

目 次

はじめに	1
第 1 章 水素とはなにか	3
1-1 水素とは	3
1-2 水素エネルギーを導入する意義	6
第 2 章 水素エネルギーに関連する日本の政策と取り組み	11
2-1 水素エネルギーに関する日本の政策	11
2-2 我が国の水素エネルギーに関する取り組み	17
第 3 章 水素エネルギーに関連する各国の取り組み	55
3-1 主要国の取り組み	55
3-2 国際協調の取り組み	66
3-3 水素エネルギーに係る国際会議	71
第 4 章 水素エネルギーの市場の現状と展望	75
4-1 水素市場の展望	75
4-2 定置用燃料電池	76
4-3 燃料電池自動車	81
4-4 水素供給インフラ	83
4-5 水素ステーション	87
第 5 章 水素エネルギーの社会受容性	89
5-1 水素の性質	89
5-2 水素の安全利用のための規制	90
5-3 水素に関する安全対策の現状	93
5-4 水素の社会受容性	97

第6章 水素エネルギー技術	101
6-1 水素エネルギー技術の全体像	101
6-2 水素製造技術	102
6-3 水素輸送・貯蔵技術	118
6-4 水素供給技術	138
6-5 水素利用技術	142
第7章 水素社会実現を目指して	171
7-1 水素社会実現に向けた課題	171
7-2 課題克服に向けた取り組み	174
7-3 まとめ	178
用語集	181
参考資料	191

■本書に記載されている会社名、ブランド名、製品名等は、各社の商標あるいは登録商標です。なお、®、©、TM は割愛しています。

■本書の情報の使用から生じたいかなる損害についても、小社および本書の編者は責任を負わないものとしします。

水素エネルギーの社会受容性

水素利用を普及させるためには、一般市民の燃料電池及び水素に関する認識向上や安全性に関する危機意識低減など、水素についての社会的な受容性の向上が必要不可欠と考えられる。本章では水素エネルギーに関しての安全性確保のための取り組みの現状や、社会受容性向上に向けた取り組みについて述べる。

5-1 水素の性質

水素と身近なエネルギーであるガソリン・天然ガス（都市ガスの主成分）などとの物理的性質の比較を表5-1に示す。

水素はガソリン・天然ガス同様に可燃性ガスであり、高圧下においては金属材料を脆化するという特徴がある。一方で空気中での拡散が速く、着火温度が高いことから自然発火しづらい、熱放射による被害や類焼が少ないという特徴もある。

水素もガソリンや天然ガスと同様に、その性質、特徴を踏まえ、安全に使いこなす技術と社会制度を確立することが必要である。

表 5-1 水素・メタン・プロパン・ガソリンの物理的性質の比較

	水素	メタン	プロパン	ガソリン	水素の特性
拡散係数（空气中）[cm ² /s] (1atm、20°C)	0.61	0.16	0.12	0.05 (ガス状)	拡散しやすい。 小孔から透過しやすい。
金属材料を脆化	あり	なし	なし	なし	金属をもろく、割れやすくする。
最小着火エネルギー（mJ）	0.02	0.29	0.26	0.24	着火しやすい。
燃焼範囲（下限—上限）[vol%]	4.1—75	5.3—15	2.1—10	1.0—7.8	燃焼可能濃度範囲が広い。
熱放射（輻射率ε）	0.04～ 0.25	0.15～ 0.35	ガソリン並	0.3～ 0.4	熱放射による被害や類焼は少ない。
最大燃焼速度 [cm/s]	346	43.0	47.2	42.0	爆風圧が大きい。ジェット火炎が保炎しやすい。
燃焼熱[MJ/Nm ³] 真発熱量	10.77	35.9	93.6	—	熱量を確保するのに高圧を要す。

出典：エネルギー総合工学研究所

「エネルギー総合工学研究所における水素拡散、燃焼基礎物性の研究について」（2008年7月30日）

5-2 水素の安全利用のための規制

5-2-1 高圧ガス保安法

水素に適用される法律などの規制の中では、「高圧ガス保安法」が中心的な役割を果たす。高圧ガス保安法は、高圧ガスによる災害を防止するために定められた法律であり、高圧ガスの製造・輸入から貯蔵、販売、移動、消費、廃棄に至るまでの、ライフサイクル全般にわたって、

- 高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱及び消費並びに容器の製造及び取扱を規制
- 民間事業者及び高圧ガス保安協会による高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進することを通じて、公共の安全を確保することが目的である。この「高圧ガス保安法」を補完するものとして、技術上・保安上の基準が政令、省令・規則、告示などにより定められている（表 5-2）。

表 5-2 高圧ガス保安法の構造

政令	<ul style="list-style-type: none"> ・高圧ガス保安法施行令 ・高圧ガス保安法関係手数料令 	内閣で制定する、製造・貯蔵の許可・届出の必要な値などの定め
省令・規則	<ul style="list-style-type: none"> ・一般高圧ガス保安規則 ・液化石油ガス保安規則 ・コンビナート等保安規則 ・冷凍保安規則 ・容器保安規則 ・特定設備検査規則 	経済産業大臣が制定する技術基準や申請手続などの定め
告示	<ul style="list-style-type: none"> ・高圧ガス保安法施行令関係告示 ・製造施設の位置、構造及び設備並びに製造に方法等に関する技術基準の細目を定める告示 ・高圧ガス設備等耐震設計基準 ・保安検査方法を定める告示 など 	経済産業大臣が制定する技術基準の細目の定め
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・高圧ガス保安法及び関係政省令の運用及び解釈について ・高圧ガス保安法令関係例示基準 ・保安検査基準（KHKS シリーズ） など 	省令に定める技術的要件を満たす詳細基準を例示するもの（例示基準など） など

出典：各種資料より NEDO 作成

高圧ガス保安法では、高圧ガスを製造、貯蔵、消費、移動する者が、取り扱う高圧ガスの種類、供給する設備の製造能力、高圧ガスの貯蔵量などに応じて安全上講じるべき措置が定められている。また、業務の実施にあたっては、その内容によって事業所ごとに都道府県知事からの許可が必要となっている（表 5-3）。

また、製造、貯蔵、販売、消費、廃棄それぞれにおいて、安全上の規制として、省令などによって定められた技術上の基準への適合、災害発生防止や保安活動に係る規定の整備、従業者への保安教育、保安検査の実施、保安に係る責任者統括者の選任などが定められている。

表 5-3 高圧ガスを取り扱う事業者の種類と許可・届出の要否

事業者の種類	条件	許可／届出	備考
第1種製造者	以下の高圧ガス製造者 第1種ガスの製造 $\geq 300 \text{ m}^3/\text{日}$ 第1種ガス以外の製造 $\geq 100 \text{ m}^3/\text{日}$ 第1種ガスとそれ以外のガスの製造（略）	許可	第1種ガス： ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン、ラドン、窒素、二酸化炭素、フルオロカーボン（可燃性のものを除く）または空気。
第2種製造者	高圧ガスの製造の事業を行う者（第1種製造者以外）	届出	
第1種貯蔵所	以下の量の高圧ガスを貯蔵する事業所 第1種ガスの貯蔵量 $\geq 3,000 \text{ m}^3$ 第1種ガス以外のガスの貯蔵量 $\geq 1,000 \text{ m}^3$ 第1種ガス及びそれ以外のガスの合計（略）	許可	
第2種貯蔵所	合計貯蔵量 $\geq 300 \text{ m}^3$	届出	
その他貯蔵所	$0.15 \text{ m}^3 \leq \text{合計貯蔵量} < 300 \text{ m}^3$	不要	
特定高圧ガス消費者	次の高圧ガスを下記の貯蔵能力以上で消費する者 圧縮水素 $\geq 300 \text{ m}^3$ 圧縮天然ガス $\geq 300 \text{ m}^3$ 液化酸素 $\geq 3,000 \text{ kg}$ 液化石油ガス $\geq 3,000 \text{ kg}$ その他 省略	届出	特定高圧ガス： ①モノシラン、ホスフィン、アルシン、ジボラン、セレン化水素、モノゲルマン、ジシランの圧縮ガスおよび液化ガス。 ②圧縮水素および圧縮天然ガスの容積 300 m^3 。液化酸素、液化アンモニアおよび液化石油ガスの $3,000 \text{ kg}$ 以上、液化塩素の $1,000 \text{ kg}$ 以上。
その他消費者	可燃性・毒性ガス及び酸素の高圧ガスの消費者	不要	

出典：各種資料より NEDO 作成

5-2-2 その他の規制

水素の安全に関しては、高圧ガス保安法以外にも様々な法律によって規制が定められている。関係する法律を表 5-4 に示す。

表 5-4 高圧ガス保安法以外の水素安全に関係する主な法律

消防法	水素ガス施設（高圧ガス製造所、貯蔵所）と、危険物施設（製造所、貯蔵所及び取扱い所など）との間に保安距離を設けることなどが定められている。
建築基準法	可燃性ガスである水素について用途地域毎に最大貯蔵量の制限が定められている。
石油コンビナート等災害防止法	水素の大量処理の場合、処理量により第一種・第二種に区別され、災害防止基準などが定められている。
道路運送車両法・道路交通法・港則法	高圧ガスの輸送時に起こり得る危険事態を予測し、重量制限や使用車両及び船について規制が定められている。

出典：各種資料より NEDO 作成

5-3 水素に関する安全対策の現状

5-3-1 基本的な考え方

水素は、滞留させてしまうと一定の割合で空気と混合した状態となり、引火によって爆発するが、水素は最も軽い気体であり空気拡散性が高い。安全に利用するためには、まずは漏洩の防止に努め、仮に漏洩した場合でも速やかに拡散させ、滞留を防ぐことが必要である。

現在、水素を利活用しようとする設備は、部屋の天井に隙間を設けたり、強制換気を行ったりして、仮に水素が発生・漏洩しても、部屋の中に滞留しないように工夫されている。

例えば、福岡県糸島市にある水素エネルギー製品研究試験センター（HyTReC）の場合、高圧水素試験室には外れやすい折板屋根を採用、さらに連続の強制換気によって、常に室内の空気が入れ替わり、万が一水素が試験設備から漏れた場合でも室内に滞留しない工夫がされている（図 5-1）。

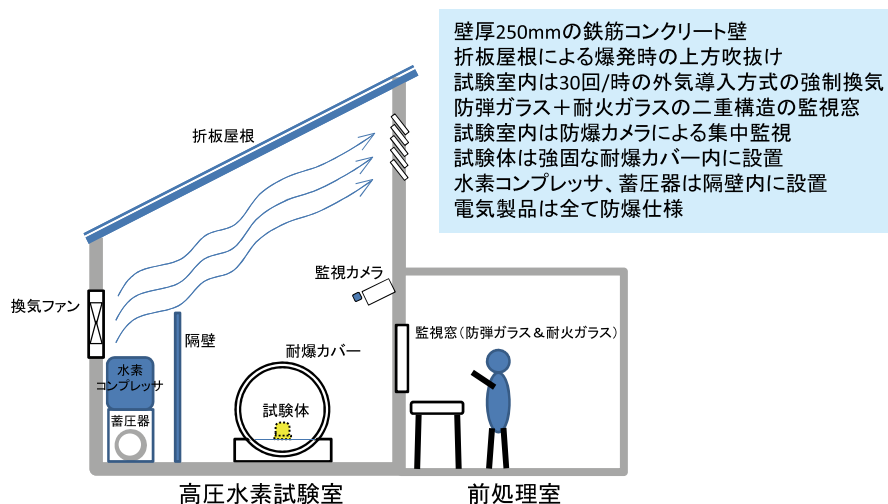


図 5-1 水素エネルギー製品研究試験センターの高圧水素試験室における安全対策

出典：水素エネルギー製品研究試験センター「水素エネルギー製品研究試験センターの紹介」

5-3-2 水素ステーションにおける安全対策

現在、水素ステーションを設置する場合は、水素ステーションの関連法規である高圧ガス保安法、消防法及び建築基準法の遵守が不可欠であり、この法令において設置・運用に関する安全性が担保されている。現在、これら関連規制については、実際の水素ステーション建設・運用の効率化に向けた見直し（市街地における水素貯蔵量の増加、設計係数の見直し、使用可能鋼材の種類拡大など）が進められているが、この場合にあっても、技術的に安全性を証明することが前提となっている。

実際の水素ステーションにおける安全対策を図5-2に示す。漏洩防止、早期検知、滞留防止、引火防止及び火災時の影響軽減を基本的な方針とした上で、水素ステーションを構成するそれぞれの機器において対策を講じている。

この他の取り組みとしては現在、NEDO 事業の一環として水素ステーションの緊急時対応ガイドラインの整備が進められている。

今後、さらに安全性を高めていくため、トラブルの未然防止や発生時の迅速な対応を効率的に実施する方法の確立が必要であり、これまでの水素ステーションの運用上得られた知見や、今後建設される商用ステーションにおける情報をデータベース化するとともに、これを日々の運用やメンテナンスに活用するツールや、情報を活用した運用のための人材教育・育成手法のツールなどの開発が NEDO 事業によって進められている。

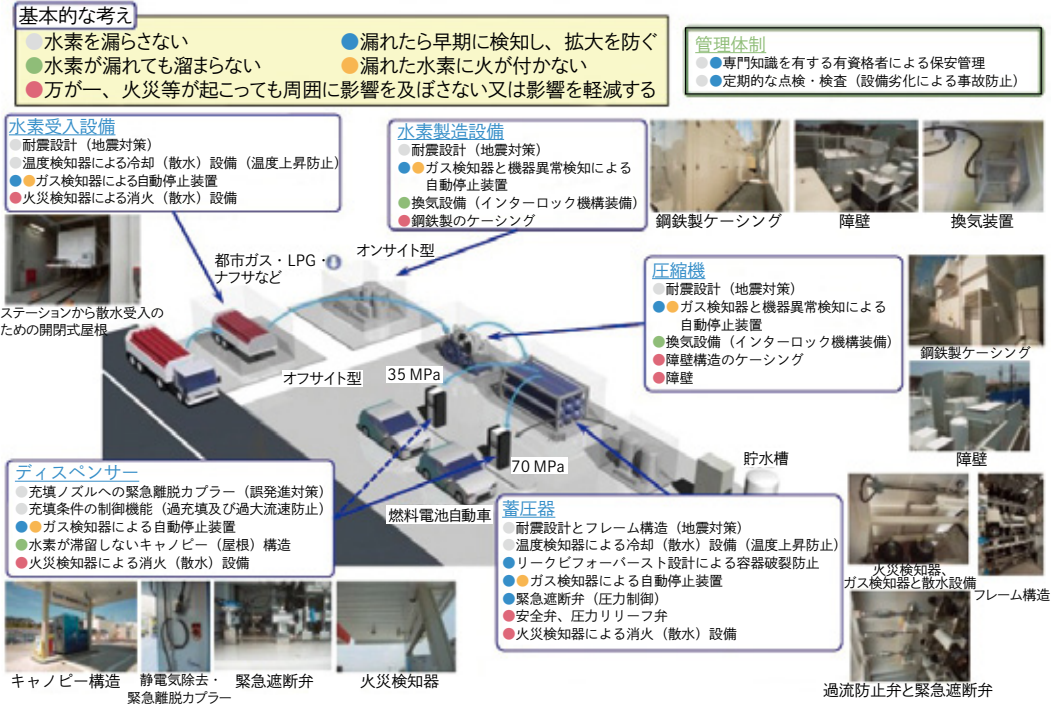


図 5-2 水素ステーションの安全対策

出典：水素供給・利用技術研究組合資料より NEDO 作成

5-3-3 燃料電池自動車における安全対策

燃料電池自動車に関する安全対策については、日本は 2005 年に世界で初めてその基準を策定した（「圧縮水素ガスを燃料とする燃料電池自動車等の基準」）。この基準では、衝突時の安全を含む水素安全と高電圧（感電保護）に関する安全基準が盛り込まれており、水素安全関係については、

- 水素ガスを漏らさない、漏れても滞留させない、漏れたら検知し遮断する
- 水素を含むガスを排出する場合には、安全に排出する
- 衝突時でもガソリン車などと同等の安全性確保（水素ガス漏れ抑止）を行う

を基本的な考え方とし、配管やその接続部の気密性能、水素漏洩時の滞留や車室内侵入防止のための機器取り付け位置や方法、水素漏洩検知器の取り付け位置及び性能、衝突（前・後面衝突、側面衝突）時の水素漏洩抑止方法などの技術的要件が規定された。

この基準をもとに、燃料電池自動車の車両については道路運送車両法、水素タンクについては高圧ガス保安法によって安全に対する措置が規定されている（図 5-3）。

現在、燃料電池自動車の安全対策としては、水素による脆化を受けない金属材料（ステンレス SUS316 など）の使用、センサーを用いた水素漏洩防止システム、火災時における

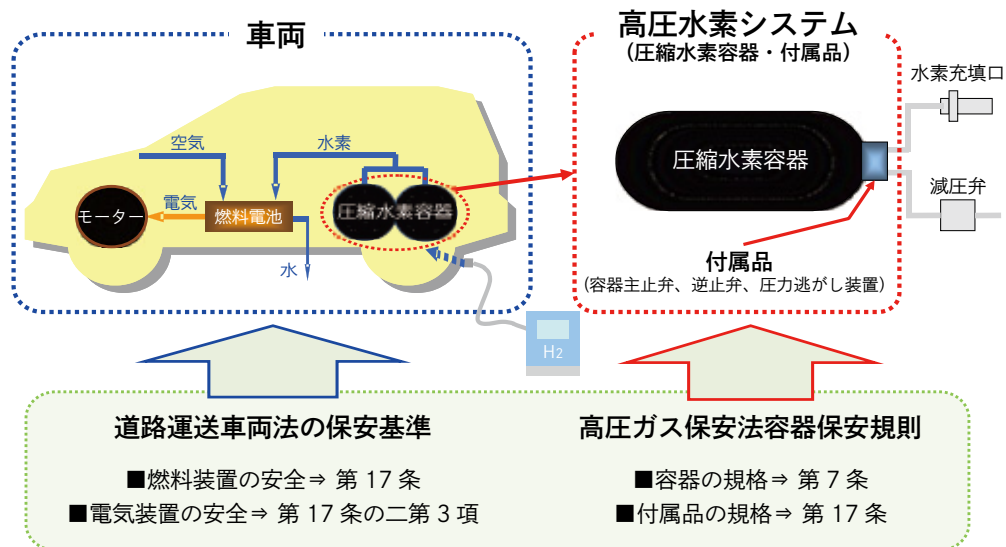


図5-3 燃料電池自動車に関する法律

出典：経済産業省「(審議) 燃料電池自動車からの一般住宅等への給電 (V2H) の実施に向けた法的環境整備について」より NEDO 作成

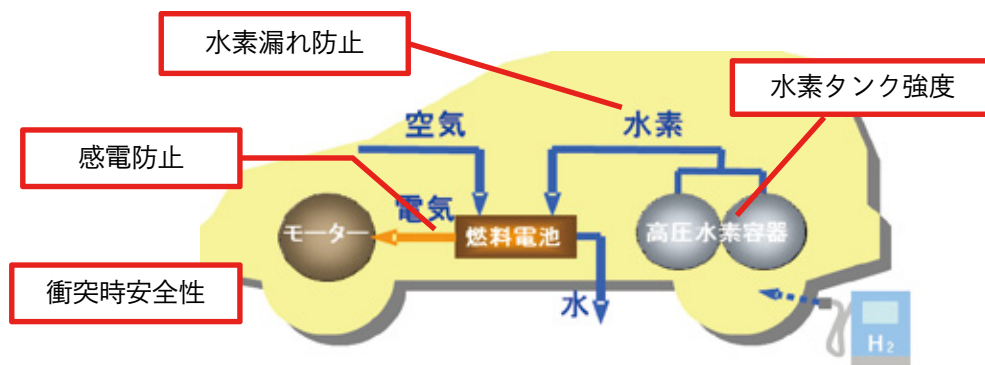


図5-4 HySEF 全景

出典：日本自動車研究所

水素容器の破裂を避けるための一定温度でタンク内のガスを放出させる熱作動式の安全弁の設置などが講じられている。

2003年には、NEDOの支援により日本自動車研究所(JARI)に設置された水素・燃料電池自動車安全評価試験施設(HySEF)において、車両衝突試験や耐爆火災試験など、安全性の評価が実施されている(図5-4)。この安全性評価試験によって得られたデータは、規制の見直しや安全性基準の策定などに活用されている。



主な基準内容

水素漏れ防止	・排気される気体の水素濃度が4%を超えないこと。
感電防止	・高電圧の電気装置に直接接触できないよう被覆すること。
衝突時安全性	・車両衝突後60分間の水素放出が、1分当たり118NL*を超えないこと。
水素タンク強度	・22,000回の圧力サイクルに耐える耐久性を備えること。

※NL：ノルマルリットル（0度1気圧時の容量）

図5-5 世界統一基準の概要

出典：国土交通省「燃料電池自動車の安全性（四輪）」

2013年度 第1回車両安全対策検討会（2013年7月1日）よりNEDO作成

一方、自動車や自動車部品については、国際商品として世界的に流通することを踏まえて、各国で異なっている環境・安全性に関する技術基準を国際的に調和させることを目的に、国連において統一的な基準が策定されている。燃料電池自動車の安全性に関する技術的な基準についても国連において議論が行われ、2013年6月に「水素燃料電池自動車の安全性に関する世界統一基準（HFCV-gtr）」が成立した（図5-5）（HFCV-gtr：Hydrogen Fuel Cell Vehicle—Global Technical Regulations）。

5-4 水素の社会受容性

新規のエネルギーに対して、人がなんらかの不安を感じるの是一般な心理である。必要なことは、そのエネルギーを安全に使いこなす技術確立し、実績を積み、それを正しく知ってもらうことで、人の安心を育成することである。これらを合わせて一般に社会受容性（Public Acceptance）という。

水素エネルギーに対する社会受容性を調査し、これを高めるためのプロジェクトが世界各国で実施されている。

5-4-1 水素エネルギーに関する見方

日本においてはNEDO事業として、水素供給・利用技術研究組合（HySUT）が、水素エネルギーや燃料電池自動車に対する意見や見方についてアンケート調査を行っている（表5-5）。この調査では、東京モーターショーでのHySUTの展示ブースへの来場者や燃料電池バスの試乗者に対してアンケートを実施し、755の回答数を得た。

調査結果によると、水素の特性やクリーンであるというイメージは概ね認識されているが、2割強の人がガソリンなどに比べて危険とのイメージも持っている。一方で、正しく使えば他の燃料と同じように使用して問題ないと思う人は7割強となっている。

表5-5 HySUTによる社会受容性アンケートの回答者数と結果

群	回答者	回答数	時期							
			A	B	そう思う 知っている		そう思わない 知らない		わからない 無回答	
A	展示会訪問者	431	2012年11月—2013年2月							
B	リムジンバス搭乗者など	324	2012年12月—2013年2月							
計		755								
(%)										
項目	質問	そう思う 知っている		そう思わない 知らない		わからない 無回答				
		A	B	A	B	A	B			
水素エネルギー	様々な資源から作り出せる	65.2	34.9	/	/	34.8	65.1			
	クリーンなエネルギー	81.2	71.0	6.0	6.2	12.8	22.8			
	ガソリンより危険	26.9	16.4	41.1	49.4	32.0	34.2			
	正しく取り扱えば問題ない	80.0	65.1	4.6	5.3	15.4	29.6			
燃料電池自動車	知っている	97.7	81.5	/	/	2.3	18.5			
	水素エネルギーを用いる電気自動車	85.4	47.2	/	/	14.6	52.8			
	長距離の走行時に不安	55.2	22.8	/	/	44.8	77.2			
	ガソリン車と同程度の所要時間で充填可（約3～5分）	29.9	6.8	/	/	70.1	93.2			
水素ステーション	知っている	86.1	49.4	/	/	13.9	50.6			
	ガソリンスタンドより危険	27.9	9.6	34.6	44.8	37.5	45.6			
	様々な安全対策が設けられている	61.3	42.9	7.0	5.9	31.7	51.2			
	自宅や職場の近くに建設する事には反対	28.1	20.7	44.3	44.1	27.6	35.2			
	（ガソリンスタンドについて）自宅や職場の近くに建設する事には反対	(27.1)	(26.2)	(47.3)	(43.8)	(25.6)	(30.0)			

出典：水素供給・利用技術研究組合

また、自宅・職場の近くでの建設には3割程度が反対となっており、これはガソリンスタンドに対する意識とほぼ同等である。

社会受容性に関する同様な調査は、ドイツにおいても行われている。ドイツでは2009～2013年に、市民の水素エネルギーに対する意見や見方に関する全国的な調査「HyTrust」が実施された。この調査では、少人数のグループによるインタビュー、全国1,000人以上の電話インタビュー、ランダムに選ばれた市民16人による週末セミナー（市民会議）などを行った。

その結果、市民の大半は燃料電池自動車の導入には賛成で、燃料電池自動車を安全と考えており、また水素ステーションについてもガソリンスタンドよりも心配という意見は少数であった（図5-6）。

また市民会議では、6日間にわたる週末セミナーと自由討議を通じて、賛成・反対意見を盛り込んだ最終報告「市民の意見表明」を発表し、水素の社会受容性を高めるための提案を行っている（表5-6）。

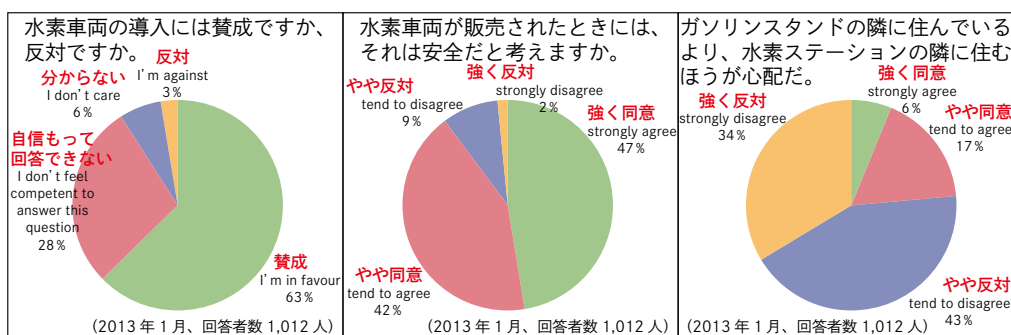


図 5-6 ドイツ「HyTrust」プロジェクトでの電話インタビュー調査結果

出典：HyTrust「Social acceptance of hydrogen mobility in Germany」（2014年6月24日）より NEDO 作成

表 5-6 HyTrust の市民会議での知見

- ・ 環境適応性、安全性、取り扱い、コスト、エネルギー技術革新を市民に伝える。
- ・ 行政やメディアは市民への情報提供を自動車メーカーや電力会社に任せない。
- ・ 意思決定プロセスに多くの人を参加させるようにしなければならない。これにより新技術は消費者に拒絶されずに導入されるチャンスが拡大。
- ・ 市民や消費者は、明確で正確な情報を受け取る権利がある。一部の利益団体・企業の宣伝情報のみではいけない。
- ・ 情報発信は行政およびメディアの責任。
- ・ 技術革新がもたらす利益が、公共に資するという利益分配の合意があるならば、市民と消費者の社会受容性は向上する。

出典：HyTrust「Citizens' statement on hydrogen mobility (Berlin conference, 2011)」より NEDO 作成

5-4-2 社会受容性の向上に関する取り組み

社会受容性の向上のためには、水素の安全性を高めて信頼を獲得することや、燃料電池や水素に関する理解増進のための積極的な情報発信が必要である。このうち、水素の安全性を高めるための仕組みや技術については5-2、5-3で述べたとおりである。

燃料電池や水素に関する理解増進のための情報発信については、燃料電池自動車の実用化が近づいている段階において、一般の方を対象とした取り組みが重要である。このため、NEDO 事業の一環として、これまでの研究開発の成果などを活用し、実物に触れる機会を設けるといった、より伝わりやすい取り組みを進めている（図5-7）。

米国では、エネルギー省（DOE）を中心に社会受容性向上の取り組みが行われている。市民や地方政府、企業に対する情報発信の他、事故時の初期対応者（First Responder）である消防士や救命士に対するトレーニングを国家的に進めていることが特徴である。また、だれでも参加できる WEB セミナーやオンラインツールを充実させるとともに、スマートフォン向けの水素アプリや、水素ステーションなどの代替燃料スタンドのロケーションを示したアプリを公開している（図5-8）。



FC-EXPO における燃料電池自動車試乗会 小学生を対象とした見学・体験会

図 5-7 社会受容性向上に向けた情報提供の取り組み

出典：水素供給・利用技術研究組合、JX 日鉱日石エネルギー



消防士に対するトレーニング

水素アプリ「Hydrogen Tools」

図 5-8 米国エネルギー省の取り組み

出典：米国エネルギー省 Pacific Northwest National Laboratory 「Scientists create new hydrogen fuel safety app」/ iPhone 「Hydrogen Tools-iTunes」