HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	A Study on Low-temperature Ignition of DME-air Mixture at Atmospheric Pressure [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	高, 健
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11446号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55492
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Jian_Gao_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　高 健

審査担当者　主　査　准教授　中村 祐二
副　査　教　授　藤田 修
副　査　教　授　大島 伸行
副　査　教　授　小川 英之

学位論文題名

A Study on Low-temperature Ignition of DME-air Mixture at Atmospheric Pressure
(DME 混合気の常圧下における低温着火に関する研究)

ジメチルエーテル (DME) は無色無臭で常温常圧では気体となる含酸素燃料であり, 比較的弱い加圧で液化するため, 輸送・利用ともに優れる次世代燃料である. その利便性に加えて, 燃料構造内に酸素原子を内包するため, 燃焼過程において煤を排出しないクリーンな燃焼が可能であり, 主にディーゼル機関への利用が考えられている. 実用に先立ち,DME に関する詳細反応モデルの開発も進められており, エンジン筒内での燃焼状態を精度よく再現できることが示されている. その一方で, 例えば弱い予熱場 (常圧,200 度程度) に比較的長時間 DME-空気混合気を晒した際, 公称着火温度よりも随分低い温度からも発火するなどの報告があり, 低温酸化反応に関しての検討が十分であるとは言い難い. 最も深刻な問題なのは,「現存する DME 反応モデルではこの 200 度程度からの自発着火を再現できない」ことにある. この理由は, 現存する DME 反応モデルの開発目標は, 上記の通りエンジン筒内での燃焼過程を再現するためであり, 常圧場での現象や低温酸化過程に対しての精度が保証されていないことにある. ところが DME の実用を考えた場合,DME 燃料ステーションは常圧場に設置され, エンジン周囲の熱により 200 度という低温は十分現実的に存在する熱源であり, 低温着火により不慮の災害が起きた際「予測できない」では済まされない. 本研究は, この問題点に立脚し, 従来まで詳細に検討しづらかった DME 低温酸化反応の詳細を調べることに焦点をおいた反応装置を開発し, それを用いた試験・数値的検討を重ねることで, 現在の低温酸化反応モデルの欠損を指摘し, 改善点を明確にしたものである.

第 1 章では既存の DME の低温着火機構, 特にエンジン燃焼でも重要となる二段階着火についての既知の反応モデルを紹介し, 低温酸化反応の知見がどのような工学的および学術的なインパクトがあるのかを明確にしている. 最後に本論文の流れを紹介している.

第 2 章では,1400mm のストレート反応管にヒータを巻きつけた実験装置を用いて,DME 低温着火がある当量比および予熱条件「のみ」で発現することを示した. この装置では着火現象が周期的に得られることを利用して, 非定常的に変化する着火までの温度および濃度変化過程を緻密に調べた結果, 自発着火が 2 段階に分類できる (弱い発光を伴う weak flame の発現と強い発光を伴う hot flame の発現) ことを見出した. ただし, 着火を確認するのには本実験システムではヒータの隙間からのみの確認しかできなかったため, 詳細に「どこ」で「いつ」「どのような」発火に至っているのかの詳細までは捉えることができないという問題点も指摘された.

第 3 章では上記の問題点を解消すべく, 実験システムを透明系にするような改善が施され, 着火が

発現する位置, タイミング, 強さなどを詳細に調べることができる反応管を開発し, それによる実験成果をまとめている. 反応管の形状や長さが変わっても低温着火がある特定の当量比および予熱場「のみ」に限られることを確認した後, この反応管により極めて弱い発光が認められる条件領域が改定され, より当量比の大きい (=濃い) 状態で弱い発光 (weak flame) が発現しやすいことを明らかにした. 低温着火を認める条件のうち, 当量比が小さな条件では, 弱い発光の後に強い光を伴う炎への遷移が可能になる一方で, 他の条件ではそのような遷移は確認できない. この原因を weak flame が生成した際の中間生成物が反応を阻害する働きがあることを予測するに至った.GC による安定成分の検出によりその推定に対して可能性を与えることに成功した. このように低温酸化反応の詳細を解明することは,hot flame への遷移を実現するか否かを支配するため極めて重要であることが再確認された.

第 4 章では汎用反応解析ソフトウェア CHEMKIN を用いて反応生成物解析を行い, 実験結果の説明を試みた. 前記の通り, 既存の DME 詳細反応機構を用いても実験結果, 中でも hot flame への遷移を再現するには至らない. 上記までの実験で得られた知見を加味して, 反応を阻害する生成物の生成反応経路を変更することで hot flame への遷移が実現されると推定し, 反応定数を一部修正することで, これまで予測できなかった上記遷移を予測することに成功した. 反応モデルの改善には繊細な調整などが必要になるが, 少なくともどのような物理化学過程を含めなければならないことは本研究で明確になった.

これを要するに, 著者は, 本論文を通じて伝熱過程と反応過程とが連成した結果として生じる DME の低温自発着火時の一連の非定常挙動を詳細に解明し, 実用が期待される代替燃料の爆発危険性ならびに有効利用の観点から新しい知見を提供しており, 燃焼工学に対して貢献するところが大なるものがある. 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があるものと認める.