

令和元年5月23日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04641

研究課題名(和文) 地中熱を核としたスマートコミュニティ

研究課題名(英文) Smart community with ground thermal systems

研究代表者

長野 克則 (Nagano, Katsunori)

北海道大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：80208032

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：太陽光等の自前の発電電力や系統からのグリーン電力など再生可能エネルギーを最大限に利用できる双方向HEMSによる蓄電池・ヒートポンプシステムの制御方法を開発し、実システムを自動で連続して稼働させることに成功した。このとき、入力する将来日射量データはGPV数値予報をAI手法により補正した値を用いる方法論も開発した。スマートコミュニティの都市規模への導入効果を評価するための仮想都市シミュレーションの開発を行い、再生可能エネルギーを最大限に利用するスマートコミュニティの導入手法の確立および導入効果の評価を行い、商用電力側の長周期変動を抑制できる協調方法とその効果について明らかとした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽光等の自前の発電電力や系統からのグリーン電力など再生可能エネルギーを最大限に利用できる双方向HEMS(住宅エネルギー管理システム)による蓄電池・ヒートポンプ給湯システムの御法を開発した。スマートコミュニティの都市規模への導入効果を評価するための仮想都市シミュレーションの研究開発を行い、地中熱を核としたスマートコミュニティの導入手法の確立および導入効果の評価を行うスマートエネルギーハウスについて、家電及び地中熱源ヒートポンプの電力供給を、非常に高い再エネ割合の電力で賄えるようになった。また、電力会社で問題となる電力の日較差の変動を抑制できる点に社会的な意義が見込まれる。

研究成果の概要(英文)：We have developed a model predictive HEMS which can maximize self-consumption of power generation from the photo voltaic panels and minimize utility cost in a smart house with photo voltaic system (PV) on the roof, a lithium-ion battery and a domestic hot-water heat pump unit with a hot water tank. The developed HEMS can calculate the optimum operating schedule to minimize the daily total utility cost by predicting the generated power and the effective storing the low price electricity in the mid night. Here, corrected information of GPV numerical weather forecast by the neural network method is applied for prediction of PV power generation. The effectiveness of this developed model predictive HEMS was verified both by numerical simulation through a year and by actual continuous experiments during several days in the laboratory.

研究分野：環境エネルギー工学

キーワード：HEMS 蓄電池 ヒートポンプ 運用最適化 電力平準化 遺伝的アルゴリズム 混合整数線形計画 ニューラルネットワーク

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

住宅において冷暖房・給湯需要に供する 60°C 以下の低温熱需要は全エネルギー需要量の約 60% に及ぶ。低温熱の供給は熱力学的にもヒートポンプの利用が最も理に適っており再生可能エネルギーによる発電電力を利用してヒートポンプの駆動とすればカーボンフリーな冷暖房・給湯が可能となる。しかし、電力需要・熱需要と発電には時間的なミスマッチがあるが電力と熱の蓄エネルギーにより対応可能となる。一方、これまでスマートコミュニティでは太陽光発電、蓄電池、電力需要といった電力のみのスマートグリッドを対象としていた。再生可能エネルギー割合の高い電力を利用する自律分散型システムの発展が期待されるが、今後は住宅や地域で消費する大量の熱を考慮して、再エネ由来のグリーン電力によるヒートポンプ、特に地中熱を熱源とするヒートポンプによる暖冷房、給湯への熱供給が効果的である。わが国でも環境省、経済産業省などの中央省庁に加え、数多くの地方自治体から導入支援制度が提供されている。

### 2. 研究の目的

太陽光等の自前の発電電力や系統からのグリーン電力を気象条件等の外的変化に逐次対応しながら、自然再生エネルギーを最大限に利用できる電力・熱需要計算、クラウド型双方向 HEMS(住宅エネルギー管理システム)による地中熱源ヒートポンプ暖冷房・給湯システムの次世代制御法、スマートコミュニティの都市規模への導入効果を評価するための仮想都市シミュレーションの研究開発を行い、「地中熱を核としたスマートコミュニティ」の導入手法の確立および導入効果の評価を行う。特徴は電力と熱の需要と供給の制御を対象としてエネルギーシステムの供給予測を伴う運用制御アルゴリズムによりスマートエネルギー住宅の冷暖房・給湯用ヒートポンプとリチウムイオン蓄電池の充放電を CO<sub>2</sub> 排出量やエネルギーコストの最小化目的の下で自動的に連続最適運転制御できる実システムを開発することである。また、この成果をスマートコミュニティへ展開し、地域規模で削減される CO<sub>2</sub> 排出量や電力の安定性を予想する。

### 3. 研究の方法

発電量が安定しない再生可能エネルギーを適切に利用するためには日射量の高精度な予測が必要不可欠である。気象庁ではスーパーコンピュータでの数値解析によって予測情報を発表しているが、未だ大きな誤差を含んでおりそのまま利用することは難しい。その誤差を補正(ガイダンス)するためにニューラルネットワークを利用して PV の発電量を予測し、住宅における日購入電力コスト最小化を目指しリチウムイオン蓄電池の充放電用双方向 PCS および給湯 ASHP の最適な運転スケジュールを求め制御するモデル予測型 HEMS を開発し、まず本システムを導入した場合の年間のコスト削減効果を推定した。加えて、構築した HEMS 実証試験設備を用いて自律型最適化運転の数日間にもわたる連続実験を行った。

太陽電池、双方向インバータ、リチウムポリマー蓄電池、電子負荷(家電及び地中熱ヒートポンプの負荷を再現)、システム制御装置などで構成される戸建て住宅向用のスマートエネルギーシステムを試作して、試験と解析を繰り返すことで研究結果を得た。

### 4. 研究成果

#### (1) PV の発電量の予測

発電量が安定しない再生可能エネルギーを適切に利用するためには、日射量の高精度な予測が必要不可欠である。気象庁ではスーパーコンピュータでの数値解析によって予測情報を発表しているが、未だ大きな誤差を含んでおりそのまま利用することは難しい。そこで、ニューラルネットワークを利用して誤差を補正した水平面全天日射量を利用して、24 時間先までの PV の発電量予測値の精度を高めようとした。ここでは、バニラ型 ANN、出力層からのフィードバックを受ける NARX-NN、隠れ層からのフィードバックを受ける LRN の 3 種類について誤差の補正の比較を行った。使用した教師データ、入力データは、表 1、表 2 に示すとおり、2017 年 12 月 5 日から 2018 年 12 月 4 日まで札幌管区気象台で測定された水平面全天日射量である。一方、入力データは GPV 数値予報データの日射量・気温・相対湿度・雲量(上中下)、大気圏外日射量である。その結果を図 1 に示す。NARX-NN による補正が最も RMSE が小さく、予測誤差が  $\pm\sigma$  の範囲内に収まる確率は約 72% となった。

表 1 NN に用いた教師データ

地域	札幌管区気象台(N43.06,E141.32)
期間	2017/12/5~2018/12/4
データ	水平面全天日射量(1/10)

表 2 NN に用いた入力データ

地域	札幌(N43.05,E141.3125)
期間	2017/12/5~2018/12/4
GPV数値予報	予測日射量(1/10)気温・
データ	相対湿度雲量(上・中・下・全の4要素)
計算値	大気圏外全天日射量(1/10)
データ数	8要素×8760時間分

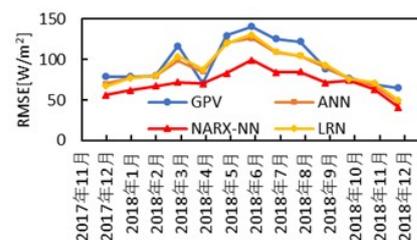


図 1 3 種類の NN による RMSE の比較

次に、このニューラルネットワークを利用した日射量予測値の修正を行い PV の発電量を予測し住宅における日購入電力コスト最小化を目指し、リチウムイオン蓄電池の充放電用双方向パ

ワーコンディショナーおよび給湯用ヒートポンプかならなるシステムについて、時間内の電力コストが最小となる1時間ごとの蓄電池の最適な充放電量と給湯用ヒートポンプによる最適沸し量の最適な運転スケジュールを混合整数線形計画法 (MILP) によって求めた。住宅内蓄電池・給湯 HP 運転最適制御の対象モデルを図 2 に示す。本最適化における設計変数は図 2 にあるように 8 変数であり、目的関数は電力料金の最小化とした (式(1))。PV 発電量・電力消費量・給湯消費量は定数として与える。線形計画法の特性より各変数は全て正の値をとる。充電量、放電量はそれぞれ、1 時間で蓄電池を満充電・全放電にする電力値以下とした。また、蓄電量は全容量の 15% から 85% の間で運用するとした。式(2)から(7)に制約条件を示す。式(2)は住宅内全体の電力収支、式(3)は、蓄電池容量に関する時間毎の収支を示したものである。式(4)で安全・長寿命運転を考慮し蓄電池を一日 1 サイクル以上使用しないように制限する。給湯 HP の消費電力と放熱量の関係を式(5)に示す。給湯 HP 運転時には、貯湯タンク下部より水をくみ上げ 65°C まで加熱し、タンク上部より戻す。給湯需要に応じて給湯する際には、タンク上部から湯をくみ上げ水道水と混合し、42°C の湯として給湯を行う。その際タンクからくみ上げた湯と同量の水道水をタンク下部に補充する。そのため、貯湯タンクの収支式はタンクの貫流熱損失も考えると式(6)のように表せる。この時タンク内の湯は完全混合であると仮定する。給湯 HP の COP 特性式は式(7)に示す。

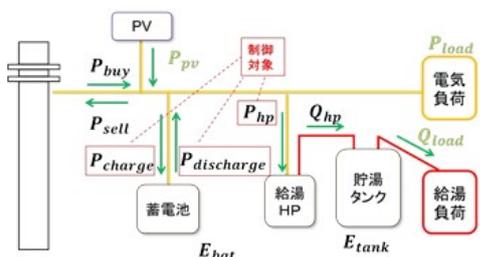


図 2 蓄電池・給湯 HP 最適制御の対象モデル

$$\begin{aligned}
 x_1 &= P_{buy} & x_2 &= P_{sell} & x_3 &= P_{cha} & x_4 &= P_{dch} \\
 x_5 &= E_{bat} & x_6 &= P_{hp} & x_7 &= Q_{hp} & x_8 &= E_{tank}
 \end{aligned}$$

$$J = \sum_i (\text{Price}_{buy,i} \times x_{1,i} \times \Delta t) \quad (1)$$

$$x_1 - x_2 - x_3 + x_4 - x_6 = P_{load} - P_{pv} \quad (2)$$

$$x_{5,i} = x_{5,i-1} + \epsilon_{pcs} \times x_{2,i} \times \Delta t - \frac{1}{(\epsilon_{pcs} \times \epsilon_{bat})} \times x_{4,i} \times \Delta t \quad (3)$$

$$\sum_i (x_{2,i}^+ \times \Delta t) \leq 0.7 \times E_{batmax} \quad (4)$$

$$x_6 = \frac{1}{COP_{hp}} \times x_7 \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 x_{8,i} &= \left( 1 - \frac{(65 - T_{out,i}) \times 2\pi K_{tank} r_{tank} l_{tank}}{E_{tank,max}} \right) x_{8,i-1} \\
 &+ x_{7,i} \times \Delta t - Q_{load,i} \times \Delta t \\
 &- (65 - T_{out,i}) \times K_{tank} \times \pi r_{tank}^2 \Delta t
 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 COP &= 5.442 + 0.065 \times T_{out} \\
 &- 0.029 \times T_{hp1} - 0.03 \times T_{hp2}
 \end{aligned} \quad (7)$$

日射量に修正した GPV データを使用した最適運転による月別電力コストの結果を図 3 に示す。補正後の日射量を使用するとき、GPV 数値予報データをそのまま使うのに比べて 2018 年 1 月電力料金は 1,854 円、率にして 27% の削減、年間では 57,961 円から 55,496 円と 2,465 円の削減が可能となる。完璧な予測精度を想定して、実測値を用いたときの効果を見ると、年間電力料金は 41,388 円、年間の自家消費率は 81.4 % の自家消費率となり、日射量の予測精度が改善されることにより年間 14,108 円の電力コスト、10.1 % の自家消費率が改善できることが示された。また、図 5 から電力買取価格が低い時間帯に集中して蓄電・蓄熱することで自動デマンドレスポンス(ADR)効果も得られることが示唆されている

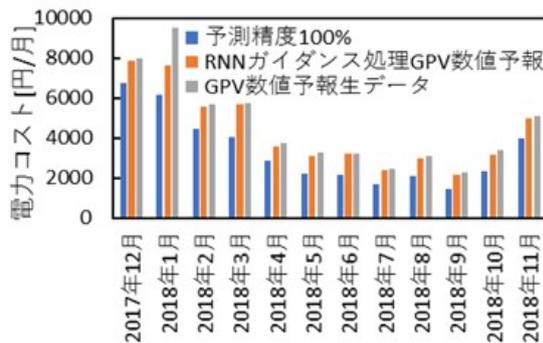


図 3 日射量に修正した GPV データを使用した最適運転による月別電力コスト比較

この最適運用システムを実際に HEMS 実証実験設備に導入し、連続運転試験実験を行った。実証実験設備を図 4 に示す。給湯ヒートポンプ消費電力とコンセント系統の模擬電力負荷は電子負荷装置を用いた。蓄電池の SOC-OCV 特性と MILP によって求めた充放電量から求めた充放電指令電流値を双方向パワーコンディショナーに送信して制御する。2019 年 1 月 29 日～1 月 30 日の予測値に基づく PV 発電量を元に最適計算にもり求めた運転スケジュールを図 5 に、そのスケジュールで運転を行った実験結果を図 6 に示す。表 3 は予測値と実績値の比較である。PV 発電量の予測が完璧にできたとした場合、自家消費率は 96.8 %、電力料金は一日で 43.7 円となる。しかし、実際には太陽光発電システムの発電量と予測値の誤差は RMSE で 765.1 W とかなり大きかった。そのため、自家消費率は 54.5 % にとどまった。先の完璧に予測できたと仮定した場合と比べて 42.3% 小さい。また、電力料金は 272.5 円と 228.8 円大きくなった。今後は補正

の精度向上が重要である。加えて自動的に最適計算を更新するシステム構築も欠かせない。

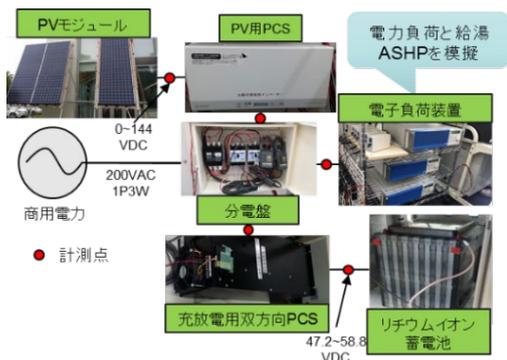


図 4 HEMS 実証実験設備の系統図

表 3 予測値と実績値の電力コストの比較

	実測値	予測値
自家消費率[%]	54.53	96.81
コスト[円/日]	272.37	43.70

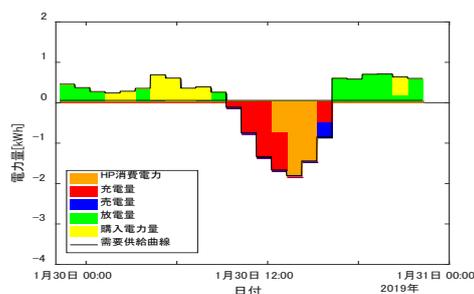


図 5 最適計算による運転スケジュール

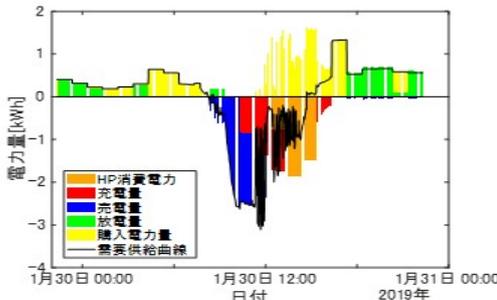


図 6 実際の HEMS の運転状況

## (2) 商用電力と協調したスマートコミュニティ用蓄電池の運用

気象条件に逐次対応しながら、再エネ電力を最大限に利用できるスマートコミュニティ用蓄電池の運用を遺伝的アルゴリズム (GA) により最適化する制御器を開発した。電力需要には年較差、月較差、日較差があるが、日較差を小さくすることができれば、電力システム全体の設備コスト及び供給コストが低減できるスマートハウス用エネルギーシステムを提案することができる。そこで、今後普及が予想される地中熱源ヒートポンプ、太陽光発電(PV)、商用電力を併用する住宅の蓄電池制御により、電力システム全体の日較差の低減を試みた。気象予測に基づく PV 出力の情報と GA を用いた数値解析により、日較差の最小化を目的とした蓄電池の 1 日の充放電計画を数値解析から明らかにし、さらに上で述べた充放電計画に基づいた電力実験を行った。電力実験で得られた知見と GA を用いた数値解析より電力需給の予測外れで生じる日較差の増加量についても調査した。

図 7 は蓄電池の運用最適化の結果例で、最適化前の提案システムの買電による日較差 (図中の最適化前の日較差) に対して、最適化した後の運用では日較差が大きく減少する (図中の最適化後)。また、本研究で開発した最適運用の解析方法では、気象データ (日射量) の予測外れを考慮した際に、日較差の誤差は最大 42% となったが、日によっては日較差の低下がほとんど見られない場合もあった。日射量の予測値と当日の実績値に大きな差が出た場合は、充放電計画を適時修正するなどの運用最適化のタイミングを工夫することで十分な効果が得られることが示唆された。

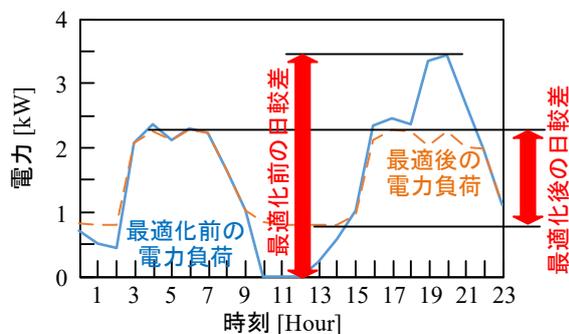


図 7 運用最適化による日較差の低減 (札幌市の 1 月代表日の例)

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

① [Shin`ya Obara](#), [Katsunori Nagano](#), Jorge Morel, Takao Katsura, Yoshitaka Sakata, Kazushige Kikuta, A microgrid comprising an interconnected solid oxide fuel cell and hydraulic generator for use in a sustainable city, JSME Mechanical Engineering Journal, 査読有, 4, 2017, 1-15.

DOI:10.1299/mej.16-00469

② [Shinya Obara](#), [Katsunori Nagano](#), Masaki Okada, Energy, Facilities introduction planning of a microgrid with CO<sub>2</sub> heat pump heating for cold regions, , 査読有, 158, 2017, 1016-1025.

DOI:10.1016/j.energy.2017.06.154

③ [Shin`ya Obara](#), [Katsunori Nagano](#), Jorge Morel, Takao Katsura, Yoshitaka Sakata, Kazushige Kikuta, A microgrid comprising an interconnected solid oxide fuel cell and hydraulic generator for use in a sustainable city, JSME Mechanical Engineering Journal, Environment & Engineering for Advanced Sustainable Cities, 査読有, 4, 2017, 16-00469-16-00469. DOI:10.1299/mej.16-00469

〔学会発表〕（計 31 件、国際学会 6 件、国内学会 25 件）

(1) 国際学会（6 件）

- ① Takuma Hirasawa, Shin'ya Obara, Battery Control System, Proceedings of the 5th International Conference on Renewable Energy Technologies (ICRET 2019), 2019, Seoul.
- ② Takuma Hirasawa, Shin'ya Obara, Katsunori Nagano, Tomoaki Murakami, Osamu Kawae, Aya Togashi, Development of an Optimum Operation Algorithm for Smart House with Storage Battery Control Based on Demonstration Tests, Proceedings of IEEE Electrical Power and Energy Conference 2018, ES05, 2018, Toronto.
- ③ Shun Aizawa, Shin'ya Obara, Katsuaki Sato, Yuta Uemura, Jorge Morel, Katsunori Nagano, Takao Katsura, Yoshitaka Sakata, Storage-of-electricity or electric discharge operation planning of the bidirectional inverter for smart houses. The International Conference on Electrical Engineering 2017, IEEE International Conference on Electrical Engineering, 2017, Weihai.
- ④ Shun Aizawa, Shin'ya Obara, Development of Optimum Operation Algorithm of Smart Energy House with Storage Battery Prediction Control Based on Load Leveling. International Conference on Mechanical, Aeronautical and Industrial Engineering, 2017, Paris.
- ⑤ Yuji Ito, Shin'ya Obara, Masaki Okada, A study on the renewable energy facilities planning with a large area connection of Hokkaido power grid, International Conference on Power and Energy Engineering, 2016, London.
- ⑥ Yuji Ito, Shin'ya Obara, A Study on Installation Planning for Interconnected Renewable Energy Facilities in Hokkaido, Japan. IEEE Asia Pacific Power and Energy Engineering Conference, 2016, Xi'an.

(2) 国内学会（25 件）

- ① 長野克則, 小原伸哉, 葛 隆生, 中村真人, 阪田義隆, 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 5 AI 手法による日射量予測を用いたモデル予測型 HEMS の開発と実証, 平成 31 年度空気調和・衛生工学会大会, 2019, 札幌.
- ② 富樫愛采, 川江修, 小原伸哉, HEMS の最適化を目的とした LSTM による局地的な日射量予測プログラムの作成, 平成 31 年度電気学会全国大会, 2019, 札幌.
- ③ 中島彰栄, 長野克則, 葛 隆生, 中村真人, 阪田義隆, 小原伸哉, 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 7 実証実験設備への最適運用制御システムの組み込みと実証運転結果. 空気調和・衛生工学会北海道支部第 53 回学術講演会, 2019. 3, 札幌.
- ④ 中島彰栄, 長野克則, 葛 隆生, 中村真人, 阪田義隆, 小原伸哉, 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 8 最適制御 HEMS 導入の年間シミュレーション結果, 空気調和・衛生工学会北海道支部第 53 回学術講演会, 2019. 3, 札幌.
- ⑤ 平澤拓磨, 小原伸哉, 長野克則, 川江修, 富樫愛采, 商用系統の日較差低減を目指した蓄電池制御を伴う HEMS での日射量予測誤差の影響, 平成 31 年度電気学会全国大会, 2019. 3, 札幌.
- ⑥ 平澤拓磨, 小原伸哉, 長野克則, 川江修, 富樫愛采, 商用系統の日較差の低減を目指した広域スマートグリッド用蓄電制御, 第 53 回空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会, 2019.3, 札幌.
- ⑦ 平澤拓磨, 小原伸哉, 長野克則, 川江修, 富樫愛采, 村上友章, 相澤峻, 日射量予測情報に基づいた蓄電制御システムに関する研究, 日本機械学会熱工学コンファレンス 2018, 2018. 10, 富山
- ⑧ 藤井健斗, 長野克則, 葛隆生, 阪田義隆, 中村真人, 中島彰栄. 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 3 簡易機器制御を導入した場合の効果検証, 平成 30 年度空気調和・衛生工学会大会, 2018. 9, 名古屋.
- ⑨ 中島彰栄・藤井健斗, 長野克則・中村真人, 葛隆生, 阪田義隆, 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 4 自律制御型 HEMS の開発と効果検証, 平成 30 年度空気調和・衛生工学会大会, 2018.9, 名古屋.
- ⑩ 平澤拓磨, 小原伸哉, 長野克則, 川江修, 富樫愛采, 電力需給の日格差の低減を目指した蓄電制御システムに関する研究, 平成 30 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2018.9, 札幌.
- ⑪ 平澤拓磨, 小原伸哉, 長野克則, 川江修, 富樫愛采, 相澤峻, 村上友章, 日射量予測情報に基づくスマートハウス用蓄電池制御に関する研究, 日本機械学 2018 年度年次大会, 2018.9, 吹田.
- ⑫ 藤井健人, 村上友章, 中島彰栄, 長野克則, 中村真人, 葛 隆生, 阪田義隆, 小原伸哉, 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 3 簡易機器制御を導入した場合の効果検証, 空気調和・衛生工学会北海道支部第 52 回学術講演会, 2018.3, 札幌.
- ⑬ 村上友章, 長野克則, 葛 隆生, 阪田義隆, 中村真人, 小原伸哉, 中島彰栄, 藤井健人, 川江修, 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 4 気象予測と線形計画法を用いた最適化計算を取り入れた高速最適運用システムの開発, 空気調和・衛生工学会北海道支部第 52 回学術講演会, 2018.3, 札幌.
- ⑭ 村上友章, 長野克則, 葛 隆生, 阪田義隆, 中村真人, 小原伸哉, 中島彰栄, 藤井健人, 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 5 実証実験設備への最適運用制御システムの組み込みと実証運転結果, 空気調和・衛生工学会北海道支部第 52 回学術講演会, 2018.3, 札幌.
- ⑮ 中島彰栄, 村上友章, 長野克則, 中村真人, 葛 隆生, 阪田義隆, 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6 最適制御 HEMS 導入の年間シミュレーション, 空気調和・衛生工学会北海道支部第 52 回学術講演会, 2018.3, 札幌.

⑯ 中島彰栄, 長野克則, 葛 隆生, 中村真人, 阪田義隆, 小原伸哉, 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1 スマートハウスにおける太陽光発電連携型リチウムイオン蓄電池の充放電の最適化に関する検討, 平成 29 年度空気調和・衛生工学会大会, 2017.9, 高知.

⑰ 村上友章, 長野克則, 葛 隆生, 中村真人, 阪田義隆, 小原伸哉, 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2 スマートハウスにおけるエネルギー需給システム運用最適化の検討, 平成 29 年度空気調和・衛生工学会大会, 2017.9, 高知.

⑱ 相澤峻, 小原伸哉, 佐藤克彰, 植村勇太, モレル・ホルヘ, 長野克則, 葛劉生, 阪田義隆, 蓄電池予測制御を伴うスマートハウスの最適運用に関する研究, 第 27 回環境工学総合シンポジウム 2017, 2017.7, 浜松.

⑲ 相澤峻, 小原伸哉, 佐藤克彰, 植村勇太, モレル・ホルヘ, 長野克則, 葛隆生, 阪田義隆, 双方向インバータを用いた蓄電池制御を伴うスマートエネルギーハウス運用最適アルゴリズムの開発に関する研究, 日本機械学会北海道支部 (2017 年度) 第 55 回講演会, 2017.9, 釧路.

⑳ 相澤峻, 小原伸哉, 佐藤克彰, 植村勇太, モレル・ホルヘ, 長野克則, 葛隆生, 阪田義隆, 双方向インバータを用いたスマートハウスの経済運用に関する研究, 第 22 回動力・エネルギー技術シンポジウム, 2017.6, 豊橋.

㉑ 相澤峻, 小原伸哉, 佐藤克彰, 植村勇太, モレル・ホルヘ, 長野克則, 葛隆生, 阪田義隆, 蓄電池制御を伴うスマートエネルギーハウスの最適運用に関する研究, 第 51 回空気調和・冷凍連合講演会, 2017.4, 東京.

㉒ 相澤峻, 小原伸哉, 佐藤克彰, 植村勇太, モレル・ホルヘ, 長野克則, 葛隆生, 阪田義隆, 蓄電池制御によるスマートエネルギーハウス運用最適アルゴリズムの開発, 平成 29 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2017.10, 函館.

㉓ 村上友章, 中島彰栄, 藤井健人, 長野克則, 中村真人, 葛 隆生, 阪田義隆, 小原伸哉, 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1 スマートハウス実証実験施設の構築, 空気調和・衛生工学会北海道支部第 51 回学術講演会, 2017.3, 札幌.

㉔ 中島彰栄, 長野克則, 葛 隆生, 中村真人, 阪田義隆, 小原伸哉, 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2 スマートハウスにおける太陽光発電連携型リチウムイオン蓄電池の充放電の最適化に関する検討, 空気調和・衛生工学会北海道支部第 51 回学術講演会, 2017.3, 札幌.

㉕ 相澤峻, 小原伸哉, 佐藤克彰, 植村勇太, モレル・ホルヘ, 長野克則, 葛隆生, 阪田義隆, 蓄電池の予測制御を伴うエネルギースマートハウスの運用計画, 空気調和・衛生工学会北海道支部第 51 回学術講演会, 2017.3, 札幌.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

北海道大学大学院工学研究院 長野研究室, <http://labs.eng.hokudai.ac.jp/labo/envsys/research.html>

北見工業大学工学部 小原研究室, <http://www.kit-power-engineering-lab.jp/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 小原 伸哉

ローマ字氏名: Shin'ya Obara

所属研究機関名: 北見工業大学

部局名: 工学部

職名: 教授

研究者番号 (8 桁): 10342437

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。