

# A New Theory of a Microwave Supported Detonation

## － マイクロ波支持爆轟波の新理論－

学生証番号 086066 氏名 嶋田 豊  
(指導教員 小紫 公也 教授)

Key Words : Microwave, PDE, Shock wave, Detonation

マイクロ波ロケットは地上設備などの推進器外部からマイクロ波によるエネルギーの供給を受け、これを変換して推力を得る推進器である。エネルギーを外部から供給するためエネルギー源を搭載する必要がなく、大気中では空気を推進剤として用いる。これにより、推進器重量を大幅に削減でき、高いペイロード比を実現できる。さらに圧縮機などの複雑な構造が不要であるため推進器構造を単純化でき、高いペイロード比とあわせて輸送コストの低減が期待される。

1気圧下におけるアクリルの円筒の内部に筒端からマイクロ波ビームを照射し、そこに発生する衝撃波の伝搬速度 $U_{shock}$ と電離波面の伝播速度 $U_{ioniz}$ の測定をもとに、 $U_{ioniz}$ をマイクロ波出力密度の関数として表した。この電離波面の伝播速度の実験式を用いて電離波面伝播をモデル化し、数値解析を行って詳細な流れ場の分布を得ると共に、マイクロ波支持デトネーション構造の理論モデル構築を試みた。

数値解析によって求められた構造は  $S_0$ の大きさによってMSC(Microwave Supported Combustion) regime, C-J(Chapman-Jouget) MSC regime, Overdriven MSD(Microwave Supported Detonation) regime, C-J MSD pointの4つの領域に大別された。MSC regimeでは衝撃波が加熱領域より速く伝播するため、デフラグレーションと同様の構造を持つ。一方マイクロ波出力密度が大きいMSD regimeでは加熱領域と衝撃波は同じ速度で伝播し、デトネーションの構造を持つ。このMSD regimeでは加熱領域と衝撃波は同じ速度で伝播をし、不連続面が1つ伝播するのが確認できるのみであった。このOverdriven MSD regimeの波面構造についてさらに考察した。

MSD regimeでの加熱領域を検査体積とし、領域前後では加熱を伴う一次元定常流れの解析解であるRayleigh flowの関係を適用した。ここで加熱量は化学デトネーションの場合、気体の発熱量として一定の値を持つ。一方、電磁デトネーションの場合の加熱量はマイクロ波出力密度だけでなく、伝播速度にも依存する。電磁ビームの出力密度に対してデトネーションの背後圧力を決定するため、かつてRaizerは背後圧力が十分に大きいと近似した上での関係式を導いた。一方、本研究で行ったCFDの結果より、マイクロ波デトネーションの背後圧力は必ずしも無視できるほど高いとは言えないため、支配方程式を解析的に解くことより、新たな関係式を導いた。

導かれた関係式を圧力-比体積線図 ( $p$ - $v$ 線図) 上に描いた。この結果、マイクロ波デトネーション波背後の状態を決定するにあたり、新たに導かれた関係式を用いることで初めて解が一意に求まることがわかった。一方、Raizerにより導かれた関係式はCFDによって得られた解を通らず、流体の保存式を満足しないことがわかった。さらに $p$ - $v$ 線図上での状態変化を追うことにより、マイクロ波デトネーション波面の状態は、衝撃波断熱曲線を経由せずにRayleigh線を不連続に変化することがわかった。このことは、衝撃波は単独では伝播せず、流体加熱がなされている領域の内部のみに存在しうることを示す。