

長崎大学におけるエネルギー消費の実態把握と 予測に関する研究

足立尚斗*・源城かほり**

Research on Understanding and Forecasting of Energy Consumption in Nagasaki University

by

Naoto ADACHI *, Kahori GENJO *

The purpose of this research is to clarify the energy consumption at three campuses and school of engineering in Nagasaki University. First, we compare the energy consumption of electricity and gas between the three campuses from 2007 to 2017. As a result of analysis by quantification class I, it is the number of people who have the most influence on the primary energy consumption per unit floor area of our university. Finally, the energy consumption reduction targets in 2030 (compared to 2017) were set respectively.

Key words : *primary energy consumption, university, campus, faculty, energy saving*

1. はじめに

大学は一般に多くの施設を持っており、多数の人々が使用し、活動時間も長いため、多くのエネルギーを消費している。また、今後は施設の増築や改修、情報通信機器や大型研究設備の増加、研究内容の高度化等により、エネルギーの消費量は益々増加する傾向にある。そのため、大学という大型建築物が消費する膨大なエネルギーを僅かでも削減することができれば、省エネルギー化の推進に大きく貢献することができる。大学のエネルギー消費に関する研究¹⁾⁴⁾はこれまでに多数行われている。しかし、一括りに大学といっても各大学によってその規模や学部構成などに多くの違いがあるため、大学ごとのエネルギー消費特性を把握して省エネルギー方策を検討することが重要である。大学という大型建築物が消費するエネルギーは膨大であるがゆえ、そのエネルギー消費特性を把握した上で省エネルギー化を図ることは重要である。

本研究では、本学全体、キャンパス別、学部別の消費量を把握し、本学における2007年以降のエネルギー消費実態やその要因を明らかにすると共に、本学のエ

ネルギー消費量を他の国立大学法人与比較し、本学のエネルギー消費が他大学に比べてどの程度であるかを明らかにする。そして、本学の将来におけるエネルギー消費量を予測し、エネルギー消費量削減のための目標値を設定する。以上のように本研究は本学のエネルギー消費特性を把握し、本学のエネルギー管理への基礎資料を提供することを目的としている。

2. 調査概要

本研究では、文教キャンパス(以下、文教 C)、坂本キャンパス(医学部医学科、各研究所がある坂本キャンパス 1(以下、坂本 C1)と附属病院、歯学部、医学部保健学科がある坂本キャンパス 2(以下、坂本 C2))、片淵キャンパス(以下、片淵 C)を対象とする。Table 1 に示すように、4 箇所のキャンパスのうち、延床面積は坂本 C2 が最も大きい。これは、キャンパス内に学生用の建物だけでなく附属病院が立地しているためである。また坂本 C2 に次いで、文教 C、坂本 C1、片淵 C の順に大きくなっている。人数は多くの学部が立地している文教 C で最も多く、次いで坂本 C1、片淵 C、坂本

平成**年**月**日受理

* 工学研究科総合工学専攻 (Department of Advanced Engineering)

** 工学研究科 (Graduate School of Engineering)

C2の順に多い。使用熱源は電力、都市ガス、重油、灯油の4種類であり、これらを分析対象とする。

Table 2 に示すように、本学全体、各キャンパス、各学部におけるエネルギー消費実態の把握については、各熱源のエネルギー消費量の光熱費請求資料のデータを基に調査する。調査対象期間は、2007～2017年の11年間とする。また、本学の要因分析については、2007～2017年の11年間における月別単位床面積当たり1次エネルギー消費量を目的変数、月別人数、月平均気温、月別開講日数を説明変数とする数量化I類による多変量解析をIBM SPSS Statistics Ver.25を用いて実施している。また、本学におけるエネルギー消費量と他の国立大学法人との比較については、全国の国立大学法人54大学を対象とし、各大学が発行している2017年の環境報告書に記載されている年間1次エネルギー消費量(対象期間:2016年4月1日～2017年3月31日)のデータを基に調査する。使用熱源は電力、都市ガス、重油、灯油、LPG、ガソリン、軽油である。そして、本学におけるエネルギー消費の将来予測に関しては、2007～2017年度における本学の年間1次エネルギー消費量を基に、FORECAST.ETS関数を用いて、各キャンパスの2030年度までの将来の年間1次エネルギー消費量を予測した。

3. 本学全体におけるエネルギー消費の実態[※]

Fig. 1 に示すとおり、大学全体の1次エネルギー消費量は、この11年間で503～601 TJ/年の範囲で変動しており、2007年が最も少なく、2016年が最も多くなっており、その他の年も増減が見られる。2008年の増加要因として、附属病院における増設部の本格稼働に伴う延床面積及び空調面積の増加が挙げられる。一方、2011年の減少要因として、重油から都市ガスへの本格的な変換や、東日本大震災による省エネルギー実施の影響が挙げられる。その他、2013年の増加要因として、坂本C2での延床面積の増加の影響が、2016年の増加要因として、7月～10月の月平均気温⁵⁾が前年度に比べて平均2.2℃高く、空調機器の稼働が増加したことや、坂本C2で新診療棟が開院したことが挙げられる。2017年においては本学の1次エネルギー消費量の77%を電力が、22%をガスが占め、重油の消費量は非常に少なく、特に電力の削減が重要だと確認できた。

4. 各キャンパスにおけるエネルギー消費の実態

Fig. 2 に示すように、各キャンパスの単位床面積当たりの1次エネルギー消費量は、坂本C1、坂本C2がそれぞれ1.8～2.0 GJ/m²・年、2.0～2.6 GJ/m²・年の範囲にあり、文教Cの1.0～1.2 GJ/m²・年、片淵Cの0.4～0.6 GJ/m²・年に比べ、大きな値を示している。1次

Table 1 各キャンパスの概要(2017年)

	文教キャンパス	坂本キャンパス1	坂本キャンパス2	片淵キャンパス
所在地	長崎市文教町1-14	長崎市坂本1-12-4	長崎市坂本1-7-1	長崎市片淵4-2-1
延床面積(m ²)	121,174	55,272	169,488	16,422
人数(人)	7,798	1,304	2,792	1,587
主な施設	事務局 総合体育館 総合教育研究棟 附属図書館 多文化社会学部 教育学部 薬学部 工学部 環境科学部 水産学部	医学部医学科 附属図書館医学分館 熱帯医学・グローバルヘルス研究科 熱帯医学研究所 原爆後障害医療研究所 附属図書館医学分館	歯学部 医学部保健学科 附属病院	経済学部 附属図書館経済学部分館

Table 2 使用データ

項目	使用データ
本学全体における実態把握	光熱費請求資料(2007～2017年)
各キャンパスにおける実態把握	
各学部における実態把握	
本学におけるエネルギー消費の要因分析	
本学におけるエネルギー消費量と他の国立大学法人との比較	環境報告書(2016年)
本学におけるエネルギー消費の将来予測	光熱費請求資料(2007～2017年)

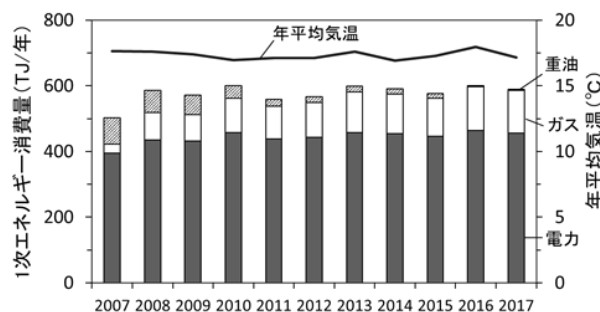


Fig. 1 大学全体の1次エネルギー消費量と気候の推移(2007～2017年)

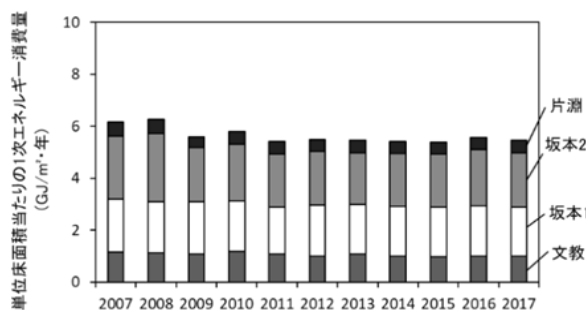


Fig. 2 各キャンパスの単位床面積当たりの年間エネルギー消費量(2007～2017年)

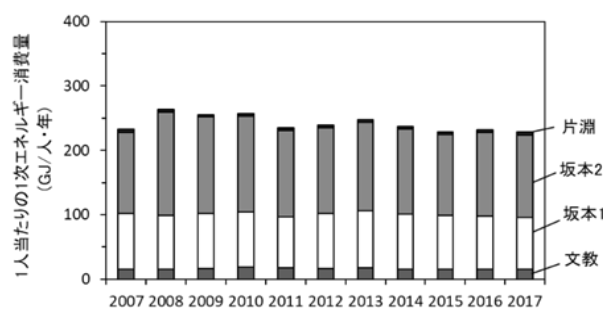


Fig. 3 各キャンパスの1人当たりの年間エネルギー消費量(2007～2017年)

単位で比較すると、坂本 C1 は文教 C の 2 倍と多くなっている。この理由として、坂本 C1 内の熱帯医学研究エネルギー消費量そのものは、文教 C と坂本 C1 が同程度であったにもかかわらず、単位床面積当たりの原所、原爆後障害医療研究所、アイソトープ実験施設、遺伝子実験施設等の実験専用の施設のエネルギー消費が大きいことが推測される。また、片淵 C については文系学部である経済学部では実験などに要するエネルギー消費がほとんどないため、単位面積当たりの消費量が小さくなっていると考えられる。

Fig. 3 に示すとおり、各キャンパスの 1 人当たりの 1 次エネルギー消費量は毎年、文教 C で 15~18 GJ/人・年、坂本 C1 で 80~89 GJ/人・年、坂本 C2 で 126~161 GJ/人・年、片淵 C で 3~5 GJ/人・年の範囲にある。各キャンパスの 1 人当たりの 1 次エネルギー消費量は、坂本 C2、坂本 C1、文教 C、片淵 C の順に大きい。これは坂本 C2 に附属病院が、坂本キャンパス 1 に各研究施設があり、附属病院や実験・研究施設等で使用するエネルギー消費量が多いためと考えられる。また、文教 C の 1 次エネルギー消費量は坂本キャンパス 1 と同程度の値だが、1 人当たりの 1 次エネルギー消費量で比較すると坂本 C1 のその 1/5 程度と小さい。

5. 各学部におけるエネルギー消費実態

Fig. 4 より、学部別の面積が明らかな 2014~2017 年の各学部の単位床面積当たりの 1 次エネルギー消費量は、医学部医学科、歯学部、薬学部、水産学部、環境科学部、工学部、医学部保健学科、教育学部、経済学部、多文化社会学部の順に大きいことがわかる。系統別に比較すると医学系学部、理系学部、文系学部の順に大きい。1 次エネルギー消費量自体では医学部医学科に次いで工学部が大きな値を示していたのに対し、単位床面積当たりの 1 次エネルギー消費量で見ると工学部は少ない。この理由の一つとして、工学部の建物延床面積が大きいことが挙げられる。さらに、2014~2017 年の 4 年間における学部別 1 次エネルギー消費量の比較においても、過去 4 年間とも医学部医学科が最も多く、4 年間で各学部の 1 次エネルギー消費量の順位に大きな変化はないことを確認した。

Fig. 5 より、各学部の 1 人当たりの 1 次エネルギー消費量は、医学部医学科、歯学部、薬学部、水産学部、環境科学部、工学部、医学部保健学科、教育学部、経済学部、多文化社会学部の順で大きいことがわかる。系統別に比較すると医学系学部、理系学部、文系学部の順に大きい。医学系学部が大きい要因として、薬品保管のための低温冷蔵庫の使用や空調による温度管理が必要であるほか、実験に使用する大型機器の使用に伴って消費量が多いことなどが考えられる。2017 年

においては、工学部は 1 次エネルギー消費量そのものでは全学部中 2 番目の多さだったが 1 人当たりで見ると、10.8 GJ/人・年と、学部の順位は 6 番目に多くなっており、理系学部の中でも最も 1 人当たりの 1 次エネルギー消費量が少ない学部であった。以上のように学部別に見た場合、医学系学部におけるエネルギー消費量を削減する必要があると考えられる。なお、同じ医学系学部であっても医学部保健学科では、7.1 GJ/人・年と全学部の中でも比較的少ないことがわかった。

6. 本学におけるエネルギー消費の要因分析

本学のエネルギー消費量に影響を及ぼす要因を明らかにすることを目的として、年別単位床面積当たり 1 次エネルギー消費量を目的変数、年別人数、月平均気温、月別開講日数を説明変数とする数量化 I 類⁶⁾による多変量解析を実施した。

Fig. 6 に示すように、人数のカテゴリーでは、1,500 人未満及び 3,000 人以上を除いて、人数が増えるほどカテゴリースコアが大きくなっている。1,500 人未満及び 3,000 人以上に関しては、人数が少なかったり、多かったりする場合において教室の大きさによっては、効率の悪い使い方になってしまうことが影響していると推測される。次に平均気温に関しては、10℃未満や 25℃以上ではカテゴリースコアが正となり、エネルギー消費を増大させる要因となっている。

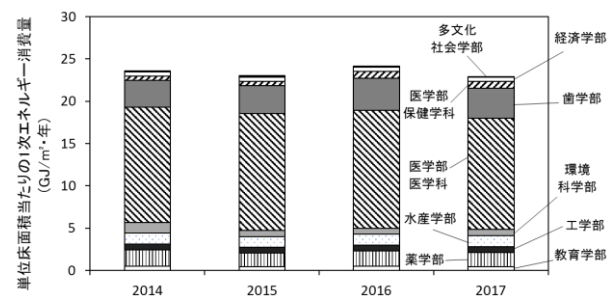


Fig. 4 各学部の単位床面積当たりの年間エネルギー消費量(2014~2017 年)

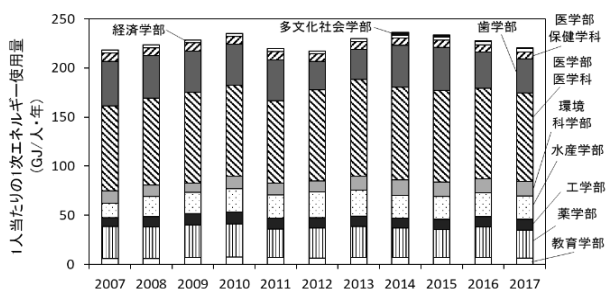


Fig. 5 各学部の 1 人当たりの年間エネルギー消費量(2007~2017 年)

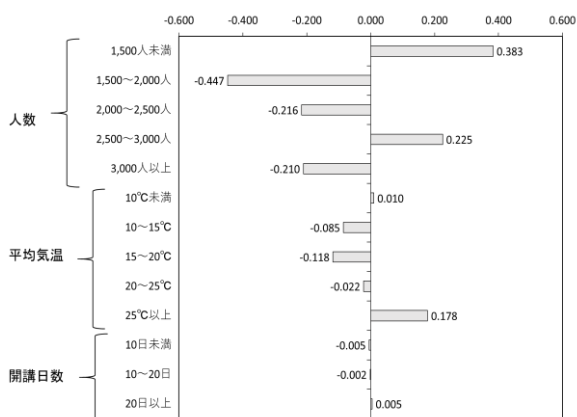


Fig. 6 カテゴリースコアの算出結果

開講日数に関しては、いずれの項目においてもカテゴリスコアの値が小さく単位床面積当たりの1次エネルギー消費量に対する影響は小さいが、月当たりの開講日数が多い方がカテゴリスコアは僅かではあるが大きくなっている。実際の単位床面積当たりの1次エネルギー消費量と本分析により求めたカテゴリスコアとの相関は、決定係数 0.62, 相関係数 0.79 と算出され、両者には相関があると考えられる。また要因別に見ると、人数の寄与率が 73% と最も高く、人数は単位床面積当たりの1次エネルギー消費量に大きな影響を与える要因であることがわかった。また、人数に次いで

気温が寄与率 26% と続いているが、開講日数は寄与率 1% と低かった。このことから、開講日数が単位床面積当たりの1次エネルギー消費量へ及ぼす影響は小さいと言える。

7. 長崎大学のエネルギー消費量と他の国立大学法人との比較

本学のエネルギー消費量が他の国立大学法人のそれと比べて多いか少ないかを明らかにすることを目的として、2016年の全国における国立大学法人 54 大学の年間1次エネルギー消費量と比較し、考察する。

Fig. 7 に示すように、単位床面積当たりの1次エネルギー消費量は滋賀医科大学、東京医科歯科大学、大阪大学、東京大学、北海道大学、群馬大学、名古屋大学が $2 \text{ GJ/m}^2 \cdot \text{年}$ を超えており医科大学や規模の大きい大学の消費量が多いことがわかる。反対に、大阪教育大学、静岡大学、愛知教育大学では $0.5 \text{ GJ/m}^2 \cdot \text{年}$ を下回っており教育系の大学の消費量は小さいことがわかった。54 大学の単位床面積当たりの1次エネルギー消費量の平均は $1.45 \text{ GJ/m}^2 \cdot \text{年}$ であるのに対し、本学のそれは $1.44 \text{ GJ/m}^2 \cdot \text{年}$ と、54 大学中 30 番目であり、単位床面積当たりで見ると、 $1.50 \text{ GJ/m}^2 \cdot \text{年}$ をやや下回り全国的に見ると平均的な消費量を示していた。

一方、Fig. 8 に示すように、1人当たりの1次エネルギー消費量は滋賀医科大学が著しく大きくなってお

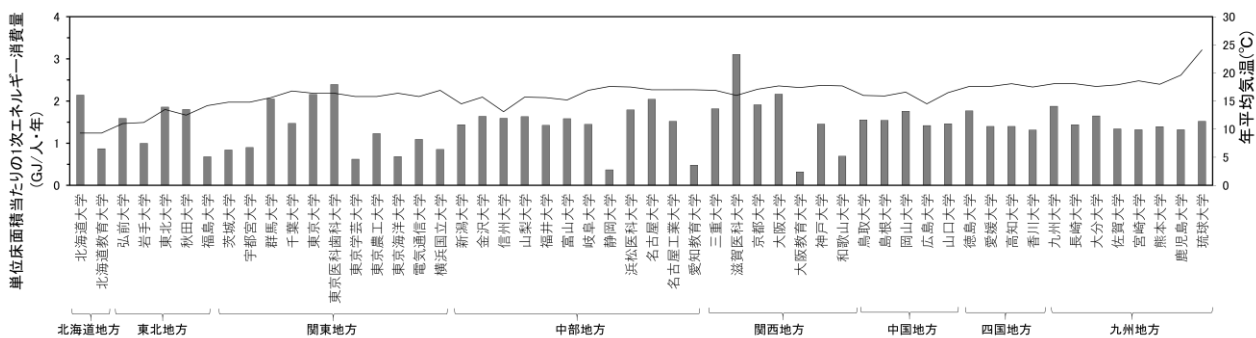


Fig. 7 国立大学法人の単位床面積当たりの年間1次エネルギー消費量と年平均気温(2016年)

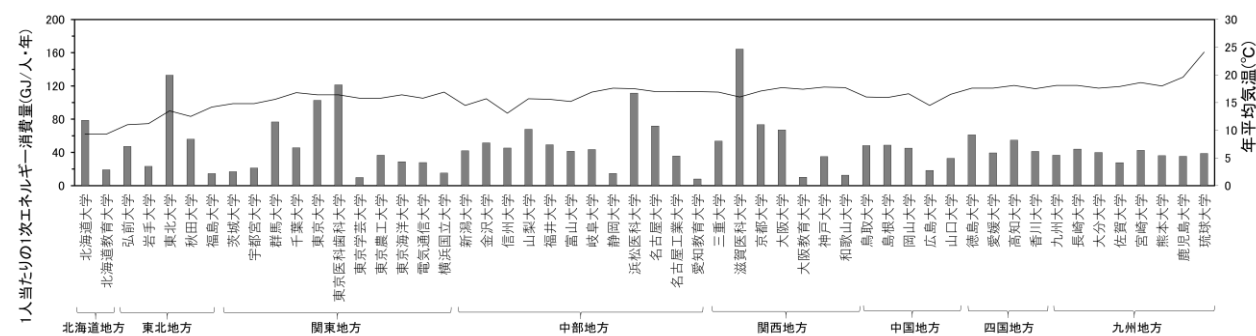


Fig. 8 国立大学法人の1人当たりの年間1次エネルギー消費量と年平均気温(2016年)

り、次いで東北大学、東京医科歯科大学、浜松医科大学、東北大学が 100 GJ/人・年を超えており他の国立大学法人と比べ多いことがわかる。特に医科大学においては、1 次エネルギー消費量そのものに比べて 1 人当たりの 1 次エネルギー消費量が非常に大きくなっており、医学系学部の 1 次エネルギー消費量は大学全体のそれに対して大きく影響を及ぼしていると考えられる。

一方、愛知教育大学と東京学芸大学は 10 GJ/人・年を下回っており教育系の単科大学が他の国立大学法人と比べ 1 人当たりの 1 次エネルギー消費量が小さいことがわかった。1 人当たりの 1 次エネルギー消費量の平均は 47.5 GJ/人・年であるのに対し、本学のそれは 44.1 GJ/人・年であり、54 大学中 24 番目と、54 大学の平均よりやや少ない消費量を示していることがわかった。

8. 本学におけるエネルギー消費予測

2007～2017 年までの年間 1 次エネルギー消費量の実測値を基に FORECAST.ETS 関数を用いて、2021 年における本学のエネルギー消費量の将来予測を行った。また、その結果に加え、今後本学の 1 次エネルギー消費量を増加させる要因となる新学部、新研究施設による 1 次エネルギー消費量を予測し、考慮した上で本学の 2018～2030 年におけるエネルギー消費量の予測を行った。

Fig. 9 に示すように、2030 年における予測 1 次エネルギー消費量は、文教 C で 116,924 GJ/年、坂本 C1 で 158,853 GJ/年、坂本 C2 で 408,751 GJ/年、片淵 C で 6,565 GJ/年と予測された。2017 年と比べて、文教 C、片淵 C ではそれぞれ 3%、15% ずつ減少しているのに対し、坂本 C1、坂本 C2 ではそれぞれ 52%、15% ずつ増加すると予測された。この理由として、FORECAST.ETS 関数は過去のデータよりも最新のデータに対して比重を置いた分析をするため、文教 C においては、2013 年以降 1 次エネルギー消費量が緩やかな減少をしており、2017 年には最も 1 次エネルギー消費量に影響を与えている電力消費量が過去最小の 97,598 GJ/年となっているためだと考えられる。また、文教 C では 2020 年に新情報学部が運用されるが、新情報学部における年間 1 次エネルギー消費量を本学の環境科学部を参考に予測した結果、7,919～12,387 GJ/年増加すると予測されたが、これは 2017 年における文教 C 全体の 1 次エネルギー消費量の 7～10% ほどの消費量であったが将来の消費量にはあまり影響を及ぼさないものと考えられる。片淵 C においても電力消費量が 2016 年、2017 年でそれぞれ 7,000 GJ/年を下回っており、将来さらに減少すると予測されたと考えられる。坂本 C1 と坂本 C2 が増加すると予測された理由として、どちらも近年 1

次エネルギー消費量が増加傾向にあることが主要因として挙げられる。また、坂本 C1 においては、2021 年に新たな研究施設として BSL4 が運用される。BSL4 における 1 次エネルギー消費量を既存の研究施設を基に予測した結果、年間 27,405～32,022 GJ/年増加すると予測することができ、これは 2017 年における坂本 C1 全体の 1 次エネルギー消費量の 26～31% ほどの消費量であり、これも将来増加する影響だと考えられる。

2030 年における各キャンパスの 1 次エネルギー消費量はそれぞれ文教 C で 50,596～153,056 GJ/年、坂本 C1 で 111,116～266,667 GJ/年、坂本 C2 で 131,191～592,047 GJ/年、片淵 C で 3,289～16,947 GJ/年と予測された。2030 年の 1 次エネルギー消費量を 2017 年のそれと比較すると、文教 C では最小で 58% 減少し、最大で 27% 増加すると予測された。坂本 C1 では、最小でも 6% の増加、最大で 155% 増加すると予測された。坂本 C2 では最小で 63% に減少し、最大で 66% 増加すると予測された。片淵 C では、最小で 57% 減少し、最大で 119% 増加すると予測された。

2030 年の予測年間 1 次エネルギー消費量の平均値を基に、各キャンパスのエネルギー消費量削減目標値を設定する。2030 年における各キャンパスの予測 1 次エネルギー消費量の平均値の 10% 減を目標値として設定した場合、それぞれ 2017 年のそれと比較して、文教 C で 13% 減少の 105,231 GJ/年に、坂本 C1 で 37% 増加の 142,968 GJ/年に、坂本 C2 で 3% 増加の 367,876 GJ/年に、片淵 C で 24% 減少の 5,908 GJ/年が削減目標値となる。2030 年において増加する可能性が高いと予測された坂本 C1 と坂本 C2 ではできる限り 1 次エネルギー消費量を抑える努力をする必要があり、2030 年において僅かに減少すると予測された文教 C と片淵 C においても、2017 年に比べ増加するケースもあるため、1 次エネルギー消費量を 2017 年よりも削減する努力をしていかなければならない。

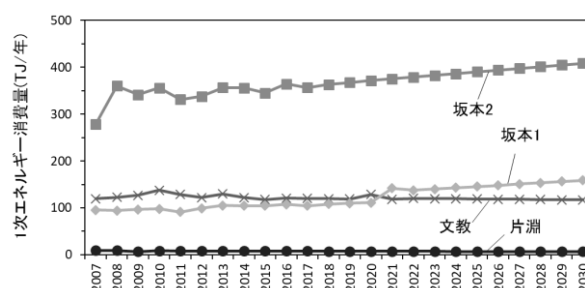


Fig. 9 予測年間 1 次エネルギー消費量
(2007～2030 年)

9. まとめ

本研究から得られた知見を以下にまとめる。

- ①2017 年においては本学の 1 次エネルギー消費量の 77%を電力が、22%をガスが占め、学部別では医学系学部におけるエネルギー消費量が多く、キャンパス別では医学系学部がある坂本キャンパス 1 や 2 のエネルギー消費量が多くなっている。
- ②数量化 I 類による分析の結果、本学の単位床面積当たりの 1 次エネルギー消費量に最も影響を与えている要因は人数であり、次いで気温が影響を与えているが、開講日数はあまり影響を及ぼしていない。
- ③2016 年の全国における国立大学法人 54 大学の年間 1 次エネルギー消費量と比較した。その結果、本学の単位床面積当たりの 1 次エネルギー消費量の平均は $1.44 \text{ GJ/m}^2 \cdot \text{年}$ と、54 大学中 30 番目であり、全国平均程度の平均的な消費量であることがわかった。また、1 人当たりの 1 次エネルギー消費量は $44.1 \text{ GJ/人} \cdot \text{年}$ であり、54 大学中 24 番目であり、54 大学の平均よりやや少ない消費量を示していることがわかった。
- ④2007～2017 年までの年間 1 次エネルギー消費量の実測値を基に 2021 年における本学のエネルギー消費量の将来予測を行い、さらにその結果に加え、今後本学の 1 次エネルギー消費量を増加させる要因となる新学部、新しい研究施設の設置による 1 次エネルギー消費量を予測し、本学の 2018～2030 年におけるエネルギー消費量を予測した。2030 年の 1 次エネルギー消費量を 2017 年のそれと比較すると、文教 C では最小で 58%の減少、最大で 27%の増加が予測されたが、坂本 C1 では最小で 6%の増加、最大で 155%の増加が見込まれ、坂本 C2 では最小で 63%の減少、最大で 66%の増加が予測された。片淵 C では、最小で 57%の減少、最大で 119%の増加が予測された。
- ⑤2030 年における各キャンパスの予測 1 次エネルギー消費量の平均値の 10%減を 2030 年におけるエネルギー消費量削減目標値（2017 年比）と仮定すると、文教キャンパスで 13%減、片淵キャンパスで 24%減、坂本キャンパス 1 で 37%増、坂本キャンパス 2 で 3%増と設定された。2030 年において増加する可能性が高いと予測された坂本 C1 と坂本 C2 ではできる限り 1 次エネルギー消費量を抑える努力をする必要があ

り、2030 年において僅かに減少すると予測された文教 C と片淵 C においても、2017 年に比べ増加するケースもあるため、1 次エネルギー消費量を今後も引き続き削減する努力をしていく必要がある。

今後の課題として、本学に適した具体的な省エネルギー方策を提示するとともに、今後もデータを蓄積し、エネルギー消費動向を把握する必要がある。

謝辞：エネルギー消費量のデータ提供にご協力を賜った本学施設部施設管理課各位をはじめ、関係各位に御礼申し上げる。また、本報は元大学院生の大脇崇さんの労を多とした。ここに記して謝意を表する。

注：1 次エネルギー換算係数として、電力 9.97 GJ/MWh 、都市ガス 46 GJ/km^3 、重油 39.1 GJ/kL を用いている。

参考文献

- 1) 永峰章, 高草木明, 成實悠樹, 吉野大輔: 東洋大学の 4 箇所のキャンパスにおけるエネルギー消費量に関する調査研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 75 巻, 第 63 号, pp.661-668, 2010.7.
- 2) 大橋巧, 宮崎正幸, 下田吉之: 大規模総合大学設備のエネルギー消費実態に関する研究 電力日負荷曲線の実測データを用いた大阪大学のエネルギー消費特性分析, 日本建築学会環境系論文集, 第 78 巻, 第 684 号, pp.193-201, 2013.2.
- 3) 菊田弘輝, 羽山広文: 大規模総合大学キャンパスのエネルギー消費構造の分析 北海道大学札幌キャンパスを対象として, 日本建築学会環境系論文集, 第 80 巻, 第 711 号, pp.461-469, 2015.5.
- 4) 芦塚綾乃: 長崎大学の 3 箇所のキャンパスにおけるエネルギー消費に関する調査研究, 平成 27 年度長崎大学工学部工学科構造工学コース卒業論文, 2016.3.
- 5) 気象庁ホームページ (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)
- 6) 菅民郎: 多変量解析の実践(上), 株式会社現代数学社, 1993.12.