

日本産業機械工業会会長賞

「微滴衝突式集塵装置」

クリーン・テクノロジー株式会社

1. 装置の詳細説明

(1) はじめに

近年、PM2.5 と称される微小粒子状物質や工場や自動車からの排気ガスなどによる人体への健康被害が問題となっている。世界保健機関（WHO）の報告によれば、世界人口の99%は大気汚染に関するガイドラインレベルを超えた空気環境下で生活しており、その原因物質となる有害ガスや粉塵などは、肺がんや呼吸器疾患アレルギーの原因となるだけでなく、気候変動にも大きな影響を与えると指摘されている。

このような汚染物質を抑制するためには発生源からの大規模な放出抑制が重要とされ、半導体業界においても多くの企業で排出規制に取り組んでいるものの、無害処理された排気ガスと同時に排出される微小粒子(二酸化ケイ素 [SiO₂])などに対しては、まだ多くの企業で排出規制が進んでおらず、排出規制に取り組んでいる企業でも、その多くが水スクラバ又は繊維充填層からなるバグフィルタなどを使用している。

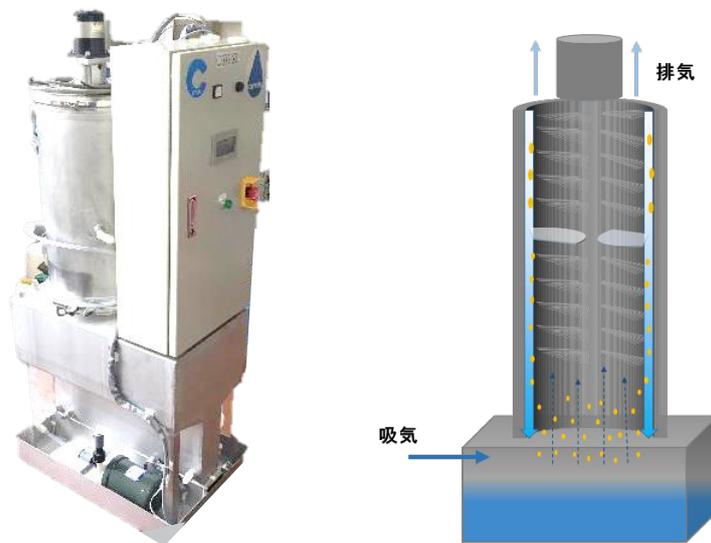
しかし、液滴を噴霧しガスを接触反応させる水スクラバでは、噴霧する液滴径が大きいうえ、衝突速度が遅いため、微小粒子に対しての捕集能力はほとんど無く、削減効果には限界がある。

また、繊維充填層からなるバグフィルタは、捕塵能力は高いものの湿度の高い環境や微小粒子から粗大粒子まで広い範囲の粒子処理をする環境では短期間での目詰まりなど継続的な使用は難しく、高性能バグフィルタの前段にプレフィルタと呼ばれる中程度の性能のフィルタを設置し、粗大粒子を先に捕集している。ただし、通常このプレフィルタにも繊維層からなるフィルタが用いられるため、大気中の湿度又は粒子濃度が高い環境ではバグフィルタ同様、目詰まりによって頻繁にプレフィルタの交換が必要となり、交換による装置停止やフィルタごみの処理等、経済性や環境性に課題が残る。

そこで当社は、既存の課題を解決すべく新たな衝突攪拌システム(Hight-speed Impact Mixing System)、通称HIMシステムを搭載した湿式集塵装置を開発した。本装置は、フィルタレスでありながら、微小粒子から粗大粒子まで広い範囲の粒子を継続的に安定して分離回収することを可能にしたことで、フィルタ交換による装置停止やフィルタごみの削減を実現した。

(2) 本装置の構成と原理

本装置はモータ駆動のらせん状のブラシを一軸で高速駆動させることで粉体と液滴を強制的に衝突させ、粉体を分離回収させることを基本とするHIMシステム搭載型湿式集塵装置である(図表1)。



図表 1 装置外観、内部イメージ

粉体を分離回収する主要部分の構成は大きく3つに区別されている。まず、装置に流入した多くの粉体は、高速回転するらせん状のブラシと、そのブラシによって微細な状態となり拡散された液滴が高速で強制的に衝突攪拌することで捕集分離される。分離された粉体は容器側面を流れる水により粉体回収用貯水槽に回収される。

すり抜けた一部の粉体は、高圧シャワーによって微細化された液滴と衝突するさえぎり効果によって捕集された後、重力沈降によって粉体回収用貯水槽に回収される。

最後まですり抜けた粉体は、湿度の低いブラシと衝突することでブラシに捕集凝縮され、脱水された水滴と一緒に遠心分離され、容器側面から粉体回収用貯水槽内に回収される。

この異なる強制衝突と高速攪拌を組み合わせることで、広い粒子範囲の粉体を捕集することを可能とした。

また、高圧シャワーに使用する水は、粉体を回収した貯水内の水を循環使用することもできるため、給排水設備の無い環境でも連続使用が可能となる。

(3) 本装置の特徴

一般的に水スクラバの能力は液滴径と衝突速度が重要なファクターとされている。本装置は液滴を高速回転するブラシに高速で衝突させる新たなHIMシステムを搭載し、今までにない小さな液滴を高速で粒子に衝突攪拌させることで、粗大粒子から微小粒子まで幅広い範囲の粒子をフィルタレスで目詰まりさせることなく、水のみで連続回収することを可能としたことが最大の特徴である。

本装置が必要とする用力は、水と電気のみということに加え、核となるHIMシステム部分のみを既設の配管や排ガス処理装置に組み込むこともできるため、大幅なコストをかけることなく、ガス処理と幅広い粒径の集塵を同時に行うハイブリット装置に改造することが可能になる(図表2)。

また、連続運転を基本とする半導体製造工場などでは、工場に設置されているバグフィルタの交換回数を減少させるとともに装置のダウンタイムを削減させるなど経済的かつ環境にも優しい装置となっている（図表3）。



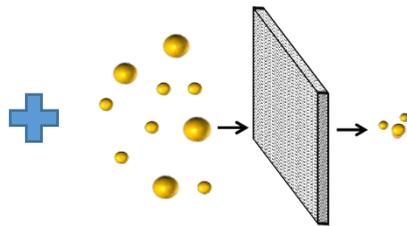
図表2 捕集性能と経済性

一般的な水スクラバ



- ガスは処理できるが、粒子の捕集能力がない

バグフィルタ



- 微小粒子は捕集できるが、目詰まりによって頻繁にフィルタ交換が必要

捕集性能：高
フィルタ交換頻度：多
経済性：悪

新衝突攪拌システム
(装置内蔵型)



- ガス処理と同時に幅広い粒子径の粉体を回収が可能



捕集性能：高
フィルタ：不要
経済性：良

- 前段装置でほとんどの微粒子を回収しているため、フィルタの必要がなく経済的

図表3 従来システムとの比較

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

PM2.5 の排出規制に取り組んでいる多くの企業が湿式又は繊維充填層からなるバグフィルタのほか、電気集塵式、サイクロン式など幅広い方式の装置を採用している。ただし、それぞれの回収方法には対象とする粒子径や風量によって得意不得意エリアが存在するため、環境や目的、処理対象粒径によって最適な方式を選定する必要がある（図表 4）。

しかし、工場から排出される粉体及び大気中に存在する粉体の粒子径は幅広く、金沢大学理工研究域フロンティア工学系にて過去に調査した結果においても、様々な性質の粉体が存在することが確認されている（図表 5）。そのため、全ての粉体を回収するには高エネルギーと高イニシャルコストの装置が必要になるなどの課題があった。

そこで、粒子径に関係無く、長期的かつ安定的に回収できる装置開発ができれば、排出規制対応が進んでいない多くの企業や、インフラ整備が進んでいない新興国でも導入しやすく、環境改善に寄与できるのではという思いから開発に至った。

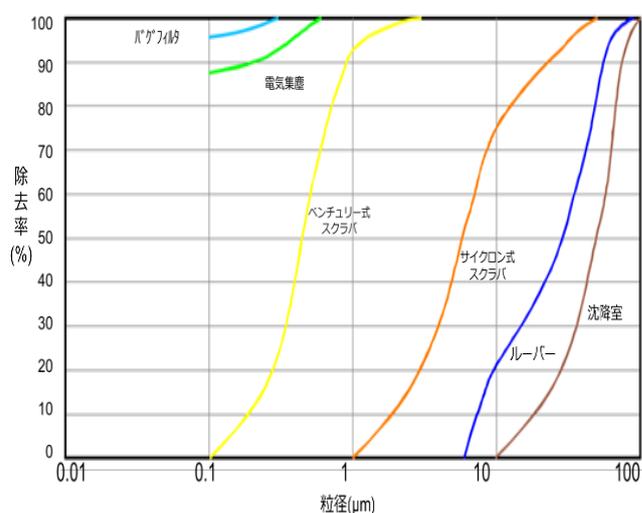
2017年5月	新湿式集塵装置開発プロジェクトスタート
2017年9月	現在形の原点となる回転体を使用した試作機完成
2018年8月	外部測定機関にて重量法での処理能力測定実施
2018年11月	金沢大学にてカウント法での処理能力測定実施
2018年12月	初号機完成
2019年1月	粉塵処理機能搭載型排ガス処理装置完成
2019年5月	第1号機納入

(2) 共同開発

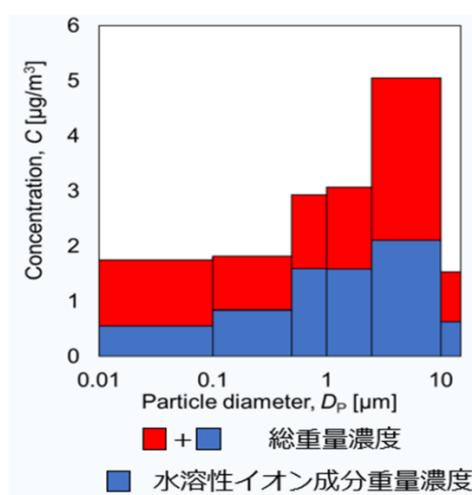
なし

(3) 技術導入

なし



図表 4 一般的な方式別回収能力図



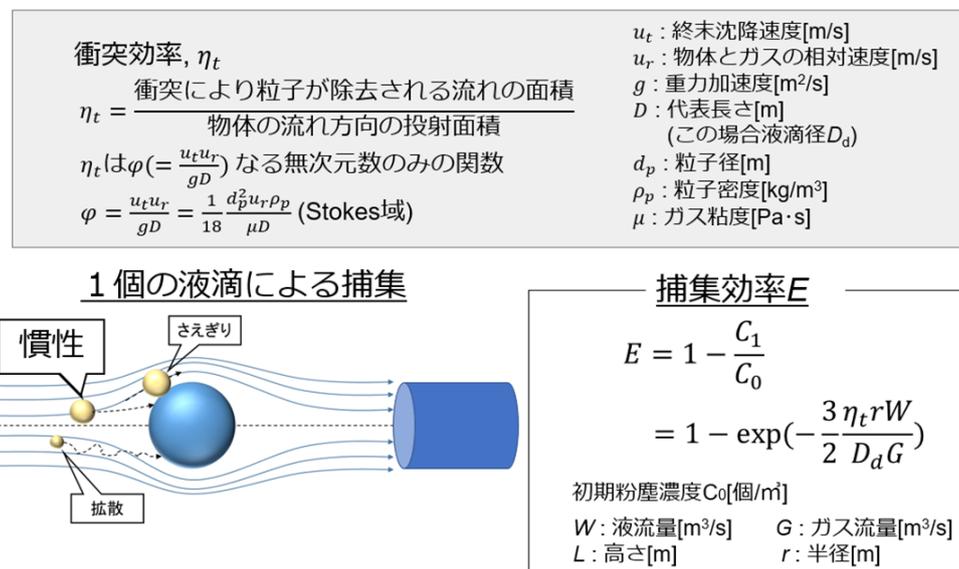
図表 5 大気中微粒子の粒子径分布

3. 独創性

水を使う湿式粉体回収装置は各種存在しており、慣性衝突、拡散、さえぎりによる機構を利用したものである。その中でも効果的と言われている、慣性衝突を利用した集塵装置であれば粗大粒子はほぼ回収することが可能とされ、以下のようにスクラバ理論も存在する（図表 6）。

ただ、1 μm 以下の微小粒子を回収するには高いエネルギーを必要とするため、粒子速度を上げる必要があり、その方法として高出力ブロワや送風機やポンプ等の使用が必要となる。また、エネルギーの上昇とともに圧力損失も上昇し目詰まりしてしまう問題点があった。

本装置は、当社が独自開発した HIM システムにより、低エネルギーで粉体と微細な水滴を超高速で衝突させることを可能とし、粒子自身の速度を上げる必要なく一般的な充填塔型湿式集塵装置と同じ低い圧力損失でありながら、1 μm 以下の微小粒子までも目詰まり無く連続的に集塵することを実現した（図表 7）。



図表 6 スクラバ理論

型式	充填塔	ロートクロン	回転噴霧	ベンチュリー	本装置
形状					
捕集可能粒子径 (μm)	>1.1	0.7~1.1	0.4~0.6	<0.1~0.4	>0.04
圧力損失 (KPa)	0.2~2.0	0.18~2.8	0.4~1.0	3.0~20.0	0.2~0.6

図表 7 本装置を含む湿式集塵装置一覧

4. 特許の有無

次のとおり、特許1件を得済み。

特許番号：第6739085号 / 名称：粉塵含有気体処理装置

5. 性能

(1) エネルギー効率

新規で湿式粉体回収装置を導入するとなった場合、方式によって差はあるもののフィルタ式で本システム同等の処理風量を確保するためには、最低限設備(ブロワ)だけでも2,000W以上は必要となる。本システムの機能を保持するのに必要な電力は現時点で400W程度であるが、今後改善を重ねることで150W以下になる可能性もあり得ると考える(図表8ss)。

(2) 処理性能

金沢大学理工研究域フロンティア工学系瀬戸章文教授協力のもと測定を実施した。実験経路は、粒子発生装置であるアトマイザー、本装置、流量調整用のポンプからなる。アトマイザーから噴霧したシリカ粒子を含む液滴を、ドライヤーの中を通過させ乾燥発生させたものを試験粒子として使用した。その試験粒子をHEPAフィルタに通過させた空気で希釈し、捕集装置前後で光散乱粒子計数装置(OPC)を用いて粒子個数濃度を計測し、下記の計算式で捕集効率を算出した。その結果、0.3 μ mの粒子で87%、0.5 μ mより大きな粒子は100%捕集されていることが確認された(図表9)。

また、実際の排ガス処理装置から排出されている粉体を使用した外部機関による試験においても、99%の除去率が確認された(図表10)。

6. 経済性

本システムは、粉体の回収において一般的に使用されるフィルタを使用していないため、目詰まりすることが無く、連続運転を必要とする工場や施設での効果が期待できる。

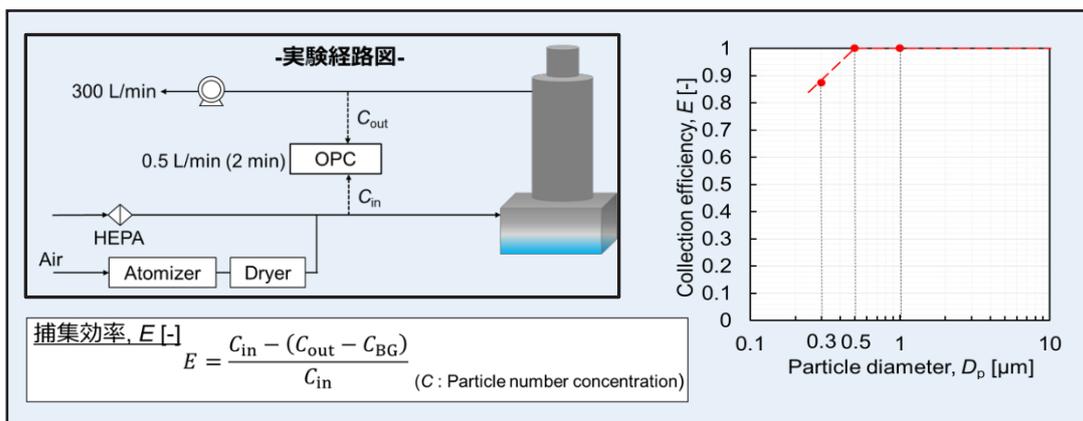
また、フィルタを使用しないため、メンテナンス性は良く、フィルタ交換にかかる費用も一切不要となり経済性を高めることが期待できる。

図表11に半導体工程における、粉体が多く発生するプロセス条件下で、粉体及びガス処理を全て自社装置で処理するのに必要な設備導入費とランニングコストの比較を示す。新システムを既存装置に組み込むため、装置自体のイニシャルコストは既存装置にフィルタを設置する改造に比べ13%高く、消費電力も4%高くなってしまいが、フィルタを使用しないため、保守費を削減することができる。なお、既存装置に取り付けるフィルタは新システムと同等の能力を持つ自社フィルタでの比較とした。

図表8 従来装置と本装置との消費電力比較

	消費電力
従来装置(フィルタ式)	1800W~2300W
本装置	400W~800W

処理風量：1m³/minで比較



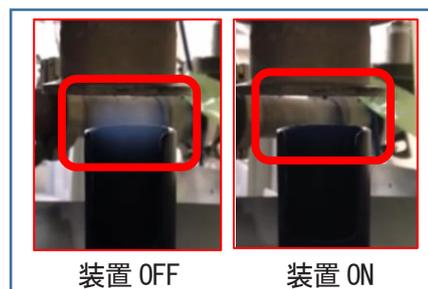
図表 9 実験経路図と試験結果

スクラバーによるダスト除去率の計算結果(平成 30 年 8 月 3 日測定)

測定場所	測定時刻	ダスト投入量 (g)	出口側ダスト量 (g)	ダスト除去率 (%)
スクラバー出口	11:56~12:26	38.4	0.6	99

備考

- 1: 出口側ダスト量はダスト流量×試料採取時間より算出した。
- 2: ダスト除去率は(1-(出口側ダスト量/投入量))×100より算出した。



図表 10 外部機関試験結果

図表 11 従来装置と本装置の経済性比較

		従来装置 (装置+フィルタユニット)	本装置 (新システム内蔵装置)	従来比
イニシャルコスト (既存装置を1として)		1	1.13	13% UP
ガス処理量		200L/min	200L/min	同等
用力	消費電力	1	1.04	4% UP
	使用水量	1	1	同等
保守	フィルタ交換 (SiO ₂ :約30L処理/回)	4回	0回	100% DOWN

