

プロジェクト事後評価報告書

評価委員会開催日：平成29年2月20日

評価委員：（敬称略、五十音順）

生駒俊之 東京工業大学 大学院理工学研究科 材料工学専攻 准教授
 坂本浩一 株式会社神戸製鋼所 技術開発本部 材料研究所 所長
 鈴木隆之 (株)日立製作所 インダストリアルプロダクツビジネスユニット
 電機プロダクト設計部 担当部長
 辻 伸泰 京都大学大学院 工学研究科 材料工学専攻 教授
 南二三吉 大阪大学接合科学研究所 副所長（教授）

確定年月日：平成29年4月18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 |
| 研究責任者の所属・役職・氏名 | フェロー/ハイブリッド材料ユニット・ユニット長・香川 豊 |
| 実施期間 | 平成23年度～平成27年度 |
| 研究目的と意義 | 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した。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した。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を可能にし、この利点を活かして開発する省エネルギー・低CO ₂ 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。 |
| 研究内容 | 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した。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なった。 |
| ミッションステートメント （具体的な達成目標） | (1)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製作、。(2)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と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、(3)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、剥離を容易に実現する接合・接着技術開発、(4)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 |
| 平成23年度～平成27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） | 1) 主な研究成果（アウトプット）： 熱膨張係数の異なる材料を組み合わせて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・強化したセル構造材料開発した。 構成材料の特性と接着材料の特性を用いて、利用する力学負荷条件下で最高の接着特性を得るための接着条件の提案を行った。 初期表面の結合状態を制御し、親水性架橋化合物または官能基を創製し、架橋層間の引力ならびに低温加熱による脱水縮合反応で強固な結合を形成させ、可逆的接合技術のモデルとして昆虫のハムシの足裏の接着特性を解明した。 |

| | |
|---|--|
| | <p>解明した独自のマルチスケール計測パターンを開発し、界面の局所不均一変形、残留応力などをマルチスケールで計測評価する技術とその効果的な使い方を提案した。独自の周波数領域熱解析理論に基づいて、微小領域の界面熱抵抗の測定技術の開発に成功した。</p> <p>発表論文は100報を越え、インパクトファクターも5以上の論文4報（最高は9.7）、3以上のものは21報と高い評価を得ている。</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）： 熱膨張係数の異なる材料を組み合わせた低熱膨張係数開発技術は、今後3次元構造の低熱膨張材料開発へ応用でき、物理的性質に異方性のある異方性セル構造材料開発へと発展する。構成材料・界面の凹凸（表面荒さ）、接着材料の特性から接着特性を最大にするための条件を簡単な式で導く手法や解析モデルを用いた計算・評価に必要なデータ取得及び具体的な手法を開発に発展した。</p> <p>低温常圧異種材料接合は、接触面を水と真空紫外光照射を利用し表面改質するもので、有機・無機ハイブリッド接合として世界でも注目を集めている。</p> <p>計測技術は界面力学特性、界面熱特性の評価技術のツールとして世の中に提案した。界面の損傷発生・進展評価、物理・化学構造の評価等への応用展開が考えられる。</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：本研究は大きな成果を上げ、目標を大きく上回ったと考えられる。</p> <p>自己点検・評価： 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得につながる成果が得られ、競争資金が獲得できた、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のものもある、④グローバルな成果普及の戦略として、国際標準規格化活動を国際・国内プロジェクトリーダーとして原案作成を積極的に行い、原案は2016年9月に国際規格(ISO 18457)として発行、などは予想を超えた成果として評価される。</p> |
| <p>【評価項目】</p> | <p>コメント（記入に従い、コメント欄枠は下に広がります）</p> |
| <p>①研究計画、実施体制、マネジメント、連携 （事前・中間評価の結果を受けて、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）</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・ハイブリッド材料の基礎・基盤技術をターゲットとしていることは、企業とは異なるNIMSで行うべき研究として適切な課題設定であると考えられる。 ・課題設定に対し、複数の企業ヒアリングを行い、異材接着・接合（ハイブリッド材料）を抽出している点は評価できる。 ・ただし、実用化は十分視野に入れている。 ・ロードマップは適切である。 ・材料の種類を問わないツール技術としてプロジェクト全体を把持し、材料系および領域を超えた連携、研究開発を実施した。 ・ハイブリッド材料の特性の鍵となる界面研究を中心に置いて、意欲的な4つのサブテーマをロードマップに沿って進めた。 ・特性・機能の異なる材料を適材適所に組み合わせた軽量・高信頼性なハイブリッド材料の創製を目指し、開発に必要な4視点での共通技術要素をツールと見立てたサブテーマ展開を図っている。 ・各ツールを研究開発・構築するサブテーマは、それぞれよくマネジメントされて研究進捗を図っている。 ・目的とするハイブリッド材に対し、必要な要素技術をツールボックスとして |

| | |
|---|--|
| | <p>構築しながら進める体制も評価できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクトは、研究計画通りに行われ、実施体制に関しても分散・集中を行い、上手にマネジメントされていた。 ・他のプロジェクトに比べ少人数の研究者によるプロジェクトであるが、そのことを生かしてプロジェクト内の連携と統括は効果的に行われている。 ・中間評価を受けて、発展性のある分野に集中したことは極めて適切であった。 ・研究の最終段階では、サブテーマ間のハイブリッド化視点での研究アピールも必要と思う。 |
| <p>②プロジェクトの具体的な達成度 (目標は達成されたか、学術的価値、社会的価値、経済的価値の創造につながったか、技術レベルの向上につながったか)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・サブテーマ毎に目標以上の成果が得られた。 ・どのサブグループにおいても興味深い成果が得られており、目標は十分達成され、当初の見込み以上の成果も獲得できている。 ・達成目標が、当初から具体的でないため、自己評価である100%と評価されるかは意見の分かれるところであろう。 ・個々の技術は、それぞれが確立し、学術的価値につながったと期待できる。 ・ハイブリッド材料の創製では、異材界面を制御するプロセス、界面の材料科学、界面メカニクスなどの界面科学が鍵を握り、その学術基盤構築に大きな役割を果たしている。 ・本研究では、接着・接合による構造化技術の開発が必須であるが、接着材料を用いずに単に「水」を用いて接合する技術や、接着と剥離を容易に実現する可逆的接合技術は従来にない独創的視点での研究で、学術的価値が非常に高い。 ・また水接合や剥がしやすい接合等、特徴ある技術も開発できており、将来が期待できる。 ・低熱膨張材料開発での三次元格子構造を3Dプリンタで製作し実証するという取組や、昆虫の足裏研究から接着機構を開発するなど創造的な研究が行われた。 ・一方で接合界面のモデル化や微視的挙動をその場観察する手法構築など基盤技術の深化も行われた。 ・他の外部資金プロジェクトに発展した成果もあり、社会的価値の創造が達成できている。 ・社会実装を視野に入れた活動も行われている。 ・基礎・基盤として作成したツール群は、ISMA(新構造材料技術研究組合)のプロジェクトやSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)プロジェクトで発展しており、想定以上に進展していると考えられる。 ・研究成果を世界的に普及すべく、国際規格の形で発行したことは、国際社会をリードすると同時に、社会的価値が高いと評価できる。 |
| <p>③研究開発の進捗状況 (研究により得られた成果は、世界レベルで比較して高いか、予算に見合った成果が得られたか、将来の新しい研究の芽が得られたか)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・代表者の上手なマネジメントと研究者個人の裁量で上手に発信されており、予算規模に見合った成果が得られている。 ・界面研究を中心として、ハイブリッド材料を生み出し、産業活動につなげるといった独自の取組を行っている。 ・接着分野で特徴ある要素・基盤技術を構築しており、輸送機の軽量化の研究開発に大きく役立っている。 ・接着材料を用いない接合技術や、接着と剥離(リサイクル性)を容易に実現する可逆的接合技術の開発は、世界的に先駆的研究といえる。 ・国際会議等における数多くの招待講演や多くのプレス発表は、本研究が国内外で大きく注目されていることを物語っている。 ・新しい研究の芽というよりは、今後伸びゆく個人に焦点が合わさったプロジェクトであり、進捗状況に関してもまずまずであった。 ・全体としての物理的性質を制御したハイブリッド三次元構造体の設計・試作や、既存の接合技術の延長線上にない新しい技術としてのバイオミメティクス技術に基づく接合新技術など、新しい研究の芽となる興味深い成果が |

| | |
|--|--|
| | <p>具体的に得られている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「ツール」技術としての普及には時間がかかると思われるが、ハイブリッド材料の開発、活用研究の活性化や加速が期待される。 ・工業製品のマルチマテリアル化傾向に鑑みて、今後も界面科学研究をリードする研究アプローチを期待したい。 |
| <p>④見込まれる直接の成果(アウトプット)、効果・効用(アウトカム)や波及効果(インパクト) (質の高い論文・特許が多く出たか、新技術や実用材料につながるか、思いがけない成果があったか、他分野への波及効果はあるか)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・108件の学術雑誌論文、138件の国際会議プロシーディングス論文、62件の解説・総説論文が著されている。 ・論文の発表に関しては、本プロジェクトの根幹にかかわる成果であるか、明確でないものも含まれているようだ。 ・十分な量であるが、国際会議プロシーディングよりも学術雑誌論文文化に力を入れた方が良い。 ・98件の招待講演がなされており、十分な影響力を有していると思われる。 ・特許出願11件、特許登録10件なども行われている。 ・発表件数や招待講演は十分であるが、特許出願が少ないのが残念である。 ・論文発表に留まらず、「ツール」技術の普及活動として精力的にプレス発表を行っている。 ・成果報告書を毎年製本・発行しているなど、成果の普及活動に積極的であった点は高く評価できる。 ・単に、単一課題設定(目標設定)を行い、数値目標を追うのではなく、開発したツール(要素・基盤)を他の研究者にも役立つようにしている。 ・また、成果の普及施策として、バイオミメティック材料/構造の国際標準化を進めISO 18457として発行されたことは大きな成果である。 ・研究成果のグローバル普及戦略が、国際標準規格の発行として結実し、予想以上の成果と波及効果を示している。 ・新規な研究成果が得られており、国際的にも注目され大きな波及効果をもたらすポテンシャルを有している。 ・研究の成果は、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)や経済産業省の大型プロジェクトにつながり、研究活動を牽引している。 ・これらはMI(マテリアルズ・インフォマティクス)の基盤となっており、大きな波及効果が期待できる。 |
| <p>総合評価点平均 (10点満点)</p> | <p>8.6点 (小数第二位四捨五入)</p> |
| <p>その他 研究全体に対する総合的な所見、①~④に入らない所見、問題点、あるいはプロジェクトに対する印象など自由にご記入ください</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・数値目標のないプロジェクトは斬新であるが、数値目標は無くとも目標設定として、学理・学術基盤が何であり、それに対して各サブテーマの出した結論が必要であろう。 ・成果は興味深く、極めて独創的である。 ・「ツール」としての今後の展開をお願いする。 ・ハイブリッド材料設計指針、評価手法、界面の評価手法など工業的活用へ進めていただけることを期待する。 ・構造化技術では接着に視点が当てられているが、より高い強度発現のためには、溶接を組み合わせた構造化技術の開発にも今後取り組まれることを期待する。 ・バイオミメックス材料の国際標準化に続き、界面強度の評価手法も、是非、国際標準化されることを多いに期待する ・界面近傍の力学的状態の計測技術では、界面近傍の局所ひずみに注目されているが、界面の破壊モードによってはひずみが指標とならない場合もあるので、注意されたい。 |

第3期中長期計画プロジェクトの事後評価基準

| 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。 多くの点において模範的に優れていた。 |
| 9 | | |
| 8 | A | 総合的に優れていた。 顕著な成果が出た優れたプロジェクトであった。 |
| 7 | | |
| 6 | | |
| 5 | B | 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。 |
| 4 | | |
| 3 | | |
| 2 | C | 期待されたほどではなかった。 計画を大幅に見直して実施すべきであった。 |
| 1 | | |