

A STUDY ON DIESEL EXHAUST GAS EMISSIONS UNDER TRANSIENT OPERATIONS

(過渡運転時におけるディーゼル排気エミッションに関する研究)

学位論文内容の要旨

近年ディーゼル機関においては、環境およびエネルギー問題の点から排気ガス中の各種有害物質から出る排気エミッションならびに CO₂ の低減が一層強く求められている。特に排気エミッションについてはその多くが機関の過渡運転時において発生している。従って、機関の低エミッションを実現のためには、この過渡運転時の排気エミッションを低減することが極めて重要であるが、この点に関わる燃焼ならびに排気の研究は必ずしも十分ではない。

本論文では、サイクルオーダーでの排気の採取が可能なシステムを用いることにより、各種の過渡運転状態における小型 DI ディーゼル機関の燃焼・排気特性、とりわけ未燃炭化水素の特性を時系列的に解明すると同時に、それらを改善するための方策についても検討した。

本論文は全8章から構成されている

第1章は序論であり、本研究の目的および得られた結果の概要について述べると共に、研究の背景ならびにディーゼル機関の過渡運転に関する研究の動向について記述した。

第2章では、供試機関、実験装置、ならびに実験方法について説明した。特に、過渡運転時における燃焼および排気特性を解明するために、機関のサイクルオーダーでの排気採集システムを使用すると共に、機関過渡運転時のピストン燃焼室壁温を計測するための、熱電対の取り出し機構について詳述した。

第3章では、ディーゼル燃焼における特に未燃炭化水素生成の基礎資料を得るために、高温下におけるノルマルブタンとイソブタンの燃焼中間生成物の生成特性について化学動力学モデルにより解明した。その結果、高温場での燃料の分解・酸化過程において HCHO, CH₃CHO, C₂H₄, C₃H₆, C₄H₆ 等の低沸点成分は 950K から 1200K の温度範囲で、また当量比の大きなほど生成が著しくなること、更に CO, CH₄ や C₂H₂ は温度と当量比が同時に高くなることもない増加すること等の特性を明らかにした。

第4章においては、小形 DI ディーゼル機関の始動時における排気エミッション、特に全未燃炭化水素 THC をサイクル毎に計測し、それらの過渡特性を系統的に解明すると同時に、それとピストン燃焼室壁温との関係についても論述した。始動時における THC, NO_x, 臭気濃度の排気エミッションは特徴的な過渡推移を示すことを明らかにした。すなわち、始動時の THC 濃度は、始動直後の低濃度から増加して 50 サイクル程度で最大値に達した後減少し、燃焼室壁温の収束とほぼ同時に定常値へと収束する特性を示すが、特に始動直後から最大値に達するまでの THC の

特性は燃焼室壁への燃料の付着・残留に大きく起因することがわかった。NO_x 濃度は始動開始直後であっても着火遅れの増加に伴う最大熱発生率の急増のため比較的レベルが高く、また極大値を経由した後、緩やかに増加し、燃焼室壁温の収束とほぼ同時に定常値へと移行する。始動開始直後を除いた THC および NO_x 濃度は、定常運転時での燃焼室壁温とそれらの濃度との関係に従って推移し、壁温上昇に伴って THC 濃度は減少し、NO_x 濃度は増加して推移する。始動時の THC 中での低沸点成分は、その濃度が高く始動時の THC の推移特性を概ね支配することがわかった。また低沸点成分中では C₂H₄ が大きな割合を占めている。

第 5 章では、始動時における各種の運転条件および燃料性状が排気エミッション特に THC に及ぼす影響について述べた。始動時での回転速度の増加、燃料噴射量の減少、T₉₀ の低下、燃料の低粘度化、着火性の向上などはいずれも排気エミッションの特に THC 濃度低減の方向に作用することを明らかにした。更に始動時での臭気濃度の推移は、THC 濃度推移に概ね対応して変化するが、DGM などの含酸素燃料を用いると THC と臭気濃度は軽油の場合に比較して終始低く推移することから、含酸素燃料の優れた側面を提示した。

第 6 章は、始動-暖機運転時における燃焼および排気特性、特に THC の排出過渡特性について記述した。始動-暖機運転では、実機での始動時を想定し、始動開始時に燃料噴射量をステップ状に増加させて、任意サイクル Δt の期間(燃料増量期間)高い当量比 ϕ_h で運転した後、燃料噴射量をステップ状に減少させ、低い当量比 ϕ_l で暖機運転するモード運転を行った。始動-暖機運転時の特に THC 濃度は、始動開始後の燃料増量期間中サイクルの経過とともに増加するが、それに引き続く暖機運転への移行にともなう燃料噴射量の急減によって、濃度は急速に低下した後定常運転時の排気濃度推移にほぼ沿って変化する。始動-暖機運転時の Δt および ϕ_h は THC 濃度に大きく影響を及ぼし、両者の低減により THC 濃度は大幅に減少するため、THC 濃度の改善の策として Δt と ϕ_h の低減を提案した。始動-暖機運転時での排出 THC 濃度の推移特性は、熱分解成分の一つである C₂H₄ を主成分とする低沸点成分の濃度に大きく支配されること、更に低沸点成分中の各成分の相対的な濃度割合は始動期間を通してあまり大きくは変化しないこと等も明らかにした。

第 7 章は、増負荷時における燃焼と排気エミッションの過渡推移特性を解明するとともに、特にそれらと燃焼室壁温との関係について述べた。本研究では燃料噴射量の時間変化パターンとして、高負荷運転からステップ状に燃料を減少して任意期間 Δt の低負荷運転を行った後、再び初期の高負荷運転状態に戻すインターバルステップ状増負荷運転を検討した。THC 濃度は、増負荷前の低負荷定常状態の極めて低い濃度から増負荷直後に大きく増加し、その後サイクルの経過に伴って徐々に減少し燃焼室壁温の収束とほぼ同時に定常値へと収束する。この場合、THC 濃度は、増負荷開始直後を除いて燃料噴射量およびピストン温度が同一である定常運転時の値におおむね一致して推移するが、増負荷直後では対応する定常値よりも濃度が著しく高くなるオーバーシュート現象を呈する。そのオーバーシュート量 Δ THC は Δt が小さい場合であっても生じており、また Δt およびピストン壁温等に殆ど依存しないことがわかった。増負荷時の THC 中の低沸点成分 C₁-C₈ は、増負荷時の THC の推移特性に大きな影響を与えている。また、始動運転時の場合と同様に C₂H₄ は低沸点成分中の大きな割合を占め、低沸点成分の推移特性を支配することが明らかになった。

第 8 章は、本論文の結論であって、本研究において得られた結果を総括した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 宮 本 登
副 査 教 授 福 迫 尚一郎
副 査 教 授 菱 沼 孝 夫
副 査 教 授 伊 藤 献 一
副 査 助 教 授 小 川 英 之

学 位 論 文 題 名

A STUDY ON DIESEL EXHAUST GAS EMISSIONS UNDER TRANSIENT OPERATIONS

(過渡運転時におけるディーゼル排気エミッションに関する研究)

近年ディーゼル機関においては、環境およびエネルギー問題の点から排気エミッションならびにCO₂の低減が一層強く求められている。特に排気エミッションについてはその多くが機関の過渡運転時において発生しているため、過渡運転時での排気エミッションの低減が重要である。

本論文では、サイクルオーダーでの排気の採取が可能なシステムを用いることにより、種々の過渡運転状態における小型DIディーゼル機関の燃焼・排気特性、とりわけ未燃炭化水素の特性を時系列的に解明すると同時に、それらを改善するための方策についても検討している。

本論文は全8章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景、目的および得られた結果の概要について述べている。

第2章では、供試機関、実験装置、ならびに実験方法について説明している。特に、サイクルオーダーでの排気採集システムとピストン燃焼室壁温の計測システムについて説明している。

第3章では、ディーゼル排気炭化水素中で大きな割合を占める特に低沸点成分に注目し、HCHO, CH₃CHO, C₂H₄, C₃H₆, C₄H₆等の低沸点成分は950Kから1200Kの温度範囲で、また当量比の大きなほど生成が著しくなること、また CH₄, C₂H₂, CO は温度と当量比が同時に高くなるにともない増加すること等の特性を明らかにしている。

第4章においては、小形DIディーゼル機関の始動時における排気エミッション、特に全未燃炭化水素THCの過渡特性、ならびにそれとピストン燃焼室壁温との関係を解明している。すなわち、始動時のTHC濃度は、始動直後の低濃度から増加して

50サイクル程度で最大値に達した後減少し、燃焼室壁温の収束とほぼ同時に定常値へと収束する特性を示すが、特に始動直後から最大値に達するまでのTHCの特性は燃焼室壁への燃料の付着・残留に大きく起因することを立証している。また、始動開始直後を除いたTHCおよびNO_x濃度は、定常運転時における燃焼室壁温とそれらの濃度との関係から予測し得ること、始動時のTHC濃度は低沸点成分が支配的であり、中でもC₂H₄が大きな割合を占めていること等を明らかにしている。

第5章では、始動時における各種の運転条件および燃料性状が排気エミッション特にTHCに及ぼす影響について検討しており、始動時での回転速度の増加、燃料噴射量の減少、T₉₀の低下、燃料の低粘度化、あるいは着火性の向上などにより排気エミッション、特にTHC濃度を低減し得ることを実証している。更に始動時での臭気濃度の推移がTHC濃度推移に概ね対応していること、DGMなどの含酸素燃料を用いることによりTHCと臭気濃度が大幅に改善されること等も明らかにしている。

第6章は、始動・暖機運転時における燃焼および排気エミッションの過渡特性について検討しており、始動・暖機運転では、始動開始後の燃料増量期間Dtおよびそこでの当量比 Φ hがTHC濃度に大きく関与していることから、THC濃度の改善策としてDtと Φ hの低減を提案している。また始動・暖機運転時での排出THC濃度の推移特性は、熱分解成分の一つであるC₂H₄を主成分とする低沸点成分の濃度に大きく支配されていること、低沸点成分中の各成分の相対的な濃度割合は始動期間を通して殆ど変化しないこと等も見出している。

第7章では、噴射燃料を高負荷運転状態からステップ状に減少して任意期間Dtの低負荷運転を行った後、再び初期の高負荷運転状態に戻すインターバルステップ状の増負荷運転時における燃焼と排気エミッションの過渡推移特性を解明している。特にTHC濃度は、増負荷運転開始直後に急増してオーバーシュート現象を呈するが、その後サイクルの経過に伴って徐々に減少し燃焼室壁温の収束とほぼ同時に定常値へと収束すること、その場合のTHC濃度は、増負荷開始直後を除いて燃料噴射量およびピストン温度が同一である定常運転時の値におおむね一致して推移すること、また増負荷直後でのオーバーシュート量は増負荷開始前の低負荷運転期間Dtおよびピストン壁温に殆ど依存しないこと等を明らかにしている。更に、増負荷時のTHCの推移特性はC₁-C₈の低沸点成分に支配されており、その低沸点成分中ではC₂H₄が大きな割合を占めていることも見出している。

第8章では、本研究において得られた結果を総括している。

これを要するに、著者はディーゼル機関における特に過渡運転時の燃焼と排気エミッションに関する新知見を得ており、内燃機関工学、燃焼工学に貢献するところ大なるものがある。

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。