

**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)
実施状況報告書(平成25年度)**

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. 当該年度の研究目的

Mo-Si-B-TiC および Mo-Si-B-ZrC を基本形とし、Re や Y など合金化した最適合金成分を決定する。材料プロセッシングは溶解鑄造法とし、凝固マイクロ組織から熱処理マイクロ組織の発達を調査することで、適正なマイクロ組織制御を検討する。得られた合金に対して、1000A モリブキャスト炉にて溶製材の大型化に挑戦する。得られた合金に対しては、1500°Cを中心に圧縮試験による高温強度評価を経て、1500°Cにおける圧縮ならびに引張クリープ試験による超高温クリープ特性の評価を行う。また、室温において破壊靱性評価を行い、以上の成果を先行研究や実用超硬合金等と比較検討することで、究極の耐熱性を有する新規な超高温材料を提案する。さらに、研削・穴あけ等機械加工性に対しても評価を行う。

2. 研究の実施状況

種々の合金組成を網羅的に調査した結果、Mo-Si-B-TiC 五元系において、超高温クリープ特性に優れ、しかも密度、室温破壊靱性が開発目標に十分に到達した、新規な超高温材料の開発に成功した。この合金は、融点が1900~2000°Cの範囲内にあるため低融点化の効果によって溶解法にて作製可能で、1000A モリブキャスト炉にて 200g 程度の健全な鑄塊が得られる。この鑄塊は、実験室レベルで標準的な引張試験片を作製するには十分な大きさである。密度は約 8.7g/cm³ で、軽量のニッケル基超合金と同等なレベルまで軽量化が図られている。高温圧縮試験にて開発目標であった降伏強度 1GPa が得られる温度範囲は1300°Cであり、これは耐熱温度として 90%の目標達成度である。また、1500°Cの高温強度は 600MPa 程度であり、1500°C、137MPa の引張クリープ条件に対して十分に高い値である。1500°Cにて、100、150、200 MPa の各圧力条件で圧縮クリープ試験を行い、得られた圧縮クリープデータに対して先行研究のデータと比較解析をした結果、1400°Cで目標とするクリープ寿命 1000 時間に達すると予測された。これは、耐熱温度として 94%の目標達成度となり、さらに最先端のニッケル基超合金単結晶の耐熱温度 1150°Cからは 250°Cもの飛躍的な性能改善となる。現在、これを実証するための引張クリープ試験を、非接触型光学式変位計測システムを導入し実施中である。この合金の室温破壊靱性は、3 種類の曲げ試験法を適用して精査し、平均で 16.2MPa(m)^{1/2} という高い値が得られた。この値は、目標値であった 15MPa(m)^{1/2} を越えており、108%の目標達成度となった。さらに、研削加工、穴あけ加工等の機械加工を実施し、き裂等が発生することもなく、比較容易に、そして良好に加工できることを実証した。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計7件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計2件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Seong-Ho Ha, Kyosuke Yoshimi, Junya Nakamura, Takahiro Kaneko, Kouichi Maruyama, Rong Tu, Takashi Goto : “Experimental Study of $Mo_{ss}-T_2$, $Mo_{ss}-Mo_3Si-T_2$, and Mo_3Si-T_2 Eutectic Reactions in Mo-rich Mo-Si-B Alloys”, <i>Journal of Alloys and Compounds</i>, 594 (2014), 52 – 59. 2. 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4件</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. 中村純也, 原崇, 金子昂弘, 吉見享祐, 丸山公一: “Mo_5SiB_2 相の相安定性に対する Re 添加の効果”, <i>日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会研究報告</i>, 54(2) (2013), 183 – 191. 4. 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”, <i>日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会研究報告</i>, 54(3) (2013), 293 – 301. 5. 金子昂弘, 中村純也, 吉見享祐, 丸山公一: “Mo_5SiB_2 中の Ti のサイト占有挙動”, <i>日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会研究報告</i>, 55(1) (2014), 55 – 62. 6. 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”, <i>日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会研究報告</i>, 55(1) (2014), 63 – 72. <p>(未掲載) 計1件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 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 Mo_5SiB_2” <i>Intermetallics</i>, in press.
<p>会議発表 計18件</p>	<p>専門家向け 計16件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 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). 2. 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. 3. Joint Symposium on Materials Science and Engineering for the 21th Century, Takahiro Kaneko : “Estimation of phase stability of Mo_5SiB_2 with first-principle calculation”, Hshinchu, Taiwan, June 23 – 26, 2013, National Tsing Hua University. 4. 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: “Mo_5SiB_2 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, 日本学術振興会耐熱金属材料第 123 委員会. 5. 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. 6. 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. 7. 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靱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. 8. 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. 9. 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: “Mo_5SiB_2 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. 10. <i>Intermetallics2013</i>, J. Nakamura, T. Kaneko, T. Hara, K. Yoshimi, K. Maruyama : “Effect of Re on phase stability and hardness of Mo_5SiB_2”, Kloster Banz, Germany, 30 September – 4 October,

様式19 別紙1

	<p>2013, Deutsche Gesellschaft für Materialkunde (DGM).</p> <ol style="list-style-type: none"> 11. 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, 日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会. 12. 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. 13. 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. 14. 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, 日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会. 15. 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, 日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会. 16. 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>一般向け 計2件</p> <ol style="list-style-type: none"> 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. 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>図書 計0件</p>	
<p>産業財産権 出願・取得状況 計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件 (出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>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>	<ol style="list-style-type: none"> 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. 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II」, 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. 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>新聞・一般雑誌等掲載 計1件</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 人材育成情報誌オガレー, 2013年12月号, vol.19, p.18, 「最先端研究に触れる」.
<p>その他</p>	

様式19 別紙1

4. その他特記事項

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。



実施状況報告書(平成25年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されません

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	127,000,000	110,450,000	16,550,000	0	0
間接経費	38,100,000	33,135,000	4,965,000	0	0
合計	165,100,000	143,585,000	21,515,000	0	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	53,155	16,550,000	0	16,603,155	16,603,155	0	0
間接経費	0	4,965,000	0	4,965,000	4,965,000	0	0
合計	53,155	21,515,000	0	21,568,155	21,568,155	0	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	7,911,514	引張/圧縮用ロードセル、Dell Precision T5610、HXLファイ15X5T(ヘキサロイ)、クーリングタワー 等
旅費	2,207,434	研究成果発表旅費(Beyond Nickel-Based Superalloys, PRICM8等)
謝金・人件費等	1,658,070	研究補助員 人件費
その他	4,826,137	公開講演会宣材費、ホームページ更新費等
直接経費計	16,603,155	
間接経費計	4,965,000	
合計	21,568,155	

4. 当該年度の主な購入物品(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
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
メタル炉用タングステン皿	(株)サーモニック製 2t×100×100	6	105,000	630,000	2013/11/8	東北大学
タワー型ワークステーション	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	インストロンジャパンカン パニイミテッド社製 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