

# エネルギー需要科学を考慮した エネルギーマネジメントシステムの基礎研究

[研究代表者] 雪田和人 (工学部電気学科)

[共同研究者] 後藤時政 (経営学部経営学科)

水野勝教 (情報科学部情報科学科)

## 研究成果の概要

本研究は、エネルギー消費についてこれまで研究者らが取り組んできたエネルギーマネジメントシステムに行動経済学を組み込むことにより、人間の意思をも考慮したエネルギー需要科学として実施している。本研究におけるエネルギー需要科学は、(1) エネルギー需要データの収集と分析、(2) エネルギー需要のモデル化、(3) エネルギー需要に対する影響要因の解明の3ステップから構成しており、今年度は、(1) 及び (2) について実施した。

電力消費に関する研究対象施設として本学新2号館をとりあげ、施設内のコンセント系統、照明系統、空調系統に関する消費電力データ及び空調機器の設定温度、吸込温度に関するデータを収集し、新たに作成した解析用プログラムを用いてデータ分析を行った。空調機器の電力消費に関して、基本的な特性を解析するための相関モデルを構築し検討した結果、消費電力量と平均気温、稼働時間と平均気温、消費電力量と稼働時間の相関を確認した。

**研究分野：**電力工学、省エネルギー、経済学、行動経済学

**キーワード：**行動経済学、エネルギーシステム、省エネルギー、意思決定

### 1. 研究開始当初の背景

電力システムをはじめとするエネルギーシステムにおいて、エネルギーを消費するエネルギー需要はシステム全体の性能に大きな影響を及ぼす重要な因子であるが、これまで外生的に与えられることが多く、その構成や挙動を解明することは供給側の研究に比べてあまり着目されてきていない。近年では、建物・地域レベルのエネルギーマネジメントシステム (EMS) が注目されるようになり、エネルギー需要自体をシステムの制御対象と位置付け、管理・調整することが必要となっている。

そこで国内においては、エネルギー需要を計画・管理の対象とするための学問領域として「エネルギー需要科学」を位置づけ、エネルギーシステムの性能向上や長期的な革新に向けて、新しい学問領域として「エネルギー需要」が提案されている。海外において注目すると、米国において、エネルギーの Consumer から Prosumer へと変化を遂げつつある個人や組織のエネルギー利用、温暖化ガス排出、気候変動、持続可能性に関する行動や意思決定を把握・理解するための BECC 学会などが立ち上げられている。欧州

では、スマートグリッドプロジェクトが中心となって、ICT と計測データの活用により、発電から蓄電までのエネルギーシステムの統合と効率的消費の最適化を実施する E-DEMA やエネルギー自給自足を行う住宅を地域単位で制御するセルラー制御方式 (Cellular control concept) などが提案され実施されつつある。

本研究では、エネルギー消費について、これまで取り組んできたエネルギーマネジメントシステムについて、経営学の行動経済学を組み込むことにより、人間の意思をも考慮したエネルギー需要科学として、研究を実施するものである。

### 2. 研究の目的

エネルギー需要を国土レベルのマクロなエネルギー需要として見る場合は、GDP などの経済指標と、床面積、所帯数や人口などの人口学的指標を基にその予測が実施されてきた。一方でミクロレベルでのエネルギー需要は、時系列予測手法を用いて、これに気温などの要因を加味してその予測が実施されている。しかし実際にエネルギーを消

費するのは種々のエネルギー消費機器であるにも拘らず、機器のエネルギー消費やその操作のレベルにまで分解して需要を論ずる研究はこれまで余り見られなかった。

そこで、本研究では、住宅や大学講義室などを例として、社会および環境におけるエネルギー消費に関してデータ収集するとともに、エネルギー需要のモデル化とエネルギー需要に対する影響要因の解明を行うことを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究で実施するエネルギー需要科学は、3ステップから構成している。そのうちの以下の2つの項目を実施する。

#### (1) エネルギー需要データの収集と分析

エネルギー需要は複雑なメカニズムより形成されるために簡単にモデル化を出来ない。このために需要データを収集し、形成要素の分析するのが研究のスタートとなる。データの収集手法には、供給側からの情報提供、需要側へのアンケート、各種メータからの計測情報と分電盤や個別機器に設置されたセンサー情報などがある。

具体的に、現在まで収集している学内の全体のエネルギーデータ（八草キャンパス、本山キャンパス）の整理を行うとともに、新2号館、学生寮などの計測データおよび計測方法について検討する。さらに、人の行動や意思決定のために、おおよその人数を把握するために、赤外線センサー、二酸化炭素メータの設置について検討しデータ計測を実施する。また、アンケートの実施についても検討する。

#### (2) エネルギー需要のモデル化

モデル化には、まず要素分解から始めて、次に各要素をモデル化する手順で進める。要素分解は、収集したデータに応じて、部屋大きさや使用している用途に応じて分類して、各要素と要素間の関係に分解してシミュレーションモデルとして構築する。

本年度においては、現在までに収集したデータについて、天候、気温、湿度などを用いた従来手法にて、エネルギー需要のモデル化を実施する。

### 4. 研究成果

電力消費に関して研究対象とした施設は、本学新2号館を対象とした。研究対象とした新2号館を図1に示す。新2号館は8階建て（地上2階、地上6階）で構成されてお

り、延床面積8699[m<sup>2</sup>]となっている。新2号館では施設内のコンセント系統、照明系統、空調系統に関して消費電力の収集を行っている。また空調機器に関しては、設定温度、吸込温度についてもデータ収集を行っている。



図1 新2号館

昨年度においては、この新2号館で収集している電力データを扱いやすくするために解析用プログラムの作成を行った。新2号館の電力ファイルは一日に600個作成されるため1年間で21900個作成される。これらのファイルを1つのファイルにまとめること、また収集しているデータの時間間隔を自由に変更可能にすることを目的とし、プログラムをpython言語にて作成した。

表1はプログラムによって作成されたファイルの一部を抽出したものである。デフォルトが1分毎のデータを10分毎にリサンプルした。このプログラムを用いて新2号館のデータ分析を行った。

表1 製作したプログラム出力結果例

	[RP-1] EHPO-6-1	[RP-1] EHPO-6-2	[RP-1] EHPO-6-3	[RP-1] EHPO-6-4
Time				
2018-01-01 00:00:00	0.6	0.0	0.4	0.2
2018-01-01 00:10:00	0.0	0.0	0.0	0.0
2018-01-01 00:20:00	0.0	0.0	0.0	0.0
2018-01-01 00:30:00	0.4	0.0	0.6	0.8
2018-01-01 00:40:00	1.0	0.0	1.0	1.0

図2と図3に新2号館における2018年と2020年、2019年と2020年における電力需要特性を各々示す。また、表2と表3に2018年と2020年、2019年と2020年の月別消費電力を示す。図2、表2に注目すると、2018年6月と2020年6月について2020年6月のほうが2018年6月の消費電力に比べてやや消費電力が大きいことが見て取れる。7月において約215[kWh]ほど2020年に比べて2018年のほうが大きいということが確認できた。8月において2020年のほうが2018年に比べて消費電力が大きいことが確認できた。9月において2018年に比べて2020年の消費

電力は大きいことがわかり、表3の月別消費電力で見ると約92.02[kWh]ほど消費電力が大きいことが確認できた。10月から11月について図2から2018年のほうが2020年に比べて消費電力が大きいように見える。表2の月別消費電力で見るとどちらの時期も2018年のほうが2020年に比べて消費電力が大きいことが確認できた。

図3、表3に注目すると、2019年6月と2020年6月について2020年6月のほうが2019年6月の消費電力に比べてやや消費電力が大きいことが見て取れる。表3の月別消費電力を見ると約37.06[kWh]ほど2020年のほうが大きいことが確認できた。7月において図3を見ると消費電力にあまり差は見られない。表3の月別消費電力を見ると、約21.28[kWh]ほど2019年のほうが2020年に比べて消費電力が大きいことが確認できたが、消費電力の大きさに大きな違いは見られない。8月において2020年のほうが2019年に比べて消費電力がやや大きいことが確認できた。表3の月別消費電力を見ると2020年のほうが2019年に比べて約25.19[kWh]消費電力が大きいことが確認できた。9月において2019年と2020年では消費電力の大きさはあまり差がないように見られる。表3の月別消費電力で見ると約12.06[kWh]ほど消費電力が大きいことが確認できたが、消費電力に大きな差は見られなかった。10月から11月について図3から2019年のほうが2020年に比べて消費電力が大きいように見える。表3の月別消費電力で見るとどちらの時期も2019年のほうが2020年に比べて消費電力が大きいことが確認できた。

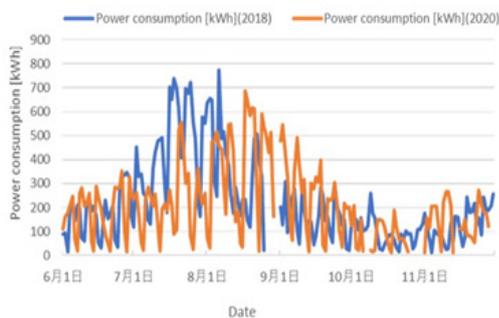


図2 2018年と2020年の電力比較

表2 2018年と2020年の月別消費電力

Average monthly power consumption [kWh]	
June average (2018)	June average (2020)
172.24	180.49
July average (2018)	July average (2020)
439.94	224.93
August average (2018)	August average (2020)
289.42	356.34
September average (2018)	September average (2020)
158.93	250.95
October average (2018)	October average (2020)
97.12	60.39
November average (2018)	November average (2020)
129.49	126.64

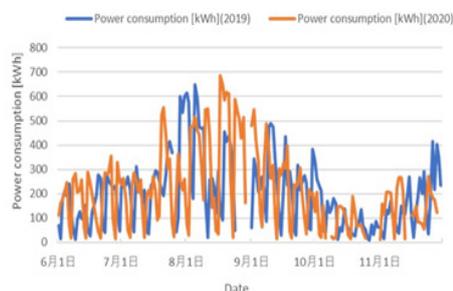


図3 2019年と2020年の電力比較

表3 2019年と2020年の月別消費電力

Average monthly power consumption [kWh]	
June average (2019)	June average (2020)
143.43	180.49
July average (2019)	July average (2020)
246.22	224.93
August average (2019)	August average (2020)
331.15	356.34
September average (2019)	September average (2020)
238.89	250.95
October average (2019)	October average (2020)
99.40	60.39
November average (2019)	November average (2020)
158.95	126.64

それぞれの期間における平均気温と消費電力との関係について注目してみる。

2018年と2020年の結果を図4に、2019年と2020年の結果を図5に、2018年から2019年までと2020年の結果を図6にそれぞれ示す。それぞれの期間における平均気温と消費電力の関係から換気の影響について検討を行った。その結果、どの期間においても平均気温に対して類似した傾向を示していることが確認できた。また、2018年から2019年までと2020年の結果を比較すると平均気温22℃以下では消費電力の違いは見受けられなかったが、平均気温23℃以上では2018年から2019年までに比べて2020年の消費電力が高い傾向にあることが確認できた。

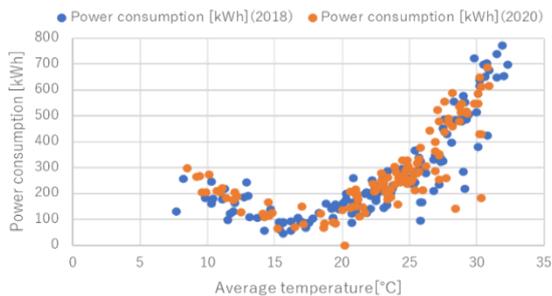


図4 2018年と2020年の平均気温と消費電力の関係

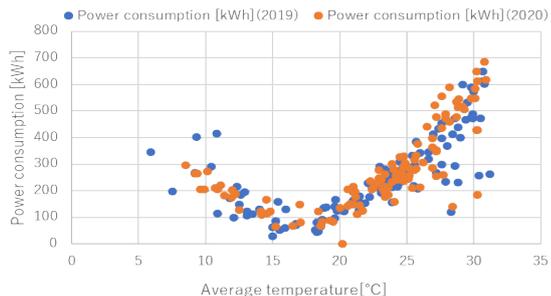


図5 2019年と2020年の平均気温と消費電力の関係

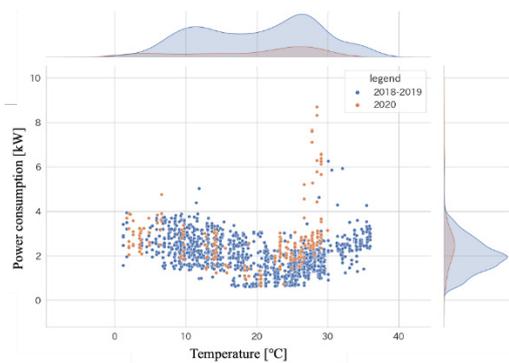


図6 2018年から2019年と2020年の平均気温と消費電力の関係

次に、空調機器の電力消費に関して、基本的な特性を解析するための相関モデルを構築する。そこで各要素についてさらに検討を実施した。この結果、消費電力量と平均気温、稼働時間と平均気温、消費電力量と稼働時間の相関が確認できた。それぞれの相関係数は表4に示す。

表4 各変数に関する相関

消費電力量と平均気温	稼働時間と平均気温	消費電力量と稼働時間
-0.5328	0.1956	0.6243

これらの結果から相関が見られた要素に回帰分析を実施し、空調機器に関する電力消費モデルを仮定した。仮定

した式を次式に示す。

$$y = \alpha X_1 + \beta X_2 + u \quad (1)$$

$y$  : 消費電力量、 $X_1$  : 1日の平均気温、 $X_2$  : 空調の稼働時間、 $\alpha$ 、 $\beta$  : 各説明変数の係数、 $u$  :  $y$ 切片

ここで、消費電力量を目的変数とし、1日の平均気温を第一説明変数、空調の稼働時間を第2説明変数として回帰分析を実施した。

これら回帰分析により得られた(1)式に対する適合度を表5に示す。説明変数により目的変数がどの程度説明できているかを示す決定係数が0.83となった。一般的に決定係数は1に近いほどモデルの式への当てはまりが良いとされることから、モデルの式への適合度は比較的良好と考えられる。また、各々の説明変数のモデルの式への適合度を示すP値を注目すると、平均気温( $X_1$ )と稼働時間( $X_2$ )はそれぞれ $1.80 \times 10^{-63}$ 、 $5.51 \times 10^{-71}$ となっており、5%の有意水準、1%の有意水準未満で棄却できた。

表5 モデル式における適合度

決定係数	0.83
P値( $X_1$ )	$1.80 \times 10^{-63}$
P値( $X_2$ )	$5.51 \times 10^{-71}$
t値( $X_1$ )	-24.213
t値( $X_2$ )	26.934

このことから、各々の説明変数の係数(回帰係数)は有意であると考えられる。さらに、目的変数に対する説明変数の影響度を示すt値に注目する。t値はt値の絶対値により判断する。平均気温( $X_1$ )と稼働時間( $X_2$ )はそれぞれ、24.21、26.93となっており、稼働時間( $X_2$ )が平均気温( $X_1$ )に比べて影響度が高いことが確認できた。

## 5. 参考文献

- (1) 西谷強、田中蒼、雪田和人、後藤時政、『回帰分析による空調機器の消費電力量に関する一検討』電気学会全国大会、4-159、p244、2022年
- (2) 西谷強、池田和樹、岩崎裕翔、田中蒼、雪田和人、後藤時政、水野勝教、松村年郎、七原俊也、後藤泰之、『換気による空調機器の消費電力に関する一検討』電気学会全国大会、PE-22-058、2022年