

事後評価報告書

研究課題名： 新世紀構造材料（超鉄鋼）の研究の推進

【フェライトを母相とする一般溶接構造用鋼の高強度化に関する研究（長井寿）】

評価委員会委員長及び委員名：

増本	健	（財）電気磁気材料研究所	所長（委員長）
阿部	光延	新日本製鐵（株）	顧問
柘植	綾夫	三菱重工業（株）技術本部	取締役技術本部長
豊田	政男	大阪大学大学院工学研究科	教授
増子	昇	千葉工業大学工学部	教授

記入年月日： 平成15年3月27日

評価の観点	評価結果
<p>〔研究概要〕 研究計画において、設定していた目標など</p>	<p>一般溶接構造用鋼材を対象として、400MPa級の組成でありながら、リサイクル性に優れた800MPa級の高張力鋼を開発するため、結晶粒をサブミクロンとした超微細粒化を温感強加工で実現するという斬新な挑戦とともに、さらに、高効率の狭開先溶接施工法や溶接部に圧縮残留応力を導入するなどの溶接加工法の開発によって、社会基盤構造に有用な超微細組織鋼の開発を目指すなど、産業面でもインパクトの大きい目標を設定している。</p>
<p>〔課題の設定〕 問題の取上げ方の新規性・独創性、科学的・技術的重要性、社会的・経済的重要性、国家・社会・産業界の要請、新規産業分野、緊急性、波及効果など</p>	<p>21世紀を迎え、わが国の安心・安全な社会基盤の構築と低環境負荷・省資源という社会的ニーズを考慮した本テーマの「軟鋼レベルの組成で強度800MPa級の高張力鋼を開発し、実用強度2倍化」の目標設定は科学的・技術的視点から見ても新規性に富み、社会的要求が高い課題設定である。</p> <p>原理そのものには新規性・独創性は見られないものの、ハードルの高いと思われる超微細材料の製造技術開発への果敢な挑戦のみならず、最適な熱加工プロセスのシミュレーション手法の開発を通じて実用化への方向を示すという目標は意義深い。</p> <p>さらに、構造化のために、超微細粒鋼が生きるような最適な加工法の開発と、社会基盤構造で最重要な疲労強度の2倍化を通じて、開発鋼の実用化をより有効とする開発課題も取り上げていることは、地球規模での環境対策や社会基盤の効率化などに大きく寄与し、その社会的波及効果は大きい。</p>
<p>〔課題の解決方法〕 研究手法・実験方法の新規性・独創性、方法の精密さ・精緻さ、妥当性など</p>	<p>サブミクロンの超微細結晶粒を実現するために、圧延過程での加工歪導入のあり方と再結晶の役割を明確にして、多方向加工で大歪を導入し、かつ多軸ロールで加工する新しい装置の設計・開発により、比較的大型断面の微細粒鋼の実現までに至った開発実験プロセスは適切である。さらに、強加工材の特徴である一樣伸びの低下に対して、酸化物分散による向上効果を確かめるなど、加工プロセスと金属学的アプローチの結合には新規性がある。</p> <p>一方、超微細粒鋼の実用化に不可欠である溶接接合加工技術の開発にレーザ溶接および超狭開先溶接法の開発を計画したことは妥当であり、大出力レーザのバルス変調制御や、開先間隔5mmのアーク溶接法の開発などの新規性を持った技術展開は評価される。ただ、超微細粒化と施工法との連携が必ずしも明確でなく、実用化に向けた課題設定に工夫が必要である。</p> <p>本研究の開発過程において、鉄鋼業あるいは構造製造業からの外部研究員の採用、あるいは密なる情報交換のアプローチは問題解決の効率化にとって大きな役割を果たし、技術の波及効果をもたらしていると判断されるが、さらに実プラントでの生産の可能性を含めた実用化への集中的課題設定が不可欠であり、今後は企業との密接な取り組みが必要である。</p>

<p>【研究の成果】 新事実の発見、新しい研究手法の確立、新理論・仮説の提案、長年の懸案の解決、社会的問題の解決、産業界への効果、成果の発表状況など</p>	<p>本プロジェクトにおける重要な研究成果を示すと以下の通りである。</p> <p>(1) 結晶粒のサブミクロン化によって 400Mpa 級の鋼材組成にて 800Mpa 級の強度 2 倍化を図る目標のもと、新しく設計・製作した材料創成装置を用いて 12mm までの商用厚板と同程度の鋼板を実現し、超微細粒鋼の実用性のある技術原理の確立は顕著な成果である。</p> <p>(2) 超細粒化技術の開発と共に、細粒鋼の塑性変形や破壊挙動の微細スケールでの観察手法にも新規性が見られ、また粒子分散技術の開発により一様伸びの改善を実現し、最適化の方向を示したことは評価される。</p> <p>(3) 開発材料の構造化を目指して、適切な接合法の開発と接合体の性能向上に注目し、超細粒鉄鋼材料の組織保存型技術としての大出力レーザーパルス変調制御溶接や超狭開先アーク溶接を導入し、新しい手法を開発すると共に、低温変態溶接材料の開発とその適用によって、溶接継手の疲労寿命の 2 倍化を実現している。 ただ、超細粒鉄鋼材料の実用化に向けては、必ずしも提案の手法のみで構造化は容易でなく、今後の課題として材料創成と加工法や評課の連携による実地的研究が必要である。</p> <p>(4) 微細粒鋼の創成とその構造化への手法の開発に、単に創成技術の実現のみでなく、細粒化と熱加工変形の関係についても詳細な解析や、細粒鋼の変形予測などの解析手法の開発にも大きな成果を挙げている。これらは実用化にとってその適用範囲の拡大につながる指針を与えることとして期待されるが、開発されたシミュレーションの評価技術の目標設定への有機的連携が必ずしも明確ではない。</p> <p>本プロジェクトテーマに関する成果は、多くの特許出願、学術誌への論文掲載、さらには、ワークショップなどを通じて広く公表され、学術と技術の両面で流れをつくるのに十分な役割を果たしている。</p>			
<p>【発展性】 研究手法・実験装置の他の問題への利用、得られた結果の他の問題への影響、新規研究分野の開拓など</p>	<p>リサイクルが容易な 800Mpa 級の高張力鋼の創成、さらにはそれを構造化するための基本的溶接加工技術の開発研究は、実用化への道を開くものとして評価される。強度 2 倍、寿命 2 倍として設定された高い目標を満足する手法については、その方向性が示されたものと考えられるが、今後、実用化を目標にするとき、構造化に可能な寸法の材料創成技術の開発、本プロジェクトで設計・開発した実験室規模の作製装置などを鉄鋼現場との協調で一層発展させることを考える必要がある。</p> <p>また、本プロジェクトで開発された高強度鋼の適用メリットが具体的に見えるように、社会基盤構造の構造設計との協調による、新しい鋼材の新たな使い方に指針を与えるような努力が重要である。</p> <p>この大型の開発研究プロジェクトでは、規模で生まれるシナジー効果がよい方向に作用し、本テーマの学術的波及効果を高めているが、実用化を目指すプロジェクトにあつては、知識・技術の継承のためのさらなる戦略的取り組みが強く望まれる。</p>			
<p>【総合評価】</p>	<p>挑戦的目標設定のもと、その実現に目途をつけ、実用化への展望を開いたことは、材料学的、創成技術的にも高く評価される。とくに、超微細粒鋼開発への挑戦がわが国における一つの流れをつくったことも評価されるべきである。また、産官学連携を通じた新しい人事制度を導入して協調を図ったことも研究成果の波及効果に大きな役割をしたといえる。</p> <p>本テーマにある超微細粒鋼の創成技術の学術的・技術的な意義は高いものがあるものの、材料創成法と構造化接合法のさらなる有効な融合を図ることが重要であり、また超微細粒鋼を実用化するために、研究成果のプロセス途中の技術を含めた十分な情報の開示と、開発鋼の実用範囲の明確化「Affordability(提供限界)」が課題であろう。現状では、製鉄会社での実用化に向けた大きな流れを生み出すまでには至っていないが、学術的貢献と共に、実用的流れを生み出す目途を創り出すことが強く求められる。</p>			
<p>【評点】</p>	S	A	B	F

注) 評価基準 S: 特に優れている。 A: 優れている。 B: 普通である。 F: 劣っている。

事後評価報告書

研究課題名： 新世紀構造材料（超鉄鋼）の研究の推進
 【1500MPa 超級高強度鋼の高性能化に関する研究（松岡三郎）】

評価委員会委員長及び委員名：

増本 健	(財)電気磁気材料研究所	所長 (委員長)
阿部 光延	新日本製鐵(株)	顧問
柘植 綾夫	三菱重工業(株) 技術本部	取締役技術本部長
豊田 政男	大阪大学大学院工学研究科	教授
増子 昇	千葉工業大学工学部	教授

記入年月日： 平成15年3月27日

評価の観点	評価結果
[研究概要] 研究計画において、設定していた目標など	現在の鋼線では4000MPa級の極細線材が、また明石海峡大橋では1760MPa級の線材が実用化されている。本研究は、建築、土木、自動車分野などで高強度ボルトや部品等として要望の高い1500MPa級鋼材の開発を設定し、ナノ・原子レベルでの組織解析によって遅れ破壊抑制効果や疲労強度の向上を目的としたマルテンサイト組織の創成を図り、その構造部品化のための指針を確立することを目的としている。
[課題の設定] 問題の取上げ方の新規性・独創性、科学的・技術的重要性、社会的・経済的重要性、国家・社会・産業界の要請、新規産業分野、緊急性、波及効果など	鋼材の長期信頼性を確立するため、新規なマルテンサイト組織の創成を目指し、遅れ破壊抑制のための侵入水素のトラップサイトの解明、ナノレベルと観察・測定技術の確立など基礎面からの解明を目指した課題設定は適切である。とくに、ナノ・原子レベルでの解析による組織微細化の研究を通じて、耐遅れ破壊特性や疲労特性に優れたマルテンサイト組織の創成を目指すことは、学術的意義が大きい。さらに、単に高強度であるのみならず遅れ破壊抑制や疲労強度向上を目指した高強度ボルトの開発研究は、同時に推進する寿命評価技術確立のための研究と合わせて、構造物の安全と安心を求める社会ニーズにも合致している。本研究は最新の微細組織制御技術を適用した極限的材料への挑戦であり、その成果は他の高強度鋼材の開発にも広く応用可能と考えられる。
[課題の解決方法] 研究手法・実験方法の新規性・独創性、方法の精密さ・精緻さ、妥当性など	1500MPa級高強度鋼の高性能化において、遅れ破壊と疲労特性の改善を重要課題として取り上げ、その解決方法として組織と介在物の形態をナノレベルでの新規な構造解析を行い、最適な微細組織化のための要因を抽出している。具体的には、ナノ・原子レベルの解析機器を独自に開発することによる実験方法の開拓を行っていること、結晶粒の均一微細化、粒界炭化物の微細化、結晶方位のランダム化などの特徴を有する高機能マルテンサイト組織の創成のために、改良型オースフォミングと急速焼戻しとの組み合わせた手法により、高強度・長寿命化を図っていること、遅れ破壊挙動の研究では水素トラップサイトに注目し、微量水素の定量解析を行うなど幅広い取り組みを織り込んでいること、疲労強度については、その向上を目指すばかりでなく、加速疲労試験法の開発も手がけていることなどは、技術面および実用面からも重要である。
[研究の成果] 新事実の発見、新しい研究手法の確立、新理論・仮説の提案、長年	改良オースフォミングと急速焼き戻しの組み合わせを活用し、1500MPa 超級鋼でありながら、遅れ割れ、疲労破壊を克服した新マルテンサイト組織鋼の創成に目途を付け、実用化への展開が期待される成果を得ている。具体的には、 (1) 材料開発の面では、ナノ・原子レベルの解析研究をベースにして新マル

<p>の懸案の解決、社会的問題の解決、産業界への効果、成果の発表状況など</p>	<p>テンサイト組織創成の可能性を実証し、実用化への展開が期待される結果を得ている。</p> <p>(2) 遅れ破壊抑制との関連で、締結ボルトの塑性変形部分で局部的に水素吸蔵量が増大することを明らかにしたこと、ならびに微細整合析出物が水素のトラップサイトとして機能することを明確にしたことは、基礎的から高く評価される。</p> <p>(3) 計測評価技術の面では、ナノ硬さ試験機の実用化と普及、ならびにギガサイクル疲労試験の加速を目的とした超音波疲労試験機の有効性の実証の成果があげられる。ナノ硬さ試験機は多くの研究機関で利用され、またトヨタ・ホンダ・日産の各メーカーが超音波疲労試験機を導入するなど、本研究成果の一部が既に広く活用されている。</p> <p>なお、多数の論文発表、特許出願に加えて、受賞も多くあり、研究の成果が客観的にも評価されていることを示している。</p>			
<p>[発展性] 研究手法・実験装置の他の問題への利用、得られた結果の他の問題への影響、新規研究分野の開拓など</p>	<p>1500MPa 超級の鋼材の実現に目途を付けたことは、その社会的要求から、今後の一層の発展が期待される。とくに、本研究で開拓された 1500MPa 超級鋼材の製造法の原理的指針は今後の実用化に向けて大きく貢献すると考えられること、本研究によって推進されたナノ・原子レベルでの解析手法や新マルテンサイト組織創成技術は、他の高強度鋼材開発にも応用可能であり、例えば高強度薄鋼板の開発への適用が期待できること、遅れ破壊・疲労に関する有効な評価手法の確立により、各種破壊事故の原因究明に際しての判定機能を果たすことも期待されるなど、種々な面で大きく貢献すると考えられる。</p>			
<p>[総合評価]</p>	<p>初期の目標設定は適切であり、その達成は高いレベルでなされているといえる。また、評価技術において、精密なナノ計測技術を開発していることは、材料開発への新しい展開を期待させるものとして高く評価される。</p> <p>高張力ボルトについては、実用化への動きがすでに見られ、本テーマの流れを生みだしているものの、ターゲットの特定と超高強度を活かす部品化などの実用ステップへの移行を確実にすることで、今後大きな波及効果をもたらすことになろう。</p>			
<p>評 点</p>	<p>S</p>	<p>(A)</p>	<p>B</p>	<p>F</p>

注) 評価基準

- S: 特に優れている
- A: 優れている
- B: 普通である
- F: 劣っている

事後評価報告書

研究課題名： 新世紀構造材料（超鉄鋼）の研究の推進

【長時間組織安定化によるフェライト系耐熱鋼の高性能化に関する研究（阿部富士雄）】

評価委員会委員長及び委員名：

増本	健	（財）電気磁気材料研究所	所長（委員長）
阿部	光延	新日本製鐵（株）	顧問
柘植	綾夫	三菱重工業（株）技術本部	取締役技術本部長
豊田	政男	大阪大学大学院工学研究科	教授
増子	昇	千葉工業大学工学部	教授

記入年月日： 平成15年3月27日

評価の観点	評価結果
<p>〔研究概要〕 研究計画において、設定していた目標など</p>	<p>超臨界圧発電プラントの実現に不可欠な 650°C級高 Cr フェライト系耐熱鋼の開発を目標として、高クリープ性、高耐熱性、高耐食性などの高性能化を図ることは、わが国のエネルギー政策の観点から、また、材料の限界に挑戦するという学術的な観点からも、国立研究機関が実施するテーマとして妥当かつ重要である。</p>
<p>〔課題の設定〕 問題の取上げ方の新規性・独創性、科学的・技術的重要性、社会的・経済的重要性、国家・社会・産業界の要請、新規産業分野、緊急性、波及効果など</p>	<p>発電機器の高効率化は、21世紀の低環境負荷社会に取って不可欠な課題であり、現状の材料的障害に注目して新しい観点での材料開発を目指し、実現することは社会的意義が大きい。また、高温・酸化雰囲気での長時間安定組織の実現のための焼き戻しマルテンサイト組織の創成のために、析出強化機構、組織安定化機構などへのナノ解析を駆使した手法、および長期安定化機構の解明に原子レベルの解析を用いた手法は、現象理解と開発手法の解明に適切かつ有効であり、これらの解析手法は他の分野への波及効果も期待される点で評価される。</p>
<p>〔課題の解決方法〕 研究手法・実験方法の新規性・独創性、方法の精密さ・精緻さ、妥当性など</p>	<p>長期クリープ特性と耐酸化性の両立を目指した材料の創成のため、計算材料科学的な手法による解析、長時間組織変化のシミュレーション、およびナノスケールでの最新の組織解析法の組み合わせによって、メカニズム解明まで踏み込んだ取組むは、独創性で新規性があるものと評価される。また、評価試験法に関しても、クリープ加速評価法などの新規な試験評価法の提案をしており、研究手法に新規性が見られる。今後、これらの新しい評価方法の確立および標準化への一層の努力を期待する。</p>
<p>〔研究の成果〕 新事実の発見、新しい研究手法の確立、新理論・仮説の提案、長年の懸案の解決、社会的問題の解決、産業界への効果、成果の発表状況など</p>	<p>長時間クリープ強度の低下機構、高強度耐熱鋼の設計指針、新しい炭素フリーマルテンサイト合金の創成、Cr リッチ酸化被膜の形成など、価値ある学術的知見が得られており、これらの成果は多くの論文発表や特許出願などとして公表されている。また、新規プラントなどへの実用化と共に、ここで得られた多くの知見は、既存機器の寿命評価などにも活用できる解析手法、評価手法であり、低環境負荷社会に向けて、成果の活用に向けた動き（寿命評価、材料変換、保守基準など）も重要な視点である。</p> <p>ただ社会的波及効果の面からは、適用対象製品との関係が把握し難く、実用化を考えた材料科学的アプローチと加工技術開発などのコンカレントな技術開発を今後も実施する必要がある。</p>

<p>[発展性] 研究手法・実験装置の他の問題への利用、得られた結果の他の問題への影響、新規研究分野の開拓など</p>	<p>クリープ特性向上要因に関する知見は、金属材料の高強度化を図る上で、広く活用可能な考え方の提案である。また、ナノ解析手法などは、広く材料創成技術に活用できる技術であり、発展性が高いと思われる。</p> <p>とくに、プロジェクト研究としてのシナジー効果が顕れており、お互いの分野が競い合う形で個々のレベルが向上し、さらに新しい知見が得られるというスパイラル的展開の実証は、既存のパラダイムの中で重要な方向を示したものと考えられる。</p>			
<p>[総合評価]</p>	<p>本研究における研究課題の設定および研究成果ともに優れていると評価される。ただし、得られた成果を実用材料として利用するには、多くの課題が残されており、課題の選択と集中および産業界との一層の連携強化によって、実用化に向けた方向性を明確にする必要がある。</p>			
<p>評点</p>	<p>S</p>	<p>Ⓐ</p>	<p>B</p>	<p>F</p>

注) 評価基準

- S: 特に優れている
- A: 優れている
- B: 普通である
- F: 劣っている

事後評価報告書

研究課題名： 新世紀構造材料（超鉄鋼）の研究の推進
 【構造用鋼の海洋環境における耐久性向上に関する研究（小玉俊明）】

評価委員会委員長及び委員名：

増本	健	（財）電気磁気材料研究所	所長（委員長）
阿部	光延	新日本製鐵（株）	顧問
柘植	綾夫	三菱重工業（株）技術本部	取締役技術本部長
豊田	政男	大阪大学大学院工学研究科	教授
増子	昇	千葉工業大学工学部	教授

記入年月日： 平成15年3月27日

評価の観点	評価結果
<p>【研究概要】 研究計画において、設定していた目標など</p>	<p>わが国の立地条件からみて、海洋・海浜域で長時間使用可能な構造材料の開発は意義の大きな目標設定である。このような過酷な条件下での鋼構造物の耐海水性能の向上のための鋼材自体の改良、耐食皮膜形成技術の開発などの研究課題を設定しており、社会的な意義が高い。</p>
<p>【課題の設定】 問題の取上げ方の新規性・独創性、科学的・技術的重要性、社会的・経済的重要性、国家・社会・産業界の要請、新規産業分野、緊急性、波及効果など</p>	<p>鋼自体の改良としては、高窒素・高清浄化のテーマを取り上げて系統的研究を行ったことは妥当な設定である。ことに、高濃度窒素を含有するステンレス鋼製造のための窒素加圧溶解装置の開発と材料の加工法、溶接法の確立、および長寿命コーティングとして新しくガスシュラウド付き HVOF 法の開発を手掛けたことは評価される。これらの研究全体を通して、耐海水用鋼材の耐久性向上に関して多くの知見と技術的可能性を探索し、貴重な技術シーズを得ており、今回の課題設定は適切であり、将来への技術的波及効果も大きいものがある。</p>
<p>【課題の解決方法】 研究手法・実験方法の新規性・独創性、方法の精密さ・精緻さ、妥当性など</p>	<p>過酷な海水環境で高度の耐食性を付与させる方法として、高純度化、高清浄化、窒素添加、組成選択などの材料自体の改良手法の検討と、耐食性ステンレス鋼の表面コーティングとして新規な溶射法を開発して無孔質化を図るなど、課題解決のために現在考えられる方法を使っており、その結果は今後の同様な研究開発に対する指針となる貴重なデータである。ただ、初期の目的を達成する画期的な新技術の開拓については不完全のまま終わったことは残念である。</p>
<p>【研究の成果】 新事実の発見、新しい研究手法の確立、新理論・仮説の提案、長年の懸案の解決、社会的問題の解決、産業界への効果、成果の発表状況など</p>	<p>海水環境における長寿命達成の課題に対して、鋼材開発および溶射被覆法開発の2面から研究開発を進め、また、実用化に当たって問題となる加工法、溶接法に付いても新規な提案を行っており、大きな成果である。具体的には、海水環境で高い耐食性を示す高窒素ステンレス鋼の溶製技術として加圧式 ESR 法の開発、高窒素添加による有害物質ニッケルを含まないオーステナイト系ステンレス鋼の作製と評価、スエーピング加工による細線の作製、また窒素物析出を抑制できるレーザ溶接法の開発、耐海水性皮膜の形成法として新たにガクシュラウド付き HVOF 装置の開発とボイドの少ない溶射皮膜形成など、多くの成果が得られている。なお、本研究の成果発表として多くの論文発表、特許出願があり、また多くの表彰を受けていることから、本研究が十分に評価されていることを示している。</p>

<p>[発展性] 研究手法・実験装置の他の問題への利用、得られた結果の他の問題への影響、新規研究分野の開拓など</p>	<p>本研究において、大型の加圧式 ESR 溶解装置、HVOF 溶射装置などの新規な製造設備の開発は、今後の材料研究の発展に大きく貢献するものと期待される。しかし、この研究から生まれた多くの技術シーズをさらに育成、発展させるための計画・方策がまだ十分でないのは極めて残念である。今後の装置や技術の継承に務める努力を期待したい。</p>			
<p>[総合評価]</p>	<p>わが国の環境から考えて、海浜・海洋の使用環境下での構造用鋼の耐食性向上によって社会資本の効率化を図るという目標設定は妥当なものといえる。高純度化、高窒素化などの有効性評価と基本技術の確立において、学術的価値と技術的価値があり評価される。ただ、実用化の目標において、どのような社会資本と社会基盤構造なのかを考慮した実際のターゲットが不明確であり、今後その明確化によって、目標性能のレベルとその実現方法、さらには防食の程度や構造物での施工方法などが明確になり、成果の重要性が明確に提示できよう。</p>			
<p>評 点</p>	<p>S</p>	<p>Ⓐ</p>	<p>B</p>	<p>F</p>

注) 評価基準

- S: 特に優れている
- A: 優れている
- B: 普通である
- F: 劣っている