

CT法を用いた非軸対称プラズマジェットの熱伝達量測定

正員 崎山 智 司 (山口大)

正員 福 政 修 (山口大)

Measurement of Heat Transfer Flux of the Asymmetrical Plasma Jet Using Computer Tomography Technique

Satoshi Sakiyama, Member, Osamu Fukumasa, Member (Yamaguchi University)

キーワード：コンピュータトモグラフィ、プラズマジェット、熱伝達量、プラズマプロセス、カロリメトリックプローブ

1. はじめに

プラズマジェットは、近年表面改質や新素材開発などへの応用が注目されている熱プラズマである。このようなプラズマジェットを用いたプロセスでは、その高温・大熱容量という特長を利用することが多く、プラズマ流から処理材料への熱伝達量が最も重要なパラメーターの一つとなる。これまで熱伝達量は、主に平板型または細い直管型のカロリメトリックプローブ⁽¹⁾を用いて測定が行われてきた。これはプラズマが軸対称と仮定して、アーベル変換を使用する方法である。しかし処理材料が注入されたプロセス進行中のプラズマジェットはもはや軸対称ではなく、アーベル変換の適用は不可能となる。プロセスの高品質化を図るためには、これに代わる新たな手法が要求される。

コンピュータトモグラフィ(CT)法は医療分野で発達した手法で、非軸対称な核融合プラズマを対象とした診断⁽²⁾などにも利用されている。この手法は、①測定対象の幾何学的形状に依存せずその断層像が再現できる、②空間分解能を上げることが容易である、などの特長を有している。従って、CT法は、大気圧近傍で動作中の比較的高密度で半径方向への物理量の勾配が大きく、また、外部から処理材料を注入され非軸対称となる熱プラズマに対しても有効であると考えられる。

本研究の目的は、プロセス進行中の非軸対称熱プラズマの診断に利用可能な計測法を開発することにある。ここではカロリメトリックプローブを用いた熱伝達量測定にCT法を導入し、CT法の非軸対称プラズマジェット診断への適用可能性について検討する⁽³⁾。

2. 実験装置及び実験方法

実験装置の概略を図1に示す。カロリメトリックプローブは、熱伝達量を測定する円筒形真鍮管(1mmφ×60mm)とこれを支える支持部からなる。真鍮管には冷却水(180cc/min)を供給する。ジェットから受ける熱伝達量の線積分値は、この真鍮管をジェット中に挿入した場合の冷却水の温

度上昇と流量より算出した。熱伝達量の投影像を求めるためには、プローブをジェット断面に沿って一定間隔で平行移動するが、この時の冷却水温度は、測定点でプローブを静止後、水温が一定値となった後計測した。画像再構成法はART法を用い、以前の数値シミュレーション結果⁽³⁾より投影像数は4とした。なお、熱伝達量は(1)式により計算した。

$$H = C \times \frac{q \times \Delta T}{\Delta t \times S} \quad (1)$$

ただし、H：熱伝達量(W/mm²)、C：水の比熱(4.19 J/g・°C)、q：冷却水流量(cc)、ΔT：冷却水の温度上昇(°C)、Δt：測定時間(sec)、S：プラズマとプローブの接触面積(mm²)

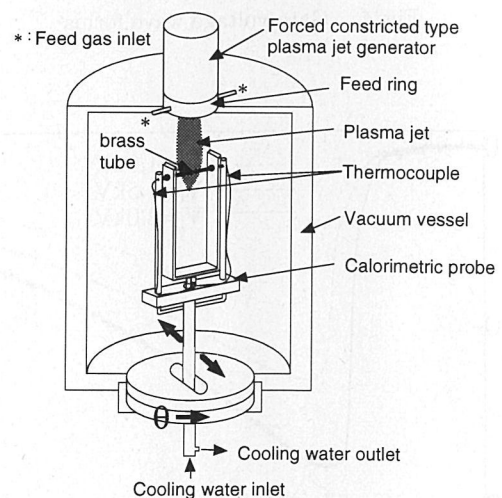


図1 実験装置の概略図
Fig. 1. Experimental setup.

測定対象としたアルゴンジェットは、フィードリングを付設した強制伸張型プラズマジェット発生器⁽⁴⁾により発生させた。ジェット発生条件は、容器圧力200Torr、ジェット

熱出力3kW、作動ガス流量20 l/min、フィードガス流量(Qf) 20 l/minで、測定を行ったジェット断面はフィードリングから10mm下流である。

3. 実験結果および検討

非軸対称プラズマジェットの発生は室温のアルゴンガスをフィードガスとして、フィードリング内の2個の互いに対向する材料送給口からジェットに垂直に送給する事により試みた。図2(a)、(b)にフィードガスを供給した場合に発生されるジェットの写真を示す。同図(a)はフィードガス注入方向($\theta=0^\circ$)から、同図(b)はフィードガス注入方向に対して直角方向($\theta=90^\circ$)から観測した結果である。

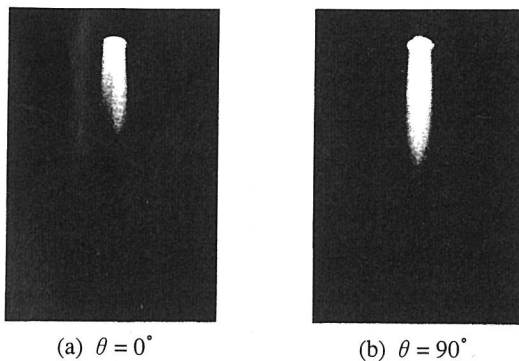


図2 フィードガスを20 l/min注入したプラズマジェット
Fig. 2. Photographs of the plasma jet with Qf=20 l/min.

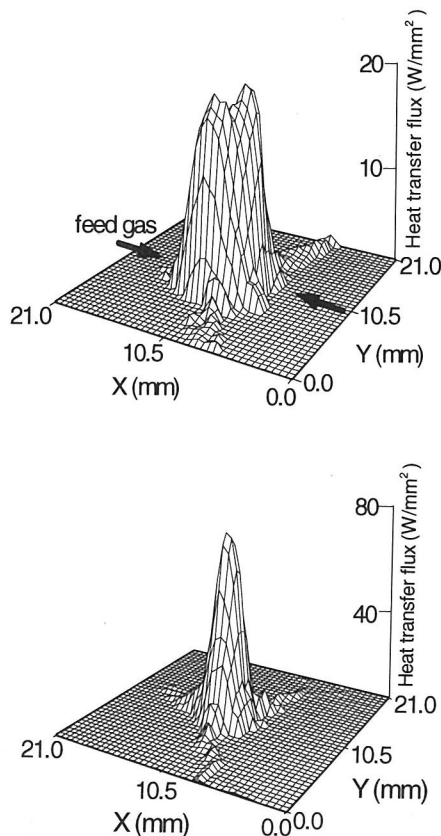


図3 熱伝達量の分布
Fig. 3. The heat transfer flux profiles of the plasma jet.

フィードガスを送給しない場合はジェット形状は観測方向に依存せず、ジェットは軸対称であった。一方、フィードガス流量20 l/minの場合は、 $\theta=0^\circ$ 方向からは、ジェット軸線に沿って発光強度の低下が観測されジェットが2分されたように見えるが、 $\theta=90^\circ$ 方向からは、この発光強度の低下は見られない。従って、室温のフィードガスをジェットに送給する事により、ジェットは非軸対称となることがわかる。

上述の条件下で発生させたジェットの熱伝達量の分布を図3(a)、(b)に示す。フィードガスを送給しない場合の熱伝達量はジェット中心で最大値を示し、その分布はほぼ軸対称である。これに対し、フィードガスを注入した熱伝達量の分布は非軸対称でジェット中央部で低く、軸線から離れた位置に2個のピークを持つ形状となっている。ジェット中央部での熱伝達量の低下は $\theta=0^\circ$ の線にほぼ平行に生じており、フィードガスの注入方向に一致している。これらの分布は写真観測から得られる結果と傾向が一致しており、フィードガスの侵入状態がCT法により測定可能なことを示している。

本報告では、非軸対称プラズマジェットの診断法としてコンピュータトモグラフィ法の有効性をカロリメトリックプローブを用いた熱伝達量測定によって示した。この手法は分光法などによるプラズマジェットの診断にも適用可能であり、プロセス進行中の非軸対称プラズマジェットの診断法として十分利用可能であることが分かった。

(平成10年 3月25日受付、平成10年 7月21日再受付)

文 献

- (1) 岡田、西口、田代、林、宮崎：「プラズマジェットの特性に関する研究(第2報)」、溶接学会誌 36(1967)77
- (2) 保土、高村：「高速プラズマ動画画像計測のための可視CT技法」、電学論 111A(1991)64
- (3) 崎山、畠中、福政：「CT法によるプラズマジェットの熱伝達量測定」、電気学会プラズマ研究会資料EP-96-79 (1996)
- (4) S.Sakiyama, T.Hirabaru and O.Fukumasa ; "A Plasma Reactor Based on the Forced Constricted Type DC Plasma Jet and its Application to Thermal Plasma Processing in Low Pressure" Rev.Sci.Instrum., 63 (1992)2408

崎山 智 司 (正員) 昭和33年9月17日生。58年3月山口大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。現在、山口大学工学部助手。日本物理学会、応用物理学会、プラズマ・核融合学会会員。



福 政 修 (正員) 昭和21年1月8日生。48年3月京都大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。現在、山口大学工学部教授。工学博士。日本物理学会、応用物理学会、プラズマ・核融合学会、電子情報通信学会、照明学会会員。

