

令和 6 年 6 月 2 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K18888

研究課題名（和文）炭素鋼における高温相オーステナイトの結晶粒超微細化への挑戦

研究課題名（英文）Challenging Ultra Grain Refinement of High Temperature Phase (Austenite) in Carbon Steels

研究代表者

辻 伸泰 (Tsuji, Nobuhiro)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：30263213

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：鋼の高温相・オーステナイトの結晶粒超微細化に挑戦し、平均粒径  $1\ \mu\text{m}$  以下のオーステナイト組織を作製することを試みた。マルテンサイト相の急速加熱と焼入れの繰り返し、巨大ひずみ加工した低温相の急速加熱・急速冷却、A3温度直上での強加工による結晶粒超微細化を試み、いずれの場合にもオーステナイトの平均粒径を  $1\ \mu\text{m}$  以下に超微細化することに成功した。またこの結果をチタン合金および純コバルトに応用し、高温相の結晶粒微細化を達成できた。また合金によっては、高温相の結晶粒超微細化によって高温相を低温でも安定化できること、またそれにより力学特性が向上することを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

炭素鋼の高温相であるオーステナイトの結晶粒超微細化は、学術的にも、また将来の実用を考えた上でも意義は大きい。鋼は最も大量に用いられている重要な構造用金属材料である。鋼が重用される理由は、安価であることに加え、多様なマイクロ組織に対応して幅広い強度その他の力学特性が実現できる点にある。幅広いマイクロ組織は、フェライト変態、パーライト変態、マルテンサイト変態などの多様な相変態により形成されるが、これらの母相はいずれもオーステナイト相である。母相オーステナイトが結晶粒超微細化されれば、そこから生じる変態生成物の組織はさらに微細になる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：We have challenged the ultra-grain refinement of the austenite phase, which is the high-temperature phase of steels. We attempted repeated rapid heating and quenching of the martensite phase, rapid heating and rapid cooling of the specimens with low temperature microstructures after severe plastic deformation, and heavy working just above the A3 temperature, and in all cases succeeded in producing ultra fine grained austenite with average grain sizes less than  $1\ \mu\text{m}$ . We also applied the results to titanium alloys and pure cobalt, and succeeded in grain refinement of the high-temperature phases. We have also found that the high-temperature phases can be stabilized even at room temperatures by grain refinement in some alloys, which could improve their mechanical properties significantly.

研究分野：金属材料学

キーワード：バルクナノメタル 鉄鋼材料 オーステナイト 構造用金属材料 高温相 加工熱処理 力学特性 動的相変態

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

我々の社会で用いられているバルク金属材料のほとんどは、多数の結晶粒から成る多結晶体である。結晶方位が異なる隣接粒間の境界である結晶粒界 (Grain Boundary) では、粒内の規則的な配列とは異なる原子構造が局部的に形成されている。従来多結晶材料における最小平均粒径は約  $10\ \mu\text{m}$  程度であり、従来多結晶材における粒界の割合は極めて少ない。これに対して平均粒径を  $1\ \mu\text{m}$  以下に超微細化したバルク多結晶材料 (バルクナノメタル: Bulk Nanostructured Metals) においては、粒界の体積率は急激に増大する。前述のように粒界領域は粒内とは異なる原子構造を有するため、バルクナノメタルは超高強度などの従来金属よりもはるかに高い強度や大きく異なる変形現象を示す。バルクナノメタルの研究は世界中で活発に行われ、多くの金属のバルクナノメタル化が、巨大ひずみ加工 (Severe Plastic Deformation: SPD) や新しい加工熱処理を適用して実現されてきた。

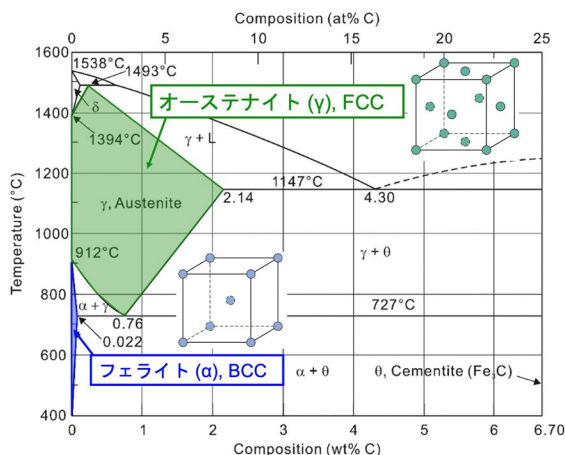


図1 炭素鋼 (Fe-C 合金) の状態図とオーステナイト相、フェライト相の単相領域。

鉄および炭素鋼は、室温を含む低温域では体心立方 (BCC) 構造のフェライト ( ) 相を、高温域では面心立方 (FCC) 構造のオーステナイト ( ) 相が安定となる (図1)。Ni や Mn などの合金元素を多量に含み室温でもオーステナイト相が安定となったオーステナイト鋼のバルクナノメタル化は達成されてきたが、炭素鋼の高温相・オーステナイトの結晶粒超微細化はほとんど研究が行われてこなかった。これは、原子拡散が活発となる高温では、転位の消滅 (回復) や再結晶・粒成長が短時間で進行し、超微細粒組織の形成・維持が困難であるためである。しかしオーステナイト相は、その後のマルテンサイト変態、ベイナイト変態、パーライト変態、フェライト変態などの母相組織であり、結晶粒超微細化が相変態挙動や最終組織、そしてその力学特性に及ぼすインパクトは極めて大きい。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、高温相であるため結晶粒超微細化が困難であった炭素鋼のオーステナイト相の結晶粒超微細化に挑戦し、平均粒径  $1\ \mu\text{m}$  以下のオーステナイト組織を作製する事である。中 Mn 低炭素鋼に対して巨大ひずみ加工した低温相の急速加熱・急速冷却、または、 $A_3$  温度直上での強加工による結晶粒超微細化を試みる。オーステナイトは鋼の熱処理の基本となる組織であり、超微細粒オーステナイトからの相変態という新しい研究分野が開拓される。また、卓越した力学特性を有する最終組織が実現できる可能性が高い。

### 3. 研究の方法

本研究の研究項目とタイムテーブルを右の表に示す。本研究では、3~6 wt% の Mn を含む中 Mn 低炭素鋼を用い、高

加工熱処理	研究項目	2022年度	2023年度
(A) 低温組織の巨大ひずみ加工と急速加熱・短時間逆変態	(i) Fe-3~6Mn-0.2Cへの加工熱処理適用	■	
	(ii) 組織と力学特性の解明		■
	(iii) Ti, Nb添加合金への発展		■
(B) $A_3$ 点直上でのねじり強加工による中高温 Grain Subdivision、動的再結晶	(i) Fe-3~6Mn-0.2Cへの加工熱処理適用	■	
	(ii) 組織と力学特性の解明		■
	(iii) Ti, Nb添加合金への発展		■
研究の総括: 高温オーステナイト相形成の可能性			■

温相オーステナイトの結晶粒超微細化に挑戦する。自動車など輸送機器の軽量化や建築構造物の巨大化に伴い、鉄鋼材料には超高強度と十分な延性・靱性が要求されるようになっているが、中 Mn 鋼はそれを実現する次世代高強度鋼の有力候補として注目されている。Mn はオーステナイト安定化元素であり、その添加によりオーステナイト単相領域の下限温度である  $A_3$  点 (純鉄では  $911^\circ\text{C}$ ) が低下する。例えば ThermoCalc を用いて我々が行った計算によれば、Fe-4Mn-0.2C の  $A_3$  点は  $752^\circ\text{C}$  である。これにより回復・再結晶・粒成長を抑制し、結晶粒超微細化が実現できる。第二年度には、最も有望な Fe-Mn-C 合金に微細炭窒化物形成元素である Ti や Nb を微量添加した鋼も使い、超微細粒組織のさらなる安定化を図る。

オーステナイトの結晶粒超微細化には、複数の加工熱処理法を用いる。具体的には以下の手法が考えられる。(A)低温組織に対して ARB 法や HPT 法による巨大ひずみ加工を施し、ソルトバスを用いた  $A_3$  点直上温度への急速加熱・短時間熱処理を行なって、超微細粒オーステナイト組織を実現する。(B) 相変態点直上温度で強加工を行い、中高温での Grain Subdivision あるいは動的再結晶による結晶粒超微細化を試みる。

得られた加工熱処理材に対して電解研磨や旧オーステナイト粒界を現出するエッチングを施した上で、光学顕微鏡、SEM-BSE、SEM-EBSD などで組織観察を行い、オーステナイト粒径と加工熱処理パラメータの相関を明らかにし、最適プロセス条件を確立する。超微細粒オーステナイトから得られたマルテンサイト等の組織を有する試料の材料試験を行い、力学特性に及ぼすオーステナイト粒径の影響を明らかにする。

#### 4. 研究成果

以下の手法による鋼の高温相オーステナイトの結晶粒微細化を試みた。

- (i) マルテンサイト相の急速加熱と焼入れの繰り返し
- (ii) 巨大ひずみ加工した低温相の急速加熱・急速冷却
- (iii)  $A_3$  温度直上での強加工による結晶粒超微細化

いずれの場合にもオーステナイトの平均粒径を  $1\mu\text{m}$  以下に超微細化することに成功した。

手法(i)ではマルテンサイト変態時に母相と結晶方位関係(K-S 関係)を維持しながら多数の方位のマルテンサイト相が各オーステナイト粒中に形成され、マルテンサイト組織は相変態ままで一種の微細粒組織になっていること、そしてそうしたマルテンサイトを急速加熱することによって逆変態オーステナイト組織も微細化することによるものであった。この過程を繰り返せばオーステナイトの平均粒径は微細化していったが、数回の繰り返しで結晶粒径は一定値に収束することが明らかとなった。微細粒オーステナイトから生成したマルテンサイトは優れた強度・延性・韌性バランスを示し、また耐水素脆性特性にも優れることを見出した。

手法(ii)によるオーステナイトの微細化は、巨大ひずみ加工に伴う Grain Subdivision 機構によって低温相が超微細化され、それを急速加熱することによって逆変態オーステナイトも微細化することによるものであった。

手法(iii)の場合には、 $A_3$  温度直上でオーステナイトに強加工を施すことによるオーステナイトの動的再結晶によりオーステナイトが微細化することが確認された。ただしこの場合のオーステナイトの微細化には限界があった。一方、さらに  $A_3$  温度以下の温度で加工を継続すると動的相変態が重畳することが明らかになった。高温での加工熱処理条件を適切に選択することにより、低炭素中 Mn 鋼においては平均粒径数百 nm の超微細粒フェライト組織が得られた。得られた超微細粒フェライト鋼は、高強度と大きな引張延性を兼ね備えていた。

上記の結果に基づき、チタン合金および純コバルトの高温相の超微細化にも挑戦した。チタン合金の場合には高温相は BCC 構造を有し、純コバルトの高温相は FCC 構造を有する。これら高温相の結晶粒微細化に手法(ii)を適用した。いずれの系の場合にも高温相の結晶粒超微細化に成功し、Ti-O 合金、Ti-Mo-O 合金、純コバルトにおいては結晶粒微細化した高温相の一部が室温でも残留すること、そして残留高温相を有する試料を室温で引張変形したところ、高い強度と大きな引張延性が両立することが明らかとなった。

また、手法(iii)において観察された知見に基づき、チタン合金およびジルコニア合金の動的相変態の研究にも着手した。いずれの場合にも、高温二相域で加工を行ったところ、加工開始時に二相が平衡量に達していたにもかかわらず、予期せぬ動的相変態現象が生じることを確認した。いずれの場合にも硬質相が軟質相に相変態する傾向が見られ、その機構を考察した。

本研究により得られた研究成果は、鉄鋼材料およびチタン/ジルコニウム合金やコバルト(合金)の相変態挙動と組織形成機構に新たな治験をもたらした点において学術的意義が高く、また実用材料の組織制御に及ぼすインパクトも大きい。特に炭素鋼の高温相であるオーステナイトの結晶粒超微細化は、学術的にも、また将来の実用を考えた上でも意義は大きい。鋼は最も大量に用いられている重要な構造用金属材料である。鋼が重用される理由は、安価であることに加え、多様なミクロ組織に対応して幅広い強度その他の力学特性が実現できる点にある。幅広いミクロ組織は、フェライト変態、パーライト変態、マルテンサイト変態などの多様な相変態により形成されるが、これらの母相はいずれもオーステナイト相である。母相オーステナイトが結晶粒超微細化されれば、そこから生じる変態生成物の組織はさらに微細になる可能性がある。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yan Chong, Reza Gholizadeh, Baoqi Guo, Tomohito Tsuru, Guohua Zhao, Shuhei Yoshida, Masatoshi Mitsuhashi, Andrew Godfrey, Nobuhiro Tsuji	4. 巻 257
2. 論文標題 Oxygen interstitials make metastable titanium alloys strong and ductile	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 119165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2023.119165	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Mao Wenqi, Gao Si, Gong Wu, Bai Yu, Harjo Stefanus, Park Myeong-Heom, Shibata Akinobu, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 256
2. 論文標題 Quantitatively evaluating respective contribution of austenite and deformation-induced martensite to flow stress, plastic strain, and strain hardening rate in tensile deformed TRIP steel	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 119139 ~ 119139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2023.119139	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Lavakumar Avala, Park Myeong-heom, Gholizadeh Reza, Ray Ranjit Kumar, Murayama Mitsuhiro, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 878
2. 論文標題 Unique microstructure formations during low-temperature partitioning after intercritical annealing in low alloy multi-phase TRIP steel and their mechanical behavior clarified by in-situ synchrotron X-Ray diffraction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 145214 ~ 145214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2023.145214	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Okada Kazuho, Shibata Akinobu, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 234
2. 論文標題 Characteristics and formation mechanism of serrated markings on the hydrogen-related quasi-cleavage fracture in as quenched low-carbon martensitic steel	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 115568 ~ 115568
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2023.115568	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Lavakumar Avala, Park Myeong-heom, Hwang Sukyoung, Adachi Hiroki, Sato Masugu, Ray Ranjit Kumar, Murayama Mitsuhiro, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 874
2. 論文標題 Role of surrounding phases on deformation-induced martensitic transformation of retained austenite in multi-phase TRIP steel	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 145089 ~ 145089
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2023.145089	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zheng Ruixiao, Gong Wu, Du Jun-ping, Gao Si, Liu Maowen, Li Guodong, Kawasaki Takuro, Harjo Stefanus, Ma Chaoli, Ogata Shigenobu, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 238
2. 論文標題 Rediscovery of Hall-Petch strengthening in bulk ultrafine grained pure Mg at cryogenic temperature: A combined in-situ neutron diffraction and electron microscopy study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 118243 ~ 118243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2022.118243	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Guo Baoqi, Mao Wenqi, Chong Yan, Shibata Akinobu, Harjo Stefanus, Gong Wu, Chen Huicong, Jonas John J., Tsuji Nobuhiro	4. 巻 242
2. 論文標題 Unexpected dynamic transformation from phase to phase in zirconium alloy revealed by in-situ neutron diffraction during high temperature deformation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 118427 ~ 118427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2022.118427	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Punyafu Jesada, Hwang Sukyoung, Ihara Shiro, Saito Hikaru, Tsuji Nobuhiro, Murayama Mitsuhiro	4. 巻 862
2. 論文標題 Microstructural factors dictating the initial plastic deformation behavior of an ultrafine-grained Fe <sub>22</sub> Mn-0.6C TWIP steel	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 144506 ~ 144506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2022.144506	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Chong Yan, Gholizadeh Reza, Tsuru Tomohito, Zhang Ruopeng, Inoue Koji, Gao Wenqiang, Godfrey Andy, Mitsuhashi Masatoshi, Morris J. W., Minor Andrew M., Tsuji Nobuhiro	4. 巻 14
2. 論文標題 Grain refinement in titanium prevents low temperature oxygen embrittlement	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-023-36030-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Lavakumar Avala, Yoshida Shuhei, Punyafu Jesada, Ihara Shiro, Chong Yan, Saito Hikaru, Tsuji Nobuhiro, Murayama Mitsuhiro	4. 巻 230
2. 論文標題 Yield and flow properties of ultra-fine, fine, and coarse grain microstructures of FeCoNi equiatomic alloy at ambient and cryogenic temperatures	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 115392 ~ 115392
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2023.115392	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計25件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 M. Muench · R. Gholizadeh · A. Kauffmann · N. Tsuji
2. 発表標題 Re-visiting the alloy design for the synthesis of fine-structured austenitic-martensitic composites in Fe-Mn-C system
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 2024 年春期講演大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Chong Yan, Gholizadeh Reza, Guo Baoqi, Tsuji Nobuhiro
2. 発表標題 Mechanistic origin of the grain size and oxygen interstitial effects on strain-induced ' ' martensitic transformation in Ti-12Mo alloy
3. 学会等名 日本金属学会 2024 年春期 (第 174 回)講演大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 鈴村 拓未、高 斯、吉田 周平、辻 伸泰
2. 発表標題 多結晶純コバルトの室温における FCC 高温相の安定化と強度・延性バランスの向上
3. 学会等名 日本金属学会 2024 年春期 (第 174 回)講演大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 LI XIANG、吉田 周平、CHONG YAN、辻 伸泰
2. 発表標題 Grain size dependence of deformation behavior and strengthening mechanisms in HfTiZr medium entropy alloy with HCP single phase
3. 学会等名 日本金属学会 2024 年春期 (第 174 回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 劉遠宏，高斯，朴明駿，辻 伸泰
2. 発表標題 Crystallographic characterization of deformation-induced martensitic transformation in ultrafine grained metastable austenitic steel
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 2023 年秋期 (第 186 回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 黄 錫永、加藤 宏和、朴 明駿、Reza Gholizadeh、辻 伸泰
2. 発表標題 超微細粒組織を有する高 Mn 鋼におけるリュウダース変形の調査
3. 学会等名 日本金属学会 2023年秋期 (第173回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴村 拓未, Gao Si, 吉田 周平, 辻 伸泰
2. 発表標題 その場放射光X線回折による多結晶コバルトの室温引張変形挙動の調査
3. 学会等名 日本金属学会 2023年秋期(第173回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuho Okada, Akinobu Shibata, Taisuke Sasaki, Hisashi Matsumiya, Kazuhiro Hono, Nobuhiro Tsuji
2. 発表標題 Effect of carbon segregation at prior austenite grain boundary on the hydrogen embrittlement behavior in low-carbon martensitic steels
3. 学会等名 MRM 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoki Katayama, Yan Chong, Nobuhiro Tsuji
2. 発表標題 Effects of nitrogen content on microstructural stability and mechanical properties of fine-grained Ti-N alloy
3. 学会等名 PRICM 11 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuanhong LIU, Si GAO, Myeongheom PARK, Nobuhiro TSUJI
2. 発表標題 Crystallographical characteristics of deformation-induced martensite transformation in ultrafine grained metastable austenitic steel
3. 学会等名 PRICM 11 (国際学会)
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 Tsuji, N.
2. 発表標題 Possibilities of advanced metals managing both ultra-high strength and large ductility
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Advanced Structural Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Myeong-heom Park, Yuichi Tagusari, Nobuhiro Tsuji
2. 発表標題 Characterization of local deformation and fracture behavior in ferrite + martensite dual phase steels with different grain sizes
3. 学会等名 International Symposium on New Developments in Advanced High-Strength Sheet Steels (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yan Chong, Reza Gholizadeh, Tomohito Tsuru, Andrew M. Minor, Nobuhiro Tsuji
2. 発表標題 Grain refinement in titanium prevents low temperature oxygen embrittlement
3. 学会等名 The 15th World Titanium Conference (Ti-2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Zheng R., Tsuji N., Ma C.
2. 発表標題 The impact of trace Y addition on the recrystallization and mechanical properties of Mg-Y dilute alloy
3. 学会等名 The 8th International Conference on Recrystallization and Grain Growth (国際学会)
4. 発表年 2023年～2024年

1. 発表者名 Tsuiji N., Eleti R.R., Chokshi A.H., Shibata A.
2. 発表標題 Unique dynamic recrystallization behavior in HfNbTaTiZr equi-atomic BCC high entropy alloy
3. 学会等名 The 8th International Conference on Recrystallization and Grain Growth (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nobuhiro Tsuji
2. 発表標題 Possibility of fully recrystallized ultrafine grained steels managing both high strength and large ductility
3. 学会等名 ICAS 2022 The 7th International Conference on Advanced Steels (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wenqi Mao, Si Gao, Wu Gong, Akinobu Shibata, Nobuhiro Tsuji
2. 発表標題 Effect of ultra-grain refinement on deformation behavior of Fe-24Ni-0.3C metastable austenitic steel
3. 学会等名 ICAS 2022 The 7th International Conference on Advanced Steels (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nobuhiro Tsuji
2. 発表標題 Thermomechanical processing for fabricating ultrafine grained steels
3. 学会等名 TMP2022 6th International Conference on ThermoMechanical Processing (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 S Gao, S Hakamata, R Gholizadeh, Y Bai, M H Park, S Yoshida and N Tsuji
2 . 発表標題 Study on the abrupt loss of uniform elongation in ultrafine grained pure aluminum
3 . 学会等名 The 42nd Risoe International Symposium on Materials Science: Microstructural variability: Processing, analysis, mechanisms and properties ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 B Guo, W Mao, Y Chong, S Harjo, W Gong and N Tsuji
2 . 発表標題 In situ neutron diffraction study of dynamic transformation during hot deformation of zirconium alloy
3 . 学会等名 The 42nd Risoe International Symposium on Materials Science: Microstructural variability: Processing, analysis, mechanisms and properties ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 M.H. Park, Y. Tagusari and N Tsuji
2 . 発表標題 Characterization of local deformation and fracture behavior in ferrite + martensite dual phase steels having different grain sizes
3 . 学会等名 The 42nd Risoe International Symposium on Materials Science: Microstructural variability: Processing, analysis, mechanisms and properties ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Takumi Suzumura, Si Gao, Shuhei Yoshida, Nobuhiro Tsuji
2 . 発表標題 Tensile Deformation of Polycrystalline Pure Cobalt Studied by In-situ High Energy X-ray Diffraction
3 . 学会等名 TMS2023 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2023年

1. 発表者名 Yan Chong, Reza Gholizadeh, Tomohito Tsuru, Andrew Minor, Nobuhiro Tsuji
2. 発表標題 Grain refinement in Ti prevents low temperature oxygen embrittlement
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 2022年秋期 (第184回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 朴明駿, 田鎖悠一, 辻 伸泰
2. 発表標題 粒径の異なるフェライト+マルテンサイト二相鋼における変形・破壊挙動の解明
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 2022年秋期 (第184回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中瀬 仁太, 朴 明駿, 辻 伸泰
2. 発表標題 複相組織を有する中Mn鋼の残留オーステナイト分率と変形挙動の関係
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 2022年秋期 (第184回)講演大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

京都大学 辻研究室  
<http://www.tsujilab.mtl.kyoto-u.ac.jp>

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

## 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

## 8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
カナダ	McGill University			
中国	清華大学	大連理工大学		
インド	IIT Ropar	IISc		
米国	バージニア工科大学	UC Berkeley		