

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	究極の耐熱性を有する超高温材料の創製と超高温特性の評価
研究機関・部局・職名	東北大学・大学院工学研究科・教授
氏名	吉見 享祐

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	127,000,000	127,000,000	0	127,000,000	127,000,000	0	0
間接経費	38,100,000	38,100,000	0	38,100,000	38,100,000	0	0
合計	165,100,000	165,100,000	0	165,100,000	165,100,000	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	387,416	50,833,650	48,555,073	7,911,514	107,687,653
旅費	38,780	2,903,821	2,600,760	2,207,434	7,750,795
謝金・人件費等	0	865,040	1,246,738	1,658,070	3,769,848
その他	0	951,953	2,013,614	4,826,137	7,791,704
直接経費計	426,196	55,554,464	54,416,185	16,603,155	127,000,000
間接経費計	225,000	16,863,000	16,047,000	4,965,000	38,100,000
合計	651,196	72,417,464	70,463,185	21,568,155	165,100,000

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
ダイ	三ツ引興業(株)製規格なし	1	567,000	567,000	2011/6/30	東北大学
電磁超音波式高温弾性定数測定装置	日本テクノプラス(株)製CC II-HTs	1	10,500,000	10,500,000	2011/9/2	東北大学
超々高温雰囲気制御熱処理炉	(株)東栄科学産業製THT-M03	1	14,994,000	14,994,000	2011/11/24	東北大学
全自動多目的X線解析装置	(独)ブルカー・エイエックス社製D8 ADVANCE/L	1	11,991,000	11,991,000	2011/12/26	東北大学
インバーターチラー	オリオン機械(株)製RKE15000A-V	1	3,827,250	3,827,250	2012/3/12	東北大学
シリンダーキャビネット	(株)東栄科学産業製規格	1	1,764,000	1,764,000	2012/3/12	東北大学
ロッキングミル	RM-05	1	871,500	871,500	2012/4/2	東北大学
Mo合金	三ツ引興業(株)製	1	546,000	546,000	2012/4/25	東北大学
超高温引張クリーブ試験機	(株)東栄科学産業製	1	35,017,500	35,017,500	2012/9/28	東北大学
1000A溶解モリブキャスト炉	AF-102-198型	1	9,450,000	9,450,000	2013/3/21	東北大学
HXL ファイ15X5T(ヘキサロイ)	日立化成(株)製型番なし	100	6,195	619,500	2013/6/27	東北大学

様式20

メタル炉用タングステン皿	(株)サーモニツク製 2t×100×100	6	105,000	630,000	2013/11/8	東北大学
Dell Precision T5610	(米)Dell社製	1	689,754	689,754	2014/1/29	東北大学
引張/圧縮用 ロードセル	インストロンジャハカンパニイリミテッド社製 2580-108	1	750,750	750,750	2014/2/21	東北大学
クーリングタワー	三菱樹脂インフラテック(株) 10SQB	1	1,496,250	1,496,250	2014/2/27	東北大学

5. 研究成果の概要

モリブデンを主成分とし、軽量で超高温強度に優れ、しかも室温での破壊に対する抵抗力が大きく改善された、全く新しい超高温材料の開発に成功した。この材料は、モリブデンの融点と比べて600℃以上の低融点化が達成され、溶解法による作製が可能である。材料特性はニッケル基超合金と同等レベルまで軽量化された一方、耐熱温度はニッケル基超合金よりも250℃も高い飛躍的向上が見積もられた。室温の破壊靱性は16MPa√m以上で、脆性を克服した。この発明により、ジェットエンジンやガスタービンの高出力化と高効率化を両立する新しい技術の創製が可能である。

課題番号	GR017
------	-------

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名 (下段英語表記)	究極の耐熱性を有する超高温材料の創製と超高温特性の評価
	Development and Assessment of Ultra-High Temperature Materials with Ultimate Heat-Resistant Properties
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	東北大学・大学院工学研究科・教授
	Tohoku University, Graduate School of Engineering, Professor
氏名 (下段英語表記)	吉見 享祐
	Kyosuke Yoshimi

研究成果の概要

(和文):本研究では、モリブデン、ケイ素、ホウ素、チタン、炭素から成る新規な超高温材料を開発した。この材料の耐熱温度は 1300~1400 °C であり、ニッケル基超合金の約 1150 °C と比べて耐熱温度の飛躍的な向上を実現した。また、超高温材料の問題点であった脆性を克服し、破壊靱性は約 16.2 MPa(m)^{1/2}を達成した。さらにこの材料は機械加工性も良好で、高圧タービンブレードに適用可能であることが実証された。この材料によって、ジェットエンジンや発電用ガスタービンをより高温・高効率で運転し化石燃料の消費を抑制することが可能となり、未来のエネルギー問題を解決するグリーンイノベーションをもたらす。

(英文): In this project, a novel ultra-high temperature material composed of molybdenum, silicon, boron, titanium and carbon had been developed. The operating temperature limit of this material is 1300 – 1400 °C, and thus the dramatic improvement of the temperature limit was attained compared with that of nickel-base superalloys of about 1150 °C. The brittleness which is one of the drawbacks of ultra-high temperature materials was overcome, and its fracture toughness reached about 16.2 MPa(m)^{1/2}. Furthermore, the machinability of this material is good, and therefore it was substantiated to apply this material to high-pressure gas turbines. Using this material, it become possible to operate jet-engines

and gas-turbines at higher temperature with higher efficiency and thereby suppress the consumption of fossil fuel, which is the green innovation able to solve future energy problems.

1. 執行金額 165,100,000 円
(うち、直接経費 127,000,000 円、 間接経費 38,100,000 円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年 3月31日

3. 研究目的

近年の高出力ガスタービンやジェットエンジンのタービン入口温度は 1500 °C を超えているが、高圧タービンブレードに使用されているニッケル基超合金の融点は 1400 °C 前後である。そこで、ニッケル基超合金を高圧タービンブレードに使用するために、ブレード表面には熱遮蔽コーティング、内部には冷却構造を施している。しかしこの冷却構造が、ニッケル基超合金の耐熱性を大きく低下させる原因となっている。この問題を根本的に解決し、高出力・高効率ガスタービンを実現するためには、1500 °C 以上でも無冷却・無遮熱コーティングで稼働可能な高圧タービンブレードを提案することであり、そのためにはニッケル基超合金の耐熱性を劇的に上回った「究極の耐熱性」を有する超高温材料を創製する必要がある。

この究極の耐熱性を有する新規な超高温材料の基本設計原理として、

- (1)すべての構成相の融点は 2200 °C 以上であること
- (2)すべての構成相は 1500 °C 以上で安定的に平衡すること
- (3)密度はニッケル基超合金と同等以下すなわち 9 g/cm³ 以下であること

の3点が挙げられる。

そこで本研究では、基本設計原理(1)～(3)に材料特性が比較的近い Mo-Si-B 三元系合金を基本形として、次の課題に取り組む。

- ①基本設計原理(1)～(3)の要件を満足する材料系(合金元素、合金組成等)を網羅的に探索し見出す。
- ②基本設計原理(1)～(3)の要件を満たす材料系に対して、材料特性を調査する。特に本研究で挑戦的に取り組む課題として、1500 °C 以上の超高温下における材料試験技術を確立し、その温度範囲におけるクリープ強度等を明らかにする。
- ③超高温材料の製造・加工プロセスについて検討し、健全で大型な試料作製に挑戦する。

また本研究で開発する新規超高温材料の材料特性の開発目標は、次のとおりである。

- 1) 1500 °C 以上で降伏応力が 1 GPa 以上
- 2) 1500 °C 以上, 137 MPa で破断寿命が 1000 時間以上のクリープ強度
- 3) 室温の破壊靱性値が 15 MPa(m)^{1/2}

4. 研究計画・方法

(1) 溶解鑄造法による材料探査

研究期間の前半は、東北大学金属材料研究所の研究協力者グループと共同で、基本形である Mo-Si-B 三元系に Ti、V、Nb、Re、Sc、Y、TiC、ZrC、 YC_2 など様々な元素や化合物を濃度を変化させながら添加し、基本設計原理1～3を満足しうる組合せを網羅的に調査する。調査には、試料としてほぼ平衡状態にある合金の入手が必要不可欠であるため、溶解法により合金を溶製し、1800°C 以上の超高温で熱処理することで試料とする。

(2) 材料の基礎物性

超々高温雰囲気熱処理を使って温度を制御しながら実際に試料を溶融させる融点の測定、粉末 X 線回折法による各構成相の格子定数の測定、電磁超音波共鳴法による弾性定数の測定等を行い、候補材の基礎物性を調査する。

(3) 粉末法を利用した大型試料・テストピースの作製

東北大学金属材料研究所の研究協力者グループと共同で、 Mo_5SiB_2 組成を有する粉末と Mo 粉末による混合粉末を、スパーク・プラズマ焼結法にて焼結し大型試料の作製を試みる。粉末焼結材の特徴として、焼結時に生成する SiO_2 が材料特性を低下させることがよく知られているので、グラファイト(C)、 C_{60} 、TiC、ZrC などを脱酸材として添加し、 SiO_2 抑制を試みる。

(4) 溶解鑄造法による大型試料・テストピースの作製

材料探査の結果、基本設計原理1～3を満足させながら、共晶反応により材料の低融点化を図ることが可能であることが明らかになったことから、溶解鑄造法による大型試料の作製を試みる。1000A モリブキャスト炉を導入し、300g 程度の鑄塊を作製しテストピースとする。

(5) 超高温特性の調査

得られた候補材に対して、1600°C 以下の温度範囲で引張・圧縮試験、ならびに引張・圧縮クリープ試験を実施し、超高温特性の評価を行う。また、変形試料内部を電子顕微鏡で詳細に観察し、変形機構の検討を行う。

(6) 室温破壊靱性の調査

得られた候補材に対して、室温にて三点曲げ・四点曲げ試験を行い、さらに(2)で得られた弾性定数を用いて破壊靱性の評価を行う。また、破面を電子顕微鏡で詳細に観察し、破壊機構の検討を行う。

(7) 機械加工性の評価

開発された超高温材料の機械加工性の評価を行い、タービンブレードが試作可能であるかを検討する。

5. 研究成果・波及効果

(1) 新超高温材料 第一世代モシブチック合金 (Mosibitic Alloy) の提案

網羅的な合金探索の結果、Mo-Si-B 合金に適量 TiC を添加した五元系合金が上記の基本設計原理を満たし、また他の合金系と比べて高温強度や室温破壊靱性にも秀でていることを発見した。さらに組成の最適化を進めた結果、新規な超高温材料を開発することに成功した。我々はこの合金を、「**第一世代モシブチック合金**」と呼んでいる。このモシブチック合金には、構成相として Mo、 Mo_5SiB_2 のほかに $(\text{Mo,Ti})\text{C}$ 、 $(\text{Mo,Ti})_2\text{C}$ の2つの炭化物が含まれている。モシブチック合金の重要な特徴の一つは、これら構成相が共晶反応することにより合金の融点が 2000°C 以下まで低下したため、溶解鑄造法による合金作製が容易になったことである。図1に溶解鑄造法で作製したモシブチック合金のマイクロ組織を示す。このモシブチック合金の密度は約 8.7 g/cm^3 であり、Ni 基超合金と同レベルまで軽量化が達成された。

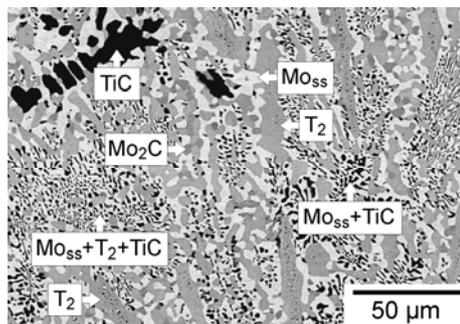


図1 第一世代モシブチック合金のマイクロ組織。

図1に溶解鑄造法で作製したモシブチック合金のマイクロ組織を示す。このモシブチック合金の密度は約 8.7 g/cm^3 であり、Ni 基超合金と同レベルまで軽量化が達成された。

(2) 超高温強度

溶解鑄造法によって作製された第一世代モシブチック合金は、先行研究で報告された Mo-Si-B 三元系合金や耐熱モリブデン合金 TZM、MHC と比較して、広い温度範囲で高い圧縮強度を有する(図2)。また、 1500°C 、ひずみ速度 $2 \times 10^{-1}\text{ s}^{-1}$ で圧縮強度はほぼ 1 GPa であり、開発目標①を達成した(図3)。一方、粉末焼結法によって作製されたモシブチック合金は、酸素濃度を大幅に低減する手法を確立した。しかし、それにもかかわらず粉末界面に残留した SiO_2 の影響を完全に排除することができず、溶解鑄造法で作製された合金ほどの高温強度が得られなかった。そこで今後は、溶解鑄造法で作成されたモシブチック合金の成果についてまとめていく。

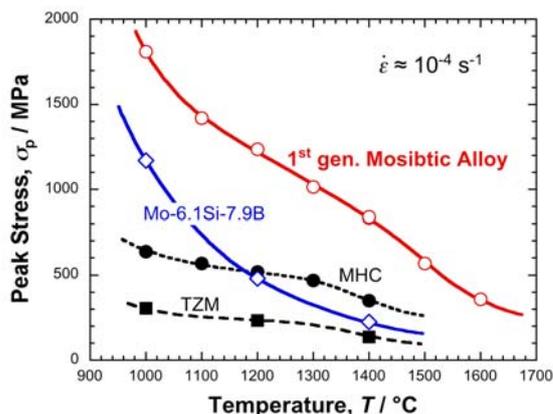


図2 モシブチック合金の高温圧縮強度の温度依存性。

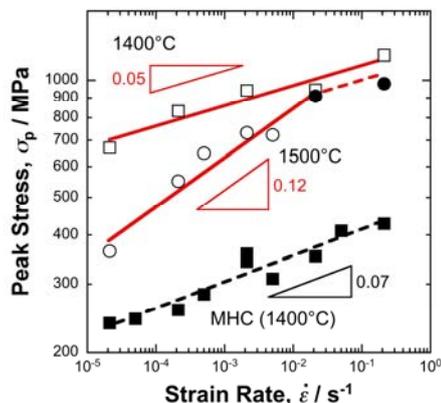


図3 モシブチック合金の高温圧縮強度のひずみ速度依存性。

(3) 超高温クリープ強度

溶解鑄造法によって作製された第一世代モシブチック合金に対して、 1500°C で引張ならびに圧

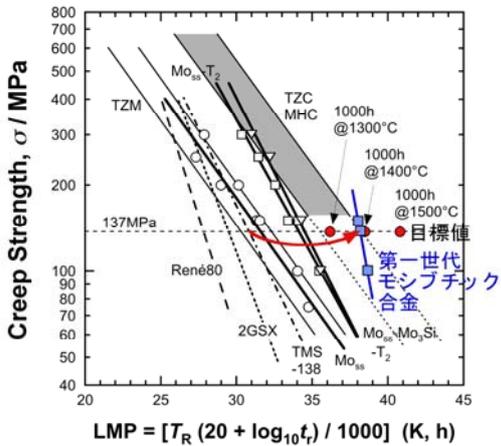


図4 ラーソン・ミラー因子を使ったモシブチック合金の引張クリープ強度の比較.

縮クリープ試験を実施した。開発目標としていた、1500°C、137MPaにおいて破断時間 1000 時間を達成することはできなかった。しかし、ラーソン・ミラー因子に基づいた解析の結果、およそ 1400°C、137MPa で破断時間が概ね 1000 時間となることが見積もられた(図4)。これは、目標とした耐熱温度 1500°C に対して約 94%の達成度であるが、ニッケル基超合金の約 1150 °C と比べると飛躍的な耐熱温度の向上が図られた。

(4) 室温破壊靱性

溶解鑄造法によって作製された第一世代モシブチック合金の破壊靱性を複数の試験法で調査した結果、破壊靱性値は約 16.2 MPa(m)^{1/2}であった(図

5)。この値は、先行研究で報告された Mo-Si-B 三元系合金に関する多くのデータと比較しても突出しており、この分野におけるチャンピオン・データとなった。また、開発目標値であった 15 MPa(m)^{1/2}も十分に上回り、目標を達成した。

(5) 機械加工性

溶解鑄造法によって作製された第一世代モシブチック合金は、放電加工のほか、切削加工、穴あけ加工等に対しても加工中に破損・破壊等することなく、良好な機械加工性を発揮することが実証された(図6)。

(6) 異相界面制御

未変形試料、変形試料等、種々の条件下にある第一世代モシブチック合金の界面構造を、透過型電子顕微鏡技術を駆使して観察した。その結果、Mo と(Mo,Ti)C の整合界面構造や、(Mo,Ti)₂C から Mo と(Mo,Ti)C へのダイナミックな分解など、第一世代モシブチック合金が有する様々な優れた特性を証明しうる観察結果が得られた。

以上の成果から、ニッケル基超合金の耐用温度を超えたモリブデン基の新しい超高温材料が提案され、さらにタービンブレードへ応用する際に必要不可欠となる機械加工性なども問題無いことが実証された。今後、この成果に基づいて民間企業と連携しながら、高温・高効率ジェットエンジンやガスタービンの実用化を目指して研究を展開していく。

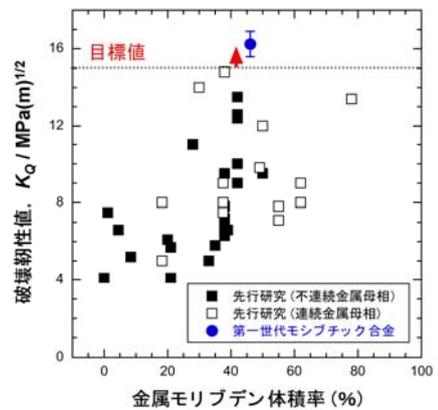


図5 先行研究とモシブチック合金の破壊靱性値の比較.



図6 研削加工, 穴あけ加工が施されたモシブチック合金チップの外観写真.

6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計15件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計6件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kyosuke Yoshimi, Seong-Ho Ha, Kouichi Maruyama, Rong Tu, Takashi Goto, Microstructure Evolution of Mo-Si-B Ternary Alloys Through Heat Treatment at 1800 °C, <i>Advanced Materials Research</i>, 278 (2011), 527 – 532. 2. 吉見享祐、細田秀樹、中野貴由、構造用金属間化合物研究から派生した様々な新しい研究展開, まてりあ(日本金属学会報), 第 51 巻, 第 4 号 (2012), 168 – 178. 3. Seong-Ho Ha, Kyosuke Yoshimi, Kouichi Maruyama, Rong Tu, Takashi Goto: “Compositional Regions of Single Phases at 1800°C in Mo-rich Mo-Si-B Ternary System”, <i>Materials Science and Engineering A</i>, 552 (2012), 179 – 188. http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2012.05.028. 4. Yuya Miyazaki, Shimpei Miyamoto, Kyosuke Yoshimi, Kouichi Maruyama, Novel Low-Temperature Solid-Carburizing Using C₆₀ Fullerene for Austenitic Stainless SUS316L, <i>ISIJ International</i>, 52, 11 (2012), 2076 – 2082. http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.52.2076. 5. Seong-Ho Ha, Kyosuke Yoshimi, Junya Nakamura, Takahiro Kaneko, Kouichi Maruyama, Rong Tu, Takashi Goto : “Experimental Study of Mo₅Si-T₂, Mo₅Si-Mo₃Si-T₂, and Mo₃Si-T₂ Eutectic Reactions in Mo-rich Mo-Si-B Alloys”, <i>Journal of Alloys and Compounds</i>, 594 (2014), 52 – 59. 6. Shimpei Miyamoto, Kyosuke Yoshimi, Seong-Ho Ha, Takahiro Kaneko, Junya Nakamura, Tetsuya Sato, Kouichi Maruyama, Rong Tu, Takashi Goto : “Phase Equilibria, Microstructure, and High Temperature Strength of TiC-Added Mo-Si-B Alloys”, <i>Metallurgical and Materials Transactions A</i>, 45A (2014), 1112 – 1123. <p>(掲載済み一査読無し) 計8件</p> <ol style="list-style-type: none"> 7. 宮本慎平, 佐藤徹也, 河星鎬, 吉見享祐, 丸山公一, 三相共晶反応を利用した Mo-Mo₅SiB₂-TiC 合金の組織制御, 日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会研究報告, 第 53 巻, 第 1 号 (2012), 51 – 58. 8. 御手洗容子, 吉見享祐, 細田秀樹, 中野貴由, 国民との対話のための公開講演会「グリーン・ライフイノベーションへの材料研究最前線」を開催して, まてりあ, 52, 1 (2013), 32 – 35. 9. 篠崎一平, 吉見享祐, 丸山公一, 長谷川泰士, 電磁超音波共鳴法によって測定された弾性定数およびその温度依存性の最適化, 日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会研究報告, 53, 2 (2012), 141 – 150. 10. 河星鎬, 吉見享祐, 丸山公一, 中村純也, 金子昂弘, 塗溶, 後藤孝, 電子プローブマイクロアナライザの定量性改善による Mo-Si-B 合金の液相投影図ならびに状態図の再検討, 日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会研究報告, 53, 2 (2012), 151 – 162. 11. 中村純也, 原崇, 金子昂弘, 吉見享祐, 丸山公一: “Mo₅SiB₂ 相の相安定性に対する Re 添加の効果”, 日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会研究報告, 54(2) (2013), 183 – 191. 12. 吉見享祐, 中村純也, 森山貴裕, 宮本慎平, 金子昂弘, 金今大樹, 丸山公一: “第一世代モシブチック合金の高温強度と室温破壊靱性”, 日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会研究報告, 54(3) (2013), 293 – 301. 13. 金子昂弘, 中村純也, 吉見享祐, 丸山公一: “Mo₅SiB₂ 中の Ti のサイト占有挙動”, 日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会研究報告, 55(1) (2014), 55 – 62. 14. 森山貴裕, 中村純也, 吉見享祐, 丸山公一: “第1世代モシブチック合金の室温破壊靱性”, 日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会研究報告, 55(1) (2014), 63 – 72. <p>(未掲載) 計1件</p> <ol style="list-style-type: none"> 15. Junya Nakamura, Takahiro Kaneko, Takashi Hara, Kyosuke Yoshimi, Kouichi Maruyama, Hirokazu Katsui, Takashi Goto : “Site-Occupation Behavior and Solid-Solution Hardening Effect of Rhenium in Mo₅SiB₂” <i>Intermetallics</i>, in press.
----------------------	---

会議発表	専門家向け 計39件
計41件	<ol style="list-style-type: none"> 1. K. Yoshimi, S.-H. Ha and K. Maruyama, Microstructure Evolution and Solubility Change of Constituent Phases in Mo-Si-B Based Alloys at 1800 °C, TMS2011 140th Annual Meeting & Exhibition, San Diego, USA, 2011年2月27日 – 3月3日, The Minerals, Metals and Materials Society. 2. K.Yoshimi, A. Yamaguchi, S.-H. Ha and K. Maruyama, Partitioning Behavior of Re in Mo-Si-B Alloys, European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes (EUROMAT), Montpellier, France, 2011年9月12 – 15, The Federation of European Materials Societies (FEMS). 3. S.-H. Ha, T. Sato, K. Yoshimi and K. Maruyama, Effect of TiC Addition on Microstructure Formation of Mo-Si-B alloys, European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes (EUROMAT), Montpellier, France, 2011年9月12 – 15, The Federation of European Materials Societies (FEMS). 4. K. Yoshimi, S.-H. Ha, K. Maruyama, N. Nomura and S. Hanada, Phase Formation and Oxidation Resistance of Mo-Si-B Alloys, Materials Science & Technology 2011 Conference & Exhibition (MS&T '11), Columbus, USA, 2011年10月16 – 20, AcerS, AIST, ASM, and TMS. 5. Seong-Ho Ha, Kyosuke Yoshimi and Kouichi Maruyama, Experimental determination of single-phase regions at 1800 °C in Mo-rich portion of Mo-Si-B phase diagram, 日本金属学会第149回秋期大会, 那覇, 2011年11月7日～9日, (社)日本金属学会. 6. 吉見享祐, Mo-Si-B 基超高温材料の材料設計と組織制御, 第2回構造材料国際クラスターシンポジウム, つくば, 2011年11月22日, (独)物質・材料研究機構. 7. 宮本慎平, 佐藤徹也, 河星鎬, 吉見享祐, 丸山公一, 三相共晶反応を利用した Mo-Mo₅SiB₂-TiC 合金の組織制御, 日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会3月期研究報告会, 東京, 2012年3月5日, (独)日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会. 8. 吉見享祐, Mo 基超高温材料の可能性と期待される役割, 日本金属学会第150回春期大会, 横浜, 2012年3月28～30日, (公社)日本金属学会. 9. Kyosuke Yoshimi, Seong-Ho Ha, Kouichi Maruyama, Microstructure and Phase Stability of Mo-Si-B Based Alloys at 1800 °C, 12th International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures, Kyoto, 2012年5月27日～31日, 日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会. 10. 河星鎬, 吉見享祐, 丸山公一, Mo-Si-B 合金に対する液相面投影図の実験的再検討, 日本金属学会第151回秋期大会, 松山, 2012年9月17日～19日, (社)日本金属学会. 11. 森山貴裕, 吉見享祐, 丸山公一, 三浦誠司, 毛利哲雄, 渡辺精一, 溶解法によって TiC 及び ZrC を添加した Mo-Si-B 合金の破壊靱性, 日本金属学会第151回秋期大会, 松山, 2012年9月17日～19日, (社)日本金属学会. 12. 宮本慎平, 吉見享祐, 丸山公一, アーク溶解法によって作製された Mo-Si-B-TiC 合金の組織の最適化, 日本金属学会第151回秋期大会, 松山, 2012年9月17日～19日, (社)日本金属学会. 13. 新井智大, 吉見享祐, 丸山公一, 塗溶, 後藤孝, 放電プラズマ焼結法によるバルク Mo₅SiB₂ 基合金の作製, 日本金属学会第151回秋期大会, 松山, 2012年9月17日～19日, (社)日本金属学会. 14. 篠崎一平, 吉見享祐, 丸山公一, 長谷川泰士, 電磁超音波共鳴法によって測定された弾性定数およびその温度依存性の最適化, 日本金属学会第151回秋期大会, 松山, 2012年9月17日～19日, (社)日本金属学会. 15. Kyosuke Yoshimi, Shimpei Miyamoto, Seong-Ho Ha, Takahiro Kaneko, Junya Nakamura, Kouichi Maruyama, Rong Tu and Takashi Goto, Effect of TiC Addition on Microstructure Evolution in Mo-rich Mo-Si-B Alloys, Materials Science & Technology 2012, Pittsburgh, USA, 2012年10月7日～11日, The Minerals, Metals and Materials Society. 16. 吉見享祐, 宮本慎平, 中村純也, 丸山公一, 塗溶, 後藤孝, Mo/Mo₅SiB₂/TiC/Mo₂C In-situ 複合材料の組織と高温強度, 第4回日本複合材料合同会議, 東京, 2013年3月7日～9日,

	<p>(一社)日本複合材料学会.</p> <p>17. 金子昂弘, 原崇, 吉見享祐, 丸山公一, 1800°CにおけるMo₅SiB₂単相組成の検討, 日本金属学会第152回春期大会, 東京, 2013年3月27日~29日, (公社)日本金属学会.</p> <p>18. 吉見享祐, 藤井翼, 新井智大, 丸山公一, 且井宏和, 後藤孝, 放電プラズマ焼結法によって作製されたMo₅SiB₂基合金の微細, 日本金属学会第152回春期大会, 東京, 2013年3月27日~29日, (公社)日本金属学会.</p> <p>19. 森山貴裕, 金今大樹, 吉見享祐, 丸山公一, Mo-Si-B合金の組織形成と高温強度に及ぼすD₈型シリサイド安定化元素の効果, 日本金属学会第152回春期大会, 東京, 2013年3月27日~29日, (公社)日本金属学会.</p> <p>20. 吉見享祐, 河星鎬, 宮本慎平, 新井智大, 金子昂弘, 森山貴裕, 中村純也, 丸山公一, 塗溶, 後藤孝, モリブデン基超高温材料の開発の現状と今後の展望, 日本金属学会第152回春期大会, 東京, 2013年3月27日~29日, (公社)日本金属学会.</p> <p>21. K.Yoshimi, S.-H. Ha, S. Miyamoto, T.Sato and K. Maruyama, Microstructures of Mo-Si-B/TiC In-situ Composites for Ultra-High Temperature Applications, Kyoto Workshop on High Temperature and Structural Materials, Kyoto, 2012年6月1日, Kyoto University.</p> <p>22. 河星鎬, 吉見享祐, 丸山公一, 中村純也, 金子昂弘, 塗溶, 後藤孝, 電子プローブマイクロアナライザの定量性改善によるMo-Si-B合金の液相投影図ならびに状態図の再検討, 日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会7月期研究報告会, 東京, 2012年7月9日, (独)日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会.</p> <p>23. 篠崎一平, 吉見享祐, 丸山公一, 長谷川泰士, 電磁超音波共鳴法によって測定された弾性定数およびその温度依存性の最適化, 日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会7月期研究報告会, 東京, 2012年7月9日, (独)日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会.</p> <p>24. ECI Conference on Beyond Nickel-Based Superalloys, Kyosuke Yoshimi, Shimpei Miyamoto, Seong-Ho Ha, Kouichi Maruyama, Takashi Goto: "Microstructure and high temperature strength of TiC-dispersed Mo-Si-B alloys", Bad Berneck, Germany, May 13 - 17, 2013, Engineering Conferences International (ECI).</p> <p>25. Joint Symposium on Materials Science and Engineering for the 21th Century, Kyosuke Yoshimi: "Ultra-High Temperature Materials for Higher-Efficiency Energy Conversion", Hshinchu, Taiwan, June 23 - 26, 2013, National Tsing Hua University.</p> <p>26. Joint Symposium on Materials Science and Engineering for the 21th Century, Takahiro Kaneko: "Estimation of phase stability of Mo₅SiB₂ with first-principle calculation", Hshinchu, Taiwan, June 23 - 26, 2013, National Tsing Hua University.</p> <p>27. 日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会平成25年度7月期研究会, 中村純也, 原崇, 金子昂弘, 吉見享祐, 丸山公一: "Mo₅SiB₂相の相安定性に対するRe添加の効果", 東京, 平成25年7月8, 9日, (独)日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会.</p> <p>28. 8th Pacific Rim International Congress on Advanced Materials and Processing (PRICM-8), Kyosuke Yoshimi, Seong-Ho Ha, Shimpei Miyamoto, Tomohiro Arai, Takahiro Kaneko, Takahiro Moriyama, Junya Nakamura, Kouichi Maruyama, Rong Tu, Takashi Goto: "Advanced Molybdenum Alloys for Ultra-high Temperature Structural Applications", Kona, Hawaii, August 4 - 9, 2013, Japan Institute of Metals.</p> <p>29. 日本金属学会秋期(第153回)講演大会, 吉見享祐: "TiCによって改良された新規なMoSiB基超高温材料の材料特性", 金沢, 平成25年9月17 - 19日, (公社)日本金属学会.</p> <p>30. 日本金属学会秋期(第153回)講演大会, 森山貴裕, 中村純也, 吉見享祐: "アーク溶解法によって作成されたTiC添加Mo-Si-B合金の高温強度と室温破壊韌性に及ぼす初晶の影響", 金沢, 平成25年9月17 - 19日, (公社)日本金属学会.</p> <p>31. 日本金属学会秋期(第153回)講演大会, 中村純也, 森山貴裕, 金今大樹, 吉見享祐, 丸山公一: "Mo-Si-B合金の機械的性質に対する合金組成の影響", 金沢, 平成25年9月17 - 19日, (公社)日本金属学会.</p> <p>32. 日本金属学会秋期(第153回)講演大会, 金子昂弘, 中村純也, 吉見享祐: "Mo₅SiB₂の相安定性と力学特性に及ぼすTi添加の影響", 金沢, 平成25年9月17 - 19日, (公社)日本金属学会.</p>
--	---

	<p>33. Intermetallics2013, J. Nakamura, T. Kaneko, T. Hara, K. Yoshimi, K. Maruyama : “Effect of Re on phase stability and hardness of Mo₅SiB₂”, Kloster Banz, Germany, 30 September – 4 October, 2013, Deutsche Gesellschaft für Materialkunde (DGM).</p> <p>34. 日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会平成 25 年度 11 月期研究会, 吉見享祐, 中村純也, 森山貴裕, 宮本慎平, 金子昂弘, 金今大樹, 丸山公一: “第一世代モシブチック合金の高温強度と室温破壊靱性”, 東京, 平成 25 年 11 月 11, 12 日, (独)日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会.</p> <p>35. 日本金属学会第 1 回グリーンエネルギー材料のマルチスケール創製研究会, 金子昂弘: “Mo₅SiB₂の相安定性と力学特性に及ぼす Ti の影響”, 熊本, 平成 26 年 1 月 7 – 9 日, (公社)日本金属学会.</p> <p>36. 日本金属学会第 1 回グリーンエネルギー材料のマルチスケール創製研究会, 森山貴裕: “TiC 添加 Mo-Si-B 合金の室温破壊靱性”, 熊本, 平成 26 年 1 月 7 – 9 日, (公社)日本金属学会.</p> <p>37. 日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会平成 26 年度 3 月期研究会, 金子昂弘, 中村純也, 吉見享祐, 丸山公一: “Mo₅SiB₂ 中の Ti のサイト占有挙動”, 東京, 平成 26 年 3 月 3 日, (独)日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会.</p> <p>38. 日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会平成 26 年度 3 月期研究会, 森山貴裕, 中村純也, 吉見享祐, 丸山公一: “第 1 世代モシブチック合金の室温破壊靱性”, 東京, 平成 26 年 3 月 3 日, (独)日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会.</p> <p>39. 日本金属学会春期(第 154 回)講演大会, 中村純也, 森山貴裕, 金今大樹, 吉見享祐, 丸山公一: “構成相の異なる Mo-Si-B 合金の高温強度と変形組織”, 東京, 平成 26 年 3 月 21 – 23 日, (公社)日本金属学会.</p> <p>一般向け 計2件</p> <p>1. MAST21(21世紀の材料戦略)第 18 回フォーラム, 吉見享祐: “エネルギー変換に対する超高温材料の役割とその開発現状”, 仙台, 平成 25 年 11 月 21 日, 東北大学大学院工学研究科マテリアル・開発系.</p> <p>2. 最先端研究開発支援プログラム FIRST シンポジウム「科学技術が拓く 2030 年」, 吉見享祐: “究極の耐熱性を有する超高温材料の創製と超高温特性の評価”, 東京, 平成 26 年 2 月 28 日, 3 月 1 日, (株)早稲田総研イニシアティブ.</p>
<p>図書</p> <p>計0件</p>	
<p>産業財産権 出願・取得 状況</p> <p>計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件</p> <p>(出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>新しい未来を創る超高温材料創製のための材料設計・開発プロジェクト, 最先端・次世代研究開発支援プログラム 究極の耐熱性を有する超高温材料の創製と超高温特性の評価 http://www.ultra-htm.org/</p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>平成23年度</p> <p>1. 次世代材料が創る新しい世界、平成 23 年 10 月 15 日、東京工業大学、高校生・一般向け、56名、火を司る超高温材料</p> <p>2. 東北大ブランドの最先端・次世代材料を語る、平成 23 年 12 月 28 日、せんだいメディアテーク、高校生・一般向け、80名、火を司(つかさど)る超高温材料</p> <p>平成24年度</p> <p>1. 究極の耐熱性を有する超高温材料の創製と超高温特性の評価, 平成 25 年 1 月 17 日, 仙台国際センター, 企業向け, 約 2000 人, 東北大学イノベーションフェア.</p>

	<p>2. 超高温エネルギー変換への材料研究最前線, 平成 24 年 10 月 27 日, 大阪大学中之島センター, 高校生・一般向け, 約 70 人, 第2回3大学主催連携公開講演会「グリーン・ライフイノベーションへの材料研究最前線」.</p> <p>3. 火を司(つかさど)る超高温材料, 平成 24 年 7 月 30 日, 31 日, 東北大学工学部キャンパス, 高校生向け, 約 2000 人, 市民公開講座「12 夏 最先端・次世代材料の研究最前線」</p> <p>平成25年度</p> <p>1. 宮城県立古川黎明高等学校一日体験研修, 平成 25 年 8 月 1 日(木)9:00 – 16:00, 東北大学大学院工学研究科マテリアル・開発系, 高校生, 参加者数 20 名, 最先端・次世代研究の一日体験研修.</p> <p>2. 第 3 回3大学主催連携公開講演会「グリーンライフイノベーションへの材料研究最前線」, 平成 25 年 10 月 26 日(土)13:00 – 16:00, 仙台 AER21 階 TKP ガーデンシティ仙台, 高校生・一般, 参加者数約 30 名, 演題「火を司(つかさど)る超高温材料」他.</p> <p>3. 宮城県立気仙沼向洋高等学校半日体験研修, 平成 25 年 10 月 30 日(水)13:00 – 16:00, 東北大学大学院工学研究科マテリアル・開発系, 高校生, 参加者数 45 名, 最先端・次世代研究の半日体験研修.</p>
<p>新聞・一般雑誌等掲載計4件</p>	<p>1. 日刊工業新聞, 平成 24 年 8 月 23 日(木), 19 面, 「材料先端研究で 10 月に講演会」.</p> <p>2. 日経産業新聞, 平成 24 年 10 月 11 日(木), 11 面, 「材料研究最前線テーマに講演会」.</p> <p>3. 日経サイエンス, 第 42 巻第 9 号(2012 年 9 月号), 119 ページ, 第2回3大学主催連携公開講演会 最先端・次世代研究開発支援プログラム研究者が語る「グリーン・ライフイノベーションへの材料研究最前線」.</p> <p>4. 人材育成情報誌オガレ, 2013 年 12 月号, vol.19, p.18, 「最先端研究に触れる」.</p>
<p>その他</p>	

7. その他特記事項

1. 平成 24 年 9 月 17 日～19 日まで愛媛県松山市にある愛媛大学城北キャンパスで開催された日本金属学会第 151 回秋期講演大会で、大学院生 (M2) の新井智大君が本プロジェクトに関する研究発表を行い、第 19 回優秀ポスター賞を受賞した。
2. 平成 25 年 3 月 27 日～29 日まで東京理科大学神楽坂キャンパスで開催された日本金属学会第 152 回春期大会で、大学院生 (M1) の金子昂弘君と森山貴裕君が各々本プロジェクトに関する研究発表を行い、第 20 回優秀ポスター賞を受賞した。
3. 平成 25 年 9 月 30 日～10 月 4 日までドイツ Kloster Banz で開催された Intermetallics2013 (会議発表の 10)にて、共同研究者の東北大学大学院工学研究科の中村純也助教が本プロジェクトに関する研究発表を行い、Best Poster Presentation Award を受賞した。

第 256 号



優秀ポスター賞
新井 智大 殿

発表題目 放電プラズマ焼結法による γ - $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Mo}_2\text{SiB}_2$ 基金金の作製

共 同 著 者 丸山 公一 達 彦
研究費 提供 者

日本金属学会は2012年秋期講演大会のポスターセッションにおいて、貴殿のポスター内容および発表を特に優秀なものと認め、規定により日本金属学会優秀ポスター賞を贈る。

2012年9月18日

社団法人 日本金属学会会長 宮崎 修一 

第 282 号



優秀ポスター賞
金子 昂弘 殿

発表題目 1800°Cにおける Mo_2SiB_2 単相組成の検討

共 同 著 者 中村 純也 吉見 孝雄
研究費 丸山 公一

日本金属学会は2013年春期講演大会のポスターセッションにおいて、貴殿のポスター内容および発表を特に優秀なものと認め、規定により日本金属学会優秀ポスター賞を贈る。

2013年3月28日

公益社団法人 日本金属学会会長 掛下 知行 

第 296 号



優秀ポスター賞
森山 貴裕 殿

発表題目 Mo-Si-Fe基金金の組織形成と高温強度に及ぼす D_2 型シリサイド安定化元素の影響

共 同 著 者 金子 大樹 吉見 孝雄 丸山 公一
研究費

日本金属学会は2013年春期講演大会のポスターセッションにおいて、貴殿のポスター内容および発表を特に優秀なものと認め、規定により日本金属学会優秀ポスター賞を贈る。

2013年3月28日

公益社団法人 日本金属学会会長 掛下 知行 



Intermetallics DGM 30 Sept.-04 Oct 2013
2013 Exhibition Center Kloster Banz, Germany

German Society for Materials Science (DGM)

Award
Best Poster Presentation

for
Junya Nakamura

On the Intermetallics - Conference 2013
30 September-04 October 2013 at Kloster Banz, Germany

Martin Hellmayer Conference Chair Martin Pahn Conference Chair Frank Stein Conference Chair