

第 61 回宇宙科学技術連合講演会 に参加して

樋口 勇人

Yuto HIGUCHI

機械システム工学専攻修士課程 2017 年度修了

1. はじめに

私は 2017 年 10 月 25 日から 27 日にかけて、新潟市の朱鷺メッセで開催された、第 61 回宇宙科学技術連合講演会に参加し、「膨張波管試験における火星大気突入機周り輻射場の数値解析による再現」という題目で口頭発表を行いました。

2. 研究の背景および目的

近年、惑星探査の分野で最も注目を集めているのが火星探査であり、日本の JAXA においても 2020 年以降に火星着陸探査が検討されている。火星は CO_2 の大気で覆われているため、火星探査を行うには CO_2 大気への突入飛行が求められる。このとき大気突入速度は約 5 km/s にも達し、宇宙機は高温・高圧な環境にさらされ、強力な加熱を受ける。この加熱は空力加熱と呼ばれており、その熱の伝わり方によってさらに対流加熱と輻射加熱に分類され、火星大気への突入飛行では特に後者の輻射加熱による影響の予測が最重要課題となっている。そのため、私の研究では火星大気突入環境を模擬した流れ場解析および輻射場解析を行い、その結果を膨張波管と呼ばれる装置を用いた地上実験の計測結果 1) と比較することにより予測精度の向上を目指している。

3. 火星大気突入環境を模擬した膨張波管試験

実験は、JAXA 調布航空宇宙センター飛行場分室の有する Hyper Velocity Expansion Tube (通称: HVET) を用いて行われた。この実験では、図 1 に示すような宇宙機模型周りの発光画像取得や IR 発光強度計測が行われ、共同研究の下、数値計算との

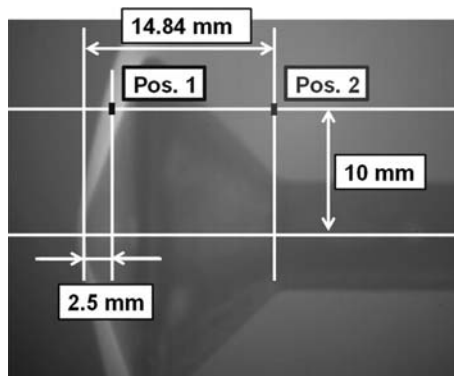


図 1 発光強度計測位置をとらえた実験画像

比較のための計測データを提供していただいた。

4. 火星大気突入環境を模擬した数値解析

4.1 流れ場解析

本解析では、JAXA で開発された熱化学非平衡流解析コード JONATHAN を用いた。支配方程式はナビエ・ストークス方程式、温度モデルは Park の 2 温度 (並進温度 T_t , 振動温度 T_v) モデルを用い、化学モデルは CO_2 , C_2 , CO , O_2 , C , O の 6 化学種を考慮した。実験は 1/100 スケールの実機模型を用いて行われたため、これを模した軸対称の計算格子で解析を行った。解析条件は、実験での圧力や衝撃波速度の計測結果を基に行われた解析を参考に決定した。解析結果として温度分布、主要化学種のモル分率分布を図 2 に示す。温度分布より、広範囲で 2 つの温度は等しく熱平衡であるものの、衝撃波後方では並進温度、模型後方では振動温度が高くなり、部分的熱非平衡がみられた。また、化学種分布より、

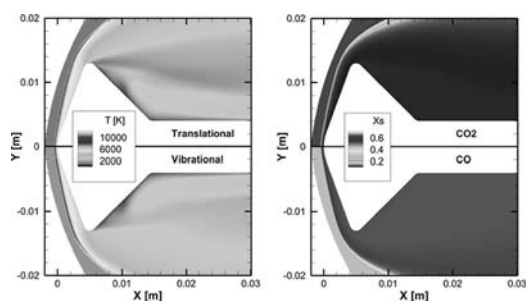


図 2 (左) 温度分布, (右) モル分率分布

衝撃波後方では CO_2 は解離反応によりモル分率が急激に低下し、反応の生成物である CO の割合が高くなった。

4.2 輻射場解析

実験では図 1 に示す画像の Pos.1, Pos.2 において視線方向の発光強度を計測しているため、まず 2 次元平面流れ場から 3 次元空間流れ場を模擬する（流れ場から必要なデータを視線方向に補間する）ための Fortran プログラムを開発し、前処理を行った。また、輻射解析には Statistical Narrow Band (SNB) モデル 2) を用いた。このモデルは流れ場の温度、圧力、モル分率などを入力パラメータとして視線方向の光線を微小線分に分割して計算を行い、最後に各線分を線積分することで発光強度を求める。温度に関して本解析では 2 温度を考慮しているため、各温度を入力パラメータとした計算を行い、比較を行った。解析結果として、Pos.1, Pos.2 における発光強度分布について計測値と計算値の比較を図 3 に示す。Pos.1 では、計算値はいずれも計測値を大きく上回り、ピーク値は約 1.5 倍と過大評価した。また、ピーク値をとる波長の値は約 200 nm ほど右にシフトした。これらは、衝撃波後方である Pos.1 では 10000 K を超えるような高温が解析によって得られており、本解析モデルではこの温度域における発光強度を正確に評価できないという結果を示した。また、発光強度の誤差の観点から温度場を再評価する必要性を示した。Pos.2 では、Pos.1 に比べて計算値はいずれも計測値に近いピーク値を示し、ピーク値をとる波長の値もおおよそ一致を示した。しかしながら、4500 nm 以上の高波長側については多少過大評価がみられた。この結果から、模型後方の

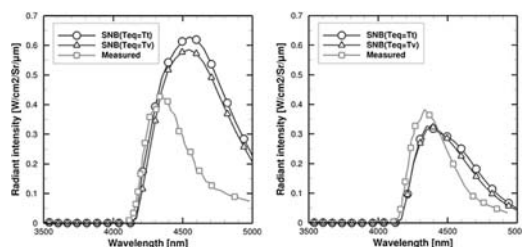


図 3 発光強度の比較（左：Pos.1, 右：Pos.2）

流れ場の評価はある程度の精度を保つものの、温度場は過大評価しており、これにより発光強度を過大に推算している可能性を示した。そのため、流れ場解析の熱化学モデルについて CO_2 の振動モード毎の振動温度を考慮した多温度モデルに拡張し、より厳密に温度場を評価することを今後の課題と捉えている。

5. おわりに

本学会では研究者の方々を前に発表、議論し、建設的な意見を頂きました。これを今後に生かしたいと考えています。また研究を進めるにあたり、昨年から約 10 ヶ月間にわたり JAXA 調布航空宇宙センターにて研究指導を受けました。指導教員の天津広敬教授を始め、研究開発本部第 2 研究ユニットの藤田和央先生、関係者の皆様には多くの助言を頂きました。この場を借りて感謝します。

参考文献

- 1) Takayanagi, H. et al., “Measurements of nonequilibrium carbon dioxide infrared radiation in an expansion tube,” AIAA paper 2017-1369, 2017
- 2) Riviere, P. et al., “Updated band model parameters for H_2 , O , CO_2 , CH_4 and CO radiation at high temperature,” *IJHMT*, 55, 2012, pp.3349-3358.