The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	レーザー核融合炉第一壁のアブレーションと温度変化に関する研究
Author(s)	山本, 敬治
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48421
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　山　本　敬　治（やま もと けい じ）

博士の専攻分野の名称　博　士（工　学）

学 位 記 番 号　第　２１１９９　号

学位授与年月日　平成 19 年３月 23 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　**レーザー核融合炉第一壁のアブレーションと温度変化に関する研究**

論文審査委員　（主査）
教　授　田中　和夫

（副査）
教　授　上田　良夫　　教　授　三間　圀興　　教　授　兒玉　了祐
教　授　飯田　敏行　　教　授　西原　功修

論 文 内 容 の 要 旨

レーザー核融合炉チェンバーの第一壁には、液体金属等を用いた液体壁（Liquid Wall）方式と、高融点金属や炭素材を用いた固体壁（Dry Wall）方式が検討されていた。液体壁方式は炉チェンバーを小さくできる可能性があり、将来の発電プラントにおいては有望な方式の一つであるが、実際に建設するには核融合出力が第一壁に照射することによる第一壁のアブレーションやアブレーションした液体金属の排気など、様々な技術的課題が存在していた。一方、固体壁方式は、実際に建設する際の技術的な課題は少ないが、液体壁方式と比べると第一壁アブレーションが起こった場合に第一壁の損傷を補うことが難しいため、アブレーションが起こらない大きい炉チェンバーの条件で設計する必要があった。しかし、プラントの熱効率、経済性、ターゲットインジェクション、レーザーの集光性等を考慮すると炉チェンバーは小さい方が望ましいため、適切な炉チェンバーの大きさを検討する必要があった。

そこで本研究では、レーザー核融合発電プラントの炉チェンバー設計が可能となるパラメータ領域の検討を行うことを目的として、第一壁材料に液体金属の鉛と熱伝導性が良く高い融点を持つ固体のタングステンを使用した場合を想定し、核融合エネルギーの照射による第一壁のアブレーションと温度変化の評価を行った。

その結果、液体壁（Liquid Wall）方式では、核融合エネルギー400 MJ、炉チェンバー半径 2、4、8 m の設計条件で、炭素イオン、水素イオンの照射が始まる直前の時刻まではアブレーションしないが、その後の炭素イオン、水素イオン、重水素イオン、三重水素イオンのエネルギー付与により第一壁がアブレーションすることが解った。アブレーション深さは、炉チェンバー半径 2 m の場合で 6.5 μm、炉チェンバー半径 4 m の場合で 2.3 μm、炉チェンバー半径 8 m の場合は 1.5 μm であった。このアブレーション量の評価結果を用いて、排気時間を 0.1 sec として簡単な排気計算の評価を行ったところ、この時間で爆縮レーザーの照射が可能な圧力まで炉チェンバー内部の真空度が低下し得ることを確認した。これにより、核融合出力が 400 MJ、炉チェンバー半径が 2、4、8 m の場合で、液体壁炉チェンバーの設計が可能となるパラメータ領域が存在し得ることを示した。

固体壁（Dry wall）方式では、同じフルエンス 1.85 J/cm^2 で異なる設計条件[1]核融合エネルギーE＝20 MJ、炉チェンバー半径 R＝4 m、[2]核融合エネルギーE＝80 MJ、炉チェンバー半径 R＝8 m において、第一壁にタングステンを用いた場合の第一壁の温度変化の評価を行った。ここで、[2]の条件は、爆縮レーザーの繰り返し数を 10 Hz、核融合エネルギーの電気への変換効率を 30%とすると、24 万 KW の小型発電プラントに対応する。評価の結果、固体

第一壁の温度は、核融合エネルギー照射後に初期温度より 400 K~500 K 程度温度上昇し 1500 K~1600 K 程度となるが、タングステンの融点（3660 K）には達しないことが解った。こうした結果は、熱設計の際の安全係数を考慮しても、十分に余裕がある範囲であり、固体壁を用いた場合でも、核融合エネルギーに対し適切な炉チェンバー半径を考慮することにより、炉チェンバーの設計が熱的には可能となるパラメータ領域が存在し得ることを示した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、レーザー核融合炉の設計可能なパラメータに指針に関してまとめられている。本論文は、以下の 7 章から構成されている。

第一章は、序論であり、レーザー核融合炉が必要とされる背景と本研究の位置づけについて述べられている。本研究で、レーザー核融合反応を起こす炉心プラズマから飛来する放射線、粒子群による核融合炉壁での第一壁のアブレーションと温度変化の評価を行ったことが説明されている。

第二章は、レーザー核融合の原理、レーザー核融合炉設計の現状を説明した後にレーザー核融合炉システム「光陽」について、述べられている。此処で、考えられている第一壁の候補として液体金属壁の炉心から飛来する放射線、粒子群による負荷に対する挙動と問題点を示している。

第三章は、ここで取り扱う炉心プラズマ条件とその生成のためのレーザー条件を説明し、炉心より飛来する各種放射線、粒子、イオンのエネルギー及び時間パルス波形評価を説明している。この結果は、一次元流体コード ILESTA により求められたものである。もっともエネルギー構成比が高いものは、ターゲット材料である炭素であり、全核融合出力 400 MJ のうち、約 9 %にあたる 37 MJ を占め、炭素粒子あたり 1 MeV 程度の運動エネルギーを持つ。x 線の全エネルギーは、4 MJ であり、スペクトルピークは、数 10 eV にある。燃料のうち 40%程度が核融合反応に使われ、重水素、三重水素の全エネルギーは、20 MJ であり、粒子運動エネルギーは、0.1-0.2 MJ である。中性子は、飛来するエネルギーのなかでは、全エネルギー320 MJ と最大であるが、炉壁でのエネルギー付与が無視できるため、ここでは、取り扱わない旨が説明されている。

第四章は、炉壁への上記放射線、粒子のエネルギー付与モデルが説明され、このモデルは、より詳細なコード計算結果とも良い一致を示すことで、精度の良い負荷計算ができることが示されている。x 線エネルギー付与に関しては、質量吸収係数を、粒子エネルギー付与に関しては、固体物質中での各粒子に対する阻止能係数を用い、熱伝導も考慮してモデル計算がされたことが示された。

第五章は、液体壁として液体鉛を取り上げた。モデル計算で、液体第一壁の炉心ターゲットから飛来する放射線、粒子によるエネルギー付与によりアブレーションするしきい値は、$U_{TH}=1.2\times10^5$ J/cm^3 とした。これは表面温度が、2023 K に達すると急激にアブレーションがおこるという、レーザーアブレーションなどで広く使われている Anisimov モデルとも良い一致を示すことが説明された。炉半径２、４、8 m の場合、それぞれ炭素などの粒子のアブレーションにより、3.7 kg、5.2 kg、14 kg 程度の表面がはがれ、その深さはそれぞれ、7 μm、2.3 μm、1.5 μm であることが示された。これらアブレーションによる真空の劣化は、10 ヘルツの繰り返しを想定した場合、十分にレーザーショット間隔内の時間で回復可能であることが示された。

第六章は、固体壁としてタングステンを取り上げた。核融合出力 20 MJ（炉半径＝4 m）、80 MJ（炉半径＝8 m）を想定した。x 線によるエネルギー付与は、壁温度を 20 K 程度の上昇に留まり非常に小さい。両方の場合、最終的に固体壁は、400-500 K 温度上昇し、1600 K 程度となるが、タングステンの融点 3660 K には達しない。炉半径は、大

きくなるほど、熱伝導時間が長くとれるため、炉半径 4 m と 8 m の場合を比較すると、100-150 K 程度温度上昇を抑えることが可能となる事が示された。

第七章は、結論であり、各章のまとめが箇条書きにて示されている。

以上のように、本論文は、レーザー核融合炉設計において重要な、第一壁候補である液体鉛と固体タングステンについて、独自の計算モデルを用いてアブレーション及び温度上昇に対し設計可能なパラメータ領域が存在することを示しており、よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。