

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 高木 亮治

修士（工学）高木亮治提出の論文は「A Numerical Study on Reduction of Aerodynamic Drag and Heating rate via Energy Release Preceding a Blunt Body in Hypersonic Flow（極超音速飛行する鈍頭物体前方に生成した熱源による空力抵抗及び加熱率低減に関する数値的研究）」と題し、本文5章及び付録3項から成っている。

今世紀においては地上と宇宙ステーションの間を往復する再使用型宇宙輸送システムの実現が必須であり、そのために極超音速流中での空力抵抗及び空力加熱の低減が大きな課題となる。対流加熱を軽減するためには機体先端を鈍頭形状とすることが基本であるが、このことは空力抵抗の増大をもたらす。また、従来、空力加熱を軽減するためには耐熱材料による熱防御系、アブレーション冷却が用いられ、将来的には冷却気体吹き出しによる能動的冷却法も適用の可能性もあるが、これらの方法には空力抵抗低減の効果があるとは言えない。空力抵抗と空力加熱を同時に低減するためには、鈍頭形状の飛行体先端に棒状のスパイクを設けて機体先端まわりの流れ場を変化させる方法が有効であるが、スパイク先端の空力加熱量の増大や、迎え角をとったときの空力不安定性に問題がある。一方、レーザーや電磁波を用いて飛行体外部の気体を加熱することで外部流を制御し、飛行体の推進力を発生させる「直接エネルギー注入によるエアスパイク（Direct Energy Air Spike：DEAS）」という概念は、同時に将来型宇宙輸送システムの空力抵抗と空力加熱を低減する可能性を有する。この概念を用いることは、飛行体前方に熱源を生成することにより仮想のスパイクを設ける事に相当し、機械的なスパイクに伴う欠点が少なく、各種パラメータを自在に変え得るので、空力抵抗／空力加熱低減効果が大きいと予想される。

このような観点から、著者は、実在気体効果を含めた化学・熱非平衡流の数値流体力学（CFD）解析を行い、DEASによる空力抵抗と空力加熱低減のメカニズムを解明し、各種パラメータによる効果を検討するとともに、空力抵抗と空力加熱率が最小となる最適条件を考慮することとした。このことにより、将来型宇宙輸送システムへの適用が示唆し得る。

第1章は序論で、DEASの原理とその有用性・将来性を論じ、数値解析による現象解明の重要性を示すことにより、本研究の目的と意義を述べている。

第2章では極超音速流を特徴づける物理現象を説明し、そのような流れでは特に高温効果と化学・熱非平衡性が重要となることを述べている。さらに、このような流れの研究におけるCFDの重要性と、そこで用いられる物理モデルの妥当性に言及している。

第3章では本論文で用いられた支配方程式、各種物理モデル、及び離散化スキームや時間積分法などの数値計算法とその検証について述べている。また、DEASにおける熱源のモデル化と、基本的な3つのパラメータ（熱源位置、投入エネルギー、エネルギーの集中度）についての説明を行っている。

第4章では上記3つのパラメータを変化させたときの計算結果について述べている。熱

源の位置は飛行体から遠ざかるほど、空力抵抗と空力加熱は単調に減少する。熱源が近くにあるときそれらの減少率は大きい、遠ざかるにつれて次第に小さくなり、ある程度以上離れると一定値に落ち着き、それ以上は減少しなくなる。エネルギー投入量を増加させると空力抵抗は単調に減少するが、加熱率はあるエネルギー投入量を境に増加に転じる。エネルギー集中度は熱源の空間的分布をあらわしており、集中度を大きくする（すなわち狭い領域にエネルギーを集中する）と空力抵抗と空力加熱率はともに減少するが、ある程度以上大きくなると逆に増加することが示され、それらに最適条件が存在することがわかった。高度 48km、一様流マッハ数 13.92 の飛行条件での最適条件下では、空力抵抗と空力加熱率は同時にそれぞれ 37% 及び 80% まで減少させることができる。解析結果の考察から、空力抵抗及び空力加熱の減少は熱源の存在による一様流の動圧の減少に起因することが示された。

第 5 章は結論で、上記各章における考察の総括を行い、DEAS の効果を強調している。

付録 A では本論文で用いた計算法の検証と数値計算の格子依存性について述べ、付録 B と C では投入エネルギーとエネルギーの集中度の変化による空力抵抗／空力加熱低減のメカニズムについてさらに詳しいデータを収録している。

以上要するに、本論文は飛行体前方に熱源を生成する方法 (DEAS) によって空力抵抗及び空力加熱低減が可能となることを、実在気体効果を含めた化学・熱非平衡流の数値解析によって示し、そのメカニズムを解明し、各種パラメータによる効果を明らかにしたもので、その成果は将来型宇宙輸送システムの空力抵抗及び空力加熱低減に重要な指針を与え、航空宇宙工学に貢献するところが大きい。よって、本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。