

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	A study on particulate matter trapping process in filtration through time lapse visualization using scanning electron microscope
著者(和文)	讃井涼子
Author(English)	ryoko sanui
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10462号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:花村 克悟,佐藤 勲,平井 秀一郎,小酒 英範,伏信 一慶
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10462号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

研究論文の要約

論文題目

「A study on particulate matter trapping process in filtration through time lapse visualization using scanning electron microscope (電子顕微鏡を用いたディーゼル微粒子捕集過程のコマ落とし可視化と捕集制御に関する研究)」

要約

ディーゼルエンジンの排気に含まれる人体および環境に有害なスス微粒子 (Particulate Matter: 粒子状物質、以下 PM) の大気中への放出を抑制する重要な技術のひとつに DPF (Diesel Particulate Filter: ディーゼル微粒子フィルタ) が挙げられる。このセラミックス多孔質製モノリスである DPF において、ガス中に含まれる PM をその多孔質壁によって捕集する過程と、一定量以上たまった PM を燃焼除去する再生過程が繰り返される。この再生過程において余剰の燃料消費を伴うことからその頻度を最適化する必要がある、DPF の圧力損失の測定による PM 堆積量の正確な推測が課題となっている。本論文は走査型電子顕微鏡を用いて PM 捕集過程を粒子スケールにおいて可視化することにより PM の多孔質壁内部における堆積のメカニズムとそれに伴い上昇する圧力損失の相関およびその相関を決定付ける因子を明らかにすることを目的とし、以下の七章からなる。

第一章では、研究の背景である排ガス規制と燃費規制の板ばさみにある後処理技術の現状を述べ、現在の DPF システムの課題である PM 堆積量の正確な推測を行うためには PM 捕集の現象解明が必須であることを述べている。

第二章では、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた DPF 空孔スケールの PM の捕集過程の可視化について述べている。本論文の最大の特徴とも言える走査型電子顕微鏡を用いたコマ落とし可視化は、観察用に加工を施した DPF サンプルに短時間 PM を捕集したのち SEM を用いて壁断面の PM の堆積形状を観察するという手順を、同一サンプルにおいて繰り返す手法である。PM 捕集実験毎に同じ視野において取得された SEM 画像を時系列的に並べることにより、実時間で変化する動的な PM 捕集過程を追うことができる。可視化像と同時に計測された圧力損失の変化挙動から、PM の捕集過程は PM による空孔内部での局所的な架橋形成過程、この架橋上流側の空孔に堆積する表面空孔捕集過程、空孔外側すなわち多孔質壁表面に一樣に堆積するケーキ捕集過程の三つの過程に分けることができることを示している。さらにこの中で、空隙率の減少による流速の増大を伴う表面空孔捕集が重大な圧力損失の要因となることを明らかにしている。

第三章ではさらに高解像度の電界放出型走査型電子顕微鏡 FE-SEM を用いた PM の架橋形成の可視化について述べている。可視化結果より、空孔が狭くなる領域において PM の捕集箇所が DPF 基材である SiC の粒子上からすでに捕集された PM 上に遷移し、PM の樹状構造が局所的かつ加速的に成長することによって架橋が形成されることを明らかにしている。また、空孔が狭くなるすべての領域においてこの局所的な樹状構造の成長は生じ得るが、一度上流にて架橋が形成されると、以降その下流においては新たな PM の付着による樹上の成長が生じないため、架橋形成の位置が表面空孔内の PM の堆積量を左右することを明らかにしている。

第四章では前章の可視化から推測される PM の挙動に基づいた架橋形成の簡易的なモデルを提案している。本モデルでは PM の平均粒子径を有する粒子が層流の流れにブラウン拡散を重ね合わせた運動を伴い、DPF 壁面あるいはすでに堆積した粒子に付着するものとし、その堆積層は通気性を有する円盤リング状を仮定している。PM 層は半径内側方向に成長すると同時に堆積層の透過率に伴う流量配分の変化によって厚み方向にも成長するものとしてモデル化し、架橋が形成される際の圧力損失上昇を予測している。本モデルは、PM の架橋にのみ着目しているが、架橋形成時の圧力損失の上昇挙動および流速や PM の粒子径を変化させたときの架橋形成までにすり抜ける粒子数の変化の傾向が実験結果と良い一致を示したことから、従来モデルや大規模計算へ組み込みが可能であるとして提案している。

第五章では、PM を模擬したカーボン微粒子を用いて、架橋形成に及ぼす PM 粒径および PM を含んだガスの空塔速度が架橋形成の効率を左右することを実験的に明らかにしている。また、PM の空孔内侵入深さは DPF 壁面表面近傍に見られる空隙率が変化する構造的表面空孔深さと、平均空隙率が一樣となった多孔質構造内部における局所的に連通した空間を代表する長さの和として表現できることを明らかにしている。

第六章では、二章から五章にかけて得た知見に基づいた PM 捕集の具体的な制御手法として、既存 DPF 上にアルミナサブミクロン粒子で構成される低圧損メンブレンを付与することによって低い圧力損失と高い捕集効率を実現できることを示している。

第七章では、可視化により得られた PM 捕集の詳細な過程と圧力損失との相関、および両者の相関に影響を与える因子とその制御方法を総括して結論を述べるとともに、本研究の今後の展望と課題について述べている。