

学位論文審査結果の要旨

専攻主任



博士（工学） 申請者 北川 浩史

審査委員

主査 教授 登坂 茂
副査 教授 小川 英之（北海道大学大学院）
副査 教授 高島 敏行
副査 教授 一ノ宮 修

燃料性状からの微粒子低減に関する研究

ディーゼル機関は、ガソリン機関に比べて熱効率が高いことから、一酸化炭素、未燃炭化水素の排出量が少なく、地球温暖化の原因物質でもある二酸化炭素の排出量削減の面でも期待されている。

しかし、環境保護の観点からディーゼル機関より排出される窒素酸化物（NO_x）と微粒子（PM）の低減が緊急の課題となっているが、両者はトレードオフの関係にあり、燃費を悪化させることなく両者を低減させるためには、燃焼室内において微粒子の低減を図り、NO_xは触媒によって低減を図ることが望ましいと考えられる。

燃焼室内における微粒子低減法として、燃料に含酸素物質を用いると微粒子が大幅に低減されることが報告されている。これは、燃料分子中に存在する酸素により微粒子の生成過程に影響を及ぼすためと考えられるが、微粒子の低減機構・低減効果は十分に明らかとはされていない。

また、燃料性状から微粒子の低減を図る際には、燃料性状とPMの生成機構・生成特性の関連を明らかにする必要がある。

一方、当面はPM低減対策としてDPF（Diesel Particulate Filter）による捕集方法がとられると考えられる。DPFは、PMを一定量捕集した後、燃焼除去して再生しなければならないため、燃料性状の違いによって生成されるPMの再燃焼温度にどのような影響を及ぼすかを明らかにする必要がある。

本論文は、前述した背景をもとに、燃料性状からディーゼル機関排出微粒子の低減を図る手法として、燃料に含酸素物質を混合した際の微粒子低減機構・低減特性に及ぼす燃料、および含酸素物質の性状の影響を解明することと、燃料性状と微粒子生成機構・生成特性の関連、ならびに燃料性状と生成される微粒子の再燃焼特性の関連を解明し、微粒子低減のための燃料要求性状を明らかとする事を目的として行ったものである。

本論文は全7章から構成されており、第1章は序論であり、研究の背景ならびに目的について述べると共に、燃料性状が微粒子の生成過程に及ぼす影響に関する研究の動向、酸素系燃料による微粒子低減に関する研究の動向について記述した。

第2章では、本研究で用いた各種熱分解装置、ならびに反応流動管装置、各種ガス成分の測定装置、微粒子の測定法、再燃焼温度の測定法などについて記述した。

第3章では、含酸素物質が微粒子の低減機構・低減特性に及ぼす影響を検討するために、燃料分子中に53%の酸素を含むDMC（ジメチルカーボネート）を熱分解装置により種々の雰

囲気で熱分解し、燃料成分から PM の前駆物質である PAH (多環芳香族炭化水素) に至る過程で含酸素物質中の酸素が PAH の低減過程・低減機構に及ぼす影響について検討を行った。その結果、DMC を混合することにより、熱分解が促進されるが、高温域において、燃料の熱分解によって生成される不飽和の低沸点炭化水素 (LHC) が含酸素物質中の酸素により酸化、減少することによってベンゼンの生成量が減少し、ベンゼンの重縮合・多環化を抑制することが PM 抑制機構の主要因であることを明らかとした。

第 4 章では、含酸素物質を混合した際の微粒子抑制機構・抑制特性に及ぼす燃料性状の影響について検討を行った。対象燃料には微粒子生成機構・生成特性の異なる脂肪族鎖式の 1-ヘキセン (C_6H_{12})、脂肪族環式炭化水素シクロヘキサン (C_6H_{12})、ならびに芳香族炭化水素ベンゼン (C_6H_6) に、含酸素物質として DEC (ジエチルカーボネート) を用いて実験を行った。その結果、脂肪族系の炭化水素に DEC を混合した場合には、DEC 中の酸素により熱分解が促進され、不飽和の LHC が増加するためにベンゼン環が多く生成され、これらの多環化により PAH、PM の生成が促進されるが、混合割合がある程度以上になると酸化反応が促進し、アセチレンが減少するために、ベンゼン環の生成量が減少し、PM の生成が抑制される。また、芳香族炭化水素のベンゼンは、単体では分解されることなく直接重縮合・多環化することによって PAH を経て PM が生成されるが、DEC を混合した場合には DEC の熱分解によって生成される LHC がベンゼン環に側鎖として付加し、アルキルベンゼン類が生成されるため、ベンゼンが直接重縮合・多環化することを抑制し PM が減少することを明らかにした。

また、含酸素物質の性状が微粒子の低減過程・低減機構に及ぼす影響について調べるために、微粒子生成機構・生成特性の異なる脂肪族鎖式の 1-ヘキセン (C_6H_{12})、ならびに芳香族炭化水素のベンゼン (C_6H_6) を対象に、含酸素割合がほぼ一定で炭素数・分子構造の異なる炭素数 5 のカーボネート系の DEC (ジエチルカーボネート)、エーテル系の DGME (ジエチレングリコールモノメチルエーテル)、ならびに炭素数 7 のアセテート系の PGDA (プロピレングリコールジアセテート) を対象に、微粒子抑制機構・抑制特性に及ぼす含酸素物質の性状が及ぼす影響の検討を行った。その結果、含酸素物質の炭素数・分子構造により PM の低減効果は幾分異なり、炭素数が小さい含酸素物質の方が抑制効果は高いと言えるが、その要因は炭素結合の解離エネルギーが異なり、含酸素物質の熱分解に差が生ずることによるものと言える。

第 5 章では、炭素数・分子構造の異なる種々の炭化水素が混合されている実用燃料を対象に、燃料性状の違いによる微粒子の生成機構・生成特性を調べた。実験には芳香族成分含有割合の違う JIS # 2 (20.3-wt%)、カスタム燃料 Class-1 (3.8 wt%)、そして芳香族成分を全く含まない GTL-CN55 (0.0wt%) の 3 種類の燃料、ならびに芳香族成分を含まない脂肪族系燃料であり、50% 留出温度の異なる F175、F210、F260、F290 の 4 種類、計 7 種類の燃料を対象として反応流動管装置を用いて実験を行った。その結果、PM の生成特性は、ほとんど分解することなく直接重縮合多環化し PM に至る芳香族炭化水素の含有割合に大きく支配され、PM の低減を図るためには、燃料中に芳香族炭化水素成分を含まない成分で構成することが有効であることが明らかになった。

また、脂肪族燃料であっても燃料性状により微粒子生成特性が異なり、50% 留出温度が低い燃料ほど、微粒子生成量が少なくなることから、微粒子の抑制を図るためには、留出温度が低い燃料、すなわち沸点の低い炭化水素の含有割合を多くすることが有効であることが明らかになった。

第 6 章では、燃料に含酸素物質を混合した際に生成される PM、ならびに燃料性状を変化させた場合に生成される PM が、DPF の PM 再燃焼温度に及ぼす影響を検討するために試作した微粒子再燃焼実験装置を用いて、燃料性状が微粒子再燃焼温度に及ぼす影響の検討を

行った。その結果、微粒子の再燃焼温度は、燃料性状によって幾分異なるが、いずれの燃料においても高い温度で生成される微粒子ほど再燃焼温度が高くなることを明らかにした。

第7章は本研究の結論であって、得られた結果を総括した。

以上のように、本論文は、燃料性状からの微粒子生成機構・生成特性の検討を行い、含酸素物質を混合した場合の微粒子抑制機構・抑制特性、ならびに微粒子低減のための燃料要求性状を明らかにしたものである。また、燃料性状を変化させた場合に微粒子再燃焼温度が異なることを明らかにしたものである。これはディーゼル機関の熱効率を低下させることなく、燃料性状から微粒子低減対策を提案したものであり、内燃機関工学の発展に寄与するものである。

よって、筆者は博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。