

## 事後評価報告書

評価委員会開催日：平成18年8月4日

評価委員：（敬称略、順不同）

吉葉正行 首都大学東京大学院理工学研究科 教授 （主査）

小林聖一 JALエンジンテクノロジー（株）システム技術グループ マネージャー

水流 徹 東京工業大学大学院理工学研究科 教授

鈴木俊夫 東京大学大学院工学系研究科 教授

記入年月日：平成18年11月8日

課題名	高性能耐環境コーティングに関する総合的研究
研究責任者名及び所属・役職	黒田聖治 材料研究所溶射グループ ディレクター （現在：コーティング・複合材料センター センター長）
【実施期間、使用研究費、参加人数】	実施期間：平成16年度～平成17年度 使用研究費（期間合計）：運営費交付金：76百万円、外部資金：0百万円 参加人数：（平成17年度）23人（専任：3人、併任：5人、ポスドク：5人、外来：6人、技術補助員：2人、事務補助員：2人等）
【研究全体の目的、目標、概要】	<p>研究目的及び具体的な研究目標：</p> <p>材料の使用環境は年々厳しくなり、先端的な機器ほど単一材料で機械的特性と耐環境性能を同時に満足することが困難になっている。コーティングは材料の環境性能を向上させる極めて有効な手段であるが、材料、プロセス、用途が多岐に渡ることあり、専門的・継続的に研究している機関は国内には少ない。しかし、コーティングの重要性が今後益々増大すること、複数の材料にまたがる横断的な分野であること、NIMSでは溶射工学グループと超耐熱材料プロジェクトのコーティングチーム（以下TBCチーム）が豊富な研究実績を有しており、さらにコーティングの性能を評価解析する界面力学や複合効果解析チーム（以下評価チーム）が高度な研究ポテンシャルを有していることから、三者が連携してコーティング研究を総合的に推進する。</p> <p>2年間の具体的な研究対象としては、エネルギーや各種輸送・産業機器で重要度が高く、かつ研究参画者のポテンシャルが十分に発揮できるものを選定した。即ち、1）タービンエンジン用の遮熱コーティング（TBC）と、2）硬質耐磨耗・耐食性コーティング（サーメット）である。前者では皮膜はく離の一大原因であるボンドコート材の開発を焦点に、後者では固相粒子の衝突による成膜プロセスの活用を眼目とする。これに皮膜の劣化診断や予寿命評価の新技術を狙う、3）信頼性保証技術の開発を三本の柱とし、実行においては三テーマが協力しつつ推進する体制を組む。</p> <p>研究計画概要：</p> <p>1）TBC 超耐熱グループ開発のNi基単結晶超合金を基材とし、新規ボンドコート材としてIr合金を開発する。Ir合金の最適組成を実験と計算の両面から探索し、耐酸化性能、耐高温腐食性能、トップコートをつけた状態での熱サイクル試験を行い、開発合金のボンドコートとしての優れたポテンシャルを実証する。</p> <p>2）サーメット 高速フレイム（HVOF）溶射を改良して、炭化物サーメット溶射時の材料劣化を抑制し、溶射粒子を高速度化して緻密で耐食性に優れた耐磨耗皮膜（摩耗量×1/2目標）を得る。また、チタン基の複合材料皮膜（TiN-Ti）の<i>in-situ</i>合成を行う。</p> <p>3）信頼性保証 ミリ波によるTBCコーティング層の誘電率の非接触測定、マイクロ波によるTBCコーティング層の非接触加熱について基礎的な検討を行い、皮膜劣化診断や内部損傷検出の可能性を明らかにする。</p>

<p>【全研究期間の成果等 (研究全体)】</p>	<p>研究成果（アウトプット）、成果から生み出された効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）：  タービンエンジン用の遮熱皮膜（TBC）は世界的に熾烈な開発競争が進められている研究領域であり、NIMSは耐熱超合金で世界トップレベルにあることから、これに適合するコーティングの開発が待望されている。Ir合金のボンドコートは、NIMSオリジナルのアイデアであり、この二年間で耐酸化性、耐食性、トップコートを施工した状態での熱サイクル試験と最小限の項目ではあるが期待した性能を実験室レベルで確認できた。現段階では施工性、コスト面の課題はあるが性能的に非常に高いポテンシャルを示した点で大きなインパクトがある。  HVOFをベースとしたプロセス開発とそのサーメットならびにチタンへの展開は、TiNの合成が達成できなかった点を除けば、期待通りの着実な成果を挙げ、原料粉粒子を溶かさずに最適な温度・速度で堆積させるというコンセプトの重要性を示した。競合技術のコールドスプレーも動作ガス温度を上昇させており、平成18年5月の国際溶射会議では動作ガス温度を900℃にまで設定できる装置が発表された。溶射技術全体から見るとHVOFとコールドスプレーの溝が双方から埋められつつあるが、NIMSがHVOF側からの開発を先導している。  皮膜の信頼性保障については、ミリ波を用いて非接触でTBC皮膜の誘電率測定が可能との見通しや、マイクロ波加熱によるはく離検出の有効性について基礎的なデータが取得された。この技術の高度化によってTBCの劣化度や内部欠陥の検出が可能となれば、そのインパクトは非常に大きいと、実用的にどの程度の精度で評価できるのかについては今後の研究を待たねばならない。</p> <p>論文：9.5件*、プロシーディングス：18.7件*、解説・総説：3.0件*、招待講演数：19.0件*（*：研究の寄与率を考慮した平成16-17年の値）  特許出願：5件、登録：2件、実施許諾：0件</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメントおよび評価点</p>
<p>マネジメント 実施体制 (サブテーマ間関係、外部との共同研究の有効性)</p>	<p>コメント：  プロジェクト内部の実施体制としては、TBCとサーメットコーティングという2つの縦割りのテーマを、材料・プロセスという横糸で結んで研究を進めており評価できるが、評価グループの寄与がいま一つ見えなかった。コーティングの研究は基材の使用条件とのマッチングが重要であることから、コーティング研究単独では存在できず、そういう意味で連携が不可欠である。企業との共同研究は一部なされているようであるが、機構内他の部署の超鉄鋼グループ、あるいは「新世紀耐熱材料プロジェクト」との連携・協力をもっと進めて欲しかった。また、これらフォーメーションの拡充は今後の課題でもありと考える。以上、一部不十分な点があるとはいえ、よく考えられた実施体制であったと評価できる。</p>
<p>* 評価点（10点満点）：7  評価基準 9点：研究の効率向上に明確に寄与している  7点：よく考えられている 5点：平均的な体制  3点：もう少し考慮の余地があった 1点：プロジェクト遂行の支障となった</p>	
<p>アウトプット (論文、特許等の直接の成果。費用対効果を考慮)</p>	<p>コメント：  2年間の研究期間及び費用対効果を考えると、論文、プロシーディングス、招待講演、特許等のアウトプットは十分な成果を挙げている。</p>
<p>* 評価点（10点満点）：8  評価基準 9点：質・量共に平均的プロジェクトの水準を大きく上回っている  7点：平均的水準より優れる 5点：平均的水準  3点：少ない 1点：問題がある</p>	

<p>目標の達成度 その他アウトカム、波及効果</p>	<p>コメント： TBCではIr添加ボンドコートによる高い耐食性、耐酸化性の発現、及び縦割れクラックの有したトップコートの優位性を見出したことは評価できる。信頼性評価技術では、ユニークな健全性確認手法について、それなりの成果を上げており評価できる。ただし、実用化を目指すには、評価項目が基礎から応用の間に未だ相当程度残っているように思われ、これらを詰める必要がある。 今後、機構内の他のグループとの連携により、更なる研究の進展が期待できる。以上、2年という研究期間を考えれば、目標は十分達成されたと判断できる。</p>
<p>* 評価点（10点満点）：7 評価基準 9点：一つの分野を形成した 7点：目標は十分達成され、当該分野に影響を与えた 5点：目標はなんとか達成された 3点：目標の部分的な達成 1点：目標達成にはほど遠い</p>	
<p>総合評価 研究全体に対する総合的な所見を記入。 また上記設定評価項目に含まれないその他の評価ポイントがあれば追加してコメント。</p>	<p>コメント： コーティングを複数の材料にまたがる横断的分野としてとらえ、総合的に進めようという研究で、全体として優れたプロジェクトであった。特に、機構オリジナルのTBCは評価できるので、今後実用化への研究が期待される。一方、信頼性部門の成果は定量性などの点でユニークであり、学術的にも興味深い。実用性を考えた場合、相当多くのハードルが残っているように思われる。今後は、産業界でのニーズを調査して、どのような研究開発が必要かレビューする必要性を感じる。</p>
<p>* 総合評価点（10点満点）：7 評価基準 9点：すべての点において模範的に優れている 7点：総合的に優れている 5点：平均的 3点：期待されたほどではなかった 1点：税金の無駄遣いである</p>	

なお評価点は、公表時一般にもわかり易いように、以下のようにS, A, B, Cを併記します。

- 9、10 S
- 8 A+
- 6、7 A
- 5 A-
- 3、4 B
- 0~2 C

評価点まとめ

マネジメント実施体制 (内外連携)	アウトプット	目標達成度、アウトカム 波及効果	総合評価
A	A+	A	A