The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	ペブルダイバータにおけるペブルフローの形成およびペブルへの粒子負荷特性
Author(s)	奥井, 隆雄
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45020
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏　　名	奥　井　隆　雄（おく い たか お）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　１８７０６　号
学位授与年月日	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科電子情報エネルギー工学専攻
学　位　論　文　名	**ペブルダイバータにおけるペブルフローの形成およびペブルへの粒子負荷特性**
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　西川　雅弘 （副査） 教　授　田中　和夫　　助教授　上田　良夫

論　文　内　容　の　要　旨

本論文は、将来の高出力密度の定常核融合炉で課題となるダイバータへ入射する熱負荷の除去およびガス排気を目的として提案されているペブルダイバータに関して、その主要な要素であるペブル落下装置の開発とプラズマ中でのペブルへの粒子負荷特性を評価したことを述べており、全部で６章から構成されている。

第１章では、核融合炉開発の現状を示し、将来の定常核融合炉開発において課題となるダイバータへの熱負荷の集中と、その解決方法としてさまざまなプラズマ対向機器概念が提案されていることを述べ、それらの中でのペブルダイバータの特徴について記している。そして、これまでのペブルダイバータ研究の成果をまとめ、本研究のペブルダイバータ開発における位置づけを述べている。

第２章では、ダイバータでペブルフローを形成するのに重要なペブル落下装置の仕様を検討する上で必要となる評価モデルの説明と、評価モデルの妥当性を示すための実験をおこなった結果を示している。ペブル落下装置はペブルをためる容器の底にスリットを設けており、そのスリットからペブルを落下させる。スリットの幅とペブル落下流量の関係を測定したところ、計算モデルによる計算結果は、実験結果と合致しており、計算モデルの妥当性を示している。

第３章では、ペブル周囲の電場の影響によって、プラズマに与えられる効果を考慮した計算モデルを作成し、そのモデルを用いて、ペブルに入射する最大熱負荷、ペブルフローの遮蔽効果、隣接するペブルの影響がペブルへの粒子負荷に与える影響について評価した結果を示している。ペブルへの最大熱負荷に関しては、ITER のデタッチプラズマ状態をとる場合とデタッチプラズマ状態でない場合でのダイバータ板付近でのパラメータを計算モデルに当てはめたところ、デタッチプラズマ状態をとる場合でのペブルへ印加される熱負荷はペブルの健全性を保てる範囲のものであることが示されている。また、デタッチプラズマ状態でない場合には、ダイバータで照射中に、ペブル表面が昇華されるために、昇華によって生じたガスによって入射するフラックスがエネルギーを奪われ、ペブルへの熱負荷が緩和されることが示されている。ペブルフローの遮蔽効果に関しては、ペブル周囲の電場の影響によって、広範な領域からプラズマを引き込むため、プラズマに対するペブルの実効的な断面積がペブルの実際の断面積よりも大きくなることが示している。

第４章では、新たに製作したプラズマ実験装置のプラズマパラメータを測定した結果を示している。この装置では、

ダイバータプラズマを模擬するために測定領域において磁化プラズマを生成できる仕組みとなっており、測定領域で最大 500 G の外部磁場をかけることができ、アルゴンガスを用いたとき、測定結果より、電子密度として、10^{11} cm^{-3} 台、電子温度として、1 eV-4 eV、マッハ数として 0.06 を達成できることを示している。

第５章では、第４章で示しているプラズマ実験装置にペブル模擬体として SUS 円板を挿入し、挿入する円板の半径、中性ガス圧を変化させたときの、円板周囲でのプラズマ密度プロファイルの変化を測定した結果を示している。この測定結果に、計算モデルで計算した結果を適用し、プラズマ密度プロファイルは、中性ガス圧によって変化することを示している。

第６章では、結論として、本研究において得られた主たる結果をまとめ、本論文の総括をおこなっている。

論文審査の結果の要旨

磁場閉じ込め核融合炉は、その磁場構造により、ダイバータ板に熱負荷が集中する仕組みとなっており、ダイバータ板へ印加される熱負荷の緩和、大きな熱負荷に耐えられるプラズマ対向壁の研究がなされている。ペブルダイバータは将来の高出力密度の定常核融合炉での使用を想定している移動表面式プラズマ対向機器概念であり、直径数 mm の多層被覆されたセラミック製のペブルをダイバータプラズマ流に対して垂直に落下させることで形成されるペブルフローをプラズマ対向面として用いる仕組となっている。

本研究では、ペブルダイバータシステムの中で、特にペブルフローに注目し、ペブルフローの形成手法の開発とペブルフローへの粒子負荷特性についての評価をおこなっている。本論文にまとめられた成果は要約すると以下のとおりである。

(1) ペブル落下装置のスリット幅とペブル落下流量の関係を、測定可能なペブルの物性値（かさ密度、摩擦係数）から求める計算モデルを提案し、そのモデルの妥当性が実験からも示されたことが述べられている。この計算モデルを用いて、試作した多層被覆ペブルを用いたときのプラズマを完全に遮蔽できるペブル落下装置の仕様とそのときのペブル落下流量を試算したところ、プラズマの入射角度を 5° とした場合に、スリット幅 2 cm、ペブルの落下流量 9 kg/sec/m と求まったことが述べられている。

(2) ペブル周囲に形成される電場の影響を考慮にいれたプラズマ挙動の計算モデルを作成し、その計算モデルを用いてペブルがプラズマ流中に一個だけ存在している場合についてのペブルへの粒子負荷を計算し、ペブルへの最大熱負荷を評価している。ペブル周囲で形成される電場の影響により、広い範囲からペブルへプラズマが引き込まれてくるため、ペブル表面でのフラックスは、ペブルから離れた場所でのフラックスよりも大きなものとなることが示されている。そして、ITER のデタッチプラズマ状態を考えない場合で、700 MW/m^2 程度の熱負荷が入射し、その結果、ペブル表面が昇華し、昇華によって生じたガスによって、入射するフラックスはエネルギーを奪われ、ペブルへの熱負荷が緩和されることで、ペブルの寿命を延ばす効果があることが示されている。

(3) ペブル周囲の電場を考慮に入れたときのペブルフローによるプラズマ遮蔽効果をペブルへの最大熱負荷の評価と同様の計算モデルを用いて評価をしており、その結果、電場の影響によって、広い範囲からペブルへプラズマが引き込まれてくるため、プラズマ流に対してのペブルの実効的な断面積が実際のペブルの断面積よりも大きなものとなることが示され、そのことがペブルフローの厚さを薄くできることが述べられている。

(4) ダイバータでの磁化プラズマを模擬するためにプラズマ実験装置を開発したことが示されている。アルゴンプラズマに関してプラズマパラメータの測定がおこなわれており、電子密度で 10^{11} cm^{-3}、電子温度で 1 eV-4 eV、磁力線に沿った方向のプラズマ流のマッハ数は 0.06 という結果が得られたことが示されている。

(5) プラズマ実験装置中に、ペブルを模擬した SUS 製の円板を入れて、磁力線に沿った方向のプラズマ密度の変化について測定した結果を示している。アルゴンガス圧を 3mTorr で固定し円板の大きさを直径 2 cm、5 cm と変化させた場合について、そして、円板の直径を 5 cm に固定して、アルゴンガス圧を 1mTorr、3mTorr、8mTorr と変化させた場合のプラズマ密度を測定している。そしてその測定結果に対して磁場を横切る拡散係数をフリー

パラメーターとしてペブルの最大熱負荷を評価するのに用いた計算モデルをあてはめたところ、拡散係数が中性ガス圧に依存して変化するという結論が得られている。

以上のように、本論文は、プラズマを遮蔽するのに十分なペブル落下流量を確保するのに必要なペブル落下装置の仕様を決めることのできる計算モデルを与えるとともに、ペブルに入射する最大熱負荷、ペブルフローのプラズマ遮蔽効果について評価をおこない、ペブルダイバータがダイバータに流入してくる熱流束に十分に耐えられるものであることを示した成果は大きい。この成果は今後の核融合炉研究において大きく貢献するものであると考えられる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。