

科学技術振興調整費 「科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進」  
平成 17～19 年度実施「地域水素エネルギー利用システムの研究」成果の概要

国土交通省国土技術政策総合研究所 澤地孝男

研究担当機関： 国土交通省国土技術政策総合研究所  
(株)システム技術研究所  
日本女子大学家政学部住居学科  
主な研究協力機関：(独)建築研究所  
(財)建築環境・省エネルギー機構  
(株)日本環境技研  
(株)アーキテックコンサルティング

## 1. 事業の概要

これまで開発が進められてきた燃料電池の技術が広範な応用の域に達しつつある。いうまでもなく、同技術は水素をエネルギー源として、電力と熱を発生させるものであり、その両者を需要側がうまく活用することによって、高い総合エネルギー効率が期待できる。エネルギー需要は、産業部門、運輸部門、民生部門等に分けることができる。それらの中で主として民生部門、即ち業務用建築及び住宅における業務や生活を通じて消費されるエネルギーは、我が国においては全体の約 3 割を占めるものであり、都市域においては最大のエネルギー使用先であるとも言える。

本研究は、業務用建築及び住宅といった、地域内に集中して存在するエネルギー需要に応えるための地域的、面的なエネルギー供給システムの将来像を合理的に検討するために不可欠であると言える評価手法を開発すること、また、それを適用して地域水素エネルギーシステムの課題を抽出するとともにその解決の要諦を明らかにすることを目的としている。

具体的には、地域における各種の水素利用システムを提案し、その経済性と環境適合性を評価するため、以下の 3 つのサブテーマを設定した。

- 1) 集合住宅、業務用ビル、街区におけるエネルギー需要の分析
- 2) 水素供給システムの特性分析と水素利用方法のモデル化
- 3) 水素エネルギー利用システムのフュージビリティ評価

## 2. 開発目標

水素エネルギー利用システムは、効率が高く環境への負荷を小さくできる可能性があり、先端的技术開発として日本にとって重要な戦略的な課題である。さらに将来の都市における民生用エネルギーシステムの構築に不可欠で、同時に地球温暖化対策技術のひとつとして緊急性が極めて高い。そこで、本研究では集合住宅、業務用建物、街区に適した水素エネルギー利用システムを提案し、その経済性と環境適合性の評価、技術的課題の抽出を行うことを目的とした。

具体的には以下が研究成果である。

- ① 地域エネルギーシステムの簡易評価プログラム
- ② 集合住宅におけるエネルギー需要想定手法

- ③ 業務用建築物におけるエネルギー需要想定手法
- ④ 代表的地域エネルギーシステムの評価事例の作成
- ⑤ 地域水素エネルギーシステムの特徴と今後に向けての課題と展望の整理

### 3. 事業成果

#### 3-1. 地域エネルギーシステムの簡易評価プログラム

地域内における熱及び電力需要に係る種々の条件を入力として、地域水素エネルギー利用システムを初めとして、既存システムを含む種々のエネルギーシステムの評価するためのプログラムである。出力としては、エネルギー消費量、二酸化炭素排出量、経済性とする。地域水素エネルギー利用システムとしては図1のような全体像を想定している。システムを構成する要素の特性は既存資料を吟味して定めるが、固体高分子型燃料電池に関しては模擬居住条件下において実験を行った結果を活用している。

- 入力
  - 地域にある建物とエネルギー需要、エネルギー供給源、システム構成の設定
- 需要側構成要素
  - 集合住宅、業務用建物、ホテル、病院
- エネルギー供給源
  - 系統電力、都市ガス、工場副生水素、太陽光発電、風力発電
- システム構成
  - 燃料電池、改質器、水電解、水素タンク、電池、蓄熱タンク
- 計算
  - 1時間ごとの1年間のシミュレーションにより、一次エネルギー使用量などを既存システムと比較評価

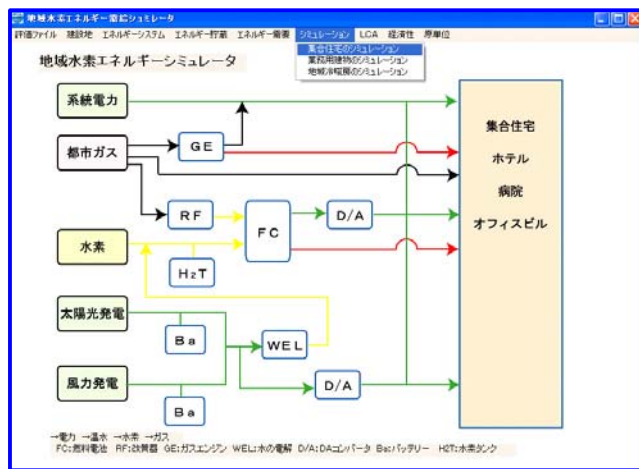


図1 地域水素エネルギー利用システムの構成概要

簡易評価プログラムでは、燃料電池は小容量にも適用可能なPEFCとSOFCの2種類を選定し、その特性により部分負荷に対する効率を計算し、運転状況に応じて、正確なエネルギー分析ができるようにした。

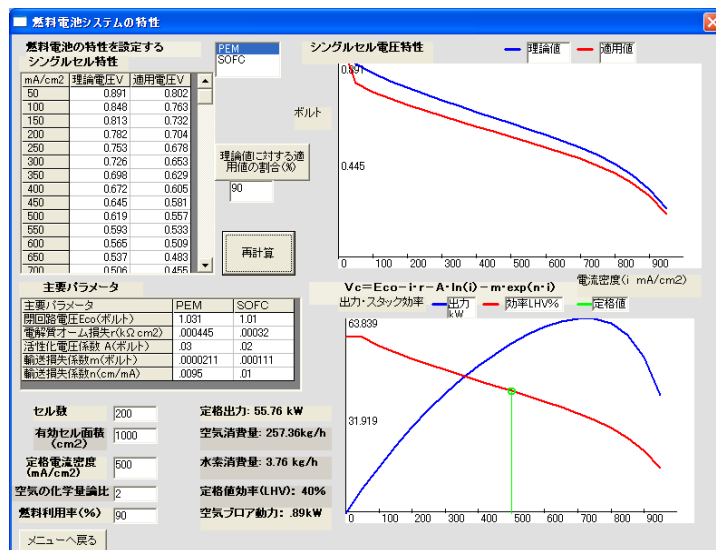


図2 燃料電池の性能設定の画面

集合住宅のエネルギー需要については、階数とフロアあたり戸数を設定し、統計的な世帯属性を満たすようにランダムにエネルギー需要を設定するか、または、家族構成やエネルギー消費の多少など世帯属性を任意に選択して1時間毎の電力、給湯、暖房、冷房エネルギー需要を設定することにより、集合住宅の多様なエネルギー需要について、複数戸に1台の燃料電池を設置した場合のシミュレーションを可能にした(図3)。

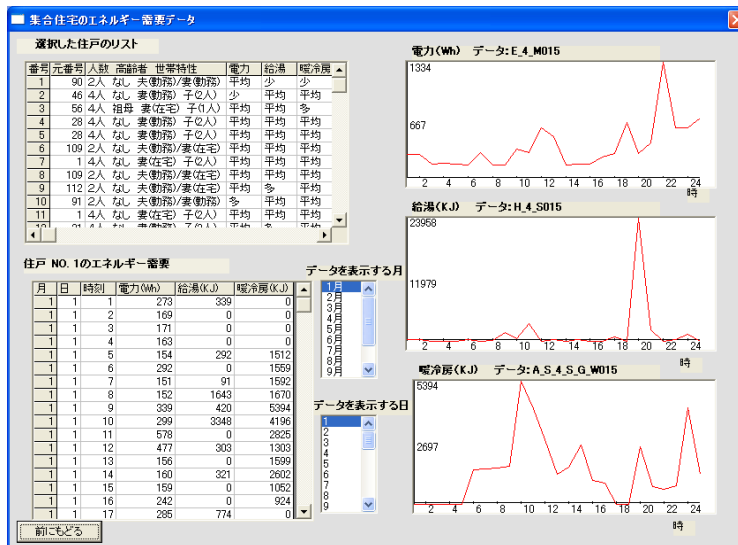


図3 集合住宅のエネルギー需要の設定とシミュレーション

ビル・商業施設・ホテルなどのエネルギー需要データのうち空調用エネルギー需要データは各種の内容を準備しており、最初にその一覧表をみる事ができる。次に事務所ビル・商業ビルについてそのエネルギー需要を確認・選択することができる。さらにホテル・病院のエネルギー需要データについても確認・選択が行える(図4)。

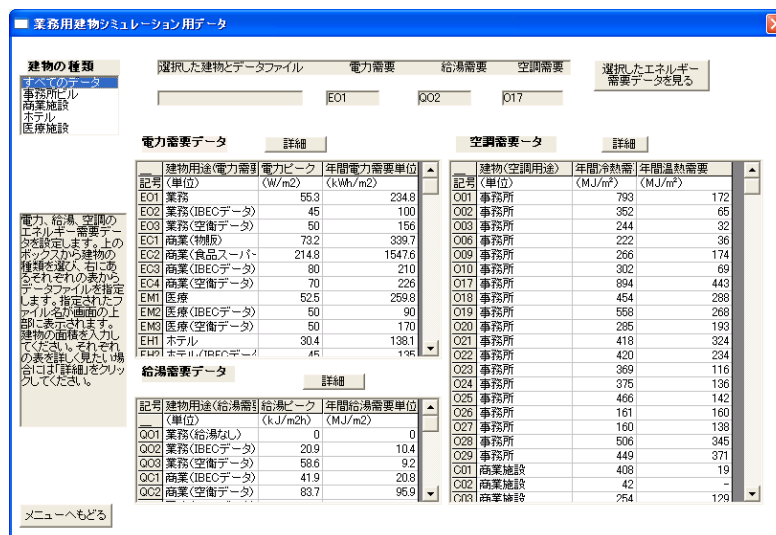


図4 業務用建物のエネルギー消費量シミュレーション用データ

地域熱供給システムのエネルギー需要として、業務施設、商業施設、ホテル、病院、集合住宅のエネルギー需要(冷房・暖房・給湯・電力)を設定する。各々のエネルギー需要の詳細は、「業務用建物のエネルギー需要の詳細」を見ることにより知ることができる(図5)。

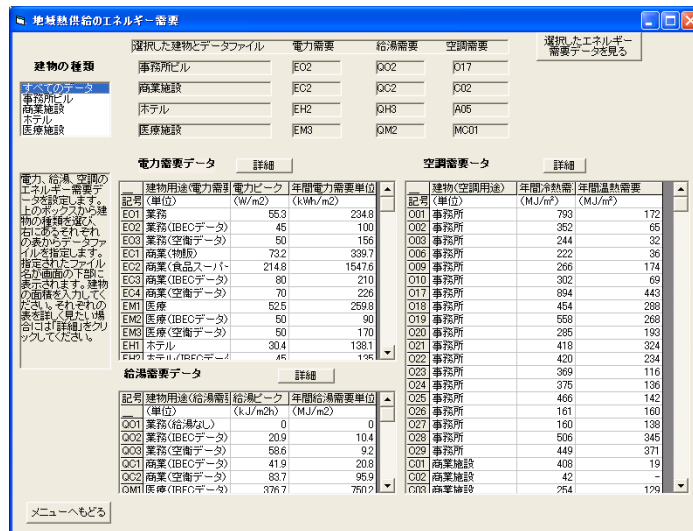


図5 地域エネルギーシステムのエネルギー消費量シミュレーション用データ

以下は、シミュレーション結果である。図6に結果を示す集合住宅シミュレーションにおける基準ケースは、送電線電力から電力を供給し、都市ガスで一般的なガス給湯器による給湯を行う場合を比較対象としたものであり、これを燃料電池によるコージェネレーションと比較している。全住戸の計算と、各住戸の平均値とを示している。この例では、80戸の集合住宅において、2戸に1台(2kW)の燃料電池(PEFC)を設置して、年間の一次エネルギー消費が16%低下し、CO2排出は20%低下する結果になっている。

シミュレーション結果の表示		熱電比 = 1.07				
計算結果	項目	単位	全戸合計 基準ケース	全戸合計 SIMケース	住戸平均 基準ケース	住戸平均 SIMケース
条件	FC容量	kW	0	80	0	1
エネルギー需要	電力需要	KWh/年	324822	324822	4060	4060
	暖房需要	MJ/年	0	0	0	0
	温水需要	MJ/年	1259897	1259897	15748	15748
FC発電	冷房需要	MJ/年	0	0	0	0
	FC発電量	KWh/年	0	315977	0	3949
	補機電力量	KWh/年	0	4974	0	62
エネルギー	SS用電力損失	KWh/年	0	2190	0	27
	有効発電量	KWh/年	0	305010	0	3812
	排熱回収量	MJ/年	0	461147	0	5764
一次エネルギー	FC発電効率	%	0	97	0	97
	購入電力量	kWh/年	324822	8844	4060	110
	都市ガス使用量	MJ/年	1615253	3928199	20190	49102
省エネルギー	購入電力	MJ/年	3170270	96326	39628	1079
	都市ガス	MJ/年	1615253	3928199	20190	49102
	省エネルギー率	%	0	770996	0	9637
CO2排出量	省エネルギー率	%	0	16	0	16
	購入電力	kg-CO2/年	180276	4908	2253	61
	都市ガス	kg-CO2/年	60052	187234	750	2340
削減率	合計	kg-CO2/年	240328	192143	3004	2401
	削減量	kg-CO2/年	0	48185	0	602
	削減率	%	0	20	0	20

図6 集合住宅のシミュレーション結果のまとめ

メインメニューで経済性の評価を選択すると、それぞれのシミュレーションの結果を経済性の点から評価した内容を確認することができる。図7は、前述の集合住宅のエネルギー・シミュレーションの結果を用いて、1戸当たりの経済性を評価した画面である。

次に、業務建築に関するエネルギー消費及び経済性に関するシミュレーション結果を図8図9に示す。業務用建物のエネルギー・シミュレーションは、まず、すでに設定してある建物のエネルギー需要が表示されるので、これを確認するところから始まる。ここで建物の延床面積を入力すると、年間最大エネルギー需要と年間エネルギー需要が計算される。ここで、シミュレーショ

経済性評価(集合住宅1戸あたり)

総合経済性評価(集合住宅1戸あたり)

計算期間: 11年, 12年, 13年, 14年, 15年  
 返済期間: 11年, 13年, 14年, 15年  
 金利: 3%, 3.5%, 4%, 4.5%, 5%

項目	単位	単価 (千円)	基準システム 容量・数量	基準システム 費用(千円)	FCコージェネ 容量・数量	FCコージェネ 費用(千円)
設備費						
燃料電池	kW	400	-	0	1	400
改質器	kW	150	0	0	1	150
温水タンク	m <sup>3</sup>	800	0	0	0.2	160
太陽光発電	kW	500	0	0	0	0
ガス給湯器	台	300	1	300	0	0
設備費合計	-	-	0	300	0	710
年間運転費		(円)		(千円)		(千円)
年間購入電力	kWh	23	4060	93	110	2
年間購入都市ガス	m <sup>3</sup>	50	491	24	1194	59
年間金利	%	5	0	15	0	35.5
年間運転費合計	-	-	0	132	0	96.5
期間中合計	-	-	0	2280	0	2157.5

メニューへもどる

図7 集合住宅のシミュレーション結果(経済性評価)

ンは、①既存システム(発電なし、冷房は電力、暖房と温水はガスボイラにより供給)、②ガスエンジンコージェネ(吸収式冷凍機利用、ガスエンジン廃熱で冷温熱を暖冷房・給湯に供給)、③燃料電池(PEFC)コージェネ(吸収式冷凍機利用、燃料電池の廃熱で冷温水を暖冷房・温水に供給)の3種類の方法を比較評価したものである。

業務用建物のシミュレーション結果のまとめ

シミュレーション結果の表示 (熱電比=2.7)

項目	詳細項目	単位	基準ケース	GEコージェネ	FCコージェネ
シミュレーション条件	発電機容量	kW	0	44	44
必要条件	自立電源比率	%	0	97	97
	建物電力需要	MWh/年	99	99	99
	冷房需要(冷水)	GJ/年	877	877	877
	暖房給湯需要(中温水)	GJ/年	156	156	156
	蒸気需要	GJ/年	0	0	0
コージェネシステム	対象電力需要	MWh/年	99	107	103
	発電量	MWh/年	0	56	60
	補償電力使用量	MWh/年	0	7	3
	有効発電量	MWh/年	0	51	77
	都市ガス使用量	GJ/年	872	1204	1319
	排熱回収量(蒸気)	GJ/年	0	0	0
	排熱回収量(温水)	GJ/年	0	337	316
	排熱回収量(合計)	GJ/年	0	337	316
	発電機負荷率	%	0	0	0
	排熱利用率	%	0	0	0
熱供給システム	冷温熱供給量	GJ/年	1034	1034	1034
	電力使用量	MWh/年	0	0	0
	都市ガス使用量	GJ/年	872	1204	1319
	総合エネルギー効率	-	0	0	0
エネルギー使用量	購入電力	MWh/年	99	51	22
	購入都市ガス	千Nm <sup>3</sup> /年	21	29	32
	太陽光発電からの電力利用	MWh/年	0	0	0
	風力発電からの電力利用	MWh/年	0	0	0
	工場副生水素供給量	GJ/年	0	0	0
	バッテリーからの電力	MWh/年	0	0	0
	水素タンクからの電解水素	GJ/年	0	0	0
二次エネルギー	購入電力	GJ/年	976	502	223
	購入都市ガス	GJ/年	965	1332	1460
	太陽光・風力・バッテリー・電解水素	GJ/年	0	0	0
	工場副生水素	GJ/年	0	0	0
一次エネルギー計	一次エネルギー	GJ/年	1941	1835	1684
	省エネルギー率	%	0	106	257
	省エネルギー率	%	0	5	13
CO2排出量	購入電力	t-CO2/年	55	28	12
	購入都市ガス	t-CO2/年	49	67	74
	工場副生水素	t-CO2/年	0	0	0
CO2排出量合計	CO2排出量合計	t-CO2/年	104	96	87
	CO2削減率	t-CO2/年	0	8	17
	CO2削減率	%	0	7	16

前へもどる

図8 業務用建物のシミュレーションのまとめ

次に地域熱供給システムのシミュレーションについて示す(図10)。ここで、選択した建物(事務所、商業ビル、ホテル、病院)の面積あたり年間需要、面積あたり最大需要が表示される。それぞれの建物の面積を設定すれば、データファイルから、エネルギー需要を計算できる。また、集合住宅のエネルギー需要設定のところで、登録した集合住宅のエネルギー需要も、ここでの地域熱供給の対象に含めることが出来るようになっている。シミュレーションの比較対象は、業務用建物のシミュレーションと同様に、基準システムとガスエンジンコージェネレーションを対象にした。地域の最大需要電力に応じて、ガスエンジンと燃料電池(PEFC)の自家発電容量を設定す

る。ここでは、簡単な計算でおおよその発電容量を示すようになっているが、自由に設定することも可能である。

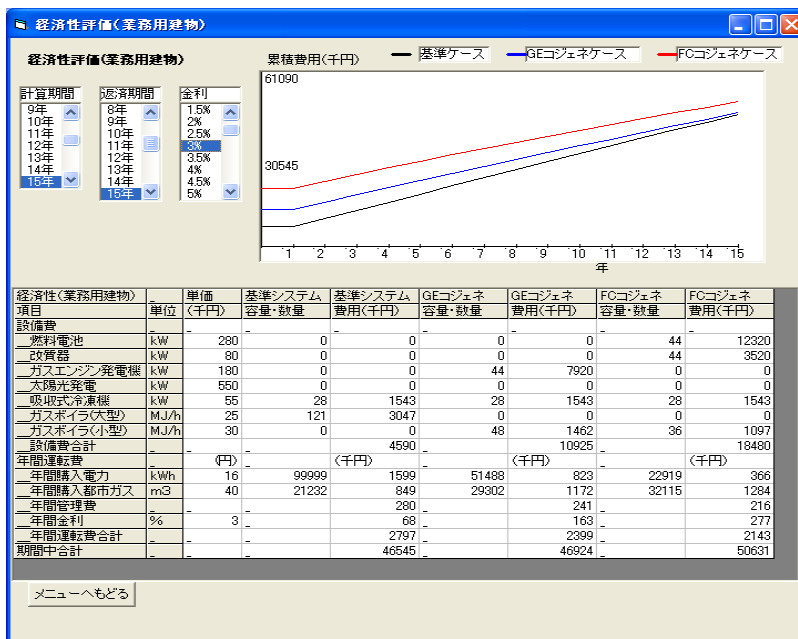


図9 業務用建物のシミュレーションによる経済性評価

また、選択した建物のエネルギー需要のデータから熱電比を計算して表示されるようにした。シミュレーション結果は、基準ケース、ガスエンジンコージェネレーション、燃料電池コージェネの3つのケースについての比較として表示される。

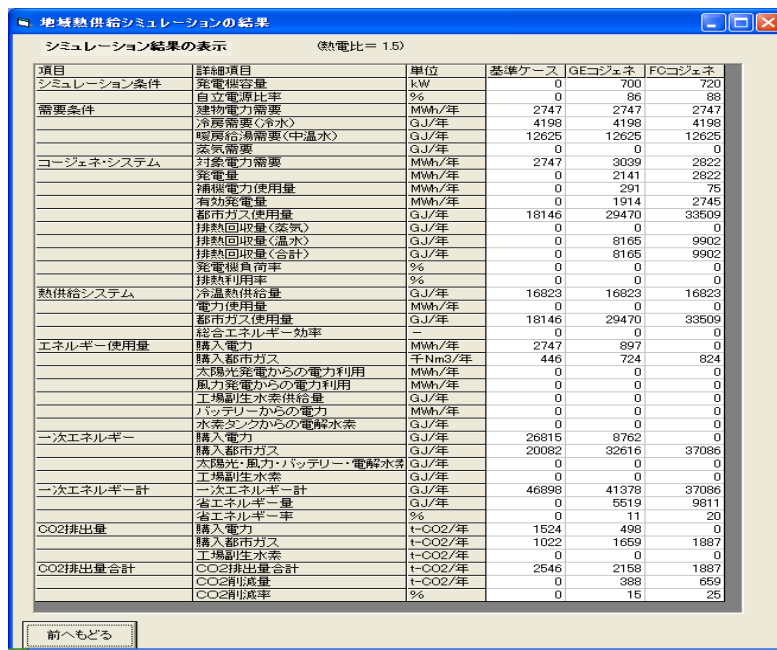


図10 地域エネルギーシステムのシミュレーション結果まとめ

地域エネルギーシステムについても経済性の評価が可能である(図11)。地域エネルギーシステムの場合には、集合住宅や業務用建物の場合と違って、エネルギーセンターを運営する側の立場から経済性を検討している。集合住宅と業務用建物のエネルギーシステムについては、そのエネルギー供給システムの所有者は、建物の所有者(または利用者)と同じとして、その立場から経済性を検討した。地域エネルギーシステムの場合には、複数の建物のエネルギー需要に応じて

エネルギーセンターから、電力と熱を供給するものであり、エネルギーセンター側からみた経済性を検討している。

項目	詳細項目	単位	基準ケース	GEコジェネ	FCコジェネ
シミュレーション条件	発電機容量	kW	0	700	720
	自立電源比率	%	0	86	88
需要条件	建物電力需要	MWh/年	2747	2747	2747
	冷房需要(冷水)	GJ/年	4198	4198	4198
	暖房給湯需要(中温水)	GJ/年	12625	12625	12625
	空気需要	GJ/年	0	0	0
コージェネシステム	対象電力需要	MWh/年	2747	3039	2822
	発電量	MWh/年	0	2141	2822
	補機電力使用量	MWh/年	0	291	75
	有効発電量	MWh/年	0	1914	2745
	都市ガス使用量	GJ/年	18146	29470	33509
	排熱回収量(空気)	GJ/年	0	0	0
	排熱回収量(温水)	GJ/年	0	8165	9902
	排熱回収量(合計)	GJ/年	0	8165	9902
	発電機効率	%	0	0	0
	排熱利用率	%	0	0	0
熱供給システム	冷温熱供給量	GJ/年	16823	16823	16823
	電力使用量	MWh/年	0	0	0
	都市ガス使用量	GJ/年	18146	29470	33509
	総合エネルギー効率	%	0	0	0
エネルギー使用量	購入電力	MWh/年	2747	897	0
	購入都市ガス	千Nm <sup>3</sup> /年	446	724	824
	太陽光発電からの電力利用	MWh/年	0	0	0
	風力発電からの電力利用	MWh/年	0	0	0
	工場副生水素供給量	GJ/年	0	0	0
	バッテリーからの電力	MWh/年	0	0	0
	水素タンクからの電解水素	GJ/年	0	0	0
一次エネルギー	購入電力	GJ/年	26815	8762	0
	購入都市ガス	GJ/年	20082	32616	37086
	太陽光・風力・バッテリー・電解水素	GJ/年	0	0	0
	工場副生水素	GJ/年	0	0	0
一次エネルギー計	一次エネルギー計	GJ/年	46898	41378	37086
	効エネルギー量	GJ/年	0	5519	9811
	省エネルギー率	%	0	11	20
CO <sub>2</sub> 排出量	購入電力	t-CO <sub>2</sub> /年	1524	498	0
	購入都市ガス	t-CO <sub>2</sub> /年	1022	1659	1887
	工場副生水素	t-CO <sub>2</sub> /年	0	0	0
CO <sub>2</sub> 排出量合計	CO <sub>2</sub> 排出量合計	t-CO <sub>2</sub> /年	2546	2159	1887
	CO <sub>2</sub> 削減量	t-CO <sub>2</sub> /年	0	388	659
	CO <sub>2</sub> 削減率	%	0	15	25

図 1 1 地域エネルギーシステムの経済性評価結果

### 3-2. 集合住宅及び各種業務建築におけるエネルギー需要想定手法

#### (1) 集合住宅におけるエネルギー需要想定手法

住宅のエネルギー消費構造に関しては近年実施されるようになった実態調査で新たな知見が得られたため、家族人数や生活時間、使用設備機器といった要因が変化した場合のエネルギーシステムの効用評価がより詳細に行なえる素地が整った。そこで本研究では、家族人数、年齢層、エネルギー消費傾向(多消費・標準・少消費)、建物属性に関して、多様な熱及び電力需要をモンテカルロ法によって発生させることのできる手法を開発した(図 1 2)。

本手法では、住宅のエネルギー需要量を電力、給湯、暖冷房に分けて算定した。電力需要、給湯需要については、実測結果をもとに季節(月)別、平休日別に計算条件を設定し、モンテカルロ法により時刻別需要量を1日単位で発生させた。年間 8760 時間の需要モデルは、この日単位のデータを連結することにより作成した。一方、暖冷房需要については気象条件が無視できないため、熱負荷計算(SMASH Ver.2)により求めた。ただし、全世帯が毎日在宅といった状況は現実的でないため、モンテカルロ法により不在日を設定し調整した。

モンテカルロシミュレーションの基本フローを図 1 3 に示す。計算条件としては、ある時間帯に需要が発生する平均頻度、平均需要量(吐水量または電力消費量)とその平均継続時間、およびこれらの分布形を与えた。乱数により確率的に需要発生の有無を判定し、発生した需要を時系列的に合成した。電力需要については空調換気、厨房、娯楽情報、家事衛生、照明・その他の 5 用途、給湯需要については台所、洗面、シャワー・入浴、浴槽への落とし込みの 4 用途に区分した。なお、個々の世帯における用途間の需要の同時発生、例えば、「夜間であれば、テレビ視聴時には照明が使用される」といった関連性については、多数の世帯が集まることで全体的には調整され得ると考え、本シミュレーションでは考慮しなかった。

ある 1 住戸のエネルギー需要量については在・不在の状況を判定した上で合算、連結した。また、集合住宅 1 棟といった多数世帯の需要量については、世帯属性毎に算定した需要量を構成比率に応じて積算した。