

ダストを含む排ガスから水銀を回収する狭隘チャンネルエレメントの気液流動解析

山形大学 大学院理工学研究科

邢 文静

1. はじめに

石炭を用いる発電や乾留，都市生活廃棄物の処理では，排ガス中に水銀が含まれる．大気中への放散を防ぐために，排ガス処理として回収する必要がある．水銀を吸着する素材から成るハニカムエレメントを煙道に設置する方式が想定されているが，排ガス中にはダスト（アッシュ）が含まれ，またこの排ガスは低温で結露しやすく，ダストがハニカムの狭あい流路内に付着堆積する．これを噴霧流で除去し流路を清浄化する解決法が最も現実的であるが，適切な噴霧吹き込み条件がわかっておらず，水銀回収システム普及の障壁となっている．

本研究の目的は，ハニカムエレメントの単一狭隘流路を模擬したモデル流路を用いて，気液供給条件を系統的に変化させ，気液二相流を噴きこみ，流路内の内部流動，流路出口から噴き出す二相流の挙動を高速度カメラで観察し，排出特性を明らかにする．石炭焼き火力発電所で入手したフライアッシュのスラリーの排出特性も観察することで，現象の形態を明らかにすることにある．

2. 実験装置の構成及び噴射条件

図1に狭隘チャンネルエレメントと二流体アトマイザーの詳細及び配置を示す．

狭隘チャンネルの開口部は8 mm x 8 mmの正方形である．材質は透明なアクリルである．この8 mm というサイズは，ダストを含む排ガス浄化用のハニカムに相当する．チャンネルの長さは，50，100 及び 150 mm と異なるものを用意したが，本稿では100 mmの結果について述べる．また，内部を疎水性にする際には，厚さ0.1 mmのPTFEシートを流路底部に敷いた．図2にその構成を示す．

図1の右側は二流体アトマイザーの詳細図である．気液混合孔の開口径は $\phi 4$ mm，気液混合流点から混合孔出口までの距離は12.5 mmである．二流体アトマイザーの混合孔中心

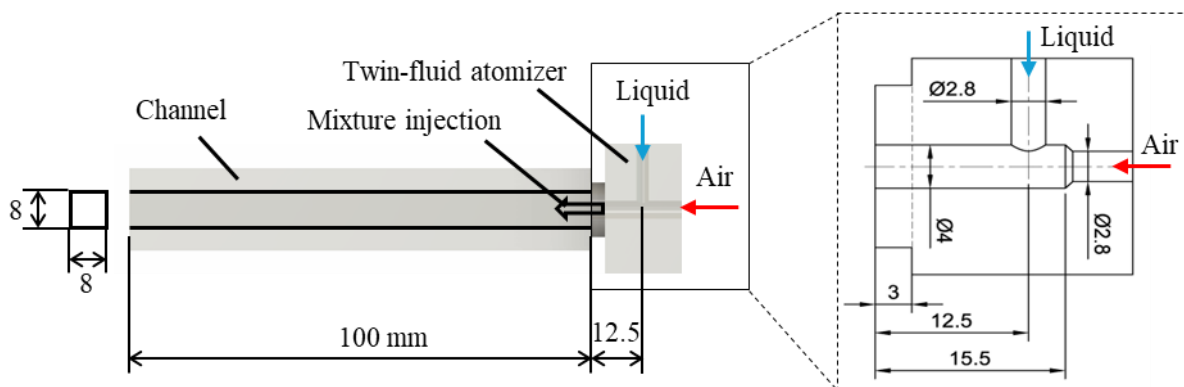


図1 狭隘チャンネルエレメントと二流体アトマイザーの配置図

軸上から微粒化用空気を供給し、側面つまり、図上では上方の混合孔から水を供給する。

実機では洗浄対象のハニカム入口と二流体アトマイザーは近接して配置することを理想とするが、現実には接触がないように少し離す。しかし、本実験では、問題を単純化するため二流体アトマイザーの出口をチャンネル入口に密着させた。したがって、二流体アトマイザーからの噴流は全量がチャンネル内に噴き込まれる。

図3に撮影方法を示す。高速度カメラ（Photron, FASTCAM APX RS）の前方に撮影対象であるアトマイザーとチャンネル、その後方にディフューザー、LED光源（AItec, LLBKD-LA-W-17）を配置し撮影を行った。

表1に二流体アトマイザーにおける液体と気体の噴射量及び気液比（GLR）を示す。本実験における液体の流量は5.0～16.7 g/sであり、空気の流量を0～0.4 g/sまで変化させた。

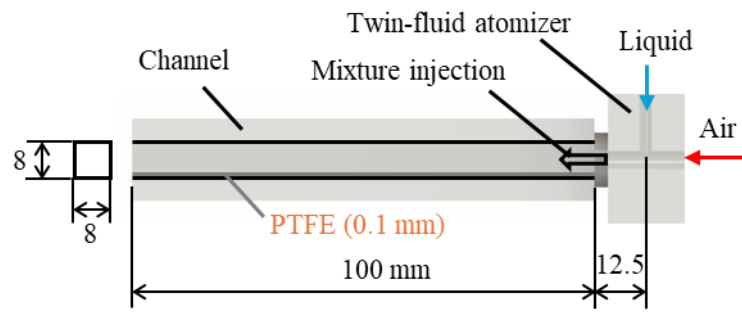


図2 疎水性シートの配置

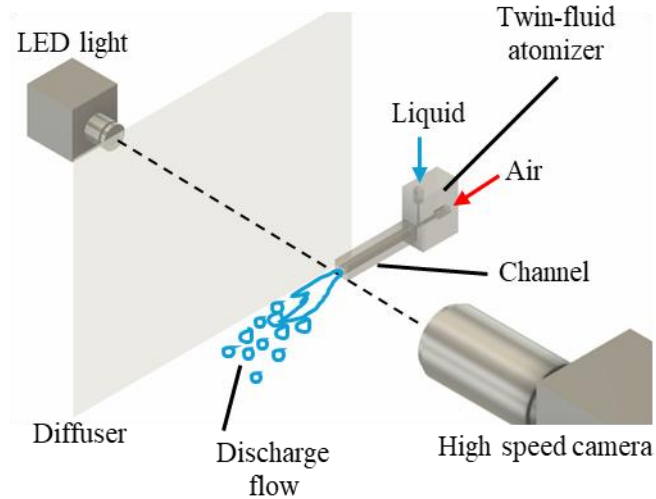


図3 撮影方法

表1 噴射条件及び気液比

GLR		Air flow rate (g/s)				
		0	0.1	0.2	0.3	0.4
Liquid flow rate (g/s)	5.0	0	0.022	0.043	0.065	0.086
	8.3	0	0.013	0.026	0.039	0.052
	13.3	0	0.0081	0.016	0.024	0.032
	16.7	0	0.0065	0.013	0.032	0.026

3. 結果及び考察

3.1 チャンネル内部流動と排出流れの可視化

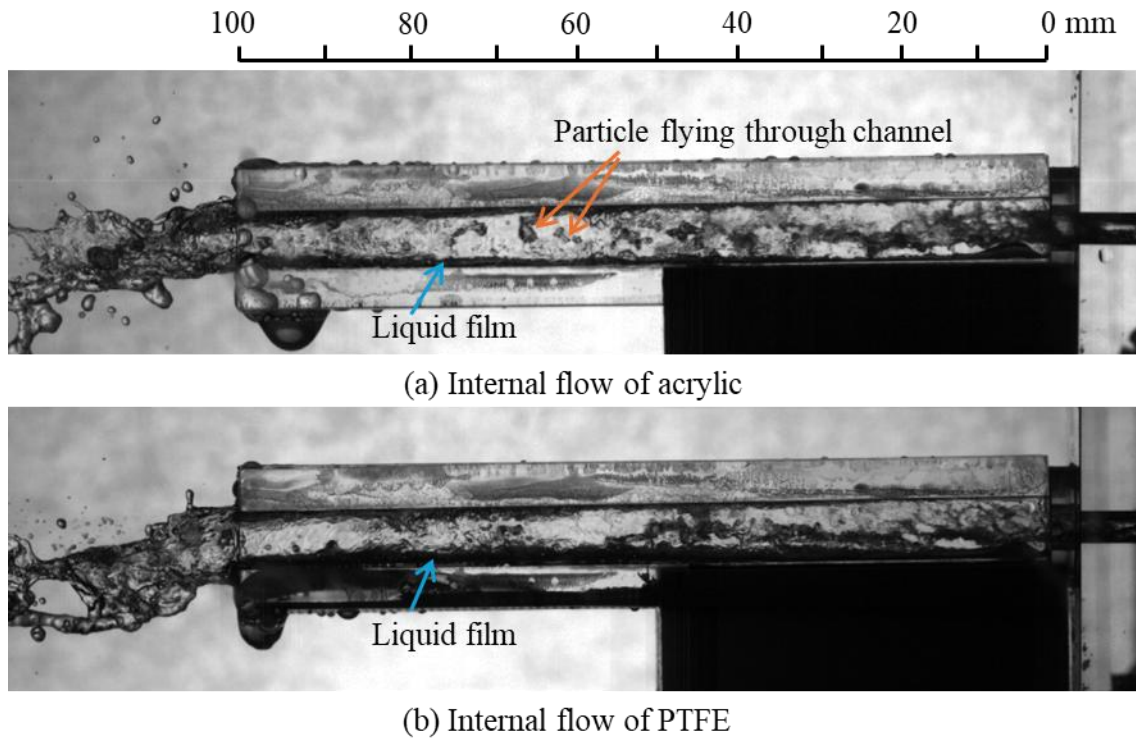


図 4 床面アクリルと PTFE におけるチャンネル内部流動の比較

$$M_w = 13.3 \text{ g/s}; M_a = 0.4 \text{ g/s}$$

図 4 に床面アクリルと PTFE におけるチャンネル内部流動を可視化した図を示す．水の流量は 13.3 g/s で，微粒化用空気流量は 0.4 g/s である．チャンネル内部には環状液膜と液滴が存在する．床面アクリルに比べて，PTFE においては黒く見える液膜の部分が多い．つまり，疎水性の特性により液膜が塊りやすく，側面から見た時の液膜高さが高くなる．

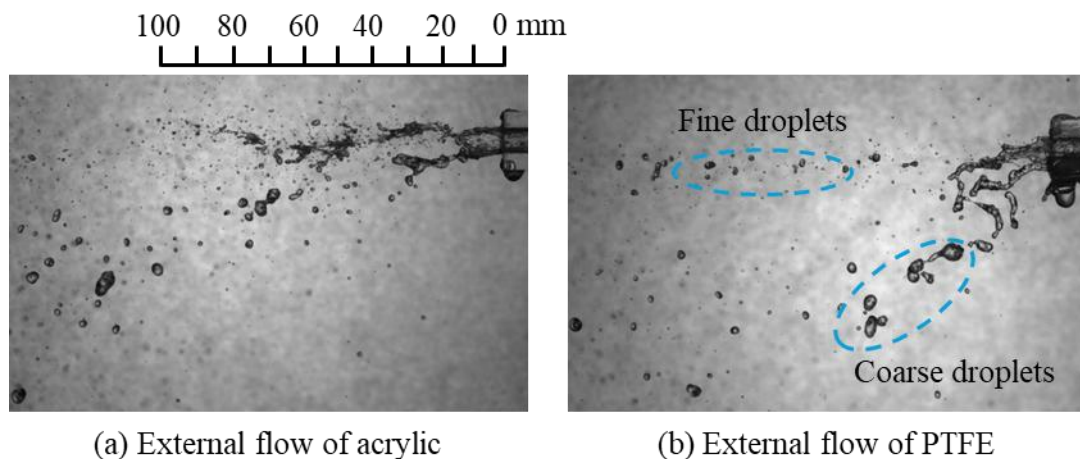


図 5 床面アクリルと PTFE チャンネルから噴出された排出流の比較

$$M_w = 13.3 \text{ g/s}; M_a = 0.4 \text{ g/s}$$

図 5 に図 4 の条件に対するチャンネルからの排出流を示す．噴射条件は図 4 と同じく，水の流量は 13.3 g/s と微粒化用空気流量は 0.4 g/s である．図 5(a) のアクリルチャンネル

においては、排出流は水平方向へ噴出されるが、PTFE チャンネル出口ではリガメントが生じ、これらが重力の影響で落下していく。

3.2 アクリルと PTFE チャンネルにおける排出流れの定量解析

図 6 に排出流の分裂長さの定義を示す。チャンネル出口から噴出された液体の塊り、つまり切断等なく繋がっている部分の水平方向の長さを分裂長さとして定義する。

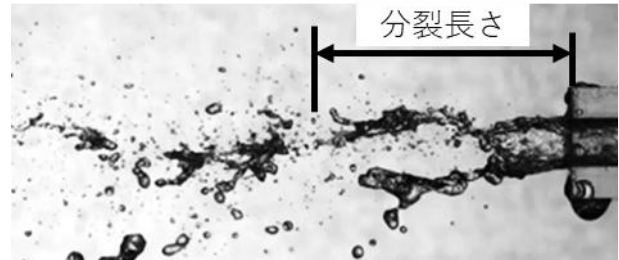


図 6 分裂長さの定義

図 7 に分裂長さの時間変化を示す。図 7 の左グラフは床面アクリルの結果であり、右側は床面 PTFE の結果である。可視化画像では、チャンネル出口から伸びる液体は、ある位置で途切れた後、再び伸長し、途切れる挙動を繰り返していた。そのため、図 7 においても分裂長さは徐々に増加した後、ある時点で急激に短くなり、再び増加するという階段状の変化を示した。また、床面 PTFE の場合は床面アクリルの場合と比較して分裂長さが短くなるのがわかる。

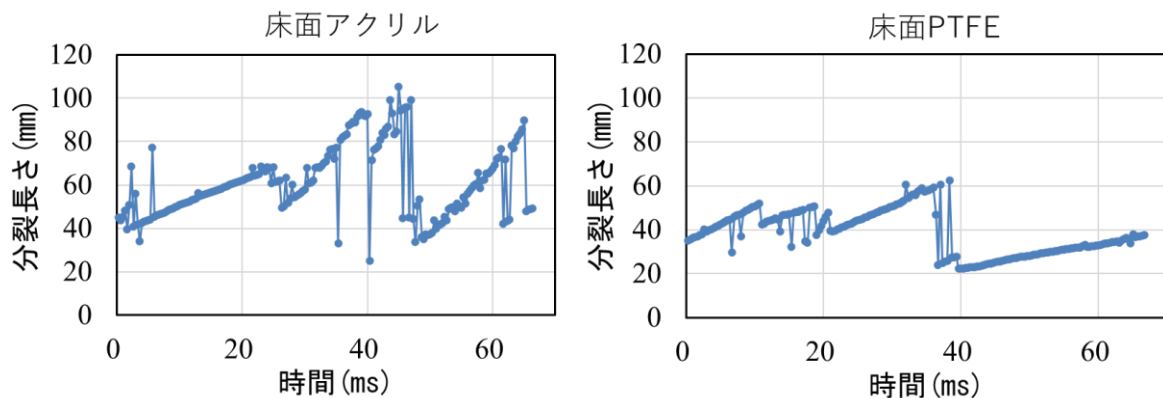


図 7 床面アクリルと PTFE における分裂長さの時間変化

$$M_w = 13.3 \text{ g/s}; M_a = 0.4 \text{ g/s}$$

3.3 低濃度アッシュスラリーの排出特性

石炭焼き火力発電所から入手したフライアッシュを用いて、低濃度固液スラリー（濃度はおよそ 10wt%）を用いる実験を行った。チャンネル内部流動の観察は難しかったが、出口エッジにおけるひも状排出の形態を図 8 に示す。低濃度のためもあり、見かけの形態は水の場合に類似している。固気液流動は現象は複雑であり、今後も研究を継続し発展させたいと考えている。

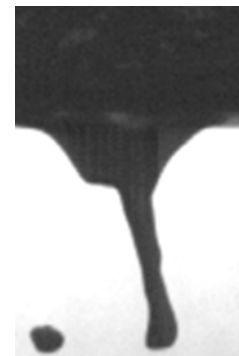


図 8 出口エッジにおけるアッシュスラリーの排出（上方からの観察）

4. まとめ

本研究では、気液供給条件を系統的に変化させた噴流を、排ガス浄化用ハニカムを想定した狭隘チャンネルへ噴射し、その挙動を分析した。得られた主な成果を以下に示す。

1. チャンネル内に吹き込まれた二相流体の多くは、チャンネル内壁上で液膜となる。
2. チャンネル内で内壁面上液膜に捕捉されず中心部をすり抜けるかのように貫通する粒子が多く存在する。それらは、液膜波頭よりも高速であり、追い越していく様相も見て取れる。
3. チャンネル開口部の上方からは細かい液滴群がほぼ水平に高速で噴き出す。一方、出口開口部の下方からは粗い液滴が重力で落下する。
4. 床面 PTFE の場合
床面上の液膜が平坦に広がらないように見える。
出口における分裂長さが短い。
水平に噴き出す微細な液滴が少なく、下方へ落下する粗い液滴が多い。
5. 実機洗浄を想定する条件では、チャンネル出口からの排出流は、図 9 に模式的にスケッチしたような現象と理解できる。チャンネルの底部からは低速で吹き出した液膜が液柱への変形やリガメントへの分裂の過程を経て粗い液滴群となり、重力の作用で落下する。

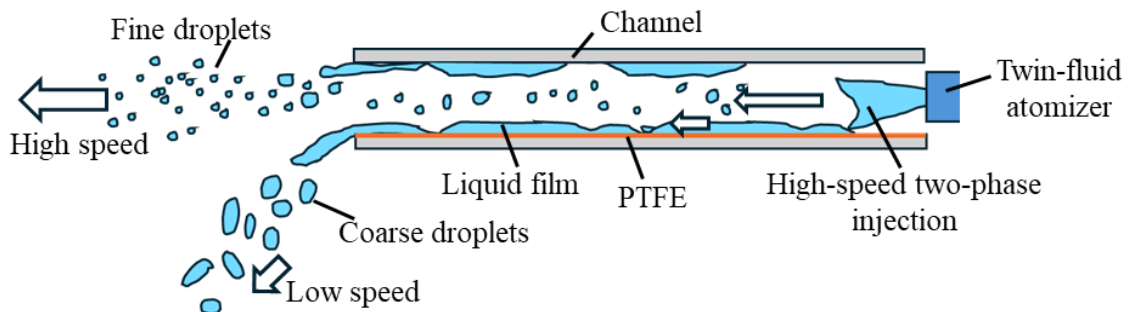


図 9 チャンネル内部流動と出口排出流のモデル

5. 成果の公表

最林寺秀尊，新保悠真，佐藤一教，邢文静，ハニカムを想定した狭隘チャンネルへの気液二相流の噴き込み，内部流動と排出に関する形態観察，第 34 回微粒化シンポジウム，2025 年 12 月。

謝辞

本研究は（公益財団法人）天野工業技術研究所，2025 年研究助成を受けて実施されました。