

# プロジェクト中間評価報告書

評価委員会開催日：平成25年12月11日

評価委員：（敬称略、五十音順）

潮田浩作 新日鐵住金（株）技術開発本部 フェロー

落合庄治郎 京都大学構造材料元素戦略研究拠点 副拠点長

丸山公一 東北大学名誉教授

山本真人 （一財）電力中央研究所材料科学研究所 上席研究員

確定年月日：平成26年3月17日

プロジェクト名	軽量・高信頼性ハイブリッド材料の研究開発
研究責任者の氏名・所属・役職	香川 豊 フェロー/ハイブリッド材料ユニット長
実施予定期間	平成23年度～平成27年度
研究目的と意義	<p>近未来の軽量移動構造体などの適用箇所を想定し、省エネルギーを達成することができる高信頼性ハイブリッド材料を開発するために必要な技術ツールの完成を目指す。ここでいう「技術ツール」とは多種多様な材料系に適用できる基礎・基盤技術とする。特に、界面というキーワードをもとに技術ツールの開発を行う。技術ツールの利用により、ハイブリッド材料研究開発時に費やす費用の低減や時間の短縮を可能にすることを目指す。研究開発の効率化により、ハイブリッド材料の実用化までに要する時間の短縮が可能になる。この利点を活かして開発する省エネルギー・低CO<sub>2</sub>エミッション軽量移動構造体の実現、高信頼性という品質を活かした差別化による製品の国際競争力や産業活性化、これらの効果による新規雇用創出に寄与できる。さらに、国内でのハイブリッド材料の研究拠点としての機能を持たせることに大きな意義がある。</p>
研究内容	<p>Al や Ti 等の軽量金属、FRP（繊維強化プラスチック）、軽量セラミックス材料などを主要な構成材料とし、異種材料界面の利用に加えて、組み合わせる形の利用及び異種材料特性差の利用をコア技術として採用する。この技術を用い、ハイブリッド化後に最高のパフォーマンスを得るための普遍的で広範囲に応用可能な「ハイブリッド材料技術ツール」を構築する。本プロジェクトでは、ハイブリッド材料に必ず存在する「界面」というキーワードのもとに研究開発を行う。</p>
ミッションステートメント （具体的な達成目標）	<p>(1)ハイブリッド構成材料に関する研究：セル構造アルミニウムにポリマーや金属等の様々な材料を内包させる技術開発、異種金属を特殊な形状で組み合わせたラティス構造金属材料を作製する。</p> <p>(2)ハイブリッド材料特性向上に関する研究：任意の異種材料接合時に構成材料の特性から最適な接合状態にするための被接着材料表面の凹凸、接着材料の特性と厚さなどの指針を得るための解析を行う。ハイブリッド材料中の異種材料界面を利用して材料特性を向上させるための機構を提案する。</p> <p>(3)ハイブリッド材料構造化に関する研究：地球環境に負荷のかからない元素のみを用いて金属材料、セラミックス材料、高分子材料の間の任意の異種材料を簡単な装置で接合することができる新接合技術を開発する。常温で異種材料接合と剥がすことを容易に実現する接合・接着技術を生み出すためのバイオミメティクス技術に基づく新技術開発を行う。</p> <p>(4)ハイブリッド材料評価・解析技術に関する研究：異種材料界面の熱伝導率を正しく測定・評価する測定評価技術の開発を行う。ハイブリッド材料界面に生じる不均一変形挙動をナノ～ミリスケールで計測評価できる計測評価技術を確立する。</p>

<p>平成23年度～平成25年度中間評価時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）：  ハイブリッド材料の特性を向上させる技術として、低熱膨張化、界面モデル化、新しい接合技術ツール、界面特性計測ツールなどの研究開発を行った。主な成果は以下の通りである（各サブグループから代表的な成果一件を記載）。</p> <p>(1-1) 熱膨張率の異なるアルミニウムとチタン合金を用いて、それぞれの形を制御することにより低熱膨張率を実現する技術ツールとしての指針を示した。</p> <p>(1-2) 異種材料接合界面の凹凸をモデル化し、接着材料の破壊エネルギー、界面剥離エネルギーを求めるための計算法の検討と界面剥離に及ぼす影響因子の抽出を行い、界面最適化手法としての提案を行った。</p> <p>(1-3) 将来の接着技術として水を利用した環境にやさしい異種材料接合を開発した。単に、現象を探すだけではなく、探し当てた現象を工業技術として利用するための「新接着技術」という分野の発展につなげたことは極めて高く評価される。また、学会や新聞発表などを積極的に行い、研究成果を社会に発信した。</p> <p>(1-4) 異種物質の組合せによる界面の剥離・損傷をマルチスケールで計測・評価する装置と計測ツールの提案を行った。本ツールを不均一・異方性構造を持つ積層 CFRP 材料に応用し、積層界面や繊維／マトリックス界面の局所熱不均一変形、剥離挙動をマルチスケールで計測することに初めて成功した。</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）：  (2-1) 熱膨張係数の異なる材料を組み合わせることで定点での熱膨張係数を低くする技術や金属セル構造内にポリマーを充填させセル壁を強化する手法は新たな熱応力低減や高エネルギー吸収材料として期待される。</p> <p>(2-2) 環境にやさしい新たな接合技術の研究成果は“Nature”誌でも取り上げられた。この成果は環境調和型技術を実現する技術として発展が期待されるとともに、環境影響化学物質を使用しないクリーンな水中接着への応用へ発展し、将来のハイブリッド材料構造化技術として広く役立つことが期待される。</p> <p>(2-3) 異なるスケールを持つハイブリッド界面の局所不均一変形、剥離挙動をマルチスケールで計測・評価する技術ツールは、解析技術では得られない有力な実験力学手法である。デバイス材料やバイオ材料など幅広い材料の界面評価に応用展開が出来るものである。</p> <p>(2-4) 「ツール」という言葉を用いた研究テーマで受賞するなど、ツールの意味が理解されるようになってきた。</p>
<p>中間評価時の進捗状況及び自己点検・評価</p>	<p>中間評価時の進捗状況：  予定を超えた進捗状態であり、高く評価できると考えている。</p> <p>自己点検・評価：  軽量ハイブリッド材料の基本構造となる軽量金属材料自体、FRP、セラミックスなどを対象とし、研究開発を行った。ハイブリッド材料の特性を向上させる技術としては、界面力学特性を用いた接合面の評価解析を行う基盤技術の確立を行った。将来技術としての新しい接合技術としては、水を用いた異種材料の接合技術は従来対象としていた材料系以外にも広範囲の材料系に適用することができる可能性を開拓し、この成果は環境調和型技術を実現する技術として発展が期待されるとともに、環境影響化学物質を使用しないクリーンな水中接着への応用へ発展し、将来のハイブリッド材料構造化技術として広く役立つことが期待される。これらの成果を社会へ普及するための成果集の発刊も推進できた。</p> <p>当初の予定では、前半の3年間でサブグループごとに重要な技術を絞り込む計画であった。本年度までに得られた研究成果により、①新しい外部資金の獲</p>

	得につながる成果が得られ、競争的資金が獲得できた、②プロジェクトで想定していた材料系を超えた範囲での研究開発につながり、「ツール」の可能性をすでに検証しつつある、③いくつかの研究成果は国際的にも評価が得られており、すでに学会から賞を受賞したものもある、などは予想を超えた成果として評価される。これらの結果から評価すると本研究は予定を超えて推進していると評価される。
【評価項目】	コメント
①研究計画、実施体制、マネジメント、連携 (研究開発の方向性・目的・目標の見直し、計画・ロードマップの問題点、実施体制・マネジメントの改善、連携のあり方、ほか)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・形状の制御と界面性状の向上による「ハイブリッド材料」の開発にあたり、界面強度の評価向上および熱膨張率差の制御に特化して目標が設定されており、限られた条件の中で新しいコンセプトの複合材料創製を進めるための適切な計画が立てられている。</li> <li>・本プロジェクトで行っている「ツール技術」の開発は多くの研究開発者の役に立つものであり、特定の材料を目標にして特性の目標設定を行うよりも基礎・基盤研究としては意味がある。特に界面は重要な鍵を握っている。界面の振る舞いの学理構築・定量化を進め、界面の利用技術を提案することは価値がある。</li> <li>・「界面」の基礎現象の解明に焦点を当て、独創的な軽量材料の創出に向けた挑戦的な研究である。その背景にある、接合・接着に関する界面基礎技術、およびそれを応用した低熱膨張なオール金属材料などは、社会へのインパクトも大きく面白い。その実現に向けた限られたメンバーから成る実施体制は、密に有機的な連携が図られた点で妥当である。</li> <li>・ハイブリッド材料の基材、接合、評価に関する非常に意欲的、新規性のある研究である。これまでの延長線上ではない成果が期待できる。</li> <li>・研究開発の方向性、目標、計画、体制等は特に問題ない。</li> <li>・限られた人数の研究者で行う研究としての方向性は評価される。</li> <li>・研究はプロジェクト責任者、サブテーマ責任者の定例的な会合で意思統一を図りながら進めており、成果も順調に挙がっている。</li> <li>・後半の研究期間では、研究テーマの絞り込みと人員の集中が予定されている。この点は研究マネジメントとして、評価できる。</li> <li>・微視的尺度での形状制御による複合化や界面強度の向上は「ハイブリッド材料」に向けた重要な要素であるが、実用化を視野に入れると長い道のりの一要素に過ぎない。最終結果に向けた研究計画とスケジュールが見えない。</li> <li>・ツールボックス化のためには工学分野におけるニーズの構成要素を分析し、それらに対する解決の選択肢を準備することが重要であるが、これに必要な分析、全体計画の立案、統合化がなされているように思えない。</li> </ul>
②研究開発の進捗状況及び進め方 (進捗状況の把握、研究責任者の自己点検・評価の妥当性、進め方の見直し(継続・変更・中止等)、研究資源(資金・人材)の再配分、ほか)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・進捗状況は概ね計画通りであり、多くの貴重な新知見を得ている。中でも、最も基本となる接合・接着界面現象に関する汎用的な「ツール」技術を構築している点は極めて有益と考える。</li> <li>・4サブテーマは計画通り順調に成果を得ており、経産省、NEDO、JSPなどのプロジェクトのシーズとなっている。</li> <li>・次の点で高く評価できる研究成果を得ている。— 材料複合化による熱膨張の制御。界面での接合シミュレーションの高度化。新たな接合手法の提案。マルチスケールでの接合界面評価手法の開発。剥離を評価する実験力学手法の基盤構築。</li> <li>・特定の材料に限定した目標設定よりむしろ、本プロジェクトは基盤研究としての重要性、飛躍につながる挑戦性が高いので、今後の進め方も妥当と考える。</li> <li>・研究成果を、一般の市民から高度研究者までの広い範囲を対象に多彩な</li> </ul>

	<p>手段を駆使して広めようとして努力しており、毎年、研究成果を冊子として配布していることは地味であるが評価できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・研究責任者の自己点検・評価は妥当である。</li> <li>・要素技術の積み上げが必要な段階にあり、現在の研究計画にあるような工学分野への寄与が短期間で達成される状況とは思えない。研究推進の時間尺度の見直しが必要ではないか。</li> <li>・微視構造による熱膨張率の制御については、他にも様々な手段の可能性はあるはずである。実用化段階における製造上の課題も多いと想定され、基礎段階においてはもっと多くの可能性を模索したほうが良いのではないか。</li> </ul>
<p><b>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）</b>  （研究成果の質は世界レベルか、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どうか、セレンディピティー、ほか）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・論文・学会での発表等学術的な貢献は大きい。</li> <li>・研究成果を論文、発表として発信しており、招待講演、受賞などでも評価されている。特に研究成果をまとめた冊子の発行、ワークショップの開催などは、高く評価される。いろいろな分野で基盤技術として役立つ成果が得られており、国家プロジェクト等に発展している研究項目もある。以上のように、十分なアウトプットとアウトカムがある。</li> <li>・成果の国家プロジェクトへの展開や招待講演数の多さはこのプロジェクトの成果が高く評価されていることを示している。</li> <li>・研究成果を広く周知させるために、多くのプレス発表を行い、また国際シンポジウムを計画しているなど、種々工夫して努力している点も良い。</li> <li>・ツールの発信を、論文等だけでなく報告書で地道に行っていることも評価される。</li> <li>・予算と研究者数は他プロジェクトに比して、多いとはいえ状況の中で、有名学術雑誌や内外の会議での発表、招待講演など、活発な活動を行い、ユニークなハイブリッド材料技術の基礎・基盤研究集団として国際的にも評価される成果を挙げている。</li> <li>・重要となる要素技術に基づく基本特許出願や権利化も行われており高く評価できる。</li> <li>・環境負荷の少ない接着と剥離を容易に実現する可逆的接合技術など、斬新なアイデアに基づく新技術研究は興味深い。</li> <li>・水による接合技術は、新規性、実用性、波及効果の面から本プロジェクトの中で最も注目される成果となっている。</li> <li>・微視的な形状制御と素材の組み合わせのコンセプトを提案し、成立性を基礎レベルで示すことに成功している。</li> <li>・界面強度の分析に関し、新たな評価法を提案しているが、実験的な評価法の妥当性検証が待たれる段階である。</li> </ul>
<p><b>④総合評価</b>  （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、問題点等があれば追加してコメント）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・複合化による材料の設計、接合等の問題は、学理としても重要な学問分野である。独立行政法人の研究であり、それらへの貢献も期待したい。</li> <li>・概ね計画通りに進捗し、接合・接着界面に関する多くの貴重な基礎的知見を獲得した。</li> <li>・研究は全体として順調に進み、得られた成果がシーズとして革新構造材料研究プロジェクトに展開されていることは喜ばしい。</li> <li>・論文や特許などの知的財産化を図り、PR活動など成果の社会還元に努めている点も高く評価できる。</li> <li>・各種ツールとしての成果は明確になってきている。</li> <li>・界面に軸足を置いた基盤研究を推進する今後の方針も妥当と考える。</li> <li>・ツール技術開発は今後、マテリアルズ・インフォマティクスのような分野で特性予測に役立つ手法として発展させることができる。将来的には、本研究プロジェクトで培った基礎・基盤技術の応用展開として、マテリアルズ・インフォマティクスの積極的な推進を期待する。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本プロジェクトでは基盤研究に立脚した「ツールボックス」（プロトタイプでも良い）を構築することを期待する。その際、最終目標である「ツールボックス」のイメージを再認識し、企業技術者を対象にしたプロトタイプなツールボックスの実現に向けシナリオを描き、着実に推進することを期待したい。</li> <li>・今後もシーズ技術の発信を継続して行い、個別技術に関しては産業界と連携を図り、実用化は別フェーズで推進するのが良いであろう。</li> <li>・従来からも複合材料・技術や複相材料に関する研究・開発が行われてきた。この研究がそれらとどう違うのか、どんな点で進展したのかについて、十分には把握できないところがあった。</li> <li>・実用化に向けたロードマップの妥当性を再検討してはどうか。</li> </ul>	
各委員の総合評価点 (10点満点)	8、9、9、9 (順不同)	
総合評価点平均 (10点満点)	8.8 (小数第二位四捨五入)	
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る。 計画を変更することなく継続すべきである。
9		
8	A	総合的に優れている。 一部計画を見直し継続すればS評価になる可能性がある 平均的なプロジェクトである。 継続は認めるが、継続する時に、一部計画を見直した方が良い点がある。
7		
6		
5	B	期待されたほどではない。 計画を見直して継続すべきである。
4		
3		
2		
1	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る。 大きな問題があり、継続を中止すべきである。