

茨城大学戦略的研究

「革新的新構造材料の展開」

茨城大学工学部附属

塑性加工科学教育研究センター

2016年度

報告書

茨城大学戦略的研究プロジェクト「革新的新構造材料の展開」
平成 28 年度報告書刊行にあたって

プロジェクト代表 伊藤 吾朗

構造材料は強度と信頼性を必要とし、社会の安全に直結する重要な材料ですが、開発段階から実際に使用されるまでには長期間を要し、また、材料特性の量的な向上の割合が比較的少ないため、内外を問わず関係の基礎的研究が年々少なくなってきました。しかしわずかな向上でも、社会への貢献は大きく、最近政府・業界筋からその重要性が見直され、この分野を重点化する方針が示されてきています。その主流は茨城大学研究者層の厚い金属材料分野であり、今後も潤沢な外部資金獲得が期待できます。

そこで、本プロジェクトでは、下に記した前身の重点研究の成果と反省点を生かし、構造材料に焦点を当て、本学の関係研究者の密接な連携の下に、外部資金獲得を視野に入れつつ、教育・研究を積極的に進めこととしました。この目的が達成されれば、本学が構造材料の教育・研究拠点として内外に広く認知され、その教育プログラム修了生も構造材料の高度技術者として産業界から期待されることとなります。

平成 22 年度に前身である重点研究「分野横断型ニューマテリアル研究」を開始しました。それに対応し、工学部に附属の「塑性加工科学教育研究センター」を設立しました。前者は、その名の通り分野横断プロジェクトでしたが、まとまった活動としては、工学部教員が主体とならざるを得ず、結果的に分野横断が生かせなかったことが反省点でした。後者は、地域の塑性加工企業との産学連携の受け皿として大きな役割を果たしています。そのような中で、平成 25～29 年度 NEDO プロジェクト「自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発」として総額 51,271 千円、平成 25～29 年度 ISMA プロジェクト「革新的新構造材料——軽量金属（アルミニウム、マグネシウム）材料——に関する計測解析」として総額 25,000 千円（いずれも受託研究、間接経費込み）を獲得しています。いずれも構造材料を専門とする工学部教員主体のメンバーで構成されています。

本冊子は、戦略的研究「革新的新構造材料の展開」の構成員の平成 28 年度の成果を中心にまとめたものです。このプロジェクトは平成 28 年度が初年度で立ち上がったばかりですが、皆様には本報告書をご一読いただき、今後とも本学の材料科学研究ならびに工学部附属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。

戦略的研究「革新的新構造材料の展開」

プロジェクト参加教員

- 総括……伊藤吾朗(工・機械・教授)
- 表面改質……伊藤伸英(工・機械・教授)
- 強化理論構築と関連実験研究……倉本 繁(工・機械・教授)
- 強度・信頼性シミュレーション……篠嶋 妥(工・マテ・教授)
- 透過電子顕微鏡材料解析……岩本知広(工・マテ・教授)
- 結晶方位解析……鈴木徹也(工・マテ・教授)
- 量子線を用いた材料解析……佐藤成男(理工・量子線科学・教授)
- 塑性加工プロセス……西野創一郎(理工・量子線科学・准教授)
- 材料信頼性に関する実験研究……車田 亮(工・機械・准教授)
- 表面改質……中村雅史(工・知シス・准教授)
- 局所ひずみ解析……岩瀬謙二(工・マテ・准教授)
- 力学特性評価……田代 優(工・マテ・准教授)
- 強度・信頼性シミュレーション……永野隆敏(工・マテ・講師)
- 表面改質……横田 仁(工・マテ・講師)
- 材料塑性加工……小林純也(工・機械・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)、堀辺忠志(教授)、倉本 繁(教授)、車田 亮(准教授)、小林純也(助教)、中村雅史(准教授)、岩本知広(教授)、佐藤成男(教授)、岩瀬謙二(准教授)、田代 優(准教授)、永野隆敏(講師)、友田 陽(名誉教授)、本橋嘉信(名誉教授)

－目次－

1. 活動概要

1. 塑性加工科学教育研究センター 平成28年度活動計画・実施結果 -1-

2. 研究報告

1. 「アルミニウム合金の塑性加工による高強度化」 -5-
(倉本 繁, 中島祐樹)
2. 「リューダース帯伝播による不均一変形挙動」 -8-
(布施敏志, 鈴木徹也)
3. 「高エネルギー粒子照射によるナノ構造制御の計算機実験」 -10-
(神長龍一, 石川法人, 篠嶋 妥)

3. プロジェクト業績

1. 活動実績, 講演会資料等 -12-
2. 業績一覧 -15-

1.活動概要

1. 塑性加工科学教育研究センター 平成28年度活動計画・実施結果

1. 研究開発・資金獲得計画

○実施計画(年度当初に、個人の活動以外の、センターとして実施する技術・研究開発に関する活動計画について、計画名・実施概要・実施予定時期・実施体制を記載してください。)

1. 計画名:水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発／自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発プロジェクト
(1)実施概要: NEDOからの受託が決定している首記研究開発を行う
(2)実施予定時期: 28年4月～30年3月
(3)実施体制(注:外部の人も含む)
 - ・ 責任者:伊藤吾朗
 - ・ メンバ: 鈴木徹也、岩本知広、佐藤成男、倉本繁、伊藤伸英、車田亮、中村雅史、岩瀬謙二、田代優、永野隆敏、横田仁志、小林純也、船津隆一
(4)資金獲得計画: 3,117千円/年(間接経費15%を含む)の受託研究費契約済み
(5)実施における課題: 特になし
2. 計画名:革新的新構造材料等研究開発／計測解析評価研究／軽量金属材料プロジェクト
(1)実施概要: 新構造材料技術研究組合からの受託が決定している首記研究開発を行う
(2)実施予定時期: 28年4月～30年1月
(3)実施体制(注:外部の人も含む)
 - ・ 責任者:伊藤吾朗
 - ・ メンバ: 鈴木徹也、岩本知広、佐藤成男、倉本繁、伊藤伸英、車田亮、中村雅史、岩瀬謙二、田代優、永野隆敏、横田仁志、小林純也、船津隆一
(4)資金獲得計画: 5,000千円/年(間接経費15%を含む)の受託研究費契約済み
(5)実施における課題: 特になし
3. 計画名:7000系アルミ合金製ライナーによる複合蓄圧器の充填効率とサイクル性能の向上
(1)実施概要: サムテック(株)および日軽金アクト(株)との首記サポイン事業を行う
(2)実施予定時期: 28年4月～29年3月
(3)実施体制(注:外部の人も含む)
 - ・ 責任者:車田亮
 - ・ メンバ:伊藤吾朗(アドバイザー)
(4)資金獲得計画: 579千円(間接経費30%を含む)の受託研究費契約済み
(5)実施における課題: 知財の関係で学会発表等に制限がある
4. 計画名:軽金属学会第131回秋期大会開催
(1)実施概要: 同学会は秋期大会を関東地区で開催している。正会員が多く、軽金属材料関係研究の盛んな本学共催で開催し、教育研究センターのプレゼンスを示す。
(2)実施予定時期: H28年11月5日、6日
(3)実施体制(注:外部の人も含む)
 - ・ 責任者:伊藤吾朗(実行委員長)
 - ・ メンバ:伊藤伸英(副実行委員長)、倉本繁(副実行委員長)、中村雅史(幹事)、小林純也(幹事)、天谷義則(昭和電工(株))、糸井貴臣(千葉大学)、大瀧光弘(株UACJ)、尾崎智道(IHI(株))、神戸洋史(日産自動車(株))、久保田正広(日本大学)、車田亮、小林郁夫(東京工業大学)、櫻井健夫(株神戸製鋼所)、篠嶋妥、塩田正彦(日本軽金属(株))、鈴木徹也、芹澤愛(芝浦工業大学)、中沢靖(本田技術研究所)、永野隆敏、茂泉健(いすゞ自動車(株))、山本篤史郎(宇都宮大学)
(4)資金獲得計画: 広告・企業展示を募集
(5)実施における課題: 特になし
5. 計画名:塑性加工に関連する研究における競争的資金の獲得
(1)実施概要: サポインなど産学連携に関連する競争的資金に積極的に応募する。また、企業との共同研究による資金、および大型の国家プロジェクトの受託研究・大型の科研費の獲得を目指す。

- (2)実施予定時期: H28年4月～H29年3月
(3)実施体制(注:外部の人も含む)
・ 責任者:西野創一郎
・ メンバ:伊藤吾朗、鈴木徹也、堀辺忠志、岩本知広、佐藤成男、倉本繁、車田亮、中村雅史、田代優、永野隆敏、岩瀬謙二、小林純也、友田陽、本橋嘉信、船津隆一、藤沼良夫
(4)資金獲得計画: 国家プロジェクト受託研究、産学連携共同研究・奨学寄附金、科研費など
(5)実施における課題: 社会連携センターのコーディネータが大幅に減員されたことにより、共同研究費等の外部資金獲得が困難になることが懸念される。

○実施結果(中間報告時と年度末に、実施結果を記載してください。)

1. 計画名:水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発／自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発プロジェクト
(1)実施結果: 着実に基礎データを蓄積している。
(2)資金獲得の結果:追加配分が認められ、結果的に4,073千円(間接経費15%を含む)を獲得した。
(3)特筆すべき事項: 水素用アルミニウム材料分野における茨城大学の強みをアピールできた。
2. 計画名:革新的新構造材料等研究開発／計測解析評価研究／軽金属材料プロジェクト
(1)実施結果:着実に基礎データを蓄積している。
(2)資金獲得の結果:プロジェクト全体で減額され、結果的に茨城大学も4,675千円(間接経費15%を含む)の獲得にとどまった。
(3)特筆すべき事項: 軽金属材料分野における茨城大学の強みをアピールできた。
3. 計画名計画名:7000系アルミ合金製ライナーによる複合蓄圧器の充填効率とサイクル性能の向上
(1)実施結果:最終目標である大型複合蓄圧器での充填効率とサイクル性能の向上に対して目処を得ることができた。
(2)資金獲得の結果:439千円(間接経費を除く)
(3)特筆すべき事項:水素用アルミニウム材料分野における茨城大学の強みをアピールできた。
4. 計画名:軽金属学会第131回秋期大会開催
(1)実施結果:H28年11月5日、6日に予定どおり実施した。
(2)資金獲得の結果:なし
(3)特筆すべき事項:軽金属材料関係者に、軽金属材料分野における茨城大学のプレゼンスを示すことができた。
5. 計画名:塑性加工に関連する研究における競争的資金の獲得
外部資金獲得状況は業績一覧(P19, P20)に記載。
6. 計画名:水素ステーション用複合蓄圧器のための7000系アルミニウム合金高効率熱処理法の研究開発
(1)実施結果:いまだに計画段階
(2)資金獲得の結果:JSTが公募した先端的低炭素化技術開発(ALCA)【革新的技術領域】に、サムテック(株)、佐賀大学と共同で応募した(総額140,000千円、代表:茨城大学伊藤吾朗)が、採択されなかった。
(3)特筆すべき事項:今後何らかの形で、他の公募に応募して資金獲得につなげたい。
7. 計画名:金属材料の水素脆化機構の包括的解明
(1)実施結果: 着実に基礎データを集めている。
(2)資金獲得の結果:28年度科研費(基盤(A))には採択されなかった。
(3)特筆すべき事項: 他機関の研究者に声をかけるのが大変だった割りに、分散しているような印象を与えたと推察された。
8. 計画名:軽量化技術研究室2016年度前期研究発表会
(1)実施結果: 西野研究室主催、塑性加工科学教育研究センターおよびフロンティア応用原子科学研究センター共催で、平成28年8月22日に日立キャンパスE1棟11番教室で開催した。特別講演として、パルステック工業株式会社・技術部X線応用設備課・課長・内山宗久氏に「X線残留応力測定の原理と計測事例」という題目でご講演・デモ実験していただいた。その他に、西野研究室から8件の研究発表、活動報告が行われた。

- (2) 資金獲得の結果: なし
- (3) 特筆すべき事項: なし

9. 計画名: 2015 Summer Seminar between HUS and CEIU

- (1) 実施結果: 平成 28 年 9 月 27 日に日立キャンパス E1 棟 3C 教室で伊藤センター長が塑性加工入門の講義および塑性加工科学教育研究センターの活動紹介を行った。
- (2) 資金獲得の結果: なし
- (3) 特筆すべき事項: HUS 学生には好評であった(同日夕刻の Reception での対談より)。

10. 計画名: 工学部附属教育研究センター第 3 回公開シンポジウム

- (1) 実施結果: 平成 28 年 12 月 20 日午前に日立キャンパス N4 棟で開催された上記シンポジウムで、塑性加工科学教育研究センターを代表して、佐藤成男教授が「X 線散乱・回折法による金属組織解析 線散乱・回折法による金属組織解析～企業の材料開発へ貢献～」、倉本繁教授が「塑性加工を利用した高強度金属材料の設計」と題して、それぞれ講演した。
- (2) 資金獲得の結果: なし
- (3) 特筆すべき事項: なし

11. 計画名: 工学部研究室訪問交流会

- (1) 実施結果: 平成 28 年 12 月 20 日午後に日立キャンパス N4 棟などで開催された上記交流会で、塑性加工科学教育研究センターを代表して、センター長の伊藤吾朗教授が「塑性加工科学教育センターの活動報告」と題して報告を行った。また、その後の研究室公開では、W1 棟 107 号室のマテリアルプロセッシング研究室(伊藤吾朗・小林純也研究室)において、「金属材料中の水素の可視化」および「小中校生へのものづくり・材料教育」と題する内容を公開した。
- (2) 資金獲得の結果: なし
- (3) 特筆すべき事項: なし

12. 計画名: 軽量化技術研究室 2016 年度後期研究発表会

- (1) 実施結果: 西野研究室主催、塑性加工科学教育研究センターおよびフロンティア応用原子科学研究センター共催で、平成 28 年 12 月 22 日午後に日立キャンパス E5 棟 8F イノベーションルームで開催した。宇都宮大学大学院工学研究科・機械知能工学専攻・教授 杉山 均 先生に「Formula-SAE との出会いと研究の魅力」という題目でご講演していただいた。その他に、西野研究室から 8 件の研究発表、活動報告が行われた。
- (2) 資金獲得の結果: なし
- (3) 特筆すべき事項: なし

13. 計画名: 平成 28 年度茨城大学戦略的研究「革新的新構造材料の展開」シンポジウム開催

- (1) 実施結果: 平成 29 年 2 月 2 日に日立キャンパス N4 棟で開催した。
- (2) 資金獲得の結果: なし
- (3) 特筆すべき事項: 39 名が参加し、活発な討論行われた(詳細は P12-P14 参照)。

14. 計画名: 「ものづくり企業フォーラム」技術商談会

- (1) 実施結果: 平成 29 年 2 月 22 日につくば国際会議場で開催(主催: めぶきフィナンシャルグループ)された上記商談会に、塑性加工科学教育研究センター全体、および 8 研究室(西野研究室、田代研究室、倉本研究室、伊藤・小林研究室、鈴木研究室、永野研究室、岩瀬研究室、中村研究室)のブースを設置し、商談・技術相談を行った。中村、永野、鈴木、西野の 4 研究室には、予約商談もあった。
- (2) 資金獲得の結果: なし
- (3) 特筆すべき事項: 各ブースは「大学シーズ系」のコーナーに設置されたが、他大学・公設試等が 1 件/機関で合ったのに対して、茨城大学は上記 9 件のほかに、社会連携センターも加えて 10 件のブースで対応し、産学連携への熱意をアピールできた。学長も視察に訪れ、当センターのものづくり分野・産学連携におけるプレゼンスを大きく評価していただいた。

その他(参考資料、報告書など)

個別の研究開発活動、業績リストは P15-P20 に記載した。

2. 人材育成

○実施計画(年度当初に、個人の活動以外の、センターとして実施する人材育成に関わる活動計画について、計画名・実施概要・実施予定時期・実施体制を記載してください。)

1. 計画名 企業訪問による学生の実践的教育および企業における訪問授業

(1)実施概要: 企業の現場に学生を積極的に連れて行き、工場見学などとともに現場の技術者の生の声、現在抱えている問題などを共有することにより、学生の就職に対する意識を高め、同時に業種、職種に関する知識を教育する。また、企業に赴き、現場の特に若手技術者に対して出張講義を行う。大学における共同研究の成果や学術的思考をキャッチできる人材を企業側に作り出す。学科カリキュラムに課題解決型の体験型授業を取り入れる。

(2)実施予定時期: H28年4月～H29年3月

(3)実施体制(注:外部の人も含む)

- ・ 責任者: 鈴木徹也
- ・ メンバ: 鈴木徹也、伊藤吾朗、西野創一郎、堀辺忠志、岩本知広、佐藤成男、倉本繁、車田亮、中村雅史、田代優、永野隆敏、岩瀬謙二、小林純也、友田陽、本橋嘉信、船津隆一

(4)資金獲得計画: 茨城大学COCプロジェクト、教育改善経費などに申請予定

(5)実施における課題: 調整が必要な事項など。ない場合は、特になしとする。

特になし

○実施結果(中間報告時と年度末に、実施結果を記載してください。)

1. 計画名 企業訪問による学生の実践的教育および企業における訪問授業

(1)実施結果: 集中講義「ものづくり課題解決型実習」を行った。今年度は10名の受講があり、4社で工場見学を行った後に企業における課題等を話し合い、緊急な課題がない場合には関連する情報を調査するなど、また試料の提供を受け実験を行った場合もあった。調査、実験後に企業に出向き報告を行った。大学院生及び学部の4年生がその指導補助にあたった。また、企業に出向き3件の出張講義を行った。また企業の技術相談など多数回行っている。技術相談の際には企業の許可を得られた場合には先方に出向き学生の見学および技術相談の同席をお願いした。

(2)資金獲得計画: 企業によっては共同研究費を得て実験の補助に当てている

(3)実施における課題: 企業訪問において2、3年生の授業時間を避ける必要があるが日程の確保に苦しんでいる。夏休みに効率的に企業訪問することで対策としたい。

2. 計画名 社会人 Dr の積極的受け入れ

(1)実施結果: 当初計画になかったが、センター関係の人材育成として重要であり、H28年度も他分野に比べて多くの社会人 Dr の受け入れを行った(29年度入学生)。また、社会人に限らず、留学生、前期課程からの進学生も多い。

(2)資金獲得: 企業によっては共同研究費を拠出していただく用意がある。

(3)実施における課題: 入試等で教員が多忙となること。

3. 計画名 大学院生の積極的な学外での発表

(1)実施結果: 当初計画になかったが、センター関係の人材育成として重要であり、H28年度も他分野に比べて多くの大学院生の発表があったように思う。

(2)資金獲得: なし

(3)実施における課題: 旅費・講演発表料など経費負担がかさむ。

その他(参考資料、報告書など)

特になし

2.研究報告

アルミニウム合金の塑性加工による高強度化

Strengthening aluminum alloys by plastic deformation

倉本 繁、中島祐樹

茨城大学工学部機械工学科

Shigeru KURAMOTO, Yuki NAKAJIMA

Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, Ibaraki University

1. 概要

Al-Zn-Mg 系合金に冷間圧延加工を施すことにより、従来の析出強化材よりも高強度化することが明らかとなった。また従来材で問題となる耐応力腐食割れ性が、圧延加工材では改善する可能性が示唆された。今後、合金組成や加工プロセス条件の影響を系統的に把握し、これらを積極的に組織制御に生かしていくことが課題と考えられる。

2. はじめに

アルミニウム合金に限らず、様々な強化手法を利用した構造用金属材料の高強度化に関して、これまでに多くの試みがなされてきた。特に、延性を犠牲にすることなく高強度化を実現することは、構造材料研究者にとって究極の目標と言える。そのような観点から、転位運動が理想強度レベルまで抑制されているにもかかわらず、延性的な特性を示す高強度チタン合金「ゴムメタル」^{1)~3)}の変形機構は興味深い。ゴムメタルにおいては、相安定性と関係する弾性異常現象が変形機構に大きな影響を及ぼすことが知られている。

通常アルミニウム合金は合金元素の濃度が低い希薄合金であり、相安定性を大きく変化させた合金設計を行うことは不可能である。しかし近年、アルミニウム合金に強冷間加工を施すことにより、延性を維持しつつ著しい高強度化を達成した例が報告されている。例えば堀田は、市販 A7075 合金に High-Pressure Torsion (HPT) 加工を用いて強加工を施すことにより、引張強さが 840 MPa まで上昇すること、またその後の時効処理により引張強さが 930 MPa まで上昇することを報告している⁴⁾。この HPT 加工材の強度は、最高強度の市販アルミニウム材料である A7075 合金 T6 材の引張強さ (570 MPa) を大きく上回る点が興味深い。

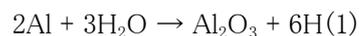
しかし、HPT 加工のような特殊な加工法を実用材料へ展開することは必ずしも容易ではない。一方、自動車産業等においては軽量材料へのニーズは近年ますます高まっており、高強度かつ十分な延性を有する実用アルミニウム合金の出現が待たれている。このような時代のニーズに応えるためには、これまでに確立されてい

る時効析出による強化手法とは異なる、加工による組織制御に基づく材料設計の観点も含めた、新規の合金設計技術が必要である。著者らはこれまでに HPT 加工により強加工した Al-Zn-Mg 系合金の機械的特性や金属組織に及ぼす合金組成やプロセス条件の影響について基礎的な検討を実施してきた⁵⁾。また、最近 HPT 加工を用いずに、冷間圧延により類似の高強度化に関する基礎的な検討を始めている。本稿では、本年度実施した圧延材の機械特性評価の結果を紹介する。

3. 試料および実験方法

試料として A7075 合金板材(厚さ 6.8mm)を用いた。この板材から長さ 60mm、幅 100mm、厚さ 6.8mm の試料を切り出し、溶体化処理 (480°C × 1hr、水焼入れ) を行った。焼入れ後すぐに圧延を開始し、パスあたりの圧下率を 10%、パスごとに水冷しながら、圧延率 90%(厚さ 0.68mm)まで冷間圧延した。90%冷間圧延材から平行部長さ 12mm、幅 4.5mm の引張試験片を放電加工により作製した。試験片の平行部を耐水研磨紙で #400 → #800 までの湿式研磨の後、10%NaOH 水溶液によるアルカリ洗浄、10%HNO₃ 水溶液による中和処理を施した。

機械的特性の評価は、低ひずみ速度引張試験 (Slow Strain Rate Technique : SSRT) により実施した。この試験においては、極めて小さいひずみ速度 (10^{-5}s^{-1} 以下) で引張変形を加え、金属表面の酸化皮膜を破壊し新生表面を連続的に生み出し破断させる⁶⁾。式(1)の反応により発生した水素が材料内部に侵入することで水素脆化を引き起こす場合があると知られている。



試験は、室温において実験室大気中 (LA) および相対湿度 90%の湿潤大気中 (HA) の2種類の環境のもとで、初期歪み速度 $1.67 \times 10^{-7} \sim 1.67 \times 10^{-4} (\text{s}^{-1})$ の範囲で行った。冷間圧延を行ってから引張試験を行うまで試料は冷凍保存した。保存日数は試験片により異なるが、全ての試験片において 40 日以上であった。試験後に、破断伸び、引張強さについて測定を行い、破面を走査型電子顕微鏡 (SEM) により観察した。

4. 実験結果⁷⁾

Fig. 1(a) に SSRT 引張試験の破断伸びの結果、(b) に引張強さの結果を示す。低ひずみ速度 1.67×10^{-6} , $1.67 \times 10^{-7} (s^{-1})$ では実験室大気および湿潤大気で高い伸びを示した (Fig. 1(a))。ひずみ速度や試験環境によらず、引張強さは約 640MPa の値を示した (Fig. 1(b))。これは、従来の最高強度の市販アルミニウム材料である A7075 合金 T6 材の引張強さ(570 MPa)を大きく上回る値である。Fig. 2 に初期ひずみ速度 $1.67 \times 10^{-7} (s^{-1})$ の応力ひずみ曲線を示す。試験環境が応力ひずみ曲線にほとんど影響を及ぼさないことを確認できる。

Fig. 3 に破面の SEM 像の写真を示す。実験室大気および湿潤大気ともに、同じようなディンプルを多く伴う延性破面が観察された。湿潤環境中の低ひずみ速度試験において伸びが低下せず、延性的に破壊が生じることは、この材料が優れた耐応力腐食割れ性を有する可能性を示唆する。

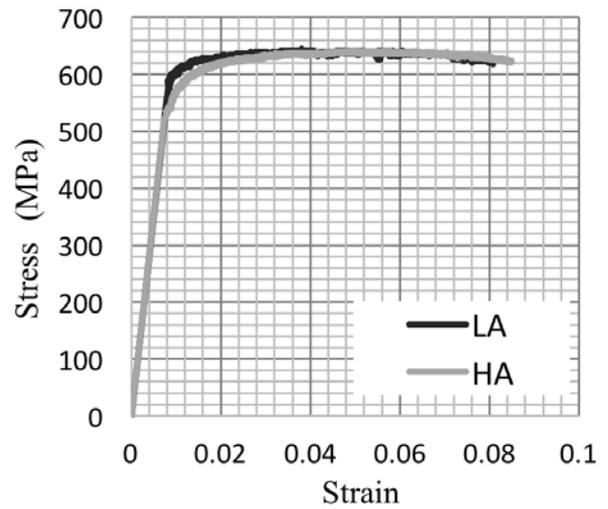


Fig.2 Stress-Strain curves during the SSRT test at an initial strain rate of $1.67 \times 10^{-7} s^{-1}$. LA : Laboratory Air, HA : Humid Air⁷⁾.

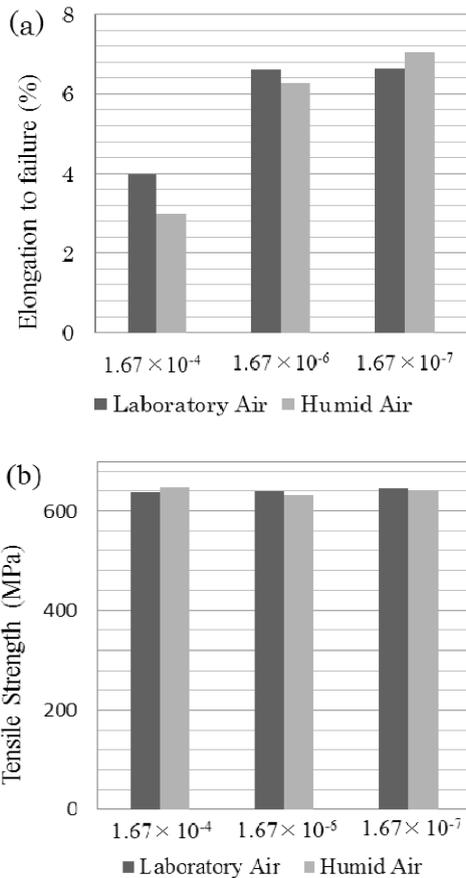


Fig.1 Tensile properties of the specimens tested in the two environments. (a)Elongation to failure, (b)Tensile strength⁷⁾.

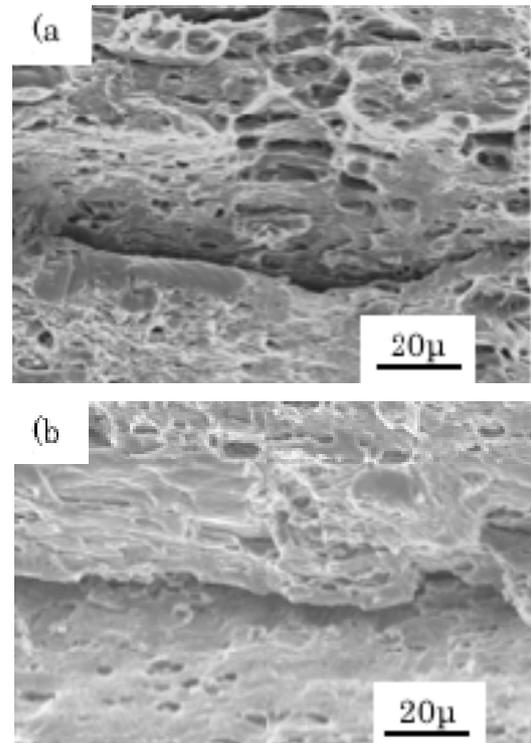


Fig.3 SEM images of the fracture surface of the Al-Zn-Mg alloy specimen tested at an initial strain rate of $1.67 \times 10^{-7} s^{-1}$. (a) Laboratory Air, (b) Humid Air⁷⁾.

5.結論

Al-Zn-Mg 系合金に冷間圧延加工を施すことにより、以下の結果が明らかとなった。

- (1) 圧延材の強度は、従来の析出強化材よりも高くなることが明らかとなった。
- (2) 従来材で問題となる耐応力腐食割れ性が、圧延材では改善する可能性が示唆された。

6.おわりに

冷間圧延により強加工を施した A7075 アルミニウム合金の機械的特性に関して、今年度の検討事項を紹介した。HPT 加工による高強度材の検討結果からは、強化機構に結晶粒の微細化だけでなく、粒界への溶質元素の濃化や、粒内のナノクラスターの存在が関与している可能性も示唆されている⁵⁾が、それぞれの組織形成過程の詳細や各組織因子の強度への寄与の度合いは不明である。一方で、加工の結果としてもたらされた組織は、強度と延性との両立を可能にしているものと考えられる。今後、HPT 材および冷間圧延材の各組織因子が強度と延性とに及ぼす影響を明らかにして、合金組成やプロセス条件を最適化することにより、さらなる機械的特性の向上を図ることが望まれる。

【参考文献】

- 1) T. Saito et al.: Science, 300 (2003), 464–467.
- 2) T. Furuta et al.: Scr. Mater., 68 (2013), 767–772.
- 3) 倉本ら: 軽金属, 62 (2012), 406–411.
- 4) 堀田: 軽金属, 60 (2010), 134–141.
- 5) 倉本ら: 軽金属, 64 (2014), 241–248.
- 6) 杉本: 『金属腐食工学』(内田老鶴圃), (2009), 197–222.
- 7) 中島, 倉本: 第130回春期大会講演概要(軽金属学会), (2016), 135–136.

リューダース帯伝播による不均一変形挙動

The Mechanism of Inhomogeneous Deformation coming from Lüders Band Propagation

布施敏志 鈴木徹也

茨城大学工学部マテリアル工学科

Satoshi Fuse, Tetsuya Suzuki

Department of material science, Faculty of engineering, Ibaraki University

1. 概要

石油や天然ガスを長距離輸送するラインパイプは UOE 加工により円周方向と長手方向の力学的性質が異なる¹⁾。その影響で局部座屈を引き起こし重大な被害となりうるため、その根本的改善策が急がれる。本研究では、不連続降伏時に巨視的な応力低下とともにリューダース帯が発生し始めることに焦点を当て、その不均一変形挙動を調査した結果を示した。その結果、結晶粒径を小さくすることが座屈破壊を未然に防ぐ方法であることが示唆された。

2. はじめに

構造用材料としてラインパイプにも用いられている低炭素鋼にはひずみ時効硬化が存在する。ひずみ時効硬化にはひずみ経路に依存性があることが知られている²⁾。予ひずみを与え時効後に予ひずみと同じ方向に引張った場合(ラインパイプの円周方向)は不連続降伏を示し、予ひずみを垂直方向に引張った場合(ラインパイプの長手方向)には連続降伏を示す。ラインパイプにおける座屈破壊の原因は、この予ひずみ異方性によって生じる異なる降伏挙動で変形性能が低下するためだと考えられている。また、不連続降伏時の巨視的な応力低下は座屈を急激に進行させると考えられている¹⁾。

本研究では、不連続降伏時に巨視的な応力低下とともにリューダース帯が発生し始めることに焦点を当て、リューダース帯の伝播挙動を調査し、ラインパイプにおける座屈問題の改善策を講じることを試みた。

3. 実験方法

3-1. 供試材

実験には一般構造用圧延材(SS400)から平行部がある組織観察用引張試験片とくびれがある降伏点解析用引張試験片の二種類の試験片を切り出した。

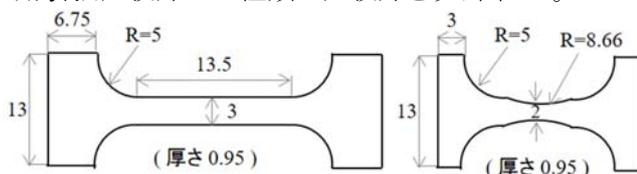


Fig. 1 引張試験片形状

切り出したそれぞれの試験片は熱処理によって平均結晶粒径が 10 μm 、30 μm 、50 μm 、70 μm の異なる四つの試料を作製した。また、組織観察用引張試験片は鏡面出し後、ナイトール溶液にて 5 秒間エッチングした。

3-2. 引張試験・組織観察

組織観察用引張試験片はひずみ速度 $6.2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ でひずみ 0.17 % 増えるごとに途中止めし、その後リューダース帯前線の組織観察という工程を繰り返した。コマ撮りされた組織写真を比較することですべり線の進展挙動を調査した。さらに引張り後、EBSD 測定をすることですべり線と結晶方位(シュミット因子)の関連を調べた。

降伏点解析用引張試験片は同ひずみ速度にて連続的に引張荷重を与え、力学的特性と結晶粒径依存性を分析した。

4. 実験結果

4-1. すべり線の進展挙動

Fig. 2, 3 にすべり線を明瞭化した組織観察結果を示す。これより、リューダース帯前線ではすべり線が結晶粒単位でとびとびに進展していることが観察された。また、とびとびの範囲(黄色のハッチ部)は結晶粒径に依存せず約 250 μm で一定であった。

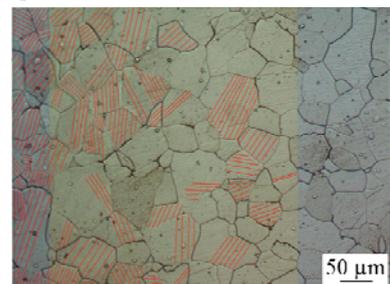


Fig. 2 ひずみ 0.17 % 時の組織観察結果

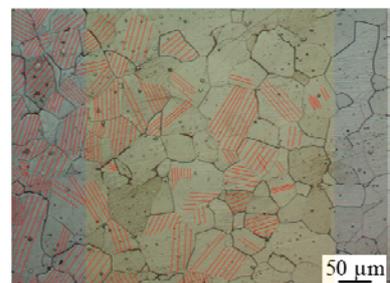


Fig. 3 ひずみ 0.34 % 時の組織観察結果

4-2.EBSD 測定

Fig. 4 に各結晶のシュミット因子を計算・マッピングした図を示す。Fig. 2, 3 および 4 を比較すると、すべり線が新たに現れた結晶粒は比較的シュミット因子が大きな傾向があることが確認された。以上からリュウダース帯はシュミット因子の大きな結晶粒から優先的に伝播するといえる。

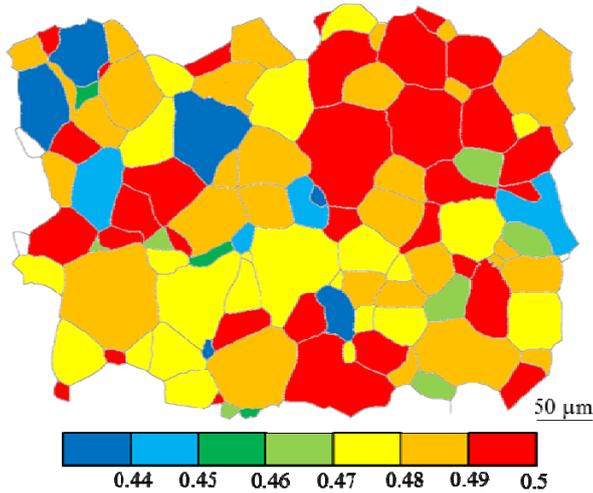


Fig. 4 シュミット因子のマッピング

4-3.降伏点解析

結晶粒径が異なる試料別に得られた応力-ひずみ曲線から、結晶粒径が小さくなるほど上降伏点と下降伏点の応力差が小さくなることが確認できた。

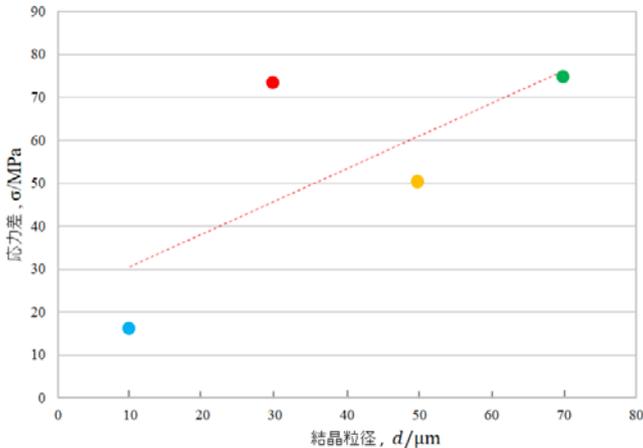


Fig. 5 降伏点の応力差と結晶粒径依存性

5.結論

リュウダース帯の伝播には、ある結晶の変形によって生じた弾性応力場による変形のしやすさとシュミット因子による変形のしやすさの二つが関与すると考えられる。この二つの影響で各結晶の変形に優先順位が生じる。以上のように考えれば、弾性応力場の影響で試験片の一部で結晶粒の降伏が伝播していき、リュウダース帯前線の近傍ではシュミット因子の影響でとびとびにすべり線が観察できたことに一致する。また、とびとび変形の範囲は実験的に結晶粒径の大きさに依存せず、約 250 μm であることが分かった。

次にリュウダース帯伝播挙動をもとに不連続降伏挙動を考える。結晶粒径が小さな材料ではとびとびの範囲に存在する結晶粒の数が多くなるため、各結晶粒の降伏にタイミング差が生じる。よってそれぞれの上降伏点と下降伏点が分散して重ね合わされることから巨視的な応力低下は小さくなったと考えられる。

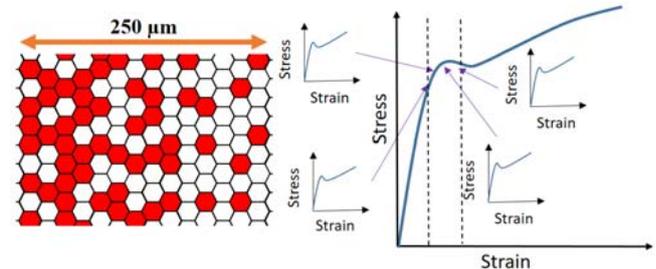


Fig. 6 結晶粒径が小さな材料の降伏挙動

逆に結晶粒径が大きな材料ではとびとびの範囲に存在する結晶粒の数が少ないため、各結晶の上降伏点と下降伏点がほぼ同時に重ね合わされ、巨視的な応力低下は大きくなったと考えられる。

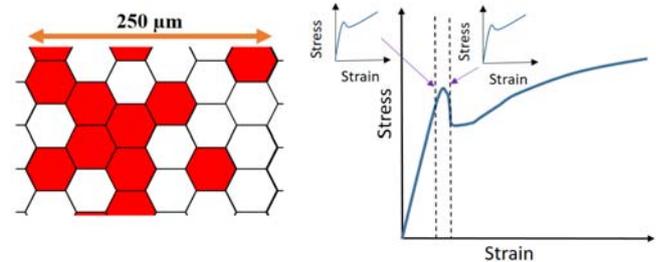


Fig. 7 結晶粒径が大きな材料の降伏挙動

6.おわりに

本研究により以下の知見が得られた。

- 1) リュウダース帯はある結晶の変形によって生じた弾性応力場と結晶固有のシュミット因子に依存する優先順位に従ってとびとびで変形することで伝播する。
- 2) 結晶粒径の小さな材料は各結晶の降伏が分散して重ね合わされることから、不連続降伏時の応力低下が小さくなったと考えられる。
- 3) 以上から結晶粒径を小さくすることが座屈破壊を防ぐ一つの方法であることが示唆された。

【参考文献】

- 1) 鈴木徹也, 山中啓輔, 石野まゆ子, 篠原康浩, 長井健介, 津留英司, 徐平光: 中性子回折法によるフェライト単相鋼のひずみ時効硬化異方性の検討, 鉄と鋼, **98**, 262/266 (2012)
- 2) 津留英司, 阿形敦, 永田幸伸, 白神聡, 篠原康浩: 塑性変形異方性を有する高強度 UOE 鋼管の形成・座屈シミュレーション, 新日鉄技報, **392**, 72/80 (2012)

高エネルギー粒子照射によるナノ構造制御の計算機実験

Computer experiments on controlling nano-structures by high-energy particle deposition

神長龍一¹⁾, 石川法人²⁾, 篠嶋 妥¹⁾

1)茨城大学, 2)日本原子力研究開発機構

Ryuichi Kaminaga¹⁾, Norito Ishikawa²⁾, Yasushi Sasajima¹⁾

1) Ibaraki University, 2) Japan Atomic Energy Agency

1.概要

高エネルギー粒子を照射した際に形成されるナノポアの生成過程を明らかにすることを目的として、分子動力学法を用いた計算機実験を行った。照射により生成される空孔はナノポアを形成する。ナノポアは 0.3ps 付近まで急激に大きくなり、1.5ps 以降平衡化した。また、有効阻止能が高くなるのに伴い、ナノポアは大きくなる。しかし一定以上の有効阻止能を与えてもナノポアのサイズは大きくならないことが分かった。

2.はじめに

高速重イオンビームを物質中に打ち込むことで、イオンの経路に沿った半径数ナノメートルの円柱状の領域の原子に限り電離するので、物質にナノスケールの物理、化学的変化を引き起こすことができる。そのため、材料分析、材料改質など様々な分野で利用されている。NiO や CeO₂ 結晶に高速重イオンビームを照射した際、結晶内にナノポアが形成される現象はナノオーダーの加工につながる興味深い現象であり、材料のナノ化が進んでいる現代ではこのナノオーダーのポアが役立つ可能性がある¹⁻²⁾。しかし、高エネルギービーム照射による変化は緩和時間の早い非平衡現象であるため、その過程の理解は非常に困難である。そこで分子動力学法を用いた計算機実験の手法が実際の実験との相補的なデータを得るための有力な解析手段として期待されている³⁾。本研究では、高エネルギー粒子を照射した際に形成されるナノポアの生成過程を明らかにすることを目的とした。

3.計算方法

蛍石構造に配置された CeO₂ 結晶 (単位格子を<100>方向に6個、単位格子を<010>方向に6個、単位格子を<001>方向に4個、原子数は1728個、系の大きさは3.25nm × 3.25nm × 2.33nm の直方体) を試料とし、シミュレーションセル (単位格子を<100>方向に6個、単位格子を<010>方向に6個、単位格子を<001>方向に6個並べた立方体) の中央に配置した。Fig.1 に、計算に用

いたモデル構造を示す。

温度制御して原子の運動を安定させた後、高エネルギーイオンビーム照射領域を想定した直径 1.0nm の円筒状領域を設定し、そこに高い運動エネルギーを与えて原子の運動を追跡した。系の周辺部分は直径 2.0nm より外側の領域をヒートシンクと仮定し、実験温度 298K を超えるエネルギーはここで吸収されるように設定した。さらに周期的境界条件を適用することで、仮想的なバルク構造として計算を行った。実験時間は 3.00ps とした。原子間ポテンシャルは、Inaba らが提案した Born-Mayer-Huggins 型を用いた⁴⁾。計算方法の詳細は文献⁵⁾を参照されたい。

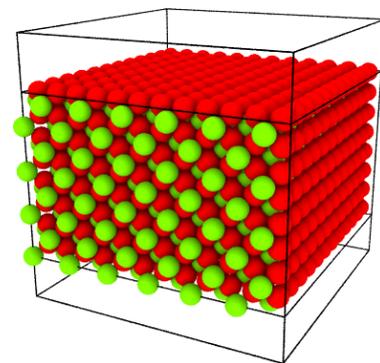


Fig.1 Schematic of the calculation model.

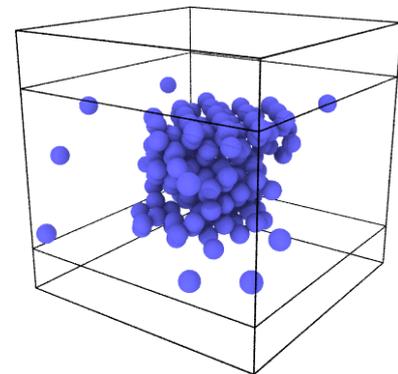


Fig.2 Nano-pore structure generated by irradiation.

4. 結果と考察

Fig.2 に照射により形成された空孔を示す。照射により生成される空孔はナノポアを形成することがわかる。ナノポアは 0.3ps 付近まで急激に大きくなり、1.5ps 以降平衡化した。また、有効阻止能が高くなるのに伴い、ナノポアは大きくなる。しかし 0.8keV/nm 以上の有効阻止能を与えてもナノポアのサイズは大きくなり、1.5ps 以降平衡化した。また、Shiyyama らにより提案されたフレンケル欠陥の分類に従って⁶⁾、酸素フレンケル欠陥生成の照射エネルギー依存性を調べたところ、有効阻止能が高いほど、酸素フレンケル欠陥数はわずかながら増加し遠距離の酸素フレンケル欠陥の割合が多くなった。しかし、照射後 1.5ps までは酸素フレンケル欠陥と有効阻止能の相関関係は見られなかった。

5. 結論

高エネルギー粒子を照射した際に形成されるナノポアの生成過程を明らかにすることを目的とし、分子動力学による計算機実験を行った。蛍石構造に配置された CeO₂ 結晶を試料とし、高エネルギーイオンビーム照射領域を想定した直径 1.0nm の円筒状領域を設定し、そこに高い運動エネルギーを与えて原子の運動を追跡した。照射により生成される空孔はナノポアを形成する。ナノポアは 0.3ps 付近まで急激に大きくなり、1.5ps 以降平衡化した。また、有効阻止能が高くなるのに伴い、ナノポアは大きくなる。しかし一定以上の有効阻止能を与えてもナノポアのサイズは大きくなり、1.5ps 以降平衡化した。

6. おわりに

100MeV-数 GeV のエネルギー領域の重イオン照射は各種無機材料の構造・物性に大きな影響を及ぼす。特に材料中で起こる高密度電子励起が原子の移動を起し、大きな照射効果を与えることが高エネルギー重イオン照射の特徴である。CeO₂ 結晶に高速重イオンビームを照射した際、結晶内にナノポアが形成される現象はナノオーダーの加工につながる興味深い現象であり、材料のナノ化が進んでいる現代ではこのナノオーダーのポアが役立つ可能性がある。本研究により、ナノポアの生成過程を原子レベルで明らかにし、ナノポア制御の端緒を開くことができた。

【参考文献】

1) B. Schattat, W. Bolse, S. Klaumuenzer, I. Zizak, R. Scholz, "Cylindrical nanopores in NiO induced by swift heavy ions", Appl. Phys. Lett. **87** (2005)

173110.

- 2) N. Ishikawa, N. Okubo, T. Taguchi, "Experimental evidence of crystalline hillocks created by irradiation of CeO₂ with swift heavy ions: TEM study", Nanotechnology **26** (2015) 355701 (8pp).
- 3) 上田 顕, "分子シミュレーション-古典系から量子系手法まで-" (裳華房, 2003).
- 4) H. Inaba, R. Sagawa, H. Hayashi, K. Kawamura, "Molecular dynamics simulation of gadolinia-doped ceria", Solid State Ionics **122** (1999) 95-103.
- 5) Y. Sasajima, N. Ajima, T. Osada, N. Ishikawa, A. Iwase, "Molecular dynamics simulation of fast particle irradiation to the single crystal CeO₂", Nucl. Instr. Meth. B, **314** (2013) 202-207.
- 6) K. Shiyyama, T. Yamamoto, T. Takahashi, A. Guglielmetti, A. Chartier, K. Yasuda, S. Matsumura, K. Yasunaga, C. Meis, "Molecular dynamics simulations of oxygen Frenkel pairs in cerium dioxide", Nucl. Instr. Meth. B, **268** (2010) 2980-2983.

3.プロジェクト業績

平成 28 年度 茨城大学戦略的研究「革新的新構造材料の展開」シンポジウム報告
Report on the Symposium on Strategic Research Project in Ibaraki University
---Development of New Reformative Structural Materials---

伊藤吾朗

工学部 機械工学科（工学部附属塑性加工科学教育研究センター）

Goroh ITOH

Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering (Faculty of Engineering, Education and
Research Center for Science-Based Plastic Forming)

次々ページの案内の通り、平成 28 年度から始まった本プロジェクトの事業として、工学部附属塑性加工科学教育研究センターとの共催で、掲題のシンポジウムを開催した。今回のシンポジウムのトピックスは、構造用軽金属材料の特性として重要な接合、強度、脆性であり、大阪大学大学院基礎工学研究科の堀川准教授を招き、学内からプロジェクトメンバーである岩本教授、倉本教授にご講演いただいた。2017 年 2 月 2 日に日立キャンパス N4 棟で 15 時から 17 時 05 分まで開かれたシンポジウムには主に学内から 39 名が参加し、写真に示すように活発な討論行われた。



Fig. 1 伊藤プロジェクト代表による開会挨拶。



Fig.2 岩本教授の講演。



Fig.3 大学院生からの質問。



Fig.4 岩本教授の応答。



Fig.5 倉本教授の講演。



Fig.6 堀川准教授からの質問。



Fig.7 倉本教授の応答。



Fig.8 堀川准教授の招待講演。



Fig.9 大学院生からの質問。



Fig.10 閉会挨拶。



茨城大学戦略的研究

「革新的新構造材料の展開」

当日参加可

シンポジウム

主催 茨城大学戦略的研究「革新的新構造材料の展開」
共催 茨城大学工学部附属塑性加工科学教育研究センター

日時: 平成29年2月2日(木) 15:00~17:05

場所: 茨城大学工学部 N4棟(小平記念ホール)

◇プログラム◇

15:00 - 15:15 開会挨拶 プロジェクト代表 伊藤吾朗

15:15 - 15:45 茨城大学教員 講演
「 $Mg_{96}Zn_2Y_2$ 合金の超音波接合」
工学部マテリアル工学科 岩本 知広

15:45 - 16:15 茨城大学教員 講演
「アルミニウム合金の
塑性加工による高強度化」
工学部機械工学科 倉本 繁

16:15 - 17:00 招待講演
「アルミニウム合金で生じる
環境水素脆性のモニタリング」
大阪大学大学院 基礎工学研究科
堀川 敬太郎 先生

17:00 - 17:05 閉会挨拶 プロジェクト代表 伊藤吾朗

業績一覧

【原著論文】

- 1) 中村雅史・高森悠紀, DLC/AIN 複合表面改質を施したアルミニウム合金の疲労信頼性評価, 日本機械学会論文集, Vol.82, No.840, 16-00157, (2016)
- 2) K. Iwase, N. Terashita, K. Mori, S. Tashiro, H. Yokota, T. Suzuki, Effect of Mg substitution on hydrogen absorption-desorption behavior and crystal structure of Gd₂-xMgxNi₇, Int. J. Hydrogen Energy, 41, (2016) 1074-1079.
- 3) K. Iwase, K. Mori, S. Tashiro, H. Yokota, T. Suzuki, Structural change of NdNi₃ during hydrogen absorption-desorption cycle, Int. J. Hydrogen Energy, 41, (2016) 3940-3945.
- 4) K. Iwase, K. Mori, S. Shimizu, S. Tashiro and T. Suzuki, Synthesis of PuNi₃-type PrCo₃ and its hydrogen absorption-desorption property, Int. J. Hydrogen Energy, 41, (2016) 14788-14794.
- 5) K. Iwase, K. Mori, N. Terashita, S. Tashiro, T. Suzuki, Effect of Mg substitution on crystal structure and hydrogenation of Ce₂Ni₇-type Pr₂Ni₇, J. Solid State Chem, 247, (2017) 142-146.
- 6) Ahmad Ehsan Mohd Tamidi and Yasushi Sasajima, "The Relationship between Nanocluster Precipitation and Thermal Conductivity in Si/Ge Amorphous Multilayer Films: Effects of Cu Addition", Journal of Nanomaterials, Volume 2016, Article ID 8017814, 7 pages (2016).
- 7) Bin Liu, Teruyuki Ikeda and Yasushi Sasajima, "Simulation of the Si precipitation process in Mg₂Si using a phase-field kinetic model", Materials Transactions, Vol. 57 (6) pp. 922 - 926 (2016).
- 8) 永野隆敏, 篠嶋 妥, 伊藤吾朗, "第一原理計算による Al-Zn-Mg 合金中の水素の存在位置の解析", 軽金属 第 66 巻 (7), pp. 1 - 6 (2016).
- 9) リュウ ビン, 篠嶋 妥, 岩瀬彰宏, "熱的照射下にある Al-Cu 合金における θ' 析出相の成長過程のフェーズフィールドシミュレーション", 日本金属学会誌, 第 80 巻(8), pp. 497 - 502 (2016).
- 10) T. Shinozaki, Y. Tomota, T. Fukino and T. Suzuki, "Microstructure Evolution during Reverse Transformation of Austenite from Tempered Martensite in Low Alloy Steel", ISIJ International, Vol.57, No.3, (2017) 掲載予定 (accepted Nov.18, 2016).
- 11) Ryuichi Yamada, Goroh Itoh, Akira Kurumada, Manabu Nakai, "Further Study on the Effect of Environment on Fatigue Crack Growth Behavior of 2000 and 7000 Series Aluminum Alloys", Materials Science Forum, Vol.879, pp.2153-2157(2017)
- 12) Toshiaki Manaka, Masaya Aoki, Goroh Itoh, "Thermal Desorption Spectroscopy Study on the Hydrogen Behavior in a Plasma-Charged Aluminum", Materials Science Forum, Vol.879, pp.1220-1225(2017)
- 13) Afshin Yousefi, Davood Ghasemi, Goroh Itoh, "Evaluation of Parameters Effect on Microstructure and Mechanical Properties in TIG Welding of A105 to A106 Steels", Materials Science Forum, Vol.879, pp.2234-2238(2017)
- 14) 車田 亮, 伊藤吾朗, 望月健吾, "6061 アルミニウム合金の疲労特性に及ぼす試験温度と試験環境の影響", 軽金属, Vol.67(1), pp.2-7(2017)
- 15) 真中俊明, 伊藤吾朗, "引張変形した Al-Zn-Mg 合金中の水素挙動", 日本金属学会誌, Vol.80(12), pp.726-730 (2016)
- 16) 山田隆一, 伊藤吾朗, 車田 亮, 中井 学, "2000 および 7000 系アルミニウム合金における疲労き裂進展挙動と水素脆化感受性", 日本金属学会誌, Vol.80(12), pp.745-752(2016)

【国際会議論文】

- 1) Masashi Nakamura, Yuki Takamori and Yuuma Iwamoto, Wear and Friction Characteristics of AlN/AlCrN Hybrid Coatings on Aluminum Alloy, Proc. of 10th Asia-Pacific Conference on Fracture and Strength 2016, JSME-MMD, 441, (2016)
- 2) Takanori Ebata, Hitoshi Yokota, Tetsuya Suzuki, "The Residual Stress Control of the Fastening Bolt for Bridges";, 2017 ACENS Asian Conference on Engineering and Natural Sciences, 2017 ACENS, 2017/01. 3
- 3) Kento Komatsu, Goroh Itoh, "Effect of metallographic structure on hydrogen embrittlement in an Al-8%Mg alloy", The 12th International Student Conference at Ibaraki University (ISCIU12), pp.103-104(2016)
- 4) Akira Hashimoto, Goroh Itoh, "Behavior of hydrogen in some plasma-charged metals", The 12th International Student Conference at Ibaraki University (ISCIU12), pp.166-167(2016)

【解説,その他】

- 1) 伊藤吾朗, 水素用アルミニウム合金の使用環境と国際標準化に向けた試験方法, 材料と環境, Vol.65(11), pp.432-437(2016)

【学会発表 (国内、国際)】

- 1) 橋本拓也, 中村雅史, 超格子構造 DLC 膜の熱電特性評価, 第 24 回日本機械学会茨城講演会, 2016/8/26
- 2) 高森悠紀, 中村雅史, DLC/AlN 複合表面改質を施した A7075 合金の疲労信頼性評価, 第 24 回日本機械学会茨城講演会, 2016/08/26
- 3) 高森悠紀, 中村雅史, 硬さ傾斜構造化 Hybrid 表面改質による A7075 合金の摩擦耗特性の改善, 軽金属学会関東支部第 5 回若手研究者ポスター発表会, 2016/08/29
- 4) 中村雅史, 高森悠紀, DLC/AlN 複合表面改質を施した A7075 合金の疲労特性, 軽金属学会第 131 回秋期大会, 2016/11/05(2016/11/05-06)
- 5) 佐藤涼平, 増井聖弥, 岩瀬謙二, 強塑性加工による Al-Cr 合金の組織変化と力学的特性の相関, 日本金属学会 2017 年春期大会, 2017/3/15
- 6) 増井聖弥, 佐藤涼平, 岩瀬謙二, Ce₂Ni₇-type La₂Co₇ の水素吸蔵放出特性と結晶構造, 日本金属学会 2017 年春期大会, 2017/3/15
- 7) リュウ ビン, 池田輝之, 篠嶋 妥, Mg₂Si 合金における Si 析出相の成長過程に及ぼす外部応力の影響, 軽金属学会第 129 回秋期大会(講演番号 P19), 2016/11/5
- 8) 江口 遼, 篠嶋 妥, Ahmad Ehsan, Si 系熱電材料の性能向上のための計算機実験, 第26回日本 MRS 年次大会(講演番号 D4-P19-019), 2016/12/19
- 9) 神永龍一, 篠嶋 妥, 石川法人, CeO₂ の照射による半球状物体形成過程の計算機実験, 第26回日本 MRS 年次大会(講演番号 D4-P19-009), 2016/12/19
- 10) 布施敏志, 永岡辰也, 鈴木徹也, フェライト鋼のひずみ時効硬化, 第 24 回日本機械学会茨城講演会, 2016/8/26
- 11) 横尾有紀, 平澤愛依, 鈴木徹也, 工藤弘之, 光井 啓, AC4CH アルミニウム鋳造材の 3 次元マイクロ組織観察, 第 24 回日本機械学会茨城講演会, 2016/08/26
- 12) 森井達也, 鈴木徹也, EBSD 法を用いた低炭素鋼における Lüders Front の観察, 日本鉄鋼協会春季講演大会, 2017/3/16

- 13) 青島翔平, 楊 帆, 伊藤吾朗, 車田 亮, 中島迪久, 秋篠亮太, 6000 系アルミニウム合金の耐湿潤ガス応力腐食割れ性に及ぼす合金組織の影響, 軽金属学会第 131 回秋期大会, 2016/11/5
- 14) 庄司章人, 伊藤吾朗, プラズマチャージしたアルミニウム合金の引張特性に及ぼすひずみ速度の影響, 軽金属学会第 131 回秋期大会, 2016/11/5
- 15) 石澤真悟, 楊 帆, 青島翔平, 伊藤吾朗, 車田 亮, 中井 学, Al-Mg-Si 系合金の粒界割れと粒界近傍の折出組織の関係, 軽金属学会第 131 回秋期大会, 2016/11/5
- 16) 井出一平, 伊藤吾朗, 6000 系アルミニウム合金の耐水素脆化性に及ぼす合金組織の影響, 軽金属学会第 131 回秋期大会, 2016/11/5
- 17) 真中俊明, 伊藤吾朗, プラズマチャージしたアルミニウム中の水素の挙動, 軽金属学会第 131 回秋期大会, 2016/11/5
- 18) 山田隆一, 鬼澤 海, 伊藤吾朗, 車田 亮, 中村雅史, 7000 系アルミニウム合金の疲労特性に及ぼす内在水素の影響”, 軽金属学会第 131 回秋期大会, 2016/11/5
- 19) 深沢周平, 伊藤吾朗, 中井 学, 引張変形した Al-Cu-Mg 合金の水素挙動に及ぼす組織の影響, 軽金属学会第 131 回秋期大会, 2016/11/5
- 20) 小松健人, 伊藤吾朗, 中井 学, Al-8%Mg 合金の水素脆化に及ぼす熱処理の影響, 軽金属学会第 131 回秋期大会, 2016/11/5
- 21) 山田隆一, 鬼澤 海, 伊藤吾朗, 車田 亮, 中村雅史, 6000 系アルミニウム合金のき裂発生に及ぼす第二相粒子の影響, 軽金属学会第 131 回秋期大会, 2016/11/5
- 22) 楊 帆, 青島翔平, 車田 亮, 伊藤吾朗, 秋篠亮太, 中島迪久, アルミニウム合金の耐湿潤ガス応用腐食割れ特性の評価, 軽金属学会第 131 回秋期大会, 2016/11/5
- 23) 伊藤吾朗, 燃料電池自動車用圧縮水素容器用アルミニウム合金の国際標準化の現状, 軽金属学会第 131 回秋期大会, 2016/11/5
- 24) 小泉彰平, 小林純也, 伊藤吾朗, 6000 系アルミニウム合金の引張特性に及ぼすひずみ速度および温度の影響, 軽金属学会第 131 回秋期大会, 2016/11/5
- 25) 太田佳宏, 車田 亮, 伊藤吾朗, 向江信悟, TiN 含有量を変化させた W-TiN 電極による1050アルミニウムのスポット溶接, 第 67 回塑性加工連合講演会, 2016/10/21
- 26) 南條郁弥, 伊藤吾朗, 小林純也, 薄肉内型を用いた高圧容器用スピニング加工法の開発, 第 67 回塑性加工連合講演会, 2016/10/21
- 27) 小野稜宙, 伊藤吾朗, 向江信悟, 車田 亮, 小林純也, 抵抗溶接用タングステン電極における割れ発生機構(第 2 報) - 加圧力の影響 -, 第 67 回塑性加工連合講演会, 2016/10/21
- 28) 中里駿一郎, 南條郁弥, 小林純也, 伊藤吾朗, アルミニウムのスピニング加工性に及ぼすダイの有無の影響, 茨城講演会, 2016/8/26
- 29) 鬼澤 海, 山田隆一, 伊藤吾朗, アルミニウム合金の疲労特性に及ぼす固溶マグネシウムの影響, 茨城講演会, 2016/8/26
- 30) Afshin Yousefi, Davood Ghasemi, Goroh Itoh, Evaluation of parameters effect on microstructure and mechanical properties in TIG welding of A105 to A106 steels, Thermec' 2016/6/1
- 31) Ryuichi Yamada, Goroh Itoh, Akira Kurumada, Manabu Nakai, Further study on the effect of environment on fatigue crack growth behavior of 2000 and 7000 series aluminum alloys, Thermec' 2016/6/1
- 32) Toshiaki Manaka, Masaya Aoki, Goroh Itoh, Thermal desorption spectroscopy study on the hydrogen behavior in a plasma charged aluminum, Thermec' 2016/6/1

- 33) 小松健人, 伊藤吾朗, 中井 学, Al-8%Mg 合金の時効および復元処理に伴う硬さ変化, 軽金属学会第 130 回春期大会, 2016/5/27
- 34) 庄司章人, 伊藤吾朗, プラズマチャージした Al-Zn-Mg および Al-Cu-Mg 合金の引張特性, 軽金属学会第 130 回春期大会, 2016/5/27
- 34) 中川恵友, 伊藤吾朗, 中井 学, 松浦洋司, 金谷輝人, 2000 系アルミニウム合金の疲労特性に及ぼす熱処理と微量元素の影響, 軽金属学会第 130 回春期大会, 2016/5/27
- 35) 井出一平, 伊藤吾朗, Al-Mg-Si 合金中の水素挙動に及ぼす銅添加の影響, 軽金属学会第 130 回春期大会, 2016/5/27
- 37) 青島翔平, 楊 帆, 伊藤吾朗, 車田 亮, 6000 系アルミニウム合金の耐湿潤ガス応力腐食割れ性に及ぼす合金組織の影響, 軽金属学会第 130 回春期大会, 2016/5/27
- 38) 太田佳宏, 車田 亮, 伊藤吾朗, 向江信悟, アルミニウムスポット溶接用 W-TiN 電極の特性, 軽金属学会第 130 回春期大会, 2016/5/27
- 39) 山田隆一, 伊藤吾朗, 車田 亮, 中井 学, 2000 および 7000 系アルミニウム合金の疲労き裂進展挙動に及ぼす調質の影響, 軽金属学会第 130 回春期大会, 2016/5/27
- 40) 小泉彰平, 小林純也, 伊藤吾朗, 高圧水素貯蔵容器用アルミニウム合金の高温引張特性に及ぼすひずみ速度の影響, 軽金属学会第 130 回春期大会, 2016/5/27
- 41) 真中俊明, 伊藤吾朗, 青木雅也, プラズマチャージした純アルミニウムの引張特性, 軽金属学会第 130 回春期大会, 2016/5/27
- 42) 楊 帆, 青島翔平, 車田 亮, 伊藤吾朗, ひずみゲージによる 6000 系アルミニウム合金の耐湿潤ガス応力腐食割れ特性の評価, 軽金属学会第 130 回春期大会, 2016/5/27
- 43) 望月健吾, 伊藤吾朗, 車田 亮, 東條千太, 谷津倉政仁, 7000 系アルミニウム合金の耐湿潤ガス応力腐食割れ特性, 軽金属学会第 130 回春期大会, 2016/5/27
- 44) 深沢周平, 伊藤吾朗, 中井 学, 引張変形した Al-Cu-Mg 合金の水素挙動に及ぼすひずみ速度の影響, 軽金属学会第 130 回春期大会, 2016/5/27
- 45) 小野稜宙, 伊藤吾朗, 向江信悟, 車田 亮, 小林純也, 抵抗溶接タングステン電極における割れ発生機構, 平成 28 年度塑性加工春季講演会, 2016/5/20
- 46) 南條郁弥, 小泉彰平, 小林純也, 伊藤吾朗, Al-Mg-Si 系合金のスピニング加工性, 平成 28 年度塑性加工春季講演会, 2016/5/20
- 47) 山田和晃, 伊藤伸英, 大森 整, ELID 研削による機能性を付与するチタン加工技術の構築, 軽金属学会第 131 回秋期大会, 2016/11/5
- 48) 橋本 明, 伊藤吾朗, プラズマ水素チャージした金属中の昇温脱離解析, 日本鉄鋼協会春季講演大会, 2017/3/16
- 49) 沼賀 慎, 小林純也, 倉本 繁, 高強度 Fe-Ni-Al-C 系合金の機械的特性に及ぼす炭素量の影響, 日本鉄鋼協会春季講演大会, 2017/3/16
- 50) A. Yousefi, G. Itoh, Effect of hydrogen on the mechanical properties of a duplex stainless steel, 日本鉄鋼協会春季講演大会, 2017/3/17

【受賞等】

- 1) 受賞者名: 布施敏志(指導教員: 鈴木徹也), 受賞名: 優秀講演賞, 授与者: 第 24 回日本機械学会茨城講演会, 受賞日: 2016/8/26

- 2) 受賞者名: 山田和晃(指導教員: 伊藤伸英), 受賞名: 優秀ポスター発表賞, 授与者: 軽金属学会, 受賞日:
2016/11/5

【特許】

- 1) 発明者: 大貫 仁、篠嶋 妥、永野隆敏、玉橋邦裕、千葉秋雄, 出願人: 国立大学法人茨城大学, 発明の名称:
「半導体集積回路装置及びその製造方法、並びに該半導体集積回路装置に使用する低抵抗率銅配線の探索方法」, 特許第 6080009 号, 平成29年1月27日登録.

【競争的資金獲得】

1. 申請した競争的資金等の外部資金

- 1) 日本学術振興会 研究成果の社会還元・普及事業 ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～
KAKENHI, 「金属中の水素を観る」, 500 千円

2. 申請した科学研究費補助金

- 1) 基盤研究(C), 「量子ビームによる水素貯蔵材料の静的・動的構造変化のその場観察」, 3,670 千円, 2017 年度～
2019 年度, 研究代表者: 岩瀬謙二
2) 科学研究費 基盤研究(C) 「歪エネルギー駆動による超微細 Cu 配線の結晶粒粗大化プロセス開発」3,200 千円,
平成 28 - 30 年度, 研究代表者: 篠嶋 妥
3) 科学研究費 基盤研究(C) 「粒界析出組織制御によるアルミニウム合金の信頼性の向上」1,965 千円, 平成 29 - 31
年度, 研究代表者: 伊藤吾朗

3. 採択された競争的資金等の外部資金

- 1) NEDO からの受託研究, 「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、
国際基準調和・国際標準化に関する研究開発／自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究
開発プロジェクト」, 4,073 千円(2016 年度実績, 間接経費 15%を含む), 2013 年度～2017 年度, 研究代表者: 伊藤吾
朗
2) ISMA(新構造材料研究組合)からの受託研究, 「革新的新構造材料等研究開発／計測解析評価研究／軽量金属材
料プロジェクト」, 4,675 千円(2016 年度実績, 間接経費 15%を含む), 2013 年度～2017 年度, 研究代表者: 伊藤吾朗
3) 日立金属(株)との共同研究, 「電線・端子用アルミ合金の検討」, 1,000 千円(間接経費を含まず), 2016 年度, 研究
代表者: 伊藤吾朗
4) 日本学術振興会からの受託事業 ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～KAKENHI, 「金属中
の水素を観る」, 317 千円, 2016 年度, 研究代表者: 伊藤吾朗
5) 公益財団法人軽金属奨学会からの寄付金, 「5000 系アルミニウム合金中の水素挙動に及ぼす調質条件の影響」,
250 千円, 2016 年度, 研究代表者: 伊藤吾朗
6) 日本タングステン(株)からの寄付金, 「W, Mo 系抵抗溶接電極材の消耗メカニズム解析に関する研究」, 500 千円,
2016 年度, 研究代表者: 伊藤吾朗
7) 一般財団法人大阪科学技術センターからの受託研究, 「7000 系アルミ合金製ライナーによる複合蓄圧器の充填効
率とサイクル性能の向上」, 439 千円(間接経費を除く), 2016 年度, 研究代表者: 車田 亮

- 8) トーカロ(株)との共同研究,「プレス金型用 TD 皮膜の耐久性評価」, 900 千円, 2016 年度, 研究代表者: 西野創一郎
- 9) オリエンタルモーター(株)との共同研究,「電磁鋼板精密加工技術の応用研究」, 525 千円, 2016 年度, 研究代表者: 西野創一郎
- 10) マニー(株)との共同研究,「タングステン線の冷間加工による形成方法」, 525 千円, 2016 年度, 研究代表者: 西野創一郎

4.採択された科学研究費補助金

- 1) 科学研究費 基盤研究(C),「ドライ・ウェットプロセス融合によるナノドット DLC 皮膜の創製と構造制御」, 3,700 千円, 2016 年度～2018 年度, 研究代表者: 中村雅史
- 2) 科学研究費 基盤研究(C)「歪エネルギー駆動による超微細 Cu 配線の結晶粒粗大化プロセス開発」1,400 千円, 平成 28 年度, 研究代表者: 篠嶋 妥
- 3) 科学研究費 挑戦的萌芽研究,「低次元制御量子ナノ構造をもつバルク熱電材料の創製」420 千円, 平成 28 年度, 研究代表者: 池田輝之
- 4) 科学研究費 基盤研究(C)「高速重イオン照射によって形成された表面ナノ構造の直接観察」1,00 千円, 平成 28 年度, 研究代表者: 石川法人
- 5) 科学研究費 基盤研究(B)「高エネルギー非平衡状態を利用した熱電材料のナノ構造化と新機能」30 千円, 平成 28 年度, 研究代表者: 池田輝之

茨城大学戦略的研究

「革新的新構造材料の展開」

茨城大学工学部附属塑性加工科学教育研究センター

2016年度報告書

発行日 平成29年4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: 0294-38-5023 Fax: 0294-38-5047

※禁無断転載

茨城大学工学部附属教育研究センター

<http://www.eng.ibaraki.ac.jp/research/centers/index.html>

塑性加工科学教育研究センター

<http://www.eng.ibaraki.ac.jp/research/centers/plastic/index.html>