

日向 滋・鮑 力民・渡辺義見(名古屋工業大学)・榎本祐嗣
木嶋敬昌(日本スピンドル)・清水秀彦(トウトク)

目的別テーマ：ハイパフォーマンス/ハイブリッド繊維の評価と実用

研究テーマ

15-5-19：ゴミ焼却炉用集塵機内のバグフィルタ性能向上に関する研究

ABSTRACT

To prevent hazardous matter from scattering into the environs due to the failure of bag-filter in operation of the waste incinerator, a new reliable method for the prediction of lifetime of the bag-filter by using the optical fiber as a sensor of wear is studied. A flow visualization to make clear the fiber abrasion mechanism of the bag-filter in the gas-particle two-phase mixture is performed.

研究目的

バグフィルタは集塵効率が高い、連続運転が可能であるといった利点があり、ゴミ焼却施設、石炭ボイラ排ガス処理など多方面から需要がある。ところがこの集塵機に使用されるフィルタには粉塵による摩耗のため寿命があり、交換時期を誤ると大気中に汚染物質を排出してしまうという重大な事故が発生する。このような事故を防ぐことは社会的要請である。これまでに性能向上のために種々の工夫がなされてきた。しかしながら、バグフィルタの摩耗は多くの要因がありその寿命予測は困難なものとなっている。そこで本研究では PIV 法を用いたフィルタ摩耗のメカニズムの検討と、安全性能向上の一つとして光ファイバを用いたバグフィルタの寿命予知センサの開発を目的として研究を行った。

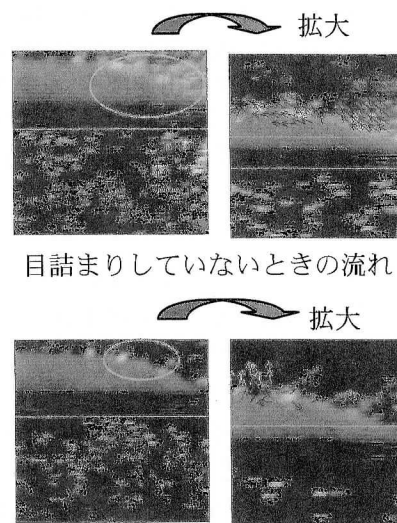
5年間の研究内容と成果

1. PIV 解析による流れの可視化

ゴミ焼却炉用集塵機を模擬した小型混相流体の流動観察装置を作製した。バグフィルタの繊維を通過する流体の挙動を調べるために、ダクト内に平均粒径が約 $50\mu\text{m}$ 、比重 1.02 のナイロン粒子を飛散させ流体可視化システム (PIV) により、流れの可視化実験を行った。

Fig. 1 にフィルタを通過する流体の PIV 解析結果を示す。

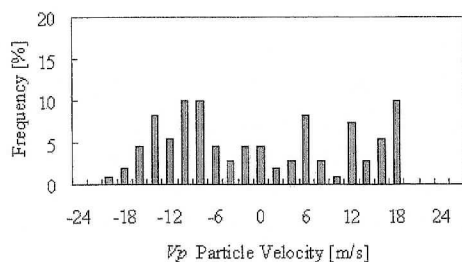
フィルタ表面に粉塵粒子が堆積し始めるとフィルタ表面に目詰まり部分とそうでない部分が斑に発生することがわかった。目が詰まった部分では粒子は横滑りをして目詰まりのない孔へ吸い込まれることがわかった。Fig. 2 にフィルタ表面付近の粒子速度の速度頻度を示す。可視化実験開始後 1.3s までの 40 フレームと後半の 40 フレームに分けて調査した。目詰りを起こすと目詰まりのない孔を通過するときの粒子は流路平均速度より加速されて通過することがわかった。数値解析による孔近傍の速度シミュレーションでも同様の結果を得ている。一部の粒子が加速されてフィルタ繊維に衝突することで摩耗を起こしていると考えられる。



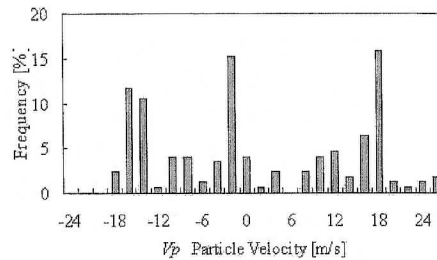
目詰まりしていないときの流れ

目詰まりしているときの流れ

Fig.1 PIV 解析結果



前半 40 フレーム(目詰まり前)



後半 40 フレーム(目詰まり後)

Fig.2 粒子の速度分布

2. 光ファイバを用いたバグフィルタ寿命予知センサの開発

光ファイバセンサはコア径 $50\mu\text{m}$ 、クラッド径 $125\mu\text{m}$ 、その外側にポリイミドを厚さ $12.5\mu\text{m}$ で被覆したものを使用した。このポリイミド被覆材はバグフィルタのフィルタ繊維材料としても多用されており、被覆材の摩耗進行とフィルタ繊維摩耗との相関は十分にあると予測される。光ファイバの寿命を判定する方法としては、支持棒に光ファイバを設置し、投光側にLED安定光源、受光側に光パワーセンサを装着し、光の伝送量の変化を計測した。粒径 $1\mu\text{m}\sim 120\mu\text{m}$ の白色アルミナ粒子を直径 5.35mm のノズルより光ファイバに対してノズル出口から光ファイバまでの距離は 20mm で、 90° に噴出させファイバの摩耗実験を行った。

Fig. 3に光伝送量とポリイミド被覆ファイバの断面変化を示す。ポリイミド被覆が摩耗により剥ぎ取られるまで伝送量に変化は見られないが、クラッド表面に傷がつき始めると急速にその伝送光量を減少していき、やがて光の伝送量はなくなるという変化特性を示す。ここで、伝送光量が急速に減少し始めるまでの時間 T_f を光ファイバ寿命時間とした。

Fig. 4にバグフィルタ試験布の摩耗実験後の写真を示す。ポリイミド被覆光ファイバ摩耗実験と同様にして摩耗実験を行った。バグフィルタの寿命判定方法として、ボアスコープによる目視観察によって基布の色(白色)とフェルト繊維素(黒茶色)の色の違いを利用した。ここで、バグフィルタの寿命時間 T_b をフィルタ内部の基布がわずかでも露出するまでの時間とする。粒子噴出速度 V は 40.6m/s 、粒子供給量 1.70g/min の流動条件下ではバグフィルタ寿命時間は 5400s と判断した。

Fig. 5にポリイミド被覆光ファイバとバグフィルタ試験布を粒子噴出速度 V を変えて摩耗試験したときの光ファイバ寿命時間 T_f とバグフィルタ寿命時間 T_b の関係を示す。粒子噴出速度 V と T_f 、 T_b にはそれぞれ

$$T_f = 6.70 \times 10^7 V^{-3.26} \quad (1)$$

$$T_b = 4.07 \times 10^8 V^{-3.29} \quad (2)$$

となった。光ファイバ寿命時間 T_f とバグフィルタ寿命時間 T_b の間には

$$T_b = 6.07 V^{-0.03} T_f \quad (3)$$

なる関係式が得られ、(3)式よりバグフィルタの寿命を予知することが可能となった。例えば粒子噴出速度 30.3m/s の場合、 T_b の80%に達したときフィルタ寿命を予知するセンサを考えると、センサ材被覆厚さは幾何学的に $31.6\mu\text{m}$ となる。

まとめ

PIV法を用いたフィルタ摩耗のメカニズムの検討と、安全性能向上の一つとして光ファイバを用いたバグフィルタの寿命予知センサの開発を目的として実験を行ったところ以下の結論を得た。

1. フィルタ表面に粉塵粒子が堆積し始めるとフィルタ表面に目詰まり部分とそうでない部分が斑に発生して、目詰りを起こすと目詰まりのない孔を粒子が流路平均速度より加速されて通過する。一部の加速された粒子がフィルタ繊維摩耗に寄与していると考えられる。
2. 光ファイバ被覆厚さを変化させることによりバグフィルタ寿命予知センサとして機能することを確認した。
3. ポリイミド被覆材光ファイバの寿命時間とバグフィルタ寿命時間の関係は式(1)、(2)、(3)で表されバグフィルタの寿命予知が可能となった。

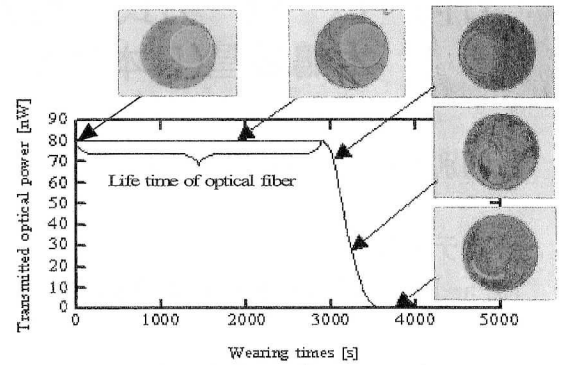


Fig. 3 光伝送量とポリイミド被覆光ファイバ断面の変化

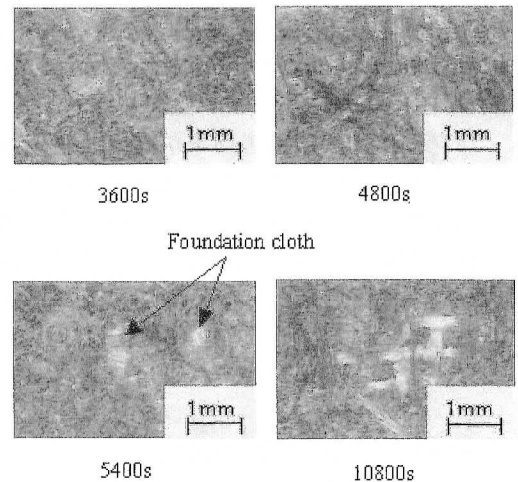


Fig. 4 バグフィルタ摩耗実験

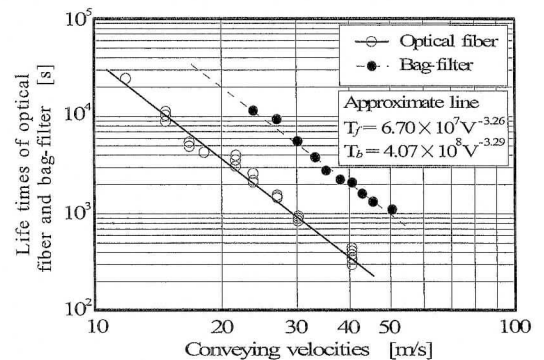


Fig. 5 光ファイバ寿命時間とバグフィルタ寿命時間の関係