

ダイバータ排気経路に適用可能なガス圧力分布計算手法の開発

Development of gas pressure distribution calculation method applicable to divertor exhaust path

*岡本 敦, 矢ヶ崎 誇楠, 杉本 みなみ, 樋口 舜也, 小池 宗生, 佐藤 剛貴, 山田 悠斗, 藤田 隆明
名古屋大学

核融合炉ダイバータの排気経路はクヌーセン流れ領域に相当し、配管コンダクタンスの圧力依存性により支配方程式は圧力に対する非線形方程式となる。線形化を施すことで分子流領域と同等の計算コストで圧力分布を計算する手法を開発し、小規模の体系で実測と比較することで妥当性を確認した。

キーワード：原型炉，ダイバータ，排気経路，コンダクタンス，粘性流，中間流，クヌーセン流れ，分子流

1. 緒言

原型炉ダイバータ設計の工学検討としてダイバータカセットの排気経路の評価と改善が進行中である。排気経路の最上流部であるダイバータ板近傍では分子流と粘性流の中間のクヌーセン流れ領域（クヌーセン数 $0.01 < Kn < 0.5$ ）に相当する。この領域ではコンダクタンスが圧力に依存することから、排気経路の圧力分布評価には計算コストの高いモンテカルロ法が必要とされてきた。我々は分子流から粘性流までの広い圧力範囲の体系に適用可能でモンテカルロ法に比べて高速な圧力分布計算手法を開発した[1]。小規模な体系で実測と計算の比較を行った。

2. 計算手法

分子流の体系ではコンダクタンスが定数のため圧力に関する線型方程式が得られ容易に求解される。粘性流の場合には、コンダクタンスを定係数と圧力の積で表現し、圧力の二乗に関する線型方程式を求解することで圧力分布を得る。クヌーセン流れ領域では、コンダクタンスが分子流と粘性流のコンダクタンスの線形結合で表現されることを利用し、分子流と粘性流のそれぞれの計算で得られた圧力分布の平均を初期条件としてコンダクタンスを決定し、線型方程式により圧力分布を得る。以後、得られた圧力分布からコンダクタンスを決定し繰り返し計算で収束解を得る。

3. 結果

実験では直径 0.2 m, 総延長 4 m の円筒真空容器の一端からガスを供給し他端からターボ分子ポンプで排気した。経路の途中にコンダクタンスを制限するオリフィスを設置した。ガス圧力のガス流量依存性を実験と計算で比較した。ガス流量の増大に伴い、分子流領域からクヌーセン流れ領域へと変化するため、圧力の増加が鈍化する傾向が実験で得られた。計算結果は、低ガス圧力($p < 0.5$ Pa, $0.2 < Kn < 0.9$)では実験を定量的に再現した。高ガス圧力($p > 1$ Pa, $0.05 < Kn < 0.1$)ではターボ分子ポンプの排気速度低下を考慮した計算により実験結果を再現した。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19H01869, JP20H01883 および日比科学技術振興財団による支援の下で実施された。

参考文献

[1] K. Yagasaki, A. Okamoto, T. Fujita, *et al.*, “Development of a conductance and pressure distribution calculation method over the whole range of the Knudsen number”, submitted to Journal of Nuclear Science and Technology

*Atsushi Okamoto, Konan Yagasaki, Minami Sugimoto, Shunya Higuchi, Muneo Koike, Koki Sato, Yuto Yamada, and Takaaki Fujita
Nagoya Univ.