

論文審査の結果の要旨

氏名 森 浩一

本論文は、”Energy Conversion Processes in Air-Breathing Pulse-Laser Propulsion”（大気吸込型パルスレーザー推進機におけるエネルギー変換過程）と題し、大気吸込型パルスレーザー推進機の推進力発生機構の解明を目的として、パルスレーザーによって生成されるプラズマ及びその周囲に誘起される衝撃波を可視化し、更に円錐ノズルに生じる力積の測定を行い、レーザービームの吸収から推力インパルス生成までの過程を研究したものであり、5章より構成されている。

第1章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。過去の大気吸込型レーザー推進機に関する研究の結果を紹介すると共に、過去の研究では推力測定のみが先行し、推力発生機構にまで踏み込んだ研究がなされていないことを指摘している。また、レーザーによる打ち上げシステム全体的な見通しを示し、打ち上げシステムとしての位置付けについて説明している。更に、推進性能の一般的な議論をするために推力発生の一連の機構を3つの素過程に分割して考えることを提案しており、各過程の原理を説明している。

第2章は「レーザー吸収過程」と題し、レーザー支持デトネーション(LSD)波の維持条件に関する研究の方法、結果及び考察を述べている。はじめに、実験で用いた炭酸ガスパルスレーザーの構造及び特性、パルス波形、レーザービームの集光方法、雰囲気状態の制御方法、シャドウグラフの撮影方法についてまとめている。シャドウグラフ法による可視化の結果として、LSD波の維持に必要なレーザーパワー密度の閾値を求めている。レーザーパワー密度の閾値は、雰囲気密度に対しては大きく変化せず、LSD波終了時のLSD波断面半径に反比例することが示されている。更に、投入レーザーエネルギーのうちLSD波が維持されている時間中に照射されたエネルギーの割合として定義されるLSD波吸収効率を定義し、実験結果と理論モデルを比較することによって、レーザーパルス形状、集光光学系の f 値及び雰囲気密度の影響を表す実験式を導出している。これに基づいて、ピークパワー10MW、減衰時定数が $1\mu\text{s}$ 程度のレーザーパルスでは、80%以上のLSD波吸収効率が得られることを示している。

第3章は「爆風波エネルギー変換過程」と題し、爆風波変換効率として定義される、投入レーザーエネルギーのうち爆風波として流体の運動エネルギーに変換された割合を調べるための一般的な方法を導出し、この変換効率のレーザーエネルギー、集光光学系の f 値、雰囲気圧力及び密度の効果に関して調べている。結果としてレーザーエネルギー及び f 値に対する依存性は弱かったものの、雰囲気圧力が一桁下がると爆風波変換効率が約50%低下することを明らかにしている。さらに、超音速風洞を用い、同じ圧力のもとで密度を変化させた実験を行った結果、密度も効率に影響を及ぼすことが示されており、高高度を超音速で飛行中の効率を正確に予測するためには、圧力と密度など、2つの熱力学的状態量を指定する必要があると指摘している。また、プラズマを透過するレーザーエネルギー及びプラズマからの輻射エネルギーを測定し、爆風波エネルギー変換過程におけるエネルギー収支を明らかにしている。

第4章は「推力インパルス発生過程」と題し、円錐ノズルに生じる力積を測定した結果を述べ、1次元衝撃波伝播モデルによる解析結果と比較することにより、最大推力インパルスがノズルの開

き角によらず、衝撃波波面がノズル出口に達するまでの最適条件で達成されていることを示している。この結果に基づき、最大性能を与える最適ノズル長さを定式化し、さらにレーザー打ち上げ機設計の一例を提案している。

第5章は結論であり、本論文の研究成果をまとめている。

以上要するに、本論文は大気吸込型パルスレーザー推進機の推力発生過程におけるエネルギー効率と推進性能を評価するために、レーザー生成プラズマ周囲に誘起される衝撃波を可視化し、爆風波へのエネルギー変換効率を定量的に測定し、更にモデル推進機を用いて推力インパルスを測定することにより、最適ノズルスケールを明らかにしたものであり、これらの結果は、レーザー推進を用いた将来型宇宙輸送システムの実現可能性の評価、およびその設計に応用ができ、先端エネルギー工学、特に推進工学に貢献するところが大きい。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。