学位論文題名

ガソリンエンジンにおける排気成分の生成および
排気系内酸化反応に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は、1960年代後半、それまで技術革新とエネルギー大量消費に支えられて発展を続けてきた産業活動のマイナス面としての公害問題が顕在化し、世界的に環境保護に対する関心が高まってきたのをうけ、大気汚染物質としての自動車用エンジンのHC, CO, NO_x等を低減することを目的として、エンジンの自体の改良・改善を中心に行った種々の実験・研究の結果について論述したものである。

自動車に輸送手段としての機能が第一に求められていた過去数十年の間、エンジン技術者にとっての重要課題は、エンジンの耐久性と信頼性を高め、出力と燃料消費率とを向上させることであった。これらの努力の積み重ねの結果、高性能エンジンが開発され、自動車のめざましい進歩と普及につながったといえる。一方、排気清浄化については初めて取り組む課題であり、実用エンジンの設計実務に活用できる経験や技術蓄積はほとんど無いといえる状態であった。

そうした中で、エンジン主要諸元ならび点火方式が排気成分、とくにNO_xの生成におよぼす影響を定量的に把握するとともに、排気系におけるHC, COの反応機構を解明することは、排気清浄化技術を確立していく上で重要課題であった。

そこで、従来型エンジンの主要諸元である行程内径比や圧縮比がNO_xの生成・排出にどのような影響をおよぼすかを詳細に検討するとともに、燃焼形態が異なると考えられたトーチ点火方式エンジンの燃焼特性を研究して、総合希薄混合気燃焼の安定的実現によって、NO_xの大幅な低減の可能性を追求した。さらに、最終的にエンジンから排出されるHC, COを低減するために、排気系におけるHC, COの酸化反応機構を解明すべく、リッチリアクタならびにリーンリアクタの特性について実験・研究を実施し解析を行った。

論文は8章26節から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的、ならびに得られた成果の概要を述べ、その特徴と意義を明らかにするとともに、エンジンの主要諸元ならびに点火方式と排気成分の生成および排

気系における酸化反応に関する従来の研究の動向について論述した。

第2章では、本研究に用いた燃焼解析用の単気筒エンジンおよび生産車用4気筒エンジンの構造、仕様ならびに排気系内酸化反応の解析実験に用いた実験装置、実験方法について記述した。

第3章では、従来型の燃焼室構造と点火方式を持つガソリンエンジンの主要諸元である行程内径比および圧縮比が、出力および排気成分、とくに NO_x 排出量におよぼす影響について明らかにした。すなわち、単気筒エンジンによる実験結果および単純化したサイクル計算の結果をもとにした考察から、行程内径比を大きくしたり圧縮比を高くすることにより熱効率が上昇し、 NO 濃度は高くなるが出力が大きくなること、吸入空気量を少なくしたり点火時期を遅らせたりすることにより出力を同一にすることが可能であること、その結果、 NO 排出量はむしろ減少することが明らかとなった。また、Wiebeの式をもとに、熱発生率の違いが出力および NO_x におよぼす量的関係を検討して、 NO_x 低減のためには燃焼期間が長いこと、初期燃焼割合が少ないことが望ましいことを示した。

第4章では、従来型の点火方式に比べ、燃焼形態が大きく異なると考えられるトーチ点火方式について、単気筒エンジンを用いて出力および排気成分、とくに NO_x 排出量の特性を検討し、次の点を明らかにした。トーチ点火エンジンは総合空燃比の希薄域でも燃焼の安定性が良く、点火時期をかなり遅らせても安定した燃焼特性が得られる。また、比較的ガス温度が高くなると考えられる点火栓付近が酸素不足の状態にあることに加え、燃焼が緩やかであることなどの理由により NO_x 低減の面では優れた可能性を持っている。これらの特性は主要運転変数である副室入口空燃比に大きく依存するので、実用化には副室への燃料供給精度の確保が課題であり、また、副室を設けたことにより熱損失が増大すること、ならびに、排気温度が低くなるため排気系内酸化反応による HC の低減が困難になることなどの問題点が残ることを指摘した。

第5章では、過濃混合気燃焼の排気中に二次空気を導入した場合について実験を行い、次のことを明らかにした。すなわち、リッチリアクタの場合、リアクタ入口温度および二次空気量（酸素濃度）が HC 、 CO の酸化反応におよぼす影響がきわめて大きい。 HC は二次空気導入直後から減少するのに対し、 CO はある遅れ時間の後減少を始める。また、入口 HC 温度が低いほど CO の減少は早く始まる。このことは、 CO 濃度が十分に高いリッチリアクタにおいても HC が CO の反応に影響し、 HC 濃度はむしろ低い方が有利であることを示している。さらに、 NO は酸化反応に影響をおよぼし、ある NO 濃度のもとで酸化反応は最も速くなる。また、この NO の影響は排気温度が低いほど顕著であることを確認した。

第6章では、希薄混合気燃焼の排気中における酸化反応について種々な要因の影響を系統的に

検討した。希薄混合気で運転するいわゆる希薄燃焼エンジンは燃費改善のうえで大きな効果が期待できる。この場合、排気系に二次空気を導入する必要はないが、排気温度が低く酸化反応の面からは厳しい条件となる中で、次のことを明らかにした。すなわち、リーンリアクタの場合、HCは単調に減少するのに対し、COはいったん増加し最大値に達した後に減少に移る。HCの中間生成物としてCOができる反応が進み、HCがほぼ無くなった時点でCOがCO₂になる反応が顕著になる。さらに、NOは酸化反応に影響をおよぼし、ある濃度のもとで反応速度は最も速くなること、このNOの影響は排気温度が低いほど大きいことを確認した。その他、HC、COの反応についてアレニウスの式が成り立つことを確かめ、総括的活性化エネルギーの値を求めた。

第7章では、酸化反応の途中でCOが生成されて初期値より増加したり、NO濃度によってHCの反応が促進されることなど、実験で観察された現象を検討するために、希薄混合気燃焼の排気中における反応について基礎方程式をもとに数値計算を行った。その結果、反応初期にラジカルが急増しHC、COはラジカルが多い時期に反応すること、HCが酸化する際に中間生成物としてCOができること、NO濃度が酸化反応の速さに影響することなど、実験事実をうらづけるとともに、実験では不明であった反応の機構について考察を加えた。

第8章は結論であり、本研究で得られた成果を総括した。

学位論文審査の要旨

主査	教授	村山	正
副査	教授	宮本	登
副査	教授	伊藤	献一
副査	教授	吉田	宏

本論文は、自動車用エンジンから排出されるHC、CO、NO_x等を低減することを目的として、エンジン自体の改良を中心に行われた一連の研究結果について論述したものである。

すなわち、エンジン主要諸元ならびに点火方式が、排気成分、とくにNO_xの生成に対して及ぼす影響を定量的に把握するとともに、排気系におけるHC、COの反応機構を解明することを目的として、行程内径比や圧縮比が、NO_xの生成・排出に対して及ぼす影響について詳細な検

討を加えるとともに、トーチ点火方式を採用するエンジンの燃焼特性を研究して、希薄混合気の安定燃焼を実現するとともに、大幅な NO_x 低減の可能性を追求している。さらに、エンジンから排出される HC および CO を低減することを目的として、排気系における HC および CO の酸化反応機構を解明し、リッチリアクタならびにリーンリアクタの特性について、一連の実験・研究を実施して解析を行っている。

論文は 8 章 26 節から構成されている。すなわち；

第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的、ならびに得られた成果の概要について述べ、その特徴と意義とを明らかにするとともに、それに関連する研究の動向について論述している。

第 2 章では、供試エンジンの構造、仕様、ならびに排気系内酸化反応の解析に用いた実験装置、および方法についての記述がなされている。

第 3 章では、行程内径比および圧縮比が、出力および排気成分、とくに NO_x 排出量に対して及ぼす影響について明らかにしている。すなわち、単気筒エンジンによる実験装置、およびサイクル計算の結果をもとに行った考察から、行程内径比を大きくしたり、圧縮比を高くすることにより、熱効率が向上して NO 濃度は高くなるが、出力も大きくなるので、同一出力で比較すると、NO 排出量はむしろ減少することを明らかにしている。また、NO_x 低減のためには、燃焼期間が長いこと、および初期燃焼割合が少ない熱発生率が望ましいことを示している。

第 4 章では、トーチ点火方式について、出力および排気成分、とくに NO_x 排出量の特性を検討し、希薄域でも燃焼の安定性がよく、点火時期をかなり遅らせても安定した燃焼が得られること、また、ガス温度が高い点火栓近傍が酸素不足の状態にあり、燃焼が緩やかであることなどの理由により、NO_x 低減の面で優れた可能性を持っていることを示している。一方、これらの特性は、副室入口空燃比に大きく依存するので、副室への燃料供給精度の確保が課題であり、また、副室をもうけたことにより熱損失が増大し、排気温度が低くなるために、排気系内酸化反応による HC の低減が困難になる、などの問題点が残ることを指摘している。

第 5 章では、過濃混合気燃焼の排気中への二次空気の導入を試みている。すなわち、リッチリアクタの場合、リアクタ入口温度および二次空気量（酸素濃度）が HC、CO の酸化反応に及ぼす影響がきわめて大きいこと、HC は二次空気導入直後から減少するのに対して、CO はある遅れ時間ののち減少を始めること、また、入口 HC 濃度が低いほど CO の減少は早く始まることなどを明らかにしている。すなわち、CO 濃度が十分に高いリッチリアクタにおいても、HC が CO の反応に影響して、HC 濃度はむしろ低い方が有利であることを示しているが、さらに一定の NO 濃度のもとで酸化反応は最も早くなり、この効果は排気温度が低いほど顕著なこと

を確認している。

第6章では、希薄燃焼時の排気中酸化反応について、種々な要因の影響を系統的に検討し、希薄燃焼によれば、燃費改善に関して大きな効果が期待できることを示している。そして、リーンリアクタの場合、HCは単調に減少するのに対し、COはいったん増加して最大値に達した後に減少に移ることを明らかにしている。また、HCの中間生成物としてCOの生成反応が進み、HCがほぼ無くなった時点でCOがCO₂になる反応が顕著になることを明らかにして、HC、COの反応について総轄的な活性エネルギーの値を求めている。

第7章では、酸化反応の途中でCOが生成されて初期値より増加したり、NO濃度によってHCの反応が促進されることなど、実験で観察された現象について検討するために、希薄燃焼の排気中反応について、基礎方程式をもとに数値計算を行っている。その結果、反応初期にラジカルが急増し、HC、COはラジカルが多い時期に反応すること、また、HCが酸化する際に中間生成物としてCOができること、そして、NO濃度が酸化反応の速さに影響することなどの実験事実を裏付けるとともに、実験では不明であった反応の機構について考察を加えている。

第8章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

これを要するに、本論文では、ガソリンエンジンにおける排気成分の生成および排気系内酸化反応に関して実験および理論的な研究を行い、有害成分の低減技術を確立したものであり、自動車排ガスに起因する公害の対策上、有用な知見を提供しうるものと考えられる。

よって、著者は博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認められる。