

学位論文題名

ガソリンエンジンの低エミッション技術の研究

(冷間始動・暖機過程の未燃炭化水素の排出挙動解析とその低減技術について)

学位論文内容の要旨

自動車排気ガスに起因する大都市の環境問題は 1950 年代の初めにアメリカのモータリゼーションの発展とともに、ロサンゼルス地区のスモッグが深刻さを増すにつれ注目されるようになり、このスモッグの原因が化石燃料の燃焼生成 HC と NO_x が大気中で太陽光線のもとで反応して生成されるいわゆる光化学スモッグであることが突き止められ、自動車排気ガス規制の動きが強まり、1966 年モデルのカリフォルニア向け車両に適用されたのが自動車排気ガス規制としては最初であった。その後、アメリカ、日本、EC 諸国では厳しい自動車排気ガス規制が実施され、クリーン車の普及などにより都市大気環境は改善方向に向かったが、自動車保有台数の増加、走行距離の増大、都市内の交通渋滞の激化などにより、最近になっても環境基準をなかなか達成するに至らず、規制内容の見直しとともに更なる新車排気ガス規制の強化が進められている。米国カリフォルニア州の LEV 規制で代表される LEV/ULEV レベルの排気クリーン度の達成、さらには大都市オゾン問題など都市大気環境負荷影響の全くない究極のクリーンエンジン開発を目指すためには、排気浄化触媒暖機後ではエンジン出ガスのほぼ 100% に近い浄化率を達成するとともに、エンジン冷間始動・暖機時に排出されるエミッションの大幅低減と触媒全体が完全浄化機能を果たすまでの触媒暖機期間の大幅短縮、即ち触媒の早期暖機が必須である。この中でも冷間始動・暖機過程では触媒が活性を開始するまでに排出される HC の低減と、触媒温度が低く HC 活性の低い触媒暖機過程での HC 低減が最大のポイントと考えられている。本論文はこの将来ガソリンエンジンの究極のクリーン化を目指す上で最大のポイントとなるエンジン冷間始動・暖機過程における HC の低減技術について、噴射燃料挙動、混合気形成、燃焼、排気プロセス、触媒での反応過程に至るまでのエンジンサイクル毎の詳細挙動解析、及び個別炭化水素成分レベルの解析としては燃料性状から燃焼プロセス、触媒反応プロセスに至るまでの基礎解析と、これら基礎解析研究の知見を踏まえ取り組んできた燃料噴射弁微粒化度の改善、クリーン燃料の研究、触媒の暖機性改善など実用クリーンエンジン開発を目的に進めてきた実用技術研究についてまとめたものである。

本論文は 6 章からなる。以下に各章の概要を述べる。

まず第 1 章ではこの研究の背景となる、都市大気環境問題と自動車排気規制の歴史と現在の状況について、主として都市大気環境問題が最も深刻な米国カリフォルニア州の状況とその排気規制強化の動きについて述べている。またこの大気環境負荷影響の小さい将来クリーン自動車の研究開発を進める上で重要な低エミッション技術研究の着眼点及び本

研究の狙いについて述べている。

第2章ではこれからの低エミッション車開発の鍵を握るエンジン冷間始動・暖機過程におけるHC排出低減のポイントである、この期間の噴射燃料挙動とHC排出挙動についてその始動第1サイクル目からサイクル毎の挙動に着目し、噴射燃料の吸気ポートでの挙動、シリンダへの流入プロセス、混合気形成、筒内での液状燃料の挙動、燃焼・排気プロセスに至るまで、新しい可視化技術を使った可視化エンジンでの可視化実験結果と、この研究のため開発したサイクル毎燃料挙動定量解析用研究実験エンジンでの解析及び車両冷間始動状態をエンジンベンチで再現させる実験装置を用い実施したサイクル毎の燃料・混合気挙動およびHC排出挙動解析の解析研究について述べている。

第3章では、このエンジン冷間始動・暖機過程の燃料挙動、HC排出挙動に大きく影響を及ぼす燃料噴射弁の噴霧特性と微粒化技術について、これまでの研究開発の経緯と今後の噴射弁微粒化度改善技術の基礎となる微粒化メカニズムの解析結果及びこれに基づき新たに開発した高微粒化弁について論じた。

第4章ではこのエンジン冷間始動・暖機過程のHC排出挙動について、主として燃料組成のエンジン及び触媒における個別HCレベルでの反応挙動に及ぼす影響の解析と、その個別HC組成により支配される排気ガスのオゾン反応性、即ち排気ガスの質に着目した研究結果について論じた。この研究では米国CARBやAuto Oil Research Programなどが提案したクリーンガソリンの燃料組成が排気エミッション排出量及びその質に与える影響とその要因を明らかにするとともに、その効果が排気浄化システムの構成によっても異なることを明らかにした。またここでは排気HCの個別組成に着目し、エンジンの点火時期遅角が排気温度の上昇効果だけではなく排気ガス中のエチレンなど反応性の高い低沸点オレフィン成分を増加させ触媒の活性開始を速める効果を持つことも明らかにし、燃焼制御による排気HCの個別成分コントロールによる触媒暖機性改善の可能性を示すことができた。

第5章では、やはり始動・暖機過程のHC排出を大きく支配する触媒暖機特性について、触媒暖機特性と排気システム全体の暖機特性を扱った多次元数値解析による排気系および触媒の暖機特性予測モデルの研究と、この予測モデルを使用した排気系諸元のパラメータスタディによる暖機特性の改善検討及び触媒貴金属担持分布の改良による触媒暖機特性改良など実用研究への応用について述べた。5-3節では触媒暖機浄化性能向上と長距離走行、長期間使用における触媒劣化防止という相反する性能要求を満たす手段として検討を続けてきた、エンジン近傍搭載の暖機触媒(Close Coupled Catalyst / Warm-up Catalyst)と床下搭載のアンダーフロア触媒を組み合わせた分割型触媒構成について、そのそれぞれの触媒に対する要求機能の違いを解析し、触媒コンバータシステムトータルでの耐熱性と高浄化能を高いレベルで両立させる触媒技術開発についての取り組みとその実用化研究の成果をまとめた。

最後の第6章は本論文のまとめと、本研究のエンジン冷間始動・暖機過程のHC排出挙動解析と触媒暖機特性解析及びその改善技術研究の成果を踏まえて開発され、1996年8月量産LEVシステムとして市場導入した'97年型加州LEVモデル車について、暖機性と耐熱性を改良した分割型触媒システム、冷間始動時の噴射時期制御、暖機時空燃比精密制御など新規に開発した低エミッション技術を取り上げ、本基礎研究との関連について述べた。

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 福 迫 尚一郎

学 位 論 文 題 名

ガソリンエンジンの低エミッション技術の研究

(冷間始動・暖機過程の未燃炭化水素の排出挙動解析とその低減技術について)

都市大気環境負荷影響の極めて少ない低エミッションエンジンが求められており、エンジン開発にあつたては冷間始動および暖機過程のエミッション低減が最も効果的な対策と考えられている。ところがこれまで、このようなエンジン過渡運転状態におけるエミッション排出の詳細が十分解明されていないため、従来の排気浄化技術では限界があり、低エミッション化に際しては新しい技術開発が求められていた。

本論文は、冷間始動・暖機時におけるエミッションの発生要因の解析と、従来の触媒に代わる早期暖機を可能とする新しい排気処理触媒技術の開発を目指し、燃料噴射、混合気形成、燃焼、排気プロセス、触媒反応の各々についてエンジンサイクル毎の挙動を解析し、さらに個別炭化水素成分の組成変化を把握し、低エミッションエンジンに必要な技術開発を行った成果を述べたものである。

本論文ではまず、微粒化メカニズムおよび燃料噴射における吸気ポートおよびシリンダ内の燃料挙動を可視化により壁面付着燃料流のサイクル毎の解析を行い、その結果にもとづき、気液2流体2方向噴射弁を開発し、暖機時の空燃比の制御性を高めエンジンの過渡運転性の大幅向上と燃焼改善に成功している。

ついで、エンジンの冷間始動、暖機過程の炭化水素排出挙動について、燃料組成および排気浄化システム構成の違いの要因を明らかにしている。さらに、反応性の高いエチレンなど低沸点オレフィン成分を増加させて触媒活性を速めることが可能であること初めて見いだした。またこの結果から、エンジンの点火時期を制御し、排気中の炭化水素の個別成分制御することによっても暖機特性改善の可能性のあることを示した。

また、触媒暖機特性を組み入れた排気システム暖機特性予測モデルを提案し、これによる多次元数値解析により触媒貴金属担持分布の改良と、分割型触媒システムの採用による高性能排気浄化システムの実用化技術を確立し、米国向け低エミッション規制適合車の排気システムを完成させている。これにより次世代低エミッションエンジンの基本概念を確立しさらに、来世紀初頭に要求される超低エミッション車技術の開発指針を得ている。

これを要するに、著者は、排気エミッション発生要因の解析をもとに、将来の低排気エミッションエンジンに必要な燃料供給システムおよび排気浄化システムに関する技術を総合し、エンジン設計において有益な新知見を得たものであり、燃焼工学および内燃機関工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。