

33. 負荷追従型ガスエンジン熱電併給を核とした 家庭用エネルギーシステムに関する研究

－ 家庭用熱電併給システム導入支援ツールによる アンケート調査結果の評価 －

高橋 勇伍^{1*}・濱田 靖弘¹・小川 まどか¹
山田 拓郎¹・河野 新²・武田 清賢³

¹北海道大学大学院工学院空間性能システム専攻（〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目）

²アイシン精機株式会社 L & E 商品本部（〒448-8650 愛知県刈谷市朝日町2-1）

³北海道ガス株式会社 技術開発研究所（〒004-0041 札幌市厚別区大谷地東1丁目3-1）

* E-mail: splospal-ct@eis.hokudai.ac.jp

本研究は、家庭用熱電併給（CHP：Combined Heat and Power）システムである負荷追従型ガスエンジン（GE：Gas Engine）を寒冷地に適用し、その導入効果について実証することを目的としている。初めに、簡易的なアンケートを用いてモニター世帯のライフスタイル等について調査を行った。次に、既往の研究から得られた負荷予測式を用いて、モニター世帯の電力負荷、給湯負荷、暖房負荷について予測計算を行った。その結果、電力負荷、給湯負荷、暖房負荷の平均誤差はそれぞれ53.9%、14.6%、26.2%となった。最後に、得られた予測負荷と実測負荷を用いて、簡易的なシミュレーションを実行した。その結果、一次エネルギー削減量について予測負荷と実測負荷の誤差は28.7%となった。

Key Words : CHP, Gas Engine, Simulation

1. はじめに

改正省エネルギー法（エネルギーの使用の合理化に関する法律の一部を改正する法律）では、住宅の省エネルギー性能の判断基準として、基準一次エネルギー消費量があり、それに対する達成率の報告が求められる¹⁾。そして、省エネルギー性能については、これまでの断熱・気密性能などに加え、暖冷房・給湯など住宅設備の機器効率を踏まえた評価が必要となる。住宅における省エネルギー化は、近年増加傾向にある民生部門のエネルギー消費量を削減する上でも重要である。また、寒冷地区である北海道では、家庭部門における一人当たりのエネルギー使用量が全国平均の約1.5 倍程度²⁾になっている。最近では、給湯・潜熱回収型ボイラは普及しつつあるが、さらに高い省エネルギー性・環境保全性を有するガスエンジン（Gas Engine：GE）、燃料電池（Fuel Cell：FC）などの家庭用熱電併給（Combined Heat and Power：CHP）システムが注目されている。一方で、各家庭におけるエネルギー使用形態により、CHP機器によるエネルギー削減効果は異なってくる。

本報は、負荷追従型ガスエンジン熱電併給を核とした家

庭用エネルギーシステムに関する研究³⁾であり、簡易的なアンケートにより、寒冷地における家庭のエネルギー使用量を予測し、様々な種類の家庭用CHP システムのエネルギー削減効果を予測することを目的として提案した導入支援ツール⁴⁾をGE-CHPに適用したものである。ま

表-1 ガスエンジン仕様

最大発電出力	1.5kW
最小発電出力	0.5kW
排熱出力	1.4～3.4kW
発電熱効率	23.5% (HHV)
排熱回収熱効率	53.3% (HHV)
総合熱効率	76.8% (HHV)
寸法 (mm)	W750×D400×H1150

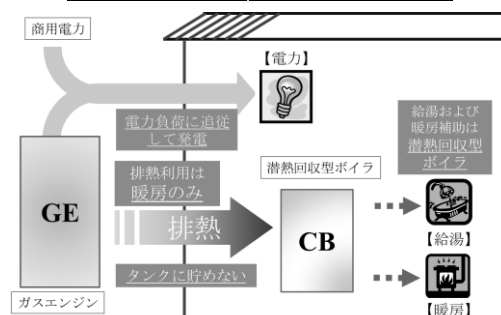


図-1 システム概念図

表-2 アンケート内容および回答

世帯番号	ライフスタイル		電力使用状況																湯使用状況										暖房使用状況	
	世帯人数	延床面積	冷蔵庫		テレビ										お風呂										室温の 目安	暖房時間				
			サイズ	購入年	サイズ					型式					視聴時間					シャワーのみの頻度										
					1台目	2台目	3台目	4台目	5台目	1台目	2台目	3台目	4台目	5台目	1台目	2台目	3台目	4台目	5台目	湯の張り替え頻度			シャワーのみの頻度							
																				春秋	夏	冬	春秋	夏			冬			
人	m ²	リットル	年	インチ	インチ	インチ	インチ	インチ	1台目	2台目	3台目	4台目	5台目	1台目	2台目	3台目	4台目	5台目	時間	時間	時間	時間	時間	回/週	回/週	回/週	回/週	回/週	回/週	℃
C	3	117	416	2007	37					液晶					8					2	1	3	5	6	4	20	適宜			
D	3	116	400	2008	40	32				液晶	液晶				5	0.5				7	7	7	0	0	0	22.5	タイマー			
E	4	133	400	2007	60					液晶					12					7	7	7	0	0	0	23.5	就寝時OFF			
G	2	94	270	2010	32					液晶					7					2	1	7	5	6	0	23	タイマー			
H	4	118	401	2010	42					LED					8					7	2	7	0	5	0	24	適宜			
I	3	133	475	2012	52					液晶					10					5	7	5	2	7	2	20	適宜			
J	5	123	670	2013	32	32	32	25	20	LED	LED	LED	未記入	未記入	5.5	5	1	8	13	7	7	7	0	0	0	21	24時間			
K	3	128	416	2006	42					液晶					5					7	7	7	7	7	7	21	就寝時OFF			
L	4	123	415	2010	46					液晶					10					7	4	7	2	3	0	20	就寝時OFF			
M	3	114	416	2010	46					液晶					10					5	5	5	2	3	1	24	タイマー			
N	4	115	400	2005	50	42				LED	LED				10	1				4	4	4	0	0	0	22	就寝時OFF			

ず、解析対象のGEの性能について概説する。次に、負荷予測に用いたアンケートの内容・結果および電力・給湯・暖房負荷予測手法とその結果を示す。さらに、CHPの導入効果予測手法として、簡易シミュレーションを実施した。最後にアンケートによる予測負荷と簡易シミュレーションによるCHPの一次エネルギー削減量の予測結果の精度について評価を行う。

2. 解析対象システムの概要

表-1にガスエンジンの仕様を、図-1に本システム概念図を示す。本システムは、GEと潜熱回収型ボイラ（Condensing Boiler：CB）からなり、排熱は暖房にのみ利用するのが特徴である。GEは暖房使用時、かつ電力使用量が一定以上の場合に発電する制御となっており、別置き貯湯ユニットが不要である。GE発電分で賄いきれない電力は商用電力を使用する。また、CBは給湯負荷及びGEの排熱で足りない分の暖房負荷を賄うために使用する。本GE-CHPシステムは0.5～1.5 kWで負荷追従発電を行い、最大出力時の発電熱効率は23.5%（Higher Heating Value；HHV）、排熱回収熱効率は53.3%（HHV）に達する。

3. アンケート概要

アンケートは、札幌市内の戸建住宅に入居する11世帯に調査を依頼し、全世帯からアンケートを回収した。アンケート内容を表-2に示す。アンケートは大別すると4項目から構成されている。1つ目は家族構成・ライフスタイルに関するもので、世帯構成・年齢・起床時刻・就寝時刻・年間不在日数などを質問項目として挙げた。2つ目は電力使用状況に関するもので、テレビの数と種類・テレビの視聴時間・冷蔵庫の数と種類などを質問項目として挙げた。3つ目は湯使用状況に関するもので、入浴回数・シャワー回数・その他の湯使用状況の有無（手洗い・洗髪・食器洗い機等）などを質問項目として挙げた。4つ目は暖房に関するもので、暖房設定温度・暖房使用時間などを質問項目として挙げた。

4. アンケート回答

表-2に、各世帯のアンケートの回答を示す。世帯人数については、2人の世帯が1件、3人の世帯が5件、4人の

世帯が4件、5人が1件であった。延床面積については、94～133 m²の範囲であった。

電力使用状況調査として、テレビの所持台数については1台が8件、2台が2件、5台が1件であった。計17台中、9台が液晶テレビで、5台がLED、2台が未記入であった。

湯の使用状況調査として、浴槽湯張り回数およびシャワーのみの回数を季節別に尋ねた結果、冬期にかけて湯の張り替え頻度が多くなり、シャワーのみの頻度が少なくなる傾向にあった。

暖房の使用時間については、24時間連続暖房を行う家庭が1件、タイマー機能の利用が3件、就寝時停止が4件、適宜が3件と幅広い結果となった。

5. 年間負荷予測手法⁴⁾

(1) 負荷予測式の精度検証

既往の研究結果⁴⁾では、アンケートの内容・結果を元に重回帰分析を行い、電力・給湯・暖房負荷予測式を求めた。この予測式を本研究対象の世帯にも適用し、予測式が有効であるか検討を行った。以下、予測式の精度について結果を示す。

(2) 電力負荷

電力負荷については、以下の式(1)を用いて本研究対象の世帯に適用し、評価を行った。

$$Y=21.72 \times X1 + 104.38 \times X2 + 1277.55 \quad (1)$$

X1：延床面積[m²]、X2：テレビの視聴時間[時間/日]

Y：年間電力負荷[kWh]、重相関係数R=0.593

本予測式を用いた場合の誤差（{予測負荷－実負荷}÷実負荷：以下同様の定義）を、図-2に示す。本図では、誤差がプラス値の場合、予測値が実負荷よりも高いことを示す。最も予測が外れたのは世帯Nで、誤差は129.7%となった。また、誤差の絶対値の平均は53.9%となった。

(3) 給湯負荷

給湯負荷については、以下の式(2)を用いて本研究対象の世帯に適用し、評価を行った。

$$Y=955.80 \times X1 + 1367.56 \times X2 - 7938.29 \quad (2)$$

X1：世帯人数[人]

X2：風呂（湯張り＋シャワー）回数[回/週]

Y：年間給湯負荷[kWh]、重相関係数R=0.697

表-3 各負荷の予測値と実測値

世帯	電力負荷		給湯負荷		暖房負荷	
	予測[GJ/year]	実測[GJ/year]	予測[GJ/year]	実測[GJ/year]	予測[GJ/year]	実測[GJ/year]
C	16.8	18.5	16.2	16.3	34.8	66.0
D	15.7	13.0	16.2	18.4	40.7	45.9
E	19.5	16.6	19.6	16.2	45.1	65.0
G	14.6	8.4	12.8	11.7	35.1	44.6
H	16.8	12.3	19.6	20.1	46.6	52.2
I	18.8	14.2	16.2	15.8	38.1	67.8
J	26.4	23.6	23.1	23.3	29.2	74.3
K	16.5	8.6	16.2	14.7	39.6	37.6
L	18.0	8.3	19.6	17.7	34.7	37.8
M	17.3	11.1	13.7	19.3	43.2	55.3
N	17.7	7.7	4.9	13.0	34.9	48.0

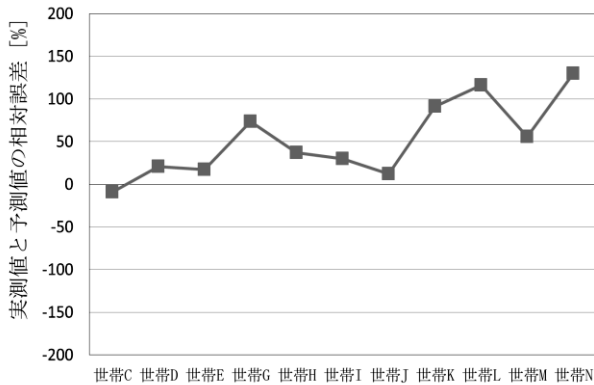


図-2 負荷予測誤差（電力負荷）

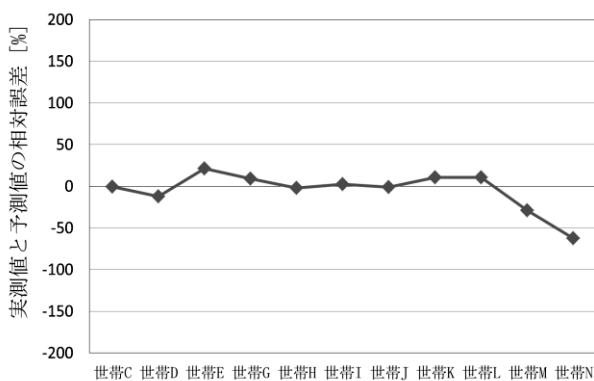


図-3 負荷予測誤差（給湯負荷）

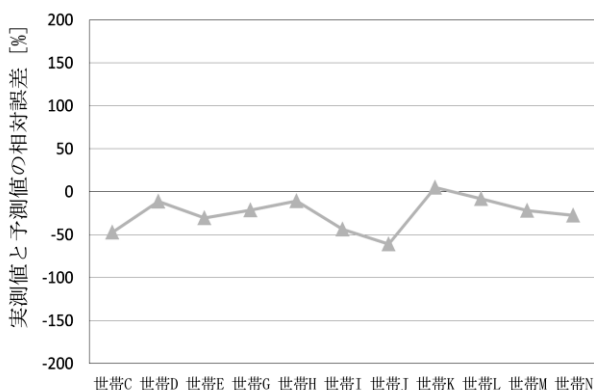


図-4 負荷予測誤差（暖房負荷）

本予測式を用いた場合の誤差を、図-3に示す。最も誤差が大きかったのは世帯Nで、-62.5%となった。また、誤差の絶対値の平均は14.6%となった。

(4) 暖房負荷

暖房負荷については、以下の式(3)を用いて本研究対象の世帯に適用し、評価を行った。

$$Y=24 \times q_s \times D \div 1000 \quad (3)$$

q_s : 総熱損失係数[W/K], D : 暖房度日数[K日],

Y : 年間暖房負荷[kWh]

本予測式を用いた場合の誤差を、図-4に示す。最も誤差が大きかったのは世帯Jで、-60.7%となった。また、誤差の絶対値の平均は26.2%となった。

以上、誤差の絶対値の平均は、電力負荷が53.9%、給湯負荷が14.6%、暖房負荷が26.2%であり、給湯負荷及び暖房負荷の誤差が1～3割程度となることを確認した。電力負荷については誤差が大きくなる結果となり、質問項目の詳細化等を行い、予測精度を高める必要があると考えられる。しかし、さらに質問項目を増やすことで、項目が多く内容が難しくなると、回答者の負担となり回答が得られないことがあるため、設問を簡単にしつつ、ある程度の予測精度を保つことにも注意する必要がある。

6. GE-CHP導入効果の簡易シミュレーション手法

5. で求めた予測負荷を用いて、GE-CHPシステムの導入効果を予測するための簡易シミュレーション⁴⁾を実施した。図-5に、本簡易シミュレーションの概略を示す。まず、得られた年間の電力・給湯・暖房予測負荷を、各世帯の実測負荷より求めた月別比率の平均値にて月別に展開する。次いで、同様に各世帯の実測負荷より求めた時刻別比率の平均値にて、月別の負荷をそれぞれ時間帯別に展開する。これにより得られた時間帯別の電力負荷を用いて、GE-CHPシステムの発電量を決定する。求めた排熱を暖房に利用し、熱余りになる場合は発電時間を短くするものとした。CHPの排熱で賄い切れなかった給湯・暖房負荷については、補助ボイラ（潜熱回収型）にて賄い、CHPの発電で賄い切れない電力負荷については、系統電力を利用するものとした。これらの計算より、各世帯の商用電力利用量およびガス消費量を決定し、一次エネルギー消費量を試算した。

また、従来型システムを「商用電源＋非潜熱回収型ガスボイラ」として、各世帯の一次エネルギー消費量を求め、CHPシステムの一次エネルギー削減量を求めた。なお、改正省エネルギー法より電力の換算係数、従来型のボイラ熱効率をそれぞれ9.76MJ/(kWh)、75%とした。

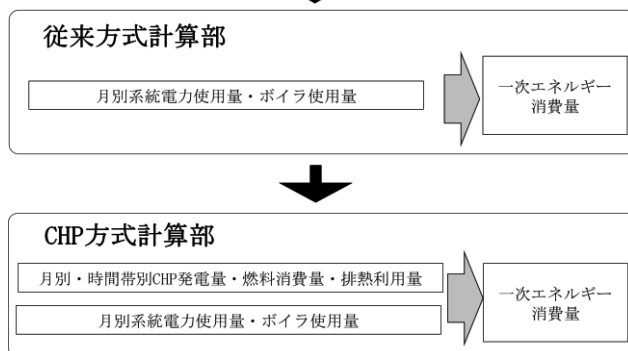
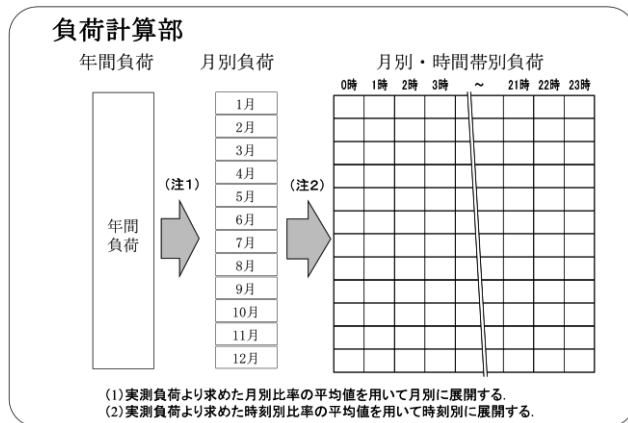


図-5 CHP簡易シミュレーションプログラムフロー

上記の予測手法は簡易な計算となっており、繰り返し計算などが不要で、表計算ソフト等で直ぐに計算結果を出せるようになっている。

6. 導入効果予測結果の評価

図-6に予測負荷と簡易シミュレーションにおける一次エネルギー削減量の誤差の割合を示す。

一次エネルギー削減量における誤差の絶対値の平均は、28.7%となった。これより、簡易なアンケートを基に家庭の負荷を予測し、CHPの導入効果を予測する手法が有効であることがわかる。

7. まとめ

(1) 簡易的な手法にて、寒冷地の戸建住宅における負荷予測を行うことを目的としてアンケート調査を実施した。アンケートによる予測負荷と実測負荷の誤差の絶対値の平均は、電力負荷が53.9%、給湯負荷が14.6%、暖房負荷が26.2%であり、電力負荷の誤差が高い結果となったが、給湯・暖房負荷は概ね1～3割の平均誤差となることを確認した。

(2) 寒冷地における家庭用CHPシステムの導入効果を予測するため、簡易シミュレーションを実施した。予測負荷と実測負荷を用いて一次エネルギー削減量について計算を行った結果、予測負荷と実測負荷による誤差の絶対値の平均は、28.7%となった。

表-4 予測負荷と実測負荷の一次エネルギー削減量

	予測負荷	実測負荷	相対誤差
世帯	一次エネルギー削減量[GJ/year]		[%]
C	19.3	21.8	-11.8
D	20.4	15.6	31.0
E	24.5	19.6	24.9
G	17.4	11.7	48.9
H	23.4	17.1	36.6
I	21.2	18.9	12.1
J	21.6	29.2	-26.0
K	20.5	11.1	85.6
L	20.6	13.0	58.8
M	21.3	16.5	29.5
N	16.9	12.2	38.2

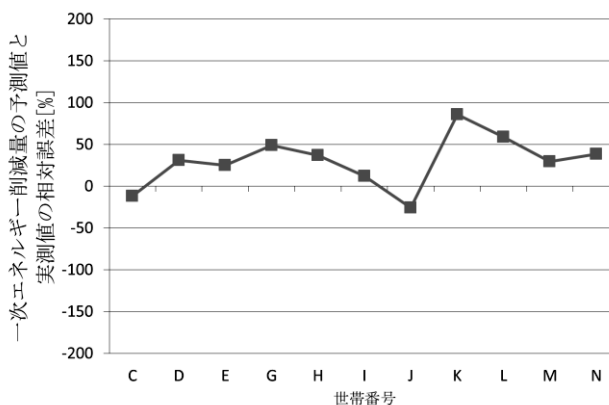


図-6 予測負荷と実測負荷の一次エネルギー削減量の誤差

(3) 予測負荷と簡易シミュレーションを用いた手法では、実負荷データ取得の労力が削減可能であり、計算方法が簡易なため幅広いユーザーが利用可能で修正も容易である。さらに実測負荷と詳細シミュレーションを用いた手法では1件あたりの計算に20分程度要する（使用マシン：CPU3.00GHz、メモリ4GB）のに対し、予測負荷と簡易シミュレーションを用いた手法では瞬時に結果が出力される。これより、簡易なアンケートによる予測が有効であることが示された。

参考文献

- 1) 経済産業省、国土交通省；告示第1号，(2013-1)。
- 2) 北海道経済産業局；北海道のエネルギー消費動向について（2008年度版）。
- 3) 濱田靖弘ら；負荷追従型ガスエンジン熱電併給を核とした家庭用エネルギーシステムに関する研究（第1～4報），空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集（2013-2014）
- 4) 武田清賢ら；寒冷地における家庭用熱電併給システムの導入支援ツールに関する研究，エネルギー・資源，36-1（2015-1），pp9～15
- 5) 北方型住宅の熱環境計画 2010年，北海道建築技術協会（2010-1）。