

論文の内容の要旨

論文題目 レーザー支持デトネーション波の伝播速度及び波面形状
を決定するレーザーパラメータに関する研究

氏 名 松井 康平

デトネーション型レーザー推進はビーミング宇宙推進システムの一つであり、大気を推進剤として取り込むことで低リフトオフ質量ならびに低打上コストが期待される。レーザー支持デトネーションは、入射レーザーとレーザー誘起プラズマの相互作用により電離波面が空气中を超音速で伝播する際に衝撃波圧縮を生じ、レーザーエネルギーを効率的に推力に変換する物理過程である。発生する推力はデトネーション波の伝播速度に強く依存するため、推進器の設計・開発にはデトネーション波の進展メカニズムを解明し、その伝播速度を解析的に予測できることが必要不可欠である。

第1章は序論であり、研究背景及び目的を述べている。先行研究においては、デトネーション波の伝播速度とレーザー強度の関係において、そのビーム径や集光 F 値などのパラメータに対する強い依存性がみられ、また弓状のデトネーション波面が観測されることからビームの空間強度分布の影響も示唆され、その物理現象を抽出した一次元解析モデルを実験によって検証する際に課題となっていた。そこで本研究では集光 F 値が10程度の平行ビームに近いレーザー光学系を構築することで、集光 F 値の影響を排除し、デトネーション波伝播速度のレーザー強度依存性、および波面形状を決定づけるパラメータについて精査することができると述べている。

第2章では、レーザービーム径への依存性を調査するために、ビーム径が異なる4種類の光学系を構築し、それぞれのビームウエストにおけるレーザー強度空間分布を測定した結果を示している。ピンホール法を用いて高強度なパルスレーザーの空間強度分布を精密に測定し、軸方向への変化率はビーム品質を測定して正確に考慮している。レーザーのパルス出力時間履歴と組み合わせることにより、ビーム中心軸上および軸外における任意の時間での局所レーザー強度を見積もることができ、第3章以降の議論の基礎となるデータを取得している。

第3章では、ビーム中心軸上でのデトネーション波伝播速度と局所レーザー強度の関係について調べている。伝播速度の計測においては、超高速連写カメラを用いて短フレ

ーム間隔で撮影することで速度精度を向上させることができることを示した上で、ビーム径が異なる光学系でのデトネーション波伝播速度と局所レーザー強度の関係を調査した結果、ビーム径が 2.9 mm 以上ではデトネーション波伝播速度とビーム中心軸上のレーザー強度の関係が一意に定まることを明らかにしている。またビーム径がそれより小さい条件では異なる関係も見られ、1 次元解析モデルの検証の際にはビーム径が 2.9 mm 以上での実験結果との比較が必要であると述べている。

第 4 章では、ビーム軸外におけるデトネーション波伝播速度の局所レーザー強度依存性について、斜めデトネーションという概念を導入して説明を試みている。レーザー支持デトネーションでは化学デトネーションで観測される斜めデトネーションと異なっており、波面が弓状に湾曲しており、斜め方向の伝播速度を解析するには高解像度で波面を同定する必要がある。そこで従来用いていた超高速連写カメラより高感度・高画素数の高速度カメラを用いてナノ秒レンジの露光時間での波面撮影を行うことで、高い空間解像度で波面形状を捉えることに成功している。斜め方向のデトネーション波伝播速度の局所レーザー強度依存性を調査した結果、第 3 章で明らかにしたビーム中心軸上での伝播速度のレーザー強度依存性と同一な依存性を有することを明らかにしている。

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、レーザー支持デトネーション現象をモデル化する上で重要な指標であるレーザー強度依存性及び波面形状を決定づけるパラメータについて議論することを目的として、平行なレーザービーム光学系を構築してレーザー空間強度分布を精密に測定し、ビームの中心軸上においてはデトネーション波伝播速度とレーザー強度に一意の関係を見出し、軸外では斜めデトネーションの概念を導入して中心軸上と同一な関係式が成立することを示した。