

特集

水素エネルギー社会を目指して

水素燃料電池自動車の導入シナリオの研究

Scenario Study on Introduction of Hydrogen Fuel Cell Vehicles

蓮池 宏*

Hiroshi Hasuike

表1 高圧水素のコスト見積¹⁾(単位:円/Nm³-H₂)

項目	天然ガス改質	メタノール改質	アルカリ水電解	PEM水電解	
設備費	17.6	17.6	16.9	15.7	
人件費	2.9	2.9	2.9	2.9	
変動費	都市ガス	—	—	—	
	メタノール	—	27.6	—	
	電力	4.9	4.4	54.5	48.8
	その他ユーティリティ	0.4	0.3	0.5	0.5
計	39.9	52.8	74.8	67.9	

注: 都市ガス価格: 39.3円/Nm³, メタノール価格: 40.0円/kg, 電力価格: 東京電力高圧季特別電力B

1. はじめに

WE-NETプロジェクトでは、平成10年度に「水素自動車の導入シナリオの研究」を実施した。同研究では、近年、技術進歩が著しい燃料電池自動車に焦点を当て、その特徴、開発状況、経済性、法規制、導入シナリオ、導入支援策、課題等を取りまとめた¹⁾。本稿では水素燃料電池自動車の経済性、導入シナリオ、導入の課題についての検討結果を紹介する。

2. 水素の供給システムと経済性

2.1 水素の供給システム

WE-NETプロジェクトは、海外の再生可能エネルギーから製造した水素を液体水素タンカーで輸送し水素の国内輸送を経て利用する、というシステムを究極的な目標としている。しかし、このシステムは上流から下流までのインフラストラクチャーの構築に多くの時間と費用を要する。

これに対し、天然ガス等の既存のエネルギーを利用するシステム、具体的には、

- ①供給ステーションにおいて都市ガスやメタノールの改質により水素を得るシステム
- ②供給ステーションにおいて商用電力を用いて水電解を行い水素を得るシステム

が考えられる。これらは、インフラストラクチャーの構築が最小限で済むため、短中期的な自動車用水素の供給方法として有望である。本研究では、このような水素供給方法を中心に検討を進めた。

2.2 水素の供給コスト

上記の既存のエネルギーを利用する水素供給のコスト試算結果を表1¹⁾に示す。ここで、原料となる都市ガス、メタノール等の価格は、1999年初頭において現

* (財)エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部主任研究員

〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2 新橋SYビル6F

実的と考えられる値を用いた。試算結果は、天然ガス改質が最も安く、次いでメタノール改質、PEM水電解、アルカリ水電解の順となっている。

2.3 自動車用燃料としての水素の経済性

表1に示した水素のコストは、発熱量ベースで比較すると、最も安い天然ガス改質の場合でもガソリン等の自動車燃料の価格より高くなる(表2)。しかしながら、自動車燃料としての経済性は、車両の効率(燃費)を加味して評価する必要がある。

表2の燃料価格等に基づいて、水素燃料電池自動車とその他の自動車の燃料コスト(15万km走行時の燃

表2 各種自動車燃料のコスト(価格)の比較

燃料	コスト(価格)	低位発熱量当たり
水素	40円/Nm ³	15.5円/Mcal
ガソリン	90円/l	11.3
軽油	75円/l	8.6
LPG	55円/l	9.0
CNG	72円/Nm ³	7.2

注) 水素以外の燃料価格は1999年初頭の代表値。

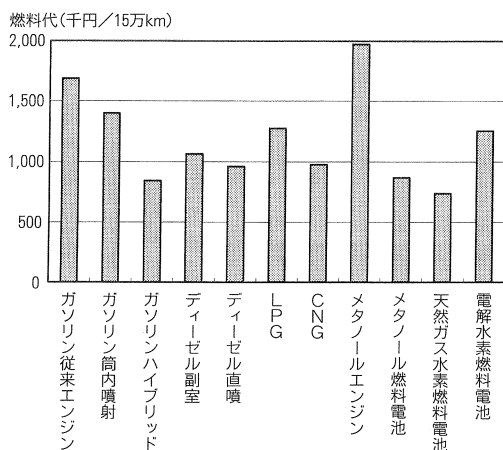


図1 水素燃料電池自動車と各種自動車の燃料コストの比較¹⁾

料代、小型バン)を比較した結果を図1¹⁾に示す。燃料電池と内燃エンジンの熱効率の差(水素燃料電池自動車の走行燃費は発熱量ベースで従来ガソリンエンジン車の3.125倍とした)が、燃料コストに大きく影響しており、天然ガス改質水素を用いる燃料電池自動車は、ここで取り上げた自動車の中では燃料コストが最も安くなることが示されている。

このように水素は、単純な発熱量ベースでみた場合には既存燃料よりコスト高であるが、燃料電池自動車という水素に適した利用機器を用いることで、最終サービス(自動車では走行)のところで見れば十分なコスト競争力を有するようになる。

3. 導入シナリオ

3.1 短期シナリオ

2000年~2010年を導入初期の期間と位置づけ、図2¹⁾に示すシナリオを作成した。このシナリオのポイントは次のとおりである。

- ①わが国において燃料電池自動車一般向けに実用化されるには、関連法規制の整備が不可欠である。法規制を整備するためには、一定量の実証データが必要となる。したがって、全体の導入の流れとしては、「試作車や注文生産車による実証データの蓄積」、「法規制の整備」、「一般向け実用化」、「量産・本格的普及」、という順序になる。
- ②車両の開発・生産は、「研究開発モデルの製作」から「注文生産」の段階を経て「量産」となる。一般向けの生産開始は2005年、量産開始は2007年とした。
- ③2002~2003年にWE-NETプロジェクトにおいて自

動車と水素ステーションの実証試験を行う。また、2005年の愛知国際博覧会や各地の自治体においても、水素燃料電池自動車の試験的導入が実施される。

- ④水素ステーションは、最初は試験的導入の一環として建設され、車両数が増えるに従って一般向け施設も建設されるようになる。
 - ⑤法規制上、水素燃料電池自動車は、最初は試験自動車(大臣認定による公道走行)として扱われ、各種技術基準の整備の後に一般の自動車と同様の扱いに移行する。技術基準の制定は2005年後半とした。
 - ⑥水素供給方式がオンサイト型の天然ガス改質や電解の場合、車両への水素搭載方法は高圧水素が吸蔵合金タンクに限られる。車載容器の標準化は、早い段階から開始することができる。
 - ⑦導入車種は、少数の燃料ステーションでの運用が可能な路線バス、塵芥車、業務用バンが主であり、公用車としての乗用車にも導入される。
 - ⑧生産台数が増えるに従って車両価格が低減し、ステーション建設費の低減や車両性能の向上に伴って燃料コストも低減される。
 - ⑨導入の初期においては、既存車と比較して経済性が劣るため、各種の助成策が期待される。
- これらのなかで、技術基準が整備され一般の自動車と同様の扱いになる(大臣認定が不要になる)までに、どれだけの実証・検討期間を要するかが普及時期を決める大きな要因となる。

3.2 中期シナリオ

次に、30年程度の中期的視点からの導入シナリオを検討した。ここでは、各車種の導入開始時期と2030年における新規登録車両に占める水素燃料電池自動車のシェアの想定(図3¹⁾)に基づいて、各年毎のシェアをシナリオとして与え、普及台数、水素消費量等を試算している(表3)。試算に当たっては、1997年時点のわが国の自動車保有台数と車種構成、平均使用年数、平均年間走行距離等²⁾をベースとして用いた。

図3¹⁾に示したように、公共的な車やステーションが少なくとも使用可能な車から導入されていくと想定した。具体的には、バン、バス、ゴミ収集車が2005年以前、2tトラックが2010年、タクシーと4tトラックが2015年から導入されるとした。乗用車は、公用車等の限られた用途には早い時期から使われるが、一般向けの普及が始まるのは水素ステーション数がLPGスタンド並に達した後の2020年からとした。

2030年における普及台数は約500万台(1997年保有

年	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
WE-NET計画 車両開発・生産		実証データの蓄積 第II期 研究開発モデル製作		法規制・規格の整備 特定ユーザー向け注文生産		一般向け美用化 第III期 一般向け注文生産		量産化・本格普及			
試験走行			WE-NET公道試験			量産車(型式指定車)の開発					
ステーション		WE-NET設計・製作		運転実証 小型低コストシステムの開発							
車両		試験自動車扱い(大臣認定により公道走行許可)									
法規制・規格											
補助政策 導入政策											
経済性											
ステーション数	0	0	2	5	10	20	30	60	100	150	200
登録台数	バス 0 軽自動車 0 バン 0 乗用車 0				5~10 5~10 40~80	40~80 20~40 70~140	80~160 50~100 150~300	150~300 100~200 300~600	400~800 200~400 1,100~2,200	700~1,400 300~600 2,500~5,000	1,000~2,000 500~1,000 6,000~12,000
計	0	1~3	2~5	10~20	50~100	150~300	350~700	700~1,400	2,000~4,000	4,000~8,000	9,000~18,000
燃料費Gの0.4 車両価格1.3倍											
燃料費Gの0.5 車両価格1.5倍											
公用車・路線バスへの集中導入											
車両購入への補助金											
ステーション建設への補助金											
税制優遇											
都市ガス・LPG・工業ガス業者・自動車メーカーによる設置											
フリーオートオーナーによる設置											
型式指定自動車											
愛知万博											
自治体等による試験導入											
WE-NET公道試験											
運転実証											
小型低コストシステムの開発											
実証研究プロジェクトでの設置											
都市ガス・LPG・工業ガス業者・自動車メーカーによる設置											
フリーオートオーナーによる設置											
型式指定自動車											
改造車・試作車扱い											
技術基準の検討											
制定											
車載高压容器・吸蔵合金容器の標準化											
安全研究											
技術基準の検討											
制定											
車両購入への補助金											
ステーション建設への補助金											
税制優遇											
燃料費Gの0.7 車両価格2倍											
燃料費Gと同 等車両価格3倍											

図2 水素燃料電池自動車の導入シナリオ(導入初期)¹⁾

	西暦						2030年の シェア
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	
バス	路線バス						50%
貨物車	ゴミ収集車						50%
	4tトラック						10%
	2tトラック						30%
	小型バン						30%
	軽バン						10%
乗用車	(公用車)						50%
	タクシー						10%
	小型・普通						10%
				軽			10%

図3 水素燃料電池自動車の導入車種と本格的導入開始時期の想定¹⁾

表3 中期シナリオにおける各種指標の試算結果

	普及台数	水素消費量	ステーション数	ステーション1ヶ所 当たりの車両数	CO ₂ 排出削減量
2010年	1.2万台	0.5億Nm ³	240ヶ所	50台/ヶ所	1.5万t-C
2020年	67万台	21億Nm ³	2,800ヶ所	240台/ヶ所	63万t-C
2030年	500万台	108億Nm ³	5,800ヶ所	860台/ヶ所	350万t-C

台数の7%)となった。台数の点では、母集団が大きい乗用車、バン(軽・小型)が大半を占めることになる。また、2030年における水素消費量は108億Nm³と見積もられた。これは1997年におけるわが国の自動車用燃料消費量の9%を代替できる量である。108億Nm³の水素を製造するのに必要な都市ガスは、1997年の都市ガス消費量の19%に相当し、現在の供給能力を徐々に増強すれば対応できるレベルであると考えられる。一方、これだけの量の水素を海外から液体水素の形で輸入すると仮定すると、10万kl積みのタンカーで約140隻分に相当し、ほぼ2日に1隻のペースで液体水素タンカーを受け入れることになる。

車両の導入とステーションの建設は同時並行的に行うことになるが、円滑な導入を図るにはステーションの整備を先行させるのが適当と考えられる。特に一般乗用車の普及のためには、相当数のステーションを整備することが不可欠である。本研究では、ステーション数の推移もシナリオとして与えており、2017年にLPGスタンド並み(1,900ヶ所)、2030年にガソリンスタンドの10%(5,800ヶ所)の水素ステーションを整備するとした。この場合、ステーション1ヶ所当たり

の車両数は、導入開始後かなりの期間、少ない状態が続くことになり、1ヶ所当たりの水素消費量も同様の傾向となる。

水素を天然ガス改質方式で供給した場合、水素燃料電池自動車の走行に伴うCO₂排出量(資源の採取、転換、輸送等を含む。車両の製造、廃棄は含まない。)は、ガソリン車の約41%、ディーゼル車の約57%に減少すると見込まれる¹⁾。この比率を用いて、水素燃料電池自動車の普及によるCO₂排出削減量を試算すると、2010年におけるCO₂排出削減量は1.5万t-Cと試算される。これは1990年のわが国のエネルギー起源CO₂排出量:2億8,700万t-Cの0.01%以下とごく僅かなものであるが、2020年の排出削減量は63万t-C(1990年排出量の0.2%)、2030年の排出削減量は350万t-C(同1.3%)となり、将来のわが国のCO₂排出削減に相当に大きな寄与が期待できる。

3.3 長期シナリオ

上記のような数量的な側面とは別に、長期的にみると水素燃料電池自動車の導入形態の中身が変化していくと考えられる。その様子を表4¹⁾に示した。

主な水素源としては、当分のあいだ天然ガス(都市

表4 水素燃料電池自動車の導入形態の移り変わり¹⁾

	初期 (~2010)	中期 (~2020)	長期 (2030~)
主な導入車種	バス 業務用バン	バス, 小型トラック 業務用バン, タクシー	二輪車を除く全ての車種
車載容器	高圧タンク 吸蔵合金	高圧タンク 吸蔵合金	吸蔵合金 液体水素
主な水素源	天然ガス (都市ガス)	天然ガス (都市ガス)	海外の再生可能エネルギー
国内輸送	パイプライン (都市ガス)	パイプライン (都市ガス)	液体水素タンカー 液体水素トレーラー
経済性	補助・助成を含めて競合自動車より有利	補助・助成なしで競合自動車より有利	水素にも課税した上で経済的に成立
推進要因	技術開発競争, 大気汚染防止, CO ₂ 排出削減	大気汚染防止 CO ₂ 排出削減	CO ₂ 排出削減 エネルギーセキュリティ

ガス)が使われると想定したが、一部ではLPGからの製造や電解水素・副生水素の利用も行われるであろう。ステーションで水素を製造した場合、これを液化するのは非現実的であるので、車載方法は高圧ボンベか吸蔵合金タンクとなる。

将来、化石燃料の価格上昇や温室効果ガス抑制の一層の強化などが現実のものとなれば、海外の再生可能エネルギーから液体水素を製造し輸入するようになるであろう。その時には、国内輸送は液体水素が中心となり、車載容器としても液体水素タンクが登場する。液体水素の利用により航続距離不足の問題は解決され、大型トラックを含む全ての四輪車に水素燃料電池を適用することができるようになる。移行期間には、さまざまな形態のステーションと車載容器が混在することになるが、予め規格等を整備しておくことで混乱を避けることは可能であろう。

4. 導入のための課題

水素燃料電池自動車の導入・普及のための主要な課題は次のとおりである。

4.1 技術的課題

(1) 車載水素貯蔵技術

貯蔵能力, 急速充填, 耐久性, コスト

(2) 燃料電池システム

コンパクト化, 高効率化, 水の凍結対策, 低温起動, 信頼性, 耐久性, コスト低減

(3) ステーション

建設コスト低減, 効率向上, ユーティリティ使用量削減, 信頼性, メンテナンス低減

4.2 政策的課題

- (1) 法律, 基準, 規格等の整備
- (2) 車両・ステーションに対する助成策
- (3) 特定用途や特定地域等へ集中的導入
- (4) 水素自動車のナショナルセンター的組織の設置

5. まとめ

燃料電池自動車用の水素の供給は、都市ガス等の既存のエネルギーを利用することで、技術的にも経済的にも成立するシステムが構築できる。

今後、技術の開発・実証、法規制の整備等を適切なタイミングで行っていくことによって、水素燃料電池自動車の導入・普及が可能になると考えられる。

引用文献

- 1) 助エンジニアリング振興協会；WE-NETサブタスク7平成10年度成果報告書（1999）
- 2) 運輸省運輸政策局情報管理部；自動車輸送統計年報（平成9年度分）（1998）