

## 円筒形空中定在波音場による煙霧質の凝集 Aggregation of fine particles by cylindrical aerial standing wave field

○本井凜太郎<sup>1</sup>, 門前大樹<sup>2</sup>, 浅見拓哉<sup>3</sup>, 三浦 光<sup>3</sup>\*Rintaro Motoi<sup>1</sup>, Hiroki Monzen<sup>2</sup>, Takuya Asami<sup>3</sup>, Hikaru Miura<sup>3</sup>

Abstract: High intensity sound waves cause agglomeration of fine particles. Aggregation is effective for collecting fine particles. In order to increase the cohesion efficiency, a sound source with a structure suitable for fine particle aggregation was developed. In this report, the sound source that forms a standing wave field in a closed area is used, and the collection rate of fine particle is obtained by changing the input power to the ultrasonic sound source with the density of smoke constant.

### 1. はじめに

PM 2.5 のような小さい微粒子を除去する方法の一つに音波凝集を用いたものがある。音波凝集とは気体中に浮遊している微粒子に超音波を作用させることによって微粒子同士の衝突を頻繁に起こし、凝集を促進させることで粒子径を大きくさせるものである<sup>[1]</sup>。この音波凝集装置はフィルタやサイクロンなどの捕集装置の前処理として、音波による凝集を利用することで集塵効率を改善させるものである。

筆者らは音波凝集装置の性能向上のため、剛壁とたわみ振動板を一体構造とした音源を考案した。本音源はたわみ振動板の円周部が剛壁と一体構造になっているため、強力な超音波による音場を密閉空間内に形成することができる特徴がある<sup>[2]</sup>。

本稿では、空中強力超音波による集塵効率の改善を目的として、超音波音源の入力電力を変化させた場合の集塵率について検討を行った。

### 2. 凝集装置

凝集装置は Fig.1 に示すように超音波音源と凝集チャンバーにより構成されている。超音波音源は 28 kHz 用ボルト締めランジュバン型振動子、振幅拡大用エクスポネンシャルホーン、及び縦振動共振周波数調整用の伝送棒をネジで結合し、その先端に円環剛壁一体構造型円形たわみ振動板をネジで固定したものである。

凝集チャンバーは円形たわみ振動板にアクリル製の円筒を結合した構造であり、内部に定在波音場を形成するような寸法（長さ 227 mm、内径 80 mm）となっている。Fig. 2 は音源の駆動電力を 1.0 W、周波数を 28.0 kHz とした場合に円筒の直径断面上の音圧をプローブ付きマイクロホン(ACO, TYPE-7017) を用いて測定した結果である。音圧はマイクロホン出力電圧の最大値で規格化した値をカラーマップで示す。図より、振動板に対して垂直及び平行な 2 方向に定在波音場が形成されている。駆動電力 10W のとき円筒の中心軸上の定在波の腹の位置での音圧レベルは 167 dB であった。

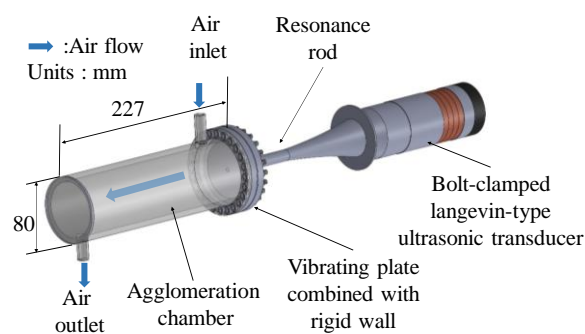


Fig. 1. Outline of the device for acoustic agglomeration.

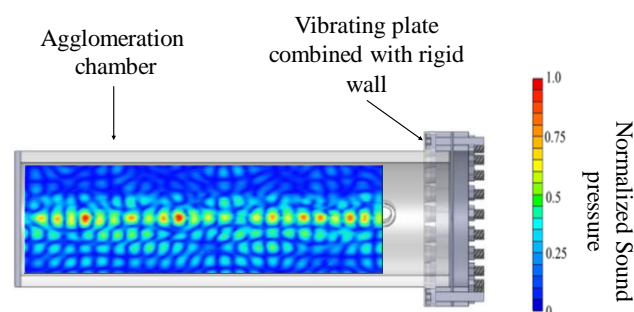


Fig. 2. The sound pressure distribution in the agglomeration chamber.

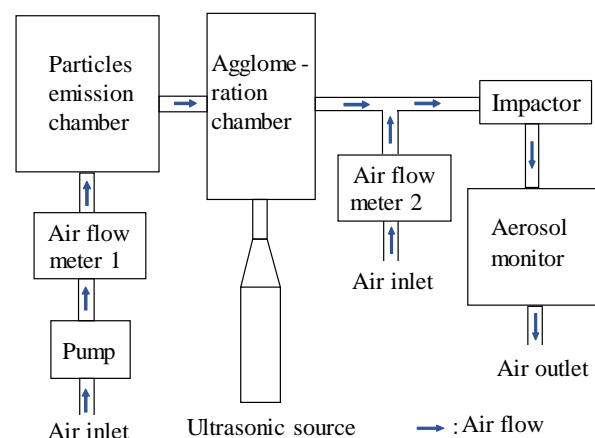


Fig. 3. Block diagram of the measuring device.

### 3. 微粒子濃度の測定装置

Fig. 3 は本検討に用いた微粒子濃度の測定装置のブロック図である。本測定装置はエアポンプ、流量計、微粒子発生室、凝集装置、インパクト(慣性衝突式分粒装置)、粉塵濃度計(エアロゾルモニター DustTrak II 8530)により構成されており、各部位の間は透明チューブ(内径 8 mm)で接続している。空気は図の矢印で示すような向きに流れ排気される。

微粒子の発生源となる発煙剤には線香を用いた。線香の煙は主粒径が  $1.0\ \mu\text{m}$  以下であり、本検討に適していると考えた。インパクトは捕集する粒子の粒子径を調整できる捕集装置であり、本検討では凝集粒子を取り除くためにカット径が  $1.0\ \mu\text{m}$  のものを用いた。

### 4. 入力電力による集塵率の変化

超音波による凝集の効果を検討するために、初期濃度を一定とし、超音波音源の入力電力を変化させた時、凝集装置から排出される煙霧質の濃度を測定した。測定中、ポンプにより流量計 1 の流量が  $10\ \text{L}/\text{min}$  一定とした。測定時間は  $1200\ \text{s}$ (濃度の記録間隔を  $1\ \text{s}$ )とし、超音波は経過時間  $600\ \text{s}$  の時点から  $300\ \text{s}$  間照射した。

Fig. 4 は各入力電力で各 3 回ずつ測定を行った結果の平均の濃度である。図は横軸に経過時間、縦軸に微粒子の質量濃度を示す。図より、超音波を照射しない場合の濃度は時間経過とともに飽和した後、緩やかな減少傾向を示している。一方、超音波を照射した場合の濃度は入力電力が大きいほど、減少が大きいことがわかる。また、超音波の照射をやめると( $900\ \text{s}$  時点)超音波を照射しない場合の濃度に近づくことがわかる。これは超音波の音圧が高いほど粒子の振動振幅が大きくなり、凝集しやすくなったためと考えられる。

Fig. 4 では超音波照射時点での濃度に差があるため、超音波照射前の濃度を  $C_1$ 、超音波照射後の濃度を  $C_2$  とし、集塵率  $E$  を式(1)のように定義し、集塵率を求めた。

$$E = \left(1 - \frac{C_2}{C_1}\right) \times 100 \quad [\%] \quad \dots (1)$$

$E$ : 集塵率 [%]

$C_1$ : 超音波照射前 ( $590 \pm 5\ \text{s}$  間)の濃度の平均値

$C_2$ : 超音波照射停止前 ( $890 \pm 5\ \text{s}$  間)の濃度の平均値

その結果を Fig.5 に示す。図は横軸に超音波音源への入力電力、縦軸に集塵率を示す。図より、集塵率は電力  $5\ \text{W}$  まで増加傾向にあるが、電力を  $5\ \text{W}$  より大きくした場合は飽和傾向にあることが分かる。これは内部音圧が飽和しているため、凝集効率に変化がなかつ

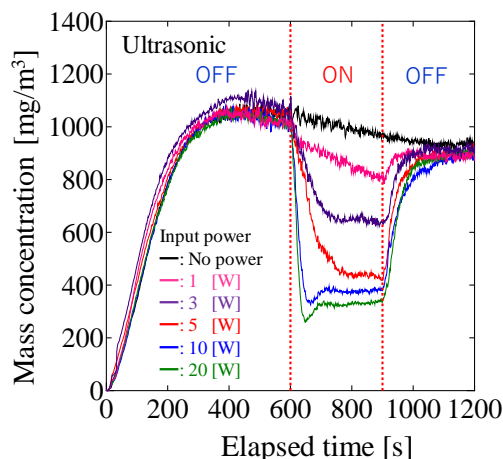


Fig. 4. Relationship between the mass concentration and elapsed time changing input power.

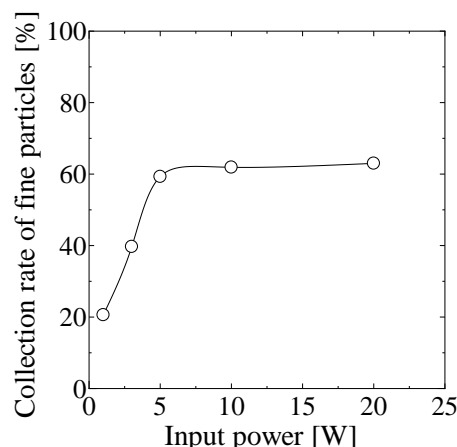


Fig. 5. Relationship between input power and the collection rate of fine particles.

たことが考えられる。

### 5. おわりに

空中強力超音波を用いた微粒子の凝集について基礎検討を行い、超音波による煙の濃度の減少を確認した。

本研究の一部は JSPS 科研費 18k11700 の助成を受けたものである。

### 6. 参考文献

- [1] Gallego-Juárez et al, "Application of acoustic agglomeration to reduce fine particle emissions from coal combustion plants", *Environmental Science & Technology*, Vol33, pp3843-3849, 1999.
- [2] 倉富 涼, 浅見拓哉, 三浦 光, 「空中強力超音波による微粒子凝集の基礎検討」, 音講論集, pp. 1197-1198, 2017. 9.