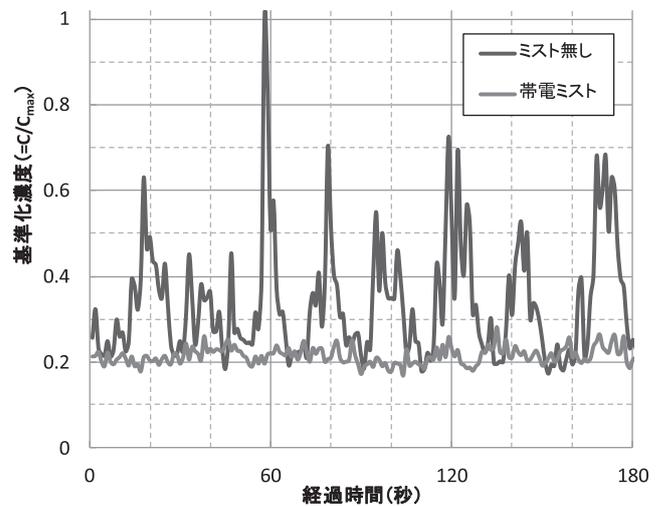
粉塵種類	中心粒径 (μm)	減衰時定数 $K(1/\text{s})$		帯電効果 (帯電ミスト÷ミストのみ)
		ミストのみ	帯電ミスト	
関東ローム 7種	8.6	0.00079	0.00145	1.84
		0.00192	0.00271	1.41
関東ローム 11種	2.3	0.00067	0.00148	2.21
		0.00021	0.00171	8.14
珪砂 3種	7.6	0.00080	0.00509	6.36
		0.00104	0.00335	3.22
フライアッシュ	5	0.00183	0.00632	3.45
		0.00173	0.00286	1.65
黒炭	15	0.00203	0.00203	1.17
		0.00231	0.00265	1.15



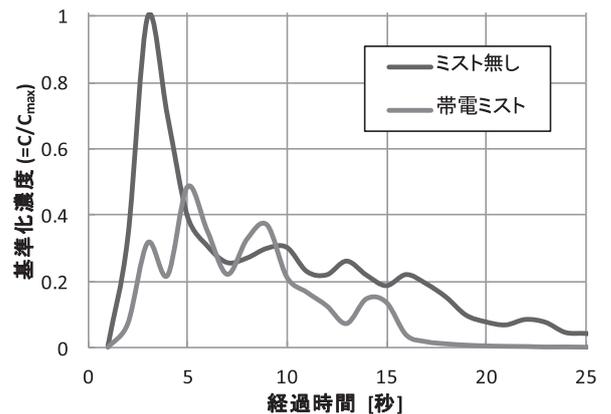
写真一 4 バックホウ作業時の噴霧状況



写真一 5 ダンプ走行時の噴霧状況



図一 4 バックホウ作業時の粉塵濃度変化



図一 5 ダンプ走行時の粉塵濃度変化

ク走行時とした。粉塵が発生している箇所にファンによりミストを噴霧し、発生箇所周辺での粉塵濃度を複数台のデジタル粉塵計（柴田科学社製 LD-5）で計測して粉塵発生箇所周辺での粉塵濃度の分布を測定した。バックホウ作業およびダンプ走行を数回行い、その際の空間平均した濃度を図一 4, 5 に示す。図中縦軸は平均濃度の最大値で基準化した無次元濃度である。いずれの作業でも、帯電ミストによる粉塵除去効果が無帯電ミストに比べて著しく高いことが確認された。更に効果を定量化するために、パフモデルを用いた計算から粉塵発生箇所周辺の粉塵拡散性状を仮定

表一 3 実測結果に基づいたパフモデルによる飛散量推定結果

	ミストのみ	帯電ミスト	低減率
バックホウ作業発生量 (g/回)	0.74	0.37	51%
ダンプ走行発生量 (g/m/台)	1.29	0.63	49%

し、各実験結果をフィッティングさせることで推定した粉塵飛散量を表—3に示す。

室内実験の結果から浮遊粉塵除去性能は約50%程度と算定しており、現場実験で得られた飛散量と同等であることから、ほぼ設計どおりの性能が確認された。一方、風の影響が大きいと粉塵とミストが十分な時間接触できなくなり除去効果が低下することが分かった。

また、造成工事のほか、各種建設工事での粉塵除去効果確認のための実験を行っている。これらの実験から本システムの適用対象を明確にすることができた。表—4に本システムの適用対象を示す。本システムの効果は粉塵が誘電分極によりミストへ吸着されることから、導電性のある粉塵には効果がなく、水分を多く含むモルタルや溶断の際に発生するヒュームなどには適さない。

表—4 本システムの適用対象

対象	粉じん種類	適用
RC解体工事	コンクリート	○
土工事	砂、土	○
走行車両	砂、土	○
吹き付け工事	モルタル、水	×
溶断	ヒューム、煙	×
花粉	スギ花粉	○

6. おわりに

帯電ミストによる浮遊粉塵除去システムである本システムマイクロ EC ミストを開発し、その除去原理を明らかにし、室内実験を行いマイクロ EC ミストの粉塵除去効果を定量化した。さらに、実際の造成現場においてマイクロ EC ミストの実用上の性能を確認した。

一方、風向きが除去効果に大きな影響を及ぼすため、現場においては最適な帯電ミストの噴霧方法を検討する必要がある。

今後は、粉じんの種類（粒径、誘電率、濡れ易さ）やミストの帯電量などをパラメータにした実験を行いモデルの精度検証を図り、各種の粉塵に対応するための設計手法を構築して、実際の解体現場などでの実証試験を行う予定である。

なお、本論文は参考文献4)を基に加筆したものである。

JCM A

《参考文献》

- 1) 池松ほか；帯電ミストによる粉じん除去システム（マイクロ EC ミスト）の開発，土木学会全国大会第68回年次学術講演会，2013.
- 2) 高木ほか；帯電させたミストによる浮遊粉じん除去効果の検討—粉じん除去効果のモデル化—，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），2013.，pp.887-888.
- 3) 静電気学会；静電気ハンドブック，2006.
- 4) 高木ほか；マイクロ EC ミストの開発，鹿島技術研究所年報，No.63，2015.

【筆者紹介】

高木 賢二（たかぎ けんじ）
鹿島建設株式会社
技術研究所 先端・メカトロニクスグループ
担当部長

