

## 定置用燃料電池の普及見通しと課題\*

第二研究部	石油グループ	グループマネージャー	森田裕二
"	環境グループ	主任研究員	大木祐一
"	"	研究員	佐々木宏一
"	"	研究員	斎藤晃太郎
計量分析部	需要予測研究グループ	主任研究員	杉山 淳
		(現 株式会社ジャパンエナジー)	
"	"	研究員	柳 美樹
"	計量分析グループ	研究員	木村幸司
		(現 東邦ガス株式会社)	
"	"	研究員	今枝寿哉

### はじめに

民生部門のエネルギー需要は、生活水準の向上、経済のサービス化に伴い、今後も高い伸びを示すものと予想されており、省エネルギー、環境対応の観点からこの分野におけるエネルギー消費の抑制が急務となっている。固体高分子形燃料電池は小型、高効率で CO<sub>2</sub> 排出負荷が低く、省エネルギー・環境保全に対する効果が極めて大きいことから、定置用燃料電池として民生部門への導入の期待は非常に高い。

本調査は、当研究所が 15 年間にわたり実施した「民生部門エネルギー消費実態調査」の調査結果をふまえ、固体高分子型燃料電池を民生部門、とりわけ家庭部門に幅広く普及させるための要件の探索という観点から検討を行なったものである。方法としては、燃料電池の最適な使用形態について検討を加え、コストの低下、導入率に学習曲線による前提を置いた上で、2010 年、2020 年頃における普及状況について予測を行った。

予測の条件としては、資源エネルギー庁長官の私的研究会として設置された「燃料電池実用化戦略研究会」で示された燃料電池のコストの低下、効率等<sup>1</sup>が達成されることを前提とし、同研究会が総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会で示した表 1 の導入目標に関する試算が達成されるための課題について検討を加えた。

---

\* 本報告の内容は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託により平成 12、13 年度に実施した「定置用燃料電池の普及を目的としたエネルギーの消費に関する調査」の成果に基づくもので、新エネルギー・産業技術総合開発機構の許可を得て公表するものである。また、調査にあたっては社団法人日本ガス協会殿のご協力を得た。新エネルギー・産業技術総合開発機構ならびに日本ガス協会関係諸氏のご指導、ご支援に改めて感謝の意を表する次第である。

<sup>1</sup> 燃料電池戦略研究会、燃料電池戦略研究会報告、2001 年 1 月 22 日

表 1 定置用燃料電池の導入目標値

年度	2010	2020
累積導入量	210万KW	1,000万KW
家庭用	120万KW	570万KW
	120万台	570万台
業務用	90万KW	440万KW

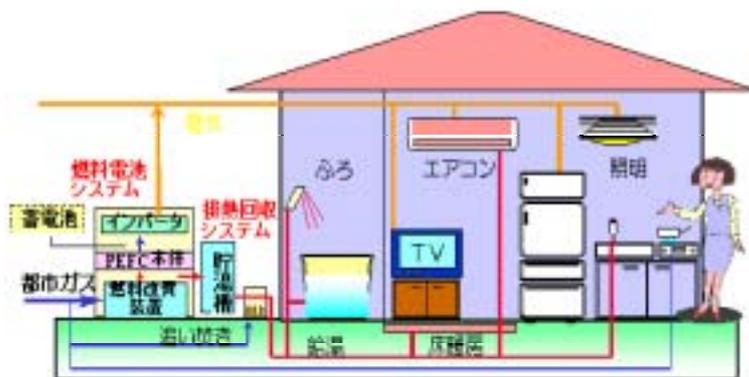
(出所) 経済産業省・総合資源エネルギー調査会第1回新エネルギー部会(2001年1月31日)配布資料4-3(燃料電池戦略研究会、「燃料電池自動車及び定置用燃料電池の導入目標に関する試算」,2001年1月22日)

### 1. 燃料電池の特徴

燃料電池は水の電気分解と逆の反応を利用し、イオンを通すが電子は通さない性質を持つ電解質を介して水素と酸素を電気化学的に反応させ、化学エネルギーから直接に電気エネルギーを得るものである。固体高分子形燃料電池(PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell)による家庭用のコージェネレーション発電システムは、燃料電池本体と燃料の改質装置、インバーター、制御システム、貯湯槽(貯湯タンク)等で構成される。発電した電気はインバーターを介して通常の電気機器に供給される。余剰電力を貯蔵するために、場合によっては蓄電池(バッテリー)も付設される。

固体高分子形燃料電池は作動時の内部抵抗により熱が発生するため、高分子膜が損傷しないように冷却を行ない外部に熱を排出する必要がある。従って、固体高分子形燃料電池の効率向上は、廃棄される熱の有効利用いかんにかかっている。通常、発生した熱は60~70の湯として貯湯槽に回収・貯蔵され、風呂、台所の給湯、床暖房などに使用される。湯量は1kWの発電で1分間に0.4L(湯温60換算、湯温40換算で0.7L/分)程度とされ、1日の発電量を15kWhとすると約630L(湯温40換算)の湯量となる。図1-1にはタンクからの湯温を調整するための追い焚き機能が加わっている。

図 1-1 家庭用燃料電池の利用概念図



(出所) 大阪ガスホームページ、<http://www.osakagas.co.jp/rd/sheet/026.htm>

家庭用の PEFC コージェネレーションシステムは以下のような利点がある。

- 高効率で、部分負荷運転時でも効率を維持できる
- 排気がクリーンである (NO<sub>x</sub> : 5ppm 以下、SO<sub>x</sub> : 検出限界以下)
- 騒音・振動が少ない
- インバーターにより直流 - 交流変換を行なうので従来の無停電電源 (UPS) や定電圧低周波数電源を使用する施設においてはこれらの設備を省略することができる
- 起動停止が容易であること (但し、起動時間の短縮のためには更に技術開発が必要)
- 耐久性に富み、安価な材料を用いるためコストダウンの可能性が大きい

反面以下のような難点もある。

- 排熱温度が低いことから給湯・暖房が主体となり、蒸気、あるいは吸収式冷房用の熱源としては利用が難しい
- 改質ガス中の CO が触媒を失活させるため、高耐久性触媒の開発、CO の低減が課題
- 瞬時の電気負荷変動には改質器の追従が難しい (更に技術の開発が必要。このため、現状では系統電源との接続が不可欠)
- 燃料電池本体に加え、貯湯槽 (時にはバッテリー) などの付帯設備が必要で、これらの設置スペースが必要となる

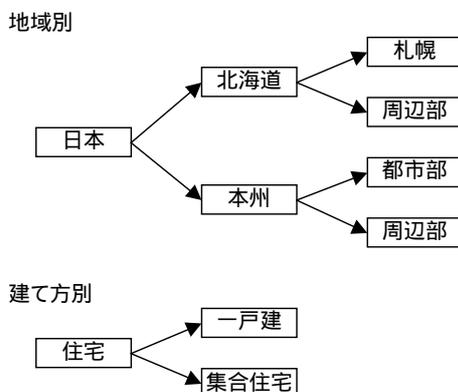
## 2. 導入量の予測方法

導入量の予測については以下の ~ の手順により行なった。

エネルギー消費原単位の想定

「民生部門エネルギー消費実態調査」に基づき日本を北海道 (札幌・周辺部) と本州 (都市部・周辺部) の 4 地域に区分、さらに住宅の建て方により 2 通り (一戸建・集合住宅) の計 8 つに区分し (図 2)、各区分の消費原単位 (1 家庭あたりのエネルギー消費量) を推計した。

図 2 地域、建て方別の区分



なお、消費原単位の算出にあたっては、消費実態調査の結果に基づき各地域、各用途のエネルギー消費量を表 2 に示すエネルギー源に統一した。

表 2 各用途の燃料源

一戸建て	本州		北海道	
	都市部	周辺部	札幌	周辺部
厨房	都市ガス	LPG	都市ガス	LPG
給湯	都市ガス	LPG	灯油	灯油
暖房	都市ガス+電気	灯油+電気	灯油+電気	灯油+電気
冷房	電気	電気	電気	電気
照明・動力	電気	電気	電気	電気

集合住宅	本州		北海道	
	都市部	周辺部	札幌	周辺部
厨房	都市ガス	LPG	都市ガス	LPG
給湯	都市ガス	LPG	都市ガス	LPG
暖房	都市ガス+電気	灯油+電気	灯油+電気	灯油+電気
冷房	電気	電気	電気	電気
照明・動力	電気	電気	電気	電気

表 2 に基づき、各地域、建て方別に年間のエネルギー消費量を算出した。表 3 に各地域、建て方別の年間のエネルギー消費量（単位：Mcal/世帯、1Mcal = 1 百万 cal）を示す。

表 3 地域、建て方別の年間エネルギー消費量（単位：Mcal/世帯）

札幌・戸建て

Mcal/世帯						
	照明・動力他	厨房煮炊き	給湯	暖房	冷房	合計
電気	3,222			237	2	3,461
都市ガス		960				960
LPG						0
灯油			4,033	15,065		19,098
合計	3,222	960	4,033	15,302	2	23,519

札幌・集合

Mcal/世帯						
	照明・動力他	厨房煮炊き	給湯	暖房	冷房	合計
電気	2,537			81	5	2,622
都市ガス		799	3,627			4,427
LPG						0
灯油				4,639		4,639
合計	2,537	799	3,627	4,720	5	11,688

北海道周辺部・戸建て

Mcal/世帯						
	照明・動力他	厨房煮炊き	給湯	暖房	冷房	合計
電気	2,936			193	2	3,131
都市ガス						0
LPG		931				931
灯油			3,149	14,572		17,722
合計	2,936	931	3,149	14,766	2	21,784

北海道周辺部・集合

Mcal/世帯						
	照明・動力他	厨房煮炊き	給湯	暖房	冷房	合計
電気	2,072			62	3	2,137
都市ガス						0
LPG		885	2,931			3,816
灯油				5,181		5,181
合計	2,072	885	2,931	5,243	3	11,134

本州都市部・戸建て

Mcal/世帯

	照明・動力他	厨房煮炊き	給湯	暖房	冷房	合計
電気	2,967			285	255	3,508
都市ガス		918	4,358	2,476		7,752
LPG						0
灯油						0
合計	2,967	918	4,358	2,762	255	11,260

本州都市部・集合

Mcal/世帯

	照明・動力他	厨房煮炊き	給湯	暖房	冷房	合計
電気	2,337			368	231	2,936
都市ガス		858	3,697	1,005		5,559
LPG						0
灯油						0
合計	2,337	858	3,697	1,373	231	8,495

本州周辺部・戸建て

Mcal/世帯

	照明・動力他	厨房煮炊き	給湯	暖房	冷房	合計
電気	3,279			388	231	3,897
都市ガス						0
LPG		962	4,226			5,189
灯油				3,190		3,190
合計	3,279	962	4,226	3,577	231	12,276

本州周辺部・集合

Mcal/世帯

	照明・動力他	厨房煮炊き	給湯	暖房	冷房	合計
電気	2,239			287	163	2,689
都市ガス						0
LPG		919	2,943			3,862
灯油				1,196		1,196
合計	2,239	919	2,943	1,482	163	7,746

燃料電池導入量の推計にあたっては、年間の消費量を更に月間の消費量に展開し、最終的には一日の電力需要、給湯需要のパターンを描き出すことになる。一例として、札幌・一戸建てにおける月間のエネルギー消費原単位を表 4 に示す。

表 4 札幌・一戸建ての月間エネルギー消費原単位（単位：Mcal/世帯）

月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	計
電気	317	289	240	230	244	238	265	294	320	359	339	325	3,461
都市ガス	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	960
LPG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
灯油	2,238	1,434	258	228	172	182	1,313	1,836	2,865	2,999	2,941	2,631	19,098
合計	2,635	1,803	579	538	496	501	1,658	2,210	3,266	3,438	3,359	3,036	23,519

月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	計
給湯	426	309	258	228	172	182	243	319	441	491	507	456	4,033

エネルギー価格、燃料電池用燃料の想定

各エネルギーの価格については「小売物価統計調査年報」「ガス事業便覧」等で公表されている価格を基に、北海道と本州の 2 地域における価格（消費税込み）を表 5 のように想定した。燃料電池の燃料源は、地域、建て方ごとに表 6 に示す燃料を想定した。また、追い焚きに用いる燃料は燃料電池の燃料と同じとした。

表 5 エネルギー価格 (単位 : 円/kWh、円/m<sup>3</sup>、円/18l 缶)

## 電力

		北海道	本州
基本料金(契約電流10A)		326	273
従量料金	-120kWh	18.28	17.51
	121-280kWh	24.39	23.35
	281kWh-	26.92	25.69
燃料調整単価2		-0.31	-0.48

## ガス

		北海道		本州	
基本料金	A	0 ~ 40m <sup>3</sup>	903	0 ~ 25m <sup>3</sup>	725
	B	40 ~ 300m <sup>3</sup>	1,280	25 ~ 500m <sup>3</sup>	1,295
	C	300m <sup>3</sup> ~	2,612	500m <sup>3</sup> ~	7,155
従量料金	A	0 ~ 40m <sup>3</sup>	83.56	0 ~ 25m <sup>3</sup>	135.29
	B	40 ~ 300m <sup>3</sup>	74.13	25 ~ 500m <sup>3</sup>	112.45
	C	300m <sup>3</sup> ~	69.69	500m <sup>3</sup> ~	100.73
熱量 (kcal/m <sup>3</sup> )		5,000		11,000	

## LPG

		北海道	本州
基本料金		1,749	979
従量料金	0 ~ 10m <sup>3</sup>	462	470
	10m <sup>3</sup> ~	453	464

## 灯油

		北海道	本州
灯油(18l)		696	997

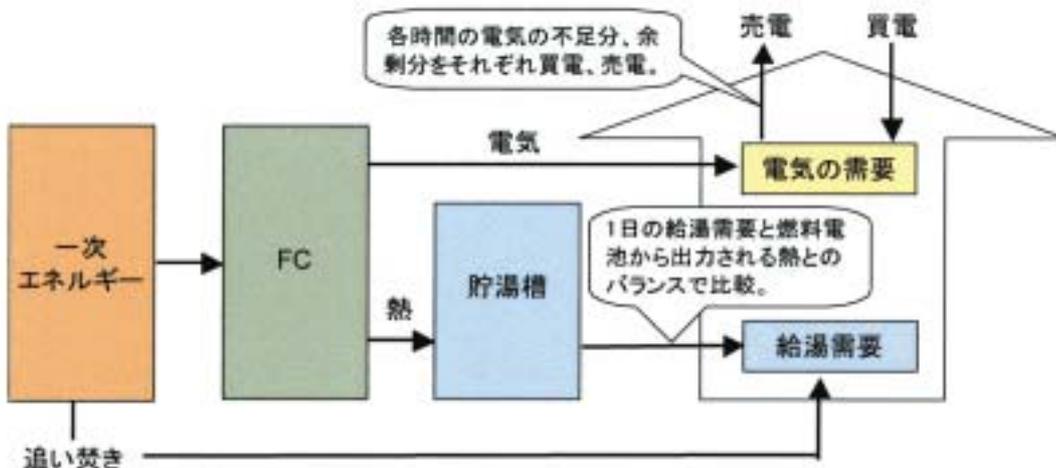
表 6 燃料電池の燃料

区分	本州		北海道	
	都市部	周辺部	札幌	周辺部
一戸建て	都市ガスまたは灯油	LPGまたは灯油	都市ガスまたは灯油	LPGまたは灯油
集合住宅	都市ガスまたは灯油	LPGまたは灯油	都市ガスまたは灯油	LPGまたは灯油

## 経済性計算の方法、導入モデルの想定

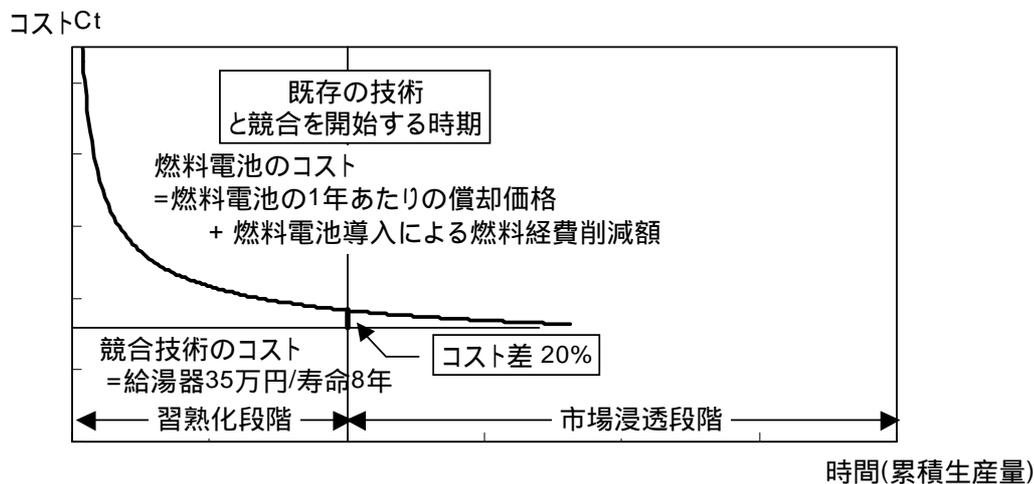
燃料電池の導入により購入電力(電気代)を節減することが期待出来るが、これが燃料電池の導入コストからみて経済的に見合うものか否かが燃料電池導入の鍵となる。これを判断するために、各家庭の給湯ならびに発電用に燃料電池を導入した場合の燃料(エネルギー)経費、償却費を計算し、導入前(給湯器を使用した場合)の燃料経費、償却費と経済性の比較を行なった(暖房用は考慮しない)。図 3 に示すように、電気については時間当りの需要と燃料電池からの電気供給量の比較、給湯については 1 日の給湯需要と燃料電池からの熱出力の比較を行なった。

図 3 シミュレーションの考え方



燃料電池の導入量を予測するために、コストモデルと導入量決定モデルにより構成されるモデルを用いた。図 4 に示すように、燃料電池の導入前後の燃料経費の差額に燃料電池の 1 年あたりの償却価格を加算した値と、市販の給湯器の価格を給湯器の寿命（耐用年数、8 年と仮定）で除した 1 年あたりの価格とを比較し、コスト差が 20% になった時点で燃料電池の導入が開始されるものと想定した。

図 4 コストモデルの概念図



導入開始以降は図 5 に示すロジスティック曲線に沿って導入量が増加するものとし、2010 年、2020 年における導入量を予測した。母集団の住宅数は、国立社会保障・人口問題研究所編集「日本の世帯数の将来推計（全国推計 1998 年 10 月推計、都道府県別推計 2000 年 3 月推計）」などを参考に表 7 のように推計した。なお、燃料電池の導入市場として、一戸建ての場合には新築、既築を含めて導入が可能と考えた

が、既築の集合住宅の場合はスペースなどの関係から燃料電池の導入が難しいものと判断し、新築の集合住宅のみを対象とした。

図 5 導入量決定モデルの概念図

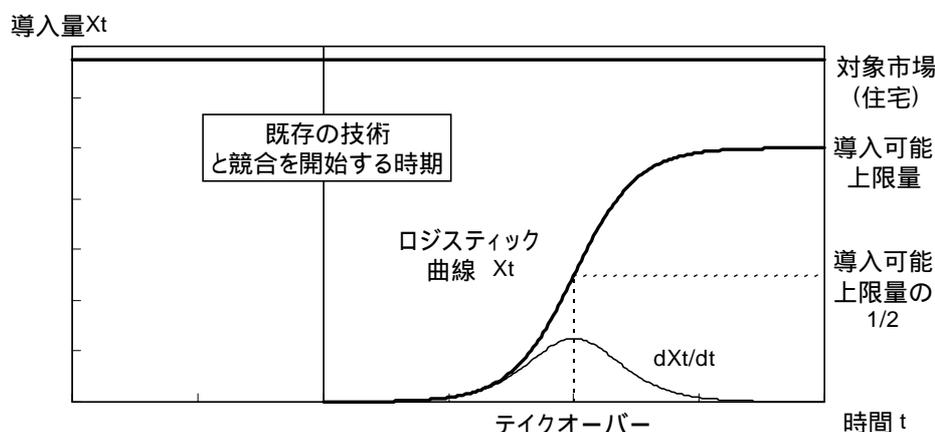


表 7 各地域の住宅数の推計 (単位: 万戸)

	北海道						本州						合計
	札幌			周辺部			都市部			周辺部			
	一戸建	集合住宅	新築	一戸建	集合住宅	新築	一戸建	集合住宅	新築	一戸建	集合住宅	新築	
2004年	33	52	1	107	57	2	1,077	1,265	44	1,682	682	23	4,953
2010年	33	52	1	108	57	2	1,102	1,295	44	1,722	698	23	5,068
2020年	32	51	1	104	55	2	1,099	1,291	44	1,716	696	23	5,044

燃料電池の効率、価格の想定

燃料電池の価格、効率については、燃料電池戦略研究会で示された以下の目標<sup>2</sup>に基づき、表 8 に示す前提を置いた。8 年という給湯器の寿命に対応して、耐用年数は 8 年、もしくは 12 年とした。(耐久性を検討する際には、燃料電池の運転条件によって耐用年数期間中の総運転時間、即ち稼働時間が異なるため、シミュレーションの結果から逆算を行なうことになる。)

- ( ) 実用化と普及のタイムスケジュールの目標
  - 実用化時期目標 : 2003 ~ 2004 年
  - 普及時期目標 : 2010 年以降
- ( ) 普及時期における性能目標、コスト目標
  - 燃料電池スタック ;

<sup>2</sup> 燃料電池実用化戦略研究会、固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用技術開発戦略、2001 年 8 月 8 日

- 発電効率：50%以上（HHV ベース、HHV：高位発熱量）
- コスト：8万円/kW以下
- 改質器；
  - 改質効率：85%（HHV）程度
  - コスト：2万円/kW以下
- システム全体
  - 発電効率：35%以上（HHV、受電端）
  - 総合効率：80%以上（HHV）
  - 容積：150L/kW以下
  - 耐久性：4万時間以上
  - システム価格：家庭用30万円/台以下、業務用15万円/kW以下

表8 燃料電池の価格、効率の前提

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2020
発電効率(送電端)(HHV) %	29	31	33	34	36	38	40	40
熱回収効率(HHV) %	36	37	38	38	39	39	40	40
システム・価格 万円/kW	220	165	127	100	79	63	50	30

#### ケースの設定

燃料電池戦略研究会で示された家庭用定置燃料電池の導入目標（表1）を目標値とする。燃料電池の耐用年数を8年、定格出力を1kWとするケースAを基準とし、耐用年数を12年とするケース、定格出力を0.5kWとするケースなど3つのケースを加えた計4つのケースを表9の通り設定した

表9 各ケースの設定条件

ケース	A	B	C	D
耐用年数	8年	12年	8年	8年
燃料価格	北海道、本州に区分。電力、灯油、都市ガス、LPガスの最終消費者価格を設定	ケースAと同じ	都市ガス価格、LPG価格をケースAより10%減。	ケースAと同じ
定格出力	1kW	1kW	1kW	0.5kW

#### 運転方法の想定

燃料電池の運転方法として、以下の4つの運転方法を想定し、各ケースと目標値との導入量とを比較し、燃料電池の導入要件について考察を行った。

運転：電力負荷に合わせて運転。給湯需要以上は運転しない。

運転：定格電気出力で定格運転。1日の給湯需要以上は運転しない。

運転 : 定格電気出力で 24 時間運転。

運転 : 電力負荷変動に合わせて 24 時間運転。

表 10 運転方法の想定

	電力負荷 追従	定格運転
給湯需要を満足 するまで運転	運転	運転
24時間稼働	運転	運転

運転 の場合は給湯用燃料の消費量は増加しないが、給湯需要を満足し燃料電池の運転を停止した段階、あるいは電力需要が燃料電池の発電能力 (1kW あるいは 0.5kW) を上回る場合には買電が発生する。

運転 は と同じく給湯用燃料の消費量は増加しないが、時間帯によって買電あるいは発電量の余剰が発生する。また、給湯需要を満足し燃料電池の運転を停止した段階では買電が発生する。

運転 の場合には、給湯用燃料の消費量が増加する可能性があり、同時に時間帯によって買電あるいは発電量の余剰が発生する。

運転 の場合には給湯用需要に給湯量が追いつかない場合には追い焚きが発生し、逆に給湯用需要を上回り給湯用燃料の消費量が増加する可能性も存在する。また、電力需要が燃料電池の発電能力 (1kW あるいは 0.5kW) を上回る場合には買電が発生する。

## 3. 予測の結果と考察

各ケースにおける導入量と稼働時間の結果をまとめて表 11 に示す。表中、各地域、各建て方、各燃料において、燃料電池の導入量が最も多いケースを合計したものを「最大」、最も少ないケースを合計したものを「最小」とした。なお、運転 と運転 では売電は考慮していない。

表 11 各ケースの計算結果（導入台数、稼働時間）

## ケースA

	年度	運転		運転		運転		運転	
		最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
導入量 万台	2010	64	40	62	15	51	0	68	18
	2020	345	240	340	203	289	0	362	110
稼働時間 (万時間)	2010	5.5		3.0		7.0		7.0	
	2020	5.3		3.0		7.0		7.0	

## ケースB

	年度	運転		運転		運転		運転	
		最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
導入量 万台	2010	92	54	77	44	62	0	92	22
	2020	462	309	404	259	344	0	464	244
稼働時間 (万時間)	2010	8.2		4.5		10.5		10.5	
	2020	7.9		4.5		10.5		10.5	

## ケースC

	年度	運転		運転		運転		運転	
		最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
導入量 万台	2010	64	48	62	39	51	0	68	21
	2020	345	283	340	237	289	29	362	237
稼働時間 (万時間)	2010	5.5		3.0		7.0		7.0	
	2020	5.3		3.0		7.0		7.0	

## ケースD

	年度	運転		運転		運転		運転	
		最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
導入量 万台	2010	64	40	63	39	63	17	64	18
	2020	345	240	343	237	344	194	345	219
稼働時間 (万時間)	2010	5.8		5.4		7.0		7.0	
	2020	5.7		5.4		7.0		7.0	

ケース間の比較では、耐用年数が長い（従って1年あたりの償却費が安くなる）ケースBの導入量が相対的に多くなる。ただ、ケースBでは稼働時間も長くなるため、燃料電池の耐久性を高める必要がある。ケースAに対し、燃料のコストを下げたケースCは、当然のことながら経済性の向上により導入量が多くなる。また、ケースDは定格出力がケースAの1/2（ただしシステムコストは同じ）であるが、発電余剰の電力量が減少することから、給湯需要を満足するまで定格運転を行なう運転 では導入量がわずかに増加すると

もに稼働時間が長くなっており、24 時間定格運転を行なう運転 ではケース A よりも導入量が増加している。

また、各ケースを運転方法の違いで見ると、「最大」の値は 24 時間電力負荷追従運転を行なう運転 の方式が最も導入量が多く、次いで運転 、運転 の順となっている。運転 は最も導入量が少ない。一方、「最小」の値を見ると、最も導入量が多いのは給湯需要を満足するまで電力負荷追従運転を行なう運転 で、次いで運転 となっており、運転 はこの後になっている。運転 は最も導入量が少ない。

以下、各ケースごとに結果を見てゆくことにする。表 12～15 に各ケースにおける各地域の導入開始年度と導入量を示す。

(1) ケース A

運転 (終日負荷追従運転)の「最大」が最も導入が進み、2010 年度で目標の 56%となる。一方、運転 (終日 1kW の定格運転)の「最小」では導入されない結果となり、導入量は運転方式と燃料電池の燃料選択により大きく変化する。

表 12 ケース A の各地域における導入開始年度と導入量 (1)

運転 万台

	札幌・一戸建		札幌・集合住宅		北海道周辺部・一戸建		北海道周辺部・集合住宅		本州都市部・一戸建		本州都市部・集合住宅		本州周辺部・一戸建		本州周辺部・集合住宅	
	灯油		都市ガス		灯油		LPG		都市ガス		都市ガス		LPG		LPG	
従来の給湯用燃料	灯油		都市ガス		灯油		LPG		都市ガス		都市ガス		LPG		LPG	
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	灯油	LPG	LPG	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	LPG	灯油
導入開始年度	2008	2012	2010	2007	2008	-	2011	2007	2009	2008	2009	2008	2007	2010	2011	2008
2010	1	0	0	0	2	0	0	0	17	20	1	2	37	22	0	1
2020	3	2	1	1	10	0	0	1	91	106	18	21	192	122	7	11

運転 万台

	札幌・一戸建				札幌・集合住宅				北海道周辺部・一戸建				北海道周辺部・集合住宅			
	売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し	
従来の給湯用燃料	灯油				都市ガス				灯油				LPG			
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油
導入開始年度	2008	2012	2008	-	2009	2007	2011	2008	2008	-	2009	-	2010	2007	2013	2008
2010	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0
2020	3	2	3	0	1	1	0	1	10	0	9	0	1	1	0	1

	本州都市部・一戸建				本州都市部・集合住宅				本州周辺部・一戸建				本州周辺部・集合住宅			
	売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し	
従来の給湯用燃料	都市ガス				都市ガス				LPG				LPG			
燃料電池燃料	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油
導入開始年度	2009	2007	2010	2008	2009	2008	2010	2009	2007	2010	2007	2011	2010	2008	2012	2008
2010	17	24	14	20	1	2	1	1	37	22	37	0	0	1	0	1
2020	91	123	78	106	18	21	15	18	192	122	192	104	8	11	6	11

表 12 ケース A の各地域における導入開始年度と導入量 (2)

運転																	万台	
	札幌・一戸建				札幌・集合住宅				北海道周辺部・一戸建				北海道周辺部・集合住宅					
	売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し			
従来の給湯用燃料	灯油				都市ガス				灯油				LPG					
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油		
導入開始年度	2006	-	2009	-	-	2006	-	2009	2006	-	2010	-	-	2006	-	2009		
2010	1	0	1	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0		
2020	4	0	3	0	0	1	0	1	13	0	7	0	0	1	0	1		

運転																	万台	
	本州都市部・一戸建				本州都市部・集合住宅				本州周辺部・一戸建				本州周辺部・集合住宅					
	売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し			
従来の給湯用燃料	都市ガス				都市ガス				LPG				LPG					
燃料電池燃料	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油		
導入開始年度	2009	2007	-	2009	2009	2007	-	2011	2006	-	2008	-	-	2007	-	2010		
2010	17	24	0	17	1	3	0	0	45	0	31	0	0	2	0	0		
2020	91	123	0	91	18	25	0	13	220	0	166	0	0	13	0	8		

運転																	万台	
	札幌・一戸建		札幌・集合住宅		北海道周辺部・一戸建		北海道周辺部・集合住宅		本州都市部・一戸建		本州都市部・集合住宅		本州周辺部・一戸建		本州周辺部・集合住宅			
	灯油		都市ガス		灯油		LPG		都市ガス		都市ガス		LPG		LPG			
従来の給湯用燃料	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	灯油	LPG	LPG	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	LPG	LPG	灯油			
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	灯油	LPG	LPG	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	LPG	LPG	灯油			
導入開始年度	2007	-	2010	2007	2008	-	2012	2007	2009	2007	2009	2008	2007	-	-	2008		
2010	1	0	0	0	2	0	0	0	17	24	1	2	37	0	0	1		
2020	4	0	1	1	10	0	0	1	91	123	18	21	192	0	0	11		

相対的に安価な灯油が燃料として使用される場合に導入量が増加しており、また運転、運転では余剰の電力の売電が可能な場合には経済性が向上し、導入量が増加している。燃料電池に要求される耐久時間は、最も導入される運転では終日運転となるため、約7万時間が必要となる。この耐久時間は、燃料電池実用化戦略検討会における2010年度の最低目標である4万時間の約1.8倍となる。一方、運転では、燃料電池実用化戦略検討会における目標の耐久時間である2010年度の4万時間以下の運転で耐用年数の8年を満足する。

## (2) ケース B

耐用年数が長くなり、1年あたりの燃料電池の維持費用がケース A に比べ安価となるため、導入が進む結果となっている。ただ、燃料電池に要求される耐久時間は、耐用年数に従い長くなる。

表 13 ケース B の各地域における導入開始年度と導入量 (1)

運転 万台

	札幌・一戸建		札幌・集合住宅		北海道周辺部・一戸建		北海道周辺部・集合住宅		本州都市部・一戸建		本州都市部・集合住宅		本州周辺部・一戸建		本州周辺部・集合住宅	
	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	灯油	LPG	LPG	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG
従来の給湯用燃料	灯油		都市ガス		灯油		LPG		都市ガス		都市ガス		LPG		LPG	
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	灯油	LPG	LPG	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG
導入開始年度	2006	2010	2008	2006	2007	2012	2009	2006	2007	2006	2008	2006	2005	2009	2009	2006
2010	1	0	0	0	2	0	0	0	24	29	2	4	53	26	1	2
2020	4	2	1	1	12	5	1	1	123	141	24	33	252	142	11	18

運転 万台

	札幌・一戸建				札幌・集合住宅				北海道周辺部・一戸建				北海道周辺部・集合住宅			
	売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し	
従来の給湯用燃料	灯油				都市ガス				灯油				LPG			
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油
導入開始年度	2006	2010	2007	2015	2008	2005	2010	2006	2007	2012	2007	-	2009	2006	2011	2007
2010	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0
2020	4	2	4	1	1	1	1	1	12	5	12	0	1	1	1	1

	本州都市部・一戸建				本州都市部・集合住宅				本州周辺部・一戸建				本州周辺部・集合住宅			
	売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し	
従来の給湯用燃料	都市ガス				都市ガス				LPG				LPG			
燃料電池燃料	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油
導入開始年度	2007	2006	2008	2007	2007	2006	2009	2007	2005	2009	2006	2010	2009	2006	2010	2007
2010	24	29	20	24	3	4	1	3	53	26	45	22	1	2	0	2
2020	123	141	106	123	28	33	20	28	252	142	220	122	11	18	9	15

運転 万台

	札幌・一戸建				札幌・集合住宅				北海道周辺部・一戸建				北海道周辺部・集合住宅			
	売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し	
従来の給湯用燃料	灯油				都市ガス				灯油				LPG			
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油
導入開始年度	2005	-	2008	-	2013	2004	-	2007	2005	-	2008	-	-	2005	-	2008
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	1	0	1	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0
2020	5	0	3	0	0	2	0	1	15	0	10	0	0	1	0	1

	本州都市部・一戸建				本州都市部・集合住宅				本州周辺部・一戸建				本州周辺部・集合住宅			
	売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し	
従来の給湯用燃料	都市ガス				都市ガス				LPG				LPG			
燃料電池燃料	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油
導入開始年度	2008	2005	-	2008	2008	2006	-	2009	2005	-	2007	-	-	2005	-	2009
2010	20	34	0	20	2	4	0	1	53	0	37	0	0	3	0	1
2020	106	161	0	106	24	33	0	20	252	0	192	0	0	21	0	11

表 13 ケース B の各地域における導入開始年度と導入量 (2)

運転		万台															
	札幌・一戸建		札幌・集合住宅		北海道周辺部・一戸建		北海道周辺部・集合住宅		本州都市部・一戸建		本州都市部・集合住宅		本州周辺部・一戸建		本州周辺部・集合住宅		
従来の給湯用燃料	灯油		都市ガス		灯油		LPG		都市ガス		都市ガス		LPG		LPG		
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	灯油	LPG	LPG	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	LPG	灯油	
導入開始年度	2006	2012	2009	2005	2006	-	2010	2006	2008	2006	2008	2006	2005	2011	2011	2006	
2010	1	0	0	0	3	0	0	0	20	29	2	4	53	0	0	2	
2020	4	2	1	1	13	0	1	1	106	141	24	33	252	104	7	18	

(3) ケース C

各運転方式ともに燃料価格の低下により経済性が向上し、導入量は増加している。なお、「最大」の場合の燃料電池燃料は灯油であるため、導入量はケース A と同じである。

表 14 ケース C の各地域における導入開始年度と導入量 (1)

運転		万台															
	札幌・一戸建		札幌・集合住宅		北海道周辺部・一戸建		北海道周辺部・集合住宅		本州都市部・一戸建		本州都市部・集合住宅		本州周辺部・一戸建		本州周辺部・集合住宅		
従来の給湯用燃料	灯油		都市ガス		灯油		LPG		都市ガス		都市ガス		LPG		LPG		
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	灯油	LPG	LPG	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	LPG	灯油	
導入開始年度	2008	2011	2009	2007	2008	2012	2010	2007	2008	2008	2009	2008	2007	2009	2010	2008	
2010	1	0	0	0	2	0	0	0	20	20	1	2	37	26	0	1	
2020	3	2	1	1	10	5	1	1	106	106	18	21	192	142	8	11	

運転		万台															
	札幌・一戸建				札幌・集合住宅				北海道周辺部・一戸建				北海道周辺部・集合住宅				
	売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		
従来の給湯用燃料	灯油				都市ガス				灯油				LPG				
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油	
導入開始年度	2008	2010	2008	2013	2009	2007	2010	2008	2008	2012	2009	-	2009	2007	2011	2008	
2010	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	
2020	3	2	3	1	1	1	1	1	10	5	9	0	1	1	0	1	

	本州都市部・一戸建				本州都市部・集合住宅				本州周辺部・一戸建				本州周辺部・集合住宅			
	売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し	
従来の給湯用燃料	都市ガス				都市ガス				LPG				LPG			
燃料電池燃料	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油
導入開始年度	2008	2007	2009	2008	2008	2008	2010	2009	2007	2009	2007	2010	2010	2008	2011	2008
2010	20	24	17	20	2	2	1	1	37	26	37	22	0	1	0	1
2020	106	123	91	106	21	21	15	18	192	142	192	122	8	11	7	11

表 14 ケース C の各地域における導入開始年度と導入量 (2)

運転		万台															
		札幌・一戸建				札幌・集合住宅				北海道周辺部・一戸建				北海道周辺部・集合住宅			
従来の給湯用燃料		灯油		都市ガス				灯油				LPG					
燃料電池燃料		灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油
導入開始年度		2006	-	2009	-	2011	2006	-	2009	2006	-	2010	-	-	2006	-	2009
2010		1	0	1	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0
2020		4	0	3	0	0	1	0	1	13	0	7	0	0	1	0	1

運転		万台															
		本州都市部・一戸建				本州都市部・集合住宅				本州周辺部・一戸建				本州周辺部・集合住宅			
従来の給湯用燃料		都市ガス				都市ガス				LPG				LPG			
燃料電池燃料		都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油
導入開始年度		2008	2007	2016	2009	2009	2007	-	2011	2006	-	2008	-	-	2007	-	2010
2010		20	24	0	17	1	3	0	0	45	0	31	0	0	2	0	0
2020		106	123	29	91	18	25	0	13	220	0	166	0	0	13	0	8

運転		万台															
		札幌・一戸建		札幌・集合住宅		北海道周辺部・一戸建		北海道周辺部・集合住宅		本州都市部・一戸建		本州都市部・集合住宅		本州周辺部・一戸建		本州周辺部・集合住宅	
従来の給湯用燃料		灯油		都市ガス		灯油		LPG		都市ガス		都市ガス		LPG		LPG	
燃料電池燃料		灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	灯油	LPG	LPG	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	LPG	LPG	灯油	
導入開始年度		2007	2012	2010	2007	2008	-	2010	2007	2008	2007	2009	2008	2007	2011	2011	2008
2010		1	0	0	0	2	0	0	0	20	24	1	2	37	0	0	1
2020		4	2	1	1	10	0	1	1	106	123	18	21	192	104	7	11

## (4) ケース D

売電を考慮しない場合、運転 は、ケース D の方が導入量が多くなっており、本州周辺部・一戸建てでは LP ガスを燃料とする燃料電池の導入量も増加している。売電がある場合、ケース A の方が導入量が増加していることから、定格出力 1kW の燃料電池を定格出力で運転した場合には、発電量が余剰傾向にあるものと推察される。

一方、運転 、 、 においては、売電を考慮した場合、考慮しない場合のいずれにおいても導入量はケース A と殆ど差が無い。ただ、稼働時間は、運転 、 では定格出力が小さくなったため、ケース A と比較して要求される稼働時間が長くなっている。従って、燃料電池の設計を行なう場合には、運転条件、出力、稼働時間、売電の可否といった要素を考慮して、最適なバランスを考える必要があるものと判断される。

表 15 ケース D の各地域における導入開始年度と導入量 ( 1 )

運転 万台

	札幌・一戸建		札幌・集合住宅		北海道周辺部・一戸建		北海道周辺部・集合住宅		本州都市部・一戸建		本州都市部・集合住宅		本州周辺部・一戸建		本州周辺部・集合住宅	
	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	灯油	LPG	LPG	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG
従来の給湯用燃料	灯油		都市ガス		灯油		LPG		都市ガス		都市ガス		LPG		LPG	
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	灯油	LPG	LPG	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG
導入開始年度	2008	2012	2010	2007	2008	-	2011	2007	2009	2008	2009	2008	2007	2010	2011	2008
2010	1	0	0	0	2	0	0	0	17	20	1	2	37	22	0	1
2020	3	2	1	1	10	0	0	1	91	106	18	21	192	122	7	11

運転 万台

	札幌・一戸建				札幌・集合住宅				北海道周辺部・一戸建				北海道周辺部・集合住宅			
	売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し	
従来の給湯用燃料	灯油				都市ガス				灯油				LPG			
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油
導入開始年度	2008	2012	2008	2013	2010	2007	2010	2007	2008	-	2009	-	2010	2007	2011	2008
2010	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0
2020	3	2	3	1	1	1	1	1	10	0	9	0	1	1	0	1

	本州都市部・一戸建				本州都市部・集合住宅				本州周辺部・一戸建				本州周辺部・集合住宅			
	売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し	
従来の給湯用燃料	都市ガス				都市ガス				LPG				LPG			
燃料電池燃料	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油
導入開始年度	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2010	2008	2007	2010	2007	2010	2010	2008	2011	2008
2010	17	20	17	20	1	2	1	2	37	22	37	22	0	1	0	1
2020	91	106	91	106	18	21	15	21	192	122	192	122	8	11	7	11

運転 万台

	札幌・一戸建				札幌・集合住宅				北海道周辺部・一戸建				北海道周辺部・集合住宅			
	売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し	
従来の給湯用燃料	灯油				都市ガス				灯油				LPG			
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油
導入開始年度	2007	-	2008	-	2010	2006	2013	2007	2007	-	2008	-	-	2007	-	2008
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0
2020	4	0	3	0	1	1	0	1	12	0	10	0	0	1	0	1

	本州都市部・一戸建				本州都市部・集合住宅				本州周辺部・一戸建				本州周辺部・集合住宅			
	売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し		売電有り		売電無し	
従来の給湯用燃料	都市ガス				都市ガス				LPG				LPG			
燃料電池燃料	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	灯油	LPG	灯油	LPG	LPG	灯油	LPG	灯油
導入開始年度	2009	2007	2009	2008	2009	2008	2010	2008	2007	2011	2007	2012	-	2007	-	2008
2010	17	24	17	20	1	2	1	2	37	0	37	0	0	2	0	1
2020	91	123	91	106	18	21	15	21	192	104	192	88	0	13	0	11

表 15 ケース D の各地域における導入開始年度と導入量 (2)

運転	万台															
	札幌・一戸建		札幌・集合住宅		北海道周辺部・一戸建		北海道周辺部・集合住宅		本州都市部・一戸建		本州都市部・集合住宅		本州周辺部・一戸建		本州周辺部・集合住宅	
従来の給湯用燃料	灯油		都市ガス		灯油		LPG		都市ガス		都市ガス		LPG		LPG	
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	都市ガス	灯油	灯油	LPG	LPG	灯油	都市ガス	灯油	都市ガス	灯油	LPG	LPG	灯油	
導入開始年度	2008	-	2010	2007	2008	-	2011	2007	2009	2008	2009	2008	2007	2011	2012	2008
2010	1	0	0	0	2	0	0	0	17	20	1	2	37	0	0	1
2020	3	0	1	1	10	0	0	1	91	106	18	21	192	104	6	11

(5) まとめ

以上の結果から、導入量の多さを考えると運転 が有利ではあるが、「最大」「最小」の差のバランス、稼働時間の長さを考えると運転 の方が普及には優位であると見られる。ただ、この場合には燃料電池の起動、停止をスムーズに行なう技術の開発が求められる。また、運転 、ともに負荷追従運転という技術上の難しさを克服する必要がある。

以上から、燃料電池の導入普及を促進させるためには、まずは前提として表 8 に示した効率、コスト目標が達成される必要があるが、これに加えて概略以下の要件がポイントであると判断される。

- ON/OFF 運転が可能な性能とすること
- 燃料電池の耐久性を高めること
- より安価な燃料を用いる燃料電池の開発を促進させること
- 売電を可能とすること

以上

(参考) 燃料電池導入に伴うエネルギー消費量の変化

燃料電池の導入により家庭のエネルギー消費には燃料電池用燃料の消費が加わり、家庭のエネルギー消費量が変化する。表 16 にケース A の場合に燃料電池用燃料として使用される灯油、都市ガス、LPG の消費量の試算結果を示す。「売電無し」の灯油の増加量は、2010 年度で 2000 年度の販売量の約 2~4%、2020 年度で約 10~20%に相当する。また、「売電無し」の都市ガスは、同じく 2000 年度の販売量と比較して 2010 年度で約 0.4%、2020 年度で約 3%に相当、「売電無し」の LPG は 2010 年度で約 0.3%、2020 年度で約 2%に相当する。なお、2000 年度の灯油の国内消費者向け総販売量は 2,992 万 kl、都市ガスの販売量は 250,173 × 109kcal ( 1,047,235,606 × 1,000MJ )、LPG の国内消費者向け総販売量は 1,841 万 t である。

表 16 燃料電池用燃料の消費量 ( ケース A )

灯油: 万kl, 都市ガス: 10<sup>9</sup>kcal, LPG: 1,000t

ケース	運転			運転 (売電無し)			運転 (売電無し)			運転		
	最大	最小		最大	最小		最大	最小		最大	最小	
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	LPG	灯油	都市ガス	LPG	灯油	都市ガス	LPG	灯油	都市ガス	LPG
2010	53	712	69	52	581	0	106	0	0	79	1,113	0
2020	288	4,405	401	285	3,658	342	607	0	0	454	7,457	1
対2000年度販売実績												
2010	2%	0.3%	0.4%	2%	0.2%	0%	4%	0%	0%	3%	0.4%	0%
2020	10%	2%	2%	10%	1%	2%	20%	0%	0%	15%	3%	0%

ケース	運転 (売電有り)			運転 (売電有り)		
	最大	最小		最大	最小	
燃料電池燃料	灯油	都市ガス	LPG	灯油	都市ガス	LPG
2010	57	715	70	162	2,687	0
2020	303	4,408	404	841	16,233	0
対2000年度販売実績						
2010	2%	0.3%	0.4%	5%	1.1%	0%
2020	10%	2%	2%	28%	6%	0%

一方、ケース A の場合の家庭における買電の減少量の概算を表 17 に示す。2000 年度の総電力需要は 978,256 ( 百万 kWh ) である。売電を行なわない場合の減少量は、2010 年度で 2000 年度の総電力需要の 0.3%、2020 年度で 2%程度に相当する。

表 17 買電の減少量 ( ケース A )

100万kWh

ケース	運転		運転 (売電無し)		運転 (売電無し)		運転	
	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
2010	-2,230	-1,435	-1,631	-376	-2,521	0	-3,324	-849
2020	-12,091	-8,522	-9,316	-5,586	-15,247	0	-18,977	-5,473
対総電力需要(2000年度)実績								
2010	-0.2%	-0.1%	-0.2%	0.0%	-0.3%	0.0%	-0.3%	-0.1%
2020	-1.2%	-0.9%	-1.0%	-0.6%	-1.6%	0.0%	-1.9%	-0.6%

ケース	運転 (売電有り)		運転 (売電有り)	
	最大	最小	最大	最小
2010	-2,375	-1,445	-6,763	-1,582
2020	-12,692	-8,559	-35,070	-9,534
対総電力需要(2000年度)実績				
2010	-0.2%	-0.1%	-0.7%	-0.2%
2020	-1.3%	-0.9%	-3.6%	-1.0%

お問い合わせ : [ieej-info@tky.ieej.or.jp](mailto:ieej-info@tky.ieej.or.jp)