

審査の結果の要旨

氏名 井上孝祐

修士（工学）井上孝祐提出の論文は「CW レーザーによる高エンタルピー流の生成」と題し、6章からなっている。

近年、金星探査機の熱防御システムの開発や、環境負荷物質の処理をにらみ、酸素を含む作動ガスによる高エンタルピー気流の生成への期待が高まっている。代表的な高エンタルピー風洞はアーク加熱風洞であるが、酸素を用いると電極が酸化し著しく損耗するため、気流を汚染し安定な作動が困難となる問題がある。これを受け、近年無電極の誘導加熱風洞の開発がヨーロッパを中心として盛んになってきている。誘導加熱風洞はコイルにより間接的に作動気体を加熱するため、活性な化学種を扱うことが可能である。しかしながら、作動圧力が大気圧以下に限られ、応用の範囲を狭めている。これは、誘導加熱風洞が RF 周波数帯を利用するため、原理的に高い圧力での作動が困難なことや、プラズマ容器に冷却性能が著しく低い石英ガラスを用いる必要があることに起因している。このように、酸素を含む高圧高エンタルピー流の生成技術の確立は急務である。

著者は本論文で、高圧かつ無電極で生成されるレーザープラズマに着目し、CW（Continuous Wave）レーザーによる高エンタルピー風洞の作動実証とその特性解明に取り組んでいる。最初にレーザープラズマの生成における支配的な損失量とプラズマ形状や生成位置の相関を実験的に明らかにし、エネルギー変換過程を最適化する指針を得ている。次に、レーザープラズマ風洞を開発し、エネルギー変換過程を向上するプラズマ維持部形状を示した上で、酸素による高圧作動を実証している。最後に、レーザー吸収分光法により振動する気流特性の空間分布を計測し、従来の無電極プラズマ風洞に比べ高い熱流束レベルを達成することを明らかにするとともに、レーザープラズマをクラスター化することにより他のプラズマ風洞では困難な高度な気流制御が可能になると述べている。

第1章は緒言である。本研究の背景、すなわち CW レーザーによる高エンタルピー流の生成の必要性を論じ、本研究の目的と意義を述べている。

第2章においては、レーザープラズマの性質や研究動向についてまとめ、実験装置およびレーザープラズマの生成法について詳細に述べている。実験装置は主にレーザー発振器、レーザープラズマ発生器、計測装置から構成され、各要素の特性を詳細に説明している。また、様々な金属ロッドを用いてプラズマの点火確率を測定し、最適なロッド材料を選択するとともに、レーザープラズマの典型的な生成の様子、プラズマの維持方法およびレーザープラズマのエネルギー配分について説明している。

第3章では、レーザープラズマのエネルギー変換過程について詳細に述べている。レーザープラズマを介したエネルギー変換過程における支配的な損失量とレーザープラズマの

生成位置や形状の相関を実験的に調べ、レーザープラズマを焦点に近い位置で生成するほど、輻射損失率が低下すると同時に、プラズマが軸方向に長い形状となり吸収効率が向上することを明らかにしている。またプラズマ維持部の流速を高めることで、レーザープラズマは焦点に近い位置で生成されることがわかり、これらをレーザープラズマ風洞の設計指針としてまとめている。

第4章では、レーザープラズマ風洞の設計・製作と作動実証について詳細に述べている。第3章で得た設計指針に基づきレーザープラズマ風洞を試作した結果、これまでのものよりエネルギー変換効率を大幅に高めることができるようになったこと、無電極プラズマ風洞としては最大の淀み点圧力における安定作動ができるようになったことを確認した。さらに、高濃度の酸素を含む作動ガスにおいてもこの風洞は安定に作動することが確認された。

第5章では、レーザープラズマ風洞の気流特性を吸収分光法により測定した結果について詳細に述べている。シートレーザーにより気流の診断を行うことで、誘導加熱風洞と比べ一桁以上高い熱流束を持つ気流を、高い空間分解能で計測し、本風洞の特性と特徴を明らかにした。

第6章は結論であり、本研究で得られた結果を要約している。

以上要するに、本論文ではCWレーザーを用いた高エンタルピー風洞を提案し、これまでの誘導加熱風洞では達成できなかった、高い熱流束と高濃度の酸素を含む高エンタルピー気流の生成を可能にしたもので、その成果は航空宇宙工学上貢献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。