

第 58 回宇宙科学技術連合講演会 に参加して

奥田 優馬

Yuma OKUDA

機械システム工学専攻修士課程 2014 年度修了

1. はじめに

2014 年 11 月 12 日（水）から 11 月 14 日（金）にかけて長崎ブリックホールで開催された第 58 回宇宙科学技術連合講演会に参加し、「再突入飛行体の空力加熱評価における電離反応に関する研究」というタイトルで発表を行いました。

2. 研究内容

2.1 緒言

近年、「はやぶさ」のサンプルリターンの成功を受け、惑星探査における期待が高まっています。トロヤ群からのサンプルリターン計画をはじめとし、より遠い惑星からのサンプルリターンも計画されています。木星圏のような深宇宙からのサンプルリターンを実現するためには、「はやぶさ」よりも超高速で大気圏へ突入する再突入カプセルが必要となり、その場合、格段に過酷な飛行環境となることが想定されます。

飛行体が大気圏に再突入する際、速度が速いため飛行体前方に衝撃波が形成され、その背後の領域は断熱圧縮により高温となります。そのため、飛行体は大きな加熱（空力加熱）を受けることになります。

空力加熱を予測するための解析で用いる熱化学モデルについては速度が比較的小さい領域では熱化学モデルが確立されていますが、速度が比較的大きい領域では解析に用いる熱化学モデルが確立されていません。本研究では、より正確な空力加熱の予測が可能な熱化学モデルの確立を目指し、「はやぶさ」の機体形状をモデルに CFD 解析を行い、空力加熱による影響について調べました。

2.2 解析条件

本研究で解析する機体形状は、小惑星探査機である「はやぶさ」(MUSES-C)の機体形状と同型のモデルを使用します。解析格子を機体前方上半分として図 1 に示します。機体の大きさは、機体高さ 0.2 m、機体直径 0.4 m からなります。飛行体前方の形状は曲線部と直線部からなります。また解析格子は軸方向に 50 点、機体表面の方向に 15 点の合計 750 点からなります。

気流密度を $2.0 \times 10^{-4} \text{kg/m}^3$ 、温度を 250 K として、飛行速度を 8 km/s から 18 km/s まで変化させながら解析を行いました。

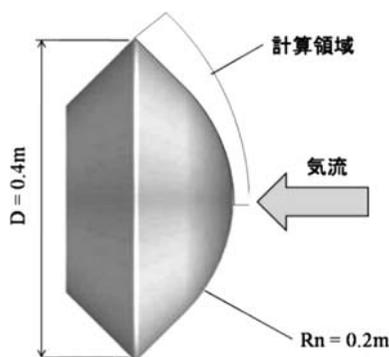


図 1 「はやぶさ」のイメージ図

2.3 解析結果

解析には CFD 解析を用いました。はやぶさの機体形状をモデルにし、最も高温となり得る飛行体前方に着目し、空力加熱による影響を調べました。

図 2 に速度 15 km/s の時の淀み線上の温度分布および N_2 , N , N^+ の質量分率について示します。

飛行体の速度が 15 km/s の場合では、飛行体の先端から 15 mm 付近を境に N_2 が減少し、 N が増加していることがわかります。速度が 10 km/s の場合と比べ、反応が起こる位置が 2 mm 程飛行体に近付していることがわかります。また飛行体から 10 mm 付近で N が減少し、 N^+ が増加していることが図 2 からわかります。このことから電離反応が起こっていることがわかります。とくに 3 mm から 7 mm にかけて N^+ の質量分率が最も高いこともわかりま

す。

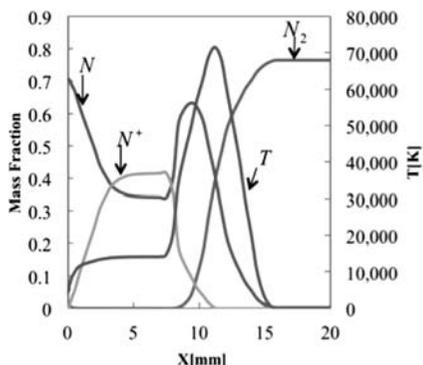


図2 淀み線上の N_2 , N , N^+ の質量分率

続いて、各速度における N^+ の質量分率の最大値について図3に示します。図からわかるように、飛行体の速度が 8 km/s から 10 km/s の間では、 N^+ はほとんど発生していないことがわかります。 10 km/s より速度が大きくなるにつれて、 N^+ の最大値も増していき、電離反応が顕著に起こり始めることもわかります。また、 N^+ の質量分率は全ての速度において、図2の速度が 15 km/s の場合と同じように、飛行体から 3 mm から 7 mm 付近で最大となりました。

また、この図3から飛行体の速度が 16 km/s の場合には淀み線上に空気中の半分近くが N^+ で支配されているところも存在することがわかります。このとき、温度も $80,000 \text{ K}$ 近くあり、さらに電離反応が起こることによって N^{++} や O^{++} も発生することが考えられます。

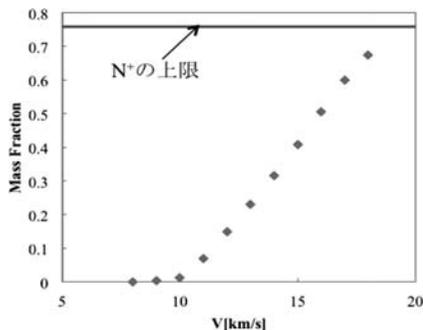


図3 各速度における N^+ の質量分率の最大値

続いて、 N^{++} や O^{++} が発生する化学反応を考慮した場合の N^+ , N^{++} の質量分率について図4に示します。

N^{++} が反応しない場合には、 N^+ は飛行体の先端から 3 mm から 7.5 mm 付近をピークに質量分率で約 40% 発生していることがわかります。

そして反応速度が 0.2 倍の時には、 7 mm 付近をピークに N^+ が約 28% 発生していることがわかります。 N^{++} は 5 mm 付近をピークに約 10% 発生しています。

また、反応速度が 1.0 倍の時には、 0 mm から 5 mm 付近までは反応速度が 0.2 倍の時と同じような分布になっていますが、それより遠い位置では 0.2 倍の時と比べ、 N^+ が減少し、 N^{++} が増加するような分布となっていることがわかります。

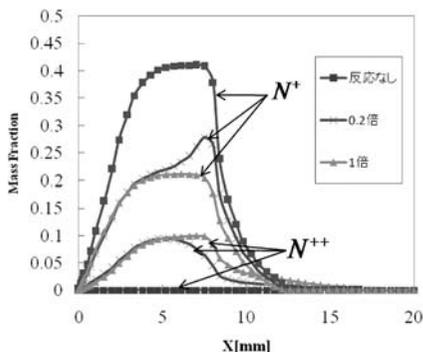


図4 電離反応を考慮した時の淀み線上の N^+ , N^{++} の質量分率

3. おわりに

今回、宇宙科学技術連合講演会に参加し、発表を行いました。初めての学会でしたが、程良い緊張感の中で発表することができました。また他の方の発表を見て、自分の発表に改善すべき点があることを感じさせられました。

今回の発表で多くの方々々に質問や意見を頂き、大変参考になりました。ご指導頂いた大津広敬先生、研究室の皆様には深く御礼申し上げます。