

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	レーザーアブレーション型クラスタービーム源の高フラックス化に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	石川裕太
Author(English)	Yuta Ishikawa
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11386号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:長谷川 純,肖 鋒,末包 哲也,小栗 慶之,赤塚 洋
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11386号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	石川 裕太	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	長谷川 純	准教授	赤塚 洋	准教授
	審査員	肖 鋒	教授		
		末包 哲也	教授		
小栗 慶之		教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「レーザーアブレーション型クラスタービーム源の高フラックス化に関する研究」と題し、6章から構成されている。

第1章「序論」では、誘導加速マイクロトロン発明により、これまで未達成であった核子あたりエネルギーが 100 keV/u を超える速度域までクラスターイオンを加速することが可能になりつつあることを述べ、高エネルギークラスターをイオン注入や材料改質等に応用するには高フラックスのクラスタービームを加速器に供給することが必要不可欠であることを指摘している。以上を踏まえ、レーザーアブレーション型クラスター源において、クラスター粒子のサイズ分布およびフラックス供給量とクラスター生成・輸送条件との相関を明らかにし、高フラックス化に向けた指針を示すことが本研究の目的であると述べている。

第2章「実験原理」では、クラスター核生成理論について概説した後、レーザーアブレーション蒸気中の原子の凝集過程においては、蒸気ブルームの断熱膨張を伴う急速 (~10  $\mu$ s) な冷却過程 (Rapid 過程) とバッファガスとの熱交換による緩やか (~1 ms) な冷却過程 (Slow 過程) の双方が重要な役割を担うことを指摘している。また、シリコン (Si) およびアルミニウム (Al) クラスターのイオン化エネルギーとヘリウム超音速ジェットの流速に関する定量的な考察から、クラスターの効率的な加速および輸送に必要な実験条件を明らかにしている。

第3章「実験装置」では、本研究で独自に開発した2つの異なる方式のレーザーアブレーション型クラスタービーム源と飛行時間質量分析装置の構造および動作原理の詳細について述べている。また、蒸気ブルームの挙動解析のための高速イメージング装置、蒸着クラスターのサイズ分布測定のための原子間力顕微鏡を用いた分析手法、クラスターの速度分布解析のための粒子飛行時間計測手法について説明している。

第4章「低圧バッファガスクラスター源」では、Rapid 過程による Si クラスター生成に着目し、原子間力顕微鏡による蒸着クラスターの観察と高速撮影による蒸気ブルームの挙動解析の結果について報告している。100 Pa 以下の希薄なバッファガス中におけるレーザーアブレーションでは蒸気ブルームのキャビティ内における流体的挙動が Si クラスターの生成と取り出しの効率に大きく影響することを示している。また、100 Pa 以上にバッファガス圧を高め蒸気ブルームの膨張を抑制することでクラスター成長時間を十分に稼ぐことができ、それにより構成原子数が 100 以上の Si クラスターを効率的に生成できることを明らかにしている。その一方で、この動作条件では生成キャビティからのクラスターの取り出しと下流への輸送に時間がかかるため、クラスタービーム源の高フラックス化には不利であることを指摘している。

第5章「高圧バッファガスクラスター源」では、アブレーションレーザー強度、バッファガス圧、滞留室形状、ノズル形状等のクラスター源の動作条件が、Slow 過程により生成される Al クラスターのサイズ分布や収量に与える影響を系統的に調べ、クラスタービーム源の性能指標となる粒子サイズごとのクラスター収量とビームパルス波形を評価している。アブレーションレーザーのフルエンスの増加によりクラスター収量を増やすことには限界があることを示し、クラスター収量の増大のためにはアブレーションレーザーの最適なフルエンスを保ちながらレーザー照射面積を拡大することが有効であることを指摘している。また、バッファガス圧を高くすると Al クラスターの生成が促進される一方で、クラスター源下流の背圧の上昇がクラスタービームの指向性を乱し輸送効率を悪化させることを示している。クラスター粒子の速度計測では、Al クラスターが滞留室から取り出されるのに約 100  $\mu$ s かかっていることを明らかにし、これが下流におけるクラスタービームのパルス幅の下限を決定していることを指摘している。さらに、超音速ノズル形状に対するクラスター収量の依存性から、バッファガスの流速および指向性を高めるノズル形状を採用することで輸送効率の改善が期待できることを明らかにしている。

第6章「結論」では、前章までの実験および解析の結果から得られた本論文の結論をまとめ、レーザーアブレーション型クラスタービーム源の高フラックス化に向けた指針と誘導加速マイクロトロンへの適用可能性について言及している。

以上を要するに、本研究は高エネルギー加速器へのレーザーアブレーション型クラスタービーム源の適用可能性について、クラスター源の幅広い動作条件のもとで得られた実験データとクラスター生成・輸送メカニズムに関する詳細な考察をもとに論じたものであり、加速器科学、量子ビーム科学およびナノ・マイクロ科学上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (理学) の学位論文として十分に価値があるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。