
ナノスケール組織を有する軽量材料の開発とその構造解析に関する研究

研究代表者 工学部 池 野 進

(1)プロジェクトの背景・目的

軽量合金は地球環境保全の立場から、材料輸送時のエネルギー消費の低減、軽量材料を使用することによる自動車や鉄道車両などの軽量化による燃費向上など波及効果が大きいと考えられている。とくにアルミニウム合金は富山県の地場産業でもあり、日本国内で年間生産30万トンの市場である。この市場に対して新しい合金を開発していくことで、地域産業の活性化をも促すことを目的として、本プロジェクトでは、「ナノスケール組織を有する軽量材料のナノ構造解析に対する組織制御」と「ナノスケール組織を有する軽量材料のナノ構造解析に対する走査型電子顕微鏡法による解析手法の確立」の2つのプロジェクトを同時進行させ、高い信頼性を持つ軽量材料の開発とその性能評価法を目指している。

(2)研究成果

[プロジェクト 1] ナノスケール組織を有する軽量材料のナノ構造解析に対する組織制御

【高信頼性軽量合金の開発】

本プロジェクトでは、第一に新たな高信頼性アルミニウム合金の開発のため、合金開発を行った。本プロジェクト遂行のためにアシュウト大学の Mahmoud Abdel-Fattah Gaber 教授を 2002 年度 4 ヶ月間、および 2003 年度に 2 ヶ月間招聘し、従来データの検討、新合金のラボ実験、及びアルミ製造メーカーとの小規模実験の結果、新しい自動車用合金として注目されている Al-Mg-Si 合金において、粒界近傍の強度を安定させることができる元素を添加した合金を作製することに成功した。さらに Gaber 教授を 2005 年度に 2 ヶ月間招聘して、高温での使用が期待できる合金開発に成功し、現在特許出願の準備中である。

【機能性軽量合金の開発】

第 2 として、既存材料の高付加価値化を目指したあたらしい機能性の付加方法として、複合材料による展開を試みてきた。母材は軽量のアルミニウムとし、機能性粒子としては、光触媒、超電導、発光性のある粒子を候補とした。複合化することで、1.強度の増加、2.熱伝導性の変化、3.耐摩耗性の向上という、複合材料特有の性能も付加できる。昨年度までに超伝導 MgB_2 粒子を電気伝導のよいアルミニウム中に均一に分散させた複合材の作製に成功している。図 1 は今年度押出し加工に成功した例を示している。直径約 10mm の押出し棒材に加工することができた。またバルクの複合材料と同様、図 2 に示したように約 39K で電気抵抗の急激な減少である超伝導転移を示すことも確認できた。今後はさらに細線化を目指す予定である。さらに磁性粒子を分散させたアルミ複合材料の板材化にも成功しており、用途の拡大が期待される。

[プロジェクト 2] ナノスケール組織を有する軽量材料のナノ構造解析に対する走査型電子顕微鏡法による解析手法の確立

本プロジェクトでは、プロジェクト1で開発した合金中の微細な金属間化合物の検出を行う装置の開発を目指した。2004年度までにチェコ科学アカデミーLudek Frank 教授および電子顕微鏡メーカーとの共同研究により低エネルギー電子の検出器(SLEEM)を開発、日本国内初の作製に成功した。今年度はそのアプリケーションとデータベースの構築、さらに起業に向けた準備を行った。図2はCu-40%Zn合金を熱処理して得られた α 相をSLEEM検出器にて観察した例である。矢印で示された α 相の端の部分にマークをしているが、この部分のコントラスト差を(d)~(f)に示したが、500eVでのSLEEM像でもっともコントラストの差が大きいことが明らかである。さらに図3は鉄系SUS304粒子表面の観察例である。2次電子像ではほぼ清浄と思われていた表面には、網の目のように形成された酸化物が1kVのSLEEM観察で明らかになった例である。今後は観察条件を含めたデータベースの構築と、起業の具体的な手続きを進める予定である。

(3)プロジェクト成果（特許，起業，技術移転等）

[特許出願実績]

1. 特願 2005-011470, C22C 21/00, 発光顔料/ アルミニウム基複合材料及びその製造方法, 平成 17 年 1 月 19 日
2. 特願 2005-77846, C22C 21/00, 磁性アルミニウム複合体, 松田健二、池野進、真嶋一彦、森克徳、西村克彦、佐伯知昭, 平成 17 年 3 月 17 日
3. 特願 2005-317228, MgB_2/Al 超伝導押出し材及びその製造方法, 池野 進、松田 健二、西村克彦、森克徳、實地戸道雄、成田政義, 平成 17 年 10 月 31 日
他 2 件 出願手続き中。

[論文発表]

1. The potential of the scanning low energy electron microscopy for the examination of aluminum based alloys and composites, K.Matsuda, S.Ikeno, I.Mullerova, L.Frank, J. Electron Microscopy, vol.54, (2005) pp.109-117.
 2. Comparison of precipitates between excess-Si type and balanced type Al-Mg-Si alloys during continuous heating, Kenji Matsuda, Susumu Ikeno, Hiroaki Matsui, Tatsuo Sato, Kiyoshi Terayama, Yasuhiro Uetani, Metallurgical and Materials Transactions A, vol.36A, (2005), pp.2007-2012.
 3. SLEEM による Cu-Zn 合金における板状 α 相の観察, 松田健二、I.Mullerova, L.Frank, 川畑常眞、上谷保裕、池野 進, 銅と銅合金, vol.44, (2005), pp.44-49.
 4. MgB_2/Al 複合材料の超伝導と熱的特性, 松田健二、池野進、佐伯知昭、西村克彦、森克徳、成田政義, 日本金属学会誌, vol.69 (2005), pp.933-939.
 5. Superconductivity and Thermal Property of $\text{MgB}_2/\text{Aluminum}$ Matrix Composite Materials Fabricated by 3-Dimensional Penetration Casting Method, Kenji Matsuda, Tomoaki Saeki1, Katsuhiko Nishimura, Susumu Ikeno, Yukinobu Yabumoto and Katsunori Mori, Material Transactions, vol. 47, (2006) pp.1-7.
 6. Cube-phase in excess Mg-type Al-Mg-Si alloy studied by EFTEM, Kenji Matsuda, Yoshitaka Ishida, I.Mullerova, L. Frank, Susumu Ikeno J. Materials Science, (2006) in press.
- 他 国際誌投稿中 2 篇, 準備中 2 篇。

[国際会議発表]

1. Analysis of chemical composition of the cube-shaped phase in the Al-Mg-Si alloy by EFTEM and SLEEM, K. Matsuda, Y. Ishida, I. Mullerova, L. Frank, S. Ikeno Microscopy and Microanalysis 2005, August, Honolulu, USA
2. [Invited] Study of Precipitation sequence in Al-Mg-Si alloy by HRTEM K. Matsuda, S. Ikeno, Materials Science Forum, vols. 475-479, (2005), pp.361-364.
3. [Invited] Nano-Structural Analysis in Aluminum Alloys by Energy-Filtering TEM, K.Matsuda, S.Ikeno, 3rd International Symposium on Nanostructured Materials, Ilsan, Korea, 27-28, Oct, 2005
ほか多数。

(4)プロジェクト成果の応用・効果・構想

1. 高信頼性合金と、機能性軽量合金の長所を実際に融合させ、実用可能な多機能材料の開発をターゲットとしたプロジェクトを展開する予定である。
2. SLEEM 検出器においては、今後データベースの構築とアプリケーションの充実を図り、各種実機への装着のための研究と、起業を展開していく予定である。

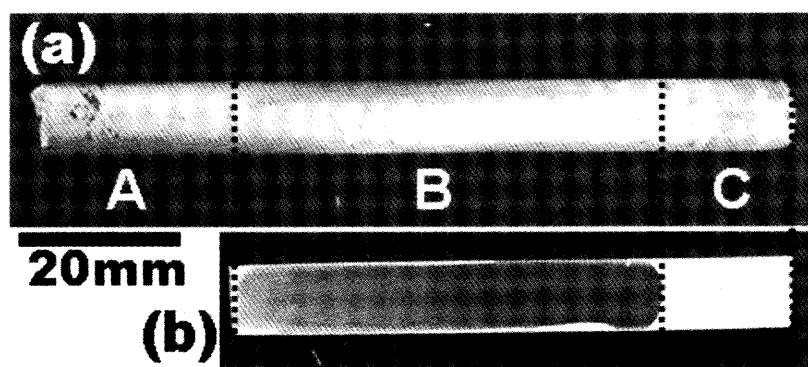


図 1. 棒材に押し出し加工された超電導 MgB_2/Al 複合材料の外観(a)とその断面(b)。[Material Transactions, vol. 47, (2006) pp.1-7.]

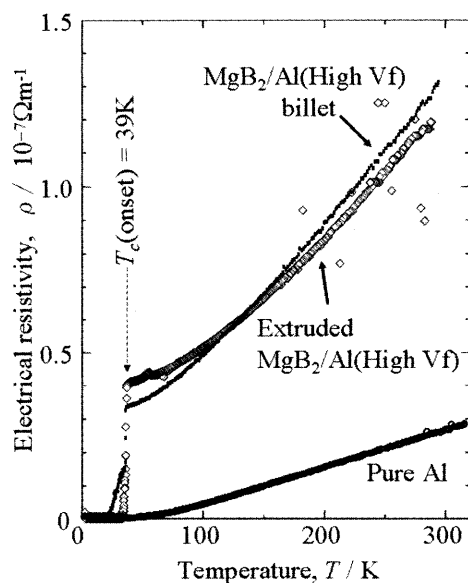


図 2. MgB_2/Al 複合材料の電気抵抗測定結果。
[Material Transactions, vol. 47, (2006) pp.1-7.]

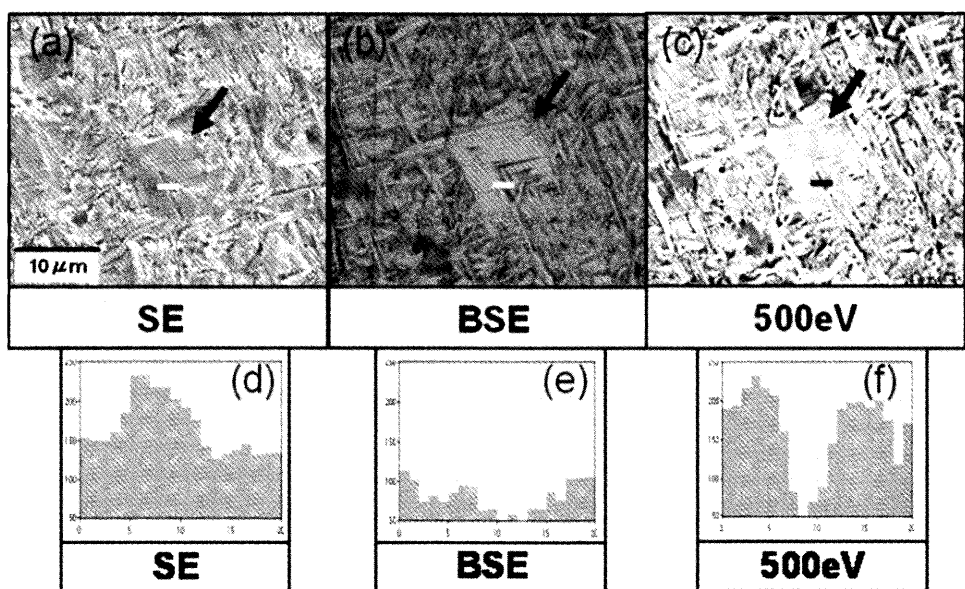


図 3. Cu-40%Zn 合金の α 相の観察例。(a)SE 像、(b)BSE 像、(c)SLEEM(500eV)像。
[銅と銅合金, vol.44, (2005), pp.44-49.]

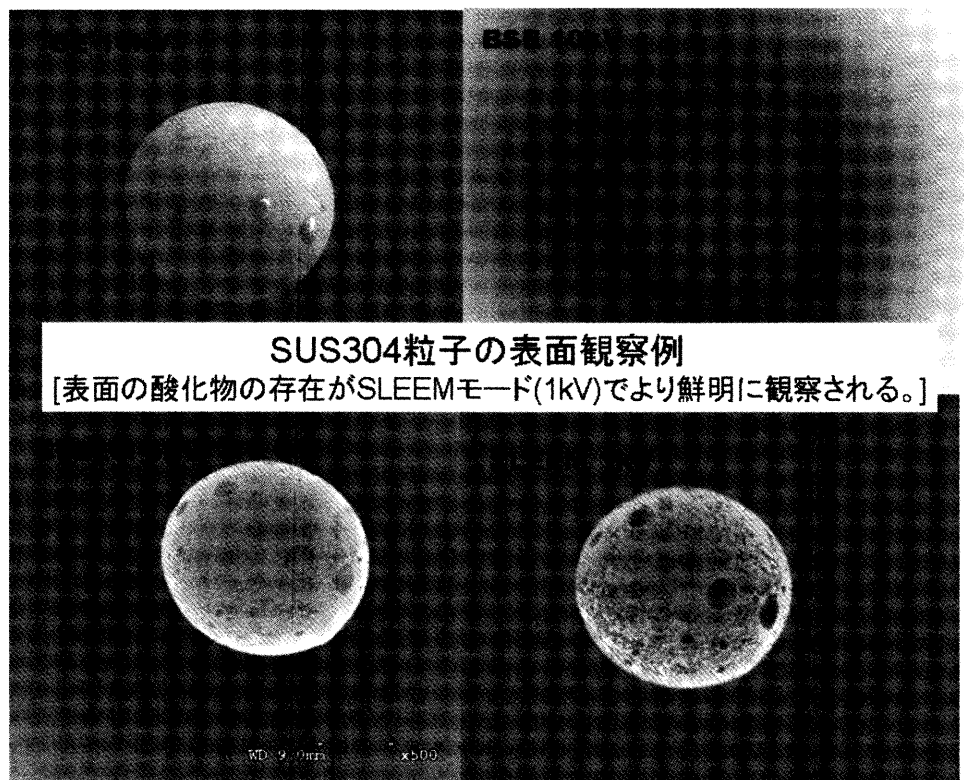


図 4. 鉄系粒子の観察例。上段の図は 10kV で観察した通常の画像。[左上]2 次電子像、[右上] 反射電子像。下段の図は、低エネルギー電子検出器を用いて同じ粒子を観察した画像。[左下]5kV, [右下]1kV. (JFE スチール(株)佐藤 馨 様ご提供試料を本装置にて観察。)