

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3月25日

プロジェクト名	構造材料の時間依存型損傷評価技術の構築
研究責任者の所属・役職 ・氏名	中核機能部門 材料情報ステーション長 （元材料信頼性センター長） 緒形俊夫
実施期間	平成18年度～平成22年度
研究目的と意義	鉄鋼に代表される構造用金属材料について、クリープ・疲労・応力腐食割れ（SCC）等の時間依存型損傷・破壊の寿命評価技術を確立する。特に、高サイクル疲労、長時間クリープによる強度低下に注目し、劣化・損傷材のナノ・ミクロ組織の強度・物性を、ナノテクノロジーを活用して評価する技術を確立し、破壊機構の解明を進める。同時に、破壊力学による非破壊評価手法を導入し、材料の寿命評価技術と事故解析技術の基盤を構築する。得られた成果をデータベース化し、国際標準に発展させるとともに、事故解析に活用する。また、一次元及び二次元の微小材料の創製・評価技術を確立し、次世代構造材料としてのマイクロマシン用高信頼性材料の技術基盤を構築する。これらを遂行するため、6つ（平成21年度より7つ）のサブテーマを構成する。
研究内容	<ul style="list-style-type: none"> ・サブテーマ1：先進高Cr耐熱鋼の母材と溶接継手について、長時間クリープ試験を実施し、材料組織の変化、クリープ損傷の成長過程を定量的に解明し、データベースを構築する。 ・サブテーマ2：高強度鋼の介在物起点内部破壊に関しては、拡散性水素の影響、表面硬化処理の影響、平均応力の影響の3つの観点から研究を行い、内部破壊特性の評価指針を探索する。Ti合金のファセット起点内部破壊に関しては、引張平均応力下での疲労試験により、疲労強度低下と粒度の関係を検討する。 ・サブテーマ3：液体ロケットエンジン用材料の実環境下における変形機構や破壊機構を解明する。また、高圧水素中材料試験法を開発する。 ・サブテーマ4：すきま腐食あるいはSCCの発生・成長過程を、電気化学的挙動や機械的特性を中心に検討する。 ・サブテーマ5：ナノワイヤーや数十nmサイズのマイクロナノコンポーネントなど微小材料をレーザーにより接合する技術を開発する。 ・サブテーマ6：ナノ組織を有する金属細線・極薄板を創製し、表面欠陥や結晶粒径の強度に及ぼす影響を明らかにする。 ・サブテーマ7：国際標準の場において、共通試料を用いた国際標準化活動を推進する。
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"> ・サブテーマ1：長時間クリープでの高Cr耐熱鋼とその構造部材の組織劣化及び損傷機構の解明、並びに超長時間域でのクリープ特性・寿命予測システムを開発する。 ・サブテーマ2：介在物起点内部破壊に関しては、評価指針を確立する。ファセット起点内部破壊では、高温高サイクル疲労特性の研究から、基本的な支配因子を探索する。 ・サブテーマ3：Ti合金の極低温での疲労特性低下と内部破壊との関係を解明する。また、簡便な高圧水素環境材料試験法を確立する。 ・サブテーマ4：すきま腐食あるいはSCCが発生し成長して行く様相を明らかにし、SCC寿命予測に関する技術基盤を構築する。 ・サブテーマ5：ナノワイヤーをその場観察・計測できる高精度かつ正確な材料

	<p>試験評価システムを開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・サブテーマ6：ミクロン細線引張試験や延性測定技術の確立、ミクロン金属素材の信頼性評価技術を確立する。 ・サブテーマ7：国際共同研究のラウンドロビンテストに参加し、評価法原案作成などの標準化活動を行う。
<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）：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鉄鋼等の溶接構造体の長時間高温クリープ試験、長時間疲労試験・腐食試験を実施することにより、構造材料の寿命評価手法を高度化し、確立した。 ・材料信頼性評価のための要素技術として、①長時間クリープ損傷の発生・成長プロセスの計測法を開発し、クリープ損傷と破壊の新しい計算モデルと解析コード及び先進高Cr耐熱鋼の実機相当レベルでの寿命を予測するシステム、②高温環境や曲げ試験等の新たなギガサイクル疲労試験技術、③70MPa 高圧水素環境下の簡便な疲労特性評価法、④ステンレス鋼の金属/ガラス-すきま下で発生・進展するすきま腐食の侵食深さ分布測定とその場観察技術、すきま付与SCG試験法等を世界で初めて開発し確立した。 ・高サイクル疲労破壊では、高強度鋼に関して種々の疲労条件下での内部破壊の疲労特性を解明するとともに、Ti合金の極低温高サイクル疲労破壊では破面の方位の同定に成功しフラットな面を持つ双晶の発生が疲労強度の低下と関連することを見出した。 ・ギガサイクル疲労では、高強度鋼においては内部破壊特性に対する水素の影響やサイズの大きい試験片による寸法効果が従来の想定(5%)より極端に大きい(20%)ことを発見するとともに、Ti合金では平均応力の影響により強度低下が大きいことなどを発見した。 ・ミクロン金属線材やナノワイヤー等の微小材料の力学特性評価のための材料創製要素技術として、ナノワイヤーの電気的・機械的特性をin-situ測定できるシステムと、パルスレーザーを用いて高分子のナノワイヤーを1本毎に任意の所定の位置に正確に生成できる新手法の開発、ナノ組織を有する金属細線を創製するためのコンパクト連続圧延技術の確立をした。 ・微小材引張強度試験器を完成し、短軸径50nmで2GPa超高強度の直径30μmの極細線の実現とその疲労特性を含む評価技術を確立した。 <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）：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・これらの成果は高効率高温プラントや次世代プラントで用いられる高Cr耐熱鋼の長時間クリープにおける寿命評価と安全確保に貢献する。 ・大型試験片に対応する超音波疲労試験法を確立し、ライセンス供与した。 ・Ti合金の低温疲労特性データの解析や破壊機構の解明は、JAXAの宇宙ロケットエンジンの信頼性向上にも貢献し、20機の連続打ち上げ成功にも寄与している。 ・これらの試験手法で得られたデータは、NIMSデータシートとしても発刊され、ASMEのクリープ許容応力値の根拠として使われている。 ・クリープき裂成長試験法ではVAMAS国際共同研究を通じてISO TC164に提案した。
<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： 目標を十分上回った。</p> <p>自己点検・評価： クリープ・疲労・応力腐食割れの寿命評価手法として、各劣化・損傷材の評価技術を確立し破壊機構の解明を100%進めた。高強度鋼の内部破壊による疲労特性では寸法効果が極端に大きいことの発見は目標達成度120%に値するセレンディピティーである。マイクロマシン用高信頼性微小材料の技術基盤では、開発した微小引張試験器を用いた微小材料の伸び強度関係図の取得やナノ組織を有する金属細線の材料創製とその力学的特性評価技術を確立し、最終目標を達成した。</p>

	<p>注) 実機レベルでの長時間試験のデータと寿命予測及び様々な実用環境下での材料試験法の確立は独立行政法人であるNIMSならではの成果であり、国際標準化への取り組みを含めて、国内外で高く評価されるとともに今後も期待されている。</p>
【評価項目】	コメント
<p>①研究計画、実施体制、マネジメント、連携 (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"> ・ ナノ・マイクロ組織の強度・物性評価技術といった今後重要になる課題にも対応した研究計画である。 ・ 研究目標も、産業界のニーズを十分とらえた設定となっている。 ・ それぞれのサブテーマは緻密に計画されており、実施はうまくいっている。 ・ NIMSの強みであるクリープ特性評価技術を中心にして、疲労、腐食に関する研究を推進する体制が整備されている。 ・ サブテーマ1～4（構造材料）の計画、ロードマップは妥当であったと思われる。 ・ サブテーマ5～6（マイクロマシン材料）は、計画段階で、広範でやや漠然としたサブテーマ設定であった面がある。 ・ 今後、サブテーマ1～4とサブテーマ5～6の連携があれば、さらに進歩すると思われる。 ・ 連携について、センター連絡会やセンター内セミナーを定期的に行うなど、努力した様子が伺える。 ・ サブテーマ7（標準化）は平成21年度から加わったとあるが、どこかの部署でやらなければならない課題である。
<p>②研究開発の進捗状況及び具体的目標の達成度 (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"> ・ 目標に対して、十分な成果を挙げている。 ・ 高Cr耐熱鋼8万時間クリープ試験と火力発電プラント用構造材料の信頼性向上への貢献、高温超音波疲労試験装置の開発、Ti合金の低温疲労特性の解明とH-IIAロケットの信頼性向上への貢献、微小材料引張試験器の開発、ナノ組織を有する金属細線の作製等の成果は高く評価される。 ・ サブテーマ1～4は世界初の成果も散見され、進み具合も順調で、ほぼ当初目標を達成できたと判断される。 ・ サブテーマ1～4における、評価技術の開発とそれを用いたデータベースは世界的財産である。 ・ サブテーマ5～6は網を広げた計画であったため、すべての目標を達成できなかったわけではないが、いくつかの点で達成もしくは達成の基礎を築いている。 ・ 標準化については、実施者が指摘しているように十分な活動ができなかったのは残念である。
<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） (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"> ・ 論文、特許ともに十分な成果である。 ・ 特に、ギガサイクル疲労に関する論文数が世界1位であることは注目されると同時に、このようにベンチマークにする姿勢を評価したい。 ・ NIMSの成果は、世界レベルで大きく貢献している。 ・ 学術論文、学会発表、特許等、アウトプットは相当数あるが、学術雑誌のIF（インパクトファクター）で見ると必ずしも高いとは言えない。 ・ 鉄鋼材料の研究が少なくなった今日、NIMSの本研究チームは世界の構造材料強度研究の中心となっている。

④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があれば追加してコメント)		<ul style="list-style-type: none"> ・ 全般的によい成果を挙げている。 ・ 発電プラント、製造プラント、社会インフラ等の安全性確保は今後益々重要になってくる。NIMSの金属構造材料に関する更なる取り組みに期待している。そのためには、構造材料の信頼性評価に関する技術の継承と発展を担う人材の確保と育成が緊急の課題と思われる。 ・ 長時間を要する構造材料の安全データ取得は、国の財産として、今後も続けるのが望ましい。
各委員の総合評価点 (10点満点)		8、9、9 (順不同)
総合評価点平均 (10点満点)		8.7 (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。
9		多くの点において非常に優れていた。
8	A	総合的に優れていた。
7		優れたプロジェクトであった。
6		平均的なプロジェクトであった。
5	B	一部の計画の見直しが必要であった。
4		期待されたほどではなかった。
3		計画を見直して継続すべきであった。
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。
1		大きな問題があり、プロジェクトを中止すべきであった。