

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2010～2014

課題番号：22102001

研究課題名（和文）総括班：バルクナノメタル新学術領域研究の連携的な運営と統括

研究課題名（英文）Management of Collaborative Research Works within the Bulk Nanostructure Metals Project

研究代表者

辻 伸泰（TSUJI, Nobuhiro）

京都大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：30263213

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 30,500,000円

研究成果の概要（和文）：本総括班の活動により、新学術領域内の異なる班・研究室間の連携が担保され、新学術領域研究ならではの共同研究によって、バルクナノメタルに関する優れた研究成果を数多く輩出することに寄与できた。領域代表者の元に事務局を設置し、産業界及び学界における6名の有識者からなるアドバイザリーボードを設置した。領域の目的と研究成果を発信するためのホームページを開設し、ニュースレターを発行した。国際ワークショップを開催し、海外の研究者からも本プロジェクトに対する高い評価を得ることができた。複数の共通試料（合金）を作製、配布し、共同研究をコーディネートするなど、領域全体の研究ポテンシャルを向上させることができた。

研究成果の概要（英文）：The activities of this management group could greatly support the collaborative works between different groups and researchers within the Bulk Nanostructure Metals project, leading to a significant success of the project. The secretariat at Kyoto University as well as advisory board composed of six specialist in academia and industries were organized in the first year. English and Japanese home pages were settled, and newsletters were issued and distributed. International workshop was held in the third year, and another workshop is now planned to be held in August 2015, which could have positive evaluations from international scientists in the field of materials science and engineering. Some common alloys were designed, produced and distributed for enhancing collaborations within the project. All these efforts could increase the activities of the project.

研究分野：研究融合、金属材料学、材料強度学、材料組織学

キーワード：構造用金属材料 ナノ結晶 超微細粒 結晶粒界 力学特性 連携 成果発信 共通試料

### 1. 研究開始当初の背景

現代社会においては、様々な金属・合金材料が、その多様な個性を生かして多量に用いられており、高度科学技術社会は金属材料なしには成り立たない。金属材料の最大の特徴は、高い強度を有しながら、脆く壊れることがない(ねばく、延性・靱性を有している)点にあり、その多くは力学的な特性を期待して構造材料として使用されている。科学技術の発達とともに、構造用金属材料に対する要求はますます厳しくなっている。特に環境・資源・エネルギー問題の克服が求められる現在、従来のように新たな元素を加えた安易な合金化による特性の向上といった材料開発手法では、多面化した社会の要求に応えることができない。すなわち、従来のメタラジであるいは材料学の延長線上にある解決法ではなく、金属材料科学の不連続的、飛躍的な発展が必要とされている。本提案が取り扱うバルクナノメタル (Bulk Nanostructured Metals)、すなわち「マトリクスを構成する結晶粒や相が 1 μm 以下のサイズを有する均一なバルク状金属系材料」は、化学組成上は従来の金属と大きく変わらないにもかかわらず、金属材料学の飛躍的な発展を可能とする画期的な新材料となりうるものである。そうしたバルクナノメタルの新たな学術領域を開拓し確立するために、新学術領域「バルクナノメタル ～常識を覆す新しい構造材料の科学」が開始された。

### 2. 研究の目的

本総括班の目的は、新学術領域研究「バルクナノメタル」において多様な研究者が行なう新たな視点・手法による共同研究を整理・統合し、適切にベクトルを揃えて方向付けることによって、バルクナノメタルが示す新規な物性・特性を明らかにしてサブミクロン領域に潜む新たな材料科学の学術領域を打ち立てるといふ、領域全体の目標の達成に寄与することである。本領域内の各研究組織間の連携を密にし、多様な研究者を統合して、研究グループ間の共同研究をとりもち、研究プロジェクト全体を活性化させる。また、種々の企画を通じて本領域により得られた研究成果を社会に発信する役割も担う。

### 3. 研究の方法

本総括班は、研究活動を行うものではない。6つの計画研究班、および2年目からは公募班をも含む領域内の全研究グループの研究進捗状況を把握し、領域全体の方向性を見据えた研究指針を打ち立てて、領域の構成員に共通認識を持たせつつ、研究グループ間の効果的な連携を促して、有機的かつ効果的にプロジェクトを推進する。総括班は定期的に会合を持ち、各計画研究グループの研究進捗情報を互いに報告するとともに、領域全体、あるいはグループごとの研究会、報告会を企画する。また、領域内の多くのメンバーが取り

扱うことのできる共通母合金を設定し、その作製を手配する。公募班を含めた領域全体の活動を俯瞰・把握し、リーダーシップを発揮して、プロジェクトを成功に導く。さらに、領域内のポスドク・学生を含む若手研究者の人材育成を目的とした企画立案を行なう。

### 4. 研究成果

本総括班 X00 の活動により、新学術領域内の異なる班・異なる研究室間の連携が担保され、新学術領域研究ならではの共同研究によって、バルクナノメタルに関する優れた研究成果を数多く輩出することに寄与できた。

具体的には、1年目に領域代表者の元に事務局を設置し、産業界及び学界における6名の有識者からなるアドバイザリーボード(評価グループ)を設置した。領域の目的と研究成果を発信するためのホームページ(和文及び英文)を開設し、対外的な成果公表と、領域内の情報交換に役立てた。活動内容をレポートするニュースレター(英語・PDF版)を期間中3回発行し、現在は終了に伴う最終号を準備中である。総括班の各研究者がそれぞれ担当する学会を中心に、バルクナノメタルに関する研究企画を立ち上げ、研究成果の周知と啓蒙に努めた。その結果、幅広い学会分野にバルクナノメタル研究が浸透し、例えば異金属学会では「バルクナノメタル」の名前を冠した常設セッションが春秋の定期講演大会で設けられるなど、新しい学術領域の確立に貢献できた。第3年度に国際ワークショップを京都で開催し、海外の研究者からも本プロジェクトに対する高い評価を得ることができた。2015年8月には、プロジェクトを総括する第2回の国際ワークショップを行う予定である。領域全体の定期的な成果報告会に加え、異なる計画班や公募班の間での勉強会・セミナーは極めて数多く行われ、自発的な連携研究を活性化させることができた。各研究室では多くの院生がバルクナノメタル研究に携わり、多大な教育効果を上げることができたほか、本プロジェクトに携わった多くの若手研究者が昇任あるいは上位ポジションの獲得を行うことができた。総括班 X00 の予算により、複数の共通試料(合金)を作製、配布し、連携研究の遂行に役立てた。公募班その他の新規研究者の共同研究をコーディネートし、領域全体の研究ポテンシャルを向上させることができた。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計21件)

- ① Y.Okitsu, N.Takata and N.Tsuji, Dynamic Deformation Behavior of Ultrafine Grained Iron Produced by Accumulative Roll Bonding and Annealing, Scripta Mater., 査読有、64巻、2011、896-899
- ② T.Kunimine, T.Fujii, S.Onaka, N.Tsuji and

- M.Kato, Effects of Si Addition on Mechanical Properties of Copper Severely Deformed by Accumulative Roll-Bonding, *J. Mater. Sci.*, 査読有、46 巻、2011、4290-4295 DOI: 10.1007/s10853-010-5235-4
- ③ J.Yanagimoto, J.Tokutomi, K.Hanazaki and N.Tsuji, Continuous Bending-Drawing Process to Manufacture the Ultrafine Copper Wire with Excellent Electrical and Mechanical Properties, *CIRP Annals Manufacturing Technology*, 査読有、60 巻、2011、279-282、DOI:10.1016/j.cirp.2011.03.148
- ④ K.Hase and N.Tsuji, Effect of Initial Microstructure on Ultrafine Grain Formation through Warm Deformation in Medium Carbon Steels, *Scripta Mater.*, 査読有、65 巻、2011、404-407、DOI: 10.1016/j.scriptamat.2011.05.018
- ⑤ P.P.Bhattacharjee, N.Tsuji and R.K.Ray, Effect of Initial Grain Size on the Evolution of  $\{001\}<100>$  Texture in Severely Deformed and Annealed High Purity Nickel, *Metall. Mater. Trans. A*, 査読有、9 巻、2011、2769-2780、DOI: 10.1007/s11661-011-0674-3
- ⑥ N.Kamikawa and N.Tsuji, Effect of Deformation Temperature on Microstructure Evolution in ARB Processed Ultralow Carbon IF Steel, *Mater. Trans.*, 査読有、53 巻、2011、33-37、DOI: 10.2320/matertrans.MD201115
- ⑦ J.Tokutomi, K.Hanazaki, N.Tsuji and J.Yanagimoto, Significant change in mechanical properties of deep drawn ultrafine grained copper wire by additional deformation, *Mater. Trans.*, 査読有、53 巻、2011、116-122、DOI: 10.2320/matertrans.MD201114
- ⑧ K.Hanazaki, J.Tokutomi, J.Yanagimoto and N.Tsuji, Novel Process for Fabricating Ultrafine Grained Copper Wire Having High Tensile Ductility and High Electric Conductivity, *Mater. Sci. Eng. A*, 査読有、534 巻、2012、720-723、DOI: 10.1016/j.msea.2011.12.030
- ⑨ 辻 伸泰、アルミニウムの巨大ひずみ加工に伴う超微細粒組織の形成機構、*軽金属*、査読有、62 巻、2012、392-397
- ⑩ N.Tsuji, Possibilities to Manage Both High Strength and Good Ductility in Nanostructured Metals, *Proc. of the 33rd Riso Int. Symp. on Mater. Sci.: Nanometals ; Status and Perspective*, 査読有、33 巻、2012、143-160
- ⑪ Dmitry Orlov, Yoshikazu Todaka, Minoru Umemoto, YanBeygelzimer and Nobuhiro Tsuji, Comparative Analysis of Plastic Flow and Grain Refinement in Pure Aluminum Subjected to Simple Shear-Based Severe Plastic Deformation Process, *Mater. Trans.*, 査読有、53 巻、2012、17-25、DOI: 10.2320/matertrans.MD201113
- ⑫ Ehsan Borhani, Hamidreza Jafarian, Daisuke Terada, Horiki Adachi and Nobuhiro Tsuji, Microstructural Evolution during ARB Process of Al-0.2mass%Sc Alloy Containing Al<sub>3</sub>Sc Precipitates in Starting Structures, *Mater. Trans.*, 査読有、53 巻、2012、72-80、DOI: 10.2320/matertrans.MD201125
- ⑬ Ken-ichi Hanazaki, Jun-ichiro Tokutomi, Jun Yanagimoto and Nobuhiro Tsuji, Significant change in mechanical properties of deep drawn ultrafine grained copper wire by additional deformation, *Mater. Sci. Eng. A*, 査読有、534 巻、2012、720-723、DOI: 10.1016/j.msea.2011.12.030
- ⑭ Yoshitaka Okitsu and Nobuhiro Tsuji, Effect of Ferrite Grain Size on Dynamic Tensile Properties of Ultrafine Grained Low Carbon Steels with Various Microstructures, *Mater. Trans.*, 査読有、55 巻、2014、78-84、DOI: 10.2320/matertrans.MA201323
- ⑮ A.Shibata, S.Daido, D.Terada and N.Tsuji, Microstructures of Pearlite and Martensite Transformed from Ultrafine-Grained Austenite Fabricated through Cyclic Heat Treatment in Medium Carbon Steels, *Mater. Trans.*, 査読有、54 巻、2013 年、1570-1574、DOI: 10.2320/matertrans.MH201312
- ⑯ K. Oh-ishi, K. Edalati, H. S. Kim, K. Hono, and Z. Horita, High-pressure torsion for enhanced atomic diffusion and promoting solid-state reactions in the aluminum-copper system, *Acta Mater.* 査読有、61 巻、2013、3482-3489、DOI: 10.1016/j.actamat.2013.02.042
- ⑰ S. Gao, M. Chen, M. Joshi, A. Shibata, N. Tsuji, Yielding Behavior and Its Effect on Uniform Elongation in IF Steel with Various Grain Sizes, *J. Mater. Sci.*, 査読有、49 巻、2014、6536-6542、DOI: 10.2320/matertrans.MA201317
- ⑱ Y. Ikoma, Y. Ejiri, K. Hayano, K. Saito, Q. Guo and Z. Horita, Nanograin formation of GaAs by high-pressure torsion, *Philosophical Magazine Letters*, 査読有、94 巻、2014、1-8、DOI: 10.1080/09500839.2013.852265
- ⑲ Y.Meng, S. Fukushima, S.Sugiyama and J.Yanagimoto, Cold Formability of AZ31 Wrought Magnesium Alloy Undergoing Semisolid Spheroidization Treatment, *Materials Science and Engineering A*, 査読有、624 巻、2015、148-156
- ⑳ S. Okubo, H. Abe, Y. Miyajima, T. Fujii, S. Onaka, and M. Kato, Effects of Temperature and Strain Rate on Plastic Deformation of

Ultrafine-Grained Copper Prepared by Equal-Channel Angular Pressing, Mater. Trans., 査読有、55 巻、2014、1525-1530  
DOI : 10.2320/matertrans.M2014172

- ②1 T. Shimokawa and T. Tsuboi, Atomic-scale intergranular crack-tip plasticity in tilt grain boundaries acting as an effective dislocation source, Acta Mater., 査読有、87 巻、2015、233-247  
DOI: 10.1016/j.actamat.2015.01.002

[学会発表] (計 24 件)

- ① 辻 伸泰、バルクナノメタルの特異な力学特性と組織 (招待講演)、日本金属学会・鉄鋼協会中四国支部、2010.6.18、岡山理科大学
- ② Nobuhiro Tsuji, Role of Grain Boundaries in Mechanical Properties of Bulk Nanostructured Metals (招待講演)、Int. Conf. on Intergranular and Interphase Boundaries in Materials (iib 2010)、2010.7.2、鳥羽
- ③ 辻 伸泰、常識を覆す新しい構造材料としてのバルクナノメタル ～実験により得られた興味深い力学挙動と計算に期待するもの (招待講演)、金研シンポジウム「計算材料科学の展望：次世代スパコンによる飛躍を目指して」、2010.7.26、東北大学金属材料研究所
- ④ 辻 伸泰、常識を覆す新しい社会基盤材料としてのバルクナノメタルの可能性 (招待講演)、日本鉄鋼協会・日本金属学会関西支部 材料開発研究会 平成 22 年度第 1 回研究会「社会基盤材料の新展開」、2010.9.15、クリエイション・コア東大阪
- ⑤ 辻 伸泰、バルクナノメタル：常識を覆す構造用金属材料 (招待講演)、京都産学公連携フォーラム 2010、2010.11.12、京都工業会館
- ⑥ N.Tsuji、Possibilities to Manage Both Strength and Ductility in Nanostructured Steels、Seminar at Seoul National University (招待講演)、2011/5/13、ソウル (韓国)
- ⑦ N.Tsuji、Macro-, Meso- and Nano-scale Analysis of Deformation Behaviors in Nano-structured or Hetero-structured Metallic Materials、The 4th Int. Workshop on Materials Behavior at Micro- and Nano-Scale (招待講演)、2011/5/19、西安 (中国)
- ⑧ 辻 伸泰、バルクナノメタルの特異な力学特性：転位運動に対する粒界の役割 (招待講演)、第 1 回マルチスケールマテリアルモデリングシンポジウム、2011/5/23、大阪大学コンベンションセンター
- ⑨ N.Tsuji, T.Maekawa, D.Terada and N.Takata、Acceleration of Grain

Refinement by Repeating Severe Plastic Deformation and Phase Transformation in Fe-Ni-C Alloys、Thermec 2011: Severe Plastic Deformation (招待講演)、2011/8/4、ケベック (カナダ)

- ⑩ N.Tsuji、Possibilities to Manage Both Strength and Ductility in Bulk Nanostructured Steels、Int. Symp. on Material Science and Innovation for Sustainable Society (招待講演)、2011/11/28、ホテル阪急エキスポパーク (大阪府)
- ⑪ Nobuhiro Tsuji、Unique Mechanical Properties of Bulk Nanostructured Metals、Int. Conf. on Strength of Metals and Alloys (招待講演)、2012 年 08 月 20 日～2012 年 08 月 24 日、Bangalore, India
- ⑫ Nobuhiro Tsuji、Fabrication of Bulk Nanostructured Metals by Severe Plastic Deformation or by Processes without Severe Plastic Deformation、Int. Conf. on Advanced Materials Processing Technology (招待講演)、2012 年 09 月 24 日～2012 年 09 月 26 日、Wollongong, Australia
- ⑬ 辻 伸泰、巨大ひずみ加工あるいは強加工を必要としないプロセスによるバルクナノメタルの創製、粉体粉末冶金協会平成 24 年度秋期大会 (招待講演)、2012 年 11 月 22 日、粉体粉末冶金協会 平成 24 年度秋期大会
- ⑭ 辻 伸泰、アルミニウムの巨大ひずみ加工による超微細粒組織の形成におよぼす温度と歪み速度の影響、軽金属学会春期講演大会 (招待講演)、2012 年 05 月 19 日、九州大学伊都キャンパス
- ⑮ N. Tsuji、Fundamental Understanding on Unique Mechanical Properties of Bulk Nanostructured Metals、International Workshop on Bulk Nanostructured Metals (招待講演)、2012 年 09 月 26 日～2012 年 09 月 29 日、京都大学
- ⑯ Nobuhiro Tsuji, Daisuke Terada, Motoki Hishida and Atsushi Ito、Dynamic Grain Growth at Room Temperature in Bulk Nanostructured Aluminum、5th International Conference on Recrystallization & Grain Growth (招待講演)、2013 年 05 月 05 日～2013 年 05 月 10 日、Sydney, Australia
- ⑰ A.Shibata, T.Murata, H.Takahashi, N.Tsuji and A.Ueno、Crystallographic Analysis of Hydrogen-Related Fracture in Martensitic Steels、(KIM-JIM Symposium) 日本金属学会秋期講演大会 (招待講演)、2013 年 09 月 17 日～2013 年 09 月 19 日、金沢大学
- ⑱ 寺田大将、柴田航佑、辻伸泰、超微細粒純チタンが示す特異な力学特性、第 57 回日本学術会議材料工学連合講演会 (招待講演)、2013 年 11 月 25 日～2013 年

- 11月26日、京都テルサ
- ⑱ N.Tsuji、Possibilities of Nanostructured Metals as Advanced Structural Materials, The 2nd V4-JST Workshop on Advanced Materials (招待講演)、2014年09月17日～2014年09月18日、Warsaw, Poland
- ⑳ S.Ogata、A.Ishii、Y.-J. Wang、Adaptive-boost molecular dynamics simulation of thermally activated motions of crystal imperfections、The 9th General Meeting of ACCMS-VO (招待講演)、2014年12月19日～2014年12月21日、Okinawa, Japan
- ㉑ Zenji Horita、Production of Bulk Nanostructured Materials with Enhanced Functionality Using High-Pressure Torsion、XII International Conference on Nanostructured Materials (NANO 2014) (招待講演)、2014年07月13日～2014年07月18日、Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
- ㉒ 林 諭、杉山澄雄、柳本 潤、強間強せん断変形および圧縮変形によるマイクロ・ナノ組織変化の物理シミュレーション、第65回塑性加工連合講演会、2014年10月11日～2014年11月13日、岡山大学津島キャンパス
- ㉓ 宮嶋 陽司、上田 太郎、足立 大樹、藤居 俊之、尾中 晋、加藤 雅治、UFG-Niの焼鈍に伴うビッカース硬さおよび蓄積エネルギーの変化と組織の関係 (招待講演)、日本金属学会秋季講演大会、2014年09月24日～2014年09月26日、名古屋大学
- ㉔ T.Shimokawa、Atomic simulation of the role of the interface on mechanical properties of pearlite steel、The 4th International symposium on steel science &#8211; ISSS2014 (招待講演)、2014年11月03日～2014年11月06日、京都

[図書] (計5件)

- ① Edited by Sung H.Whang Chapter 2: N.Tsuji、Woodhead Publishing Ltd., Oxford-Cambridge-Philadelphia-New Delhi、Nanostructured Metals and Alloys: Processing, microstructure, mechanical properties and applications、2011.
- ② N.Tsuji、Woodhead Publishing Ltd.、Nanostructured Metals and Alloys: Processing, microstructure, mechanical properties and applications、2011.
- ③ 辻 伸泰、(社)日本鉄鋼協会、「鉄鋼材料の加工硬化特性への新たな要求と基礎研究 -加工硬化研究の最前線」第1章 加工硬化基礎  
1-8 巨大ひずみ加工により作製された超微細結晶粒鋼の加工硬化特性、2011、8.
- ④ N.Tsuji、Springer-Verlag Berlin Heidelberg

and Metallurgical Industry Press、Advanced Steels The Recent Scenario in Steel Science and Technology、2011、511

- ⑤ 辻 伸泰、朝倉書店、鉄の事典、2014.

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

名称: Mg合金とその製造方法  
発明者: 佐々木泰祐、宝野和博、F.エルセイド、大久保忠勝、鎌土重晴  
権利者: 物質・材料研究機構  
種類: 特許  
番号: 特願2013-209740  
出願年月日: 2013年10月05日  
国内外の別: 外国

名称: 潤滑油および潤滑システム  
発明者: 市橋俊彦、池田樹、戸高義一、梅本実、北川寛之、戸田健一  
権利者: 出光興産株式会社、国立大学法人豊橋技術科学大学  
種類: 特許  
番号: 特願2013-183481  
出願年月日: 2013年09月04日  
国内外の別: 国内

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.bnm.mtl.kyoto-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1)研究代表者

辻 伸泰 (TSUJI, Nobuhiro)

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 30263213

(2)研究分担者

尾方 成信 (OGATA, Narinobu)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 20273584

堀田 善治 (HORITA, Zenji)

九州大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 20173643

柳本 潤 (YANAGIMOTO, Jun)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号: 90220194

加藤 雅治 (KATO Masaharu)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授

研究者番号: 50161120

下川智嗣 (SHIMOKAWA Tomotsugu)  
金沢大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：40361977

(3)連携研究者  
なし