

大学キャンパスにおける在室人数と空調の使い方が エネルギー消費に与える影響に関する研究

Study on the Effect of Counting People and Air Conditioning Usage on Energy Consumption in A University Campus

○杉村 奈南^{*1}, 吉田 友紀子^{*2}
Nanami SUGIMURA^{*1}, Yukiko YOSHIDA^{*2}

*1 茨城大学 大学院理工学研究科 修士課程

Grad. Stud. Grad. Sch. of Sci. and Eng., Ibaraki Univ.

*2 茨城大学 大学院理工学研究科 助教 博士 (工学)

Assist. Prof, Grad. Sch. of Sci. and Eng., Ibaraki Univ, Dr. Eng.

キーワード: 大学キャンパス; 在室人数; 省エネルギー; COVID-19; 換気

Keywords: University campus; number of people in the room; energy conservation; COVID-19; ventilation.

1. はじめに

近年, COVID-19 の流行により, テレワークの普及や対人距離の確保等により, 在室人数が変化したことで, 電力需要が変化している.

光永ら¹⁾によると, 利用人数と電力消費の実態把握により, 各区分による電力消費傾向を明らかにした. 鶴飼ら²⁾によると, 用途別電力消費予測と様々な説明変数との関係性を示した.

これまでの報告では, キャンパス内の各室ごとの検討が主であり, 複数棟単位での大規模な検討はあまりなされていない.

そこで本研究では, 茨城大学日立キャンパス (以下, キャンパス) を対象として, キャンパス全体及び一人当たりの電力消費量の把握を行う.

2. キャンパスにおけるエネルギー消費量

キャンパスの概要を表 1 に示す. 建物内における研究室 (32%), 実験室 (17%), 講義室 (10%), 事務室 (4%), 通路 (22%), 倉庫 (非空調, 15%) の建築延床面積合計は 54,475 m² であり, 居室 (研究室, 実験室, 講義室, 事務室) は約 6 割である (図 1). また, そのうちの約半分を研究室が占めている.

2.1. 2020 年度キャンパス電力解析

2020 年度におけるキャンパス全体の電力消費量と気象庁日立観測所 (HP 公表: 1 時間値) における外気温の相関を図 2 に示す. 電力消費量は, 内田ら³⁾の手法を参考に活動日判定を行い, 活動日のうち全居室の空調が稼働していると考えられる 10:00 から 17:00 のキャンパス全体の電力消費量 (1 時間値) を用いた. さらに, 境界気温判定を行い, 冷暖房の使用開始温度をもとに, 活動日のデータを「空調なし, 暖房使用日, 冷房使用日」

表 1 キャンパス概要

所在地	茨城県日立市中成沢町4-12-1
土地面積	114,855 m ²
建築延床面積	54,475 m ²
建築数	37 棟
構成員	教員・事務員 約210 人 学生 約2760 人
構成部門	工学部, 理工学研究科

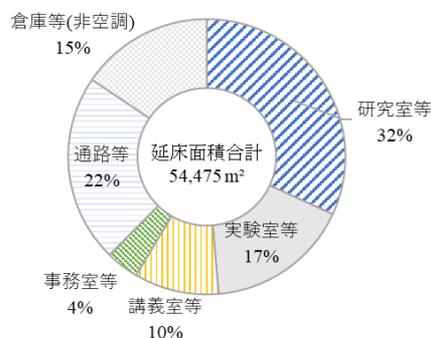


図 1 日立キャンパス室用途別面積割合

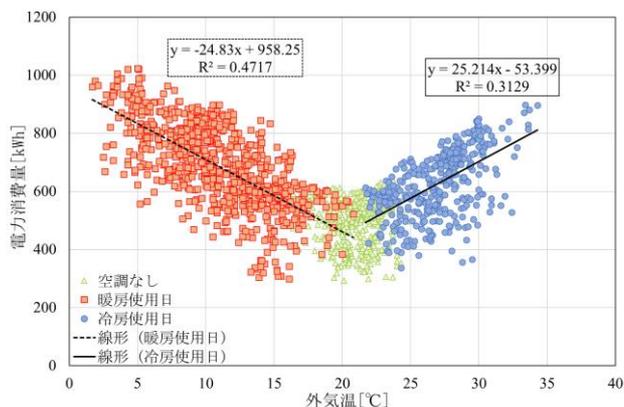


図 2 2020 年度日立キャンパス電力消費量

の3つに分類し、グラフにまとめた。空調なしの日の電力消費はベース電力（ここでは最も在室人数が少ないと考えられる1月1日の電力消費量とする）と照明・コンセント電力と推測され、冷暖房利用日には、そこに冷暖房の電力消費が加わった分であると考えられる。

図2より、冷房使用日における電力消費量と外気温の相関は少ない。これは、吉田ら⁴⁾の研究と異なる結果を示しており、COVID-19の流行により、キャンパスの入構制限が行われたことで、学内の在室人数が減少し、それに伴い電力消費が減ったと考えられる。一方、暖房使用日の電力消費量と外気温にはやや相関が見られ、相関式（相関係数：約0.47）を得られる。これは、COVID-19の流行により、積極的な換気が求められたことで、窓を開けた状態で空調を使用していたことや室内の人数が減少したために内部発熱が減ったことなどが影響していると考えられる。

2.2. 2021年度キャンパス電力解析

2021年度におけるキャンパス全体の電力消費量と外気温（図3）より、2020年度と比較すると、回帰直線の傾きや決定係数が冷房使用日・暖房使用日ともに近い値を得られたことから、キャンパス全体でみると、2020年度、2021年度ともに電力消費の傾向が同様であったことが分かる。

また、2020年度、2021年度ともに冷房使用日と暖房使用日の回帰直線が外気温20℃付近で交差しており、冷暖房いずれも使用せず過ごせる気温であると考えられる。

3. 入構人数の推定

キャンパスの入構データは、キャンパス正門でのICリーダによる入構履歴（図4）を用いて、2020年4月21日から2021年12月13日まで取得した。ICカードリーダーには学科や学年がわかる学生証番号や職員証番号と時刻が記載される。同じ番号の人が初めにICリーダにかざしてから次にかざすまでの時間はキャンパス内に入構していたと仮定し、1時間ごとの入構人数を推定した。推定にあたっては、Rを用いてプログラミングを行った。

入構人数日最大値（1時間毎）を図5に示す。1日の中で最も入構者数の多かった時間を抜き出し、年度ごとにグラフにまとめた。2020年4月～8月にかけてはキャンパスの入構制限・全面オンライン授業が実施されていたことにより、学生の出入りはほとんどなく、事務員や教員がその多くを占めている。また、2020年の後期（2020年9月～2021年2月頃）には、対面授業が一部再開されたものの、その多くが実験や演習の授業で、座学の授業はほとんどがオンラインで行われており、講義室を利用する学生はあまり入構していなかったと推測される。この期間の入構者数は、2021年度と比較しても大きな差

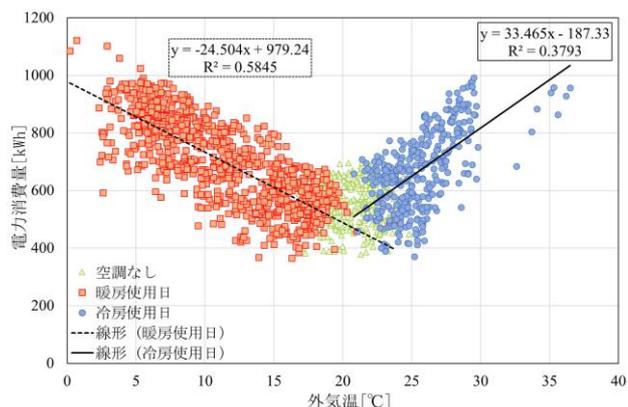


図3 2021年度日立キャンパス電力消費量

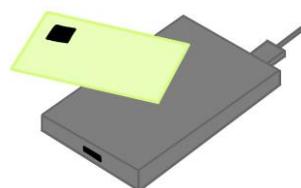


図4 入構時のデータ取得の様子

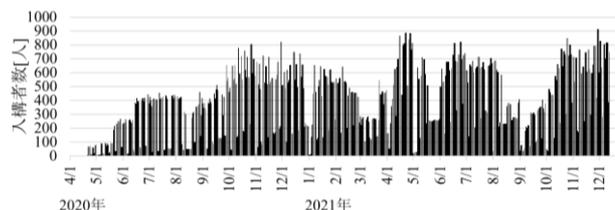


図5 入構者数日最大値（1時間毎）

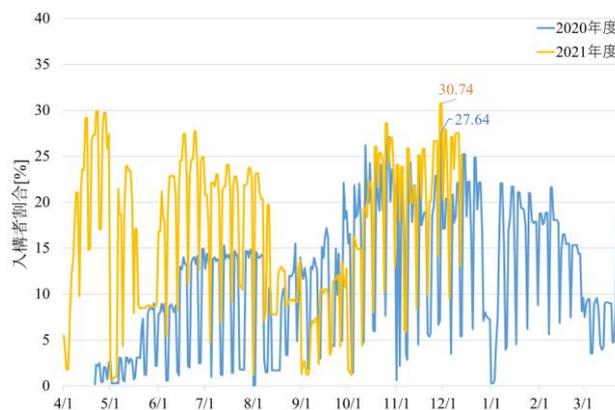


図6 入構人数日最大値の割合

はみられていないことから、キャンパスの電力消費に関わる大半は研究室や実験室（これらを利用する入構者）が占めていると考えられる。

また、入構人数日最大値の割合（図6）より、2020年度、2021年度ともにデータ取得期間の中で入構者が最も人が多かった日の入構割合は約3割程度であった。

4. 入構人数を用いたキャンパス電力解析

4.1. 2020年度の入構人数を用いたキャンパス電力解析

2020年度におけるキャンパスの1人あたりの電力消費量と外気温を図7に示す。キャンパスの入構データか

ら1時間ごとの入構人数を把握し、同時刻のキャンパス全体の電力消費量からベース分を除いたデータ（人の有無の関係する電力消費分）を用いて1人あたりの電力消費量を推計した。期間は入構データを取得した2020年4月21日から2021年3月31日までとした。図7より、冷房使用日には1人あたりの電力消費量と外気温にはやや相関が見られ、相関式（相関係数：約0.47）を得られる。一方、暖房使用日の相関は少ない。また、外気温に関わらず電力消費量が1,500W/人を超える時間帯が多くあり、窓開け換気により、室内温度が低下したことで暖房を多く使用していたことが影響していると考えられる。

次に、2020年度の代表日における時系列電力消費量を図8に示す。代表日は、冷房使用日・暖房使用日の中からそれぞれ電力消費量の多い日、空調なしの中で電力消費量の少ない日を選んでいる。冷房使用日・暖房使用日の日最大時の入構人数はほとんど差がないものの、電力消費量には大きな差がみられる。また、グラフより、居住者の暖房利用による消費量は約450kWh、居住者の冷房利用による消費量は約100kWhと冷暖房使用による差が大きく、入構者数がほぼ同じであったことから、暖房使用日の方が1人あたりの電力消費量（暖房使用分）が多いと考えられる。この結果から、やはり窓開け換気が頻繁に行われたと推測できる。また、図2.7の回帰直線の傾きを比較すると、冷房使用日・暖房使用日のいずれも図7の方が傾きが大きくなっており、暑い・寒いといった環境下で1人あたりの電力消費量が増加していることが分かる。

4.2. 2021年度の入構人数を用いたキャンパス電力解析

2021年度におけるキャンパスの1人あたりの電力消費量と外気温を図9に示す。期間は入構データを取得した2021年4月1日から2021年12月13日までとした。図7より、冷房使用日の相関は2020年度とほぼ同様であったものの、暖房使用日には相関が見られず、全体として、電力消費量が少ない傾向にあった。これは、2020年度に比べて在室者が増加し、それに伴い内部発熱が増えたことが影響していると考えられる。

次に、2021年度の代表日における時系列電力消費量（図10）より、入構データが取得できた冷房使用日では2020年度に比べて電力消費量及び1人あたりの電力消費量が増加しており、やはり在室者の増加が影響していると考えられる。また、図3.9の回帰直線の傾きを比較すると冷房使用日・暖房使用日ともにほぼ同様であった。

電力消費量の計測データはキャンパス全体のみで詳細は不明なため、シミュレーションによる検討を行った。

5. シミュレーションによるエネルギー消費量の推定

5.1. シミュレーション概要

モデル建物（図11）を用いて、表2に示す建物入力条

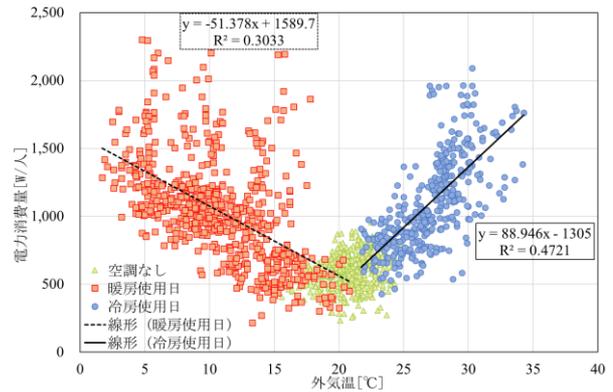


図7 2020年度キャンパス一人あたりの電力消費量と外気温

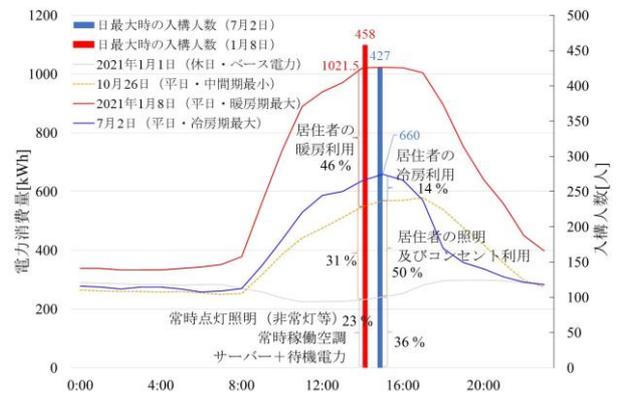


図8 2020年度時系列電力消費量

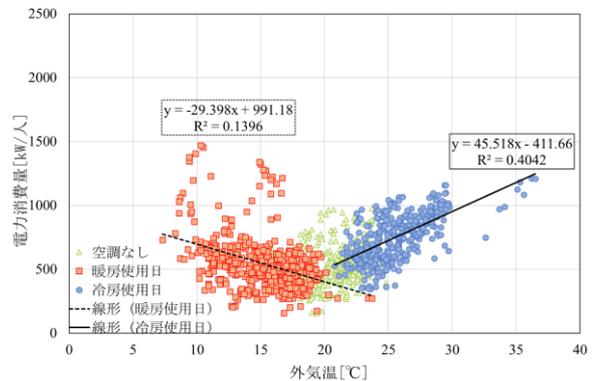


図9 2021年度キャンパス一人あたりの電力消費量と外気温

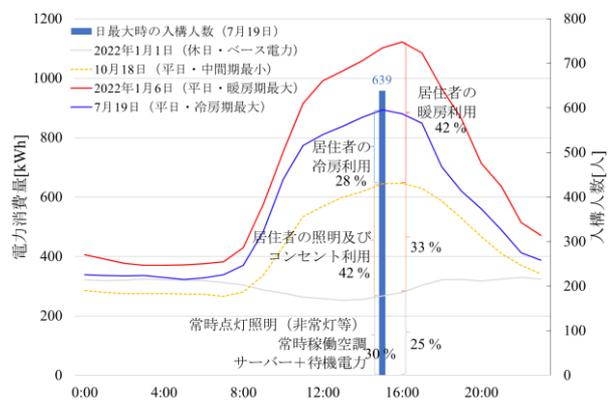


図10 2021年度時系列電力消費量

件により、建築物総合エネルギーシミュレーションツール BEST 専門版⁵⁾ (気象データ：日立) を用いた負荷計算を実施した。表 2 に示すように、居室ごと (研究室, 実験室, 講義室, 事務室) に条件を設定し、在室人数による違いを比較するため、COVID-19 流行前と流行下で計算を行った。COVID-19 流行下では、入構制限等による在室人数の減少を考慮し、流行前の半分の在室人数と仮定し、シミュレーションを実施した。なお、在室人数以外の条件は COVID-19 流行前と流行下で同じとし、ここでは換気による影響は考慮していない。

5.2. シミュレーション結果

室用途別一次エネルギー消費量 (図 12) より、コンセント・照明の消費量は、コロナ前、コロナ禍でほとんど変化がなかったものの、空調の消費量は在室人数の減少により、全居室で一次エネルギー消費量が 3.1~17.4 %程減少した。また、キャンパス全体での実測とシミュレーションの比較 (図 13) より、実測とシミュレーションはほぼ同様の結果を示しており、精度よく実施された。

キャンパス全体の検討を行った中で、より詳細な検討を行うため、室の面積割合が最も大きく、人の行動による影響を受けやすい研究室において詳細な把握を行った。

6. 研究室における自然換気導入シミュレーション

流体解析ソフト FlowDesigner を用いて研究室の室モデル (図 14) を作成し、表 3 に示す解析境界条件にて室内の気流解析を行った。図 15 より 2カ所の空調吹出しに窓開口部から空気の流入が加わると、室内温度分布に偏りが見られており、冷暖房使用が増加したと考えられる。

7. 総括

本研究では、2020 年度、2021 年度のコロナ禍における 1 時間ごとの大学キャンパス全体及び一人あたり電力消費量の把握を行った。在室人数に応じた空調用エネルギー削減が課題であり、自然換気がエネルギー消費に与える影響が大きいことがわかった。今後、さらなる検討を行っていく予定である。

【参考文献】

- 1) 光永ら：『オフィスビルにおける人の行動とエネルギー消費の関係分析』空気調和・衛生工学会論文集{2013.9.25~27(長野)}
- 2) 鶴飼ら：『機械学習を用いた電力量消費予測に関する研究 第1報 夏期における電力消費予測と室利用者データの有用性検証』空気調和・衛生工学会論文集{2019.9.18~20(札幌)}
- 3) 内田ら：『データ解析とシミュレーションを併用した大学キャンパスの省エネルギーポテンシャル定量化手法の開発』空気調和・衛生工学会論文集 No.268, 2019年7月
- 4) 吉田ら：“Strategies for a sustainable campus in Osaka University”, Energy and Buildings, Volume 147, pp. 1-8. 2015年6月
- 5) IBEC 建築省エネ機構 <https://www.ibec.or.jp/best/>

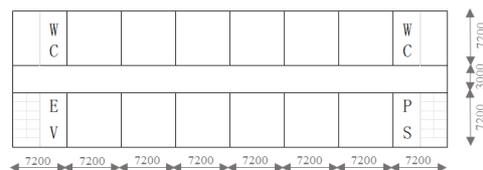


図 11 モデル建物平面図 (方位：北が上)

表 2 建物入力条件

		研究室	実験室	講義室	事務室
建物性能	RC壁	熱貫流率1.0W/m ² K			
	窓	単板ガラス4.5 W/m ² K・ブラインド有、開口率30%			
コンセント	コンセント負荷	7 W/m ²	15 W/m ²	1 W/m ²	5 W/m ²
照明	蛍光灯	照度750 lx・20 W/m ²			
空調	空調機	冷房：COP2.0, 暖房：COP2.0			
空調制御	ゼロエナジーバンド制御	温度設定 (22℃~26℃)			
在室人数	COVID-19流行前	0.2人/m ²	0.05人/m ²	0.5人/m ²	0.2人/m ²
	COVID-19流行下	0.1人/m ²	0.025人/m ²	0.25人/m ²	0.1人/m ²
	スケジュール	9:00-20:00	8:00-18:00	8:00-18:00	

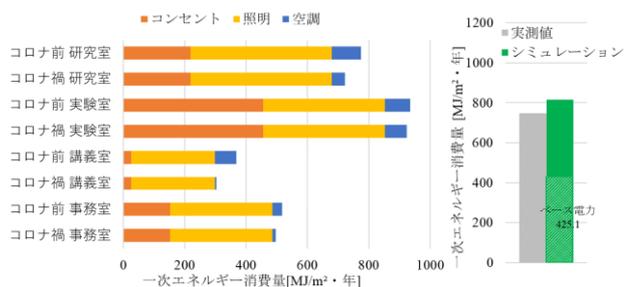


図 12 室用途別一次エネルギー消費量 (左)

図 13 実測とシミュレーションの比較 (右)

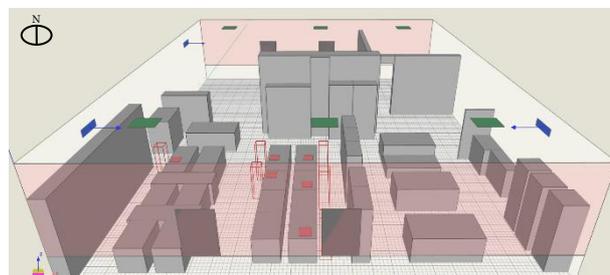


図 14 研究室概要 (Flowdesigner 解析モデル)

表 3 解析の境界条件

外気・室内初期温度	25℃
外部開口条件	北面：25℃, 南面：35℃
室の寸法 (解析領域)	12.24m (x) × 14.0m (y) × 3.0m (z)
メッシュ	193 (x) × 201 (y) × 17 (z)
乱流モデル	乱流・高レイノルズ数型k-εモデル

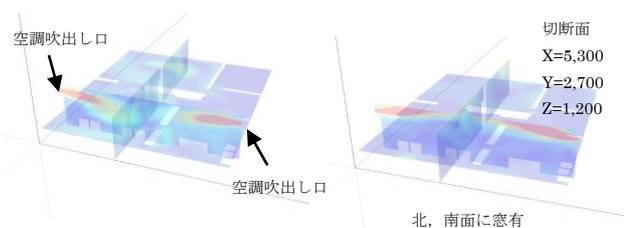


図 15 冷房・換気併用時(左)と暖房・換気併用時(右)