

家庭用燃料電池を使用した戸建住宅のエネルギー消費量及び CO₂ 排出量に関する研究

T O 7 K 6 5 8 G 市川裕幸
指導教員 赤林伸一教授

1 研究目的

近年、安全性・快適性などの観点で住宅のエネルギー消費の全てを電気でもかなう全電化住宅が急速に普及している。一方、ガス併用住宅では、一次エネルギーの総合効率を向上させることで省エネルギー化を図る家庭用燃料電池コージェネレーションシステム (FCCGS) が、2009 年に一般販売が開始され新たに普及し始めている。

家庭用 FCCGS は、都市ガスなどを改質し燃料となる水素を取り出し空気中の酸素と反応させて発電し、発電時の排熱を給湯に利用するシステムである。家庭用 FCCGS は一次エネルギーの利用効率を向上させるが、電力と熱エネルギーを同時に発生させるため、両者のエネルギー発生量の相違や消費が発生する時間帯の違いが問題となる。

本研究では、家庭用 FCCGS 使用住宅と全電化住宅のエネルギー消費量と CO₂ 排出量を求め、比較、考察を行い両者の性能評価を行う。

2 研究概要

2.1 解析対象：図 1 に解析対象住宅を、表 1 に解析対象機器を示す。対象地域は札幌、仙台、東京、名古屋、新潟、京都、大阪、神戸、広島、高知、福岡の全国 11 都市とする。

2.2 空調負荷の解析方法：気象データには日本建築学会拡張アメダス気象データ（標準年）を用い、生活スケジュール作成には生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE*¹ を使用し、熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS により、解析対象住宅の冷暖房負荷を算出する。表 2 に解析条件を示す。但し、空調スケジュールは SCHEDULE を使用せず、空調は終日空調とし、冷暖房設定温度及び冷暖房期間を TRNSYS で設定して行う。

単位：[mm]



(1) 外観パース (2) 1階平面図 (3) 2階平面図
図 1 解析対象住宅

2.3 給湯負荷の解析方法：給湯量は SCHEDULE により作成したスケジュールから算出し、給湯温度は 40℃とする。但し、給湯器では 60℃の湯を貯湯し、各都市における月別の給水温度の水と混ぜ合わせることで 40℃の湯とするため、給湯量を補正して実際に必要な給湯量を求め、給湯負荷を算出する。

2.4 家庭用 FCCGS の稼働条件：表 3 に家庭用 FCCGS の定格能力と稼働条件を示す。SCHEDULE により作成した生活スケジュールから 1 時間毎に住宅の機器消費電力を算出し、その消費電力が 250Wh 以上の場合に家庭用 FCCGS を起動し発電を行う。給湯量が不足する場合には case1、case2 に分けて算出を行う。

2.5 住宅全体 CO₂ 排出量の解析条件：算出した各負荷及び表 4 に示す CO₂ 排出原単位*²により、家庭用 FCCGS 使用住宅及び全電化住宅の住宅全体 CO₂ 排出量を求める。

表 1 解析対象機器

	給湯	暖房	冷房	台所レンジ
家庭用 FCCGS 使用住宅	家庭用 FCCGS	高効率ガス暖房器(熱効率90%)		ガスレンジ
全電化住宅	自然冷媒 ヒートポンプ給湯器	エアコン	エアコン	IHレンジ

表 2 解析条件

空調 ※終日空調	冷房	設定温度	28[°C]
		期間	6月~9月
	暖房	設定温度	20[°C]
期間		11月~3月	
熱損失係数			2.73[W/m ² ・K]
台所レンジフード排気風量	IH		200[m ³ /h]
	ガス		300[m ³ /h]
換気回数			通常時 0.5[回/h]

表 3 家庭用 FCCGS の定格能力と稼働条件

家庭用 FCCGS の定格能力	ガス消費量 [Wh]	発電効率 [%]	給湯効率 [%]	総合効率 [%]
	2000		35	45
起動電力 [Wh]	発電量 [Wh]		給湯量 [l/h]	貯湯量 [l]
	500	Max=700 Min=250	15	200
共通	消費電力が250Wh以上(最大700Wh)の場合に発電を行う。 必要な給湯量を満たした場合は運転を停止する。			
case1 (電主運転)	消費電力が250Wh以下の場合は停止する。 足りない給湯量はバックアップボイラー(熱効率90%)により補う。			
case2 (熱主運転)	消費電力が250Wh以下の場合でも給湯量が届くまで250Wh発電を行う。 余剰電力はヒーターで給湯に使用する。			

表 4 CO₂ 排出原単位*²

電気[kg/kWh]		ガス[kg/kWh]		
電力会社別CO ₂ 排出原単位	火力発電による 平均CO ₂ 排出原単位			0.184
北海道	0.588	0.690		
東北	0.340	国内クレジット制度における 限界電源係数		
東京	0.332	経過年		
北陸	0.483	1年目まで	0.550	
関西	0.299	2.5年目まで	0.443	
中国	0.501	2.5年目以降	0.335	
四国	0.326			
九州	0.348			

3 解析結果

冷房 COP を 3、暖房及び給湯 COP を 1～5 と変化させ、第 8 回国内クレジット認証委員会 (2009.11. 2) において限界電源係数の計算結果により決定された CO₂ 排出原単位の経年変化を用いて算出した 10 年間における住宅全体 CO₂ 排出量を表 5 に示す。

暖房 COP 1 の場合、全地域で家庭用 FCCGS 使用住宅より全電化住宅の住宅全体 CO₂ 排出量が多くなる。一方、暖房 COP 2 以上では給湯 COP 1 の場合を除き家庭用 FCCGS 使用住宅より全電化住宅の住宅全体 CO₂ 排出量が少なくなる。これは給湯負荷より暖房負荷が多いため、給湯 COP より暖房 COP の変化が住宅全体 CO₂ 排出量に与える影響が大きいためである。

case2 より case1 の家庭用 FCCGS 使用住宅における住宅全体 CO₂ 排出量が全地域平均で約 1100kg 多いため、case1 に比較して case2 では暖房 COP 3、給湯 COP 1 で家庭用 FCCGS 使用住宅より全電化住宅の住宅全体 CO₂ 排出量が多くなる地域が増加する。

図 2 に新潟の 10 年間における住宅全体 CO₂ 排出量の推移の主な例を示す。給湯負荷より暖房負荷の方が多いため COP2-4^{*3} と COP4-2 では COP2-4 の方が住宅全体 CO₂ 排出量が多い。図 2 に示した COP 値では 7 年経過すると case1、case2 より住宅全体 CO₂ 排出量が少なくなる。

4 まとめ

- 限界電源係数による CO₂ 排出原単位を使用した場合、
- ①暖房 COP 1 の場合、全地域で家庭用 FCCGS 使用住宅より全電化住宅の住宅全体 CO₂ 排出量が多くなる。
 - ②暖房 COP 2 以上では給湯 COP 1 の場合を除き家庭用 FCCGS 使用住宅より全電化住宅の住宅全体 CO₂ 排出量が少なくなる。
 - ③ case2 より case1 の方が住宅全体 CO₂ 排出量が多い。
 - ④給湯負荷より暖房負荷の方が多いため COP2-4 と COP 4-2 では COP2-4 の方が住宅全体 CO₂ 排出量が多い。

文献 1) 赤林伸一ら、「日本の住宅におけるエネルギー消費」、日本建築学会、2006. 10. 20
 * 1: SCHEDULE は、空調調和衛生工学会「住宅の消費エネルギー計算法委員会」によって作成されたものである。
 * 2: 電力会社別 CO₂ 排出原単位 (環境省 2008)
 火力発電による平均 CO₂ 排出原単位 (中央環境審議会目標達成シナリオ小委員会中間まとめ 2001. 6)
 国内クレジット制度における限界電源係数 (第 8 回国内クレジット認証委員会 2009. 11. 2)
 * 3: COP2-4…暖房 COP 2、給湯 COP 4、他も同様

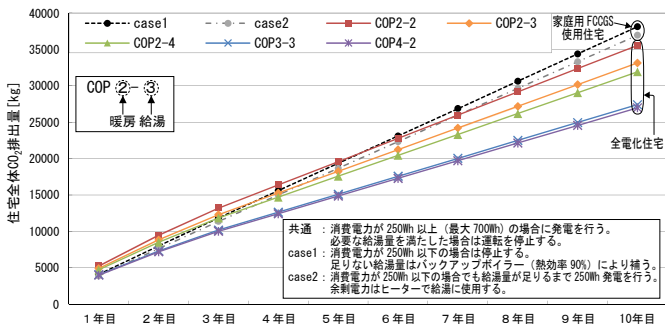


図 2 住宅全体 CO₂ 排出量の推移 (新潟、冷房 COP 3)

表 5 10 年間における住宅全体 CO₂ 排出量

札幌 冷房 COP 3	住宅全体 CO ₂ 排出量 [kg]					仙台 冷房 COP 3	住宅全体 CO ₂ 排出量 [kg]					東京 冷房 COP 3	住宅全体 CO ₂ 排出量 [kg]					
	給湯 COP						給湯 COP						給湯 COP					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
暖房 COP	1	76578	68201	65409	64013	63175	1	60228	52615	50078	48809	48048	1	47222	40678	38496	37406	36751
	2	51811	43434	40641	39245	38407	2	42998	35385	32848	31579	30818	2	36044	29500	27318	26228	25573
	3	43548	35171	32378	30982	30144	3	37256	29644	27106	25838	25076	3	32303	25759	23578	22487	21833
	4	39420	31043	28250	26854	26016	4	34386	26773	24236	22967	22206	4	30424	23880	21699	20608	19954
	5	36948	28571	25778	24382	23544	5	32662	25049	22512	21243	20482	5	29301	22757	20575	19485	18830
ガス ^{*4}	case1=46341/case2=44721					ガス ^{*4}	37779/36470					ガス ^{*4}	31750/30727					
名古屋 冷房 COP 3	住宅全体 CO ₂ 排出量 [kg]					新潟 冷房 COP 3	住宅全体 CO ₂ 排出量 [kg]					京都 冷房 COP 3	住宅全体 CO ₂ 排出量 [kg]					
	給湯 COP						給湯 COP						給湯 COP					
暖房 COP	1	51400	44715	42487	41373	40704	1	60023	52747	50322	49109	48382	1	51923	45286	43074	41968	41304
	2	38137	31452	29223	28109	27441	2	42858	35582	33157	31944	31216	2	38555	31918	29706	28600	27936
	3	33710	27025	24796	23682	23014	3	37139	29863	27438	26225	25497	3	34014	27377	25165	24059	23395
	4	31498	24813	22585	21471	20802	4	34272	26996	24571	23358	22630	4	31744	25107	22895	21789	21125
	5	30173	23488	21259	20145	19477	5	32557	25281	22856	21643	20915	5	30378	23741	21529	20423	19759
ガス ^{*4}	33880/32812					ガス ^{*4}	38150/36974					ガス ^{*4}	34388/33187					
大阪 冷房 COP 3	住宅全体 CO ₂ 排出量 [kg]					神戸 冷房 COP 3	住宅全体 CO ₂ 排出量 [kg]					広島 冷房 COP 3	住宅全体 CO ₂ 排出量 [kg]					
	給湯 COP						給湯 COP						給湯 COP					
暖房 COP	1	48358	41935	39794	38723	38081	1	48911	42472	40326	39253	38609	1	49383	42850	40672	39583	38929
	2	36490	30066	27925	26855	26212	2	36643	30204	28058	26985	26341	2	37034	30501	28323	27234	26580
	3	32521	26097	23956	22886	22243	3	32558	26120	23974	22901	22257	3	32917	26384	24206	23117	22464
	4	30540	24117	21976	20905	20263	4	30512	24073	21927	20854	20210	4	30858	24325	22147	21058	20405
	5	29350	22926	20785	19715	19072	5	29287	22848	20702	19629	18985	5	29623	23090	20912	19823	19170
ガス ^{*4}	32420/31290					ガス ^{*4}	32576/31519					ガス ^{*4}	32883/31761					
高知 冷房 COP 3	住宅全体 CO ₂ 排出量 [kg]					福岡 冷房 COP 3	住宅全体 CO ₂ 排出量 [kg]					* 4: 家庭用 FCCGS 使用住宅 case1 の値 / case2 の値						
	給湯 COP						給湯 COP					住宅全体の CO ₂ 排出量が						
暖房 COP	1	45682	39475	37406	36372	35751	1	47124	40918	38850	37815	37195	■	家庭用 FCCGS 使用住宅の方が多く条件				
	2	34801	28594	26525	25491	24870	2	35667	29462	27393	26359	25738	▨	case1 でのみ家庭用 FCCGS 使用住宅の方が多く条件				
	3	31174	24967	22898	21863	21242	3	31851	25645	23577	22542	21922	□	全電化住宅の方が多く条件				
	4	29362	23155	21086	20051	19430	4	29947	23742	21673	20639	20018						
	5	28271	22064	19995	18960	18339	5	28800	22595	20526	19492	18871						
ガス ^{*4}	30947/30040					ガス ^{*4}	31880/30992											