

## 高エンタルピー流の検証課題について

麻生 茂<sup>1</sup> 本間弘樹<sup>2</sup> 安部隆士<sup>3</sup>

### Code Validation Test Cases of High Enthalpy Flows

Shigeru ASO(Dept. Aero. & Astro., Kyushu Univ.), Hiroki HONMA(Dept. Mech., Chiba University) and Takashi ABE(ISAS)

#### ABSTRACT

High enthalpy flows research is one of the most important problems for the development of winged vehicle and spaceplanes. Reliable thermophysical models for chemically and thermally nonequilibrium chemical reactions are requested. However estimations of those models are not sufficiently conducted. In the present paper code validation test cases of high enthalpy flows are discussed and proposed. The physical properties, which should be validated, are discussed.

#### 1. はじめに

スペースプレーンの地球への突入時に発生する空力加熱の推定には正確な化学反応モデルが必要であるが、そのような反応モデルについての正確な評価はまだ十分なされていない。

このような問題では予め信頼性のある実験データを収集し、それを色々な数値解法、流れのモデルによって解き、得られた計算結果を実験結果と比較検討しつつその有効性を確かめることが重要である。そのような試みとしては、欧州を中心として行われている High Speed Flow Data Base<sup>1)</sup> や航空宇宙技術研究所の航空機計算空気力学シンポジウムにおいて行われている高エンタルピー流に関する Workshop<sup>2)</sup> があげられる。

しかしながら、これらの試みは対象としている流れ場が実機あるいは実機の一部を想定した物体まわりの流れとなっているために、流れ場が正しく解けているか、化学反応モデルは妥当なものかといった二つの問題を同時に克服しなければならず、必ずしも十分な比較検討・数値コード検証がなされているか疑問である。

著者らはこのような観点に立って化学反応モデルを検証するための検証課題について検討した結果、流れ場は単純な流れ場に限定することにより化学反応モデルだけを検証することができるのではと考え、高エンタルピー流の検証課題について検討を行っている。

この際重要なものは大気圏における宇宙機の

- 1) 九州大学工学部航空工学科
- 2) 千葉大学工学部
- 3) 宇宙科学研究所

突入における空力加熱を正確に予測しうる化学反応モデルの構築が最終的なターゲットである。検証課題としては例えば、宇宙機の大气圏突入の際に先端部に生じる強い衝撃波背後の気体特性を明らかにすることなどが考えられるが、この流れも地上実験設備で全く同じ流れ場を作り出すことは非常に困難であり、信頼できるデータを得るのに難点があると考えられる。

このような議論をふまえて著者らは、今後すべき高エンタルピー流の検証課題としては、最も単純な流れ場に限定すべきであり、それにより化学反応モデルだけを検証することができると考えている。

最も単純な流れとして衝撃波管内を伝播する強い衝撃波背後の化学反応流について検証を行うことを現在準備中である。著者の一部はすでに強い衝撃波背後の解離・電離反応による自己発光現象を観察し、分光分析を行っており貴重なデータが収集されつつあるので<sup>3, 4)</sup>、それらをふまえて高エンタルピー流の検証課題について以下に考察する。

#### 2. 高エンタルピー流の検証課題と具体的な検証の手順

可能と考えられる高エンタルピー流の検証課題は以下の通りである。

- 1) 宇宙機の大气圏突入の際に先端部に生じる強い衝撃波背後の気体特性を高エンタルピー衝撃風洞を用いて再現しそれを検証すること
- 2) 最も単純な流れとして衝撃波管内を伝播する

強い衝撃波背後の化学反応流について検証を行うこと。

それらを具体的に検証していく手順としては次のようなことが考えられる。

- 1) 検証の対象となる実験結果を選定する
- 2) 流れ場の条件（入射衝撃波マッハ数、初期温度、初期圧力など）を明らかにして検証課題を設定する
- 3) 色々な研究者にそれを解いてもらい、衝撃波背後の各種温度分布、圧力分布、各種気体成分の質量分率分布等を明らかにする
- 4) その計算結果を元に自己発光強度等を推定し得られた実験結果と比較検討する
- 5) 上記のような検証作業を通して妥当な化学反応モデルの検証・構築する

具体例として、千葉大学及び宇宙科学研究所のフリーピストン衝撃波管を用いた実験についてどのようなことが可能か以下に考察する。

千葉大学のフリーピストン衝撃波管の諸元と測定項目は以下の通りである。

試験気体	: 空気又は窒素
衝撃波速度	: 6~12 km/s (衝撃波マッハ数: 16~35)
初期圧力範囲	: 13.3Pa~1330 Pa (0.1 ~ 10 Torr)
可能な計測項目	: a) 2次元全放射時間凍結発光観測 b) 時間分解画像分光計測 c) 圧力測定 d) レーザーシュリーレン e) イオンプローブの出力

宇宙科学研究所のフリーピストン衝撃波管の諸元と測定項目は以下の通りである。

試験気体	: 空気又は窒素
衝撃波速度	: 5.5~16 km/s
初期圧力範囲	: 13.3Pa~1350 Pa (0.1 ~ 10 Torr)
可能な計測項目	: a) 2次元全放射時間凍結発光観測 b) 空間1次元分光凍結観測 c) 空間1点時間分解分光計測 d) 圧力測定 e) レーザーシュリーレン

いずれの場合も、初期圧が適切なきには、干渉計による密度分布測定が可能である。

上に紹介した2つの実験設備ではすでに高エンタルピー流に関するデータが得られており、高エンタルピー流の実験的研究が進行中であり、高エンタルピー流の検証課題と具体的な検証の手順において重要な役割を果たすものと考えられる。

### 3. 結び

先に述べたようにこの研究の最終的なターゲットは、大気圏における宇宙機の突入における空力加熱を正確に予測しうる化学反応モデルの構築である

そのためには基礎となる学問分野における地道な努力が必要であることはいままでもない。

しかしながらここで取り上げた高エンタルピー流研究に関する限り基礎的な化学反応モデルに関する詳細なデータ等はほとんど欧米でこれまでに培われてきた基礎研究によっているのが現状である。基礎となる実験データの蓄積、精度が明確な信頼性ある高エンタルピー流実験データなどをやはり自らの手で創り出し、従来のデータと比較検討しつつ信頼性のある物理化学モデルを構築しつつ、高エンタルピー流れの現象を解明していくことが強く望まれる。

今後は、上記のような検証作業を通して妥当な化学反応モデルの検証・構築への一助となれば幸いであると考えている。

### 参考文献

- 1) R. Abgrall et al.: Hypersonic Flows for Reentry Problems, Proc. INRIA-GAMNI/SMAI Workshop on Hypersonic Flows for Reentry Problems, 1991, Springer-Verlag.
- 2) 山本行光: 高エンタルピー流れワークショップまとめ、第14回航空機計算空気力学シンポジウム論文集, 1997, pp.61-66.
- 3) 桜井・森岡・青木・前野・本間: 低密度空気中における強い衝撃波背後の発光の画像分光観測、平成8年度衝撃波シンポジウム講演論文集, 1997, pp.423-426.
- 4) 小倉・船曳・佐藤・安部・藤田: 自由ピストン衝撃波管の特性、平成8年度衝撃波シンポジウム講演論文集, 1997, pp.439-442.
- 5) 藤田・佐藤・安部・海老沼: 強い衝撃波背後の非平衡領域からの輻射の実験的研究、流体力学予稿集、209~212 (1997)