

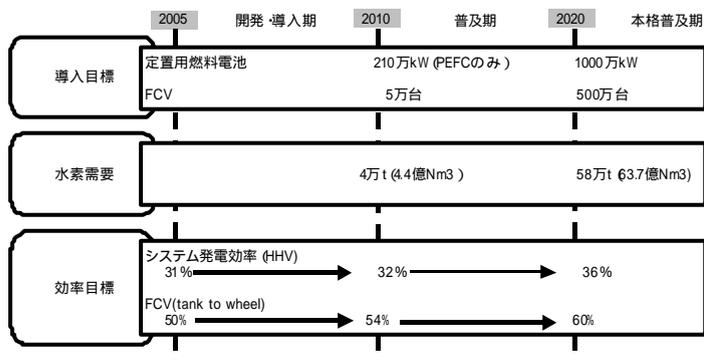
# 石油を使った水素インフラ整備の考え方

## ～ 全ての人 が水素にアクセスできる供給インフラとは ～

チーフコンサルタント 加納 達也

### はじめに ～本格化する水素社会への取り組み～

我が国における本格的な水素社会に向けた動きは、資源エネルギー庁の「燃料電池実用化戦略研究会」において、2001年1月に取りまとめられた「燃料電池実用化戦略研究会報告」で「道筋（ロードマップ）」が示されたことを一つの契機として始まった。同研究会では、2020年までに定置用燃料電池（FC：Fuel Cell）を累計で1000万kW、燃料電池自動車（FCV：Fuel Cell Vehicles）を500万台まで普及させるとする導入目標を掲げており（図表1）、この目標の達成に向けて、「JHFC：Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project」（2002年～）や、「定置用FC大規模実証事業」（2005年～）などの、官民共同による様々な取り組みが進められてきた。また、内閣官房に設置された省庁横断的な組織により、水素社会の実現に障害となると考えられる、6法律28項目の規制の再点検が実施され、2005年3月までに全項目の点検・見直しは完了している。研究会報告から5年余りを経過し、我が国はこの分野での世界のトップランナーの一角を占めるに至っている。



(図表1) 水素エネルギー社会に向けたシナリオ  
(第13回燃料電池実用化戦略研究会 H17.4.19)

関係者の情熱と努力により、順調に滑り出したように見える一連の取り組みであるが、リアルな市場が立ち上がるまでには、まだ相当な時間が必要であると見られている。燃料電池スタック、改質器、全体システム等について、一層の高効率化、耐久性等の向上等を図ることで、FCV用であれば、現在の自動車エンジンのコストと同程度（＝1kW当たり4千円）まで、定置用FCでは、エンドユーザーのコスト負担を1台当たり50万円以下にすること

が求められている。これら燃料電池の基本性能の向上とあわせて重要な課題が、「水素供給インフラの整備」である。米カリフォルニア州では、2010年までに州内の主要なハイウェイ沿い20マイルにつき1ヶ所の水素ステーションをつくるという「水素ハイウェイネットワーク・イニシアチブ」を2004年4月に決定しているが、我が国では、大規模供給インフラのあり方に関する具体的なイメージについての議論が、十分になされていないのが現状である。燃料電池の普及と水素供給インフラ整備の関係は、しばしば、「鶏が先か？卵が先か？」の関係に例えられるが、両者がバランスよく一体的に普及促進されていくことが、水素社会の実現に向けては重要である。

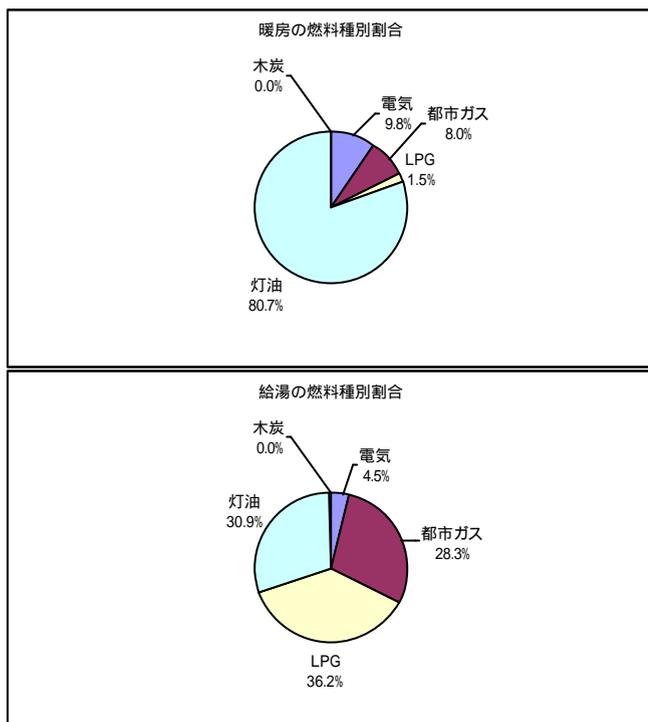
財団法人石油産業活性化センター（PEC）では、平成16年度から平成17年度にかけて、主として灯油などの石油系燃料からの水素の供給と、それを利用した燃料電池の普及方策に焦点をあてた調査<sup>1</sup>を実施している。本稿は、主にそこにおける調査成果を中心に、来るべき水素社会の到来を視野に置いた時の、全ての国民が水素燃料にアクセスできるような水素供給インフラのあり方について、石油燃料の「強み」「特性」を生かす、という観点からの考え方を整理したものである。

### 1. 現在の石油の使われ方と石油の強み

灯油などの石油系燃料は、都市ガスや電気とともに、我々の生活の中においては、非常に身近なエネルギー源の一つである。やや古いデータになるが、独立行政法人NEDOの調査<sup>2</sup>によると、家庭における暖房の8割、及び給湯の3割は灯油が熱源となっている（図表2）。家庭の熱源は近年オール電化が増える傾向にあるものの、依然として灯油は非常に重要な役割を担っているとともに、誰もが利用可能なエネルギー源との位置づけになっている。また、家庭に供給される灯油のほぼ全量が、暖房と給湯に利用されており（図表3）、灯油は燃焼して使用されていると考えられる。灯油の持つ熱量を効率的に使っているとは言い難い状況にあり、今後は灯油のより効率的でクリーンな利用を検討することが望まれるところである。

<sup>1</sup> 財団法人石油産業活性化センター「分散型石油系燃料電池普及促進に関する調査報告書」平成17年3月、及び「石油系水素燃料電池の普及促進技術に関する調査報告書」平成18年3月

<sup>2</sup> NEDO「民生部門エネルギー消費実態調査」平成11年3月



図表2 家庭における暖房 給湯の燃料種別割合

(平成 17 年度 PEC 調査より)

図表3 家庭における世帯あたりエネルギー消費量

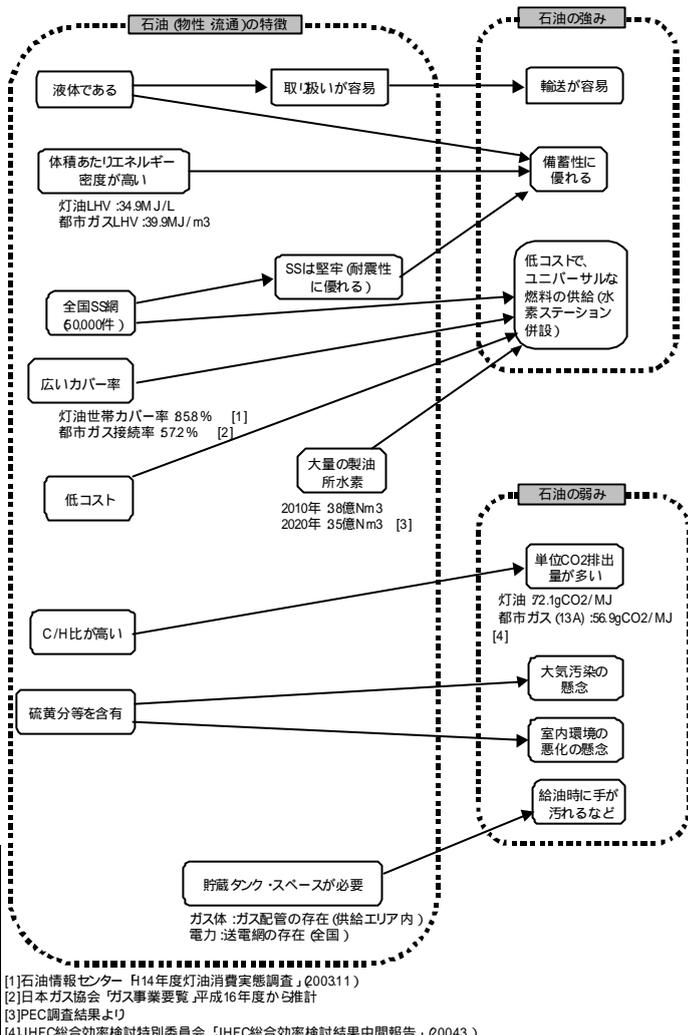
4地域加重平均 (関東/北海道/近畿/九州)

	照明動力	厨房	給湯	暖房	冷房	4地域平均
電気	12,016.3	32.7	699.9	1,406.1	792.0	14,947.0
都市ガス		1,639.2	4,384.8	1,153.7		7,177.7
LPG		2,279.7	5,613.0	220.2		8,112.9
灯油			4,786.7	11,599.8		16,386.5
木炭				0.8		0.8
合計	12,016.3	3,951.6	15,484.4	14,380.6	792.0	46,624.9

MJ/世帯年 (平成 17 年度 PEC 調査より)

次に、石油の「強み」「弱み」について整理を行った(図表4)。石油系燃料は、輸送が容易でエネルギー密度が高いために備蓄性にも優れている。また、全国をほぼ一円にカバーする50,000件のSS(サービスステーション)網によって、石油は国民の誰もがアクセスできるエネルギー源となっている。このことは、原則的にガス導管の敷設エリア内に供給が限られている都市ガスとの比較においては大きな強みとなる。あわせて、製油所においてはブタンやナフサ等から水蒸気改質による水素を製造しているが、これらのバランス余力の水素が大量に賦存していること(=製油所水素)も石油業界の大きな強みである。逆に、石油系燃料はC/H比が高く、都市ガスと比べた単位あたりのCO<sub>2</sub>排出量が多く、また、硫黄分を含有しているために大気環境を悪化させるという弱みを有している。また、備蓄型の燃料であることは、言い換えると備蓄に必要なスペースが必要であり、また、「給油する」

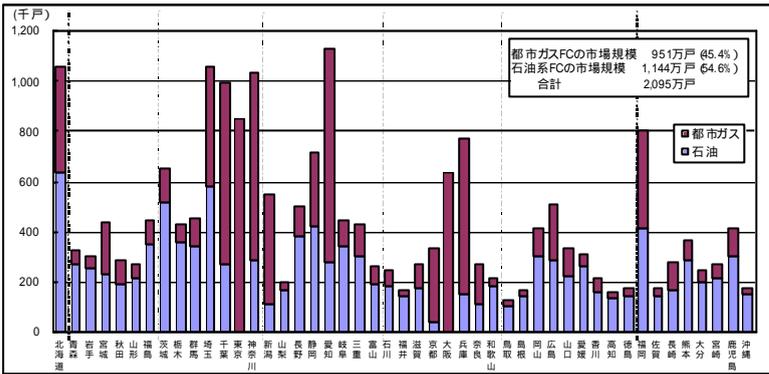
という作業が発生する。このことは、ガス栓を回せば簡単に供給される都市ガスと比べて利便性の上での弱みとなる。



図表4 石油の「強み」「弱み」

(平成 17 年度 PEC 調査結果を一部修正して作成)

水素パイプラインなどによる大量水素供給インフラが整備されていない水素社会初期の段階では、水素を使用する需要地(オンサイト)において、灯油や都市ガスなどを改質させて水素を製造・利用することが主流になると考えられる。この段階では、利便性と環境性に優れた都市ガスが、原燃料として優位な位置にあると考えられるものの、都市ガスの全国世帯普及率は6割弱であり、「誰もが水素にアクセスできる」という観点からは、全国を広くカバーする灯油などの石油系燃料も重要な役割を果たすものと考えられる。PECの調査結果によると、敷地面積100m<sup>2</sup>以上の持家世帯を対象に、都市ガス供給エリアは都市ガス改質、それ以外のエリアを石油系改質の市場とした場合、地方都市を中心に全国対象世帯の54.6%が、石油系改質の主要マーケットになるとされた(図表5)。



図表5 都市ガス系、石油系のFC市場規模

(平成17年度PEC調査より)

(注 敷地100m<sup>2</sup>以上の世帯割合は都市部より地方のほうに高い割合で存在しているため、都市ガスの市場割合は、都市ガスの全国世帯普及率である6割弱より低くなる)

## 2. 改質型石油系燃料電池の普及イメージ

次に、オンサイト改質型石油系燃料電池の、需要家別のモデルケーススタディ結果を整理する。(いずれも、平成17年度PEC調査より)

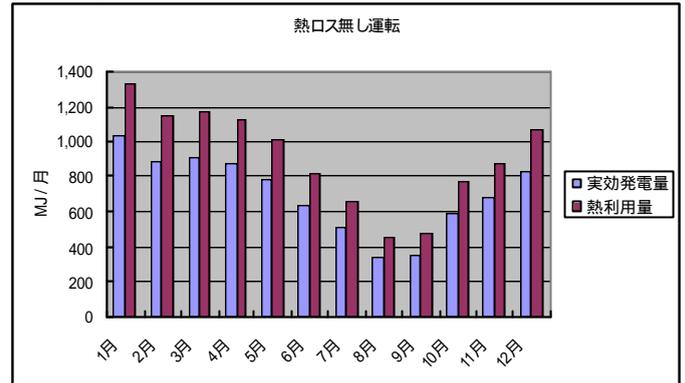
### 家庭でのモデルケーススタディ

従来システムとの比較では、ランニングコスト・CO<sub>2</sub>負荷ともに石油系燃料電池は優れている。また、同じ前提の下では、灯油価格104円/Lが、ランニング損益の分岐点となった。

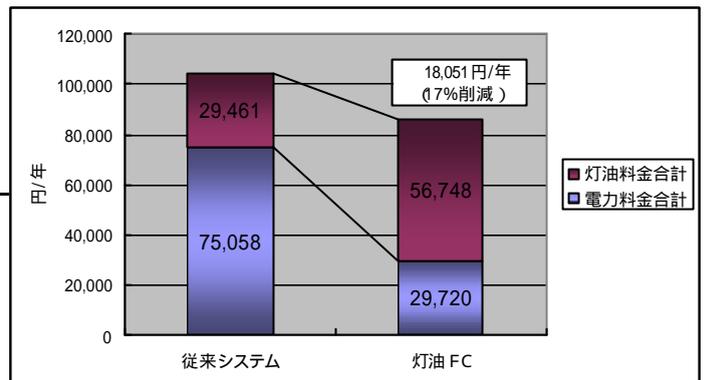
図表6 家庭モデル試算の前提

	使用数値 出所など
北海道家庭モデル	NEDO 民生部門エネルギー消費実態調査
従来システム	電力 北海道電力従量電灯B 熱 灯油給湯器(効率78%)
月別時刻別負荷パターン	(社) 空気調和 衛生工学会の標準建物負荷データ
燃料電池	PEFC 定格1kW ターンダウン20% 実効効率(LHV)電力 30% 熱 39% 貯湯槽内の放熱ロス5%考慮
運転パターン	電力負荷追従とするが、貯湯槽内のお湯が一杯になった場合、運転を停止させる(熱ロス無し運転)
ランニングコスト	灯油 63円/L
CO <sub>2</sub> 比較	灯油 72.1gCO <sub>2</sub> /MJ (64.9MJ/L) 電力 602gCO <sub>2</sub> /kWh

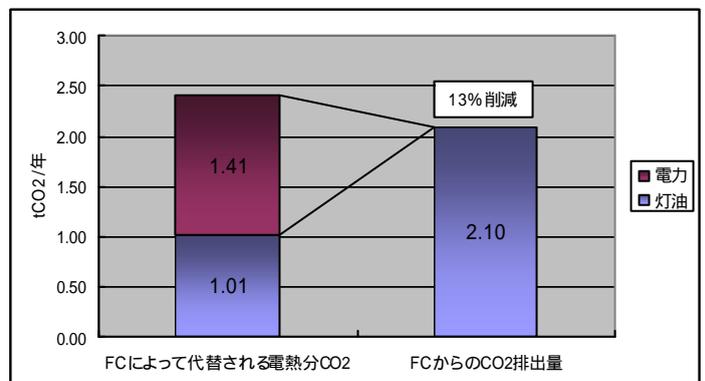
図表7 家庭モデル月別運転パターン



図表8 家庭モデル ランニングコスト比較



図表9 家庭モデル CO<sub>2</sub> 負荷比較



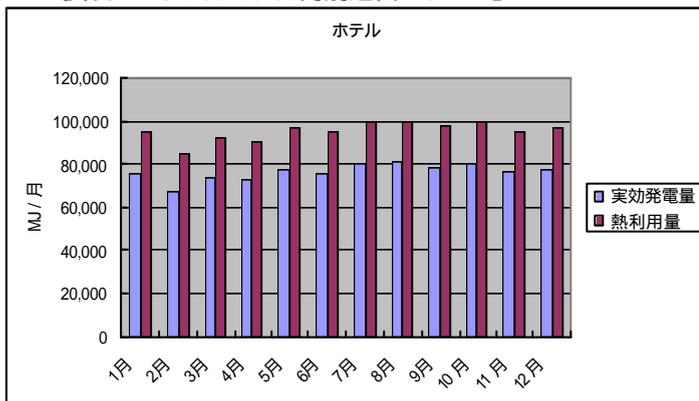
### ホテルでのモデルケーススタディ

ホテルは、業務系電力料金が家庭に比して低価格であるにもかかわらず、夜間の給湯熱需要が多く、石油系燃料電池によるコスト効果は高い。また、FCの利用率は97%で、高いCO<sub>2</sub>削減効果が期待できる有望な利用先の一つである。なお、夜間の需要が高いという観点からは、病院などもホテルと同様の効果が期待できると考えられる。

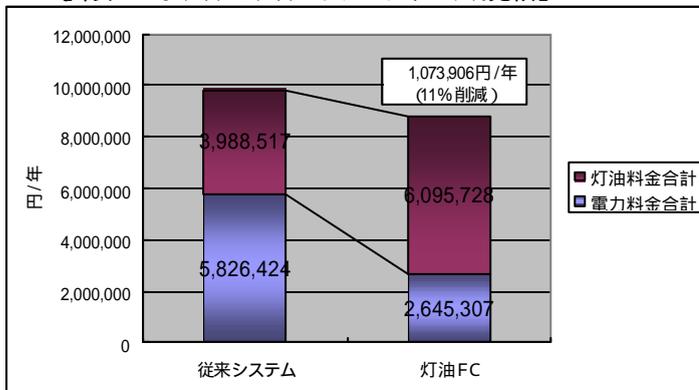
【図表 10 ホテルモデル試算の前提】

	使用数値 出所など
ホテルモデル	NEDO 民生部門エネルギー消費実態調査 延床面積 2000m <sup>2</sup>
従来システム	電力 東京電力業務用季別電力 熱 灯油給湯器 (効率 78%)
月別時刻別負荷パターン	(社 空気調和 衛生工学会の標準建物負荷データ
燃料電池	PEFC 定格 30kW ターンダウン20% 実効効率 (LHV) 電力 35% 熱 46% 貯湯槽内の放熱ロス5%考慮
運転パターン	家庭と同じ熱ロス無し運転であるが、結果的にほぼ全連続運転パターンとなった
CO <sub>2</sub> 比較	灯油 72.1gCO <sub>2</sub> /MJ (84.9MJ/L) 電力 602gCO <sub>2</sub> /kWh

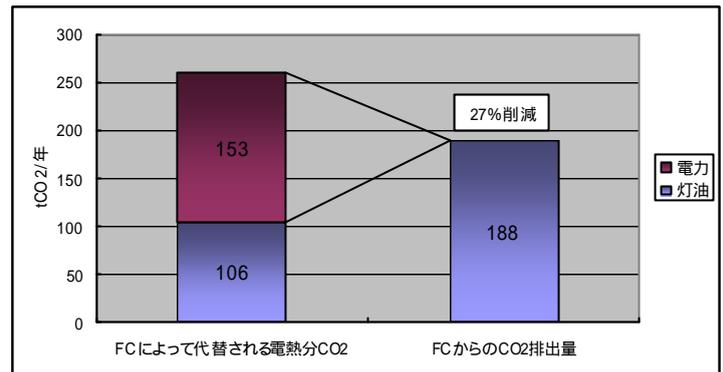
【図表 11 ホテルモデル月別運転パターン】



【図表 12 ホテルモデル ランニングコスト比較】



【図表 13 ホテルモデル CO<sub>2</sub> 負荷比較】



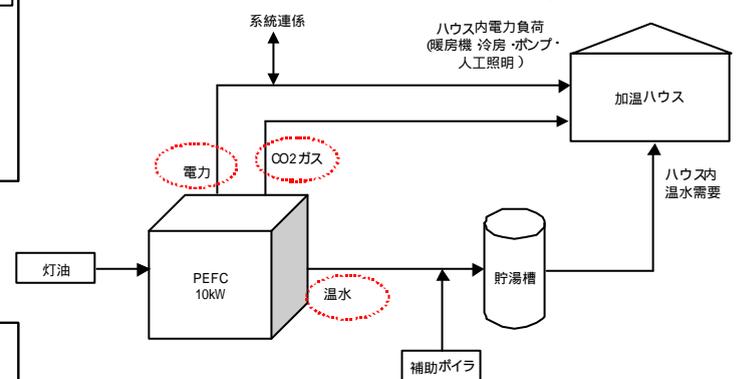
その他の利用方法

石油系燃料電池の利用先として、他には以下のようなものが考えられる。

【農業加温ハウスでのトリ・ジェネレーション】

電熱供給 (コ・ジェネレーション) に加えて、燃料使用に伴い発生する炭酸ガスを、光合成促進用に施与するという「トリ・ジェネレーション」としての使い方が考えられる。これは、石油の弱みでもある C/H 比の高さを逆に有効に利用する試みでもある (図表 14)。

現状、電力と A 重油の代替だけでは、コストメリットを出すことは難しい。炭酸ガス施与分をどのようにコスト削減分に評価していくのかがポイントとなる。

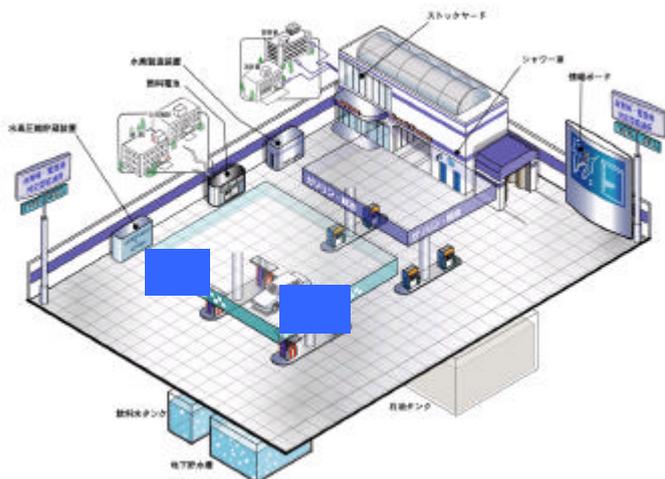


【図表 14 ハウスでの「トリジェネレーション」イメージ (平成 17 年度 PEC 調査より)】

【災害時対応兼用型 (SS への設置)】

石油は備蓄性に優れており、また、既存の SS は堅牢な建物構造であるとの点に着目し、SS に改質型燃料電池を設置することで、ライフライン寸断時の緊急車両への給油や、周辺の病院などに電力を優先供給するなどの機能をもった「災害対応兼用型 SS」が検討できる (図表 15)。平常時の利活用として、SS 内に排熱の利用先を確保することが、経済性の面からの課題となる。

【図表 16 :モデルケースの設定】



【図表 15 平常時・災害時対応兼用型 SS のイメージ】

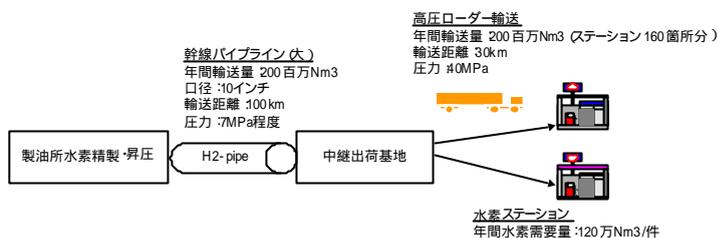
(平成 16 年度 PEC 調査より)

### 3 . 大規模供給ネットワークの考え方

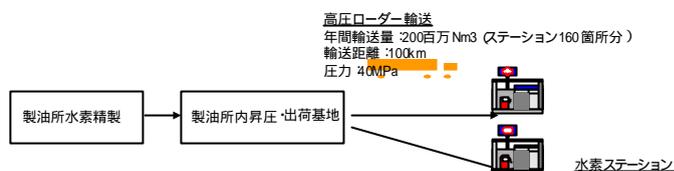
先述したように、製油所からの水素供給ポテンシャルは非常に大きく、PEFC として利用するために必要な 99.99%の純度まで高める PSA ロス分を見込んで、2020 年において 35 億 Nm<sup>3</sup> の水素供給余力があるとされている。これは燃料電池実用化戦略研究会で示された、FCV500 万台の水素需要量である年間 63.7 億 Nm<sup>3</sup> の約 55%に相当する量である。大量水素消費の段階（水素社会普及期）になると、オンサイトでの個別改質方式ではなく、製油所からの低コストな純水素を大量に需要地まで供給するようなイメージを描くことが出来る（=オフサイト供給方式）。この場合、オンサイト改質が不要になることで、FC の効率向上、起動時間の短縮、省スペース化といったメリットも期待できる。ここでは年間 2 億 Nm<sup>3</sup>（ステーション 160 箇所分）という大量の製油所水素を需要地まで輸送するということを想定して、そのための輸送手段として、幹線パイプラインで中継基地まで輸送し、基地から水素ステーションまでは高圧ローダーで輸送するというケースと、製油所からステーションまで全量を高圧ローダーで輸送するという 2 ケースによって、輸送コストの比較を行った。（いずれも平成 17 年度 PEC 調査より）

なお、三重県では、四日市コンビナートに賦存する余力水素を、周辺需要地などで活用することなどを目指した、「水素関連技術可能性調査」を平成 16 年度に実施し、次いで、平成 17 年度には、産学官連携による「三重県水素エネルギー総合戦略会議」を設置している。製油所水素の利活用に関する具体的な動きは、一部の先進自治体では既に始まっている。

ケース1]幹線パイプライン輸送ケース  
製油所 パイプライン 中継基地 高圧ローダー ステーション



ケース2]ローダー輸送ケース  
製油所 高圧ローダー ステーション



【図表 17 輸送コスト比較】

(水素製造、ステーションでの充填コストは含まない)

単位: 円/Nm<sup>3</sup>

	ケース1] パイプ+ローダー	ケース2] ローダー
(1)パイプへの昇圧	1.6	-
(2)ローダー用出荷基地 (コンビナート)	-	5.7
(3)パイプライン	2.0	-
(4)中継出荷基地	4.7	-
(5)高圧水素ローダー輸送	12.1	21.3
合計	20.4	27.0

(平成 17 年度 PEC 調査より)

注) パイプラインコストは、UC Davis の Nathan Parker 氏の研究成果、「Using Natural Gas Transmission Pipeline Costs to Estimate Hydrogen Pipeline Costs」により、以下の式で算出。

$$H_2 \text{ Pipeline Cost} = [924.5 (\text{dia } 2) + 12,040 (\text{dia } 2) + 260,280] (\text{length}) + 378,750$$

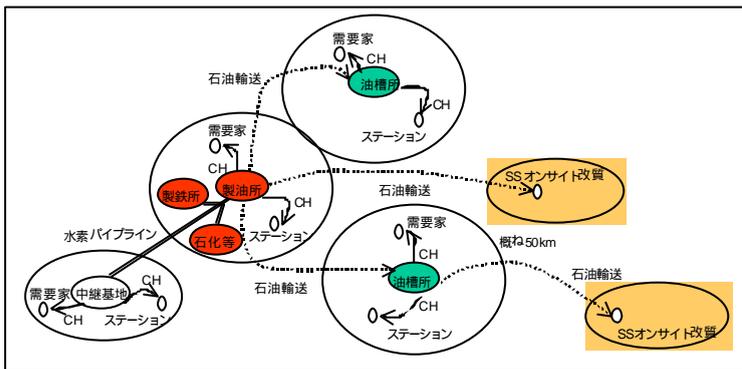
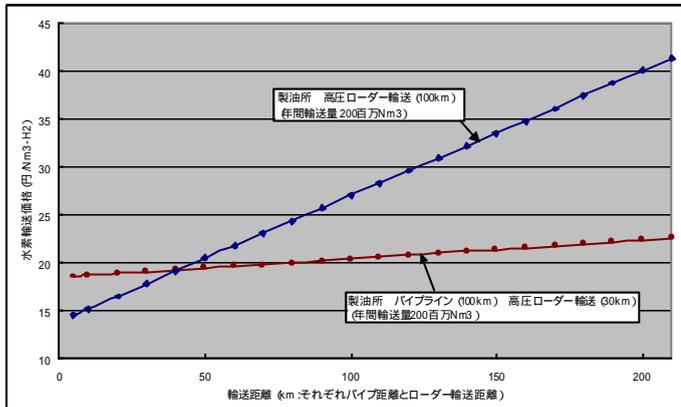
口径 10 インチ、敷設 100km で、35,741 円/m (US\$1 = ¥120) となった。なお、ここにはライトオブウェイは含まない。)

モデルケースである 100km 輸送の場合では、幹線パイプライン（ケース 1）が安価な輸送手段であるとの結果となった。実際には輸送距離がコストに大きく影響すると考えられることから、次に距離によるコスト感度分析を実施した（図表 18）。これによると、輸送距離が 40km までであれば、高圧ローダーがコスト的に優れているとの結果となった。また、全国一律の安価な水素供給網の構築を念頭に置いた場合、全国に 230 箇所あるとされる「油槽所」の活用が考えられる。油槽所には大量の石油

<sup>3</sup> 平成 14 年度に PEC が行った調査では、製油所水素製造コストは 11 円/Nm<sup>3</sup>。原油価格の上昇を考慮しても 21 円/Nm<sup>3</sup>程度（筆者試算による）と推測される。

系燃料が備蓄されており、ここに大～中規模の水素製造装置を設置して、油槽所から 40km～50km 圏の高圧ローダー供給網を整備することで、多くの初期コストと時間を要するパイプラインインフラの整備に拠らずに、石油の強みを生かした大規模な水素供給ネットワークの整備が可能となる（図表 19）。

【図表 18 輸送距離による感度分析】



【図表 19 石油系水素輸送のイメージ】

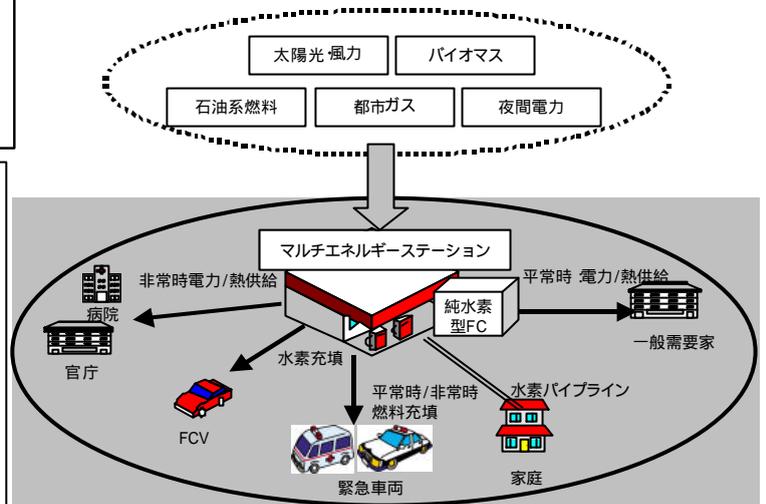
(平成 17 年度 PEC 調査より)

(注 液体水素等、他の輸送方法に関しては検討を行わなかったが、実際は最適な方式を選択するのが望ましい。CH は圧縮水素)

#### 4 .他の水素源とのネットワークと多様な利用形態

ここまで、主に全国一円をカバーすることができる、石油系燃料を活用した水素供給インフラの考え方を整理してきたが、実際の水素社会のイメージとしては、多様な水素供給源の中から「供給安定性」「環境性」「コスト」などの観点から、最適な水素製造方法が選択されるものと考えられる。当面は、石油系燃料とともに都市ガス、系統夜間電力を活用した水素製造が有力である。将来的には、バイオマスや風力発電などの再生可能エネルギーを活用した水素製造が、CO<sub>2</sub>フリーの観点からは有望視されている。水素の利用先という観点からは、定置用 FC や FCV 向け燃料としての利用の他に、水素の形で蓄えたエネ

ルギーを、電力や熱に変えて、送電線などで需要地まで送るということも考えられる。水素の輸送インフラが未整備な状況の中では、既存の送電ネットワークや都市の熱導管が利用できるという意味で、現実的な水素利用方法の一つともいえる。なお、価値総合研究所は、武蔵工業大学、シナネン(株)、栗田工業(株)、伊藤忠エネクス(株)、関係各社、各機関等と、このような多様な水素源からの水素製造ステーションを核として、定置用 FC や FCV 向けに水素を供給するとともに、ステーション内に設置した FC から、隣接する事務所などに電力などを供給しようとする取組み（本稿では、マルチエネルギーステーションと呼ぶ；図表 20）を、JHFC 相模原水素ステーションにおいて実現することを目指した研究会を立ち上げ、水電解方式による水素製造を中心に、平成 17 年度から検討を開始している。



【図表 20 マルチエネルギーステーションのイメージ】

(注 相模原の水素研究会の内容とは一致するものではない)

また栃木県日光市では、小水力発電などから水素を製造し、国際観光都市・日光において、例えば、東照宮までの参道に FCV を走行させることなどの実現<sup>4</sup>を目指した「日光水素エネルギー社会促進協議会」を、地元自治体や自動車メーカー、価値総合研究所、関連企業等とともに今年 8 月に発足させた。この取組みは、水素・燃料電池を起爆剤に、観光の促進を目指すとともに、関連産業の創出発展に貢献させることをねらっている。これは、環境負荷の少ない水素エネルギーの普及促進に加え、水素を街づくりのツールとして位置付け、新たな地域発展のビジネスのモデルに活用しようとする試みである。水素の取組みも、いよいよそのようなフェーズに入ったことを実感させるものである。今後このような、面的な広がりのある水素社会の実現に向けた取組みが、各地で推進されていくものと考えられる。

<sup>4</sup> 具体的な取組み内容に関しては今後の検討による。(現段階では未定)