

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1 給湯エネルギー消費量のみを対象としたガスエンジン導入効果

Study on the Effectiveness of Co-Generation System in Houses Part 1 The Effectiveness of Gas Engine in the case for Hot-Water Supply

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

AKABAYASHI Shin-ichi, SAKAGUCHI Jun, ISHIYAMA Yohei, 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、給湯エネルギー消費量を満足した時点で停止した場合のガスエンジンによるコジェネレーションシステムの有効性について報告する。コジェネレーションシステムは発電の際に生じる排熱を利用し、エネルギー効率を上げることができる。ガスエンジンを導入することで、排熱により給湯エネルギー消費量のほぼ全部をまかなうことができ、一次エネルギー消費量、CO₂排出量ともに削減が可能である。

Hot-Water Supply, Energy Consumption, Gas Engine, Co-Generation System 給湯, エネルギー消費量, ガスエンジン, コジェネレーションシステム

1 研究目的

近年のエネルギー価格の高騰や地球温暖化対策の視点から、省エネルギーが強く求められている。特に民生部門のエネルギー消費量は年々増加し、家庭においても環境負荷の低減、エネルギー利用効率の向上を図り、エネルギー消費量を抑制することが重要である。

一方、ガスエンジン、燃料電池などの家庭用小型コジェネレーションシステム(CGS)の開発が進み、実用化の段階を迎え、普及に向けて運用が開始されている。

CGSは発電の際に発生する排熱を給湯・暖房に有効活用できるが、熱エネルギーと電力を同時に発生させるため、両者の発生エネルギー量の相違や消費が発生する時間帯の違いが問題となる。

本報では、2002年から2005年に実施した、全国の住宅80戸の詳細なエネルギー消費量調査結果を元に、CGSを導入した際の一次エネルギー消費量及び炭酸ガス排出量の抑制効果を明らかにすることを目的とする。

表1 代表的な対象住宅の概要

住戸名	建築年	床面積 [m ²]	構造 工法	断熱気密性能		用途別エネルギー源				家族 人数 [人]	ガス一次エネ ルギー換算値 [MJ/年]	電力CO ₂ 排出係数 [kg-CO ₂ /kWh]
				熱損失係数 [W/(m ² ·K)]	疎間相当面積 [cm ² /m ²]	暖房	冷房	給湯	調理			
北海道戸建04	2000	134.57	木造	2.10	1.08	灯油	-	灯油	ガス	3	46.05	0.502
北海道戸建06	2000	128.28	木造	1.69	0.60	灯油	電気	灯油	電気	2		
東北戸建02	1999	153.44	2×4造	1.79	1.06	電気	電気	電気	電気	4	20.90	0.510
東北集合01	2000	72.33	SRC造	2.47	1.74	電気	電気	ガス	ガス	3		
北陸戸建05	1995	148.57	木造	2.66	4.41	灯油	電気	灯油	電気	4	41.86	43.10
北陸戸建06	1999	176.37	木造	2.33	2.38	灯油	電気	電気	電気	2		
関東戸建01	2002	92.73	木造	3.32	-	電気	電気	電気	電気	3	46.05	0.368
関東戸建03	2002	105.68	木造	2.93	1.40	電気	電気	ガス	電気	4		
関西戸建01	2001	158.75	木造	1.49	2.51	電気	電気	電気	電気	5	46.05	0.358
関西戸建03	2000	117.99	S造	2.41	4.83	電気+灯油	電気	電気	電気	4		
九州沖縄戸建01	2002	134.70	S造	1.70	3.90	電気	電気	電気	電気	2	46.05	0.368
九州沖縄集合02	1996	72.60	RC造	3.50	2.40	電気	電気	ガス	電気	6		

2 研究概要

2.1 対象住宅

対象住宅は、北海道、東北、北陸、関東、関西、九州(沖縄を含む)の6地域で、戸建住宅53戸と集合住宅27戸の計80戸の内、エネルギー消費量が用途別に比較的正確に分離されており、データ欠損の少ない33戸の住宅を対象に解析を行う。表1に代表的な12戸の対象住宅の概要を示す。

1) 新潟大学 教授 工学博士
2) 県立新潟女子短期大学 准教授 博士(工学)
3) 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生
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) Prof., Division of Science and Technology, Graduate School of Niigata Univ., Dr. Eng.
2) Assoc. Prof., Dept. of Human Life and Environmental Science, Niigata Women's College, Dr. Eng.
3) Graduate Student, Division of Science and Technology, Graduate School of Niigata Univ.
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.

2.2 解析方法

対象住宅にガスエンジンを導入した際の排熱給湯量及び発電量の検討を行う。表2に各エネルギー種別の一次エネルギー換算値とCO₂排出係数を示す。

ガスエンジンの仕様を表3に示す。ガスエンジンは家全体の消費電力が400W以上の時、定格出力の1.0kWから補機動力70Wを差し引いた930Wの発電を行い、その際の排熱3.25kWを給湯に利用する。家全体の消費電力が930W未満の場合には、余剰電力で電気ヒーターを用いて水の加熱を行う。1日の給湯エネルギー消費量を満足しない場合は、補助給湯器で給湯

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、ガスエンジンからの排熱は全て利用可能と仮定する。

本報では、給湯エネルギー消費量を満足した時点でガスエンジンが停止する場合を対象とする。

③ 解析結果

表4にガスエンジンを導入した場合の給湯量、発電量の解析結果を示す。対象住宅の熱電比は0.5～2.0であり、平均で熱電比は0.9となり、ガスエンジンの定格値3.25とは大きく異なる。給湯エネルギー消費量に対する排熱給湯量の割合は84～100%であり、平均で95

表2 一次エネルギー換算値とCO₂排出係数

	一次エネルギー換算値	CO ₂ 排出係数
電気	9.76MJ/kWh	表1参照
ガス	表1参照	0.051kg-CO ₂ /Nm ³ (東北集合01: 0.113kg-CO ₂ /Nm ³)
灯油	37.3MJ/ℓ	2.51kg-CO ₂ /ℓ

表3 ガスエンジンの仕様

発電出力	1.0kW(0.4kW以上の時、出力一定で運転)	貯湯温度	約70℃
排熱出力	3.25kW(熱電比 3.25)	貯湯タンク容量	150ℓ
効率	発電20% (低位発熱量基準) 排熱65%	ガス消費量	5.54kW (4760kcal/h)
	補助ボイラー: 80%	補機動力	70W

表4 ガスエンジン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)	ガスエンジンによる排熱給湯量 [kWh/年]	ガスエンジンによる発電量 [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	ガスエンジン作動時間
北海道戸建04	6853.3	12488.9	0.5	6851.5	1960.5	1.00	0.16	2110
北海道戸建06	6226.3	9414.8	0.7	6219.3	1777.4	1.00	0.19	1915
東北戸建02	8562.4	12058.3	0.7	8190.1	2095.3	0.96	0.17	2522
東北集合01	6608.4	6163.5	1.1	5960.3	1668.8	0.90	0.27	1840
北陸戸建05	8946.7	4540.2	2.0	8391.1	1906.0	0.94	0.42	2584
北陸戸建06	6471.8	4708.3	1.4	6034.8	1362.7	0.93	0.29	1860
関東戸建01	6194.8	3157.0	2.0	5810.9	1297.8	0.94	0.41	1773
関東戸建03	5577.2	8922.2	0.6	5298.9	1413.5	0.95	0.16	1638
関西戸建01	7256.5	7841.2	0.9	7111.0	1947.3	0.98	0.25	2200
関西戸建03	4814.0	5418.0	0.9	4720.7	1262.0	0.98	0.23	1472
九州沖縄戸建01	1909.6	3628.3	0.5	1556.0	430.3	0.84	0.12	491
九州沖縄集合02	3978.3	5722.8	0.7	3890.9	1032.6	0.97	0.18	1202
平均(電気温水器)	5868.2	6135.2	1.0	5570.6	1399.2	0.95	0.23	1720
平均(ガス・灯油)	6365.0	7875.4	0.8	6102.0	1626.5	0.96	0.21	1882
平均(12住宅)	6116.6	7005.3	0.9	5836.3	1512.8	0.95	0.22	1801

表5 ガスエンジン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				ガスエンジン導入後				削減率
	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	102756.46	42477.88	43135.47	188369.80	2.0
北海道戸建06	91888.52	-	61315.19	153203.72	74541.35	34477.10	41421.90	150440.36	1.8
東北戸建02	201258.51	-	-	201258.51	97238.87	47071.33	-	144310.20	28.3
東北集合01	60156.22	28979.90	-	89136.12	43868.98	41002.25	-	84871.23	4.8
北陸戸建05	44312.55	-	57979.12	102291.67	25710.09	49012.17	26067.72	100789.98	1.5
北陸戸建06	109117.21	-	39933.38	149050.59	32652.69	35446.31	39931.43	108030.43	27.5
関東戸建01	91274.16	-	-	91274.16	18146.25	33641.66	-	51787.91	43.3
関東戸建03	87080.94	31813.87	-	118894.81	73284.81	30736.41	-	104021.22	12.5
関西戸建01	147353.62	-	-	147353.62	57373.04	40254.67	-	97627.72	33.7
関西戸建03	99864.24	-	3067.77	102932.01	40562.96	26915.96	3067.77	70546.69	31.5
九州沖縄戸建01	54049.46	-	-	54049.46	31212.70	10148.54	-	41361.24	22.6
九州沖縄集合02	55854.67	14321.82	-	70176.49	45970.23	22098.09	-	68068.31	3.3
平均(電気温水器)	117152.86	-	7166.86	124319.72	46197.75	32246.41	7166.53	85610.70	31.1
平均(ガス・灯油)	76864.02	13267.60	30868.84	121000.46	61021.98	36633.98	18437.52	116093.48	4.1
平均(12住宅)	97008.44	6633.80	19017.85	122660.09	53609.87	34440.20	12802.02	100852.09	17.8

%となり給湯エネルギー消費量はガスエンジンの排熱でほぼ全部まかなうことができる。一方、電力消費量に対する発電量は12～42%であり、平均で21%と少なく、ガスエンジンの発電だけでは電力消費量をまかなうことはできない。給湯に電気温水器を使用している住宅とガス、灯油給湯器を使用している住宅との間で排熱給湯量、発電量、ガスエンジン動作時間に大きな差は見られない。

表5にガスエンジンを導入した場合の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1.5%～43.3%であり、平均削減率は17.8%である。給湯に電気温水器を使用している住宅における一次エネルギー消費量の平均削減率は31.1%、給湯にガス、灯油給湯器を使用している住宅の平均削減率は4.1%である。

表6にガスエンジンを導入した場合のCO₂排出量の削減率を示す。CO₂排出量の削減率は-7.9%～31.2%であり、平均削減率は14.2%である。給湯に電気温水器を使用している住宅におけるCO₂排出量の平均削減率は26.0%、給湯にガス、灯油給湯器を使用している住宅の平均削減率は4.3%である。

図1に全対象住宅における一次エネルギー削減率とガスエンジン動作時間の関係を、図2にCO₂排出量削減率とガスエンジン動作時間の関係を示す。ガスエンジン動作時間は年間500～2800時間であり、住宅によってばらつきがある。電気温水器使用住宅は動作時間が長くなるにつれて一次エネルギー消費量、CO₂排出量と

もに削減率が大きくなる傾向がある。一方、ガス、灯油給湯器使用住宅では動作時間が長くなるにつれて一次エネルギー消費量の削減率は小さくなる傾向があり、CO₂排出量の削減率は動作時間によらずほぼ一定となる傾向がある。同程度の動作時間における一次エネルギー消費量、CO₂排出量の削減率はガス、灯油給湯器使用住宅よりも電気温水器使用住宅で大きい。

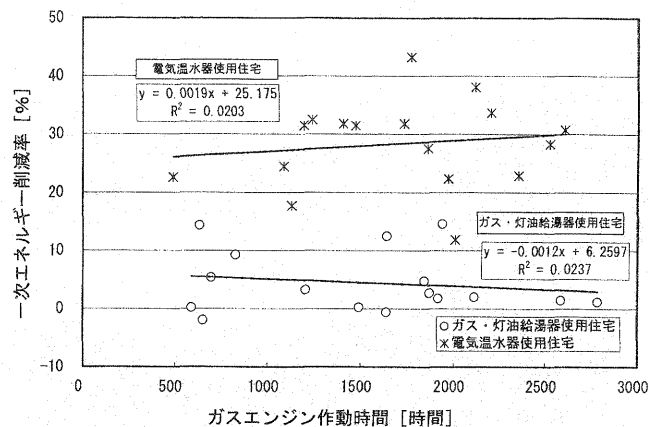


図1 一次エネルギー削減率とガスエンジン動作時間

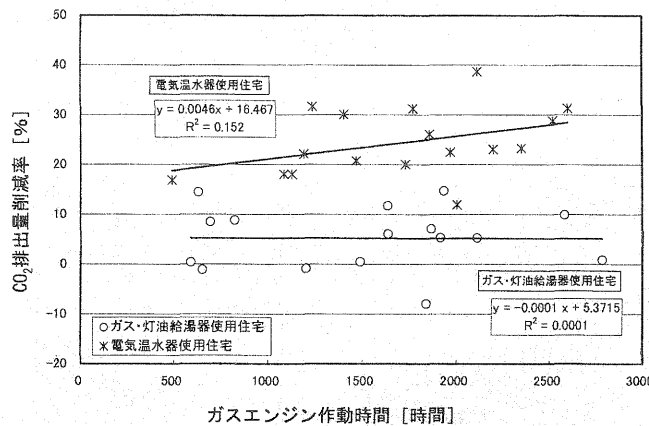


図2 CO₂排出量削減率とガスエンジン動作時間

表6 ガスエンジンを導入した場合のCO₂排出量の削減率

住宅	実測値				ガスエンジン導入後				削減率
	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	5285.22	2166.37	2902.68	10354.27	5.3 (5.9)
北海道戸建06	4726.23	-	4126.04	8852.27	3833.99	1758.33	2787.37	8379.70	5.3 (6.1)
東北戸建02	10516.58	-	-	10516.58	5081.13	2400.64	-	7481.77	28.9 (30.7)
東北集合01	3143.41	3274.73	-	6418.14	2292.33	4633.25	-	6925.59	-7.9 (-6.5)
北陸戸建05	2315.51	-	3901.54	6217.06	1343.46	2499.62	1754.15	5597.23	10.0 (11.0)
北陸戸建06	5701.82	-	2687.21	8389.03	1706.24	1807.76	2687.07	6201.07	26.1 (28.6)
関東戸建01	3441.48	-	-	3441.48	684.20	1682.08	-	2366.29	31.2 (47.3)
関東戸建03	3283.38	1590.69	-	4874.07	2763.20	1536.82	-	4300.02	11.8 (12.8)
関西戸建01	5404.98	-	-	5404.98	2104.46	2052.99	-	4157.45	23.1 (36.5)
関西戸建03	3663.05	-	206.44	3869.49	1487.86	1372.71	206.44	3067.01	20.7 (34.0)
九州沖縄戸建01	2037.93	-	-	2037.93	1176.87	517.58	-	1694.45	16.9 (24.6)
九州沖縄集合02	2106.00	730.41	-	2836.41	1733.30	1127.00	-	2860.31	-0.8 (4.5)
平均(電気温水器)	5127.64	-	482.27	5609.92	2040.13	1638.96	482.25	4161.34	26.0 (33.4)
平均(ガス・灯油)	3640.66	970.80	2077.23	6688.69	2875.25	2286.90	1240.70	6402.85	4.3 (5.7)
平均(12住宅)	4384.15	485.40	1279.75	6149.30	2457.69	1962.93	861.48	5282.10	14.2 (19.3)

* ()の数値は、電気CO₂排出係数に環境省のデフォルト値0.555[kg-CO₂/kWh]を用いて解析した場合の削減率を示す。

図3に北海道戸建06におけるガスエンジン導入時の発電量、排熱給湯量の日積算値の年変化を示す。給湯エネルギー消費量は排熱で全てまかなえているが、北海道戸建06は年間を通して電力消費量が多いため、ガスエンジンの発電量は電力消費量の2割以下である。

図4に関東戸建01におけるガスエンジン導入時の年変化を示す。関東戸建01は熱電比(給湯/電力)が大きい

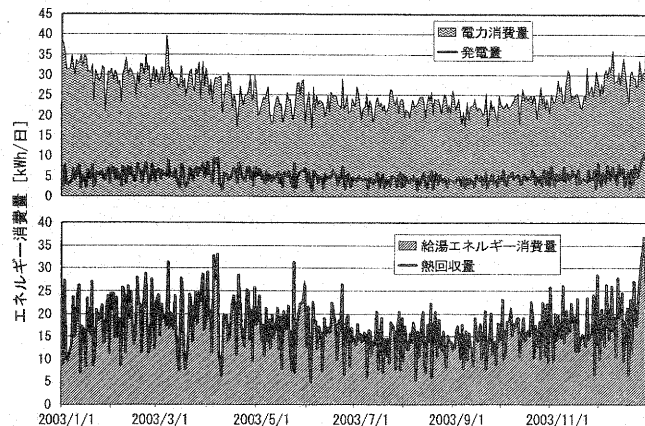


図3 ガスエンジン導入時の年変化
(北海道戸建06)

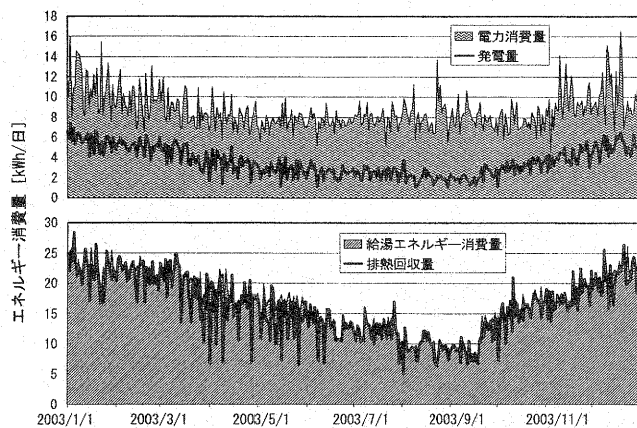


図4 ガスエンジン導入時の年変化
(関東戸建01)

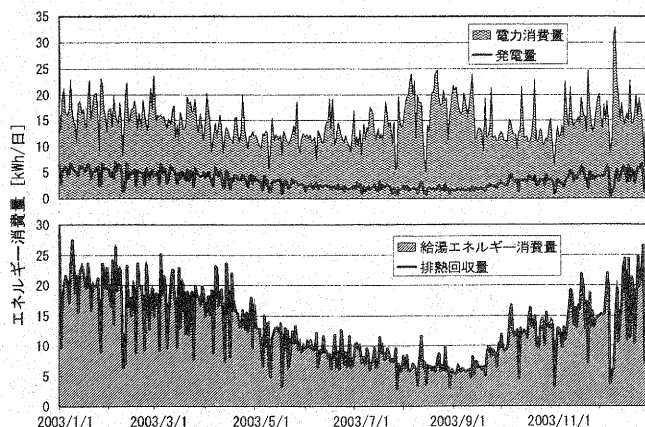


図5 ガスエンジン導入時の年変化
(関西戸建03)

く、ガスエンジンが給湯を満足して停止しても電力消費量の約4割をまかなうことができている。

図5に関西戸建03におけるガスエンジン導入時の年変化を示す。冬期の給湯エネルギー消費量が多く、発電量も冬期に大きくなる。一方、電力消費量は年間を通してほぼ一定であるため、電力消費量に対する発電量は夏期に比べ冬期に大きくなる。

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、給湯エネルギー消費量を満足して停止した場合のガスエンジン導入効果について検討した。

- ①ガスエンジンを導入した際の一次エネルギー消費量削減率、CO₂排出量削減率は住宅によるばらつきが大きく、ガス、灯油給湯器使用住宅に比べ電気温水器使用住宅で大きい。
- ②給湯エネルギー消費量に対する排熱給湯量は平均で95%となり、ガスエンジンの排熱だけでほぼ満足させることができる。
- ③電力消費量に対する発電量は平均で21%となり、ガスエンジンの発電だけでは電力消費量を満足させることはできない。

【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, 絵内正道, 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 コミュニケ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