

## 大学施設における末端電力消費の使用実態 及び BEMS による系統別調査データとの比較検証

環境都市専攻 建築都市デザインコース 6143140017-0 宮城 令  
(指導教員 近本智行)

### 1. はじめに

東日本大震災以降、社会的要請として以前に増して電力デマンド抑制の重要性は高まっており、教育・研究機関である大学施設も例外ではない。本学でもこれまでに、理系キャンパスを対象とした建物のエネルギー消費量調査・対策効果試算・建物用途毎の空調負荷特性分析<sup>1~4)</sup>、文系キャンパスを対象とした建物用途毎の消費原単位・建物用途毎の電力デマンド分析<sup>5)</sup>が行われてきた。しかし、人の多い大学施設においてエネルギー削減を行うためには建物用途に応じた対策をするだけでなく、個々の取り組みによる削減も重要となる。そのためにはまず個々の行動によって消費が大きく変わる末端エネルギー部分での使用実態を把握する必要がある。多くの大学での管理体制はキャンパス全体や建物単位でのエネルギー消費量計測に留まっており、室単位やその内訳に関して把握している大学は少ない。

本研究では、電灯盤毎でしか電力量データが計測されていない建物において、コンセント口毎に電力量計測機器<sup>注1)</sup>(以下スマートコンセントとする。)を設置し、通年で計測を行うことで、建築系における末端エネルギー消費の使用実態を把握することを目的とする。また、その結果から各機器におけるエネルギー削減の可能性について分析を行う。

### 2. 概要

#### 2.1 対象建物と計測箇所

本分析は、2014年度に竣工した立命館大学 BKC キャンパス内の研究施設で行った。本施設には環境都市系の学科が入っており、建物の低層棟側は建築系の学科が利用している。データの計測は建築系の全 10 研究室で行った。対象建物の詳細を表 1 に示す。

表 1 建物概要

計測対象施設概要	
対象施設	環境都市系施設 低層棟
階数	3階
施設利用学科	建築系
竣工	2014年

### 3. 末端電力使用実態の把握

#### 3.1 計測機器と BEMS データの誤差

データの計測率を把握するため、建物計測データ(以下 BEMS データとする。)と設置機器計測データとの誤差把握を行った。計測対象室の概要を表 2 に示す。本研究の計測は建築系の研究室でのみ計測を行っているため、計測を行えていない演習室の電力量データが誤差として算出される。誤差を確認するに当たって、計測対象外である演習室で、電力を消費する機器は電源を OFF にしている。図 1 に BEMS データとスマートコンセント計測データの時刻別積算電力消費量を示す。最大で 1 時間あたり約 1kWh ほどの差が生じた。照明や空調に関しては全ての室で計測を行えているため、この誤差は計測機器が設置されていないコンセント口に機器が設置されたことによる負荷であると思われる。また、各研究室へのヒアリングから、ヒーターや除湿機、携帯の充電器、ノートパソコンなどが計測機器外で使用されていたことがわかった。この結果から、突発的な機器の使用による負荷を除いて、概ね対象室のデータの把握が行えているものとする。

表 2 計測対象室概要

計測対象室概要				
	研究室A	研究室B	研究室C	演習室
計測範囲	計測			
床面積	48.6㎡	97.2㎡	145.8㎡	202.5㎡
室数	1室	8室	1室	1室
空調方式	中央熱源式 FCU			
FCU	1台	2台	4台	4台
シーリングファン	1台			3台
照明(32W)	12本	18本	36本	42本
計測機設置個数	224台			×

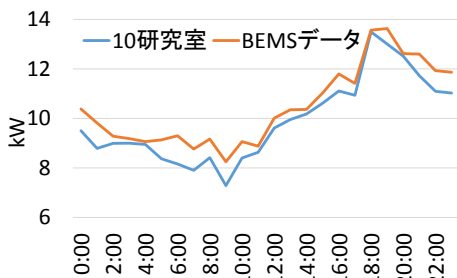


図1 BEMS データと計測データの比較

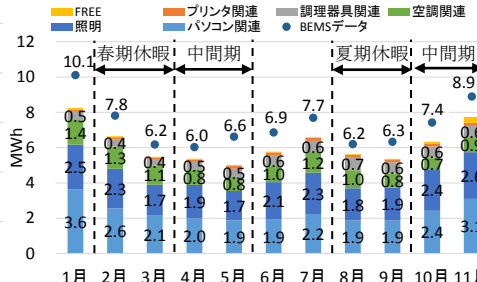


図2 月別積算計測データ

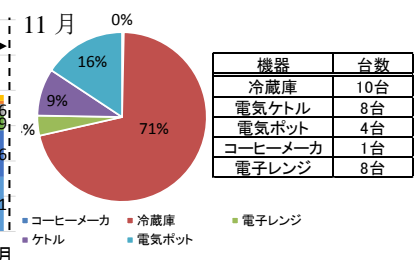


図3 調理器具関連の電力消費割合

表3 項目の分類

パソコン関連	ディスプレイ、デスクトップ、ノートパソコン、Wifiルータ、NAS
照明	研究室照明
プリンタ関連	プリンタ、スキャナ、プロッタ
調理器具	電気ケトル、電気ポット、コーヒーマーカー、電子レンジ、冷蔵庫
空調	シーリングファン、FCU、デシカント空調機、換気扇
FREE	床コンセント、ヒーター、携帯充電など

### 3.2 末端部分の使用実態の把握

#### 3.2.1 項目の分類と月別の消費内訳

研究室毎に様々な機器が設置されているため、本研究においては機器を6項目に分類し、項目毎の負荷分析を行う。図3に項目の分類について示す。突発的な機器(携帯の充電器、ノートパソコン、ヒーターなど)の使用による負荷はデータ上で明らかに別の機器による負荷データであると判断されない限りは同一の項目に含まれている。図2に全研究室の月別の積算データを項目毎に内訳したデータを示す。BEMS データとの比較を行うと、建築系の末端負荷においてはパソコン関連と照明関連による負荷が年間を通して大きな割合を占めている、また1月、2月において誤差が大きくなるのは、卒業設計の作成で演習室を利用するためである。演習室は Semester 中、授業を行う室としても利用されているため、長期休暇以外は誤差が大きくなる。

パソコン関連や照明は卒業設計や論文の提出が近くなる1月、2月、11月に大きな負荷を示した。また長期休暇に入っても負荷の減少が見られず、Semester 中と同程度の負荷がみられた。これは年間を通して大学院生の在室割合が高く、学部生は卒業論文や卒業設計の作成が近くなるまで在室割合が低いためであると推測される。調理器具は年間を通して月別での変化があまり見られなかった。図3に11月における調理器具関連の電力消費割合と各機器の台数を示す。割合の多くが冷蔵庫による負荷であった。これは他の機器に対してケトルの台数に対して電気ポットの負荷割合が大きいのは熱湯を維持するための負荷が生じるためである。図4に空調関連の

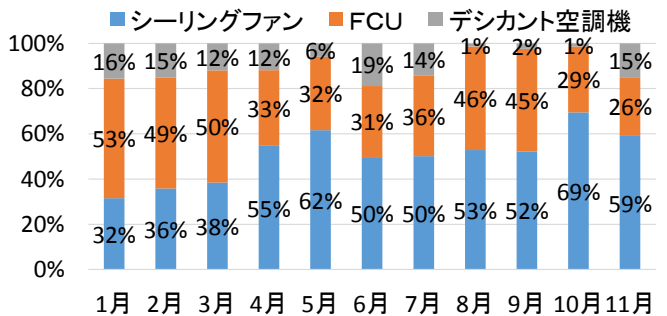


図4 空調関連の電力消費割合

電力消費割合を示す。空調関連もパソコンや照明と同様の月に負荷が大きくなる。また、中間期はFCUへの熱源供給はなくなるが、熱源が止まっていることを知らない学生達が電源をいれてしまうため、送風のみで運転している状態であることがわかった。シーリングファンにおいても、年間を通して使用頻度が高く、季節に関わらず使用されており、学生へのヒアリングから、帰宅時に電源をOFFせずに帰宅してしまうことが多くあり、無駄な電力負荷を生じていることが分かった。

#### 3.2.2 時刻別の消費内訳

詳細な使用実態の把握を行うために、時刻別の消費の内訳を行った。図5に時刻別の年間平均積算電力消費量を示す。月別のデータと同じく年間を通して、パソコン関連や照明関連の電力消費の割合が高くなっていることがわかる。また、これらの項目は時間を問わず一定以上の電力消費量を示している。これは夜間に学生が作業することによるものとパソコン関連の機器の電源を切らずに帰宅してしまうことによる負荷であると推測される。月別で比較を行うと、長期休暇中はパソコン関連の夜間と昼のピーク時でありあまり差はないが、卒業論文・設計の作成でパソコンの稼働が多くなる、1月や2月は夜間との差も大きくなる事が分かる。照明は長期休暇中においても室使用者が多いため、昼と夜で電力消費量に差が生じた。

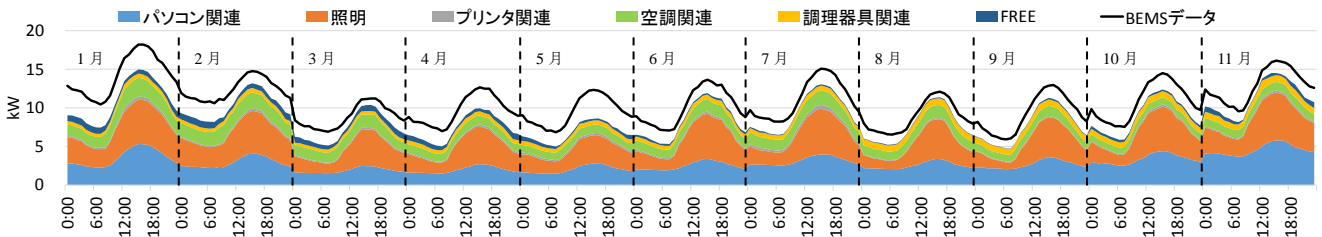


図5 時刻別積算電力消費量

表4 解析に用いた変数

項目	単位
目的変数	消費電力 kWh
説明変数	
パソコン関連	台数
年間使用時間	~50h:1、50~100h:2、100~149h:3 150~199h:4、200h~:5
電源の消し忘れ	消し忘れが多い:1 消し忘れが少ない:2
曜日	月:1、火:2、水:3、木:4、 金:5、土:6、日:7
平均室温	℃
サンプル数	343(11月データ)

表5 パソコン関連機器台数

機器	デスクトップ	ディスプレイ	ノートパソコン	Macデスクトップ
台数	119台	142台	12台	11台

### 3.3 パソコン消費電力の影響要素分析

時刻別の結果でパソコン関連の夜間負荷が高いことが分かったため、年間でパソコン関連の消費電力が最も高い11月のデータを用いて、重回帰分析することで各要素の影響度分析を行った。説明変数相互の影響は低く、多重共線性<sup>注2)</sup>は低いことを確認している。解析に用いた変数を表4に示す。目的変数はパソコン関連の機器が接続されている計測機の電力量データを利用し、説明変数はパソコン関連の消費電力に影響があると推測される、機器の種類(デスクトップ、ディスプレイ、ノートパソコン、Mac デスクトップ)、年間使用時間<sup>注3)</sup>、消し忘れの頻度<sup>注4)</sup>、曜日、室温のデータを標準化して分析を行った。表5に各パソコン関連機器の台数を示す。図6に時刻毎の各要素の寄与率と決定係数を示す。

これまでの分析どおり、電源の消し忘れが消費電力量に影響を及ぼす割合が大きいことが分かる。また、作業後の消し忘れにより、夜間の影響度が非常に高くなっており、学生の在室割合が高くなりだす10時ごろから影響は小さくなる。パソコン関連においてはMacデスクを利用することが最も大きな影響を与える。夜間においてもMacデスクトップの影響度が高いのはデスクトップやディスプレイに比べて電力消費が大きく、消し忘れによる影響が大きいためである。デスクトップは夜間や昼間の時間帯においても一定の影響度を示しており、寄与率自体は低い、研究室全体でみると台数が最も多いのでその

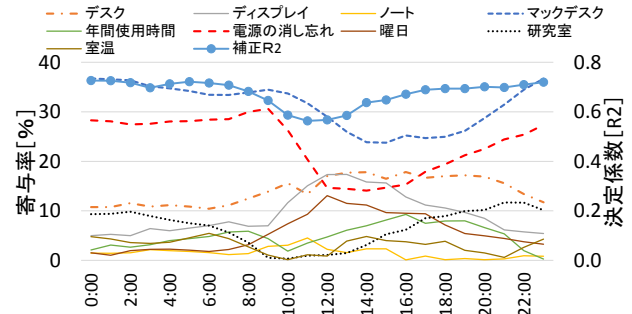


図6 時刻毎の各要素の寄与率と決定係数

消費が他の機器に比べて極端に少ないため、ほとんど影響を与えていないことがわかる。ディスプレイなどは使用していない時間帯などはセーフモードとなり使用時間帯のみ影響が大きくなる。曜日においては14時に最も影響度が大きくなるのは、各研究室でゼミが多い時間帯であるためである。また、作業を行っている人も最も多い時間帯である。研究室は夜間における影響度が最も高くなる。これは夜間に電源の消し忘れ頻度が高いパソコンがある研究室に偏りがあるためである。

### 3.4 機器毎の削減効果試算

これまでの分析から機器毎の問題点をあげ、削減可能性のある機器において削減量の算出を行った。

#### ・パソコン関連

夜間の電力負荷の高い時間帯においてはパソコン関連の負荷割合が大きく、電源の消し忘れによる影響が最も大きかったため、生データから実態を分析し、削減効果の試算を行った。使用実態の把握を行うためにパソコン関連の機器が接続された計測機器毎にデータを待機状態と作業状態のデータに分割を行った。データの分割はそれぞれの機器の夜間に使用消し忘れていない状態での電力量を基準として算出を行っている。図9に夜間におけるパソコン関連の使用実態に関するデータを示す。分析は消し忘れによる影響が大きいと思われる長期休暇中の9月(14~18日)とパソコン関連の消費が高くなる11月(16~20日)のデータから平日5日間のデータを抜き出して分

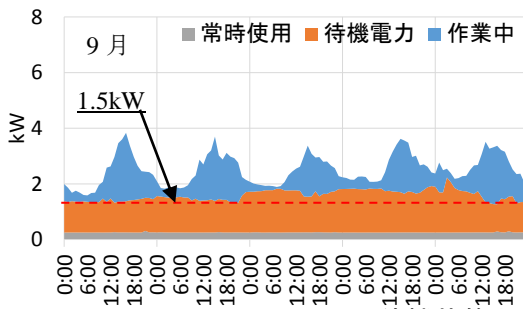


図9 待機状態と使用状態の電力消費量

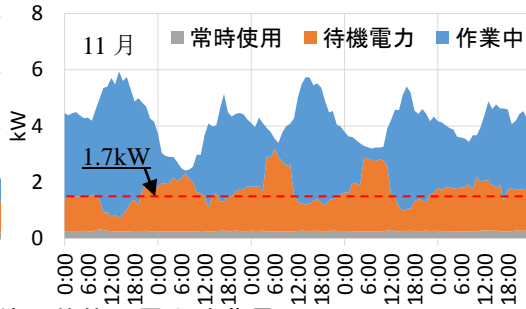


図10 研究室電灯配置図

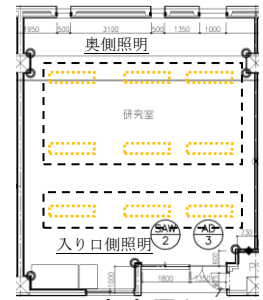


図11 各機器の削減可能電力量

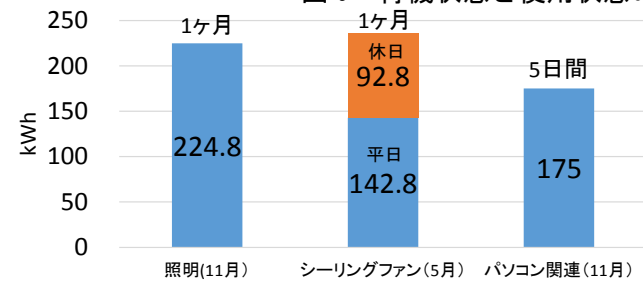


図11 各機器の削減可能電力量

析を行っている。

分析の結果、夜間におけるパソコン関連のベース負荷として9月は1.5kW、11月は1.7kWの負荷が生じていることが分かった。また日中においても夜間ベース電力と同程度の電力負荷が存在する。月別で比較すると長期休暇中である9月は作業中の電力が上昇しても、待機電力の減少が少ないが、卒業論文などの中間発表が近い11月は作業中の電力が上昇すると待機電力も減少していることがわかる。これはパソコンの使用頻度によるものである。11月はそれまで在室割合の低かった人も作業割合が増し、パソコンに触れる機械が増え、電源を消すようになるからである。この期間中の電源の切り忘れによる積算の消費電力量は9月で160kWh、11月で175kWhであった。作業終了時に電源をOFFすることによって、これだけの電力量を削減することができる。

・照明

図10に研究室の電灯配置図を示す。分析結果から、照明は夜間作業による点灯が多いため、夜間における削減効果の試算を行った。研究室でパソコンが配置されているのはどの研究室も奥側であるため、入り口側の照明を0時から学生の在室率が上がる10時まで照明の電源をOFFにしたとして削減可能電力量の算出を行う。図11に各機器の削減可能電力量を示す。照明においては約225kWの削減となった。

・空調関連

シーリングファンは帰宅時に消し忘れが多いことが

ヒアリングから分かったため、研究室毎に照明が点灯していない時間にシーリングファンが使用されている時間を削減可能な電力として算出を行った。

ただし計測データにはシーリングファンの電力量データだけでなく換気扇の電力量も同時計測されているため、シーリングファン以外の電力量も含まれている。データは図6、7から使用割合が高い、5月のデータを用いている。月で235kWの削減が可能であった。また、休日における削減可能電力が大きくなったのは平日に消し忘れたまま、帰宅し、休日に使用状態が続くためである。

4. まとめ

本研究では消費内訳が不明な末端電力において、スマートコンセントを用いて建築系研究室のエネルギー消費実態の把握を行った。調査の結果、パソコン関連は年間を通して負荷が大きく、特に電源の消し忘れによるベース電力が存在した。調理器具においては負荷割合の多くは24時間稼働の冷蔵庫による負荷が大半であった。空調関連においては、中間期には熱源が止まっているにも関わらずFCUの無駄な運転が確認され、シーリングファンにおいても電源の消し忘れによる無駄な負荷が確認された。

注釈

- 注1) データ通信の方法は ZIGBEE を利用しており、ソフトがダウンロードされたパソコンに親機を接続すれば、記録されたデータが送られる。
- 注2) 独立変数間に非常に強い相関があったり、一次従属な変数関係がある場合には、解析が不可能であったり、たとえ結果が求まったとしてもその信頼性が低い。
- 注3) ベース電力を超えた負荷時を作業中とし、年間で作業時間の算出を計測機器毎に行った。
- 注4) 計測機器毎に消し忘れ時のベース電力を基準として、月の消し忘れの時間が100時間を越えるものを消し忘れ頻度が高いものとする参考文献
- 文1) 近本:CO2削減目標設定のための現状調査と対策効果試算 日本建築学会大会学術講演梗概集 2009. 8.
- 文2) 栄他:大学キャンパスにおける建物用途毎のエネルギー消費特性分析 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集2010. 9.
- 文3) 日下部他:大学キャンパスにおけるガス吸収式冷温水機の部分負荷効率分析 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集2011. 9.
- 文4) 日下部他:理系キャンパスを対象とした建物用途・季節毎の空調負荷特性分析 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集2012. 9.
- 文5) 小林他:文系キャンパスを対象とした建物用途毎のエネルギー消費原単位および電力デマンドの分析 第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文要旨集 2013.1.