

地中熱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10) 空調設備を含むモデル予測型 HEMS の CO<sub>2</sub> 排出量削減可能性  
 Study on smart community integrated with ground source heat pump  
 (Part 10) Possibility of CO<sub>2</sub> emission reduction of model prediction type HEMS  
 including air conditioning equipment

学生会員 ○周 佳 奕 (北海道大学) 正会員 長 野 克 則 (北海道大学)  
 学生会員 藤 井 健 斗 (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)

Jiayi ZHOU\*<sub>1</sub> Katsunori NAGANO\*<sub>1</sub> Kento FUJII\*<sub>1</sub> Hiroshi YAMAGUCHI\*<sub>1</sub> ZENG Yumin\*<sub>1</sub>  
 \*<sub>1</sub> Hokkaido University

This study adds an air conditioning system to the model predictive HEMS established in the previous Report No. 7 to discuss the possibility of reducing CO<sub>2</sub> emissions through the model predictive HEMS. To achieve these goals, the calculation method which has been developed in the previous Report No. 9 was used to maximize self-consumption of PV power generation and minimize power cost. Finally, the coldest day and the month of this day in 2019 were selected for calculation, and the results, including costs and CO<sub>2</sub> emissions, were compared with the basic system. Compared with the basic systems the operating costs can be reduced by 66% and the CO<sub>2</sub> emissions have also been reduced by 30%.

## 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10報である。既報第9報<sup>1)</sup>ではこれまでに構築してきたモデル予測型 HEMS の制御時間間隔を変更し、最適な制御間隔に関する検討を行った。しかしながら、第9報までの対象システムでは空調が考慮されていなかった。そこで本報では、モデル予測型 HEMS に空調システムを導入し、CO<sub>2</sub> 排出量削減の可能性を検証し、混合整数線形計画法（以下 MILP）で計算する。その際、ランニング CO<sub>2</sub> 排出量を評価指標とし、従来システムの CO<sub>2</sub> 排出量と比較する。

## 1. 空調設備を含むモデル予測型 HEMS

### 1.1 システムの概要

本研究で対象とした空調設備が導入されたシステムの概要図を図-1 に示す。太陽光発電モジュールとリチウムイオン電池の性能に関しては既報その9と同様とする。それらに加えて、空調負荷を処理するための空調用 ASHP (Air Source Heat Pump) を新たに導入した。空調用 ASHP の消費電力は太陽光発電モジュールや蓄電池から供給可能であり、最適な制御が 1.3 節で述べる混合整数線形計画法によって計算される。

### 1.2 従来システムについて

空調設備を含むモデル予測型 HEMS の効果検証のために、従来のシステムを考えた。従来システムモデルによると、給湯負荷および暖房負荷の熱源は都市ガスであり、空調システムと電気負荷の電気使用量だけ系統から電力を購入する。ガスボイラー性能については表 1 に示す。

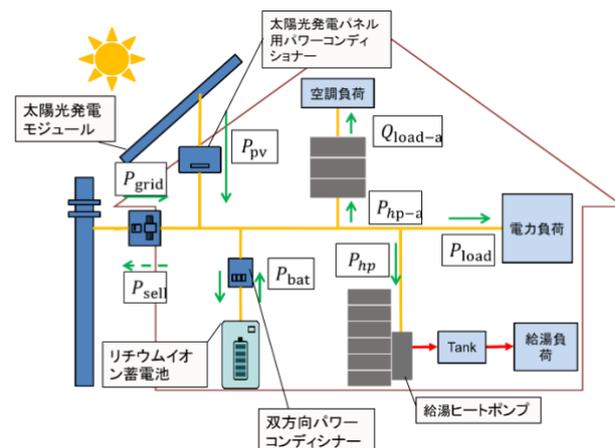


図-1 システムの概要図

表-1 ガスボイラー仕様

給湯能力	41.9kW
暖房能力	14.0kW
追っだし能力	9.88kW
給湯暖房効率	95 %

### 1.3 MILPによる最適化計算

第9報<sup>1)</sup>で述べられている混合整数線形計画法(以下 MILP)を用いて、電気料金を最小化する機器の運転方法を検討した。同時に、この運転方法での2つのシステムの CO<sub>2</sub> 排出量を比較した。HEMS に空調設備を追加したモデルを考えた。その空調設備の概要を表-2 に示す。既報の計算と比較して、ここでは 2 つの新しい変数  $P_{hp-a}(x_{12})$  と  $HP-aIndex(x_{13})$  を追加した。 $P_{hp-a}$  は空調設備の消費電力を計算するために使用され、 $HP-aIndex$  は

空調の運転指令フラグである。蓄電池の計算部分は第9報<sup>1)</sup>で述べたものと同じである。空調設備のCOPは式(1)で計算した<sup>2)3)</sup>。

$$COP_a = \frac{Qr'_T \times f'_{\theta_{rtd}} \times (1/qr_{max})}{f'_\theta(Qmr'_T)} \times e_{rtd} \quad (1)$$

ここで、 $Qr'_T$ は定格能力、 $f$ は入出力関数、 $\theta_{rtd}$ は外気温度、 $qr_{max}$ は定格能力に対する最大能力の比、 $Qmr'_T$ は最大能力 $q_{max}$ に対する補正処理負荷 $Q'_T$ の比、 $e_{rtd}$ は定格エネルギー消費効率である。

MILPの追加等式条件(空調HPの収支式)を式(2)に示す。

$$P_{hp-a} = Q_{hp-a}/COP_a \quad (2)$$

ここで、 $Q_{hp-a}$ は空調HP出力である。空調HP出力と空調負荷は同じ値である。

システムの収支式は式(3)に示した通りである。

$$P_{buy} + P_{batd} + P_{PV} = P_{sell} + P_{batc} + P_{HP} + P_{hp-a} + P_{load} \quad (3)$$

目的関数はランニングコスト最小化を採用し式(4)のように定義した。

$$J = \sum_{t=1}^m (Price_{buy,t} P_{buy,t} - Price_{sell,t} P_{sell,t}) \Delta t \quad (4)$$

表-2 追加空調設備 ASHP 仕様

	量数のめやす	能力(kW)	消費電力(W)
冷房	6~9畳(10~15㎡)	2.2	425
		0.6~3.4	105~805
暖房	6~7畳(10~15㎡)	2.5	465
		0.6~5.2	105~1480

## 2. 計算条件

北海道電力と北海道ガスが提供する参考値によると、小売電気事業におけるCO<sub>2</sub>排出係数は0.656 [kg-CO<sub>2</sub>/kWh]であり、都市ガス使用時のCO<sub>2</sub>排出係数は2.29 [kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>]である。気象庁が公開している実測データによると、2019年の最寒日は2月8日である。したがって、2月8日を基準日、2月を基準月として、モデルの計算と比較を行う。

従来システムのCO<sub>2</sub>排出量は、

$$CO_{2-j}[\text{kg}] = P_{load} * 0.656 + P_{gas} * 2.29 \quad (5)$$

である。

空調設備を含むシステムのCO<sub>2</sub>排出量は、

$$CO_{2-a}[\text{kg}] = P_{buy} * 0.656 \quad (6)$$

である。

## 3. 計算結果と考察とまとめ

基準日のMILP計算結果を図-2に示す。基準日従来システムの計算結果を表-3に示す。表-4にコスト及びCO<sub>2</sub>排出量の比較結果を示す。

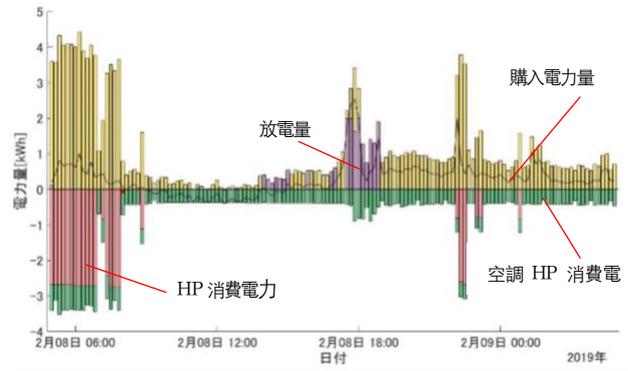


図-2 2月8日のMILP計算結果

表-3 2月8日従来システムの計算結果

従来システムの計算結果	
合計電気使用量[kWh]	10.6
合計ガス消費量[m <sup>3</sup> ]	5.3
合計電気料金	294
コスト合計[円]	1048

表-4 コストとCO<sub>2</sub>排出量の比較結果

	従来システム	空調設備を含むHEMS
1日	CO <sub>2</sub> 排出量[kg]	19
	コスト合計[円]	1048.2
1ヶ月	CO <sub>2</sub> 排出量[kg]	542.66
	コスト合計[円]	32584.812

空調設備を導入したシステムを混合整数線形計画法により最適化することで、2019年2月においてランニングコストを従来システムに対して66%削減できることが確認された。また、CO<sub>2</sub>排出量においても30%減少した。したがって、空調設備を含むモデル予測型HEMSのCO<sub>2</sub>排出量削減可能性がある。

## 参考文献

- 1) 山口大ほか: 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、空気調和衛生工学会北海道支部学術講演会論文集(2019)
- 2) 国立研究開発法人建築研究所: 平成28年省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能の評価に関する技術情報(住宅)
- 3) 細井昭憲ほか: 実測に基づくルームエアコンディショナのCOP算出方法(その2 ルームエアコンディショナの冷暖房COPおよびエネルギー消費量に関する研究)

## 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㈱の野川氏、大萱生氏、西村氏、北海道ガス㈱の武田氏、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。