



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ディーゼル燃焼の着火遅れ特性および予測モデルに関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	坂根, 悠平
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15360号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/89517
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yuhei_Sakane_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 坂根 悠平

審査担当者 主 査 特任教授 小川 英之
副 査 教 授 田部 豊
副 査 教 授 藤田 修
副 査 准教授 柴田 元

学位論文題名

ディーゼル燃焼の着火遅れ特性および予測モデルに関する研究

(A Study on Ignition Delay Characteristics and Prediction Models of Diesel Combustion)

最新のディーゼルエンジンにおける新燃焼方式の適用や適合開発・リアルタイム制御に対応するため、正確かつ簡便な着火遅れの予測手法が求められているのに対し、本研究は広範な運転条件における着火遅れデータを取得して各因子による影響に対する独立した記述を試みるとともに、得られたデータに現象論的解釈を加えた統計学的手法による着火遅れ予測式の構築している。

まず、機関回転速度、吸気圧力、吸気温度、および排気再循環 (EGR) による吸気酸素濃度、燃料噴射圧力、および冷却水温度の六つの運転条件を広範に設定・変更して着火遅れを計測し、着火遅れに及ぼす個々の運転条件による影響に対する独立した記述を試みている。その結果、機関回転速度の増加による着火遅れの減少は、圧縮行程における冷却熱量の減少による圧縮端温度および圧力の上昇が支配的に影響していること、および吸気圧力の寄与は低機関回転速度時ほど大きいことを明らかにしている。さらに、吸気温度の寄与は低吸気温度条件ほど顕著であり、この際、吸気温度の上昇は圧縮行程により増幅された圧縮端温度の上昇をもたらすが、低吸気温度条件ほど冷却熱量が減少してその増幅比が大きくなることを原因として挙げている。さらに、吸気酸素濃度の低下により着火遅れは著しく増加し、その程度は低吸気酸素濃度ほど顕著であること、燃料噴射圧力の上昇にともなって、噴霧液柱分裂時間が短縮するとともに混合気形成が促進されて着火遅れは短縮し、本研究の範囲ではおおむね燃料噴射圧力の 0.3 乗に反比例して減少することを明らかにしている。また、低冷却水温度時では冷却水温低下による平均筒内ガス温度の変化が小さいにもかかわらず着火遅れが顕著に増加することから、壁面温度が強く影響を及ぼすことを示唆している。

次に、セタン価が異なる二種類のパラフィン系合成燃料を混合することによってセタン価を 32 から 78 までの範囲で変更し、吸気圧力、吸気温度、吸気酸素濃度、および燃料噴射圧力の五条件を広範に設定することで、着火遅れのセタン価に対する依存性に及ぼす各運転条件の影響について検討を行っている。その結果、吸気圧力および温度の変化による着火遅れのセタン価に対する依存性への影響はいずれの条件においても同程度であり、低吸気酸素濃度条件ほどセタン価の低下にともなう着火遅れの増加の程度は顕著となることを示している。さらに、燃料噴射圧力の上昇にともなう着火遅れの減少はいずれのセタン価においても同程度であり、燃料噴射圧力が着火遅れに及ぼす影響のセタン価に対する依存性は小さいことを明らかにしている。また、燃料着火性をセタン価 32 まで低下させると、運転条件によらず着火遅れが顕著に増加することを述べている。

以上で得られた着火遅れデータに基づき、燃焼様態を問わない着火遅れ予測式の構築を試みている。

まず、第一の試みとして、酸素分圧、燃料噴射圧力および平均筒内ガス温度を説明変数とした重回帰分析により確立したアレニウス型着火遅れ予測式において、燃料着火性の寄与を表現するため、セタン価が回帰式中の活性化エネルギー項にのみに寄与すると仮定して着火遅れがセタン価に反比例する関数を得ている。この結果は、パラフィン系合成燃料を使用する場合において、着火遅れ予測式中の活性化エネルギー項に得られたセタン価の関数を代入することで着火遅れ予測が可能であることを示したものである。

次に、アレニウス型着火遅れ予測式の一般性を向上させるため、着火遅れを燃料噴霧が液柱分裂時間で代表される物理的期間とそれに続く化学的期間に分け、化学的期間に対して説明変数を過渡的に取り扱って Livengood-Wu 積分を適用した予測式を求めている。その際、噴霧先端にて着火が生ずると仮定し、噴霧運動量理論に基づく燃料噴霧先端の酸素分圧および燃料噴霧内混合強度を説明変数として採用することで、噴霧発達における過渡的現象を考慮した高精度・簡便かつ一般性を担保した着火遅れ予測式を確立している。その際、燃料噴射圧力ごとに重回帰分析を行うことにより予測精度が若干改善することを明らかにし、燃料噴射圧力が燃料噴霧中の微視的な混合気構造などに及ぼす効果を回帰モデル中に記述できれば、さらなる精度向上が期待できることを示唆している。

これを要するに、本研究はディーゼルエンジンにおける着火遅れに対する種々の運転条件および燃料の着火性の影響を独立して記述するとともに、ディーゼル噴霧中における過渡的現象を考慮した着火遅れ予測式を確立している。この予測式は、燃焼様態を問わない簡便かつ高精度な着火遅れ予測が可能であり、ディーゼルエンジンのさらなる性能向上とその開発負荷低減に資する成果が得られており、エンジンシステム工学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。