

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Evolution and Thermal Stability of Nanoclusters in Al-Mg-Si Alloys: Insights from Interatomic Structure of Clusters Formed at Low Temperature and Two-step Aging
著者(和文)	SongMinyoung
Author(English)	Minyoung Song
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12548号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小林 郁夫,史 蹟,藤居 俊之,多田 英司,村石 信二
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12548号, Conferred date:2023/9/22, 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

## 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	Song Minyoung	
論文審査 審査員		氏名		職名	氏名	職名
	主査	小林郁夫		准教授	村石信二	准教授
	審査員	史蹟		教授		
		藤居俊之		教授		
	多田英司		教授			

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Evolution and thermal stability of nanoclusters in Al-Mg-Si alloys: Insights from interatomic structure of clusters formed at low temperature aging and two-step aging」と題し、以下の7章からなっている。

第1章「General introduction」では、Al-Mg-Si合金のナノクラスタのクラスタリング進化と熱安定性に関連する背景と論争の的となっている問題を示し、これらの問題をよりよく理解するために、アトムプローブトモグラフィー (APT) を使用してナノクラスタの原子間構造を分析する必要性について論じている。

第2章「Parameters optimization in cluster identification algorithms for characterizing nanoclusters in Al-Mg-Si-Cu alloys」では、クラスタ解析アルゴリズム Density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN) におけるユーザ定義パラメータの最適化を試みている。合金組成と同じ組成を持つ巨大クラスタ、紐状クラスタ、断片化したクラスタおよび連結したクラスタの4種類の非物理的クラスタを確認し、このような非物理的クラスタを最小化するパラメータの組み合わせが、ボリュームレンダリングおよび等濃度表面とよく一致することを確認している。その結果に基づき、DBSCAN アルゴリズムのユーザ定義パラメータを最適化し、以下の各章でクラスタ解析を実行するためのユーザ定義パラメータ提案している。

第3章「Transition behavior of nanoclusters under sufficient low-temperature aging time in Al-Mg-Si alloy」では、溶質原子の拡散速度を考慮して 50 °C でのナノクラスタの遷移挙動を調査している。Cluster (2) は正規化されたエイジングタイムに基づいて十分に形成されるという期待にもかかわらず、示差走査熱量測定、硬さ測定および電気抵抗率測定の結果から、熱的に不安定 Cluster (1) の形成を示している。これらの結果から、室温での温度上昇によりクラスタの Mg の濃縮が促進され、Cluster (1) から Cluster (2) への転移は起こらないものと結論付けている。

第4章「Interatomic structure as a determining factor of thermal stability of nanoclusters in Al-Mg-Si alloy」では、クラスタ内部の原子配列を示す濃度プロファイルを介して、原子間構造とナノクラスタの熱安定性との関係について議論している。50 °C で同じ時効時間中に形成したクラスタは、自然時効時に形成したクラスタより熱的に不安定であることを見出している。異なる温度で形成されたこれらのクラスタは、原子配列に依存しない大きさ、組成および原子密度の点で区別できる違いを示さなかったものの、一方で 50°C で形成されたクラスタは core-Mg enriched shell 構造を持ち、自然時効時に形成されたクラスタは合金組成物と均質な構造を持つことを報告している。

第5章「Correlation between nanocluster evolution and aging temperature in Al-Mg-Si

alloy」では、異なる温度での複雑なクラスタリング進化の理由を新たに提案されたアプローチで調査した。40～70 °C の遷移温度によってふたつの異なるクラスタリングの変化が起こることを明らかにしている。連続遷移が可能なクラスタは、高い Al 濃度と均一結合構造を持つことを明らかにし、一方で連続遷移が不可能なクラスタは、低い Al 濃度と不均一な結合構造を有していることを報告している。

第6章「Microstructural evolution at the initial stage of two-step aging in an Al-Mg-Si alloy」では、ナノクラスタの溶解と析出物核生成の同時寄与による微細構造変化を調査している。その結果、2419.2 ks 自然時効後の二段時効により、硬さが最小値に達し、再び増加するまで、それぞれナノクラスタの溶解と $\beta''$ 核形成が主に観察されたと報告している。二段時効の初期段階でクラスタの部分溶解が観察され、原子密度の高いクラスタは自然時効過程で形成されるクラスタとは異なり、核として作用することを報告している。

第7章「General conclusions」では、第2章から第6章までに得られた主な結果と知見をまとめている。

以上を要するに、本論文は、分析方法の限界による Al-Mg-Si 合金のナノクラスタ研究の難しさを APT を利用して新しく提案された原子間構造分析によって克服し、その分析結果にもとづいてナノクラスタの変化と熱安定性に関するこれまでの論争に終止符を与える重要な実験的証拠を提供し、Al-Mg-Si 合金の複雑な二段時効挙動をよりよく理解することを達成したもので、またこれらの研究成果は、二段時効工程で製造する Al-Mg-Si 自動車用ボディパネル材としての微細組織を制御するための合金と熱処理履歴の設計に寄与するもので、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分な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、東工大リサーチリポジトリ(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。