

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：32643

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2023

課題番号：18K11699

研究課題名(和文) バイオディーゼル燃料を用いたディーゼルエンジンのナノ粒子の生成過程解明研究

研究課題名(英文) Study of Analyzation for Formation Process of Diesel Nano-Particles by Bio-Diesel Fuel

研究代表者

森 一俊 (MORI, Kazutoshi)

帝京大学・理工学部・講師

研究者番号：60566941

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：ディーゼルナノ粒子排出個数は軽油よりBDFの方が少なく粒子塊が小さい事、負荷増大は排出個数の減少と粒子塊径の増大、回転数上昇は排出個数の激増と粒子塊径の増大を招き、ナノ粒子の元素状炭素比率も増大する事、DPF後の排出個数は生成時よりも激減し粒子塊径は増大、Cordierite-DPFの方がSiC-DPFに比べナノ粒子の捕集率が低く粒子塊も小さい事が判明した。DPF再生時はDOCがDPFのスト層を破壊・粒子塊を微小粒子化し大気中に排出する事、その個数は生成個数を上回るも総排出個数は総生成個数を下回り多くがDPFに堆積する事、元素状炭素一粒の粒径は軽油とBDFとも約25nmなどの成果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ディーゼルエンジンの燃焼生成後のナノ粒子が後処理装置のDOCを通過、DPFで捕集・堆積された後に大気中に排出されるプロセスとメカニズムの一端を解明した事は、学術的・社会的に意義が有る。ナノ粒子個数(PN)やナノ粒子が凝集・成長して形成するアグリゲート(一次凝集体:粒子塊)の粒径分布、粒子塊の大きさや組成を定量化出来た事も意義深い。DOCの役割を明確化出来、DPFでのナノ粒子の収支(生成と堆積と排出数)を解析、DPF強制再生時はスト層崩壊による生成数を超える微小粒子が大気中に排出されるも、大きな粒子塊はDPFに堆積するなどの排出挙動も明らかに出来た事、ナノ粒子一粒の径を求めた事も意義が有る。

研究成果の概要(英文)：It found that particle number(PN) by Bio-Diesel Fuel(BDF) is fewer than one by diesel 2D fuel(JIS2D) and cluster size of diesel nano-particles by BDF is smaller than one by JIS2D. It also found that PN decreases and cluster size increases by increase of engine loads and PN & cluster size increase by increase of engine speeds. Then it found that Elementary Carbon(EC) ratio of cluster is bigger by increase of engine loads & speeds. Furthermore it found that in the air(after DPF), PN is dramatically fewer and cluster size is bigger than one at it's formation and in the Cordierite-DPF, trapping ratio of nano-particles is lower and the cluster size is bigger comparing with SiC-DPF.

At the forced regeneration DPF, soot layer collapsed by DOC and fine particles are emitted in the air and PN of fine particle is larger than one at it's formation but total PN is fewer than one at it's formation because of trapping by DPF. It also found that the single particle size of EC is 25 ± 5 nm.

研究分野：ディーゼルエンジンの燃焼および排出ガス・燃費低減

キーワード：ディーゼルエンジン 燃焼 BDF(バイオ・ディーゼル燃料) DOC(酸化触媒) DPF ナノ粒子 粒子生成メカニズム 粒子排出メカニズム

1. 研究開始当初の背景

大気環境保全は我々人類にとって健康維持の観点から非常に重要な事は論を待たない。世界中で大気環境を維持・改善すべく自動車からの排出ガス規制が強化されて来たが、2014年、欧州に於いて自動車排出ガス規制の Euro 6 が導入され自動車から排出されるナノ粒子の個数規制(ディーゼルエンジンの 23nm 以上の粒径の粒子個数： $< 6 \times 10^{11}/\text{kWh}$)が予定された。ナノ粒子による健康への影響抑制のため、1988年に米国で開始された粒子状物質(Particulate Matter：PM)の重量規制が世界中で年々強化されて来た中で、欧州が、健康に直接的に影響を及ぼすと考えるナノ粒子の個数規制を導入したことにより、日本に於いてもナノ粒子数が規制対象となる事は明らかである。そこで、大気中に排出されるエンジンで生成されたナノ粒子の研究を推進しようとして、特に、企業時代に研究・開発・生産に携わった商用車用ディーゼルエンジンから排出されるナノ粒子の排出プロセスとそのメカニズムを解明する事とした。

そして、過給機付 3L 直列 4 気筒直噴ディーゼルを用い、将来の Carbon Neutral (CN)燃料の一つと考えるバイオ・ディーゼル燃料(Bio-Diesel Fuel：以降、BDF)とディーゼル軽油(以降、JIS2D)を燃料とし、エンジン運転条件やエンジンに装着する後処理システムの仕様を変更し、大気中に排出されるナノ粒子の個数とその粒径分布および粒子の大きさ、いわゆるナノ粒子が凝集して形成する塊(アグリゲート：一次凝集体---以降、ナノ粒子塊)の径や、ナノ粒子一粒の径、更にはナノ粒子塊の組成などを詳細に調べ、ディーゼルエンジンの燃焼で生成したナノ粒子が、どのようなプロセスやメカニズムで凝集しつつ成長し後処理システムを通過した後、大気中に排出するかを研究し、その成果によりナノ粒子の排出を抑制し大気質改善を図り、大気環境と健康影響保全に貢献しようとして決意した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、BDF と JIS2D の燃焼によりディーゼルエンジンから排出されるナノ粒子の、個数や粒径分布を計測しナノ粒子の凝集形態とその組成や構造などに及ぼす影響、およびナノ粒子生成・凝集プロセスとそのメカニズムを解明する事である。また、生成したナノ粒子が後処理システムの酸化触媒(Diesel Oxidation Catalyst：以降、DOC)を通過し、DPF(Diesel Particulate Filter)で捕集される際に凝集、DPF の壁面上に堆積しスート層を形成した後、大気中に散逸・排出されるメカニズムも明らかにする事である。更に、DPF 壁面上に形成したスート層が、エンジンの通常の運転(車両走行)中や DPF の強制再生(Forced Regeneration)時に、そのスート層が燃焼(崩壊)しナノ粒子が離脱、テールパイプから大気中に放出される挙動プロセスも解明する事である。

ナノ粒子の個数(Particle Number:以降、PN)や粒径分布およびその粒子塊の構造やその凝集・排出形態の解明は、ディーゼルエンジンから排出されるナノ粒子の低減技術、特に、後処理システム技術の開発に寄与すると共に、研究室で受け入れてた交換留学生の研究指導を通じた人材育成とアジア諸国のみならず世界中の大気質改善にも貢献出来る考えた。

3. 研究の方法

実験装置には、過給機付 3L 直列 4 気筒直噴ディーゼルを選定した。エンジンは EGR 付で、後処理システムは、DOC を前段に DPF を後段に直列に配置した。DOC は白金とパラジウムを担持、DPF の材料として、気孔(Porosity)率と MPS(Mean Pore Size)が大きい Cordierite と、相対的に小さく均一な SiC を選定した。燃料としては市販のディーゼル燃料の JIS2D と CN 燃料と言える BDF(廃食油 & Palm Oil ベースの 2 種)を用いた。FAME(Fatty Acid Methyl Ester)化した BDF の酸素含有量は約 11%である。エンジンオイルには市販の 10W-30 合成油を用いた。

エンジン運転条件(負荷と回転数)を変更しつつ、エンジンの後処理システムとして、DOC の装着有無の条件で Cordierite-DPF か SiC-DPF を組合せ、大気中に排出される PN とその粒径分布および大きさ(ナノ粒子塊の大きさやナノ粒子一粒の大きさ)、更にはナノ粒子塊の組成・構造などを詳細に調べた。特に、通常のエンジン運転で DPF にナノ粒子が捕集され堆積する条件と、DPF 壁に空いた気孔がナノ粒子(スス)で閉塞し、結果としてエンジン破損に繋がる可能性を排除するため、エンジンの負荷を増大し回転数を上昇させて行う DPF 強制再生(Forced Regeneration)条件に於けるナノ粒子や粒子塊の大気への排出挙動を詳細に調査し、DPF に堆積する PN と大気中に排出される PN の収支も把握した。EGR 装着有無の場合での調査も遂行した。そしてディーゼルエンジンの燃焼で生成するナノ粒子が凝集・成長し、後処理システムを通過し大気中に排出されるプロセスやメカニズムを解明すべく研究を進めた。

各粒径毎の PN と粒径分布の計測装置は、自動車排出ガス微粒子個数濃度計測システムの

SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer)モデル 3938 (測定対象 4.61~162.5 nm)と ELPI+(Electrical Low Pressure Impactor : 計測対象 6 nm~10 μ m)を用い、総粒子個数濃度(総粒子個数 : 総 PN)計測は CPC(Condensation Particle Counter)モデル 3772 を用いて計測した。ナノ粒子組成分析には、Sunset Laboratory 社製カーボンエアロゾル分析装置を用いた。排気管中に配置したボルトに付着させたナノ粒子をフィルターに転写・採取したナノ粒子塊の観察・撮影・粒径計測は、凝集形態の観察などに走査型電子顕微鏡 FE-SEM(Field Emission-Scanning Electron Microscope)&透過型電子顕微鏡(TEM : Transmission Electron Microscopy)を用いた。

ただし、エンジンから排出された PN と粒径分布と、後処理装置後の大気に排出されたそれらの同時計測は行えず、一度エンジンを停止し、都度サンプルプローブを差し替え、同一条件でエンジンを運転して計測した。

4. 研究成果

(1)エンジンで生成されるナノ粒子個数(PN)と粒子塊の大きさ ;

エンジンで生成する PN はエンジン運転条件により異なるが、BDF の燃焼による総 PN は、JIS2D より 60~80%少ない。ナノ粒子が凝集・成長して形成されたアグリゲート(1次凝集体;以下粒子塊と称す)が凸型を示す粒径分布の中で、排出 PN の最大値(ピーク)を取るナノ粒子塊の大きさは、エンジン負荷 200Nm/1,800rpm の運転条件で JIS2D を用い EGR の装着が無い場合、53 \pm 2 nm、BDF は 47 \pm 3 nm、EGR 付では、JIS2D で 74 \pm 6 nm、BDF が 50 \pm 2 nm となり、EGR の装着が有る場合と BDF より JIS2D の方がナノ粒子塊の大きさが大きい。

EGR 装着により粒子塊が増大する理由は、EGR の導入により酸素濃度と燃焼温度が低下し、燃焼が緩慢化するためであり、JIS2D に比べ BDF の PN が少なく粒子塊が小さい理由は、BDF は燃料中に酸素を含有するため(含酸素燃料)空気/燃料の比率(空燃比)が大きく、局所的に燃焼が活性化し粒子塊の周辺の粒子を燃やして小さくするためで、EGR 付の場合での BDF の粒子塊の増大率が JIS2D より小さい理由も同様で、含酸素燃料の有効性が改めて確認出来た。

なおパーム油&廃食用油ベースの BDF の総 PN は同じだが、リノール酸とリノレン酸が少ないパーム油 BDF の方が微小な粒径の粒子の排出個数が多く、かつその組成も EC (Elementary Carbon:元素系炭素)よりも OC(Organic Carbon:有機系炭素)の比率が高い事が判った。

(2)エンジンの運転条件(負荷と回転数)変化がナノ粒子数(PN)と粒子塊の大きさに及ぼす影響 ;

エンジン負荷が増大(100Nm \Rightarrow 280Nm/1,800rpm)すると総 PN は減少(JIS2D : 約 18%、BDF : 約 48%)し、排出 PN のピークを取る粒子塊は大きく(JIS2D:50 \Rightarrow 54nm、BDF:44 \Rightarrow 46~50 nm)なる。また、エンジン回転数が上昇(1,800 \Rightarrow 3,000rpm/280Nm)すると、総 PN は激増(JIS2D:約 5 倍、BDF : 約 24 倍)する。個数は少ないものの大きな(巨大な)粒径を持つ粒子の PN(300nm~10 μ m)の粒子塊の個数も増大すると共に、排出 PN のピークを取る粒子塊も大きく(JIS2D:54 \Rightarrow 65 nm、BDF:50 \Rightarrow 55 nm)なる。

その理由は、燃料量を増やしエンジン負荷が増大し空気と混合した燃料の燃焼が進み、燃焼温度の上昇に伴う燃焼で PN は減少するが、同時に空気/燃料の比率(空燃比)が小さくなり多量の燃料の燃焼のために空気が局所的に不足し燃焼が緩慢化、粒子塊の生成が促進すると共に生成したナノ粒子塊は燃え切れず(再燃せず)に凝集が進むため、PN が減り粒子塊が大きくなると考察する。

回転数が上昇するとピストン速度が上昇、エンジン筒内で空気と燃料が混合する時間が不足しナノ粒子の生成が進み、生成ナノ粒子が凝集・成長し粒子塊となるが、その粒子塊が燃え切る時間(再燃時間)が短くなるため、結果として総 PN も粒子塊の大きさも増大すると考察する。

BDF は含酸素燃料のため IS2D より PN は低減し粒子塊サイズは小さいが、3,000rpm 時は混合・燃焼時間不足の影響で未燃燃料が燃え切れずに PN が激増し JIS2D 並みとなると考察する。

(3)ナノ粒子の組成 ;

ナノ粒子塊の組成を見ると、エンジンの負荷増大(100 \Rightarrow 280Nm/1,800rpm)に伴い EC 比率が増大(JIS2D : 44 \Rightarrow 61.4%)し、回転数上昇(1,800 \Rightarrow 3,000rpm/280Nm)と共にやはり EC 比率が増大(JIS2D : 61.4 \Rightarrow 75%、BDF:14.2 \Rightarrow 64.4%)する。含酸素燃料の BDF は JIS2D に比べ EC 比率が低く OC 比率が高い。

その理由は(2)で述べたが、負荷増大と回転数上昇に伴う燃焼温度上昇と空燃比の低下と混合・燃焼(再燃)時間の短縮に伴う EC の増大だが、含酸素燃料の BDF は燃料の燃焼を活性化し EC の生成を抑制する。そして BDF は含酸素燃料ゆえ筒内の空気が増大するため、局所的に燃焼温度が低減し未燃の燃料粒子が多くなる事から OC 比率が高くなると考察する。

(4)後処理装置(DOC+DPF)を通過し大気に排出されるナノ粒子数(PN)と粒子塊の大きさ ;

DOC + Cordierite-DPF の装着により大気中に排出される PN は、エンジン運転条件 200Nm/1,800rpm(280Nm/1,800rpm)で燃料に JIS2D を用いた場合、エンジン生成 PN 量に対し、99.2(96)%、BDF の場合は、97.8(87)% 低減、SiC-DPF 粒子装着時は、JIS2D を用いた場合、99.9(99.8)%、BDF の場合は、99.9(99)% 低減する。ナノ粒子低減に DPF が非常に有効な事が判

るが、負荷の増大に伴いDPFで捕集されるPNは低下し大気中に排出される総PNが増大する。またJIS2Dに対しBDFの低減率(DPFのPN捕集率)は低く排出PNが相対的に多い事が判る。

負荷の増大に伴いDPFのPN低減率が低くなる理由は、エンジン負荷増大に伴う排気ガス流量(SV比)の増大に加え、排気温度上昇(DPF出口温度：325⇒360°C)から明らかな様に、DOCの活性化によりDPFで捕集・堆積するナノ粒子が減少するためと考察する。

EGR装着が無い場合、エンジン運転条件200Nm/1,800rpm(280Nm/1,800rpm)で、粒径分布は上に凸形状を示し、その排出PNのピークを取るナノ粒子塊の大きさは、DOC+Cordierite-DPF装着時のJIS2Dで75~76(80)nm、BDFで60(70)nm、DOC+SiC-DPF装着時はJIS2Dで85(85~95)nm、BDFでは70(80~90)nmを示し、エンジン生成時のナノ粒子塊より増大する。EGR付のデータは少ないが200Nm/1,800rpmの条件で、DOC+Cordierite-DPF装着時のJIS2Dで80nm、BDFで71nm、DOC+SiC-DPFではJIS2Dで108nm、BDFでは89nmと増大する。

粒子塊が大きくなる原因は、DPF壁面上に捕集・堆積したナノ粒子の凝集が進み成長するため、SiC-DPFの方がCordierite-DPFより粒子塊が大きいのは、SiC-DPFの気孔率とMPSが小さいため、相対的にDPF壁面上の滞留時間が長くなりナノ粒子の凝集・成長が更に進み、増大化した後に大気中に排出されるためと考察する。

また、エンジン生成PNがJIS2Dより少ないBDFのPN低減率(DPFのPN捕集率)が低下(大気中に排出されるPN増加)する事と、BDFの粒子塊がJIS2Dより小さい理由は、(1)~(3)項で述べた含酸素燃料に起因するが、BDF燃焼により生成したナノ粒子がDPF壁面上に堆積し形成するスート層のOC比率が高い可能性も考えられる。

(5)DOCの効果：

JIS2Dの燃焼に伴うエンジン生成総PNは、EGR装着が無い場合、DOCを通過すると約17%低減するが、EGR付の場合では、逆に約44%も増加、50nm以上の大きな粒子塊の個数が増加している。その結果、排出PNピークを取る粒子塊の大きさも増大(70⇒91nm)する。

EGR装着に伴うDOCによるPN増大と粒子塊が大きくなる理由は、DOCの活性化により、大きな(巨大な)粒子塊が燃焼・小径化し、結果として小さな粒子や相対的に小さな粒子塊を多量に形成したためと考察する。200Nm/1,800rpmの条件の下、JIS2Dを用いたEGRの装着が無い場合にEGR付に比べてPNが低減する原因は、エンジンで生成された粒子塊がOC由来の燃焼し易い粒子組成や構造に起因すると考え、その粒子塊がDOCにより燃焼するためと考察する。

後処理装置にDOCの装着が無くDPF単独配置の場合、通常運転でのDPFへの粒子捕集・堆積時とDPF強制再生時に於けるPN低減率は、Cordierite-DPFでそれぞれ、99.997%と99.996%、SiC-DPFでは99.993、99.988%を示し、両DPFとも50nm以下のナノ粒子は100%DPFに堆積、80nm以上の大きな粒子塊も、エンジン生成PN分の99.2%以上がDPFで捕集・堆積される。DOCの装着が無い場合にはDPFでのナノ粒子捕集中に、6~12nmや80~120nmの大小の粒径を持つナノ粒子がパルス的に排出されるが、ナノ粒子の殆どがDPFに堆積し続ける事が明らかで、DPFが詰まり破損に繋がる恐れが残る。DOCはDPFの詰まりを抑制、ナノ粒子堆積によりDPF壁面上に形成されたスート層を燃やし大気中に排出する事で、DPFの連続再生を実現する(DPF利用の継続性)効果を持つ事が判明した。更に、(7)項で後述するが、DPFの強制再生に於けるDOCの貢献が大きい事も判明した。

(6)DOCを通過しDPFに捕集・堆積され大気中に排出されるナノ粒子の収支：

エンジン一定の運転条件(280Nm/1800rpm)下での、粒子のDPF壁面への捕集・堆積プロセスでは、エンジンで生成された粒子の多くがDPFで捕集され堆積する事が判明し、その捕集率は(4)項に示したが、粒子径毎の生成と排出粒子収支(DPF堆積個数)から粒子の挙動を解明した。

JIS2DもBDFも小さな粒子がDPFに堆積し大きな粒径を持つ粒子塊が排出される傾向は同様だが、既述の如くJIS2DよりもBDFが多くPNを大気中に放出する。DOC+Cordierite-DPFでは80nm以上の大きな粒径を持つ粒子塊の排出個数は、JIS2Dがエンジン生成個数の約7%なのにBDFでは約28%に達する。DOC+SiC-DPFではそれぞれ約0.5%、約3.5%を排出、BDFの方がDPFへの粒子堆積率が低くエンジン生成時にはPNを低減するBDFが、DPFでの捕集・堆積率は低く多くの粒子を大気中に排出する事が判る。ただし(5)項で述べたが、JIS2DでDOCが未装着の場合には、殆どがDPFに堆積し50nm以上の粒径粒子が僅か、約0.05%、80nm以上の粒子で約0.5%しか排出されない事から、BDFの結果はDOCとBDFの相乗効果である事が示唆される。

粒子塊の大きさは(4)項でも述べたが、DOC+Cordierite-DPFを装着時はJIS2Dで78±2nm、BDFで68±4nm、DOC+SiC-DPF装着で、JIS2Dは90±5nm、BDFで85±5nmと纏めた。DPFに堆積しスート層を形成するナノ粒子の粒径分布は燃料性状に、DPFから大気中に排出されるPNやその排出PNピーク粒径は、燃料性状とDPF仕様(気孔率やMPS)に起因する事が示唆された。

(7)DPFの強制再生時のナノ粒子の大気への排出挙動とナノ粒子の収支：

DOC+SiC-DPFを装着しJIS2Dを用い、ナノ粒子を堆積させたDPFのエンジン負荷を200Nm/1,800rpmから、280Nm/1,800rpmに増加、その後エンジン回転数を3,000rpm迄上昇させてDPFの再生を行った。再生スタート時のDOC入口温度は328°C、負荷280Nmに増加時は353°C、そして回転数3,000rpmでは580°Cに達し、DPF出口の排気温度はそれぞれ、290°C、317°C、528°Cを示し再生条件を満たす事が判る。再生スタート時の200Nm/1,800rpmに対し

280Nm/3,000rpm では燃料量の増大が 2.4 倍、かつ 280Nm への負荷増大時には総 PN が 12%減少 (2)項参照)するにも関わらず、総排出 PN は 69 倍に激増した。

強制再生プロセス中のナノ粒子排出挙動を見ると、280Nm への負荷増大時には小さな粒子の排出は認められず、大きな粒子塊の粒子が排出されるが、回転数が 2,280rpm に上昇すると 10nm 以下の小さな粒子の排出と、大きな粒子の排出が認められ、3,000rpm に達すると 10nm 以下の小さな粒子が激増し 80nm 以上の大きさの粒子塊の排出も増大、小さな粒子と大きな粒子塊を排出 PN ピークとする 2 山形状を呈する。

DPF の強制再生プロセスに於けるナノ粒子の排出挙動は、DPF に堆積しスート層を形成していた粒子がスート層崩壊後に大きな粒子塊として大気中に排出され、出来た空隙から小さな粒子の排出が続き、小さな粒子径と大きな粒子塊の 2 つの排出ピークを取る事が判明した。

JIS2D を用いた DOC + Cordierite-DPF の場合は約 14nm を、DOC + SiC-DPF の場合は約 12nm をピークとする微小粒子(23nm 以下の)が多量に大気中へ排出され、排出 PN がエンジン生成 PN を越える。この現象は DPF に形成されたスート層の崩壊により生成された粒子が排出された事を示唆している。しかし 23nm 以上の排出 PN はエンジン生成 PN より少なく約 99%以上が DPF に堆積する。DOC + SiC-DPF では 10nm 以下の生成 PN 分の約 56%が排出(44%は DPF に堆積)され、DOC + Cordierite-DPF の場合と同様 23nm 以上の生成 PN 分の 90%以上が SiC-DPF に堆積する。

BDF を用いた場合、DOC + Cordierite-DPF では 10nm 以下の生成 PN 分の約 95%が DPF に堆積し、残りの 5%のみが排出されるが、80nm 以上の生成粒子塊分は JIS2D の場合とは異なり約 7%が排出される。DOC + SiC-DPF の場合には DOC + Cordierite-DPF に比べ DPF への堆積率が高く、10nm 以下と 80nm 以上の生成 PN 分のそれぞれ約 1%のみが排出される。

ところで、BDF を用いた場合は両 DPF とも微小粒子の排出 PN は JIS2D よりも低減するが 30nm を越える大きな粒子の大気への排出 PN は JIS2D よりも多い。BDF のこの現象は、含酸素 BDF の燃焼で生成し DPF に堆積してスート層を形成した OC 比率の高い粒子が、520℃を越える DOC 入口温度と排気ガス流量(SV 比)の増大との相乗効果で、スート層が壊されて排出ピークを取る粒子径の粒子の PN が増大するためと考察する。

DPF を再生する場合には DOC の装着が有効な事が判明し、DPF の再生時に大気中に排出されるナノ粒子の排出メカニズムの一端が解明出来たが、排出される粒子塊の PN ピーク粒径は、エンジン定常運転中(粒子堆積時)の粒径とほぼ同一となり、JIS2D と BDF を用いた場合それぞれ、DOC + Cordierite-DPF で 80nm と 70nm、DOC + SiC-DPF で 95nm と 85nm を取る。

(8)ナノ粒子一粒の径；

排気管中に配置したボルトに付着させたナノ粒子をフィルターに転写・採取した粒子塊を透過型電子顕微鏡 TEM で観察・撮影・計測した結果、EGR 装着が無い条件で、エンジン運転条件、燃料および後処理装置の仕様(有無)に関わらず、EC の一粒の粒径は 25 + 5nm と考察する。

(9)ディーゼルナノ粒子生成から後処理装置を通過し大気へ排出されるプロセス纏め；

図 1 にエンジン生成から後処理装置から排出する JIS2D と BDF の排出 PN ピークを取る粒子塊の粒径の経緯を、図 2 にエンジン生成から大気へ排出される粒子の旅路を纏める。

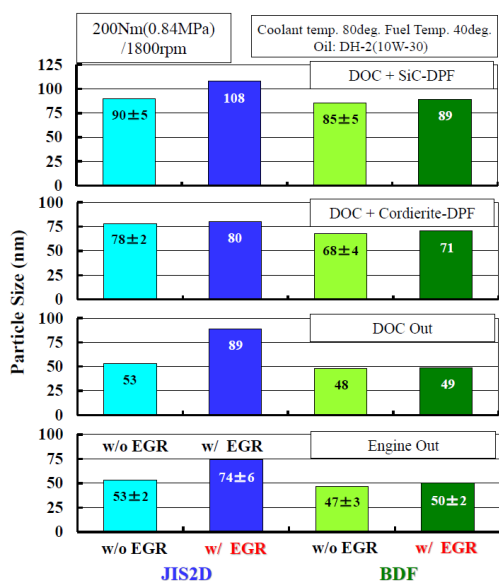


図 1 JIS2D&BDF のナノ粒子塊の粒径の経緯

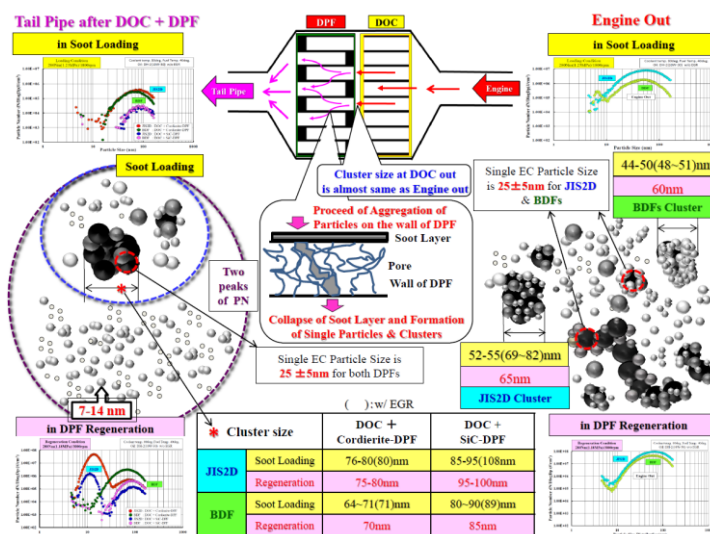


図 2 ディーゼルナノ粒子の大気への旅路

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 森 一俊
2. 発表標題 Journey of Diesel Nano-Particles through After-Treatment System
3. 学会等名 FISITA2023 World Congress (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森 一俊
2. 発表標題 ディーゼルナノ粒子の大気への旅路
3. 学会等名 第33回内燃機関シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森 一俊
2. 発表標題 誕生したディーゼルナノ粒子の大気への旅路
3. 学会等名 自動車技術会 大気環境技術・評価部門委員会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森 一俊
2. 発表標題 ディーゼルナノ粒子生成・排出に及ぼす燃料とエンジン負荷・回転数の影響に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会2021年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森 一俊
2. 発表標題 Study for Effects of Fuels and After-Treatment Systems on Formation Process of Particles from a Diesel Engine
3. 学会等名 FISITA2021 World Congress (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森 一俊
2. 発表標題 ディーゼルナノ粒子の排出挙動に及ぼすDOC(酸化触媒)の影響に関する研究
3. 学会等名 2021自動車技術会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森 一俊
2. 発表標題 ディーゼルナノ粒子の排出挙動に及ぼすDPFの影響に関する研究
3. 学会等名 第32回内燃機関シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森 一俊
2. 発表標題 ディーゼルナノ粒子の生成と排出挙動に及ぼすバイオ・ディーゼル燃料(BDF)と後処理装置の影響に関する研究
3. 学会等名 第31回内燃機関シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Vo Hoang Sang
2. 発表標題 Study for the effect of the combination of Biodiesel Fuel and After-treatment system on Nano-particles exhausted from Diesel Engine
3. 学会等名 2019自動車技術会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sephthio Trifosa Persisco
2. 発表標題 Study for the Effect of BDF (Bio-Diesel Fuel) on Formation of Particles of Diesel Engine
3. 学会等名 2019自動車技術会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Do Tan Dat
2. 発表標題 Study for the Effects of After-treatment Systems and Engine Loads on Nano-particles from Diesel Engine
3. 学会等名 2019自動車技術会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sephthio Trifosa Persisco
2. 発表標題 Study for the Effect of BDFs (Bio-Diesel Fuels) on Formation of Particles and Exhaust Emissions of Diesel Engine
3. 学会等名 2019自動車技術会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩井 宏樹
2. 発表標題 ディーゼルエンジンから排出される ナノ粒子に及ぼす燃料と後処理装置の影響研究
3. 学会等名 第30回内燃機関シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Do Tan Dat
2. 発表標題 Study for the Effects of Diesel Oxidation Catalysts on Particles Emitted from Diesel Engine
3. 学会等名 2020自動車技術会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩井 宏樹
2. 発表標題 各種燃料がディーゼルエンジンから排出されるナノ粒子形成に及ぼす影響研究
3. 学会等名 2020自動車技術会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

自動車技術会2023年春季大会に於いて、これまでの教育(アジア諸国からの留学生の指導や海外大学との協働含む)と研究(企業時代のディーゼルエンジンの研究と大学に於ける科研費に基く今回の研究成果を含む)への貢献を認められ、2022年度の自動車技術会「学術貢献賞」を受賞出来た。技術的意義と社会的意義の両方を満たせた成果と考える。

2015年以降、国際化を推進する大学の動きに協働してアジア諸国(インドネシア、ベトナムおよび中国)やトルコおよびメキシコの大学を訪問し学生への講義を行いつつ、積極的に海外からの留学生を研究室に受け入れ、日本人学生との交流を図りつつ採択された科研費を活用し研究を推進、国際交流と人材育成に貢献出来たことは、社会的意義が深いと考える。

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------