

「発電プラント用超高純度金属材料の開発」

事後評価報告書（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）	6
評点結果	10

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

「発電プラント用超高純度金属材料の開発」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成23年6月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	まつお たかし 松尾 孝	東京工業大学 名誉教授
分科会長 代理	つきはし ふみたか 月橋 文孝	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授
委員	しのざき けんじ 篠崎 賢二	広島大学 大学院工学研究院 材料・生産加工部門 教授
	たけ こうじ 武 浩司	川崎重工株式会社 ガスタービン・機械カンパニー ガスタービンビジネスセンター 技術総括部 産業ガスタービン技術部長
	たなか としひろ 田中 敏宏	大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻 教授
	たぶち まさあき 田淵 正明	独立行政法人 物質・材料研究機構 材料信頼性評 価ユニット 高温材料グループ グループリーダー 主席研究員
	ふじた まさお 藤田 昌雄	電源開発株式会社 技術開発センター 上席研究員

敬称略、五十音順

概要

		作成日	平成 23 年 6 月 13 日
プログラム名	エネルギーイノベーションプログラム ナノテク・部材イノベーションプログラム		
プロジェクト名	発電プラント用超高純度金属材料の開発	プロジェクト番号	P05005
事業担当推進部・担当者	エネルギー対策推進部 主査 楠瀬・関口		
0. 事業の概要	<p>従来の材料より遥かに優れた特性（耐環境性、靱性、加工性等）を有する超高純度金属材料を発電プラント等で利用するため、超高純度金属材料の優れた特性を維持しながら、低コスト・量産化すべく、(1)超高純度金属材料の低コスト・量産化製造技術開発（①高耐久ルツボ・耐火材の開発、②新規精錬技術開発、③高真空誘導溶解炉の開発、④認証用標準物質の作製）、(2)開発材による部品製造技術の開発及び実用特性評価（①超高純度金属材料の開発、②部材製造技術開発、③実プラントによる実用性評価試験、④システムメリットの試算）を進める。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>金属材料は近年、省資源・省エネルギー、レアメタルの枯渇への対応、地球環境問題への対応、あるいは安心・安全な社会の構築等を実現するため、さらに高度な特性を発現させることが必要である。具体的には、発電プラント等では、高温腐食や磨耗、応力腐食割れに起因する事故が発生しており、材料自体の耐環境特性の向上が望まれるほか、より高温、過酷環境で利用できる構造部材が開発されることによる発電プラントの効率向上に伴う省エネルギー（燃料消費量の低減）、地球環境問題への対応（CO₂削減）や、部材交換頻度の減少等に伴う発電コスト軽減等が期待されている。</p> <p>一方、これまでの元素添加と熱処理による現行の金属材料開発手法等では金属材料の新たな特性を引き出し、飛躍的に向上させることは限界に近づいている。また、レアメタルの枯渇に対応するために希少金属の代替技術の開発が重要視されている。そこで、金属の超高純度化により、従来の材料より遥かに優れた特性（耐環境性、靱性、加工性等）を有することを確認した「ナノメタル技術プロジェクト」（平成 13 年度～18 年度）での成果を踏まえ、超高純度金属材料（超高純度 Fe-Cr 系合金等）を産業化することは、我が国の発電、素材産業の発展に大きく貢献すると考えられる。</p>		
II. 研究開発マネージメントについて			
事業の目標	<p>(1) 超高純度金属材料の低コスト・量産化製造技術の開発</p> <p>①現状の市販 CaO ルツボに比較して溶湯の純度を下げず、3 倍以上の耐久性（溶解回数 10 回以上）の新規高耐久ルツボを開発する。</p> <p>②低コスト原料から C, Si, Mn, P, S, N, O の不純物総量が 50ppm レベル以下の超高純度金属材料を得るために必要な溶解量 100kg 級の高真空誘導溶解炉及び精錬技術を開発する。</p> <p>(2) 開発材による部品製造技術の開発及び実用性評価</p> <p>①不純物濃度と各種特性の関係を明らかにする。</p> <p>②新材料による部材の開発と評価</p> <p>(a)実用化検討部材（プロジェクト期間終了時に実機に適用できる目途をたてるもの）</p> <p>開発材料を火力発電プラントの煙突ライナー・煙道に適用できる見通しを得るために、以下の目標を達成すること。</p> <p>○候補材料系：Fe-20Cr 系超高純度合金</p> <p>○目標：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現用材である SUS316 の 10 倍以上の硫酸露点腐食に対する耐食性（溶接部を含む） ・室温耐力 200MPa 以上 		

(会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	特別会計 (電源)	199	922	400	413	250	90	2274
	総予算額	199	922	400	413	250	90	2274
開発体制	経産省担当原課	製造産業局非鉄金属課						
	プロジェクトリーダー (H22. 3. 20～ H23. 2. 28)	超高純度金属材料技術研究組合 技術部長 廣田 耕一						
	(H20. 10. 1～ H22. 3. 19)	超高純度金属材料技術研究組合 専務理事 菅原 彰						
	(H19. 4. 1～ H20. 9. 30)	超高純度金属材料技術研究組合 技術部長 山本博一						
	(H17. 7. 1～ H19. 3. 31)	超高純度金属材料技術研究組合 専務理事 齊藤正洋						
サブプロジェクト リーダー (H22. 3. 20～ H23. 2. 28)	九州電力(株) 発電技術開発部 グループ長 村田憲司 九州電力(株) 総合研究所 グループ長 金谷章宏							
(H21. 1. 6～ H22. 3. 19)	(株)日立製作所 日立研究所 主管研究員 児島慶享 (株)東芝 電力・社会システム技術センター 金属材料開発部 技術主幹 山田政之 三菱重工業(株) 技術本部 長崎研究所 技監・技師長 納富啓							
※所属・肩書は就任 当時 (敬称略)								
委託先	超高純度金属材料技術研究組合 (東北電力(株)、東京電力(株)、中部電力(株)、関西電力(株)、九州電力(株)、三菱重工業(株)、(株)日本製鋼所、 (株)日立製作所、(株)東芝、西日本環境エネルギー(株)、 日新製鋼(株)(H19年度まで))							
共同実施先 再委託先(H21年度 まで)	東北大学 JFE テクノリサーチ(株)							

<p>情勢変化への対応</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・平成 18 年度に、低コスト・量産化製造技術の研究開発において、耐火材の改質技術について、熔融金属への汚染が少なく劣化のない新規高純度耐火材料(URC:Ultra Refined Ceramics)を開発し、さらに製造方法を工夫することで従来の 10 倍以上の耐久性を達成できる可能性を確認できたので、改質による耐火材の開発及び開発した耐火材を用いたルツボ部材製造設備導入等を当初の計画に追加して実施した。 ・平成 18 年度に、低コスト・量産化製造技術の研究開発において、金属の高純度化に係る水素精錬技術について、東北大学のコールドクルーシブル炉、日本製鋼所の小型炉と段階を追って優れた成果が得られたため、水素付加装置を前倒しで導入して研究を推進した。 ・平成 19 年度に、低コスト・量産化製造技術の研究開発において、溶製中の超高純度金属材料の汚染物質である元素を ppm レベルで迅速に分析する発光分光分析に関する技術を開発したので、大型溶解炉に隣接して設置することとし、研究開発の効率化を図った。 ・委託先の一部企業から、産業化に向けてプロジェクト終了後も研究を継続する意向が示されたため、そこへの橋渡しができるように有望な候補材料である高温高強度部材について評価中のクリープ強度試験等の見極め等が行えるよう実施期間を 1 年延長し、プロジェクト成果の早期実用化を目指した。 ・産業化する際に重要となる標準化についても端緒を開いて早期実用化に貢献するよう、平成 22 年度に認証用標準物質を作製し、国内外での登録の準備を行うこととした。
<p>中間評価結果への対応</p>	<p>平成 19 年度に中間評価を実施した。 中間評価の結果を受けて企画調整部及び研究評価部と検討・協議を行い、委託先とも相談して、当初計画や実施体制の見直し等の対応計画を作成し、超高純度金属材料技術委員会での審議も踏まえて変更した。 代表的な対応内容を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・開発対象部材の絞込みと研究開発目標の明確化：基本計画を改訂し、2つの開発目標に絞りこんで具体的な目標値を設定した ・研究指導体制の明確化：プロジェクトリーダーと研究推進リーダーが存在していたものを、プロジェクトリーダーへと一本化した。 ・情報発信の強化、サンプル出荷等外部評価の充実：平成 21 年に国際会議を開催。更に、認証用標準物質を溶製し、海外機関での評価を実施し、認証登録準備中。
<p>評価に関する事項</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・中間評価：平成 19 年度に実施 ・事後評価：平成 23 年度 実施予定。
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p>1. 超高純度金属材料の低コスト・量産化製造技術の開発 (1) 高耐久ルツボ・耐火材の開発 従来 CaO ルツボの損傷状況調査結果から、新規 URC (Ultra Refined Ceramics) ルツボの試作及びそれを用いた溶解実験とその損傷状況の解析を行い、新規 URC ルツボ開発を進めた。この結果、溶解使用可能回数的大幅な増加など従来 CaO ルツボを凌駕する性能を有する URC ルツボを開発した。これらの結果、高耐久性 (溶解回数 10 回以上)、量産時コスト 100kg 級ルツボ 1 個当たり 40 万円の目標を達成した。更に、この結果を受けて、量産化に向けた大型ルツボの検討を行い、大型化に必要なレンガ構造について、先ず目地材の強度試験を実施し、良好な結果</p>

を得た。このため、続いて模擬的なレンガ積み構造モデルを作製し、実際に溶解を行って耐久性の見通しをつけた。

(2) 新規精錬技術開発

従来の CaO ルツボを用いた 20kg 真空溶解炉により、電解鉄の水素上吹き溶解、底吹き溶解、上吹き+底吹き溶解することによる水素精錬実験、及び、比較として水冷銅ルツボを用いた超高真空コールドクルーシブル炉による電解鉄の水素上吹き溶解実験も実施した。この結果、水素ガス中溶解技術を開発し、鉄中の酸素量の低減に極めて有効であることを明らかにした。

(3) 高真空誘導溶解炉の開発

上記 (1) (2) の開発結果を検証するために、100kg 溶解及びルツボ焼成が同じ一つの炉で可能な世界初の超清浄雰囲気誘導加熱式溶解精製装置（高真空誘導溶解炉）を設計・製作し、本溶解精製装置の各種性能チェック・試験ルツボ焼成・試験溶解を行った。これらの試験溶解等を踏まえ、本高真空誘導溶解炉に適合する溶解手順・操作方法を確立し、各種超高純度金属を溶解し、C, Si, Mn, P, S, N, O の不純物総量が 50ppm レベル以下とする溶解を達成した。

(4) 認証用標準物質の作製

東北大学所有のコールドクルーシブル炉を用いて超高純度鉄の溶製を行い、認証用標準物質を作製した。

2. 開発材による部品製造技術の開発及び実用特性評価

(1) 超高純度金属材料の開発

①超高純度 Fe-Cr 系又は Fe-Cr-Ni 系合金につき社会的ニーズを踏まえた用途と実用化までの時間軸を考慮し、3 種のカテゴリーに分類して合金開発を行った。

(a) 実用化検討部材 (Fe-20Cr 系超高純度合金を溶製し試験を実施)

○硫酸露点腐食：SUS316 に比べ 7 倍程度の優れた耐食性を示し、目標をほぼ達成した。

○室温耐力：室温での 0.2%耐力は 300MPa 以上あり、目標を達成した。

○薄板加工性、溶接性：溶製した高純度合金の薄板加工性は良好で SUS316 より優れ、溶接性に関しても特に支障となる問題点はないことを確認した。

(b) 中期的開発部材 (Fe-20~30Cr 系超高純度合金を溶製し試験を実施)

○耐食性：SUS310 の 3.3 倍程度の耐食性を有することを確認した。

○室温耐力：室温 0.2%耐力は約 600MPa で目標達成。

(c) 長期的開発部材 (Fe-Cr-Ni 系超高純度合金を溶製して試験を実施)

○クリープ破断強度：最終年度に各種のまま材、加工材試験片の 5000 時間までのクリープ破断試験を実施し、得られたデータを用いてラーソンミラーパラメータ法による外挿を行い、実用化段階の目標である 700℃、 10^5 時間におけるクリープ破断強度が 70MPa 以上あることを見通すことができた。

②不純物濃度の影響については、不純物濃度を極少化していくことにより、金属の延性、耐食性が増し、溶接性の向上も認められる。この特性は合金の場合、合金元素間の結合等の影響が不純物濃度差より大きい場合、不純物濃度による材料特性の有意差は見えにくい、シャルピー衝撃値や耐力向上等に傾向が伺えることがわかった。

(2) 部材製造技術の開発

①ターゲット選定のための部材試作と評価試験

従来の超高純度金属原料（高コスト原料）を用いて試作した発電プラント用部材について、特性を市販材料を用いた部材と比較し、以下の結果を得た。

○超高純度 Fe-25Cr 系合金は耐酸化性と成形性が良好であり、薄板部材（例えば、耐熱ペローズ、熱交換器等）として有望である。

○ペローズ試料の 1000℃、1000 時間の大気酸化試験の結果、Fe-25Cr

	<p>系合金製ベローズの耐久性は市販ステンレス鋼よりも著しく優れており、試験後も伸縮性を維持した。</p> <p>②部材製造技術の開発</p> <p>開発した高真空誘導溶解炉を用いて溶製した Fe-Cr 系超高純度金属の発電プラント用部材製造に必要な、鍛造、圧延、製管等の素材加工技術及び溶接技術を検討し、以下の結果を得た。</p> <p>○Fe-12~30Cr 系超高純度合金で厚さ 1~25mm の板材、シームレスチューブ及び型鍛造翼等の発電プラント用部材が製造可能なことを確認した。</p> <p>○試作した超高純度 Fe-18Cr 合金の靱性は、市販 SUS430 より著しく優れることを確認した。</p> <p>○不純物元素の混入が少ない Fe-18Cr 系の TIG 溶加棒、ワイヤの製造技術並びに TIG 溶接技術を開発した。</p> <p>(3) 実プラントによる実用性評価試験</p> <p>耐環境部材 (煙突ライナー材等) を廃棄物発電プラントの運転環境下において実証調査した。曝露試験後の観察結果では高純度 Fe-20Cr-5Mo 鋼等の耐食性は比較材の SUS316L 材と同等であった。</p> <p>(4) システムメリットの試算</p> <p>開発材をボイラー過熱器管に用いたケースを想定し、耐食性に優れるメリットを生かしてメンテナンス回数に着目してシステムメリットを試算した。その結果、保守費用が 30 億円/25 年軽減される等システムメリットが見込まれるケースがあることを明らかにした。</p> <p>投稿論文 「査読付き」 0 件、「その他」 7 件 (国際会議等)</p> <p>特許 「出願済」 9 件、「登録」 0 件、「実施」 0 件</p> <p>その他の外部発表 (プレス発表等) [プレス発表] 10 件 (日刊工業新聞、日経産業新聞、日本経済新聞、毎日新聞、朝日新聞) [メディア報道] 1 件 (NHK「サイエンス ZERO」平成 21 年 10 月 31 日) [展示会]「鉄展—137 億年の宇宙誌」(平成 21 年 7 月 24 日~10 月 31 日:東京大学総合研究博物館)</p>
IV. 実用化、事業化の見通しについて	<p>(1) 実用化見通し</p> <p>本プロジェクトにおいて、超高純度金属材料を用いたシステムで発電効率向上、メンテナンス費用削減等のメリットが期待できる可能性を明らかにした。また、材料特性からは、耐食性などの特定の機能に関して現用材に比して 1 桁近くの性能向上が見込めることが明らかになっている。これらのことから、本プロジェクトの実施により、超高純度金属材料の優れた特性を発揮できる部分についての実用化見通しは得られた。また、材料によっては本プロジェクトを通じて摘出された課題を克服する研究開発を続けることで実用化への見通しが得られることも期待できる。</p> <p>また、本プロジェクトで開発し、実際に溶解試験においても相当回数使用した新規 URC ルツボは既に実用レベルにあると判断する。</p> <p>(2) 事業化について</p> <p>本研究開発の委託先である超高純度金属材料技術研究組合の参加企業には、ユーザとなる電力各社 (東北電力、東京電力、中部電力、関西電力、九州電力等) とメーカーである重電各社 (日立製作所、東芝、三菱重工業) 並びに素材メーカー (日本製鋼所) 等が参加しており、これらの企業の継続的な研究を経て事業化の可能性は高いと考えられる。</p> <p>また、本研究開発成果の発電プラント以外への適用として、超高純度金属材料が粒界脆化特性に優れていることに着目すると、将来の水素社会に向けた水素関連機器への適用が期待できる他、超高純度化により高強度化が達成できれば 船舶等の運輸部門への適用も期待できる。</p>
V. 基本計画に関する事項	作成時期 平成 17 年 3 月制定。

	<p>変更履歴</p>	<p>平成 18 年 2 月、プロジェクトリーダーの設置に伴い、研究開発の実施体制を、研究開発の具体的内容追加により研究開発計画とスケジュールを変更 平成 18 年 3 月、プロジェクトの名称を変更 平成 19 年 5 月、プロジェクトリーダーの変更に伴い研究開発の実施体制を変更 平成 19 年 8 月、評価に関する事項及び、その他重要事項を変更 平成 20 年 3 月、中間評価結果を受けて研究開発の目標、目標値、実施内容等を変更 平成 20 年 6 月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「研究開発の目的」の記載を変更 平成 21 年 2 月、プロジェクトリーダーの変更に伴う実施体制の変更及び目的、目標の表現をより具体化して変更 平成 22 年 3 月、プロジェクトを 1 年延長、これに伴い目標を追加。プロジェクトリーダー、サブリーダーの変更 平成 22 年 11 月、平成 21 年度までの実施内容のフォローアップとして溶解試験を追加すると共に、認証用標準物質の作製を追加して変更</p>
--	-------------	--

技術分野全体での位置づけ

(分科会資料6より抜粋)

I. 事業の位置付け・必要性について (2) 事業目的の妥当性

事業原簿 5頁

事業の位置付け

金属の超高純度化により、従来の材料より遙かに優れた特性(耐環境性、靱性、加工性等)を有することを確認したナノメタル技術プロジェクト(NEDO事業)での成果を踏まえ、超高純度金属材料(超高純度Fe-Cr合金等)を産業化することは、我が国の発電、素材産業の発展に大きく貢献する。

【研究開発プログラム】

- ・資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するため、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことを目的とした「**エネルギーイノベーションプログラム**」の一環として実施する。
- ・情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなど、あらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な革新(ジャンプアップ)をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能とすることを目的とした「**ナノテク・部材イノベーションプログラム**」の一環として実施する。

事後評価分科会資料(6月21日) 資料6 4

「発電プラント用超高純度金属材料の開発」

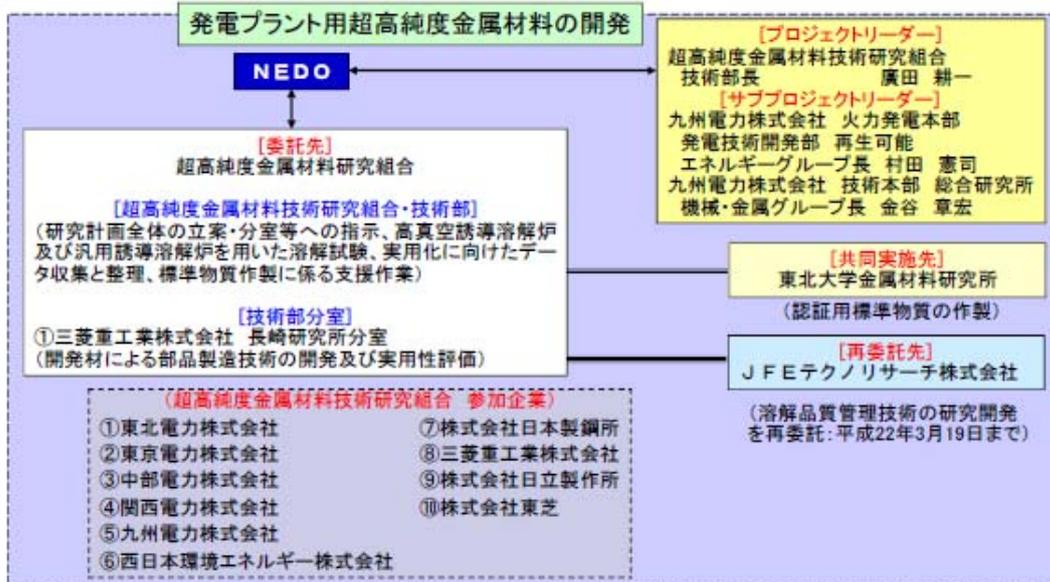
全体の研究開発実施体制

発電プラント用超高純度金属材料の開発

II. 研究開発マネジメントについて (3) 研究開発実施の実施体制の妥当性

研究開発の実施体制 (プロジェクト終了時)

事業原簿11-12頁



事後評価分科会資料(6月21日) 資料6 13

「発電プラント用超高純度金属材料の開発」(事後評価)

評価概要 (案)

1. 総論

1) 総合評価

本プロジェクトは、大きな開発リスクをともなうため民間独自の事業として進めることは難しいが、実用化へ進展すると材料製造分野への波及効果が大きく期待されるため、NEDOの開発テーマとして妥当である。また、中間評価を受けて超高純度材料をカテゴリーI(実用化検討部材)、カテゴリーII(中期的開発部材)、カテゴリーIII(長期的開発部材)に分類し、それぞれの目的に応じた特性として、耐食性、加工性、溶接性、強度、およびコストについて材料特性の目標値が具体的に設定されており、これらの点は評価できる。

研究開発成果として、発電プラント用超高純度金属材料の低コスト、量産化を目標に、高耐久ルツボ、耐火材の開発、低コスト原料の精錬技術の開発、迅速分析技術の開発、そして100kg級の高真空溶解炉の開発などを通して、100kg級の超高純度金属材料のインゴットを製造し、その特性を調査したことは、高く評価できる。さらに認証用標準物質の作製など、世界に発信できる成果が上がっている。

しかしながら、一部の材料特性が目標に達成しなかった原因、成形加工が上手くいかなかった原因などの究明が、十分に行われているとは言い難い。そのため、今後の実用化に懸念が残る。また、実用化プロセスの規模が明確に示されていないため、それぞれ個々の要素技術の開発は行われたが、どのようにして実用化を達成するか定の量的指針が明示されていない。最終的な実用化プロセスへのイメージを定量的に明確化して、コスト評価などを実施することが必要である。

2) 今後に対する提言

発電プラントでは、長時間使用中に各種材料特性が劣化することが問題となっている。高純度化によってそれらが改善されることが明確に示されれば、発電プラントでの実用化の意義は大きいと考える。カテゴリーIIIの鋼については、725°Cおよび750°Cの温度加速クリープ試験をより長時間まで行い、得られたデータにより、超高純度鋼の破断時間が一般材のものをしのぐことを示し、その機構についての検討を期待する。本プロジェクトの成果は、発電プラント用超高純度金属材料に限らず、他の用途の金属材料の製造にも有用なプロセスと成

り得る。その際にはすべての元素を高純度化するのではなく、材料性能を左右する元素を見極め、影響の大きい元素を重点的に高純度化して、コスト削減を図る材料開発技術が必要となる。また、十トン以上のレベルでの実用化に向けての高純度材料の製造炉としての耐久性などの利用可能性、高純度製品を作り分ける技術などの実証検討が必要である。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

発電プラント用耐熱鋼の開発を意図して、超高純度金属の適用により耐環境特性の改善を図り、また、延性改善による破断時間の延長を目指す本プロジェクトは、十分な意義がある。併せて、そのような優れた特性を維持しながら、超高純度金属材料の低コスト・量産化をするためのプロセス開発も必要となる。このような要求寿命、適用実績が重視される構造分野への新規材料適用は、比較的高い開発投資であり、民間のみでの検討は困難である。その目的達成のためには大学と民間企業との協力が必要であり、それを実現させるために NEDO 事業として産官学連携により開発を進めることは、妥当である。

事業目的の明確化の観点からは、現状で使われている材料の問題点と、それを高純度材料で置き換えるメリットを、より明確に示すべきであった。また、目標設定については、プラントを設計、製造するプラント・機器の設計技術者、製造技術者の視点からの検討を行えば、設定目標がより妥当なものになったと考えられる。

2) 研究開発マネジメントについて

個別課題に対して、それに対応できる高いポテンシャルを有する企業が関与する体制が当初から取られており、研究開発実施の事業体制は妥当である。また、中間評価に基づいて研究実施体制を改め、耐食性、加工性、溶接性、高温強度、コストについて材料特性の目標値が具体的に設定された点は評価できる。さらに実施期間を1年間延長し、成果の早期実現を目指したことも評価できる。

しかしながら、当初の開発材料の目標の設定が明確でなかったため、中間評価での指摘により目標材料を絞ったが、全体として材料開発にかかわる時間が不足していた。このため、「作る技術」と「使う技術」についての研究開発が併行して行われており、「使う技術」としては供試材が限定されてしまい、いくつかの課題が残されている。

また、耐環境特性の改善、クリープ破断時間の延長を達成させた新鋼種を発電プラントのどの部位に対応させるかを早期に明示すべきであり、開発材料の実用性能の評価を担当する大学・研究機関等、もっと多方面の専門家を入れる

べきであった。

3) 研究開発成果について

大型の高耐久性ルツボ、高真空度溶解炉を開発し、また量産化のための大型炉製造の要素技術を開発している。不純物元素の総量が 50ppm 以下で製造された超高純度材料が 100kg 規模で製造できるようになったのは、世界最高水準であり、高く評価できる。さらに、ターゲットとしてより注目されるべきは先進超々臨界圧発電プラント部材のクリープ破断時間の延長である。一般材に比べ超高純度金属適用材の破断時間は、より長時間側で延長拡大し、その拡大は 750°Cでの値に比べ、725°Cでより大きいという結果で、耐環境特性の改善は確かめられている。また、標準物質としての高純度純鉄を作製したことは、意義がある。

しかし、量産化のための大型炉での炉体の製造技術については、耐火物の開発は途中段階であり実証されておらず、また、高純度化、精錬方法についても十分に確立されたとはいえない。水素精錬法については、残留水素についての検討、説明が行われていない。部品製造技術開発では、目標の二つの材料の実用化評価に対する検討時間が不足していた。カテゴリⅡについては、適用対象部材として重要な耐食性において目標が達成されていない点についての検討が不十分であり、その解決策が示されるべきである。カテゴリⅢについて高純度化による長期強度低下の防止効果は、現段階では把握できておらず今後の検討課題である。また、加工性、溶接性についても課題が残されている。

4) 実用化、事業化の見通しについて

本研究により実用化に近づいた 100kg 級の超高純度金属材料の製造に成功したことから、トン級レベルの製造方法にも目処が得られたことは評価できる。また、標準物質国際規格化に向けた作業は、将来の工業的利用に踏み込むものであり期待される。

しかし、水素精錬では、開発した装置を使っていない、対象鋼種に対し関連するすべての不純物毎の目標設定がなされていない、残留水素問題が未検討であるなどの課題も散見されている。カテゴリⅡ,Ⅲ の材料特性、部品製造技術、溶接、切削、塑性加工などの成形加工技術の取り組みが十分ではなく、特に目標に達しない特性、溶接性などに関して十分な原因究明がなされていないなど、材料として実用化の見通しにも問題を残している。本プロジェクトで実施されたコスト評価では、目標製造量とそれにとまなう溶解・精製炉の規模が明確になっていない。事業化のための精緻なコスト評価、経済効果の評価は、今後の検討事項である。

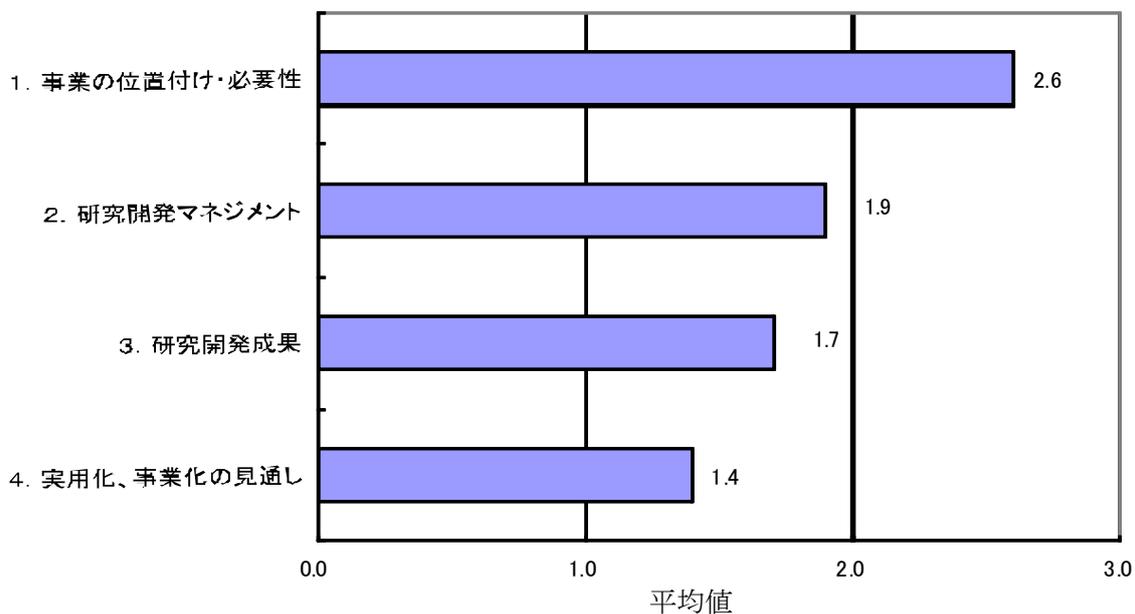
個別テーマに関する評価

	成果に関する評価	実用化の見通しに関する評価	今後に対する提言
超高純度金属材料の低コスト・量産化製造技術の開発	<p>高純度 Fe-Cr 系合金溶製用 CaO ルツボの開発は大変有意義であり、他の合金開発への波及効果も大きい。特に、CaO の水分吸収による劣化を工業的に抑制できる手法を見出し、さらに、開発したルツボを用いた高真空誘導溶解炉により画期的な高真空を達成し、100kg 級で不純物総量 50ppm 以下の目標を達成した。また、不純物濃度の迅速分析システムについては、商用機レベルの開発が完了しており、高く評価できる。さらに、超高純度の標準物質もできており、国際標準化への取り組みも評価できる。</p> <p>しかしながら、事業化のためには大型炉での実証が不可欠である。先進耐熱鋼の開発にはトン単位での生産が要求されるため、今</p>	<p>精錬により低コストの原材料を 100kg レベルまで超高純度化できる溶解方法を確立した事は、今後、さらに大規模な溶解ができる見通しができたとと言える。量産化が進行して、コストが十分に低くなれば、例えば廃棄物発電プラントや、先進超々臨界圧発電部材など従来の耐熱鋼では不十分であった部材へ適用されよう。また、高耐久ルツボについては、用途によっては直ちに適用可能な製品として利用できる可能性がある。</p> <p>しかしながら、実用化へ向けて、100kg 炉から十トンオーダーの実用炉へ拡大したときの精錬上、設備上の問題点の抽出とその解決策の提示が不十分である。レンガ積みした CaO 炉への ZrO₂ の被覆など十分に検討されているかどうか</p>	<p>製造コストについて従来の鉄鋼製造法に比較して、低コスト化の検討をしておくことが必要である。また、開発したルツボを使って必ずしも水素精錬が行われていないため、開発したルツボおよび真空炉設備を用いることでの実験を行った際の問題点を明瞭にし、それらを提言すべきである。さらに、不純物低減のみならず、成分濃度の微調整が合金の特性を左右することを踏まえた上で、不純物毎の高純度化の指標が設定されることが望まれる。</p> <p>プロジェクト終了時点において、国内外の標準認証機関に対して標準物質としての登録を行うことが計画されているが、出願された特許の権利化状況と同様に、その結果の如何についてもフォロー</p>

	<p>後 CaO レンガの組み立てによる製造方法を考える必要がある。また、水素を用いた精錬では、鋼中の残留水素の評価がされておらず、水素の材質に及ぼす影響が不明であり、水素を用いた精錬法として効果が明確でない。高真空溶解炉での脱ガスについても十分な結果がなく、大型化、実用化へ向けた実証は今後の課題である。</p>	<p>かが問題となろう。使用用途により要求される高純度レベルは異なると考えられるが、真空+水素溶解がその高純度レベルをクリアした材料の製造に必須であるとするならば、この検証ができていないと成果の実用化、事業化の範囲にはまだ制約があることとなる。この点については、更に検証が必要と考える。</p>	<p>されることが望ましい。</p>
<p>開発材による部品製造技術の開発及び実用特性評価</p>	<p>発電プラント用材料開発として、725℃および750℃の温度加速のクリープ破断試験により超高純度金属適用材の優位性は明らかにされており、対象とする材料を絞り込んで開発を行って、開発の成果を得ている。材料は限定されるが、超高純度材料において様々な加工技術が適用できることを明らかにした事、また実プラントで実用評価試験を行ったことは評価できる。</p>	<p>超高純度金属適用による延性改善、破断時間延長等の耐環境特性が改善される機構が判明すれば、実用化の可能性は高まるであろう。</p> <p>しかしながら、事業化までにやるべきことはいくつかあり、コストダウンと大型化が指摘されようが、より重要なものとしては超高純度金属適用材の優位性がより具体的に明確化されることがあげられる。現状では、高純度化による</p>	<p>「超高純度金属材料の低コスト・量産化製造技術の開発」については、コストダウン、大型化、そして耐久性向上が挙げられよう。「開発材による部品製造技術の開発及び実用特性評価」については開発鋼の優位性をそれらの機構も併せて具体的にどれだけ明確にできるかにかかっている。</p> <p>また、本プロジェクトの高純度金属製造プロセスと部品製造プロセスを一貫して使用した場合のコ</p>

	<p>しかし、発電プラント用材料として、今回開発された材料の組成系が最適化されているか不明である。現状では特性向上分を上回る製造コストが見込まれ、そのコスト低減のシナリオが多くの開発要素を含む前提の上に成り立っている。実用構造材料として不可欠な溶接・加工性においても一部の特性が要求を満たさない結果となっていることから、「部品製造技術の開発」が充分達成されたとは言い難い。超高純度金属適用による強化機構の明確化と、さらに超高純度金属適用材についてより長時間のクリープ破断データの取得などが要求されるであろう。</p>	<p>効果が際立たず、従来の技術との差別化が難しい。本成果のみを基盤として経済的に優位となるような工業化・製品化の可能性が高いとは言い難い面もある</p>	<p>コスト評価と、既存の材料溶製プロセスで製造した高純度金属材料を使用した場合の部品製造のコストを比較して、トータルコストの試算をすることが望まれる。</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	B	A	A	B	B	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.6	A	A	B	A	A	B	B	
2. 研究開発マネジメントについて	1.9	B	B	B	B	B	B	C	
3. 研究開発成果について	1.7	A	B	B	B	C	C	C	
4. 実用化、事業化の見通しについて	1.4	B	B	B	C	C	C	C	

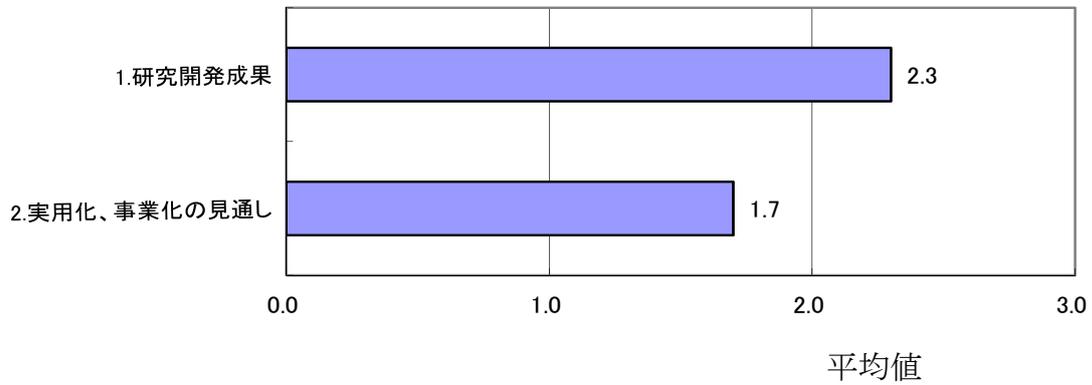
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

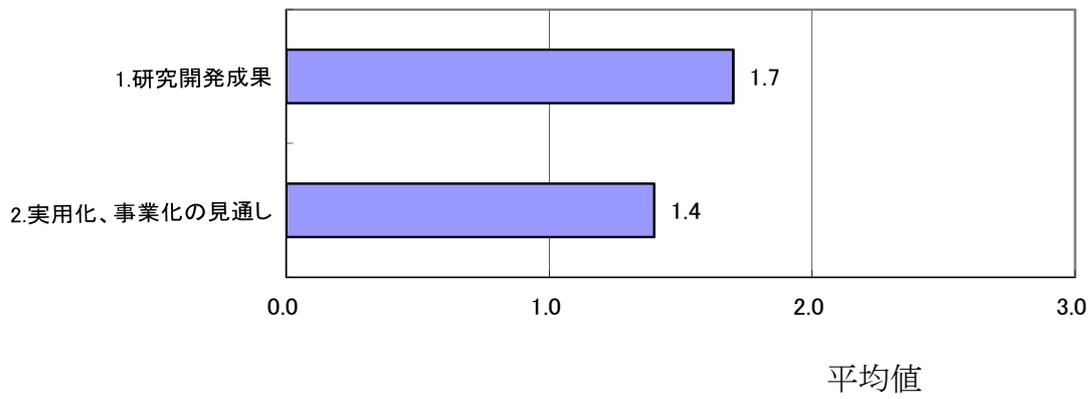
- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 実用化、事業化の見通しについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね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

超高純度金属材料の低コスト・量産化製造技術の開発



開発材による部品製造技術の開発及び実用特性評価



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)							
超高純度金属材料の低コスト・量産化製造技術の開発									
1. 研究開発成果について	2.3	A	A	A	A	B	C	C	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.7	B	B	B	B	B	C	C	
開発材による部品製造技術の開発及び実用特性評価									
1. 研究開発成果について	1.7	B	B	B	B	B	C	C	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.4	B	B	C	C	C	B	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. 研究開発成果について	2. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい	→A ・明確
・よい	→B ・妥当
・概ね適切	→C ・概ね妥当であるが、課題あり
・適切とはいえない	→D ・見通しが不明