

プロジェクト事後評価報告書

評価委員会開催日：平成23年11月22日

評価委員：（敬称略、五十音順）

榎 学 東京大学大学院 工学系研究科 教授

竹山雅夫 東京工業大学大学院 理工学研究科 教授

山崎裕文 産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 グループ長

確定年月日：平成24年2月9日

プロジェクト名	新世紀耐熱材料プロジェクト
研究責任者の所属・役職・氏名	特命研究員（元超耐熱材料センター長） 原田広史
実施期間	平成18年度～平成22年度
研究目的と意義	発電ガスタービンやジェットエンジンの高温化、高効率化に必要な次世代の新耐熱材料を設計開発し、実機に適用することにより、燃料消費量の低減を通してエネルギー資源の節約や二酸化炭素排出削減に貢献することを研究目的とする。
研究内容	<p>実用化目標を、</p> <ol style="list-style-type: none"> ①超高効率コンバインドサイクル発電用1700℃大型ガスタービン ②高効率コジェネレーション用小型ガスタービン ③民間機用の国産小型ジェットエンジン ④次世代の大型民間機用ジェットエンジン <p>などとし、これら機器の高効率化によるエネルギー資源節約、二酸化炭素排出削減はもとより、国内重工業、航空機産業等の活性化にも寄与する。</p>
ミッションステートメント（具体的な達成目標）	<p>開発目標として、耐用温度1150℃の空冷タービン翼用Ni基単結晶超合金、耐用温度1200～1800℃の無冷却タービン翼用高融点超合金、耐用温度750℃のタービンディスク用Ni-Co基鍛造超合金などを設計開発する。</p> <p>並行して、新世紀耐熱材料プロジェクト第I期（平成11～17年度）に得られた耐用温度1080～1100℃の空冷タービン用Ni基単結晶超合金などとともに順次技術移転・実用化し、高効率発電ガスタービンおよび次世代ジェットエンジンの一層の高効率化によるエネルギー資源の節約、二酸化炭素排出削減の効果を上げることを目指す。</p>
平成18年度～平成22年度までの主な研究成果（アウトプット）及び研究成果から生み出された（生み出される）効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）	<p>1) 主な研究成果（アウトプット）：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Ni基単結晶超合金については、開発目標1150℃に対して、1120℃に到達（耐酸化性にも優れる）した。これまでの世界最先端は米ゼネラル・エレクトリック社、米プラット・アンド・ホイットニー社、米NASA共同開発のMX-4合金の1060℃であった（耐酸化性が悪い）。 ・Ni-Co基鍛造超合金については、開発目標750℃に対して、750℃に到達した。世界最先端は米スペシャルメタルズ社のNi基鍛造超合金U720Liの675℃であった。 ・Ni基単結晶超合金へのEQコーティング（熱力学平衡コーティング）を開発、トップコート（イットリア安定化ジルコニア）を施工した遮熱コーティング（TBC）の繰り返し酸化安定性が従来のTBCの3倍優れていることを示した。 <p>実用化成果：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大型ジェットエンジンのタービン翼として開発単結晶超合金を実用化した。新型商用機に用いられた。 ・三菱重工業（株）の1700℃大型ガスタービン、川崎重工業（株）のコジェネレーション用小型ガスタービン、本田技研工業（株）の小型ジェットエンジンなどの高温部材として今後の実用化に有望な超合金を提供した。 <p>2) 研究成果から生み出された（生み出される）効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大型ジェットエンジンへの開発単結晶超合金実用化により、メタル温度の40℃以上上昇、1%以上の効率向上、航空機1機あたり年間100万ドル（7600万円）

	<p>の燃費が節約できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・三菱重工業（株）の1700℃大型ガスタービンが実現すれば、熱効率は56%HHV（現状最高1500℃、52%HHV）に向上する。二酸化炭素排出を極力抑えながら、福島第一原発事故などにより生じた電力危機を回避するために、今後ますます重要になってくる技術であると考えられる。
プロジェクトの目標の達成度合い及び自己点検・評価	<p>プロジェクトの目標の達成度合い： 目標達成に至らなかった項目もあるが、全体的には順調に進展し目標をほぼ達成できた。特に、航空機エンジンへの実用化に関しては最新型エンジンのタービン翼として実用化したほか複数の有望合金を提供するなど、大きな成果を挙げており、目標を十分上回った。</p> <p>自己点検・評価： プロジェクト目標自体の高さ（材料開発の数値目標、実用化）を考慮すると、世界をリードする優れた研究成果が得られたと考えられる。特に、世界最強の超合金等を各種開発し、最も困難と考えられた航空機エンジンに実用化するなど、総合的にみれば、本プロジェクトの目標とする省エネルギー・二酸化炭素排出削減のための材料開発と技術移転・実用化は、当初計画を超えて大幅に進展したと判断できる。</p>
【評価項目】	コメント
<p>①研究計画、実施体制、マネージメント、連携 （計画はきめ細かったか、ロードマップに問題はなかったか、実施体制は十分だったか、マネージメントの是非、連携の範囲や連携課題、連携の成果はどうだったか、どこが問題なのか、ほか）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的少数の人員にもかかわらず、シミュレーションに基づく合金設計という基礎研究から、実際の材料設計開発（基盤研究）、実用化を目指した企業との共同研究までの幅広いフェーズの研究を着実に推進しており、研究マネージメントは適切である。 ・実用化という目標に向かって適切に計画を立てて研究が実施された。また、次期の目標に向かっても基礎的な面の研究も十分行われた。 ・企業との共同研究でジェットエンジンが実用化されるなど、連携体制の成果は十分であった。 ・世界的に見て優れた材料というシーズを基にして機械メーカーに協同研究を持ちかけたり、今後の展開についても積極的な発信を行ったりしており、その点でも評価できる。 ・プロジェクト第Ⅱ期（平成18～22年度）の基礎研究をどのように実用化に反映しているのかが（同時進行として）不明瞭なので、明確にすべきである。 ・今後も非常に重要な分野であるので、将来を見据えた人員配置が行われるべきであった。 ・若手研究者が足りない。大学との協同研究など、広い意味での人材育成につながる体制を組むべきであった。 ・国内においてこの分野の進展を図るために、他の研究機関との連携も進めるべきであった。 ・材料研究開発機関のみならず、本研究プロジェクトの成果をベースに国産ジェットエンジンへの道筋をつける努力を今後期待する。

<p>②研究開発の進捗状況及び具体的目標の達成度 (研究責任者の自己点検・評価を踏まえて、進み具合はどうだったか、目標は達成されたか、目標は具体的であったか、世界レベルで見て目標は高かったか・低かったか、問題点は何か、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・この分野において世界的に見ても非常にレベルの高い成果が得られている。 ・実用化研究成果はOKである。 ・Ni 基単結晶超合金の高性能化（耐熱温度・耐酸化温度の向上）とタービン翼等への実用化は順調に進展しており、また、基礎的なコンセプトに基づいた EQ コーティングのTBCへの適用など、新しい研究も進んでいる。 ・総じて優れた成果が得られている。この分野は実績を積み上げて初めて成果に結びつくため、長い目で見ながら評価し、かつ継続していく必要がある。プロジェクト第Ⅰ期の成果をプロジェクト第Ⅱ期で一つでも実用化に結びつけた点は高く評価する。 ・タービンディスク材は目標を達成しており、クリープ強度が2倍以上なのは素晴らしい成果である。ただし、評価手法も同時に検討すべきである。 ・ジェットエンジンにおいて商用ベースで利用が開始されるなど優れた研究開発が達成された。ただし、実用化に注力したため基礎的な次期の材料の開発という点では必ずしも当初目標は達成されなかった。これは元々高い目標設定がされたためと考えられる。 ・ジェットエンジンやガスタービンとしての実用化といったように元々の目標設定が高かったこともあって実施項目すべてについて目標を達成したわけではないが、プロジェクト進捗に伴って重要と判断された項目を重点的に実施したため、未達の項目があっても、それは大きな問題ではない。 ・ジェットエンジン（〇社連携）が本年商用機に搭載されるとの事だが、本プロジェクト第Ⅱ期の成果とした点はどこにあるのか。プロジェクト第Ⅰ期の成果ではないか。 ・1700℃級ガスタービン（三菱重工業（株）連携）としてのプロジェクト第Ⅱ期の成果は具体性がない。
<p>③論文・特許等の直接の成果（アウトプット）、効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト） (世界レベルの質の成果が出たか、どのような効果・効用あるいは波及効果が出たか（期待されるか）、研究タイプを考慮した費用対効果は、問題点は何か、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・論文・特許に関しては十分なアウトプットが得られている。 ・比較的少ない研究員体制で良く論文として成果を発表している。 ・国の研究系独立行政法人である物質・材料研究機構が開発した Ni 基単結晶超合金が航空機用のジェットエンジン用材料として実用化され、現在、大きな話題となっているボーイング787ジェット機に搭載されることは、大変重要な成果である。 ・投入された予算に比して優れた世界的なレベルの成果が得られている。物質・材料研究機構としてはもっと予算や人員を投入してプロジェクトの進展を図るべきであったかも知れない。 ・省エネルギーに大きく寄与することが期待されるガスタービンへの実用化も視野に入っており、その場合のインパクトはさらに大きい。
<p>④総合評価 (研究全体に対する総合的所見、及び上記評価項目①～③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>	<ul style="list-style-type: none"> ・全体的に見て、大変優れたプロジェクトであったと判断できる。 ・プロジェクト第Ⅱ期までの成果は優れた材料を開発し、実用化まで結びつけた点で高く評価できる。 ・民間企業への技術移転が十分になされ、プロジェクトとして優れた成果が達成されている。 ・本分野は我が国のエネルギー事情を考えた場合、継続すべき重要な領域と考える。 ・是非、後継プロジェクトを立ち上げて、大きな省エネルギー効果が期待される高温ガスタービンへの実用化を実現して欲しい。 ・年齢構成が偏り過ぎ、プロジェクト第Ⅲ期を速やかに起こすことは疑問を感じる。 ・次期に向けて、人材育成も考慮した研究計画の策定が必要と思われる。 ・プロジェクト第Ⅲ期があるとすれば、大学と連携をして、基礎と応用の両面から、人材育成を中心にしてほしい。

各委員の総合評価点 (10点満点)	7、9、9 (順不同)	
総合評価点平均 (10点満点)	8.3 (小数第二位以下四捨五入)	
総合評価点	評価	評価基準
10	S	全ての点において模範的に優れていた。
9		多くの点において非常に優れていた。
8	A	総合的に優れていた。
7		優れたプロジェクトであった。
6		平均的なプロジェクトであった。
5	B	一部の計画の見直しが必要であった。
4		期待されたほどではなかった。
3		計画を見直して継続すべきであった。
2	C	プロジェクトの見直し、計画の抜本的な変更が必要であった。
1		大きな問題があり、プロジェクトを中止すべきであった。