

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：14301
 研究種目：基盤研究(A)
 研究期間：2012～2014
 課題番号：24246113
 研究課題名(和文)イントリンシック界面変形抵抗 - 微小体積の変形実験から探る新規な界面力学構造物性

 研究課題名(英文)Intrinsic interface resistance to propagation of plastic deformation – new interface mechanical properties that can be deduced from experiments with small-volume specimens

 研究代表者
 乾 晴行 (INUJI, HARUYUKI)

 京都大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

 研究者番号：30213135

 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,300,000円

研究成果の概要(和文)：界面をたった1つ含むミクロンサイズのマイクロピラー試験片の圧縮試験から、個々の界面の変形伝播に対する真の抵抗、イントリンシック界面変形抵抗の定量評価を試みた。3次元界面の例として立方体形状のL12析出相がFCC母相に析出したNi基超合金を、2次元界面の例として2相がラメラ状に積み重なったTiAl/Ti3Al合金を取り上げ、界面抵抗の実験評価を試みた。Ni基超合金における異相界面のイントリンシック界面変形抵抗の下限値として860MPaを、TiAl/Ti3Al合金での真の双晶界面および擬双晶界面のイントリンシック界面変形抵抗の下限値として120MPaおよび1200MPaを得ることができた。

研究成果の概要(英文)：Intrinsic resistance of individual interface to propagation of plastic deformation has been deduced from micropillar compression tests made as a function of specimen size for micron meter-sized specimens that contain a single interface. Ni-base superalloys containing cuboidal L12 precipitates in the fcc matrix and TiAl/Ti3Al lamellar alloys containing stacked lamellae of these two phases are taken as examples for three- and two-dimensional interfaces. Intrinsic resistance of individual interface to propagation of plastic deformation are estimated to be 860 MPa for a Ni/Ni3Al interphase boundary in Ni-base superalloys, whereas it is estimated to be 120 MPa and 1200 MPa respectively for true-twin and pseudo twin TiAl interfaces in TiAl/Ti3Al lamellar alloys.

研究分野：材料物性

キーワード：界面変形抵抗 マイクロピラー 試験片サイズ依存性 双結晶 弾性拘束応力 応力集中 転位源 長範囲応力

1. 研究開始当初の背景

多くの実用構造材料では、結晶粒界や異相(析出物など)界面などを利用して強化が図られている。そのため界面の構造や変形抵抗などは古くから多くの研究対象となっている。しかし、バルク構造体ではこのような界面が無数に導入されることによりバルク強度特性を発現させており、個々の界面についてその強化特性を評価した例は意外に少ない。ラメラ構造をもつ 2 相 TiAl/Ti3Al 合金もその例で、ラメラ界面により強化が図られているが、バルク全体として界面強化された結果の強度は分かっても、TiAl/Ti3Al 界面や TiAl の 6 種のバリエーションの 3 種の TiAl/TiAl 界面の強化特性は全く知られていない。「どのラメラ界面が最も強化に有効か?」、「最も強化に有効なラメラ界面の密度を高める組織制御法はあるか?」を明らかにしようとした最近の我々のマイクロピラー試験による研究から、これら個々の界面の強化特性が明らかになりつつあり、界面の強化特性にはバルク双結晶の実験では明らかにできない特異な試験片サイズ依存性が存在する可能性があることが分かってきた。すなわち、双晶境界でも、2 つの TiAl ドメイン(IM-IT ドメイン=真の双晶)で双晶(ラメラ)境界に平行なバーガスベクトルを持つ変形モード($\langle 011 \rangle$ 超格子転位)が選択されると双晶境界を含むマイクロピラー試験片(断面積 $2 \mu\text{m} \times 2 \mu\text{m}$ 程度)の降伏応力は、個々のドメインのマイクロピラー試験片のそれと有意差はないが、2 つの TiAl ドメイン(例えば、IM-IIT ドメイン=擬双晶)で双晶境界と交差するバーガスベクトルを持つ変形モード($1/6 \langle 112 \rangle$ 双晶転位)が選択されると、降伏応力は双晶境界を含むマイクロピラー試験片でかなり大きくなる。驚愕に値するのは、この後者の降伏応力の増大が試験片サイズに強く依存し、サイズが小さくなるほど増大することである。これは、試験片サイズの減少による(1)ラメラ界面の拘束低下(つまり、粒内弾性拘束応力の減少)と(2)粒内転位源からの応力集中の低下に強く関連していると考えている。このことは、通常、双結晶(bi-crystal)などバルク試料では、整合歪などに由来する弾性応力や粒内転位源からの変形伝播に対する応力集中なども含むマクロな界面強化特性しか得ることができず、真に変形伝播に対する界面抵抗は評価できないことを示唆している。サブミクロンオーダーまで試験片サイズを変化させることのできるマイクロピラー試験によってはじめてイントリンシック界面変形抵抗が評価できる可能性が高く、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

最近、ラメラ構造をもつ 2 相 TiAl/Ti3Al 合金の双晶境界を含むミクロンサイズのマイクロピラー試験片の圧縮試験から、その降伏応力は個々のドメインのマイクロピラー試験片よりも大きくなり、試験片サイズが小さくなるほど 2 者の降伏応力の差異が大きくなる特異な試験片サイズ依存性を示すことを明らかにした。これは、試験片

サイズを小さくするほど、界面による弾性拘束応力や粒内転位源からの応力集中が小さくなり、それらがフリーの状態では真に変形伝播に対する界面抵抗 - イントリンシック界面変形抵抗 - を導出できる可能性を示唆する。本研究では、TiAl/Ti3Al 合金および Ni 基超合金に対し、マイクロピラー試験片の変形応力の試験片サイズ依存性から、イントリンシックな界面変形抵抗の定量評価を試みる。通常、双結晶(bi-crystal)などバルク試料では評価し得ない新規な界面物性であり、バルク特性向上のための情報も抽出しつつ、界面力学構造物性に関する新たな学問分野を開拓したい。

3. 研究の方法

本研究では、Ni 基超合金と TiAl/Ti3Al ラメラ合金を供試材として選定し、種々の界面を含むマイクロピラー試験片を作製、試験片サイズの関数として圧縮試験を行い、界面を含む試料と含まない試料の降伏応力の差異の試験片サイズ依存性から真に変形伝播に対する界面抵抗 - イントリンシック界面変形抵抗 - の導出を試みる。特に、FE-SEM 内その場変形実験を通してサブミクロンサイズ領域での評価精度を高めつつ、チャネリングコントラストを利用した等傾角領域および転位のイメージングから、弾性拘束応力や粒内転位源からの応力集中を評価し、変形応力に及ぼすこれら因子の影響を評価し、イントリンシック界面変形抵抗との相関を探る。具体的には、(1) マイクロピラー試験片作製、(2) マイクロピラー圧縮試験、(3) 弾性拘束応力の評価と可視化を研究項目として、研究を進める。

(1) マイクロピラー試験片作製: Ni 基超合金については、2水準の FCC 母相と L12 析出相の格子ミスフィット(+0.3%、-0.3%)をもつ単結晶合金を精密鋳造により作製し、熱処理により立方体形状の L12 析出相の大きさを整合性が維持できる $0.2 \sim 2 \mu\text{m}$ まで変化させ、マイクロピラー圧縮試験に供する。TiAl/Ti3Al ラメラ合金については、TiAl/Ti3Al 異相界面ではすべり面は連続しているが界面で折れ曲がっている。真の双晶、擬双晶 TiAl/TiAl ラメラ界面でも事情は同じであるが、 120° 回転境界ではすべり面は界面で折れ曲がりを生じることなく連続である。FIB 加工により、マイクロピラー(角柱)を試験片サイズ $0.2 \sim 10 \mu\text{m}$ 角で作製し、マイクロピラー圧縮試験に供する。TiAl/TiAl ラメラ界面では、 120° 回転境界と擬双晶界面では、界面でのすべり面の平面性に相違があるものの、同様の歪の不適合性を示す。

(2) マイクロピラー圧縮試験: アスペクト比 $2.0 \sim 3.5$ の範囲で $0.2 \sim 10 \mu\text{m}$ 角の試験片サイズのマイクロピラー圧縮試験をフラットパンチを装着したナノインデントで行う。界面を含む試験片を構成する結晶と同じ結晶方位を持つ単結晶マイクロピラー試験片についても圧縮試験を行い、界面変形抵抗を導出する基準とする。

(3) 弾性拘束応力の評価と可視化: ミクロンオーダーのマイクロピラー試験片では、バルク試験片とは異なり、格子ミスフィットに起因する弾性拘

束応力は界面(近傍)で最大値を示し、界面から離れるにつれ減衰する。試験片サイズが小さくなるほど、弾性拘束応力の最大値は減少し、その減衰の仕方も急峻になると予測される。試験片サイズに依存した弾性拘束応力を計算し、実験との比較から定量評価を目指す。

4. 研究成果

結晶粒界や界面(双晶境界, 異相界面など)は転位の移動の障害となるため, 材料の強化方法の1つとして古くから用いられてきた。しかし, バルク構造体ではこのような界面が無数に導入されることによりバルク強度特性を発現させており, 個々の界面の強化特性は全く明らかではない。本研究では, 界面をたった1つ含むマイクロサイズのマイクロピラー試験片の圧縮試験から, 個々の界面の変形伝播に対する真の抵抗, インタリンシク界面変形抵抗の定量評価を試みた。界面を伴うマイクロピラー試験片の降伏応力の試験片サイズ依存性は, サイズ減少とともに単調に増加するようなものではなく, サブマイクロオーダーで変形挙動に異常が生じることが明らかになった。フェイズ・フィールド法によるシミュレーションは, この変形異常は弾性格子ミスフィット応力の解放と関連しており, 粒内転位源からの応力集中はあまり寄与しないことを示唆している。即ち, このような変形挙動の相違を支配する因子としては, 粒内転位源からの応力集中よりも弾性格子ミスフィット応力が重要との示唆であるが, 粒内転位源からの応力集中の寄与の程度を明らかにするため, フェイズ・フィールドシミュレーションで持ち込み転位源を導入し, その分布, 密度を変化させて計算することが重要である。また, 弾性格子ミスフィット応力の解放による変形挙動はサブマイクロオーダー以下の試験片でのみ観察され, これを可能とする為, 実験可能な最小試験片サイズを $0.05 \sim 0.1 \mu\text{m}$ にまで小さくできるよう実験手法の確立に成功した。

3次元界面の例として立方体形状の L12 析出相が FCC 母相に析出した Ni 基超合金を, 2次元界面の例として 2相がラメラ状に積み重なった TiAl/Ti3Al 合金を取り上げ, 界面抵抗の実験評価を試みた。Ni 基超合金では, L12 析出相の大きさを $0.5 \mu\text{m}$ に調整し, 格子ミスフィットを正および負 (+0.3%, -0.3%) とした単結晶合金を $\langle 001 \rangle$ を圧縮方位としてマイクロピラー圧縮試験を行った。

バルクでは, 軟相の FCC 母相にはそれぞれ引張, 圧縮の弾性応力が生じるが, フェイズ・フィールド法によるシミュレーションによれば, ピラーサイズが $1 \mu\text{m}$ 程度 (L12 析出相の大きさと同程度)まで小さくなると, この弾性応力は, 格子ミスフィットが正, 負の場合, 試料サイズの減少とともに, それぞれ増大, 減少する。これに伴い, ピラーサイズが $1 \mu\text{m}$ 程度を境として, 試料サイズの減少とともに降伏応力は増加 (正ミスフィット), 減少 (負ミスフィット) する。TiAl/Ti3Al 合金でも格子ミスフィットに基づく弾性応力の効果が現れ, 格子ミスフィットを持つ (TiAl 相の正方晶歪に起因) 擬双晶界面を含む試料で, ピラーサイズが 1

μm 程度を境として降伏応力のサイズ依存性に不連続が現れるが, 格子ミスフィットの影響を受けない真の双晶界面を含む試料ではこのような特異な試料サイズ依存性は現れない。この結果, Ni 基超合金における異相界面のインタリンシク界面変形抵抗の下限値として 860MPa を, TiAl/Ti3Al 合金での真の双晶界面および擬双晶界面のインタリンシク界面変形抵抗の下限値として 120MPa および 1200MPa を得ることができた。

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 32 件)

1. V. Paidar, M. Čák, M. Sob and H. Inui, Planar Defects and Dislocations in Transition-Metal Disilicides, Intermetallics, 査読有, Vol. 58(2015), 43-49.

DOI:10.1016/j.intermet.2014.11.003

2. Norihiko L. Okamoto, Akira Yasuhara, Haruyuki Inui, Order-disorder structure of the phase in the Fe-Zn system determined by scanning transmission electron microscopy, Acta Materialia, 査読有, Vol.81(2014),345-357.

DOI:10.1016/j.actamat.2014.08.025

3. Kyosuke Kishida, Atsushi Inoue, Hideyuki Yokobayashi, Haruyuki Inui, "Deformation twinning in a Mg-Al-Gd ternary alloy containing precipitates with a long-period stacking-ordered (LPSO) structure", Scripta Materialia, 査読有, Vol. 89(2014), 25-28.

DOI:10.1016/j.scriptamat.2014.06.019

4. Toshihiro Yamazaki, Yuichiro Koizumi, Koretaka Yuge, Akihiko Chiba, Koji Hagihara, Takayoshi Nakano, Kyosuke Kishida, Haruyuki Inui, Mechanisms of Cr segregation to C11b/C40 lamellar interface in (Mo,Nb)Si2 duplex silicide: A phase-field study to bridge experimental and first-principles investigations, Intermetallics, 査読有, Vol. 54(2014), 232-241.

DOI:10.1016/j.intermet.2014.05.019

5. Norihiko L. Okamoto, Katsushi Tanaka, Akira Yasuhara, and Haruyuki Inui, Structure Refinement of the $\delta 1p$ Phase in the Fe-Zn System by Single-Crystal X-ray Diffraction Combined with Scanning Transmission Electron Microscopy, Acta Crystallographica B, 査読有, Vol. 70(2014), 275-282.

DOI:10.1107/S2052520613034410

6. Norihiko L. Okamoto, Yoshihiko Hasegawa, and Haruyuki Inui, Plastic Deformation of Single Crystals of Pt3Al with the L12 Structure Having a Far

- Al-Rich Off-Stoichiometric Composition of Pt-29at.%Al, Philosophical Magazine, 査読有, Vol. 94(2014), Issue 12, 1327–1344.
DOI:10.1080/14786435.2014.885142
7. Norihiko L. Okamoto, Daisuke Kashioka, Tetsuji Hiratoh, and Haruyuki Inui, Specimen- and Grain-Size Dependence of Compression Deformation Behavior in Nanocrystalline Copper, International Journal of Plasticity, 査読有, Vol. 56(2014), 173–183.
DOI:10.1016/j.ijplas.2013.12.003
8. Norihiko L. Okamoto, Masahiro Inomoto, Hiroki Adachi, Hiroshi Takebayashi, and Haruyuki Inui, Micropillar Compression Deformation of Single Crystals of the Intermetallic Compound ζ -FeZn₁₃, Acta Materialia, 査読有, Vol. 65(2014), 229–239.
DOI:10.1016/j.actamat.2013.10.065
9. T. Yamazaki, Y. Koizumi, A. Chiba, K. Hagihara, T. Nakano, K. Yuge, K. Kishida and H. Inui, Interface Migration with Segregation in MoSi₂-Based Lamellar Alloy Simulated by Phase-Field Method, Advanced Materials Research, 査読有, Vol. 922(2014), 832-837.
DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.922.832
10. Masahiro Inomoto, Norihiko L. Okamoto, and Haruyuki Inui, Compression of Single-Crystal Micropillars of the Γ Intermetallic Phase in the Fe-Zn System, Advanced Materials Research, 査読有, Vol. 922(2014), 264-269.
DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.922.264
11. Katsushi Tanaka and Haruyuki Inui, Effects of Alloying Elements on Physical and Mechanical Properties of Co–Al–W-Based L1₂/Fcc Two-Phase Alloys, Materials Science Forum, 査読有, Vol. 783-786(2014), 1195-1200.
DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.783-786.1195
12. Masahiko Demura, Dierk Raabe, Franz Roters, Philip Eisenlohr, Ya Xu, Toshiyuki Hirano and Kyosuke Kishida, Slip system analysis in the cold rolling of a Ni₃Al single crystal, Materials Science Forum, 査読有, Vol. 783-786(2014), 1111-1116.
DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.783-786.1111
13. Toshihiro Yamazaki, Yuichiro Koizumi, Akihiko Chiba, Koji Hagiharaayoshi Nakano, Koretaka Yuge, Kyosuke Kishida and Haruyuki Inui, Interface Migration with Segregation in MoSi₂-Based Lamellar Alloy Simulated by Phase-Field Method, Advanced Materials Research, 査読有, Vol. 922(2014), 832-837.
DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.922.832
14. Norihiko L. Okamoto, Daisuke Kashioka, Masahiro Inomoto, Haruyuki Inui, Hiroshi Takabayashi, and Shu Yamaguchi, Compression Deformability of Γ and ζ Fe-Zn Intermetallics to Mitigate Detachment of Brittle Intermetallic Coating of Galvannealed Steels, Scripta Materialia, 査読有, Vol.69(2013), Issue4, 307-310.
DOI:10.1016/j.scriptamat.2013.05.003
15. Kosuke Fujiwara, Hirotaka Matsunoshita, Yuta Sasai, Kyosuke Kishida and Haruyuki Inui, Effects of ternary additions on the microstructure and thermal stability of directionally-solidified MoSi₂/Mo₅Si₃ eutectic composites, Intermetallics, 査読有, Vol.52(2014), 72-85.
DOI:10.1016/j.intermet.2014.03.015
16. K. Yuge, K. Kishida, H. Inui, Y. Koizumi, K. Hagihara and T. Nakano, Cr Segregation at C11b/C40 Interface in MoSi₂-Based Alloys : A first-principles study, Intermetallics, 査読有, Vol. 42(2013), 165-169.
DOI:10.1016/j.intermet.2013.06.009
17. K. Kishida, H. Yokobayashi, H. Inui, The most stable crystal structure and the formation processes of an order-disorder (OD) intermetallic phase in the Mg-Al-Gd ternary system, Philosophical Magazine, 査読有, Vol. 93, Issue 21(2013), 2826-2846.
DOI:10.1080/14786435.2013.790566
18. K. Edalati, S. Toh, H. Iwaoka, M. Watanabe, Z. Horita, D. Kashioka, K. Kishida and H. Inui, Ultrahigh strength and high plasticity in TiAl intermetallics with bimodal grain structure and nanotwins, Scripta Materialia, 査読有, Vol.67(2012), Issue 10, 814-817.
DOI:10.1016/j.scriptamat.2012.07.030
19. K. Edalati, T. Daio, Z. Horita, K. Kishida and H. Inui, Evolution of Lattice Defects, Disorder/Ordered Phase Transformations and Mechanical Properties in Ni-Al-Ti Intermetallics by High-Pressure Torsion, Journal of Alloys and Compounds, 査読有, Vol. 563(2012), No. 1, 221-228.
DOI:10.1016/j.jallcom.2013.02.128
20. Norihiko L. Okamoto, Yoshihiko Hasegawa, Wataro Hashimoto, Haruyuki Inui, Plastic deformation of single crystals of Pt₃Al with the L1₂ structure, Philosophical Magazine, 査読有, Vol.93(2012), Issue1-3, 60-81.
DOI:10.1080/14786435.2012.705037
21. K. Yuge, Y. Koizumi, K. Hagihara, T.

Nakano, K. Kishida and H. Inui,
First-principles study on phase stability of
MoSi₂-NbSi₂ pseudobinary alloys,
Physical Review B, 査読有, Vol. 85(2012),
Issue 13, 134106-1-6.

DOI: 10.1103/PhysRevB.85.134106

22. Katsushi Tanaka, Masahiro Oshima,
Nobuyasu Tsuno, Akihiro Sato, Haruyuki
Inui, Creep deformation of single
crystals of new Co-Al-W-based
alloys with fcc /L12 two-phase
microstructure, Philosophical Magazine,
査読有, Vol.92(2012), Issue 32, 4011-4027.
DOI:10.1080/14786435.2012.700416

〔学会発表〕(計 102 件)

1. 岸田恭輔, 複雑構造を有する金属間化合物材料の塑性変形, 日本金属学会春期(第 156 回)大会, 2015 年 3 月 18 日-20 日, 東京大学.
2. 岸田恭輔, 乾晴行, Mg 基 LPSO 相における変形帯-変形双晶の役割-, 第 58 回日本学術会議材料国学連合講演会, 2014 年 10 月 27 日-28 日, 京都テルサ.
3. 岡本 範彦, GA 鋼板のめっき被膜を構成する Fe-Zn 系金属間化合物の結晶構造と力学特性, 2014 年 9 月 24 日-26 日, 名古屋大学.
4. H. Inui, Plasticity of Transition-Metal Silicides with C11b and Its Derivative Structures at Different Length Scales, Czech-Japanese Workshop on High-Temperature Intermetallics, 2014 年 9 月 13 日-16 日, Brno, Czech.
5. Haruyuki Inui, Single crystal mechanical properties of complex materials, Compositionally Complex Alloys 2014, 2014 年 7 月 15 日-2014 年 7 月 18 日, Munich, Germany.
6. H. Inui, Micropillar Compression Testing as a Vehicle to Understand Deformation Behavior and Mechanism of Materials, International Workshop on Deformation, Damage and Life Prediction of Structural Materials, 2014 年 6 月 23 日-24 日, Tsukuba, Japan.
7. Norihiko L. Okamoto, Haruyuki Inui, Mechanical Properties of Co-Based Alloys with L12 Cuboidal Precipitates, EUROSUPERALLOYS 2014, 2014 年 5 月 12 日-2014 年 5 月 16 日, Giens, France.
8. 乾 晴行, 塑性異方性とキンク変形, 日本金属学会春期(第 154 回)大会, 2014 年 3 月 21 日-23 日, 東京工業大学.
9. H. Inui, Mechanical Properties of Co-Based Superalloys with L12 Cuboidal Precipitates –With Special Emphasis on Mechanical Properties of the L12 Compound Co₃(Al,W), TMS 143rd ANNUAL MEETING & EXHIBITION, 2014 年 2 月 16 日-20 日, San Diego, CA, U.S.A.

10. H. Inui, Crystal Structure and Deformation of Long Period Stacking Ordered Intermetallic Phases in the Mg-Al-Gd Systems, European Congress on Advanced Materials and Processes (EuroMat 2013), 2013 年 9 月 8 日-13 日, Sevilla, Spain.

11. H. Inui, Aluminides and Silicides for Very High Temperature Applications, Gordon Conference on Physical Metallurgy-Materials at Extremes, 2013 年 7 月 28 日-8 月 2 日, Biddeford, ME, U.S.A..

12. H. Inui, Mechanical Properties of Co-based Alloys with L12 Cuboidal Precipitates –with Special Emphasis on Mechanical Properties of the L12 Compound, Co₃(Al,W), International Conference on Materials Structure & Micromechanics of Fracture, 2013 年 7 月 1 日-3 日, Brno, Czech.

13. 乾 晴行, 岡本 範彦, GA 鋼板のコーティング層に現れる Fe-Zn 系金属間化合物の結晶構造, 日本鉄鋼協会 2013 年春季(第 165 回)大会, 2013 年 3 月 27 日 29 日, 東京電機大学.

14. 岸田 恭輔, 乾 晴行, 弓削 是貴, 萩原 幸司(阪大工), 中野 貴由(阪大工), 小泉 雄一郎(東北大金研), 界面機能化に基づく MoSi₂ 基複相単結晶超耐熱材料の開発(1), 日本金属学会春期(第 152 回)大会, 2013 年 3 月 27 日 29 日, 東京理科大学.

15. 乾 晴行, 岸田 恭輔, 井上 敦司, 横林 秀幸, Mg-TM-RE 系合金に見られる LPSO 金属間化合物の結晶構造と変形, 日本金属学会春期(第 152 回)大会, 2013 年 3 月 27 日 29 日, 東京理科大学.

16. 乾 晴行, 岸田 恭輔, 岡本 範彦, 材料の変形における原子の集団励起とプラストン, 日本金属学会春期(第 152 回)大会, 2013 年 3 月 27 日 29 日, 東京理科大学.

17. H. Inui, Co-based Alloys with Special emphasis on Mechanical Properties of the L12 Compound, Co₃(Al,W), International Conference on Beyond Nickel-Base Superalloys, 2013 年 5 月 13 日-17 日, Bad Berneck, Germany.

18. H. Inui, Deformation of Transition-Metal Aluminides and Silicides for High-Temperature Structural Applications, Symposium "Beyond Nickel-Base Superalloys - II", Materials Science & Technology 2012 Conference & Exhibition (MS&T '12), 2012 年 10 月 7 日-2012 年 10 月 11 日, Pittsburgh, PA, USA.

19. 岸田恭輔, Mg 基 OD(LPSO)金属間化合物相の構造と変形, 日本金属学会秋期(第 151 回)大会, 2012 年 9 月 17 日 9 月 19 日, 愛媛大学.

20. H. Inui, Temperature Dependence of Yield Stress and Dislocation Dissociation

in L12-Ordered Intermetallic Compounds,
Memorial Conference of Professor
Dan-Moon Wee, 2012年4月26日-27日,
Pyeongchang, Korea.

〔図書〕(計0件)
該当なし

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)
該当なし
取得状況(計0件)
該当なし

〔その他〕
ホームページ等
<http://imc.mtl.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

乾 晴行 (INUI HARUYUKI)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：30213135

(2) 研究分担者

岸田 恭輔 (KISHIDA KYOSUKE)
京都大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：20354178

岡本 範彦 (OKAMOTO NORIHIKO)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：60505692

(3) 連携研究者

なし