

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

本研究では、エネルギー消費についてこれまで申請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ついて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している。この研究は(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ステップで実施しており、研究初年度は、エネルギー需要データの収集と分析を実施した。このエネルギー需要に関しては、これまで電力需要データのみを計測してきたが、人間の行動や意思決定に関してデータまでは取得できていない。そこで、比較的行動観察が可能となる研究室などにおいて、部屋に滞在する人数を把握するため、二酸化炭素を測定する装置や赤外線センサーなどを導入し、エネルギー需要として電力需要データと使用人数や二酸化炭素濃度との関係を分析した。

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. はじめに

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。また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。特

に欧州では、スマートグリッドプロジェクトが中心となつて、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。

このような状況の中で、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。一方でマイ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。

本研究では、エネルギー消費について、これまで申請者に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、行動経済学の枠組み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。

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。

2. エネルギー需要科学

実施するエネルギー需要科学は、以下に示す3ステップから構成している。

(1) エネルギー需要データの収集と分析 これまでの研究において、エネルギー需要として、電力需要データのみを計測してきたが、人間の行動、意思決定に関してデータまでは取得できていない。そこで、研究室などにおいて人数を把握するために、二酸化炭素測定を装置や赤外線センサーなどを導入し、エネルギー需要として電力需要データと使用人数との関係を分析する。

(2) エネルギー需要のモデル化 これまで、エコ電力研究センターとして収集してきた学内のエネルギー需要に関して、従来の天候、気温などを要因としたエネルギー需要と、人の意思決定や行動、得意日などを考慮したエネルギー需要とモデルについて検討する。

(3) エネルギー需要に対する要因の解明 エネルギー需要を考える時には、時代時代で変容してゆくエネルギー消費行動や、最近重要視されている環境配慮行動の変容を勘案することが重要である。例えばデマンドレスポンス (DR) のように行動変容を導く介入行為を促す要因も考慮する必要がある。

3. 研究方法

愛知工業大学新2号館は、地下2階、地上6階の講義研究棟である。屋上には太陽光発電装置 40kW と小型風力発電装置 2kW 導入されている。また、非常用ディーゼル発電装置として、25kW の小型発電機も導入されている。この非常用ディーゼル発電機は、商用系統が停電したときに自動起動する発電機としている。さらに、1階にはリチウムイオン電池と本学で開発した系統からの受電電力を制御できるグリッド管理装置を導入している。そして1階の一部は、災害時にも対応できるように事業継続性能 (BCP) 対応可能となっている。

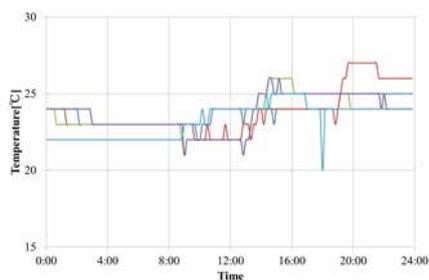
図1に本学新2号館の外形を示す。各部屋の電力需要、デマンド制御、空調機器に関しての設定温度、現在の室内温度、都市ガスの使用量などを逐次計測できるエネルギーマネジメントシステムが導入されている。各部屋には調光センサー付きのLED照明が導入されている。

図2に室内の空調機器の吸込口の温度計測例と室外空調機の消費電力特性例を示す。各部屋の電力需要、デマンド制御、空調機器に関しての設定温度、現在の室内温度、都市ガスの使用量などを逐次計測できるエネルギーマネジメントシステムが導入している。

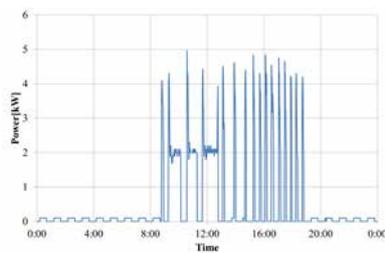
これら電力需要などを計測しているデータファイルは、24時間あたりに600ファイル作成されるため1年間で21,900個作成される。



図1 愛知工業大学新2号館外形



(a)室内空調の吸込口温度計測



(b)室外空調機の消費電力特性

図2 室内温度特性と室外機の消費電力特性

4. 解析方法

(1) 講義研究棟を対象としたエネルギー計測

前述したこれらデータのフォーマットはあらかじめ決められたものであり、必要な項目を抽出するために、このフォーマットを用いるとデータ抽出に時間がかかる。このため、データのサンプリング時間間隔を自由に変更可能にすることを目的とし、解析用のプログラムを `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

Time	[RP-1] EHPO-6-1	[RP-1] EHPO-6-2	[RP-1] EHPO-6-3	[RP-1] EHPO-6-4
2018-01-01 00:00:00	0.5	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	0.3
2018-01-01 00:40:00	1.0	0.0	1.0	1.0

図 2 に、新 2 号館 3 階から 6 階における 2019 年と 2020 年の電力需要特性を示す。同図に示すように、曜日に関する特性は同一のように思えるが、2020 年は部屋の換気を実施しているため、これまでの結果と特性が異なるように思われる。

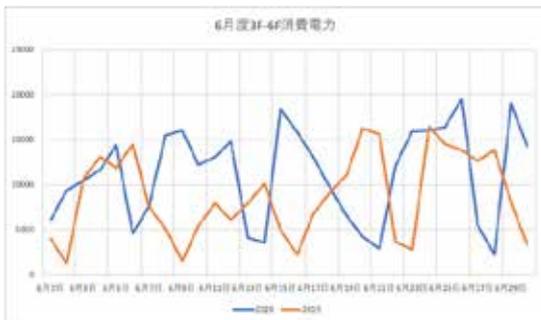


図 3 電力特性 (新 2 号館 3 階から 6 階)

(2) 空調の消費電力に関する検討

消費電力と設定温度・吸込温度の関係性と外気温が消費電力量に対しどのような関係性を持っているかを検討した。検討方法は設定温度と吸込温度を温度差で算出、消費電力との関係性を検討した。

図 4 は平均気温と空調機器の設定温度との関係、図 5 は

平均気温と空調機器の吸込温度との関係、図 6 は平均気温と空調機器の稼働時間との関係を各々示している。これらの結果から 1 日の稼働時間と 1 日の平均設定温度、平均吸込温度を平均気温と比較して関係性について注目した。この検討においては、計測した 50 分間の移動平均、土日の除外の処理を行った。

これらの結果、消費電力と温度差は相関係数が 0.7054

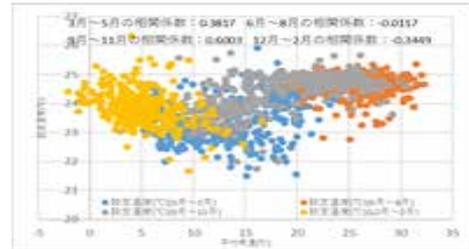


図 4 平均気温と設定温度の関係

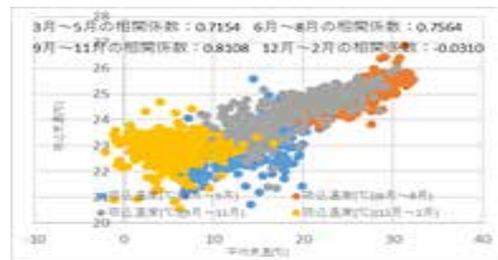


図 5 平均気温と吸込温度の関係

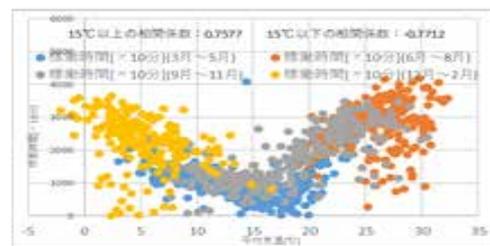


図 6 平均気温と稼働時間との関係

で相関関係があることが確認できた。しかし、図 2 に示す設定温度と外気温に関しては相関関係が確認できなかった。図 5 より吸込温度と外気温は相関関係が確認できた。図 6 より稼働時間と外気温は 15°C 付近で別々の相関関係を確認できた。

(3) 二酸化炭素メータと人数

卒研室において、二酸化炭素とその部屋における人数について計測を実施した。計測した部屋の状況を図 7 に示す。またこのときの計測した部屋の二酸化炭素濃度を図 8 に各々示す。図 7 に示すように、計測は中央の部屋 603 に注目して実施した。このとき、空調機器は 9 時から 19 時か

んの10時間実施した。また、空調機器の設定は冷房モードであり、設定温度は23度、風速は中速、風向はスイングモードとしている。

コロナ禍を考慮して換気ありの場合と換気なしの場合について各々検討した。

図8(a)の換気なしの場合、二酸化炭素は15ppm上昇したあと、あまり低下することなしに、変動していることがわかる。一方、換気を実施した場合は、室内の人数が変動した場合に、二酸化炭素も変動しており、ある程度の相関がみられる。

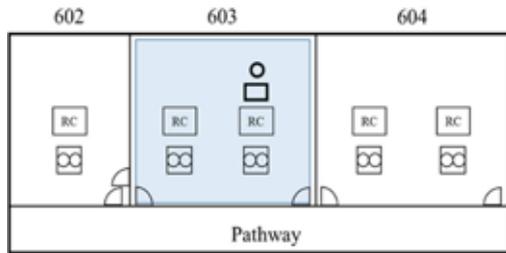
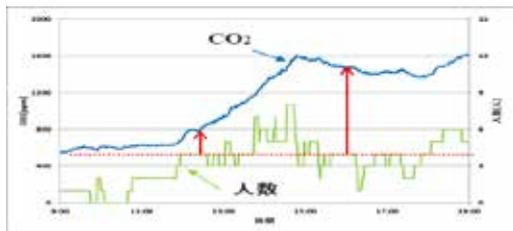
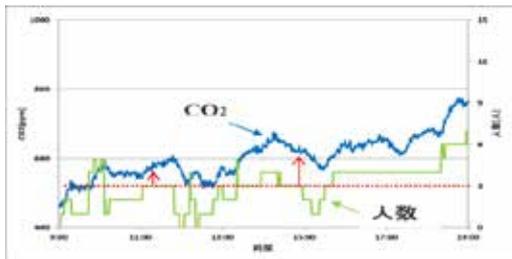


図7 室内の二酸化炭素測定環境



(a) 換気なし



(b) 換気あり

図8 室内の人数と二酸化炭素の変動

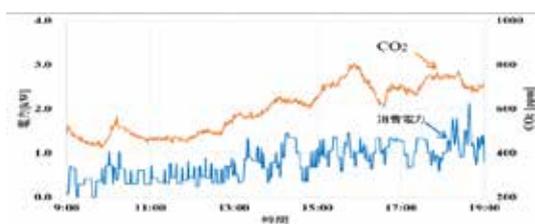


図9 二酸化炭素と電力需要特性

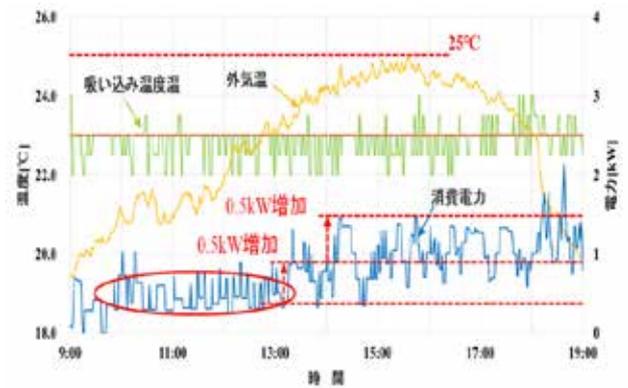


図10 気温と吸込み温度と消費電力の関

図10に二酸化炭素と消費電力の特性を示す。同図に示すように、二酸化炭素の増加と減少に対して、空調機器の消費電力が変動していることがわかる。また、二酸化炭素濃度が500ppm未満の13時までは消費電力が低く0.5kWであり、550ppmを超えた13時以降では、1.0kWから1.5kWとなる傾向であることがわかる。

図10に外気温と吸込み温度と消費電力の特性を示す。外気温が上昇すると、消費電力も増加の傾向であることがわかる。

5. まとめ

本研究では、エネルギーマネジメントシステムについて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た新しい複合領域について検討している。特に、実施している研究は(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ステップで実施する予定である。そこで、研究初年度は、エネルギー需要データの収集と分析を実施した。

具体的には比較的行動観察が可能となる研究室などにおいて、部屋に滞在する人数、そのときの二酸化炭素濃度、空調機器の消費電力との関係を分析した。ただし、コロナ禍の状況においては、換気による効果をどのように考慮するかが今後の課題となるものと思われる。