

京都大学	博士 (工学)	氏名	林 杉 (リン サン)
論文題目	Visualization of nanostructure distribution in Al alloy multilayers by small-angle X-ray scattering tomography (X線小角散乱トモグラフィーによるAl合金積層材料内部のナノ組織分布の可視化)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、多層材などの複雑なマクロ構成をもつナノ析出強化機構による構造材料複合体の組織分布を明らかにするための手法として、走査測定およびトモグラフィー手法を利用したマイクロビーム小角散乱強度解析の定量化を実現することにより、マクロ領域でナノ構造の不均一性を持つ材料の力学特性を非破壊で予測するものである。その内容として軽金属材料として最も広汎に使用される析出強化型アルミニウム系多層材料を主要な対象として組織分布の定量解析をおこない、機械的強度との相関を明らかにした。博士論文は全6章からなる。</p> <p>第一章は序論であり、研究の背景としての析出構造の評価とその中の小角散乱法の位置づけ、ならびに本論文で対象としたアルミニウム合金系の材料としての研究の歴史と本論文の構成について述べている。</p> <p>第二章は本論文で用いた実験及び解析手法について説明している。本論文の基礎となる定量小角散乱解析手法の概観と、小角散乱トモグラフィーに発展させる場合の散乱強度解析法について述べ、その定量解析をおこなう上の工夫について述べている。さらに試料の予備評価結果および放射光での測定系構築などの実験手法詳細について述べている。小角散乱トモグラフィーに関しては、得られた散乱強度プロファイルの解析順序とトモグラフィー計算の精度を検討して処理手順についての考察結果を示した。</p> <p>第三章以降は本論文の実験及び解析結果となる。本章ではAl/Al-Zn/Al3層材およびAl-Mg/Al-Zn/Al-Zn3層材の走査小角散乱測定によるナノ析出組織分布の解析結果を示している。前者の試料は準安定状態図が知られているモデル合金系であり、奥行き方向には均一であるという仮定のもと、多層接合処理とポストアニーリングによって形成される接合界面に形成される相互拡散領域内部を含む広い領域での析出物の析出量、平均半径およびサイズ分布などのナノ組織分布を明らかにした。さらに、析出強化理論の援用により、100~400 μm幅を持つ組成傾斜領域を含めた広い組成ならびに試料厚さである2 mm程度の長さ領域にわたり、機械的強度の分布予測が実際の硬度分布と一致する事、5 μmの分解能で各位置での析出物のサイズ分布までを評価できることを示した。一方後者の場合はMgとZnの相互拡散により、相互拡散領域は3元合金化することによって顕著な硬化を示す。相互拡散領域ではMg/Zn比が変化することにより、組成とともに相平衡関係も変化し、析出強化相と形状が位置によって変化する事を電子顕微鏡の観察結果などと比較しつつ示した。</p> <p>第四章では前章の試料, Al-Mg/Al-Zn/Al-Mg合金多層材の部分系であるAl-Mg合金系に着目し、異常分散効果の利用によって通常ではコントラストのつかない同2元系領域における小角散乱強度解析の可能性について検討した。Mg吸収端などの軟X線領域での2次元異常小角散乱測定により、従来計測評価が困難であった低コントラスト合金系であるAl-Mg合金の初期析出組織の構造を評価した。これにより、小角散乱法という共通した測定解析手法によって高コントラストのAl-Zn系合金から低コントラストであるAl-Mg合金までの析出構造の評価が可能であることを示した。</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	林 杉 (リン サン)
<p>第五章では定量小角散乱トモグラフィーの実現とモデル材料としての Al/Al-Zn/Al 3 層材および Al-Mg/Al-Zn/Al-Mg 3 層材への適用結果について述べている. 小角散乱信号をトモグラフィー計算の入力信号として利用する散乱トモグラフィー法は高分子材料や生体材料のような比較的低吸収の材料について成果が報告されていた. 一方, 金属材料および無機材料の吸収トモグラフィー計測では良好な吸収信号を得るために 20keV を超える高エネルギー X 線を利用した像観察が行われていた. このような金属材料に対して散乱トモグラフィーで良好な解析結果を得るためには吸収と散乱断面積の適切なバランスをとることが重要である点を考慮した測定条件を設定し, 散乱トモグラフィー計測をおこなった. 通常の小角散乱測定では現在絶対測定が標準化されているが, 本論文では軽金属材料に対して透過散乱強度の定量化と, トモグラフィーの計算での復元精度を検討することにより, 散乱トモグラフィーの定量化、すなわちトモグラフィーによるボクセルごとの散乱強度分解に対しても析出物特有の Porod 領域を示す絶対強度評価に成功した. これにより, 析出強化構造材料の重要な組織因子であるナノ析出物のサイズ, 析出量などを試料内部のボクセルごとに算出し、非破壊で柱状試料の断面内の機械的強度分布の予測を析出強化理論に基づいて評価することに成功した. 次に実用上重要な合金系である Al-Mg-Zn 3 元系を構成する Al-Mg/Al-Zn/Al-Mg 3 層試料について同様の解析をおこなった結果を示している. 同 3 層試料の場合は人工的な相互拡散処理によりアルミニウム基材料に高強度を付与する η' 相などの 3 元析出強化相が形成されるが, 位置により相平衡関係が変化する複雑な挙動を示すことが第 3 章における 1 次元走査測定からも明らかになっている. このような試料についても同様にボクセルごとの絶対強度分解が可能であることを示し, その解析結果を示した.</p> <p>第六章では結論として放射光でのマイクロビームを利用した散乱の定量化をトモグラフィーに対して拡張した以上の結果について取りまとめ, 定量小角散乱トモグラフィーによる内部構造・機械的特性の有効性を示すことに成功したものと結論付けている。</p>			