

プロジェクト事後評価報告書

評価委員会開催日：平成24年2月14日

評価委員：（敬称略、五十音順）

野口博司 九州大学工学研究院 機械工学部門 教授

福田 博 東京理科大学 基礎工学部 教授

村山宣光 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 研究部門長・所長代理

確定年月日：平成24年4月2日

プロジェクト名	フェイルセーフハイブリッド材料
研究責任者の所属・役職 ・氏名	環境・エネルギー材料部門 先進高温材料ユニット長（元ハイブリッド材料センター長） 黒田聖治
実施期間	平成18年度～平成22年度
研究目的と意義	<ul style="list-style-type: none"> ・近未来の構造材料として、破壊が開始しても一定時間は荷重を支えられる能力（フェイルセーフ機能）を有する材料の設計・製造・評価指針を提案する。輸送やエネルギー分野で重要な複合材料や表面コーティングでフェイルセーフ機能を実証し、より安全・安心な構造体を得るための材料技術として産業界へ普及を図り、社会に貢献することを目指す。 ・最近の材料ナノテクノロジーの効果をnm～cmオーダーへの技術の融合を行い、構造材料自体にフェイルセーフ機能を持たせることにより、材料ナノテクノロジーを単なる物質の研究で終わらせずに、構造材料という日常生活の根幹をなす材料を通して世の中に役立つ形で還元するという点にも特徴を有する。 ・開発対象とする複合材料、コーティングは、今後の先進材料技術の重要なコアコンピタンスであり、「国際的な競争状態及びイノベーションの発展段階を踏まえると、第三期科学技術基本計画期間中の集中投資・成果達成が国際競争に勝ち抜く上で不可欠であり、不作為の場合の5年間のギャップを取り戻すことが極めて困難なもの」にも該当する。
研究内容	<ul style="list-style-type: none"> ・サブテーマ1：貝殻真珠層の微細構造や機械特性・破壊機構を解明し、フェイルセーフ材料の設計・評価指針を導出する。 ・サブテーマ2：耐熱高分子をマトリックスとした炭素繊維強化型高分子複合材料(CFRP)の製造技術を確立し、異種繊維のハイブリッド化やナノ複合効果を用いてフェイルセーフ機能を付与する。 ・サブテーマ3：繊維強化型セラミックスとセラミックスの積層ハイブリッド材の接合界面を最適化してフェイルセーフ機能を付与する。 ・サブテーマ4：ナノコンポジット組織とハイブリッド構造を有する皮膜をスプレープロセスに基づいて実現し、フェイルセーフ機能を発現させる。 ・平成21年度から加わったサブテーマ5～7はハイブリッド材料の将来展開に備えて基盤的研究を行う。
ミッションステートメント (具体的な達成目標)	<ul style="list-style-type: none"> ・自然界に存在するフェイルセーフ機能を有する材料の構造や破壊機構を究明し、壊れ始めても力を負担し続けられるという効果を得るための構造設計の指導原理や特性の評価指針を得る。 ・CFRPなどの軽量構造材料、セラミック系複合材料(CMC)などの耐熱構造材料、耐環境コーティングの3分野でナノ複合化、マルチスケール破壊機構、ハイブリッド効果などを融合して、フェイルセーフ機能を発現させる。 ・さらに異種材料とのハイブリッド化を通して新しい実用構造材料の開発に寄与できるコンセプトを世の中に送り出す。

<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>	<p>1) 主な研究成果（アウトプット）： 指導原理であるバイオミメティクス、それを適用する実用材料として高分子系及びセラミックス系の複合材料と厚膜コーティングを設定し、設計指針、材料選択からプロセッシング、評価、モデリングと包括的な体制で研究開発を進め、フェイルセーフと定義した「破壊が開始しても一定期間は負荷を維持できる材料」を開発するという当初の目標は達せられ、既存材料と比較して定量的に有意な進歩は得られた。 具体的には： ・貝殻真珠層のメカニズムの定量的理解が得られた。 ・CFRPについては、高強度炭素繊維と高剛性炭素繊維を組み合わせることによりフェイルセーフ機能を実現し、ナノ粒子分散によって層間のき裂伝播に対して抵抗を向上させた耐熱樹脂マトリックスCFRPを開発した。 ・繊維強化CMCと緻密なセラミックを多層化したハイブリッドセラミックス材料は、ノッチ感性がなく大きな許容ひずみを示した。 ・ナノWC-Coとメタル層の多層化によってフェイルセーフ挙動を示すハイブリッド厚膜コーティングが開発された。</p> <p>加えて、マルチスケールの変形・破壊の計測技術、強加工による金属間化合物やTi合金の強度・靱性向上、デバイス用の多種材料を大気雰囲気中で低エネルギー接合する技術、昆虫の足の密着を模倣するナノ構造体、強加工によるアモルファス組織形成の計算シミュレーションなど、それ自体でも有用なNIMSオリジナルの技術シーズがいくつも創出された。</p> <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）： 開発したフェイルセーフハイブリッド材料は、構造によってフェイルセーフ機能を付与する現状の機器設計指針を大きく変え、構造設計を簡略化できる可能性がある。今後、材料データの蓄積／信頼性の向上とともに、航空機、自動車等の輸送機器への適用が期待できる。また、フェイルセーフハイブリッド材料の設計、プロセス、評価の指針を示したことから、他の材料系でも類似のアプローチが広がって行くことが予想される。</p>
<p>プロジェクトの目標の達成度合い及び自己点検・評価</p>	<p>プロジェクトの目標の達成度合い： 順調に進展して目標を達成し、一部で目標を上回る成果も得られた。</p> <p>自己点検・評価： ・開発対象材料系において、バイオミメティクスに依拠した設計指針、材料選択からプロセッシング、評価、モデリングと包括的な体制で研究開発を進め、フェイルセーフと定義した「破壊が開始しても一定期間は負荷を維持できる材料」を実現するという当初の目標は達せられた。また、各サブテーマにおいても有用なNIMSオリジナルの技術シーズがいくつも見出された。 ・ナノメートルからミリメートルまでのマルチスケールでの同時破壊を実現するような材料技術の確立には課題を残し、主原因の材料プロセス面での壁は残ったが、乗り越える展望は開けつつある。</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>

<p>①<u>研究計画、実施体制、マネージメント、連携</u> (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"> ・サブテーマ1、2、3、4は、それぞれのサブテーマの関係が明確であり、十分な実施体制、マネージメント、研究計画であったと評価される。 ・サブテーマ3は、バイオメティックスをフェイルセーフの指導原理として、界面特性に着目した研究体制になっている。 ・計画およびロードマップは、おおむね妥当であったと判断されるが、サブテーマによっては具体性に欠けていた面がある。 ・説明資料の「計画外事象の発生の有無とその対応」の項目で記載されているが、サブテーマ5、6、7を本プロジェクトの中で位置づけるのは、やはり無理があったのではないか。 ・ロードマップでは、各サブテーマを串刺しに（もしくは相互関連）するような仕組みになっているが、連携の成果はあまり見えない。 ・界面がキーワードであるので、それを基に、サブテーマ間の連携をさらに進めてほしい。
<p>②<u>研究開発の進捗状況及び具体的目標の達成度</u> (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"> ・「フェイルセーフ」という概念を提案し、貝殻の構造にフェイルセーフ材料の開発指針を求め、CFRP、セラミックス、コーティングにおいてフェイルセーフ材料を開発するという目標に対して、先導的な成果を挙げたと評価される。 ・目標は十分に達成されている。 ・個々のサブテーマは世界レベルのものとなっている。 ・インターコネクトに関しては、フェイルセーフ材料の開発における位置づけを離れて研究自身を見たとき、異種材料間の接合や生物を模倣した接合に関して、興味深い成果が出ている。 ・自己点検・評価では「計画を超えて進展」とあり、世界初といった成果も散見されるが、全体としては計画を超えるまでには至っていないと判断される。
<p>③<u>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）</u> (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"> ・学術論文、学会発表、特許等、アウトプットは相当数ある。 ・論文、特許については、十分な成果を挙げている。 ・フェイルセーフ材料の開発に対して方針を出し、貢献している。 ・成果が得られ始めているが、効果・効用あるいは波及効果が出るまでにはまだ時間がかかりそうである。
<p>④<u>総合評価</u> (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"> ・本プロジェクトで提案された「フェイルセーフ材料」のコンセプトとフェイルセーフ度の指標は大変興味深い提案である。また、フェイルセーフ材料の実現可能性を示した点は意義深い。 ・本プロジェクトで取り扱った材料が実用材料となるには、多くの課題が残されていると思う。今後の進展に期待したい。 ・破壊靱性値で評価する材料特性と、設計で用いる材料特性の関係を自ら構築したら、開発した材料は広く用いられる。 ・バイオメティックスから得られる「指導原理」が生かされているようには見えない。 ・許容応力以上で消費する仕事量をフェイルセーフファクターと定義しているが、許容応力は材料評価の客観的基準ではないので、今後もさらに検討することを望む。
<p>各委員の総合評価点 (10点満点)</p>	<p>7、7、6 (順不同)</p>

総合評価点平均 (10点満点)		6.7 (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。 多くの点において非常に優れていた。
9		
8	A	総合的に優れていた。 優れたプロジェクトであった。 平均的なプロジェクトであった。 一部の計画の見直しが必要であった。
7		
6		
5	B	期待されたほどではなかった。 計画を見直して継続すべきであった。
4		
3		
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。 大きな問題があり、プロジェクトを中止すべきであった。
1		