

平成26年度科学研究費助成事業（特別推進研究）自己評価書 〔追跡評価用〕

◆記入に当たっては、「平成26年度科学研究費助成事業（特別推進研究）自己評価書等記入要領」を参照してください。

平成26年 5月 26日現在

研究代表者 氏名	成田 敏夫	所属研究機関・ 部局・職 (研究期間終了時)	北海道大学・名誉教授
研究課題名	長寿命・高信頼性遮熱コーティングを実現する拡散バリヤ型ボンドコート の創製		
課題番号	16001004		
研究組織 (研究期間終了時)	研究代表者 成田 敏夫（北海道大学・名誉教授） 研究分担者 黒川一哉 北海道大学・エネルギー先端工学研究センター・教授 研究分担者 渡辺精一 北海道大学・エネルギー先端工学研究センター・教授 研究分担者 大貫惣明 北海道大学・大学院工学研究科・教授 研究分担者 原 基 秋田大学・工学資源学部・教授 研究分担者 高島敏行 北海道工業大学・機械システム工学科・教授 研究分担者 三浦誠司 北海道大学・大学院工学研究科・准教授 研究分担者 林 重成 北海道大学・大学院工学研究科・准教授 研究分担者 大笹憲一 北海道大学・大学院工学研究科・准教授 研究分担者 村上秀之 独立行政法人物質材料研究機構・主席研究員		

【補助金交付額】

年度	直接経費
平成16年度	138,300千円
平成17年度	145,900千円
平成18年度	94,500千円
平成19年度	66,200千円
平成20年度	51,800千円
総計	496,700千円

1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか

特別推進研究によってなされた研究が、どのように発展しているか、次の(1)~(4)の項目ごとに具体的かつ明確に記述してください。

(1) 研究の概要

(研究期間終了後における研究の実施状況及び研究の発展過程がわかるような具体的内容を記述してください。)

平成 19 年度~平成 22 年度

○北海道大学-JAXA との共同研究

北海道大学 工学研究科 客員教授・特任教授 成田敏夫
宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部 衛星推進技術Gr 長田泰一

○研究課題

人口衛星用 2 液式エンジンへの超高温対応コーティングに関する研究

○研究の内容

人工衛星では姿勢制御および軌道変換を、液体燃料と液体酸化剤を反応させてガス化・噴射する 2 液式エンジン((Bipropellant Rocket Engine: BRE)を搭載し、10~1700N の推力をえることによって、行われている。この BRE では、主燃料としてヒドラジン(N₂H₄) または モノメチルヒドラジン(MMH)を、酸化剤として四酸素二窒素(N₂O₄)を使用し、これら燃料と酸化剤をインジェクターで混合して燃焼させる。耐酸化コーティングに関する要素技術を確立する。

平成 21 年度~平成 22 年度

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

○代表者 成田敏夫 北大客員・特任教授 (株)日立製作所

○研究開発フェーズ 先導研究フェーズ

○研究開発テーマ名 高効率ガスタービン用アドバンスド遮熱コーティングの研究開発

○研究開発の背景・目的

Cool Earth エネルギー革新での天然ガス発電設備の炭酸ガス排出削減を目指し、ガスタービン (GT) の高効率化、及び遮熱技術等の要素技術が必須となる。本提案では、GT の高効率化を狙い、耐熱温度 850℃ 級の高結晶材用の現用 TBC に替わり、耐熱温度 950℃ 級の単結晶材用の耐熱温度が高いアドバンスド遮熱コーティング (A-TBC) を目的に研究開発を行なう。A-TBC 単結晶翼を実用化した GT では現用に比べ約 4% 効率向上が可能になる。

平成 21 年度~平成 23 年度

寄付研究部門(北海道大学)

○代表者 成田敏夫特任教授 日東紡株式会社

研究題目 高温耐熱性金属基材への耐蝕コーティングの開発

○研究の目的及び内容

○高温耐熱性金属基材(Mo 含有合金)への拡散バリアコーティング技術の開発、および大気中および熔融ガラス雰囲気中での耐蝕コーティング技術(耐酸化性、耐摩耗性等)の開発を行い、白金材料を代替できる高温耐熱性金属の確立を目指す。

平成 23 年度~平成 26 年度

宇宙航空研究開発機構 「JAXA オープンラボ」

○代表者 (株)DBC システム研究所 代表取締役 成田敏夫

○技術課題名: Nb-Hf 合金スラスタへの耐酸化コーティング施工技術の開発

○研究の目的及び内容

(株)DBC システム研究所が提案する新しい耐酸化コーティングは Nb-Hf 合金表面に各種金属の薄膜を施工し、続いて、超高温で熱処理することによって形成される。本課題に対して、(株)DBC システム研究所では Re、Pt、Mo などのめっき法と Al、Si 等の拡散浸透処理プロセスならびに(株)室蘭ヒートでの高温熱処理と連携して、耐酸化コーティングの要素技術を確立し、小型から大型試験片、続いて、複雑形状実機スラスタに製膜する要素技術を開発する。

1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか（続き）

(2) 論文発表、国際会議等への招待講演における発表など（研究の発展過程でなされた研究成果の発表状況を記述してください。）

国際会議の招待講演

（下記は、Plenary Lecture または Key Note Presentation です）

平成 22 年度 アメリカ（コロラド）：Engineering Conferences International Meeting, Colorado
カナダ（バンクーバー）：Conference of Metallurgists 2010
沖縄（那覇）：腐食防食協会 2010 秋期大会 材料と環境討論会
北海道（キロロ）：International Workshop for Next Generation Oxidation Resistant Coatings
日本（逗子）：International Symposium on High-temperature Oxidation and Corrosion 2010
平成 23 年度 アメリカ（ニューロンドン）：Gordon Research Conferences
平成 24 年度 フランス（ニース）：Turbine Forum 2012
平成 25 年度 アメリカ（ニューロンドン）：Gordon Research Conferences
平成 26 年度 日本（函館）：International Symposium on High-temperature Oxidation and Corrosion 2014

1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか（続き）**(3) 研究費の取得状況（研究代表者として取得したもののみ）**

研究費の取得はありません。

(4) 特別推進研究の研究成果を背景に生み出された新たな発見・知見

@ 人工衛星の姿勢制御用スラスタ Nb-基合金への拡散バリアコーティングを開発中です。

本研究は北大特任教授在職中に、JAXA の総合技術研究本部 衛星推進技術 Gr 長田泰一博士との基礎的共同研究に端を発し、(株)DBC システム研究所となってからは、JAXA オープンラボプロジェクトに採択され、現在、Nb-Hf 合金スラスタへの耐酸化コーティング施工技術の開発を進めています。

※2. 特別推進研究の成果に基づき、ベンチャーを立ち上げ、現在以下の研究開発を進めている。

拡散バリア型コーティングの概念は、特進研究において、ガスタービン、ジェットエンジンの動翼に使用されている Ni 基超合金を対象に、開発を進めてきたが、この概念は広く他の合金系にも適用可能であり、人工衛星のスラスタに採用されている Nb 基合金、さらには、ボイラー、焼却炉等の高温部材に使用されている鉄鋼・ステンレス鋼への展開も可能であります。これら高温で稼働する機器を対象に、ベンチャーを設立して、実用化研究を開始した。

2. 特別推進研究の研究成果が他の研究者により活用された状況

特別推進研究の研究成果が他の研究者に活用された状況について、次の(1)、(2)の項目ごとに具体的かつ明確に記述してください。

(1) 学界への貢献の状況（学術研究へのインパクト及び関連領域のその後の動向、関連領域への関わり等）

本特進研究で提案した拡散バリアコーティングの概念は材料科学と高温腐食を融合し、基材とコーティングの最適システムを開発することにあります。斯界の若手研究者によって、材料科学および高温腐食をベースにして、それぞれの領域から一歩、踏み出した試みが行われるようになってきています。しかし、諸外国に比較して、我が国での取り組みは、質的には優秀ですが、裾野が狭いという問題があります。

<学術研究へのインパクト>

高温で稼働する部材は、ジェットエンジン、ガスタービン、人工衛星、ボイラー、焼却炉、等にみられるように、その重要性はますます高くなっています。しかし、基礎概念の提案から実用化に至る期間は、他の産業に比較して長く、かつ膨大な投資とリスクを伴います。それゆえ、見える形で成果が表れるまでには、忍耐と継続が大事かと思っています。学術研究へのインパクトは確実にありますので、若手研究者がそのような研究を推進できる環境が得られることを切に望みます。

<関連領域のその後の動向、関連領域への関わり等>

特進研究で提案した拡散バリア型コーティングは、Ni 基単結晶超合金を対象に研究を開始しましたが、この基礎概念は、広く、他の合金系・高温部材にも適用可能である、したがって、ベンチャーを設立してその応用性の実証試験を進めています。

材料工学には、ほかにも同様な学際的なテーマが存在していると思います。今後の発展を期待しています。

2. 特別推進研究の研究成果が他の研究者により活用された状況（続き）

(2) 論文引用状況（上位10報程度を記述してください。）

【研究期間中に発表した論文】

No	論文名	日本語による簡潔な内容紹介	引用数
1	Mikihiro Sakata, Shigenari Hayashi, Takumi Nishimoto, Takayuki Yoshioka, Toshio Narita: The Effect of an Applied External Tensile Stress on the Oxidation Behavior of a Nickel-Base Alloy with a Re-base Diffusion-barrier-coating, <i>Oxidation of Metals</i> , 68 , 295-311 (2007)	コーティングと高温酸化、クリープの相互作用について、実験的に検討している。	9
2	Daisuke Sumoyama, Kemas Zaini Thosin, Takumi Nishimoto, Takayuki Yoshioka, Takeshi Izumi, Shigenari Hayashi, Toshio Narita: Formation of a Rhenium-base Diffusion-barrier-coating System on Ni-base Single Crystal Superalloy and its Stability at 1,423K, <i>Oxidation of Metals</i> , 68 , 313-329 (2007)	拡散バリアコーティングの1150℃・高温酸化における相安定性	18
3	Yuichi Katsumata, Takayuki Yoshioka, Kemas Zaini Thosin, Takumi Nishimoto, Shigenari Hayashi, Toshio Narita: Formation and Oxidation Behavior of a Diffusion-Barrier-Coating System on a Ni-Mo base Alloy at 1,373 K in Air, <i>Oxidation of Metals</i> , 68 , 331-342 (2007)	Bi-Mo 基実用合金への拡散バリアコーティングの形成と耐酸化性	4
4	Toshio Narita, Fengqun Lang, Kemas Zaini Thosin, Takayuki Yoshioka, Takeshi Izumi, Hiroshi Yakuwa, Shigenari Hayashi: Oxidation Behavior of Nickel-Base Single-Crystal Superalloy with Rhenium-Base Diffusion Barrier Coating System at 1,423K in Air, <i>Oxidation of Metals</i> , 68 , 343-363 (2007)	Ni 基単結晶超合金への拡散バリアコーティングの形成と耐酸化性	16
5	Yongming Wang, Somei Ohnuki, Shigenari Hayashi, Takayuki Yoshioka, Motoi Hara, and Toshio Narita: Thermal Stability of a Rhenium-Based Diffusion Barrier Coating Layer on a Ni-Based Superalloy, <i>Materials Transactions</i> , Vol. 48 , No. 2, 127-132 (2007)	Ni 基単結晶超合金への拡散バリアコーティングの高温相安定性	4
6	Il Ryoung Sohn and Toshio Narita: Strength and Corrosion Behavior of Fe-25Cr Alloys under Various Strain Rates in Ar and N ₂ -0.1%SO ₂ at 973 K, <i>Oxidation of Metals</i> , Vol. 65 , Nos. 3/4, 167-179 (2006)	高温酸化に及ぼすクリープ変形の影響	4
7	Michihisa Fukumoto, Motoi Hara and Toshio Narita: Formation of Ni Aluminide Layer Containing La by Molten-Salt Electro-deposition and Cyclic-Oxidation Resistance, <i>Materials Science Forum</i> Vols. 522-523 , 377-384 (2006)	熔融塩らのLa 電解コーティング	3
8	Toshio Narita, Shigenari Hayashi, Lang Fengqun, and Kemas Zaini Thosin: The Role of Bond Coat in Advanced Thermal Barrier Coating, <i>Materials Science Forum</i> , Vol. 502 , 99-104 (2005)	遮熱コーティングにおけるボンドコート の役割	18
9	Toshio Narita, Takeshi Izumi, Takumi Nishimoto, Yoshimitsu Shibata, Kemas Zaini Thosin, and Shigenari Hayashi, Advanced Coatings on High Temperature Applications, <i>Materials Science Forum</i> , Vols. 522-523 , 1-14 (2006)	高温材料への先端的コーティング	21
10	Takeshi Izumi, Takumi Nishimoto, and Toshio Narita : Superior long-term oxidation resistance of Ni-Al coated TiAl alloys, <i>Intermetallics</i> , 13 , 727-732 (2005)	コーティングの長時間(1万時間)実証試験	19

【研究期間終了後に発表した論文】

No	論文名	日本語による簡潔な内容紹介	引用数
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

3. その他、効果・効用等の評価に関する情報

次の(1)、(2)の項目ごとに、該当する内容について具体的かつ明確に記述してください。

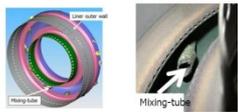
(1) 研究成果の社会への還元状況（社会への還元の程度、内容、実用化の有無は問いません。）

本特進研究で提案した拡散バリアコーティングは、材料科学と高温腐食を融合した概念であり、高温で稼働するすべての径について適用可能です。
以下のように展開しています。

マイクロガスタービン燃焼器への適用
NEDO projects 2010-2011 and 2012-2013 by Ebara Co. Ltd. and Hokkaido University

北海道大学 荻原製作所

Ni基合金
Ni-22Cr-18Fe-9Mo-0.1C(wt%)



DBCシステム
燃焼器ノズルの高温腐食を抑制 (比較: 素材、汎用Al拡散処理)

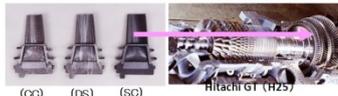


DBCシステム
拡散バリア層は健全に機能し、コーティングの長寿命を可能としています。

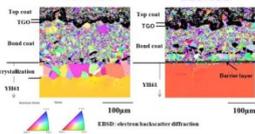


発電用ガスタービン動翼への適用
北海道大学 HITACHI
NEDO projects 2010-2011 and 2012-2013 by HITACHI Co. Ltd. and Hokkaido University

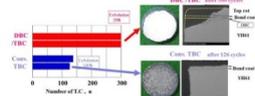
Ni基単結晶超合金(YH61)



DBCシステム
超合金とコーティングの拡散を抑制し、コーティングの長寿命を可能とします。



DBCシステム
遮熱層(YSZ in TBC)の耐剥離性が向上し、TBCの長寿命を可能とします。



Ni基単結晶超合金(CMSX-4, TMS-138)
NEDO イノベーション補助事業 2015 DBC System Co. Ltd.

実施例 **Ni基単結晶超合金** → Jet

開発中

DBCシステム
Ni基単結晶超合金とPt添加βNiAlコーティングの拡散を抑制し、コーティングの長寿命化と合金基材の組織変化を抑制することができます。

DBCシステム
βNiAlコーティングへのPt添加量を大幅に削減し、低コスト化を実現。
Pt添加量は2at%、Ptめっき厚さ1μm程度

Diffusion barrier with triple layers

実際に搭載されている例

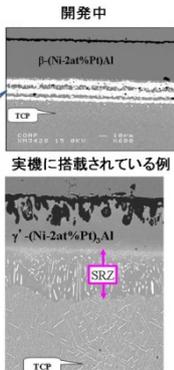
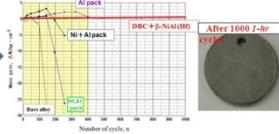


Fig. DBC/Pt添加βNiAlコーティングとPt添加βNiAlを形成したNi基単結晶超合金(TMS-138)を熱サイクル酸化した後の断面組織 (after 100 J-hr cycles oxidation at 1100°C in air)

Fe-Cr-Ni基合金ステンレス鋼 (SUS 310S)
経済産業省 ものづくり支援事業 2015 DBC System Co. Ltd.

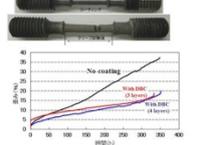
⇒耐酸化性
Fe-25Cr-20Ni ステンレス鋼
DBCシステム
ステンレス鋼とコーティングの拡散を抑制し、コーティングの長寿命を可能とします。

Combination of the DBC and Hf addition in β-γ coating is very effective to maintain a protective Al₂O₃ scale for long time under thermal cyclic oxidation.



⇒耐クリープ特性 In air at 900°C σ=22.5MPa

DBCシステム
ステンレス鋼の耐クリープ性を向上します。



熱電対 焼却炉 バイオマス

JAXA 「宇宙オープラボ」 スラスターコーティング開発事業 (平成23年10月~平成26年9月) DBC System Co. Ltd.

Nb-Hf合金スラスターへの耐酸化コーティング施工技術

ユニットリーダー: 成田 敏夫(なりた としお)、代表取締役、(株)ディー・ピー・シーシステム研究所
JAXA リーダー: 長田 泰一(ながた たいいち)、主任開発員、研究開発本部推進系グループ



人工衛星



スラスター(軌道変換、姿勢制御)

3. その他、効果・効用等の評価に関する情報（続き）**(2) 研究計画に関与した若手研究者の成長の状況（助教やポスドク等の研究終了後の動向を記述してください。）**

本研究計画に関与した方々の動向は以下のとおりです。

@ 北海道大学助教への採用（１名）

@ ベンチャー企業への就職（１名）

@ 大手企業(新日本製鉄・住金株式会社)への就職（１名）

@ 外国の大学(アイオワ州立大学)post doc 採用。(後、国内大手企業(日立製作所)へ就職)（１名）

@ 外国の大学(アイオワ州立大学)post doc 採用。(後、秋田大学講師への採用)（１名）