

家庭用コジェネレーションシステムの導入効果に関する研究

その3 燃料電池の導入効果

Study on the Effectiveness of Co-Generation System in Houses Part 3 Effectiveness of Fuel Cell for Hot-Water Supply

正会員○石山洋平¹⁾ 同 赤林伸一²⁾ 同 坂口 淳³⁾ 同 久慈拓也⁴⁾ 同 宮本啓太⁵⁾

ISHIYAMA Yohei, AKABAYASHI Shin-ichi, SAKAGUCHI Jun, KUJI Takuya and MIYAMOTO Keita

本報では、住宅における電力消費量と給湯負荷の実測調査結果を元に、燃料電池の導入効果について報告する。燃料電池を導入した場合、給湯エネルギー消費量の約70%、電力消費量の約50%をまかなうことが出来る。また、ガス、灯油給湯器使用住宅に比較して電気温水器使用住宅で一次エネルギー消費量とCO₂排出量の削減率が大きくなる。

Fuel Cell, Hot-Water Supply, Energy Consumption, Heat Pump Water Heater
燃料電池, 給湯, エネルギー消費量, HP 給湯器

1 研究目的

前報(その1、その2)では、全国の住宅80戸を対象とした詳細なエネルギー消費量調査結果を元に、住宅に家庭用ガスエンジンを導入した場合の有効性について検討した。

本報では、住宅に燃料電池を導入した場合の有効性を検討することを目的とする。

2 研究概要

対象住宅は、前報(その1、その2)と同様である。表1に燃料電池の仕様を示す。燃料電池は住宅全体で消費される電力が0.3kW以上1kW未満のとき、発電と排

熱の出力調整が行われる。住宅全体で消費される電力が1kW以上の場合は、発電量と排熱給湯量は定格値(熱電比:1.36)で運転される。燃料電池を起動する際には、820Wの電力を消費する。燃料電池は、1日の給湯エネルギー消費量を満足した時点で停止する場合について解析する。1日の給湯用エネルギー消費量を満足しない場合は、補助給湯器(ボイラーの効率:80%)で給湯すると仮定する。また、貯湯タンク容量や配管からの熱損失は無視し、燃料電池からの排熱は全て利用可能と仮定する。

3 解析結果

3.1 燃料電池導入効果

表1に燃料電池を導入した場合の給湯量、発電量の解析結果を示す。解析対象とした代表的な12件の給湯エネルギー消費量に対する排熱給湯量の割合は41~97%であり、平均で73%である。電気温水器使用住宅の平均は69%であり、ガス、灯油給湯器使用住宅では平均で76%である。給湯エネルギー消費量

表1 燃料電池の仕様

発電出力	0.3~1.0kW(出力調整)	ガス消費量	0.24m ³ /h (13A)
効率	発電33% (高位発熱量基準)	消費電力	820W(起動時)
	排熱45%	貯湯タンク容量	200L ^{*1}
	補助ボイラー:80%		

*1:本研究では貯湯タンク容量は無視し、排熱は全て利用可能と仮定する。

1) 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生 修士(工学)
2) 新潟大学 教授 工学博士
3) 兼立新潟女子短期大学 准教授 博士(工学)
4) 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生
5) 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生

1) Graduate Student, Division of Science and Technology, Graduate School of Niigata Univ., M.Eng
2) Prof., Division of Science and Technology, Graduate School of Niigata Univ., Dr. Eng.
3) Assoc. Prof., Dept. of Human Life and Environmental Science, Niigata Women's College, Dr. Eng.
4) Graduate Student, Division of Science and Technology, Graduate School of Niigata Univ.
5) Graduate Student, Division of Science and Technology, Graduate School of Niigata Univ.

がほぼ同等な北海道戸建06と関東戸建01を比較すると、北海道戸建06では給湯エネルギー消費量に対する排熱給湯量の割合は97%であるのに対し、関東戸建01では41%であり、両者には差がみられる。

電力消費量に対する発電量の割合は37～85%であり、平均で53%である。電気温水器使用住宅の平均は55%であり、ガス、灯油給湯器使用住宅では平均で51%である。電力消費量がほぼ同等な北海道戸建04と東北戸建02を比較すると、北海道戸建04では電力消費量に対する発電量の割合は40%であるのに対し、東北戸建02では41%であり、両者はほぼ同等である。

燃料電池の動作時間は、住宅によって差がみられるが、平均で5216時間である。電気温水器使用住宅では平均で5262時間であるのに対し、ガス、灯油給湯器使用住宅では平均で5169時間であり、両者に大きな差はみられない。

表2に一次エネルギー消費量の削減率を示す。一次エネルギー消費量の削減率は住宅によって差がみられ、平均で18.5%である。電気温水器使用住宅の削減率の平均は30.9%であり、ガス、灯油給湯器使用住宅の削減率の平均は5.6%である。

表3にCO₂排出量の削減率を示す。CO₂排出量の削減率も一次エネルギー消費量と同様に住宅によって差がみられ、平均で10.5%である。電気温水器使用住

宅の削減率は平均で20.2%であり、ガス、灯油給湯器使用住宅の削減率は平均で0.8%である。

燃料電池を導入した場合、ガス、灯油給湯器使用住宅に比較して電気温水器使用住宅で一次エネルギー消費量とCO₂排出量の削減率が大きくなる。ガスエンジンを導入した場合（前報その1、その2）と同様の傾向がみられる。

図1に全解析対象住宅における一次エネルギー消費量の削減率と燃料電池動作時間の関係を、図2にCO₂排出量の削減率と燃料電池動作時間の関係を示す。燃料電池の動作時間は年間約2000～7500時間であり、住宅によって差がみられる。電気温水器使用住宅と、ガス、灯油給湯器使用住宅はともに動作時間が長くなるにつれて一次エネルギー消費量とCO₂排出量の削減率が大きくなる傾向がみられる。

図3に北海道戸建06におけるエネルギー消費量の年変化を示す。燃料電池を導入することで給湯エネルギー消費量をほぼ満足することが出来る。また、燃料電池は発電効率が良く、電力消費量の半分程度をまかなうことが出来る。

3.2 HP給湯器導入効果

表5に、近年家庭への設置が進んでいるヒートポンプ（HP）給湯器を導入した場合の削減率を示す。COPが平均で3.0あるいは3.5の場合、一次エネルギー消費量の削減率は17.0～19.4%であり、CO₂排

表2 燃料電池を導入した場合の給湯量、発電量の解析結果

住宅	給湯エネルギー消費量[kWh/年]	電力消費量[kWh/年]	熱電比(給湯/電力)	燃料電池による排熱給湯量[kWh/年]	燃料電池による発電量[kWh/年]	排熱給湯量/給湯エネルギー消費量	発電量/電力消費量	燃料電池動作時間
北海道戸建04	6853.3	12488.9	0.5	6249.6	4947.3	0.91	0.40	5437
北海道戸建06	6226.3	9414.8	0.7	6058.5	4927.7	0.97	0.52	6303
東北戸建02	8562.4	12058.3	0.7	5853.6	4886.2	0.68	0.41	7671
東北集合01	6608.4	6163.5	1.1	4521.6	3664.2	0.68	0.59	4658
北陸戸建05	8946.7	4540.2	2.0	4124.3	3628.8	0.46	0.80	5558
北陸戸建06	6471.8	4708.3	1.4	4520.5	4007.6	0.70	0.85	6980
関東戸建01	6194.8	3372.9	1.8	2546.1	2180.3	0.41	0.65	3678
関東戸建03	5577.2	8922.2	0.6	5031.6	4051.7	0.90	0.45	5125
関西戸建01	7256.5	7841.2	0.9	5792.8	4728.9	0.80	0.60	6475
関西戸建03	4814.0	5418.0	0.9	3883.2	3260.7	0.81	0.60	4724
九州沖縄戸建01	1909.6	3628.3	0.5	1648.1	1359.0	0.86	0.37	2044
九州沖縄集合02	3978.3	5722.8	0.7	3204.5	2656.6	0.81	0.46	3935
電気温水器使用住宅平均	5868.2	6171.2	1.0	4040.7	3403.8	0.69	0.55	5262
ガス・灯油給湯器使用住宅平均	6365.0	7875.4	0.8	4865.0	3979.4	0.76	0.51	5169
12住宅平均	6116.6	7023.3	0.9	4452.9	3691.6	0.73	0.53	5216

出量の削減率は20.9～23.1%である。電気温水器使用住宅の平均削減率は一次エネルギー消費量が30.8～33.0%であり、CO₂排出量が30.3～32.5%である。一方、ガス、灯油給湯器使用住宅の平均削減率は一次エネルギー消費量が3.2～5.8%であり、CO₂排出量が11.5～13.8%である。HP給湯器もガスエンジンや燃料電池と同様に、ガス、灯油給湯器使用住宅より電気温水器使用住宅で一次エネルギー消費量とCO₂排出量の削減率が大きくなる。COPが平均で3以上の場合、HP給湯器はガスエンジンや燃料電池とほぼ同

等の削減率となる。

4 まとめ

本報では、住宅における電力消費量と給湯負荷の実測結果を元に、燃料電池の導入効果について検討した。

- ①燃料電池を導入した場合、給湯エネルギー消費量の約70%、電力消費量の約50%をまかなうことが出来る。
- ②ガス、灯油給湯器使用住宅に比較して電気温水器使用住宅で一次エネルギー消費量とCO₂排出量の削

表3 燃料電池を導入した場合の一次エネルギー消費量の削減率

住宅	実測値				燃料電池導入後				削減率 住宅全体 [%]
	電気一次エネルギー消費量 [MJ/年]	ガス一次エネルギー消費量 [MJ/年]	灯油一次エネルギー消費量 [MJ/年]	住宅全体 [MJ/年]	電気一次エネルギー消費量 [MJ/年]	ガス一次エネルギー消費量 [MJ/年]	灯油一次エネルギー消費量 [MJ/年]	住宅全体 [MJ/年]	
北海道戸建04	121891.24	4490.00	65918.72	192299.97	78639.67	62283.81	43049.42	183972.91	4.3
北海道戸建06	91888.52	-	61315.19	153203.72	45178.49	56879.42	41472.90	143530.81	6.3
東北戸建02	201258.51	-	-	201258.51	70808.41	70012.27	-	140820.68	30.0
東北集合01	60156.22	28979.90	-	89136.12	28963.38	56058.75	-	85022.13	4.6
北陸戸建05	44312.55	-	57979.12	102291.67	11782.56	64704.66	26065.24	102552.46	-0.3
北陸戸建06	109117.21	-	39933.38	149050.59	5690.29	57455.62	39933.38	103079.28	30.8
関東戸建01	93381.24	-	-	93381.24	20187.88	42453.74	-	62641.62	32.9
関東戸建03	87080.94	31813.87	-	118894.81	51841.74	49202.57	-	101044.32	15.0
関西戸建01	147353.62	-	-	147353.62	34426.25	61069.62	-	95495.87	35.2
関西戸建03	99864.24	-	3067.77	102932.01	26681.65	42225.86	3067.77	71975.28	30.1
九州沖縄戸建01	54049.46	-	-	54049.46	25669.69	17078.61	-	42748.30	20.9
九州沖縄集合02	55854.67	14321.82	-	70176.49	34368.21	34544.27	-	68912.47	1.8
電気温水器使用住宅平均	117504.05	-	21500.58	124670.90	30577.36	48382.62	21500.58	86126.84	30.9
ガス・灯油給湯器使用住宅平均	76864.02	19901.40	61737.68	121000.46	41795.67	53945.58	36862.52	114172.52	5.6
12住宅平均	97184.03	19901.40	45642.84	122835.68	36186.52	51164.10	30717.74	100149.68	18.5

表4 燃料電池を導入した場合のCO₂排出量の削減率

住宅	実測値				燃料電池導入後				削減率*2 住宅全体 [%]
	電気CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂ /年]	ガスCO ₂ 排出量 [kg-CO ₂ /年]	灯油CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂ /年]	住宅全体 [kg-CO ₂ /年]	電気CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂ /年]	ガスCO ₂ 排出量 [kg-CO ₂ /年]	灯油CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂ /年]	住宅全体 [kg-CO ₂ /年]	
北海道戸建04	6269.41	228.99	4435.82	10934.21	4044.79	3176.47	2896.89	10118.15	7.5 (9.1)
北海道戸建06	4726.23	-	4126.04	8852.27	2323.73	2900.85	2790.80	8015.38	9.5 (11.7)
東北戸建02	10516.58	-	-	10516.58	3700.03	3570.63	-	7270.66	30.9 (33.6)
東北集合01	3143.41	3274.73	-	6418.14	1513.46	6334.64	-	7848.09	-22.3 (-19.2)
北陸戸建05	2315.51	-	3901.54	6217.06	615.69	3299.94	1753.99	5669.61	8.8 (10.9)
北陸戸建06	5701.82	-	2687.21	8389.03	297.34	2930.24	2687.21	5914.78	29.5 (33.2)
関東戸建01	3520.93	-	-	3520.93	761.18	2122.69	-	2883.87	18.1 (38.4)
関東戸建03	3283.38	1590.69	-	4874.07	1954.69	2460.13	-	4414.82	9.4 (17.3)
関西戸建01	5404.98	-	-	5404.98	1262.77	3114.55	-	4377.32	19.0 (39.5)
関西戸建03	3663.05	-	206.44	3869.49	978.69	2153.52	206.44	3338.65	13.7 (34.1)
九州沖縄戸建01	2037.93	-	-	2037.93	967.87	871.01	-	1838.88	9.8 (24.2)
九州沖縄集合02	2106.00	730.41	-	2836.41	1295.85	1761.76	-	3057.61	-7.8 (4.9)
電気温水器使用住宅平均	5140.88	-	1446.82	5623.16	1327.98	2460.44	1446.82	4270.69	20.2 (33.8)
ガス・灯油給湯器使用住宅平均	3640.66	1456.21	4154.47	6688.69	1958.03	3322.30	2480.56	6520.61	0.8 (5.8)
12住宅平均	4390.77	1456.21	3071.41	6155.93	1643.01	2891.37	2067.07	5395.65	10.5 (19.8)

* 2 : 削減率の () 内は電力CO₂排出原単位を0.555kg-CO₂/kWh (環境省のデフォルト値)を用いた場合

減率が大きくなる。

- ③燃料電池の動作時間が長くなるにつれて一次エネルギー消費量、CO₂ 排出量の削減率が大きくなる傾向がみられる。
- ④HP 給湯器もガス、灯油給湯器使用住宅より電気温水器使用住宅で削減率が大きく、COPが平均で3以上の場合、HP 給湯器はガスエンジンや燃料電池と同等の削減率となる。
- ⑤今後は、ヒートポンプ給湯器を対象とした詳細な解析を行う予定である。

【謝辞】

本研究は国土交通省からの補助金、東京電力、関西電力、九州電力から委託を受け、(社)日本建築学会学術委員会「住宅内のエネルギー消費に関する全国的調査研究委員会(委員長:村上周三慶應義塾大学教授)」の結果を元に独自に解析を行ったものである。また、本研究を行うに当たり居住者の方々や工務店の各位の協力を得た。調査やデータ集計では、多数の皆様(<http://tkkankyo.eng.niigata-u.ac.jp/HP/HP/16iinmeibo.htm>参照)に多大なる協力を得た。また、研究を進めるにあたり(財)内田エネルギー科学振興財団より研究助成を得た。関係各位に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 村上周三, 赤林伸一, 給内正道, 吉野博, 飯尾昭彦, 坊垣和明, 銚井修一, 渡辺俊行, 坂口淳: 住宅を対象としたエネルギー消費量の測定システムの開発研究, 日本建築学会技術報告集第22号, 355-358, 2005年12月
- 2) 村上周三, 坊垣和明, 田中俊彦, 羽山広文, 吉野博, 赤林伸一, 井上隆, 飯尾昭彦, 銚井修一, 尾崎明仁, 石山洋平: 全国の住宅80戸を対象としたエネルギー消費量の長期詳細調査対象住宅の属性と用途別エネルギー消費量, 日本建築学会環境系論文集, 93-100, 2006年5月
- 3) 石山洋平, 赤林伸一, 坂口淳, 浅間英樹, 宝里智洋: 全国の住宅を対象としたエネルギー消費量の実態に関する調査研究 その1 住宅で消費される待機電力について, 日本建築学会北陸支部報告集, 2006年7月
- 4) 坂口淳, 赤林伸一, 浅間英樹, 石山洋平, 宝里智洋: 全国の住宅を対象としたエネルギー消費量の実態に関する調査研究 その2 各種家電機器のエネルギー消費量について, 日本建築学会北陸支部報告集, 2006年7月
- 5) 日本建築学会: 全国の住宅におけるエネルギー消費, 2006年10月
- 6) 久慈拓也, 赤林伸一, 坂口淳, 石山洋平: 全国の住宅を対象としたエネルギー消費の実態に関する調査研究 その3 コージェネレーションシステムの有効性に関する検討, 日本建築学会北陸支部報告集, 2007年7月

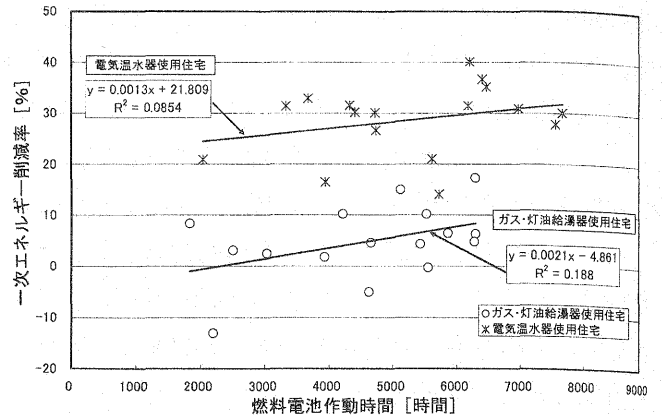


図1 一次エネルギー消費量削減率と燃料電池動作時間の関係

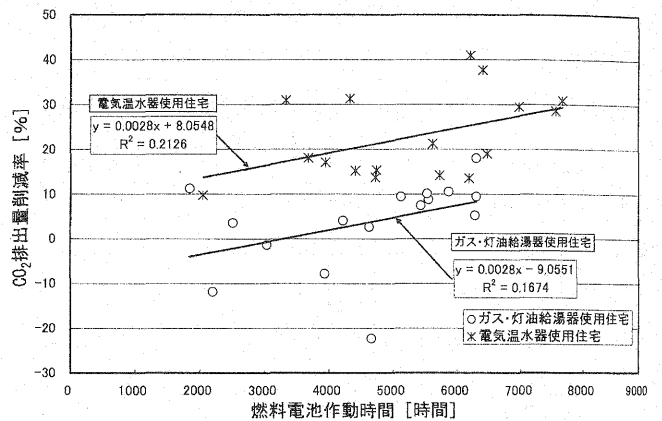


図2 CO₂ 排出量削減率と燃料電池動作時間の関係

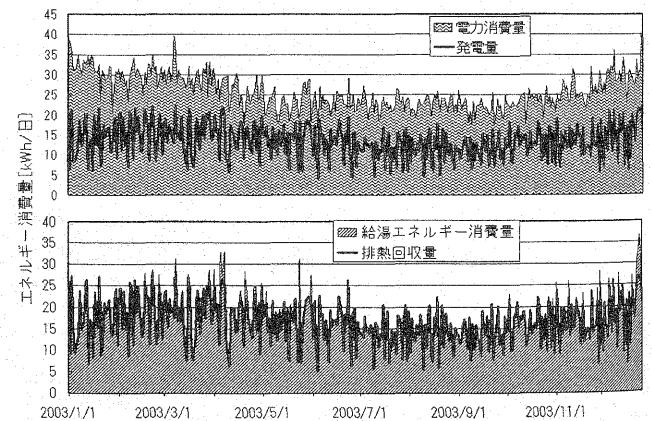


図3 エネルギー消費量の年変化(北海道戸建06)

表5 HP 給湯器を導入した場合の削減率

住宅	一次エネルギー消費量削減率								CO ₂ 排出量削減率						
	ガスエンジン		燃料電池	HP給湯器				ガスエンジン		燃料電池	HP給湯器				
	給湯	給湯+暖房		COP=2.0	COP=3.0	COP=3.5	COP=5.0	給湯	給湯+暖房		COP=2.0	COP=3.0	COP=3.5	COP=5.0	
北海道戸建04	2.0	7.4	4.3	-5.5	0.3	2.0	4.9	5.3	14.9	7.5	-1.7	3.6	5.1	7.8	
北海道戸建06	1.8	3.0	6.3	-6.9	-0.3	1.6	5.0	5.3	12.4	9.5	-2.6	3.3	5.0	8.0	
東北戸建02	28.3	41.9	30.0	20.8	27.7	29.7	33.2	28.9	42.8	30.9	20.8	27.7	29.7	33.2	
東北集合01	4.8	15.5	4.6	-9.2	2.8	6.3	12.5	-7.9	-2.3	-22.3	16.0	24.8	27.3	31.8	
北陸戸建05	1.5	-0.1	-0.3	-11.5	2.7	6.8	14.1	10.0	9.8	8.8	-2.2	10.1	13.6	19.9	
北陸戸建06	27.5	26.7	30.8	21.2	28.3	30.3	33.9	26.1	27.0	29.5	19.7	26.2	28.1	31.5	
関東戸建01	43.3	44.9	32.9	32.4	43.2	46.2	51.8	31.2	34.6	18.1	32.4	43.2	46.2	51.8	
関東戸建03	12.5	28.5	15.0	3.9	11.5	13.7	17.6	11.8	22.5	9.4	11.6	18.6	20.6	24.2	
関西戸建01	33.7	35.0	35.2	24.0	32.0	34.3	38.5	23.1	23.1	19.0	24.0	32.0	34.3	38.5	
関西戸建03	31.5	32.6	30.1	22.8	30.4	32.6	36.5	20.7	21.6	13.7	22.3	29.7	31.8	35.6	
九州沖縄戸建01	22.6	18.7	20.9	17.2	23.0	24.6	27.6	16.9	4.8	9.8	17.2	23.0	24.6	27.6	
九州沖縄集合02	3.3	4.1	1.8	-7.3	2.0	4.6	9.3	-0.8	-2.6	-7.8	-0.1	8.5	11.0	15.4	
電気温水器使用住宅平均	31.1	33.3	30.0	23.1	30.8	33.0	36.9	24.5	25.6	20.2	22.7	30.3	32.5	36.4	
ガス・灯油給湯器使用住宅平均	4.3	9.7	5.3	-6.1	3.2	5.8	10.6	3.9	9.1	0.8	3.5	11.5	13.8	17.8	
12住宅平均	17.7	21.5	17.6	8.5	17.0	19.4	23.7	14.2	17.4	10.5	13.1	20.9	23.1	27.1	