高速気流噴射による表面付着微粒子の除去

後 藤 邦 彰*

Kuniaki GOTOH

1. はじめに

高速気流噴射による除去は、圧縮空気をノズルからジェットとして除去対象表面に噴射して、付着している粒子状物質を除去する方法である。その装置はコンプレッサーにノズルを接続するだけの簡単なもので、操作も簡便であるので、古くから生産現場等で塵、埃等の比較的大きな付着物を除去するために用いられている。この方法が、電子産業をはじめとする多くの産業で製品歩留まりの低下や製品性能低下の原因として問題となっているミクロンオーダーの粒子状付着物の除去に対して有効であれば、汎用性の高い方法となることが期待される。しかしながら、現在までは経験的に操作条件が決められていたため、操作因子が除去効率に与える影響には不明点が多い。

そこで、本研究では、ミクロンオーダーの粒子を対象として、高速気流噴射による粒子の除去効率に与える操作因子の影響を検討し、その影響を予測できるモデルを構築することを目的とした。さらに、検討結果を基にして新しい除去法についても検討した。

2. 研究を進めるにあたって

本実験では単分散の球形粒子(ラテックス粒子)を試料粒子として用いた。この粒子は液中に分散された状態で保存しているので、除去対象表面とする試料表面に付着させるには、噴霧により粒子をエアロゾル化し、インパクターにより慣性沈着させる方法を用いた。相対湿度は粒子-表面間付着力に影響を与えるこ

とから、インパクター内の湿度、すなわち、粒子付着時の湿度も付着力に影響を及ぼす因子と考え、付着時の湿度が除去効率に与える影響を検討した。この検討は、当初、試料調整条件決定のための予備実験であった。

種々の付着時の湿度から除去時の湿度での平衡状態に達するまでの過程が実験結果に反映すると考え、付着時湿度 ψ_d をパラメータとして、付着操作終了後から気流を噴射して除去を行うまでの時間を変えて、除去時湿度 ψ_r 一定の下で実験を行った。付着してから除去するまでの間の環境を一定とするため、粒子付着後の試料表面はデシケータ内で保存した。デシケータは蓋の開閉後、一定の湿度(約15%)に達するまで約15分を要するため、1時間を最短保存時間として実験を行った。また、デシケータ内の湿度と除去環境湿度が異なる(温度はほぼ一定)ので、デシケータから取り出し、除去を行うまでの時間の影響も検討した。

デシケータから取り出し除去するまでの時間は、30秒(試料表面を除去装置にセットするための必要な最短時間)以上で除去効率に影響しなかったのに対し、付着から除去するまでの時間(デシケータ内での乾燥時間)は、Fig. 1に示したように、除去効率に大きく影響し、付着時の湿度により除去効率の変化傾向は異なる。この結果から、低湿度で付着した粒子は付着後

Fig. 1 Effect of drying time on the removal efficiency

1996年 2月 2日受付

* 京都大学工学部化学工学教室

(〒606-01 京都市左京区吉田本町) TEL. 075-753-5575

〈著 者 紹 介〉

昭和61年広島大学工学部第三類(化学系)化学工学科卒業。

平成元年から京都大学工学部化学工学教室 助手, 博士(工学)。

専 門: 粉体工学, エアロゾル工学

速やかに除去した方が除去しやすく、高湿度で付着した粒子は、ある程度放置した後除去した方が効率が良いことがわかる。予備実験のつもりではじめた実験から、除去操作に影響する因子の一つを見つけることとなった。

3. 主な成果

付着時の湿度の影響を除くため、デシケータ内で100時間以上乾燥させた後、除去時湿度の影響を検討した結果がFig. 2である。この結果から、除去時の湿度には除去率が最大となる最適湿度が存在し、湿度を調節することで除去効率を向上できることがわかる。

この実験では、気流操作条件(噴射圧力、角度、距離および噴射時間)は一定であるので、湿度による除去効率の変化は粒子-表面間付着力の変化に対応する。すなわち、低湿度では付着力は大きく、湿度の増加に伴い付着力は減少し、ある湿度で最小となった後、さらに湿度が増加すると付着力は増大していることになる。低湿度で支配的な付着力としてvan der Waals力が挙げられる。従来のvan der Waals力のモデルでは液架橋が形成されない低湿度においては真空中の値で近似し、液架橋形成後には液中の値で近似されていた。このような2値でのモデルでは、本実験結果のような連続的な付着力の変化は記述できない。そこで、湿度に伴い連続的に変化する吸着層厚さに着目し、吸着層厚さによるHamaker定数変化を考慮した付着力モデルを提案した。

一方、Kelvin式より計算される液架橋が形成する湿度以上ではvan der Waals力に加えて、液架橋力を考慮し、さらに、液表面張力の液膜厚さによる変化を導入した。その結果、Fig. 2に実線で示したように実験結果をほぼ説明できた。すなわち、湿度の増加に伴い吸着層厚さが増加し、van der Waals力が減少するこ

とと、液架橋が形成された後では表面張力がバルクの水よりも小さい値からバルクの水の値に変化するため、除去率が最大となり、液架橋が形成する湿度が除去時の最適湿度である。

種々の表面材質を用いて同様の検討を行った結果、本実験で用いたすべての表面で、Fig. 2で見られる除去率が最大となる最適湿度が存在し、その湿度は表面粗さに主に依存することがわかった。また、表面粗さの効果を考慮してKelvin式により液架橋が形成する湿度を求めると、最適湿度の概略値をほぼ推定できた。

4. 今後の展開

湿度を調節し付着力を下げて、粒子径が小さくなると気流からの分離力が減少するため、気流からの分離力以外に静電気力を利用することを考え、気流による除去の前処理として試料表面を針状電極で単極荷電する方法を提案した。実験から、荷電による付着粒子が表面上で凝集し、見かけ上、大粒子として除去されるために除去率が向上することがわかった。しかし、ガラス表面を荷電した場合、球状の凝集体が形成されるが、なぜ球形の凝集体となるかは不明である。

また、除去機構の推定を行った結果、気流の時間平均流速だけでなく、時間変動も粒子分離力に寄与していることが示唆されたため、時間変動の大きい高周波振動気流による除去法を提案した。実験により大幅な除去率の向上が確認されたことから、時間変動する気流が大きな分離力を発生することは明らかであるが、その分離力増大機構は不明である。

Fig. 1に示した、数時間から80時間にわたる除去率の変化、すなわち、付着力の変化について、変化傾向は定性的には説明できたが、経時変化の推定には至っていない。

今後の課題とすべき現象は、本研究で検討したよりもさらに複雑な、不均一電界の荷電粒子への作用、粒子-流体間相互作用、および、粒子-固体表面間相互作用であり、これらは除去操作だけでなく他の乾式プロセスにおいても問題となる基礎現象である。これら現象の解明のためには、本研究を足がかりとして、より詳細な実験的検討を行う必要があると考えている。

末筆ではあるが、本研究を遂行するにあたり、終始ご指導を頂いた京都大学工学部増田弘昭教授に感謝の意を表する。

(学位取得は平成7年9月、京都大学)

Fig. 2 Removal efficiency as a function of relative humidity ϕ_r