

(論文内容の要旨)

本論文は、車両用ガソリンエンジンの熱効率向上を目的とし、高圧縮比化のためのノッキング抑制および希薄燃焼の実現を目指す燃焼制御の方法について、新しいコンセプトの提案を行うとともに、実験ならびに数値シミュレーションにより検討した研究成果をまとめたもので、6章から構成されている。

第1章の緒論では、自動車を取り巻く社会的背景の概説し、それを通じて車両用ガソリンエンジンの熱効率向上の必要性を述べるとともに、その方策として圧縮比を高めることと希薄燃焼の実現が重要であることを示している。その上で、これらの実現のために行われてきた様々な技術開発とそれらの研究動向をふまえ、本研究の目的と取り組むべき内容を提示している。

第2章では、高圧縮比化を阻害するノッキング現象について考察し、その強度を定量化するとともに高精度予測手法の開発を試みている。まず、多くの実験解析からノッキング強度とエンドガス自着火との相関を新たに見出している。つぎに、この相関を化学素反応を考慮した0次元サイクルシミュレーションに組み込むことにより、ノッキングの発生とその強度を高精度に予測するプログラムを開発し、圧縮比、吸気温度、オクタン価、当量比、など各種変数によるノッキング発生が予測できることを示している。さらに、これを実用のエンジン燃焼場に適用し、排気再循環および成層燃焼技術がノッキングの発生に及ぼす影響について明らかにしている。

第3章では、上述のノッキング予測手法を一次元吸排気シミュレーションに適用して、實際上問題となる加速時における過渡ノックを予測している。ここでは、多くの車両に搭載されている4気筒ターボ過給エンジンを対象として、オクタン価の影響および可変圧縮比機構を用いた際の過渡ノックの発生要因と抑制方法について検討している。特に、高負荷への切り替え初期において残留ガスを多く含む比較的高温の混合気が大気圧近くまで圧縮されることで、さらに温度が上昇して過渡ノックを発生することを明らかにし、その抑制には圧縮比切り替え期間の短縮が大きな効果があることを示している。

第4章では、高効率かつ低エミッションな新燃焼コンセプトとして注目されている予混合圧縮着火(HCCI)燃焼の制御方法について、化学素反応モデルを適用したマルチゾーンシミュレーションにより検討している。特に、燃焼室内混合気の一斉着火による急激な圧力上昇を抑制する手段として、温度の不均一性を利用する方法を提案し、温度分布の幅を拡大すると同時に平均温度を下げることで熱発生の期間と時期を適切に制御することができ、NO_x排出増加や熱効率低下を招くことなく騒音・振動を回避できることを明らかにしている。

第5章では、低オクタン価燃料と水素の均質予混合気に対して火花点火することにより、前半の火炎伝播を安定に維持しつつ燃焼後半で圧縮自着火燃焼を行うハイブリッド

燃焼コンセプトを提案している。この方式が、HCCI燃焼実現の課題である熱発生の時期と速度の制御に有効であり、熱効率の大幅な向上と低NO_x・低未燃率を達成できることを、可視化エンジン実験および性能試験によって実証している。さらに、この燃焼を実現するための混合気条件について急速圧縮膨張装置を用いた実験により明らかにしている。

第6章の結論では、本研究で得られた成果を要約し、開発した予測手法や知見が実際のエンジン開発に活用されていること、ここで提案したHCCI燃焼制御手法がその後の研究における主流となっていること、などガソリンエンジンの熱効率向上のための主要課題の解決に貢献していることについて述べるとともに、今後のエンジン研究開発の方向性と課題についてまとめている。

(論文審査の結果の要旨)

本研究は、車両用ガソリンエンジンの熱効率向上を目的とし、高圧縮比化のためのノッキング抑制および希薄燃焼の実現を目指す燃焼制御の方法について、実験ならびに数値シミュレーションにより検討したもので、主な成果は以下の通りである。

1) 多くの実験解析から、高圧縮比化を阻害するノッキングの強度とエンドガス自着火との相関を新たに見出し、化学素反応を考慮した0次元サイクルシミュレーションに組み込むことにより、ノッキングの発生を高精度に予測するプログラムを開発した。さらに、これを実用のエンジン燃焼場に適用し、排気再循環および成層燃焼技術がノッキングの発生に及ぼす影響について明らかにした。

2) 上述のノッキング予測手法を一次元吸排気シミュレーションに適用して、實際上問題となる加速時における過渡ノックを予測可能とし、4気筒ターボ過給エンジンにおけるオクタン価の影響および可変圧縮比機構を用いた際の過渡ノックの発生要因と抑制について検討した。特に、高負荷への切り替え初期における一時的な混合気温度の上昇が過渡ノックを発生することを明らかにし、その抑制には圧縮比切り替え期間の短縮が大きな効果があることを示した。

3) 新燃焼コンセプトとして注目されている予混合圧縮着火燃焼の制御方法について、化学素反応モデルを適用したシミュレーションにより検討し、混合気の温度分布の幅を拡大すると同時に平均温度を下げることで熱発生期間と時期を適切に制御でき、NO_x排出増加や熱効率低下を招くことなく騒音・振動を回避できることを示した。

4) 低オクタン価燃料と水素の均質予混合気を火花点火することにより、前半の火炎伝播を安定に維持しつつ燃焼後半で圧縮自着火燃焼を行うハイブリッド燃焼を提案し、これが熱発生時期と速度の制御に有効で、熱効率の大幅な向上と低NO_x・低未燃率を達成できることを、可視化エンジン実験および性能試験によって実証した。さらに、この燃焼を実現するための混合気条件について急速圧縮膨張装置を用いた実験により明らかにした。

以上、本研究はノッキングの発生機構解明と抑制方法を提示するとともに、高効率かつ低エミッションな予混合圧縮着火燃焼における熱発生制御方法を提案し、ガソリンエンジンの熱効率向上技術の発展に大きく貢献するもので、得られた知見は学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(エネルギー科学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成20年12月8日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。