

令和 4 年 4 月 26 日現在

機関番号：27101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02301

研究課題名（和文）深層強化学習を用いた土壌熱交換システムの最適運用・制御手法の構築とその検証

研究課題名（英文）Construction and verification of optimal operation and control method of Earth-To-Heat Exchanger using deep reinforcement learning

研究代表者

白石 靖幸（Shiraishi, Yasuyuki）

北九州市立大学・国際環境工学部・教授

研究者番号：50302633

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）：土壌熱交換システムの最適運用・制御手法の構築を主たる目的として、以下の研究課題を推進した。

[1] 土壌熱交換システム（特に地下ピット方式）を利用した際の年周期の省エネ効果やピット内の結露性状を高精度に推定可能となるシミュレータを開発した。[2] 同シミュレータを環境とした強化学習の制御問題を定義し、システム内の結露発生を抑制しつつ、高い省エネ性能を実現する動的制御モデルを深層強化学習により構築した。[3] 実測調査と数値解析の双方からシステム内の結露発生の実態を定量的に示しつつ、真菌増殖による空気質汚染との関係性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土壌熱交換システムは、設計段階に必要となる予冷・予熱量等の普遍的な性能予測手法が確立されていない。実運用段階では、システム内の結露発生に伴った空気質汚染も懸念されており、運用段階における対策が急務となっている。本研究では、これらの問題を解決するため非定常CFD解析をベースとした性能予測シミュレータを開発すると共に、同シミュレータを用いて省エネ効果を維持しつつ、結露発生を抑制するシステムの制御手法を構築した点は社会的意義が大きい。また土壌熱交換システムという複雑な技術（建築設備一体化技術）の最適制御を、強化学習の制御問題として定式化し、その有効性を高度な数値解析により示した点は学術的意義が高い。

研究成果の概要（英文）：The following research subjects were promoted with the main purpose of constructing the optimum operation and control method of Earth-To-Heat Exchanger(ETHE).

[1] We have developed a simulator that can estimate the energy saving effect of ETHE for multiple years and the dew condensation property in the system with high accuracy. [2] We defined the control problem of reinforcement learning using this simulator as an environment, and constructed a dynamic control model that realizes high energy-saving performance while suppressing the occurrence of dew condensation in the system by deep reinforcement learning. [3] While quantitatively showing the actual state of dew condensation in the system from both actual measurement surveys and numerical analysis, the relationship with air quality pollution due to fungal growth was clarified.

研究分野：建築環境工学，建築設備工学

キーワード：強化学習 DQN 土壌熱交換 非定常CFD解析 空気質 省エネルギー

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、外気導入量が多く、予冷・予熱による省エネ効果が大きい大規模建築に関しては、土壌熱交換システム（主に地下ピット方式）を採用する事例が多い。しかし、通常、地下ピット方式は、外気導入経路に加え、伝熱性状も複雑となるため、予冷・予熱量に関する普遍的な性能予測手法が確立されていない。このため、設計段階において必要となる外気の予冷・予熱による省エネ効果を定量的に示すことが困難な状況である。更に、近年では地下ピット内の浮遊真菌濃度は室内や外気よりも極めて高濃度を呈するとの報告もあり、結露に伴った微生物由来の室内空気質汚染も懸念されている。このため、外気の予冷・予熱効果を最大化し、空調のエネルギー消費の削減を図りつつ、ピット内の浮遊真菌濃度を低減させるための運用段階における対策が急務となっている。

2. 研究の目的

本研究では、[1] 土壌熱交換システム（特に地下ピット方式）を利用した際の年周期の省エネ効果やシステム内の結露性状を高精度に推定可能となるシミュレータを開発する、[2] 実測結果との比較により、同シミュレータの予測精度の検証を行うと共に、真菌の DNA 解析技術を用いてシステム内の空気質汚染と結露性状との関係を定量的に明らかにする、[3] 同シミュレータを強化学習の環境として用いて、結露の発生を抑制しつつ、高い省エネ性能を実現する動的制御モデルを深層強化学習により構築し、その有効性を示すことを目的としている。

3. 研究の方法

土壌熱交換システムの予冷・予熱効果及び結露性状を年周期レベルにて予測するシミュレータを開発し、実在建物を対象とした実測結果との比較を踏まえ、同シミュレータの予測精度を確認する。また実測では、システム内の結露性状と真菌による空気質汚染の状態を定量化し、双方の関係性を明らかにする。同システムを対象とした深層強化学習モデルの定式化を行うと共に、同シミュレータを環境とした強化学習の制御問題を定義し、システム内の結露発生を抑制しつつ、高い省エネ性能を実現する動的制御モデルを深層強化学習により構築する。得られたモデルは、シミュレータを用いた一般的な運用・制御手法との比較検証を行う。強化学習は学習の収束に膨大な試行回数を要するという問題に対しては、1)機械学習により環境の簡易な予測モデルを作成する、2)行動選択の際に 1)の予測モデルに基づいて即時報酬を最大化するように行動を選択する、3)事前に学習したモデル（制御則）を新たな環境での学習に再利用する転移学習を導入する。

4. 研究成果

本研究における具体的な成果を以下に示す。

[1] 土壌熱交換システムの諸性能を高精度に予測するシミュレータの開発

本研究では、非定常 CFD 解析をベースに研究代表者らが提案した計算負荷低減手法を採用し、シミュレータの構築を行った。まず外気導入量毎の代表的な流れ場を等温定常解析により事前に複数取得する。次にこの事前解析から得た流れ場を図 1 (a) に示すような解析フローに基づき、読み込むことで、温度及び湿度輸送方程式の線形化を行い、計算負荷の低減を図る。同解析手法（以下、非連成解析）では、次に示す二つの効果が期待できる。

①流れ場の事前解析による計算負荷の低減

図 1 (b) に示すように従来の解析手法（完全連成解析）は各タイムステップで流れ場に関する複数の方程式を解いているが、非連成解析中は事前解析から得た流れ場を用いることで解くべき方程式が温度及び湿度輸送方程式のみとなる。

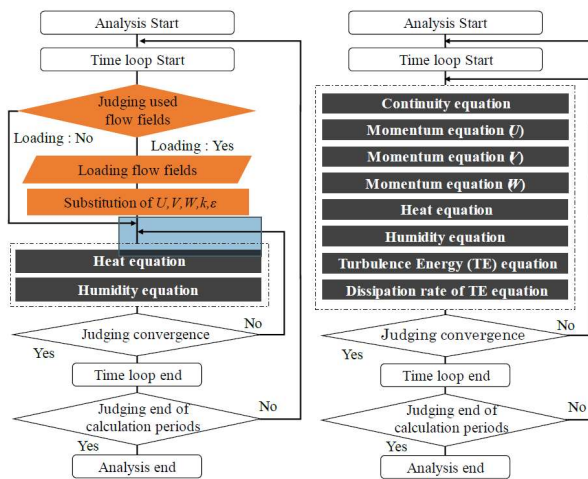
②計算時間間隔 Δt の拡大

非連成解析では事前解析により求めた流れ場を用いるため、流れ場と温度場・湿度場を直接的に連成させず、流速等を定数として扱う事が可能となる。これにより温度及び湿度輸送方程式が線形化され、計算時間間隔 Δt の拡大が可能となる。更に、線形化に伴い温度及び湿度輸送方程式の収束性の向上も期待できる。

本研究では、最終的に図 2 に示すストレート型の土壌熱交換システムに加え、回廊型等の複数タイプを対象にシミュレータを構築した。図 3 に示す通り、ストレート型シミュレータによる出口絶対湿度の予測結果と実測結果を比較すると、 R^2 値が 0.975 となり、同シミュレータの予測精度は極めて高いことを確認している。尚、出口温度の予測精度は既往研究にて確認しており、 R^2 値は 0.99 以上であった。

[2] システム内の空気質汚染と結露性状との関係

本研究では、システム内の空気質汚染の因果関係を明らかにするため、まず実在建物に導入された地下ピットを対象（図 2）に、夏季実測調査と数値解析の双方から、地下ピット内の結露発



(a)非連成解析 (b)完全連成解析

図1 CFD解析フロー

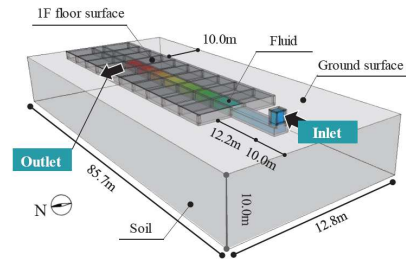


図2 CFD解析モデル(スレート型)

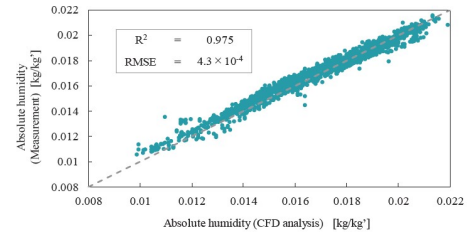


図3 システム出口の絶対湿度の比較

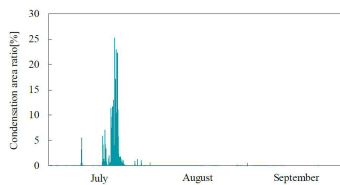


図4 結露面積比率

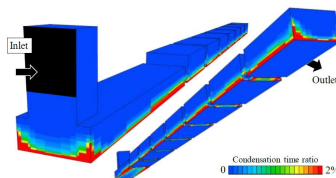


図5 結露時間比率

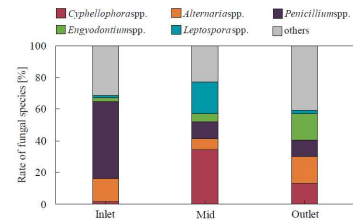


図6 真菌のDNA解析結果

生の実態を明らかにした。次に、結露と真菌増殖による空気質汚染との関係性についても明らかにした。即ち、夏季実測調査によりシステムの性能評価・結露性状の把握を行うと共に、流れ場の計算負荷を低減した非定常 CFD 解析を実施し、実測結果との比較による予測精度の検証(図3)を行った上で三次元的に結露発生を把握を行った。更に、同地下ピット内にてサンプリングした真菌を対象に、DNA 解析を実施し、地下ピット内における真菌叢の網羅的な把握を行い、結露との関係性に関する基礎的な検討を行った。得られた結果は以下の通りである。

夏季の多くの期間で地下ピット内(特に流出口付近)の相対湿度が90%以上に達しており、頻繁に高湿度環境が生じていたことから、結露の発生が懸念された。結露発生の有無に関して、実測と解析とを比較すると、概ね結露発生の挙動が一致していることから、結露予測における解析モデルの有効性が示唆された。7月には結露が頻繁に発生しており、結露面積割合は最大で25.4%であった(図4)。一方、8月、9月は結露面積割合が非常に低く、入隅部等の限られた箇所において長時間結露の発生が示唆された(図5)。流入口付近の結露時間割合は約10%、流出口付近では40%を超えていたことから、流出口付近では長時間の結露発生が示唆された。ピット全体を通じて真菌が存在しており、結露が長時間発生する流出口において最も多くの真菌が検出され(図6)、結露発生に伴う真菌の増殖が示唆された。また *Alternaria* spp. 等の病原菌となる真菌も検出されており、地下ピット内の空気質汚染の可能性が懸念された。また本研究では、外気及び地下ピット内部の真菌濃度の測定を行っておらず、地下ピット内部の空気質汚染の原因を精緻に特定するまでに至っていない。この点については今後の研究課題と位置付けている。

[3] 新たな強化学習アルゴリズムによる最適制御側の構築

本研究では、土壌熱交換システムを対象に省エネ性能の確保と結露発生の抑制を両立させた制御則を強化学習により構築した。即ち、研究代表者らが開発した土壌熱交換システムの長期性能予測が可能な手法(シミュレータ)を環境として強化学習の制御問題を定義し(図7)、学習を実施した。特に本研究では報酬の定義にあたって、事実及び反事実の行動の結果を報酬とし、簡易な予測モデルに基づいて即時報酬を最大化するよう学習を行うアルゴリズム(図8)を実装した。更に、強化学習により得られた制御結果とスケジュールに応じた制御等との比較を通じて、その有効性を検証した。学習結果として得られた制御則をもとに、強化学習が選択する行動の傾向を分析した。得られた結果は以下の通りである。

提案手法(図8)では、少ないエピソードで大まかな方策を獲得することができ、学習の収束性が非常に高いという結果が得られた。図9に強化学習が選択した行動のヒートマップを示す。1~3エピソード目では、 ϵ -greedy 法によるランダムな行動選択が生じやすいことに加え、学習初期のため、方策が固まっていなかったことから、行動の選択に規則性は確認できない。しかし、

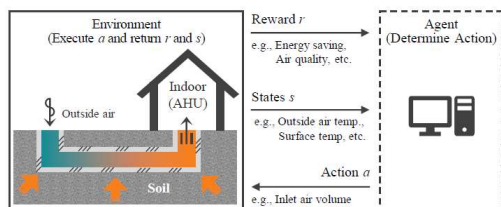


図 7 強化学習の概要

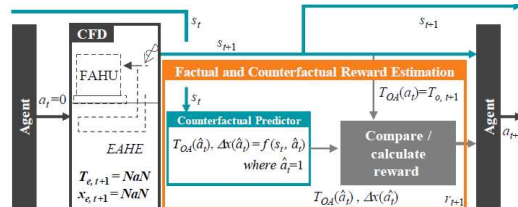


図 8 反事実の報酬を考慮したアルゴリズム

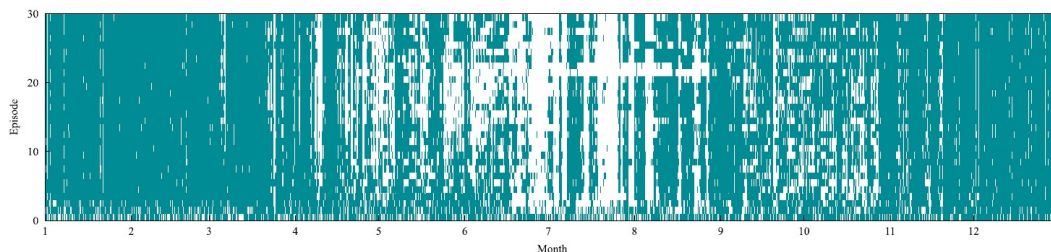


図 9 強化学習が選択した行動のヒートマップ

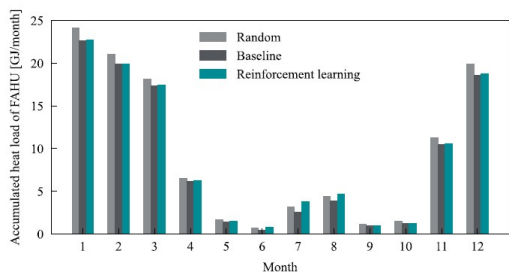


図 10 外調機処理熱量

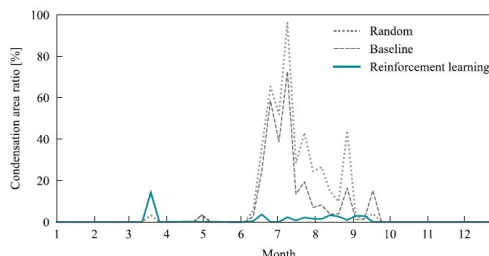


図 11 システム内の結露面積比率

4 エピソード目以降は報酬が安定しており、夏期の外気導入を行わないような方策を獲得している。一方、冬期は結露の可能性が低いため、予冷量を高めるためにほとんどの時間帯で外気を導入するように判断している。その後は、エピソードが進行しても大勢に変化は無く、学習初期で獲得した方策と同様の行動を選択し、学習を進めていた。強化学習の制御時とスケジュールに応じて制御を行った場合とを比較すると、外調機処理熱量は約 3%増加したものの (図 10)、システム内部での結露発生的大幅な抑制が可能 (図 11) であることが示唆された。

以上より、強化学習を用いた制御により、省エネ性と導入外気の空気質汚染の抑制を両立させた運用制御が可能であることを確認した。

[4]気象条件の違いが土壤熱交換システムの予冷・予熱性能に及ぼす影響

本研究では地下ピットを対象として、気候特性の違いがシステムの予冷・予熱量及び結露性状へ与える影響を把握するため、北九州市及び秋田市の 2 都市を対象に流れ場の計算負荷を低減した非定常 CFD 解析 (シミュレータ) を用いた年間解析を行った。以下に得られた知見を示す。

相対湿度を比較すると、北九州市では春から秋にかけて結露発生の可能性が高くなる可能性が示唆された (図 12, 図 13)。顕熱では、秋田市の夏季の除去熱量は最大で 6.3GJ となり、冬季には取得熱量が最大で 6.0GJ と、それぞれ北九州市の 1.5 倍、1.2 倍となった。尚、潜熱では、北九州市、秋田市共に 7 月で最大となった。秋田市の年平均気温は北九州市に比べて低く、土壤温度も低くなることから、夏季における冷却効果は北九州市に比べて高くなる可能性が示唆された。外調機の顕熱処理熱量の削減率は、年間で北九州市は 13.9%、秋田市は 15.6%であった。夏季は、秋田市と比べて外気温度の高い北九州市において結露が頻繁に発生する可能性が示唆された。

以上より、温暖地では取得熱量、寒冷地では除去熱量が大きくなる傾向が示唆された。しかし、温暖地は寒冷地に比べて夏季の結露発生の可能性が高いため、降雨センサー等を用いた外気導入の制御等が必要であると考えられる。

[5]転移強化学習による土壤熱交換システムの運用制御則の構築

これまで研究代表者らは土壤熱交換システム (地下ピット方式) を対象に省エネ効果の確保と結露発生の抑制を目指して、強化学習 (以下、RL) による制御則の構築を行ってきた。一方、RL は学習の収束に膨大な試行回数が必要といった問題がある。このため既往研究では RL の環

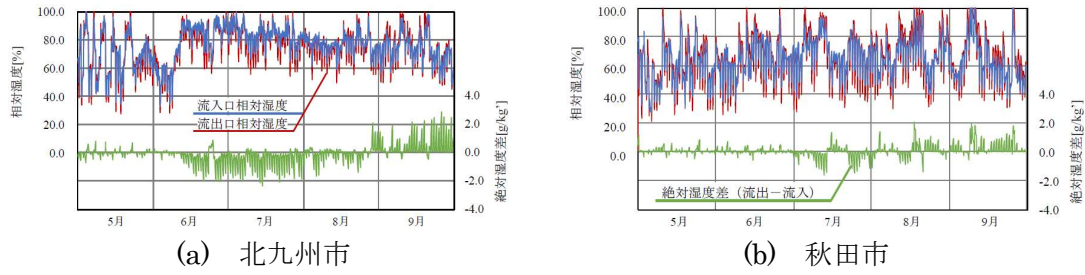


図 12 流入出口の相対湿度・絶対湿度の比較

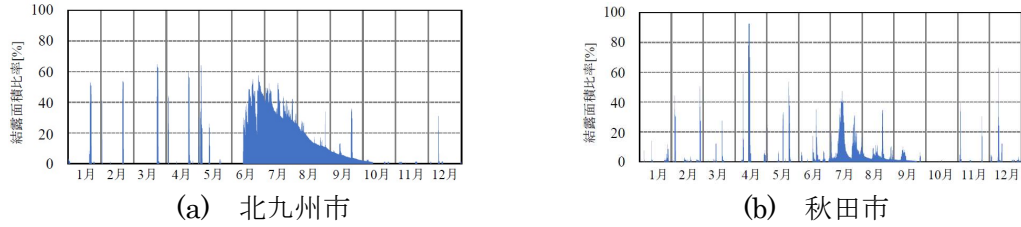


図 13 結露面積比率の比較

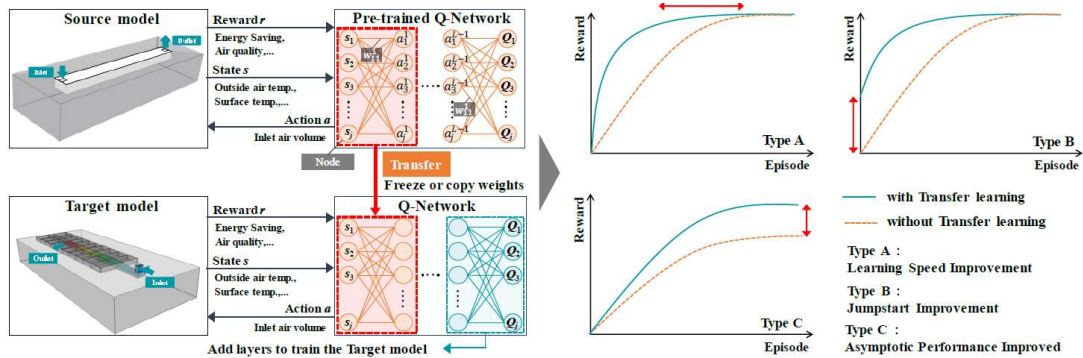


図 14 転移強化学習の概要（強化学習として Deep Q-Network を用いた場合）

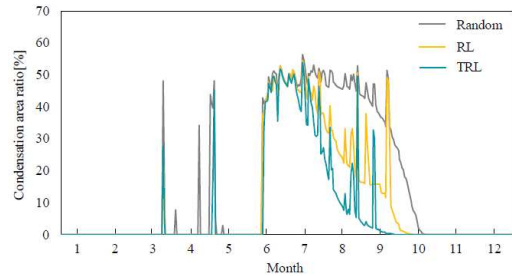


図 15 結露面積比率① (RL と TRL)

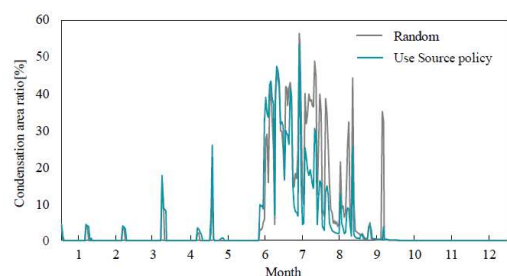


図 16 結露面積比率② (制御則の転用)

境側の計算負荷を低減する等の工夫 (図 1) によって、膨大な回数の学習を可能としたり、反事実の報酬を考慮したアルゴリズム (図 8) を導入することで学習に要するエピソード数を削減している。この課題のもう一つの解決策として、事前に学習したモデルを新たな環境での学習に再利用することによって、学習の高速化や学習性能の向上を可能とする転移学習 (以下、TL) が近年着目を集めている。しかし RL に対して TL を適応させた研究は少なく、TL が有効な領域 (範囲) 等の詳細については明らかとなっていない。そこで本研究では、TL を用いて RL の学習高速化・学習性能の向上を実現することによって、RL による土壌熱交換システムの効率的な運用制御則の構築 (図 14) を目的としている。本研究では、まず RL により土壌熱交換システムの制御則を構築した上で、RL に対して TL を適応し、転移対象に関するケーススタディを実施することによって、運用制御手法としての転移強化学習 (以下、TRL) の有効性を検証している。以下に得られた知見を示す。

本研究では、新たな制御則の構築に学習済みの方策を活用すること (TRL) により、従来の RL と比較して、高い制御性能を有しつつ、エピソード数の削減を可能とした (図 15)。TRL を実施する上で、Source・Target の類似度の重要性が示唆された。システム内の情報が不十分な物件に対して、構築済みの制御則を直接転用することで、運用初年度から省エネ効果と結露抑制を両立した制御の可能性が示唆された (図 16)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 塘田研仁, 白石靖幸	4. 巻 86
2. 論文標題 強化学習による土壌熱交換システムの運用制御（その1）：反事実の報酬を考慮したアルゴリズムの適用可能性の検証	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会環境系論文集	6. 最初と最後の頁 708-718
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aije.86.708	査読の有無 有
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 -
1. 著者名 平田一馬, 白石靖幸, 塘田研仁, 長谷川兼一	4. 巻 87
2. 論文標題 土壌熱交換システムの長期運用に伴う予冷・予熱特性（その2）：夏季実測調査とCFD解析による地下ピット内空気環境の実態把握	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本建築学会環境系論文集	6. 最初と最後の頁 94-103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aije.87.94	査読の有無 有
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 -
1. 著者名 平田一馬, 白石靖幸, 塘田研仁, 長谷川兼一	4. 巻 47
2. 論文標題 Proximal Policy Optimizationによる土壌熱交換システムの運用制御	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 空気調和・衛生工学会論文集	6. 最初と最後の頁 27-36
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 塘田研仁, 白石靖幸	4. 巻 30
2. 論文標題 深層強化学習による土壌熱交換システムの運用制御手法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 クリーンテクノロジー / 特集：建築設備へのAI利用	6. 最初と最後の頁 36-40
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 本山優作, 塘田研仁, 白石靖幸, 長谷川兼一	4. 巻 46
2. 論文標題 気候特性の違いが土壌熱交換システムの諸性能に及ぼす影響, 数値シミュレーションによる北九州市と秋田市の比較	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 空気調和・衛生工学会論文集	6. 最初と最後の頁 39-45
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 -

[学会発表] 計26件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Kento Tomoda, Yasuyuki Shiraishi, Dirk Saelens
2. 発表標題 Optimal Control of Earth-to-Air Heat Exchanger System Using Reinforcement Learning
3. 学会等名 Building Simulation 2021 Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuma Hirata, Kento Tomoda, Yasuyuki Shiraishi
2. 発表標題 Numerical Prediction of Dew Condensation in EAHE System in Summer
3. 学会等名 Building Simulation 2021 Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平田一馬, 塘田研仁, 白石靖幸
2. 発表標題 転移強化学習による土壌熱交換システムの運用制御
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塘田研仁, 白石靖幸
2. 発表標題 強化学習による土壌熱交換システムの最適制御, その5 反事実の報酬を考慮した報酬設計の有効性の検証
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 香山拓生, 塘田研仁, 白石靖幸
2. 発表標題 強化学習による土壌熱交換システムの最適制御, その6 ランダムフォレストを用いたピット内温湿度環境予測手法の開発
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平田一馬, 白石靖幸, 平川聡, 丸山純
2. 発表標題 先導的な教育及び環境配慮技術を導入した学校建築の環境評価, (その5) 外気導入経路の違いによるクールヒートピットの予冷効果
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塘田研仁, 香山拓生, 白石靖幸
2. 発表標題 強化学習による土壌熱交換システムの制御手法の提案, (第1報) 反事実報酬を組み込んだMulti Discrete Action環境への実装
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 香山拓生, 塘田研仁, 白石靖幸
2. 発表標題 強化学習による土壌熱交換システムの制御手法の提案, (第2報)ランダムフォレストを用いたピット内温湿度環境予測手法の開発
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平田一馬, 白石靖幸
2. 発表標題 強化学習による土壌熱交換システムの運用制御, - 転移学習との併用による学習高速化に関する検討 -
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会九州支部 第5回 学術・技術交流会/学術技術発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塘田研仁
2. 発表標題 強化学習による土壌熱交換システムの最適制御 その4 Proximal Policy Optimizationによる学習環境の構築及び従来の制御手法との比較
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本山優作
2. 発表標題 強化学習による土壌熱交換システムの最適制御 その3 Q-Learningにおける外気導入量の検討
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平田一馬
2. 発表標題 土壌熱交換システムにおける真菌叢による空気質汚染の実態把握
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本山優作
2. 発表標題 強化学習を用いた土壌熱交換システムの最適運用手法の提案, - Q-Learning と CFD の連成解析による年間性能予測 -
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平田一馬
2. 発表標題 土壌熱交換システムの夏季運用時における結露発生並びに微生物汚染の実態把握
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平田一馬
2. 発表標題 強化学習を用いた土壌熱交換システムの最適運用手法の提案, Q-LearningとCFDの連成解析による年間性能予測
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yusaku Motoyama
2. 発表標題 Proposal of optimal operation method for the Earth-to-Air Heat Exchanger System Using Reinforcement Learning
3. 学会等名 COMPSAFE (Computational Engineering and Science for Safety Environmental Problems) 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuma Hirata
2. 発表標題 Prediction of condensation of the earth-to-air heat exchanger system and verification of countermeasure of condensation by moisture absorbent
3. 学会等名 COMPSAFE (Computational Engineering and Science for Safety Environmental Problems) 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kento Tomoda
2. 発表標題 Optimal Control of Earth-to-Air Heat Exchanger System by Reinforcement Learning
3. 学会等名 15th ROOMVENT Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusaku Motoyama
2. 発表標題 Exploring the Pre-Cooling and Heating Performance of an Earth-to-Air Heat Exchanger System across Seasons in Warm and Cold Japanese Regions
3. 学会等名 15th ROOMVENT Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 香山拓生
2. 発表標題 機械学習を用いた土壌熱交換システムの予測モデルの構築
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本山優作
2. 発表標題 強化学習を用いた土壌熱交換システムの最適運用手法の提案, Deep Q-NetworkとCFDの連成解析による制御則の構築
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塘田研仁, 花田将樹, 白石靖幸
2. 発表標題 強化学習による土壌熱交換システムの最適制御, その1 既往研究成果と強化学習の概要
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 花田将樹, 塘田研仁, 白石靖幸
2. 発表標題 強化学習による土壌熱交換システムの最適制御, その2 Deep Q-NetworkとCFDの連成解析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塘田研仁, 花田将樹, 白石靖幸
2. 発表標題 強化学習による土壌熱交換システムの最適制御, Deep Q-NetworkとCFDの連成解析による検証
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 花田将樹, 塘田研仁, 白石靖幸
2. 発表標題 強化学習による土壌熱交換システムの最適制御, - Q-LearningとCFDの連成解析による検証 -
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平田一馬, 白石靖幸, 長谷川兼一
2. 発表標題 土壌熱交換システムの夏季運用時における結露発生並びに空気質汚染の実態把握
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔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	龍 有二 (Ryu Yuji) (20191695)	北九州市立大学・国際環境工学部・教授 (27101)	

6. 研究組織（つづき）

	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	長谷川 兼一 (Kennichi Hasegawa) (50293494)	秋田県立大学・システム科学技術学部・教授 (21401)	
研究分担者	永原 正章 (Masaaki Nagahara) (90362582)	北九州市立大学・環境技術研究所・教授 (27101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ベルギー	KU Leuven			