様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　２ 年　 ６ 月 １８ 日現在

機関番号：２３２０１

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：１７Ｋ０１２６２

研究課題名（和文）自律分散型電力ネットワークの深層学習による電力マネジメント則の開発

研究課題名（英文）Development of control policies for decentralized energy networks by deep learning techniques

研究代表者

榊原　一紀（Sakakibara, Kazutoshi）

富山県立大学・工学部・准教授

研究者番号：３０３８８１１０

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,000,000円

研究成果の概要（和文）：大規模施設での空調機の効率的運用による省エネルギー化をとりあげ，リアルタイム性を有する電力マネジメント則を機械学習を用いて実現した．これは，逐次計画を（新たに先の意思決定を取り込みながら）作り直すモデル予測制御のアイデアに基づく．モデル予測制御の枠組みに，不確実性を伴う熱需要の統計性を反映するために，モデル予測制御における最適化モデルを機械学習モデルに置き換える．
様々な気候や施設の利用状況を踏まえた熱需要パターンを事前に十分数用意しておき，それら熱需要パターンごとに最適化モデルをあらかじめ求解しておく．熱需要パターンと得られた最適解をそれぞれ入力および教師として機械学習モデルを学習させる．

研究成果の学術的意義や社会的意義
複数の空調機の協調的運用が求められるような大規模施設における高効率なエネルギーマネジメント則を分単位でリアルタイムに作成することが可能となる．このとき，外部環境や消費パターンを学習・予測することにより，適切な電力融通を決定することで高効率な電力利用を実現するための機械学習手法が実現された．
このとき機械学習アルゴリズムを設計する前提として，数理最適化手法により生成された最適化結果群を直接機械学習手法の教師データとする点が特長である．一般に数理計画手法は計算負荷が大きくオンライン性に乏しいが，機械学習の学習用に用いることで，その精度を保持しつつ，オンライン性を生むことができる．

研究成果の概要（英文）：Efficient control of air-conditioning systems in large facilities is focused on, and realtime management policies of them is acquired by introducing machine learning techniques. This idea is based on model predictive control which makes decision in sequence by optimizing planning problems for a certain period. In order to reflect the statistical patterns of thermal demands to the management policies, the optimization model of model predictive control is replaced with an artificial neural network model.
The supervisory signals for the artificial neural network are acquired in advance by solving the optimization model under various situations of not only thermal demands but also weather conditions. Once the artificial neural network is trained by using them, it is possible to make semi-optimal decisions reflecting future demands in a real-time manner.

研究分野：システム最適化

キーワード：エネルギーマネジメント　混合整数計画　機械学習

※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。

1　研究開始当初の背景

電気やガスなどのエネルギー・インフラを，地域やコミュニティ全体として効率的に運用し，省エネルギー化を目指す取り組みが，社会の様々な局面で検討されている．とくに近年の特徴として，比較的小さなコミュニティ内にてエネルギーを生成・供給・消費する自律分散型方式が，太陽光発電や水素燃料，あるいは蓄電池などの新たな要素技術の発展に伴い，注目されている．これまでにも，電力供給に主眼を置くものとして，再生可能エネルギーの有効活用に向けた電力ネットワークのスマート化を背景に，太陽光に代表される再生可能エネルギー利用の効率化技術，供給安定化のための蓄電技術，系統 (電力会社) からの電力購入量削減のための融通技術など，要素技術開発ならびに実証実験が盛んに行われてきている．一方，需要側に目を向けると，家庭やオフィスのエネルギー需要の大半は空調や給湯などの熱需要が占めていることに注目し，この熱需要を熱の融通で賄う熱版のスマートグリッド (サーマルグリッド) が提案されている．これは，熱需要に応じて，複数の建物間にまたがって空調機を直列または並列に接続することにより，熱の供給源である熱源機の効率運転を狙うものである．

エネルギー需給全体を大規模・複雑システムとして捉えるだけではなく，システム内に必然的に存在する人 (需要家) の振る舞いや，システムを取り巻く自然・経済・社会環境 (日射量，風量などの再生可能エネルギー源など) との相互作用をも陽にモデル化し，全体的な挙動がシステム要素の振る舞いを何らかの形で拘束するという捉え方をしない限り，全体としての異種分散型エネルギーシステムの有用性の議論はできない．

他方で，統計数理を応用した機械学習技術とビックデータに代表されるデータ管理技術の進展により，太陽光発電 (すなわち天候) の長期に渡る高精度の予測が利用可能になりつつある．これらを効果的に援用するために，数理モデリングやマルチエージェント・シミュレーション，最適化技法を組み合わせた新たなシステム設計が重要となる．

2　研究の目的

電力マネジメント・システムは機械学習の適用を前提とする．機械学習にはリファレンス（教師）となる最適化結果が必要となるため，システム全体は (1) 事前学習データ生成部と (2) リアルタイム運用部から構成される．以下では，両者について個別の目的を示す．

(1) 確率計画に基づく自律分散型発電・消費ネットワークの最適化モデルの開発

太陽光発電を基本とする発電家 (でありかつ需要家) が自律分散的な電力取引を行うネットワークを構成した際に，全系での最適な電力受給条件を導出可能な最適化モデルを構築する．申請者らは既に過去の研究において，現実的な問題設定として将来に渡る発電量や消費量が定数として与えられた数理計画モデルを開発している．本研究はさらにこれらの定数が誤差を伴う予測値として与えられた際の最適な電力ルーティング（分単位; バッテリの充放電計画）を確率計画法により導出する．その際には，季節変化や電力需給者の行動様式を考慮し，年レベルでの計画を導出することを試みる．

(2) 機械学習に基づくエネルギー・マネジメント則の開発

リアルタイム性を有する電力マネジメント則を機械学習法により具現化する．対象として，大規模施設での空調機の効率的運用による省エネルギー化を取り上げる．背景として，例えばオフィスビルにおいては一次エネルギーの消費割合のうち空調機が約 4 割を占めるなど，その省エネルギー化が重要視される一方で，空調機器自体の性能向上はおおよそ頭打ちの傾向を示す状況にある．そこで空調機で生成された熱を空間的・時間的に共有することが肝要となり，その実現にあたっては利用者の活動状況の把握とそれを踏まえた運用計画の最適化が鍵となってくる．

大規模施設における空調の特徴としては，

(A) 熱量投入から目標温度に至るまでの時間遅延

(B) 熱需要が外気温や滞在人数などの建物内外の状況に依存

が挙げられる．(A) はリアルタイムな制御の困難さを意味し，事前に作成する (熱量投入) 計画の質が省エネルギー化に大きな影響を与える．一方 (B) は，この事前計画を作成するに当たって条件となりうる属性が，必ずしも入手可能ではないことを意味する．つまり運用レベルで省エネルギー化を実現するにあたっては，外気温および室内の滞在人数の予測と，それを踏まえた熱量投入計画の作成が肝要となる．本研究では，夏季での冷房を対象に議論を進める．

空調機器は冷温水によって必要な熱量が送られる．冷房を行う場合，熱源機で冷温水を冷却し，ポンプで配管を通して空調機に送られ，空調機の動作で冷温水が暖められることで実現される．更に，用いられた冷温水を熱源機で再び冷

やして用いるといったカスケード利用が行われる．このとき，複数の施設に設置された空調機及び熱源機を配管で結ぶことにより，各建物の熱需要に応じて協調的に運用する方式が考えられる．これにより，ある建物の熱需要に対しても，他の建物の熱源機出力を充当することが可能となり，自由度の高い運用計画を得られ，結果として複合施設全体での投入エネルギーの削減の可能性が生まれる．以上のような方式はサーマルグリッドと呼ばれる．

サーマルグリッドはスマートグリッドと似通った発想に基づき，対象を電力ではなく熱としたものと捉えられる．スマートグリッドは多くの概念を含むものの，複数の電力の供給側・需要側の双方の状態を把握して最適な送電を可能とする送電網と考えた場合，この送電網はネットワークとして表現できる．同様に，空調システムでも各建物の空調機器を配管とポンプでつなぐことで，複数の熱の供給・需要を持つネットワークとして表現できる．多くの既存の空調機器のシステムでは，1 つの建物に対し 1 つの熱源機で熱を供給しているのに対し，サーマルグリッドではこのネットワークから，高効率な熱源機の優先利用による複数の空調機への熱の供給を行う．これにより複合施設全体での投入エネルギーの削減が可能となる．また，将来的な熱負荷を予測した下で熱生成と空調出力によるさらなる効率化も見込まれる．そのためには，一定期間にわたる空調機器の運用計画の最適化が必須となる．

3　研究の方法

(1) 確率計画に基づく自律分散型発電・消費ネットワークの最適化モデルの開発

自律分散型の電力ネットワークとして，各家庭に分散して太陽光発電機器や蓄電池が配置され，ネットワークを通じて互いに電力の融通もできるとき，発電した電力を無駄なく有効に利用するための蓄電・融通・買電計画を考えた．そこでは，最適化対象期間における各家庭での発電や消費の時系列は予め既知とした上で，系統電力への依存度として買電量を最小化する運用を，線形計画モデルとして定式化し求解した．しかし，天候に左右される太陽光発電では発電量は不確実であり，消費も予め決められた値で運用するのは現実的ではない．そこで，発電や消費の不確実性を考慮した買電量最小化の数理計画法を考える．

数理計画問題において，何らかのパラメータがある既知の確率分布に従う確率変数だとし，その確率分布を考慮して最適性を考えるのが確率計画法である．確率変数の取りうる値の範囲にのみ着目し，その中で起こりうる最悪の場合に注目して最適性を考えるロバスト最適化とは，その点で対照的である．確率計画法はさらに，リコース（償還請求）を有する二段階確率計画問題と確率的制約条件問題の二つの数理モデルに大別される．確率的制約条件問題では，ロバスト最適化法では禁じる制約条件をある意味で拡張，あるいは緩和し，ある確率水準（充足水準）で制約条件が満たされればよいとする確率的制約条件を導入する．それに対して二段階確率計画問題では，制約が満たされない度合いを，違反量を表すリコース変数，あるいは，それに応じて発生する追加コストやペナルティで表現し，その期待値の大きさを問題にする．そのため，リコースコストを最小化する（リコース変数を求める）計算と，決定論的モデルで考えた際の最小化指標である目的関数値を最小化する（決定変数を求める）計算の二段階の数理計画問題として表される．

買電と蓄電計画に基づく系統買電量の最小化を考える本課題において，制約違反とは，予測値に基づく運用計画に対して発電不足あるいは消費過剰が原因となり，電力が不足することに対応する．その場合，ここでは系統電力からの買電や蓄電池からの放電で対応できるものとし，それに伴う追加コストやペナルティは，追加で買電した電気料金と考える．逆に，電力過剰となる制約違反の場合は，純粋に無駄電力として捨てるものとしてペナルティは考えないことにする．以上より本課題に対して，不確実性を考慮する方法として，絶対に制約違反を許さないロバスト最適化や，制約違反を犯す確率あるいは頻度を指標とするのではなく，追加コストを指標とする二段階確率計画法を用いる．

(2) 機械学習に基づく充放電マネジメント則の開発

サーマルグリッドの挙動を表す数理計画モデルを作成し，その最適運用を導出することを可能とする．このとき，空調計画そのものはその対象期間が陽に与えられていない一方で，モデルには有限の計画期間を設定する必要があり，主に最適化に要する計算時間によって定まる．さらに熱需要は室内外の負荷により求まるため，これらを計画立案時 (すなわち事前) に精度よく与えることは難しい．これらの特徴を有する最適化問題に対しては，ローリング計画 (Rolling horizon procedure) やモデル予測制御 (Model predictive control) といった，時間軸に沿って逐次的に計画をつくり直すアプローチが考えられる．

図 1-(a) および (b) にこれらの意思決定および決定実行のタイミングの関係を示す．図中の (□) は，**??**節に登場する変数一つひとつに対応している．(a) では，あらかじめ計画を立てた (つまりある期間に対する決定列を定めた) 上で，それをそのまま実行している一方で，(b) では計画を実行しながら，逐次計画を (新たに先の意思決定を取り込みながら) 作り直す．数理計画をベースにする場合，計画立案と決定実行のタイミングの関係から，一部の変数 (時間軸上で後方にある変数) に関わる制約を緩和することにより，ローリング計画における各繰り返しでの最適化に要する計算量を削減するアイデアがあり (緩和固定法 (Relax-and-fix heuristics) と呼ぶ)，物流計画への応用などが報告されている．

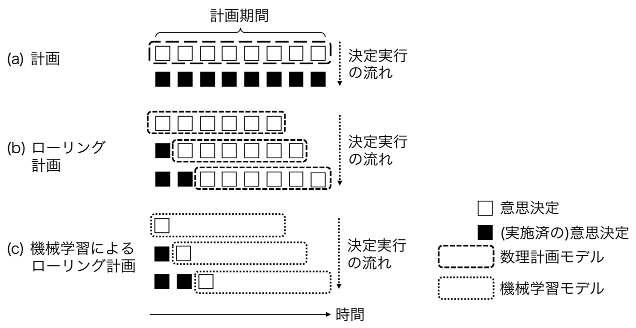

図 1: 意思決定と実行のタイミング

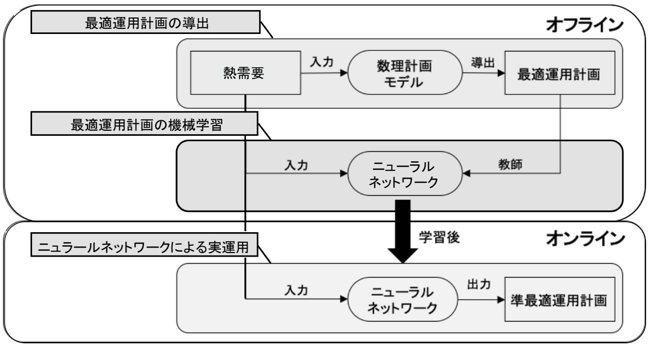

図 2: 機械学習とその利用

本研究が対象とする空調システムにおいても，緩和固定法などの適用が可能な一方で，不確実性を伴う熱需要パラメータに何かしらの規則性 (統計性) があれば，これを最適化プロセスに組み込むことが望まれる．しかしローリング計画は，各繰り返しのタイミングでパラメータの実現値に基づき最適化問題を解き直しているに過ぎず，モデルパラメータの統計性を明示的に組み込むことができない．そこでローリング計画の枠組みにパラメータの統計性を反映するために，機械学習を組み込む (図 1-(c)) ことを考える．

具体的には，ローリング計画における最適化モデル (図中 (b) の破線) を機械学習モデルに置き換える．様々な気候や施設の利用状況を踏まえた熱需要パターンを事前に十分数用意しておき，それら熱需要パターンごとに最適化モデル (図 1-(a)) を求解する．熱需要パターン (パラメータ実現値) と得られた最適解をそれぞれ入力および教師として機械学習モデル (図中 (c) の破線) を獲得する．ここで (b) のローリング計画を適用するにあたっては，計画期間内の全ての熱需要 (の予測) を明示的に与える必要があるのに対して，機械学習モデルではその必要はなく，意思決定対象となる期前後の情報を入力すればよいことになる．つまり計画期間内の熱需要予測は，(適切な学習が達成されれば) 機械学習により獲得されたモデルに埋めこまれることとなる．

機械学習モデルとして本研究ではニューラルネットワーク (Neural network) を採用する．本研究で採用するネットワークは階層的な構造をとり，誤差逆伝搬法により重みパラメータを獲得する．出力データが教師データに近づくように，ノード間の結合の重みパラメータを繰り返し修正することで学習を実現している．図 2 に機械学習モデルの獲得の流れを示す．学習済みのニューラルネットワークにより，数理計画に比べて極めて短時間での意思決定がなされるため，結果としてオンライン意思決定が可能となる．さらには，モバイルデバイス等での運用などのエッジコンピューティングにも応用が広がる．

4　研究成果

(1) 確率計画に基づく自律分散型発電・消費ネットワークの最適化モデルの開発

最適化対象期間における発電量や消費量が，確率分布が分かる確率変数として扱える場合には，確率計画法により期待値の最適化が実現できるが，電力運用計画において，蓄電池に対する充放電リコースも含めて扱う方法を示した．連続な確率分布も，離散近似により線形計画法として求解ができる．スマートハウスなどの単一組織での買電・蓄電計画，および，複数家庭などが相互融通をする場合の買電・蓄電・融通計画として，数値実験を行い，その有効性を示した．今回は対象期間に亘るシナリオに対して確率を考えたが，現実には運用が進むにつれシナリオが限定されてくる．それ

に応じて，シナリオや確率を更新し精度を上げることも考えられる．

また，融通ネットワークでの最適化では，全体最適と個別最適の関連も検討し，2 軒間での融通例で，両者が一致する融通価格設定を示した．より一般的な枠組みでの理論的基盤の構築が今後の課題である．

(2) 機械学習に基づく充放電マネジメント則の開発

サーマルグリッドにおける運用計画作成では，複数パターンでの温度設定で数理計画での運用計画の最適化を行った．導出された運用計画では，高効率な熱源機の優先運用が行われていることが確認できた．次に運用計画の機械学習を行った．一部のパターンにおいて目標温度との誤差の許容範囲を超えた運用となり，評価ができなかったが，それ以外では最適評価値との誤差が小さく，準最適な運用計画の出力が可能だと分かった．どちらの機械学習でも実測値，最適値との誤差を小さく抑えれたので，本研究の手法による効率的システムの実装の可能性はあると考えられる．

運用計画の作成においては，急激に変動する目標温度の設定に対して精度が悪く，一部のデータでは制約を守れず評価できなかった．しかし，学習モデルの改善を進めたとしても本研究のような回帰問題において，誤差は完全になくすことはほぼ不可能と考えられ，小さな誤差でも制約を守れない場合がある．そのため本研究では制約を満たす最小値の出力ができなかった．そこで学習済みモデルの出力に，制約に応じた最小値を設定するフィルターを作成する方法が考えられる．つまり，大まかな出力をニューラルネットワークに，細かな調整を別のプログラムで行う方法である．上述の改善策により，より良いシステムにすることが可能ならば，空調機群の効率化は更に進められると考えられる．

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計4件（うち査読付論文　3件／うち国際共著　0件／うちオープンアクセス　1件）

１．著者名 佐藤優馬，瀬尾昌孝，榊原一紀，西川郁子	４．巻 54
２．論文標題 確率計画法による電力運用最適化	５．発行年 2018年
３．雑誌名 計測自動制御学会論文集	６．最初と最後の頁 728～736
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.9746/sicetr.54.728	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

１．著者名 SAKAKIBARA KAZUTOSHI、MATSUMOTO TAKUYA、TANIGUCHI ITTETSU、TAMAKI HISASHI	４．巻 203
２．論文標題 Structural Optimization of Autonomous Energy Networks by Mathematical Programming Techniques	５．発行年 2018年
３．雑誌名 Electrical Engineering in Japan	６．最初と最後の頁 45～52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/eej.23061	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

１．著者名 田中良賢，立花潤三，浦和哉，榊原一紀	４．巻 74
２．論文標題 不確実性下でのエネルギーシステム計画のための数理モデルの 開発	５．発行年 2018年
３．雑誌名 土木学会論文集G（環境）	６．最初と最後の頁 I_341-I_347
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

１．著者名 榊原一紀，大原誠，長廣剛，玉置久	４．巻 65
２．論文標題 機械学習のための数理計画モデル ― 大規模施設における適応的空調機制御	５．発行年 2020年
３．雑誌名 オペレーションズ・リサーチ	６．最初と最後の頁 34-40
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 －

〔学会発表〕　計18件（うち招待講演　1件／うち国際学会　2件）

1．発表者名 Y. Morinaga, K. Sakakibara, T. Matsumoto, M. Ohara, I. Taniguchi and H. Tamaki
2．発表標題 Hybrid Approach Mixing Mathematical Programming and Machine Learning Techniques for Thermal Grid Systems
3．学会等名 SICE Annual Conference 2018（国際学会）
4．発表年 2018年

1．発表者名 Y. Morinaga, K. Sakakibara, T. Matsumoto, M. Ohara, I. Taniguchi and H. Tamaki
2．発表標題 Control of Thermal Grid Systems by Machine Learning Techniques Incorporating Mathematical Programming
3．学会等名 7th International Congress on Advanced Applied Informatics（国際学会）
4．発表年 2018年

1．発表者名 森永裕矢，榊原一紀，大原誠，松本卓也， 鈴木義康，玉置久
2．発表標題 LRFと深層学習を用いた地下街における人流推定手法
3．学会等名 電気学会システム研究会
4．発表年 2018年

1．発表者名 森永裕矢，榊原一紀，大原誠，松本卓也， 鈴木義康，玉置久
2．発表標題 深層学習を用いた地下街における人流推定手法
3．学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2018
4．発表年 2018年

１．発表者名
大原誠，松本卓也，森永裕矢，榊原一紀，鈴木義康，長廣剛，玉置久

２．発表標題
機械学習を用いた地下街の歩行者数予測手法

３．学会等名
平成30年 電気学会 電子・情報・システム部門大会

４．発表年
2018年

１．発表者名
Yuki Iwase, Makoto Ohara, Ittetsu Taniguchi, Takuya Matsumoto, Kazutoshi Sakakibara, Tsuyoshi Nagahiro, Hisashi Tamaki

２．発表標題
Mathematical Programming Models for Operational Optimization of Thermal Grid Systems

３．学会等名
平成30年 電気学会 電子・情報・システム部門大会

４．発表年
2018年

１．発表者名
森永裕矢，榊原一紀，松本卓也，大原誠，谷口一徹，玉置久

２．発表標題
サーマルグリッドに対する数理計画と機械学習のハイブリッド型運用手法の開発

３．学会等名
電気学会システム研究会

４．発表年
2017年

１．発表者名
岩瀬勇毅，大原誠，玉置久，長廣剛，谷口一徹，松本卓也，榊原一紀

２．発表標題
エネルギーグリッドシステム運用スケジュール最適化のための数理計画モデル

３．学会等名
スケジューリング・シンポジウム2017

４．発表年
2017年

１．発表者名
立花潤三，浦和哉，榊原一紀，田中渉太

２．発表標題
将来の不確実性を考慮した地方自治体における低炭素型エネルギーシステム計画モデルの開発

３．学会等名
第56回土木計画学研究発表会

４．発表年
2017年

１．発表者名
榊原一紀，玉置久

２．発表標題
超スマート社会の実現に向けたエネルギーシステムのモデリング・最適化

３．学会等名
第8回横幹連合コンファレンス

４．発表年
2017年

１．発表者名
大原誠，岩瀬勇毅，谷口一徹，松本卓也

２．発表標題
分散型エネルギーグリッドシステム導入の定量的評価のための数理計画モデル

３．学会等名
第8回横幹連合コンファレンス

４．発表年
2017年

１．発表者名
立花潤三，田中渉太，浦和哉，榊原一紀

２．発表標題
将来の不確実性を考慮した地方自治体における低炭素型エネルギーシステム計画モデルの開発

３．学会等名
2017

４．発表年
2017年

１．発表者名 田中良賢，立花潤三，浦和哉，榊原一紀
２．発表標題 将来の不確実性を考慮した地方自治体における低炭素型エネルギーシステム計画モデルの開発
３．学会等名 平成29年度土木学会中部支部研究発表会
４．発表年 2018年

１．発表者名 榊原一紀
２．発表標題 エネルギー・システムの設計・評価のための最適化モデリング技術
３．学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会エネルギー研究部会第10回研究会（招待講演）
４．発表年 2018年

１．発表者名 信方大輝，大原誠，長廣剛，松本卓也，榊原一紀，玉置久
２．発表標題 地下街空調制御に対する機械学習モデルの一構成法
３．学会等名 2019 年電気学会電子・情報・システム部門大会
４．発表年 2019年

１．発表者名 大原誠，松本卓也，鈴木義康，榊原一紀，長廣剛，玉置久
２．発表標題 開放部を持つ地下街における人流に基づいた空調運用
３．学会等名 計測自動制御学会システム・情報部門学術 講演会2019
４．発表年 2019年

1．発表者名 大原誠，松本卓也，鈴木義康，榊原一紀，長廣剛，玉置久
2．発表標題 開放部を持つ地下街における人流に基づい た空調運用- 点群データによる人流予測
3．学会等名 電気学会システム/分野横断型新システム創成合同研究会
4．発表年 2019年

1．発表者名 信方大輝，大原誠，松本卓也，榊原一紀，長廣剛，玉置久
2．発表標題 空調運用のための温度成層を考慮した地下街空間モデルの構築
3．学会等名 第64回システム制御情報学会 研究発表講演会
4．発表年 2020年

〔図書〕　計1件

1．著者名 横幹〈知の統合〉シリーズ編集委員会	4．発行年 2018年
2．出版社 東京電機大学出版局	5．総ページ数 144
3．書名 ともに生きる地域コミュニティ	

〔産業財産権〕

〔その他〕

－

6．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	渡邉　真也 (Watanabe Shinya) (30388136)	室蘭工業大学・工学研究科・准教授 (10103)	

６．研究組織（つづき）

	氏名 （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	大原　誠 (Ohara Makoto) (10633620)	神戸大学・学術・産業イノベーション創造本部・特定プロジェクト研究員 (14501)	