【テーマ名】

「微細粉塵を凝集させ集塵するバグフィルタ集塵機の研究開発」

【研究体制】

グループ代表 株式会社山本工作所 エンジニアリング部 研究室長 桑山健太

研究グループ 日本大学理工学部機械工学科 准教授 河府 賢治

1 目的

本研究開発は集塵機において捕集する粉塵をフィルタ到達前に凝集させ粗粒化させることで、バグフィルタで捕集する際の微粒子の捕集率を上げるとともに、装置の小型化、ランニングコスト、メンテナンスコストを低減させる技術の実用化を目指した。

日本では大気汚染防止法が整備され、粉塵の発生をともなう設備稼動の際には粉塵を分離除去することが求められるが現行法制は総量規制であり放出粒子サイズへの規制は無い。しかしながら粉塵問題については、世界的にはPM2.5 (径が2.5 μm以下の微粒子)が健康問題を引き起こしていることが世界保健機関 (WHO) の指摘で明らかとなり、今後は微粒子の捕集が技術的課題となると予想される。

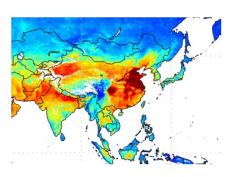


図1 アジアにおける PM2.5 分布状況例

中国、インドは図1に示すように、PM2.5による大気汚染が最も深刻な地域である。PM2.5には各種発生源がある。このうち自動車に関して両国はEV化で対処しようとしている。

図2は電中研News No. 484, 2017, Decに記載された日本におけるPM2. 5発生源寄与率を示したものである。国内人為発生源の寄与率は全体の34%と推測されている。その国内発生源のうち、およそ40%は発電所、工業設備や焼却場といった固定発生源と推測されている。これら人為源PM2. 5発生源は何等かの集塵装置を備えた設備と推測できる。

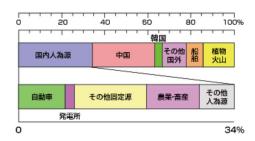


図 2 日本における PM2.5 発生源寄与率

現在、実用化されている工業用集塵機ではバグフィルタ集塵機が最も微細な粒子の捕集が可能だが、その機構上、捕集率には変動があり、粒子径が細かくなるほど捕集率が低下する。そこで、 粉塵の微粒子をろ布に達する前に凝集させ粗粒化し集塵することを目指すこととした。

2 目標

本件の目標を「粒径分布において粒径2.5 μ m以下の微粒子の割合の50%削減」とした。

JIS試験用粉体を用いて実験を行い、粒径2.5μm以下の微粒子の割合を50%削減させることを目標とした。 右図3は粉塵を所定量サンプリングした場合の、粒径と規格化された粒子個数との関係を示したもので、領域Aが超音波未適用のもの、領域Bが適用後のものである。

それぞれの曲線全体で囲まれる面積に対して、色付け

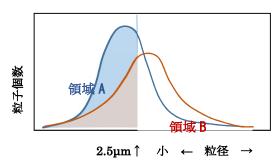


図3 粉塵の粒子個数の粒径に対する分布 概念図

した面積部分が粒径2.5μm以下の微粒子の割合を示す。領域Bに示す適用時の割合を領域Aの未適用時の割合に対して半減させることを目標とした。

3 研究開発課題、解決方法

課題①: 含塵気体において粒径-粒子個数の関係を超音波処理前後で精度よく再現性を持って測定すること

当課題の解決方法として信頼度の高い同じ型式の粒径分布計測器を2台用い、超音波処理装置の入口と出口とで同時計測することで解決を図った。採用した粒径分布計測器は米国TSI社の OPS3330である。予備実験において2台のOPS3330を超音波処理装置の入口と出口に配し、超音波を発生させない状態で、フライアッシュの含塵気体を流した際の実測状況を図4に示す。

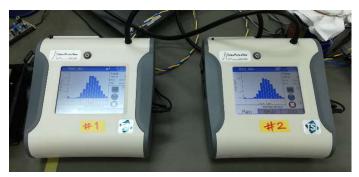


図 4 2 台の OPS33302 による測定結果比較

図4から明らかなように、2台の計測結果はほとんど同じであり、良好な再現性をもって測定することができるようになった。

課題②: 超音波を安定して強力に放射できる超音波発振器の適用 と運転方案の策定

粉塵に凝集を起こさせるためには大きな音圧が必要とされている。この課題の解決方法として、強力な超音波発振ができるPZTランジュバン型超音波発振器を用いた。

本実用化研究に際しては、100W出力の発振器と信号発生装置・アンプを採用した。この結果、図5に示すような良質な出力を得るにいたった。最大音圧はほぼ140dBに達した。

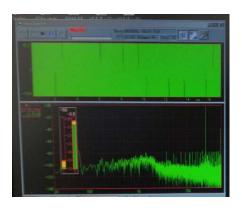


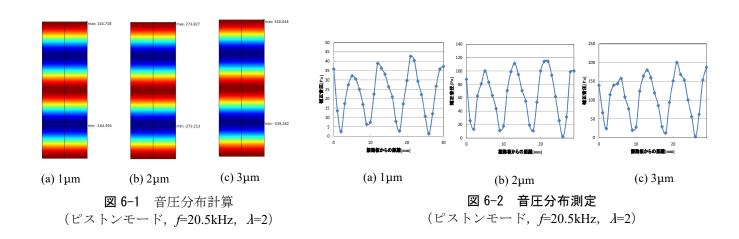
図5 ランジュバン型 超音波発振器の出力波形

課題③:超音波を効果的に含塵気体の流れに照射して定常波をつくる方案の策定

超音波の反射・干渉をPCにてシミュレートを実施した。本課題については、日本大学理工学部機械工学科河府賢治准教授が当社からの受託研究を実施した。解析・実験には汎用工学シミュレ

ーションソフトCOMSOL Multiphysics5.4を使用し、シリンダー形状の容器において、超音波振動がシリンダーの底面から入るピストンモードと側面から入るたわみ振動モードにて実施した。

ピストンモードの音圧分布計算結果を図6-1に示す。また、実験により測定された音圧分布を図6-2に示す。解析と実験とでは節と腹の数、位置が概ね計算と実験で一致しており、音圧分布をシミュレーションにより再現できた。



課題④:反応容器内での超音波の状態を測定する方案の策定 通常のマイクロフォンは超音波域に対応しておらず形状的にも使えない。この解決方法として近 年開発されたMEMSマイクロフォンチップを用いて超音波を測定した。

本研究で用いたMEMSマイクロフォンチップはKnowles Acoustics社製 SPM0404UD5である。同チップの外観とその周波数特性を図7に示す。このチップであれば20kHz付近であっても測定が可能となった。

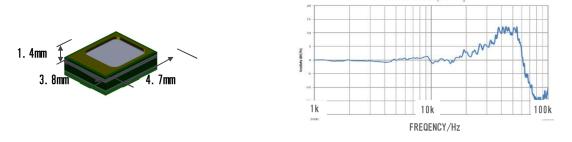


図 7 Knowles Acoustics 社 SPMO404UD5 の外観とその周波数特性

4 研究開発成果(まとめ)

4-1 実験装置

前述の課題を解決した上で、2019年2月段階で組み上げた実験装置の模式図を図25に示す。

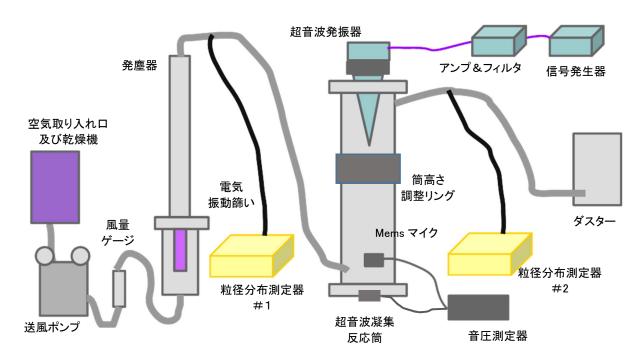


図8 超音波による粉塵凝集実験装置模式図

実際の実験装置の写真を図9に示す。



空気取り入れ口、送風ポンプ、ゲージ、発塵器



粒径分布測定器#1,#2,超音波凝集反応筒・発振器 D級アンプ、フィルタ、MEMS マイク



制御・測定用 PC、発振電圧・電流モニター機器

図 9 超音波による粉塵凝集実験装置写真 4-2 代表的実験条件および結果 図10に測定粒子数の時間変化を図11に、図10中の特定時間における粒径分布測定結果を示す。

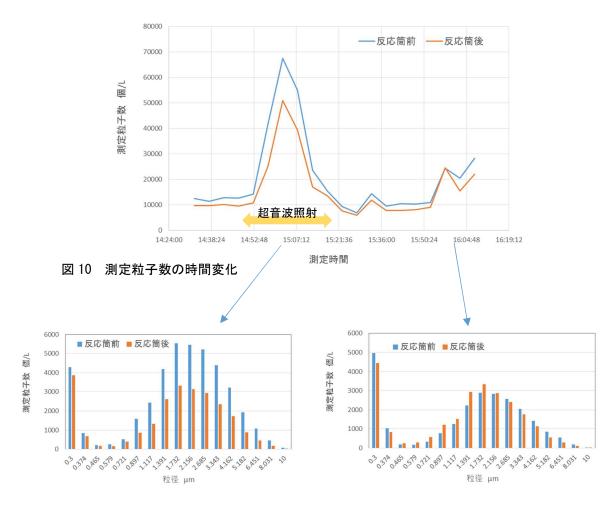


図 11 測定中の特定時間における粒径分布測定結果

研究の数値的目標は「粒径分布において粒径2.5 μm以下の微粒子の割合の50%削減」である。本実験事例において最も粒径2.5 μm以下の微粒子の割合が減少したのは先に示した実験結果では③の時点であるが、このときの削減割合はほぼ35%であり、数値的目標は到達できていない。本実験例以外においても削減割合は50%に届いたものは無く、実験途上で観測される最大の削減割合は40%程度であり、場合によってはほとんど効果が現れていない場合もあった。

4-3 実験結果の考察

本実用化研究のベンチマークとして想定した研究は2017年4月にドイツで開催されたUltrasonic Industrial ApplicationでA. Gallego-Juárezを中心とするスペインの研究チームが発表した内容である。彼らは粒径0.3~2.5 μ mのSiO₂粒子を含む気体流に21kHz、155dBの超音波を照射すること90%以上の粒子数の削減を実現している。

彼らの研究と本実用化研究とを比較した場合、大きな違いは2点である。一つは超音波音圧である。 彼らの条件は155dBであるのに対し、本研究における条件は最大150dB、安定して運用できるのは 140dBである。15dB程度の違いであるが、エネルギーレベルで10倍以上の差がある。 いまひとつは含塵気体への超音波の照射時間である。彼らの研究においては含塵気体への超音波の照射時間は80秒とされている。他方、本研究においては、含塵気体が反応筒を通過するのに要する時間はほぼ7秒であり、照射時間は1/10以下にとどまっていた。

超音波の音圧の効果は2011年にJianzhong LiuらがJournal of Environmental Sciencesに報告した内容とも符合する。彼らは本研究と同様にフライアッシュを用いた実験を行っているが、音圧が145dB では凝集はわずかなレベルにとどまるが、音圧が150 dBでは明瞭な成果を得ている。彼らの実験では含塵気体が反応筒を通過するのに要する時間は3-7秒と報告されている。

これらの既報の実験結果と照合するかぎり「粒径2.5μm以下の微粒子の割合の50%削減」の達成、 さらに高度な目標を達成するには、音圧の向上が最重要となるものと考えられる。

5 今後の事業化展開

本研究で目標に到達できなかった「粒径 2.5 μ m 以下の微粒子の割合の 50%削減」を実現することが、喫緊の目標であることは言うまでもない。この目標を到達できるよう、強力な超音波の発振装置の準備を進めている。

さらに粉体濃度を上げて、実際の集塵機に近い条件での超音波の効果の検証を図る予定である。