



Title	液体金属リチウム自由表面流における波動特性の研究
Author(s)	金村, 卓治
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/57558
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	金 村 順 治
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学 位 記 番 号	第 23861 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 22 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当
工学研究科環境・エネルギー工学専攻	
学 位 論 文 名	液体金属リチウム自由表面流における波動特性の研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 堀池 寛 (副査) 教授 栗津 邦男 教授 西嶋 茂宏 教授 山口 彰 教授 山中 伸介

論文内容の要旨

本研究は、高温の液体金属リチウムの壁面噴流における、自由表面での波動特性の解明を目的とした、実験研究に関するものである。現在研究開発中の強力中性子源、国際核融合材料照射施設 IFMIF にて、重陽子ビームのターゲットとして液体リチウム壁面噴流を用いる構想がある。本論文は、噴流の平均厚さや、自由表面上に発生する波動の振幅や波長などの、ビームターゲットとして必要な特性を定量的に計測した結果をまとめている。また、本研究の成果は、様々な応用が期待されるが、未解明な点が多い高速液体噴流の、自由表面波の特性に知見を与えるものである。

第1章では本研究の背景と目的を、第2章では、実験を実施した大阪大学大型液体リチウム循環装置を概説している。

第3章では、電気接触式プローブを用いて、自由表面波の波高および噴流の平均厚さを精度よく計測した手法と結果を示している。流速 15m/s では、自由表面波の波高は最大で 5mm になるが、噴流の平均厚さはノズル出口高さ 10mm にほぼ等しい 9.7mm であることを実験的に示した。

第4章では、第3章で得た接触信号を詳細に解析し、自由表面波の周期の分布、自由表面の隆起時間（波が平均厚さ以上の位置に存在する時間）の分布、および代表波長を算出した結果を示している。周期は幅広く分布するが、ピークとなる周期は短く、流速が高いほど高周波数の波が発生していることを示した。自由表面の隆起時間の分布も周期分布同様に幅広く分布するが、非常に小さな値でピークを示すことがわかった。分布のピーク位置から波動の代表的な波長を求めたところ、流速 15m/s にて 3.6mm であり、表面形状画像から求めた値とよく一致した。また、振幅分布を求めたところ、流速 15m/s で最大振幅は 2.6mm に達したが、支配的な波の振幅は 0.3~0.5mm と非常に小さいことを示した。以上より、自由表面波は振幅の小さな高周波数成分が支配的であるが、低周期の大規模変動も併せ持つことがわかった。これら波動の特性は、従来の海洋波等の特性に近いことが示されている。本計測より、波の特性を表す物理量、即ち振幅、周期、波長の 3 つを独立に得られることを示した。300°C という高温の液体金属壁面噴流の自由表面波動を詳細に計測した研究は、これが最初である。

第5章では、粒子画像流速計測法 (PIV) の原理を応用して、液体金属リチウム壁面噴流上に発生する反射光分布を利用した自由表面波伝搬速度の非接触計測法の原理検証実験について述べている。提案した方法に基づく実験の結果、自由表面上の速度を 2 次元的に計測することに成功し、ノズル剥離後の自由表面速度の回復過程を捉えることにも成功した。またさらに下流領域にて、空間平均速度は、独立して得られる電磁流量計指示値から得られる平均流速にほぼ等しい結果を得られることを示した。これより本研究にて提案した手法により、自由表面波の伝搬速度を遠方から非接触で計測可能であることを示した。

第6章では、本研究で得られた成果を総括している。

論文審査の結果の要旨

本研究は、高温の液体金属リチウムの壁面噴流における、自由表面での波動特性の解明を目的とした、実験研究に関するものである。現在研究開発中の強力中性子源、国際核融合材料照射施設 IFMIF にて、重陽子ビームのターゲットとして液体リチウム壁面噴流を用いる構想がある。本論文は、噴流の平均厚さや、自由表面上に発生する波動の振幅や波長などの、ビームターゲットとして必要な特性を定量的に計測した結果をまとめている。また、本研究の成果は、様々な応用が期待されるが、未解明な点が多い高速液体噴流の、自由表面波の特性に知見を与えるものである。

第1章では本研究の背景と目的を、第2章では、実験を実施した大阪大学大型液体リチウム循環装置を概説している。

第3章では、電気接触式プローブを用いて、自由表面波の波高および噴流の平均厚さを精度よく計測した手法と結果を示している。流速 15m/s では、自由表面波の波高は最大で 5mm になるが、噴流の平均厚さはノズル出口高さ 10mm にほぼ等しい 9.7mm であることを実験的に示した。

第4章では、第3章で得た接触信号を詳細に解析し、自由表面波の周期の分布、自由表面の隆起時間（波が平均厚さ以上の位置に存在する時間）の分布、および代表波長を算出した結果を示している。周期は幅広く分布するが、ピークとなる周期は短く、流速が高いほど高周波数の波が発生していることを示した。自由表面の隆起時間の分布も周期分布同様に幅広く分布するが、非常に小さな値でピークを示すことがわかった。分布のピーク位置から波動の代表的な波長を求めたところ、流速 15m/s にて 3.6mm であり、表面形状画像から求めた値とよく一致した。また、振幅分布を求めたところ、流速 15m/s で最大振幅は 2.6mm に達したが、支配的な波の振幅は 0.3~0.5mm と非常に小さいことを示した。以上より、自由表面波は振幅の小さな高周波数成分が支配的であるが、低周期の大規模変動も併せ持つことがわかった。これら波動の特性は、従来の海洋波等の特性に近いことが示されている。本計測より、波の特性を表す物理量、即ち振幅、周期、波長の 3 つを独立に得られることを示した。300°C という高温の液体金属壁面噴流の自由表面波動を詳細に計測した研究は、これが最初である。

第5章では、粒子画像流速計測法 (PIV) の原理を応用して、液体金属リチウム壁面噴流上に発生する反射光分布を利用した自由表面波伝搬速度の非接触計測法の原理検証実験について述べている。提案した方法に基づく実験の結果、自由表面上の速度を 2 次元的に計測することに成功し、ノズル剥離後の自由表面速度の回復過程を捉えることにも成功した。またさらに下流領域にて、空間平均速度は、独立して得られる電磁流量計指示値から得られる平均流速にほぼ等しい結果を得られることを示した。これより本研究にて提案した手法により、自由表面波の伝搬速度を遠方から非接触で計測可能であることを示した。

第6章では、本研究で得られた成果を総括している。

以上のように本論文は、液体金属リチウムでの高速噴流における表面波動の詳細な実験研究、という世界でも稀な研究成果をまとめたものであり、国際核融合材料照射施設の開発の上でも重要な成果を提供している。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。