

# プロジェクトプレ終了評価報告書



評価委員会開催日: 令和5年1月11日

評価委員氏名(敬称略、五十音順)

辻 伸泰 京都大学 大学院工学研究科 教授  
中島 英治 九州大学大学院 総合理工学府 学府長・教授  
長滝 康伸 JFEスチール株式会社 スチール研究所 研究技監  
古原 忠 東北大学 金属材料研究所 所長・教授

確定年月日: 令和5年2月7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<math>\times\alpha</math>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<math>\times</math>2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ー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>
プロジェクト実施期間(平成28年度～令和4年度)の見込みを含む主な研究成果(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)、	<p>➤ 主な研究成果(アウトプット)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・低合金鋼の温間加工により形状と集合組織を制御した超微細結晶粒組織は、強度<math>\times</math>延性<math>\times</math>耐衝撃特性バランスの飛躍的な向上だけでなく、破壊モードとき裂進展経路の制御により、耐水素脆化特性の向上にも有効であることを解明。</li></ul>

波及効果(インパクト)

- ・圧延加工により高 Mn オーステナイト鋼において  $\gamma$  オーステナイト、 $\varepsilon$  マルテンサイト、 $\alpha'$  マルテンサイト三相組織制御による疲労寿命改善の指導原理を確立し、溶接性と疲労耐久性を両立する第 2 世代 FMS 合金を開発。
- ・Ti 合金については、偏析(化学的界面)や双晶界面と加工熱処理の組み合わせによる新たな金属組織制御技術を提示。
- ・Mg に関しては、多様な NIMS オリジナル Mg 合金展伸材を活用し、粒界偏析元素と室温/高温粒界塑性の相関性を明確にするとともに、当該分野の従来常識を覆す蛇腹変形 Mg 合金や室温超塑性 Mg 合金を開発。
- ・マルチマテリアルを対象として、エポキシ・アクリル・ポリウレタン・変性シリコン接着剤を用いた接着試験片について、接合面強度の評価、変形・破壊機構解明および強度予測のための静的および疲労荷重下での力学特性データを蓄積し、静的力学特性や疲労荷重下での力学特性の予測技術を開発
- ・さまざまな動的共有結合を基本構造とした異材接合用の熱応力緩和型接着剤を開発。新たな接着接合コンセプトに基づいて開発した超延性接着剤(ポリウレタン接着剤)を用いた接着継ぎ手のき裂進展挙動を明確化。動的共有結合を導入したエポキシ接着剤を用いた化学的手法による CFRP のリサイクル技術を開発。
- ・マクロスケールにおける接合技術として、機械学習モデルを応用した溶接部特性予測手法を開発。マルチマテリアルをターゲットとした接合技術の高度化・高信頼性化を実現するための接合部特性予測技術を開発。
- ・ミクロスケールにおける接合部解析技術として、放射光 X 線によるその場観察技術を確立。これにより、フェライトやオーステナイトなどの結晶成長過程やフェライトからオーステナイトへの相変態挙動を調べ、凝固モードと凝固割れとの関係を明確化。凝固割れの発生や伝播機構を解明。溶融溶接における接合部界面の形成挙動を明確化。
- ・Gr.91 鋼の合金元素偏析と長時間クリープ強度の関係を明らかにし、特に Cr 濃度勾配を用いた指標により、偏析による長時間クリープ強度低下の程度を推定できることを明らかにした。
- ・ $10^{11}$  回疲労試験によるギガサイクル疲労限の実証とその機構解明や PFIB-EBSD によるき裂の大規模 3D 解析技術等の新しい疲労特性評価技術を確立するとともに、従来の疲労寿命予測技術を拡張する等の成果が得られた。
- ・屋外で実施可能な低合金鋼の大気腐食モニタリングシステムを構築するとともに亜熱帯地域から積雪・寒冷地域での実証試験も行った。海岸に近い寒冷地域では、雪に含まれる塩分によって気温が  $0^{\circ}\text{C}$  以下でも腐食が進行することを明らかにした。水素脆化については、表面電位測定により透過水素分布を可視化することに成功した。また、引張強度 2100MPa の人口ピット付ばね鋼平滑丸棒の 3 点曲げでピット底が破壊起点となることを明らかにし、ばねの破壊形態の再現に成功した。
- ・微細・複相・階層構造の制御を主な指針とする材料創製技術への対応、およびクリープ・疲労などの特性に及ぼす微視領域の因子の明確化のために、nm ~ mm スケールにおける組織観察・力学解析技術および計算機シミュレーション技術を開発。
- ・TEM 観察技術においては、mcal-EDS の高度化による粒界への P 偏析の観察に成功するなど、従来技術では未踏の解析技術を開発。
- ・局所領域力学解析においては、計算機シミュレーションとの連携によってマクロな結晶方位関係以外の影響因子を明確化。
- ・粒界による強化機構として原子構造などの微視的因子の影響を明らかにし、粒径や結晶方位差などのマクロ因子とはことなる組織設計指針を提示。

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・微視組織解析の結果をもとに治癒機構を解明し、革新的な自己治癒セラミックスを開発した。</li> <li>➤ 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) <ul style="list-style-type: none"> <li>・第2世代 FMS 合金の開発によって長尺部材の製造が可能になり、より汎用的なブレース型ダンパーへの適用が進むことから、一般的な住宅などへ広く応用が進むと期待される。</li> <li>・革新的な自己治癒セラミックスの開発によって、従来の金属材料よりも高温運転が可能なジェットエンジンの開発に繋がると期待され、大幅な燃費向上などの地球規模の波及効果が期待される。</li> </ul> </li> </ul>
--	--

<p>プレ終了評価時の見込みを含む進捗状況及び自己点検・評価</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ プレ終了評価時の見込みを含む進捗状況 計画以上の進捗</li> <li>➤ 自己点検・評価 取り組み項目ごとに達成度のばらつきはあるものの、第2世代 FMS 合金の開発、ギガサイクル疲労限の実証、革新的な自己治癒セラミックスの開発など、計画以上の特筆すべき成果が得られた。</li> </ul>
------------------------------------	--

**評価結果**

【評価項目・基準】	評価	コメント
<p><b>研究計画・実施体制・マネジメント・連携活動</b></p> <p>【評価基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・研究成果の最大化のための研究実施体制や研究開発の進め方(マネジメント)は妥当であったか。</li> <li>・国や社会のニーズに適合しているか。</li> <li>・進捗に応じ、研究計画の必要な見直しを行ったか。</li> <li>・機構内連携や大学・産業界との連携の取組は十分であったか。</li> </ul>	<p>s:1 a:3 b:0 c:0</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・共同研究の推進が今期中で注力され、環境や研究者の意識の変化に繋がっていることは評価できる。</li> <li>・社会ニーズに沿った重要な研究を高いレベルで推進できている。他機関や産業界との連携も十分に行われている。</li> <li>・構造材料としての金属材料、セラミックス材料、ポリマー材料の変形機構について優れた解明がなされている。</li> <li>・当初から期間内を3つのステージに分け、各段階を着実に進化させることができています。</li> <li>・若手の活発な活動による活性化につなげることができています。</li> <li>・制振ダンパーなど、企業と連携して社会実装につながる成果がでています。</li> <li>・優れた若手人材をリクルートし、大学との共同研究が拡大しつつある。</li> <li>・多岐にわたる研究分野を、きめ細かくマネジメントして、期待通りの成果を出している。</li> <li>・産業界との連携は、MOPなど、新しい施策を導入して、これまでになく積極的に進められている点、高く評価したい。</li> </ul>
<p><b>研究開発の進捗状況及び目標の達成状況</b></p> <p>【評価基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・設定した目標は達成されたか(または当初目標以上の成果が得られたか)</li> <li>・設定された目標以外の成果があるか。</li> </ul>	<p>s:1 a:3 b:0 c:0</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各サブテーマにおける研究が着実に進められ、設定目標は十分に達成している。</li> <li>・材料評価技術における進展が大きく、今後より広い研究分野や材料対象における応用展開が期待される。</li> <li>・強度、延性、靱性のバランスのとれた優れた材料の開発が行われている。また、既存の高 Cr 耐熱鋼の高温における材料規格の見直しが必要であることの指摘がなされている。</li> <li>・期間内に論文数を大きく増加させ、また分野のトップジャーナルに論文を発表することができています。</li> <li>・期間中に外部資金獲得額が大きく増加している。</li> <li>・構造体・構造材料の革新には、多くの要素技術における新しい科学的知見が必要となる。それだけに、専門性の高い研究領域を同時並行に、かつ連携させながら進める必要がある。当該プロジェクトは、全体として当初通り、また、一部は想定以上の成果を出している点、特筆されると評価される。</li> </ul>

<p><b>研究成果の創出等</b> 【評価基準】</p> <p>&lt;科学的・技術的視点&gt; ・世界トップレベルの研究 成果が得られたか。 ・対外発表(論文・学会 等)の量や質について費 用対効果は十分なも のであるか。</p> <p>&lt;社会的・経済的視点&gt; ・研究成果は新技術や実 用化につながるもの であるか。 ・得られた研究成果によ り、優れた効果・効用(ア ウトカム)や波及効果(イ ンパクト)が得られたか (期待されるか)</p>	<p>S:4 A:0 B:0 C:0</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・構造材料という見かけ上ハイインパクトな成果の出にくい研究領域において、十分な学術的成果が出ている。特に独自の評価技術と国のサポートがある研究開発法人ならではの、長期スパンでの実験的評価を継続して取得していく姿勢は高く評価できる。</li> <li>・開発材の社会実装がさらに進んでいることも含めて、今後産業界との連携が進むことで、より実学に近いところをカバーしている。さらなる発展を期待する。</li> <li>・全ての研究テーマが世界の研究レベルのトップにあり、今後もこの状態を維持していただきたい。</li> <li>・多様な材料の様々な課題において、いずれも注目に値する興味深い研究成果を獲得し、多くが論文として発表できている。</li> </ul> <p>(科学的・技術的視点)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎研究から応用研究にわたり幅広く成果が出ている。先進性についても世界トップレベルと考える。</li> <li>・対外発表(論文・学会等)の量や質についても申し分ないと考える。</li> </ul> <p>(社会的・経済的視点)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・粒界制御技術は基礎的な検討であるが、世界レベルでも最先端の成果が出ている。このような優れた成果を実用化に結び付けるためには、産業界とのコミュニケーションの深化が必要と考える。</li> <li>・自己治癒性など、他材料への展開にもつながるレベルに研究を深掘りすることで、より大きな波及効果が期待できるのではないかと考える。</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>総合評価</b></p>	<p>S:1 A:3 B:0 C:0</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎に立った研究をさらに推進し、応用や社会実装にしっかりと貢献するよう注力していただきたい。</li> <li>・第5期における新たなテーマ設定の中で、従来型のスタイルの研究者と新しいスタイルの研究者との対話が進み、さらに高い次元の研究が進められる体制を構築していただければと思う。</li> <li>・今後のプロジェクトにおいても、これまでの知見をさらに発展させるようなテーマを設定し、発展させていただきたい。</li> <li>・過去数年間の本チームの研究の活発化と連携強化は、外部から見ても印象に残っている。構造材料は安全性・信頼性を担保する必要があるため一般に実用化までに長い時間がかかる。したがって機能材料分野との単純な比較は適当でない。本プロジェクトの成果は基礎的なものが多いが、この積み重ねがいずれは大きい実を結ぶと考えられるので、日本の研究センターとして活性化と成果創出を継続してほしい。</li> <li>・全体的にはS評価を与えても良い成果だと考えるが、更なる質向上への余地がある点、期待を込めてA評価としたい。</li> <li>・実用化には想定されない課題が多く発生しうる。実用化時期や経済効果など、安易な数値目標設定は、かえって研究活動の混乱にもつながる可能性がある。企業の基礎研究所を目指すという方針には多いに共感するところがある。やはり応用性の効く基礎研究に軸足を置いて欲しい。</li> <li>・『研究成果の創出等』の記載にも関係するが、産業界との連携では、研究結果だけでなく、方向性やロングスパンの戦略などの共有化も、より強化してはと考える。産業界のマインドも変換が必要。</li> <li>・人材育成は、NIMSに期待される大きな項目の一つと考える。ジュニア研究員などは良いコンセプトと思うが、人材育成の視点で、本質的に機能するような仕組み作りは、検討の余地があるのではないかと考える。産業界との人材交流もより積極的に行うことも、是非、検討頂きたい。</li> <li>・革新材料の実用化に向けた大規模プロセスの保有は、産業界にとっても課題。共通の課題として、解決策を議論させて欲しい。</li> </ul>