

## 審査の結果の要旨

氏名 伊藤 裕一

本論文は「LESによる乱流噴霧燃焼場の数値予測」と題して全6章から構成されている。

第一章においては序論として本研究の背景にあるエネルギー問題、地球環境問題について述べ、これらの問題点を解決するために、高効率・低公害の燃焼器の設計支援ツールとしての数値シミュレーション手法の開発の必要性を述べている。また、従来用いられてきたRANS解析の欠点およびその限界とLES解析を行なうことで解決しうる点を挙げることでLESに基づく解析手法を用いて乱流噴霧燃焼場を高精度で予測できる手法の必要性とその実現可能性を述べている。その上で乱流噴霧燃焼場における乱流火炎温度分布（気相温度分布）の予測精度の評価と、噴霧液滴の挙動とその蒸発モデルの評価を目的として掲げている。

第二章、第三章では、本研究で用いる流れ場の基礎方程式および噴霧場の基礎方程式、そしてそれらのカップリング手法と蒸発現象および燃焼燃焼の数理モデルについてこれまでの提案・使用されてきたモデルを概観し、本研究で採用する Euler/Lagrange 手法および Flamelet model の基礎方程式とその有効性とその組み合わせによる優位性を明らかにしている。同時に乱流噴霧燃焼場に Flamelet model を導入する際の問題点を提起し、その問題点を克服する数理モデル「Lagrange型エネルギーカップリングモデル」を提案した。

第四章においては、第二章、第三章で提案した手法のうち、液滴挙動と蒸発モデルの検証を目的として、旋回流にホローコーン噴霧を噴射した実験体系に適用し、その評価を行なっている。解析対象は Widmann and Presser(2002)によるメタノールの噴霧実験とした。常温常圧下において、ホローコーンインジェクタにより液体メタノールが噴霧され、その周囲流入部から約 3m/s、スワール数 約 0.6 の旋回空気が流入する体系で、Reynolds 数は約 10,000 である。この実験体系に則した数値解析を、噴霧液滴の初期条件（粒径分布と初期速度）を実験における代表的な数値で表現したもの（case I）と、粒径分布と初期速度を代表値ではなく、実験における値をそれぞれ直接用いた（case II）2 ケースで解析を行なっている。その結果、case I の解析においても噴霧液滴速度の減衰の推移など定性的な予測が十分に可能であることを示し、また気相乱流場が噴霧場に与える影響を評価した。その上で case II では液滴の初期条件をより実験に即した条件を与えることで噴霧速度の減衰の推移だけでなく、その半径方向への拡散の様子が実験値と非常に良く一致し、噴霧挙動を定量的に予測可能であることを示した。このことは噴霧挙動と蒸発モデル（蒸発量）が正確に表現できている証左であり、本論文で提案する解析手法は乱流噴霧場を精緻に予測可能であることを示している。

第五章においては、第四章までで明らかとなった乱流噴霧場の解析手法を用いて、実験室レベルの乱流噴霧燃焼場の解析を行ない、気相温度分布の予測精度を評価している。参照する実験体系は、Karpetis and Gomez (2000)による、メタノールによる乱流非予混合噴霧火炎である。予備解析として位置づけている非燃焼場の解析によって、渦構造の発達と崩壊といった乱流噴霧構造のダイナミクスが表現できることを示し、この知見を元に、乱流噴霧燃焼場への LES 解析の適用を行なった。その結果、燃焼流れ速度分布においては、定量比較では実験データとの若干の差異が見られたが、せん断層の発達や噴霧構造の崩壊といった流れ場におけるダイナミクスの定性的な一致が見みられた。定量予測精度の向上に関しては、流入変動成分の導入方法を再検討することで解決が見込まれることを過去の例と併せて指摘されている。気相温度分布においては、本研究で提案した Lagrange 型エネルギーカップリングモデルの導入により噴霧の蒸発による火炎の冷却効果が導入され、本カップリングモデル導入前と比較して、実験値とより整合する結果を得た。また、噴霧速度分布において、気相成分による加速過程を定量的に正確に予測することができ、気相速度分布の比較より気相-液相間の相互干渉モデリングの妥当性についても解析結果と regime diagram 両面から検証できている。

第六章では本研究で得られた成果が述べられている。

以上を要約すると、本論文では実用工学問題としての乱流噴霧燃焼問題の高精度予測手法の構築とその温度予測精度および液滴挙動・蒸発現象の予測精度の評価を目的として、Euler/Lagrange 法と flamelet approach に基づく乱流噴霧燃焼 LES 解析手法を開発し、高精度な乱流噴霧燃焼場解析手法の指針を示すことができた。この成果は乱流噴霧燃焼場の解析手法の提案のみならず、その数値解析技術の発展につながるもので、流体力学、燃焼工学、エネルギー変換工学、化学工学といった広範な工学分野において寄与するところが大きい。

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。