

令和元年6月11日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18027

研究課題名(和文)ハニカム流路フィルター壁内バイパス流による能動的スス捕集と低温酸化その場計測

研究課題名(英文) Active soot collection and low-temperature oxidation in situ measurement by bypass flow in honeycomb channel filter wall

研究代表者

中村 真季 (NAKAMURA, Maki)

名古屋大学・未来材料・システム研究所・学振特別研究員(RPD)

研究者番号：70708510

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：ディーゼルエンジンは有効な動力源として注目されている。一方で、ディーゼルエンジンの排ガス中に含まれる粒子状物質(PM/スス)の対策にも注目が集り、スス排出量削減は大きな課題となっている。ススの排出はディーゼル微粒子フィルター(DPF)を用いて抑制する。本研究ではDPFにPMが堆積、除去する連続の過程をモデル化をした。その結果PM捕集初期段階の堆積過程を数値計算方法により先行研究の実験的結果を再現することに成功した。さらに実際のDPFの大きさでのPM堆積と除去の数値計算をした結果、再生条件等を選定することにより、触媒付DPFの捕集再生技術の最適設計化モデルの基盤を完成させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では新規DPFの構造設計を基礎的な現象解明から行なったため、既存のDPFに対してもその高性能化に向け適応できる結果を提供できるモデルとなった。またPM酸化用触媒としては種々検討されているが、触媒内蔵DPFの設計指針は皆無であるため、触媒付DPF全体の開発を促し、大気汚染の原因であるPM除去技術が向上するため、本研究の研究意義はとても大きく、国内外の自動車関連の研究において大きなインパクトを与えたと思われる。特に、直近の排ガスによる環境問題を解決し社会貢献につながると考えられる。さらに、本研究の結果は、最近話題となっているガソリンエンジンの排ガスに含まれるPMにも対応が可能である。

研究成果の概要(英文)：The diesel particulate filter (DPF) has attracted strong attention as a desirable after-treatment device for the particulate matter (PM) contained in exhaust gas of diesel engine. After that, an active regeneration is required. Since more fuel is required for the regeneration in addition to the normal driving (passive regeneration), the fuel economy deteriorates. In order to improve the performance, a passive regeneration is necessary. In this study, we compared the dependence of the shape and depth of the cavity of the DPF on the PM trapping process by a comprehensive overall model and numerical calculation. Based on the above result, we simulated a combination of hydrodynamics and oxidation reaction during PM deposition and combustion. Through this simulation, we constructed a series of models from PM deposition to combustion process. The result provides a quantitative evaluation and design of the surface cavity in the DPF leading to better production process of porous ceramic parts.

研究分野：熱流体

キーワード：ディーゼルエンジン DPF PM 数値計算

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

昨今、地球温暖化問題が声高に叫ばれ、世界規模での対策が求められている。ディーゼルエンジンは熱効率がよく、燃料消費量が少ないことから、地球温暖化の一要因と考えられる二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の排出量が低く、非常に有効な動力源として注目されている。その一方で、最近話題に取り上げられているディーゼルエンジンの排ガス中に含まれる粒子状物質 (Particulate Matter: PM/スス) の対策にも注目が集まっている。ススは環境や人体の健康に対して問題があり、環境対策として現在もその排出量は年々厳しく規制されている。そのため、スス排出量削減は大きな課題となっている。排ガス中に含まれるススの大気中への放出は Diesel Particulate Filter (DPF) で濾過されることで抑制されている。時間が経過するにつれて、ススは DPF 壁面に堆積し圧力損失が増加するため、定期的にススを除去する過程(再生過程)が必要である。再生過程には駆動と関係のない燃料が必要なため、燃料消費量の少ない再生方法を実現するには、DPF 再生を低温で行う必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究は、六角セル構造フィルター (HEX DPF) にシングルナノサイズ Pt を担持した SiC ナノ粒子で構成されるメンブレンを焼結した新規フィルターを構築し、圧力損失の低減と再生時の燃焼温度の低温化が同時に可能となるフィルターの実現を目的とする。高耐久性を有する SiO<sub>2</sub> 膜に完全に覆われたシングルナノサイズ Pt 触媒によるディーゼル微粒子(スス)の酸化反応機構等を走査型電子顕微鏡 (SEM) と走査型透過型電子顕微鏡 (STEM) を組合わせた SEM-STEM を用いた原子レベルの可視化、および六角セル構造フィルター特有の流れを X 線 CT を用いて可視化を行い、ディーゼル微粒子フィルター構造の新たな発想と開発を目指す。

### 3. 研究の方法

六角セル構造フィルター特有の流動様式を X 線 CT を用いた可視化にて明らかにし、SiC ナノ粒子メンブレンのコートを最適化する。更に貴金属を担持した SiC ナノ粒子メンブレンの低温化のメカニズムを解明するために、走査型電子顕微鏡 (SEM) と走査型透過型電子顕微鏡 (STEM) を組合わせた SEM-STEM を用いて、スス粒子を構成するグレフェナー一枚一枚が反応していく様子の 3 次元的可視化を試みる。この時環境透過型電子顕微鏡 (ETEM) / SEM-STEM と微量ガス分析器を使用し CO<sub>2</sub> 濃度を計測し、原子レベルの反応とマクロな計測を融合する。最終的に高捕集量、低圧損、低温酸化の自制的制御が可能なディーゼル微粒子フィルターの設計を提案する。

### 4. 研究成果

上記の研究背景を元にはしたが、研究の目的及び研究の方法を大幅に変更した。主に実験の予定から、数値計算に変更し、DPF の壁面内部の堆積と再生の挙動を明らかにした。

#### 1) DPF 多孔質材の PM 堆積と圧力損失に及ぼす表面空孔の影響

排ガス中の PM 排出抑制には、ディーゼル微粒子フィルター (Diesel Particulate Filter: DPF) が使用される。DPF 本体は一般に多孔質構造を持つセラミックス (SiC, コージライト) で、その形状は排気流に平行な方向にハニカム多孔質構造を持っている。特殊な構造を利用して捕集することで PM を濾過し、排ガスから PM が除去される。フィルター内には PM が堆積し続けると、フィルターの前側と後側の圧力差である圧力損失が増大する現象がみられる。圧力損失が増大するとエンジンに負荷がかかるため、定期的に PM の除去 (再生) 操作を行う必要がある。PM は約 650 °C で酸化燃焼するため、駆動に必要な燃料以外の燃焼で排ガスの温度を上昇させ触媒機能を付加し、DPF 再生を行う。そのため圧力上昇にともなう頻繁な再生操作は余分な燃焼消費使用による燃費上昇とエンジン効率の低下をもたらす。圧力損失の上昇が起こりにくい条件で PM 堆積量が大きい DPF を設計できると、PM 除去を含むディーゼルエンジンの全効率を向上させることにつながる。DPF の壁構造については、従来、セラミックス製造プロセスに依存した多孔体組織を利用してきた経緯がある。最近では、製造技術の向上とともに設計された壁面や孔形状の最適化が求められている。本研究では、壁面孔 (表面空孔) 形状が、PM 捕集初期段階での圧力損失に及ぼす影響をモデル化して考察することを目的とする。先行研究では、既存の DPF の表面空孔の形状を用いた空隙率の変化を取り入れた式のみが検討されたため、本研究では、それらの式を一般化し、任意の表面空孔の形状において圧力損失を計算することを可能とするモデルを構築した。また、PM 捕集初期段階の堆積過程を数値計算方法により先行研究の実験的結果を再現することに成功した。

#### 2) 触媒付きディーゼル微粒子フィルターの PM 堆積・酸化

本研究では、DPF 内の PM 堆積・再生過程の実際は DPF の構造上可視化が難しいという現状を考慮し、これらの変化を数値計算により明らかにすることを試みる。DPF 内で PM 分布等の関係について、触媒付 DPF を想定したフィルター内での PM 付着と再生過程を定量的に予

測することはこれまで検討されていない。とくに一連の繰り返し堆積・再生過程で DPF 内の PM 分布とその変化を観測することは DPF 設計手法において現状では不十分であると考えられる。すなわち、本研究は DPF 内に堆積する PM の堆積・強制再生のモデル化と条件最適化をめざした検討を行った。とくに、DPF 内で PM の堆積・酸化浄化を繰返す場合で、流入口と流出口から PM 堆積分布や酸化挙動のモデル化を行い、入出口の圧力の差や全体圧損の時間変化を検討し、強制再生を行うタイミングを示唆することを目的とし、PM 堆積・再生過程における DPF 内の PM 分布の挙動を推定するための数値計算手法を提案した。本研究では、PM 堆積・再生過程における DPF 内の PM 分布の挙動を推定するための数値計算モデル化を行なった。その結果、DPF 内で PM 堆積・再生過程を繰り返しても、設定条件では PM 酸化が不完全になり DPF 内に残存した。さらに、DPF 後方への酸素供給量も減少し DPF に残存した PM によって新たな PM が堆積する現象が示唆された。本研究で検討した計算モデルを用いれば、さらに再生条件等を選定することにより、触媒付 DPF の捕集再生技術の最適設計に役立てることができると考えられた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(アクセプト計 1 件,投稿中計 2 件)

- 1) **中村真季**, 横田幸治, 小澤正邦, "触媒付ディーゼル微粒子フィルターの PM 堆積・酸化", 日本自動車技術会論文集, 投稿中, 2019
- 2) Masakuni Ozawa, Atsuhiko Masuda, **Maki Nakamura**, Masatomo Hattori Hidemi Kato and Shin-ichi Yamamura, "Soot-combustion catalyst of Pd/ZrO<sub>2</sub> composites prepared from Zr<sub>65</sub>Pd<sub>35</sub> amorphous alloy by oxidation treatment", JJAP, submit, 2019
- 3) **中村真季**, 小澤正邦, "DPF 多孔質材の PM 堆積と圧力損失に及ぼす表面空孔形状の影響", 日本材料学会, 材料, 67(5), 562-567, 2018

〔学会発表〕(計 6 件,予定計 1 件)

国際会議(口頭発表)(査読あり)

- 1) **○Maki Nakamura** and Masakuni Ozawa, "Phenomena of PM deposition and oxidation in the diesel particulate filter", Powertrains, Fuels and Lubricants Meeting technical paper, in press, 2019

国際会議(ポスター)(査読なし)

- 2) Atsuhiko Masuda, **Maki Nakamura**, Masatomo Hattori, **○Masakuni Ozawa**, Shin-ichi Yamamura and Hidemi Kato, "Formation of Metallic Glass Derived Pd-Nanophase Dispersed Composite and Its Catalytic Behavior", ISPlasma/IC-PLANTS2019, Nagoya, March, 2019
- 3) **○Maki Nakamura**, Masakuni Ozawa, Surface Cavity Shape and Pressure Drop by Soot Deposition in model DPF filter, 3st International Conference of Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development, Tokyo, September, 2018
- 4) **○Maki Nakamura**, Masakuni Ozawa, Surface Cavity Shape and Pressure Drop by Soot Deposition in model DPF filter, 2st International Conference of Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development, Nagoya, September, 2017
- 5) **○Maki Nakamura**, Masakuni Ozawa, Nano-Structural Analysis of Catalyst and Design of the Diesel Particulate Filter with a Multiphysics Approach, 1st International Conference of Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development, Osaka, October 2016

国内会議(口頭発表)

- 6) **中村真季**, 横田幸治, 小澤正邦, "触媒付ディーゼル微粒子フィルターの PM 堆積・酸化", 自動車技術会 2019 春季大会, 横浜, 5 月, 2019 年

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：  
ローマ字氏名：  
所属研究機関名：  
部局名：  
職名：  
研究者番号（8 桁）：

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：  
ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。