

愛知工業大学教育・研究特別助成
AIT Special Grant for Education and Research
令和 4 年度実績報告書

種 目	研究 分野横断型 研究期間：令和 2 年度～令和 4 年度
課 題 名	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 教授）
研究分担者	後藤 時政（経営学部 経営学科 教授） 水野 勝教（情報科学部 情報科学科 教授）
助 成 額	9,510,000 円（3 年総額）

費目別決算

(単位：円)

区 分	合 計	設備備品費	消耗品費	旅 費	その他
経費内訳	9,510,000	6,368,214	2,717,125	0	424,661

専門分野：電力工学、省エネルギー、経済学、行動経済学、情報工学

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、これまで申請者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、経営学の行動経済学の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あまり見られなかった。

本申請では、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

本申請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。

(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ているため簡単にモデル化が出来ない。このため需要データを収集し、形成要素の分析を実施した。具体的には、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号館などでの計測データについて検討した。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赤外線センサーや二酸化炭素メータを利用して実施した。

(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、部屋の大きさや使用している用途に応じて分類し、各要素と要素間の関係に分解し構築した。

(3) エネルギー需要に対する影響要因の解明

エネルギー需要を考える時には、時代で変容してゆくエネルギー消費行動や環境配慮行動の変化を勘案することが必要であると思われる。このアプローチには、全体挙動型アプローチと要素分解型のアプローチがある。本研究では、要素分解型アプローチを中心に検討した。

4. 主要な設備備品

- (1) エネルギーマネジメントシステム
- (2) 電力ロガー
- (3) オシロスコープ
- (4) 二酸化炭素メータ
- (5) 解析用パソコン
- (6) ファイルサーバー

5. 研究成果

本研究では、愛知工業大学内における講義棟、研究棟などを中心に電力消費量とガス消費量について、データ収集を実施した。

(1) 消費電力 新2号館で収集されている電力データ等は空調機器系統、コンセント系統、照明系統などの電力データの収集対象に合わせて25個のファイルに分類されており、1分間隔で収集したデータを1時間毎に1つのファイルに保存している。そのため、25種類のファイルが1日に24個生成され、1日に600個のデータが生成されている。これが1年間になると約22万個のデータが生成されることになる。このため図1のフローチャートを用いて、データ処理プログラムを再作成し、データ処理の効率化を図った。



図1. データ処理プログラムのフローチャート

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分毎に再サンプルした。このプログラムを用いて新2号館のエネルギー需要に関する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	0.6	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

(2) 空調の消費電力に関する検討 作成したプログラムを用いて、新2号館でEHPを使用している地上階の4階から6階の1日ごとの消費電力データを用いて外気温と消費電力量の関係について検討を行った。ただし、外気温に関しては気象庁の過去の気象データより講義研究棟がある地点の1日ごとの平均気温を抽出し用いた。また、検討期間は2019年の1月から12月の1年間とし、講義研究棟の利用が少ない土曜日と日曜日は除外した。外気温と消費電力量の関係について検討を行うにあたり、外気温は季節ごとに異なることから季節ごとの外気温の違いを考慮し、季節別で回帰分析を実施し回帰式を求めた。そして、回帰式に外気温を与えることにより消費電力量の予測値の算出を行った。季節分類については12月から2月、3月から5月、6月から7月、9月から11月である。ただし、8月に関してはデータ欠如のために本検討では考慮していない。まず、季節別の外気温に対する消費電力量の関係性を図2に示す。図2は各季節別の外気温に対する消費電力量を同一グラフ上にプロットしたものであり、青色が12月から2月、オレンジ色が3月から5月、灰色が6月から7月、黄色が9月から11月のデータを表している。それぞれの季節別のデータ

数は表 1 に示す通りである。同図より外気温に対する消費電力量の関係は二次曲線状の変化を示していることが確認できる。以降、季節ごとに回帰分析を行った。

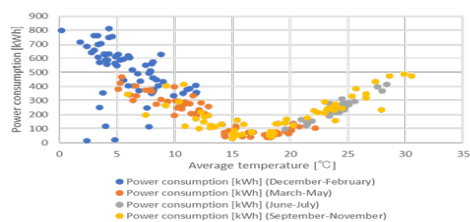


図 2 外気温と消費電力量の関係 (季節別)

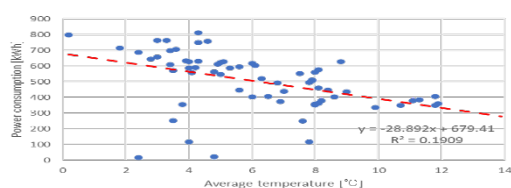


図 3 外気温に対する消費電力量の関係 (12月から2月)

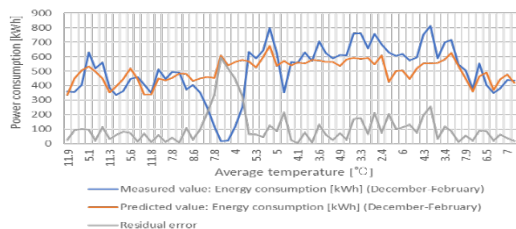


図 4 実測値と予測値 (12月から2月)

12月から2月の外気温に対する消費電力量の関係性を図 3 に示す。図 3 中の破線は分析より得られた回帰直線である。同図に示すように 12月から2月の外気温に対する消費電力量の関係は右肩下がりの直線的な変化を示している。また、12月から2月のデータをもとに相関係数を求めると、 -0.436 と負の相関があることを確認した。分析結果をもとに得られた回帰式を次式に示す。

$$y = 28.892x + 679.41 \quad \text{①}$$

y : 消費電力量[kWh]、x : 外気温[°C]

① 式中の数値は、分析結果より得られた係数である。①式に 12月から2月の気象庁より発表されている外気温データを与えることで消費電力量の予測値の算出を行った。実測値と予測値、実測値と予測値の誤差の算出結果を図 4 に示す。図 4 より実測値の変化に対して予測値も変化していることが確認できた。しかし、 7.8°C 付近において、予測値と実測値の差が大きいことを確認している。

(3) 空調機器とガス消費量に関する検討
本検討では、電力量だけでなくガスの消費量

についても検討を実施した。対象とした建物は 1 号館、9 号館と 10 号館の講義室などである。検討の期間は、夏季 (7 月 12 日～7 月 31 日) と冬季 (10 月 27 日から 12 月 22 日) である。これまでと同様に、外気温データに関しては気象庁公開の「過去の気象データ検索」を用いた。代表例として、夏季における 1 号館のガス消費量変化を図 5 に示す。図 5 より、ガス消費量が極めて少ない日は土曜日、日曜日などの休日である。ガス消費量は気温の変化と共に増減しているように見られ、7 月後半になるにつれてガス消費量は増加している。これは、気温の上昇に伴い空調機器稼働が増加したためだと考えられる。また、夏季の全期間における平均ガス消費量は約 $294[\text{m}^3]$ であった。

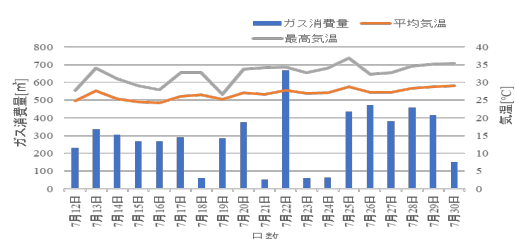


図 5 夏季における 1 号館のガス消費量変化

空調機器におけるガス消費量と外気温について相関関係を調べることで要素間の関係についての検討を行った。この結果、夏季における 1 号館のガス消費量と外気温の関係を図 6 に示す。同図から夏季における 1 号館のデータに関しては、 0.6697 と正の相関があることを確認した。

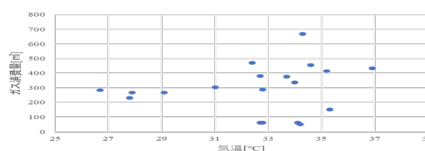


図 6 夏季における 1 号館のガス消費量と外気温の関係

(4) エネルギー需要に対する影響要因の解明
本研究では 10 号館の講義室を対象として、デフォルト効果を利用したナッジによる省エネ行動誘発効果について検討を行った。ここで、デフォルト効果とは、「選択してほしい選択肢を予め提示しておくことにより、人はその初期設定に影響され、その初期設定を受け入れるという心理傾向」のことである。
具体的な検討方法としては、検討期間を 2022 年 12 月 5 日から 12 月 9 日までの間とし、実験対象は 10 号館の 2 階から 4 階の講義室とした。また、空調機器の設定温度を階層ごとに予め設定した。4 階は 24°C 設定、3 階は

23°C設定、2階は22°C設定であり、全て暖房設定である。講義終了後ごとに空調機器の設定温度、講義室内の室内温度等を確認し、記録したデータからデフォルト効果の確認を行うために、初期設定温度に変更を行ってから初めて空調稼働した際のデータに関して集計を行った。ここで、予め階層ごとに定めた設定温度がデフォルト設定温度となり、この点がデフォルト効果を利用したナッジとなる。初期設定温度への変更タイミングは講義開始前のみとし、それ以降の変更は行っていない。また、変更するのは設定温度のみであり、それ以外の変更、操作は行っていない。

初期設定温度24°Cからの変更回数を図7に示す。同図において、横軸の0の箇所が初期設定温度となっている。

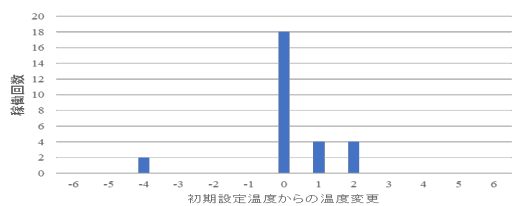


図7 初期設定温度24°Cからの変更回数

図7より、初期設定温度24°Cとした講義室では28回の稼働のうち、18回が初期設定温度24°Cで使用されていたことを確認した。また、20°Cでの使用が2回、25°C、26°Cでの使用がそれぞれ4回であった。初期設定温度から変更が行われなかった件数をデフォルトナッジの有効度とすると、初期設定温度24°Cとした講義室での有効度は64.3%であり、23°Cとした有効度は46.2%であり、22°Cとした有効度は28.6%である。

3階、2階での変更回数なども同様に解析し、検討した結果、全体集計での有効度は50.0%であった。ただし、初期設定温度は異なる。有効度より、初期設定温度が高いほど有効度が高く、低くなるほど有効度が低いことがわかる。このことから、初期設定温度による有効度の差は、一般的に設定される設定温度との差によるものであると予想される。

このことを確かめるために検討期間後に対象とした講義室の設定温度を確認した。その結果として、講義室の設定温度は平均25°Cであり、本検討の検討開始時の設定温度は平均24°Cであった。このことから、初期設定温度が平均の設定温度に近いほどデフォルトナッジによる誘導効果が高くなり、離れるほど誘導効果が低くなると考えられる。

また、デフォルト効果を利用したナッジによる誘導効果は適切な温度設定を行うことにより、一定数あると予想される。

6. まとめ

本研究では、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検討を実施するために、エネルギー消費が大きい空調機器について検討を実施した。特に、空調機器については、行動経済学のナッジ理論に基づいた検討を実施し、いくつかのナッジを用いた手法を試みた。その結果、デフォルト効果を用いた場合での効果が見られた。さらに、空調機器に関する消費エネルギーの予測手法について基礎的な検討を実施した。今後は、人の行動も導入したエネルギー消費の予測式の導出を試みる予定である。

6. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、エコ電力研究センターの機器、新2号館、1号館などのエネルギーシステム、本山キャンパス、自由が丘キャンパス、中部電力ミライズ、東邦ガスなどの方々にお世話になった。謝意を表す。

7. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計14件)

(1)Tsuyoshi Nishitani, Kazuki Ikeda, Yuto Iwasaki, Aoi Tanaka, Kazuto Yukita, Yasuyuki Goto, Tokimasa Goto, Katsunori Mizuno, Beibei Wang, “Analysis of Power Consumption of Air Conditionig for Energy Management”, The International Council on Electrical Engineering Conference 2022, 2022.06, F20220331-1246

(2)Tsuyoshi Nishitani, Kazuki Ikeda, Yuto Iwasaki, Aoi Tanaka, Kazuto Yukita, Toshiya Nanahara, Yasuyuki Goto, Tokimasa Goto, Katsunori Mizuno, “Consideration of the influence of ventilation on the power consumption of air-conditioning equipment”, 10th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMARTGRID, 2022.06, ID:52

(3)Tsuyoshi Nishitani, Kazuki Ikeda, Yuto Iwasaki, Aoi Tanaka, Kazuto Yukita, Tokimasa Goto, Katsunori Mizuno, Yasuyuki Goto, “Basic study on power consumption of air conditioning equipment”, 11th INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGY RESEARCH AND APPLICATIONS, 2022.09, ID:129

その他 11件

〔図書〕(計0件)