

誘導プラズマ加熱風洞の整備

流体科学研究センター

伊藤 健、松崎貴至、石田清道、水野雅仁

概要

再使用型宇宙輸送システムにおける大気圏突入時に必要な機体の熱防護系の試験、特に触媒性の評価には、気流に汚れの無い加熱風洞が必要とされる。このため、平成13年度から「誘導プラズマ加熱風洞」の整備に着手した。本報告ではその風洞の概要や整備の計画などについて述べる。

1. 背景

再使用型宇宙輸送システムにおける大気圏突入時に必要な機体の熱防護系の試験を行うために、高エンタルピ流を発生させ、試験を行うことが必要である。従来、このような試験では、アーク加熱風洞が使用されてきたが、特に、熱防護材料表面での触媒性の評価等には、アーク放電に用いる電極の溶融による電極物質の気流への混入がデータ取得に悪影響を与える恐れがあるため、よりクリーンなプラズマ気流を実現できる風洞が要求されている。このため、気流に不純物が混入しない加熱手法として高周波電磁誘導による方式が注目されている。この手法を用いた誘導プラズマ加熱風洞を整備することで、より精度の高い触媒反応評価データを取得することが可能となる。

2. 高周波誘導加熱方式

本加熱方式は、図1のように、高周波発生装置から高周波出力をプラズマトーチのコイルに流すことで、トーチ内に誘起された高周

波誘導電界により電子を振動させ、その電流によって生じるジュール加熱で気流を高温プラズマ化するものである。

これまで、高周波誘導加熱方式を採用した加熱風洞に関して、主としてソ連/ロシアで技術が蓄積されてきた。ソ連崩壊後、その技術がヨーロッパへ移転され、フランス、ドイツ、ベルギーで設備が整備、運用されている。特に触媒性の試験については、その有用性が注目されている。

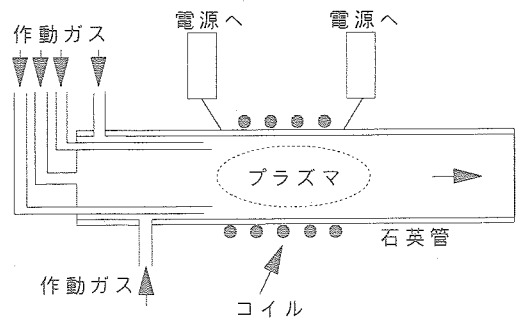


図1 高周波誘導加熱器の概念図

今回の風洞整備にあたり、誘導加熱技術の確立のために数値解析を試みている。現在解析コードを作成中であるが、図2に示すような軸対称形状での計算結果が得られている。左側の矢印位置からガスが供給され、コイル周辺で加熱された高温流が下流へ流れてゆく様子が示されている。定量的な精度を得るには困難も予想されるが、設計パラメータを決めるための感度解析として、例えば、供給ガスの流し方や出力の変化による高温部の範囲や位置などの変化を調べることにより、解析結果をトーチ設計に反映できると期待される。

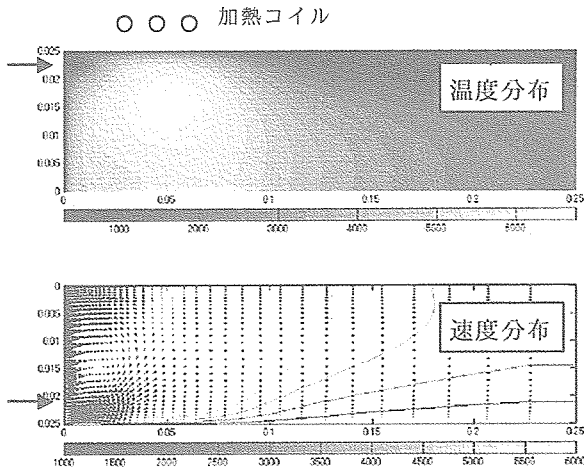


図2 プラズマトーチ数値解析例

3. 誘導プラズマ加熱風洞整備計画

計画中の風洞は、最大 110kW のパワーを最大流量 6g/s の供給ガスへ入力して加熱し、供試体へ 1~3MW/m² 程度の加熱率を与えることを目標としている。このため、まず、誘導加熱方式による高エンタルピ流の生成技術を確認するため、当初2年間では図3に示すように、既存のアーク加熱風洞の加熱器を高周波誘導加熱器に交換した形での誘導プラズマ加熱風洞の構築を計画している。

誘導プラズマ発生装置(図4)は、商用周波数(50Hz)の3相 AC200V 電源(約 170kVA)を受電し、アノード最大入力 110kW 以上、発振周波数約 1.5~3MHz の高周波を、アノード入力が±3%以内の変動幅で発生させる。本装置は、直流高圧電源部(配線遮断器、電圧調整器、変圧器、整流器、フィルタ)及び高周波発振部(3極真空管、発振回路)から構成される。プラズマトーチでは、高周波発生装置からの高周波出力をワークコイルに受け、高周波誘導加熱により、トーチ内に高温プラズマを発生させる。プラズマとしては、空気および窒素プラズマを発生させることを目標としている。プラズマトーチ本体は、内径約φ75mm 以上で、二重石英管による水冷方式または一重石英管による空冷方式とする。

なお、以上の整備計画(上期整備)による誘導プラズマ加熱技術確立の後、引き続き下期整備計画として、本誘導プラズマ加熱風洞用の測定室、冷却装置、計測装置等を整備し、アーク加熱風洞と併置した試験設備として完成させることを予定している。本全体計画の完成により、高エンタルピ流試験に関して、試験内容や必要な出力、計測項目などの目的に応じて設備を使い分け、効率的な試験実施が可能となることが期待される。

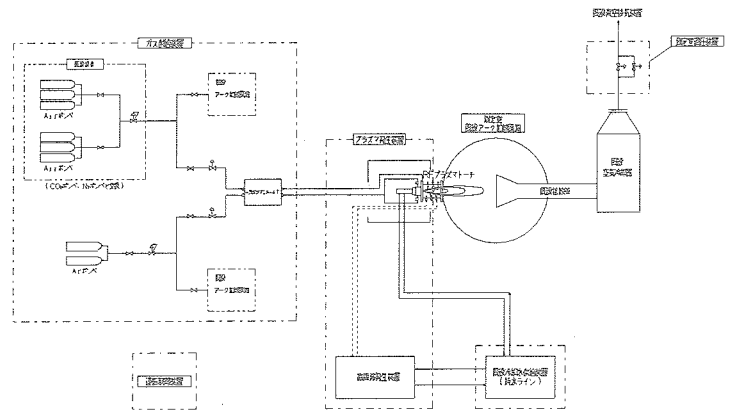


図3 誘導プラズマ加熱風洞の系統図

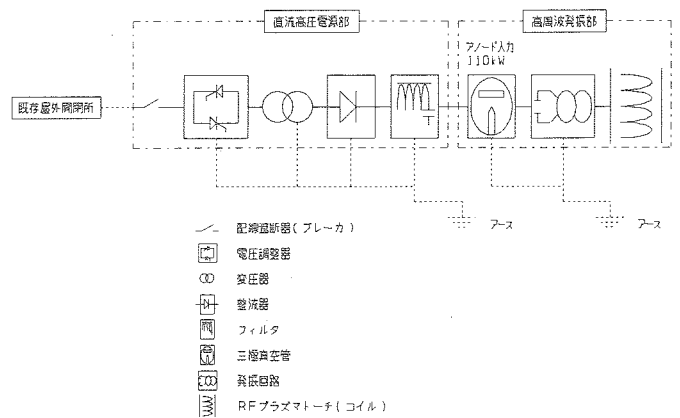


図4 プラズマ発生装置の構成図

4. まとめ

以上のように、高エンタルピ流中における実在気体効果、特に触媒性研究のための先進的な試験設備である誘導プラズマ加熱風洞の上期整備の平成14年度末完成を目指し、数値解析および設計を行い、製作を進めてゆく。