

燃料電池車普及に向けた インフラ整備シナリオの検討

乾昌弘・福田健三

(財) エネルギー総合工学研究所

東京都港区西新橋 1-14-2 新橋 S Y ビル 8 階

A Strategic Scenario of Infrastructure Construction for FCV

Masahiro Inui and Kenzo Fukuda

The Institute of Applied Energy

Shinbashi SY BLDG. 14-2 Nishishinbashi1-Chome, Minato-Ku, Tokyo

Reducing carbon dioxide emission and enhancing energy security are the most critical energy issues for construction of future energy systems. The hydrogen energy system is widely accepted as one of the most promising system options for solving such problems. Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) of Japanese Government made public its revised introduction scenario of fuel cell vehicles (FCVs) and stationary fuel cells with a time frame of 2005 to 2030 in March, 2004. In this paper, we describe a scenario of the infrastructure construction for achieving the Government's targets of FCV. And prospected future hydrogen costs being included, we have estimated the additional investments in the infrastructure.

Keywords: scenario, hydrogen costs, FC

1. 緒言

最近の原油価格の高騰や地球温暖化への世間の関心が一層強くなっている。こうした中、クリーンエネルギーである水素に対して、エネルギーセキュリティーの向上、大気汚染や地球温暖化抑止への寄与、産業活性化等の面から注目が集まっている。

本論文では、水素エネルギー導入・普及の促進に資するために取り組んできた燃料電池車普及に向けたインフラ整備シナリオの作成、特に経済性について報告する。具体的には、将来の水素供給価格及び必要な追加投資額を算出する。

2. シナリオ研究の目的

本研究の目的は、(遠い将来ではなく)化石燃料との共存時代に水素エネルギーシステムの早期実現の方向性・道筋を明らかにし、ステイクホルダー及び国に積

極的な関与を促す情報を提供することである。この方法としては、以下の3項目がある。

- (1) 水素エネルギーの経済的可能性を示す。
- (2) 水素の環境優位性を示す。
- (3) エネルギー安定供給への寄与の可能性を示す。

特に(1)に重点を置き、研究を進めている。具体的には既存エネルギーとの競合条件を指標化するため、NPV(正味現在価値)法を用いているが[3]、説明を容易にするため次の経済性評価式で内容の説明をおこなう。

まず、1ステーションの水素供給コストを水素供給パス(製造～ステーションに至るパス)で合計して算出する。それを空間(日本全国に配置されるであろうステーション)で合計して、さらに一定時間(例:2005年～2020年)で積算をして支出合計額とする。収入を、ガソリン等価価格とすると、式は水素社会になったときにインフラ側で余計に必要な額(追加投資額)となる。

シナリオ策定の面からいうと、水素導入量(政府ベースなど)に対して追加投資額が最小となる条件を見出し

経済性評価

$$= \sum_{\text{時間}} \sum_{\text{空間}} \sum_{\text{水素供給パス}} [1 \text{ 水素ステーションの水素供給コスト}] - \sum_{\text{時間}} \sum_{\text{空間}} [\text{収入}]$$

て、そこに至る道筋を明らかにすることである。

もう少し詳しく、各項目の内容を説明する。

・[1水素ステーションの水素供給コスト] ----- 固定費とランニングコストに分解でき、固定費には原価償却費や定期点検補修費が、ランニングコストには人件費やユーティリティコストが含まれる。

・Σ水素供給パス----- オフサイトの場合は、水素製造（コークス炉ガス：COG 副生水素、石油精製など）、水素輸送（圧縮水素、液水、ケミカルハイドライドなど）及びステーションの組み合わせ、オンサイトの場合は、水素製造（都市ガス、ナフサ、灯油、LPG、ガソリン改質、水電解など）から充填をさす。

・Σ空間----- 地理情報を利用して水素製造分布、水素消費分布、道路情報をもとにステーションを配備する。

・Σ時間----- 一定期間内で、ハードウェアの更新が行われる周期あるいは量産効果のためのコスト低減が考慮される。

将来に向けての経済性評価には、仮定した条件及び内容が含まれる。従って、それを明示することによって次の効果が期待できる。

(1) ステイクホルダー（特に民間企業）が投資すべきかあるいはビジネスに参入すべきかを判断する。

(2) 政策的に水素エネルギー導入・普及の促進のために推進すべき項目、内容がわかる。

(3) 経済性の面から優先すべき技術開発項目が明らかになる。

以下の章では、具体的な中味について述べる。

3. 基本シナリオの策定

図1のながれに沿って策定したシナリオを記述する。ただし、本章では、掛かるコストの地域格差はなく、オフサイトの場合は、輸送距離を50Kmと仮定した。これを基本シナリオと呼ぶことにする。

(1) ビジョン

ビジョンは、節目ごとの目標あるいは予測をさし、シナリオ策定の重要な出発点となるものである。ここでは、政府による燃料電池車(FCV)の期待される導入台数を用いた。(2010年：5万台、2020年：500万台、2030年：1500万台) [8]

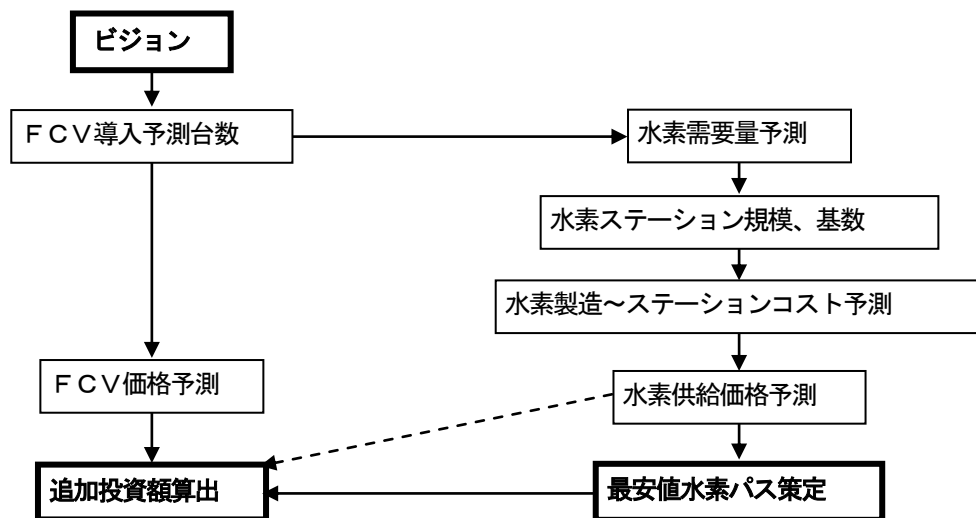


図1. FCV向け水素インフラの経済性評価の流れ

表1. シナリオ策定の基本的な考え方

期間	黎明期 (2005年～2010年)	導入期 (2011年～2020年)	普及期 (2021年～2030年)
普及の中心	路線バス 公用車 (ステイクホルダー所有 の車)	業務用自動車など (含:バン、トラック)	自家用乗用車 軽自動車 タクシー トラック(4t～10 t)
対象車種合計	20万台	1250万台	5660万台
普及方法	計画導入	施策実行 (1) 2011年～2015年 3大都市圏の買替の50% (2) 2016年～2019年 全国の買替の50% (3) 2020年～ 買い替えすべてが対象	自然普及

(2) FCV 導入予測台数

ビジョンをもとにしたシナリオの基本的な考え方を表1に示す。2005年～2030年を3つの期間に分け、普及の中心車種を選択してそれぞれの普及方法を設定した。これをもとに各年の車種別の普及台数を算出した。

(3) 水素需要量予測

車種別の普及台数から水素需要を予測する。ガソリン車及びディーゼル車の実績から計算の都合上、2005年と2020年の中間でFCVの効率(Tank to Wheel)が50%から60%に変わると仮定して1台あたりの年間水素消費量を算出した。[4]

(2020年:約65億Nm³、2030年:約170億Nm³)

(4) 水素ステーション規模

ガソリンスタンドの平均販売量は、効率も考慮して水素に換算すると約300Nm³/hrとなる。従って、表2のように3タイプを設定した。黎明期は、タイプ1、タイプ2が主流となり、普及期はタイプ3が主流となると仮定した。

(5) 水素ステーション基数

黎明期のように十分にスタンドが普及していない段階では、1ステーションあたりでカバーする台数(カバー率)は少ないと考えられる。もし、カバー率を大きく設定するとFCVを所有していても近くに水素ステーションがまったくない可能性が出てくる。図2にCNG車と

表2. ステーション諸元

考慮すべき項目	単位	タイプ1	タイプ2	タイプ3
水素供給能力	Nm ³ /h	100	300	500
営業時間[5]	時間/日	13	13	13
営業日数	日/年	365	365	365
年間総供給可能量	Nm ³ /年	474,500	1,423,500	2,372,500
稼働率		0.85	0.85	0.85
年間総供給量	Nm ³ /年	403,325	1,209,975	2,016,625
供給量	Nm ³ /日	1,105	3,315	5,525

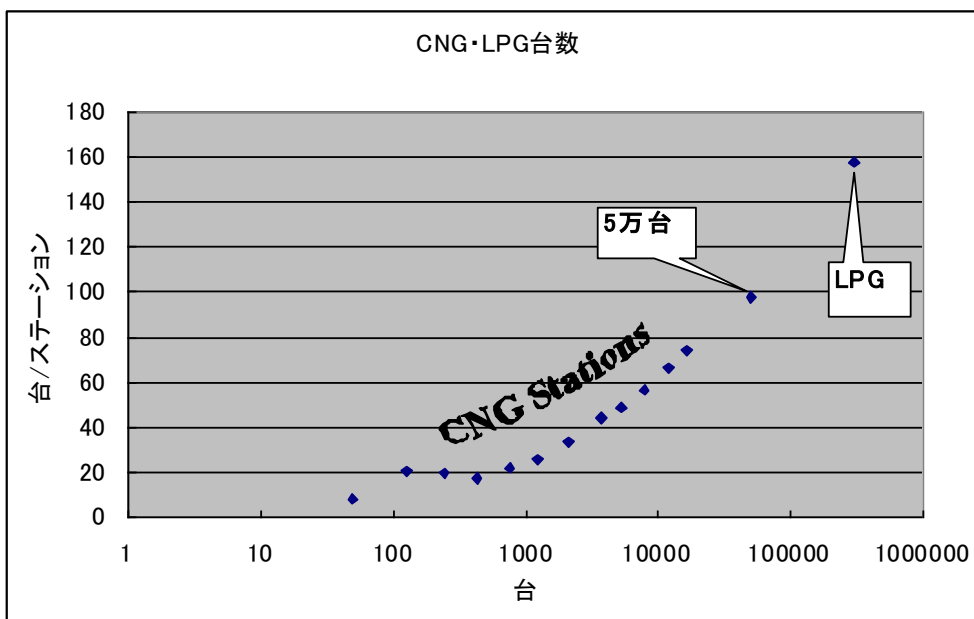


図2. 水素スタンド数の推定[6][7]

(CNGとLPGステーションは実績値)

LPG 車の実績を示す。左側の 12 点はCNGステーションの実績、一番右側の点はLPGスタンドの実績である。例えば、5 万台 (FCV の 2010 年予測台数) のときは補間するとカバー率は、約 100 となる。従って 500 箇所必要となる。このようにして黎明期は、図2を参考にカバー率を設定した。

2020 年は需給バランスがとれると仮定し、その間 (2011 年~2019 年) は、カバー率が線形に増加するとして水素ステーション数を設定した。

(2020 年 : 約 3500 箇所、2030 年 : 約 8500 箇所)

(6) 水素供給価格予測

水素供給パスとしてオフサイトステーションは COG

副生水素、オンサイトステーションは都市ガス改質を取り上げる。COG 副生水素を精製して水素ステーションに運ぶには、主として圧縮輸送、液水輸送があるが、圧縮輸送の場合を示す。

水素コストに影響を及ぼすのは、主に建設費、変動費 (ユーティリティコスト等)、人件費である。特にステーション建設費には、土木工事だけでなく機器コストも含まれているが、将来予測に関しては、改質器、圧縮機、蓄圧器、ディスペンサについて量産効果によるコスト低減を見込んでいる。[9]

以上の費用を積算して水素 1 Nm³ あたりのコストを算出した結果を表3に示す。

(7) 追加投資額

表3. 稼働率を考慮に入れた水素供給価格予測

ステーションタイプ	供給規模 (Nm ³ /hr.)	水素供給価格 (円/ Nm ³)			
		2006 年	2010 年	2015 年	2020 年
オフサイト (COG)	1 0 0	169.3	123.7	117.1	112.2
	3 0 0	108.5	84.5	80.8	78.1
	5 0 0	—	—	73.5	71.2
オンサイト (都市ガス)	1 0 0	181.4	122.0	112.6	106.0
	3 0 0	108.9	75.1	69.4	65.4
	5 0 0	—	—	59.9	56.6

水素価格を燃料効率も考慮に入れてガソリン等価格(102.2円/l)で販売する(111.3円/Nm³-H₂)と仮定して、追加投資額を計算した。表4に結果を示す。ここで「車両価格差」は、FCV価格の将来予測をして車種ごとに合計をした。「バス償却分」は、路線バスを優先的にFCVに代えるために算出した。以上の2項目は、インフラ側だけを検討するのであれば除外しても構わない。「軽油価格差」は、ディーゼル車からFCVに代わったユーザへの補填額である。「税金減収分」は、ガソリン税、軽油引取り税を徴収しないという前提での合計である。「外部コスト」は、ある活動によりもたらされるメリット(便益)或いはデメリット(コスト)のうち、経済価値として現在の市場経済に反映されていないものを指す。本対象の場合には水素エネルギーシステムの導入による局所的な大気汚染の改善による健康被害の減少やCO₂排出量の削減が「便益」として考えられ、また適切な安全策が採られない場合の水素による事故のリスクなどが

「コスト」となる。(産業技術総合研究所が研究しており、その結果を反映して算出した。)

この結果によると外部コストを考慮に入れても3兆円程度(オンサイト、オフサイトステーション同数で2030年までの合計)の追加投資額が必要である。また、詳細は省くが資源エネルギー庁長期エネルギー需給見通しを参考に原油価格が上昇する場合は、外部コストを考慮すると2030年では、追加投資額がすべて回収できるという結果になった。

4. 地理情報システム(GIS)の活用した追加投資額最小のシナリオ策定

前章では、追加投資額まで算出したが、この章で如何に追加投資額を最小(最安価水素バスを探索する)とするかを説明する。具体的には黎明期の基本シナリオについて地理情報システムに展開した場合について説明する。2010年のFCVの期待される導入台数は、50,000台でありその内訳例を表5に示す。インフラ建設には、コストと時間がかかるため、地域に限られる。従って3大都市圏、瀬戸内工業地域及び政令都市周辺を想定している。50,000台から逆算すると路線バスなどは非常に高い代替率でないとは達成できないことがわかる。

図3は、首都圏でステーション稼働率が85%、各バスステーションの燃料電池車代替率が50%と仮定した場合の最安価水素供給地を表している。COG副生水素が都市ガス改質水素を圧倒していることがわかる。図4は、ステーション稼働率が100%(計画的に水素を充填すれば可能である)、水素供給価格の低いバスステーションの

		追加投資額 (単位 10 億円)		
		2010年 まで	2020年 まで	2030年 まで
自動車分	車両価格差	172.8	2,343.1	4,133.2
	軽油価格差	152.9	914.1	2,760.7
ステーション分		-13.3	-1,350.9	-5,256.3
税金減収分		29.8	1,488.9	8,002.7
合計		347.6	3,411.3	9,656.4
外部コスト		-96.2	-1,658.3	-6,480.9
合計 (外部コスト込み)		251.4	1,753.0	3,175.5

表4 累積追加投資額計

表5. 50000台の内訳例

項目	保有台数	代替率	燃料電池車
3大都市圏の路線バス	30000台	50%	15000台
瀬戸内の路線バス	6000台	50%	3000台
京都府、福岡県の路線バス	5200台	約50%	2500台
その他地域の路線バス	38000台	4%	1500台
3大都市圏の公用車	42000台	約25%	10000台
3大都市圏のステイクホルダー	(187000台)	(6%)	12000台
3大都市圏以外のステイクホルダー			6000台
合計			50000台

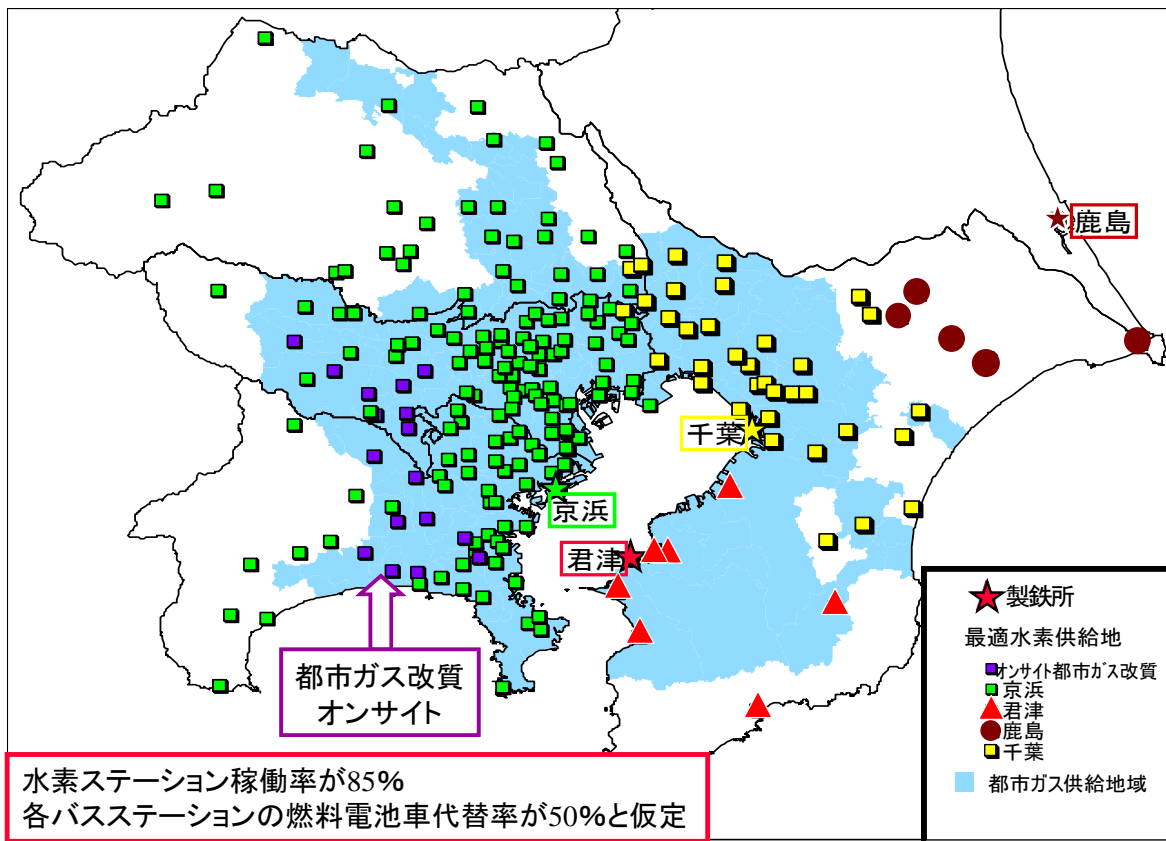


図3. 首都圏のケーススタディ1 (黎明期)

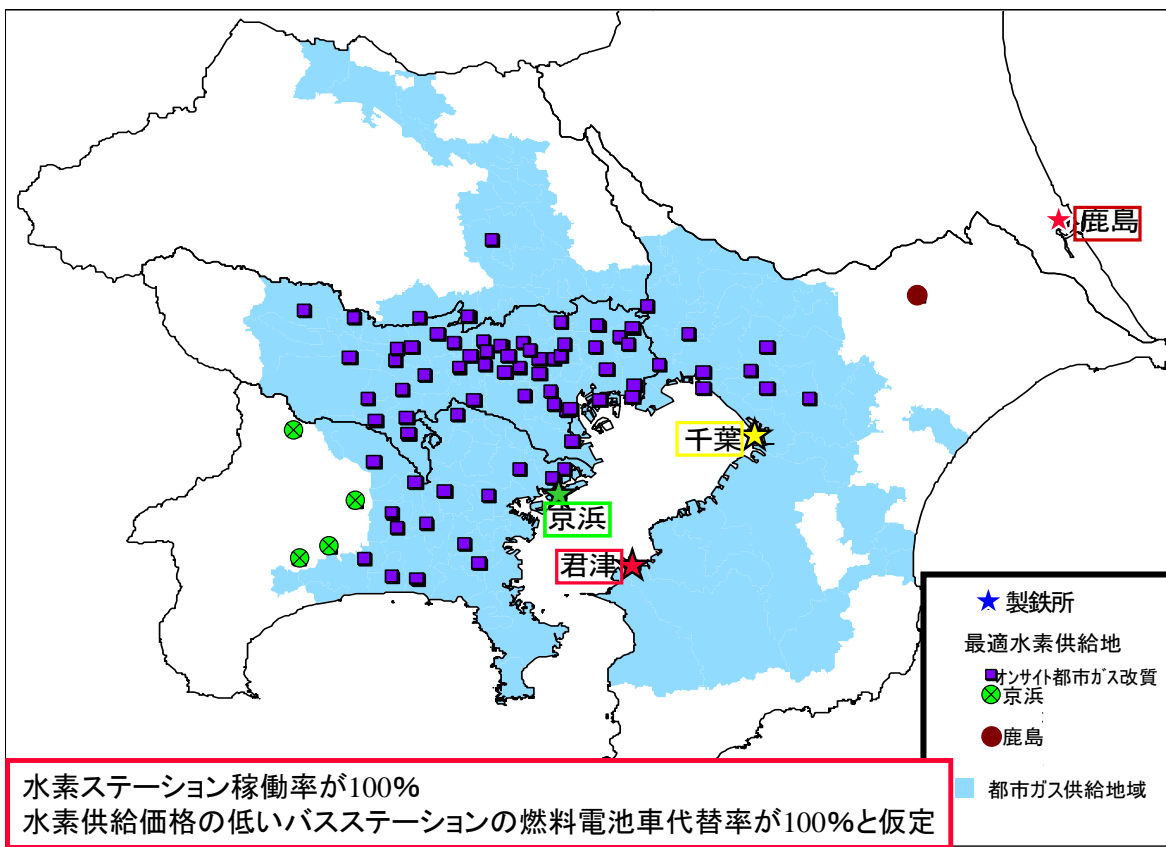


図4. 首都圏のケーススタディ2 (黎明期)

燃料電池車代替率を 100%として全体として 50%の代替率にした場合の最安価水素供給地を表している。この場合は状況が逆転して都市ガス改質水素が圧倒していることがわかる。このように条件を変えることによって追加投資額最小のシナリオを検討することができる。

次に 表6に示すような4ケースの内容で、追加投資額最小のシナリオを検討してみた。(表4のステーション分に相当)なお、投資額は3大都市圏検討結果より対象地域に対する推定行なった。(2)及び(3)が、FCV台数について比例計算すると2010年で対象全地域に対して500箇所となるケースである。(4)は、利便性を考慮せずに水素ステーションを集約した特殊なケースである。

以下で分析の結果を整理する。

(1) 水素供給価格はステーションの稼働率に大きく左右される。

(2) 導入方針にもよるが需要はある程度偏在するため、同じステーションの数を導入する場合は、地理的要素を考慮すると水素供給価格及び追加投資額は上昇する。

(3) オフサイトステーションはオンサイトステーションに比べて初期投資が少なく、需要に応じて水素を購入できるタイプのため、稼働率の変化による水素供給価格

の変化が少ない。従って、稼働率が低くなればオンサイトステーションの水素供給価格は大幅に上昇するため、低稼働率ではオフサイトステーションの方が有利である。逆に高稼働率では、オンサイトステーション有利となる。ステーションによっては、最初はオフサイトステーションタイプとし、需要が高まってからオンサイトステーションに転換することも考えられる。

5. 今後の予定

平成17年3月に水素ステーションに関する規制緩和がなされたが、その基準に則りコスト試算をおこなったところ、2020年500Nm³/hr.のガソリンスタンド併設型ステーションで若干の低下が見られた。しかしながら、大幅な水素供給コスト低減には、技術進展以外で実現しようとする斬新なアイデアが必要である。現在、その一環として、水素供給コスト低減のために、夜間水素製造および貯蔵を行なって、1戸建てあるいは集合住宅の純水素型FCに水素供給をおこなった場合の経済性評価を行なっている。図5に基本的な考え方を示す。最低限貯蔵するべき水素をタンク又は、カードルに貯めて低圧配管を通じて供給する。

6. 結論

2020年の水素供給価格は、オンサイト型ステーションで、1Nm³あたり50円代までコストダウンができることを示した。しかしながら、政府の目標は40円/Nm³であり、さらなるコストダウンには、技術進展が必要であり、期待される場所である。

このシナリオを実現するためには、以下の課題が解決されなければならない。

(1) ステーションの最適化

FCV、燃料電池双方に対して、経済的かつ効率的に水素を供給する。

(2) 水素配管

安価で耐水素脆化、耐透過性、耐震性のある配管の配管の開発及び普及を促進する。

(3) 定置用燃料電池の普及形体

特に集合住宅における経済性及び耐久性を考慮した純水素型燃料電池の普及形体を調査研究する。

表6 2010年時点での追加投資額の差

(単位 10億円)

ケース (3大都市圏で検討)	投資額
(1) 全対象自治体内に1箇所ST設置、BSがある場合は、その敷地内に設置。 (ST数: 498箇所)	38.8
(2) すべてのBS内にST設置 (ST数: 388箇所)	7.5
(3) 水素コストの安いBSのFCV代替率を75%とし、その車庫敷地内にST設置。 さらに(2)との箇所数差だけ自治体に設置。 (ST数: 388箇所)	2.7
(4) 水素コストの安いBSのFCV代替率を100%として、その敷地内に設置。 (ST数: 139箇所)	-64.7

(注1: STは水素ステーションの略、BSはバスの車庫を表す。)

注2: (3),(4)のケースは、全体としては燃料電池バスへの代替率50%とする。)

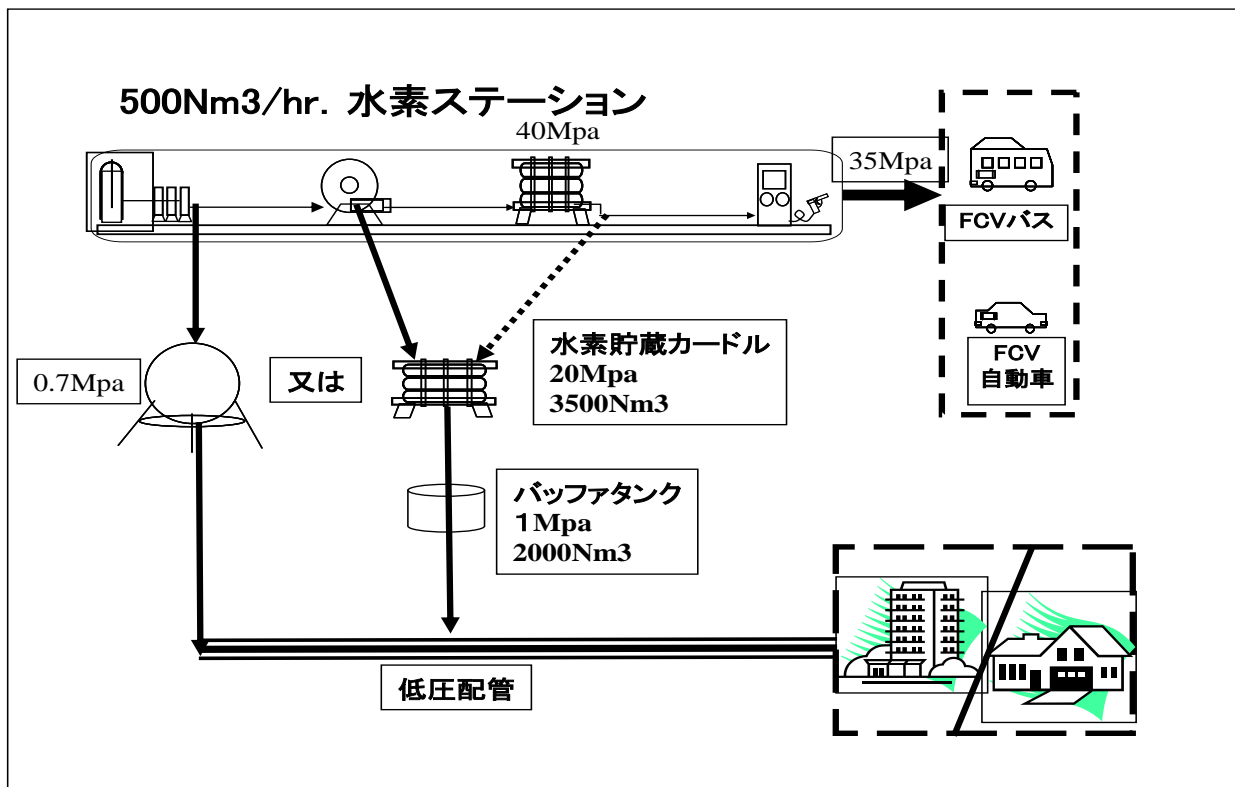


図5. ステーションから定置用に水素を供給する基本的な考え方

(4) 消費者側のメリット

定置用燃料電池の経済性及び省スペース性について調査研究する。

謝 辞

本検討は、主にNEDOから受託した「水素シナリオの研究」(平成15年度～平成16年度)の中でおこなわれた内容である。資源エネルギー庁及びNEDOをはじめ、プロジェクト内に設置された委員会およびワーキング委員の皆様へ感謝の意を表す。さらに産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 分散システムグループ長の赤井誠博士には、外部コスト研究結果をはじめ御協力いただいたことに感謝を申し上げる次第である。

参考文献

1. 平成15年度～平成16年度成果報告書「水素安全利用等基盤技術開発 水素に関する共通基盤技術開発 水素シナリオの研究」P148～P410、平成17年3月、NEDO
2. 平成14年度成果報告書「水素利用クリーンエネルギーシステ

ム技術(WE-NET)第Ⅱ期研究開発タスク1 システムに関する調査・研究」P88～P111、平成15年3月 NEDO-WE-NET

3. Stephen Lasher, and et.al "Fuel Choice for Fuel Cell Vehicles: Hydrogen Infrastructure Costs", pp50-pp55. FY2005 Progress Report.
4. 「車両の総合効率」トヨタ自動車ホームページ
5. 「給油所経営・構造改善等実態調査」P141、平成16年3月、(財)日本エネルギー経済研究所
6. 「CNGステーション数の推移」日本ガス協会ホームページ
7. 「LPガススタント数」日本LPガス協会ホームページ
8. 「第12回燃料電池実用化戦略研究会」PPT4ページ、平成16年3月11日、エネ庁資料
9. 榎屋「燃料電池」P125-P127、平成15年11月、ちくま書房