



| | |
|---------------------|---|
| Title | 質量およびエンタルピーを保存する液滴内部分布を考慮した多成分燃料用液滴蒸発モデルの開発と精度検証 [論文内容及び審査の要旨] |
| Author(s) | 内藤, 雄心 |
| Degree Grantor | 北海道大学 |
| Degree Name | 博士(工学) |
| Dissertation Number | 甲第14874号 |
| Issue Date | 2022-03-24 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/85284 |
| Rights(URL) | https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ |
| Type | doctoral thesis |
| File Information | Yushin_Naito_abstract.pdf, 論文内容の要旨 |



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 内藤 雄心

学位論文題名

質量およびエンタルピーを保存する液滴内部分布を考慮した多成分燃料用液滴蒸発モデルの開発と
精度検証

(Development and validation of droplet evaporation model for multi-component fuel considering
internal distributions conserving mass and enthalpy)

地球環境保護の観点から、クリーンな燃焼技術の開発が要求されている。制御の応答性が良く高負荷燃焼が可能である噴霧燃焼技術は航空機エンジンなど様々な産業機械に使用されている。しかし、微粒化、蒸発、燃焼などが同時進行する反応性混相乱流である噴霧燃焼には、火炎構造の複雑性から現象のメカニズムには不明点が多い。そこで、近年では噴霧燃焼シミュレーション技術を活用して経験ではなく思索的かつスピーディーに火炎挙動を予測することによって、燃焼器設計プロセスを高効率化するとともに革新的な燃焼技術の創出が期待されている。しかし、噴霧燃焼シミュレーション技術において、液滴蒸発モデルの選定によっては噴霧燃焼構造の予測結果が異なることが報告されている。本研究の目的は、高精度な多成分燃料用液滴蒸発モデルを構築するとともに、単一液滴蒸発実験結果と比較することで構築したモデルの予測精度を明らかにすることである。

第1章では、噴霧燃焼シミュレーション技術の開発事例と噴霧燃焼シミュレーション技術による革新的燃焼技術の創出事例を概説するとともに、本研究の社会的意義を示している。また、研究動機の一つとして、乱流噴霧燃焼の Large Eddy Simulation において、液滴蒸発モデルの選定によっては火炎の浮き上がり位置や火炎内の液滴分布の予測が異なるという報告を示している。高精度な液滴蒸発モデルを構築するために、実機で使用されている燃料の多くは化石燃料であることから、複数の化学種から構成されている多成分燃料を本研究でモデリングする対象燃料とした。多成分燃料では時々刻々の揮発性が異なることから、液滴内部に濃度および温度分布が形成されることが考えられる。内部分布式として、球対称の多成分液滴の熱拡散方程式および物質拡散方程式の解析解で与える多成分燃料用液滴蒸発モデルが提案されているが、液滴蒸発過程全体では液滴内の質量とエンタルピーの保存を満たしていないと考えられる。その理由は、気相では質量およびエンタルピーの準定常状態における拡散を仮定している一方で、液相では質量およびエンタルピーの非定常状態における拡散を仮定していることである。従って、準定常状態では液滴からの質量の拡散量が非定常状態に比べて過大評価される。そこで、本研究では仮定の差異を埋める関係式を考慮した内部分布式を構築した。

第二章では、本研究で構築した多成分燃料用液滴蒸発モデルで考慮している液滴内部の濃度および温度分布の導出過程、気相の物質輸送および熱輸送の取り扱い、および計算アルゴリズムを示している。本研究では、液滴内部の濃度および温度分布に対して一様分布と勾配をもつ分布の境界を考慮した分布を導出している。なお、境界は液滴表面からの熱および物質拡散係数と液滴半径の減衰速度の比率によって与えられる。本研究では球対称の多成分燃料液滴の熱拡散方程式および物質拡散方程式の解析解に対して、タイムステップ毎に質量およびエンタルピーが保存するような関係式を適用している。また、従来の液滴蒸発モデルでは気相における熱輸送と物質輸送のカップリング

を考慮しているが、本研究で構築したモデルでは気相における熱輸送と物質輸送を個別に解くことで精度向上を図っている。

第三章では、分解軽油サロゲート燃料を対象として、様々な雰囲気温度における液滴寿命の実験値と予測値を比較している。高温雰囲気においては実験値と予測値の差異は小さいことを明らかにした。しかし、低温雰囲気においては実験値と予測値の差異は大きいことがわかった。そこで、単一液滴蒸発実験における予蒸発過程を模擬した計算を実施した。予蒸発過程を模擬することによって様々な雰囲気温度において実験値と予測値がよく一致することがわかった。さらに、実際の噴霧燃焼場を模擬した様々な計算条件において、本モデルによる予測値と内部分布を一様分布と仮定したモデルによる液滴寿命の予測値の差異を示している。雰囲気温度の増加とともに、モデルの差異による予測値の差異は増加するが、ある雰囲気温度からはモデルの差異による予測値の差異が減少傾向に転じることがわかった。このことから、一様分布と勾配をもつ分布の境界が液滴表面に近づくことによって液滴蒸発特性に対して2つの異なる効果を与えることを明らかにした。まずは、勾配をもつ分布を形成する領域が狭くなるため、液滴内部の分布の勾配が急峻になるということである。他方は、勾配をもつ分布を形成する領域が狭くなるため、液滴内部の分布が全体的に一様分布に近づくということである。

第四章では、イソオクタン-エタノール混合燃料を対象として、雰囲気温度 340 K と 480 K において、様々な混合割合で実験値と予測値を比較している。いずれの雰囲気温度においてもエタノールの混合割合が小さい場合は、予測値と実験値はよく一致することがわかった。一方で、雰囲気温度 340 K において、エタノールの混合割合が大きい場合は実験値と予測値の差異は大きくなった。そこで、エタノールの極性が蒸気圧に与える影響を考慮するために、実在溶液の蒸気圧の効果を補正する係数である活量係数を気液界面において考慮した。エタノールの混合割合が大きい場合、活量係数を考慮したモデルによる予測値は活量係数を考慮しない予測値よりも液滴寿命が長くなることがわかった。しかし、活量係数を考慮しても予測値と実験値には未だ大きな差異があることがわかった。これは、分子クラスターによる液滴蒸発特性への影響が本モデルでは考慮できていないことが原因であると考えられる。

第五章は、前章までの内容を総括し結論とした。