

# 東北地方に立地する大学キャンパス内建物における 電力エネルギーの使用実態に関する研究

## Study on Electrical Energy Consumption of the University Buildings Located in Tohoku Region

大石 洋之\* 大石 葉介\*\*  
Hiroshi OISHI \* and Yosuke OISHI \*\*

### 概要

This study aims to clarify the actual usage of annual electricity consumption at the Yagiyama Campus of Tohoku Institute of Technology to gain knowledge for reducing energy usage. The investigation covered a period of five years, from 2015 to 2019. It was found that electricity consumption is influenced by the outdoor temperature, with higher increase during the winter season. The electricity consumption per unit area of building no.1 was approximately 1.5 times as large as building no.5. then, Demand for electricity was higher in building no.1 with office space than in building no.5 with mainly lecture rooms and laboratory.

### 1. はじめに

我が国では、2020年10月に当時の菅内閣総理大臣により宣言されたカーボンニュートラル達成を目指して持続可能な社会の実現に向けたエネルギー問題への取り組みが本格化している。

大学キャンパス内の建物を対象としたエネルギー使用量についての調査報告は様々あり、小林ら<sup>1)</sup>は東日本大震災発生年を含む複数年の気候特性と電力使用量の関連について報告している。また、増田ら<sup>2)</sup>は大学施設のファシリティマネジメントシートを作成し、エネルギー使用量の動向を把握し、実験系建物がエネルギー使用量を削減する余地のあることを明らかにしている。その他にも、大橋ら<sup>3)</sup>は理科系の建物が文科系に比べて3倍以上の年間エネルギー使用量であったと報告している。

このような、個別の建物を対象とした実態調査が行われる一方、一般社団法人サステナブル建築協会の公開データベースである DECC (Data-base for Energy Consumption of Commercial buildings)<sup>4)</sup>や一般社団法人日本ビルエネルギー総合管理技術協会による建築物エネルギー消費

量調査<sup>5)</sup>といった非住宅建物における各種用途の建築物について、エネルギー使用量原単位を把握するための情報も提供されている。

その他にも、カーボンニュートラルの実現に向けて、国、地方自治体、大学、企業等のあらゆる主体がそれぞれの立場や強みを活かして取り組む必要性から、大学等による情報共有や情報発信等の場として「カーボン・ニュートラル達成に貢献する大学等コアリション<sup>6)</sup>」が2021年7月29日に設立され、本学も参画している。

そこで、東北地方に立地する工科系私立大学である本学についても、キャンパス内の各建物に関するエネルギー使用量に関して年度ごとの使用実態や継時的な推移を把握し、今後も持続可能な教育・研究活動の推進や、キャンパス全体でのカーボンニュートラル達成を目指すためにエネルギー使用量削減の余地を見出す必要があると考えられる。

以上のような背景のもと、本研究では、個々に異なる築年数であるキャンパス内の建物を対象として、コロナ禍以前におけるエネルギー使用実態の把握を行う。特に、年間エネルギー使用量全体に占める割合の大きい電力使用量を対象として年度ごとの集計・分析を行うことで、年間エネルギー使用量削減に向けた端緒としての基礎的知見を得ることを目的としている。

2023年10月13日受理

\* 建築学部建築学科 准教授

\*\* 工学研究科建築学専攻 大学院生

なお、本論文は令和5年度空気調和・衛生工学会大会において発表した内容<sup>7)</sup>に加筆・修正したものである。

2. 対象した建物と供試データの概要

本研究では、宮城県仙台市に立地する東北工業大学八木山キャンパス内の建物を対象とした。八木山キャンパス内建物の配置図を図1に示す。

八木山キャンパス内には、1号館から10号館の建物のほかに実験棟など含めて合計13棟が建ち、教育・研究に利用されている。キャンパス内建物の概要を表1に示す。

築年数や延床面積の特徴として、3号館、4号館、5号館は築年数が長い。また5号館は、延床面積が大きく、講義室や研究室として利用されていることから、建物の利用率が比較的高い。

1号館、9号館、10号館は築年数が20年以下であり、他の建物に比べて新しく延床面積が小さい建物となっている。9号館は主に講義室、10号館は講義室や研究室で利用されており、特に9号館は授業日以外では学生の利用率は高くないと予想される一方、1号館には法人事務室があり、授業日であるか否かにかかわらず、各室の利用が行われている建物となっている。

つづいて、本研究の分析に供したエネルギー使用量データについて述べる。

大学キャンパス建物のエネルギー使用量の実績値は、大学の法人事務局で保管している記録を原データとした。

使用エネルギーの種類として、電気、ガス、重油、灯油を集計の対象とした。また、原データの対象年度については、月ごとの使用量が2006年度～2020年度の15年間分が保管されており、そのデータを分析対象とした。また、電気の使用量については、日ごとの使用量が2009年度～2020年度の12年間分が保管されており、そのデータについても分析に供した。

3. 全建物の合計一次エネルギー消費量

はじめに、八木山キャンパス内のすべての建物におけるエネルギー使用量（電気、ガス、重油、灯油）について、エネルギー種別ごと、年度ごとに集計し、それぞれを一次エネルギー消費量に換算して合計した値の推移を図2に示す。

なお、一次エネルギー消費量とは、実際に使用されたエネルギーを供給するために必要とされた化石燃料の使用量である。今回対象としたエネルギー種別は電気・ガス・重油・灯油の4種類であるため、それぞれのエネルギーごとに単位発熱量（換算係数）を乗じることで熱量換算した値を

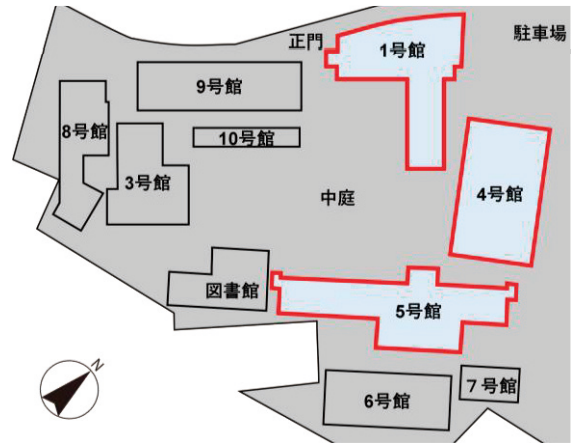


図1 キャンパス内建物の配置図 (赤太線の建物は4-3節以降の詳細分析対象を示す)

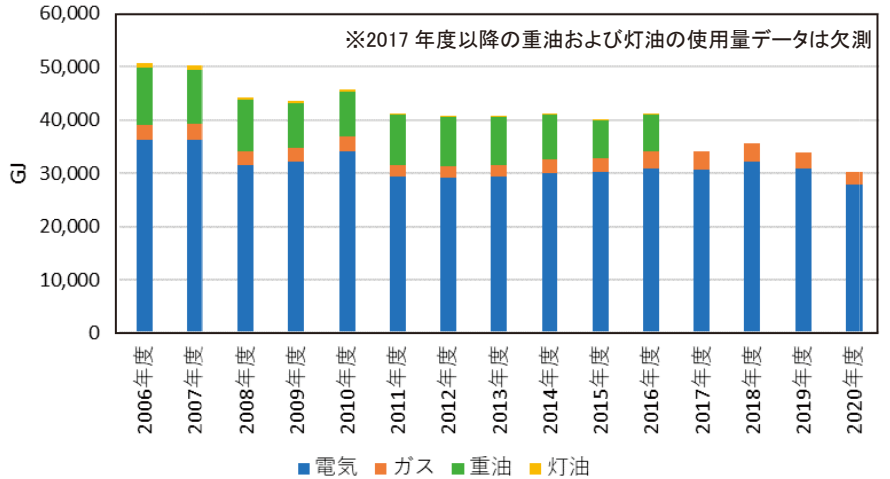


図2 全建物の合計一次エネルギー消費量

表1 キャンパス内建物の概要

| 建物名称 | 構造方式      | 階数         | 延べ床面積(m <sup>2</sup> ) | 竣工年(築年数)      | 主な用途            | 主な冷暖房設備                    | 主な換気設備              |
|------|-----------|------------|------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|---------------------|
| 1号館  | S造(一部RC造) | 地下1階, 地上階  | 5270.18                | 2006年9月(16年)  | 法人事務室・会議室, 講義室  | パッケージ型空気調和機                | 全熱交換型換気扇            |
| 3号館  | RC造       | 地上6階       | 4610.34                | 1980年4月(43年)  | 研究室             | パッケージ型空気調和機                | 全熱交換型換気扇            |
| 4号館  | RC造       | 地下5階, 地上2階 | 8517.81                | 1967年5月(56年)  | 食堂・体育館・実験室, 講義室 | パッケージ型空気調和機                | 壁取り付け型有圧扇, 全熱交換型換気扇 |
| 5号館  | RC造       | 地下3階, 地上5階 | 12503.14               | 1968年12月(54年) | 研究室・実験室, 講義室    | パッケージ型空気調和機                | 壁取り付け型有圧扇           |
| 9号館  | RC造       | 地上3階       | 3797.86                | 2003年2月(20年)  | 講義室             | ガスヒートポンプパッケージエアコン          | 全熱交換型換気扇            |
| 10号館 | S造(一部RC造) | 地下1階, 地上8階 | 4205.37                | 2003年2月(20年)  | 研究室, 講義室        | ガスヒートポンプパッケージエアコン, 床暖房(1F) | 全熱交換型換気扇            |

求めて合計した。また、一次エネルギー消費量への換算係数は、電気が9.97 [MJ/kWh]（昼間電力）、ガスが45.0 [MJ/m<sup>3</sup>]、重油が39.1 [MJ/L]、灯油が36.7 [MJ/L]の値を用いた。

図2より、電気は集計の初年度である2006年度以降、徐々に減少している傾向がみられた。ガスは、年度によって増減がみられたが、年度ごとの合計に対する使用割合は小さい。重油と灯油も年度を追って減少がみられたが、合計に対する使用割合は小さかった。

年度ごとの年間の一次エネルギー消費量を集計期間全体で平均すると、電気が約31,000 [GJ]、ガスが約2,700 [GJ]、重油が約8,900 [GJ]、灯油が約400 [GJ]であった。電気の使用割合が特に大きく、約77%を占めていた。なお、重油と灯油の使用量について2017年度以降の値がないのはデータが欠損していたためである。

各エネルギー種別の合計では、2017年度以降のデータ欠測を除いた年度の平均で年間約43,700 [GJ]（43.7 [百万MJ]）であった。一般社団法人日本ビルエネルギー総合管理技術協会の建築物エネルギー消費量調査<sup>5)</sup>による学校の年間合計使用量原単位は42.1 [百万MJ]で、本学の使用量は概ね同程度の値であった。

また、電気の年間一次エネルギー消費量で最も多い年は2006年度で約36,000 [GJ]、最も少ない年は2020年度で約28,000 [GJ]となっており、その差である約8,000 [GJ]が年を経るにしたがって徐々に削減されているという傾向がみられた。しかしながら、上述したとおり、8割弱（約30,000 [GJ]）と全体のエネルギー使用量に対する割合が非常に大きい電気については、さらなる負荷削減の余地があると考え、電力使用量を取り上げ、次章以降において詳細な分析を行う。

#### 4. 電力使用量の詳細分析（授業の有無の影響）

##### 4-1 年度ごとの建物別での合計電力使用量

本節の電力使用量の詳細分析に用いたデータは、2015年度から2019年度の5年分で、1号館、3号館、4号館、5号館、9号館、10号館の6棟の建物ごとの電力使用量の日積算値を用いて集計した。なお、2020年度は新型コロナウイルスの感染拡大により全講義がオンライン対応となり、講義室の利用が大きく減少していることに伴って、年間の電力使用量が大幅に減少していた。また、供試データの特性上、電力使用量は建物全体の計測となっており内訳は不明である。

6棟の年度別での合計電力使用量の結果を図3に示す。年度ごとの総電力使用量に大きな差はみられず、およそ200万～230万kWh程度の値で推移していた。

建物別では、5号館の電力使用量が全体に占める割合が最も高く、およそ30%、次いで1号館の使用量が20%となっていた。空調の熱源としてガスヒートポンプが用いられている9号館、10号館は電力使用量が少なく、それぞれ7.5%、10%程度の割合を占めていた。また、単位面積あたりの電力使用量とした場合は1号館が最も多く、5年間の平均値で83.9 [kWh/m<sup>2</sup>]、次いで4号館、5号館がおおよそ76.5 [kWh/m<sup>2</sup>]であった。これより、単位面積でみた場合は5号館に比べて築年数の新しい1号館の電力使用量が多いという特徴を有することがわかった。そこで、この要因について次節以降でさらなる分析を行う。

##### 4-2 各年度の気候の特徴

本節では、電力使用量の年度ごとの分析を行うにあたり、電力使用量に影響を及ぼすと考えられるその年の気候の特徴について整理した。

分析に用いる気象データは、気象庁で公開されている過去の気象データ<sup>8)</sup>より、八木山キャンパスに最寄りの観測地点の気温を使用した。

2015年度から2019年度の気候の特徴として、夏日、冬日等の日数を集計したグラフを図4に示す。なお、分類にあたっては気象庁の定義に従い、最高気温が35℃以上の日を猛暑日、30℃以上の日を真夏日、0℃未満の日を真冬日、最低気温が0℃

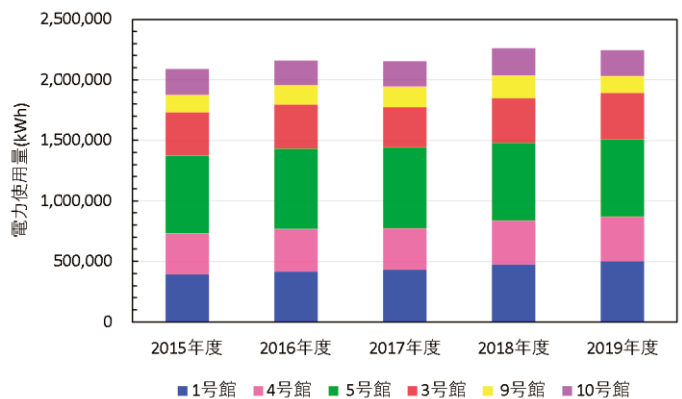


図3 年度ごとの合計電力使用量

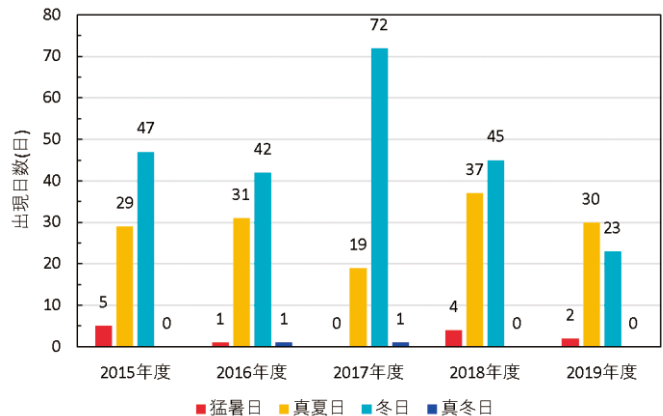


図4 年度ごとの気候の特徴



未満の日を冬日とした。

結果より、猛暑日と真夏日は 2017 年度を除いて概ね同様の日数で、そのうち 2018 年度の合計日数が最も多く出現していた。逆に、冬日・真冬日は 2017 年度が最も合計日数が多く出現しており、他の年度は概ね同様の日数となっていた。

以上の気候の傾向を踏まえて、電力需要が高くなる夏季や冬季の特徴的な年度として、2017 年度と 2018 年度を取り上げる。また、それらの年度と異なる平均的な気候の年度として 2016 年度を加えた 3 年を対象として、さらなる詳細な電力使用量の分析を行うこととした。

### 4-3 年間における電力使用量の推移

本節の分析では、大学の学事日程における通常の授業が行われている日を『授業日』、それ以外の土日、祝日、夏休み等の長期休業期間を『その他』として分類し、日電力使用量の値を週ごとに集計した。すなわち通常の 1 週間であれば 7 日のうち 5 日を『授業日』、2 日を『その他』として、

それぞれの電力使用量を 1 週間ごとに合計した。

建物別での週合計の電力使用量とその週の平均気温（週平均気温）の推移を図 5 に示す。

なお、建物外皮がガラスカーテンウォールで構成されている 1 号館、食堂があり他の建物と比べて学生や教職員の行動による影響が予想される 4 号館、分析対象建物の中で最も規模が大きく築年数の古い 5 号館を分析対象とした。

はじめに 1 号館と 5 号館では、電力使用量の推移が夏季の 7 月と冬季 1 月ごろの 2 回にピークとなる傾向がみられ、その季節の気温の変化による影響が現れていると考えられる。

これより、これらの建物では、外気温の変動が建物の電力使用量の増減と関連がみられることから、建物外皮性能が電力使用量に影響を及ぼすことが示唆される。

つづいて 4 号館では、年間をとおして電力使用量の推移の変動が小さく、ピーク時の値も他の建物に比べて低い値となっていた。一方で 5 号館は、年間をとおして最も多い電力使用量で推移して

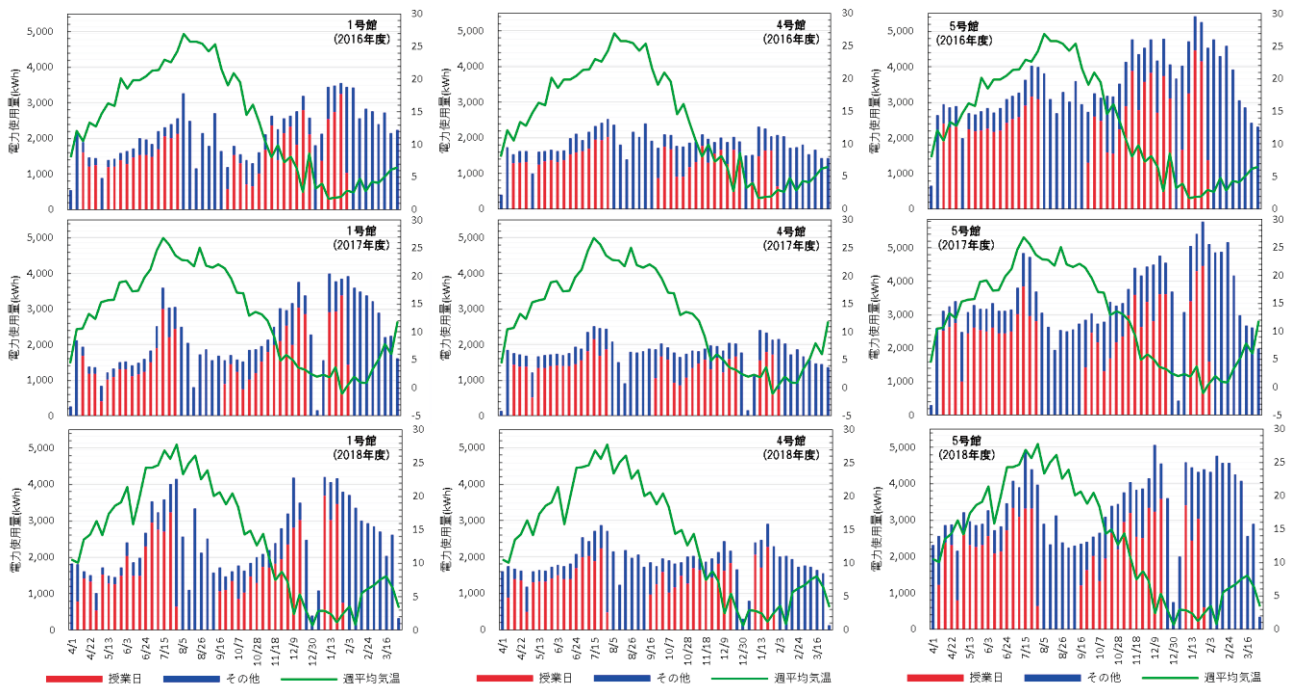


図 5 建物別での週合計電力使用量と週平均気温推移

表 2 年度ごとの年間の電力使用量の平均値

| 延べ床面積(m <sup>2</sup> ) |     | 5,270    | 8,520    | 12,500   |                          |                          |                          |
|------------------------|-----|----------|----------|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 年度                     | 分類  | 1号館(kWh) | 4号館(kWh) | 5号館(kWh) | 1号館(kWh/m <sup>2</sup> ) | 4号館(kWh/m <sup>2</sup> ) | 5号館(kWh/m <sup>2</sup> ) |
| 2016                   | 授業日 | 369.05   | 316.98   | 590.32   | 74                       | 37                       | 49                       |
|                        | その他 | 277.30   | 231.91   | 445.56   | 56                       | 27                       | 37                       |
|                        | 差   | 91.74    | 85.07    | 144.75   | 18.42                    | 9.99                     | 11.90                    |
| 2017                   | 授業日 | 387.04   | 318.07   | 603.94   | 78                       | 37                       | 50                       |
|                        | その他 | 284.54   | 221.98   | 440.59   | 57                       | 26                       | 36                       |
|                        | 差   | 102.49   | 96.10    | 163.35   | 20.58                    | 11.28                    | 13.43                    |
| 2018                   | 授業日 | 424.80   | 338.10   | 555.18   | 85                       | 40                       | 46                       |
|                        | その他 | 312.60   | 235.83   | 445.75   | 63                       | 28                       | 37                       |
|                        | 差   | 112.20   | 102.27   | 109.43   | 22.52                    | 12.01                    | 9.00                     |

おり、特に冬季を含む各年度の11月から2月にかけては毎年4,000 [kWh]以上の値がみられ、冬季に特徴的に電力使用量が多くなることがわかった。

また、分析対象とした建物はいずれも『授業日』を含む週の期間に電力使用量のピークが生じると予想していたが、長期休暇中となる『その他』の期間においても『授業日』と概ね変わらない電力使用量の値となる週や、『授業日』を上回る値となる週がみられた。なお、同様の傾向は2月、3月が顕著であった。この結果より、当初は『授業日』の教室使用による影響が建物での電力使用量の増減に直接的に影響していると考えていたが、『その他』期間においても電力使用量の増加させる要因のあることが示唆された。

#### 4-3 建物ごとの年平均電力使用量の比較

分析対象年度ごとでの年間の電力使用量の平均値を表2に示す。

年度ごとで夏日や冬日の日数といった気候の特徴は異なるものの、建物ごとで単位面積あたりの年平均値では『授業日』と『その他』の結果に大きな差はみられなかった。

同結果を文献<sup>1)</sup>における単位面積あたりの値と比較したところ、5号館や4号館と同規模の建物の電力使用量は、それぞれ夏季で約60 [kWh/m<sup>2</sup>]、約50 [kWh/m<sup>2</sup>]、それぞれ冬季で約40 [kWh/m<sup>2</sup>]、約33 [kWh/m<sup>2</sup>]となっており、概ね同程度の電力使用量となっていた。

また、分析対象とした建物での単位面積あたり

の値を比較すると、1号館の電力使用量は70～85 [kWh/m<sup>2</sup>]となっており、5号館の1.5～1.2倍程度の電力使用量となっており、キャンパス内の建物では最も高い電力需要のあることがわかった。

### 5. 電力使用量の詳細分析（気候との関連）

#### 5-1 日平均気温と電力使用量の関連

本節では、2016年度、2017年度、2018年度の3年について、1号館・4号館・5号館の電力使用量と日平均気温との関連について、日別電力使用量のデータを散布図に表示して検討を行った。それぞれの散布図を図6に示す。なお散布図では、気象庁の季節の区分と対応させ、春を3～5月、夏を6～8月、秋を9～11月、冬を12～2月として図中の凡例の色分けを行っている。また、各月の日別電力使用量は、建物内が通常の利用をされている状況に近い状態のみ抽出することを意図して、『授業日』のみを分析対象とした。

1号館では、2017年度、2018年度のグラフで平均気温23℃以上となる夏季に右上がりに分布する傾向がみられ、3年度とも平均気温10℃以下となる冬季に左上がりに分布する傾向がみられた。夏季と冬季いずれの分布も平均気温が増減するにしたがって電力使用量が大きく増減しており、年間の日平均気温に対応して電力使用量の増減が大きく影響を受ける様子が窺える。

4号館では、平均気温23℃以上となる夏季に右上がりに分布する傾向がみられる一方、2016年度、2017年度のグラフで平均気温10℃以下となる冬季に分布の傾きが大きくなっておらず、幅広い平

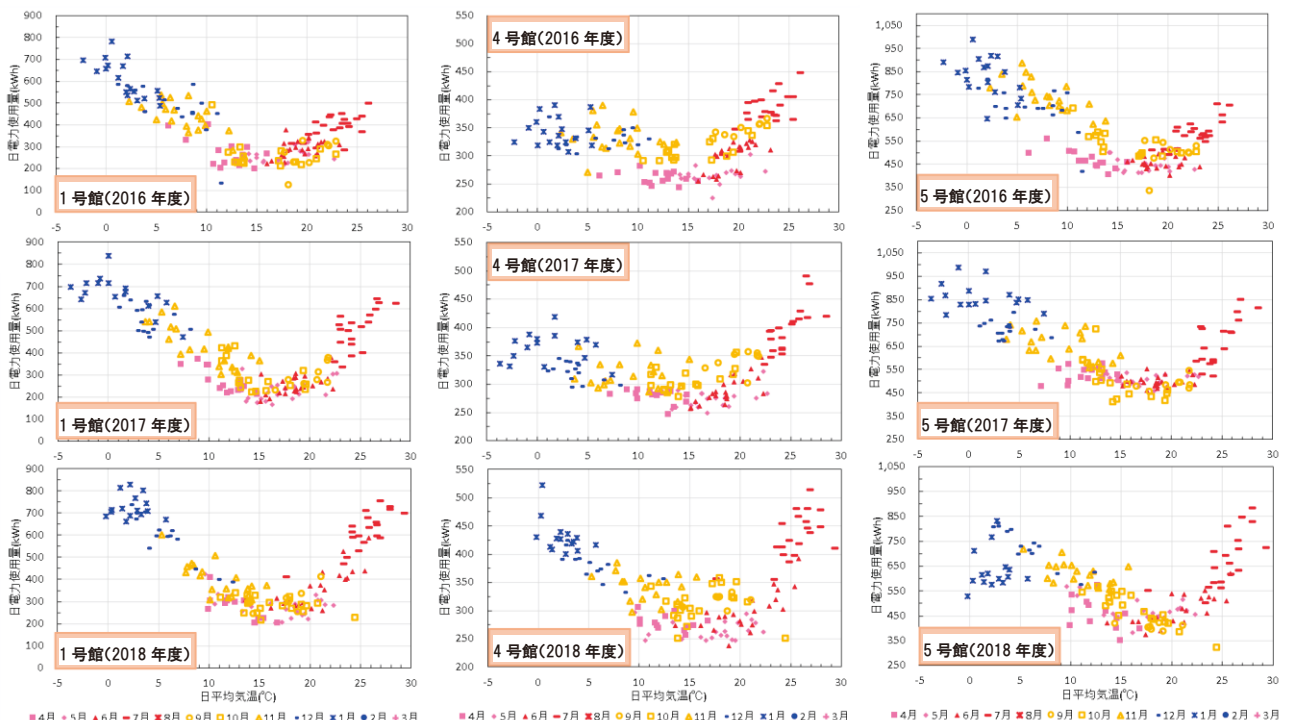


図6 日平均気温と電力使用量との関連

均気温の範囲に日電力使用量 300~400 [kWh]の値で分布していた。

5号館では、1号館同様に2017年度、2018年度のグラフで平均気温 23℃以上となる夏季に右上がり分布する傾向がみられ、2016年度、2017年度の冬季で平均気温 10℃となる気温以下で電力使用量が 650~1,000 [kWh]の低い値の範囲に分布していた。

以上の結果より、いずれの建物においても日平均気温による電力使用量への影響が窺え、特に1号館では夏季と冬季、4号館では夏季、5号館では冬季に日平均気温が変化することで、電力使用量が顕著に増減する傾向がみられた。

その要因として、1号館では建物外皮がガラスカーテンウォールで構成されているために、夏季の日射が直接室内に侵入する影響が大きいこと、4号館では建物形状として東西面が長手方向となっており夏季の日射受熱が大きい可能性が考えられる。また、5号館は、築年数が長く、鉄筋コンクリート構造で断熱も乏しいことから、冬季の暖房需要増加による影響が顕著に現れるものと考えられる。

### 5-2 分析対象建物と月平均電力使用量の関連

つづいて、分析対象建物と月平均の電力使用量の関連について4~6月を図7に、10~1月を図8に示す。

4~6月では、分析を行った3年がほぼ同様の傾向を示しており7月が特徴的に他の月に比べて電力使用量が増加する傾向があることがわかる。特に、2017年度、2018年度の1号館では、その他の月に比べて約2倍に増加しており、夏季の影響が特に大きい建物であることが窺える。

10~1月では、4号館は月の違いであまり値が変化しておらず、1号館と5号館で月が進むごとに電力使用量が増加する傾向がみられた。

5号館では10月に比べて1月の増加量が約1.5倍であるのに対して、1号館では同期間の増加量が2~2.5倍となっていた。これより、冬季においても1号館の電力使用量の増加幅が大きく、建物のエネルギー負荷削減に向けては、1号館における夏季と冬季双方の対応が必要となることが示唆された。

### 6. おわりに

本研究では、大学キャンパス内の建物におけるエネルギー使用量について、電

力使用量を対象に建物の使用状況や気候の特徴による影響の程度について検討を行った。

結果より、教室利用が少ないと想定される『その他』の期間においても電力使用量の多い週が散見され、授業による教室利用以外の建物の使用実態が電力使用量の増減傾向に影響している可能性が示唆された。

一方で、気候の特徴による影響を検討したところ、平均気温による影響が建物ごとに顕著に現れており、電力使用量が直接的に影響を受けていることがわかった。

特に、1号館への気候の特徴による影響が大きく、ガラスカーテンウォールで構成された外皮が室内の冷暖房負荷を増加させていると考えられる。また、5号館では築年数が長いこともあり断熱性能の低さから冬季に暖房需要が大きくなっている可能性が示唆された。

今後、大学キャンパス全体でのカーボンニュートラルを目指す場合、建物のエネルギー使用量削減は重要な課題であり、建物のエネルギー使用量のうち大きな割合を占める電力使用量について、その用途別の負荷割合などを明らかにすることで、エネルギー負荷削減の余地を検討することが

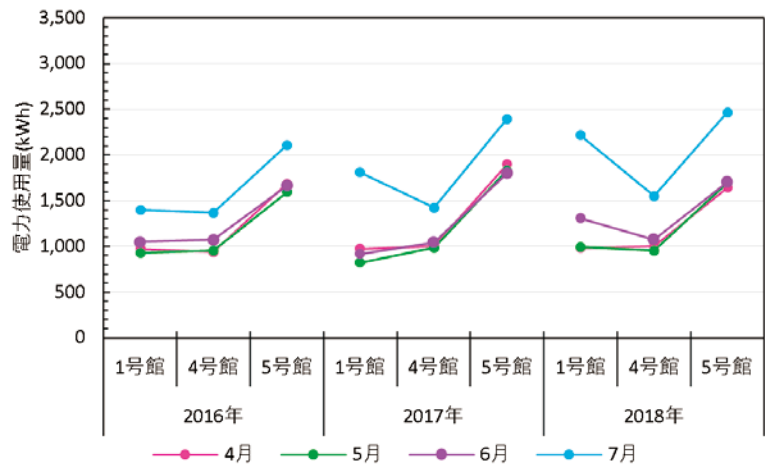


図7 月平均電力使用量 (4~6月)

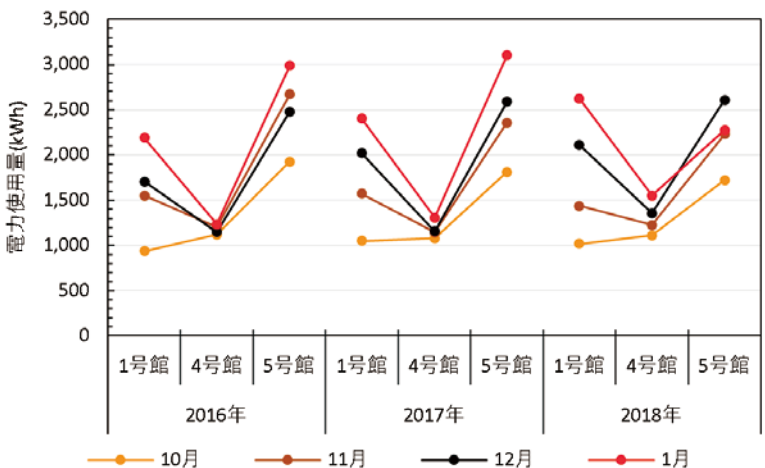


図8 月平均電力使用量 (10~1月)



可能となる。今回の研究では大学内で蓄積されていた実績値をもとに分析を実施したが、今後の建物のエネルギー使用量を仔細に実測するというアプローチも有用と考えられる。

また、同時に建物が周囲環境から受ける影響をどのように低減するかといった、既存建物の外皮性能向上のためのパッシブ技術の検討も併せて不可欠であると考えられる。

大学キャンパスの建物は築年数に長短あり、個々の建物の特性など一律に扱えない面も大きいと考えられるが、段階的かつ継続的な検討が重要であると考えられる。

## 謝 辞

本研究で分析に供したエネルギー使用量データは実績値を総務企画課、および施設管財課よりご提供いただきました。また、研究実施にあたり東北工業大学建築学科大石研究室卒論生の小林眞子さん、松野 元樹さん、安田 楽さんに尽力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- [1] 小林ほか: 大学キャンパスにおける電力消費量の実態調査, 空気調和衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 265-268, 2014年9月
- [2] 増田ほか: 大学キャンパスの建物エネルギー消費量・CO2 排出量の現状分析, 空気調和衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 57-60, 2016年9月
- [3] 大橋ほか: 大規模総合大学施設のエネルギー消費実態に関する研究, 日本建築学会環境系論文集 第78巻 第684号, pp. 193-201, 2013年2月
- [4] 一般社団法人サステナブル建築協会公開データベース DECC (Data-base for Energy Consumption of Commercial buildings) : <https://www.jsbc.or.jp/decc/index.html> (2023年9月29日閲覧)
- [5] 一般社団法人日本ビルエネルギー総合管理技術協会による建築物エネルギー消費量調査44報「ダイジェスト版」: <http://www.bema.or.jp/20220623.html> (2023年9月29日閲覧)
- [6] カーボン・ニュートラル達成に貢献する大学等コアリション : <https://uccn2050.jp/> (2023年9月29日閲覧)
- [7] 大石ほか: 東北地方に立地する大学キャンパス内建物のエネルギー使用実態に関する研究 (第1報) 電力使用量の季節特性の分析結果, 空気調和衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 325-328, 2023年9月
- [8] 気象庁 Web サイト・過去の気象データ検索 : <https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php> (2023年9月29日閲覧)