



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_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 濱名 優輝

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)

プラズマと液体金属の相互作用による液滴放出は、マグネトロンスパッタリングプラズマと液体スズの相互作用や、誘導結合プラズマと液体合金の相互作用において確認されているが、未だ明確なメカニズムの解明に至っていない。液体金属ダイバータの核融合炉への適用において液体金属からの液滴放出現象が障害となっており、そのメカニズムの解明は重要な課題である。本研究では、イオンフラックス、イオンエネルギー、および液体金属温度を独立に制御した条件で誘導結合プラズマと液体金属を相互作用させ、液滴放出に重要なパラメータを明らかにした。液滴放出時の液面形状の変化、液滴放出の角度分布、及び液滴放出に必要なパラメータを基に、プラズマと相互作用する液体金属からの液滴放出が既に報告されているメカニズムによって説明できるかを調べた。これらを経て、プラズマと相互作用する液体金属からの液滴放出を説明するこれまで報告されていないメカニズムを提案し、そのメカニズムによって広範な実験結果が説明できるかを調べた。

第1章は序論であり、本研究の学術的背景について述べると共に、本研究の目的および意義を示した。

第2章では、プラズマ-液体金属相互作用におけるイオン照射の効果を調べるための実験方法について述べた。本研究では、真空容器の外部に誘導結合プラズマ生成用の高周波アンテナを設置し、ガス圧 30 mTorr、電子密度 $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ の外部アンテナ型誘導結合プラズマを生成した。ガスはヘリウム、窒素または水素を使用し、液体金属にはスズまたはガリウムを使用した。液体ガリウムの温度は 300K-530 K の範囲で制御し、イオンエネルギーは 15-315 eV の範囲で制御した。液体金属表面から約 5 cm 上方の空間に波長 457 nm のシート状レーザー光を入射し、液滴による散乱光をイメージインテンシファイア付きのビデオカメラで撮影することにより、液滴発生の有無を確認しながら実験を行った。各実験条件において 30 分間の観測を行い、液滴放出頻度を求めた。液体ガリウムが設置されている真空容器と質量分析器を設置した真空容器を接続し、プラズマ照射停止後に液体金属から放出されるガスの分析を行った。

第3章では、第2章で述べた実験方法により、液滴放出に重要なパラメータを明らかにした。水素プラズマを液体ガリウムに照射した際、イオンのフラックス及び液体ガリウムの温度の増加に伴って液滴放出頻度が増加した一方で、イオンエネルギーを増加させると液滴放出頻度が減少した。液滴放出時には液体ガリウムの表面では気泡の破裂が観測され、質量分析器を用いたガス分圧の測定によって、破裂前の気泡内は水素で満たされていることがわかった。液体ガリウムから放出する水素の量は、イオンフラックスの増加及び液体金属温度の減少に伴って増加した。水素プラズマを液体スズに照射すると、液体ガリウムと比べ液滴放出頻度が増加した。ヘリウムプラズマにおいては、水素プラズマと比べ2桁小さい液滴放出頻度となり、窒素プラズマ照射においては、液体ガリウム表面に窒化物が形成され、液滴が放出しなかった。液体ガリウムに溶解したガス量と液滴放出頻度に相関があったことから、液滴放出はガスの溶解が強く関係していると考えられる。

第4章では、中性水素原子の液滴放出への影響を調べるために用いた水素原子密度の推定法について述べた。本研究では、アクチノメトリー法、閾値イオン化法、および、水素原子と水素分子の発光分光を用いて水素原子密度を推定した。

第5章では、第4章で述べた方法を用いて水素原子密度を推定した。イオンフラックスがほぼ等しく水素原子密度が1桁異なる実験条件において液滴放出頻度を調べたところ、液滴放出頻度に違いがないことがわかった。これにより、液滴放出現象を支配するのはイオンであり、水素原子は液滴放出現象に関与しないと結論した。

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のメカニズムを提案し、実験結果との相関について考察した。液滴が放出する際、水素の気泡が形成されていたことから、液体金属中には飽和溶解度を超えて水素が溶解していると考えられる。イオンフラックスが増加すると、溶解するガスが増えるため飽和溶解度を超えやすくなり、液体金属温度が増加すると、飽和溶解度が減少するため気泡が形成されやすくなると推測される。また、液滴放出頻度が水素原子密度に無関係であったことから、シース電場での加速によって運動エネルギーを得たイオンが液体金属内部に打ち込まれることが水素の過飽和溶解に重要であることを示した。

第7章では、本研究で得られた成果を総括し、今後の展望を述べた。