

小型ディーゼル機関の過渡運転時における

燃焼・排気特性に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、石油資源の枯渇、石油代替燃料の開発、あるいは環境問題等への関心が顕在化している中で、ディーゼル機関は、経済性および出力特性の面で極めて優れていることから、広範な分野で動力源として用いられている。しかし一方では、排気、騒音、振動等の問題が挙げられており、その中でも特に排気に対しては厳しい要求があるため、多岐に亘る燃焼・排気改善の研究が行われている。

ディーゼル機関の中で特に小型ディーゼル機関は、主として一般車両用として広く使用され、負荷あるいは回転速度が急激に変化するような過渡の状態での使用頻度が多いことから、通常の定常運転のみならず過渡運転下での燃焼・排気特性の把握が重要であって、その解明が待たれている。

本論文は、このような背景を踏まえて、サイクルオーダの高速で機関の排気を採取し、それを分析するための計測システムを試作・構築することによって、各種過渡運転時における小形ディーゼル機関の燃焼・排気特性を時系列的に解明すると同時に、それらと特にピストン燃焼室壁面温度との関連について系統的な検討を行った結果を論述したものである。

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での排気採集システムを試作・構築すると共に、機関運転時のピストン燃焼室壁面温度を計測するため、特殊なリンク機構を製作してピストンに設置した熱電対の出力データを機関外部へ取り出したが、これらの機構とその妥当性についても詳述した。

第3章においては、小型ディーゼル機関において、まずサイクルあたりの噴射燃料量をステップ状に増加させて加速運転を行った場合、つまりステップ状加速時における燃焼、各種排気エミッションおよび燃焼室壁面温度の時系列的な推移特性、ならびにそれらの相互関係について論述した。すなわち、加速開始後における未燃炭化水素THC、NO_x、CO、および吐煙の濃度は各々過渡推移を経て収束定常値となるが、中でもCOの収束は極めて早いこと、またTHCおよびNO_x濃度の過渡推移は、中型機関では比較的簡単な指数関数を用いて近

似記述することが可能であるが、小型機関での近似記述はその精度が低下すること等を明らかにした。

加速時の排気成分の中、特にTHC濃度推移はピストン壁面温度に対して明瞭な相関関係を有し、その温度上昇に伴って一義的に低下すること、その際のピストン壁面無次元温度 T^* は、加速時の運転条件のいかに拘わらず、ピストン温度の時定数に相当するサイクル定数 τ^* を因子とし、加速開始後のサイクル数を変数とする指数関数によって記述し得ること、更に、加速時のTHCおよび吐煙濃度が定常値に収束するサイクル数は、運転条件にほぼ拘わりなくTHCでは τ^* の約1.2倍、また吐煙は約2.3倍であること等を示した。

なお、加速時での燃料噴霧の着火遅れは、加速の進行に伴う壁面温度上昇によって全般に減少する特性を示すが、加速開始直後においては、壁面温度の上昇にも拘わらず一時的に増加する特異な現象を見出した。

第4章では、ステップ状加速時における燃焼と排気エミッションの推移特性に対する主要な燃料性状因子の影響について記述した。本研究では、動粘度、セタン価そして芳香族含有割合の燃料性状因子について検討したが、各々の燃料性状因子は、加速時における排気エミッションの推移に対して定量的影響を若干及ぼすものの、その総括的な推移特性に大きな影響を与えるものではないことを明らかにした。燃料性状因子個々の影響について、まず動粘度の増加は加速開始直後でのTHC濃度の急増現象を更に著しくすること、またセタン価の上昇は、これに伴う壁面温度上昇のためTHC濃度の急増現象を大幅に抑える一方、着火時期の前進効果によってNO_x濃度を増加させる傾向を示すこと等を明らかにした。

第5章では、噴射燃料量を漸増させて加速運転を行った場合、つまりランプ状加速時における排気エミッションの時系列的な推移特性について論述した。実験に先立ち、燃料噴射ポンプのラック変位をランプ状に駆動制御する方式を確立した後、これにより燃料増量期間 ΔT を任意時間に設定して、燃焼および排気の過渡特性に対する解明を試みた。その結果、ステップ状加速に比べてランプ状加速では、特に加速開始初期における燃焼が安定化するため、NO_x濃度は若干増加するものの、THC濃度の急増現象は著しく抑えられることを実証すると同時に、ランプ状加速が加速時の排気、特にTHC濃度の改善に対して有効な一手法であることを提示した。なお、ランプ状加速開始初期でのNO_x濃度については、それが最大となる ΔT 値が存在することも併せて明らかにした。

第6章においては、噴射燃料量をステップ状に減少させて減速運転を行った場合の、燃焼と排気エミッションの過渡推移特性について論述した。

すなわち、減速開始後のTHCとNO_x濃度は、減速開始直後に急減し、若干の過渡的推移を示した後1000サイクル程度で収束定常値に達すること、この場合のTHC濃度推移は、ピストン壁面温度と高い相関関係を呈しており、温度の減少に沿ってほぼ一義的に増加すること、更に減速時におけるピストン壁面無次元温度 T^* は、加速時と同様に機関燃焼室固有のサイクル定数 τ^* とサイクル数の指数関数として記述し得ること等を明らかにした。

第7章は、熱伝導シミュレーションによる過渡運転時のピストン壁面温度推移について検討と予測を行った結果を記述した。

計算では、汎用プログラムNISA IIを基礎に、主にシリンダ内ガス温度とピストン壁面で

の熱伝達率の時間変化を考慮したピストン温度のシミュレーション手法を確立し、一次元熱伝導モデルによって過渡運転時におけるピストン温度推移特性、特にピストン壁面温度の時間定数に相当するサイクル定数 τ^* をある程度予想し得ること等を明らかにした。

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 伊 藤 献 一
副 査 教 授 福 迫 尚 一 郎
副 査 助 教 授 小 川 英 之

学 位 論 文 題 名

小型ディーゼル機関の過渡運転時における 燃焼・排気特性に関する研究

近年、石油資源の枯渇、石油代替燃料の開発、あるいは環境問題等への関心が顕在化している中で、ディーゼル機関は、経済性および出力特性の面で極めて優れていることから、広範な分野で動力源として用いられている。しかし一方では、排気、騒音、振動等の問題が挙げられており、その中でも特に排気に対しては厳しい要求がある。

ディーゼル機関の中で特に小型ディーゼル機関は、負荷あるいは回転速度が急激に変化するような過渡的状态での使用頻度が多いことから、通常の定常運転のみならず過渡運転下での燃焼・排気特性の把握が重要であり、その解明が待たれている。

本研究は、このような背景を踏まえて、サイクルオーダで機関の排気を採取および分析するための計測システムを試作・構築することによって、各種過渡運転時における小型ディーゼル機関の燃焼・排気特性を時系列的に解明すると同時に、それらと特にピストン燃焼室壁面温度との関連について系統的な検討を行っている。

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、本研究の目的および結果の概要について述べると共に、研究の背景と動向について記述している。

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、排気採集システムとピストン燃焼室壁面温度の計測法について詳述している。

第3章では、サイクルあたりの噴射燃料量をステップ状に増加させて加速運転を行った場合、つまりステップ状加速時における燃焼、排気濃度および燃焼室壁面温度の時系列的な推移特性、ならびにそれらの相互関係について論述している。すなわち、加速開始後における未燃炭化水素 THC 、 NO_x 、 CO 、および吐煙の濃度は各々過渡推移を経て収束定常値となるが、中でも CO の収束は極めて早いこと、また THC および NO_x 濃度の過渡推移は、中型機関では比較的簡単な指数関数を用いて近似記述することが可能であるが、小型機関で

の近似記述はその精度が低下すること等を明らかにしている。

また加速時の、特にT H C濃度推移はピストン壁面温度に対して明瞭な相関関係を有すること、その際のピストン壁面無次元温度 T^* は、ピストン温度の時定数に相当するサイクル定数 τ^* を因子とし、加速開始後のサイクル数を変数とする指数関数によって記述し得ること、更に、加速時のT H Cおよび吐煙濃度が定常値に収束するサイクル数は、T H Cでは τ^* の約1.2倍、また吐煙は約2.3倍であること等を示している。

第4章においては、ステップ状加速時の燃焼と排気濃度の推移特性に対する燃料性状因子の影響について検討し、各々の燃料性状因子の変化は、加速時における排気濃度の推移に対して定量的影響を及ぼすものの、その総括的な推移特性には大きな影響を及ぼさないことを明らかにしている。性状因子個々の影響について、動粘度の増加は加速開始直後でのT H C濃度の急増現象を著しくすること、またセタン価の上昇は、T H C濃度の急増現象を大幅に抑える一方、N O x濃度を増加させる傾向を示すこと等を見い出している。

第5章では、噴射燃料量を漸増させて加速運転を行った場合、つまりランプ状加速時における排気濃度の時系列的な推移特性について論述し、ステップ状加速に比べてランプ状加速では、特に加速開始初期におけるN O x濃度は若干増加するものの、T H C濃度の急増現象は著しく抑えられること等を実証している。

第6章では、噴射燃料量をステップ状に減少させて減速運転を行った場合の排気濃度の過渡推移特性について述べている。

減速開始後のT H CとN O x濃度は、減速開始直後に急減し、若干の過渡的推移を示した後1000サイクル程度で収束定常値に達すること、この場合のT H C濃度推移は、ピストン壁面温度と高い相関関係を呈しており、温度の減少に沿ってほぼ一義的に増加すること等を明らかにしている。

第7章は、熱伝導シミュレーションによる過渡運転時のピストン壁面温度推移について検討を行った結果を記述している。

計算では、汎用プログラムNISA IIを基礎に、シリンダ内ガス温度とピストン壁面での熱伝達率の時間変化を考慮したピストン温度のシミュレーションを行い、特にピストン壁面温度の時定数に相当するサイクル定数 τ^* をある程度予想し得ること等を示している。

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ている。

これを要するに、著者は、小型ディーゼル機関における過渡運転時の燃焼・排気濃度の推移特性について系統的な新知見を得ており、内燃機関工学および燃焼工学の進歩に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学工学博士（工学）の学位を授与される資格のあるものと認める。