

陳 之 立 (中国) 1963年9月3日生

授与年月日 平成8年3月31日

主 論 文 EXPERIMENTAL AND THEORETI-
CAL STUDY ON NO_x REDUCTION
IN DIRECT INJECTION DIESEL
ENGINE

(直接噴射式ディーゼル機関のNO_x低
減に関する実験的理論的研究)

長崎大学大学院海洋生産科学研究科

論文内容の要旨

ディーゼル機関は、原動機としては、最高の熱効率を有し、多種のエネルギー資源を有効に活用できるため、幅広い分野で利用され、また、将来のエネルギー資源の枯渇を考えると、多くの原動機の中では、直接噴射式ディーゼル機関しか生き残れないと言われる程である。この場合、排ガス浄化が不可欠であり、高い熱効率を損なうことなく、特に窒素酸化物(NO_x)とパーティキュレートの同時低減が、解決されるべき課題である。高効率でかつ低公害のディーゼル機関を実現するには、ディーゼル機関燃焼室における燃焼およびNO_x生成を支配する物理的因子を、定量的に明らかにすることが重要であり、将来の排ガス規制に対処できる実用的な低NO_x燃焼法を確立することが急務である。

本研究では、NO_x低減手法として、パイロット噴射、ノズル噴孔径縮小および吸気水噴射を取り上げ、パイロット噴射、ノズル噴孔径縮小、吸気水噴射および噴射時期遅延を適切に組合せた複合的低NO_x燃焼法を提案し、これらの手法の個別かつ複合的NO_x低減効果を、実験と理論の両面から解析することによって、燃焼学的見地から、NO_x低減の物理的因子を明らかにしている。この場合、実験では、初期噴射率の制御のため、新設計のドッジプランジャ式パイロット噴射弁を採用し、主噴射に隣接したパイロット噴射を実現すると共に、電子制御式吸気ポート水噴射システムを提案している。一方、理論解析では、燃焼ガスの熱解離を考慮した比熱算定法を結合した改良型2領域燃焼解析モデルを確立し、NO_x低減効果の物理的因子の解明に適用している。

本論文は緒論、本文4章、および総括から成っている。

第1章「緒論」では、ディーゼル機関の排ガス規制の動向を示し、燃焼と排気物質に関する研究の現状を調査し、さらに、本論文の目的および内容について概要を述べ、従来諸研究との関連性を明らかにしてい

る。

第2章「2領域燃焼解析モデル」では、燃焼室を燃焼域と未燃域に分ける2領域モデルの改良型モデルについて述べている。NO_x濃度の解析値が実験値と一致するまで、繰り返し計算により燃焼域空気導入率を決定することが本解析手法の特長である。本解析では、吸気中に含まれる水分、乳化油中の水含有率、および残留ガス割合を考慮して燃焼ガスおよび未燃ガスの比熱を算定しており、特に燃焼ガスの比熱については、10種の化学種の平衡組成解析に基づいた比熱算定法を導入して、燃焼域ガス温度の推定精度を向上させている。

第3章「実験装置および計測システム」では、本実験に用いた燃焼実験システム、燃焼解析システムおよび排ガス解析システムを紹介し、特に、新設計のドッジプランジャ式パイロットインゼクタおよびそのパイロット噴射量制御システム、ならびに吸気ポート水噴射システムを提案している。

第4章「実験結果と燃焼解析」では、パイロットインゼクタを適用した直接噴射式過給ディーゼル機関において、パイロット噴射、ノズル噴孔径縮小、吸気ポート水噴射および噴射時期遅延について個別的あるいは複合的に、NO_x低減効果およびNO_xと燃費の背反関係改善効果を実験的に調べると共に、2領域モデルを用いてその燃焼を理論的に解析し、以下の点を明らかにしている。(1)少量のパイロット噴射によって着火遅れが顕著に短縮され、最高熱発生率が抑制されること、および(2)NO_xと燃費の背反関係が改善できること、また(3)パイロット噴射の効果は、着火促進剤の効果と比べて、着火性の悪い低セタン価燃油に対してより効果的であること、なお(4)パイロット噴射による燃費低減は、排気損失、冷却損失の低減および機械効率の向上によることなどを解明している。さらに、(5)ノズル噴孔径縮小とパイロット噴射の組合せにより、特に低負荷で、予混合燃焼が顕著に抑制され、NO_xと燃費の背反関係がさらに改善されること、(6)吸気ポート水噴射によって大幅なNO_x低減が出来ること、かつ(7)吸気加湿に伴う着火遅れの増大が、パイロット噴射との組合せにより改善されることなど数々の顕著な効果を明らかにしている。

第5章「NO_x低減効果の解析」では、NO_x低減実験結果の理論的解析により、主として燃焼域空気過剰率および燃焼ガスの比熱の観点から、NO_x低減の支配因子を解明している。(1)噴射時期遅延による大幅なNO_x低減効果は、燃焼圧力と燃焼温度の同時低下が主要因子であること、(2)パイロット噴射および噴孔径縮小による小幅なNO_x低減効果は、燃料の初期噴射率の低下が予混合燃焼ピーク受熱率を低下させ、燃焼

圧力が低下することが要因であること、(3)水添加乳化油および吸気加湿によるNO_x低減効果は、いずれの場合も水付加に基づく燃焼ガスの比熱の増加および燃焼ガス重量の増加が支配因子であり、両者のNO_x低減効果は燃焼域ガス組成の観点からすれば等価であることなどを明らかにしている。

第6章「総括」では、本論文のまとめである。

論文審査の結果の要旨

陳之立君は昭和63年7月中国西安交通大学工学部動力機械工学科を卒業後、直ちに北京市内燃機関総工場研究所に入社、平成2年1月同所を退職後来日し、同年2月大分大学工学部機械工学科研究生となった。平成3年4月大分大学大学院工学研究科修士課程機械工学専攻に入学、2年次より文部省国費留学生に採用され、平成5年3月同課程を修了後、直ちに長崎大学大学院海洋生産科学研究科に入学し、現在に至っている。

同君は海洋生産科学研究科に入学以降、海洋資源学を専攻し、所定の単位を修得するとともに、ディーゼル機関の低NO_x化に関する研究に従事し、多くの成果を上げた。平成7年12月、主論文「Experimental and Theoretical Study on NO_x Reduction in Direct Injection Diesel Engine (直接噴射式ディーゼル機関のNO_x低減に関する実験的理論的研究)」を完成させ、参考論文7編を付して、長崎大学大学院海洋生産科学研究科に博士(工学)の学位を申請した。同研究科委員会は、平成7年12月21日の定例委員会において論文内容の要旨を検討し、受理を決定後、下記の審査委員を選定した。委員は主査を中心にその論文内容を慎重に審査し、公開論文発表会での発表を行わせるとともに口頭による最終試験を行い、論文の審査および最終試験の結果を、平成8年2月15日の研究科委員会に報告した。

ディーゼル機関は、原動機としては、最高の熱効率を有し、かつ多種のエネルギー資源を有効に活用できるため、現在幅広い分野で利用されているが、大気汚染の問題から排ガス浄化が必要不可欠である。また、将来のエネルギー資源の枯渇を考えると、最高の熱効率を有する直接噴射式ディーゼル機関と言えども、さらなる低燃費化すなわち高効率化が要求される状況にある。

主論文は、高効率かつ低公害のディーゼル機関を実現することを目標になされた研究で、ディーゼル機関燃焼室における燃焼挙動およびNO_x生成を支配する物理的因子を理論と実験の両面から定量的に明らかにするとともに、将来の排ガス規制に対処できる実用的な低NO_x燃焼法を提案している。

先ず、NO_x生成率を支配する燃焼域ガス温度の推定精度を向上させるため、吸気中に含まれる水分、乳

化油中の水含有率、および残留ガス割合を考慮しつつ、高温において熱解離状態にある10種の化学種の平衡組成解析に基づいた燃焼ガス比熱算定法を導入することによって、改良型2領域燃焼解析モデルを確立し、NOx低減因子の解明に効果的に適用している。

実験では、燃料の初期噴射率の制御のため、新設計のドッジプランジャ式パイロット噴射弁の採用およびそのパイロット噴射量制御システムを提案し、主噴射に隣接した少量のパイロット噴射を行った場合、着火遅れが著しく短縮されること、およびすすの増加を抑制しつつNOxと燃費の背反関係が顕著に改善されることなどを示した。なお、燃費の低減は排気損失および冷却損失の低減、および機械効率の向上によることを解明している。また、電子制御式吸気ポート水噴射システムを提案し、パイロット噴射、吸気ポート水噴射および噴射時期遅延の適切な組合せによって、燃費を悪化することなくNOxを50%低減できる低NOx燃焼法を示している。

さらに、実験結果の解析では、改良型2領域モデルを用いて、主として燃焼域空気過剰率および燃焼ガスの比熱の観点から、パイロット噴射によるNOx低減効果は、初期噴射率の低下に基づく燃焼圧力の低下が主要因であり、このNOx低減効果は小さいこと、また、水添加乳化油および吸気加湿によるNOx低減効果は、いずれの場合も水付加に基づく燃焼ガスの比熱およびガス重量の増加が支配因子であることなど、ディーゼル燃焼におけるNOx低減の支配因子を解明している。

ここに提案された複合的低NOx燃焼法を実用機関に応用すれば、ディーゼル機関の熱効率を損なうことなくNOxが低減でき、これに基づく低NOx化は都市の大気環境を改善し、また低燃費化すなわち低CO₂化は、地球環境の保全に多大の貢献をなすものとして評価される。

海洋生産科学研究科委員会は、論文審査及び最終試験の結果についての審査委員の報告に基づき審査した結果、本論文はディーゼル機関の低NOx化に関する研究の領域において極めて参考になる有益かつ新しい知見を含んでおり、これらの成果は海洋生産科学の基礎部門である工学の進歩に寄与するところ大であり、博士(工学)の学位に値すると認め、合格と判定した。

審査担当者 主査 教授 石田 正 弘
副査 教授 鹿川 修 一
副査 教授 川口 勝 之
副査 教授 茂地 徹