

地方中核都市を対象とした  
水素エネルギーシステムの事例研究  
A Case Study on the Hydrogen Energy System  
in a Japanese typical city

服部 達雄

東京ガス・技術企画部

〒105 東京都港区海岸1-5-20

Summary

I will report the case study on the hydrogen energy system in a Japanese typical city. This city has 300 thousands populations and its area is 260 km<sup>2</sup>. If the energy requirement that is equivalent to 30 thousands Tera Joule including electric generation, might be converted to the hydrogen energy system, the annual hydrogen supply shall reach to 180 thousands tons and about 15 % of the carbon dioxide emission shall be reduced. One of main technical issues is the design of total system constitutions in consideration of the treatment of the boil off-gas evolved in handling of liquid hydrogen. For the realization of the hydrogen energy system in the near future, the development of hydrogen utilization will be essential that advantages of the hydrogen will be attained.

1. 緒言

水素を2次エネルギー媒体とするエネルギー供給・利用システムは、そのクリーン性と高効率性への期待から、先進的エネルギー技術の一つとして国家プロジェクト(WE-NET計画)としても研究開発が進められている。しかし、「水素」となると、この言葉のみが先行し、現実からは乖離したところでの議論になりがちである。そこで本報告においては、日本の代表的地方都市を事例として、そこでエネルギー需要を最大限に水素エネルギーシステムへ転換した場合の水素供給構造を定量的に描き、水素エネルギーシステム実現に向けた研究開発課題の明確化、水素エネルギーシステムへの移行方法の検討を行うことを試みた。

2. モデル地方中核都市の選定

地方中核都市のモデルとしては、エネルギー種別毎の需要実態(1982年度)が詳細に調査されている愛知県豊橋市を採用した<sup>1)</sup>。この年(度)の豊橋市の概況<sup>2)</sup>を表1に示すが、全国対比から読み取れるように、エネルギー消費構造的にも日本の平均的地方中核都市であるといえる。1982年から1994年の12年

表1 豊橋市(1982年度)の概況

	単 位	豊橋市(A)	全 国(B)	比(A/B)
人 口	人	310,660	118,693,000	$0.262 \times 10^{-2}$
面 積	km <sup>2</sup>	259	377,765	0.068
製造品出荷額	百万円	621,708	229,934,000	0.270
自動車保有台数	台	112,838	33,034,000	0.342
電力需要量	GWh	1,754	521,731	0.336
電 灯	GWh	306	112,788	0.271
電 力	GWh	1,448	408,943	0.354
石油類消費量	Tcal	3,784	1,535,770	0.246
最終エネルギー消費	Tcal	7,945	2,488,360	0.319
一人あたり	Gcal/人	25.6	21.0	

間に日本全国平均の一人あたりの最終エネルギー消費は年率約2.5%で増加しているの、ここに報告するエネルギー需要は現時点での25万人規模の都市に対応するものである。

### 3. 水素エネルギーへの転換量の試算

このモデル都市のエネルギー需要に対し、次の各項を前提条件として、最大限に水素エネルギーによって供給することを考える。

1) 十分な量の水素が、臨海部の受入基地に、液体水素タンカーによって液体水素の形で供給される。

2) その水素を何らかの方法によって、受入基地から各需要先へ分配・供給する。

3) 発電においては水素への燃料転換による発電効率の向上を見込むが、発電以外の需要においては燃料転換してもエネルギー利用率に変化はないものとする。

4) 分配・供給の際に、水素のハンドリングロスはなく、したがって、熱量等価で各燃料からの水素への転換量が求められるものとする。

この前提条件のもとで、表2のように、各エネルギー種別、各需要部門ごとに水素転換量を算出した。その結果を表3に示す。また、これを現行エネルギー供給システムと比較したのが表4である。

発電を含めた全1次エネルギー需要の84%を水素エネルギーによって供給することになり、そのために177千トンの水素が必要となる。そのうち、発電用が45%、運輸用が20%で、残りのほとんどが通常の燃料需要の代替である。

水素エネルギーへの転換に伴う発電効率の向上により、1次エネルギー必要量が9.4%削減される。発電排熱を一部利用することができるならば、これが13%程度にアップする。さらに、発電部門に加えて運輸用にまで、水素の導入によるエネルギー利用率の向上を見込むならば、1次エネルギー削減率が10%以上に高まることが期待される。

表2 水素エネルギーへの転換方法

需要種別	水素エネルギーへの転換方法
電力(発電用燃料)	全電力需要を水素を燃料とする地域内発電に転換
運輸部門(自動車燃料)	運輸用燃料需要の全量を水素へ転換
一般熱需要への石油類	民生・農林水産部門：50%、鉱工業部門：80%
LPG(除く、家庭用)	家庭用を除く民生部門：50%
家庭用LPG	水素へ転換せず(これまでどおりLPGを供給)
都市ガス	供給熱量の5%を水素へ転換
非エネルギー部門	水素へ転換せず(従来エネルギーのまま)

表3 豊橋市のエネルギー需要構造と水素エネルギーへの転換可能量試算

種別	需要量 (2次エネルギー)	需要部門別内訳					1次エネルギー 需要量	発電排熱 の利用量	水素への転換量		既存の 供給量	水素への 転換率
		運輸	民生	農林水産	鉱工業	非エネルギー			熱量へ	重量へ		
電力	1,754 GWh						13,399TJ		13,399TJ	94,498t		100.0%
ガソリン	111.0 10 <sup>3</sup> kl	3,833TJ			35TJ	35TJ	3,903TJ		3,861TJ	27,230t	42TJ	98.9%
灯油	65.7 10 <sup>3</sup> kl	93TJ	1,774TJ	153TJ	423TJ		2,448TJ	246TJ	1,251TJ	8,818t	951TJ	51.1%
軽油	60.6 10 <sup>3</sup> kl	1,355TJ	686TJ	139TJ	154TJ		2,334TJ		1,891TJ	13,336t	443TJ	81.0%
重油	167.2 10 <sup>3</sup> kl	707TJ	840TJ	719TJ	4,453TJ		6,719TJ	724TJ	4,527TJ	31,927t	1,468TJ	67.4%
LPG	5,920 t	41TJ	135TJ		83TJ	38TJ	297TJ		128TJ	908t	169TJ	43.1%
都市ガス	42.9 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>		721TJ		177TJ		898TJ	210TJ	34TJ	243t	654TJ	16.2%
合計		6,029TJ	4,156TJ	1,011TJ	5,330TJ	73TJ	29,998TJ	1,180TJ	25,091TJ	176,960t	3,727TJ	83.6%
発電排熱の利用量			561TJ		619TJ		1,180TJ	(注)				
水素への転換量	熱量	6,029TJ	1,522TJ	505TJ	3,636TJ		25,091TJ					
	重量	42,523t	10,727t	3,564t	25,648t		176,960t					
既存エネルギーでの供給量			2,073TJ	506TJ	1,075TJ	73TJ	3,727TJ					
水素エネルギーへの転換率		100.0%	36.6%	50.0%	68.2%	0.0%	83.6%					

- (注)  
 1. 各燃料の発熱量は総合エネルギー統計に従った。  
 2. 発電効率47.13%として1次エネルギー量を計算。  
 3. 電力以外は熱量等価で水素へ転換。  
 4. ネット発電で回収した排熱の50%を利用。

表4 1次エネルギーと二酸化炭素の削減率

	従来エネルギーシステム	水素エネルギーシステム(1)		水素エネルギーシステム(2)	
		発電排熱利用せず	発電排熱利用する	発電排熱利用せず	発電排熱利用する
1次エネルギー必要量	33,120 TJ	30,000 TJ	28,820 TJ	28,790 TJ	27,610 TJ
削減率		9.4%	13.0%	13.1%	16.6%
水素エネルギー供給量		25,770 TJ	25,090 TJ	24,560 TJ	23,880 TJ
従来エネルギー供給量	33,120 TJ	4,230 TJ	3,730 TJ	4,230 TJ	3,730 TJ
二酸化炭素排出量	517.0*10 <sup>3</sup> ton	75.3*10 <sup>3</sup> ton	66.8*10 <sup>3</sup> ton	75.3*10 <sup>3</sup> ton	66.8*10 <sup>3</sup> ton
削減率		85.4%	87.1%	85.4%	87.1%

(注) 1. 従来エネルギーシステムにおける1次エネルギー必要量は、2,250kcal/kWh(総合エネルギー統計の変換係数; η=38.22%)として算出した。  
 2. 水素エネルギーシステム(1)は、発電においてのみ水素への転換による効率向上を見込んだ場合。水素エネルギーシステム(1)においては、発電に加え、運輸においても水素への転換による効率向上(従来エネルギーシステムに対し20%の1次エネルギー必要量の削減)を見込んだ場合。  
 3. 二酸化炭素排出原単位には環境庁国別報告書の数値を使用した。

この全エネルギー需要を現行のエネルギー供給方式によって供給する場合の二酸化炭素の排出量は、約52万トンであるが、水素エネルギーシステムへ転換することによって、これを85%以上削減することができる。ただし、ここでは水素エネルギーからの二酸化炭素の排出はないとしたが、本来的には水素の製造・輸送・貯蔵の各設備の建設・運転・廃棄に伴う二酸化炭素の排出を考慮すべきであり、このような「LCA」の考え方による水素エネルギーシステムの二酸化炭素排出量評価(LCCO<sub>2</sub>評価)が今後行われるべき研究課題の一つである。

#### 4. 水素への転換量のエネルギー用途別算出基礎

##### (1) 発電部門<sup>3)</sup>

電力需要のすべてを水素燃料による地域内発電によって供給するものとし、このための発電設備として、表5に示すところの、WE-NET計画において検討されている5種を採用した。

電力需要1,754kWhの50%を水素受入基地に隣接して設備する、水素/酸素燃焼ガスタービンによって集中的に発電することとする。残りの50%の電力需要を水素燃料ディーゼルエンジン駆動発電システムと高分子電解質型燃料電池により発電することとし、需要サイドに設置して、表5に示す発電割合で産業用および民生用としてオンサイト発電を行わせる。

水素燃焼ガスタービンでは、純酸素燃焼を行い、タービン入口温度の高温化と構成サイクルの工夫とにより、60%の発電端効率が目標とされ、5MW燃料電池では、酸化剤に純酸素を用い、高圧運転することにより、56%に達する極めて高い発電効率が想定されている。これにより、現行発電方式に比べ、発電部門全体の平均で約9%(38.22%から47.13%へ)発電効率が向上する。

表5 発電設備構成

発電設備	公称能力	需要量 GWh	発電割合 %	内訳		発電効率 (HRV) %	排熱回収率 %	備考
				産業用	民生用			
水素燃焼ガスタービン	50 MW	877	50			49.36	—	純酸素による水素燃焼(タービン入口1,700℃)
水素ディーゼル	1 MW	263	15	9	6	42.0	42	水蒸気循環型酸素・水素ディーゼル
水素ディーゼル	600 kW	158	9	3	6	37.5	32	単原子ガス循環型酸素・水素ディーゼル
燃料電池	5 MW	316	18	18		56.0	25	PEFC、酸化剤：酸素、加圧(8 ata)
燃料電池	200 kW	140	8		8	42.0	35	PEFC、酸化剤：空気、常圧運転
合計		1,754	100	(30)	(20)	Av.47.13		

(注) 1. 水素燃焼ガスタービンの能力をここでは50MW(WE-NET開発計画は500MW級)とし、その発電端効率を60.0%とした。ただし、ガスタービン燃焼器用酸素製造動力、水素基地(水素燃焼ガスタービン発電所を併設)におけるボイルオフ水素圧縮機用動力および所内動力の全てをこの発電によって賄う(合計189GWh)ので、送電端効率は49.36%となる。  
 2. 水素ディーゼルおよび燃料電池の定格出力値、発電効率、排熱回収率は、WE-NETサブタスク7報告、資料によった。

これらの発電設備の必要基数を表6に示す。ここでは、いずれの発電設備も年間の負荷変化に対応して運転できるものとして、それぞれの設備利用率が57%（1982年度中部電力の需給実績から推定）になるよう必要基数（台数）を決定した。

表6 発電設備の必要基数

発電設備	公称能力	定格出力	必要基数	合計出力	設備利用率	年間発電量	発電効率 (HHV)	水素必要量	
								熱量へ-ス	重量へ-ス
水素燃焼ガスタービン	50 MW	50 MW	4基	200,000 kW	60.8%	1,066 GWh	60.0%	6,396TJ	45,112t
水素タービン	1 MW	1,370 kW	38基	52,060 kW	57.7%	263 GWh	42.0%	2,254TJ	15,899t
水素タービン	600 kW	573 kW	55基	31,515 kW	57.2%	158 GWh	37.5%	1,517TJ	10,697t
燃料電池	5 MW	5 MW	12基	60,000 kW	60.1%	316 GWh	56.0%	2,032TJ	14,327t
燃料電池	200 kW	200 kW	140基	28,000 kW	57.1%	140 GWh	42.0%	1,200TJ	8,463t
合計				371,575 kW	59.7%	1,943 GWh	Av.52.2%	13,399TJ	94,498t

(注) 各発電設備の設備利用率を57%（中部電力1982年度の推定実績値）にすることを目的に必要基数を算出した。

なお、水素燃焼ガスタービンは、水素受入基地の所内動力とガスタービン燃焼器への酸素製造用動力も発電するので、需要電力877kWhに所内動力等を加えた、1,066kWhの発電が必要である。その結果、総発電量は1,943GWhとなり、そのために94.5千トンの水素が消費される。また、この水素燃焼ガスタービン発電については、その装置特性と立地条件から、排熱の回収・利用は考えないこととした。

### (2) 自動車燃料

運輸部門に計上されている燃料需要の全量が自動車燃料として消費されているものとして、これを熱量等価で水素へ転換すると、42,500トンの水素需要となる。

1982年度末現在の豊橋市の自動車保有台数（含む、二輪車）は、137千台であり、給油所（ガソリンスタンド）数は182ヶ所である<sup>2)</sup>ので、燃料消費量と自動車保有台数、給油所数との関係を求めると、

$$\text{車1台当りの燃料消費量} = 310 \text{ kg} \cdot \text{水素} / \text{年} \\ (\text{ガソリン換算} 1,250 \text{ l} / \text{年})$$

$$\text{給油所1ヶ所当りの燃料取扱量} = 234 \text{ ton} \cdot \text{水素} / \text{年} \\ (\text{ガソリン換算} 940 \text{ kl} / \text{年})$$

となる。

水素を燃料とする自動車の駆動方式としては、現在の車のほとんどを占める内燃機関駆動に加え、最近燃料電池発電—電動機駆動が注目され、国内外の有力自動車メーカー数社から試作車が発表されている。この場合の燃料電池としては小型・軽量で高効率の高分子電解質型燃料電池（PEFC）が採用されており、実走行においても内燃機関駆動方式よりも高いエネルギー効率（少ない燃料消費）が期待されるが、他方水素搭載に伴う車両重量の増加があり、現段階においては自動車燃料全体としての水素への転換によるエネルギー節減率を適切に定量化できないので、本報告においては熱効率の改善は算入せず、熱量等価で水素需要量を算出するにとどめた。

### (3) 一般燃料（石油類およびLPG）代替

発電、運輸および非エネルギー部門以外のエネルギー需要は、民生、農林水産、鉱工業の各部門におけるボイラ燃料等の熱利用を目的とした燃料消費である。そ

の規模は千差万別であり、場所的にも市内全域に及んでいる。したがって、これらの需要に関しては本来、実態調査データに基づき個々の需要家ごとに議論すべきであるが、ここではその前段階として以下のような平均規模での取り上げを行った。

表2に示したように、ガソリン、灯油、軽油、重油の石油類4種および家庭用を除いたLPGについては、民生部門、農林水産部門の需要の50%、鉱工業部門の需要の80%を水素へ転換することとしたが、規模と場所からの制約があり、これだけの転換を実現するのは相当に困難であろう。

家庭用LPGについては、その大半が裸火による調理用消費を伴っているため、ここでは水素への転換対象から除外した。

(4) 都市ガスへの混入

都市ガスにおいては、全需要家のすべての消費機器、燃焼装置が常に所定の熱量インプットを保ち、良好な燃焼を維持できるように、ウォッペ指数(WI)と燃焼速度(Cp)との2つのパラメータによって供給するガス種を類別し、その類別ごとに法定された許容幅の中で組成変化を管理しなければならない。したがって、都市ガスへの水素の混入においても、それには限界があり、豊橋市に供給されているガス種(6C; 発熱量5,000 kcal/m<sup>3</sup>)においては、すでに水素を含有していることから追加に混入できる水素量は熱量で5%以下である。そこで、本検討でも5%の混入率とした。

5. 水素の供給方法

水素は、表7に示すように、密度がガソリンの約1/10、LNGの約1/6であり、輸送・貯蔵に大きな容積を必要とする。重量当りの発熱量はLNGの約2.5倍で

表7 液体水素の輸送特性

	液体水素 (A)	液化メタン (B)	ガソリン (C)	比	
				A/B	A/C
密度 g/l	71	424	700	0.167	0.10
容積輸送負荷 l/10 <sup>3</sup> kcal	0.42	0.18	0.12	2.33	3.5
重量輸送負荷 kg/10 <sup>3</sup> kcal	0.030	0.075	0.083	0.40	0.36
発熱量 HHV kcal/kg	33,870	13,260	12,000	2.55	2.8
	LHV kcal/kg	28,650	11,950	11,100	2.40

はあるが、沸点が-253℃で、メタンよりも約90℃低いため、容器重量まで考慮すると、およそLNGの1.5倍、ガソリンの2倍の重量輸送負荷となり、決して輸送効率のよい燃料ではない。このため、水素を不特定多数の燃料需要へ供給するには、設備と取り扱いの両面から、すでに実用されている石油やLNGに比べ、大きなハンディキャップを持つことになる。

したがって、水素エネルギーシステムを実現する上での最大の課題は、水素の製造の拠点から利用サイトまでの間を連結する水素供給体系の構築であり、それがエネルギー効率的にも、経済的にも成立することである。さらに、水素を広範な燃料用途に利用しようとする、その需要先は多数の利用サイトに分散し、その用途・規模は千差万別であり、それぞれの需要種別ごとに、その規模とサイト数に対応した水素供給方法の開発が必要になってくる。

(1) 水素受入基地

本事例研究においては、臨海部に受入基地を設け、そこへ専用タンカーによって液体水素を持ち込むこととした。液体水素タンカーとしては、公称タンク容量200,000 m<sup>3</sup>、実積載量14,000 t onを想定し<sup>10)</sup>、これを年間一定に

運行し、着船と同時に基地貯蔵タンクへ陸揚げする。

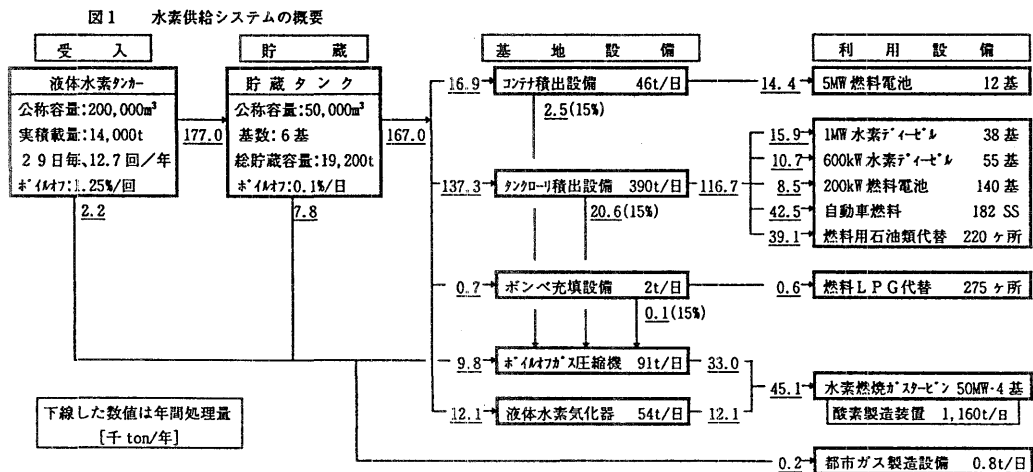
液体水素貯蔵タンクは公称容量50,000m<sup>3</sup>で、やはり現在WE-NETプロジェクトにおいて検討されているものである<sup>1)</sup>。払出量の日間変動、緊急時対応は考慮せず、月間需要量の変動のみを吸収するだけの貯蔵容量を確保することとすると、総貯蔵量19,200tonで、必要とする貯蔵タンクは6基となる。

なお、月間需要量は、月別発受電電力量(平成6年度)<sup>5)</sup>、燃料油月別販売実績(平成7年)<sup>6)</sup>、LPガス月別需要実績(平成4年度)<sup>7)</sup>、都市ガス月別販売実績(平成6年度)<sup>8)</sup>によって、各部門別水素需要量を月別展開し、これらを月別に合算することによって算出した。

水素基地設備としては、貯蔵タンクの他に、液体水素積出設備(コンテナおよびタンクローリへの積込、出荷)、水素ポンペへの充填設備、ボイルオフガス圧縮機(タンカー荷役時および貯蔵タンクからの気化水素と積出設備からのボイルオフガスとを圧縮し、水素燃焼ガスタービンへ供給する。)が必要である。

水素基地に隣接し、水素燃焼ガスタービン発電所および都市ガス製造設備を立地させるのが水素利用全体のシステム構成に最も好都合である。取り扱い水素量の15%に達するといわれる積出設備からのボイルオフガスを損出なく収集する設備と方法の開発も今後の大きな課題であるが、これだけの量の水素を消化できるのは水素燃焼ガスタービンだけである。

水素の受入れから利用までの全体の流れを示したのが図1である。



- (注) 1. 液体水素タンカー、貯蔵タンクの容量、ボイルオフガス量は、WE-NET計画に関する公開資料から引用した。
- 2. 水素基地において、コンテナ、タンクローリへの積込時およびポンペへの充填時に発生するガス水素(取り扱い水素量の15%)は、全量回収し、水素燃焼ガスタービンへ供給するものとした。
- 3. 貯蔵タンク基数としては、年平均に対する月間需要の変動を吸収するだけの容量を確保するものとして決定した。
- 4. 基地設備の処理能力は、最大需要月の平均値。

## (2) 水素供給方法の具体像

液体水素を市内の水素需要先へ供給するための運搬手段として現在採用できる方法は、表8に示すタンクローリとコンテナである<sup>12)</sup>。そこで、この2つの手段とカードル形態のポンペによって、各需要種別ごとにそれぞれの消

表8 液体水素の車両輸送手段

輸送手段	タンクローリ	コンテナ
種別	20ton型タンクローリ	ISO40型コンテナ
公称容量	21,870リットル	11,000USガロン
液体水素積載量	1.42 ton	2.63 ton
最高仕様圧力	1.20 MPa	0.42 MPa

費量に見合った水素供給方法を具体的展開したのが表10である。なお、必要台数、運行回数は最大需要月についての計算である。

ここで、一般燃料代替需要については、表9に示すように分割し、その分割ごとにサイト1ヶ所当りの平均水素消費量を推定し、この値で総需要量を除し、それぞれの需要種別のサイト数とした。

表9 石油およびLPG燃料需要の平均規模

	総需要量 ton・H <sub>2</sub>	1ヶ所当り需要量 ton・H <sub>2</sub> /ヶ所	サイト数	備 考
重油・軽油需要	30,910	450	70	豊橋市重油大量使用事業所1事業所当り総使用量 <sup>1)</sup>
灯油需要	8,160	55	150	同 灯油大量使用事業所1事業所当り総使用量 <sup>1)</sup>
小 計	39,070			
鉱工業部門LPG需要	470	10.4	45	中部8県製造業10業種平均年間消費量 <sup>2)</sup>
民生部門LPG需要	150	0.67	230	業務用LPGガス原単位(平成2年度:1,900kg) <sup>3)</sup>
小 計	620			

この需要種別ごとの水素供給方法のなかで最も代表的なのが、自動車向け水素供給方法である。ここで技術が確立できれば、それを適用して小型燃料電池や石油類代替需要への水素供給は容易である。

自動車燃料として水素を車載する方法としては、これまでに加圧圧縮水素ガス、液体水素、金属水素化物の3方式が提案されてきているが、現在の自動車燃料の主体であるガソリン、軽油に伍して、水素が自動車燃料として有意なシェアを獲得できるためには、搭載容積と搭載重量の両面から勘案し、現時点の選択としては液体水素にならざるえないので、ここでは水素基地から液体水素を供給し、それを小口に分けて車載することとした。

液体水素をタンクローリから一時貯槽に受入れ、さらにこれを個々の車載タンクに充填する際には15%程度のボイルオフがあるといわれるが、これを大気放散することでは水素へ燃料転換する意義が失われる。自家消費できる量ではないので、加圧圧縮し、ポンペ詰めして、車載することが必要となる。したがって、

表10 需要種別毎に想定される水素供給方法

需 要 種 別	水素供給規模 (基地送出货量) t/月	供 給 先		水素供給方法	必要台数	運行回数
		サイト数	1ヶ所当り消費量 (最大需要月)			
50MW・水素燃焼ガスタービン	3,760	—	145 t/日	専用ライン(ガス+液)	—	—
5MW・燃料電池	1,195	12	3.84 t/日	コンテナ	9	1.5台/日
1MW・水素ディーゼル	1,325	38	1.35 t/日	タンクローリ	18	1台/日
600kW・水素ディーゼル	890	55	0.63 t/日	タンクローリ	12	1回/2日
200kW・燃料電池	705	140	0.20 t/日	タンクローリ	10	1回/7日
自動車向け水素	3,540	182	1.71 t/日	タンクローリ	46	1回/2日
重油・軽油需要代替	2,580	70	1.63 t/日	タンクローリ	40	1.2台/日
灯油需要代替	680	150	0.20 t/日	タンクローリ	11	1回/7日
鉱工業部門LPG代替	40	45	33 kg/日	耐圧ポンペ(30本・カードル)	1回/2.5日	
民生部門LPG代替	13	230	2 kg/日	耐圧ポンペ(20本・カードル)	1回/26日	
都市ガスへの混入	20	—	0.82 t/日	専用ガスライン	—	—
合 計	14,750					

(注) 1. 各水素供給方法の運搬能力は次のとおりとした。

コンテナ : 公称容量 1,100<sup>3</sup>m、充填容量 37m<sup>3</sup>=2.63 ton・H<sub>2</sub>

タンクローリ: 公称容量 22kl、充填容量 20m<sup>3</sup>=1.42 ton・H<sub>2</sub>

耐圧ポンペ : 20本カードル(56kg・H<sub>2</sub>、総重量 800kg)

30本カードル(84kg・H<sub>2</sub>、総重量 1,200kg)

2. コンテナ、タンクローリは、1日に2サイトへ配送するものとして必要台数を算定した。

3. 最大需要月 電力: 7月(年平均の1.20倍)、自動車燃料: 12月(1.13倍)、

石油類: 12月(1.38倍)、LPG: 12月(1.17倍)、都市ガス: 1月(1.25倍)

軽量・高断熱の車載用液体水素容器の開発と共に、このボイルオフ水素の発生を極力少なくする設備とハンドリング方法の開発が液体水素を自動車燃料として実用化する上での必須課題である。

### (3) 水素エネルギーシステムへの移行方法

一つの場所で大量の水素が消費される大規模発電所（表5および図1における水素燃焼ガスタービン）以外の需要は、個々に市内に分散していて、それらが一度に水素エネルギーへ転換することはいえない。水素需要サイトが順次増加してゆき、やがて表3に示すところまで水素エネルギーの利用が進むのであって、期間的にも相当の年数を要するはずである。この間の水素の調達と供給をどのように行うかが水素エネルギーシステムへの移行を考える上でのポイントである。特に、移行期間の前半においては全体の水素需要量が少なく、集中発電とのセットでないと水素基地が成立しえないのは明らかである。水素利用サイトが数多く存在するようになって初めて水素基地からの供給が実現するので、それまでの間はオンサイト（消費場所）での水素製造で対処することとなる。したがって、このような目的に適合する小規模水素製造設備の開発が必要である。

## 6. 考 察

本研究において明らかのように、水素燃料発電においてはエネルギー効率の向上が確実である。しかし、このような分散・オンサイト発電だけで実際の需要に対応できるのか、稼働変動を必然とする実稼働において発電効率が実際どうなるかを今後検討することが必要である。

次に、発電以外の用途、特に自動車燃料とした場合のエネルギー効率の改善を正しく見積もれるようにするため、今後基礎的評価研究と実用条件でのデータ蓄積を精力的に進めてゆくことが望まれる。

ボイルオフガスの処理に見られるように、一つの単位操作の性能がその前後の操作だけでなく、プロセス全体、全体システムづくりに大きく影響する。したがって、固体高分子電解質型燃料電池に代表されるような、水素の特長を最大限に発揮できる利用技術の研究開発を個別に進めるのは勿論であるが、個々の要素技術の位置づけを水素利用システム全体のなかで調整し、全体プロセスを設計し、水素利用システムとしての最大効率を追求することが重要である。

## 7. 結 言

水素エネルギーへの期待は今や、そのクリーン性以上に、利用における高いエネルギー効率にある。しかし、それだけの水素エネルギーのメリットを引き出すためには従来の燃料以上の設備負担が必然であり、供給・分配におけるハンドリングの難しさ、危険性回避の負担も必ず伴うことを覚悟する必要がある。したがって、水素エネルギーを普及するためには、水素が本来持つ欠点の技術的解決に努力するとともに、水素のアドバンテージを徹底的に追求し、ディスアドバンテージをカバーして余りあるメリットを顕在化することが第一の要件である。

水素はエネルギー媒体でしかないので、1次エネルギー源を何に求めるかにより、全体のシステムづくりが異なることとなる。大規模・集中的システムから小規模・分散的システムまで多様なシステムがありえるし、そのなかでエネルギーを消費段階まで持ってきて利用するのに最適な手段としての水素の役割りを冷静に追求すべきである。はじめに水素ありきではなく、到達限界、実現可能性に対



する理論的裏付けを持って技術開発に取り組むことが肝要である。

さらに、水素エネルギーシステムの本格的実現のためには、広範な技術分野を網羅し、かつ長期にわたる研究開発が必要であるのは自明であるが、このような長期・大規模研究開発の推進において最も重要なことは、明解な初期目標の設定と途中段階での適切な軌道修正を実行することである。これには技術評価（事前、途中、事後）が正しく行われることが必須であり、ここに水素エネルギー協会の役割があり、期待されるところであることを付記したい。

なお、本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託により(財)エンジニアリング振興協会が実施している水素利用技術に関する調査研究に関連して行ったものである。

### 参考文献

1. 豊橋市 省資源省エネルギー推進協議会編  
「省資源・省エネルギー実態・意識調査」(昭和59年2月)
2. 豊橋市:豊橋市統計書(昭和60年版)
3. (財)エンジニアリング振興協会:  
WE-NET・サブタスク7 平成7年度成果報告書(平成8年3月)
4. 資源エネルギー庁:総合エネルギー統計(平成7年度版)
5. 資源エネルギー庁公益事業部編:  
「電力需給の概要」(昭和58年度および平成7年度)
6. 平成8年「石油資料」,(株)石油通信社
7. 「LPガス資料年報」Vol.30, 1995年版,(株)石油化学新聞社
8. (社)日本ガス協会:「ガス事業便覧」(平成7年版)
9. 日本LPガス協会調査部会:  
「工業用燃料需要実態調査調査報告書」(中部地方編)(昭和59年3月)
10. A. Abe et al., "Studies of the large scale transportation of the liquid hydrogen", Proceedings of the 11th World Hydrogen Energy Conference, Vol.2, p.1145-1154 (1996)
11. A. Iwata et al., "Technical Development for Large Storage of Liquid Hydrogen in WE-NET", Proceedings of the 11th World Hydrogen Energy Conference, Vol.2, p.1163-1168 (1996)
12. 花田卓爾,"液体水素の形態での輸送",  
エネルギー・資源, Vol.13, No.6, p.5 38-545 (1992)