

ヒートポンプを核としたスマートコミュニティに関する研究 (その12) 投資回収年を軸とした機器容量のパラメータ解析

Study on smart community integrated with heat pump

(Part12) Parameter analysis of equipment capacity based on pay back year

学生会員 ○藤井 健斗 (北海道大学) 正会員 長野 克則 (北海道大学)
 学生会員 周 佳 奕 (北海道大学) 学生会員 山口 大 (北海道大学)
 学生会員 曾 育 民 (北海道大学)

Kento FUJII*¹ Katsunori NAGANO*¹ Jiayi ZHOU*¹

Hiroshi YAMAGUCHI*¹ ZENG Yumin*¹

*¹ Hokkaido University

This research aims to examine the optimal equipment capacity for home cogeneration systems and evaluated the payback year. The system, which is designed by the authors, is incorporated a gas engine generator and gas boiler with a photovoltaic system and a lithium-ion storage battery, a smart HEMS (Home Energy Management System) and a bidirectional power conditioner. The authors calculated the power consumption, initial and running costs and pay back year. The result shows that the utility costs reduction effect in January was 25,000 yen per month compared to gas boiler only systems when photovoltaic capacity is 3.2 kW and battery capacity is 3.8 kWh.

はじめに

本研究は、ヒートポンプを核としたスマートコミュニティの構築を目的とした一連の研究の第12報である。本報では、本研究室で構築した予測型HEMSを搭載したスマートハウスにガスエンジン発電機を追加し、寒冷地における家庭用コージェネレーションシステム(以下CGS)を模擬したモデルにおいて投資回収年最小化を目指した機器容量のパラメータ解析を行う。第9報¹⁾ではこれまでに構築してきたモデル予測型HEMSの最適な制御間隔に関する検討を行い、第10報²⁾では空調設備を導入した際のCO₂排出量の削減可能性を探った。第11報³⁾では太陽光発電の予測に必要な日射量を予測するために画像処理と機械学習による予測を行った。これまではランニングコストや消費電力の計算を行っていたが、本報ではインシヤルコストも考慮に入れ、家庭用CGSのライフサイクルコストについて言及するとともに、これまで一定として扱ってきた機器容量を変え、様々なケースで数値計算を行い最適な機器容量を選定する。

1. 家庭用CGSの有用性

北海道や東北などの寒冷地では冬期の暖房・給湯需要が多いため温熱の省エネルギー化が必要である。そこで我々は家庭用CGSに着目した。発電所から送られてくる電気は排熱や送電ロスの影響でエネルギー効率は40%ほどであるのに対して、家庭用CGSでは85%と高効率で

ある。また、災害時などで停電となった際にもガスエンジン発電機、または燃料電池があれば家庭で発電できるので、エネルギーセキュリティの面においても有効である。近年の家庭用発電システムは発電効率が非常に高く、燃料電池で約40%、ガスエンジン発電機で約26%となっている。電気の1次エネルギー変換効率が約36%であることを考えると、排熱も利用できる家庭用CGSは発電所から電気を買うよりも省エネルギー性に優れており、システム導入の効果が見込めると考えた。

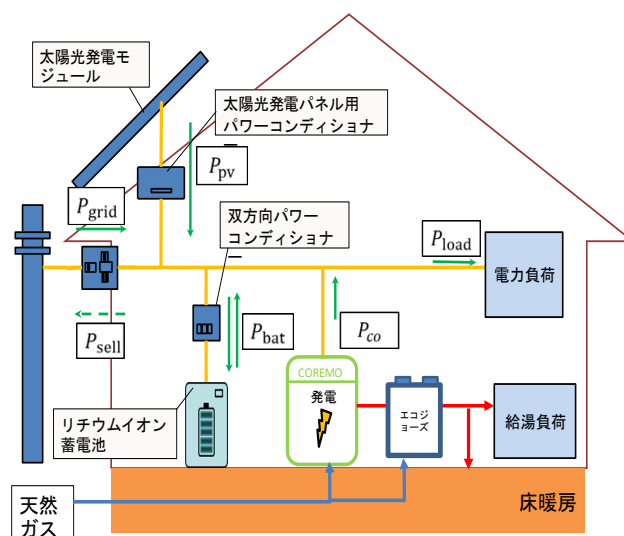


図-1 コージェネレーションシステム概要図

2. 手法

2.1 家庭用コージェネレーションシステム

(1) システム概要

第9報¹⁾で述べられている本研究室で使用するモデル予測型HEMSにガスエンジン発電機を追加したモデルを考えた。その概要を図-1に、追加部分の発電機のシステム概要を図-2に示す。太陽光発電モジュールとリチウムイオン蓄電池の性能は第9報¹⁾と同じとする。なお、給湯および暖房はガスエンジン発電機の排熱および補助熱源機器(ガスボイラー)で行う。今回のシステムでは発電機器が太陽光発電モジュールとガスエンジン発電機の2つを想定し、余剰電力はリチウムイオン蓄電池に充電するか系統に売電するものとした。ガスエンジン発電機は発電の際に発生した排熱を暖房、給湯に使用することで高効率を実現した家庭用CGSであり、補助熱源機とともに使用し、熱供給が不足した際は補助熱源機器が稼働する仕組みである。制御方法は熱負荷追従型で、余剰電力は系統に売電できるものとする。ガスエンジン発電ユニットおよび補助熱源機器の仕様を表-1に示す。

(2) 混合整数線形計画法(MILP)について

機器の運転に関して、第9報¹⁾で述べられている混合整数線形計画法(以下MILP)を用いて、光熱費(電気料金+ガス料金)を最小化する機器の運転方法を検討した。蓄電池の制限については第9報¹⁾で述べたものと同じである。MILPの追加不等式条件を式(1)~(5)に、等式条件を(6)~(12)に、追加計算条件を表-2に示す。目的関数はランニングコスト最小化を考え式(13)のようにした。

発電機放電量の上限、下限

$$P_{co} \leq 1.5 \times Index_{co} \quad (1)$$

$$P_{co} \geq 0.45 \times Index_{co} \quad (2)$$

発電機放熱量の上限、下限

$$Q_{co} \leq 3.7 \times Index_{co} \quad (3)$$

$$Q_{co} \geq 1.1 \times Index_{co} \quad (4)$$

ガスボイラー放熱量の上限

$$Q_{eco} \leq 95 \times Index_{eco} \quad (5)$$

電力、熱収支式

$$P_{buy} - P_{sell} - P_{bat_c} - P_{bat_d} + P_{co} = P_{load} - P_{PV} \quad (6)$$

$$Q_{co} + Q_{eco} = Q_a + Q_h \quad (7)$$

各機器の熱、電力量定義式

$$P_{co} = 0.26 \times G_{co} \quad (8)$$

$$Q_{co} = 0.64 \times G_{co} \quad (9)$$

$$Q_{thr_co} = 0.1 \times G_{co} \quad (10)$$

$$Q_{eco} = 0.95 \times G_{eco} \quad (11)$$

$$Q_{thr_eco} = 0.05 \times G_{eco} \quad (12)$$

$$J = \sum_{t=1}^{t_{end}} (Price_{buy,t} P_{buy,t} - Price_{sell,t} P_{sell,t} + Price_{gas}(G_{co} + G_{eco})) \Delta t \quad (13)$$

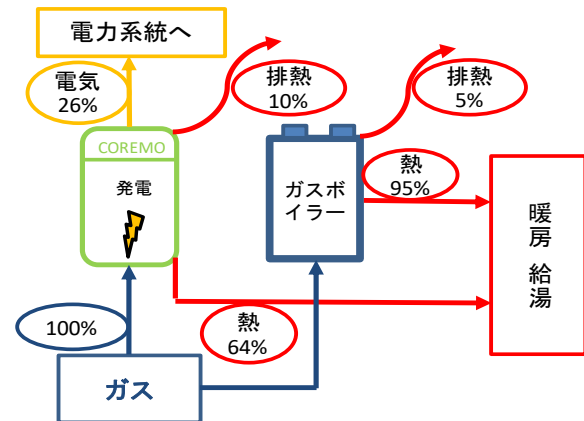


図-2 追加家庭用発電システム部概要図

表-1 追加機器性能特性

ガスエンジン発電ユニット	
能力(定格出力)	発電 1.5 kW
	熱出力 3.7 kW
	発電効率 26%
	熱効率 74%
	総合効率 90%
	ガス消費量 5.8 kW
外径寸法(高さ×幅×奥行)	1080×700×400 mm
補助熱源機器	
	給湯能力 41.9 kW
	暖房能力 14.0 kW
	追いだき能力 9.88 kW
	給湯暖房効率 95%
外径寸法(高さ×幅×奥行)	1385×480×240 mm

表-2 MILP計算追加条件

発電機定格電力出力	1.5 kW
発電機定格熱出力	3.7 kW
ボイラー熱出力	95 kW
ボイラー熱効率	95%
天然ガス発熱量	40.9 MJ/m ³
ガス単価料金	64.85 円/m ³
ガス基本料金	4719 円
買電価格	29.35 円/kWh
基本料金(契約電流40 A)	1364 円/月
発電機余剰電力買取価格	13.24 円

(3) 比較対照システム

今回の研究における比較対象システム概要図を図-3に示す。電気、熱需要ともに負荷追従型を想定し、電気使用量分だけ系統から電力を購入する。給湯、暖房負荷についても同様で、発生した熱負荷に対してその都度ガスボイラーを運転し、負荷をまかなう。ガスボイラーについては表-1の補助熱源機と同じ性能とする。

比較対象システムの計算条件と2019年1月と7月の2か月分の計算結果を表-3に示す。買電価格、電力負荷、給湯暖房負荷や家の条件などに関しては第9報¹⁾と同じとする。

(4) 機器容量パラメータ解析

最適な機器容量を考えるためのパラメータ解析を行った。ガスエンジン発電機の容量は一般的な家庭で 사용되는定格発電出力 1.5kW で一定とする。今回変更するパラメータは太陽光発電容量とリチウムイオン蓄電池容量である。標準の容量は本研究室で使用している太陽光発電容量 3.2 kW、リチウムイオン蓄電池容量 3.8 kWh のものを考え、その値を基に機器容量によりどの程度の光熱費削減が見込めるかを検討した。今回の研究では一般的な家庭に導入することを前提としているため、イニシャルコストを考慮して太陽光発電容量を 0~3.2kW、リチウムイオン蓄電池容量を 0~3.8kWh でケーススタディを考えた。本研究で考えたケーススタディを表-4 に示す。運転方法は第 9 報¹⁾ で述べられている通り MILP を用いて、光熱費を最小化する運転とする。

(5) 投資回収年計算

(4) で得られた結果をもとに、投資回収年の計算を行った。計算に必要な各機器のイニシャルコストを表-5 に示す。投資回収年とは、(3) で述べた比較対照システムの年間の光熱費と、(4) で得られた各パラメータ機器運転時の年間の光熱費の差が、イニシャルコストの差を何年で賄えるかということと定義する。

3. 結果と考察

本研究で確立したコジェネレーションシステムの計算結果を冬期は表-7 に、夏季は表-8 に示す。代表月として冬期は 1 月、夏季は 7 月の結果を示した。また、この時の太陽光発電容量は 3.2 kW、蓄電池容量は 3.8 kWh であった。環境への評価も行うために、電気、ガスの使用量から 1 次エネルギー使用量と CO₂排出量を求めた。それぞれの係数を表-6 に示す。表-7 より、1 次エネルギー消費量合計は、対象システムで 9555 MJ、家庭用 CGS システムで 9250 MJ と近い値ではあるが 1 か月で約 300 MJ 削減することができた。また、CO₂排出量合計は家庭用 CGS システムにすることで約 60 kg 削減することができた。ランニングコストでは、約 25,000 円削減できた。これは、家庭用 CGS システムでは余剰電力を売ることができ、さらに太陽光発電がシステムに組み込まれていることから発電余剰も売ることができ、CO₂排出量も抑えることができたと考える。夏季においても同じような傾向がみられ、夏季は暖房負荷がなく、かつ日射量が多いため、売電量も多くなると考えられる。

表-6 エネルギー変換係数表

1次エネルギー変換係数	電気	9.76	MJ/kWh
	ガス	41.1	MJ/m ³
CO ₂ 排出係数	電気	0.688	kg-CO ₂ /kWh
	ガス	2.23	kg-CO ₂ /m ³

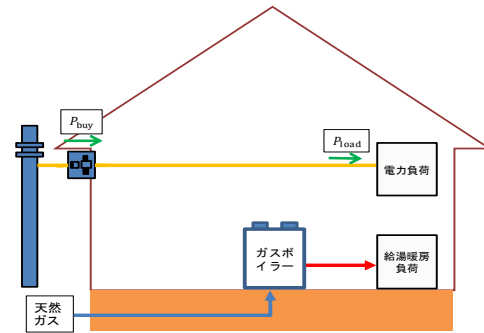


図-3 比較対象システム概要図

表-3 対照システム計算条件、計算結果

計算条件		
ガス単価料金	143.8 円/m ³	
ガス基本料金	2,013 円	
計算結果		
	冬期(1月)	夏季(7月)
電気料金	7,658 円	6,966 円
ガス使用量	164 m ³	34.8 m ³
ガス料金	25,600 円	7,019 円
光熱費	33,258 円	13,985 円

表-4 ケーススタディ

	太陽光発電容量 [kW]	蓄電池容量 [kWh]
CASE1-①~⑤	0	① 0
CASE2-①~⑤	1.1	② 1
CASE3-①~⑤	2.1	③ 2
CASE4-①~⑤	3.2	④ 3
		⑤ 3.8

表-5 各機器のイニシャルコスト表

太陽光発電モジュール	290,000 円/kW
リチウムイオン蓄電池	160,000 円/kWh
家庭用ガス発電機	600,000 円

参照 PV：調達価格等算定委員会経済産業省 HP
Lib：パナソニック「スタンドアロン蓄電池」
コレモ：北ガス職員さんより

表-7 冬期計算結果

冬期結果	対照システム	家庭用CGS	
エネルギー使	電気 [kWh]	288.34	0.26
用量	ガス [m ³]	164	225
1次エネルギー	電気	2814.1984	2.5376
換算使用量	ガス	6740.4	9247.5
[MJ]	合計	9554.5984	9250.0376
CO ₂ 排出量	電気	198.37792	0.17888
[kg]	ガス	365.72	501.75
	合計	564.09792	501.92888
ランニングコ	電気	7658	-10494
スト [¥]	ガス	25600	19310
	合計	33258	8819

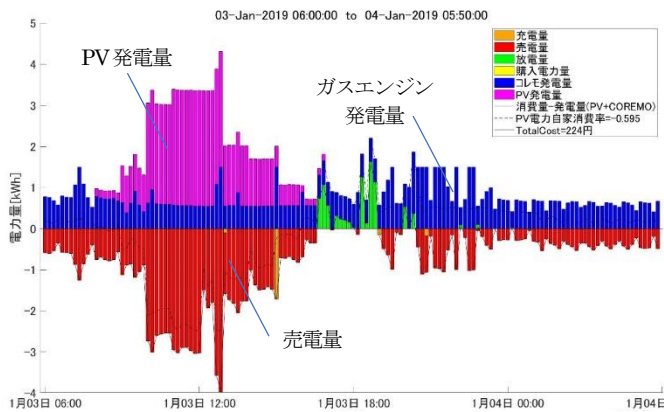


図-4 冬期(1月3日)の電力収支図

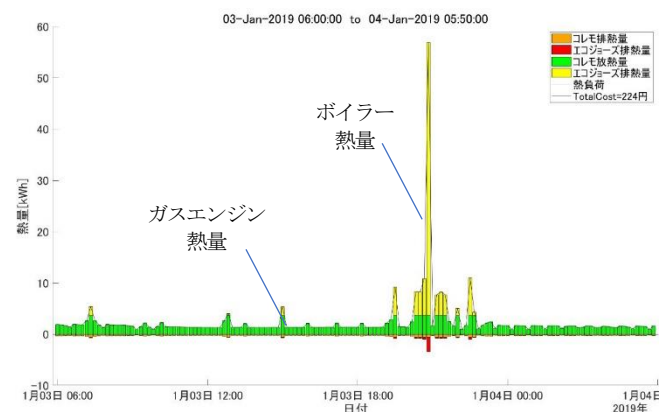


図-5 冬期(1月3日)の熱収支

冬期の1日の熱、電気の収支の様子を図-4と図-5に示す。図から明らかなように、蓄電池を入れていてもほとんど使われず、余剰電力のほとんどを売電していることが分かる。これはガスエンジン発電機の発電費用が安いからであると言える。ガスエンジン発電機の発電効率が26%であり、64.85円/m³であることから発電機の1kWh発電あたりの単価を計算すると、21.9円/kWhとなる。したがって電気を買うよりも自身で発電した方が優位となるため、多くのガスを買って電気を売するという運転方法になったと言える。

また、各ケーススタディで投資回収年を計算した。その結果を図-6に示す。図-6より、投資回収の点で見ると機器容量は小さいほうが投資回収年が短い。これは、インシヤルコストに対してランニングコスト削減の効果が小さいことが理由としてあげられる。同じ3.8kWh蓄電池容量の場合、太陽光発電容量を1kW上げるためのコストは290,000円だが、年間削減コストは29,000円であった。

4. まとめ

本報では家庭用CGSを導入した際の子測型HEMSにおける効果検証を行い、消費エネルギー量、CO₂排出量、ランニングコストなどの計算を行った。冬期では1か月で1次エネルギー換算消費量を305MJ、CO₂を62.2kg、ランニングコストを24,439円削減できた。夏季においても1次エネルギー換算消費量を2209MJ、CO₂を162kg、

表-8 夏期計算結果

夏期結果		対照システム	家庭用CGS
エネルギー使用量	電気 [kWh]	268.04	0.66
	ガス [m ³]	34.8	44.55
1次エネルギー換算使用量	電気	2616.0704	6.4416
	ガス	1430.28	1831.005
	合計 [MJ]	4046.3504	1837.4466
CO ₂ 排出量	電気	184.41152	0.45408
	ガス	77.604	99.3465
	合計 [kg]	262.01552	99.80058
ランニングコスト [¥]	電気	6966	-19917
	ガス	7019	7608
	合計	13985	-12312

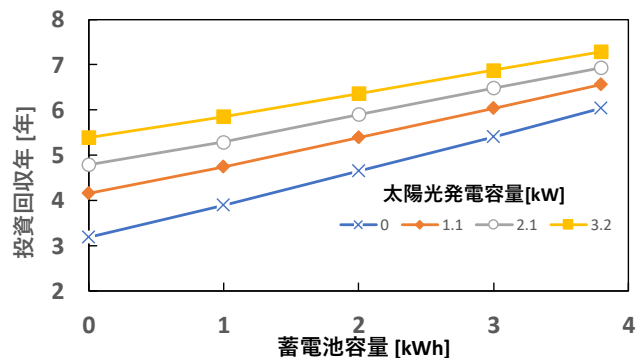


図-6 各容量別の投資回収年

ランニングコストを26,297円削減することができた。

また、投資回収年を計算し、機器のインシヤルコストがランニングコストに比べて非常に大きいため、機器容量が小さいほうが有利な結果となった。

参考文献

- 山口ら：ヒートポンプを核としたスマートコミュニティに関する研究 9~11、空気調和衛生工学会北海道支部学術講演会論文集(2019)
- 伊東弘一ら：コジェネレーションシステムの最適運用計画法 第1報—方法論の検討

記号

J : ランニングコスト[円], $Price$: 単価料金[円/kWh or m³],

P : 電力[kW], Q : 熱量[kW], G : 使用ガス量[m³],

t : 時間[10min], $Index$: フラグ

(添え字) buy: 購入, sell: 売却, co: 発電機, eco: ボイラー,

gas: ガス, end: 終わり, bat: 充電, bata: 放電, load: 需要,

PV: 太陽光発電, a: 空調負荷, h: 給湯負荷,

thr_co: 発電機排熱, thr_eco: ボイラー排熱

謝辞

本研究は北海道電力総合研究所からの支援を受けたものである。また、北海道電力(株)の野川氏、大萱生氏、西村氏、そして北海道ガス(株)武田氏、青木氏には、研究に関する貴重な示唆をいただきました。ここに謝意を表します。本当にありがとうございました。