

エネルギー会計を用いたビルエネルギーマネジメント システムシミュレーション(BEMS2)の提案

○太田博士 市川学 出口弘 (東京工業大学)

高橋悟 園田俊浩 竹林知善 (富士通研究所)

A Proposal on Building and Management System Simulation(BEMS2) by Using Energy Accounting Scheme

* H. Ohta and M. Ichikawa and H. Deguchi (Tokyo Institute of Technology)

S. Takahashi and T. Sonoda and T. Takebayashi (Fujitsu)

Abstract— A Proposal on Building and Management System Simulation(BEMS2) Using Energy Accounting Scheme Recently in office buildings there are many systems introduced to visualize the energy usage. However there is no management systems constructed which could enable the energy accounting yet. In this research, we construct a system that could generate the energy accounting report. By using agent based modeling to represent employees and to reflect the department's decision making, we analyze the effect of energy consumption strategies and realize what electric power transfer activities should be included in the accounting report as the ledger account. With our constructed system, we analyze the effect of strategies for investing and managing the lighting facilities from the perspective of investment cost.

Key Words: EMS, エネルギー使用量, 見える化, 節電, エネルギーシミュレーション

1 はじめに

1.1 背景

2011年3月の東日本大震災に起因する電力危機により、我々は電力需要の削減という課題に直面した。そのようななか、我々は省エネ活動に取り組んできた。しかし、ただ需要を削減すればよいわけではなく、省エネ行動を行なうことで日常生活を損なってはならない。つまり、効率的な電力利用が必要となる。しかしながら、現状、我々は自らの行動が生む省エネ効果や、一方で作業効率の低下など日常生活に対する悪影響を深く理解しないまま、ただ漠然と省エネ行動に取り組んでいると言える。したがって、電力の効率利用が達成できているとは言いがたい。こういった問題に対して、生活の中での消費電力を定量的に示すことが重要となる。

また、本研究が対象とするオフィスビルや工場を含む業務部門の電力需要は社会全体での需要の半数以上を占めていると言われている¹⁾。従って、この業務部門の電力利用を削減することは、社会全体での電力需給削減に大いに繋がると考えられる。そして、近年この業務部門の領域を対象に効率利用を目的としたシステムとして BEMS(Building Energy Management System) が注目を集めている。

1.2 BEMS とは

BEMS とは、ビル内でのエネルギー効率利用化を図るシステムである。具体的には、センサリング技術を用いたビル全体での空調や照明といったエネルギー設備を利用状況の一元的監視や、そのときの需要予測に応じた設備の自動制御を可能にするシステムである。²⁾

こういったビル管理システムが導入されていないビ

ルでも 2009 年の「エネルギー使用の合理化に関する法律」で、事業所ではなく事業者単位での規制が行なわれるようになり、BEMS 導入に動きは複数事業所を所有する事業者を中心に高まってきている。そして、既述の震災の影響もあり、今後さらにこの BEMS に対するニーズが高まることが予想される。

このニーズの高まりに対して、電力会社や大手メーカーを中心に BEMS の開発競争が加速している。³⁾⁴⁾。しかし、現在開発されているシステムが提供するサービスの多くは、デマンドリアルタイム予測や監視による設備の自動制御のサービスといったトップダウンなものであり、ビル管理者や従事者が自律的にマネジメントできるようなシステムは少ない。そこで本研究では、従事者や管理者がエネルギーの管理や設備の運用を検討できるようなシステムの構築を行う。

1.3 企業における会計処理の現状

企業経営を行なう際に、経営において発生した取引はすべて複式簿記で記述された財務諸表として記録される。この財務諸表が取引のなどを明確にし、効率的な運用を可能にする。エネルギーについてもこういった会計的な取り扱いが必要であると考えられる。しかし、現在エネルギーについては会計的な記述が行なわれておらず、これでは管理者は自律的にエネルギーを管理することは不可能である。

エネルギー利用に関しては、会計的な扱いは行なわれていないのが現状である。現に企業の財務諸表のひとつである合計残高試算表[Table.1]を見ても、電力や水道といったエネルギーの利用に関しては、水道光熱費という勘定科目にまとめて計上され、非常に雑駁な表現しかなくされていない。

これでは、エネルギーがこういった用途に利用されているのか明確にならず、利用状況の無駄を把握することも難しい。また利用したエネルギーがどのようなエ

エネルギーかも明記されていない。例えば、利用電力のうち自家発電による電力と蓄積電力がどの程度を占めるのかという記述もなされていない。ここでは発電装置や蓄電池を導入したとしても、適切な運用は困難である。従って、これらの問題を解決するためにエネルギー利用の会計処理を可能にするシステムの構築を本研究の目的とする。

Table.1:合計残高試算表

合計残高試算表

平成〇〇年〇月〇日 (単位:円)

借方		勘定科目	貸方	
残高	合計		合計	残高
23,960	80,000	現金	56,040	
10	4,930	現金過不足	4,920	
34,000	34,000	備品		
		資本金	263,890	263,890
10,000	10,000	水道光熱費		
54,000	54,000	通信費		
82,000	82,000	広告宣伝費		
40,000	40,000	地代家賃		
16,920	16,920	事務用品費		
3,000	3,000	リース料		
263,890	324,850		324,850	263,890

1.4 本研究の目的

本研究では、エネルギー会計を用いた新たなシミュレーションシステム BEMS2(Building Energy Management System Simulation)を構築・提案する。この BEMS2 は以下の2つを実現する。

まず、エネルギー体系を会計的に記述したエネルギー利用に関する財務諸表を作成することである。本研究では、エネルギーの利用、発生、蓄積、売買などをエネルギーイベントと呼ぶ。これらのエネルギーイベントにおいて発生するデータを代数的に記述する。そして、代数構造をもったデータを集計することで、エネルギー利用についての貸借対照表や損益計算書といった財務諸表を作成する。これらの財務諸表の作成によって、ビル管理者は、省エネ設備の投資や運用といった戦略に対して、コストも考慮に入れたエネルギーの収支を分析することが可能になる。

そして、次に処理されたエネルギーイベントデータをもとに、オフィス全体、または各領域単位でのエネルギー利用状況の見える化を行なう。また、見える化に関しても、消費電力の時系列変化のみならず、従事者がどのような設備に電力を消費しているか、また、どのような行動に対して電力を消費したかといった複数視点からの見える化である。その結果、エネルギー利用戦略について、それぞれのメリットやデメリットを様々な評価軸で分析することが可能になり、管理者は自社の選好に見合ったエネルギー利用戦略を検討・立案できるようになると考えられる。

このように、本研究では従事者や管理者といったシステムのユーザーが各人の選好に基づき、自律的に理想の運用方法をデザインできるような枠組みとして、BEMS2 を構築する。

2 方法論

2.1 先行事例

エネルギー利用効率化に用いられるものとして、スマートメーターが知られている。スマートメーターは、通信機能を備えた自動検針器であり、需要家と電力会社の間で電力の使用量などのデータをやり取りし、そのデータに基づき設備の自動制御など可能にするものである。このスマートメーターで計測した電力の利用状況を可視化する際に重要になってくるのが、データ転送技術である。従来利用されているデータ転送技術として、データを送信(Publish)し、送信されたデータの受信(Subscribe)を行なう MQTT プロトコルが IBM により開発されている。さらに MQTT を実装したスマートメーターの実際のビルでの実証実験も行なわれている[4]。しかし、この実証実験は電力利用状況の見える化にとどまっておらず、経営面からエネルギー利用最適化といった応用はなされていない。

2.2 エージェントベースモデリングの適用

本研究では、オフィス内での従事者の行動と設備利用の意思決定をモデル化するためにエージェントベースモデリングを適用する。エージェントベースモデリングとは、エージェントと呼ばれる主体がそれぞれ意思決定を行い、自律的に振る舞い、その振る舞いとそれによって生まれる全体の振る舞いを分析することを目的とした手法である。従事者の行動をエージェントベースモデリングで表現することにより、オフィス全体の電力利用状況を再現できるだけでなく、各従事者がどのような行動をとり、その行動の中でどのような電力消費を行なったかが追跡可能になると考えられる。

2.3 エネルギー会計について

オフィスにおいて従事者は状況に応じて照明や空調設備、ラップトップコンピュータといった電子機器を利用し、電力を消費する。また、ビル管理者は電力を購入したり、太陽光発電を行ったり、蓄積電力の余剰分を利用したり、さまざまな方法で利用電力をまかなう。それぞれのエネルギーイベントが発生時に、利用時間やどういった行動に利用されたのか、電力のまかない方などを明確にしたデータを生成する。本研究では、このエネルギーイベントデータを Fig. 1 のような代数的な構造を持つデータとして生成する。

30	HAT	Lighting_Service	ELUnit	#	Light
30	NO_HAT	Consumption	ELUnit	#	Room1



Fig.1:代数型データの生成

ここで生成された既述のデータは、部屋やフロア、ビルごとに収集される。収集されたデータは、各収集元の単位ごとに集計され、エネルギー利用に関する貸借対照表や損益計算書といった財務諸表を作成する。本研究では、これらの財務諸表をもとに、各従事者や管理者のエネルギー利用について経営戦略の提案・分析を行なうことが可能になる。この一連のデータ記述・処理の方法をエネルギー会計⁵⁾と呼ぶ。このエネルギー会計を用いることで、エネルギーイベントデータを設備の利用機能、従事者の行動といったような様々な視点から見たデータに変換が可能になる。

2.4 Pub Sub Calc スキームについて

2.1.でも述べたように、先行事例では、MQTT と呼ばれるプロトコルが利用されている。このプロトコルでは、データの送信(Publish)と受信(Subscribe)のみが行なわれている。したがって、見える化以上のサービスが提供できない。

一方で、出口⁵⁾は転送されたデータに集計(Calculation)のノードを組み込んだ Pub-Sub-Calc スキームという新たな枠組みを提唱している。この枠組みは転送されたデータを計算処理し、会計的に記述することが可能になるため、BEMS の経営戦略への応用に非常に適していると考えられる。そこで本研究で構築するシステムのデータ処理においては、この概念を採用する。この概念を用いた BEMS2 におけるデータの流れを Fig.2 に示す。

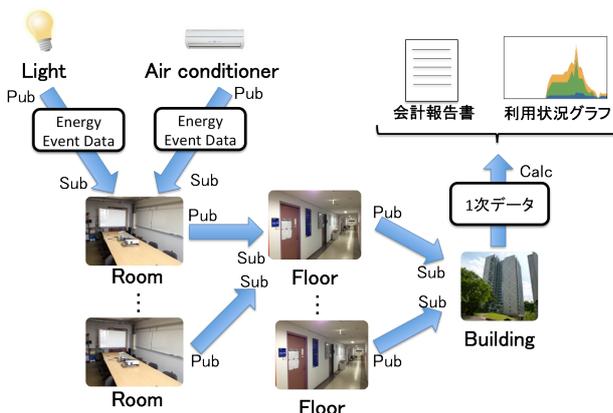


Fig.2:生成されたデータの流れ

2.5 本研究の新規性

本研究が提案するシステムを用いることで、先行事例と比較して以下の新規性が考えられる。

実際の行動データに基づき、エージェントベースアプローチを適用することで従来行なわれてこなかった、行為に対する電力利用状況の見える化が実現する。そして、従事者がそれぞれの行動を追跡し、電力利用の無駄を議論し、自律的な電力の効率利用を可能にする。

また、エネルギー会計を用いることで、電力の利用用途も勘定科目とするエネルギー勘定元帳を作成する。これによりオフィス全体でどのような電力利用がなされているか明確になる。さらに、最終的な財務諸表としてエネルギー損益計算書を作成する。残高試算表の作成で、購入電力、発電、蓄積余剰分、それぞれの電力をどの程度利用しているかが会計的に明示されるた

め、発電装置や省エネ設備の運用方法について戦略的な分析が可能になる。結果として、BEMS2 はビル管理者のエネルギー利用計画の立案を支援することが可能であると考えられる。

3 シミュレーションモデル

本研究では、オフィス内での電力利用や省エネ設備の投資・運用について見える化を行なった。そこで構築したシミュレーションモデルについて説明する。本モデルは大きく分けて2つのモジュールから成り立つ。一つ目は、オフィス内における従事者の行動と電子機器の利用の意思決定を表現したモデルである。もう一つは、従事者の行動の中で発生したエネルギーイベントデータを加工し、見える化を行なう出力部分である。

なお、従事者の行動部分のモデル構築にあたっては、社会シミュレーション言語:SOARS を用いて構築した。また、代数構造をもったエネルギーイベントの処理については Falconseed を利用した。

3.1 モデルの定義

エージェントベースモデリングでは、個々のエージェントの設計と、エージェントが行動や意思決定を行なう場の設計が必要となる。本研究で構築するモデルでは、従事者をエージェント、行動する部屋やそれを構成する領域といったものを場として定義する。ここではエージェントと場について説明し、定義する。

3.1.1 オフィスビルの定義

本モデルでは、オフィスビルを大学や企業における自社ビルなど社管理のビルと定義した。ここではオフィス内の空間構造について説明する。オフィス内は複数のフロアが存在し、各フロアには部屋が存在する。さらに、それぞれの部屋は生活空間として領域に分類されている。本モデルでは、従事者の行動に着目するため、これらの領域を個人のデスクが存在する作業領域、会議室などの共同作業領域、休憩領域に分類する。この全体の包含関係を階層構造で表現する。

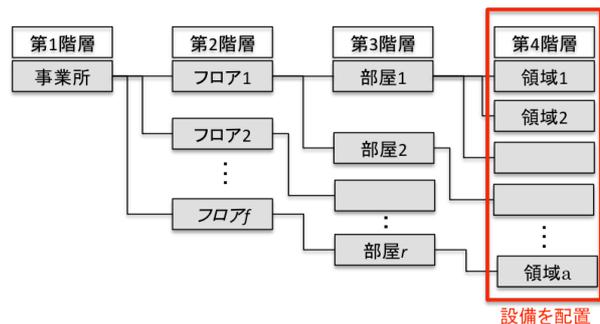


Fig.3:オフィスビルの階層構造

3.1.2 配置設備の定義

次にオフィス内に配置された設備について説明する。本モデルでは、設備として以下の7種類(Table.2)の設備を定義する。それぞれの設備を機能別に以下の4種類に分類する。これらの配置設備はそれぞれ消費電力をもち、その値に従って消費に関するエネルギーイベントデータを生成する。

Table.2:配置設備の機能分類

機能名	設備名
照明機能	照明
空調機能	空調
事務機能	ラップトップコンピュータ
	プリンタ
	プロジェクタ
調理機能	電子レンジ
	湯沸かし器

3.1.3 オフィス内の意思決定主体の定義

本モデルでの意思決定主体として従事者が存在する。ここでは、従事者と行動と意思決定について説明する。

まず、従事者は、オフィス内で個人作業や他の従事者との共同作業、休憩などを行う。そして、それぞれの行動の中で必要となる設備の利用を行なう。本モデルでは、各従事者に対して、オフィスに出入りする出勤時刻や各行動を行なう頻度、さらに各配置設備を利用する頻度といった要素を設定する。これらをもとに、各従事者のオフィス内での行動を表現する。要素の詳細な定義については、3.3.2.で説明する。

3.2 詳細設計

3.2.1 オフィス内の空間設計

本モデルでは、オフィスビルの階層構造を以下のように定義する。オフィスの階数 $m \in \mathbb{N}$ とし、そのフロアの集合を $Floor = \{f_i | i = 1, 2, \dots, m\}$ と定義する。ビルにフロアの集合を包含する形で配置する。次に、 x 階にある部屋を R_x とすると、部屋の集合 $Room = \{R_x | x \in Floor\}$ と与えられる。フロア x にある部屋数を $rf(x) \in \mathbb{N}$ とすると、その各フロアに部屋数を割り当てる関数は $rf: Floor \rightarrow \mathbb{N}$ である。

また、各部屋は領域に細分化されるので、部屋 x の領域を A_x とすると、領域の集合は $Area = \{A_x | x \in Room\}$ と表される。

このように決定される変数、フロア数 fm 、部屋数 rm フロア当たりの部屋数 rf に従ってオフィスビルの構造が定まる。

3.2.2 配置設備の設計

従事者が利用する設備は、照明集合 $Light = \{L_i | i = 1, 2, \dots, nl\}$ 、空調集合 Air Conditioner = $\{A_j | j = 1, 2, \dots, na\}$ 、プリンタ集合 Printer = $\{PT_k | k = 1, 2, \dots, npt\}$ 、プロジェクタ集合 Projector = $\{PJ_l | l = 1, 2, \dots, npj\}$ 、電子レンジ Oven = $\{O_p | p = 1, 2, \dots, no\}$ 、湯沸かし器 Water Heater = $\{W_q | q = 1, 2, \dots, nw\}$ 、ラップトップコンピュータ集合 PC = $\{PC_r | r = 1, 2, \dots, npc\}$ で構成される。ラップトップを除く設備はすべて領域に配置される設備であるので、それぞれが配置される領域を $la(l_i) \in Area$, $ca(A_j) \in Area$, $pta(PT_k) \in Area$, $pja(PJ_l) \in Area$, $oa(O_p) \in Area$, $wa(W_q) \in Area$ を保持する。ここで、照明、空調、プリンタ、プロジェクタ、テレビ、電子レンジ、湯沸かし器に配置される領域を割り当てる関数はそれぞれ $lc: Light \rightarrow Area$, $ca: Air\ conditioner \rightarrow Area$, $pta: Projector \rightarrow Area$, $pja: Projector \rightarrow Area$, $oa: Oven \rightarrow Area$, $wa: Water\ Heater \rightarrow Area$, である。

そして、ラップトップは従事者に結びつけられる設備なので、従事者集合 $Employee = \{E_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ として、それぞれのラップトップは所有主である従事者 $pe(PC_r) \in Employee$ を保持する。各ラップトップに所有する従事者を割り当てる関数は、 $pe: PC \rightarrow Employee$ である。

3.2.3 従事者の行動モデル

従事者数 $i \in \mathbb{N}$ の従事者集合 $Employee = \{E_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ と定義し、それぞれの従事者に対して、個人作業領域 $wa(e_i) \in Area$ 、共同作業領域 $sa(e_i) \in Area$ 、休憩領域 $ra(e_i) \in Area$ を保持する。それぞれ目的に応じた領域を割り当てる関数は、 $wa: Employee \rightarrow Area$, $sa: Employee \rightarrow Area$, $ra: Employee \rightarrow Area$ である。

また、時間集合 T として、各従事者は出勤時刻 $st(e_i) \in T$ 、退勤時刻 $ft(e_i) \in T$ を保持し、出勤時刻で個人作業領域へ移動し、退勤時刻にオフィスを出る。

また、会議などの共同作業時間 $mtg(e_i) \in T$ と休憩時間 $rt(e_i) \in T$ を保持し、共同作業時間に共同作業領域に移動する。

さらに各従事者はそれぞれの設備に対してその利用する確率を保持している。この設備の利用確率は、 $E_i \in Employee$, $f_i \in Facility$ とすると、 $uf(E_i, f_i) \in \mathbb{R}$ と定義できる。 $uf: Employee \times Facility \rightarrow \mathbb{R}$ は従事者と設備の組み合わせに対してその利用確率を割り当てる関数である。

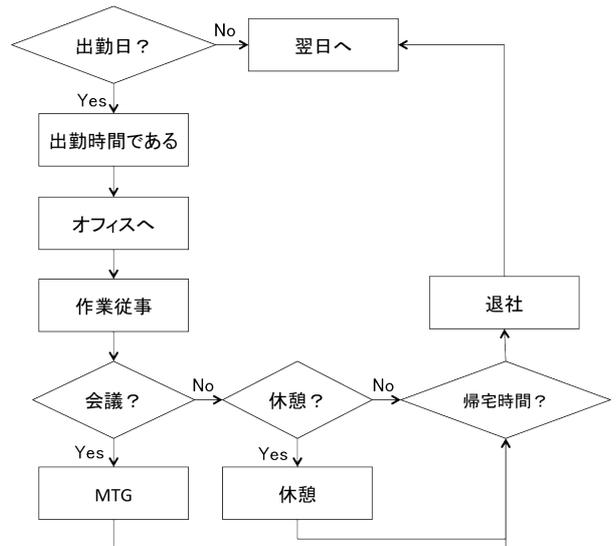


Fig.4:従事者の行動フローチャート

3.3 出力について

本節では、本モデルが実現するオフィス内での電力利用状況の見える化について説明する。

3.3.1 エネルギー会計報告書

本モデルでは、各勘定科目についてその流入と流出を分類して記述する勘定元帳の概念をエネルギー利用に適用し、エネルギー勘定元帳が作成される。扱う勘定科目として現金、電力、光熱費に加え、従来では表現されなかった照明機能、空調機能、事務機能、調理機能などの電力の利用機能も勘定元帳として扱い、各勘定科目に関する収支を明らかにされる。

また、本モデルでは1日を3時間ごと8つの時間帯

に区分することで会計期間とし、各会計期間におけるエネルギー試算表が作成される。そして、作成された試算表をもとに各時間帯の期首と期末における貸借対照表が作成される。また、損益計算書の作成も行われる。本モデルで貸借対照表や損益計算書といった財務諸表は、ビル全体で作成されるだけでなく、領域単位でも作成されるため、それぞれの領域における電力利用の運用計画の立案が可能になる。

3.3.2 電力利用状況の見える化

本モデルでは、表2に示した設備の機能分類に従い、消費電力の利用機能別の内訳を表した積み上げグラフが作成される。また、利用機能別の消費電力の他に、電力利用を従事者の行為で分類し、想定するオフィス内でどのような行動に電力が利用されているか、その状況を見える化する積み上げグラフも作成される。分類する従事者の行為として、個人作業、共同作業、休憩に分類される。これらの見える化についても、オフィス全体、及び領域単位での見える化が行なわれるため、エネルギー戦略シナリオを導入することにより、各領域で機能や行動ごとの消費電力がどのように変化するか目で見て比較、評価することが可能になる。

4 モデルの適用

本研究では、オフィスの事例として東京工業大学出口研究室を挙げ、実際の生活特性データをもとに従事者を再現し、モデルを適用する。そして、現状の分析を行い、研究室の抱える問題に対する改善シナリオ導入し、それぞれの効果について議論していく。

AM	デスク	ゼミ室	Relax	PM	デスク	ゼミ室	Relax
0:00				0:00			
0:30				0:30	○		
1:00				1:00	○		
1:30				1:30	○		
2:00				2:00		○	
2:30				2:30		○	
3:00				3:00	○		
3:30				3:30	○		
4:00				4:00	○		
4:30				4:30			○
5:00				5:00	○		
5:30				5:30	○		
6:00				6:00	○		
6:30				6:30			
7:00				7:00			
7:30				7:30			
8:00				8:00			
8:30				8:30			
9:00	○			9:00			
9:30	○			9:30			
10:00	○			10:00			
10:30	○			10:30			
11:00	○			11:00			
11:30	○			11:30			
12:00				12:00			

Fig.5:行動調査アンケート

4.1 パラメータ設定

今回モデルを適用する際に、オフィスの構造や配置設備の消費電力、ならびに従事者の出勤時間など行動に関するパラメータを現実に則したもので設定した。

まず、オフィスの構造として、1フロア、2部屋の空間で研究室を設定し、2部屋の空間を4つの領域に

分類して生活空間を表す。

次に、消費電力については実際に電力計測器を用いて計測を行なった実データに基づいている。空調の消費電力については、設定温度と外気温の差に比例するように設定した。

最後に、従事者の生活パターンについては、研究室内で実際にどのように行動を行なっているかをアンケート調査し、それに基づき設定した。実施したアンケート調査としては、以下の2種類である。一つ目は出勤時間や滞在エリアなどの調査を目的とした行動調査である。もう一つは各人がどの程度の頻度で設備の利用を行なうかの調査を目的とした設備利用調査である。

以上のアンケートを所属する教員・学生、計16名を対象に5日間行い、そこから得られたパラメータを保持する従事者エージェントとした。

プリンタ利用状況調査

プリンタの利用状況調査にご協力おねがいいたします。

Ex)

日時	利用時間	利用者名	用途	枚数
2/12	11:20	○○	コピー	20枚
2/13	15:10	○○	プリンタ	10枚

記入例

日時	利用時間	利用者名	枚数
3/1	16:20	○○	9
3/5	11:20	○○	2
3/5	11:50	○○	1
3/5	12:00	○○	1
3/7	15:20	○○	4
3/8	12:00~	○○	1
3/8	12:30	○○	1
3/8	12:50	○○	1

Fig.6:設備利用状況調査

4.2 現状分析

本研究では、エネルギー戦略シナリオを導入しない、通常の研究室生活を表したものをベースシナリオとして扱う。本研究のシミュレーションでは、期間内に生成されるエネルギーイベントデータは代数構造をもった形式で生成される。ここでは、ベースシナリオにおいて出力されたデータを一部抜粋しTable.2に示す。

そして、Table.2に示した出力データを加工することで、利用機能別の電力利用状況の見える化グラフとが作成される[Fig.7]。さらに、エネルギー会計のデータ処理を用いることで、出力された利用機能単位の出力データを、従事者の行動別の視点で見たデータ[Table.3]に変換される。このデータを用いて行動別の利用状況の見える化を行う[Fig.8]。

まず、このグラフから一般にピークタイムとされている13時から16時に消費電力のピークを迎えていることがわかる。また、次にFig.8の従事者の行動に着目したグラフに目をやると、ピークタイム内に行なわ

れる共同作業時間により、2 部屋分での電力利用が起こっていることがピークを生む原因になったと考えられる。次節以降では、このピークタイムの消費電力のカットを目的としたエネルギー戦略シナリオについて検討し、その効果について議論していく。

Table.2:利用機能別の出力データ(一部抜粋)

160	NO_HAT	Lighting_service	Wh	13:00	Area1
160	NO_HAT	Lighting_service	Wh	13:00	Area4
372	NO_HAT	AC_service	Wh	13:00	Area1
432	NO_HAT	AC_service	Wh	13:00	Area4
140	NO_HAT	Work_service	Wh	13:00	Area1
100	NO_HAT	Work_service	Wh	13:00	Area4

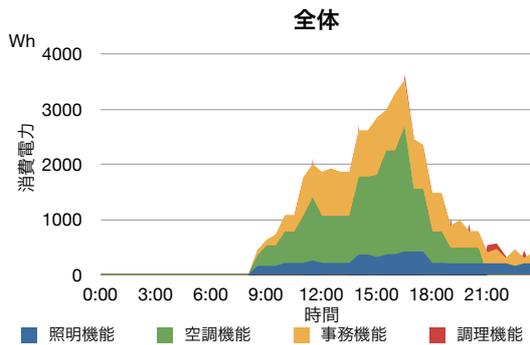


Fig.7:機能別利用状況(ベースシナリオ)

Table.3:行動別の出力データ(一部抜粋)

160	NO_HAT	Personal_work	Wh	13:00	Area1
160	NO_HAT	Common_work	Wh	13:00	Area4
372	NO_HAT	Personal_work	Wh	13:00	Area1
432	NO_HAT	Common_work	Wh	13:00	Area4
140	NO_HAT	Personal_work	Wh	13:00	Area1
100	NO_HAT	Common_work	Wh	13:00	Area4

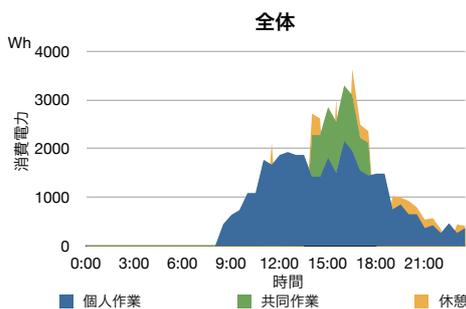


Fig.8:行動別利用状況(ベースシナリオ)

5 シナリオ

本節では、4.2 の現状の問題としてあげられるピークタイムの消費電力に対して、改善を目的とした省エネ対策シナリオを提案し、その効果について議論していく。本研究では、照明に対する投資に関するシナリオと従事者の行動に対するタイムシフトを行うシナリ

オの2種類を扱う。

5.1 照明設備の投資を行うケース

まず、領域全体で利用する照明のほかに、出勤している従事者のみが利用できる個人デスク用の照明設備の導入し、運用するシナリオを考える。

個人照明は各従事者に結びつけられるので、従事者 $Employee = \{E_i | i=1, 2, \dots, n\}$ に対して、従事者数分の個人照明集合 $Personal\ Light = \{PL_j | j=1, 2, \dots, n\}$ を定義する。それぞれの個人照明は所有主である従事者 $le(PL_j) \in Employee$ を保持する。各個人照明に所有する従事者を割り当てる関数は、 $le: Personal\ Light \rightarrow Employee$ である。これらの運用方法として、ピークタイムを含む日中(9時から17時)に個人用照明を利用し、該当時間外は、領域照明と個人照明の併用を行なうシナリオである。このシナリオをシナリオ1と定義する。

5.2 従事者の行動を制御するケース

次に、従事者の行動をシフトさせる省エネシナリオとして、ピークタイム消費電力の増加の直接の原因となっている共同作業時間をシフトするシナリオを考える。ここでは、消費電力のピークタイムシフトを目的にピークタイム外での共同作業を推奨するシナリオを検討する。

会議禁止時間帯を定め、該当時間外のみで会議を行なうように行動をシフトするシナリオである。本研究では、一例として、13時から16時の時間帯を会議禁止時間と定義し、シナリオを導入する。以後、このシナリオをシナリオ2として比較を行なう。

5.3 シナリオ分析

5.3.1 ピークタイム電力

本節では、導入するエネルギー戦略の目的であるピークタイムの消費電力に着目し、シナリオを比較、評価していく。今回は、各シナリオについて代表的なケースを取り上げ、議論していく。

まず、シナリオ1における利用機能別の消費電力の推移を Fig.9 に示す。ベースシナリオの Fig.7 のケースと比較し、ピーク時の照明に対する消費電力が34%削減できている。これは、個人用の照明を導入することで、ピーク時に出勤している従事者のみが各人の分のみを効率的に利用することで削減できたものであると考えられる。しかしながら、ピークタイムの消費電力自体は5.6%の削減にしかいたらなかった。これは、全体に占める照明機能の内訳が少ないことから効果が少なかったものと考えられる。

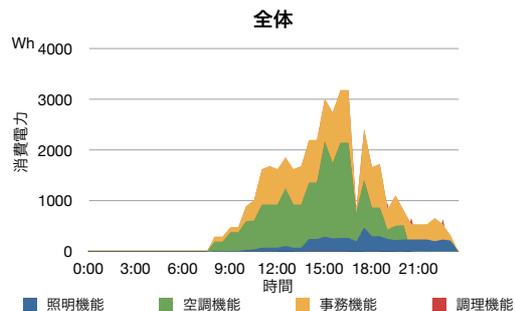


Fig.9:機能別利用状況(シナリオ1)

次に、シナリオ 2 における機能別の消費電力の推移を Fig.10 に示す。ベースシナリオの Fig.7 のケースと比較し、このシナリオではピークタイムにおける消費電力がカットされ、消費電力の山場を 16 時台にシフトできたことがわかる。ピークタイム全体での消費電力の削減量は 21% に至った。このことからピークタイムシフトを行なうのに大いに効果があると考えられる。

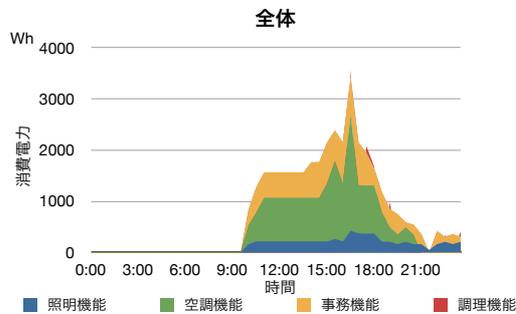


Fig.10:機能別利用状況(シナリオ 2)

5.3.2 領域別の消費電力

本研究では、領域や行動といった様々な報告から電力の見える化を行ってきた。5.3.1 では、ピークタイム電力という観点からシナリオの効果について議論してきたが、本節では、領域単位での電力消費に着目したシナリオの評価も行う。

まず、各シナリオの領域 1 における機能別消費電力のグラフを示す。シナリオ 1 においては、個人用照明の導入によって個人作業領域となる領域 1 での照明機能に対する消費電力で 27% の削減を実現した。しかしながら、これはあまり大きな効果とは言えず、従事者の行動の不確実性も考慮に入れると、導入前に比べてより照明に電力を消費するケースも存在した。

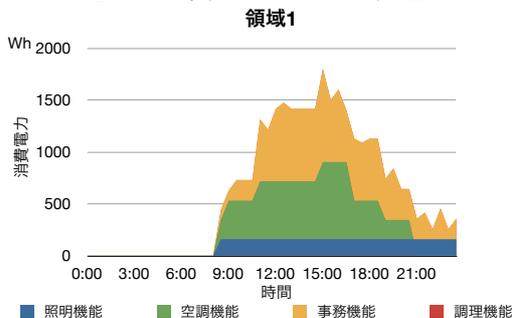


Fig.11:機能別利用状況(ベースシナリオ)

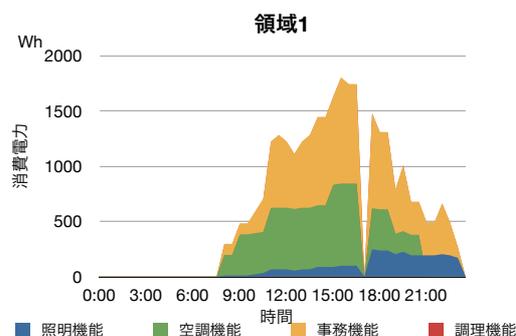


Fig.12:機能別利用状況(シナリオ 1)

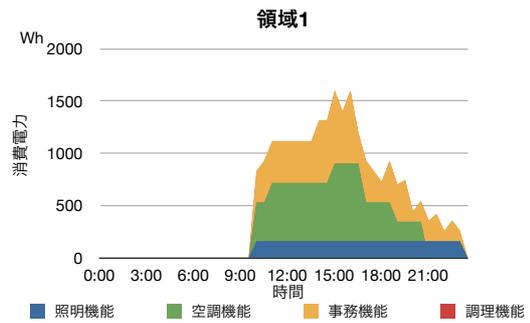


Fig.13:機能別利用状況(シナリオ 2)

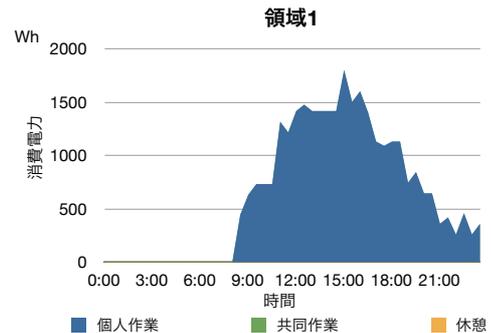


Fig.14:行動別利用状況(ベースシナリオ)

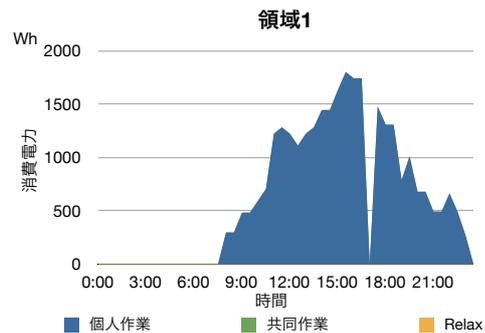


Fig.15:行動別利用状況(シナリオ 1)

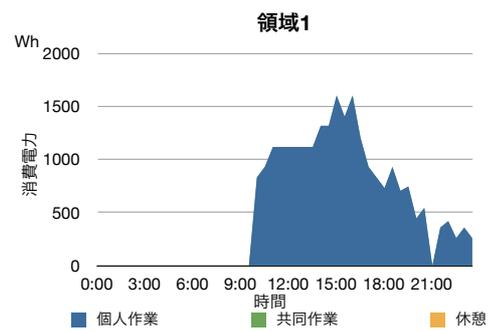


Fig.16:行動別利用状況(シナリオ 2)

5.3.3 ピークシフトによるトレードオフ

また、従事者の行動に着目した観点でも導入したシナリオについて考えたい。ここでは、組織として確保できた共同作業時間について述べる。シナリオ 1 については、人の行動に介入しないシナリオであることから共有作業はベースのシナリオと同等の時間を確保できるケースも多く見られた。

しかしながら、シナリオ2についてはピークタイム外での共同作業が原則となるため、最大で4時間確保されていた一日の共同作業時間は最大でも2時間しか確保できなくなる。この共同作業時間の減少は、行動シフトのシナリオの大きな課題であると考えられる。

5.4 まとめ

本研究では、ピークタイムの消費電力の他にも、従事者の行動や各エリアの利用状況といった評価軸からもシナリオの効果の比較が可能となった。そして、他の評価軸で分析するなかで、それぞれのシナリオのデメリットも明確にすることが出来た。

本モデルを利用することで、こういった別指標からのデメリットも考慮に入れた上で、それぞれ管理者の選好に適した新たなシナリオの検討、議論することが可能になると考えられる。

6 結論と今後の展望

本研究では、オフィス内の従事者の行動をモデル化し、モデル内での行動をもとに発生したデータをエネルギー会計処理することでエネルギー利用に関する財務諸表の作成、ならびに多様な視点からの見える化を可能にするシステム BEMS2 を提案した。そして、本研究では大学研究室での電力利用を例にとり、BEMS2 を適用した。その結果、現状の見える化、ピークタイムの消費電力に対して削減、シフトを目的としたシナリオを導入し、その効果を分析した。そして、ピークタイムシフトに関して共同作業時間を変化させる行動シフトのシナリオに効果があることが示せた。ピーク時に共有作業に利用される電力をシフトできたが、一方でピーク時に個人作業領域に電力使用が集中すること問題を示せた。また、行動を制御することで組織として共同作業時間の確保が困難になることが示せた。

今後の課題としては、以下が挙げられる。今回は、現状を表したものとして発電や蓄電といったエネルギーイベントが存在しなかったため、財務諸表の有用性を示すことができなかった。共同作業時間のロスといった、ピークタイムシフトの裏で失うコストを考慮しながらも行なえる蓄電池導入によるピークタイムシフトシナリオの導入を検討している。そして、BEMS2 によって作成される財務諸表を、こういった設備の導入に関してナリオの効果分析に適用していく予定である。

謝辞

本研究は、平成23年度科学技術融合振興財団調査研究助成による研究成果の一部である。

参考文献

- 1) 平成22年度総合エネルギー統計資料, エネルギー庁
- 2) 平成19年度省エネルギー技術普及促進事業報告書
- 3) 余語将成 他. 災害に強い住宅やビルの実現を目指すエネルギー管理ソリューション HEMS 及び BEMS. 東芝レビュー. 66, 8, 2011, p.17- 20.
- 4) サービスデリバリープラットフォームの活用によるスマートな社会の実現 - 情報の所有から共有へ-, PROVISION 71号(2011)
- 5) Hiroshi Deguchi, Cool Grid and Cool City: Toward Bottom Up Energy Management with Algebraic Energy Data Expression and Pub Sub Calc Scheme, the 56th Annual

Meeting of the International Society for the Systems Sciences, San Jose, 2012.7

6) SOARS Project, <http://www.soars.jp>