Osaka University Knowledge Archive

Title	水素/窒素混合気体およびアンモニアを作動気体とした超音速プラズマジェット発生装置の内部流れ場の構造解明およびプラズマ窒化への応用
Author(s)	安藤, 康高
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3144027
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

氏　　名　安藤康高（あんどう やすたか）

博士の専攻分野の名称　博　士（工　学）

学位記番号　第　13913　号

学位授与年月日　平成10年3月25日

学位授与の要件　学位規則第4条第1項該当
基礎工学研究科物理系専攻

学位論文名　**水素／窒素混合気体およびアンモニアを作動気体とした超音速プラズマジェット発生装置の内部流れ場の構造解明およびプラズマ窒化への応用**

論文審査委員　（主査）
教　授　吉川　孝雄

（副査）
教　授　小坂田宏造　　教　授　杉本　信正　　助教授　田原　弘一

論文内容の要旨

プラズマジェット発生装置は，材料加工の分野ではプラズマ溶射や溶接などの熱源として用いられ，航空宇宙の分野では宇宙用推進機として開発が進められている。その内部流れ場の構造を解明することは，宇宙用推進機の推進効率低下の原因となる凍結流損失をなくす上で重要であり，材料加工の分野においてもプラズマジェットを低温表面処理に応用する上で重要になるものと考えられる。特に，いずれの作動ガスとしても用いられる窒素やアンモニアの流れ場の構造解明は重要になるものと考えられる。しかし，ながらプラズマジェットは発生装置内部で超音速流となるため熱力学的非平衡状態であると推測され，また，窒素やアンモニアなどの多原子分子はプラズマ中で複数の粒子種を生成し複雑な加熱流れ場を形成すると考えられる。それゆえ，この場合のプラズマ状態，流れ場についてはまだほとんど解明されていないのが実状である。

そこで本研究では，数値計算および発光分光法によるプラズマ診断により，水素／窒素混合気体およびアンモニアを作動気体とした超音速プラズマジェットの発生装置内部流れ場の構造を解明した。プラズマ診断の結果，超音速プラズマジェットは発生装置内部では局所熱平衡がほぼ成り立ち，ノズルで出口面では窒素を作動気体とした場合，窒素分子の回転温度2000K，振動温度8000K，電子数密度約$10^{14}cm^{-3}$のプラズマ状態にあり，グロー放電プラズマの10倍以上の密度を持つ温度非平衡プラズマが生成されていることがわかった。また水素を混合した場合にはNHラジカル生成され，プラズマ状態が著しく変化した。数値計算結果は実験値とよく一致しており，特に窒素を作動気体とした場合の非平衡モデルを用いた解析結果はスロート部・ノズル部共に実験結果とよく一致した。またこの結果から，ノズル部において窒素原子の再結合反応の凍結を確認した。さらに，超音速プラズマジェットによるチタン，炭素鋼，および窒化用鋼基材の窒化処理を行った結果，基材表面を溶融させることなく従来の10倍程度の速さの窒化処理が可能であることがわかった。

論文審査の結果の要旨

材料加工の分野では，プラズマジェット発生装置はプラズマ溶射や溶接などの熱源として用いられ，航空宇宙の分野では，それは宇宙用推進機として開発が進められている。特に，プラズマジェットの超音速流れ場の構造を解明す

ることは宇宙用推進機の推進効率低下の原因となる凍結流損失を評価する上で重要である。また，材料加工の分野においても，流れ場の解明はプラズマジェットを低温表面処理に応用する上で重要になるものと考えられる。

本研究では，いずれの分野においても使用されている水素／窒素およびアンモニアを作動気体とした超音速プラズマジェット発生装置内部の流れ場の構造を，数値計算およびプラズマ診断により解明した結果をまとめたものである。さらに，超音速プラズマジェットを用いた表面処理プロセスへの応用として，チタン材等の窒化処理を試みた結果についても報告している。主として以下に示した成果が得られている。

(1)プラズマ診断の結果，超音速プラズマジェットはスロート部において温度平衡状態であるが，ノズル部においては超音速膨張に伴う温度低下の度合いが粒子種によって異なるため温度非平衡状態となる。また，水素／窒素混合気体を作動気体とした場合には，スロート部においてNHラジカルが生成され，ノズル部においても高温のNHラジカルが観測された。

(2)準一次元コア・フローモデルを用いた流れ場の数値計算結果は実験結果とかなりよく一致しており，流れ場の物理量の予測が可能になった。特に窒素を作動気体とした場合の非平衡モデルを用いた解析結果は，ノズル部においても定性的な物理量の予測が可能であることがわかった。

(3)超音速プラズマジェットによるチタン，炭素鋼，および窒化用鋼基材の窒化処理を行った結果，超音速プラズマジェットを用いた窒化法は従来の方法と比べて10倍程度の窒化層形成速度を有することがわかった。その原因は高温のNHラジカルの存在と高密度プラズマによると推測される。

以上のように，本論文は熱力学的非平衡状態にあり，かつ，複雑な加熱流れ場を形成している水素／窒素，およびアンモニアを作動気体とした超音速プラズマジェット発生装置内部流れ場の構造解明に関して多くの有用な知見を与えている。また，窒化処理の結果についても，超音速プラズマジェットによる材料の表面処理プロセスの基礎として重要な成果を得ており，今後のプラズマ理工学，およびプラズマプロセス工学の発展に寄与するところが大きい。よって，本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。