論文審査の結果の要旨

氏名　嶋村　耕平

修士（科学）嶋村耕平提出の論文は“Ionization kinetics in a laser-supported detonation wave and its propagation limits”（邦題：レーザー支持デトネーション波における電離過程とその伝播限界）と題し，４章から成っている．

レーザー支持デトネーションの駆動メカニズムを明らかにするために，電離波面後方のプラズマ層から放射される紫外光による空気の光電離に着目し，電離波面伸展モデルの提案と検証を行っている．さらに流体解析を用いて，レーザー支持デトネーション波の弱過駆動状態とその伝播限界について議論している．

第１章は序論であり，研究の背景と目的を述べている．デトネーション型のレーザー推進では，地上に設置されたレーザーから遠隔的に供給される高エネルギービームで駆動される爆風波が，推進器壁面に力積を与えることにより推進力を生む．大気を推進剤として使用することができ，ターボポンプ等推進剤供給系を搭載する必要がないので，従来の化学ロケットに比べ格段に高いペイロード比，低い打ち上げコストの実現を期待されている．レーザーエネルギーを効率よく圧力波に変換する推進器を設計するためには，レーザー支持デトネーション波の伝播特性を理解することが重要であることを述べている．

第２章においては，レーザー放電における電離波面伸展速度を与えるモデルの提案と検証を行っている．過去の研究によると，レーザー放電で支持されるデトネーション波においては，衝撃波前方に先駆電離層があること，また波面伝播マッハ数が 3 程度でもデトネーション波構造が維持されることが実験的に観測されており，衝撃波圧縮を経ずに電離およびレーザー吸収が始まっていることが示唆されている．このような先駆電離層構造は，ストリーマ放電や極超音速の衝撃波管実験などでも報告されており，先駆電離層の形成にはプラズマ層からの紫外光輻射よる光電離が寄与している可能性が指摘されている．以上の考察から，衝撃波圧縮に依存しない新しいデトネーションモデルとして，電離波面後方プラズマ層からの紫外輻射光による種電子生成と，それに続くレーザー電界中の雪崩電離より成る一次元レーザー放電モデルを提案している．

さらに，その放電モデルの妥当性を定量的に検証するために，TEA 炭酸ガスパルスレーザーを用いた２つの実験，すなわち，二波長マッハツェンダー干渉法と発光分光法を利用したプラズマ層の電子密度および温度分布測定と，高速度カメラを用いた電離波面進展速度計測を行っている．その結果，測定された電子密度および温度分布と提案する解析モデルを使って推算される電離波面進展速度は，計測された波面進展速度とよく一致し，本解

析モデルがレーザー放電前縁の電離過程を的確に表現していることを示している．

第３章では，レーザー支持デトネーションの伝播限界について，実験結果を基にした一次元ユゴニオ解析から考察を行っている．これまでの研究では，伝播限界のレーザー強度閾値は，デトネーション波伝播に要するエンタルピと，それと垂直方向に伝播する爆風波の膨張に要するエンタルピの比によって決定されるという半実験式が提案されている．この式は実験室レベルの細いレーザービーム径の場合には有効である一方，レーザー推進器への利用が想定される大口径レーザーの場合は，ビーム径がレーザー吸収長よりも十分に大きく，現象が一次元的であるため利用できない．そこで，より一般的なデトネーション伝播限界を議論するために，矩形で透明なデトネーション管を使って側面へのエンタルピ流出を封じた実験を行うとともに，検査体積法を用いた一次元ユゴニオ解析を行って，実験点を圧力－比体積線図に表している．その結果，レーザー支持デトネーションは過駆動デトネーション状態にあり，その伝播限界では，最小エネルギー状態（チャップマン - ジュゲ状態）であることが示されている．また，ユゴニオ解析によって得られるデトネーション波後方の淀み圧が，圧力ゲージを用いた測定結果と妥当な一致を示し，ユゴニオ解析の妥当性を示唆している．

第４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，レーザー推進器の最適設計に不可欠なレーザー支持デトネーションの駆動メカニズムを解明するために，光電離を介したレーザー放電進展モデルを提案するとともに，デトネーション波の伝播限界がチャップマン - ジュゲ状態であることを示したもので，その結果は独創的で，先端エネルギー工学，特に宇宙推進工学上貢献するところが大きい．

なお，本論文第２，３章は，小紫公也，Joseph Ofosu，小泉宏之との共同研究であるが，いずれも論文提出者が主体となって実験ならびに解析を行ったもので，論文提出者の寄与が十分であると判断する．

したがって，博士（科学）の学位を授与できると認める．

以上 1950 字