

学 位 論 文 題 名

直接噴射式天然ガス機関の高効率化と 低公害燃焼に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は、直接噴射方式火花点火天然ガス機関における高効率化と排気エミッション低減のための燃焼法を開発・解明すると共に、その実用化に対する可能性について検討した結果を取りまとめたものである。

我が国においては、将来のエネルギー安全保障の面から、産業の血液である物流を担う貨物自動車の分野において軽油を燃料とするディーゼル貨物自動車の代替策が十分に定まらない現状であって、ディーゼル代替貨物自動車の開発あるいは普及が社会的急務である。そのため、高効率と低公害の両面からディーゼル代替として優れた特性が期待される自動車用動力システムとして直接噴射式天然ガス機関に注目し、その有効な燃焼法を確立すると同時に実用化に向けての可能性を明らかにした。

第 1 章では、本研究の社会背景と目的について述べると共に天然ガス機関に関する従来の研究を概説し、トラック用天然ガス機関の燃焼方式として直接噴射火花点火方式を更に研究・発展させることが最善であることを述べた。

第 2 章では、本研究で使用した主なる実験装置と実験方法について説明する。特に、実験に供した単筒エンジンとその火花点火装置、高圧電磁噴射弁ならびに供試燃料である天然ガスについて詳述した。

第 3 章においては、点火と火炎伝播燃焼の安定性について解明・検討を行った。まず、イメージインテンシファイアと二次元赤外線温度計の利用によって天然ガス機関における火炎伝播特性および燃焼室壁面二次元温度分布に対する計測手法を開発し、火炎伝播特性および壁面温度分布に関わる計測・解析に供した。

天然ガスの火花点火燃焼におけるサイクル変動について検討し、低負荷の希薄燃焼において燃焼が特に不安定になりサイクル変動が増大すること、燃焼安定化には可燃混合気の乱流強度を増すと同時にサイクル間での吸気管内混合気濃度のばらつきを抑える必要があること、希薄燃焼では点火エネルギーが混合気の励起に必要な値以上であれば出来るだけその放電時間を長くすることが安定点火には重要であること等を明らかにした。

更に、直接ガス噴射方式では、キャビティ中心からオフセットした位置からのガス噴射によって可燃範囲が空間的に拡大すること、ガス噴流の到達距離は通常の軽油噴霧に比べて短く混合気形成が進行しにくい、噴射パラメータの設定によって

軽油噴霧と同等の空気過剰率分布等を確保し得ること、混合気分布から見て安定着火が容易な点火位置は軽油噴霧の場合に比べてより噴口の近傍であること等を理論的に示すと共に、特に点火プラグの位置についてはその選定により安定燃焼が可能であることを実証した。

第4章では、直接噴射式火花点火天然ガス機関の高効率化・低公害化に向けての各種方策を検討・提案すると共に、この機関の優れたポテンシャルについて論述した。すなわち、まずガス一段噴射方式について検討し、この方式では高い熱効率と無煙燃焼を得ることが可能である反面、空気過剰率 λ が1に近い条件で NO_x 濃度が高く、また λ の大きい部分負荷条件では燃焼変動が増加し THC 濃度も増加する特性を明らかにした。その場合の燃焼安定化に関しては、燃料供給圧の増加による燃料の分散・混合の促進によって、部分負荷ではガスの遅延噴射によって、また λ が1に近い高負荷では早期噴射によってそれぞれ燃焼の安定化が可能であることを示した。

低噴射量条件で問題となる緩慢燃焼は、空気よりも軽い天然ガスの特性を利用し噴射量に応じたスワール比の調整によってその改善が可能であること、また高噴射量条件では高スワール比と過給を組み合わせることにより、燃焼と無煙特性を損なうことなく効果的な NO_x 低減が行えること等を実証した。

一方、ガス二段噴射方式においては、 λ の広い範囲で一段噴射方式に比べて燃焼変動率が減少して燃焼が安定すること、二段噴射の二次噴射開始時期と点火時期の遅延により NO_x 濃度を大幅に低減できること、また大量の EGR により NO_x 濃度を更に低減でき、その程度が一段噴射方式に比べて著しいこと等を明らかにした。

直接噴射方式の特長を損なう恐れがある吸気絞りについても検討し、部分負荷域においては若干の吸気絞りにより燃焼はむしろ改善されること、その場合の燃焼改善はポンピング損失を上回るため正味熱効率の向上が可能となること、吸気絞りと同時に EGR の導入により NO_x と THC の同時低減が可能となること等を示した。

第5章においては、直接噴射式天然ガス機関の実用化について検討し、将来のエネルギー安全保障と低公害化の観点から LNG 加圧供給システムと直接噴射式天然ガス機関の組み合わせによるディーゼル代替の LNG 貨物自動車を実用化に適することを論述した。直接噴射に必要な高圧天然ガスの加圧方法として自己加圧、ガス加圧、 LNG 加圧の3種を検討し、その中で LNG 加圧法がエネルギー効率上最も有利であることを計算上で示すと同時に LNG 加圧ポンプの試作によって実証した。また、直接噴射式火花点火天然ガス機関の高効率化と LNG 加圧ポンプの省エネルギー化の技術を併せることにより、この機関を搭載する LNG 貨物自動車がディーゼル貨物自動車とほぼ同等の効率をもつことを示し、ディーゼル代替貨物自動車としての可能性を明らかにした。

LNG 自動車は、 CNG 自動車に比べて燃料のエネルギー密度が約3倍大きいため、 LNG 直接加圧方式による燃料加圧動力が少なく省エネルギー上有利であること、および直接噴射式天然ガス機関と LNG タンク、 LNG ポンプを組み合わせた貨物自動車では、燃料容器容積を軽油燃料容器の約1.5倍にすればディーゼル貨物自動車と同等の航続距離を確保し得ること等を示した。

第6章では、本研究で得られた結果を総括すると共に、直接噴射火花点火方式天然ガス機関における今後の課題について述べた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 宮 本 登

副 査 教 授 菱 沼 孝 夫

副 査 教 授 伊 藤 献 一

学 位 論 文 題 名

直接噴射式天然ガス機関の高効率化と 低公害燃焼に関する研究

我が国においては、将来のエネルギー安全保障の面から、産業の血液と言われる物流を担う貨物自動車の分野において軽油を燃料とするディーゼル貨物自動車の代替策が十分に定まらない現状であって、ディーゼル代替貨物自動車の開発あるいは普及が社会的急務である。

本論文は、高効率と低公害の両面からディーゼル代替として優れた特性が期待される自動車用動力システムとして直接噴射式天然ガス機関に注目し、その有効な燃焼法を確立すると同時に実用化に向けての可能性を明らかにしている。

第1章では、本研究の社会背景と目的について述べると共に天然ガス機関に関する従来の研究を概説している。

第2章では、本研究で使用した実験装置、実験方法そして燃料である天然ガスについて詳述している。

第3章では、天然ガスの火花点火燃焼における燃焼変動について解析しており、低負荷の希薄燃焼において燃焼が特に不安定になること、燃焼安定化には可燃混合気の乱流強度を増すと同時にサイクル間での吸気管内混合気濃度のばらつきを抑える必要があること、希薄燃焼では点火エネルギーが混合気の励起に必要な値以上であればその放電時間を出来るだけ長くすることが安定点火には重要であること等を明らかにしている。

また、特にガス噴射と混合気分布に関して、燃焼室キャビティ中心からオフセットした位置からのガス噴射により可燃範囲が空間的に拡大すること、通常の軽油噴霧に比べてガス噴流での混合気形成は進行しにくい、噴射パラメータの設定によって軽油噴霧と同等の空気過剰率分布等を確保し得ること、安定着火が容易な点火位置は軽油噴霧の場合に比べてより噴口の近傍に存在すること等を実証することにより、燃焼安定化のための方策を提示している。

第4章では、直接噴射式火花点火天然ガス機関の高効率化・低公害化に向けての各種方策を検討・提案している。すなわち、まずガス一段噴射方式について検討

し、この方式では高い熱効率と無煙燃焼を得ることが可能である反面、空気過剰率 λ が1に近い条件で NO_x 濃度が高く、また λ の大きい部分負荷条件では燃焼変動が増加し THC 濃度も増加する特性を明らかにしている。その場合の燃焼安定化に関しては、部分負荷ではガスの遅延噴射によって、また高負荷では早期噴射によってそれぞれ燃焼の安定化が可能であることを実証している

これに対してガス二段噴射方式を提案し、それによれば、 λ の広い範囲で一段噴射方式に比べて燃焼が安定すること、二段噴射の二次噴射開始時期と点火時期の遅延により NO_x 濃度を大幅に低減できること、また大量の EGR により NO_x 濃度を更に低減でき、その程度は一段噴射方式に比べて極めて著しいこと等を明らかにしている。

更に、直接噴射方式では、部分負荷域における若干の吸気絞りにより燃焼がむしろ改善されると共に、正味熱効率を向上し得ること、吸気絞りと同時に EGR の導入により NO_x と THC の同時低減が可能となること等も示している。

第5章においては、燃料供給システムも含めて直接噴射式天然ガス機関を搭載する貨物自動車の実用化について検討している。

すなわち、 LNG に注目し、それを燃料とする自動車は CNG 車に比べて燃料のエネルギー密度が約3倍大きいため、 LNG 直接加圧方式による燃料加圧動力が少なく省エネルギー上有利であること、および直接噴射式天然ガス機関と LNG タンク、 LNG ポンプを組み合わせた貨物自動車では、燃料容器容積を軽油燃料容器の約1.5倍にすればディーゼル貨物自動車と同等の航続距離を確保し得ること等を示し、この機関を搭載する LNG 貨物自動車はディーゼル貨物自動車とエネルギー効率上ほぼ同等となり、ディーゼル代替貨物自動車としての実用化への可能性を示唆している。

第6章では、本論文で得られた結果を総括している

これを要するに、著者は、直接噴射式天然ガス機関およびその利用に関して新知見を得たものであり、内燃機関工学および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。