

「水素先端科学基礎研究事業」  
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） .....	1 2
評点結果 .....	2 4

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」(中間評価)

分科会委員名簿

(平成22年9月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	うちだ ひろひさ 内田 裕久	東海大学 工学部 原子力工学科 教授、 国際教育センター 所長、東海大学 理事
分科会長 代理	いちむら けんじ 市村 憲司	熊本大学 大学院自然科学研究科 複合新領域科学専攻 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
	おおの たかひさ 大野 隆央*	独立行政法人 物質・材料研究機構 計算科学センター セ ンター長、筑波大学 大学院数理物質科学研究科 教授
	おがた しげのぶ 尾方 成信	大阪大学 大学院基礎工学研究科 機能創成専攻 教授
	ほんだ くにあき 本田 国昭	株式会社 ガスアンドパワー 常勤監査役
	みのしま こうじ 箕島 弘二	大阪大学 大学院工学研究科 機械工学専攻 教授

敬称略、五十音順

注\*：実施者の一部と同一組織であるが、所属部署が異なるため（実施者：独立行政法人物質・材料研究機構 材料信頼性センター）「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成22年7月1日改正)」第34条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

## プロジェクト概要

		作成日	平成 22 年 8 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	P 0 6 0 2 6				
担当推進部/担当者	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、①高圧化した状態における水素物性の解明、②液化・高圧水素環境下における材料の水素脆化の基本原理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。また同結果を元に、水素環境下での長期使用に耐え得る材料、劣化評価方法、運用方法等の提案を行う。</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または液化した状態で輸送・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/液化水素環境下における金属材料等の水素脆化の基本原理解明及び対策検討 ③液化・高圧水素環境下での長期使用及び加工、温度等の影響による材料強度特性研究(金属材料) ④液化・高圧水素環境下での長期使用及び加工、温度等の影響による材料強度特性研究(高分子材料) ⑤高圧水素トライボロジーの解明 ⑥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</p>						
事業の計画内容	主な実施事項						
	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/液化水素環境下における金属材料等の水素脆化の基本原理解明及び対策検討	高圧水素中試験装置整備	水素環境下での疲労試験	試験品のミクロ、マクロ解析	材料の疲労寿命予測、データベース公開	

	③④液化・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			
	⑤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		高圧水素曝露材の摩擦試験		信頼性評価	データ公開	
	⑥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整備		実験担当者との連携、事前評価など支援	固体内拡散挙動解析	材料内水素と材料強度、疲労特性の相関解析		
	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		
	特別会計 高度化	1,666	1,632	1,750	1,696	1,000		
	総予算額	1,666	1,632	1,750	1,696	1,000		
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	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 国立大学法人京都大学 国立大学法人佐賀大学 国立大学法人長崎大学 学校法人上智学院 学校法人福岡大学 NOK株式会社						

<p>情勢変化への対応</p>	<p>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>このような情勢変化に対応するため、</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(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</li> <li>(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。</li> <li>(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。</li> <li>(4) 平成 21 年度より、「液化・高圧化状態における長期使用及び加工 (成形・溶接・表面修飾)、温度などの影響による材料強度特性研究」を担当する水素材料強度特性研究チーム (九州大) を、金属材料を担当する「水素材料強度特性研究チーム」と高分子材料を担当する「水素高分子材料研究チーム」に分け、それぞれ専門分野に特化して研究加速を図った。</li> <li>(5) 平成 22 年度より、産業技術総合研究所からの再委託先となっていた 5 大学、1 公的研究機関、1 民間企業を NEDO からの直接委託先に変更し、責任体制をより明確にするとともに情報の横通しを強化し、研究加速に繋げる。</li> <li>(6) 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 年度上期中に民間企業等実施者の公募を実施。</li> </ol>
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p><b>【研究開発の対象】</b> 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><b>研究開発項目①「高圧水素物性の基礎研究」</b> 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> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) PVT データの測定装置の開発および状態方程式の作成</li> <li>(2) 粘性係数の測定</li> <li>(3) 熱伝導率の測定</li> <li>(4) 水素ガスの種々の物質に対する溶解度の測定</li> <li>(5) 水素物性データベースの研究開発</li> <li>(6) 水素雰囲気における高沸点ガスの露点の測定</li> <li>(7) 比熱の測定</li> </ol> <p><b>【成果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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た(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)。</li> <li>・種々の物質に対する水素の溶解度、物質内拡散係数を測定するための NMR 装置を導入し、測定法を確立した。</li> <li>・さらに、水素雰囲気中の高沸点ガスの露点の計測システムを完成した。</li> <li>・100MPa、200℃(473K) までの条件下で水素の PVT 性質を始めて測定することに成功した。</li> <li>・熱伝導率に関して、非定常短細線法を高温高圧条件下の水素に初めて適用した。</li> </ul>

また、熱伝導率のパラ水素濃度依存性を定量的に高精度で測定した。なお本方法は熱伝導率と熱拡散率の同時測定が可能である。

- ・ 100MPa、200°C (473K) までの条件下の PVT 性質、粘性係数、熱伝導率を測定し、実測データをもとにした PVT 性質の状態方程式および粘性係数と熱伝導率のそれぞれについて高精度の推算式を作成した。
- ・ 全く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 (All in 1 CD) の骨格を完成し、本プロジェクトで収集されたデータに基づいてデータベースの拡充を行った。また、プロセス設計に使える熱物性値推算ツールとしての MS-EXCEL 版水素物性ライブラリを完成した。
- ・ 完成した MS-Excel 用水素物性推算アドインライブラリには、水素物性値計算用の既存の推算式と本実測を基にして得られたビリアル状態方程式および粘性係数と熱伝導率のそれぞれの推算式が関数として組み込まれている。

#### **研究開発項目②「高圧／液化水素環境下における金属材料等の水素脆化の基本原則の解明及び対策検討」**

#### **研究開発項目③「液化・高圧水素環境下での長期使用及び加工(成形・溶接・表面修飾)、温度などの影響による材料強度特性研究(金属材料)」**

②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。

- (1) ナノ・メゾレベルにおける強度・変形過程の解明
- (2) 高圧ガス水素下及び液体水素下における疲労き裂発生と伝ば機構の解明
- (3) 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
- (4) 高圧ガス水素下及び液体水素下における疲労き裂発生・進展メカニズムの解明
- (5) 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

③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金属材料の強度評価
- (2) 水素機器の設計・製造における部品・接合部材の強度評価
- (3) 材料強度に及ぼす水素の影響に関する研究状況調査
- (4) 材料中の侵入水素の存在状態解析
- (5) 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
- (6) 材料中の疲労き裂先端の水素状態の調査
- (7) 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

#### **【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。
- ・ オーステナイト系ステンレス鋼の疲労き裂進展特性において、荷重負荷速度の重要性、製造に侵入した 2~3 mass ppm の微量水素の影響、過飽和水素による水素脆化とは逆の水素の影響に関する特異な現象を発見した。
- ・ 微細組織の制御により耐水素疲労炭素鋼の創製の可能性を見出した。
- ・ 120MPa 高圧水素ガス中疲労試験機を世界で初めて稼働させた。
- ・ オーステナイト系ステンレス鋼溶接部の疲労強度は、0.6MPa 水素ガスにより低下しないことを明らかにし、水素機器での溶接の適用可能性を見出した。
- ・ オーステナイト系ステンレス鋼、低合金鋼、炭素鋼、アルミ合金に関する HYDROGENIUS 水素構造材料データベースを構築している。
- ・ 外部の関係機関と協力し、実証試験が終了した蓄圧器の調査や水素漏れを起こした水素ガス圧力センサーの破損解析を行い、それらの水素エネルギー機器の高性能化に関する指針を提供した。

#### 研究開発項目④「液化・高圧水素環境下での長期使用及び加工(成形・溶接・表面修飾)、温度などの影響による材料強度特性研究(高分子材料)」

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

#### 【成果】

- ・高圧水素曝露によるゴム材料のブリスタ発生メカニズムを明確にし、ブリスタへの耐性に優れたゴム材料の設計指針として、高いブリスタ発生内圧を示し、かつ水素溶解量が小さいゴム材料が望ましいことがわかった。
- ・ゴム材料の水素曝露前後のIR、ラマン、NMRスペクトルを比較した結果、いずれもスペクトルに変化はなく、ゴム素材の化学的な構造変化は生じていないことがわかった。
- ・水素曝露直後のゴム材料の固体<sup>1</sup>H-NMRを測定した結果、分子運動性の異なる2種類の水素分子が検出され、ピーク面積比から水素溶解量を算出した結果、昇温脱離ガス分析法により測定した水素溶解量と良く一致した。
- ・Oリングの評価のため、高圧水素耐久試験機を開発し、高圧水素シール用Oリングについて、産業界のユーザー側の使用条件を勘案した制御因子を選定しL18直交実験を実施した結果、Oリングの破断強度低下に対して、材料、温度、充填率、減圧時間の影響が大きいことが判明した。
- ・Oリングの破壊モードとして、ブリスタ破壊の他、はみ出しおよび座屈による破壊が発生していることが判明した。はみ出し、座屈による破壊の原因は水素溶解によるゴム材料の膨潤に伴う体積増加であることが示唆された。

#### 研究開発項目⑤「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。
- ・常圧水素中での摩擦試験におけるガス中の水分量の設定を可能にし、軸受・バルブ・シール材料の基礎トライボロジー特性データを蓄積した。また産業界と連携して実用材料のデータを蓄積した。
  - ・金属の摩擦試験により、固体表面への水素の吸着、水素化物形成、微量水分、酸素による酸化反応が摩擦摩耗に影響していることを明らかにした。
  - ・高圧水素に曝露された鋼材表面の分析により、酸化膜の減少、表面硬度の上昇、炭素の析出などの知見を得た。
  - ・転がり疲れ寿命に及ぼす雰囲気としゅう動条件の影響とそれらの水素侵入への影響を明らかにした。
  - ・PTFEの摩耗について、相手面粗さの影響、転移膜形成の影響、相手面の高圧水素への曝露の影響を明らかにした。
  - ・高圧水素中(40MPa、373Kまで)摩擦試験技術を確立し、軸受鋼やPTFEの高圧中の摩擦摩耗特性を明らかにした。
  - ・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。

### 研究開発項目⑥「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」

本研究では、低圧から高圧までの水素環境でのシミュレーション技術を確立すること、および統合シミュレータの整備を実施した。

- (1) 破壊評価機能を持つ弾塑性解析シミュレーション
- (2) 材料内の水素拡散シミュレーション
- (3) 材料強度解析用の大規模分子動力学シミュレータの開発及び解析
- (4) 分子動力学法に用いる原子間ポテンシャルの調査及び分子動力学解析シミュレータによる解析
- (5) 第一原理計算結果に基づいた原子間ポテンシャルの開発
- (6) 転位と水素の干渉効果の推定
- (7) き裂先端応力場と水素拡散の連成現象に関する解析
- (8) 水素デバイス等の安全設計シミュレーション
- (9) 原子シミュレーションによる欠陥と水素の相互作用に関する解析
- (10) 原子シミュレーションによる HELP モデルの検証

#### 【成果】

水素脆化メカニズムについては、まだ明らかになっていないが、材料強度特性研究等との連携を行い、水素拡散など水素挙動シミュレーション研究を実施している。

- Wen らのポテンシャルを用いて、単調負荷を受ける  $\alpha$  鉄のき裂進展解析を分子動力学法を用いて行い、水素によるき裂進展促進効果があるという成果を得た。
- 水素脆化が問題になるような低水素濃度環境下で生じる転位の易動度の増加は、転位の運動障壁の減少によることを明らかにした。
- 一方向強化/等角斜交積層板として FRP をモデル化し、FRP 層ごとに異なる繊維巻き付け手法の設定、自緊処理の考慮、数千万自由度規模の有限要素解析が可能となり、材料チームへの研究協力を通して産業界への貢献が可能になった。
- EBSD で測定された情報を用いて結晶構造が異なるマルテンサイトとオーステナイトが混在する平板モデルの水素拡散解析を行った結果、当初は初期段階のみであった拡散現象の再現性が、時間が経過した後の各相の飽和状況まで再現できるようになった。

特許	出願中 [国内] 9 件 [外国] 35 件
投稿論文	[査読有り] 119 件 [査読無し] 1 件
その他	発表件数 383 件 受賞実績 17 件 ※いずれも平成 21 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（別紙IV-2参照）。2010年に予定される「商用水素ステーションの仕様決定」、「高圧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。さらに本事業の完了する2012年には、金属材料評価法の技術標準発行が予定されており、資するデータ取得に関して本事業に期待される部分は大きい。また、随時最新の高圧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疲労特性を明らかにし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&lt;1.5億円、自動車用水素容器コスト&lt;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
VII. 基本計画に関する	作成時期	平成18年2月作成

事項	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
----	------	---

# 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

【研究開発政策上の位置づけ】

### エネルギーイノベーションプログラム

【5つの政策の柱】 III, V に寄与

- I. 総合エネルギー効率の向上
- II. 運輸部門の燃料多様化

#### III. 新エネルギー等の開発・導入促進

達成目標: 太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーの技術開発や燃料電池など革新的なエネルギー高度利用を促進することにより、新エネルギー等の自立的な普及を目指すことで、エネルギー源の多様化及び地球温暖化対策に貢献する。

III-v. 燃料電池

- (7) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発
- (8) 水素貯蔵材料先端科学基盤研究事業

#### (9) 水素先端科学基礎研究事業

2012年度までに、水素脆化、水素トライボロジーの基本原理の解明及び対策の検討等を行い、水素をより安全・簡便に利用するための技術指針を産業界に提供する。

IV. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

事業原簿 I-1

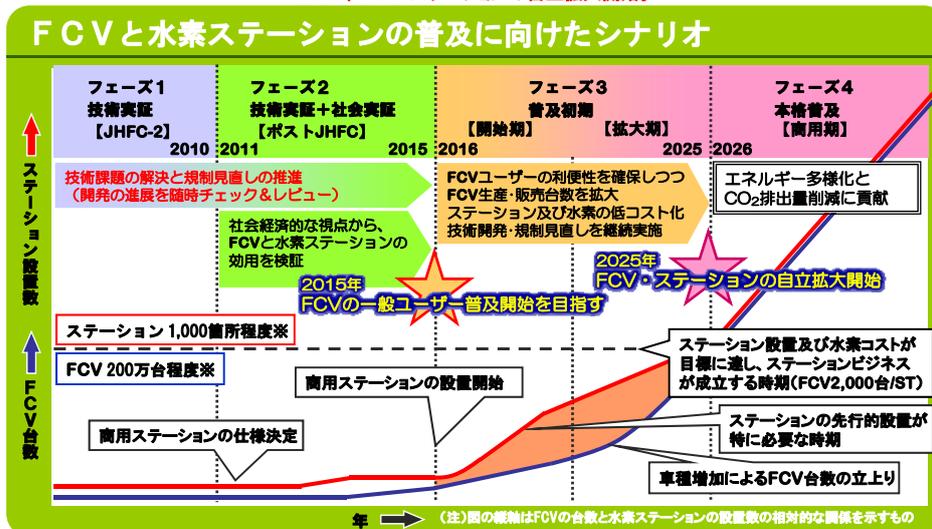
p.3/23

公開

## I. 事業の位置付け・必要性

【燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)の新シナリオ(H20.3月)における位置付け】

普及開始に向けた合意の形成: 2015年 FCVの一般ユーザー普及開始を目指す。  
2025年 FCV・ステーションの自立拡大開始。



事業原簿 I-2, I-6

※前提条件: FCVユーザーのメリット(価格・利便性等)が確保されて、順調に普及が進んだ場合

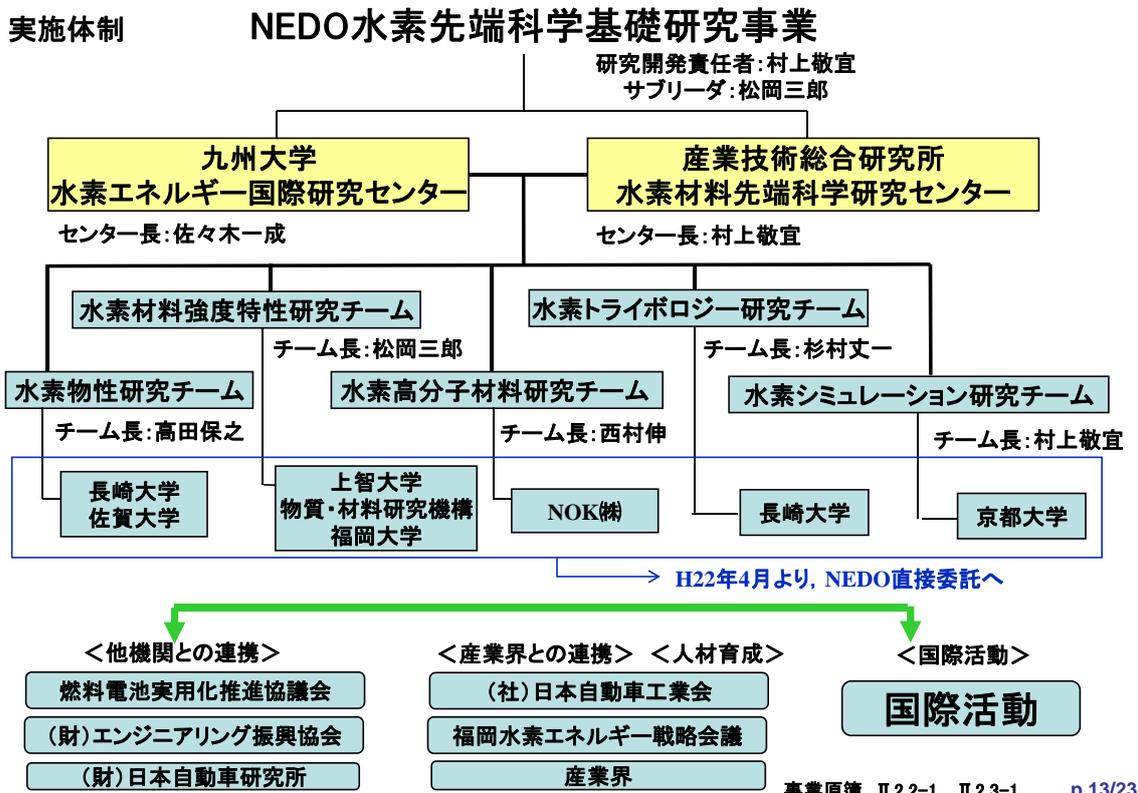
p.4/23

「水素先端科学基礎研究事業」

全体の研究開発実施体制

II. 研究開発マネジメント

公開



## 「水素先端科学基礎研究事業」(中間評価)

### 評価概要(案)

#### 1. 総論

##### 1) 総合評価

エネルギー資源を殆ど持たない日本にとって、付加価値の高い独自のエネルギー技術および関連技術を開発することは不可欠である。本プロジェクトは、エネルギーイノベーションプログラム達成を目的として、今後の水素社会における機器の安全性確保に資する重要な知見・技術基盤を開発し、我国の水素社会実現に至る基礎的な技術力を高めるもので、国家的・世界的エネルギー戦略にとって、重要な事業である。民間では実施が困難なこのような公共性の高い基礎基盤研究を実施することはNEDO事業として意義がある。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る。水素基盤社会に重要な基礎と実用分野を見据えた研究成果を挙げており、中間目標は概ね達成している。最終目標に対しても現時点で達成するための素地があり、達成までの具体的な筋道が示されている。

しかしながら、水素の周辺材料となる部分の基礎研究成果は出ているが、成果が実用的なレベルへと近づいているかどうか明確には視えない。そして、個別に細分化されたテーマの成果が実用化にどのように結びついていくのか、その道筋があいまいである等の問題点がある。また、研究開発テーマ間の連携が必ずしも明確でない。実用化の観点から各テーマの必要性、関連性を整理し、テーマ間の連携関係をより明確にすることが必要である。今後、成果をもっと広く公開し、より広い分野の研究者、専門家から批評を受ける必要もある。

##### 2) 今後に対する提言

今後、産業界全体の効率的な技術開発にどう繋がるかというアウトカムの視点をより具体的に明確にすることが、本事業の成功の鍵となると考える。その時、NEDOの他の水素関連事業との連携と情報交換を密接にして、水素社会実現における問題点、重要なポイントを洗い出し、事業の目標を再検討すべきである。その際、さらなるテーマ間の連携によるシナジー効果が発揮されることを望む。また、水素ガス環境下における機器の信頼性確保に資する具体的、かつ損傷機構などのメカニズムに基づいた根拠のある提言や設計時の基本的な考

え方を取り纏め、現在の規制や規格の問題点を明確にして、国際規格制定をリードするように研究・開発を実施することが望まれる。

一方、国内外の権威ある学会で研究成果を積極的にアピールすべきである。このことは、情報を集める意味においても効果がある。また、NEDO プロジェクトは効果的に機能する産学官連携モデルとして世界から注目されているので、広報においても日本語のみならず、英文による活動報告をもっと行うべきである。

また、実施者は意識して、国際協調と国際競争の二面性という戦略を理解し、プロジェクトを推進していただきたい。NEDO は、知財とノウハウの管理、その後の利用方法について十分に準備をすべきである。

多額の投資が行われた本プロジェクトの施設は、プロジェクト終了後も、国内の水素関係の共同研究センターとして、人材育成も含めて機能させるように国や NEDO は計画し、実施すべきである。

## 2. 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

本プロジェクトは、エネルギーイノベーションプログラム達成を目的として、今後の水素社会における機器の安全性確保に資する重要な知見・技術基盤を開発し、我国の水素社会実現に至る基礎的な技術力を高めるもので、国家的・世界的エネルギー戦略にとって、重要な事業である。民間では実施が困難なこのような公共性の高い基礎基盤研究を実施することは NEDO 事業として意義がある。さらには、その成果を安全に使用できる水素高圧貯蔵容器を製造するなど実用化、商品化へ生かせることから、本プロジェクトの意義は大きい。なお、本プロジェクトの位置づけを、エネルギーイノベーションプログラムの5つ柱のすべてに寄与しうる重要なテーマであると認知されるように関係各所への働きかけが必要である。

今後、産業界全体の効率的な技術開発にどう繋がるかというアウトカムの視点をより具体的に明確にすることが、事業の成功の鍵となると考える。その時、NEDO の他の水素関連事業との連携関係も整理して、事業全体として一体感を持って実施することが肝要である。また、物性研究は水素を扱う技術上必要であるが、外に出せるデータと、出せないデータがあるということであり、公開できないデータの管理、必要時の利用方法など、国民に明確にすべきである。一方、国際競争の中で、その成果を国際標準とする努力を望みたい。さらに海外動向を知る上でも、著名な国際集会には積極的に出て行くべきである。

## 2) 研究開発マネジメントについて

高圧水素条件下の信頼性を確保して新たな機器開発を行う上で、最も重要な水素脆化による損傷が懸念される金属材料や高分子材料の材料強度特性やその機構、ならびにトライボロジー特性、さらに高圧水素物性など、水素社会における技術基盤のうちの焦眉の急となる課題に限定して実施しており、研究課題の設定は妥当である。研究開発のチーム構成に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、おおむね妥当である。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も整っている。

しかしながら、大きな目標を実現するために研究テーマが細分化されていき、細分化された中だけで研究が進められて全体感が見えにくくなっている傾向が見受けられる。また、研究開発テーマ間の連携が必ずしも明確でない。実用化の観点から各テーマの必要性、関連性を整理し、テーマ間の連携関係をより明確にすることが必要。さらには、本プロジェクトの中心となる鉄鋼材料の脆性破壊に関しては、脆性破壊を専門とする研究者が集まり、集中した議論ができる国内の学会、例えば日本金属学会、日本鉄鋼協会、国際集会等で成果を発表すべきである。徹底討論などを行い、研究体制を見直し、門戸を広げる手法もありうる選択である。多額な公的資金を投入した成果をもっと広報的にもさらすという義務的な視点からも重要である。

## 3) 研究開発成果について

個々の研究テーマも、また全体としても概ね中間目標を達成している。特に、高圧水素物性や脆化現象と強度に関する基礎研究は着実に成果が出ている。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、貴重なデータが提供されている。また、最終目標に対しても現時点で達成するための素地があり、達成までの具体的な筋道が示されている。しかしながら、水素物性の成果の重要性はわかるが、本プロジェクトでの役割が具体的、明確に視えない。また、高分子、トライボロジーの研究チームの成果が弱い。今後、インパクトのある成果を期待したい。さらに、細分化されたテーマにおける成果が統合されてどのように水素社会実現に活用されていくのか、外部からも見えるようにすべきである。特に、チーム間で連携して初めて可能となった成果が具体的に何であるのかがほとんど見えてこない。

情報発信という面から言えば、脆化現象、トライボロジーなど、異分野の研究者の意見交換、共同研究も参考にすべきであり、その成果発表を広げて行く必要がある。また、データ公開、知財の取り扱い等、成果の戦略的利用の考え方を、NEDO 事業として取り決めることが重要である。

#### 4) 実用化の見通しについて

水素基盤社会に必要な水素の貯蔵、輸送用の高圧タンク材料の研究開発の方向性は、燃料電池自動車のみならず、他の水素利用インフラに向けても、出口イメージは妥当であり、高圧水素ガス条件下の貴重な材料強度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いる。また、国際標準化のイニシアチブを取るために国際的な取り組みも高く評価でき、その見通しもある程度明確になっている。また、人材育成を通してプロジェクトの波及効果を上げようとしている点も評価できる。

しかしながら、水素の周辺材料となる部分の基礎研究成果は出ているが、成果が実用的なレベルへと近づいているかどうか視えない。また、個別に細分化されたテーマの成果が実用化にどのように結びついていくのか、その道筋があいまいである。従って、得られた結果を基にして、「これからどうするのか」という具体的な解決策を設定するべきである。実用化への貢献を強固にするためには、日本国内外の企業の交流を進めながら、産業界ニーズを取り込んだ明確な出口イメージが必要である。明確な出口イメージを基に、各研究テーマとその成果の位置づけを再確認し、また情勢変化に対応して調整しつつ、開発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	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>これまで知見の少なかった高圧水素条件下における種々の物性を知ることは重要ではある。高温・高圧下での水素物性データ取得、データベースシステム作成など、世界的にも貴重なデータ、知見を集積しており、また、成果の普及にも尽力しており、目標を概ね達成している。研究開発は着実に進捗しており、最終目的を達成できると見込こまれる。また、チーム独自でシンポジウムや技術セミナーを開催するなど、積極的な情報発信がなされている。</p> <p>しかしながら、70MPa 級の水素ステーション技術の確立を目的とするにあたり、露点データの獲得が 40MPa までに設定されている。技術的に困難な点も多いと察</p>	<p>高圧水素ガスの物性データは整理されてきており、手軽に利用できる形のデータベース（Web版、Excel 版）の形で、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明確に設定されている。また、それに向けてのマイルストーンも具体的に設定されている。基礎物性は多くの関連分野で使用されるものであり、その波及効果は大きい。</p> <p>しかしながら、高圧水素貯蔵容器（蓄圧器）材料、圧縮機材料など、高圧水素ガスに直接接触する部材との相互作用に関するデータがないため、得られているデータからは出口イメージが見えにくい。他のチームと連携して、データベースとして整理統合しな</p>	<p>今後、チーム間の連携を強化しその成果が具体的に見えるような方向性で検討していただきたい。例えば、超高圧ガスを蓄圧する容器材料への水素溶解度、透過度、拡散データなど、金属、高分子も含め、整理統合する必要がある。また、設備機器開発や基準策定において、今後どのような水素基礎物性が必要となるのか、全体感をもって検討すべきである。一方、極めて困難な条件下で得られた実験データを基礎としてデータベース化する基礎データの精度を、推定式に展開する時に用いる実験データの精度および推定式に展開する上での精度の両者に立脚して、確率統計上の根拠のある形で示すことが、本プロジェ</p>

	<p>するが、この点の整合性を取る必要があるのではないか。また、高圧水素を扱う場合、水素ガスそのものに関する物性と同時に、高圧水素ガスタンクや液体水素タンク用の材料に関するデータが開発現場では必要である。使用される金属材料中への水素溶解度、水素透過データなど、最も重要なデータを測定すべきである。</p>	<p>ければ、本プロジェクトが目指している目的には合致しない。<b>NEDO</b> は、全体のデータベースのあり方、従来のデータベースプロジェクト成果とも関連付けた整理統合を再検討すべきである。また、データベースの完成度、<b>FCV</b> 開発に必要な水素物性は何か、それをどの程度獲得できるか、獲得する計画かを明確にして欲しい。</p>	<p>クトで開発する高圧水素物性データベースを設計に対して適用する上で重要である。また、データベースの公開を当面国内限定とするとのことであるが、基礎物性に関しては、できるだけ早く公開範囲の限定をなくするのが良いのではないか。露点データのさらなる高圧下での獲得も可能な限り目指してもらいたい。</p> <p>本領域はポーランド科学アカデミーの研究グループなどとの国際共同研究も考えられる。<b>NEDO</b> も国際共同研究について支援すべきである。</p>
<p>高圧／液化による金属材料等の水素脆化の基本原理の解明及び対策検討 液化・高圧下状態における長期使</p>	<p>試験そのものが困難な高圧水素環境下で強度試験を可能としたこと、さらに比較的強度の低い鋼における水素による劣化機構をすべりの局在化によるものとして、その疲労き裂進展の加速に限界値がある可能性を示すな</p>	<p>水素による強度変化や疲労挙動の予測手法の確立、高圧水素環境下の試験法の確立、さらにそれらを用いた強度特性評価やそれに基づく設計法の基礎となる貴重なデータが採取されている。<b>HYDROGENIUS</b> 水素構造材料</p>	<p>材料の微視的構造（マイクロストラクチャー）は機械的性質に大きく影響する。したがって、電解水素チャージと高圧水素ガスチャージによる水素の分布、熱処理による水素原子の再分布と材料の微視的構造の変化についても</p>

<p>用及び加工（成形・溶接・表面修飾）、温度などの影響による材料強度特性研究（金属材料）</p>	<p>ど、水素環境下で稼働する機器の信頼性確保のうえでの重要な成果を得ており、さらにそれらを <b>HYDROGENIUS</b> 水素構造材料データベースの構築など、成果の普及にも努めており、中間目標は概ね達成している。最終目標に向かって着実に研究成果が出つつある。</p> <p>しかしながら、対象とする設備機器ごとに使用環境条件と候補材料を設定し、それに基づいた実験条件の設定となっているのか、不明確であった。基礎研究といえども、水素脆化機構の解明そのものが目的ではないので、実用化を睨んだ実験条件設定が必要である。また、個々の実験データ間の整合性がとれていない場合がある、実験結果を横通して、統一的な解釈をするような議論が必要である。一方、新たな観点から脆化問題に取り組むという面は理</p>	<p>データベースは、水素関連機器の実用化サイドで有用な成果である。これらは水素社会においては不可欠な知見であり、大きな波及効果が期待できる。実用化に関しても産業界からのニーズに基づいて解析を実施しており、評価できる。</p> <p>しかしながら、細分化された研究テーマの成果が設備機器の開発にどのように活かされるのか、不明瞭である。対象設備機器ごとに対象材料と使用環境を整理し、本事業と他の事業で得られた成果の位置づけをして、不足している点を明確化して次の研究目標を設定すべきである。実用化には種々の力学・環境条件において、それらの現象を加速機構から統一的にかつ明確に説明できる必要がある。実験データから最終目標とする強度予測手法などの設計思想といった一般化できる知</p>	<p>詳しい報告が欲しい。高圧水素貯蔵容器材料の特性を明確に知るためにも、これは最も基本的なデータになる。また、熱処理と金属強度との関係の知見からも、熱処理・材料・溶接のみならず多くの他の分野の専門家との議論・協力が益々必要との認識の下、今後のプロジェクトの進め方について関係者間で議論されることが必要である。基本メカニズムの解明の結果が、実用化研究の事例解析にどのように活かされているかが具体的に見えるようにしていただきたい。</p> <p>一方、水素脆化の基本原理の解明は材料工学や機械工学だけでなく、科学全般に大きなインパクトを与えるものである。十分な確証が得られているのであれば、<b>Nature</b> や <b>Science</b> 誌等のインパクトのある一般科学雑誌を通じてできるだけ早くかつ広く情報</p>
---	--	--	---

	<p>解できる。しかし、これまで国内外に蓄積されてきた水素脆化の知見も十分に考慮すべきである。そして、従来知見との比較により、本事業で得られた知見のどこに学術的な新規性があるのかを明確にすべきである。</p>	<p>見、技術基盤を確立することを望む。</p>	<p>発信すべき内容である。また、企業等では実施することが困難な実験設備を有しているので、本事業以外にも有効に利用できる方策を考えるべきではないか。</p>
<p>液化・高圧下状態における長期使用及び加工（成形・溶接・表面修飾）、温度などの影響による材料強度特性研究（高分子材料）</p>	<p>高圧水素ガスを扱うためには不可欠なリングとして使われる高分子材料の特性に関する貴重なデータが得られている。特に、ゴム材料への飽和水素量やブリスタ破壊等の水素の溶解状態についての基礎研究成果は、大いに評価でき、さらにゴム材料の設計指針の構築に向け成果を挙げている。中間目標をほぼ達成して、一部を除き最終目標に向けて順調に進行している。</p> <p>ただし、実際の水素容器では圧力の変動があるので、このような状況が実験で正しく評価されているか、検討を加えてほしい。ま</p>	<p>水素高圧容器等において、非金属材料も安全性の確保においては非常に重要な要素の一つである。これらに関する研究は水素社会の実現に向けた、安全性確保・コストダウンに貢献できる重要な研究である。産業界と密に連携し、Oリング用ゴム材料、使用環境等を考慮して研究を進めており、耐水素Oリング創成に関する設計指針が出口イメージとして明確に設定されている。基礎的知見だけでなくOリングを対象とした実機で起こり得る具体的問題も対象としており、成果の広範囲にわたる波及効果も期待でき</p>	<p>シミュレーション研究と連携し、ゴム材料の水素物性の理解を深めることで、事業全体の効率化に繋げて欲しい。また、信頼性の高いゴム材料の開発指針を得る上で、高繰返し数における水素暴露条件下の特性は極めて重要であり、現時点で実施されているよりはより高繰返し数領域の特性を含めたデータに基づいた設計指針を得ることが重要である。一方、基本的なゴム材料系の探索を広げるとともに、フィルターの探索指針も早急に立てて、後半期間に備えて頂きたい。</p> <p>Oリング用ゴム材料以外にも</p>

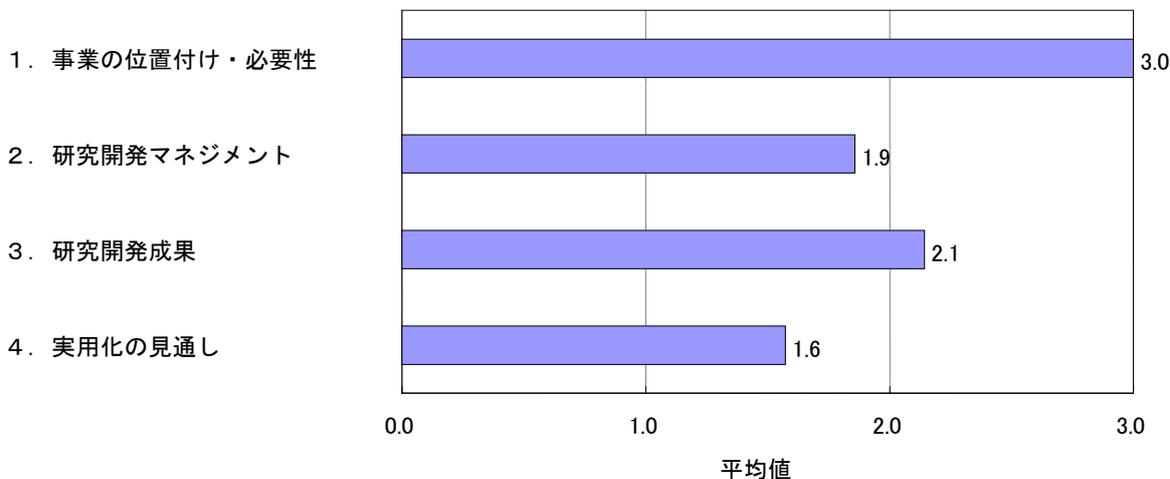
	<p>た、水素溶解時のゴム材料の物性は不明な点が多く、水素溶解状態等に関して計算シミュレーションと連携して解析を行うことが有効であると考える。</p> <p>企業からの供試材料提供は、個別企業の開発に直結するので難しい面もあるかもしれないが、企業と密接な連携をとって進めるべきである。本研究プロジェクトが遅滞なく進行できるように、高圧ガス保安法の改訂に向けて<b>NEDO</b>も尽力すべきである。</p>	<p>る。</p> <p>ただし、分子設計指針の確立に向けてのマイルストーンとどのような設計指針が確立されようとしているかの具体的なイメージがやや不透明である。また、国際標準化という視点から見ると、海外の高分子シーリング材の開発状況、使用状況、法律関係の調査報告が欲しい。さらに、シーリング材に関する国際協力と国際競争についても報告が欲しい。</p>	<p>多くのところで(例:ガスケット、樹脂容器、樹脂パイプ等)非金属材料が使われているので、これらの部材に対する課題をテーマとした研究開発が望まれる。さらに、高圧ガスシーリングの問題を、超高压実験を行っている海外の研究グループとも交流しながら、情報を得ることも必要である。</p>
<p>高圧水素トライボロジーの解明</p>	<p>高圧水素トライボロジーの研究開発は世界的に見ても新しい課題であり、水素インフラ整備に重要な課題でもある。実施することが困難な高圧水素条件下において、摩擦・摩擦特性の基礎的なデータを取得されつつあり、限定された試験条件下であるものの、水素機器開発に有用なデータベース(トライボアトラス)を構築</p>	<p>水素機器開発で重要となる摩擦・摩擦特性のデータベース(トライボアトラス)を構築することを目標として、産業界からの要望に対して適切に対応して、着実に試験を実施している。ロードマップ上のアウトカムと、そこに向かうマイルストーンは設定されている。水素環境下でのトライボロジーに関するデータはこれまで</p>	<p>基礎研究として、材料開発指針でメカニズム解明を含め、表面科学測定法を深化させることにより、より解明が深まると考えられる。また、試験研究手法の開発において、個々の影響因子の解明のための実験手法を確立して頂きたい。さらに、既存の摩擦・摩擦機構に関する知見を踏まえた上で、水素環境下の摩擦・摩擦機構</p>

	<p>することが期待される。</p> <p>しかしながら、仮説の提案から検証、メカニズムの解明が中間目標の重要な点として挙げられているが、提出された情報のみからはこの点の具体的な進捗状況を把握することができない。また、水素雰囲気中での金属材料、高分子材料のトライボロジーは未確認データも多く、さらに知見をふやす必要がある。摩擦生成物の分析等、得られた結果を系統的に解釈できるように機構解明も積極的に進めるべきである。さらに、水素固有の現象と、水素以外の不純ガス分子が影響する現象を明確に整理し、現象の説明をできるようにしていただきたい。今後、超高真空技術、表面科学の専門家を加えた形でこのテーマに取り組むべきであろう。</p>	<p>系統だったものではなく、成果の関連分野への波及効果は大きい。</p> <p>しかしながら、メカニズムの解明がどのように進行していくのかの具体的なイメージが提供されていない。今後の具体的な方針を明確にするためにも、金属と気体の反応を専門とする他分野の専門家も加えて、具体的対策を意識して実験を進めるべきであろう。トライボアトラスに関して、データを羅列するのではなく、利用者である産業界の現場での有用性を高めるために、データがある程度集積された現時点で、産業界と密に連携し、その内容を充実することが必要である。コストダウン、安全性向上に寄与できるのかを、具体的に説明していくことも重要。</p>	<p>と従来から提案されている摩擦・摩耗機構との違いがあるのか否かを含めて、摩擦・摩耗機構とその損傷機構を明らかにした上でトライボアトラスを構築することが、その有用性を実質化する上で重要である。</p> <p>一方、データ解釈と、それを基にした解決策の提示が整理出来ていない。今後、企業とも十分に議論をして進めながら、真空工学、表面科学、気体—金属反応の専門家を加えるべきである。</p>
--	---	--	--

<p>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</p>	<p>本プロジェクトの成果をまとめる視点からシミュレーションが行われており、方向性は妥当であると思われる。原子レベル、マクロレベルでの水素挙動シミュレーション技術を開発し、実験チームとの連携で材料強度特性研究等を実施し、解析ツールの整備とその有効性の検討という中間目標はほぼ達成できている。また、<b>FEM</b> 解析（有限要素法）により応力場と水素拡散の基礎的なシミュレーション技術を開発しており、今後の研究開発に期待が寄せられる。</p> <p>しかしながら、全体的に実験データとの整合性検討が不足しており、解釈が各解析手法の範囲に留まっている。シミュレーション研究は、実験研究と連携して、データベース構築、設計指針提示の核となるものであるため、企業や研究機関との連携を積極的に行</p>	<p>既に使用されてきた高圧ガス容器材料の分析も行われており、出口を十分に意識したうえで、シミュレーション研究は行われている。基礎研究成果との整合性を図っている段階であるが、水素による亀裂進展促進効果の検証など、水素脆化の基本機構の解明、設計思想の提示に貢献している。また、今後の水素機器の基礎的な知見を解析するためにシミュレーション技術は、技術的な波及効果が大きいものと考えられる。</p> <p>しかしながら、実用化に向けた姿勢が不明確である。実験によりデータを網羅的に取得することは不可能であり、水素脆化の機構解明以外にも、実験データを補完する点でも数値解析には重要な役割がある。また、実用化に関しては実験チームとの連携が不可欠である。各課題に対するシミュレーションからの最適なアプロ</p>	<p>解析グループ間の交流、さらには、実験グループとの交流をより密接にし、水素脆化機構の解明と設備機器実用化促進のために、解析すべきこと、できること／できないことを明確にして推進すべきである。特に、水素脆化の問題は非常に多くの材料分野の研究者、技術者が関心を持っており、成果の公開と討論を積極的に行い、これまでに蓄積されてきた脆化に関する知見とのすり合わせを望む。また、本事業の他のチームの研究もシミュレーションによって加速できると思われるものがあり、実験研究と連携して、本事業を纏めて方向性を持たせる一つの核となることを期待する。例えば、金属材料強度グループ等により提案されているすべりの局在化を <b>FEM</b> 解析に取り組んだシミュレーション解析を実施する方向で研究開発を実施</p>
--------------------------------------	--	---	--

	<p>って頂きたい。本研究では転位と水素原子の相互作用を重点的に調査しているようであるが、もっと広い観点から検討すべきではないか。世界の研究者が認めるような決定的な結果を期待している。また、現実の材料が使われる環境を明確に設定した上で、シミュレーション条件を設定すべきである。そして、応力の印加方法、速度など、なるべく実際に使われる状況に準じてより多くのデータを収集して行くことが望まれる。</p>	<p>ーチ、モデル化を検討し、設計指針の提示を目指すことを期待する。</p>	<p>すること、ならびに原子レベルシミュレーションでのステンレス鋼をも対象に入れて、基礎的な脆化事象に限定しての解析を提案する。</p> <p>さらに、シミュレーションには、信頼できる基礎データが必要であり、水素溶解度、透過度、拡散速度等、高圧ガス環境下で得られたデータをベースにすることについても考慮して欲しい。</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	1.9	C	B	C	B	B	A	B	
3. 研究開発成果について	2.1	C	B	B	B	B	A	A	
4. 実用化の見通しについて	1.6	C	C	C	C	B	B	A	

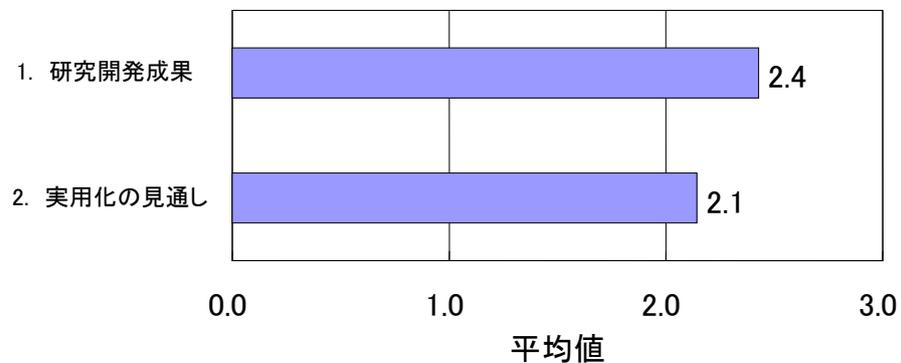
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

### 〈判定基準〉

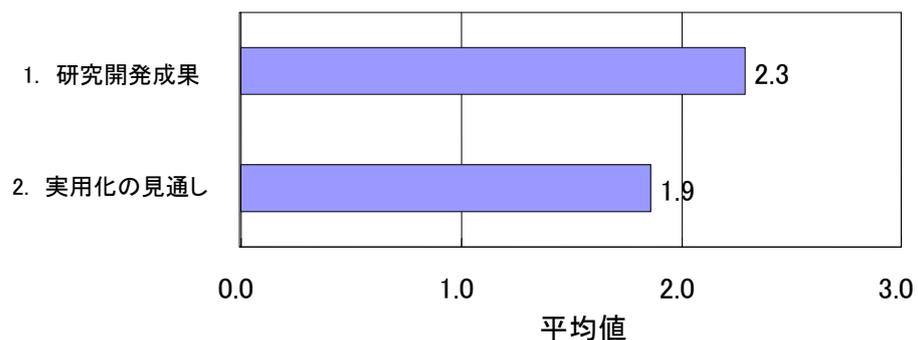
1. 事業の位置付け・必要性について	→A	・非常に重要	→A	3. 研究開発成果について	→A
	→B	・重要	→B		→B
	→C	・概ね妥当	→C		→C
	→D	・妥当性がない、又は失われた	→D		→D
2. 研究開発マネジメントについて	→A	・非常によい	→A	4. 実用化の見通しについて	→A
	→B	・よい	→B		→B
	→C	・概ね適切	→C		→C
	→D	・適切とはいえない	→D		→D

## 評点結果〔個別テーマ〕

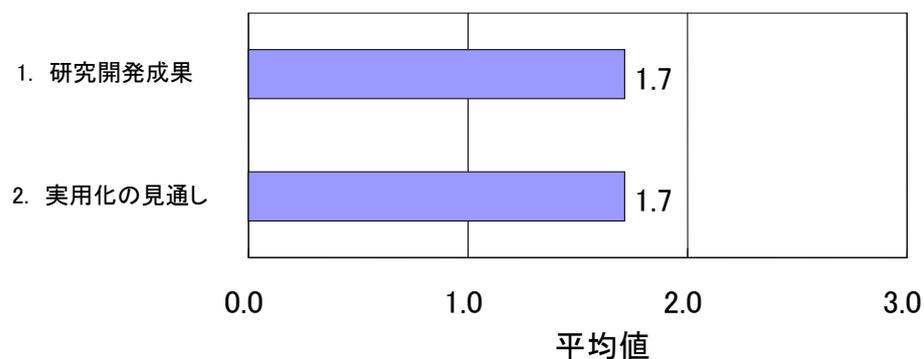
### 高圧水素物性の基礎研究



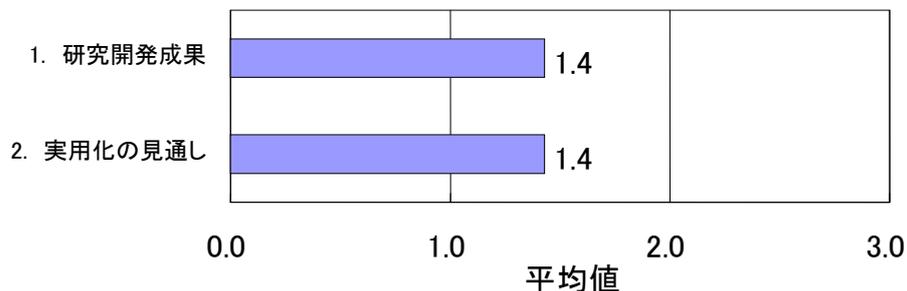
高圧／液化による金属材料等の水素脆化の基本原理の解明及び対策検討  
液化・高圧下状態における長期使用及び加工（成形・溶接・表面修飾）、温度などの影響による材料強度特性研究（金属材料）



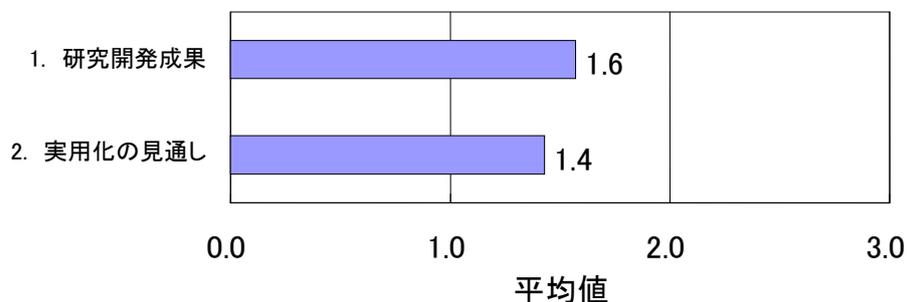
液化・高圧状態における長期使用及び加工（成形・溶接・表面修飾）、温度などの影響による材料強度特性研究（高分子材料）



### 高圧水素トライボロジーの解明



### 材料内の水素拡散、漏洩などの水素挙動シミュレーション研究



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研究									
1. 研究開発成果について	2.4	A	A	B	A	B	A	C	
2. 実用化の見通しについて	2.1	A	B	B	B	B	A	C	
高圧／液化による金属材料等の水素脆化の基本原理の解明及び対策検討 液化・高圧下状態における長期使用及び加工（成形・溶接・表面修飾）、温度などの影響による材料強度特性研究（金属材料）									
1. 研究開発成果について	2.3	A	B	A	A	B	C	B	
2. 実用化の見通しについて	1.9	B	B	C	C	B	B	A	
液化・高圧状態における長期使用及び加工（成形・溶接・表面修飾）、温度などの影響による材料強度特性研究（高分子材料）									
1. 研究開発成果について	1.7	B	C	B	B	C	B	B	
2. 実用化の見通しについて	1.7	B	C	B	B	C	B	B	
高圧水素トライボロジーの解明									
1. 研究開発成果について	1.4	C	C	B	B	C	B	D	
2. 実用化の見通しについて	1.4	B	C	C	B	C	B	C	
材料内の水素拡散、漏洩などの水素挙動シミュレーション研究									
1. 研究開発成果について	1.6	B	C	B	C	B	B	C	
2. 実用化の見通しについて	1.4	B	C	B	D	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. 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            | →A |
| →B | ・妥当            | →B |
| →C | ・概ね妥当であるが、課題あり | →C |
| →D | ・見通しが不明        | →D |