

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820060

研究課題名(和文) シリカ被服ナノ粒子貴金属触媒に接するススの三相界面反応の原子レベル可視化

研究課題名(英文) Atomic level visualization of the three-phase interface reaction of soot with the silica coating nanoparticles noble metal catalyst

## 研究代表者

中村 真季(服部真季)(Nakamura, Maki)

東京工業大学・理工学研究科・産学官連携研究員

研究者番号：70708510

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：HEXDPFの研究において、PM捕集初期の圧力上昇からケーキ層の圧力上昇への遷移過程を数値計算にて表現し、バイパス流によりHEX全面にススが堆積できることを確認した。つまりSQ-DPFよりも広い有効面積でススの堆積が可能であることを示唆した。再生過程においても、このバイパス流により作動ガスのスス堆積への供給が制御される事を確認した。

スス酸化反応過程について評価は以下の結果を得た。CB酸化反応の総括的活性化エネルギーの低減効果は、SiC酸化物層表面に吸着された酸素によると考えられる事が可能。CB酸化の総括的活性化エネルギーはPtの担持や酸素濃度に関わらず、ほぼ一定の値となる事が分かった。

研究成果の概要(英文)：The phenomena of soot trapping and oxidation in a hexagonal cell geometry DPF made of aluminum titanium oxide were investigated through microscopic visualization experiment and a simple analysis. The flow rate of the bypass flow was increased with a thickness of soot layer deposited on the inlet/outlet wall. As a result, the soot was trapped even on the inlet/inlet wall surface. In the regeneration process, depending on the flow rate of the bypass flow, the maximum temperature for the hexagonal cell DPF became lower compared with that for the conventional DPF.

Soot oxidation on nano-sized SiC-particles covered by an oxide layer with or without Pt was investigated using a temperature programmed reactor. From the results of CB oxidation experiments at constant temperature, the apparent activation energy of CB oxidation on the surface of SiC nano-particle was about 140kJ/mol which was almost fixed in any case of oxygen concentration and case of with or w/o Pt.

研究分野：流体力学

キーワード：DPF

1. 研究開始当初の背景

ディーゼルエンジンは高い熱効率と、燃料消費量が少ないことが知られており、地球温暖化の一要因と考えられている二酸化炭素の削減に非常に有効である。その一方で、排ガス中には粒子状物質(PM)が含まれている。PMは環境や人体の健康に対して問題があり、その排出量は近年厳しく規制されている。そのため、PMの排出量の低減が現在の大きな課題である。排ガス中に含まれるPMの放出はディーゼル微粒子フィルター(DPF)で濾過され、大気中への放出が抑制される。DPFで捕集されたススによって急激な圧力上昇を生じ、圧力損失量が大きくなるとエンジンに負荷を書け、燃費を悪くするため、DPF壁に堆積したPMを定期的に除去する再生過程が必要である。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

本研究では、六角セル構造フィルターにシングルナノサイズPtを担持したメンブレンを焼成した新規フィルターの開発を目的とする。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解明する。また、従来の正方形セル構造よりも1.3倍捕集有効面積が広い六角セル構造フィルターの独自性を実験及び数値計算により解明する。

3. 研究の方法

1)電気化学の実験

DPMF上で生じるPM酸化反応はSiC酸化物層に吸着した酸素が大きく寄与していると考えられている。しかし、この表面反応の詳細な機構は分かっていない。そこで、本研究では吸着酸素の状態に着目し、電気化学的な方法を用いてこの評価を試みた。

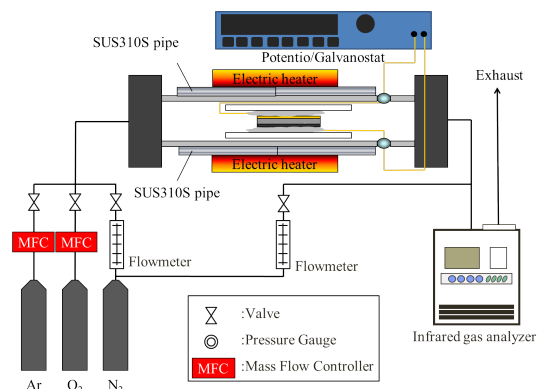


Fig.1 Experimental setup for electrochemical measurement

2)TPRの実験

<使用サンプル> 本評価では、PMの代替として可溶性有機成分(SOF: Soluble Organic Fraction)を含まず、エンジンから排出されるPMよりも個体差の少ないCarbon Black (CAS

No.1333-86-4, Strem Chemicals Inc.製、以下CBと略記)を用いた。公称値よりCBの平均粒子径と密度はそれぞれ42 nm, 0.21 g/cm<sup>3</sup>であった。このCBとDPMFのMembrane層を構成する平均粒子径35 nmのSiCナノ粒子の粉末(w/o Pt, with Pt 6.6wt%)の粉末を質量比SiC:CB = 30:1で、乳鉢を用いて15分間混合した。この混合粉末を用い、DPMFによるPMの酸化反応を模擬した。

<昇温反応装置> 本研究では、図2に示すような昇温反応装置(Temperature programmed reactor: TPR)を用いる。

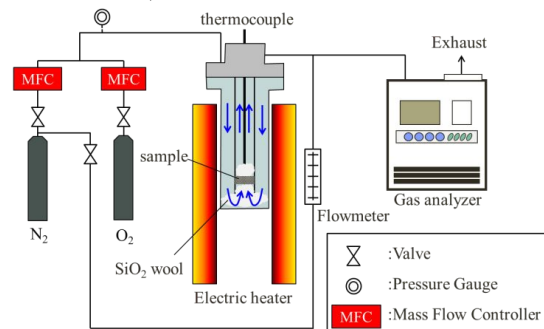


Fig.2 Schematic diagram of Temperature Programmed Reaction (TPR)

図2のように、混合試料30 mgが二重管の内側に石英ガラスウールで挟みこまれた構造をとることで、作動ガスが連続的に粉末の内部を通過する条件での評価を可能とした。CBの酸化により生じたCO, CO<sub>2</sub>の濃度の測定は赤外線ガス分析装置(島津製作所 CGT-7000)を用いて行った。この分析装置の使用上の制限のため、作動ガスはN<sub>2</sub>で希釈している。電気ヒーターを用い、ある温度TまでN<sub>2</sub>雰囲気下で昇温させた後、N<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>の混合ガスに切り替え、温度Tで一定としたままCBの酸化を行う定温酸化試験を行った。その結果から得られた各温度TにおけるCB酸化反応速度を、アレニウスの式とCB酸化の反応速度式より導出した式に代入し、アレニウスプロットを作成することでCB酸化の総括的活性化エネルギーを求めた。

3)HEX DPFの実験及び計算

<スス堆積実験>

DPFの断面は5×7 mm<sup>2</sup>、長さは15 mmである。可視化をおこなう流路を含むPM捕集壁を切削および研磨する。その上に石英ガラスを載せ、断熱材が挿入された流路にセットする。流路にセットされたHEX DPFのPM捕集面は全焦点顕微鏡(KEYENCE VHX-5000)及びPhotron Focuscope FV-100C)を用いて観測される。スス発生器(PALAS社 DNP-2000)から発生したススを作動ガスのN<sub>2</sub>とともに流路にセットされたDPFに導入した。スス発生量は毎時7.08 mgとし、この場合のススの粒計分布は約10~100 nmの間である。このDPFには1 ℓ/mの流量を導入した。このときのDPF壁面垂直方向に基づいた空等速度は、実際のDPFの使用条件を模擬するため、約

12 cm/sec に設定した。ガスは HEX DPF 内の空隙を通り抜け、流出流路へと流出する。マイクロスコブ(KEYENCE VHX-5000)を用いて、300 倍の倍率で全焦点観察を行った。正六角形の一辺の長さを  $L$  とすると、本研究では一辺の長さの約半分の視野を観測した。本実験の系では、本来 outlet 流路となる上下左右端に閉じた流路があるため、バイパス流れは inlet/inlet 壁の全面から中心の outlet 流路へ向かうものと考えられる。

#### <DPF 再生実験>

HEXDPF に堆積したススは、電気ヒータにより高温に加熱された作動ガスを用いて再生する。作動ガスはスス堆積の条件と同様になるように計 1 l/min (酸素濃度は 10 % ,  $N_2:0.9$  l/min,  $O_2:0.1$  l/min)の流量に設定した。窒素雰囲気下において 20 l/min で加熱し、設定温度の 650 °C に達してから 30 分間維持し、 $O_2$  を流し DPF の再生を行った。ススの酸化に伴い生成した  $CO$ 、 $CO_2$  濃度は下流に設置された赤外線ガス分析計(島津製作所 CGT-7000)で測定される。この際、スス酸化に伴い発生する少量の  $H_2O$  が分析器に及ぼす影響を除外するために、分析計前段にデシカントが設置されている。

#### <計算モデル>

図 3 に HEX DPF の解析モデルの概要を示す。流出流路の周りを 6 個の流入流路が囲っている。DPF の壁厚を  $W$ 、六角形の各辺を  $L$  とする。流入流路(inlet)の圧力を  $P_i$  とし、流出流路(outlet)の圧力を  $P_o$  とする。本研究では図 2 の中で示す三角形の箇所をひとつのユニットとして考えた。

HEX DPF には二つの流れがある。一つは、流入流路から流出流路に直接流れる流れ(a: inlet/outlet wall flow)があり、この空塔速度は  $u_1$  で示され、図 3 の三角形のユニットで考えているため、有効断面積は  $L/2$  とする。もう一つは、図 3 中の b で示されるように、流入流路から隣合わさる流入流路の壁面を通り、流出流路へ向かう流れ(b: bypass flow)である。この空塔速度は  $u_2$  で示され、図 3 の三角形のユニットで考えているため、有効断面積を  $W/2$  とする。Bypass flow におけるガスが通過する長さは  $W' (= W/\cos\theta)+L/2$  とし、本研究では最も長い距離を代表寸法として用いた。また、実際 PM が堆積する空塔速度は  $u_2' = (W/L)u_2$  で示される。

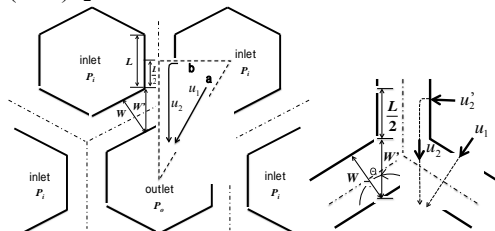


Fig. 3 Schematic Illustration of the analytical model for the hexagonal DPF

本来 DPF は多孔質内全ての部分で PM を捕集すると考えられていたが、実際 PM が捕集

されるのは、DPF 壁面表面から深さ数十  $\mu m$  程度の範囲であることが報告されている<sup>(6)-(9)</sup>。この部分を表面空孔と呼ぶ。さらに、Preechar 等の報告<sup>(10)</sup>によると、表面空孔には空隙率の分布が存在している。DPF の空隙率は表面空孔の一番深い所(約 60  $\mu m$ )から DPF 壁表面に向かって、空隙率が高くなり、DPF 壁表面では空隙率が 100 % になる。本研究では多孔質内の空隙率の変化を取り入れ、その効果を表現することを試みた。

DPF の基材の厚みを  $W$ 、表面空孔の深さを  $x_0$ 、表面空孔内に堆積した PM の厚みを  $x$  とする。空隙率の変化を  $F(x)$  にて表し、 $x=0$  において  $F(x)=0.5$ 、 $x=x_0$  において  $F(x)=1$  として 2 次関数にて表現する。2 次関数で近似すると定数  $a = 1.39 \times 10^8$  が決定する。

$$F(x) = ax^2 + 0.5 \quad (1)$$

PM 捕集初期において排気ガスは表面空孔の細孔に流入し、捕集された PM により細孔が閉塞する(表面空孔捕集)。表面空孔が PM で埋められると、DPF 表面にはケーキ層が形成され、その後 PM ケーキ層自身により PM が捕集される。PM の厚みが  $x=x_0$  となったとき、PM は表面空孔捕集からケーキ層へ移行する。

本研究では、二つの空塔速度の概念を用いている。一つは DPF の多孔質に対する空塔速度  $u$ 、もう一つは DPF 内に堆積した PM(多孔質)に対する空塔速度  $u/F(x)$  である。

#### <支配方程式>

第 2 章にて定義した inlet/outlet wall flow 及び bypass flow に対する圧力損失を  $\Delta P_1$  及び  $\Delta P_2$  と表現すると、いずれも流入流路と流出流路の圧力損失に等しくならなければならない。

$$P_i - P_o = \Delta P_1 = \Delta P_2 \quad (2)$$

本研究における DPF フィルターの圧力損失は、ガスの速度が遅いため、ダルシー則のみを考慮した。

図 2(上)の三角形で示す箇所を一つのユニットと考えると、流入流路に流入してきたガスの流量( $Q$ )は以下の式のように配分される。

$$\frac{L}{2}u_1 + \frac{W}{2}u_2 = Q \quad (3)$$

ここで  $u_1$  は inlet/outlet wall flow の空塔速度、 $u_2$  は bypass flow の空塔速度を示す。

単位時間当たりの多孔質内の PM 堆積厚みは以下の式で表す。

$$dx = a \frac{1}{F(x)} u dt \quad (4)$$

ここで、 $a$  は単位時間当たりのススが堆積する速度から求められる係数である。可視化実験の結果より、本研究では  $a = 1.7 \times 10^{-7}$  と見積もられている。表面空孔に堆積したススに対する空隙率を加味した局所流速を  $u/F(x)$  とし、それに  $a$  を掛けることでスス堆積速度を表現できる。ここで、G.C.Koltsakis 等や植西

等の報告から、ススの堆積密度が変化すると報告されているが、本研究の場合、その密度の変化率がおおよそ 0.4 % である事から、ススの堆積密度は一定と仮定した。式(4)を積分系に変形すると以下の式となる。

$$\int_0^x F(x)dx = \int_0^t audt \quad (5)$$

各壁の圧力損失( $\Delta P_1$  及び  $\Delta P_2$ )は以下の式で表される。

$$\Delta P_1 = \frac{m}{k}u_1(W - x_0) + \frac{mu_1}{k_{soot}} \int_0^x \frac{1}{F(x)}dx + \frac{m}{k}u_1(x_0 - x) \quad (6)$$

$$\Delta P_2 = \frac{m}{k}u_2\left(\frac{W}{\cos q} + \frac{L}{2}\right) + \frac{mW}{k_{soot}L}u_2 \int_0^{y_0} \frac{1}{F(y)}dy + \frac{mW}{kL}u_2(y_0 - y) \quad (7)$$

ここで、 $\mu$  はガスの粘性係数、 $k$  は透過係数である。式(6)及び(7)の第一項は表面空孔を除く、DPFの基材の圧力損失、第二項は表面空孔に堆積するPMの厚みの圧力損失、第三項目は表面空孔にPMが堆積していない箇所の圧力損失を示す。式(3)から(7)を用いて、各壁面のPM堆積厚み、空塔速度及び、圧力損失を計算する。表面空孔捕集が終了し、ケーキ層へ移行すると、圧力損失は以下の式で表される。

$$\Delta P_1 = \frac{m}{k}u_1(W - x_0) + \frac{mu_1}{k_{soot}} \int_0^{x_0} \frac{1}{F(x)}dx + \frac{m}{k_{soot}}u_1x_c \quad (8)$$

$$\Delta P_2 = \frac{m}{k}u_2\left(\frac{W}{\cos q} + \frac{L}{2}\right) + \frac{mW}{k_{soot}L}u_2 \int_0^{y_0} \frac{1}{F(y)}dy + \frac{mW}{k_{soot}L}u_2y_c \quad (9)$$

式(8)及び(9)の第一項は表面空孔を除く DPFの基材の圧力損失、第二項は表面空孔に堆積したPMの厚みの圧力損失、第三項目はケーキ層に堆積したPMの圧力損失を示す。各壁面のケーキ層のPMの厚みはそれぞれ  $x_c$  と  $y_c$  で示す。式(10)及び(11)にケーキ層のPMの厚みを示す。

$$x_c = au_1t \quad (10)$$

$$y_c = a\left(\frac{W}{L}\right)u_2t \quad (11)$$

尚、本研究で用いた HEX DPF 基材の定数を表1に記載する。本研究では表面空孔は 60  $\mu\text{m}$  としている。また計算時間のステップは 0.1 秒として行った。関数  $F(x)$  を考えると積分が出来るので、与えられた時間  $t$  の間のPMの堆積厚み  $x$  が形式的に求まる。式(1)を式(5)に代入をし、式(12)に  $t$  及び  $u$  を代入する事で、単位時間  $t$  当たりの堆積厚み  $x$  を算出する事が可能である。

$$\frac{1}{3}ax^3 + 0.5x - aut = 0 \quad (12)$$

#### 4. 研究成果

##### 1) 電気化学の実験

電気化学実験において、酸素のイオン化の

過程が律速になっている可能性が高いことが明らかになった。酸素の供給に対して、酸素イオン化が追いつかないため、気相中の酸素濃度の増大に比例した開回路電圧(OCV)の変化が現れなかったと考えられる。また Pt の含有量の少ないサンプルでは、Pt 担持のサンプルの場合と比較してスス酸化反応に大きな差は確認できない。そのため OCV の挙動についても大きな変化がないことが予測できる。

##### 2) TPR の実験

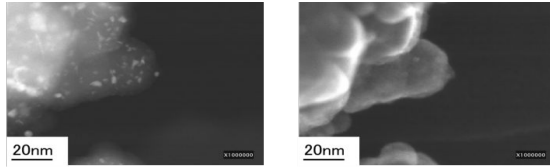
DPF 内に堆積したススを除去する再生過程の再生温度の低温化が望まれている。本研究では、シリコンカーバイド(SiC)ナノ粒子からなる membrane 層を DPF のスス捕集壁面に塗布した Diesel Particulate Membrane Filter(DPMF)を用いることで、ススの酸化反応が従来の DPF より低温で開始されることを見出している。しかし、その反応機構の詳細は必ずしも明らかではないため、スス酸化反応過程について評価を行った。

それぞれの混合粉末及び SiC を含まない CB のみの粉末の 3 種類を用意して行った。作動ガス中の酸素濃度は 2 vol.%, 10 vol.%, 20 vol.% とした。CB のみを酸化させた場合の総括的活性化エネルギーは約 213 kcal/mol である。それに対し、CB を SiC ナノ粒子粉末と混合した場合は酸素濃度 2 vol.% の場合の Pt 有無の銃でそれぞれ、約 136, 127, 161, 146 kJ/mol となり、平均して 70 kJ/mol 程度低下していることが分かる。これは、CB と SiC の混合粉末の場合、SiC 酸化物表面の吸着酸素による CB 酸化が支配的であると考えられる。この結果から SiC 酸化物層表面の吸着酸素は CB 酸化の総括的活性化エネルギーの低下効果を持つことが予想された。

次に、SiC ナノ粒子への Pt の担持や酸素濃度の違いが CB 酸化に及ぼす影響について検討する。Pt の有無や酸素濃度による総括的活性化エネルギーの差は小さい。また、図 5 に Pt を担持した SiC ナノ粒子を STEM を用いて同じ視野の SEM 写真、TEM 写真を撮影した結果を示す。図 4(a)の TEM 写真には SiC ナノ粒子に担持した Pt が確認できるのに対し、図 4(b)の SEM 写真では Pt が確認できないことが分かる。このことから、SiC ナノ粒子に担持した Pt は SiC 酸化物層内部に完全に埋没した構造をとっていると考えられる。そのため、CB や気相中の酸素は Pt との直接的な接触を持たないことが予想される。これらの結果を踏まえると、Pt を SiC ナノ粒子に担持した場合においても、CB 酸化に寄与するのは従来の Pt 触媒を用いたスス酸化反応のように Pt 表面の吸着酸素ではなく、SiC 酸化物層表面の吸着酸素であると考えられる。

また、酸素濃度が 2 vol.% の場合、Pt を担持することでアレニウスプロット(図 5)が反応速度の増大する方向に平行移動していることがわかる。過去の研究より、Pt の担持によ

る SiC 酸化物層表面の吸着酸素量の増大効果



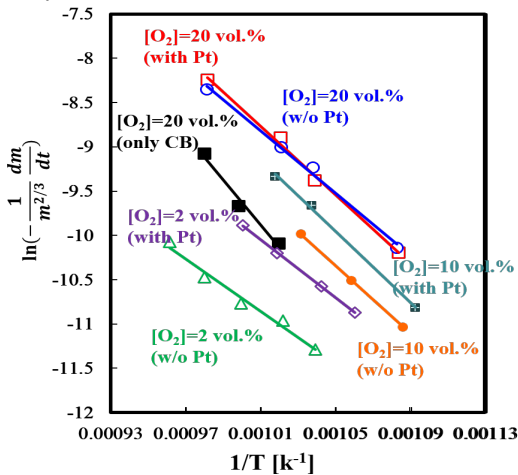
**Fig.4(a) TEM and (b) SEM image of SiC nano-particle with Pt**

が示唆されている。この Pt の担持による吸着酸素量の増大により、より多くの CB と反応することが可能となり、CB 酸化反応速度の増大、アレニウスプロットの平行移動に繋がったと考えられる(図 6)。少なくとも、10%まで同じような傾向になることが実験結果より示した。

一方、酸素濃度が 20 vol.% の場合、Pt の有無に関わらず、アレニウスプロットはほぼ一致することが分かる。酸素濃度が高い場合は、図 7 に示すように、CB に対し、十分な量の吸着酸素が SiC 酸化物層表面に存在することが予想される。そのため、Pt の担持により、吸着酸素量が増大したとしても、それ以上 CB と反応することができず、CB 酸化反応速度の差はほとんど生じなかったと考えられる。

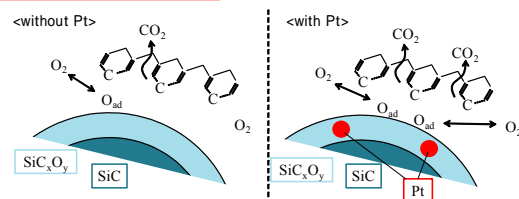
以上の結果より、次の結論を得た。

1. CB 酸化反応の総括的活性化エネルギーの低減効果は、SiC 酸化物層表面に吸着された酸素によると考えられる。
2. CB 酸化の総括的活性化エネルギーは Pt の担持や酸素濃度に関わらず、ほぼ一定の値となる。



**Figure 5 Arrhenius plots of CB oxidation with and without SiC nano-particle (with and without Pt)**

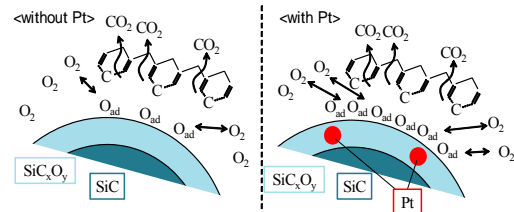
[O<sub>2</sub>]=2 or 10 vol.%の場合



**Figure 6 CB oxidation model on SiC nano-particle (left) without and (right) with Pt under the condition of [O<sub>2</sub>] = 2**

vol.%

[O<sub>2</sub>]=20 vol.%の場合



**Figure 7 CB oxidation model on SiC nano-particle (left) without and (right) with Pt under the condition of [O<sub>2</sub>] = 20 vol.%**

アイドリング時における DPF 再生のような酸素濃度が高い場合には、Pt を担持せずとも Pt を担持した場合と同程度の CB 酸化反応速度を得ることを示唆した。

### 3)HEX DPF の計算

<数値解析>

HEX DPF の表面空孔内の空隙率の変化を取り入れた簡易的モデル化により解析をした。その結果 PM が初期に堆積する表面空孔の空隙率分布を考慮した空塔速度を導入することで、捕集初期の圧力上昇からケーキ層の圧力上昇への遷移過程を表現できることを示した。PM の堆積の挙動を解析することで、今後、PM の堆積及び再生を自制的にコントロールできる可能性がある。

<実験>

マイクロスコープを用いて、HEX DPF のスス堆積過程と再生過程の可視化を行った。

<堆積過程>

ススを含んだ作動ガスを流した直後から in/out 壁と in/in 壁の空孔に同時にススが堆積し始めることが分かる。これはバイパス流が常に存在していることが数値解析においても示唆されており、堆積量には差があるものの両方の壁面に堆積することが実証されたことになる。その後空孔を塞いだ部分にススが積層し、隣の空孔から広がったものと融合する。30 分後には in/out 壁面が先にススで覆われていることも明らかになった。実験値の各時間における圧力損失上昇の傾きは、0 ~ 180 秒まで表面空孔にススが堆積することにより傾きが大きく、その後 180 秒から 2100 秒までの間は、ケーキ層が生じていることから傾きがほぼ一定になる。(ケーキ層濾過の圧損増加はダルシー則の線形的方式で表せるため)

一般に、スス堆積による圧力損失上昇の傾きが一定になるところをケーキ層捕集による堆積と考えられている。しかし、圧力損失上昇の傾きがケーキ層に遷移したとされる時刻 180 秒(表面空孔が塞がった状態と考えられる時刻)においても、可視化実験の画像から、一様なケーキ層(一様に黒色)にはなっていない。数値解析結果は、一様なケーキ層から見積もった堆積パラメータを使用して

いるため、AT(さらには cordierite)のようなDPF 表面では不均一なケーキ層を考慮する必要があるように思われる。

<再生過程>

堆積過程の実験後(2100 秒後)の状態からDPF の再生の実験を行った。マイクロスコープを用いて可視化を行った。

時間経過と共に、DPF の再生が進み、酸素導入 24 分後では完全にススが燃焼している。S 酸素導入前は in/in 壁と in/out 壁にはほぼ同じ速度で作動ガスが流入していると考えられる。このとき堆積実験の結果から、in/in 壁にはススの堆積が少なく、in/out 壁に堆積したススよりも in/in 壁に堆積したススは早く燃焼し終える。しかし、in/in 壁から流出流路へのバイパス流があるため、作動ガスの全てが in/out 壁に堆積するススに供給されず、全ての作動ガスがススに供給された場合に期待される燃焼反応速度に葉ならない。このため、HEX DPF の燃焼は緩慢になると考えられる。これらの可視化実験より、in/in 壁に沿うバイパス流れにより、in/in 壁とともに in/out 壁にもススが堆積することを観察した。つまり SQ-DPF よりも広い有効面積でススの堆積が可能であることを示唆した。また DPF 表面の空孔にまずススが堆積し、ススで塞がれた箇所にススが積層し、隣の空孔から広がったススと融合し、ケーキ層を形成していく過程を観察した。AT 材の DPF の場合、表面空孔捕集後の後しばらくは一樣な厚みのケーキ層とはならないことも観察した。さらに、再生過程においても、このバイパス流により作動ガスのスス堆積への供給が制御され、エンジンベンチテストの再生結果で得られた緩慢な再生になることが示唆できた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計5件)

- 1) 中村真季, 花村克悟, 渋田匠, 吉野朝, 岩崎健太郎, “六角形状セル構造ディーゼル微粒子フィルター(HEX DPF)によるスス堆積の数値シミュレーション”, 日本自動車技術会論文集, Vol.46, No.2, pp.313-317, 2015, 査読有
- 2) Maki NAKAMURA, Katsunori Hanamura, Takumi Shibuta, Kentaro Iwasaki, Hajime Yoshino, “Visualization of oxidation of soot trapped on Aluminum Titanate ceramics filter with Hexagonal cell geometry”, International Journal of Automotive Engineering, Vol. 6, pp. 31-37, 2015, 査読有
- 3) 中村真季, 花村克悟, 渋田匠, 吉野朝, 岩崎健太郎, “六角セル構造ディーゼル微粒子フィルターの壁面に沿うバイパス流によるスス堆積と酸化過程”, 自動車技術会 2015 秋季大会, 自動車技術会 学術講演会前刷集, 自動車技術会, No.S221, pp.

1151-1154, Oct. 2015, 査読無

- 4) 中村真季, 花村克悟, 渋田匠, 吉野朝, 岩崎健太郎, “六角形状セル構造ディーゼル微粒子フィルター(HEX DPF)によるスス堆積の数値シミュレーション”, 自動車技術会 2014 秋季大会, 自動車技術会 学術講演会前刷集, 自動車技術会, No. 132-14, pp. 25-29, Oct. 2014, 査読無
- 5) Maki NAKAMURA, Katsunori Hanamura, Takumi Shibuta, Kentaro Iwasaki, Hajime Yoshino, “Visualization of oxidation of soot trapped on Aluminum Titanate ceramics filter with Hexagonal cell geometry”, 2014 JSAE Annual Congress(Spring) Proceedings, Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., No. 89-14, pp. 17-24, May. 2014, 査読無

[学会発表](計4件)

- 1) 中村真季, 花村克悟, 渋田匠, 吉野朝, 岩崎健太郎, “六角セル構造ディーゼル微粒子フィルターの壁面に沿うバイパス流によるスス堆積と酸化過程”, 自動車技術会 2015 秋季大会, 北九州, 10月, 2015年
- 2) 木下雄大郎, 中村真季, 中村圭介, 日高宣浩, 花村克悟, “酸化被膜 SiC ナノ粒子表面におけるディーゼル微粒子の酸化過程”, 第52回伝熱シンポジウム, 福岡, 6月, 2015年
- 3) 中村真季, 花村克悟, 渋田匠, 吉野朝, 岩崎健太郎, “六角形状セル構造ディーゼル微粒子フィルター(HEX DPF)によるスス堆積の数値シミュレーション”, 日本自動車技術会, 仙台, 10月, 2014年
- 4) Maki NAKAMURA, Katsunori Hanamura, Takumi Shibuta, Kentaro Iwasaki, Hajime Yoshino, “Visualization of oxidation of soot trapped on Aluminum Titanate ceramics filter with Hexagonal cell geometry”, 日本自動車技術会, 横浜パシフィコ, 5月, 2014年

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

なし

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

中村 真季(服部 真季)(Maki Nakamura)  
東京工業大学・理工学研究科・産学官連携  
研究員

研究者番号: 70708510