

惑星への突入シミュレーション

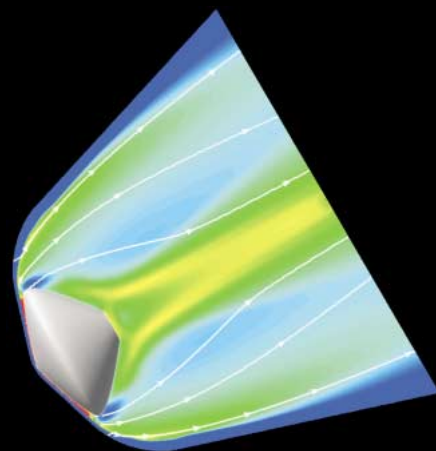
イタリア, ナポリ研究大学

イタリアにあるナポリ研究大学宇宙科学技術学部(DISIS)の研究チームはこのほど、火星を取り巻く大気圏へ惑星着陸モジュールが突入する様子をFLUENTを使ってシミュレーションした。近年の火星調査に対する関心の高まりを受け、多くのエンジニアが衝撃波風洞、プラズマトロン、高エンタルピーーク施設などを積極的に使用し、地球上で同じ条件を設定しながら各種研究調査を行っている。DISISに設置された小惑星突入シミュレーター(SPES: the Small Planetary Entry Simulator)も、こうした目的で改良され、惑星突入機周辺の温度や流体力学的条件をシミュレーションできるよう拡張された。このシミュレーターは40kWのプロードダウン型プラズマ風洞で、惑星突入時に特有の温度変化と多様なガス混合組成を再現できる。特に、炭素、酸素、窒素の多様な分子構成からなる混合物を生成し、自由飛行時の値に近い比エンタルピーを持つ火星大気のシミュレーションも可能である。SPES内の温度は15,000Kまで上昇可能で、密度はほぼ 0.005 kg/m^3 となる。

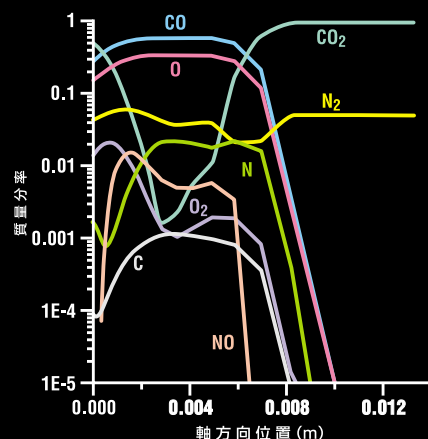
SPESのような極超音速風洞で高温時に発生する非平衡効果に関し、FLUENTの予測の妥当性が実験データとの比較により実証された。火星大気の化学組成は主に CO_2 と N_2 であるが、機体が高速で飛行中、機体前方の衝撃波後方の高温ガスが分子の解離と再結合を引き起こすため、6つの化学種が新たに生成される。この現象は、宇宙機が地球に再突入する際にも発生する。地球大気の組成は主に O_2 と N_2 であるが、再突入時には高温により熱反応が発生し、その結果、同様に数種類の分子が新たに生成される。SPESのFLUENTモデル(火星大気)では、14種類の反応で8種類の化学種(CO_2 , CO , C , O , O_2 , N_2 , N , NO)を使用することで、複雑な環境をシミュレーションしている。

プラズマ風洞施設の多くは、すべての無次元パラメーター(マッハ数、レイノルズ数、ダムケラ数など)を同時に再現できないため、自由飛行状態を再現できない。風洞試験を実施する場合、エンジニアは通常、流れの特定の部分に注目する。たとえば、宇宙機外装の熱防衛系をテストするには、特定の全エンタルピーおよび熱流束を再現する必要がある。その場合でも、非平衡効果のために、自由飛行と風洞の間には依然として相違がある。この様子をCFDコードが実験室の縮尺で正確にシミュレーションできれば、そのコードは大気圏突入時に生じる実際の自由飛行のモデリングに使用可能と推定できるのである。

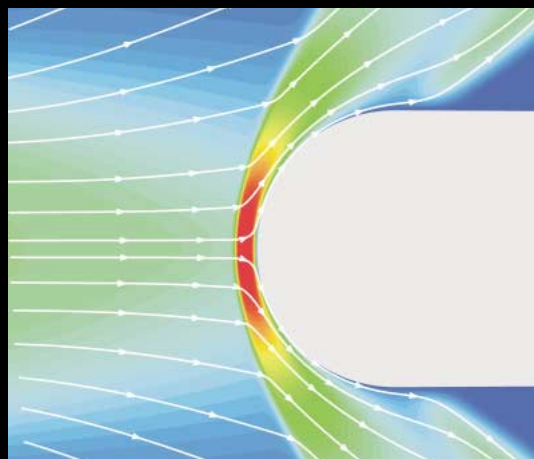
高温時には、探査機の表面が触媒のように作用し、原子の再結合が促進される。FLUENTモデルの境界条件には、表面物質の触媒特性実験から得られた測定値が反映されている。このため、研究調査の主目的の一つ、つまり、異なる触媒特性を持つ物質で作られた探査機周りのよどみ点熱流束を求めるといった問題に答えを見出すことができた。この解析の結果、火星に似た大気圏においては、表面物質の触媒性が機体周りの反応に強く影響することが判明した。



秒速6kmで突入中の火星探査機マーズバスファインダー周りの温度分布



マーズバスファインダーのよどみ線沿いの化学種組成



火星大気をシミュレーションしたSPESテストチャンパー内におけるカプセルモデル周りの温度と流線