

住宅用コージェネレーションシステムの有効性に関する研究

その1 エネルギー消費量の実態調査結果を元にしたGCSの有効性に関する検討

Study on the Effectiveness of Co-Generation System in Houses

Part 1 Study on the Effectiveness of GCS based on the Result of Energy Consumption in Houses

正会員 赤林 伸一 (新潟大学) 正会員 坂口 淳 (県立新潟女子短期大学)
学生会員 ○石山 洋平 (新潟大学)

Shin-ichi AKABAYASHI*¹ Jun SAKAGUCHI*² Yohei ISHIYAMA*¹

*¹ Niigata University *² Niigata Women's College

Synopsis: The purpose of this study is to analyze the effectiveness of gas co-generation system based on the field survey results of energy consumption in houses. The rate of hot-water supply from gas co-generation system is 88%, and 24% of electrical power is supplied from gas engine. The dispersion of the ratio of hot-water supply from co-generation system is large even if the hot-water consumption is the same level.

1 研究目的

地球温暖化対策として、年々増加する民生用のエネルギー消費量の抑制が強く求められている。住宅分野においても、エネルギー消費量の抑制の観点から「省エネルギー基準」の改正・強化が図られている。

一方、家庭用燃料電池、ガスエンジン、マイクロガスタービンなどの小型コージェネレーションシステムの開発が活発に行われており、実用化の段階をむかえている。コージェネは一次エネルギーを有効に利用できるメリットがあるが、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^{文献1)}を元に、住宅における電力消費量と給湯負荷の関係を明らかにし、コージェネレーションシステムの有効性を検討することを目的とする。

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戸である。このうち20戸が全電化住宅、60戸が電気、ガス、灯油併用住宅である。2002年11月に測定を開始し、最大29ヶ月間(2002年11月~2005年3月まで)測定を行った。本研究では、給湯負荷が比較的正確に分離されていて、データの欠測の少ない12戸の住宅を対象に解析を行う。表1に対象住宅の概要を示す。

2.2 測定方法

電力は1分間隔で測定する。ガス・灯油に関しては5分間隔で測定を行う。ガスレンジを使用している厨房ではレンジフードに温度計を設置して15分間隔で測定を行い、給湯用と調理用の分離を行う。

2.3 解析方法

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。対象としたガスエンジンの仕様を表2に示す。ガスエンジンは、消費電力0.4kW以上の時、定格出力の1kW(実際は補機動力を差し引いた930W)の発電を行い、その際の排熱3.25kWを給湯に利用する。消費電力

表1 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/Nm ³]	電力CO ₂ 排出係数 [kg-CO ₂ /MJ]
				熱損失係数 [W/(m ² ・K)]	隙間相当面積 [cm ² /m ²]	暖房	冷房	給湯	調理			
北海道戸建06	2000	128.28	木造	1.69	0.60	灯油	電気	灯油	電気	2	46.0	0.502
北海道集合03	1990	99.13	SRC造	0.61	0.16	ガス	-	ガス	ガス	3	46.0	0.502
東北戸建04	2000	109.30	木造パネル造	1.77	0.87	電気	電気	電気	電気	3	46.0	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	20.9	0.510
北陸戸建03	2002	117.49	木造	2.18	0.95	電気	電気	ガス	ガス	4	44.0	0.510
北陸戸建09	1990	140.08	木造	3.19	2.85	灯油	電気	ガス	ガス	2	41.9	0.510
関東戸建03	2002	105.68	木造	2.93	1.40	電気	電気	ガス	電気	4	46.0	0.368
関東集合04	1994	90.00	RC造	1.70	0.80	電気+ガス	電気	ガス	ガス	3	46.0	0.368
関西戸建01	2001	158.75	木造	1.49	2.51	電気	電気	電気	電気	5	45.0	0.358
関西集合03	1995	84.94	RC造	0.87	0.96	電気	電気	ガス	ガス	4	45.0	0.358
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	46.0	0.365
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	46.0	0.365

表2 ガスエンジンの仕様

発電出力	1.0kW(出力一定で運転)	貯湯温度	約70°C
排熱出力	3.25kW(熱電比: 3.25)	貯湯タンク容量* ¹	150L
効率	発電20% (低位発熱量基準)	ガス消費量	5.54kW (4760kcal/h)
	排熱65%	補助ボイラー: 80%	補機動力

*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した。

表3 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	0.0510kg-CO ₂ /MJ (東北集合01: 0.113kg-CO ₂ /MJ)
灯油	37.3MJ/kg	2.51kg-CO ₂ /kg

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。また、1日の給湯エネルギー消費量を満足した時点で発電を停止する(熱主で運転)。給湯エネルギー消費量を満足しない場合は、補助給湯器で給湯を行うと仮定する。貯湯槽、配管からの熱損失は無視しており、ガスエンジンからの排熱が全て利用できるという実運転時とは異なる状況を想定している。

解析では、二次エネルギー消費量を一次エネルギー消

費量とCO₂排出量に換算する。表3に一次エネルギー換算値とCO₂排出係数を示す。

3 解析結果

3.1 季節別給湯エネルギー消費量と電力消費量

図1に夏季の日積算給湯エネルギー消費量と給湯・暖房以外の電力消費量を示す。関西戸建01、九州沖縄戸建01では、電力消費量に対する給湯エネルギー消費量の割

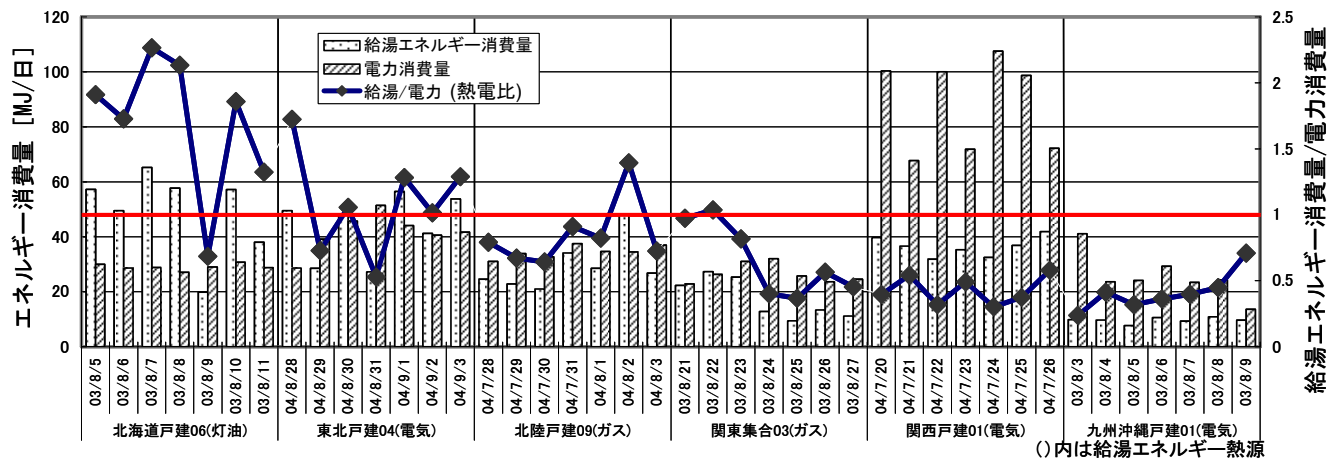


図1 夏季の給湯エネルギー消費量と電力消費量

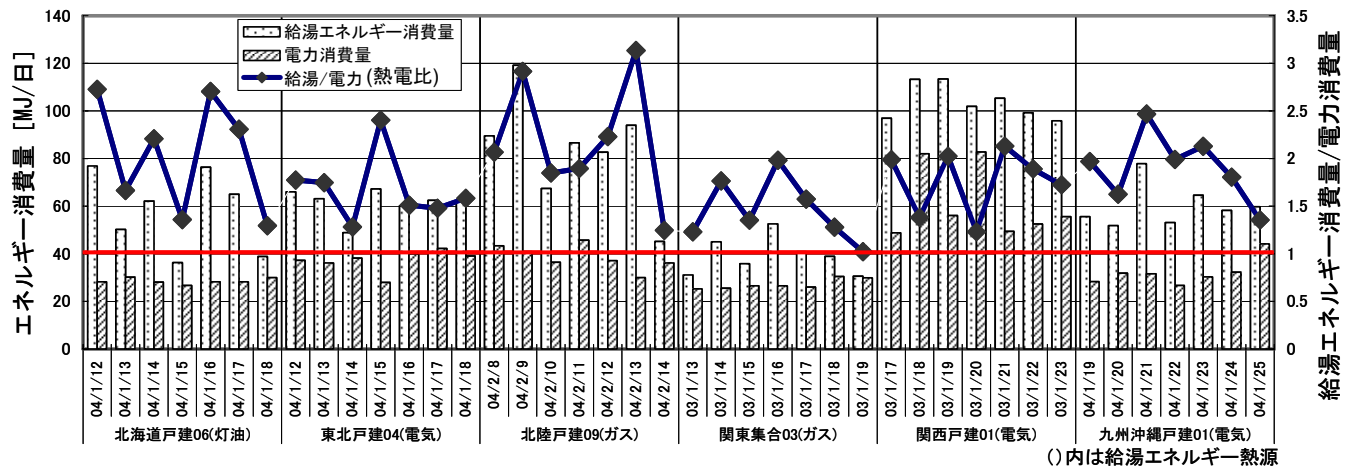


図2 冬季の給湯エネルギー消費量と電力消費量

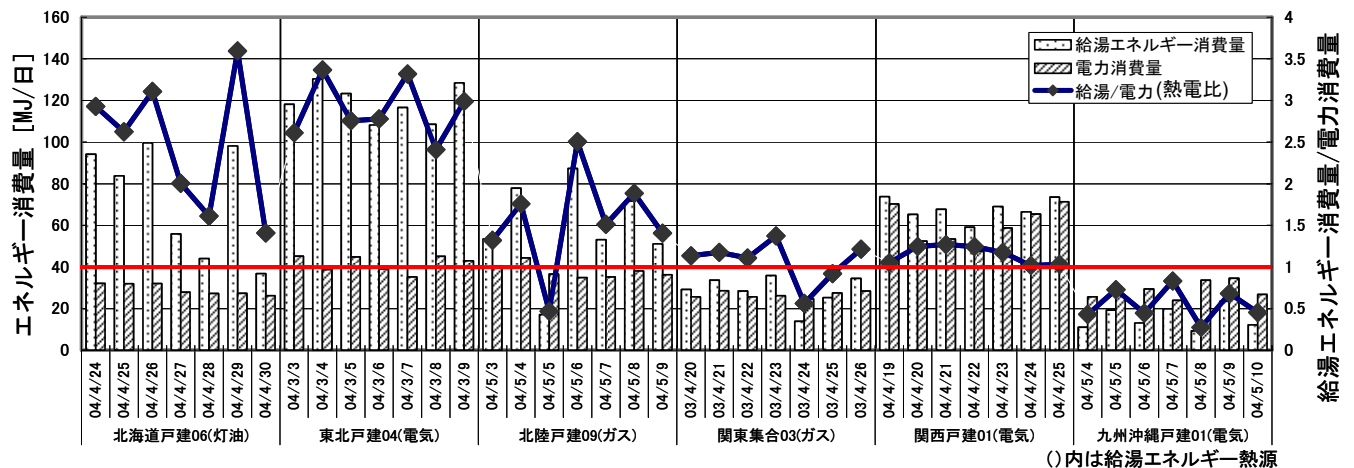


図3 中間期の給湯エネルギー消費量と電力消費量

合（熱電比）が1以下の日が多いのに対し、北海道戸建06では1以上の日が多くなっている。熱電比は地域によって差がみられ、関東以南の地域の住宅では相対的に熱電比が小さくなる。

図2に冬季の日積算給湯エネルギー消費量と電力消費量を示す。どの住宅でも熱電比は1～3の値となっており、地域差は見られずばらつきは少ない。

図3に中間期の日積算給湯エネルギー消費量と電力消費量を示す。住宅によって熱電比にばらつきがみられる。地域別にみると、関西以南の地域の住宅では相対的に熱電比が小さくなる。

表4 ガスエンジンを導入した場合の解析結果*3

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
北海道戸建06	6226.3	9414.8	0.7	6224.9	1915.3	1.00	0.20
北海道集合03	4835.8	5490.3	0.9	4807.9	1479.3	0.99	0.27
東北戸建04	6338.5	5117.8	1.2	6145.6	1890.9	0.97	0.37
東北集合01	6834.0	6163.5	1.1	5452.7	1677.8	0.80	0.27
北陸戸建03	2361.3	4986.1	0.5	2235.3	687.8	0.95	0.14
北陸戸建09	5635.5	4237.2	1.3	5582.5	1659.2	0.99	0.39
関東戸建03	5602.1	8922.2	0.6	5552.5	1708.5	0.99	0.19
関東集合04	5025.6	4820.5	1.0	2627.2	808.4	0.52	0.17
関西戸建01	7256.5	7825.6	0.9	7151.7	2200.5	0.99	0.28
関西集合03	4409.2	4913.5	0.9	2610.8	803.3	0.59	0.16
九州沖縄戸建01	2217.6	3536.3	0.6	1785.5	549.4	0.81	0.16
九州沖縄集合02	3864.7	5184.3	0.7	3671.7	1129.8	0.95	0.22
平均	5050.6	5884.4	0.9	4487.4	1375.9	0.88	0.24

表5 一次エネルギー消費量の削減率*3

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06	91888.52	-	61315.19	153203.72	73194.71	38292.43	38512.39	149999.53	2.1
北海道集合03	53585.95	40449.00	-	94034.95	39147.52	49917.95	-	89065.47	5.3
東北戸建04	110558.05	-	-	110558.05	31598.80	37891.23	-	69490.03	37.1
東北集合01	60156.27	29690.20	-	89846.47	43781.38	37162.30	-	80943.68	9.9
北陸戸建03	47984.61	11416.13	-	59400.73	41271.77	16075.92	-	57347.68	3.5
北陸戸建09	36929.89	27180.12	20253.90	84363.90	20553.95	37976.64	20253.90	78784.50	6.6
関東戸建03	87080.94	20167.41	-	107248.35	70406.41	31111.09	-	101517.50	5.3
関東集合04	47047.67	19573.29	-	66620.96	39157.97	27447.36	-	66605.33	0.0
関西戸建01	147259.61	-	-	147259.61	55697.88	44346.35	-	100044.23	32.1
関西集合03	47955.77	17688.60	-	65644.37	40115.23	22825.27	-	62940.50	4.1
九州沖縄戸建01	34514.76	-	-	34514.76	10554.81	11869.12	-	22423.93	35.0
九州沖縄集合02	50598.85	13912.90	-	64511.75	39572.38	20653.21	-	60225.59	6.6
平均	67963.41	22509.71	40784.55	89767.30	42087.73	31297.41	29383.15	78282.33	12.8

表6 CO2排出量の削減率*3

住宅	実測値				ガスエンジン導入後				削減率*2
	電気CO2排出量 [kg-CO2/年]	ガスCO2排出量 [kg-CO2/年]	灯油CO2排出量 [kg-CO2/年]	住宅全体 [kg-CO2/年]	電気CO2排出量 [kg-CO2/年]	ガスCO2排出量 [kg-CO2/年]	灯油CO2排出量 [kg-CO2/年]	住宅全体 [kg-CO2/年]	
北海道戸建06	4726.23	-	4126.04	8852.27	3764.73	1952.91	2591.58	8309.23	6.1 (6.9)
北海道集合03	2756.16	2062.90	-	4819.06	2013.53	2545.82	-	4559.35	5.4 (6.6)
東北戸建04	5777.11	-	-	5777.11	1651.17	1932.45	-	3583.62	38.0 (40.7)
東北集合01	3143.41	3354.99	-	6498.40	2287.76	4199.34	-	6487.10	0.2 (1.3)
北陸戸建03	2507.39	582.22	-	3089.61	2156.62	819.87	-	2976.49	3.7 (4.4)
北陸戸建09	1929.74	1386.19	1362.93	4678.85	1074.03	1936.81	1362.93	4373.77	6.5 (7.8)
関東戸建03	3283.33	1622.51	-	4905.89	2654.67	2329.13	-	4983.80	1.6 (6.5)
関東集合04	1773.98	2076.22	-	3850.15	1476.45	2470.39	-	3946.84	-3.8 (1.3)
関西戸建01	5401.53	-	-	5401.53	2043.02	2261.66	-	4304.68	20.3 (35.2)
関西集合03	1759.03	902.12	-	2661.15	1471.44	1164.09	-	2635.53	1.0 (5.1)
九州沖縄戸建01	1301.38	-	-	1301.38	397.97	605.33	-	1003.29	22.9 (38.6)
九州沖縄集合02	1907.83	709.56	-	2617.38	1492.07	1053.31	-	2545.39	2.8 (7.9)
平均	3022.26	1587.09	2744.48	4537.73	1873.62	1939.26	1977.26	4142.42	8.7 (13.3)

*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

3.2 ガスエンジン導入効果

表4にガスエンジンを導入した場合の解析結果を示す。全対象住宅の平均熱電比は0.9であり、ガスエンジンの定格とは大きく異なる。排熱給湯量に対する給湯エネルギー消費量の割合は平均88%であるが、電力消費量に対するガスエンジンの発電量の割合は平均24%である。住宅によりガスエンジンによる排熱給湯量や発電量に差がみられる。

年間給湯エネルギー消費量がほぼ同等な北海道集合03と関西集合03を比較すると、北海道集合03では給湯エネルギー消費量に対するガスエンジン排熱給湯量の割合が99%であるのに対し、関西集合03では59%となっている。

一方、年間電力消費量がほぼ同等な北陸戸建03と関西集合03を比較すると、北陸戸建03では、電力消費量に対するガスエンジン発電量の割合が14%であるのに対し、関西集合03では16%となっており、ほぼ同等である。

表5に一次エネルギー消費量の削減率を、表6に、CO2排出量の削減率を示す。対象とした全住戸の一次エネルギー消費量の平均削減率は12.8%、CO2排出量の平均削減率は8.7%となり、住戸によるばらつきが極めて大きい。

図4に日積算電力消費量に対するガスエンジン発電量の割合の累積頻度を示す。累積頻度80%の時、電力消費量の23%～66%程度がガスエンジン発電によってまかなわれている。ガスエンジンが動作しない時間は住宅によって差がみられ、0～39%となっている。

図5に北海道戸建06におけるガスエンジン導入時の年変化を示す。北海道戸建06では年間を通して電力消費量が多く一定であるため、ガスエンジン発電量の変化が年間を通じて小さい。また、ガスエンジンによる排熱給湯量が多く、一年を通じて給湯エネルギー消費量をまかなえる。

3.3 ガスエンジン導入時の年変化

図5に北海道戸建06におけるガスエンジン導入時の年変化を示す。北海道戸建06では年間を通して電力消費量が多く一定であるため、ガスエンジン発電量の変化が年間を通じて小さい。また、ガスエンジンによる排熱給湯量が多く、一年を通じて給湯エネルギー消費量をまかなえる。

図6に北陸戸建 03 におけるガスエンジン導入時の年変化を示す。冬季や中間期にガスエンジンによる排熱給湯量が多く、給湯エネルギー消費量をまかなえる日が多くみられる。ガスエンジンによる発電量は夏季より冬季のほうが幾分多いが、電力消費量に対する割合では夏季に比べ冬季が非常に小さい。

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から、ガスエンジンの排熱が全て有効に利用されたと仮定した場合のポテンシャルを検討した。

- ①給湯エネルギー消費量、熱電比は地域によるばらつきはあるが、冬季には地域間の差が小さくなる。電力消費量には季節によるばらつきが見られない。
- ②排熱給湯量に対する給湯エネルギー消費量の割合は平均 88%であるが、電力消費量に対するガスエンジンの発電量の割合は平均 24%である。
- ③給湯エネルギー消費量が同程度であっても、住宅により排熱給湯量のばらつきが大きい。
- ④ガスエンジンを導入し、排熱が全て有効に利用されると仮定した場合、今回対象とした住宅の一次エネルギー消費量は平均 12.8%、CO₂排出量は平均 8.7%の削減が可能であるが、住戸によるばらつきが大きい。

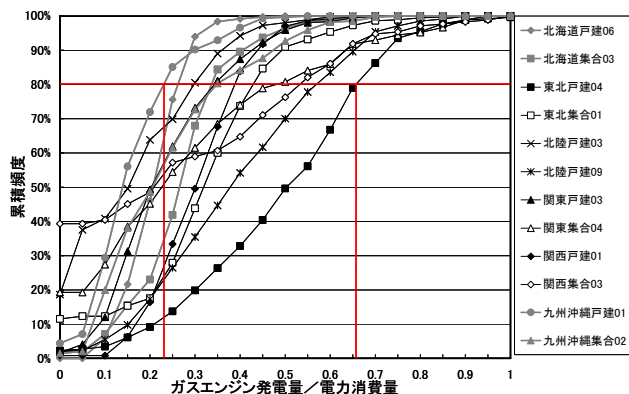


図4 日積算電力消費量に対するガスエンジン発電量の割合の累積頻度

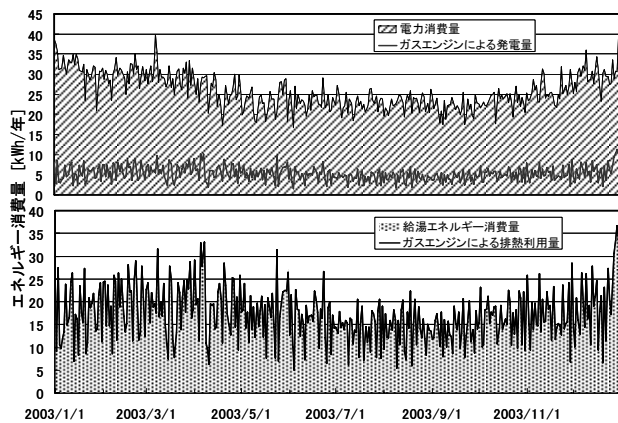


図5 ガスエンジン導入時の各エネルギー消費の年変化 (北海道戸建 06)

- ⑤ガスエンジンによる発電で日積算電力消費量の 23% から 66%をまかなうことができる。
- ⑥季節別に見ると、冬季や中間期で給湯エネルギー消費量の多くをまかなうことができるが、電力消費量に対する発電量の割合は少ない。
- ⑦今後、燃料電池、自然冷媒ヒートポンプ給湯器を対象とした分析を行う予定である。

*3:表4、5、6の結果は、ガスエンジンからの排熱が全て有効に利用されるという仮定の元に解析を行っている。従ってこの結果は、現在商品化されている機器の効果の限界を示すものである。

【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。関係各位に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 第4回住宅エネルギーシンポジウム 住宅用エネルギー消費と温暖化対策, 2005年6月
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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

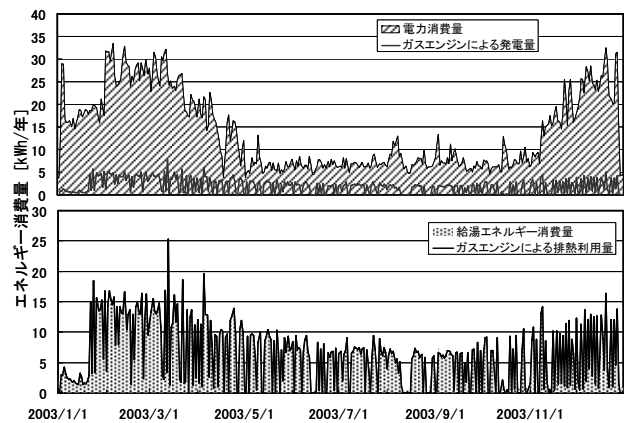


図6 ガスエンジン導入時の各エネルギー消費の年変化 (北陸戸建 03)