

「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発」

中間評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
プロジェクト概要	2
評価概要（案）	14
評点結果	20

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会
「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発」(中間評価)

分科会委員名簿

(平成 21 年 7 月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	いりえ ひろさだ 入江 宏定	財団法人 日本溶接技術センター 会長
分科会長 代理	たかき せつお 高木 節雄	九州大学大学院工学研究院 物質工学部門 教授
委員	うすき ひでき 臼木 秀樹	ジヤトコ株式会社 部品システム開発部 主管
	かねこ しょうぞう 金子 祥三	東京大学 生産技術研究所 特任教授
	しのざき けんじ 篠崎 賢二	広島大学大学院 工学研究科 機械システム工学専攻 機械材料工学講座 材料複合工学科目 教授
	にしむら りゅうじ 西村 隆司	株式会社日経BP社 建設局 編集委員
	もり もとひで 森 元秀	トヨタ自動車株式会社 パワートレーン材料技術 部 金属材料室 室長

敬称略、五十音順

事務局：独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価広報部

プロジェクト概要

		作成日	平成21年 6月 9日
制度・施策 (プログラム)名	ナノテク・部材イノベーションプログラム エネルギーイノベーションプログラム		
プロジェクト名	「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤 研究開発」 プロジェクト	プロジェクト番号	P7005
担当推進部/ 担当者	ナノテクノロジー・材料技術開発部 飯田 純生		
0. 事業の概要	<p>エネルギー資源の多くを海外に依存する我が国にとって、省エネルギー化を図ることは、エネルギー政策上の重要な課題である。本事業では鋼構造物やプラント、自動車等の革新的な省エネルギー化、長寿命化、安全・安心化を図るため、鉄鋼材料及び鋼構造体を超高機能化する基盤的研究開発を行う。</p> <p>具体的には、高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤となる（1）高級鋼厚板溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工・溶接材料及び金属組織制御技術の開発、（2）部材の軽量化を図るために高強度と加工性の両立を可能とする鍛造技術の開発を行う。この結果、鋼構造物、エネルギープラント等の高強度・高機能化・長寿命化の大幅な加速、および自動車等の更なる軽量化が可能となり、高度な省エネルギー社会を構築すると共に、日本製造業の国際競争力の更なる向上を図る。</p>		

<p>I . 事業の位置付け・必要性について</p>	<p>【NEDO が関与する意義】</p> <p>省エネルギー化を図るとともに、安全・安心社会の実現及びCO₂排出削減といった強い社会的要請に貢献するため、エネルギー・インフラ分野で求められる極低温、腐食、高温・高圧といった極限環境対応及び、輸送機器分野での軽量化等が必要である。</p> <p>このため、革新的な溶接技術、鍛造技術及びそれに最適な組織制御技術が必要であり、具体的には、鋼構造体・鍛造部材の破壊損傷機構解明、溶接技術の経済的・革新的改善、組織制御による鍛造部材特性の最適傾斜機能化等の要素・基礎研究の着実な実行が必要である。また、鉄鋼材料はあらゆる分野で活用されるものであり、本研究開発の成果による部材の高強度・高機能化によりもたらされる、安全・安心かつ低炭素な社会の実現は、我が国社会全体への波及効果が極めて高い。</p> <p>しかしながら、現状業界各社だけでは、これらの製品実用化の目処が立っておらず、産官学の連携を通じて大幅な加速化が必要である。</p> <p>このように、本技術は、環境エネルギー技術革新計画等に示されている低炭素社会の実現に必要であり、かつ、エネルギー安定供給にも寄与するものである。このような国家的課題は、個々の民間企業の経済的な観点に基づく自主的努力に単純に任せる分野ではなく、政府が主体的に進める重点分野の一つであり、従来から NEDO がこれまでに蓄積してきた知識、実績を生かし、推進すべき課題である。</p> <p>【実施の効果】</p> <p>(1) 溶接部の高強度化・鋼構造体の高機能化</p> <p>高級鋼厚板（高強度・低温用）の溶接前後の熱処理フリー化により 2030 年 5.3 万 kL/年が見込まれる。</p> <p>火力発電所の発電効率向上を可能とする耐熱材料の開発により 2030 年 126.5 万 kL/年の石油削減効果が見込まれる。また、欧米の Ni 基合金のみによる建設に比較し 54 億円/基のコスト削減が見込まれる。</p> <p>(2) 先端的制御鍛造技術</p> <p>自動車鍛造部品の軽量化による燃費改善により、2030 年 36.3 万 kL/年の石油削減効果が見込まれる。</p> <p>【実施の効果(費用対効果)】</p> <p>(1) 費用：58.8 億円</p> <p>(2) ・省エネ効果：約 170 万 kL/年の石油削減効果</p> <p>・火力発電建設材料コスト削減：54 億円/基</p>
----------------------------	---

【事業の背景・目的・位置付け】

鉄鋼材料の高機能化や長寿命化については、日本が最先端の技術力を維持し、世界を牽引してきた。しかし、エネルギー・インフラ分野で求められる極低温、腐食、高温・高圧など極限環境対応、輸送機器分野等での軽量化による高効率化、省エネルギー化、安心・安全等に向けて鋼材に対する社会的ニーズは近年一段と高度化している。既存技術の延長ではこれらの課題に対処することが困難になってきている。また、エネルギー資源の多くを海外に依存する我が国にとって、省エネルギー化を図ることは、エネルギー政策上の重要な課題である。

このような背景の元、本研究は、「エネルギーイノベーションプログラム」および「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の一環として鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤技術を構築し、これを産業技術へ繋げ、運輸分野の軽量化、産業分野の構造体の高性能化と長寿命化、転換分野の超々臨界圧火力発電の実現等による省エネルギーの実現および部材の高信頼性を実現し、安全・安心社会構築を目指すものである。

具体的には、上述した課題を克服するための前提となる、高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤技術の高度化をめざし、(1)高級鋼^{*}厚板溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工・溶接材料及び金属組織制御技術の開発、(2)部材の軽量化を図るために高強度と加工性の両立を可能とする鍛造技術の開発を行い、鋼構造物、エネルギープラント等の高強度・高機能化による、省エネルギーとの長寿命化および運輸機器等の更なる軽量化と信頼性を高める。これにより、高度な省エネルギーと安全・安心を両立できる社会を構築すると共に、日本製造業の国際競争力の更なる向上を図ることを目的とする。

(^{*}高級鋼とは、高強度鋼・低温用鋼・耐熱鋼の総称)

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>鋼材の高強度化・利用技術およびその信頼性向上技術の開発により、プラント、構造物、自動車等に関する災害や事故から身体等の安全を確保する。具体的には共通基盤技術と実用化技術に分けて、下記の溶接技術と鍛造技術の2分野の技術開発を行う。</p> <p>【共通基盤技術】</p> <p>① 高級鋼材の革新的溶接接合技術の基盤開発 <u>全体の最終目標</u>：予熱なしで 980MPa 以上の高級鋼（現状 400MPa）の溶接を可能とする溶接技術と材料技術の基盤を確立する</p> <p>② 先端的制御鍛造技術の基盤開発 <u>全体の最終目標</u>：降伏強度 1000MPa 以上（現状 600MPa）を有する傾斜機能部材の鍛造技術の基盤確立</p> <p>【実用化技術】</p> <p>③ 高級鋼材の革新的溶接接合技術の開発 <u>全体の最終目標</u>：980MPa 以上の高級鋼（現状 400MPa）の溶接を可能とする溶接技術と材料技術を開発する</p> <p>④ 先端的制御鍛造技術の開発 <u>全体の最終目標</u>：降伏強度 1000MPa 以上（現状 600MPa）を有する傾斜機能部材の鍛造技術の開発</p>
-------	---

事業の計画内容	主な実施事項	2007	2008	2009	2010	2011
	①高級鋼材の革新的溶接接合技術の基盤開発	—————▶				
	②先端的制御鍛造技術の基盤開発	—————▶				
	③高級鋼材の革新的溶接接合技術の開発	—————▶				
	④先端的制御鍛造技術の開発	—————▶				

開発予算 (会計・勘定別に実績額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	2007	2008	2009	2010	2011
	一般会計					
	特別会計(需給)	1,092	1,033	933		
	総予算額	1,092	1,033	933		

開発体制	経産省担当原課	製造産業局 鉄鋼課 製鉄企画室
	運営機関	新エネルギー・産業技術総合開発機構
	プロジェクトリーダー	名古屋大学 副総長 宮田 隆司

	委託先	<p>【大学等(委託)】室蘭工大、東北大、東工大、上智大、横浜国大、豊橋技科大、名大、阪大、九大、九工大、原子力研究機構、NIMS、理研、JRCM</p> <p>【企業(助成)】新日本製鐵、JFEスチール、住友金属工業、神戸製鋼所、大同特殊鋼、愛知製鋼、山陽特殊製鋼、住友金属小倉、IHI、川崎重工業</p>
情報変化への対応	NEDO 技術開発機構、実施者とも、研究開発の実施に関し、情報交換に努めるとともに、その取り組み方等を討議して、円滑な推進に協力する。	

Ⅲ. 研究開発
成果について

【共通基盤技術】

①高級鋼材の革新的溶接接合技術の基盤開発

1) クリーン MIG 溶接プロセス技術の開発

a. 同軸複層ワイヤ法：同軸複層ワイヤの試作とパルス波形制御法の開発により純 Ar による基本クリーン MIG 溶接を実現（世界初）した。安定溶接条件下では、表面および内部欠陥の発生はなく、開先内多層盛で 40ppm（平均値）の低酸素化を達成した。

b. 電離プラズマ法：新構造プラズマ MIG トーチ（電極径最適化）とプラズマ/MIG 協調電流制御による基本溶接制御法（世界初）を開発し、安定した高速溶接施工（50cm/min）を実現した。最適条件下で表面と内部欠陥防止と酸素量 24ppm を達成した。

2) ファイバーレーザ、レーザ・アークハイブリッド溶接適用基盤技術の開発

a. 適正収差制御による長[焦点深度]光学系（AFO）を開発した。これによるレーザ光軸上パワー密度分布制御でキーホールの安定化を実現して貫通完全溶込み溶接で JIS1 類相当品質のポロシティの低減を達成した。25kW による 25mm 厚溶接（世界初）を実現する見込み。また、良好な貫通裏波ビード及び隅肉平滑ビードを形成するアーク・レーザの最適位置関係を導出した。

b. レーザ先行ワイヤ添加と酸素含有（ $\geq 2\%$ ）シールドガス法による均質合金化指針を提示した。レーザ先行ハイブリッドによる隅肉溶接ビードの平滑化とアークのタンデム化による実用的ギャップ突合せ貫通溶接の余盛形状制御指針を提示し、それを実現するハイブリッドトーチを開発した。

3) 高強度鋼、低温用鋼厚板のための高強度・高靱性溶接金属の開発および溶接継手信頼性評価技術の研究

a. 溶接凝固過程の高時間分解その場観察システムを構築し、溶接金属組織の非平衡析出挙動の観察に成功した（世界初）。観察基礎データベースに基づき凝固割れ抑止に有効な凝固モードを明示し、対応する成分系も明示できる見込みを得た。

b. フルマルテンサイト組織の水素放出スペクトル解析から残留 γ によるトラップ効果（放出ピーク温度の高温遷移：約 200°C \rightarrow 300°C）を実証した。ミクロ組織の必要条件の導出のため、成分系や溶接熱履歴から残留 γ を予測する基本ツールを完成した。

c. 中性子回折法による定量的残留応力計測技術を確立し疲労強度との関係の定量化を達成する見込み。

d. クリーン溶接金属において、マルテンサイトに 7%以上の残留 γ が存在するとき、トリップ効果により疲労き裂の進展が 2.5～4 倍遅延することを FMS により明示した（世界初）。溶接金属のクリーン化（酸素含有 20ppm）と 15%の残留 γ 相導入で -196°C では約 10 倍の顕著な向上効果を確認した。

- 4) 溶接継手特性に優れた耐熱鋼の合金設計指針提示と長時間クリープ強度予測法の開発
- a. 溶接継手クリープ強度係数 0.7 以上、3 万 h クリープ強度 100MPa の 700°C 級耐熱材料の合金設計指針を世界で初めて明確化した。
- ・ 650°C 用フェライト系耐熱鋼：高 B 低 N 鋼を提案、粒界強化モデルを提案
 - ・ 700°C 用オーステナイト系鋼：金属間化合物粒界析出強化鋼を提案
(18Cr-30Ni-3Nb 鋼)
- b. 溶接継手のクリープ特性と組織劣化パラメータをリンクできるプラットフォームプロトタイプを提案した。
- ・ 組織劣化パラメータによる新劣化診断法の確立（組織自由エネルギー法、粒界方位差測定法、高精度陽電子寿命測定法、極小クリープ試験法）
 - ・ クリープ強度新解析法の提案とデータベースの収集・蓄積
- 5) 溶接部水素侵入による低温割れ機構の研究
- a. ・ 鉄中の空孔、転位、粒界、表面と水素の相互作用エネルギー (E_b) を第一原理計算と分子動力学法により定量的に決定した。（世界初の成果、空孔 > 転位芯 > 粒界を明示）
- ・ 各種格子欠陥の E_b を実験的に求める基盤構築を達成した。（世界唯一の低温昇温脱離分析装置の開発に成功）
- b. ・ 1000MPa 級鋼の破断応力を水素量 4ppm まで実験的に取得。（応力と水素量の危険域を明示）
- ・ 水素粒界割れによる破断応力の低下を第一原理計算に基づき定量評価。（世界初の成果）
- ② 先端的制御鍛造技術の基盤開発
- 1) 鍛造部材の組織制御による傾斜機能付与技術の研究
- a. VC 析出の定量的評価手法を新たに確立した。
- b. VC 析出強化は低温ほど大きいこと、等温変態では析出強化を最大にする保持時間が存在すること、加工による変態促進により高温でも VC 析出強化を大きくできることを示した。
- 2) 組織・特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステム基盤技術の開発
- VC のオーステナイト中、フェライト中、ならびに相界面析出予測モジュールを構築し、一般鍛造プロセスにおける V 添加非調質鋼の組織と降伏応力の分布予測可能な有限要素用解析システムを構築した。

3) 高強度鍛造材のき裂発生・伝播メカニズム解明

マルテンサイト鋼において、電子線後方散乱回折法による疲労損傷評価基礎技術、介在物の高速・自動切削法による3次元構造観察技術、磁場顕微法による疲労き裂先端の検出技術を開発し、疲労初期き裂の3次元観察技術の基礎を確立した。

- a. ひずみ勾配の可視化と組織変化の検出に成功し、き裂形成がひずみ勾配領域であることを発見した。
- b. フラットバイトと楕円振動切削を組み込んだ3次元内部構造顕微鏡を構築し、鉄系材料内部の介在物・き裂の三次元形状をサブミクロン精度で自動観察する手法を世界で初めて実現した。
- c. 磁場顕微鏡観察において、応力拡大係数と磁場の相関性を発見した。また、構造物の疲労劣化診断の新技术開発に成功した。

【実用化技術】

③高級鋼材の革新的溶接接合技術の開発

1) クリーンMIG技術の低温用鋼・980MPa級高強度鋼への適用性究明と継手性能評価

- a. クリーンMIG試作溶接装置を導入した。9%Ni鋼に対するクリーンMIG溶接試験を実施し、溶接施工性ならびに溶接継手性能を把握した。
- b. HT980鋼に対するクリーンMIG溶接試験を実施し、プロセスの棲み分け提示と試作装置仕様を決定した。Cr-Ni系一次試作ワイヤにて予後熱なしでの低温割れなし、および目標継手性能を達成した。

2) レーザー溶接、レーザー・アークハイブリッド溶接技術の980MPa級高強度鋼への適用と、制御手法、継手性能評価法を提示した。

- a. レーザ溶接割れ試験法の開発と妥当性の検証。継手破壊データの収集。継手健全性を保障するモニタリング手法の開発。最終的に12mm厚のJIS1類1パス貫通突合せ溶接技術確立の見込み。
- b. 高強度レーザー溶接金属のマイクロ組織におよぼす化学成分の影響を調査し、目標特性（強度：980MPa、靱性： $vE-40^{\circ}C \geq 47J$ ）を満足するレーザー溶接金属の成分設計指針（組織制御）を明確化。またレーザー溶接金属に吸蔵される拡散性水素量の測定し、溶接割れ防止に向けた冶金学的基礎データを収集。
- c. サイドグループシャルピー試験法の提案とCTODとの相関を提示。疲労特性に関しては、突合せ継手の強度支配因子としてアンダーフィルが提示された。

3) 予熱・後熱なしに低温割れの抑止を可能とする 980MPa 級鋼用溶接材料の開発
Cr-Ni 成分系において、以下のことを実施した。

- ・予熱なしで低温割れが回避される成分範囲を把握
- ・目標以上の引張強さを得る成分範囲を把握
- ・酸素量を抑えることで高い衝撃値確保を把握
- ・耐低温割れ性、強度、靱性を同時に満足する溶接金属の推奨成分範囲を提示

4) 熱処理なしで割れない 9Ni 系低温用鋼用溶接材料の開発

- 9Ni 系溶接金属の強度・靱性に及ぼす入熱・酸素量・成分の影響を把握するデータを採取し、クリーン MIG プロセス条件範囲で強度・靱性が確保できる成分系を見出した。
- 耐割れ性兼備に向け、偏析計算モデルを構築し偏析挙動に及ぼす溶接条件・溶接材料成分の影響を把握できるようにした。

5) 溶接継手特性に優れた耐熱鋼の合金設計

- 新開発鋼のクリープ強度が中間目標を超過達成可能な組織モデル、合金設計指針に沿って試作・評価を実施し検証すると共に、フェライト鋼で実溶接継手強度係数 0.7 以上を実現できる組織制御技術(高 B&メモリーイフェクト)を世界で初めて実証した。
 - ・650°C α 系耐熱鋼：高 B 低 N 鋼の提案。安定粒界強化モデルの知見獲得。細粒域抑制技術(高 B&メモリーイフェクト)で継手強度係数 >0.7 を実現。
 - ・700°C γ 系耐熱鋼：粒界析出強化モデル合金を提案。オーバーマッチ継手効果も検証。
 - ・750°C Ni 基合金： γ/γ' 整合析出型モデル合金試作。高延性。液相拡散接合高延性継手も目処。
- 各種組織因子パラメータによる強度評価法として新クリープ変形モデリング、新クリープ変形曲線予測法を提案した。
 - ・データベース収集+プラットフォーム概念提案。

6) 980MPa 級継ぎ手の水素侵入による低温割れの解明・信頼性確保のための予測手法の構築

- ・粒界、転位、空孔の主要格子欠陥を変化した鉄鋼モデルサンプルを作製した。これらを用いた低温 TDS (委託) と第一原理計算 (委託) から目標とした主要水素トラップサイトにおける水素存在状態の定量評価(脱離順位明示)を達成した。
 - ・水素存在状態を可視化するマイクロプリント法により、粒界からの放出水素量が予歪(転位増)とともに低下すること(粒界水素量に及ぼす転位の影響)を量的に見出した。

- b. ・TiC 炭化物の各種水素トラップサイトのトラップエネルギーを解明し、炭素空孔位置が強いトラップサイトであることがわかった。（炭素空孔～1.3eV、整合界面～0.5eV、整合歪<0.15eV、TiC 格子間 非トラップサイト）
- ・固溶炭素は水素に対して強い反発となる最近接位置以外では極めて相互作用が弱く、影響が無視できることがわかった。

④先端的制御鍛造技術の開発

1) 高強度化・傾斜機能付与のための合金設計・プロセス開発

a. 大型部品装置

低温での小さな加工ひずみと変態を同期させる技術（加工誘起析出と想定）により、強化部想定で 0.2%耐力 1085MPa、軟質部想定で 875MPa を達成した。

b. 中型部品想定

VC 析出と相変態を同期させた冷却制御により高強度化を果たすと同時に、加熱温度差付与で同一 TP 内 高強度部 0.2%耐力 1094MPa、軟質部 537MPa を達成した。

c. 小型部品想定

微細フェライト間隔+フェライト+微細 VC を最大限活用する高強度化手法により、0.2%耐力 1350MPa 達成と同時に、軟質部形成条件も解明し、同成分鋼で 0.2%耐力 750MPa を達成した。

2) 組織・特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステムデータベースの構築

a. VC 固溶、析出予測 D/B 構築： γ 域での VC 析出挙動には γ 粒界からの不均一核生成と、粒内での均一もしくは転位上への核生成の両方が存在し、モデルを構築するには両方を勘案する必要のあることが判明した。

b. 逆変態 D/B 構築：V 添加による粒成長抑制効果とその温度依存性に関する定量データを採取した。

c. 再結晶・粒成長 D/B 構築：V 添加による再結晶の遅延（VC 析出との相互作用大）の定量的データを採取した。

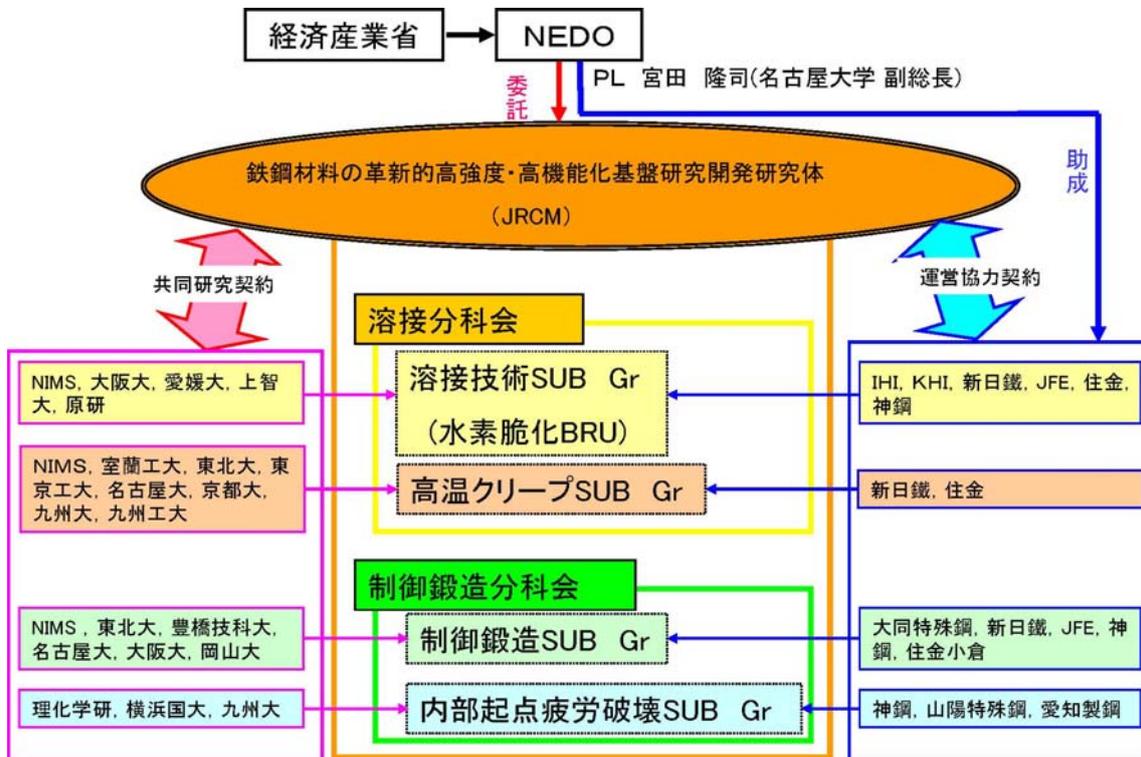
d. 相変態予測 D/B 構築：V 添加によるフェライト/パーライト変態の遅延等の定量的データを採取した。

e. 組織-特性 D/B 構築：60 水準の D/B 構築および VC 析出強化量には加熱温度が大きく影響し、1000℃加熱で 200MPa 弱、1200℃加熱で 400MPa 弱の強化を見出した。

	<p>3) 転動疲労メカニズム解明と非金属介在物組成・サイズ制御指針提示</p> <p>a. 初期き裂生成に関する応力シミュレーション技術を構築した。</p> <p>b. 応力シミュレーションと3次元観察結果との対応を検証し、初期き裂長さに対する影響因子を抽出した。(酸化物系介在物)</p> <p>c. き裂生成-伝播に基づいた概略破壊モデルが提示できた。全寿命=伝ば寿命であって、初期き裂長さが寿命の支配要因である。[世界初の知見]</p> <p>d. 非金属介在物大きさからの下限寿命予測を行った。(酸化物系介在物)</p>	
	投稿論文	「査読付き」45件
	特許	「出願」10件
IV. 実用化、事業化の見通しについて	<p>本事業で創出される技術により、鋼構造物、エネルギープラント等の高強度・高機能化・長寿命化の大幅な加速、および自動車等の更なる軽量化が可能となり、高度な省エネルギー社会を構築すると共に、日本製造業の国際競争力の更なる向上が図られる。</p> <p>このうち、先進的超々臨界圧火力発電は2017年の運転開始を目指している。これを遅滞なく実現するために、本PJでは耐熱合金の新材料設計指針を提示し、引き続き、プラントの実用化試験、実缶・実証試験を行う予定である。</p> <p>また、強化部と非強化部の傾斜機能付与鍛造技術の開発においては、本PJで開発した技術を元に、各社が、規格認証、安全性評価等を経た後に、2020年度頃の実用化を目指す予定である。</p>	
V. 評価に関する事項	評価履歴	平成21年度 中間評価実施
	評価予定	平成23年度 事後評価実施
VI. 基本計画に関する事項	策定期期	平成19年3月、制定
	変更履歴	<p>(1) 平成19年3月、制定。</p> <p>(2) 平成19年6月、研究開発責任者(プロジェクトリーダー)決定に伴い改訂。</p> <p>(3) 平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。</p>

「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発」

全体の研究開発実施体制



「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発」(中間評価)

評価概要(案)

1. 総論

1) 総合評価

鉄鋼材料の高強度・高機能化とそれに伴う溶接技術の開発は、社会インフラに関わる大型構造物の製造力を強化し、日本の産業力を強くする意味において産学官が連携して取り組む課題である。事業目標達成のため、共通基盤技術と実用化技術に分けて産学官が分担する研究開発体制は妥当である。初期の目標設定に対し、比較的順調に研究開発を進めており、大型プロジェクト遂行に関し高く評価できる。高級鋼材の溶接技術に関しては実用化の見通しが高い。一方、制御鍛造技術に関しては、実用化・事業化がシナリオ通りに行かないことが懸念されるため、今後の実用化や事業化に際しては、ユーザーとの連携が重要であり、信頼性・経済性の視点からの確認と評価を強化するために、早い段階でのユーザーニーズの収集が必要である。

2) 今後に対する提言

個々の要素研究での研究・開発方向は明確で貴重な成果を得ている点は高く評価できる。しかし個々の要素研究の成果が有機的にどのように組み込まれていくかが抽象的で理解しがたい点も多く見られる。委託事業と助成事業とのより緊密な連携も必要である。本研究の最終的な成果は、企業において実用化・製品化されて初めて実現するものであるから、技術上の成果だけを追求するのではなく、コストの面や市場での活用を十分に意識し、市場や社会の変化を見据えた柔軟な対応を期待したい。本研究開発の成果が経済性の面も含めユーザーの将来ニーズに合致したものであるかどうか等、実用化のための現状把握を実施すべきと考える。また、本研究開発の成果が他の材料にも適用可能なフレキシビリティの高いものとなることを期待したい。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

本プロジェクトに掲げる目標材料は、実用化されれば構造物の部材減量化、発電プラントの発電効率の向上などに直接結びつく、これらは省資源・省力化を通じ、地球環境保護、CO₂ガス排出削減など環境負荷低減に大いに貢献する。本事業は民間単独の活動では対処できない研究内容を多く含むため、NEDOが

積極的に関与すべき事業と判断される。さらに現状の実用材料は、開発途上国への技術移転や模倣により、コスト面で国際競争力を失いつつあり、一步進んだ材料、未踏分野の材料を開発することによって技術立国の立場を維持し続けることが可能となり、事業目的は妥当である。最終の実用化までの期間が長期に及ぶものが多々見受けられるが、特に自動車部品を対象とする場合は、構造・システムも大きな変革が予想されるため、自動車の将来動向を見極めながら研究開発を進めて行くことが重要である。コスト競争力等の経済性の面も含め、他国に追随を許さない日本独自の技術として発展することを期待している。

2) 研究開発マネジメントについて

事業目標達成のため、共通基盤技術と実用化技術に分けて産学官が分担する研究開発体制は妥当である。また、国内鉄鋼需要業界 85 社への調査によって、ニーズの高いテーマとして選ばれており、研究開発目標が明確な数値目標として設定されている。さらに、サブグループ単位で、個別の研究課題ごとに研究者間の十分な連携がなされている。社会情勢は昨年より一変したが、参画する企業は実用化に向けて継続推進する予定であり、積極的に取り組む姿勢が評価できる。今後、実用化研究が中心になり、参加企業間の競合と協調という相反する要因も生じる中で、各参加企業の自主性を尊重しつつ、進捗度・完成度の適確な評価に基づく円滑な研究開発のマネジメントに十分配慮すべきである。

3) 研究開発成果について

各テーマともに中間目標を達成し、クリーンMIG溶接 (Metal Inert Gas welding) プロセス技術の開発をはじめ、世界初となる成果も複数出ており、世界最高水準の成果が得られている。溶接法や開発材料は、特許になりにくい分野であるが、一定の成果を上げている。知的財産権等の取得やシンポジウムの開催等による成果の社会への普及は適切に行われている。新しい材料が多く開発されており、標準化、規格化に関する検討が今後重要になると考えられる。今後、より多くの実験や努力が重ねられれば、多くのテーマで最終目標の達成は十分可能である。可能であれば、最終目標を上げる、期間を短縮する、取り上げていない要素技術を解決するなど、実用化までの期間短縮に繋がるような取り組みを望みたい。

4) 実用化の見通しについて

参加企業は、この研究で開発された材料および技術を最大限に活かすうる製品を考え、実用化に向けて努力しており、実用化や出口のイメージはおおむね明確である。本プロジェクト終了後に、実用化あるいは実用化に向けた研究の

加速が期待される。高級鋼の溶接技術に関しては、解決すべき課題も明らかになっており、実用化の見通しも高い。一方、制御鍛造技術に関しては、実用化・事業化がシナリオ通りに行かないことが懸念され、現状の目標のみでは要素技術開発の達成はできても、実用化の見通しは困難であるため、早期にユーザーと連携してユーザーニーズを取り入れて実用化に向けた検討を進めるべきである。

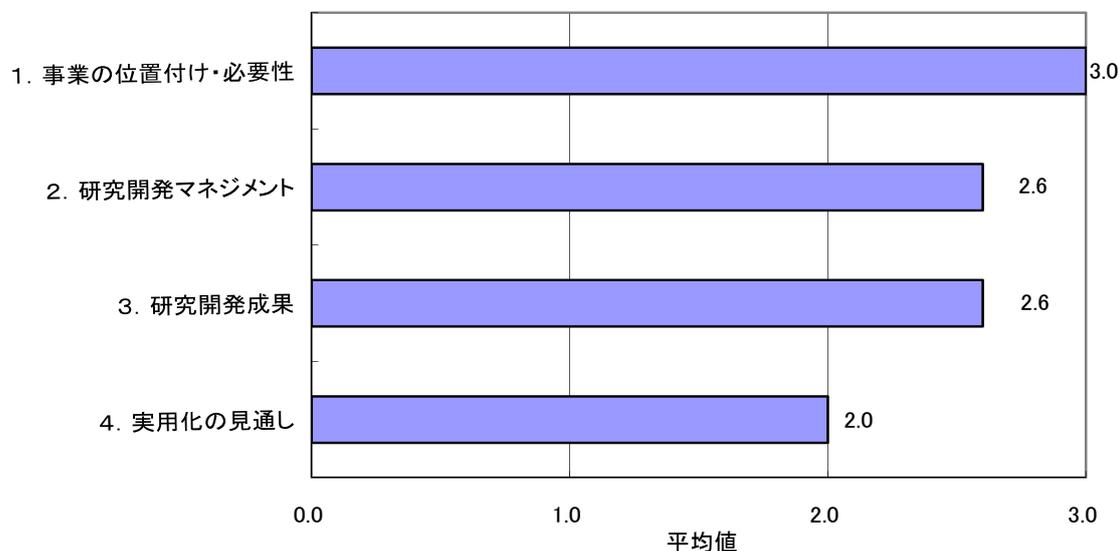
個別テーマに関する評価

	成果に関する評価	今後に対する提言
高級鋼材の革新的溶接接合技術の基盤開発（委託事業） * 溶接技術サブグループ	新たな MIG 溶接法開発、ファイバーレーザ溶接適用、溶接金属の低温割れ機構解明など、研究開発は順調に進捗している。いずれも中間目標を達成、または目標を大きく上回る見込みで、世界初の技術も相次ぎ実証しており、溶接技術全体への波及効果が期待できる。	今後は、溶接金属における残留オーステナイトの安定性や量、ならびに接合部の残留応力の経時変化、疲労強度、じん性などの溶接継手全体での特性評価と、新たな溶接金属組織における低温割れ発生予測、阻止方法に関する理論的裏付けなどにより、各種メカニズムの解明と実用化のための信頼性の最終確認を詰めていただきたい。
高級鋼材の革新的溶接接合技術の基盤開発（委託事業） * 高温クリープサブグループ	フェライト系耐熱鋼およびオーステナイト系耐熱鋼の耐クリープ強度向上への合金設計指針を出し、長時間クリープ強度予測法を数種類提案しており、研究は当初の計画通りに着実に進捗している。さらに、予測技術開発に欠かせない「クリープ損傷高温その場計測装置」を世界で初めて開発するなど、達成度は高く評価できる。また、溶接法に関しては接合条件、特に接合温度による材料劣化の影響等の配慮が必要であり、フェライト鋼では世界で初めてその劣化機構を解明して、劣化や強度低下が生じない溶接継手を開発している。	但し、オーステナイト系耐熱鋼および Ni 基合金の溶接継手に関するクリープ特性研究は従来から少ないので、本プロジェクトで開発した材料の溶接継手の評価研究も助成研究として連携の中で順次進めてほしい。外挿による 10 万時間クリープ強度予測技術の経済的効果は極めて大であるが、その予測手法の信頼性の確保が極めて重要である。プロジェクト後半は、委託側の最終目標も達成できるよう、助成側とのさらなる連携が望まれる。

<p>先端的制御鍛造技術の基盤開発（委託事業） * 制御鍛造サブグループ</p>	<p>VC析出による1000MPa以上の高強度化が可能であることを示し、鍛造部材の組織制御に関する制御メカニズム解明と予測手法確立の道筋をつけており、当初の計画を上回るペースで研究が進捗している。</p>	<p>しかし、じん性などの性能要求に関するデータ提示がほとんどなく、これらも把握すべきである。実用の観点では、強度予測式は、制御因子である化学成分と温度、時間、加工度などの加工熱処理条件であることが望ましい。また、完ぺきな材質予測は困難であると考えられるので、材料毎に分けて、それぞれの程度の信頼性で材質予測が可能かを明確にしていきたい。</p>
<p>先端的制御鍛造技術の基盤開発（委託事業） * 内部起点疲労破壊サブグループ</p>	<p>新たな軸受け鋼における疲労き裂発生メカニズム解明のため、介在物の高速・自動切削法による3次元構造観察技術や磁場顕微法による疲労き裂先端の検出技術を確立し、当初の計画を上回る成果が得られている。</p>	<p>実用性に富み、期待が大きい技術であるが、本研究で開発している素材にどのように組み込まれるかは明確ではなく、今後の研究で素材開発と融合することを期待したい。鍛造材では表面起点も取り入れるべきで、開発目的材での内部き裂による疲労破壊と表面き裂発生による疲労破壊の応力（臨界応力）の比較を行う必要があるのではないかと。</p>
<p>高級鋼材の革新的溶接接合技術の開発（助成事業） * 溶接技術サブグループ</p>	<p>研究開発部隊と実用化部隊の連携は十分取れており、各参加企業がそれぞれ得意とする製品を選び、本研究で得られた成果を取り入れ実用化に向けて検討している。高い開発目標にもかかわらず、いずれも中間目標はほぼ達成目処がついており、最終目標も達成できる可能性は高い。継手としての総合評価が実用上重要で、じん性評価や小さな試験片レベルだけではなく、最終的には大型部材による実用レベルでの検証が望まれる。</p>	<p>今後は実際の作業現場での溶接環境を考慮するとともに、実用化のための十分なデータの蓄積が必要であり、溶接施工裕度をどの程度確保できるかがキーポイントとなるのではないかと。 また、新規溶接材料の規格化についても検討を望む。</p>

<p>高級鋼材の革新的溶接接合技術の開発（助成事業） * 高温クリープサブグループ</p>	<p>高B,Nフェライト系耐熱鋼で、HAZでのType IV損傷が起こらない溶接継手は画期的であり、新たにオーステナイト系耐熱鋼、Ni基合金も開発され良好な成果を得るなど、当初の計画通り順調に進捗している。ただし、モデルケースではなく実用化の見通しのある開発材料について接合法の確立と溶接継手でのクリープ評価の早急な実施を希望する。</p>	<p>最終目標に対する課題も多く見受けられるが、その技術的な難易度、優先度を加味し、めどが付いたものから順次実用化するなどのマネジメントが必要である。接合法については、液相拡散接合法だけでなく、溶融接合法も選択肢の一つとして検討してほしい。また、フェライト鋼に関しては3万時間クリープ強度の実証を確実に達成し、Factor1.2の予測技術の確立を望む。</p>
<p>先端的制御鍛造技術の開発（助成事業） * 制御鍛造サブグループ</p>	<p>V添加型非調質鋼では困難とされていた1000MPa以上の降伏強度と強度傾斜させた部材の試作に研究室レベルで成功し、バーチャルラボに関しても中間目標を達成可能であり、基礎的な分野で順調に研究が進捗している。経済性の点では少ないV含有量で、加工熱処理プロセスにより強度を作り込むのが重要で、鍛造温度制御はその設備対応も含め高度な生産技術が必要となる。</p>	<p>実用部品の選定に関しては、自動車メーカーとの連携が非常に重要であるため、早期にユーザーとの接点を有する計画立案をたて、応用対象製品・部品の明確化と、“傾斜機能”が付加価値を上げ、競争力を増すことの検証を望む。バーチャルラボに関してはデータの蓄積とモデリングの妥当性評価とモデファイも考慮に入れた実用化のためのデータベースを早急に確立すべきである。</p>
<p>先端的制御鍛造技術の開発（助成事業） * 内部起点疲労破壊サブグループ</p>	<p>清浄度の高い軸受け鋼の転動疲労寿命に対する非金属介在物の性状と応力を考慮した予測技術として世界初の知見も得られ、中間目標を超える成果があり、高く評価する。ただし、V非調質鋼の高強度化・傾斜機能化で課題としている内部起点型疲労損傷との関係が不明瞭である。</p>	<p>実際の高強度鍛造品ではほとんどが表面の凹凸や形状からの応力集中によるものである。最終的な実用化に際しては、これらの成果を材料開発にフィードバックし介在物の大きさと分散状態を制御する手法の確立が必要である。費用対効果と保証の観点も重要であり、本プロジェクト終了段階では、微小介在物の検出法や規格化に関する総合的な指針提示を期待したい。</p>

評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.6	A	B	B	A	B	A	A	A
3. 研究開発成果について	2.6	B	A	B	B	A	A	A	A
4. 実用化の見通しについて	2.0	B	B	B	C	A	A	A	C

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

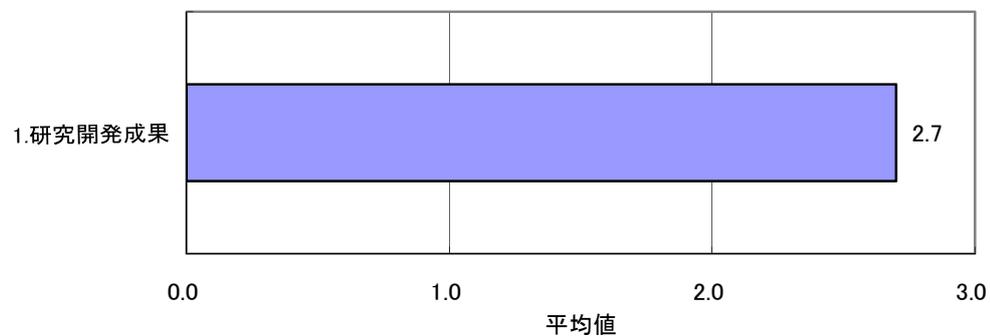
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

評点結果〔個別テーマ〕

1. 高級鋼材の革新的溶接接合技術の基盤開発（委託事業）

* 溶接技術サブグループ

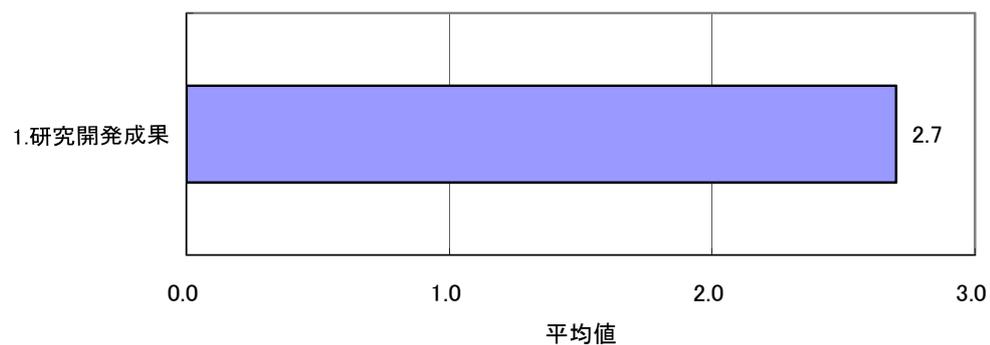
- 1) クリーン MIG 溶接プロセス技術の開発
- 2) ファイバーレーザ、レーザ・アークハイブリッド溶接適用基盤技術の開発
- 3) 高強度鋼、低温用鋼厚板のための高強度・高靱性溶接金属の開発および溶接継手信頼性評価技術の研究
- 5) 溶接部水素侵入による低温割れ機構の研究



2. 高級鋼材の革新的溶接接合技術の基盤開発（委託事業）

* 高温クリープサブグループ

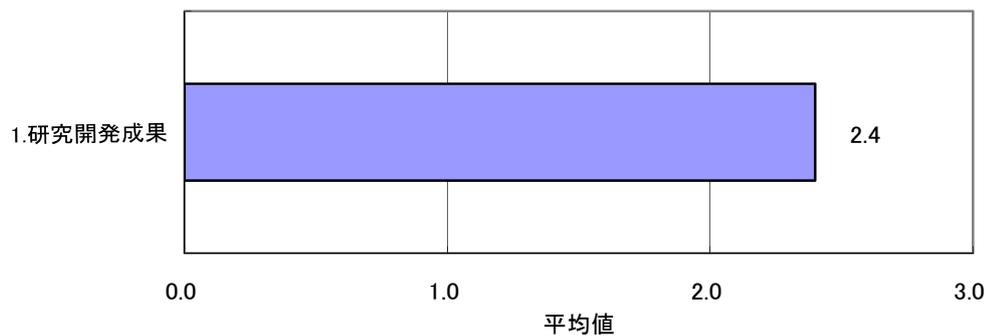
- 4) 溶接継手特性に優れた耐熱鋼の合金設計指針提示と長時間クリープ強度予測法の開発



3. 先端的制御鍛造技術の基盤開発（委託事業）

* 制御鍛造サブグループ

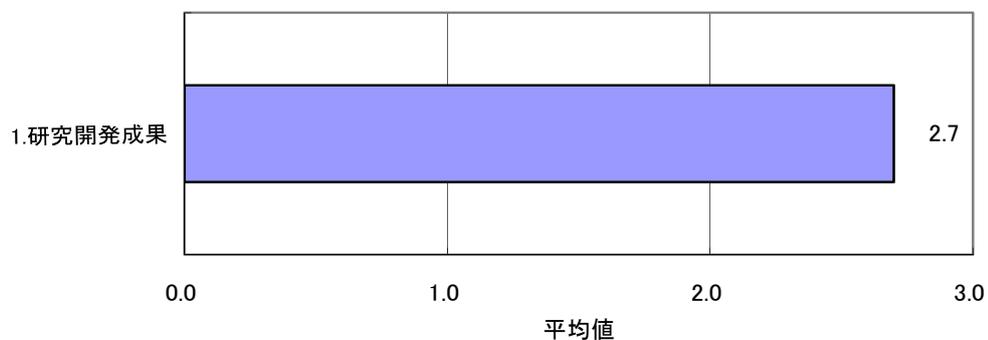
- 1) 鍛造部材の組織制御による傾斜機能付与技術の研究
- 2) 組織・特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステム基盤技術の開発



4. 先端的制御鍛造技術の基盤開発（委託事業）

* 内部起点疲労破壊サブグループ

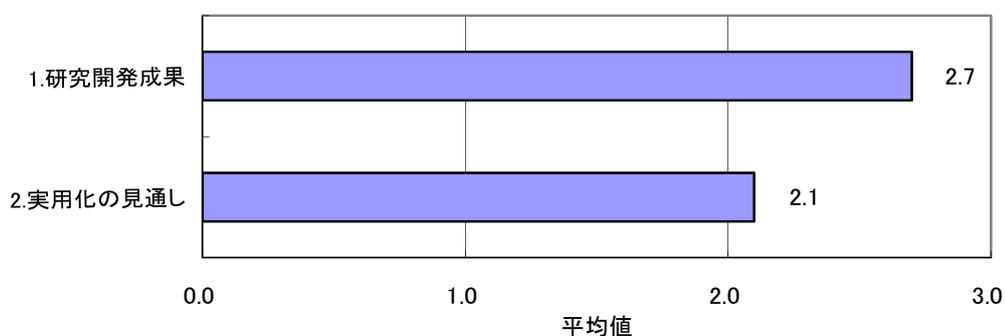
- 3) 高強度鍛造材のき裂発生・伝播メカニズム解明



5. 高級鋼材の革新的溶接接合技術の開発（助成事業）

*溶接技術サブグループ

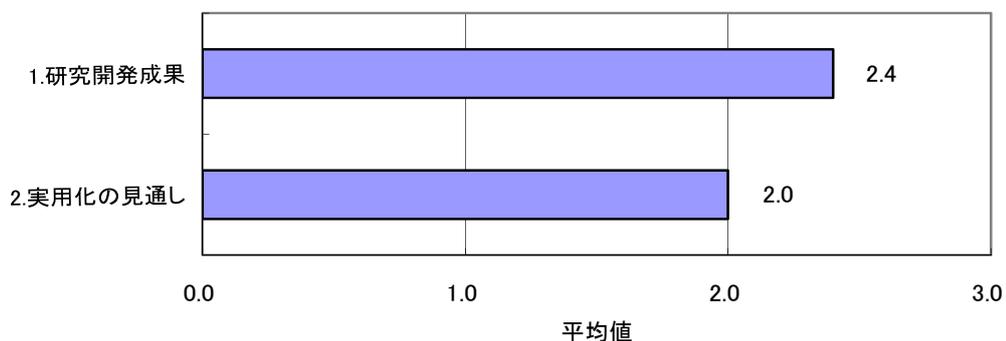
- 1) クリーンMIG技術の低温用鋼・980MPa級高強度鋼への適用性究明と継手性能評価
- 2) レーザー溶接、レーザー・アークハイブリッド溶接技術の980MPa級高強度鋼への適用と、制御手法、継手性能評価法の提示
- 3) 予熱・後熱なしに低温割れの抑止を可能とする980MPa級鋼用溶接材料の開発
- 4) 熱処理なしで割れない9Ni系低温用鋼用溶接材料の開発
- 6) 980MPa級継ぎ手の水素侵入による低温割れの解明・信頼性確保のための予測手法の構築



6. 高級鋼材の革新的溶接接合技術の開発（助成事業）

*高温クリープサブグループ

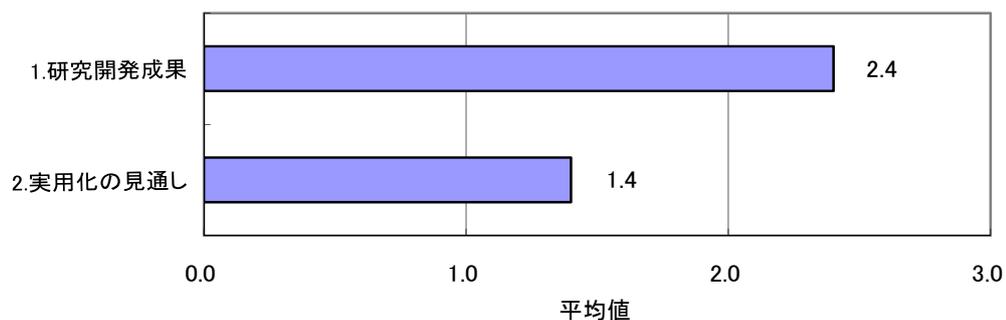
- 5) 溶接継手特性に優れた耐熱鋼の合金設計



7. 先端的制御鍛造技術の開発（助成事業）

* 制御鍛造サブグループ

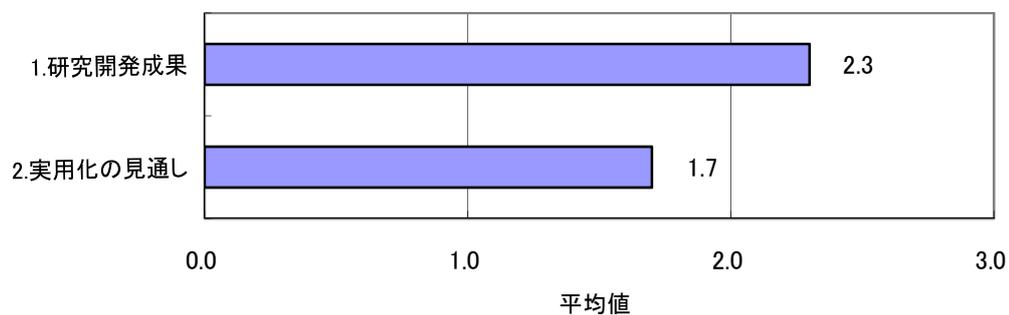
- 1) 高強度化・傾斜機能付与のための合金設計・プロセス開発
- 2) 組織・特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステムデータベースの構築



8. 先端的制御鍛造技術の開発（助成事業）

* 内部起点疲労破壊サブグループ

- 3) 転動疲労メカニズム解明と非金属介在物組成・サイズ制御指針提示



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)							
1. 高級鋼材の革新的溶接接合技術の基盤開発 (委託事業) *溶接技術サブグループ									
1. 研究開発成果について	2.7	A	A	A	B	A	B	A	
2. 高級鋼材の革新的溶接接合技術の基盤開発 (委託事業) *高温クリープサブグループ									
1. 研究開発成果について	2.7	A	A	A	A	B	B	A	
3. 先端的制御鍛造技術の基盤開発 (委託事業) *制御鍛造サブグループ									
1. 研究開発成果について	2.4	A	B	B	B	A	B	A	
4. 先端的制御鍛造技術の基盤開発 (委託事業) *内部起点疲労破壊サブグループ									
1. 研究開発成果について	2.7	A	A	B	A	A	B	A	
5. 高級鋼材の革新的溶接接合技術の開発 (助成事業) *溶接技術サブグループ									
1. 研究開発成果について	2.7	A	A	A	B	A	A	B	
2. 実用化の見通しについて	2.1	A	A	B	B	C	B	B	
6. 高級鋼材の革新的溶接接合技術の開発 (助成事業) *高温クリープサブグループ									
1. 研究開発成果について	2.4	A	A	B	B	B	B	A	
2. 実用化の見通しについて	2.0	B	B	B	A	C	B	B	
7. 先端的制御鍛造技術の開発 (助成事業) *制御鍛造サブグループ									
1. 研究開発成果について	2.4	A	B	B	B	A	B	A	
2. 実用化の見通しについて	1.4	A	C	C	B	C	D	B	
8. 先端的制御鍛造技術の開発 (助成事業) *内部起点疲労破壊サブグループ									
1. 研究開発成果について	2.3	A	B	B	B	B	B	A	
2. 実用化の見通しについて	1.7	A	C	C	B	B	C	B	

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について

- ・非常によい
- ・よい
- ・概ね適切
- ・適切とはいえない

2. 実用化の見通しについて

- A ・明確
- B ・妥当
- C ・概ね妥当であるが、課題あり
- D ・見通しが不明