

令和 4 年 9 月 12 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04727

研究課題名（和文）商業施設における効果的な省エネ設計・改修手法に関する研究

研究課題名（英文）Study on energy saving methods for commercial store

研究代表者

李 時桓（Lee, Sihwan）

信州大学・学術研究院工学系・助教

研究者番号：60624997

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：ドラッグストア、洋品店、靴屋、コンビニエンスストアなどの外気に接した商業施設には、室内外温度差及び圧力差による外気流入が大量のエネルギー消費をひき起こす。特に、店内への集客数を増やすためにドアを開きっ放しで営業する開門営業、ドア開閉、顧客の出入りなどによる外気侵入が促進させると考えられるものの、それによるエネルギー損失量については十分解明されていない。本研究では、開門営業、ドア開閉、顧客の出入りによるエネルギー損失量を定量的に解明し、商業施設における漏気負荷を効率的に抑制させる対策について検討した。検討結果を踏まえ、本研究では、商業施設におけるより効果的な省エネ設計・改修手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化等、国際的な課題として建築物からの二酸化炭素排出削減が求められている。しかし、建築物は多種の業種・業務形態があり、現実的な省エネ対策を提案することが困難である。特に、外気に接した商業施設には、開門営業、ドア開閉、顧客の出入りなどによる外気侵入が多くのエネルギー損失を発生する。そこで本研究の成果は、目に見えない空気流動の構造・エネルギー損失量を明らかにし、商業施設におけるエネルギー損失量の低減のための省エネ対策の提案したもので、その新規性・先駆性が非常に高く、学術的・社会的な価値も非常に高い。

研究成果の概要（英文）：While air conditioner is running, leaving doors and windows open is a great way to reduce operating efficiency and undermine the air conditioning system's ability to bring the indoor to a comfortable temperature. However, merchants want to business with open the door to attract more customers and to increase sales. The purpose of this study is to evaluate the heat loss and thermal environment through the door open while air conditioner and the effectiveness of several facilities in order to reduce infiltration. To achieve this goal, the air infiltration rate, the amount of infiltration were measured, and heat load was calculated using numerical energy simulation. The results show that the leaving doors open causes energy loss and deterioration of the indoor environment. In the method to reduce infiltration, the infiltration load decreased most when using the cloth curtain or the air curtain etc.

研究分野：工学

キーワード：開門冷房 ドア開閉 ショーウィンドー 漏気 伝熱負荷 エネルギー損失 温熱環境 エアカーテン

1. 研究開始当初の背景

(1) 我が国は2030年度に、2013年比で温室効果ガスを26%削減する約束草案を国連気候変動枠組条約^{注1)}第21回締約国会議(COP21)に提出した。その中でも民生部門には2013年比で約40% (業務: 39.8%, 家庭: 39.3%) の高い削減目標を設定し (図1参照, Government of Japan, 2015), 建築分野の低炭素化に向けた技術ロードマップを策定している。家庭部門における低炭素化については、診断技術の標準化, 改修技術の向上, 経済措置の拡充などによる改修促進で対応計画が立てられている。しかし, 業務部門の既築建築物は業務形態が多様多様であるため, 現実的な省エネ対策を提案することが困難 (図2参照) である。

(2) ドラッグストア, コンビニエンスストアなどの外気に接した商業施設には, 室内外温度差及び圧力差による外気流入が大量のエネルギー消費 (図3参照) をひき起こす。特に, 店内への集客数を増やすためにドアを開き放して営業する開門営業による空気流動が外気侵入を促進させると考えられるものの, それによるエネルギー損失量については十分解明されていない。

(3) 商業施設 (業務部門) の正面ファサードには, 顧客の目を引き, 来店者を増やすために可視性・開放性・透過性の良いショーウィンドーとガラスドア (図4参照) の設置が一般的である。しかし, 断熱性能が低い部材であるガラスの使用による熱損失及び人の出入りとドアの開閉による外気侵入は大量のエネルギー損失をひき起こす。さらに, 店内への集客数増加を目的とした開門営業を行う店舗も少なくない。

2. 研究の目的

本研究は, 開門営業, ドア開閉, 顧客の出入りによるエネルギー損失量を定量的に解明し, 商業施設における漏気負荷を効率的に抑制させる対策について検討することで, より効果的な省エネ設計・改修手法を提案することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は3年間 (2019年度~2021年度) 行うことであり, 各年度による研究の方法は, 下記の通りである。

(1) 1年目 (2019年度) では, 第1段階研究 (文献調査・実態調査, 商業施設の正面ファサードにおける熱損失特性) として, ① 文献・実態調査, ② ドア部から発生する漏気負荷の検討, ③ ショーウィンドーから発生する伝熱負荷について検討する。特に, ドア部から発生する漏気負荷を定量的に検討するため, ドアの基本変数 (ドア種類, 面積), 制御変数 (ドア開閉頻度, 開閉時間), 外乱変数 (室内外温度差, 圧力差) などの条件変動によるパラメトリックスタディを行い, 非常条件での空気流動による漏気負荷を定量的に検討する。また, ショーウィンドーの形態, 店舗面積に対する面積比, ガラスの断熱特性などによる伝熱負荷を把握し, ガラスの断熱性能を向上させる技術について検討する。

(2) 2年目 (2020年度) では, 第2段階研究 (商業施設における省エネ設計・改修技術の検討) として, ① エアカーテン及び回転ドアの設置による効果, ② ショーウィンドーの性能向上による効果について検討する。特に, 店舗の運用実態 (人や荷物の出入り頻度等) を反映したエネルギーシミュレーションを行い, 漏気負荷の抑制効果がどの程度空調エネルギーの削減に寄与するのかを定量的に検討した。また, ガラスの断熱性能を入力条件とし, 伝熱負荷の抑制効果がどの程度空調エネルギーの削減に寄与するのかを検討する。

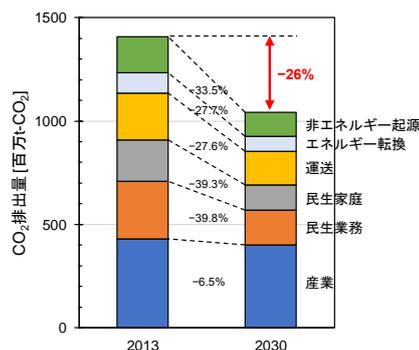


図1. 部門別エネルギー削減目標

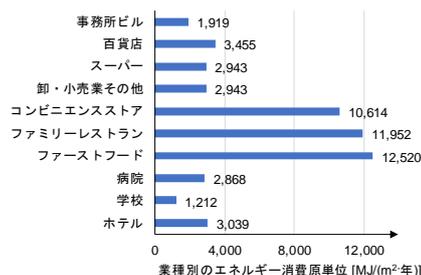


図2. 業種別エネルギー消費原単位



図3. 開門営業による室内外温度差



図4. 商業施設における省エネ設計

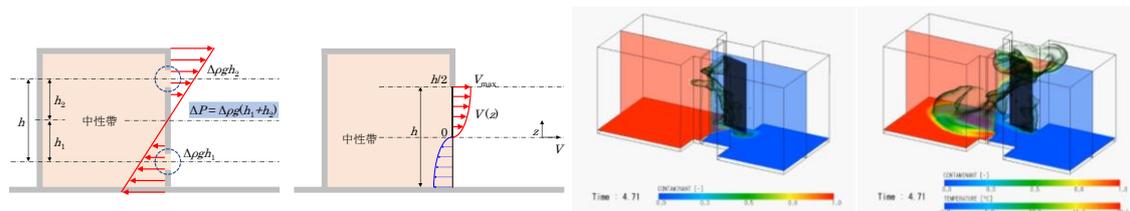
(3) 3年目(2021年度)では、商業施設における効果的な改修手法の提案するため、気候地域によって異なる漏気負荷特性を検討し、今まで行った検討結果を纏める。

4. 研究成果

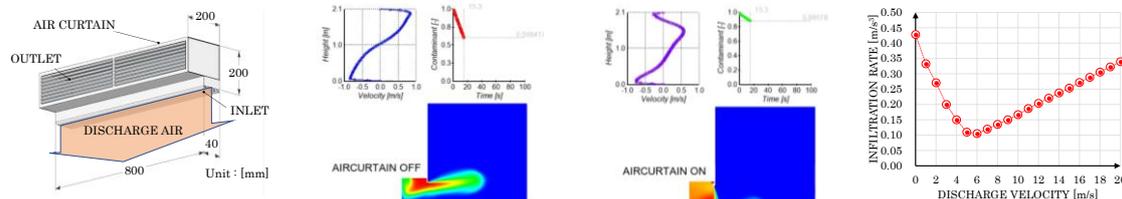
研究方法で設定した検討項目に従って行なった研究成果を、(1) ドア部から発生する漏気負荷、エアカーテン効果検討、(2) 実測による実態調査、(3) 様々なパタン分析による対策に分けて纏める。

(1) ドア部から発生する漏気負荷、エアカーテン効果検討

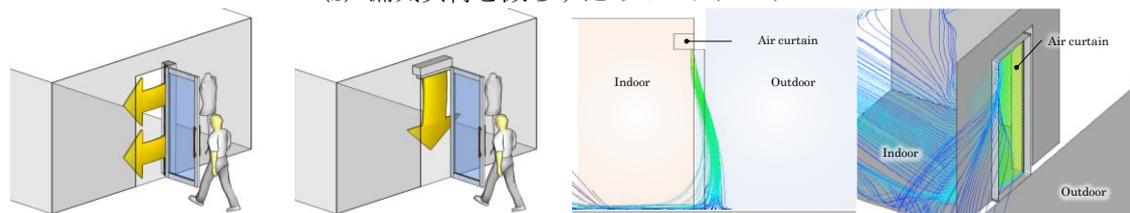
本研究では、ドア部から発生する漏気負荷の検討と共に、エアカーテンを単一開口に設置した場合において熱遮断効率に関する非定常数値解析(図5参照)を行い、定量的な知見を得た。



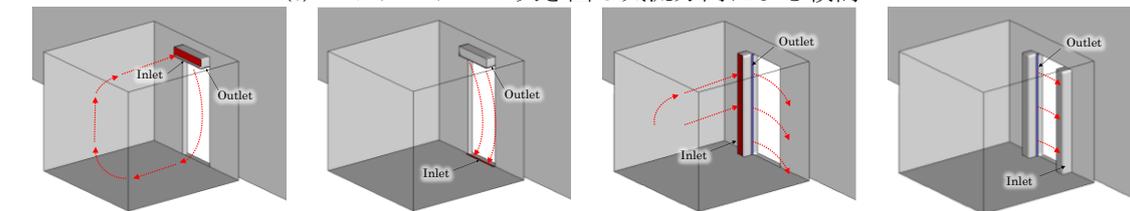
(a) ドア部から発生する漏気負荷



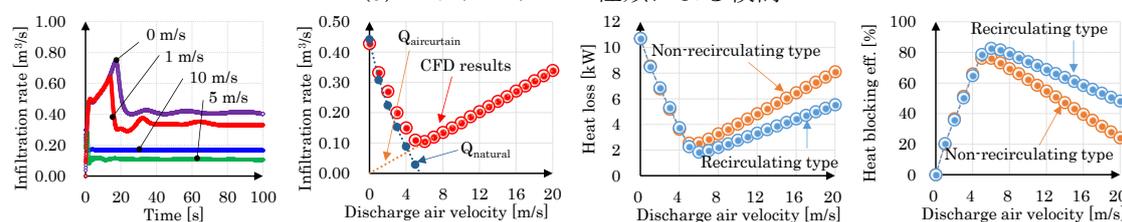
(b) 漏気負荷を減らすためのエアカーテン



(c) エアカーテンの吹き出し気流方向による検討



(d) エアカーテンの種類による検討



(e) エアカーテンの種類による検討結果

図5. ドア部から発生する漏気負荷の検討と、エアカーテンの熱遮断効率

- ① 単一開口から発生する熱損失はエアカーテンの使用により、約75%軽減させることが分かった。
- ② エアカーテンの熱遮断効率が最大となる最適吹き出し速度は、Hayes (F.C. Hayes, and W.F. Stoecker: Heat transfer characteristics of the air curtain, ASHRAE Trans. 2120, p.153-167, 1969.) が提示した最小変形係数に安全率2.5を乗算(式(1))して検討可能であることを提案した。

$$u^* = \sqrt{\frac{gH^2(\rho_c - \rho_w) \cdot [-0.016 \ln\left(\frac{H}{b}\right) + 0.2162]}{\rho_o b}} \cdot 2.5 \quad (1)$$

(2) 実測による実態調査

本研究では商店街等の街区に面し、開門冷房を行っている店舗を対象とし、夏期において店内温度、漏気量などの現場実測を行い、開門冷房による熱損失特性を把握（図6参照）した。

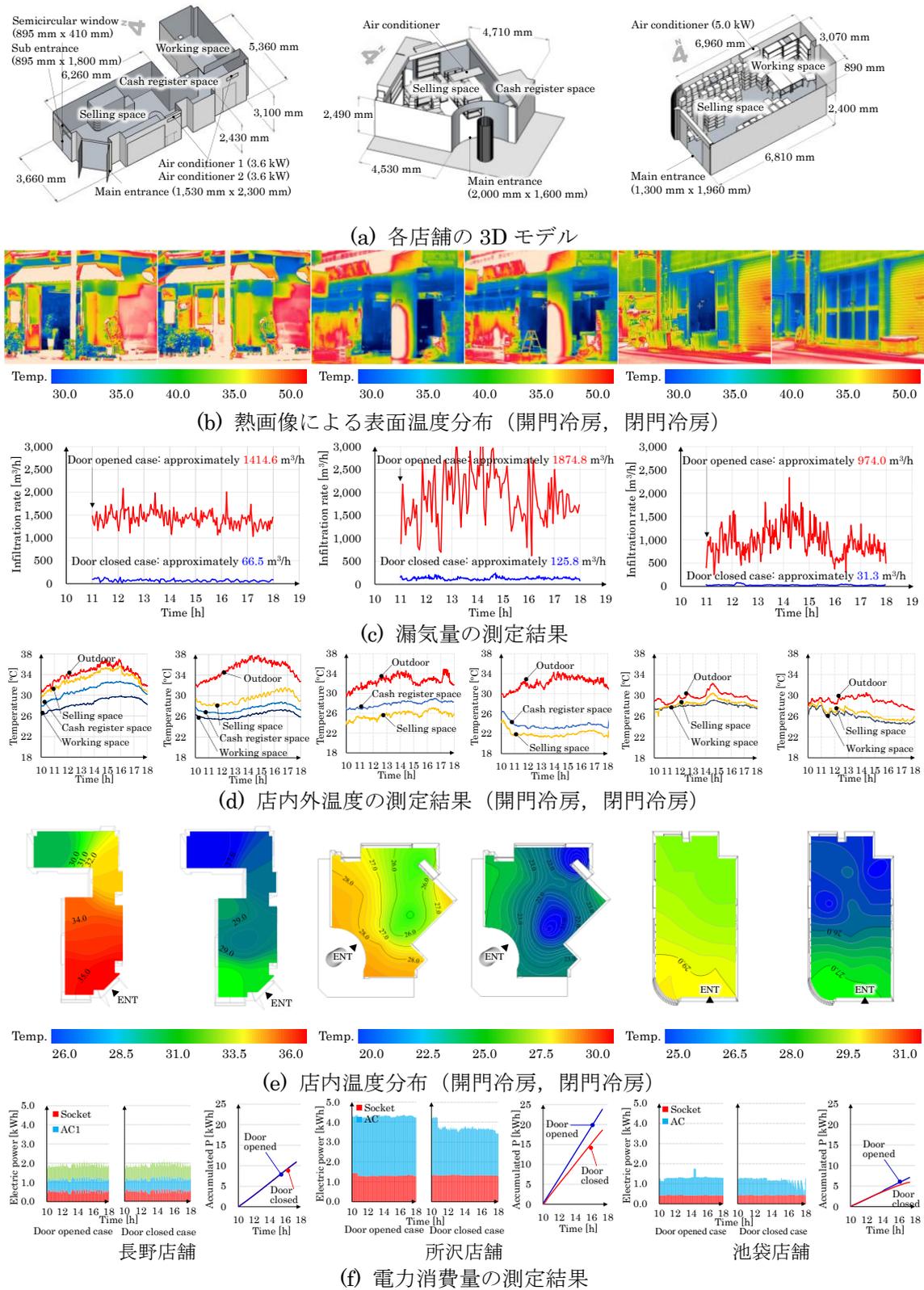


図6. 実測による実態調査（長野店舗，所沢店舗，池袋店舗）

- ① 開門冷房により店内の壁表面温度と店舗の外壁温度の温度差が高くなった。
- ② 開門冷房は，閉門冷房と比べると漏気量の増加が見られた。
- ③ 店内温度分布は，開門冷房が閉門冷房より高い温度分布となり，出入りに近いほど温度分布が高くなっていった。また店舗のガラス窓によって，熱伝導による窓周辺の室温の上昇があった。
- ④ 電力消費量は，店内の温熱環境を保つための冷房能力が十分な場合，閉門冷房を行うことで消費電力の減少が見られた。

(3) 様々なパタン分析による対策

本研究では開門冷房におけるエネルギー損失量の把握と抑制手法（エアカーテン、ミスト、暖簾等）の検討（図7参照）を行い、換気負荷削減効果を明らかにした。

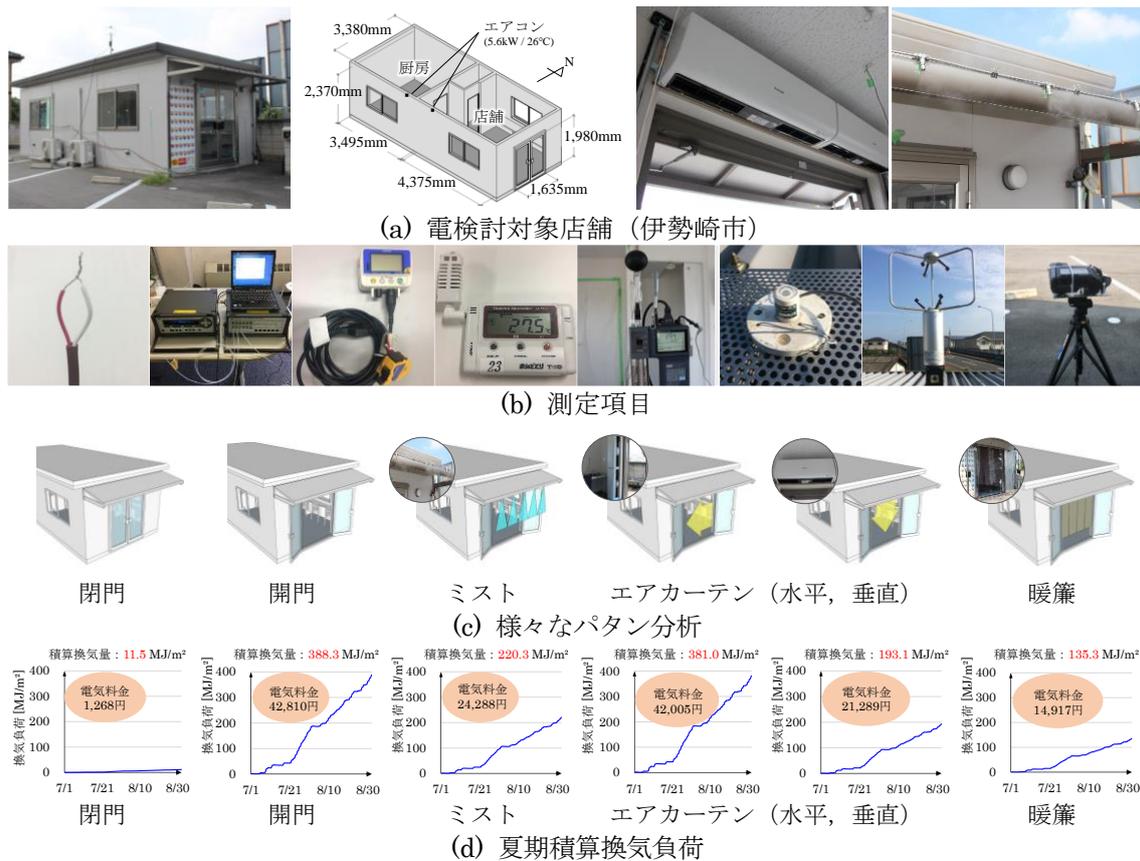


図7. 様々なパタン分析による対策

- ① 開門状態では、閉門状態と比較すると漏気量・消費電力の増加、室内温度の上昇が見られ、開門冷房は冷房負荷を増加させる。
- ② エアカーテン、ミスト、暖簾の各漏気抑制手法の効果について、暖簾を使用した場合が最も換気量が減少した。エアカーテンの性能は、水平に設置するよりも垂直に設置することで換気量の減少が見込まれる。ミストは風による拡散が見られた為、漏気抑制効果については追加的に定量的な評価が必要である。
- ③ 単一開口における漏気の発生について、温度差換気による漏気の外に、風力換気による漏気も見られた。開門冷房における漏気負荷の増減を検討するには、室内外で温度差がある場合の風力換気についても考量する必要がある。
- ④ 夏期二か月間における温度差換気のみを考慮した換気負荷は、閉門状態では開門状態と比較して約34倍と大幅な増加が見られた。各抑制手法については、ミスト、エアカーテンでは大幅な減少は見られなかったが、暖簾を使用した場合は、開門状態と比較して58.1%の減少が見られた。

以上のことより、商業施設が入店顧客を増やすために行う開門冷房では、室内外温度差による漏気量の増加を要因として、室内温度上昇により温熱環境の悪化が起こり、消費電力量の増加が明らかに確認された。

特に本研究では、開門営業、ドア開閉、顧客の出入りによるエネルギー損失量を定量的に解明し、商業施設における漏気負荷を効率的に抑制させるいくつかの省エネ対策が提案された。

注1) 気候変動枠組条約 (UNFCCC) : 国連のもと、大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを究極の目的とし、地球温暖化がもたらすさまざまな悪影響を防止するための国際的な枠組みを定めた条約である。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 李時桓	4. 巻 58(243)
2. 論文標題 商店におけるドア開けっ放し営業による店内温熱環境	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 伝熱, Journal of the Heat Transfer Society of Japan	6. 最初と最後の頁 12-17
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 オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sihwan Lee	4. 巻 111
2. 論文標題 Numerical study on heat blocking efficiency of non-recirculating air curtain and its optimal discharge velocity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 E3S Web Conference: High Energy Performance and Sustainable Buildings	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/e3sconf/201911103042	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 該当する
1. 著者名 Sihwan Lee	4. 巻 111
2. 論文標題 Study on energy loss and thermal environment through door open while air conditioner running	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 E3S Web Conference: Sustainable Urbanization and Energy System Integration	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/e3sconf/201911106035	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 該当する
1. 著者名 Sihwan Lee	4. 巻 609(3)
2. 論文標題 Study on energy loss through door open while air conditioner running in commercial store	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1757-899X/609/3/032069	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 該当する

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 矢野智子, 李時桓
2. 発表標題 商業施設の開門冷房営業がエネルギー損失に及ぼす影響
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 近藤志樹, 李時桓
2. 発表標題 人体移動が室内換気量に与える影響に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 近藤志樹, 李時桓
2. 発表標題 人体移動が室内漏気量に与える影響および形状の違いによる検討
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 李時桓
2. 発表標題 単一開口を持つ立方体モデルの周辺気流による自然換気量予測
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢野智子, 李時桓
2. 発表標題 開門冷房におけるエネルギー損失に関する研究 (その4) 実測による漏気負荷抑制手法の検討と熱負荷計算
3. 学会等名 空調調和・衛生工学会学術講演会講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Motoki Kondo, and Sihwan Lee
2. 発表標題 Evaluation of air exchange rate by influence of human movement wake
3. 学会等名 Indoor Air 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Satoko Yano, and Sihwan Lee
2. 発表標題 Field measurement and dynamic simulation on the energy loss through door open with air conditioner running in a commercial store
3. 学会等名 Indoor Air 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 李時桓
2. 発表標題 開門冷房におけるエネルギー損失に関する研究 (その2) エアカーテンの種類による熱遮断効率
3. 学会等名 空調調和・衛生工学会学術講演会学術講演会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢野智子, 李時桓, 倉淵隆, 林鍾衍
2. 発表標題 開門冷房におけるエネルギー損失に関する研究(その3) 実測による店内の温熱環境と熱損失特性
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会学術講演会学術講演会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sihwan Lee
2. 発表標題 Numerical study on safety factor for deflection modulus of the non-recirculating and the recirculating air curtain
3. 学会等名 Building Simulation 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------