

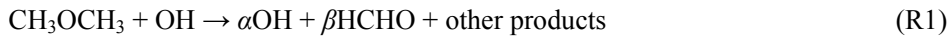
## 審査の結果の要旨

氏名 山田 裕之

山田裕之が課程博士学位請求のため提出した論文は、「予混合圧縮着火機関における着火時期制御方法の反応論的研究」と題し、全8章で構成されている。

第1章は全体の序論であり、内燃機関技術開発の現状、本研究で対象とした予混合圧縮着火機関の位置づけ等を背景として述べている。そして本研究の目的として、特に冷炎・熱炎からなる二段階着火現象に着目し、着火制御に関連した機構の解析と検証を行うことを述べている。また基礎概念となる燃焼反応理論につき概説している。

第2章は、「DMEを燃料としたHCCI機関における低温酸化過程の機構検証」として、まず本研究全体を通じて使用した、圧縮着火観測用の実験内燃機関装置の説明と、提出者の発案となる、冷炎発生・熱炎抑制条件での排気分析の方法について述べている。本実験法の結果として、冷炎での燃料消費率とホルムアルデヒドの収率が等量比に依らず一定値であることを見出し、それが次の簡略連鎖反応式で説明されることを示した。



ここでOHの再生係数 $\alpha$ が1を超えることで連鎖成長条件を満たすが、副次生成するホルムアルデヒドHCHOは連鎖停止剤として機能する。連鎖停止点は燃料残量とアルデヒドの濃度比で、 $[\text{HCHO}]/[\text{DME}] = (\alpha - 1)k_1/k_2$ と決まり、観測事実と符合する。

第3章は、「DMEを燃料としたHCCI機関における添加物効果」であり、添加剤としてメタノールとオゾンについて、それらが主燃料に加わった場合の機構の変化を検討した。メタノールの着火遅延効果は、冷炎熱発生量の減少によるその後の到達温度の低下により起こる。この効果を生じる反応機構としては、前章で示した冷炎連鎖反応の基本式に、メタノールのOH消費特性を追加することで説明でき、添加量に対する遅延係数も2章の簡略式の軽微な拡張により再現した。

オゾン添加では、冷炎発生の低温化および冷炎熱発生の増加によって着火促進効果を持つ。反応機構としては、オゾンの熱分解反応を詳細反応機構に追加することで扱え、冷炎低温化に伴うアルデヒド収率の低下を予測した。これも排気分析により実験的に検証して本機構をより確実なものとした。

第4章は「DME改質によるHCCI着火時期制御の可能性検討」では、添加物による着火時期制御に際し、単一燃料で実現可能なシステムとして元燃料のDMEの一部を熱改質することを検討した。無酸素のDME改質では、熱力学的な最終組成ではなく中間生成のホルムアルデヒド収量の確保が必要である。その最適生成条件を詳細反応機構計算から検討し、700-900 Kの改質過程の反応時間設定を行った。実際に流通管形式の試験改質器を試作し、900 K、60秒の反応時間でのアルデヒド生成を確認した。

第5章は、「DME簡略化反応機構」である。既存の詳細反応機構の反応式数300余りに対し、筒内流動を含めた次元計算に組み込むには格段に減らした簡略反応機構で、且つ多段着火を再現するものが必要となる。しかし既存の「Shellモデル」では抽象化度が高く、中間生成物の追跡や、添加物効果を扱うことはできない。そこで本章にて新たな簡略モデルを構築した。既存詳細機構から低温酸化反応機構を代表する中核部分の構成は保持し、その他要素は重要度に応じて総括反応として、反応数25の新モデルとした。得られたモデルは予混合エンジン内圧縮における着火タイミングを広い条件範囲で再現し、OH、HCHOなど重要な中間化学種のプロファイルを妥当に表現した。

第6章の「直鎖飽和炭化水素燃料における自着火過程の機構検討」においては、ガソリン成分となる大きな燃料分子にDMEの方法論を適用した。ノルマルデカンおよびノルマルヘキサンを燃料として、2章で行ったような、エンジン内冷炎発生時の排気成分分析を行った。但し検出成分の高分子化に対応してガスクロマトグラフ分析法を適用した。DMEで示された、アルデヒド蓄積による連鎖停止機構はこれら燃料でも訂正的には共通であるが、係数の違いにより燃料消費率がかなり大きくなるなど定量的な差異が見出された。

第7章は、「低温酸化過程終了から自着火発生に至る反応機構に関する考察」である。ここでは、二段着火における冷炎-熱炎間の熱的休止区間について詳細反応機構を用いた考察を行った。解析において履歴温度を横軸にとって逐次の熱発生率を表すと、段階毎の主要過程を代表する活性化エネルギーが得られることに着目し、中間領域の遅い反応は過酸化水素の熱分解に支配されていることを示した。過酸化水素は今後の実験的検証において重要な対照化学種であると言える。

第8章は結論で、本研究全体を総括した。

以上博士論文としてまとめられた研究成果は、内燃機関研究の中にあつて特に燃焼反応機構に焦点を当てた基礎的研究と位置づけられる。主要な反応機構を抽出する独自の手法で、大きな技術課題とされている圧縮着火時期制御の有効な指針を提供している点で、工学的意義が認められる。これら成果は機械学会論文集、Combustion and Flame、J. Engine Researchに原著論文として掲載され、米国自動車技術会(SAE)、国際燃焼シンポジウム等の国際学会に発表して評価を受けた。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。