

プロジェクト中間評価報告書

評価委員会開催日：2019年11月13日

評価委員氏名（敬称略，五十音順）

五十嵐 正晃 日鉄ケミカル&マテリアル株式会社 常務執行役員
 辻 伸泰 京都大学工学研究科 材料工学専攻 教授
 中島 英治 九州大学大学院総合理工学府 物質理工学専攻 教授
 古原 忠 東北大学金属材料研究所 教授

確定年月日：令和2年3月24日

プロジェクト名	界面制御による構造材料・構造体の高信頼性化
研究責任者の氏名・所属・役職	大村 孝仁 構造材料研究拠点 副拠点長
実施予定期間	平成28年度～令和4年度
研究目的と意義	<p>鉄鋼、非鉄合金、樹脂、炭素繊維やそれらの複合材料などを対象とし、結晶粒・異相・異材などのあらゆる界面を高度に制御して、構造材料および構造体の高性能化に資する基礎技術を開発する。母材と接合材の開発で得られた新規材料を長時間特性測定技術で精緻に評価し、さらなる特性向上に対する特性の発現機構を組織・力学解析や計算機シミュレーションによって明確化して次の組織制御の指針を示す。このサイクルを機能させることにより、原子・分子レベルでの界面構造と分布の解明・制御に基づく高度な界面制御技術を構築して、構造材料の高性能化と高信頼性化による軽量化や安全性能向上につなげる。</p> <p>上記の目的を達成することにより、従来型の経験則から脱却した新原理に基づく構造材料創製指針やデータ駆動型の設計指針などの新たなアプローチが可能になると期待され、構造材料の重要な役割である安全・安心，省エネルギーをさらに推進するための，高強度・高靱性化，長寿命化などに資することができる。また、研究対象とする界面課題は，学術的・産業的に基盤的かつ重要な内容であり，取り組み方法・内容ともに基盤強化を目指すと同時に、企業・大学との産学官連携を活発に推進することによって、若手研究者の人材育成の貴重な機会となる。</p>
研究内容	<p>温間加工で形成される界面微視組織と特性の関係を実験的及び理論的に明らかにし、構造用金属材料の強度$\times\alpha$の特性向上を図る基礎基盤技術を構築する。接着原理の解明、接合面強度の評価と機構解明、構造体化技術高度化の接合技術を開発する。高強度鋼などにおける各種異相界面や組織の不均質性によるクリープ、疲労、水素脆性などの評価方法を構築する。電子顕微鏡などによる組織解析、微小機械測定などによる力学解析、計算科学などによるモデリングによって特性発現機構の解析を行う。</p>
ミッションステートメント（具体的な達成目標）	<p>7年間の研究期間において、2年度目終了時と5年度目終了時にマイルストーンを設定する。プロジェクト全体としては、2年度目終了時までには新たな技術シーズに基づく企業連携または競争的資金課題をサブテーマ数\times2件実施すること、5年度目終了時までには、さらにこれを各5件まで発展させることとする。技術的な目標を達成するためのマネジメントの取り組みとしては、2年度目終了時までには、輪番形式の定期討論会などを通じて各サブテーマ内における交流を促進させて連携体制を構築し、それに加えてサブテーマ間の連携実績を論文として著す。サブテーマ間の共著論文数の目標としては、2年度目終了時までには4編、5年度目終了時までには10編を目標とする。</p>

<p>平成23年度～平成25年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） 形状記憶特性を基に開発された優れた疲労特性を有するFe-Mn合金と、一般性の高いブレース型ダンパーを可能にする溶接技術を組み合わせる技術開発に成功し、中部国際空港の近郊に竣工した愛知県国際展示場に初適用された。 マグネシウムの強度・延性に対する元素機能を理解し、粒界偏析を活用することによって、①室温で蛇腹変形が可能で、②破壊に対する得吸収エネルギー特性に優れる世界に類を見ない革新的なマグネシウム合金の開発に成功した。 機械学習を応用して溶接・接合部の特性予測モデルを構築し、有限要素シミュレーション（従来手法）と同等の精度で溶接・接合部特性（残留応力）を予測できると同時に、短時間で溶接・接合部の特性を予測することを可能にした。 クリープ、疲労、腐食などの長期損傷の精緻な定量評価と劣化機構の解明により、構造物の安全性確保の観点から、経産省関係部署、電力、プラント、材料メーカーに注意喚起を実施した。 骨の治癒の仕組みをヒントに、修復・改変期を促進する「治癒活性相」という新たな概念を提案し、き裂進展経路となる界面に局在化することで、航空機エンジンが作動する1000℃において、従来比6万倍の速さに相当する、最速1分で、き裂を完治できる新材料の開発に成功した。</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） 各サブテーマにおける進捗状況として、5年度目終了時点目標をほぼ達成している。得られた成果に基づく企業連携、競争的資金課題への展開が進んでおり、資金提供型共同研究の実施、科研費などの獲得実績が各サブテーマで伸びている。また、国際的な発信力も高まっており、International Scientific Committeeのメンバーや国際会議の議長、基調講演、招待講演などによるプレゼンスの向上が進んでいる。</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 予定通りの進捗で目標を達成できる。</p> <p>自己点検・評価 企業共研、競争的資金研究の実施状況は、5年度目終了時目標を既に達成しており、前倒しで進捗している。サブテーマ間の連携成果である共著論文は、ほぼ順調に成果発信が行われており、5年度終了時には目標を達成できる見込みである。サブテーマ間の連携をさらに展開させるためには、解析を担当するST4からの発信が重要であり、論文発表・会議発表などのpublicationをさらに強化した取り組みを残りの期間で実施する。</p>
<p>プロジェクト名</p>	<p>界面制御による構造材料・構造体の高信頼性化</p>
<p>研究責任者の氏名・所属・役職</p>	<p>大村 孝仁 構造材料研究拠点 副拠点長</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>

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)

【A】

- ・本プロジェクトは鉄鋼、非鉄合金、樹脂、炭素繊維やそれらの複合材料を対象とし、これら材料の結晶粒・異相・異材などのあらゆる界面を高度に制御して、構造材料および構造体の高性能化に資する基礎技術を開発する。
- ・「界面制御による構造材料・構造体の高信頼性化」に向け、①母材技術、②接合技術、③長時間性能評価技術、④ナノスケール解析技術をサブテーマとして取り組むことは極めて妥当と考える。
- ・母材と接合材の開発で得られた新規材料を長時間特性測定技術で精緻に評価し、特性発現機構を組織・力学解析、計算機シミュレーションによって明確化して、次の組織制御の指針を示すとされている。これは我が国の強み技術である構造材料の分野で、新しい原理・原則の発見や学理の構築に大いに貢献すると期待される。
- ・本プロジェクトとしてのターゲット、どの技術をブレイクスルーして何を到達目標とするのかをスタート時点での従来技術・競合技術をベンチマークし、それらが現時点でどこまで達成できているかを自己評価することで、より研究の位置づけ、今後の方向性が明確になるのではないかと。

【B】

- ・個々の研究員の基盤的研究となる運営交付金研究をまとめ上げるために、「界面」に着目している点、そしてそれを幅広く捉え包含する設定は合理的であり、高く評価できる。
- ・個々のテーマを4つのサブテーマに分類し、サブテーマ間の連携を活性化させようという意図も明確であり、個々の研究員の研究レベルの底上げを図ろうとするプロジェクト責任者の意図が明瞭に表されている。
- ・大型部材を扱った試験や規格策定など、大学では困難でNIMSでしか実施できない研究成果が含まれている点は高く評価できる。
- ・異なる材料（金属、セラミクス、有機材料）、異なる研究内容・アプローチ（組織制御、力学特性、時間依存特性、接合プロセス、ナノ解析技術、計算機シミュレーション）を専門とする50名強の研究員をまとめ上げるプロジェクト責任者の苦労は大変であろうことが容易に想像できる。

【C】

- ・48名の専門家を4つにグループに分け、少しずつ連携がされている。

【D】

- ・「界面」を構造材料設計の最重要キーワードとして設定し、分野別のサブテーマでの特徴を出した研究計画および実施体制である。
- ・個別テーマの研究活動の促進が重要なプロジェクトであるが、外部資金獲得やサブテーマ間連携成果などで目標を設定するなど、拠点の活性化および有機的連携の意識向上を図る拠点運営は評価される。
- ・サブテーマ4は、比較的明確な研究分野が定まっているサブテーマ1～3の種々の解析技術をつなぐ横串の役割を果たすことが期待されるが、サブテーマ4自身の主体性のある情報発信をさらに期待したい。

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)

【A】

- ・進捗状況の把握は当初目標に対する達成度とアウトプット(論文、特許、共研等)で評価すべきだが、数字的には十分な成果が得られていると判断される。
- ・報告書から主な成果を列挙すると、
 - 1) 高次加工技術による微視組織制御と高性能材料の創出
 - ①粒界偏析活用で室温で蛇腹変形可能、破壊吸収エネルギーに優れる(従来比3.3倍) Mg合金を開発
 - ②低合金鋼で層状、積層化組織に着目し、耐水素脆化特性、延性を向上させる加工熱処理法を確立
 - ③高 Mn オーステナイト鋼で種々の圧延で得られた組織と疲労特性の関係を解明
 - ④Ti合金では温間加工の最適化で積層材の大型化に成功
 - 2) マルチスケール接合技術の開発
 - ①機械学習による接合部特性予測モデルの構築・・・組織と熱的不均質の相関を高速導出可能な手法を構築
 - ②強度予測パラメータを取得、破断面観察により接着機能の破壊過程を解明
 - 3) 表面・界面の長時間挙動解析に基づく長期信頼性評価
 - ①改良 9 Cr-1Mo 鋼で偏析帯がクリープ強度低下要因と解明、偏析の定量指標を提案、他鋼へ展開中
 - ②10¹¹回ギガサイクル疲労試験技術、溶接接手のギガサイクル疲労試験技術を開発。
ギガサイクル域で新たな疲労限が出現し、1010回以上では疲労強度は低下しないことを解明
 - ③大気腐食下で水素侵入による水素脆化機構を解明、表面電位測定システムを構築。
乾湿繰り返し下では、腐食堆積物により侵入水素量は低下することを解明
 - 4) 界面のナノスケール組織-力学関係の原理的解明
 - ①鉄鋼、Ti合金、Mg合金などの粒界、双晶界面、異相界面を主な界面組織として明確化、
 - ②セラミックス中の Mn 等元素を短時間広範囲に分析できる TEM-EDS 手法に目途。
 - ③き裂自己治癒セラミックスを開発・・・き裂進展経路となる界面に MnO が局在化し、1000°C1分で、き裂を完治とあり、それぞれ優れた成果が得られていると判断される。
- ・今後はサブテーマ(ST)1、2の材料開発で具現化された部材を、ST3で疲労やクリープ長時間特性を定量評価し、ST4でその発現機構をマルチスケール解析で明らかにして改善指針を提示し、それをST1、2へフィードバックするサイクルを回すとのことであり、その成果に期待したい。そのためには各サブテーマで得られた成果を持ち寄って、それらを組み合わせることで次に何をすべきか議論し、次のテーマ、ターゲットを共同で作りにくむような活動が有効と考える。計画の見直し、目標の変更等柔軟なステアリングを実施して、研究資源の再配分についても研究責任者の裁量で大胆に実行していただきたい。

【B】

- ・組織の文化やマインドを変えるには多少時間がかかると思われる。現在の方針のまま計画を進めることが妥当である。
- ・四半期に1回全体ミーティングを行い、また特定の若手に声をかけながらサブテーマ間の交流・勉強会を企画している。運営交付金プロジェクトを基にして、基盤技術研究をしっかりと行うとともに、連携を高め研究の底上げを行おうという意図のもと、研究責任者が努力している。
- ・研究の進捗や成果に合わせた研究資金の傾斜配分、再配分などもなされている。

	<p>【C】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクト内での定期的な成果報告と、研究の進捗状況による傾斜配分を採用していることは評価できる。 <p>【D】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・研究責任者のリーダーシップが発揮されており、研究遂行になんら問題はないと判断される。 ・各サブグループが本プロジェクトの大目標を理解し、各個の研究を着実に進めているように思われる。 ・構造材料の研究は非常に長期にわたるため、これまでの研究成果を支えに、今後、本プロジェクトの実施期間に有意義な研究成果が得られることが期待される。
<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） （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、セレディピティー、ほか）</p>	<p>【A】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・論文発表は積極的に行われており、問題ないと判断した。 <p>【B】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・エフォートを加味した学術雑誌論文を3.5年間で194.3本（研究員一人当たり約4本）発表している。これは突出した数字ではないが、運営交付金による基盤プロジェクトとしては妥当である。より一層の国際的な論文発表を期待する。 ・IFが6以上の雑誌に11件、IFが3.5以上6未満の雑誌に49件の論文発表がなされており、質の点でも十分に評価できる。 ・IFの高い論文の著者にはやや偏りがあるようなので、多くの研究員が質の高い論文を競って発表するような文化を作り上げて欲しい。 ・運営交付金プロジェクトの資金額の1.5～2倍の外部資金を毎年獲得しており、評価できる。 ・研究資金の多寡は研究の内容とは本来関係がないが、自分のやりたい研究を実現するためには資金も必要となる。そうした情熱を持って個々人の研究を発展させるマインドを培って欲しい。 ・従来材の10倍の疲労耐久性を有するFMS合金制振材料を大型ダンパーとして実用化する試みにおいて、新たにブレース型への展開を行って愛知県国際展示場に適用された事例は、社会実装に至った実例として賞賛すべき成果である。 ・高い破壊吸収エネルギーを有する軽量Mg合金の創製や、基礎的に興味深いβ型チタン合金の{332}変形双晶における発見、クリープ信頼性評価結果の社会への開示・提言など、NIMSならではの優れた研究成果が得られている。 ・治癒活性相を用いた界面設計による自己治癒セラミックスに関する研究は、異なるグループ・サブテーマ間の連携により実現された、突出して優れた成果であり、インパクトの高い学術誌への発表もなされている。ぜひこうした事例を賞賛し、多くの研究員が目指すように方向付けていただきたい。 <p>【C】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・それぞれのサブテーマにおける論文数および構造材料分野でのハイインパクト論文誌への投稿、特許登録数など、成果は十分に出ている。多くの受賞からも国内外での評価は高いと考えられる。 ・サブテーマ1での活発な新規材料開発がさらに実用化につながることを期待する。 ・サブテーマ2ではNIMSが接合科学技術の研究開発拠点としての役割を今後も果たすことを期待する。 ・サブテーマ3の役割は、蓄積されたノウハウ、信頼性の高いデータ収集を通し

	<p>て規格化・標準化に対する国研としての貢献、さらには他のサブテーマでの材料開発に対する指針提供、など今後も期待される点大きい。</p> <p>【D】</p> <ul style="list-style-type: none"> 得られたアウトプット、アウトカムが当初想定した開発ターゲットに対して、何をブレイクスルーして、目標に到達、あるいは近づきつつあるのかを示し、それらが外部資金獲得、産業界との共同研究に発展したことを相関づける表現ができれば、より成果の重要性が明白になると考える。
<p><u>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）</u> （質の高い成果は期待できるか、論文・特許数は十分出そうか、新技術や実用材料につながるか、多くの外部資金獲得・共同研究につながるか、他分野への波及効果は、ほか）</p>	<p>【A】</p> <ul style="list-style-type: none"> 高 Cr 耐熱鋼の長時間クリープ強度に及ぼす Cr の偏析の効果が初めて明らかにされ、今後、既設のプラントの構造物の寿命評価に大きな影響を与えられられる。この成果をもとに、長時間強度の大きな耐熱材料の開発につながれば、社会的に大きな意味を持つと判断される。 <p>【B】</p> <ul style="list-style-type: none"> 外部資金の獲得状況にはサブテーマ間でばらつきがみられるが、民間企業との共研の数と予算額を具体的に提示した方が、成果の波及効果として理解しやすい。 本プロジェクトの当初の目論見では、鉄鋼、非鉄合金、樹脂、炭素繊維やそれらの複合材料を対象とし、これら材料の結晶粒・異相・異材などのあらゆる界面を高度に制御して、構造材料および構造体の高性能化に資する基礎技術を開発する。母材と接合材の開発で得られた新規材料を長時間特性測定技術で精緻に評価し、特性発現機構を組織・力学解析、計算機シミュレーションによって明確化して、次の組織制御の指針を示すとされている。これは我が国の強み技術である構造材料の分野で新しい原理・原則の発見や学理の構築に大いに貢献すると期待されるので、プロジェクトの後半においては、この視点を忘れずに、よりチャレンジングに研究開発を進めていただきたい。 <p>【C】</p> <ul style="list-style-type: none"> 世界的に注目される可能性のある研究成果が複数生み出されている。 運営交付金という原資を利用して、個々人の基盤的研究及び技術を発展させるだけでなく、チーム・組織としての底上げや連携を図ろうとする意図が明瞭に感じられる。 プロジェクト責任者のリーダーシップを発揮しようとする努力が見て取れる。 現在の活動を根気よく続け、形式的・アリのバイ的連携に陥ることなく真のネットワーク作りを目指し、新しい研究文化を創り出すとともに、国際的な構造材料の知の発信拠点となることを期待する。 <p>【D】</p> <ul style="list-style-type: none"> サブテーマ 1 での活発な新規材料開発の活動がさらに実用化につながることを期待する。 サブテーマ 2 の研究は NIMS が接合科学技術の研究開発拠点としての役割を今後も果たすことを期待させるテーマである。 サブテーマ 3 の役割は、蓄積されたノウハウ、信頼性の高いデータ収集を通して規格化・標準化に対する国研としての貢献、さらには他のサブテーマでの材料開発に対する指針提供、など今後も期待される点大きい。

⑤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、問題点等があれば追加してコメント)		【A】 ・今回の評価資料では、サブテーマ内に複数あるグループおよび各研究者が7年間という中長期の取り組みの中で、どのように系統立った研究を展開しているかがあまり見えなかった。年度毎の取り組みの資料があると今後の評価もさらに容易になると思われる。 【B】 ・本プロジェクトが、我が国の強み技術である構造材料の分野で新しい原理・原則の発見や学理の構築に大いに貢献すること期待する。 ・この分野で永遠の課題である表面・界面に起因する材質劣化・損傷機構を解明し、普遍的な原理・原則を発見して、新技術、新材料の創出につながることを念願している。
委員の評価点 (10点満点)		8, 9, 9, 9
総合評価点平均 (10点満点)		8.8点
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	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。
1		