

審査の結果の要旨

氏 名 范 勇

本論文は、「マイクロ流路内予混合火炎における熱・化学的壁面効果に関する研究」と題し、5章より成っている。近年、リチウムイオン電池に替わる携帯電源として、燃料の化学的エネルギーから発電を行うマイクロ発電システムが注目されている。直接メタノール型燃料電池が代表的なデバイスの1つであるが、単位体積当たりの発電密度が高く、使用できる燃料に限定されないことから、燃焼プロセスを経る熱光発電、熱電システムの研究開発も進められている。本論文では、超小型燃焼器で重要となるマイクロ気相燃焼の消炎機構について実験的に検討している。マイクロ燃焼は通常の消炎距離よりも狭い間隙での燃焼現象と定義できるが、従来、熱的および化学的消炎機構の存在が報告されているものの、熱的境界条件を明確に規定した場合の知見は乏しい。本論文では、平行平板間および矩形チャンネル燃焼器内での燃焼形態、消炎機構について、光学計測な定量計測により明らかにすることを目的としている。

第1章は、「序論」であり、従来の関連研究を概観し、本研究の目的を述べている。様々なマイクロエネルギー源の研究開発状況、特に本研究の動機付けとなったマイクロ熱光発電システム概念とマイクロ燃焼器に対する要求使用が述べられている。また、マイクロ気相燃焼についての従来の研究について、壁温をはじめとする熱的消炎の効果、壁面材料に依存する化学的消炎、FREIを代表とする振動的な火炎について述べられている。そして、平行平板間および矩形チャンネル燃焼器内での燃焼形態、消炎機構について、光学計測な定量計測により明らかにする、という本論文の目的が述べられている。

第2章は、「平行平板間の消炎距離」と題され、温度境界条件を同一とし、表面の材質のみを変化させた場合の消炎距離の計測について述べられている。熔融石英板の裏側に黒色石英を接合したプレート二枚を対向させ、裏側から赤外線加熱することにより精密の温度制御を行い、拡散火炎が空隙を通過するか否かを基に消炎距離を定義して、壁面温度を変化させて系統的な測定を行った。その結果、石英表面では、従来の研究と同様に、壁温上昇と共に消炎距離が減少すること、石英表面にCr薄膜を形成したときには、石英表面よりも消炎距離が増大するが、その影響は温度の影響よりも小さいことを示し、熱的消炎が支配的であることを明らかにしている。

第3章は、「マイクロ燃焼器内の火炎」と題され、石英製のマイクロ燃焼器内での燃焼形態について述べられている。熔融石英で製作したチャンネル高さ0.7mm, 1mm, 1.5mmの燃焼器外側に黒色石英を接合し、裏側から赤外線加熱することにより精密の温度制御を行って、内部に形成される火炎の計測を行っている。まず、高速度ICCDカメラによるOHラジカル自発光の観察により、静止火炎および振動火炎の可視化が行われた。そして、壁温、チャンネル高さを系統的に変化させた場合の燃焼可能範囲のマッピングを行って、壁温の上昇、チャンネル高さの増大に伴って、可燃範囲が増大することを明らかにした。また、火炎温度が壁温に大きく依存すること、レーザー誘起蛍光法(LIF)により光学スライスされたマイクロ

火炎の構造に壁温の影響が大きいことが述べられている。また、過濃側では、燃焼器出口で着火後、上流へ進行、消炎、燃料のリチャージ後再着火する、振動火炎が発生することが述べられている。

第4章は、「振動火炎」と題され、過濃側で発生する振動火炎について詳細な計測を行った結果を述べている。まず、振動火炎の動きに位相ロックして計測することができる LIF システムの開発について述べられている。そして、振動火炎が上流側に進行するとともに、火炎速度が減速すること、そして壁温の低い側壁近傍から消炎が始まることが述べられている。また、OH₂ライン法を用いた振動火炎の温度計測結果について述べられ、着火後、一旦火炎温度は上昇するものの、進行とともに低下し、消炎に至ることが明らかにしている。また、この温度計測の結果は、火炎速度の加減速と良く整合しており、振動火炎についても熱的消炎が支配的であることを明らかにしている。さらに、振動火炎の周波数の簡易的なモデルが提案され、実験結果を表現できることを示している。

第5章は結論であり、本論文で得られた成果がまとめられている。

以上要するに、本論文では、マイクロ気相燃焼での消炎機構について検討を行い、熱的境界条件を精密に制御した条件下において、静止火炎、振動火炎のいずれも、熱的消炎が支配的であることを明らかにしている。また、従来、可視化画像でのみ議論されていたマイクロ燃焼現象に対して、本研究では位相ロック・レーザー誘起蛍光法によるラジカル濃度測定、温度測定を初めて導入し、定量的かつ系統的なデータを得ることを可能とした。本研究により構築された計測手法は、今後マイクロ燃焼の現象解明の極めて有効なツールとなり得る。従って、本論文は、マイクロ燃焼のメカニズムに関する新たな知見を加えるもので、熱流体力学における学術的価値とともに工業的な利用価値が極めて高く、機械工学の上で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。