

平成 29 年 3 月 31 日

在外研究成果報告
大学院工学研究院 機械宇宙工学部門
高橋裕介

平成 28 年 4 月 25 日から平成 29 年 3 月 17 日にかけて、ドイツ連邦共和国の DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt; ドイツ航空宇宙センター)に滞在し、当地研究者と共同で研究を実施した。研究所の所在地はケルン市であり、人口およそ 100 万人で、ドイツにおいては第 4 の規模の大都市である。一方、その発祥を求めるとローマ時代まで遡ることのできる歴史のある街でもあり、ローマ時代の遺構や大聖堂をはじめ、重要な歴史的遺構・建築物を随所で見つけることができる。



図 1. ケルン大聖堂とライン川



図 2. DLR 正門

滞在先の DLR においては、Institute of Aerodynamics and Flow Technology, Supersonic and Hypersonic Technologies Department に所属した (図 3)。ヘッドは Ali Gülhan 博士であり、航空宇宙工学分野において著名な研究成果を上げている研究者である。DLR は世界最大規模のアーク加熱風洞を 2 つ (L2K, L3K) を有しており、今回の共同研究はこの設備を対象としている (図 4a, b)



図 3. 滞在した DLR オフィスビル
(2016 年 11 月に新築された)

アーク加熱風洞は流入ガスをアーク放電で加熱させ、ノズル部を通して超音速膨張させることで、高エンタルピー気流 (アーク加熱気流) を形成するものである (図 5)。地上

において、大気再突入時における衝撃波背後の流れ場を模擬することが可能である。この特性を利用して、アブレータなどの熱防御システムの研究開発において広く使われてきた。アーク加熱風洞に対して風洞としての利用を考えた場合、試験気流にあたるテストチャンバー自由流、すなわちアーク加熱気流の素性を明らかにすることは重要である。一方で、アーク加熱気流は、アーク放電による極めて強い加熱と超音速膨張による強い熱化学的非平衡性の顕現といったように、複雑な過程を経ることから、その気流諸量を適切に同定することが課題であった。これまでピトー管やガードンゲージを用いて、気流のよどみ圧や熱流束の計測が行われる他、自由流に対する発光分光測定やレーザー誘起蛍光法、レーザー吸収分光法を用いて非接触的に気流諸量を求められている。

以上の通り、これまでの気流諸量同定は実験的に行われてきた。一方で近年のコンピュータの発展を背景にコンピューターシミュレーション技術を用いた気流同定は有用なツールになりつつある。報告者はコンピューターを用いた計算科学的アプローチにより L2K アーク加熱風洞のアーク加熱気流の解析を行い、気流諸量を同定する試みを実施した。この解析で用いた物理・数値モデルは報告者が兼ねてより開発してきたものであり、DLR 以外の様々な風洞に対して検証が行われてきた。ただし L2K は典型的なアーク加熱風洞と言うよりは、特殊なタイプのアーク



図 4a. DLR アーク風洞(L2K)外観

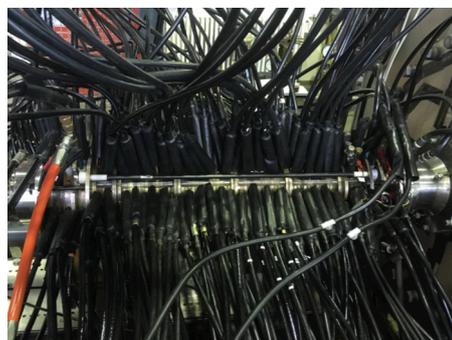


図 4b. L2K アーク加熱器

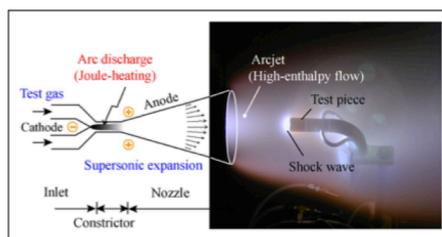


図 5. アーク加熱風洞の概略図

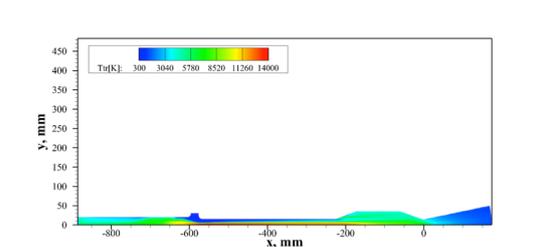


図 6a. L2K 並進温度分布

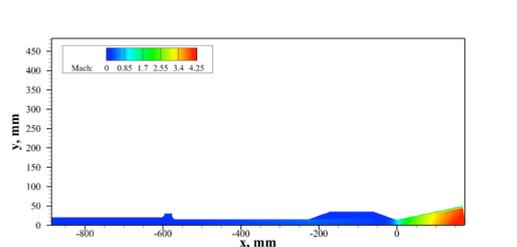


図 6b. L2K マッハ数分布

加熱風洞であり、その検証はまだされていない。

図 6a, b にアーク加熱器内部の温度分布・マッハ数分布を示している。コンストリクタ加熱部におけるアーク放電による高温気体の発生と、ノズル膨張部における超音速膨張が再現されている。図 7 は L2K ノズル出口における気流諸量の半径方向分布である。数値解析では二次元軸対称を仮定しているため、中心軸からノズル壁面を結ぶ線上の分布を示している。図 7a は温度分布(熱的非平衡性が現れるため温度が内部エネルギーモードの数だけ分離する)と気流エンタルピーの分布と、7b は気流のモル分率の分布を表す。このノズル出口における気流諸量の分布同定がとくに重要である。この分布を得ることによって、これまで DLR において行われきた L2K アーク加熱気流を用いた耐熱材料試験や再突入ブラックアウト模擬試験に対して、詳細な気流諸量を提供することにつながり、より質の高い実験を行うことが可能になる。

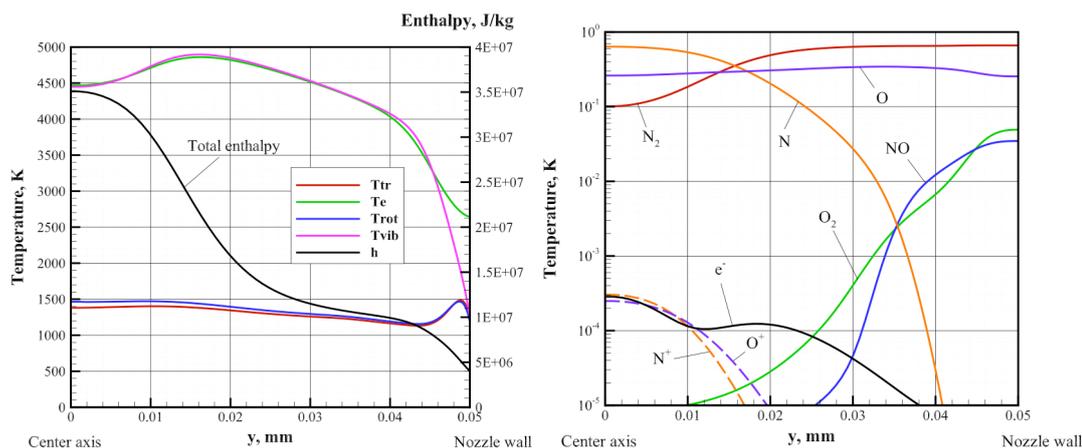


図 7a. 温度とエンタルピー分布

図 7b. 化学種分布

図 7. ノズル出口における半径方向分布

しかし、DLR において計測された実験結果と本解析結果を比較したとき、本解析モデルは気流エンタルピーを過大に予測する傾向にあることがわかった。L2K 内部におけるアーク放電の再現において、まだ考慮されていないメカニズムが存在することが示唆された。そのメカニズムを明らかにし、合わせて解析モデルの検証と気流同定を行っていく上で、今後も DLR の研究者と共同研究を継続していくことを予定している。

ドイツ滞在によって、ヨーロッパの航空宇宙工学分野を牽引する DLR の研究開発の状況や設備を直に目にできたこと、研究者との人脈形成を築けたことは報告者によって大きな利益であった。今後も共同研究を通して DLR との密接な関係を継続していき、宇宙工

学における研究開発を推進していきたいと考える。

また今回このような在研機会をいただけたことは非常に幸運であった。様々な面で支援していただいた工学系事務部、機械宇宙工学部門、計算流体工学研究室の関係者の皆様に深く御礼を申し上げたい。