

湿式集塵機の集塵効率向上に関する研究

東京農工大学大学院共生科学技術研究部
助手 堀 三計
(平成16年度研究開発助成 AF-2004006)

キーワード：湿式集塵機、慣性衝突集塵フィルタ、捕集率、消波板、じゃま板、不織布フィルタ

1. まえがき

レーザ加工、プラズマ加工、サンダーやグラインダー作業等では金属粉塵やヒュームなどが発生し、作業環境が悪化するため、それら粉塵を捕集することが求められている。これらの高温の発火性粉塵を捕集するためには、水を利用した湿式集塵機が一般的に使用されている⁽¹⁾⁽²⁾。湿式集塵機は、粉塵を含んだ気流が水中を通過することで粉塵が水に捕集され、集塵するものである。また、捕集率を高めるために、慣性衝突集塵フィルタを併用して、気流が水中通過後に慣性衝突集塵フィルタを通過してさらに残った粉塵を捕集する湿式集塵機が開発・実用化されてきている。しかし、その捕集効率は十分とはいえず、捕集効率の向上が望まれている。

そこで本研究では、慣性衝突集塵フィルタを併用した湿式集塵機の捕集効率を向上することを目的に実験的研究を行った。

2. 既存の湿式集塵機とその問題点

本研究に用いた湿式集塵機の概略を図1に、また、気流を矢印で同図中に示す。吸気口から吸引された粉塵を含んだ気流は水タンク内を通過し、側面開口部のスリット板を

慣性衝突フィルタに流れていく。粉塵を含んだ気流がスリット板を通過する時、空気と水が混合され、気流中の粉塵が水に捕集されて水タンクの底に沈殿する。水により粉塵の一部が捕集された気流は慣性衝突集塵フィルタを通過してさらに粉塵が捕集され、装置上部の排気口より排出される。

集塵機内部を可視化したところ、水タンク内の水が激しく吹き上がり、大量の飛沫が慣性衝突集塵フィルタに付着することが分かった。慣性衝突集塵フィルタに粉塵を含んだ飛沫が付着すると、乾燥後に粉塵が再飛散するために捕集効率が低下する。

以上のことから、慣性衝突集塵フィルタを併用した湿式集塵機の捕集率に関する問題点として、以下の点が考えられる。

慣性衝突集塵フィルタに粉塵を含んだ飛沫が付着するため、飛沫と一緒に付着した粉塵が乾燥後に再び飛散する。気流に乗って流入した粉塵が水タンク内で水と十分に混合しないために捕集率が低下する。

微小径の粉塵が慣性衝突集塵フィルタを使っても捕集できない。

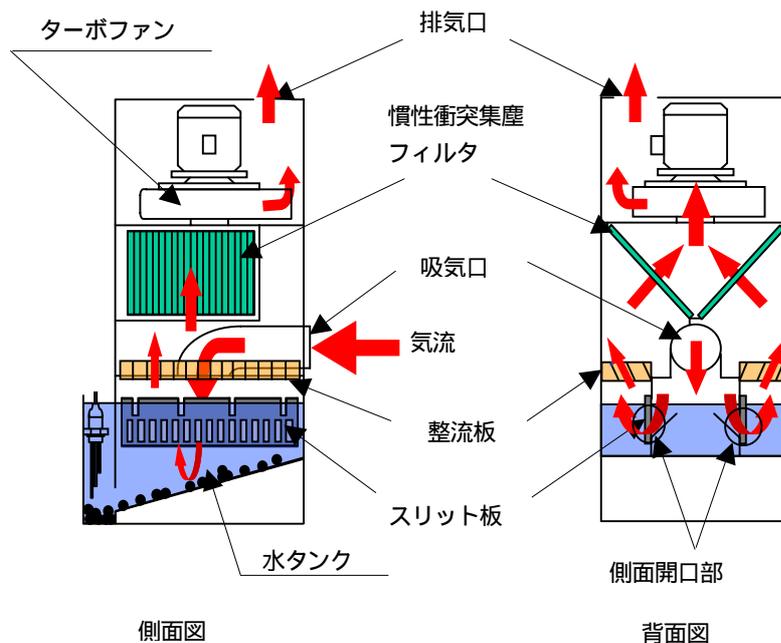


図1 湿式集塵機概略

3. 集塵機の改良と結果および考察

本研究では、先ず、図2に示すように、水中に穴あき板（以後、消波板と呼ぶ）を入れて水が跳ね上がる勢いを押さえ、さらに、水面と慣性衝突集塵フィルタの間に互い違いに板（以後、じゃま板と呼ぶ）を入れて、飛沫が慣性衝突集塵フィルタに到達しないように改良した。以後、これを改良集塵機と呼ぶ。

また、消波板は、同図に示すような長穴があいているアルミ板で、側面開口部の上部に4枚、下部に2枚入れ、この長穴を粉塵が含まれた気流が通過するときに水と空気が混合され、水による捕集率が高まると考えられる。

飛沫の様子を側面から観察した結果、消波板やじゃま板を取り付けることで飛沫が慣性衝突集塵フィルタに到達するのを防ぐことができることが分かった。

そこで、粉塵を投入したときの湿式集塵機全体の質量変化を測定し、質量変化から捕集率を求めて改良前（従来）と比較した。

図3に、改良前の集塵機の場合と、じゃま板や消波板を取り付けた改良集塵機の場合の結果を示す。横軸は運転開始からの時間 t (min) である。左縦軸は集塵機全体の質量変化量 W (kg)、右縦軸は集塵機の入口と出口で測定した絶対湿度 a (g/m^3)、その差（出口の絶対湿度・入口の絶対湿度） Δa (g/m^3)、および入口の流速 V (m/s) である。なお、質量が減少すると、質量変化量は負の値となる。粉塵は関東ローム層11種（中位径範囲：1.6 μm ~ 2.3 μm ）を使用した。関東ローム層は予め乾燥器内に一昼夜放置して十分に乾燥させた後に使用した。

同図に示す改良前の場合には、運転開始後17分から粉塵を吸引させ28分30秒で粉塵の吸引を終了した。粉塵投入量 W_0 は0.972kgである。同様に、改良集塵機の場合では、運転開

始後17分から粉塵を吸引させ31分で粉塵の吸引を終了した。粉塵投入量 W_0 は0.959kgである。これらの図に示されるように、粉塵投入前は集塵機内の水分の蒸発により質量変化量 W は減少するが、粉塵を投入すると集塵機内に粉塵が留まるために質量変化量 W は逆に増加あるいはほぼ変化しない結果となった。しかし、粉塵の吸引終了後は再び減少する挙動となった。運転開始10~15分後以降は、[出口の絶対湿度・入口の絶対湿度] Δa (g/m^3) がほぼ一定であり、入口の流速 V (m/s) が実験中はほぼ一定であることから、水分蒸発量はほぼ一定である、つまり水分蒸発により質量変化量 W は直線的に減少すると考えられる。粉塵吸引終了後、質量変化量 W は直線的に減少しているため、粉塵吸引終了後は主に水の蒸発による質量減少であると考え、この直線の傾きと粉塵吸引直前の質量から粉塵を吸引しない場合の質量変化量 W の挙動を推定した。その推定挙動を図中の赤色の一点鎖線で示す。

その結果、実験終了時（運転開始から50分後）における、実測された質量変化量 W （粉塵投入時）と推定された質量変化量 W （粉塵を投入しない場合の推定値）は、
 ・改良前の場合： $W = -3.0kg$, $W = -3.93kg$
 ・改良集塵機場合： $W = -2.86kg$, $W = -3.83kg$
 となり、この値から捕集率を算出した結果、以下の値となった。

ただし、捕集率 $= (|W - W_0| / W_0)$ である。
 ・改良前の場合：捕集率 $= (0.93 / 0.972) = 0.96 = 96\%$
 ・改良集塵機場合：捕集率 $= (0.97 / 0.959) = 1.01 = 101\%$
 上記のように、今回の実験では従来の場合でも96%の捕集率が得られたが、改良することにより、ほぼ100%の捕集率となることが分かった。

なお、改良した場合の捕集率が100%を越えた原因としては、

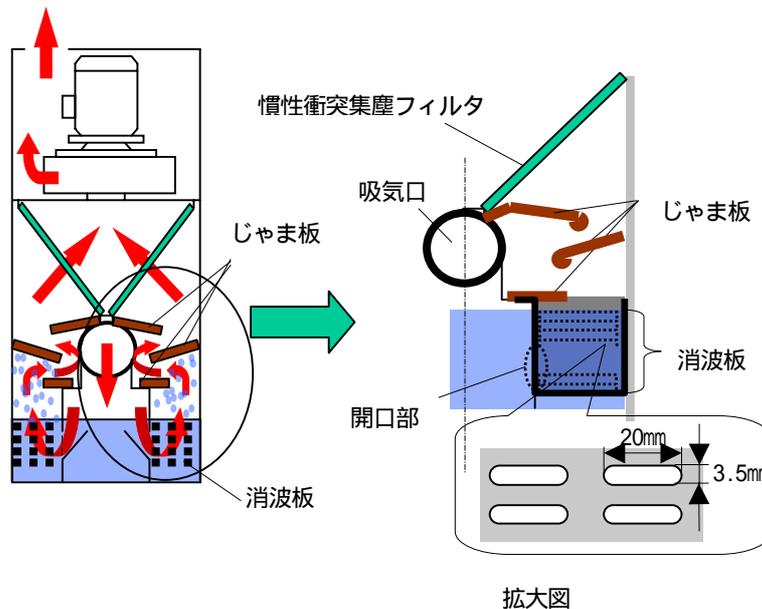


図2 改良後の集塵機概略

表1 消波板

消波板番号				
穴径(mm)	3	3	4	5
開口率(%)	31	51	51	33

表2 消波板の組み合わせ

	側面開口部の上部	側面開口部の下部
改良集塵機1	20×3.5mmの長穴付： 4枚	同：2枚
改良集塵機2	上2枚： 下2枚：	: 1枚
改良集塵機3	: 3枚	: 1枚
改良集塵機4	: 3枚	なし
改良集塵機5	: 3枚	: 1枚

以下のことが挙げられる。本実験で使用した荷重計測装置の最小読み取り荷重は±5g程度である。従来の集塵機の場合には、粉塵を吸引した場合の質量変化量と粉塵を吸引しない場合の推定値の差が約40gであるため、明らかに差があると考えられるが、改良した集塵機の場合にはその差が約10gで、荷重計測装置の最小読み取り荷重と同程度となるため、誤差が生じたものと思われる。

なお、実験終了後、どちらの場合においても目を凝らしてみると、出口フランジ内側面にうすすらと粉塵が付着していた。つまり、吸引した粉塵を完全に捕集していないことが分かった。

そこで、消波板の種類を変えて、集塵機出口から排出される気流の最大粉塵濃度を粉塵濃度計で測定した。使用した粉塵は、関東ローム層11種(中位径範囲:1.6μm~2.3μm)で、粉塵発生装置を使って1分間に約10.8mlの粉塵を発生させ、集塵機に吸引させた。なお、粉塵の容積は見かけの容積である。

使用した消波板は丸穴が多数あけられたもので、表1に穴径と開口率を示す。また、消波板の組み合わせを表2に示す。

表2のように消波板を組み合わせたときの、集塵機出口最大粉塵濃度を図4に示す。なお、表2に示す改良集塵機1は前述の質量測定を行った際に使用した改良集塵機である。同図に示されるように、消波板やじゃま板を付けた改良集塵機の方が改良前の集塵機に比べて、出口から排出される気流の粉塵濃度が減少することがわかった。また、消波板の種類によって排出される気流の粉塵濃度は変わり、改良集塵機3の場合には2.3mg/m³となり、改良前(3.4 mg/m³)に比べて約32%減少することが分かった。つまり、消波板の穴径を小さくして、開口率を小さくすると空気と水の混合が良く行われて捕集率が向上したと考えられる。しかし、消波板の穴径を小さくして、開口率を小さくすると流体抵抗が増すため、吸引流速が減少するので、最適値があると考えられる。

しかし、今回使用した消波板の範囲では、出口からまだ粉塵が排出されており、十分な捕集率とは言い難い。

そこで、比較的捕集されにくい微小粉塵を捕集するために、図5に示すように慣性衝突集塵フィルタに不織布フィルタ(直径20μmの粒子を80%捕集できるもの)を取り付け、不織布フィルタでさらに捕集する方法について検討した。なお、集塵機は、改良集塵機1の場合で、不織布フィルタは1枚か

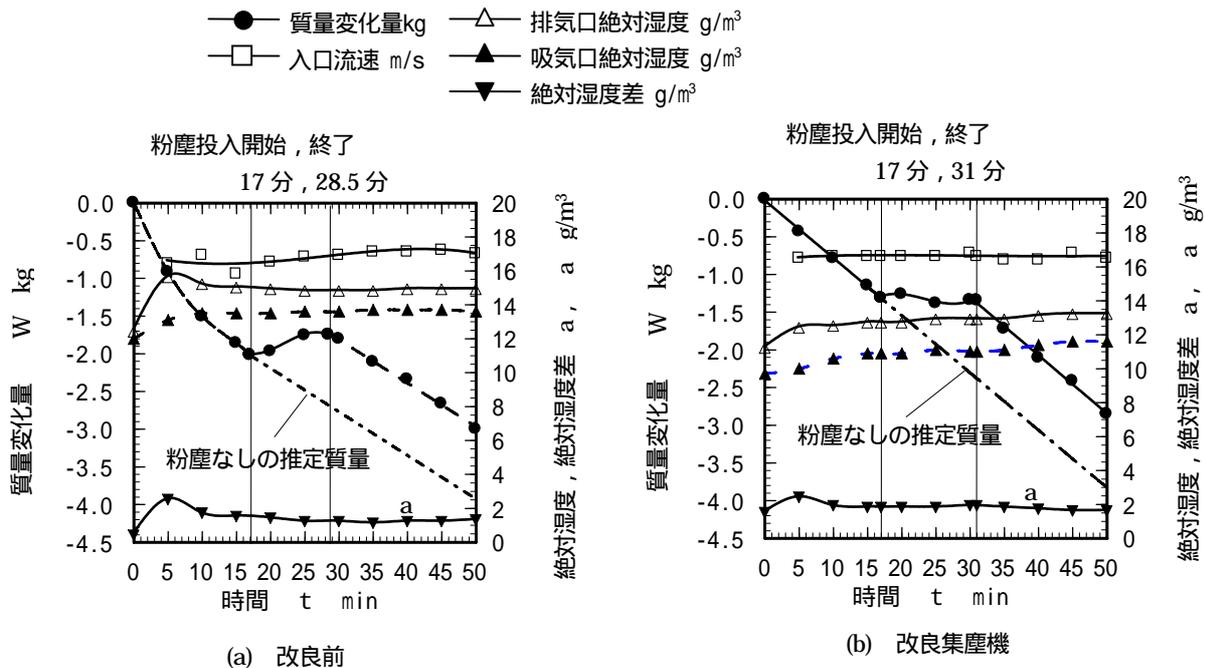


図3 集塵機の質量変化と絶対湿度変化

ら6枚まで重ねて取り付けた。粉塵としては、関東ローム層11種と、実際に鋼をレーザ加工した時に排出された粉塵を使用した。粉塵発生量は、約10.8ml/minである。なお、容積は見かけの容積である。図6に示されるように、不織布フィルタの枚数が増すと集塵機出口で測定される最大粉塵濃度は減少することが分かった。4枚程度の不織布フィルタを取り付けると排出される粉塵の濃度は著しく減少することが分かった。入口流速は不織布フィルタの枚数が増すと低下するが、その低下量は約6%（フィルタなし 18.5m/s フィルタ6枚 17.3m/s）程度であるため、集塵機の吸引性能には大きく影響しないことが分かった。

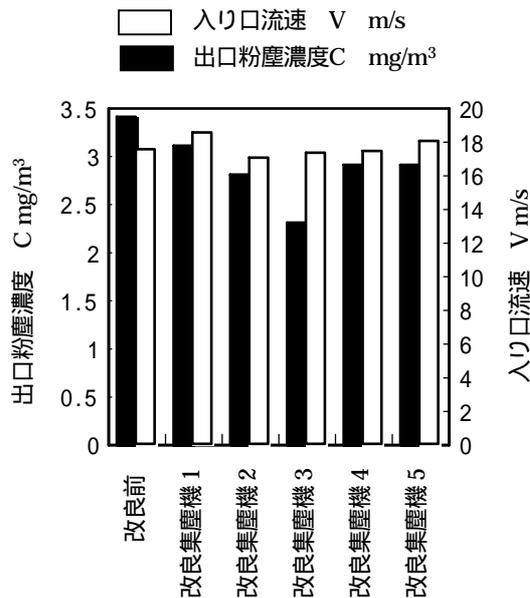


図4 消波板の影響

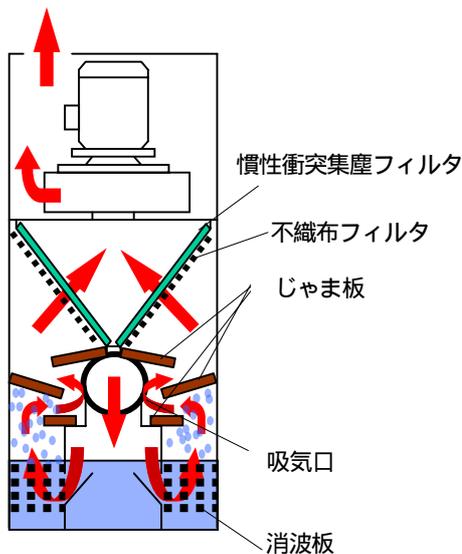


図5 不織布フィルタ取り付け概略

なお、レーザ粉塵の場合に出口最大粉塵濃度が関東ローム層より小さくなった原因としては、レーザ粉塵は加工後捕集されたものを使用したため、関東ローム層よりも粒子径が大きいと思われること、実密度が大きいため比較的途中で捕集されやすいことなどの原因が考えられる。

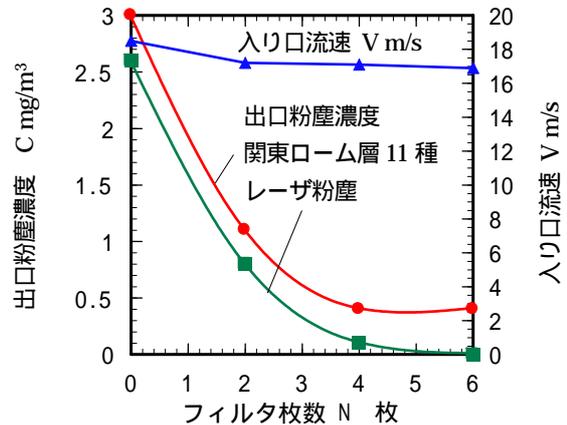


図6 不織布フィルタ枚数と出口粉塵濃度

4. まとめ

じゃま板と消波板を取り付けることにより、出口から排出される粉塵濃度を軽減できることが分かった。また、慣性衝突集塵フィルタに不織布フィルタを取り付けることで排出される粉塵を大幅に減少できることが分かった。

謝辞

本研究は財団法人天田金属加工機械技術振興財団から助成を受けてなされた研究であることを付記し、心から深甚なる謝意を表します。また、湿式集塵機などをご提供下さいました株式会社ニコテックに深謝いたします。

参考文献

- (1) 除塵装置ハンドブック, 大気汚染研究全国協議会第五委員会, 1967, 株式会社コロナ社
- (2) 集塵装置(新版), 井伊谷鋼一, 1966, 日刊工業新聞社