



Title	Study on Stability of High-Speed Free-surface Flow of Liquid-metal Target
Author(s)	井田, 瑞穂
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46039
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	井 田 瑞 穗
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 19116 号
学位授与年月日	平成 17 年 2 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	Study on Stability of High-Speed Free-surface Flow of Liquid-metal Target (液体金属ターゲットの高速自由表面流の安定性に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 堀池 寛 (副査) 教授 竹田 敏一 教授 山中 伸介 教授 飯田 敏行

論文内容の要旨

第 1 章では序論として、核融合炉での 14 MeV の中性子照射に耐える材料の開発を現実的な期間内に行うための中性子強度および照射体積を有する試験装置として、加速器駆動の D-Li 中性子源である国際核融合材料照射試験装置 (IFMIF) 計画の概要について述べている。そこで使用する液体 Li ターゲットは、強力な重陽子ビームを受けて中性子照射場を安定に形成しつつ、稼働率および安全性も確保しなければならない。本研究は高速 Li 流を安定に形成可能な高絞り比の新ノズルの形状・内面粗さ、Li 沸騰を回避する凹面状背面壁曲率半径、Li 流速などを明確にすべく、解析および水による流動実験を実施し、ターゲット設計に資することを目的としている。

第 2 章では、絞りノズルおよび凹面状背面壁に関する解析を実施している。均一流を形成する絞りノズルはポテンシャル流の理論に基づき、高速 (20 m/s) で高絞り比 (10 : 1) の 2 段絞りノズルを提案し、粘性を考慮した 2 次元流体解析を実施した。下流の自由表面部が重陽子ビーム照射でも沸騰しない条件を求めるため 2 次元熱流動数値解析を実施している。ノズルと流路形状が決定され、流速が 10 m/s でも自由表面に温度余裕があり、また背面壁曲率半径が 100 m 以下でも Li 流内部で沸騰温度余裕があることを述べている。

第 3 章では、自由表面安定性に関する流体実験について述べている。Li と水は動粘性係数がほぼ等しく、リチウム流を模擬した水実験を行っている。上で決定した形状のノズルで高速流が安定に形成できることを確認し、また自由表面の特性についてノズル内面壁粗さが異なるノズルを用意し自由表面の安定性に対する影響を調べている。5 m/s 以上の高速では表面粗さによりノズル出口の境界層に相違が現れ、自由表面の性状が異なることを示した。これらより IFMIF のノズルおよび後に実施される Li 流動実験用ノズル形状として本形状を採用し、ノズル表面粗さは加工精度 $6.3 \mu\text{m}$ でよいことを明らかとしている。

第 4 章では上記結果から実機ターゲットを設計している。Li の沸騰回避およびターゲット配置を考慮し、流速、背面壁の曲率半径をパラメータとして、自由表面の変動、境界層とビーム侵入深さでの誤差等を考慮して設計研究を実施している。その結果、ターゲット厚さは 25 mm にできること、高速流形成のノズル形状は上述の 2 段絞りノズルを採用し、流れ表面変動を抑制できる表面仕上げは $6.3 \mu\text{m}$ 、腐食・損耗による経年変化許容値を $1 \mu\text{m}/\text{年}$ とできることなどを示し、ターゲット全体の成立性と実機設計が確立できることを確認している。

第 5 章では全体を総括して結論としている。

論文審査の結果の要旨

核融合エネルギーの実用化の上で、炉材料の研究開発は非常に重要である。核融合条件下での高エネルギーで高線量の中性子照射に耐える材料研究を進める上で必要な、中性子の強度と照射体積を有する方式として、加速器駆動型の D-Li 中性子源があり、その開発が国際核融合材料照射試験装置計画 (I FMIF) として国際協力にて進行中である。本論文はそのキー技術である液体金属リチウムの流れについて、日本が主担当として実施している真空中での自由表面高速流を安定に形成できる流路とノズルの設計と解析および、水による流動実験研究を行った成果を総合的に取りまとめたものである。その成果を要約すると以下のようになる。

20 m/s に及ぶ高速で均一な自由表面流れを、真空中に生成できる絞りノズルとして、10 : 1 と云う高絞り比を有する 2 段絞り形状を考案し、流体の粘性を考慮した 2 次元流体解析と熱流動解析を実施した結果、ノズルと流路の形状が決定され、流速の変動や、流路の製作誤差等を考慮した場合にも、ビーム照射下でもリチウムの温度が低く蒸気圧が加速器の真空条件を満足できることを確認している。

リチウムと水は動粘性係数がほぼ等しいことを利用して模擬水実験を行い、上で求めたノズル形状で高速流が安定に形成できることを実際に確認し、またノズル内面の面仕上げ精度などが自由表面の安定性に与える影響を研究している。これより実機ノズルおよび、後に大阪大学にて実施予定のリチウム流動実験用のノズル形状とその表面加工精度を明らかとしている。

上の成果の下に実機設計を行い、リチウムの蒸気圧の抑制および入射ビームラインの幾何学的条件を考慮して、自由表面の揺動、境界層とビーム侵入深さの許容誤差について研究している。ターゲットとしての流れの厚さ、高速流形成のための 2 段絞りノズル、流れの表面揺動の抑制のための表面仕上げ精度、腐食損耗による経年変化の許容値について総合的な考察を進め、ビームとの組み合わせの成立性と実機構造を設計的総合的に確証している。

以上のように本論文は核融合も含む原子力工学、原子力材料工学の進展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。