

茨城大学重点研究

「分野横断型ニューマテリアル研究プロジェクト」

茨城大学工学部附属 塑性加工科学教育研究センター

2012年度

報告書

茨城大学重点研究プロジェクト「分野横断型ニューマテリアル研究」
平成 24 年度報告書刊行にあたって

プロジェクト代表 伊藤 吾朗

茨城県の産業は農業もさることながら、日立銅山に端を発する県北地域の電気・電子工業や発電産業、鹿島臨海工業地域の鉄鋼・化学工業、東海村を中心とする原子力関係産業に大きく依存しています。その基盤となるのが、構造物や施設を構成する構造用金属材料、半導体材料やその配線に用いられる金属材料、高温や過酷な化学的環境に耐えるセラミック材料であり、これら材料を中心とする素材・材料製造企業集団で地域経済が成り立っているといっても過言ではありません。企業規模は大～中小と多岐にわたり、茨城県は「産業大県づくりによる元気ですみよいいばらきづくり」を目指しています。

一方、茨城大学では建学当初から工学部に金属工学科が置かれていました。これは銅山に由来する地域性に基づいたものと考えられますが、地方国立大学では比較的少なく、室蘭、富山、愛媛など数えるほどしかありません。これら他の地方大学に比べて、茨城大学では、現在の工学部マテリアル工学科にとどまらず、広く電気・電子・機械関係の工学部教員が、そして材料創成・解析などの基礎分野に理学系・教育学系の教員が在職しています。

大規模大学の旧金属工学系学科では、日経ビジネス 2008 年 8 月 18 日号に「さらば工学部」という衝撃的な見出しで取り上げられたように、ナノテクや未開拓の新規材料分野など、産業界から乖離した方向に走っています。上述の地方大学においても同様の動きが見られます。このような動きに対して、茨城大学では第 2 期中期計画として、「産学連携の推進」、「重点研究の一つとしてのニューマテリアル研究の推進」を挙げています。「ニューマテリアル」というキーワードからは、産業から乖離している恐れがある新規材料を連想しがちです。しかしラインパイプ用継ぎ目なし鋼管、内視鏡用超細導線、ハードディスク用アルミニウム基板など、旧来素材でありながら、高精度・信頼性も含めた日本の材料開発力・技術力は世界を席卷しています。また学生・大学院生の就職先として量的に新規材料分野を依然大きく上回っています。本学が、地域経済・社会にマッチし、伝統的な分野を切り捨てることなく、かつ最先端の半導体や磁性材料を含めた幅広い材料分野を重点的に研究することは、本学の特徴を生かすとともに、地域社会からも歓迎されることとなります。そこで茨城大学の教育研究者を有機的に結び付け、材料分野を重点的に研究すること、すなわち本プロジェクト「分野横断型ニューマテリアル研究」を推進することには、大きな意義があると考えます。

2012 年 8 月に文部科学省科学政策研究所から「研究論文に着目した日本のベンチマーキング 2011——大学の個性を活かし、国全体としての水準を向上させるために——」が出されました。この中の研究ポートフォリオで茨城大学は、唯一材料科学の分野においてランク内に入り（分析対象大学は国公私立 128 大学、材料科学分野でランク内は 15 大学）、材料科学重心型と分類されました。冒頭で述べた本学工学部の歴史に関係して述べたことが、客観的にも裏付けられたこととなります。そしてベンチマーキングに呼応して、2012 年 10 月から国立大学のミッションの再定義が、医学、教員養成、工学の 3 分野で始まりました。ミッションの再定義は、各大学の強みと特色をエビデンスに基づき文部科学省と議論し、練り上げ、今後の全学的施策に反映させようとするものです。したがって現在限られた予算・人的資源で進めているこのプロジェクトは、本学の強みが材料科学分野であることから、全学的により優先度の高い位置に置かれることが期待されます。その分、成果も期待されることになろうと思いますが、メンバー一丸となってその期待に応えたいと思います。

本プロジェクトでは、工学部を中心としながらも全学の構成員の高度な専門性を生かして、構成する物質別（金属、セラミックス、半導体など）、用途別（構造用、電磁気・電子用、生体用など）、製造プロセス別（鋳造、塑性加工、プラズマ・レーザー応用加工、超微粒子製造など）、研究手法別（プロセス開発、理論・シミュレーション解析、機器分析など）など、あらゆる切り口から、材料について縦横無尽に研究し、茨城大学のプレゼ

ンスを高めようとしています。その切り口の一つである塑性加工の分野において、平成 24 年 1 月に工学部附属塑性加工科学教育研究センターが設立されました。平成 24 年度がセンターの本格稼働開始の年度になりましたが、講演依頼・産学連携の模索等、うれしい悲鳴が上がるほどたくさんのお声をかけていただきました。前述のミッションの再定義で、地域との連携も茨城大学工学部の強みとして今後も推し進めることになりましたが、文部科学省との議論が始まる寸前に多数のエビデンスを得ることができました。

本冊子は、重点研究「分野横断型ニューマテリアル研究」の構成員の成果を中心にまとめたものです。ご一読いただき、今後とも分野横断型ニューマテリアル研究、ならびに塑性加工科学教育研究センターに対して、ご理解・ご支援いただければ幸甚に存じます。

重点研究「分野横断型ニューマテリアル研究プロジェクト」

プロジェクト参加教員

- 総括・構造機能金属材料……伊藤吾朗(工・機械・教授)
- 結晶組織制御金属材料……鈴木徹也(工・マテ・教授)
- 鉄鋼材料、中性子利用による材料解析……友田 陽(理工・応用粒子・教授)
- ナノ粒子の調製プロセス……泉岡 明(理・化学・教授)
- 塑性加工プロセス……安田健一(教育・技術・教授)
- " ……西野創一郎(理工・応用粒子・准教授)
- プラズマ利用材料プロセス……池畑 隆(理工・応用粒子・教授)
- " ……佐藤直幸(理工・応用粒子・准教授)
- ナノ粒子・ナノ材料超塑性プロセス……小林芳男(工・生体分子・教授)
- レーザー応用材料プロセス……山崎和彦(工・機械・講師)
- 電子顕微鏡による材料解析……野口高明(理・地球環境・教授)
- マイクロメカニクス解析……野崎英明(教育・技術・教授)
- 弾塑性力学解析……堀辺忠志(工・機械・教授)
- 材料物性解析、材料プロセスシミュレーション解析…篠嶋 妥(工・マテ・教授)
- 半導体材料……鶴殿治彦(工・電気電子・教授)
- 半導体関連材料……田代 優(工・マテ・講師)
- 計算マテリアル科学……永野隆敏(工・マテ・講師)
- マテリアル表面科学……横田仁志(工・マテ・講師)
- 磁性・ストレージ材料……小峰啓史(工・メディア・准教授)
- 炭素材料……車田 亮(工・機械・准教授)
- 研削材料……伊藤伸英(工・機械・准教授)
- 水素貯蔵材料、非破壊検査……岩瀬謙二(フロンティア・助教)

茨城大学工学部附属塑性加工科学教育研究センター

構成メンバー

伊藤吾朗(センター長・教授)、鈴木徹也(副センター長・教授)、西野創一郎(副センター長・准教授)、友田 陽(工学部長・教授)、車田 亮(准教授)、堀辺忠志(教授)、田代優(講師)、永野隆敏(講師)、本橋嘉信(名誉教授)、相田能輝(大学院生)、市川忠明(大学院生)、菅野晃慈(大学院生)、渡壁尚仁(大学院生)、安藤 誠(大学院生)、松田 裕(大学院生)、中井 学(大学院生)、鷲見 亨(大学院生)

— 目次 —

1. 研究報告

1. 酸化銅ナノ粒子の作製法とその接合特性
小林 芳男
2. レーザ焼結法によるマイクロ SOFC 用電極膜および電解質膜の作製
山崎 和彦, 小泉 正志
3. ECAP 加工による Al 合金の引張強度
岩瀬謙二

2. プロジェクト業績

研究論文等発表一覧

研究報告

酸化銅ナノ粒子の作製法とその接合特性

Fabrication of Copper Oxide Particles and their Bonding Properties

小林 芳男

茨城大学工学部生体分子機能工学科

Yoshio KOBAYASHI

Department of Biomolecular Functional Engineering

College of Engineering, Ibaraki University

1. 概要

水溶液中にて銅塩 ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) と塩基 (NaOH) との反応により CuO ナノ粒子を作製した。 CuO ナノ粒子の形態は $\text{NaOH}/\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (Na/Cu) 比や反応温度に大きく依存した。 Na/Cu 比:1.7、反応温度 20°C として作製した粒子は木の葉状凝集体を形成した。その後、 80°C で処理すると、 CuO の純度が増した。このようにして得られた CuO 粒子粉体の接合強度は 30.6 MPa に達した。

2. はじめに

材料の高温での溶融現象を利用した接合技術の一つに Sn-Pb 合金はんだを用いる方法がある。しかし、 Pb は有害であることや、高温にさらされるような環境下では接合部位が融解して解けてしまうこと等が懸念される。一方、金属バルク材料はナノ粒子化により融点が低下することが知られており、この現象を利用すると、低温での接合が可能となる。金属 Cu は、比較的安価である、高い電気伝導率を持つ、耐マイグレーション性に優れる等の利点を有するため、そのナノ粒子に注目した。しかしながら、金属 Cu ナノ粒子は酸化が起こりやすいことが懸念される。一方、 CuO は水素等の還元雰囲気下での加熱により容易に還元されるので、還元雰囲気中で接合を行えば、還元と接合を一挙に行うことができると予想される。本研究では、 Cu 塩水溶液に塩基を作用させるといった簡便な方法で CuO ナノ粒子を作製し、その接合特性について調査した。

3. 実験

$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 水溶液に所定の温度 (20°C) で NaOH 水溶液を加えることにより CuO ナノ粒子コロイド溶液を調製した。反応温度、および調製後の熱処理の有無を操作条件とした。接合評価は、粒子の粉体を Cu ディスク間に挿み、水素中で加圧加熱 (1.2 MPa , 400°C) して接合した後、その接合体の破壊に要するせん断力 (せん断強度) を測定することにより行った。

4. 結果と考察

反応温度の影響 図 1 (a) および (b) に各反応温度で作製した粒子の TEM 像を示す (Na/Cu 比:1.7)。反応温度が 20°C のときには、 10 nm 程度の楕円状 CuO 粒子からなる木の葉状凝集体 (長軸径: 800 nm 程度、短軸径: 400 nm 程度) が得られた。反応温度を 80°C とすると、凝集体サイズが小さくなった。図 2(a) および (b) に各反応温度で作製した粒子の XRD パターンを示す。反応温度 20°C のときには $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$ の生成が確認された。反応温度を 80°C に高めると $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$ のピークは消失し、 CuO にピークのみとなった。このことから熱処理が $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$ から H_2O と NO_3 基が脱離して CuO に変化を促進すると推論した。接合強度に関しては、反応温度 20°C のときには 21.0 MPa であったのに対して、 80°C にすると 16.1 MPa に低下した。接合強度低下の一因として凝集体サイズの減小が挙げられる。**熱処理手順の影響** 前節の検討より、熱処理工程が CuO 粒子の高純度化に有効であり、それによって接合特性を向上できると予想した。そこで、粒子コロイド溶液を反応温度 20°C で調製後、 80°C で熱処理するという手順で粒子を作製 (熱処理 CuO ナノ粒子) した。その結果、熱処理により木の葉状凝集体の構造が壊れることなく (図 1(c))、 $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$ が消失する (図 2(c)) ことがわかった。また、接合強度は 30.6 MPa に達した。熱処理前は粒子に $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$ が含まれているため、接合時に $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$ から H_2O と NO_3 基が脱離する際に体積収縮が起こり、接合部位の構造が疎となる。これに対して、

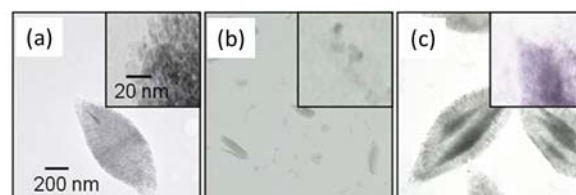


Fig.1 種々の条件で作製した粒子の TEM 像 (Na/Cu 比 1.7). (a) 反応温度: 20°C , (b) 反応温度: 80°C , (c) 熱処理 CuO ナノ粒子

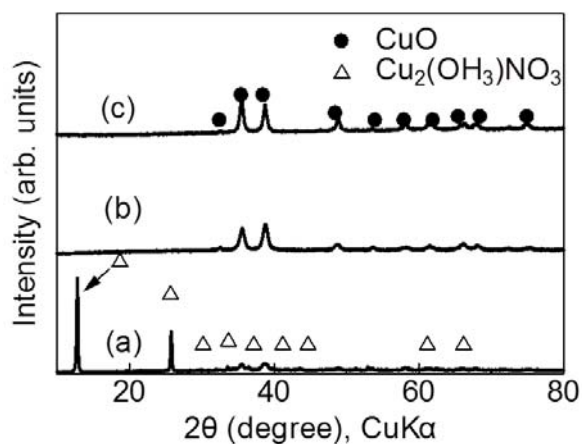


Fig.2 種々の条件で作製した粒子のXRDパターン。
試料は図1と同じである。

熱処理 CuO ナノ粒子では、すでに H₂O と NO₃ 基の脱離が終了しているので、接合時に体積収縮があまり起こらなかったため、接合部位の構造が密になり、接合が強固になったと考えられる。

5. 結論

水溶液中にて CuO ナノ粒子を作製した。この粒子は金属接合特性を良好な発現した。実用化に向けた検討を進めている。

【参考文献】

- 1) T. Maeda, Y. Abe, Y. Kobayashi, Y. Yasuda, T. Morita: Synthesis of Metallic Copper Nanoparticles Using Copper Oxide Nanoparticles as Precursor and Their Metal-Metal Bonding Properties, *Sci. Technol. Weld. Join.*, **17**, 489/494 (2012)
- 2) 前田貴史、小林芳男、守田俊章、保田雄亮: 酸化銅ナノ粒子の作製法とその接合特性, 化学工学会第44回秋季大会予稿集, F117 (2012)

レーザー焼結法によるマイクロ SOFC 用電極膜および電解質膜の作製

Fabrication of Electrode and Electrolyte Films for Micro SOFCs by the Laser Sintering Method

山崎 和彦, 小泉 正志

茨城大学

Kazuhiko YAMASAKI, Masashi KOIZUMI

Department of Mechanical Engineering, Ibaraki University

1. 概要

グリーンテープレーザー焼結 (GTLS) 法によるマイクロ固体酸化物形燃料電池 (SOFC) のための選択的電極・電解質膜形成技術の確立を目指し, 空気極材料のサマリウムストロンチウムコバルタイト (SSC) 粉末や, 燃料極材料のセリア系ニッケルサーメット (NiO-SDC) 粉末から作製したグリーンテープにレーザー照射した. その結果, SSC や NiO-SDC 多孔質焼結膜が形成された. 同様の手法により, バルク SDC 電解質膜の形成にも成功した. しかしながら, 焼結膜と基板内部のクラックの抑制, それぞれの膜の電気特性評価などが今後の課題である.

2. はじめに

固体酸化物形燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cells, SOFCs) は, 動作温度が 800~1000°C と比較的高温となるため, 水素を取り出すための改質プロセスが必要なく, コンバインドサイクルを利用することで高い総合効率を期待できる. しかし, 運転時や停止時に発生する熱応力が原因で, 基板材料の割れや電極膜の剥離等が発生する. そこで近年では, 動作温度が 600~800°C, もしくはそれ以下の中低温動作向け SOFC の材料開発や, セルを小型化したマイクロ SOFC の研究が行われている. マイクロ SOFC は, 低出力ながらも比較的高効率で, 動作中の重力の影響が少なく, 車載用補助電源などへの利用が検討されている¹⁾.

燃料電池は, いわゆる水の電気分解の逆の反応をとることで発電する. 発電には, セルを構成する電極材料と, 電解質, および燃料/空気が接触する三相界面 (Three-phase Boundaries, TPBs) で生じる化学反応が寄与するため, 電極膜は, より発電効率を高められる多孔質電極膜が要求される. 一方の電解質膜は, 燃料ガスや空気を通さない薄く均一で緻密な膜 (バルク膜) が要求される.

我々はこれまでに, グリーンテープレーザー焼結 (Green Tape Laser Sintering, GTLS) 法を用い, 直接セラミックス基板上に, 高温動作 SOFC 用燃料極膜や空気極膜の形成に成功した²⁾. そこで本研究では, 同手法を用いた中低温動作 SOFC 用多孔質電極膜と, バルク電解質膜作製技術の確立を目指す.

3. 実験材料および実験方法

600~800°C の中低温動作 SOFC 用の電解質材料, 空気極材料, 燃料極材料として, それぞれサマリウムドープセリア ($\text{Sm}_{0.2}\text{Ce}_{0.8}\text{Ox}$ (SDC), 平均粒径 $0.32\ \mu\text{m}$), サマリウムストロンチウムコバルタイト ($\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoOx}$ (SSC), 平均粒径 $1.0\ \mu\text{m}$), セリア系ニッケルサーメット ($\text{NiO-Sm}_{0.2}\text{Ce}_{0.8}\text{Ox}$ (NiO-SDC), 平均粒径 $0.99\ \mu\text{m}$) を準備した.

これらの SDC, SSC および NiO-SDC 粉末を, それぞれ高分子バインダ (エチルセルロース), エタノールを主成分とする溶媒と混合し, グリーンペーストを作製した. このとき, グリーンテープ中の電極材料 SDC, SSC, NiO-SDC の割合は, それぞれ約 45 wt% (約 17 vol%), 約 45 wt% (約 33 vol%), 約 44 wt% (約 25 vol%) とした. また, 多孔質電極膜を形成するために SSC グリーンペーストには, 犠牲材料 (造孔剤) として架橋ポリスチレン (PS) 単分散微粒子 (平均粒径 $3.5\ \mu\text{m}$) を約 27 vol% 加え, NiO-SDC グリーンペーストにはグラファイト粉末 (粒径約 $1\sim 10\ \mu\text{m}$) を約 28 vol% 加えた.

次に, それぞれのグリーンペーストを, アルミナ基板 (Al_2O_3 99.5%, サイズ $50\times 50\times t1\ \text{mm}$) 上や, SDC 基板 ($\text{Sm}_{0.2}\text{Ce}_{0.8}\text{Ox}$ (SDC-20), $50\ \text{mm}\times 50\ \text{mm}\times t1\ \text{mm}$) 上に, マスク印刷法 (スパーサの膜厚約 $22\ \mu\text{m}$) を用いて塗布した. ペースト塗布後, 乾燥温度 $160^\circ\text{C}\times 120\ \text{min}$ で仮乾燥を行い, ペースト中の溶媒を除去した. 形成した SDC, SSC, NiO-SDC グリーンテープの膜厚は, それぞれ約 $13\ \mu\text{m}$, 約 $18\ \mu\text{m}$, 約 $14\ \mu\text{m}$ であった.

レーザー焼結は, 仮乾燥後のグリーンテープに Nd:YAG レーザ (波長 $1.06\ \mu\text{m}$, パルス幅 $0.6\sim 2.0\ \text{ms}$, 繰り返し周波数 80 Hz, パルスエネルギー $0.1\sim 0.5\ \text{mJ}$) を, アルゴンガス雰囲気下で集光照射することで行った. ステージ走査速度は $3.3\sim 16.7\ \text{mm/s}$, 集光レンズの焦点距離は 100 mm, レーザスポット径は約 $0.3\ \text{mm}$ である. またレーザー照射時の冷却過程でのクラック発生を抑制を期待し, 基板を約 272°C (実測温度) まで加熱しながらレーザーを照射し, 基板加熱の効果について検証した.

一方, SDC 電解質膜の場合は, より均一で緻密な焼結膜を得るため, 連続発振の Nd:YAG レーザ (波長 $1.06\ \mu\text{m}$, 出力 $47\sim 55\ \text{W}$) を集光照射した. 集光レンズ

の焦点距離は約 285.3 mm, レーザスポット径は約 0.3 mm, ステージの走査速度は 1.0~4.0 mm/s とした.

レーザー照射後の焼結膜表面をエタノールで洗浄した後, レーザ顕微鏡で焼結膜の厚さを, 走査型電子顕微鏡 (SEM) で焼結膜の表面を観察した.

4. 結果および考察

SSC または NiO-SDC グリーンテープを形成した SDC 基板を, 約 92°C, 約 180°C, 約 272°C (いずれも実測温度) に加熱しながらレーザーを照射した. すると約 180°C に加熱することにより, 基板と高い密着性を示す多孔質焼結膜が形成した. 図 1(a) は SSC 焼結膜, 図 1(b) は NiO-SDC 焼結膜表面の SEM 像である. それぞれの焼結膜の気孔面積率は, 約 10% (SSC), 約 5% (NiO-SDC) と, 目標の 25~30% に届かなかったものの, NiO-SDC 膜の場合には, 加熱を行わない場合と比較し

て気孔面積率が 2~3% 増加した. グラファイトの昇華温度は約 3600°C であるが, グリーンテープ中のグラファイトが 600~800°C でガスチャンバー内の残留酸素と反応し, 二酸化炭素になった効果と推測される. さらには基板加熱によって焼結膜と基板との密着性がやや改善する効果も得られている. これはレーザー照射部位とその周囲の温度勾配が緩和され, 電極膜と基板界面や, 基板内部へのクラックの形成が抑制されたためと推測される. しかしながら, いずれの焼結膜においても膜を横断するような大きなクラックの改善にはいたらなかった.

図 2 に, 連続発振レーザーの照射によって得られた SDC 焼結膜の SEM 像を示す. 走査速度 4.0 mm/s, レーザ出力約 55 W の条件で, 膜厚約 11 μ m のバルクの SDC 焼結膜が形成され, パルスレーザーを用いたレーザー焼結で見られるような, パルス痕と次のパルス痕との境界を起点とするクラックが減少した. しかし, 膜の端部には無数のマイクロクラックが見られた. 今後は, 焼結膜と基板内部のクラックの抑制や, それぞれの電極膜, 電解質膜の電気特性評価などが課題となる.

5. 結論

SDC 電解質基板上に, 造孔剤を混合した SSC 空気極や NiO-SDC 燃料極材料のグリーンテープを形成し, レーザを集光照射することで, それぞれ約 10%, 約 5% の気孔面積率を有する多孔質電極膜の形成に成功した. 一方, 連続発振レーザーを照射することで, 膜厚約 11 μ m のバルクの SDC 電解質膜の形成にも成功した.

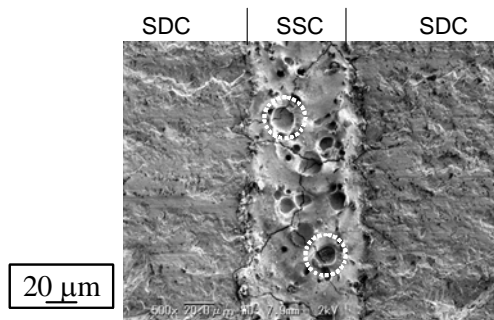
このように GTLS 法を用いることで, 局所的な領域のみで焼結膜形成が可能となることから, 小量生産型のマイクロ SOFC 用セル作製技術のほか, 焼結膜のリペア技術などへの発展性を有している.

謝辞

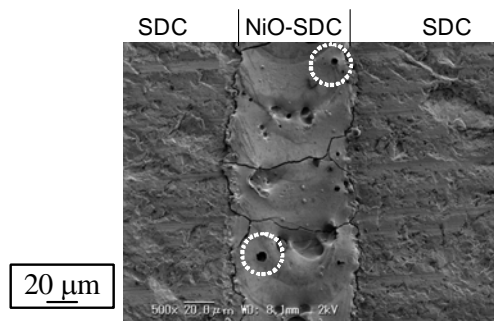
この研究は, JST 研究成果展開事業・研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) 探索タイプの支援の下で実施された.

【参考文献】

- 1) 藤代芳伸, 鈴木俊男, 山口十志明, 濱本孝一, 淡野正信, “マイクロ燃料電池製造技術開発への挑戦—革新的セラミックス集積プロセスを活用するコンパクト SOFC—”, 産総研学術ジャーナル シンセシオロジー, Vol. 4, No. 1 (2011) 36-45.
- 2) Kazuhiko YAMASAKI and Katsuhiko MAEKAWA, “FABRICATION OF ELECTRODE FILMS FOR SOLID OXIDE FUEL CELLS BY THE LASER SINTERING METHOD,” Proceedings of 2010 ISFA 2010 International Symposium on Flexible Automation, Tokyo, Japan July 12-14 (2010) JPS-2555.



(a) SSC 電極膜 (気孔面積率 約 10%)



(b) NiO-SDC 電極膜 (気孔面積率 約 5%)

Fig. 1 SDC 基板上に形成した SSC (造孔剤 PS 微粒子), または NiO-SDC (同グラファイト) 電極膜表面の SEM 像: 基板加熱温度 180°C

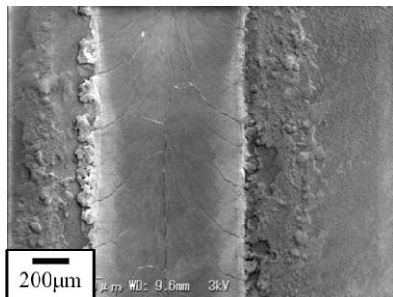


Fig. 2 アルミナ基板上に形成した SDC 電解質膜の SEM 像: 連続発振レーザー照射, 出力約 55 W

ECAP 加工による Al 合金の引張強度

Tensile strength of Al alloy by Equal-Channel Angular Pressing

岩瀬謙二

フロンティア応用原子科学研究センター

Kenji IWASE

Frontier Research Center of Applied Nuclear Science

1.概要

ECAP (Equal Channel Angular Pressing) 法^{1,2}とは材料に強度のせん断ひずみを付与することにより結晶組織を微細化する手法である。金属材料は結晶粒を微細化することで一般に強度や延性などの力学特性が改善される。

材料・力学特性の変化機構を「原子レベルからマクロレベル」で解明することを試みた。

2.はじめに

Al 合金は、鉄鋼材料に比べ軽量で力学特性に優れる事から航空機などに応用されてきた。航空機の開発において、機体構造の軽量化は性能向上及び運用コスト低減のための大きな課題である。1917 年アルミ合金が初めて機体に適用されてから、すでに 90 年が経過しようとしているが、アルミ合金はその軽量化(比重約 2.8g/cm³)を生かして主要構造部材としての地位を不動のものとしてきた。近年、Ti 系や Mg 系の軽量合金や炭素系の複合材料が注目されているが、加工性等を考慮すると Al 合金への期待は大きいと思われる。

3.実験方法

試料は、Al (99.99%) および Al_{0.98}Ni_{0.02} を用いた。単相の Al 固溶体合金を作製するため、状態図で確認しながら固溶量、原子半径、融点を考慮し Ni を選択した。高周波誘導溶解炉を用いて、10×10×50mm 程度の大きさの試料を作製した。溶解後の試験片(非熱処理)を XRD 測定し、単相試料のチェックを行った。加工工程による組織変化を避けるために、溶解時に铸造した試験片をそのまま ECAP 加工に導入した。ECAP は、茨城県工業技術センターの 110t プレス機を使用し、Fig. 1 に示す金型で実施した。加工速度は 0.5mm/s、潤滑剤は BN (boron nitride) で行った。Al、Al-Ni 合金をそれぞれ 5 回プレスした (Fig. 2 参照)。2 回目以降の ECAP は試料を長軸の回りに 180° ずつ回した。組織観察のために、SEM/EBSD 測定を行った。



Fig. 1 ECAP 加工用金型

4.実験結果および考察

Fig. 2 は Al と Al_{1-x}Ni_x の XRD プロファイルである。10%Ni 添加 (原子比) 合金では、多相試料が形成された。2%Ni 添加合金のプロファイルは、Al のプロファイルと同様の形状を示し、単相合金であることが得られた。Ni の添加量を 2% に決定した。

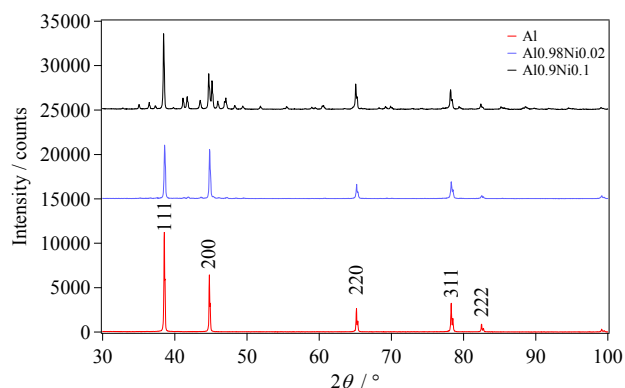


Fig. 2 XRD プロファイル

Fig. 3 には Al の引張試験の結果を示した。引張速度は 0.5mm/min である。ECAP 加工前の引張強さ 58MPa、比例限 20MPa、降伏点 23MPa、破断 0.38strain であった。5 回の ECAP 加工後は、引張強さ 120MPa、比例限 80MPa、降伏点 100MPa、破断 0.19strain に変化した。

ECAP 加工によって、材料の延性が減少し、引張強さが明らかに向上していることが分かる。

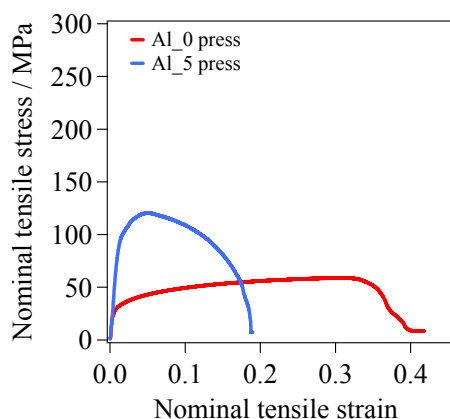


Fig. 3 Al の引張試験結果

Fig. 4 には、 $Al_{0.98}Ni_{0.02}$ の引張試験結果を示した。5 回加工後場合、Al の場合と同様傾向で引張強さが加工前の 156MPa から 240MPa に向上した。比例限、降伏点についても同様の傾向である。破断に関しては、加工前の 0.27strain から加工後の 0.22strain にわずかに減少した。

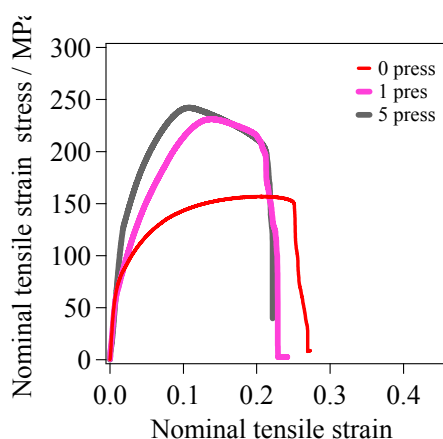


Fig. 4 $Al_{0.98}Ni_{0.02}$ の引張試験結果

Table 1 Al と $Al_{0.98}Ni_{0.02}$ の比較

Press	Al		$Al_{0.98}Ni_{0.02}$	
	公称歪 (破断時)	引張強さ	公称歪 (破断時)	引張強さ
0→5	-50.3%	107%	-17%	54%
0→1			-17%	47%

Table 1 には Al と $Al_{0.98}Ni_{0.02}$ の比較を示した。ECAP の加工回数が増加することによって引張強度も増加していることが分かる。Ni 添加によって、破断時の収縮が抑制されることが得られた。

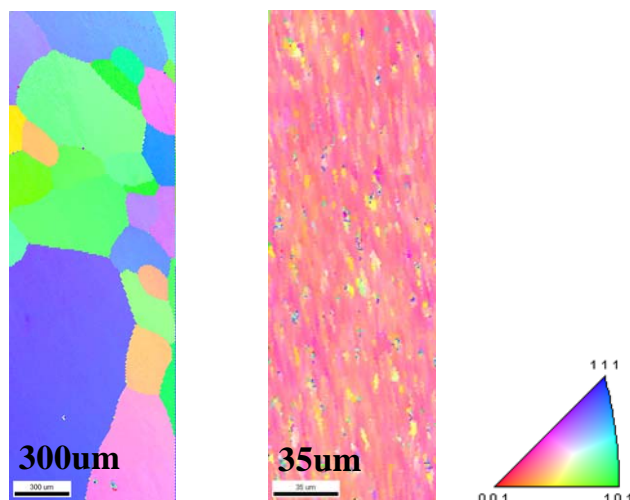


Fig. 5 加工前の Al (左) と $Al_{0.98}Ni_{0.02}$ (右) の EBSD 測定

Fig. 5 は、ECAP 加工前の Al と $Al_{0.98}Ni_{0.02}$ の EBSD 測定を示した。Al の結晶粒サイズが約 300~1200 μm に対し、Al-Ni 合金は 30 μm 程度である。Ni 添加によって組織が既に微細化されていることが分かる。加工方向に対する結晶の向きも明らかに異なっている。

5. 結論

Al および Al-Ni 合金共に ECAP 加工によって引張試験特性が明らかに変化することが得られた。Ni を添加することによって、公称歪（破断時）の減少を抑え、引張強さが 50% 以上増加することが明らかとなった。特に、1 Press と 5 Press 時の公称歪（破断時）が変化していないにもかかわらず引張強さは約 7% 向上している。更に加工数を増やすことによって、-17% の公称歪を維持したまま、引張強さのみ増加することが期待される。EBSD に関して、ECAP 加工前の試料に対してのみ測定を行ったが、Ni 添加による組織の違いが明確に観察された。ECAP 後の試料に関して、現在測定中であり解析結果を加工前後で比較することによって、強度特性と結晶粒サイズ・結晶方位変化との相関が明らかになることが期待される。

5. おわりに

塑性加工と組織変化・強度特性に関する研究は従来から行われてきたが、測定手法の発展により加工工程の可視化が可能になりつつある。具体的には、引張試験を行いながら EBSD 測定をすることによって、応力-ひずみ曲線に沿った結晶粒サイズ・結晶方位の変化を捉える事を計画している。中性子線は物

質に対する透過性が極めて高いため、中性子透過法（Bragg-edge 法）を用いることによって試験片を切断することなく非破壊で組織・結晶方位に関する情報を抽出することが可能となった³。ECAP 加工前、加工途中、加工後の試料を中性子透過法で測定することによってバルク試料全体の平均値を求めることを計画している。近年の測定手法の発展を利用して、塑性加工を見つめ直す良い機会だと考えている。

【参考文献】

- 1) 堀田善治: ECAP 加工による微細粒組織の形成, 溶接学会誌, 74-2, 88/91 (2005)
- 2) 橋本敏: ナノマテリアルの最前線-ECAP 法とは-, Koyo Engineering Journal, 167, 2/10 (2005)
- 3) H. Sato, T. Kamiyama, Y. Kiyanagi: A Rietveld-type analysis code for pulsed neutron Bragg-edge transmission imaging and quantitative evaluation of texture and microstructure of a welded α -Iron plate, Mater. Trans., 52-6, 1294/1302 (2011)

プロジェクト業績

研究論文等発表一覧

【原著論文】

- 1) Y. Kobayashi, T. Nozawa, T. Nakagawa, K. Gonda, M. Takeda, N. Ohuchi, Fabrication and Fluorescence Properties of Multilayered Core-Shell Particles Composed of Quantum Dot, Gadolinium Compound and Silica, *Journal of Materials Science*, **47**, 1852-1859, (2012).
- 2) Y. Kobayashi, T. Shirochi, Y. Yasuda, T. Morita, Metal-Metal Bonding Process Using Metallic Copper Nanoparticles Prepared in Aqueous Solution, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, **33**, 50-55, (2012).
- 3) Y. Kobayashi, H. Inose, T. Nakagawa, K. Gonda, M. Takeda, N. Ohuchi, A. Kasuya, Synthesis of Au-Silica Core-Shell Particles by a Sol-Gel Process, *Surface Engineering*, **28**, 129-133, (2012).
- 4) T. Maeda, Y. Abe, Y. Kobayashi, Y. Yasuda, T. Morita, Synthesis of Metallic Copper Nanoparticles Using Copper Oxide Nanoparticles as Precursor and Their Metal-Metal Bonding Properties, *Science and Technology of Welding and Joining*, **17**, 489-494, (2012).
- 5) Y. Kobayashi, M. Minato, K. Ihara, T. Nakagawa, K. Gonda, M. Takeda, N. Ohuchi, A. Kasuya, Synthesis of High Concentration Colloid Solution of Silica-Coated AgI Nanoparticles, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **12**, 6741-6745, (2012).
- 6) D. Nagao, H. Saito, H. Ishii, Y. Kobayashi, M. Konno, Luminescence Enhancement of Eu-doped Amorphous Barium Titanate Films with Crystalline BaTiO₃ Nanoparticle Incorporation, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **409**, 94-97, (2012).
- 7) T. Maeda, Y. Kobayashi, Y. Yasuda, T. Morita, Metal-Metal Bonding Process Using Copper Oxide Nanoparticles, *Science and Technology of Welding and Joining*, **17**, 556-563, (2012).
- 8) Y. Kobayashi, T. Gunji, Low-Temperature Synthesis of Crystalline Barium Titanate Nanoparticles by Reaction of Barium Hydroxide with Titanium Alkoxide, *Materials Focus*, **1**, 93-95 (2012).
- 9) Y. Kobayashi, T. Ayame, T. Nakagawa, K. Gonda, N. Ohuchi, X-ray Imaging Technique Using Colloid Solution of AgI/Silica/Poly(ethylene glycol) Nanoparticles, *Materials Focus*, **1**, 127-130, (2012).
- 10) M. Eguchi, K. Baba, T. Onuma, K. Yoshida, K. Iwasawa, Y. Kobayashi, K. Uno, K. Komatsu, M. Kobori, M. Nishitani-Gamo, T. Ando, Influence of Ionomer/Carbon Ratio on the Performance of a Polymer Electrolyte Fuel Cell, *Polymers*, **4**, 1645-1656, (2012).
- 11) Y. Sakurai, H. Tada, K. Gonda, M. Takeda, L. Cong, M. Amari, Y. Kobayashi, M. Watanabe, T. Ishida, N. Ohuchi, Development of Silica-Coated Silver Iodide Nanoparticles and Their Biodistribution, *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, **228**, 317-323, (2012).
- 12) Yasushi SASAJIMA, Takatoshi SATOH, Kunihiro TAMAHASHI and Jin ONUKI, Void Generation Mechanism in Cu Filling Process by Electroplating for Ultra Fine Wire Trenches, *Material Trans.*, **53**, 1507-1514, (2012).
- 13) Y. H. Su, Y. Tomota, S. Harjo and Y. Adachi, Deformation induced Grain Coalescence in an Electrodeposited Pure Iron studied by in-situ Neutron Diffraction and EBSD, *Acta mater.*, **60**, 3393-3401, (2012).
- 14) K. H. Kwon, J. S. Jeong, J. K. Choi, Y. M. Koo, Y. Tomota and N. J. Kim, In-Situ Neutron Diffraction Analysis on Deformation Behavior of Duplex High Mn Steel Containing Austenite and ϵ -Martensite, *Met. Mater. Int.*, **18**, 751-755 (2012).
- 15) T. Nakamoto, K. Tsuchiya, T. Ogitsu, A. Yamamoto, A. Kikuchi, T. Takeuchi, S. Harjo, T. Ito and Y. Tomota, Effect of Thermal Cycle on the Lattice Structure in RHQ-Nb₃Al Superconducting Wire ASC 2012 Special Issue, in print.
- 16) P. G. Xu, Y. Tomota, S. C. Vogel, T. Suzuki, M. Yonemura and T. Kamiyama, Transformation Strain and Texture Evolution during Diffusional Phase Transformation of Low Alloy Steels Studied by Neutron Diffraction, *Rev. Adv.*

Mater. Sci. No 1-4, Vol.33.

- 17) T. Tomida, M. Wakita, M. Yasuyama, S. Sugaya, M. Yonemura, Y. Tomota, S. C. Vogel and S. Harjo, Memory Effect of Transformation Textures in Steel and its Prediction by the Double K-S Relation, Acta mater., accepted for publication.
- 18) T. Kaneko, T. Nagano, T. Ito, M. Yasui, T. Ozawa, M. Soga, Y. Motoizumi, H. Funakubo, M. Yoshimoto, Effect of point defects on lattice constant in MgO thin film deposited on silicon (001) substrate, Eur. Phys. J. Appl. Phys., **58**, 10302-10306, (2012).
- 19) Y. Kiyanagi, H. Sato, K. Iwase, T. Kamiyama, Recent progress of pulsed neutron imaging in Japan, Physics Procedia, **26**, 219-222, (2012).
- 20) H. Sato, T. Shinohara, R. Kiyanagi, K. Aizawa, M. Ooi, M. Harada, K. Oikawa, F. Maekawa, K. Iwase, T. Kamiyama and Y. Kiyanagi, Upgrade of Bragg edge analysis techniques of the RITS code of crystalline structural information imaging, Physics Procedia, in press.
- 21) 伊藤吾朗, アルミニウム中の水素, 軽金属, **63**, 79-90, (2013).
- 22) 松田裕, 伊藤吾朗, 本橋嘉信, 7075アルミニウム合金の組織および硬さに及ぼすマルチパス摩擦攪拌プロセス施工条件の影響, 軽金属, **63**, 2-7(2013).
- 23) 安藤誠, 鈴木義和, 伊藤吾朗, Al-Mn 系合金のしきい応力に及ぼすマグネシウム添加の影響, 軽金属, **62**, 300-305, (2012).
- 24) 車田亮, 小吹隆之, 伊藤吾朗, 渡邊英雄, 松尾明, 銅とタングステンの接合界面強度に及ぼすイオン照射後熱処理の影響, 銅と銅合金, **51**, 153-157, (2012 年).
- 25) 西野創一郎, 大屋邦雄, 軽く安くする材料・加工技術 第 37 回 鋼板をプレスして板の端を厚くする日経 Automotive Technology, 94-101, (2012-11).

【分担執筆による単行書】

- 1) 西野創一郎, 遮音・吸音材料の組み合わせ・設計と評価 事例集, (第 4 章 第 2 節 吸音材料の内部構造の可視化), 技術情報協会, (2012)
- 2) 西野創一郎, マグネシウム合金の先端的基盤技術とその応用展開, (第 5 章 第 5 節 プレス加工技術), シーエムシー出版, (2012)

【国際会議発表】

- 1) Yutaka Matsuda, Goroh Itoh and Yoshinobu Motohashi, Microstructure Control and Mechanical Properties of Multipass Friction Stir Processed High Strength Aluminum Alloy, Materials Science Forum, **735**, 316-321, (2013)
- 2) Toshiaki Manaka, Goroh Itoh, Nguyen The Loc, Yoshinobu Motohashi and Takaaki Sakuma, Microstructural Control of a Zn-22Al Alloy by Rolling Process, Materials Science Forum, **735**, 289-294, (2013)
- 3) Makoto Ando, Yoshikazu Suzuki, Goroh Itoh, Threshold stress of A3003 alloy, Proceedings of the 13th International Conference on Aluminum Alloys (ICAA13), Edited by: Hasso Weiland, Anthony D. Rollett, William A. Cassada, TMS(The Minerals, Metals & Materials Society), (547-552), 2012

【学会発表等(国内、国際)】

- 1) 守田俊章, 保田雄亮, 小林芳男, 酸化銅系材料を用いた高温環境対応鉛及び貴金属フリー接合法, 第 26 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 2012/3
- 2) Y. Kobayashi, H. Inose, T. Nakagawa, K. Gonda, N. Ohuchi, Fabrication of Multilayered Au/Silica/Gadolinium Compound/Silica Core-Shell Particles, New and Advanced Materials International Congress (NAMIC2012), 2012

- 3) Y. Kobayashi, T. Shirochi, Y. Yasuda, T. Morita, Metal-Metal Bonding Process Using Silver/Copper Nanoparticles, The 20th International Conference on Composites Engineering or Nano Engineering (ICCE-20), 2012
- 4) 前田貴史, 小林芳男, 守田俊章, 保田雄亮, 酸化銅ナノ粒子の作製法とその接合特性, 化学工学会第 44 回秋季大会, 2012/9
- 5) 安部祐樹, 前田貴史, 小林芳男, 守田俊章, 保田雄亮, 接合材料用金属 Cu ナノ粒子の作製と接合特性, 化学工学会第 44 回秋季大会, 2012/9
- 6) 松戸寛武, 野沢卓也, 小林芳男, 中川智彦, 権田幸祐, 大内憲明, 接合材料用金属 Cu ナノ粒子の作製と接合特性, 化学工学会第 44 回秋季大会, 2012/9
- 7) 長須遼子, 猪瀬弘光, 小林芳男, 中川智彦, 権田幸祐, 大内憲明, 接合材料用金属 Cu ナノ粒子の作製と接合特性, 化学工学会第 44 回秋季大会, 2012/9
- 8) T. Maeda, Y. Kobayashi, Y. Yasuda, T. Morita, Metal-Metal Bonding Process Using Ag₂O/CuO Mixed Particles, 2012 International Conference on Nanostructures, Nanomaterials and Nanoengineering (ICNN 2012), 2012
- 9) Y. Ishi, Y. Kobayashi, Deposition of Gold Nanoparticles on Glass Plates by Electroless Metal Plating Technique and Their Optical Absorption Properties, The 8th International Student Conference at Ibaraki University (ISCIU8), (2012)
- 10) H. Matsudo, Y. Kobayashi, Development of Methods for Producing Silica-Coated Luminescent Semiconductor Nanoparticles and Their Fluorescence Imaging Ability, The 8th International Student Conference at Ibaraki University (ISCIU8), 2012/11/10
- 11) 山根英之, 東美和子, 小林芳男, GROMACS による水溶液中のシクロデキストリンの分子動力学計算, 第 23 回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会, 2012/11
- 12) 濱理央, 井上和浩, 小林芳男, 守田俊章, 保田雄亮, 低温結晶化アルミナ薄膜の作製法の開発, 第 23 回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会, 2012/11
- 13) 中沢広明, 前田貴史, 小林芳男, 守田俊章, 保田雄亮, 金属銅ナノ粒子の合成と接合への応用, 第 23 回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会, 2012/11
- 14) 濱理央, 井上和浩, 小林芳男, 保田雄亮, 守田俊章, 低温結晶性アルミナ, 第 3 回福島地区 CE セミナー, 2012/12
- 15) 松戸寛武, 小林芳男, 中川智彦, 久保田洋介, 権田幸祐, 大内憲明, 蛍光造影用量子ドット/シリカコアシェル型複合粒子, 第 3 回福島地区 CE セミナー, 2012/12
- 16) 山根英之, 東美和子, 小林芳男, シクロデキストリン水溶液の分子動力学シミュレーション, 第 3 回福島地区 CE セミナー, 2012/12
- 17) 前田貴史, 小林芳男, 保田雄亮, 守田俊章, 金属ナノ粒子 ~接合材への利用~, 第3回福島地区CEセミナー, 2012/12. Y. Sasajima, T. Osada, N. Ajima, N. Ishikawa, A. Iwase, Computer Simulation of High-Energy-Beam Irradiation of Ceria and Uranium Dioxide, IUMRS-ICEM 2012 (IUMRS International Conference on Electronic Materials, 2012 /9/23 - 28
- 18) 江口大貴, 圓谷哲紀, 木村勇貴, 篠嶋妥, 永野隆敏, 大貫仁, 超微細配線中の Cu 粒成長に及ぼす不純物元素の影響, 日本金属学会 2012 秋期大会
- 19) 圓谷哲紀, 木村勇貴, 永野隆敏, 篠嶋妥, 大貫仁, 薄膜の粒成長に及ぼす基板の影響, 日本金属学会 2012 秋期大会
- 20) 安島直紀, 長田卓也, 篠嶋妥, 石川法人, 岩瀬彰宏, 単結晶への高速粒子線照射の分子動力学シミュレーション, 日本金属学会 2012 秋期大会
- 21) 長田卓也, 安島直紀, 篠嶋妥, 石川法人, 岩瀬彰宏, Gd₂O₃ 添加 CeO₂ への高速粒子線照射に関する分子動力学シミュレーション, 日本金属学会 2012 秋期大会

- 22) 村上純也, 長田卓也, 篠嶋妥, アモルファス Si/Ge 積層薄膜における析出過程の計算機実験, 日本金属学会 2012 秋期大会
- 23) Y. Sasajima, T. Osada, N. Ishikawa, A. Iwase, Computer simulation of high-energy-ion irradiation of uranium dioxide, SHIM2012(Eighth International Symposium on Swift Heavy Ions in Matter), 2012/10/ 24-27
- 24) Y. Sasajima, N. Ajima, T. Osada, N. Ishikawa, A. Iwase, Computer simulation of high-energy-beam of ceria, SHIM2012(Eighth International Symposium on Swift Heavy Ions in Matter), 2012/10/ 24-27
- 25) J. Nakano, T. Sato, C. Kato, Y. Kaji, M. Yamamoto, T. Tsukad, Y. Iwata and Y. Tomota, Stress Corrosion Cracking Growth Tests of Small Compact Tension Specimens with Different Pre-cracked Length in High Temperature Water Containing Hydrogen Peroxide, ICG-EAC(International Cooperative Group on Environmentally Assisted Cracking), 2012/5/14
- 26) Yuhua Su, Yo Tomota and Stefanus Harjo, Microstructure and texture changes during annealing in an Ultrafine-grained Electrodeposited Pure Iron Sheet International Workshop on Bulk Nanostructured Metals, 2012/6/27
- 27) Wu Gong, Yo Tomota, Stefanus Harjo, Kazuya Aizawa, Anna Maria Paradowska, In-situ neutron diffraction study of bainite transformation after low-temperature ausforming for nanobainite steel International Workshop on Bulk Nanostructured Metals, 2012/6/27
- 28) H. Luo and Y. Tomota, Heterogeneity in elasto-plastic deformation behavior in Fe-Si alloys studied by photon, neutron and synchrotron X-ray diffraction, RATEC 2012(Recent advance in analytical techniques for steelmaking industry), 2012/11/29
- 29) S. Daikuhara, N. Sato, M. Ojima, S. Harjo, Y. Adachi and Y. Tomota, 3D stress and microstructure evaluation in Inconel/low alloy steel welded component using a serial sectioning method with photon, neutron and X-ray diffraction., RATEC 2012(Recent advance in analytical techniques for steelmaking industry), 2012/11/29
- 30) H. Kamada, Y. Tomota, S. Harjo, G. Wu, J. Kelleher and A. Paradowska, In situ characterization of tempering behavior for nitrogen or high carbon martensite stainless steels by high and low angle neutron scattering, RATEC 2012(Recent advance in analytical techniques for steelmaking industry), 2012/11/29
- 31) Y. Tomota, Time evolution of phase and elastic/plastic deformation studied by in situ neutron scattering, NIMS Conference 2012: Structural Materials Science and Strategy for Sustainability -- Back to the Basics --, [Invited lecture], 2012/6/7
- 32) Y. Tomota and W. Gong, In situ neutron scattering during nano-bainite transformation, Materials Science & Technology 2012, [Invited lecture], 2012/10/8
- 33) S. Daikuhara, S. Nagayama, Y. Adachi and Y. Tomota, Microstructure, residual stress, and SCC fracture in an Inconel/low-alloyed steel welded part, 2nd ISAME-2012, [keynote lecture], 2012/11/6
- 34) Y. Tomota, Phase transformation in steels studied using in situ neutron scattering, ESS Science Symposium "Physical simulations of processes in engineering materials with in-situ neutron diffraction/imaging", [Invited lecture], 2012/11/15
- 35) Y-H. Su, S. Harjo and Y. Tomota, In-situ observations of microstructural evolution during annealing or deformation in an electro-deposited fine-grained iron, Visual-JW2012 (The International Symposium on Visualization in Joining & Welding Science through Advanced Measurements and Simulation, and 2nd International Workshop "In situ Studies with Photons, Neutrons and Electron Scattering", [Invited lecture], 2012/11/29
- 36) 友田陽, 鉄鋼材料における組織制御技術と特性予測技術の進歩, 第 209 回西山記念技術講座「革新的な鉄鋼材料を生み出す組織制御技術とメタラジーの進歩」, [基調講演], 2012/6/1
- 37) 友田陽, 鉄鋼材料における組織制御技術と特性予測技術の進歩, 第 210 回西山記念技術講座「革新的な鉄鋼

材料を生み出す組織制御技術とメタラジの進歩」, [基調講演], 2012/6/8

- 38) 友田陽, ものづくり企業の中性子活用と産学連携, 平成 24 年度茨城県中性子利用連絡協議会総会, [招待講演], 2012/7/17
- 39) 友田陽, 革新的鉄鋼材料の開発, 平成 23 年度中性子利用促進協議会成果報告会および平成 24 年度総会, [招待講演], 2012/7/26
- 40) 友田陽, 量子ビームを用いた鉄鋼研究の展望, 第 38 回鉄鋼工学セミナー, [特別講演], 2012/7/23
- 41) 友田陽, 量子ビームナノ解析を用いた鉄鋼の組織と特性の研究, 構造材料懇談会, [基調講演], 2012/11/2
- 42) 友田陽, パーライト鋼の引張変形挙動に関する理解の現状, 鉄鋼協会・金属学会 中国四国支部材質制御研究会--鉄鋼材料に見られる階層組織と力学特性--, [招待講演], 2012/11/22
- 43) 友田陽, 量子ビーム解析の塑性加工への利用--軸肥大加工材を中心に--, 日本塑性加工学会東関東支部第 37 回技術懇談会, [招待講演], 2013/2/5
- 44) 菅原篤史, 羅紅岩, 友田陽, W. Gong, S. Harjo, Fe-Si 合金の変形挙動におよぼす結晶粒径の影響, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 45) 矢田部樹, 鎌田晴輝, 築山訓明, 友田陽, 窒素吸収処理による鉄鋼材料の表面改質法, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 46) 福田晃二郎, 大工原森, 友田陽, W. Gong, S. Harjo, W. C. Woo, 生田文昭, 軸肥大加工材のマイクロ組織と残留応力分布, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 47) 渋井洋平, 高橋治, 榛葉勝也, 友田陽, 2 相鋼の低温脆性破壊における第二相粒子の影響, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 48) 大和田祐輝, 岩田裕介, 大工原森, 内藤大幹, 窪田哲, 友田陽, 足立吉隆, 時間依存型破壊経路の 3 次元形態, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 49) 大貫貴久, W. Gong, S. Harjo, 友田陽, 引張変形中その場中性子回折によるパーライト鋼におけるヘテロ弾塑性変形の定量的解析, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 50) 大貫貴久, 友田陽, 多結晶体における弾塑性変形の粒間および粒内不均一性のモデリング, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 51) 羅紅岩, 友田陽, 菅原篤史, ステファヌス ハルヨ, ゴン ウー, Fe-Si 合金の変形挙動に及ぼす Si 添加と粒径の影響, 日本鉄鋼協会第 164 回秋季講演大会, 2012/9/17
- 52) 鎌田晴輝, 友田陽, ステファヌス ハルヨ, ゴン ウー, J. Keller, A. Paradowska, その場中性子回折を用いた窒素および炭素マルテンサイトの焼き戻し挙動の考察, 日本鉄鋼協会第 164 回秋季講演大会, 2012/9/17
- 53) 大工原森, 岩田裕介, 長山瞬, 小島真由美, 足立吉隆, 友田陽, インコネル/低合金鋼溶接部における残留応力分布の測定, 日本鉄鋼協会第 164 回秋季講演大会, 2012/9/17
- 54) 大貫貴久, 友田陽, 弾塑性異方性を考慮した多結晶金属の不均一変形挙動の考察, 日本鉄鋼協会第 164 回秋季講演大会, 2012/9/17
- 55) 高橋一貴, 友田陽, その場中性子回折を用いた加工熱処理によるフェライト変態促進の考察, 日本鉄鋼協会第 164 回秋季講演大会, 2012/9/17
- 56) 築山訓明, 土山聡宏, 高木節雄, 友田陽, 浸室処理を施した低炭素鋼の組織に及ぼす冷却速度の影響, 日本鉄鋼協会第 164 回秋季講演大会, 2012/9/18
- 57) 友田陽, 大貫貴久, 多結晶金属の弾塑性変形における粒内、粒間、構成相間の不均一変形と内部応力分布, 計算工学による組織と特性予測技術 II 研究会・鉄鋼ゲノムの解明フォーラム共催「組織・特性解析技術の進展と今後の展開」, 2012/9/18
- 58) ゴン ウー, 友田 陽, 岩瀬謙二, 星川晃範, 石垣 徹, ハルヨ ステファヌス, 相澤一也, 鉄鋼の低温ベイナイト変態における中性子回折と熱膨張の同時測定, MLF シンポジウム・平成 23 年度茨城県成果報告会 2012/10/11

- 59) 菅野峻介, 長谷川智裕, 西野創一郎, 大屋邦雄, 菅野晃慈, 小峰保信, 金属材料のフォームおよびドロー成形における加工荷重特性, 自動車技術会, 2012 年春季大会学術講演, 2012/5
- 60) 藤巻皓平, 宮田達也, 西野創一郎, 大屋邦雄, 小峰保信, 大友秀郎, 鋼板と非鉄金属板の端部増肉, 自動車技術会, 2012 年春季大会学術講演, 2012/5
- 61) 小林正憲, 飛田智美, 鈴木優大, 西野創一郎, 大屋邦雄, 小峰保信, 砂原亮介, プレス金型用コーティング皮膜の摺動損傷と動摩擦特性, 自動車技術会, 2012 年春季大会学術講演, 2012/5
- 62) 長谷川智裕, 西野創一郎, 市川忠明, 大屋邦雄, 鉄鋼プレス製品における加工ひずみ計測および強度評価, 自動車技術会, 2012 年春季大会学術講演, 2012/5
- 63) 半谷まゆみ, 佐藤慶明, 西野創一郎, 大屋邦雄, 緒方龍二, 渡辺一史, 新田清光, 異種金属スポット溶接の接合形態に関する考察, 自動車技術会, 2012 年春季大会学術講演, 2012/5
- 64) 小泉正志, 前川克廣, 山崎和彦, レーザ焼結法によるマイクロ SOFC セルの作製, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 65) 山崎和彦, 横瀬貴行, 船橋護, 前川克廣, 短パルスレーザーによるステンレス基板へのマイクロプリズム加工:加工精度の向上, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 66) Yutaka Matsuda, Goroh Itoh and Yoshinobu Motohashi, Microstructure Control and Mechanical Properties of Multipass Friction Stir Processed High Strength Aluminum Alloy, the 11th International Conference on Superplasticity of Advanced Materials (ICSAM 2012), [Invited Lecture], 2012/7/5
- 67) Toshiaki Manaka, Goroh Itoh, Nguyen The Loc, Yoshinobu Motohashi and Takaaki Sakuma, Microstructural Control of a Zn-22Al Alloy by Rolling Process, the 11th International Conference on Superplasticity of Advanced Materials (ICSAM 2012), 2012/7/4
- 68) Makoto Ando, Yoshikazu Suzuki, Goroh Itoh, Threshold stress of A3003 alloy, the 13th International Conference on Aluminum Alloys (ICAA13), 2012/6/4
- 69) 伊藤吾朗, FSW 接合について, 日本塑性加工学会 接合・複合分科会 第3回 技術者育成セミナー〜すぐ役立つ接合・複合技術〜「摩擦攪拌(FSW)・圧接合技術について」, [依頼講演], 2012/7/24
- 70) 伊藤吾朗, 非鉄金属の熱処理と金属組織, 平成24年度社会公開セミナー(実践産業技術特論), [依頼講演], 2012/12/12
- 71) 伊藤吾朗, 鉄鋼・軽金属材料、複合材料の組織・物性とその応用, 関東経済産業局平成 24 年度地域企業立地促進等事業費補助金事業「学理に基づく首都圏北部地域活性化人材養成等事業:【講座1】学理と実践に基づく素形材成形加工の高度技術者養成講座」, [依頼講演], 2012/9/7
- 72) 伊藤吾朗, 材料と塑性加工(概論、金属材料・塑性加工の基礎, 若手技術者向けトコトコやさしい塑性加工講座, [依頼講演], 2012/9/12
- 73) 伊藤吾朗, 金属材料の組織制御と塑性加工性に関する基礎理論——各材料の特徴、塑性加工と焼きなましに伴う組織変化, 関東経済産業局平成 24 年度地域企業立地促進等事業費補助金事業「学理に基づく首都圏北部地域活性化人材養成等事業:【講座6】学理に基づく高機能材料と塑性加工の高度技術者養成講座」, [依頼講演], 2012/10/18
- 74) 伊藤吾朗, 金属材料の組織制御と塑性加工性に関する基礎理論——各材料の特徴、塑性加工と焼きなましに伴う組織変化, 関東経済産業局平成 24 年度地域企業立地促進等事業費補助金事業「学理に基づく首都圏北部地域活性化人材養成等事業:【講座6】学理に基づく高機能材料と塑性加工の高度技術者養成講座」, [依頼講演], 2012/10/25
- 75) 早瀬弘章, 寺田将也, 路志勇, 伊藤吾朗, Si 過剰の 6000 系アルミニウム合金における耐水素脆化特性評価, 軽金属学会第 123 回秋期大会, 2012/11/10
- 76) 中野雅彦, 伊藤吾朗, 応力負荷しながら電解チャージしたアルミニウム中の水素挙動, 軽金属学会第 123 回秋期

大会, 2012/11/10

- 77) 小山僚人, 齋藤勝大, 伊藤吾朗, 引張変形を与えた Al-Mg 合金中の水素挙動の水素マイクロプリント法による解析, 軽金属学会第 123 回秋期大会, 2012/11/10
- 78) 伊偉, 山田隆一, 伊藤吾朗, Zr を含む導電用アルミニウム線材の特性, 軽金属学会第 123 回秋期大会, 2012/11/10
- 79) 安藤誠, 鈴木義和, 新倉昭男, 伊藤吾朗, Al-0.3%Mg-0.5%Si 合金のクリープ特性に及ぼす時効の影響, 軽金属学会第 123 回秋期大会, 2012/11/11
- 80) 小山僚人, 齋藤勝大, 伊藤吾朗, 水素マイクロプリント法による引張変形を与えた Al-Mg 合金中の内在水素の検出, 軽金属学会第 122 回春期大会, 2012/5/20
- 81) 渡壁尚仁, 中野雅彦, 伊藤吾朗, 波多野雄治, アルミニウム中に侵入する水素の挙動に及ぼす金属間化合物の影響, 軽金属学会第 122 回春期大会, 2012/5/20
- 82) 松田裕, 伊藤吾朗, 本橋嘉信, 7075 アルミニウム合金の組織と機械的特性に及ぼすマルチパス FSP 施工条件の影響, 軽金属学会第 122 回春期大会, 2012/5/20
- 83) 伊偉, 伊藤吾朗, 黒田洋光, 導電用アルミニウム線材の焼鈍軟化に及ぼす Zr 添加の影響, 軽金属学会第 122 回春期大会, 2012/5/19
- 84) 安藤誠, 鈴木義和, 新倉昭男, 伊藤吾朗, Al-Mn 合金のクリープ挙動に及ぼす Fe 添加の影響, 軽金属学会第 122 回春期大会, 2012/5/20
- 85) 伊藤勉, 本橋嘉信, 伊藤吾朗, 平野聡, 7075 アルミニウム合金の摩擦攪拌接合継手の室温引張特性と接合適正条件範囲の対応, 軽金属学会第 122 回春期大会, 2012/5/20
- 86) 中野雅彦, 伊藤吾朗, アルミニウムにおける水素の挙動に及ぼす応力負荷の影響, 軽金属学会第 122 回春期大会, 2012/5/19
- 87) 早瀬弘章, 伊藤吾朗, 伊藤伸英, 路志勇, Si 過剰の 6000 系アルミニウム合金の耐水素脆化特性評価, 軽金属学会第 122 回春期大会, 2012/5/19
- 88) Takahito Watakabe, Masahiko Nakano, Goroh Itoh, The behavior of hydrogen in aluminum alloy subjected to different heat-treatments, the 8th International Student Conference at Ibaraki University (ISCIU8), 2012/11/10
- 89) Toshiaki Manaka, Goroh Itoh, Yoshinobu Motohashi, Takaaki Sakuma, Grain refinement of a Zn-Al eutectoid alloy by hot-rolling, the 8th International Student Conference at Ibaraki University (ISCIU8), 2012/11/10
- 90) Ryoto Koyama, Katsuhiko Saitoh, Goroh Itoh, Effect of surface relief on behavior of hydrogen in a tensile-deformed Al-9%Mg alloy, the 8th International Student Conference at Ibaraki University (ISCIU8), 2012/11/10
- 91) Masahiko Nakano, Goroh Itoh, Visualization of hydrogen in electrolytically charged aluminum alloys under stress loading, the 8th International Student Conference at Ibaraki University (ISCIU8), 2012/11/10
- 92) Hiroaki Hayase, Goroh Itoh, Zhiyong Lu, Masaya TERADA, Assessment of the resistance to hydrogen embrittlement of some 6000 series aluminum alloys with excess Si by internal pressure type and moist air, the 8th International Student Conference at Ibaraki University (ISCIU8), 2012/11/10
- 93) Katsuhiko Saitoh, Goroh Itoh, Nobuhide Itoh, Behavior analysis of diffusible hydrogen in a stainless steel with the use of hydrogen microprint technique, the 8th International Student Conference at Ibaraki University (ISCIU8), 2012/11/10
- 94) Nobuhiro Miyata, Goroh Itoh, Visualization of hydrogen in electrolytically charged SUS304 steel, the 8th International Student Conference at Ibaraki University (ISCIU8), 2012/11/10
- 95) Genya Sekimura, Goroh Itoh, Visualization of hydrogen in electrolytically charged stainless steels under stress loading, the 8th International Student Conference at Ibaraki University (ISCIU8), 2012/11/10
- 96) Yuya Masuda, Goroh Itoh, Behavior analysis of hydrogen in an SUS430J1L steel by hydrogen microprint technique,

- the 8th International Student Conference at Ibaraki University (ISCIU8), 2012/11/10
- 97) Shuhei Iijima, Goroh Itoh, Shingo Mukae, Nobuhide Itoh, Degradation of molybdenum electrodes for fusing joining affected their microstructure, the 8th International Student Conference at Ibaraki University (ISCIU8), 2012/11/10
- 98) 齋藤勝大, 伊藤吾朗, 水素マイクロプリント法を用いたステンレス鋼中の水素挙動解析, 日本鉄鋼協会第 164 回秋季講演大会, 2012/9/18
- 99) 関村玄弥, 伊藤吾朗, 応力負荷時におけるステンレス鋼中の水素挙動の解明, 日本鉄鋼協会第 164 回秋季講演大会, 2012/9/18
- 100) 増田勇也, 伊藤吾朗, SUS430J1L 鋼中の水素の挙動, 日本鉄鋼協会第 164 回秋季講演大会, 2012/9/18
- 101) 宮田修宏, 伊藤吾朗, 電解チャージした SUS304 鋼中の水素の挙動, 日本鉄鋼協会第 164 回秋季講演大会, 2012/9/18
- 102) 関村玄弥, 伊藤吾朗, 応力負荷したステンレス鋼中の水素の挙動, 日本鉄鋼協会第 165 回春季講演大会, 2013/3/28(発表予定)
- 103) 増田勇也, 伊藤吾朗, 電解チャージした SUS430J1L 鋼中の水素の挙動, 日本鉄鋼協会第 165 回春季講演大会, 2013/3/28(発表予定)
- 104) 滝本真吾, 伊藤伸英, 菅谷修平, 大森整, 加藤照子, 春日博, 葦カーボンを用いた砥石の開発と加工特性, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 105) 萩原史門, 伊藤伸英, 春日博, 大森整, 加藤照子, 永吉啓, 導電性ラバーボンド砥石による軟質材料の加工特性, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 106) 綿引達哉, 伊藤伸英, 井手上敬, 梅津信二郎, 秋山寛郎, PELID 法を使った微細砥粒分散への取組み, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 107) 柴光次, 倉田恭太郎, 鈴木徹也, 小林秋男, 河辺浩章, 塑性加工プロセスにおける組織の評価, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 108) 関根亮佑, 鈴木徹也, 山中啓輔, 石野まゆ子, IF 鋼のひずみ時効硬化異方性, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 109) 山田隆一, 伊偉, 伊藤吾朗, 導電用アルミニウム線材の特性に及ぼす Zr 添加の影響, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 110) 水庭彰, 渡壁尚仁, 伊藤吾朗, アルミニウム合金における変形時の第二相の挙動, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 111) 黒川純一, 真中俊明, 伊藤吾朗, 小笠和男, 伊藤伸英, Gd 添加銅の特性, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 112) 塩井隆志, 鈴木徹也, 伊藤雄太, 御田護, 大貫啓人, 林田勉, 大貫英仁, 摩擦攪拌プロセス技術による銅の積層接合, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 113) 興石祐樹, 鈴木徹也, 田中健佑, レーザー加熱による鉄の耐酸化被覆, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 114) 由比藤峻佑, 車田亮, 伊藤吾朗, 本橋嘉信, 柴田大受, 炭素系材料の破壊靱性に及ぼす酸化消耗の影響, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24
- 115) 小吹隆之, 車田亮, 伊藤吾朗, 渡邊英雄, 松尾明, タングステンと銅との接合材料の硬さに及ぼす高温照射効果の影響, 日本機械学会関東支部第 20 回茨城講演会, 2012/8/24

【特許等】

- 1) 発明者: 保田雄亮, 守田俊章, 小林芳男, 井上和浩, 濱理央, 出願人: 国立大学法人茨城大学, 発明の名称: 「アルミナ結晶粒子分散アルミナゾルの作製方法及びこれにより得られたアルミナ結晶粒子分散アルミナゾル並び

にこれを用いて作製したアルミナ被覆部材」, 出願番号: 特願 2012-260759

【受賞等】

- 1) 受賞者名: 真中俊明(指導教員:伊藤吾朗), 受賞名:学生奨励賞, 授与者: 社団法人日本塑性加工学会, 受賞日: 2012/6/7
- 2) 受賞者名: Toshiaki Manaka, Goroh Itoh, Nguyen The Loc, Yoshinobu Motohashi and Takaaki Sakuma, 受賞名: The best poster award of the 11th International Conference on Superplasticity in Advanced Materials, 授与者: The Judging Committee of the 11th International Conference on Superplasticity in Advanced Materials, 受賞日: 2012/7/4
- 3) 受賞者名: Toshiaki Manaka(指導教員:伊藤吾朗), 受賞名:Outstanding Oral Award, 授与者: Adviser to committee Chairman of committee of the 8th International Student Conference at Ibaraki University (ISCIU8), 受賞日: 2012/11/11
- 4) 受賞者名: 小林芳男, 受賞名:Journal of the European Ceramic Society Top Cited Article 2007 to 2011 Award, 授与者:Journal of the European Ceramic Society, 受賞日: 2013/1/16

【新聞報道等】

なし

【申請した競争的資金等の外部資金】

- 1) 伊藤吾朗, 公益財団法人軽金属奨学会 平成 25 年度 教育研究資金, 「7000 系アルミニウム合金への水素の侵入挙動」, 250 千円, 2013 年度.

【申請した科学研究費補助金】

- 1) 山崎和彦, 文部科学省 平成 25 年度 若手研究(A), 「超短パルスレーザーアシスト固体酸化物形燃料電池膜形成技術の開発」, 29,870 千円, 2013 年度～2014 年度.
- 2) 伊藤吾朗, 日本学術振興会 平成 25 年度 基盤研究(C), 「金属材料の耐水素脆化特性と表面酸化膜構造の関係解明」, 5,000 千円, 2013 年度～2015 年度.
- 3) 小林芳男, 日本学術振興会 平成 25 年度 挑戦的萌芽研究, 「酸化物ナノ粒子を前駆体とする高純度金属ナノ粒子の水相合成と金属接合特性」, 4,550 千円, 2013 年度～2014 年度.

【採択された外部資金及び科学研究費補助金】

- 1) 小林芳男, 日本学術振興会 平成 24 年度 基盤研究(B), 「分散凝集技術を利用した無毒性画像医療診断ナノカプセルの精密合成法の開発」, 16,000 千円, 2012 年度～2014 年度.
- 2) 篠嶋妥, 文部科学省 平成 24 年度 基盤研究(S), 「極限高純度めっきプロセスによる Cu 配線ナノ構造制御と次世代ナノLSIへの展開」, 500 千円(分担)
- 3) 篠嶋妥, 日本学術振興会 平成 24 年度 基盤研究(B), 「異種元素添加した核燃料模擬材料の高エネルギー重イオン照射効果」, 300 千円(分担)
- 4) 永野隆敏, 文部科学省 平成 24 年度 若手研究(B), 「 β -FeSi₂ 表面磁性発現の研究」, 3,120 千円, 2012 年度～2013 年度.
- 5) 永野隆敏, 鉄鋼基礎研究再興のための支援助成, 450 千円, 2012 年度.

- 6) 田代優, 日本学術振興会 平成 24 年度 基盤研究(C), 「高温動作パワー半導体実装用アルミ銅合金ワイヤボンディングプロセスの開発」, 4,200 千円, 2012 年度～2014 年度.
- 7) 山崎和彦, 文部科学省 平成 24 年度 挑戦的萌芽研究, 「金属基板表面への再帰性反射素子形成に向けた新規ビーム整形法の開発」, 4,030 千円, 2012 年度～2013 年度.
- 8) 前川克廣, 山崎和彦, エフシー開発(株), 「燃料電池用電極の研究」, 100 千円, 2012/4～2013/3.
- 9) 伊藤吾朗, 文部科学省 平成 24 年度 基盤研究(C), 「拡散性水素の挙動に着目した水素脆化機構の解明」, 800 千円, 2010 年度～2012 年度.
- 10) 伊藤吾朗(共同研究者:伊藤伸英, 車田亮), 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 平成 24 年度 委託研究, 「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発／水素ステーション機器要素技術に関する研究開発／水素用アルミニウム材料の評価・開発」, 1,999 千円, 2010 年度～2012 年度.
- 11) 伊藤吾朗(共同研究者:車田亮), 国立大学法人富山大学水素同位体科学研究センター 平成 24 年度 一般共同研究費, 「トリチウムオートラジオグラフィによる金属材料中の水素の挙動解析」, 120 千円, 2012 年度.
- 12) 伊藤吾朗, 公益財団法人軽金属奨学会 平成 24 年度 教育研究資金, 「アルミニウム合金中の水素の動的挙動」, 250 千円, 2012 年度.
- 13) 伊藤吾朗, 株式会社スリーオー, 平成 24 年度 共同研究, 「銅基導電材料の特性に関する基礎的研究」, 100 千円, 2012 年度.
- 14) 伊藤吾朗, 財団法人日立地区産業支援センター, 平成 24 年度 共同研究, 「順送プレス加工における割裂加締加工技術による複雑三次元形状の一体成型技術の開発」, 400 千円, 2012 年度.
- 15) 伊藤吾朗, 日本タングステン株式会社 平成 24 年度 奨学寄附金, 500 千円, 2012 年度.
- 16) 伊藤吾朗, 日立電線株式会社 平成 24 年度 奨学寄附金, 「アルミニウム合金線の強度・導電率向上研究」, 500 千円.
- 17) 渡壁尚仁(指導教員:伊藤吾朗), 一般社団法人日本アルミニウム協会 平成 24 年度 研究助成, 「アルミニウム中の水素の挙動調査」, 300 千円, 2011 年度～2012 年度.
- 18) 伊藤伸英(分担者:伊藤吾朗), 日本学術振興会 平成 24 年度 基盤研究(C), 「見える化・触れる化ものづくり教育システムの構築」, 100 千円, 2011年度～2013 年度.
- 19) 西野創一郎, 住金大径鋼管株式会社, 共同研究, 「スパイラル溶接鋼管の残留応力の研究(Phase2)」
- 20) 西野創一郎, トーカロ株式会社 共同研究, 「プレス金型用各種コーティング皮膜の損傷メカニズム解明」
- 21) 西野創一郎, マニー株式会社 共同研究, 「手術用縫合針用素材の伸線を量産する研究」
- 22) 西野創一郎, 秋山精鋼株式会社 共同研究, 「鋼材の残留応力制御に関する研究」
- 23) 西野創一郎, 株式会社ひたちなかテクノセンター 受託研究, 「鍛造自動車部品の低コスト化を実現するプレス加工・厚板成形技術の開発」
- 24) 西野創一郎, 公益財団法人茨城県中小企業振興公社 受託研究, 「銅製 EV 急速充電用コネクタ端子における冷間鍛造による加工技術の開発」
- 25) 西野創一郎, クリナップ株式会社 共同研究, 「ステンレス薄板の異形深絞り成形に関する研究」

茨城大学重点研究

「分野横断型ニューマテリアル研究プロジェクト」

茨城大学工学部附属塑性加工科学教育研究センター

2012年度報告書

発行日 平成 25 年 3 月

発行者 茨城大学 工学部 機械工学科
教授 伊藤 吾朗
〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1
Tel & Fax : 0294-38-5023

※禁無断転載