

「水素先端科学基礎研究事業」
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）	1 2
評点結果	2 1

はじめに

本書は、第32回研究評価委員会において設置された「水素先端科学基礎研究事業」(事後評価)の研究評価委員会分科会(第1回(平成24年10月5日))において策定した評価報告書(案)の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、第34回研究評価委員会(平成25年1月15日)にて、その評価結果について報告するものである。

平成25年1月

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「水素先端科学基礎研究事業」分科会
(事後評価)

分科会長 森永 正彦

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

「水素先端科学基礎研究事業」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成24年10月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	もりなが まさひこ 森永 正彦	名古屋大学 大学院工学研究科 名誉教授
分科会長代理	つる とおる 水流 徹	東京工業大学 大学院理工学研究科 名誉教授 特任教授
委員	あいはら しゅうじ 栗飯原 周二	東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻 教授
	おがた しげのぶ 尾方 成信	大阪大学 基礎工学研究科 機能創成専攻教授
	おの しんいち 小野 信市	株式会社日本製鋼所 執行役員 研究開発本部 本部長
	こぼり よしひろ 小堀 良浩	JX日鉱日石エネルギー株式会社 中央技術研究所水素・FC研究所 エグゼクティブリサーチチャー
	しらね よしかず 白根 義和	一般社団法人 日本産業・医療ガス協会 医療ガス部門 常務執行役員
	のさか まさたか 野坂 正隆	株式会社 IHI 航空宇宙事業本部 宇宙開発事業推進部 技術顧問

敬称略、五十音順

プロジェクト概要

		作成日	平成 24 年 10 月					
制度・施策 (プログラム)名	エネルギーイノベーションプログラム							
事業(プロジェクト)名	水素先端科学基礎研究事業	プロジェクト 番号	P06026					
担当推進部/担当者	新エネルギー部/森大五郎・主藤祐功・畠山正博 (H24～) 新エネルギー部/中山博之・森大五郎 (H22～) 燃料電池・水素技術開発部/檜山清志・川村 亘・高橋 靖・中山博之 (～H22)							
0. 事業の概要	<p>本事業では、水素物性等に係る基礎的な研究を実施し、高度な科学的知見の集積を行い、水素社会到来に向けた基盤整備を行うことを目的に、高圧化した状態における水素物性の解明や、材料の水素脆化にかかる基本原理の解明及び対策検討など、高度な科学的知見を要する根本的な現象解析を実施する。また、2015年燃料電池自動車普及開始に向けて、産業界と連携をとりながら必要なデータ、考え方を提示し、NEDOの他の水素関連事業との連携関係も整理して、産業界全体の効率的な技術開発に貢献することを目指す。</p>							
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>水素及び燃料電池を広くかつ円滑に一般社会に普及させるために、現在、産学官挙げて技術開発に取り組んでいるところであるが、燃料である水素を高圧化した状態で輸送・貯蔵するなど水素を高いエネルギー密度で取り扱う場合の水素物性については、未だ世界的にも知見集積が乏しく、特にこれらの環境下における容器や機器で使用する材料の水素脆化現象のメカニズム解明は、長期間、水素を安全に利用するためには早急に解決・確立しなければならない重要な基礎的かつ高度な科学的課題の一つである。そこで当該事業により、燃料電池自動車導入や水素インフラストラクチャーの整備を行う上で必要となる水素物性や水素環境下における材料特性に関わる基礎研究を進展させることで、燃料電池や水素エネルギーの実用化技術の進展を支え、安全性の確保、標準化等に大きく貢献すると共に、我が国の国際競争力の維持・確保に繋げる。</p>							
II. 研究開発マネジメントについて								
事業の目標	<p>燃料電池自動車、定置用燃料電池システム及び水素インフラ等水素社会構築に必要な水素物性、水素環境下材料特性に係るデータ取得、材料劣化等の基礎的研究及びメカニズム解明を行うために、具体的には、下記項目を当該事業にて実施し、その成果を用いて、関連産業界の技術開発や標準化活動を支援する。</p> <p>①高圧水素物性の基礎研究 ②高圧化状態における金属材料等の水素脆化の基本原理の解明及び長期使用および加工、温度などの影響による材料強度特性研究 ③高圧化状態における高分子材料等の長期使用及び加工、温度などの影響による材料強度及び化学構造評価 ④高圧水素トライボロジーの解明 ⑤材料等内の水素拡散、漏洩などの水素挙動シミュレーション研究(平成22年度まで実施)</p>							
事業の計画内容	主な実施事項	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy
	①高圧水素物性の基礎研究	物性測定技術						
		装置の開発			熱伝導、露点測定技術、装置の開発		データ取得	データベース公開
	②高圧化状態における金属材料等の水素脆化の基本原理の解明及び長期使用および加工、温度などの影響による材料強度特性研究	高圧水素中試験装置整備					水素環境下での疲労試験	
解析技術開発						試験品のマイクロ、マクロ解析		材料の疲労寿命予測、データベース公開
③④高圧水素環境下での長期使用及び加工、温度などの影響による材料強度特性研究(金属材料、高分子材料)	高圧水素中試験装置整備			実部品(金属、樹脂)の疲労試験、劣化解析		水素侵入特性、シール材の長期信頼性評価		
						管理基準、信頼性評価手法の提示		
				高圧水素曝露材の摩擦試験				

	④ 高圧水素トライボロジーの解明	高圧水素中 試験装置整備		高圧水素中摩擦試験			信頼性評価 データ公開	
	⑤ 材料等内の水素拡散、漏洩などの水素挙動シミュレーション研究	水素挙動シミュレーション 固体内拡散挙動解析 実測データとの比較検証	整備	実験	担当者との連携、	事前評価など支援		
	成果とりまとめ				報告★	中間評価1	報告★	中間評価2
								最終報告★
開発予算 (単位：百万円)	会計・勘定	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy
	一般会計	0	0	0	0	0	0	0
	特別会計 高度化	1,620	1,791	1,631	1,739	1,019	708	765
	総予算額	1,620	1,791	1,631	1,739	1,019	708	765
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課 燃料電池推進室						
	プロジェクトリーダー	村上敬宜(独立行政法人 産業技術総合研究所水素材料 先端科学 研究センター センター長)						
	委託先／再委託先／共同研究先	【委託先】 独立行政法人 産業技術総合研究所 国立大学法人 九州大学 独立行政法人物質・材料研究機構 (H22～H24) 国立大学法人京都大学 (H22) 国立大学法人佐賀大学 (H22～H24) 国立大学法人長崎大学 (H22～H24) 学校法人上智学院 (H22～H24) 学校法人福岡大学 (H22) 【再委託先】 独立行政法人物質・材料研究機構 (H18～H21) 国立大学法人京都大学 (H18～H21) 国立大学法人佐賀大学 (H20～H21) 国立大学法人長崎大学 (H18～H21) 学校法人上智学院 (H18～H21) 学校法人福岡大学 (H19～H21) NOK株式会社 (H19～H21) 【共同研究先】 NOK株式会社 (H22～H24) 日本合成化学工業株式会社 (H22～H24) 岩谷産業株式会社 (H22～H23) 株式会社共和電業 (H22～H24)						

<p>情勢変化への対応</p>	<p>(A)本事業開始後、平成 20 年 7 月、燃料電池実用化推進協議会 (FCCJ) が「2015 年、一般ユーザーへの普及開始を目指す」とする『FCV と水素ステーションの普及に向けたシナリオ』を発表し、平成 21 年 3 月には、産業競争力懇話会も同様の発表を行い、2015 年に FCV・水素インフラを普及開始する合意が急速に形成されてきた。</p> <p>(B)鋼種拡大に係る規制の再点検に対する対応。</p> <p>(C)水素ステーション 100 箇所の先行整備に向けた対応。</p> <p>このような情勢変化に対応するため、</p> <p>(1) 燃料電池自動車の普及に向けた日本自動車工業会や燃料電池実用化推進協議会等々からの追加検討要望を受け、燃料電池自動車や水素スタンドの例示基準向け安全検証の根拠となる材料特性データ提供や同評価方法に関する指針等を纏める旨加速</p> <p>(2) 第 2 期水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC)にて計画されている 70MPa 級水素供給インフラの検討にも反映させるために、安全確認検証(例、実証終了プロジェクトから得た水素曝露機器の解体調査等)、70MPa 級蓄圧器等材料物性補足データ取得等を追加し、研究を加速中。</p> <p>(3) 燃料電池・水素技術の基準・標準化、規制見直しに向けた国際協調・体制整備に関する最近の政策提言等への対応として、材料評価データの提供・データベース構築に加えて、今後、規制見直し・国際標準化・認証制度の構築に貢献できる体制強化を推進中。</p> <p>(4) 産業界におけるニーズを的確に把握し、研究成果を効率よく展開することを狙い、平成 22 年度上期に民間企業等実施者の公募を実施。新たに 3 社の民間企業を共同研究先として追加した。(岩谷産業、共和電業、日本合成化学工業)</p> <p>(5) 平成 22 年 6 月に閣議決定された「規制・制度改革に係る対処方針 (グリーンイノベーション分野)」を受け、平成 22 年末に水素ステーションの鋼種拡大に係る規制の再点検及びその結果を踏まえた対応について今後の具体的な工程表が作成され、「例示基準に記載された使用可能鋼材の拡大」が項目の一つに位置付けられた。それを受け「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発事業」と連係して、鋼種拡大に資するデータ・安全性のデータ取りを加速して実施。結果、工程表の進捗に貢献。平成 24 年度末に技術基準 (案) 完成見込み。</p> <p>(6) 平成 23 年 1 月、2015 年の FCV 普及開始に先駆け、100 箇所程度の商用水素ステーション設置・実証を行う共同声明が発表された。それを受け鋼種拡大にかかる規制合理化のためのデータの取得を加速して実施すると共に、基準化対象外の材料についても高圧ガス保安法の特認を取得するために材料データを取得。その結果 2015 年の商用水素ステーションの目標コスト達成に資する低コスト水素ステーション実証が可能となる見込み。</p>
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p>【研究開発の対象】</p> <p>水素高圧状態下における水素の物性や水素機器材料中の水素挙動等基礎的メカニズム解明等に関し、具体的な試験、分析、解析、評価等を重ね、理論的考察を進めるとともに、科学的裏付けとなる検証データを取得・蓄積し、自ら導出した仮説・提案・指針等内容を精査・強化する。</p> <p>研究開発項目①「高圧水素物性の基礎研究」</p> <p>本研究では、100MPa、500℃までの高圧高温での水素物性のデータベースを構築し、広く WEB に公開するために、以下に示す項目を実施した。</p> <p>(1) PVT データの測定装置の開発および状態方程式の作成</p> <p>(2) 粘性係数の測定</p> <p>(3) 熱伝導率の測定</p> <p>(4) 水素ガスの種々の物質に対する溶解度の測定</p> <p>(5) 水素物性データベースの研究開発</p> <p>(6) 水素雰囲気における高沸点ガスの露点の測定</p> <p>(7) 比熱の測定</p> <p>【成果】</p> <p>・世界的にも類の無い高温・高圧力条件下で、水素の PVT 性質、粘度および熱伝導率を測定するための装置を開発し(高圧対応型パーネット法装置、細管法粘度測定装置および非定常短細線法熱伝導率測定装置)、773K、100MPa までの</p>

PVT データを取得した。

- ・従来のデータのレビュー結果をもとに高圧でかつ高温まで適用領域を拡張した推算式を作成し、データベースに組み込んだ。
- ・非定常短細線法による水素ガスの熱伝導率の測定法を確立した。本測定法を気体に適用したのは世界で初めてである。
- ・雰囲気水素ガスを H₂ から D₂ に切り替えることで、ゴム構造由来水素と溶解水素ガスの信号を分離し、溶解した水素ガスの溶解度をより正確に定量化できた。
- ・平成 21 年度までに開発してきた水素熱物性データベースシステムがサポートする物性値や適用範囲について、特に本プロジェクトの特徴である高圧の領域を正確にサポートできるような拡張を検討し、拡張版 PVT 関係・相平衡計算システムを開発した。
- ・このプロジェクトが開始されて 5 年が経過し、データベースサーバーやクライアントの本体となる計算機のハードとソフトの利用状況が変化した。その変化を整理して、それらに対応した改良を行う。当面、CD-ROM を利用したシステムから USB メモリを利用したシステムへの完全移行するための USB メモリ型 DB システムの構築とエクセル以外のソフトウェアのサポートを実施した。
- ・恒温槽内の攪拌性能を向上させ、温度の不均一性を低減させた。
- ・水素ステーションの条件に対応した微量高沸点ガスの露点推算法について詳細に検討し、異なる形式の状態方程式に基づいた計算を可能とする露点推算ソフトウェアを作成した。露点推算に基づき、水素ステーションにおいて凝縮・凝固する可能性があるのは、専ら残存水分であることを示した。

研究開発項目②「高圧化状態における金属材料等の水素脆化の基本原則の解明及び長期使用および加工、温度などの影響による材料強度特性研究」

本研究では、高圧水素雰囲気下での水素脆化の基本原則を解明、また疲労き裂発生と伝ばに及ぼす高圧ガス水素の影響を明らかにし、そのメカニズムを解明することを実施した。また、高圧水素下長期使用可能な機械要素設計法構築とデータベース整備、最適水素材料の探索を実施した。

- (1) 疲労き裂先端における塑性変形（すべり変形）と水素の相互作用の解明
- (2) 高圧水素ガスにおける疲労き裂発生・進展メカニズムの解明
- (3) 水素機器に使用される金属材料の強度評価
- (4) 水素機器の設計・製造における部品・接合部材の強度評価
- (5) 材料中の侵入水素の存在状態解析
- (6) 材料中の結晶粒内・粒界におけるすべり変形に及ぼす水素の影響調査
- (7) 材料中の疲労き裂先端の水素状態の調査
- (8) 水素ステーションに使用された金属材料の健全性及び強度評価
- (9) 水素デバイス等の安全設計シミュレーション

<共同研究：岩谷産業>

- ・高圧水素プレクレーター用等高強度材料の特性評価

<共同研究：共和電業>

- ・高圧水素ガス用ひずみゲージの開発とひずみゲージ箔材の電気抵抗に及ぼす水素の影響の解明

【成果】

水素エネルギーシステムの安全性、信頼性を確保する基礎研究であるが、水素の可視化の実現、結晶のすべり挙動の特異性（すべりの局在化と離散化）の発見など水素脆化の基本機構に関わる成果を得た。

- ・疲労破壊、引張破壊における水素脆化は、格子脆化による脆性破壊でなく、水素で局在化したすべりによるマイクロ延性破壊であるという基本原則を確立し、FCV、インフラ関係者に水素エネルギー機器の設計思想を提示した。
- ・オーステナイト系ステンレス鋼では、製造時に侵入した水素による疲労き裂進展速度は加速するが、特殊熱処理で製造時に侵入した水素を除去すると、疲労き裂進展速度は減速することを発見した。
- ・120 MPa 水素ガス中疲労試験機などを使用し、高圧水素ガス中での低速引張（SSRT）特性、疲労特性、疲労き裂進展特性を評価する方法を確立した。
- ・外部の関係機関と連携し、実証が終了した 35 MPa 水素ステーションの蓄圧器やパイプ、試験で破裂前漏洩した 35 MPa 車載水素容器、高圧水素実験施設で水素

漏洩した高圧配管用T型ジョイントや高圧センサーなどの調査・解析(事例解析)を行っている。事例解析の結果をもとに、水素機器の安全性確保、高性能化の提言を行った。

- ・オーステナイト系ステンレス鋼および溶接構造用鋼の溶接部の高サイクル疲労強度は、0.6MPa水素ガスにより低下しないことが明らかになった。き裂性の溶接欠陥(不完全溶け込みおよび、融合不良)を含む場合、溶接部の高サイクル疲労強度は欠陥がない場合に比べて顕著に低下するが、0.6MPa水素ガスによってさらに低下が助長されることはなく、溶接の水素機器への適用可能性を示した。
- ・水素チャージにより内部破壊が生じやすくなることを示し、材料の清浄度が内部破壊の頻度に影響することを示した。
- ・本研究の材料データ、解析結果を活用し、「高圧水素プレクター」として、高圧ガス保安法・特定則の事前評価・大臣特認を取得する等、実用化に向けた設計適合性を確認。(岩谷産業)
- ・ひずみゲージ用金属材料のEBSD組織解析、水素侵入特性の測定、電気抵抗率の測定を行い、箔材(としてFe-Cr-Al、ゲージリードとして銅(Cu)、接合部としてはんだ(Sn-Ag-Cu)が高圧水素ガス用ひずみゲージの構成金属材料として有効であることを明らかにした。(共和電業)

研究開発項目③「高圧化状態における高分子材料等の長期使用及び加工、温度などの影響による材料強度及び化学構造評価」

本研究では、高圧水素下長期使用可能な機械要素設計法構築とデータベース整備、最適水素材料の探索を実施した。

- (1) 水素機器に使用される非金属材料(ゴム・樹脂)の強度評価
- (2) 水素機器に使用される非金属材料(ゴム・樹脂)の化学構造評価
- (3) 材料強度に及ぼす水素の影響に関する最新研究状況調査
- (4) 水素雰囲気下におけるゴム材料研究(NOKとの共同研究)
- (5) 水素耐性に優れた適用材料の研究開発(日本合成化学との共同研究)

【成果】

- ・プリスタによる内部クラックの進展状況を観察し、プリスタ発生メカニズムを推定した。
- ・水素曝露時に溶解した水素の溶解状態を分析し、耐プリスタ性に優れた分子設計指針の検討を実施した。
- ・日本ゴム協会水素機器用エラストマー研究分科会との連携により研究開発動向調査および研究ニーズの把握を進めた。
- ・Oリングの使用条件を模擬した温度、加減圧条件によるシールからの漏洩量により、Oリングの破壊モードを把握し、対策の指針を確立した。(NOK)
- ・開発した材料の実機への適用評価を実施し、水素耐久性材料の設計指針を策定した。(日本合成化学)

研究開発項目④「高圧水素トライボロジーの解明」

本研究では、高圧水素環境下で使われる軸受、バルブなど摺動部材のトライボロジー基礎特性のデータ整備、耐水素トライボロジー設計指針の提案を実施した。

- (1) 軸受・バルブ摺動材料の水素トライボロジー特性の調査研究
- (2) シール材料の水素トライボロジー特性の調査研究
- (3) 耐水素表面のトライボロジー特性(耐水素表面改質)の調査研究
- (4) トライボシステム中の気体分子の挙動解析
- (5) 耐水素トライボロジー信頼性評価

【成果】

燃料電池自動車及び水素インフラ機器など高圧水素環境下で使用される軸受、バルブ、シールなど摺動材料の、水素ガス雰囲気中でのトライボロジー特性に関して検討を行った。

- ・試験ガスの純度を測定・制御する方法を確立して、材料の摩擦摩耗特性が水素ガス中の微量の水分や酸素に影響されることを定量的に示し、また摩擦にともなうトライボケミカル反応が材料によって異なることを明らかにした。
- ・高圧水素中に曝露された鋼材表面の力学的特性、化学的特性、侵入水素量などの測定を行い、高圧水素曝露により表面酸化膜の減少、表面硬度の上昇、炭素の析

	<p>出などが起こり、温度依存性があることを明らかにした。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高圧水素（40MPa, 100℃）への曝露により、ステンレス鋼表面の酸化膜が還元され、PTFEの転移膜形成が促進されることを明らかにした。 ・ 研究実施項目①と連携して超高压水素中摩擦試験機による実験技術を確立し、40MPaの水素ガス中における各種PTFE複合材の摩擦摩耗特性を明らかにした。 ・ 硬質薄膜の水素透過性の計測方法を開発し、水素透過を抑制する水素バリア性コーティング膜を探索して、DLC、TiN、TiC、TiAlNなどの硬質薄膜、ジルコニウムやニオブなどの高融点金属薄膜が水素バリア性が高いことを明らかにした。 ・ 潤滑薄膜中の気体分子の挙動の分子動力学シミュレーションを行い、潤滑剤中の溶存分子（水素）の移動はせん断によって誘起され、壁面への吸着量が増加することを明らかにした。 ・ データベースのシステムを改善するとともに、要点をまとめたデータシートを作成した。
特許	出願中 [国内] 9件 [外国] 34件
投稿論文	[査読有り] 215件 [査読無し] 1件
その他	発表件数 624件 受賞実績 31件 ※いずれも平成24年3月現在
IV. 実用化の見通しについて	<p>1. 事業全体における実用化の見通しについて</p> <p>本事業では、水素エネルギー社会に不可欠である「水素を長期間安全に利用するための学術的な基盤」を確立することを目的としている。また水素を取り扱う容器や機器における材料の水素脆化やトライボロジーなど、水素が関わる現象や挙動の基礎的メカニズムを解明するとともに、基礎的な水素物性のデータベースを構築することで関係産業界の誰もが、その成果を活用できるようにすることで水素利用技術の信頼性向上、安全性確立に資することを意図している。</p> <p>具体的には、2008年7月に発表された燃料電池実用化推進協議会が描く「燃料電池自動車を2015年に一般ユーザーに普及開始」、「商用水素ステーションの設置開始」のシナリオに向けて、産業界と連携を取りながら必要なデータ、考え方を提示していく。2010年に予定される「商用水素ステーションの仕様決定」、「高压容器および付属品の新基準発行」に関しては、産業界における設計、評価に資するために、各材料の疲労寿命を考えた使い方や設計方針を提言していく。2011年後半以降、水素製造・輸送・貯蔵等技術開発事業に参画する企業及び規制機関等への水素構造材料及び水素物性に関するデータを250件以上提供し、高圧水素の使用に関わる規制見直し、水素関連機器の技術開発、および、2015年に向けて設置される水素ステーション用機器の特認申請に広く活用されている。今後さらに、2015年以降の、安全性と低コスト化を実現した水素機器への規制見直しと産業界の技術開発への基盤として本事業で取得されたデータに期待される部分は大きい。また、随時最新の水素物性データベースを広く世に公開していくこと。金属材料だけでなく、バルブなど摺動材やOリングのようなシール材に関する水素環境下での劣化特性を明らかにし、データベース化を進めていくことを通して、水素インフラに使用する機器の設計手法構築や、構成部材の疲労寿命予測、メンテナンス指針を確立し、安全な水素社会を構築するための基盤となる知見を産業界に提供する。</p> <p>2. 波及効果</p> <p>基礎研究により技術的基盤を形成する過程において、研究の初期から海外の基準作成に影響のある研究者と一緒に考察・評価することにより、日本が国際標準の場に出遅れることなく、むしろ初めから同じ考え方に基づいた国際標準提案や国内基準整備等が行えるような研究体制とすることにより、結果として日本にとって技術的に有利になる産業界展開が可能となる。</p> <p>また、研究成果の普及や定着のために若手技術者を対象としたセミナーを定期的に開催するなど、人材育成や本技術分野の基礎・基盤技術の底上げを図り、近い将来、文字通り産業界で活躍する戦力となる技術者育成にも活用反映させている。</p>

V. まとめ	<p>本事業は、概ね当初計画通りに推進中であるが、2015年FCV普及開始に向けた産業界から水素関連機器の低コスト化、水素中で使用される材料に関するデータ取得・提供等のニーズが高まってきたため、追加公募等により体制を見直し、状況変化に対応している。</p> <p>(1)高圧水素環境(100MPa)での材料や部品の評価方法を確立し、高温高圧条件の状態方程式等について高精度の推算式を作成した結果、新しいコンセプトに基づいた物性推算機能付きデータベースシステムを完成。産業界へのデータ提供が可能となりつつある。</p> <p>(2)水素脆化に関する基本原理を確立し、FCV、インフラ関係者に水素エネルギー機器の設計思想を提示した。また高圧水素環境中における各種材料特性やトライボロジーなどに関するメカニズム解析を通じて、従来の加速試験では見落としていた知見を加えることが出来た。今後は、各種材料の長期サイクル使用等実使用条件を十分に考慮した材料特性把握(裏付けデータ取得を含む)・メカニズム解析を展開し、関係産業界が実際に活用しやすい使用方法や機器設計指針等を提供していくこととする。</p> <p>(3)2010NEDOロードマップにおける2020年普及時の水素ステーションコスト<1.5億円、自動車用水素容器コスト<数十万円の実現に向けて、基盤研究、材料データの提供等の貢献が期待される。</p>	
VI. 評価に関する事項	事前評価	平成17年度実施 担当部 燃料電池・水素技術開発部
	中間評価	平成20年度7月 中間評価結果反映
	中間評価	平成22年度9月 中間評価結果反映
VII. 基本計画に関する事項	作成時期	平成18年2月作成
	変更履歴	平成20年3月改訂 平成20年6月改訂 平成22年3月改訂 平成23年7月改訂

技術分野全体での位置づけ

(分科会資料6-1より抜粋)

公開

I. 事業の位置付け・必要性

【日本のエネルギー政策①】

「燃料電池」はエネルギー政策上、**重要な技術分野**と位置付けられている。

新・国家エネルギー戦略	2006年5月	燃料電池を基幹技術として位置付け。石炭ガス化燃料電池複合発電を総合資源戦略として位置付け。
Cool-Earth エネルギー革新技術計画	2008年3月	燃料電池をCO2排出量の大幅削減を可能とする革新技術として選定。
環境エネルギー技術革新計画	2008年5月	燃料電池を低炭素社会実現に必要な技術と位置づけ。
低炭素社会づくり行動計画	2008年7月	2020～2030年に定置用燃料電池を本格普及を目指す。
エネルギー基本計画	2010年6月	低コスト化を進めて、燃料電池普及による天然ガスシフトを推進。
新成長戦略	2010年6月	日本がイニシアティブを取り、国際標準化を推進。
日本再生戦略	2012年7月	燃料電池自動車などの次世代自動車について世界市場を獲得するため、他国を圧倒する性能・品質を実現し、世界的な潜在市場の掘り起こしを図る。

事業原簿 1-1
p.1/20

公開

I. 事業の位置付け・必要性

【研究開発政策上の位置づけ】

本事業は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。

「エネルギーイノベーションプログラム」

- ・資源の乏しい我が国は、革新的なエネルギー技術の開発、導入普及により、次世代型のエネルギー利用社会の構築が不可欠。
- ・政府が長期を見据えた技術進展の方向性を示し、官民が共有することで長期にわたり輪のぶれない取組の実施が可能。

エネルギーイノベーションプログラムの5つの柱

- ①総合エネルギー効率の向上
- ②運輸部門の燃料多様化
- ③新エネルギー等の開発・導入促進
- ④原子力等利用の促進とその大前提となる安全の確保
- ⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

本事業は、**燃料電池自動車の導入や水素インフラストラクチャーの整備を行う上で必要な水素物性、水素環境化での材料特性に関わる基礎研究の進展**を目標としており、上記①②③⑤の**目標達成**に寄与する。

事業原簿 1-1
p.2/20

I. 事業の位置付け・必要性

【日本のエネルギー政策②】

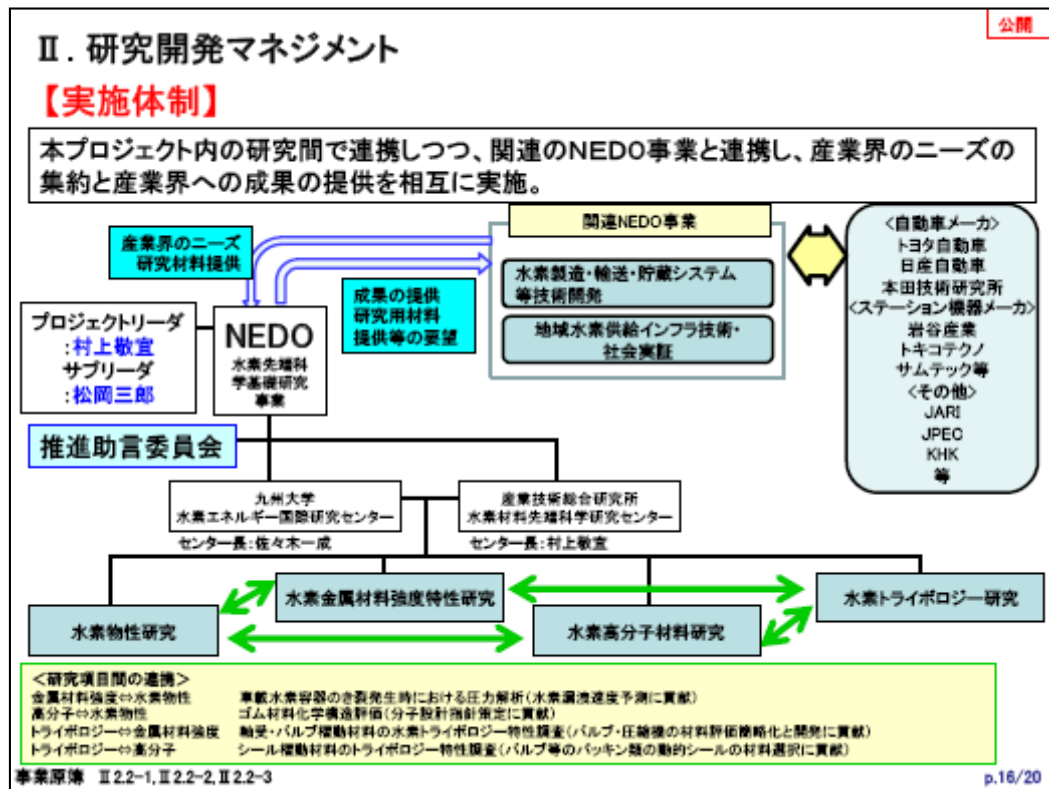
燃料電池自動車(FCV)、定置用燃料電池、水素製造・輸送・貯蔵技術を、**長期的、重点的に取り組むべきエネルギー革新技術**に選定。

— 重点的に取り組むべきエネルギー革新技術 —



「水素先端科学基礎研究事業」

全体の研究開発実施体制



「水素先端科学基礎研究事業」(事後評価)

評価概要(案)

1. 総論

1) 総合評価

本事業は、燃料電池自動車の導入や水素インフラストラクチャーの整備を行う上で必要な、水素物性、水素環境下での材料特性に係わる幅広い研究を行っており、我が国のみならず世界にとっても重要な事業である。産業技術総合研究所と九州大学が中心となり、世界レベルの水素関連研究拠点を構築し、基礎研究だけでなく、企業との応用研究も進めている。中間評価以降、基盤研究と開発がうまくかみ合って進んでおり、目標は概ね達成されている。また、各研究課題で、データベースの整備・拡充を取り上げ、従来の知識と新しい成果を整理し、今後の研究開発、実用化に必要な情報にアクセスできるようにした点は高く評価できる。チーム間連携の成果も目に見える形で現れており、拠点を設置しての集中的な事業展開の結果として、十分なシナジー効果が見られた。

一方、環境の変化により研究成果には水素の安全性確保と低コスト化の課題を同時に解決する方向性が求められている。特に、材料の水素脆化のメカニズムはより多面的に解明されるべき残された課題である。また、高圧水素燃料を利用した水素ロケット開発で経験した技術課題も参考にして、技術的難易度のリスク評価や安全管理のマトリックス評価を真摯に行い、今後の技術展開に反映させることを望む。現在参画しているメンバーは、国内水素研究を推進している研究者、技術者の中で、主要なメンバーではあるものの、日本全体から見ればその一部であり、今後、広くメンバーを糾合し、より一層の駆動力でもって事業を推進するならば、名実ともに世界をリードしていくことが可能になると考える。

2) 今後に対する提言

2015年に向けた実用化研究・開発の加速が必要であることは自明であり、今後も安全・安心な水素エネルギー社会実現に向けた研究開発の継続が望まれる。世界的に見ても類い希な優れた研究施設と設備がほぼ整えられた現在、これが我が国の水素材料研究の一つの研究・教育拠点として、今後も有効に機能するよう、国やNEDOは施策を講じるべきである。また、拠点内の情報交換はもちろんのこと、国内外の関係者との議論をより活発に行うことにより、情報発信の発展と拠点内の研究開発レベルの向上が必要である。

水素の実用に向け、性能（安全性、耐久性、効率、など）を低下させることなくコスト削減を果たすための一つはオーバースペックを排除することであり、これを実現するためにも、より使いやすいデータベース利用環境を整備すること、およびデータ蓄積を継続することが必要である。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

水素社会に向けた水素輸送および貯蔵技術開発は、国内外問わず緊要かつ公共性の高い事業である。これを進めるには、水素の基礎物性や水素機器に使用する材料を、安全・安心の観点から基礎的に調べる必要がある。更に、単なる材料特性の評価にとどまらず、水素利用技術に関連する情報をいくつかのデータベースの形でまとめ、利用しようとする事は、民間単独では取り組みがたい公共性の高い課題であり、NEDOの関与はきわめて妥当である。

また、世界的にも計測実績のない高圧水素物性を正確に測定することや、高圧水素環境下における各種材料特性を調べることは、水素関連分野の我が国の研究基盤を強め、国際競争力を高める。併せて、国際貢献にも繋がり事業目的としても妥当である。

2) 研究開発マネジメントについて

研究開発目標は具体的な根拠に基づいた定量値が設定されており、高圧水素物性データの採取と整理、水素脆化メカニズムの解明、あるいは水素トライボロジー特性の基礎データの蓄積などは、いずれも水素の安全利用のために妥当である。特に資金を重点配分し、九州大学に集中的に施設、設備を整備したことは、効率的な運用と研究の進展に貢献した。研究開発のチーム構成もやや分野の偏りが見られるものの、個々の基礎研究力・開発力・技術力も高く、プロジェクトリーダーの下、九州大学および産業技術総合研究所が中心となって、全体のプロジェクトをコントロールする研究体制が整っていた。高圧水素インフラ整備に必要な要素を4本の柱として整理・運営し、企業参加もあつて材料開発などがタイムリーになされており、マネジメントは良好であった。また、水素ステーション設置費用の低コスト化などの社会情勢の変化、要望に機敏に対応している。

一方、基礎研究にも力点を置くということから考えると、より多様な分野や組織から人材が参画してもよかった。また、本プロジェクトで整備した設備や試験機を将来にわたり維持管理して、広く、産業界にも利用できる環境を整備することが肝要である。そのためには、本プロジェクト終了後の設備維持管理や専門的技術者の確保等を継続的に行う必要がある。

3) 研究開発成果について

水素の物性、材料、トライボロジーに関して集中して研究を行い、水素関連の世界的な研究拠点を作り上げたことが第一の成果である。本事業における最大の目標は高圧水素ガス環境下で接ガス機器を安全に使用するための指針を示すことにあるが、個々の研究テーマも、また全体としてもおおむね目標を達成しているか、達成予定である。成果は論文、特許、データベース、研究会やフォーラムの形でそれぞれ適切に公開されており、多くの世界初の貴重なデータが提供されている。国際標準化のイニシアチブを取るための取り組みも高く評価できる。

しかしながら、水素脆化現象の機構解明という点では、水素脆化のモデルを提案するレベルに留まっており、そのモデルを検証するための詳細観察や解析が不十分である。また、安全性を確保して運用するためのより実用的な利用方法の提案についても、種々の材料のデータベースの提示だけでは十分とは言えない。

4) 実用化の見通しについて

データベースの提供や水素関連の各種根本メカニズムの提示が具体的な出口イメージとして設定されており、そこに至るまでのマイルストーンや、達成への見通しも立っている。特に、産業界からの参画を重視している点は高く評価でき、一定の成果を挙げており、今後も産業界への波及が期待できる。また、企業で採取することができないデータを提供するなど貴重な技術データの集積は、高圧ガスに係る安全システムに役立つことが期待でき、例えば、国内の高圧ガス取扱に係る規則等の内容の正確性・充実化に向けての働きに大きく貢献している。特に安全性の高い設計技術の構築には、要素研究の成果が大きく貢献することが期待できる。さらに、水素分野の人材育成にも貢献している。

しかしながら、技術的な波及効果を期待するためには、基本原理の解明や普遍的なデータベースの構築が必要であるが、水素脆化については両者ともに満足できるレベルではない。また、高圧機器などで使用したい低合金鋼などの安全利用に関する具体的な成果も十分とは言えない。

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
高圧水素物性の基礎研究	<p>十分に考慮され作成された計画の下、系統的なデータ収集が行われ、世界初の高温高圧水素の高精度データベースを構築したことは、大きな成果である。また、データ獲得時に測定手法の問題点を明確にし、適切な改良が加えられていることも特筆すべきである。高精度水素状態方程式の確立や水素物性データベースの構築および公開は、閲覧を許可した企業等に対し、DVD 及びWEB等の電子媒体によって実施されており、成果の普及の面でも高く評価できる。水素ステーションにおけるシビアアクシデントなどの災害想定を実施するために有用なデータであり、その意義は大きい。</p> <p>ただし、データベースの充実と</p>	<p>本要素研究で得られた高精度な水素物性データベースを産業界に提供することが出口イメージとして明確に設定され、系統的に構築されたデータベースであり、利用者にとって使いやすく、柔軟に対応できる仕組みができていることは高く評価できる。これらの基礎データは、高圧水素容器からの水素漏洩量の推定等に活かされ、高圧水素容器の規格のための技術情報として活用されている。また、水素ステーション関連機器、FCV 関連機器の開発に有効なだけに留まらず、分析・測定機器、新材料などの開発にも波及効果が期待できる。</p> <p>また、物性研究であることから、特許や実用化とはなじまないが、高分子材料、トライボロジー</p>	<p>物性データの収集は、基礎的・基盤的研究として極めて重要であり、今後、予算削減により中止された比熱の測定や、不純物に対する物性値の敏感性などの知見の追加が必要である。</p> <p>将来的には、高圧・高温水素ガスの熱物性値のデータベースを、水素発電所など、再生可能な水素エネルギー技術の開発に必要な熱物性データベースや、水素に関連する化学プラントの安全管理情報を得て、水素を含む有機ガスへの熱物性データベースへの拡張も産業界に対して有益な貢献になる。</p>

	<p>利用法の拡大については、公開の方法を含めてさらに検討する必要がある。また、実用を考えると一般的には、不純物が入る場合を考えるのが自然であり、不純物に対する各データの敏感性に対する知見が加われば、さらに安心して使用できるものになる。</p>	<p>との連携が見られた点があることも評価できる。</p>	
<p>高圧化状態における金属材料等に係る水素脆化の基本原理の解明及び長期使用及び加工、温度などの影響による材料強度特性研究</p>	<p>高圧水素環境下での水素脆性化メカニズムや水素疲労メカニズムの解明に向け、高圧水素機器の各種構造材料の評価を中心に研究が実施され、多くの技術情報を得ることができ、水素用高圧構造材料の安全管理設計に大きな貢献ができたと評価できる。また、従来の水素脆性化メカニズムに新たな知見を提供し、各種の水素脆性・水素疲労の材料評価データを得るとともに、高圧水素環境下での安全限界を見極める破壊メカニズムの検討を進め、設計理念の高度化に大きく貢献した。水</p>	<p>水素構造材料データベースや関連資料を提供しており、成果の実用化に取り組んでいる。この外、水素機器に使われる金属材料の強度評価、部品・接合部材の強度評価あるいは事例解析なども行っており、成果の産業界への波及効果は大きい。また、特認申請のデータとなるなど、新たな基準、規制見直しにも波及しており、実用面での成果も上がっている。</p> <p>一方、このような先導的プロジェクトで得られた成果は我が国の貴重な知的財産であり、国としての先端技術のデータベースの</p>	<p>水素脆化の基本原理の解明が確実になされたのか（他の可能性が完全に否定されたか）どうかについて、示された結果だけから判断するのは難しい。実証を伴った優れた研究であるといえるが、学界ではいくつかの説が提案され議論が継続している状況であることから、水素脆化を評価する材料（たとばステンレス鋼の Ni 当量）、温度、歪速度など、水素脆化機構の解明に役立つ系統的なデータを採取し、事業を通じて解明されたメカニズムと、これまでに提案されているメカニズムと</p>

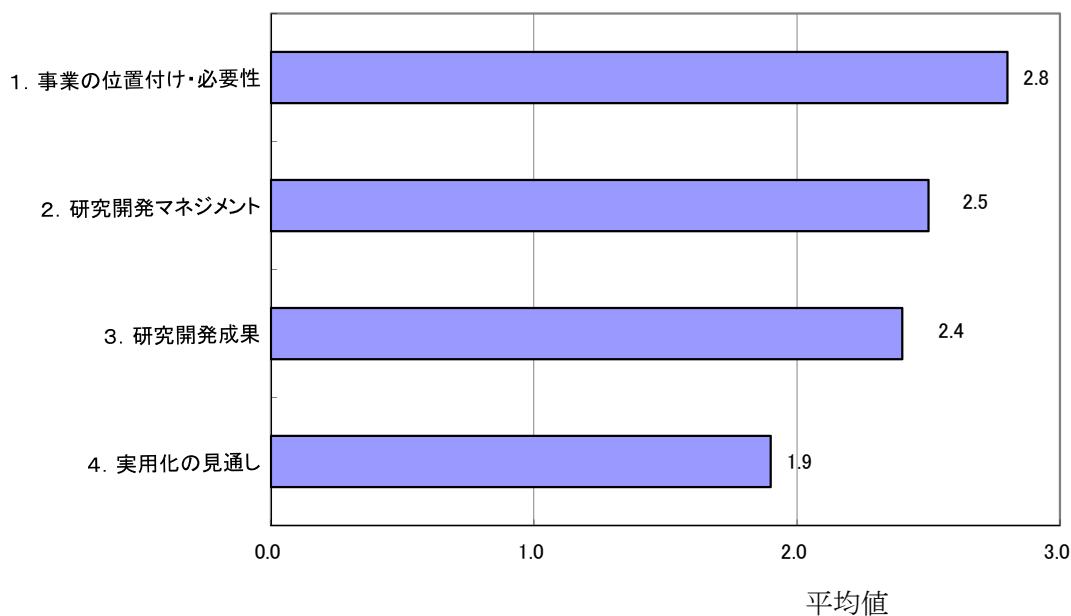
	<p>素用構造材料データベースの整理は、材料選定、機器設計において重要であり、実用性の上でも高く評価できる。企業との連携研究も積極的に行われ、基礎的知見を応用へとつなげていく意思が感じられる。特許、論文なども相当数あり、活発な研究が行われたことを高く評価する。</p> <p>一方、鉄鋼協会などで公表されている水素脆化メカニズムの研究とは異なった見解が見受けられる。これらの研究機関との意見交換や、国内外で得られつつある水素と転位の相互作用や水素と原子空孔との相互作用など、水素脆化機構解明に関係する多くの知見も参照し、統一した見解となるような活動を期待する。</p>	<p>公開の指針を明確にすることが肝要である。</p>	<p>の違いや、これまでの理論では説明できない実験事実などを具体的に系統立てて説明し、基礎研究分野での成果を明確にしていくことが必要である。</p> <p>また、高圧継手からの水素の漏えいを防ぐには、溶接施工が望まれるため、溶接・熱処理等に対する継続した研究や、水素用材料強度評価における加工条件や加工表面の影響評価に係る研究も今後必要であろう。</p>
<p>高圧化状態における高分子材料等の長期使用及び加工、温度など</p>	<p>一部進行中のデータベース構築を除き実施目標がほぼ達成されている。高圧水素ガスシール用ゴム・水素機器用各種樹脂材料は</p>	<p>ゴム材料の水素ブリスタ発生メカニズムの検討や水素溶解状態の評価、また水素暴露によるゴム材料の強度・構造劣化の評価</p>	<p>高圧水素環境下で使用できるシール部の設計技術は、その特異性のため、未知な研究分野である。材料評価やシールシステム評</p>

<p>の影響による材料強度特性研究</p>	<p>水素機器を支えるキーマテリアルであるが、水素侵入や高圧水素との反応については系統的な研究が少なく、ブリスタや内部クラックの発生を観察してその発生機構の提案や、劣化しにくい樹脂の提案など、実用的な成果が出されており、評価できる。また、これらのデータは随時論文や研究会での発表を通じて公開されている。これらのデータのデータベース化も進んでおり、成果の普及という点でも評価できる。産業界との連携協力を得て、企業との共同研究を主体とする研究方針は、短期的にも効率的に貴重な成果を得たことは特筆すべきことである。</p> <p>一方、現象論的な説明や解釈が多く、例えば、ゴム材料への水素溶解状態に2種類の存在状態があることが突きとめたが、それがどのように分子設計に応用でき</p>	<p>は、直接、高圧水素ガスを取り扱う安全管理システムに大きく貢献できる、新たな知見や技術情報を得ることができた。49種ものゴム材料のデータベースを作成し、取得した強度データを産業界における水素機器開発へ提供もしている。また、開発した材料の実機への適用や、水素耐久性材料の設計指針の策定など、研究成果は関連分野に波及し、実用化に向けて着実な進展が見られる。</p> <p>継ぎ手部のシール要素は、多岐にわたるシールシステムを有しており、マトリックス評価して、共通する重要な研究課題を抽出して評価することが重要である。この分野は奥が深いと考えられるので、実験のみならず理論的な検討も充実させて欲しい。また、高分子材料の高温・低温環境では、シールリングの表面に塗布するグリスの影響等も含め、安全管</p>	<p>価、トライボロジー評価を含めた広い範囲の研究推進が今後の課題である。高分子材料の水素耐性の機構の分子レベルでの解明を期待したい。また、Oリングの水素暴露による破壊は、ブリスタによる破壊のみならず、膨潤に起因するはみ出し破壊、座屈破壊もあり、水素シール材の設計は容易ではないが、この難しさを克服して、有用なデータベースを作成し、設計指針をまとめ上げることにより、水素機器用高圧水素シール材の標準仕様の作成を期待する。その際、水素ステーションでは、プレクール設備の導入により、-40℃以下の低温域での使用が予定されているため、この温度域での研究の成果も急がれる。</p>
-----------------------	--	--	--

	<p>るのか具体性に欠いている。</p>	<p>理上、必要となる技術課題に対応する研究体制の構築も今後必要となるであろう。</p>	
<p>高圧水素のトライボロジーの解明</p>	<p>高圧水素中での摩擦・摩耗を系統的に調べ、この現象が表面酸化物膜、水素中の水分、酸素および温度などに影響されることを明らかにし、いくつかの金属および樹脂材料の特性から使用の適否を明らかにした。水素が関与するトライボロジーを体系的に整理したデータは世界的にも貴重であり、関連機器の使用上の安全性の確保に資するものは大きい。最終的にデータベース（トライボアトラス）の構築を目指しており、標準化・成果の普及という点でも評価できる。また、民間企業との連携を積極的に進めており、シンポジウム、国際会議や技術展で情報発信をしていることも成果の普及という点で評価できる。</p> <p>一方、仮説の提案から検証、メ</p>	<p>摩擦・摩耗に表面の酸化物膜、水素中の不純物としての水分と酸素の影響が多きいことを明らかにし、耐水素トライボロジー設計指針の提案と水素トライボロジー特性データの整備を通して産業界へ有用な情報を提供している。これらの成果は、摺動部を持つ機器開発に、大いに貢献可能であろう。</p> <p>しかしながら、実用化段階となり本格的に水素インフラが稼動する時に混乱しないためには、今の時期に問題点を徹底的に抽出し対策を考えておくことが大切である。今後この学問領域が発展することが安全で効率的な水素インフラを構築する上で必要と考える。</p>	<p>これまでに有用な実験データが得られているが、系統的な部分が見えにくく、全体として散漫な印象を受ける。今後、理論的な検討を進め、水素トライボロジーの体系化を期待する。また、水分量が少ない場合に水素吸着膜が潤滑作用を持つとしているが、表面科学者も含めたより広い研究者による議論がなされることも期待する。今回は、水分についてその影響を解析しているが、水素ガス中のその他の不純物、パーティクルの影響も把握する必要がある。</p> <p>水素などの特殊環境で使用する固体潤滑剤の技術評価に係る研究は、海外においても、将来の水素エネルギー技術の発展に向けて、先進的な研究が行われてい</p>

	<p>カニズムの解明が目標の重要な点として挙げられているが、具体的な進捗状況を把握することができない。データベースが提示されているが、メカニズムの解明が十分でないため、系統だったデータの提示がなされておらず、データベースを利用する立場からすれば、使いにくい。また、固体潤滑軸受の水素中でのトライボロジー特性の評価などが不足しており、今後の研究課題である。</p>		<p>る。本研究においても JAXA 等の研究機関との研究協力で、水素トライボロジー技術研究の効率的推進が図れることを期待する。</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	A	A	A	A	B	B
1. 事業の位置付け・必要性について	2.8	A	A	A	A	A	A	B	B
2. 研究開発マネジメントについて	2.5	A	A	A	A	B	B	B	B
3. 研究開発成果について	2.4	A	A	A	B	B	B	A	C
4. 実用化の見通しについて	1.9	B	B	B	B	B	B	B	C

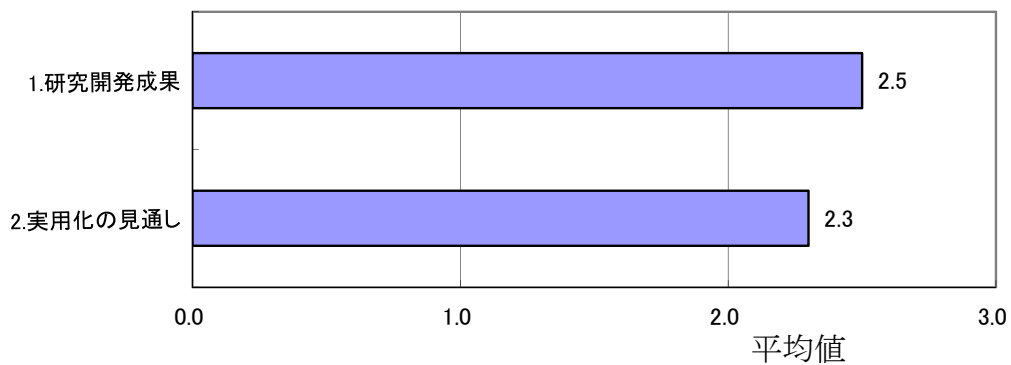
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

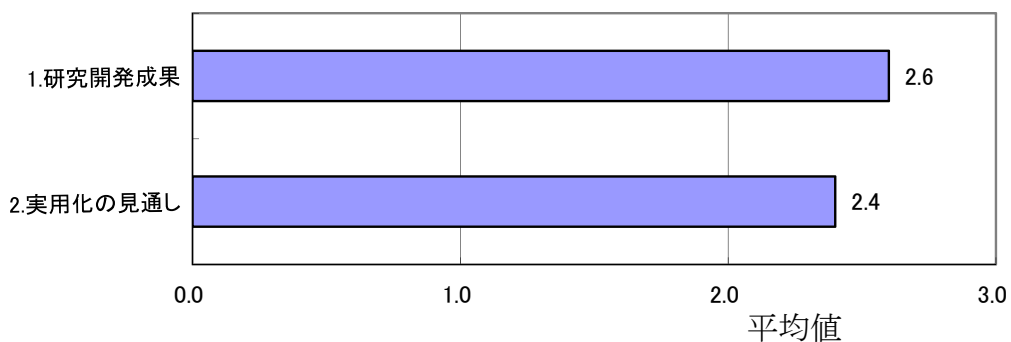
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

評点結果〔個別テーマ〕

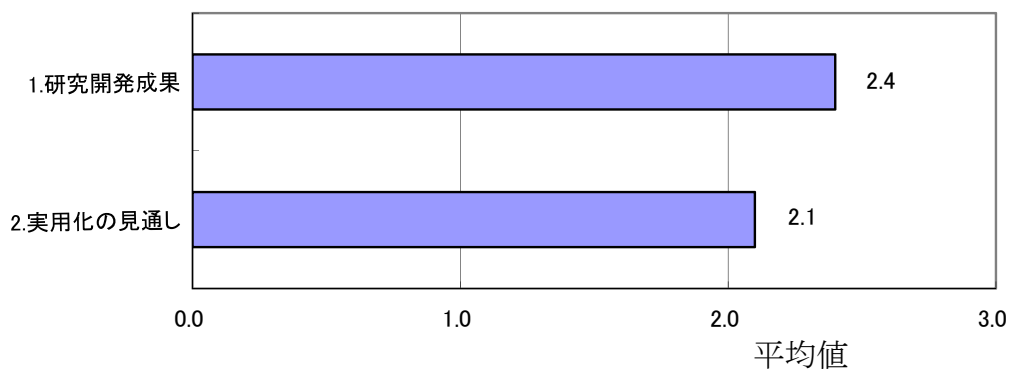
高圧水素物性の基礎



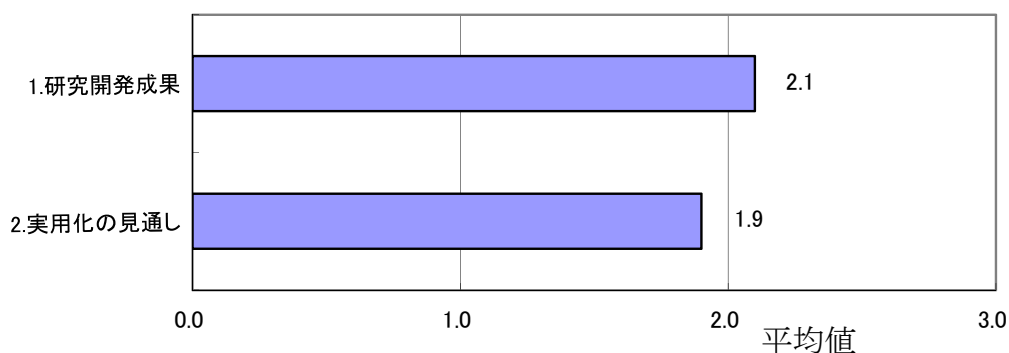
高圧化状態における金属材料等に係る水素脆化の基本原則の解明及び長期使用及び加工、温度などの影響による材料強度特性研究



高圧化状態における高分子材料等の長期使用及び加工、温度などの影響による材料強度特性研究



高圧水素のトライボロジーの解明



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)							
高圧水素物性の基礎									
1. 研究開発成果について	2.5	A	A	A	A	B	B	B	B
2. 実用化の見通しについて	2.3	B	A	A	A	B	B	B	C
高圧化状態における金属材料等に係る水素脆化の基本原理の解明及び長期使用及び加工、温度などの影響による材料強度特性研究									
1. 研究開発成果について	2.6	A	A	A	A	A	B	A	C
2. 実用化の見通しについて	2.4	A	B	A	A	B	B	A	C
高圧化状態における高分子材料等の長期使用及び加工、温度などの影響による材料強度特性研究									
1. 研究開発成果について	2.4	A	A	A	B	C	B	A	B
2. 実用化の見通しについて	2.1	B	A	B	B	C	B	A	B
高圧水素のトライボロジーの解明									
1. 研究開発成果について	2.1	B	A	A	B	C	B	B	B
2. 実用化の見通しについて	1.9	B	A	B	C	C	B	B	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