

## 寒冷地における家庭用熱電併給システムによる次世代暖房制御システムに関する研究

### 第5報 スマートコントローラを導入した世帯における提案システム導入効果の評価

#### Study on Space Heating Control System by Combined Heat and Power Systems in Cold Region

学生会員○ 林 龍之介 (北海道大学)

正会員 濱田 靖弘 (北海道大学)

学生会員 村上 勘太 (北海道大学)

非会員 古谷 直樹 (北海道大学)

非会員 白井 直樹 (北海道ガス)

正会員 武田 清賢 (北海道ガス)

非会員 宮脇 雅史 (北海道ガス)

非会員 神谷 洋 (アイシン精機)

非会員 長尾 泰気 (アイシン精機)

Ryunosuke HAYASHI \*1 Yasuhiro HAMADA \*1 Kanta MURAKAMI \*1 Naoki FURUYA \*1

Naoki SHIRAI \*2 Kiyotaka TAKEDA \*2 MASASHI MIYAWAKI \*2

Hiroshi KAMIYA \*3 Taiki NAGAO \*3

\*1 Hokkaido University \*2 Hokkaido Gas Co., Ltd. \*3 Aisin Seiki Co., Ltd

Synopsis : Energy saving is important in reducing the energy consumption of the residential sector. We focus on CHP (Combined Heat and Power) system, and evaluate it in this study. This study aims to evaluate energy use and thermal environment of houses using space heating control system.

#### 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<sup>1)</sup>。省エネルギー性能については、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。住宅の省エネルギー性能向上は増加傾向にある民生部門における消費電力削減にも重要であり、なかでも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<sup>2)</sup>になっているため、最近では、普及が進む給湯・潜熱回収型ボイラに加え、さらに高い省エネルギー性・環境保全性を有する分散型熱電併給 (Combined Heat and Power : CHP) システムが注目されている。本研究では、寒冷地で導入されているガスエンジン (Gas Engine : GE) + 潜熱回収型給湯暖房機 (Condensing Boiler : CB) による暖房システムに

ついて着目し、室温変動を許容した次世代暖房制御システムの導入可能性について検討する。

本報は、寒冷地における家庭用熱電併給システムによる次世代暖房制御システムに関する一連の研究<sup>3)</sup>の第5報であり、実住宅における次世代暖房制御システムの居住実証試験における室内環境や省エネルギー性についての評価を行ったものである。

#### 1. 次世代暖房制御システムの概要

GE+CB システムの概要を図-1 に示す。GE+CB システムは GE 排熱だけで暖房負荷を賄いきれないとき、CB がバックアップ暖房を行う。この際、CB は部分負荷運転になり、短時間高頻度の運転をすることになるため、暖房効率が低くなってしまうことが課題である。そこで、設定した下限値までの室温変動を許容し、暖房時に CB を集中運転させることで暖房効率の上昇が可能になると考え、次世代暖房制御システムを考案した。従来制御と SC を用いた次世代制御の温水循環方式の概要について、図-2 に

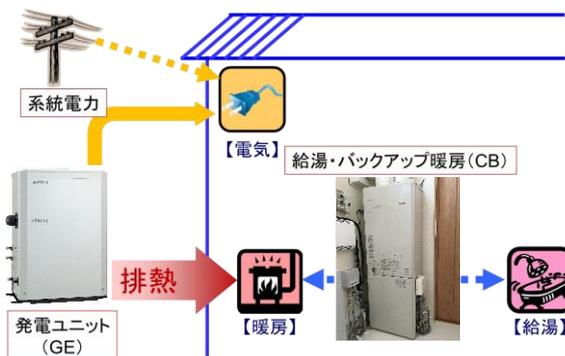


図-1 GE+CB システムの概要

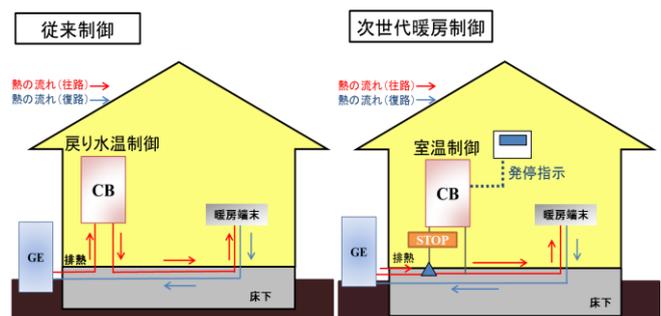


図-2 温水循環方式の概要

表-1 2018年度制御概要

制御名	制御方法	下限温度	上限温度
パターンA	PHサーモバルブによる室温制御	—	—
パターンB	代表室温によるSC熱動弁一括制御	22°C	22.8°C
パターンC	各室温によるSC熱動弁個別制御	22°C	22.8°C
パターンD	室温変動を許容したSC熱動弁個別制御	20°C	22.8°C
パターンE	湿度補正を加えたSC熱動弁個別制御	22±α°C	22.8±α°C

表-2 世帯情報

世帯No	世帯人数	建築年	延床面積[m <sup>2</sup> ]
1	3	2018	120
2	3	2017	90
3	1	2018	148.23
4	3	2018	123.13
5	3	2019	118.8
6	2	2019	95.42
7	3	2003	133
8	4	2013	91.2

表-3 2019年度制御概要

制御名	制御方法	下限温度	上限温度
パターンB	代表室温によるSC熱動弁一括制御	22°C	22.8°C
パターンD'	室温変動を許容した代表室温によるSC熱動弁一括制御	20°C	22.8°C
パターンE'	湿度補正を加えた代表室温によるSC熱動弁一括制御	22±α°C	22.8±α°C

表-4 主観申告

主観申告項目
温冷感, 乾湿感, 熱的許容感, 快適感等

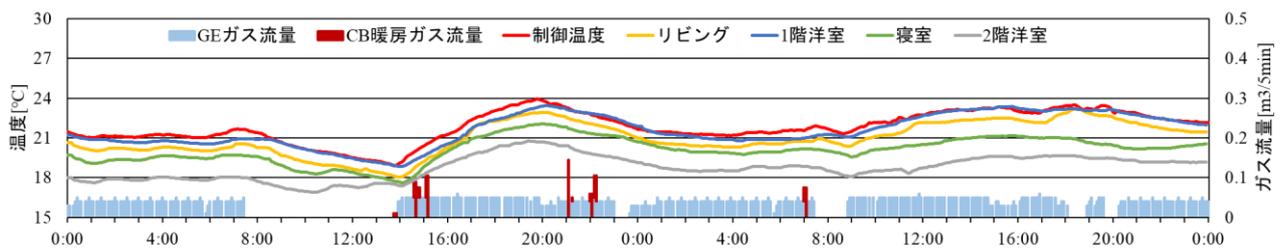


図-3 パターンB 代表期間室温変動 (世帯1)

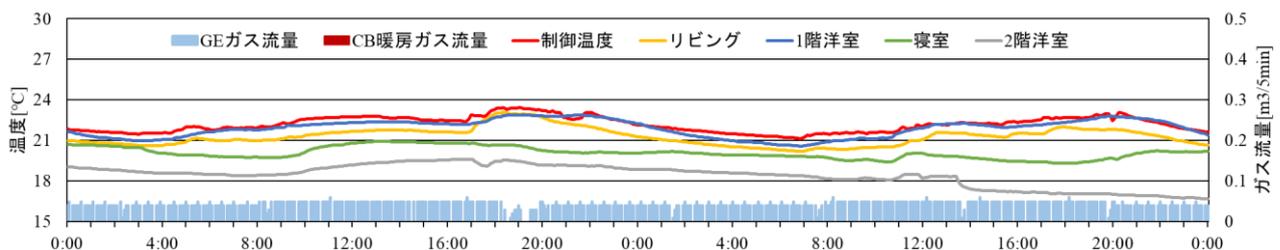


図-4 パターンD' 代表期間室温変動 (世帯1)

示す。2018年度は、スマートコントローラ (Smart Controller : SC) を用いて、実証住宅における室温変動許容制御・湿度補正制御の効果検証を行った。従来の暖房制御では室温が設定値に到達すると、パネルヒータ内の温水循環は止まるが、常にポンプは稼働し、暖房用の温水は循環し続けていた。次世代暖房制御では室温が設定値になると、循環ポンプの運転を停止するので、電力消費量を削減できる。したがって次世代暖房制御システムは、暖房とポンプ運転の効率化により従来制御に比べ更なる省エネルギー化が可能であると考えられる。また、2018年度試験におけるパターン毎の制御条件を表-1に示す。従来型 (パターンA) と次世代型 (パターンB~E) の5条件について緩寒期、寒期、厳寒期に実証住宅にて評価を行った結果、CBの発停回数が抑制され、快適な温熱環境を維持し、一次エネルギー消費の削減を実現した。そこで2019年度試験では、実住宅における、SCを用いた室温変動許容制御・湿度補正制御の効果検証を行う。

## 2. 実証試験概要

世帯情報を表-2に示す。札幌市内の実住宅8世帯で冬期(2019年11月~)に次世代暖房制御実証試験を行った。

2019年度制御条件を表-3に示す。2019年度は実住宅導入を考慮するためシステムの一般化を図り2018年度試験におけるパターンDは室温変動を許容した代表室温による一括制御(D')、パターンEは湿度を考慮した代表室温による一括制御(E')とし、パターンB、D'、E'の3条件について評価を行った。パターンE'は湿度を考慮した体感温度により暖房起動温度が変動する制御である。本研究では実使用を考慮するため居住者が自由に設定温度を変更できるものとした。

また、暖房制御時の室温変動の許容性検証を目的としてパターンB、D'、E'各々代表日に、居住者を対象とした主観申告評価を実施した。表-4に主観申告項目を示す。主観申告評価は、代表日に3回行い、人体生理量測定のため心拍数を24時間計測した。

## 3. 実証試験結果

### 3.1 各パターンの室温特性

試験経過として代表世帯(世帯1)の緩寒期代表期間パターンB(2019年11月30日~12月1日)、パターンD'(2019年12月18日~19日)における実測値を示す。図-3、図-4に代表期間の室温変動を示す。実住宅のため居

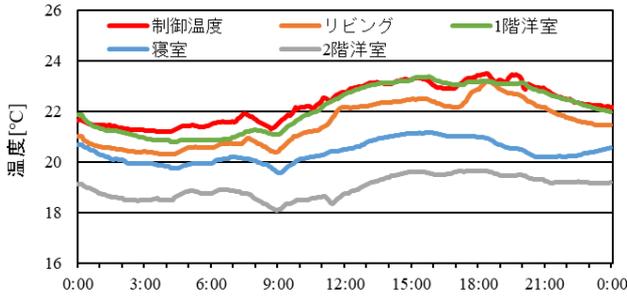


図-5 パターンB 代表日室温変動

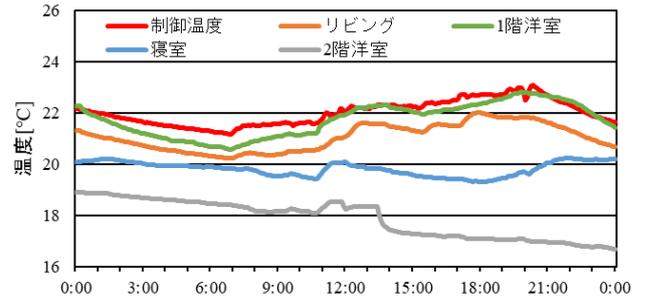


図-9 パターンD' 代表日室温変動

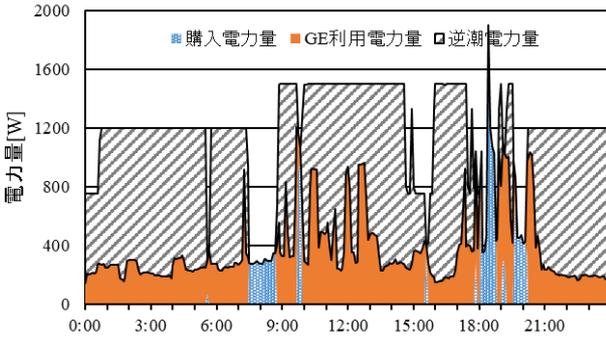


図-6 パターンB 代表日発電電力量

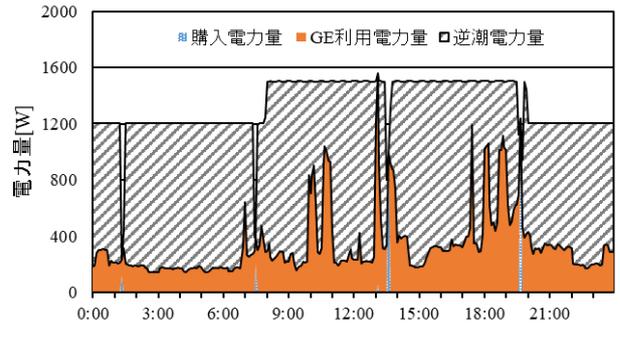


図-10 パターンD' 代表日発電電力量

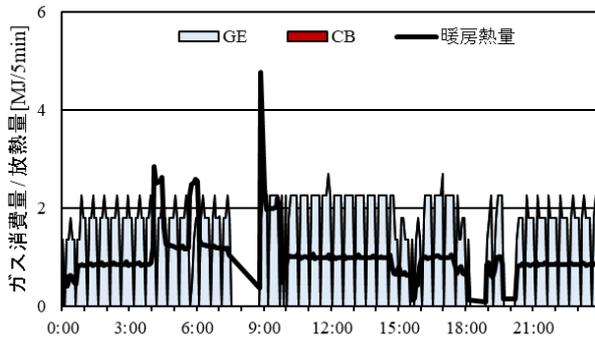


図-7 パターンB 代表日暖房熱量

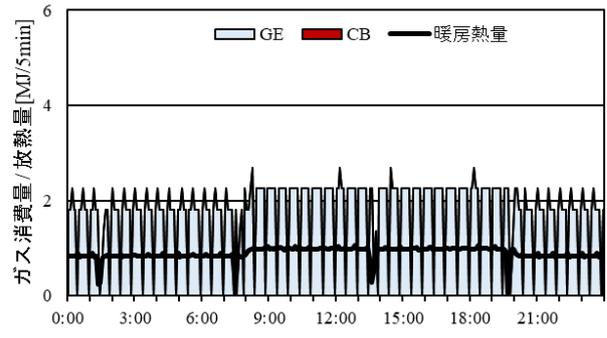


図-11 パターンD' 代表日暖房熱量

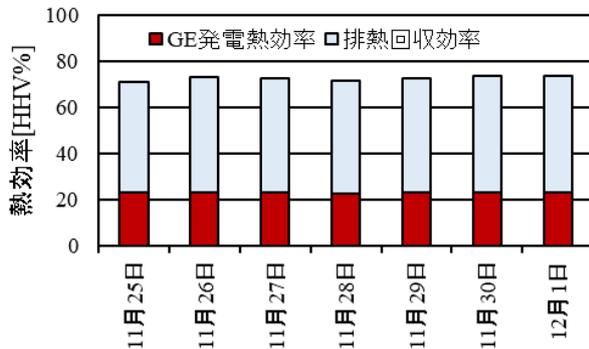


図-8 パターンB 代表週GE熱効率

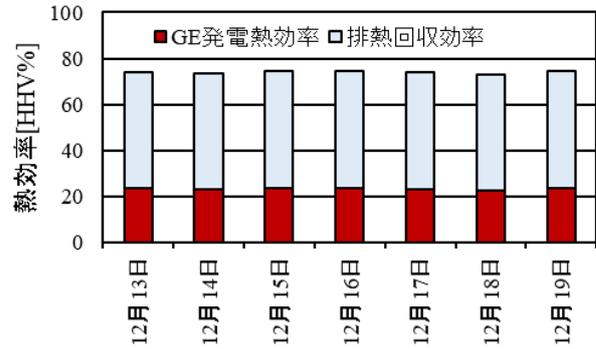


図-12 パターンD' 代表週GE熱効率

住者による暖房停止がパターンBで確認された。室温低下時にはCBが稼働しており、パターンB、D'共に概ね計画通りの運転をしていることを確認した。また、代表室温が1階のため2階の洋室、寝室で室温が1階よりも常に低い値を示した。

### 3.2 各パターンの省エネルギー性の検討

図-5、図-6、図-7、図-8に代表世帯(世帯1)におけるパターンBの代表日(2019年12月1日)室温変動、電力量、暖房熱量、代表週GE熱効率推移を示す。図-9、図-10、図-11、図-12にパターンD'の代表日(2019年12月

15日) 室温変動, 電力量, 暖房熱量, 代表週 GE 熱効率推移を示す. 居住者の在室時間が長く, 平均外気温が0°C付近を代表日とした. 電力負荷に対する GE 発電電力の割合はパターンBで82.7%, パターンD'では97.3%となった. 熱需要と共に GE の定格運転を確認し, 特にパターンD'で高い発電寄与率が示された. 代表日の暖房熱量はパターンBで265 MJ/day, パターンD'で259 MJ/dayとなった. 緩寒期に関して外気温は比較的高いため, 下限温度まで低下せず, 殆ど GE 排熱のみで暖房需要を賄うことを確認した. 代表週における GE 熱効率は安定した推移を示し, パターンBでは発電熱効率平均22.9HHV%, 排熱回収熱効率平均49.5HHV%, パターンD'では発電熱効率平均23.2HHV%, 排熱回収熱効率平均50.7HHV%となり, パターンD'で特に高い機器効率を示した. 暖房需要の増加により機器効率の更なる向上が示唆された.

図-13, 図-14 に代表世帯(世帯2)の緩寒期代表週パターンB(2019年11月12日~18日), パターンD'(2019年12月16日~22日)における平均外気温と一次エネルギー消費量推移を示す. 代表週平均外気温はパターンBで3.4°C, パターンD'で-0.11°Cとなり, 平均一次エネルギー消費量は逆潮電力量を考慮した場合, パターンBで363 MJ/day, パターンD'で395 MJ/dayとなった. 平均外気温が低いほど一次エネルギー消費量が増加する傾向を確認した. パターンD'ではパターンBよりもGE平均稼働時間が長く, 逆潮電力量が増加していた. 外気温が高い日に注目してパターンB, D'を比較するとパターンD'ではCBの一次エネルギー消費量が削減されていることがわかる. これは室温変動を許容したためにCB発停回数が減少し, 暖房効率が向上したためと考えられる.

### 3.3 温熱環境評価

各世帯パターンB, D'代表日における主観申告結果を図-15に示す. 人体生理量に関して, 心拍数は各パターンで正常な範囲を推移していた. 温冷感に関して, 各世帯平均はパターンB, D'共に-0.5~0.5の範囲に収まっており, 有意差は見られなかった. 総合快適感に関して, パターンB, D'共に快適側を示し, 次世代暖房制御が適正な温熱環境を維持していることが示された.

#### まとめ

- ・札幌市内実住宅における次世代暖房制御システムの実証試験を行い, 各条件における室温特性を示した. 概ね計画通りの運転を確認した.
- ・平均外気温が低いほど一次エネルギー消費量が増加する傾向を示した. 室温変動を許容した制御では, さらなる機器性能の向上効果が示唆された.
- ・次世代暖房制御時における主観申告結果を示した. 適正な温熱環境を維持していることを確認した.

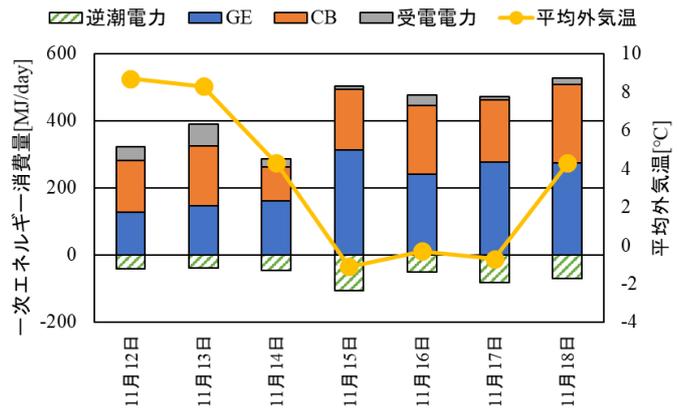


図-13 パターンB代表週一次エネルギー消費量

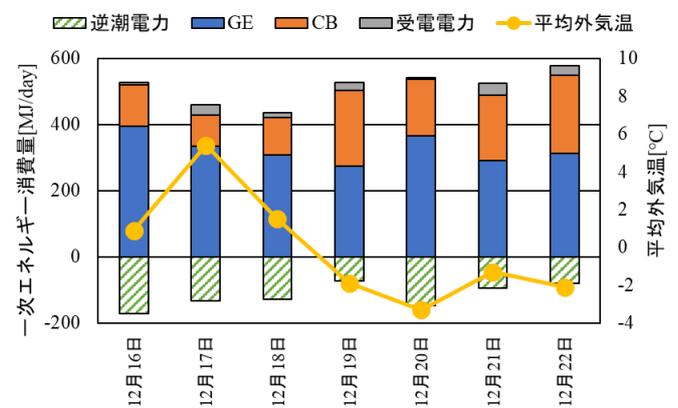


図-14 パターンD'代表週一次エネルギー消費量

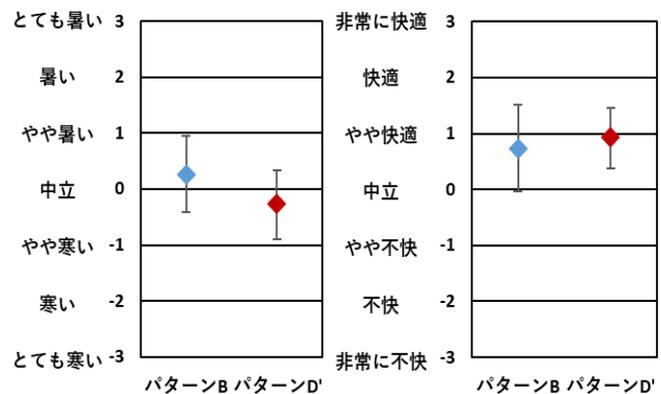


図-15 主観申告結果 (左: 温冷感 右: 快適感)

#### 参考文献

- 1) 経済産業省, 国土交通省; 告示第二号, (2009-1).
- 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: 寒冷地における家庭用熱電併給システムによる次世代暖房制御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(2018-2019)