

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

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まかなう**全電化住宅**が急速に普及している。

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 (FCGS)**が、2009年に一般販売が開始され新たに普及し始めている。

家庭用燃料電池コージェネレーションシステム Fuel Cell Co-Generation System

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。



一次エネルギーの利用効率を向上させる。

※以後、家庭用燃料電池コージェネレーションシステムは
家庭用FCCGSとする。

家庭用FCCGSは電力と熱エネルギーを同時に発生させる。

問題点

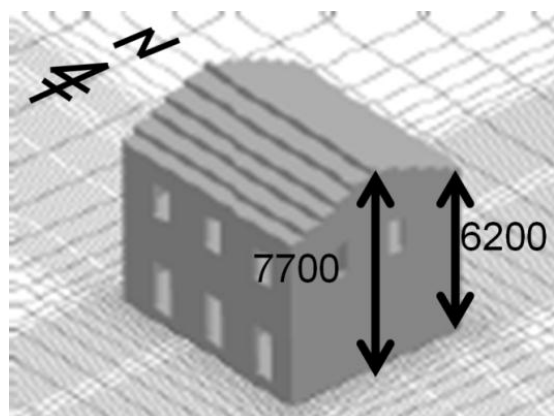
- 両者のエネルギー発生量の相違
- 消費が発生する時間帯の違い

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ことを目的とする。

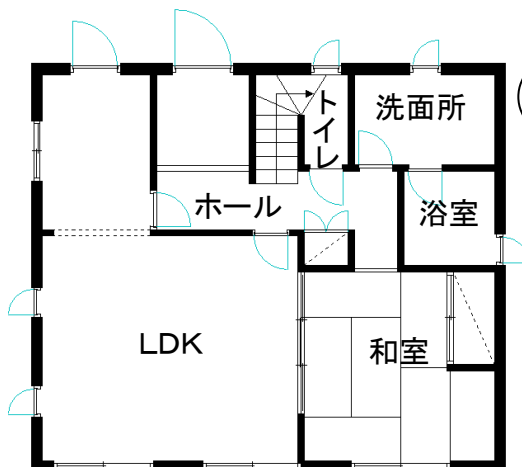
解析対象

- 対象住宅：2階建ての日本建築学会標準住宅モデル
- 対象地域：全国11都市(札幌、仙台、東京、名古屋、新潟、京都、大阪、神戸、広島、高知、福岡)

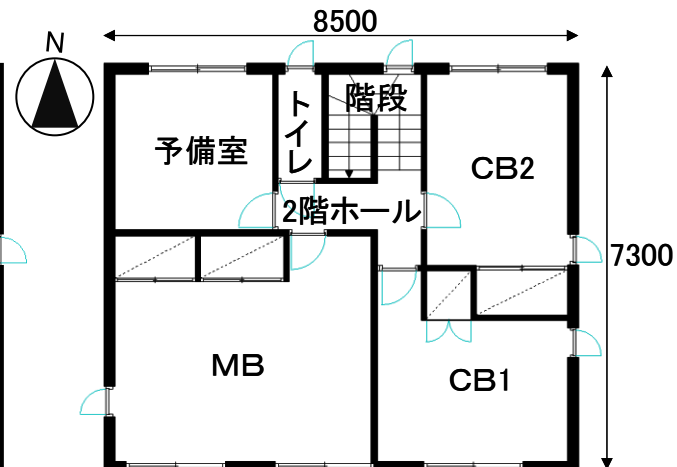
単位：[mm]



(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

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%)	エアコン	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		IHレンジ

- 気象データ：日本建築学会拡張アメダス気象データ（標準年）
- 生活スケジュール作成：生活スケジュール
自動生成プログラム SCHEDULE*¹



熱負荷シミュレーションソフトTRNSYS
解析対象住宅モデルの冷暖房負荷を算出する。

* 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

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]	

※空調スケジュールはSCHEDULEを使用せずに空調は終日空調とし、
冷暖房設定温度、冷暖房期間をTRNSYSで設定する。

- 給湯量（40℃）はスケジュール作成ソフトにより算出したものを使用する。
- ※ 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℃の湯を作り出すため、下記のようにして実際に必要な給湯量（60℃）を求め給湯負荷を算出する。

図 給湯量の補正

※実際に給湯器によってつくる湯量

※スケジュールにより算出した湯量

$$\boxed{\text{給湯量 (60℃) [l]}} + \boxed{\text{月別給水温度の水 [l]}} = \boxed{\text{給湯量 (40℃) [l]}}$$

例) 冬季平日 (12月) の場合

$$\text{給湯量 (40℃) = 361 [l] 、給水温度 7.4 [℃]}$$

$$\downarrow$$
$$\text{給湯量 (60℃) = 218 [l]}$$

- スケジュール作成ソフト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表3のcase1、case2に分けて算出を行う。

表3 家庭用FCCGSの定格能力と稼働条件

	ガス消費量 [Wh]	発電効率 [%]	給湯効率 [%]	総合効率 [%]
家庭用FCCGS の定格能力	2000	35	45	80
	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足りるまで250Wh発電を行う。 余剰電力はヒーターで給湯に使用する。			

空調負荷

給湯負荷

機器消費
エネルギー



CO₂排出原単位

家庭用FCCGS使用住宅と全電化住宅の
住宅全体CO₂排出量を求める。

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

* 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)

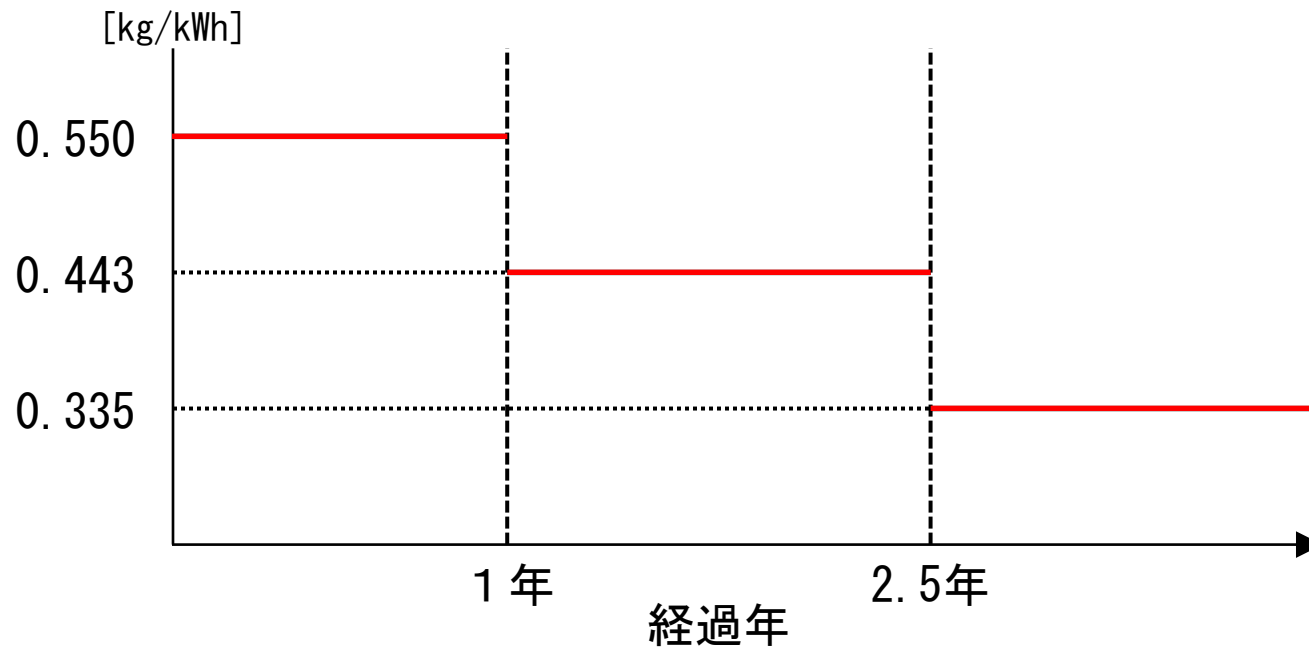


図 CO₂排出原単位の経年変化

用いるCO₂排出原単位は、

- 0 ~ 1年目 : 0.550kg/kWh
- 1 ~ 2.5年目 : 0.443kg/kWh
- 2.5年目 ~ : 0.335kg/kWh

表5 10年間における住宅全体CO₂排出量

札幌 冷房COP3		住宅全体CO ₂ 排出量[kg]					新潟 冷房COP3	住宅全体CO ₂ 排出量[kg]					広島 冷房COP3	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	暖房 COP	1	60023	52747	50322	49109	48382	暖房 COP	1	49383	42850	40672	39583	38929
	2	51811	43434	40641	39245	38407		2	42858	35582	33157	31944	31216		2	37034	30501	28323	27234	26580
	3	43548	35171	32378	30982	30144		3	37139	29863	27438	26225	25497		3	32917	26384	24206	23117	22464
	4	39420	31043	28250	26854	26016		4	34272	26996	24571	23358	22630		4	30858	24325	22147	21058	20405
	5	36948	28571	25778	24382	23544		5	32557	25281	22856	21643	20915		5	29623	23090	20912	19823	19170
FCCGS*2		case1=48542/case2=49056					FCCGS*2		40125/40652					FCCGS*2		34702/35210				
仙台 冷房COP3		住宅全体CO ₂ 排出量[kg]					京都 冷房COP3	住宅全体CO ₂ 排出量[kg]					高知 冷房COP3	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	60228	52615	50078	48809	48048	暖房 COP	1	51923	45286	43074	41968	41304	暖房 COP	1	45682	39475	37406	36372	35751
	2	42998	35385	32848	31579	30818		2	38555	31918	29706	28600	27936		2	34801	28594	26525	25491	24870
	3	37256	29644	27106	25838	25076		3	34014	27377	25165	24059	23395		3	31174	24967	22898	21863	21242
	4	34386	26773	24236	22967	22206		4	31744	25107	22895	21789	21125		4	29362	23155	21086	20051	19430
	5	32662	25049	22512	21243	20482		5	30378	23741	21529	20423	19759		5	28271	22064	19995	18960	18339
FCCGS*2		39862/40475					FCCGS*2		36235/36755					FCCGS*2		32696/33222				
東京 冷房COP3		住宅全体CO ₂ 排出量[kg]					大阪 冷房COP3	住宅全体CO ₂ 排出量[kg]					福岡 冷房COP3	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	47222	40678	38496	37406	36751	暖房 COP	1	48358	41935	39794	38723	38081	暖房 COP	1	47124	40918	38850	37815	37195
	2	36044	29500	27318	26228	25573		2	36490	30066	27925	26855	26212		2	35667	29462	27393	26359	25738
	3	32303	25759	23578	22487	21833		3	32521	26097	23956	22886	22243		3	31851	25645	23577	22542	21922
	4	30424	23880	21699	20608	19954		4	30540	24117	21976	20905	20263		4	29947	23742	21673	20639	20018
	5	29301	22757	20575	19485	18830		5	29350	22926	20785	19715	19072		5	28800	22595	20526	19492	18871
FCCGS*2		33585/34143					FCCGS*2		34237/34730					FCCGS*2		33631/34141				
名古屋 冷房COP3		住宅全体CO ₂ 排出量[kg]					神戸 冷房COP3	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 住宅全体のCO ₂ 排出量が <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> 家庭用FCCGS使用住宅の方が多い条件 case1でのみ家庭用FCCGS使用住宅の方が多い条件 全電化住宅の方が多い条件 </div>							
		給湯COP						給湯COP												
		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5								
暖房 COP	1	51400	44715	42487	41373	40704	暖房 COP	1	48911	42472	40326	39253	38609							
	2	38137	31452	29223	28109	27441		2	36643	30204	28058	26985	26341							
	3	33710	27025	24796	23682	23014		3	32558	26120	23974	22901	22257							
	4	31498	24813	22585	21471	20802		4	30512	24073	21927	20854	20210							
	5	30173	23488	21259	20145	19477		5	29287	22848	20702	19629	18985							
FCCGS*2		35719/36280					FCCGS*2		34412/34920											

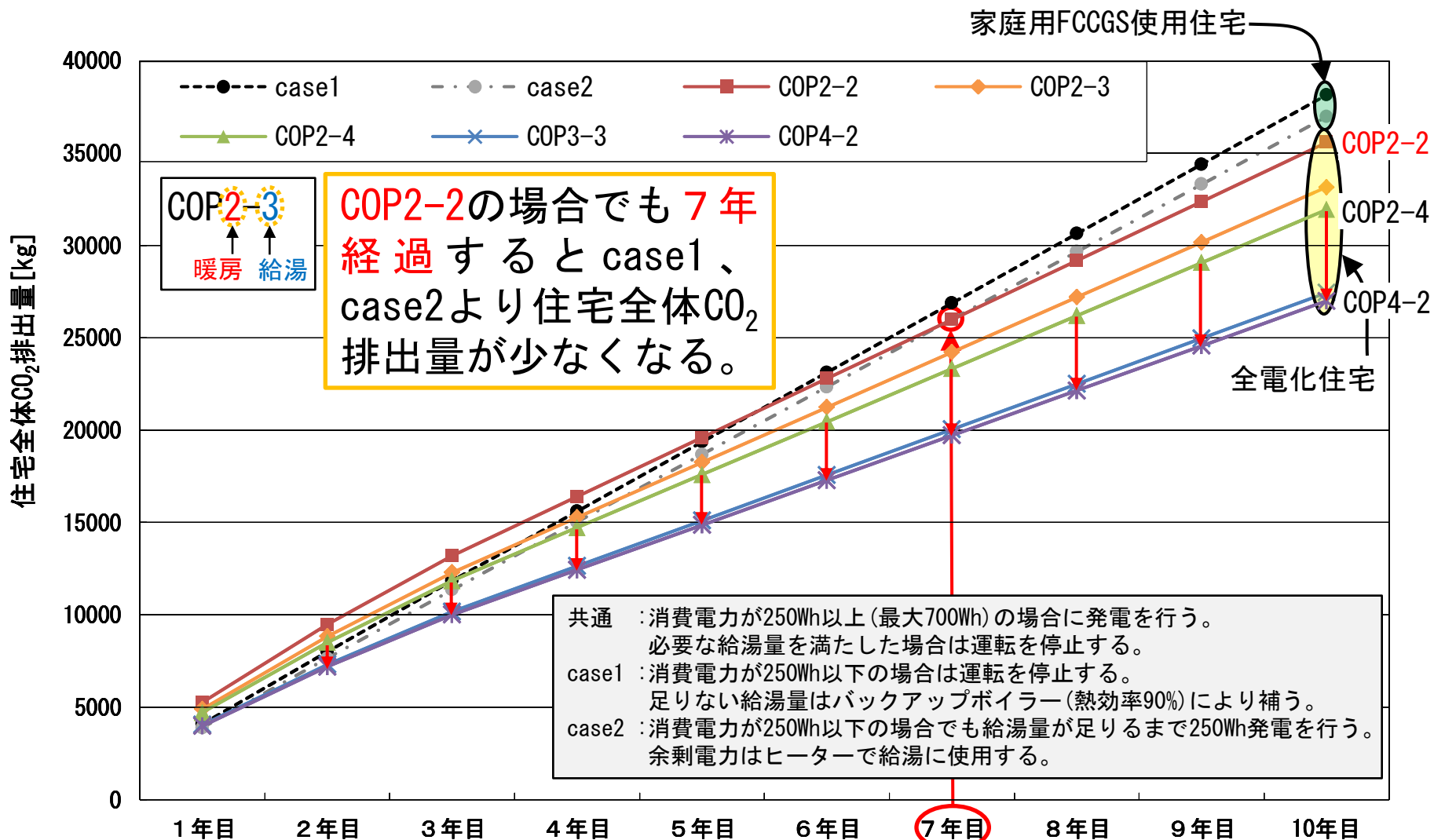


図2 住宅全体CO₂排出量の推移(新潟、冷房COP3)

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。
- ③case2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COP4-2ではCOP2-4の方が住宅全体CO₂排出量が多い。