

学位論文題名

火花点火メタノールエンジンの
排気エミッション低減に関する研究

学位論文内容の要旨

1970年代初め、石油危機による燃料価格の高騰と自動車排気ガスによる大気汚染の問題から、石油に替わる燃料としてメタノールが注目を集めるようになった。以来、エネルギーと環境問題を取り巻く状況変化につれてメタノールへの関心も変化してきたが、現在も代替燃料の有力な候補であることに変わりはない。また最近では大気中のCO₂を固定しメタノールを合成する再生可能な燃料としても期待が持たれている。

メタノールの主原料である天然ガスは、埋蔵量が豊富で産出地が石油ほど遍在していない。天然ガスを高圧ガスとしてそのまま自動車燃料とすることも可能だが、高圧ガス容積当たりのエネルギー密度が低いため車両の航続距離が短く、その取扱いは一般の消費者にとって安全性の点から難しい面がある。メタノールは液体燃料であるためエネルギー密度も高く取り扱い性もガソリンとほぼ同等である。また火花点火エンジンの燃料として、オクタン価が高く希薄混合気での燃焼特性が良いため熱効率、最高出力などの点からも優れたポテンシャルを持っている。

メタノール燃料の自動車への適用については、上記の特徴を生かし高圧縮、希薄燃焼エンジンとする事が考えられる。あるいは、メタノールを分解し水素などガス燃料として用いる方法、さらには燃料電池の燃料としての適用など、いくつかの方法が検討されてきた。しかし近い将来の用途としては現在ガソリンエンジンとして最も多く用いられている三元触媒仕様の火花点火エンジンへの適用が最も現実的である。

本研究は、火花点火メタノールエンジンに関する研究開発において、排気エミッション特性の解析とその低減を目的とし実験による研究を実施したものである。火花点火エンジンのエミッション特性において、従来の研究ではエンジン単体のエミッション素性および排気触媒における反応性などについて多くの研究がなされてきた。しかし三元触媒システムとしてのエミッションの問題点とその要因についての解析、および大気中でのオゾン反応性に関する解析について詳細な研究はなされていない。本研究は、火花点火メタノールエンジンのエミッション特性に関し、メタノール燃料のガソリンに対する位置づけを明らかにするためエンジンおよび車両による台上実験を実施した。エンジン単体および三元触媒システムのNO_x、ホルムアルデヒドエミッションの排出要因を解析し、さらにエミッション低減手段の検討を行った。またメタノールなど有機物エミッションについて、有機化学種エミッション分析法を開発し、メタノール、ガソリン、改質ガソリンによる排気ガスの大気中でのオゾン反応性とその要因について、また排気システムの影響について解析した。さらに実用的な車両として、M85(メタノール85%燃料)からガソリンまでの混合燃料で走行可能なFFV(Flexible Fuel

Vehicle)の研究開発を行い、米国において23台の実験車による路上フリートテストを行った。メタノールとガソリンのエミッション劣化形態の違いと実走行でのエミッション耐久劣化特性、バラツキ特性を解析した。

本論文は7章より構成されている。

第1章は、研究の背景と目的、本研究の狙いについて述べ、代替エネルギー性、低エミッション性などの観点からメタノール燃料の自動車への適用の意義と将来性について述べた。

第2章では、火花点火エンジン台上実験および車両実験を行い、メタノール燃料でのエミッション特性の特徴をガソリンと比較し検討を実施した。メタノールのNO_xエミッションはエンジン単体ではガソリンより低いが三元触媒システムではガソリンより高いこと、アルデヒドは排気触媒での酸化反応性が高いにもかかわらず車両システムのエミッションがガソリンより大幅に高いこと、また未燃メタノールについては大気中におけるオゾン生成への影響の観点から評価する必要があることを示した。

第3章では、三元触媒システムでのNO_xエミッション増大の要因を解明するため、エンジン実験およびO₂センサー単体実験を実施した。メタノールではガソリンに比べ排気ガス中の水素濃度が高くO₂センサーの出力電圧特性がリーン側にシフトすること、このリーンシフトはO₂センサーの多孔質保護層での水素、酸素の拡散速度の違いにより排気ガスとO₂センサー反応電極上の水素酸素比に違いが生ずることが原因であることを明らかにした。電極近傍で水素と酸素の反応を促進することによりリーンシフトを減らしNO_xエミッションを低減できることを示した。

第4章では、HCHO（ホルムアルデヒド）エミッションについて、エンジン運転条件によるエミッション特性および燃焼室壁温との関係を調べた。HCHOエミッションは燃焼室クレビス部などの未燃メタノールの残存量に影響されることを明らかにした。クレビス容積の低減、燃料微粒化、排気触媒の早期活性化、制御空燃比のリッチ化による低減できることを示した。

第5章では、未燃メタノールなど有機物エミッションについて、排気化学種分析法を開発しエンジンおよび車両による実験を実施した。メタノール燃料のオゾン反応性はガソリンより大幅に低い、エミッションはオゾン反応性の高いHCHOが排出されるため燃料に比べオゾン反応性は高いことを示した。ガソリンとの比較ではメタノールでのエミッションは重量エミッションは高いが排気成分のオゾン反応性がガソリンのエミッションより低く大気中でのオゾン生成ポテンシャルは低いことが明らかになった。また未規制排出物については、アセトアルデヒド、ベンゼン、1,3ブタジエンはガソリンより大幅に少ないことを示した。

第6章では、車両台上耐久実験および米国市場での23台の車両による路上フリート耐久実験を実施した。平均3年3万マイル、長期間フリート車で5年9万マイルを走行し、実走行における排気関連部品の経時劣化、それによるエミッション特性の劣化、バラツキ特性を調べメタノールとガソリンの比較を行った。耐久燃料による触媒性能への影響はメタノールの方がガソリンより劣化が少ないこと、これはサルファによる触媒被毒が少ないことが原因であることを示した。NO_xエミッションの劣化はガソリンより大きく、これはメタノールの排気ガスによる空燃比特性への影響などが原因であることを明らかにした。

第7章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。本研究によって得られた知見は、メタノールエンジンの排気エミッションの低減のみでなく、ガソリンエンジンのエミッション低減に役立ったこと、またガソリン、天然ガスなど各種燃料の有機化学種エミッションの解析に大いに貢献したことを述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 伊 藤 献 一
副 査 教 授 宮 本 登
副 査 教 授 菱 沼 孝 夫
副 査 教 授 竹 澤 暢 恒

学 位 論 文 題 名

火花点火メタノールエンジンの 排気エミッション低減に関する研究

石油危機以来、石油に替わる燃料としてメタノールが注目を集めるようになり、エネルギーと環境問題の両面から、現在も代替燃料の有力な候補の一つである。メタノールはエネルギー密度も高く、オクタン価が高く希薄混合気での燃焼特性が良いため熱効率、最高出力などの点からも火花点火エンジンの燃料として優れたポテンシャルを有している。

メタノール燃料の自動車への適用については、これらの特徴を生かし高圧縮、希薄燃焼エンジンとする事が考えられるが、近い将来の現実的な用途としては三元触媒仕様の火花点火エンジンへの適用が最も適切と考えられている。

火花点火メタノールエンジンのエミッションに関する従来の研究において、エンジン単体のエミッション特性および排気触媒における反応性などについて多くの検討が重ねられてきたが、しかし三元触媒システムとしてのエミッションの問題点とその要因についての解析、および大気中でのオゾン反応性に関する解析についてエンジン開発に必要とされる詳細な研究はこれまで行われていなかった。

本研究は、火花点火メタノールエンジンの排気エミッション特性の解析とその低減技術の開発を目的としたもので、実験的研究を実施しその成果をまとめたものである。その主な成果はつぎのように要約される。

エンジン台上実験および車両実験から、メタノールのNO_x エミッションはエンジン単体ではガソリンより低いが三元触媒システムではガソリンより高いこと、アルデヒドは排気触媒での酸化反応性が高いにもかかわらず車両システムのエミッションがガソリンより大幅に高いこと、また未燃メタノールについては大気中におけるオゾン生成への影響の観点から評価する必要があることをまず明らかにした。

すなわち、三元触媒システムでNO_x エミッション増大の要因は、メタノールではガソリンに比べ排気ガス中の水素濃度が高く O₂ センサーの出力電圧特性がリーン側にシフトすること、このリーンシフトは O₂ センサーの多孔質保護層での水素、酸素の拡散速度の違いにより O₂ センサー反応電極上の水素酸素比に違いが生ずることが原因であることを初めて明らかにした。電極近傍で水素と酸素の反応を促進することによりこのリーンシフト量を低減させて、NO_x エミッションを低減できることを見いだした。

HCHO (ホルムアルデヒド) エミッションは、燃焼室クレビス部などの未燃メタノールの残存量に影響されることを明らかにし、クレビス容積の低減、燃料微粒化、排気触媒の早期活性化、制御空燃比の過濃化により低減できることを示した。メタノール燃料のオゾン反応性はガソリンより低い、エミッションは HCHO が排出されるため燃料に比べオゾン反応性は高いことを示した。メタノールのエミッションは重量エミッションは高いが排気成分のオゾン反応性がガソリンのエミッションより低くこのため大気中でのオゾン生成ポテンシャルは低いことが明らかになった。

以上の成果をもとに開発した車両により排気関連部品の経時劣化、それによるエミッション特性の劣化を調べメタノールとガソリンの比較を行った。その結果、メタノールの方がサルファによる触媒被毒が少ないことが原因しガソリンより触媒劣化が少ないこと、NO_x エミッションの劣化はガソリンより大きく、これはメタノールの排気ガスによる空燃比特性への影響などが原因であることを明らかにしている。

これを要するに、著者は、火花点火メタノールエンジンの排気エミッション発生
の要因を解析し、その低減技術を確立するとともに、低公害代替燃料エンジン排気
エミッションの環境適合性評価において有用な知見を得たものであり、燃焼工学お
よび内燃機関学に寄与するところ大である。

よって、著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認め
る。