



Title	プラズマと相互作用する液体金属からの液滴放出メカニズムに関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	濱名, 優輝
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15847号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91971
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yuki_Hamana_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 濱名 優輝

審査担当者 主査教授 佐々木 浩一
副査教授 富岡 智
副査准教授 山内 有二
副査准教授 白井 直機

学位論文題名

プラズマと相互作用する液体金属からの液滴放出メカニズムに関する研究
(Studies on droplet ejection mechanism from liquid metals interacting with plasmas)

核融合炉の研究開発において、ダイバータ装置の開発が最も困難な課題になっている。特に、ダイバータ材料が課題で、炉心プラズマからの熱流束に耐えると共に保守(定期交換)が容易な材料が探索されている。従来は高融点金属であるタングステンがダイバータ材料の第一候補であったが、最近になって、液体金属をダイバータ材料に用いるというアイデアが浮上した。液体金属をダイバータ材料に用いれば、炉を大気開放することなく外部との間で入れ替えが可能であり、除熱および保守の容易性の面で利点がある。

従来、プラズマと核融合炉材料との相互作用は、固体材料に関して精力的に研究されてきたが、プラズマと液体金属の相互作用はこれまでにほとんど研究されたことがない。液体には、固体材料のような結晶粒や空隙欠陥が存在しない一方で、ガスの溶解という固体材料にはない素過程がある。また、いくつかの実験によって、プラズマと相互作用する液体金属から液滴が放出する現象が観察されている。金属液滴の混入は核融合炉心プラズマを強く冷却するため、液滴の放出は絶対に避けなければならない現象である。しかしながら、プラズマと相互作用する液体金属から液滴が放出されるメカニズムについては未解明な状況にある。

このような中において、本論文は、水素プラズマと相互作用する液体金属からの液滴放出のメカニズムを基礎実験によって調べている。結論として、プラズマ中のイオンが液体金属に照射されることにより液体金属中で過飽和なガスの溶解が生じ、液体金属中で気泡が形成され、気泡が破裂する時に金属液滴が放出されるというメカニズムを提示している

第1章は序論であり、本研究の背景について述べ、本研究の目的および意義を明らかにしている。

第2章では、プラズマと液体金属の相互作用に関する基礎実験のための装置について詳しく報告している。この実験には誘導結合プラズマが用いられた。金属液滴の放出を支配するパラメータを探索するため、液体金属に照射されるイオンのフラックス、イオンのエネルギー、および、液体金属温度をそれぞれ独立に制御できる装置を構築している。液体金属として主としてガリウムを用いた。液体ガリウムの反応性の高さが実験結果を歪める可能性を防止するため、真空容器中で液体ガリウムを攪拌し、クリーンな表面を実験に用いることのできる装置を開発している。

第3章では、第2章で述べた装置を用いて行った基礎実験の結果を報告している。金属液滴の放出頻度はイオンフラックスおよび液体金属温度に対して増加し、イオンエネルギーに対して減少した。プラズマ照射を開始してから液滴が放出され始めるまでの時間は、イオンフラックスが大きい

ときに短くなった。また、液体金属表面に気泡が形成され、それが破裂するタイミングで液滴が放出されることが観察されている。液滴の放出はプラズマを停止した後も生じ、気泡の破裂と同期してプラズマ容器の水素分圧がインパルス的に増加したため、気泡の内部は水素ガスで満たされていることが示された。

第4章では、プラズマと相互作用する液体金属からの液滴放出に対する原子状水素の影響を調べるために実施したプラズマ発光分光計測の方法を述べている。水素分子および水素原子の発光強度から水素原子の密度を推定するための様々な方法が報告されている。

第5章では、第4章で述べた方法を用いてプラズマ中の水素原子の密度を推定し、液体金属に入射する水素原子フラックスと液滴放出頻度との関係を調べている。結果として、水素原子のフラックスはイオンフラックスより4桁程度高いにもかかわらず、液滴放出頻度は水素原子フラックスに依存しないことが示されている。

第6章では、プラズマと相互作用する液体金属からの液滴放出メカニズムを提案している。従来、液体金属で生じる流体力学的不安定性が液滴放出メカニズムと考えられていたが、本研究では、液体金属に打ち込まれたイオンが中性化後にジーベルツの法則で決まる平衡を越える濃度で溶解し、溶解量が過飽和となるために液体金属中で気泡が形成され、その破裂によって液滴が放出されるとのメカニズムを提案している。このメカニズムによって、液滴放出頻度のイオンエネルギーに対する依存性を除くすべての実験結果を説明することに成功している。

第7章では、本研究の成果を総括し、今後の展望を述べている。

以上述べたように、本論文において著者は、プラズマと相互作用する液体金属からの液滴放出現象を基礎実験によって詳細に調べ、そのメカニズムを解明した。この成果は、核融合研究のみならず、広くプラズマと液体の相互作用現象について有用な示唆を与えるものである。よって、著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。