

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7285480号  
(P7285480)

(45)発行日 令和5年6月2日(2023.6.2)

(24)登録日 令和5年5月25日(2023.5.25)

(51)国際特許分類		F I	
H 0 2 J	13/00 (2006.01)	H 0 2 J	13/00 3 0 1 A
G 0 1 R	21/00 (2006.01)	G 0 1 R	21/00 Q
G 0 6 Q	50/06 (2012.01)	G 0 6 Q	50/06
H 0 2 J	3/00 (2006.01)	H 0 2 J	3/00 1 7 0

請求項の数 3 (全31頁)

(21)出願番号	特願2019-111609(P2019-111609)	(73)特許権者	000206211 大成建設株式会社 東京都新宿区西新宿一丁目2 5 番 1 号
(22)出願日	令和1年6月14日(2019.6.14)	(73)特許権者	899000068 学校法人早稲田大学 東京都新宿区戸塚町1丁目1 0 4 番地
(65)公開番号	特開2020-205684(P2020-205684 A)	(74)代理人	110001807 弁理士法人磯野国際特許商標事務所
(43)公開日	令和2年12月24日(2020.12.24)	(72)発明者	林 泰弘 東京都新宿区戸塚町1丁目1 0 4 番地 学校法人早稲田大学内
審査請求日	令和4年4月11日(2022.4.11) (出願人による申告)平成3 0 年度、国立研究開発法人科学技術振興機構、戦略的創造研究推進事業(C R S E T)「汎用的な実証基盤体系を利用したシナリオ対応型分散協調EMS実現手法の創出」委託研究、産業技術力強化法第1 7 条の適用を受ける特許出願	(72)発明者	藤本 悠 東京都新宿区戸塚町1丁目1 0 4 番地 学校法人早稲田大学内
		(72)発明者	大西 堯

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 消費電力推定装置および消費電力推定方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

非負値行列因子分解によって総消費電力量から機器毎または用途毎の消費電力量を推定する消費電力推定装置であって、

建物内に設置された電力メータが計測した前記総消費電力量、前記機器の制御情報および前記機器が設けられる空間の在所率情報を取得する情報取得部と、

前記総消費電力量の推移履歴を行列構造として持つ観測行列を、機器の電力消費パターンを行列構造として持つ基底行列と、前記電力消費パターンの発生状況を行列構造として持つ発生行列とに分離することで、機器毎または用途毎の消費電力量を推定する消費電力推定部と、を備え、

前記消費電力推定部は、過去の前記総消費電力量、前記制御情報および前記在所率情報を用いて前記電力消費パターンを推定するものであり、

前記基底行列および前記発生行列を下記消費電力推定式(2)により算出する、

【数1】

$$\hat{Y}^r = (|X^r A^r|^{q_r})^{\frac{1}{q_r}} = \left[ \left( \sum_{k \in S_r} |x_{tk} a_{kn}|^{q_r} \right)^{\frac{1}{q_r}} \right]_{t,n} \quad \dots \text{式 (2)}$$

各時刻において空間的に独立な電力消費行動がなされるようなテナント機器： $q = 1$   
 各時刻において空間的に競合する電力消費行動がなされるようなテナント機器： $q > 1$

ことを特徴とする消費電力推定装置。

【請求項 2】

10

前記消費電力推定部は、

ON/OFF制御が可能な機器に関して、機器の制御情報に基づいてOFFの時間帯については消費電力量を「ゼロ」として推定し、また、

在所率と消費電力量とに相関関係がある機器に関して、その相関関係の度合いを表すパラメータとの積により消費電力量を推定する、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の消費電力推定装置。

【請求項 3】

非負値行列因子分解によって総消費電力量から機器毎または用途毎の消費電力量を推定する消費電力推定方法であって、

建物内に設置された電力メータが計測した前記総消費電力量、前記機器の制御情報および前記機器が設けられる空間の在所率情報を取得する情報取得ステップと、

20

前記総消費電力量の推移履歴を行列構造として持つ観測行列を、機器の電力消費パターンを行列構造として持つ基底行列と、前記電力消費パターンの発生状況を行列構造として持つ発生行列とに分離することで、機器毎または用途毎の消費電力量を推定する消費電力推定ステップと、を備え、

前記消費電力推定ステップでは、過去の前記総消費電力量、前記制御情報および前記在所率情報を用いて前記電力消費パターンを推定し、

前記基底行列および前記発生行列を下記消費電力推定式(2)により算出する、

【数 2】

$$\hat{Y}^r = (|X^r A^r|^{q_r})^{\frac{1}{q_r}} = \left[ \left( \sum_{k \in S_r} |x_{tk} a_{kn}|^{q_r} \right)^{\frac{1}{q_r}} \right]_{t,n} \quad \dots \text{式 (2)}$$

30

各時刻において空間的に独立な電力消費行動がなされるようなテナント機器： $q = 1$   
 各時刻において空間的に競合する電力消費行動がなされるようなテナント機器： $q > 1$

ことを特徴とする消費電力推定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本発明は、消費電力推定装置および消費電力推定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

現在、省エネルギーに対する様々な取り組みが行われている。その一つとして、機器毎の消費電力量の計測が難しい中小規模のビルを対象にして、建物全体の電力消費量から機器別または用途別の消費電力推定を行う研究が進められている。

【0003】

例えば、図38(a)に示すように、大規模ビルでは建物全体の電力量を把握する親メータMの他に、機器毎・用途毎の電力量を把握する子メータmを設置するのが一般的であ

50

る。そのため、子メータに基づいて機器別の電力情報を活用することにより、無駄な電力消費を削減することが可能である。

一方、図38(b)に示すように、中小規模ビルでは建物全体の電力量を把握する親メータMのみを設置し、機器毎・用途毎の電力量を把握する子メータmを設置しない場合が多い。そのため、機器別の電力情報を取得することができず、電力消費の無駄がどこで発生しているのかわかることができない。しかし、親メータMの電力情報から機器別または用途別の電力消費量を推定することができれば、無駄な電力消費を削減することが可能になる。

#### 【0004】

次に、機器別消費電力推定についての概要を説明する。

機器別消費電力推定とは、機械上に蓄積された総消費電力量データを用いて各機器の消費電力量を推定する技術である。機器別消費電力推定は、各機器への測定器の導入や通信機能を持った機器への買い替えを必要としないため、低コストで機器ごとの消費電力を「見える化」することができる。

#### 【0005】

機器別消費電力推定に関する研究は1990年代より行われており、近年でも機械学習的手法の応用に基づく研究が多くなされている。機械学習的手法の応用に基づく機器別消費電力推定の概念図を図39に示す。図39に示されるように、例えば、機械(PC)上で蓄積された1日の総消費電力データを学習することにより、電力消費に関する隠れたパターンを見つけ出す。そして、スマートメータにより観測される各時刻の総消費電力量を学習したパターンに基づいて機器別に見える化する。

#### 【0006】

機械学習的手法の応用に基づく機器別消費電力推定の研究として、例えば、時系列データの確率モデルを学習するために使用される階層型の隠れマルコフモデル(Factorial Hidden Markov Model: FHMM)を利用した分離技術の検討がなされている。また、信号処理、画像処理分野において使われている非負値行列因子分解(Non-Negative Matrix Factorization: NMF)に基づき、1日の特徴的な消費電力行動に着目した分離技術の検討がなされている。

#### 【0007】

これに関連して、例えば、以下に示すような技術が提案されている。

特許文献1には、家庭内等の複数の機器それぞれの消費電力等を求める機器分離を、階層型の隠れマルコフモデル(FHMM)を活用することで行うことが記載されている。

また、特許文献2には、複数棟をまとめて管理するサイトにおいて、各棟に電力メータを設置せずとも棟別の電力量を知ることが記載されている。

#### 【0008】

また、非特許文献1には、家庭を対象とした30分単位の総消費電力データのような時間粒度の粗い計測データを活用して機器別消費電力の推定を実施すること、および需要家からのフィードバックにより推定精度を向上させることが記載されている。

また、非特許文献2には、機器別消費電力推定のためのBuilding Energy Assessment Resource (BEAR)というボトムアップの手法が提案されている。

また、非特許文献3には、ビル内での総消費電力の推移データに基づき、非負値行列分解による機器別消費電力推定とそのインタラクティブな可視化システムに関する提案がなされている。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0009】

【文献】国際公開第WO2016-013411号  
特表2018-522520号公報

#### 【非特許文献】

#### 【0010】

10

20

30

40

50

【文献】Ayumu Miyasawa, Yu Fujimoto, Yasuhiro Hayashi, “Energy Disaggregation Based on Smart Metering Data via Semi-Binary Nonnegative Matrix Factorization”、Energy and Buildings、Volume 183、pp.547-558、2019、[平成31年4月23日検索]、インターネット<<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.030>>

Kevin Ketchman, “Utilizing the Interconnectivity of Multi-Sector Communities for Innovative Building Energy Efficiency Methods”、Doctoral Dissertation、University of Pittsburgh、2018、[平成31年4月23日検索]、インターネット<<http://d-scholarship.pitt.edu/33224/>>

Diego Garcia, Ignacio Diaz, Daniel Perez, Abel A. Cuadrado, Manuel Dominguez, Antonio Moran, “Interactive Visualization for NILM in Large Buildings Using Non-Negative Matrix Factorization”、Energy and Buildings、Volume 176、pp.95-108、2018、[平成31年4月23日検索]、インターネット<<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.058>>

10

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0011】

しかし、特許文献1、2および非特許文献1～3に記載された技術は、利便性がよくなかったり、精度が十分でなかったり、そもそも機器別または用途別の消費電力量を推定できないものであった。そのため、機器別または用途別の消費電力推定として十分でなかった。

20

#### 【0012】

このような観点から、本発明は、機器別または用途別の消費電力推定を好適に行うことができる消費電力推定装置および消費電力推定方法を提供する。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0013】

前記課題を解決するため、本発明に係る消費電力推定装置は、非負値行列因子分解によって総消費電力量から機器毎または用途毎の消費電力量を推定する消費電力推定装置である。

この消費電力推定装置は、情報取得部と、消費電力推定部と、を備える。

30

情報取得部は、建物内に設置された電力メータが計測した前記総消費電力量、前記機器の制御情報および前記機器が設けられる空間の在所率情報を取得する。

消費電力推定部は、前記総消費電力量の推移履歴を行列構造として持つ観測行列を、機器の電力消費パターンを行列構造として持つ基底行列と、前記電力消費パターンの発生状況を行列構造として持つ発生行列とに分離することで、機器毎または用途毎の消費電力量を推定する。

また、消費電力推定部は、過去の前記総消費電力量、前記制御情報および前記在所率情報を用いて前記電力消費パターンを推定するものであり、前記基底行列および前記発生行列を下記消費電力推定式(2)により算出する。

#### 【数1】

40

$$\hat{Y}^r = (|X^r A^r|^{q_r})^{\frac{1}{q_r}} = \left[ \left( \sum_{k \in S_r} |x_{t k} a_{kn}|^{q_r} \right)^{\frac{1}{q_r}} \right]_{t,n} \quad \dots \text{式 (2)}$$

各時刻において空間的に独立な電力消費行動がなされるようなテナント機器：q = 1

各時刻において空間的に競合する電力消費行動がなされるようなテナント機器：q > 1

#### 【0014】

前記消費電力推定部は、ON/OFF制御が可能な機器に関して、機器の制御情報に基

50

づいてOFFの時間帯については消費電力量を「ゼロ」として推定し、また、在所率と消費電力量とに相関関係がある機器に関して、その相関関係の度合いを表すパラメータとの積により消費電力量を推定するのがよい。

【0017】

本発明に係る消費電力推定装置においては、補助情報として機器の制御情報および在所率情報を使用して機器毎または用途毎の消費電力量を推定する。また、定格値を考慮した消費電力推定を行うことができる。そのため、推定精度が従来に比べて向上する。

【0021】

また、本発明に係る消費電力推定方法は、非負値行列因子分解によって総消費電力量から機器毎または用途毎の消費電力量を推定する消費電力推定方法である。

この消費電力推定方法は、情報取得ステップと、消費電力推定ステップと、を備える。情報取得ステップでは、建物内に設置された電力メータが計測した前記総消費電力量、前記機器の制御情報および前記機器が設けられる空間の在所率情報を取得する。

消費電力推定ステップでは、前記総消費電力量の推移履歴を行列構造として持つ観測行列を、機器の電力消費パターンを行列構造として持つ基底行列と、前記電力消費パターンの発生状況を行列構造として持つ発生行列とに分離することで、機器毎または用途毎の消費電力量を推定する。

また、前記消費電力推定ステップでは、過去の前記総消費電力量、前記制御情報および前記在所率情報を用いて前記電力消費パターンを推定し、前記基底行列および前記発生行列を下記消費電力推定式(2)により算出する。

【数2】

$$\hat{Y}^r = (|X^r A^r|^{q_r})^{\frac{1}{q_r}} = \left[ \left( \sum_{k \in S_r} |x_{t,k} a_{kn}|^{q_r} \right)^{\frac{1}{q_r}} \right]_{t,n} \quad \dots \text{式(2)}$$

各時刻において空間的に独立な電力消費行動がなされるようなテナント機器：q = 1

各時刻において空間的に競合する電力消費行動がなされるようなテナント機器：q > 1

【0022】

本発明に係る消費電力推定方法においては、補助情報として機器の制御情報および在所率情報を使用して機器毎または用途毎の消費電力量を推定する。また、定格値を考慮した消費電力推定を行うことができる。そのため、推定精度が従来に比べて向上する。

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば、機器別または用途別の消費電力推定を好適に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】SBNMFの概念図である。

【図2】SBNMFに基づく分離の概念図である。

【図3】本発明の第1実施形態に係る消費電力推定システムの概略構成図である。

【図4】各機器と在所率との関係を示す図である。

【図5】本発明の第1実施形態に係る消費電力推定方法を定式化したものである。

【図6】本発明の第1実施形態に係る消費電力推定方法を定式化したものである。

【図7】本発明の第1実施形態に係る消費電力推定方法を定式化したものである。

【図8】推定された電力量と罰則との関係を示す図である。

【図9】本発明の第1実施形態に係る消費電力推定方法を定式化したものである。

【図10】4-fold CVに基づくパラメータチューニングの概要図である。

【図11】本発明の第1実施形態に係る消費電力推定方法におけるパラメータのチューニングを定式化したものである。

10

20

30

40

50

【図 1 2】本発明の第 1 実施形態に係る消費電力推定方法のアルゴリズムの例示である。

【図 1 3】本発明の第 1 実施形態に係る消費電力推定方法を示すフローチャート（全体処理）の例示である。

【図 1 4】本発明の第 1 実施形態に係る消費電力推定方法を示すフローチャート（パラメータの決定処理）の例示である。

【図 1 5】本発明の第 1 実施形態に係る消費電力推定方法を示すフローチャート（候補パラメータを用いた消費電力分離の交差検証処理）の例示である。

【図 1 6】本発明の第 1 実施形態に係る消費電力推定方法を示すフローチャート（対象テナントの消費電力の分離処理）の例示である。

【図 1 7】本発明の第 2 実施形態に係る消費電力推定システムの概略構成図である。

10

【図 1 8】SBNMF で想定される状況を示す概念図を示す。

【図 1 9】SBNMF で起こりうる問題を示す概念図である。

【図 2 0】機器の定格値を考慮した推定の概要を説明するための図である。

【図 2 1】機器の定格値を考慮した推定の概要を説明するための図である。

【図 2 2】本発明の第 2 実施形態に係る消費電力推定方法を定式化したものである。

【図 2 3】本発明の第 2 実施形態に係る消費電力推定方法を定式化したものである。

【図 2 4】本発明の第 2 実施形態に係る消費電力推定方法を定式化したものである。

【図 2 5】本発明の第 2 実施形態に係る消費電力推定方法を定式化したものである。

【図 2 6】標準偏差を用いた第 1 段階のパラメータチューニングの概念図である。

【図 2 7】本発明の第 2 実施形態に係る消費電力推定方法のアルゴリズムの例示である。

20

【図 2 8】MR の概念図である。

【図 2 9】本発明の各実施形態に係る消費電力推定方法の評価に使用した数式である。

【図 3 0】実験結果を説明するための図であり、各テナントの機器ごとの MR をプロットした箱ひげ図である（第 1 実施形態に係る手法と第 2 実施形態に係る手法の各機器 MR 比較）。

【図 3 1】実験結果を説明するための図であり、第 1 実施形態に係る手法において  $q_r$  となるパラメータ組を選択したテナントの平均 MR を比較した図である。

【図 3 2】実験結果を説明するための図であり、過大な推定が改善されたテナントの機器別消費電力推定結果を示す図である。

【図 3 3】実験結果を説明するための図であり、空調の過大な推定が改善されたテナントの MR 比較を示す図である。

30

【図 3 4】実験結果を説明するための図であり、空調の過大な推定が改善されたテナントの誤差の分散比較を示す図である。

【図 3 5】実験結果を説明するための図であり、日による機器の消費電力量のばらつきが改善されたテナントの機器別消費電力推定結果を示す図である。

【図 3 6】実験結果を説明するための図であり、日による機器の消費電力量のばらつきが改善されたテナントの MR 比較を示す図である。

【図 3 7】実験結果を説明するための図であり、日による機器の消費電力量のばらつきが改善されたテナントの誤差の分散比較を示す図である。

【図 3 8】機器別・用途別の消費電力推定を実施する理由を説明するための図であり、( a ) は大規模ビルにおける電力メータの配置例であり、( b ) は中小規模ビルにおける電力メータの配置例である。

40

【図 3 9】機械学習の手法の応用に基づく機器別消費電力推定の概念図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、本発明の実施をするための形態を、適宜図面を参照しながら詳細に説明する。各図は、本発明を十分に理解できる程度に、概略的に示してあるに過ぎない。よって、本発明は、図示例のみに限定されるものではない。なお、各図において、共通する構成要素や同様な構成要素については、同一の符号を付し、それらの重複する説明を省略する。

【0026】

50

## 〔実施形態の概要〕

建物（例えば、ビル）の管理において、総消費電力量の他に自然または容易に習得できる情報が存在する。本発明の発明者は、その情報の中から非負値行列因子分解（NMF：Nonnegative Matrix Factorization）に基づく機器別消費電力推定に有用性が期待できる情報として「機器の制御情報」および「在所率情報」に着目した。以下では、この二つの情報を「補助情報」と呼ぶ場合がある。

## 【0027】

機器の制御情報は、機器が稼働しているか否かを示す情報であり、例えば、機器のON/OFF情報である。なお、機器別消費電力の推定では、過去の制御情報を使用するので、「制御履歴情報」と表記する場合がある。

10

在所率情報は、機器別消費電力の推定を行う空間での人の多さを示す情報であり、例えば、空間を複数の領域に分割した場合における領域単位での人の在/不在の割合である。なお、在所率情報は、人の多い/少ないを示す程度の情報であってもよい。

## 【0028】

また、本発明の発明者は、電力消費行動が空間的に競合する場合があります、電力消費パターンを単純に足し合わせて機器の消費電力量を推定しようとすると、機器の定格値を超えた推定結果を得る恐れがあることを発見した。

## 【0029】

そして、発明者は、補助情報を活用するとともに、機器の定格値を考慮しつつ電力消費パターンの学習を行うことで、各機器と抽出パターンの対応付けが可能となり、また従来の手法での推定と比べてそれぞれの機器に存在する特徴的な電力消費パターンのより能動的な学習が可能となることを考え出した。

20

## 【0030】

以下では、第1実施形態として、補助情報である「機器の制御情報」および「在所率情報」を機器別消費電力推定に活用する場合を示す。

また、第2実施形態として、補助情報である「機器の制御情報」および「在所率情報」を活用しつつ、「機器の定格値」を考慮して機器別消費電力推定を行う場合を示す。

## 【0031】

各実施形態では、業務用ビルを対象として、テナントごとの機器別消費電力推定を非負値行列因子分解に基づき行うことを考える。特に、非負値行列因子分解における発生行列をバイナリと仮定することで、分離したパターンの消費電力量の観点から識別性を高めて精度の高い分離を図るSBNMF（Semi-Binary NMF）を用いることとする。

30

## 【0032】

SBNMFは、任意の非負値（マイナスでない値）の要素からなる行列を、「0」、「1」の要素からなるバイナリ行列と非負値行列との積で表現する多変量解析のための手法である。この手法は、非負値のデータを格納した観測行列 $Y$ を、頻出する加法的な構成成分を格納した非負値基底行列 $X$ （以下、省略して「基底行列 $X$ 」と呼ぶ場合がある）と、その構成成分の発生状況を格納したバイナリ発生行列 $A$ （以下、省略して「発生行列 $A$ 」と呼ぶ場合がある）への分解を実現する。基底行列 $X$ および発生行列 $A$ の導出は、反復的な更新手続きによってなされる。

40

## 【0033】

図1にSBNMFの概念図を示す。機器別の消費電力を推定する上では、日毎および所定時間毎における総消費電力量の推移履歴を行列構造として持つデータ（つまり、観測行列 $Y$ ）として扱う。これを様々な日において共通で現れる機器の種類に依存した消費電力推移パターン（つまり、基底行列 $X$ ）と、その推移パターンの発生の有無（つまり、発生行列 $A$ ）で表すことにより内訳の推定に利用する。SBNMFでは、消費電力を扱う上で自然な観測値の非負値を前提とし、発生行列 $A$ をバイナリ（「0」もしくは「1」）で表現することで、基底行列 $X$ の要素が機器別の消費電力に相当する要素となり、機器別の消費電力の識別精度の高い消費電力分離を実現する。

## 【0034】

50

図 2 に S B N M F に基づく分離の概念図を示す。図 1 の基底行列 X にあたるものが機器稼働パターン X であり、発生行列 A にあたるものが発生状況 A である。図 2 に示すように、発生状況 A はバイナリ行列となっている。

【 0 0 3 5 】

各実施形態では、観測データとして、テナントごとに一定期間分、30 分間隔で計測されている総消費電力量データが得られる状況を想定し、その期間における照明器具、空調機器、コンセントそれぞれの消費電力量を推定することを考える。また、各実施形態では、補助的な情報として照明器具と空調機器の制御記録、および在所率情報が少なくとも得られることとする。

【 0 0 3 6 】

[ 第 1 実施形態 ]

< 第 1 実施形態に係る消費電力推定システムの構成 >

図 3 を参照して、第 1 実施形態に係る消費電力推定システム 100 の構成について説明する。消費電力推定システム 100 は、複数の機器の各々の消費電力量を加算した全体の消費電力量から、各々の機器の消費電力量を推定するシステムである。消費電力推定システム 100 は、電力を使用する様々な場面で使用することができ、消費電力量を推定する対象となる機器は、種類、用途などが特に限定されるものではない。つまり、消費電力推定システム 100 は、複数の機器の消費電力量を加算した全体の消費電力量が分かる任意の範囲について、各々の機器の消費電力量を推定することができる。

【 0 0 3 7 】

ここでは、図 3 に示すように、建物内に入居するテナント 2 A , 2 B ・ ・ (以下では、特に区別しない場合に「テナント 2」と呼ぶ) が消費するテナント 2 ごとの消費電力量から、テナント内に設置される各々の機器の消費電力量を推定することを想定する。つまり、図 3 に示すように、建物内に複数のテナント 2 A , 2 B ・ ・ が入居する場合、テナント 2 単位で機器の消費電力量を推定することができる。

【 0 0 3 8 】

消費電力推定システム 100 は、テナント 2 に設置される複数の機器 (以下では、まとめて「機器群 10」と呼ぶ) と、機器群 10 の全体の消費電力量 (つまり、各機器の消費電力量を加算したものを) を測定する電力メータ 20 と、電力メータ 20 が測定した消費電力量から機器毎または用途毎の消費電力量を推定する消費電力推定装置 3 とを主に備える。また、消費電力推定システム 100 は、テナント 2 における人の量を検知する人検知センサ 30 を備える。

【 0 0 3 9 】

機器群 10 は、テナント 2 に設置される機器の集合体である。テナント 2 に設置される機器は、種類や用途などを特に限定されるものではない。図 3 では、テナント 2 に設置される機器として、「照明器具」、「空調機器」、「コンセント」を例示している。照明器具および空調機器は、電源の「ON/OFF」に関する制御情報を消費電力推定装置 3 に出力する。

【 0 0 4 0 】

電力メータ 20 は、消費した電力量を測定する計測器である。電力メータ 20 は、例えば、テナントごとに設けられた分電盤に設置される。ここでの電力メータ 20 は、時間粒度が比較的粗い時間間隔 (例えば、30 分周期) で、機器群 10 の消費電力量を消費電力推定装置 3 に出力する。なお、消費電力推定装置 3 に機器群 10 の消費電力量を出力する周期は任意であってよく、ここでの周期に限定されるものではない。

【 0 0 4 1 】

人検知センサ 30 は、人の多さに相関する量を検知する機器である。人検知センサ 30 は、例えば、テナント 2 内に人がいる割合 (在所率) を検知する。なお、人検知センサ 30 によって検知する量は、人の多い / 少ないを示す程度の情報であってもよい。ここでは、人検知センサ 30 が、座席毎の人の在 / 不在を検知することを想定する。人検知センサ 30 は、例えば、検知対象の範囲を複数の領域に分割して検知を行うことができ、一つの

10

20

30

40

50

人検知センサ 30 を用いて複数（例えば、4 つ）の座席における在 / 不在を検知できる。設置する人検知センサ 30 の数は、例えば、テナント 2 が入力する空間の広さに応じて決定される。人検知センサ 30 は、座席の総数に対する在席数の比率（在席率）に関する情報を在所率情報として消費電力推定装置 3 に出力する。

#### 【 0 0 4 2 】

消費電力推定装置 3 は、電力メータ 20 が測定した消費電力量から機器毎または用途毎の消費電力量を推定する。消費電力推定装置 3 は、機器毎または用途毎の消費電力量の推定において、機器の「ON/OFF」に関する制御情報や、人の在 / 不在に関する在所率情報を利用する。消費電力推定装置 3 は、例えば、パーソナルコンピュータ（PC: Personal Computer）やアプリケーションサーバである。

10

#### 【 0 0 4 3 】

消費電力推定装置 3 は、記憶部 40 と、制御部 50 とを備える。記憶部 40 は、RAM（Random Access Memory）、ROM（Read Only Memory）、HDD（Hard Disk Drive）、フラッシュメモリ等の記憶媒体から構成される。制御部 50 は、CPU（Central Processing Unit）によるプログラム実行処理や、専用回路等により実現される。制御部 50 がプログラム実行処理により実現する場合、記憶部 40 には、制御部 50 の機能を実現するためのプログラムが格納される。なお、消費電力推定装置 3 が、図示しない外部の記憶手段から記憶部 40 に記憶される情報を必要に応じて取得してもよい。

#### 【 0 0 4 4 】

記憶部 40 には、消費電力の推定に必要な情報が記憶されている。記憶部 40 は、例えば、消費電力量記憶部 41 と、制御情報記憶部 42 と、在所率情報記憶部 43 とを備える。

20

消費電力量記憶部 41 には、テナント 2 の消費電力量が所定の時間間隔（例えば、30 分周期）で記憶されている。制御情報記憶部 42 には、機器毎の「ON/OFF」に関する制御情報が履歴として記憶されている。在所率情報記憶部 43 には、人の在 / 不在に関する在所率情報が履歴として記憶されている。

#### 【 0 0 4 5 】

制御部 50 は、主に、情報取得部 51 と、消費電力推定部 52 と、推定結果出力部 53 とを備える。なお、図 3 に示す制御部 50 の各機能は、説明の便宜上分けたものであり、機能の分割の仕方は本発明を限定するものではない。

#### 【 0 0 4 6 】

情報取得部 51 は、電力メータ 20 からテナント 2 の消費電力量を収集する。また、情報取得部 51 は、各機器から制御情報を収集する。また、情報取得部 51 は、人検知センサ 30 から在所率情報を収集する。

30

消費電力推定部 52 は、SBNMF を用いて全体の消費電力量から機器毎の消費電力量を推定する。消費電力推定部 52 は、補助情報として機器の制御情報および在所率情報を利用する。処理の詳細は後記する。

推定結果出力部 53 は、消費電力推定部 52 によって推定された機器毎または用途毎の消費電力量を出力する。推定結果出力部 53 による出力の方法は特に限定されず、推定結果出力部 53 は、例えば、機器毎または用途毎の消費電力量を表示装置に表示する。

#### 【 0 0 4 7 】

40

以下では、消費電力推定部 52 について説明する。まず最初に、「補助情報の活用 の概要」について説明する。次に、消費電力推定の「定式化」について説明し、続けて「パラメータのチューニング」について説明する。そして最後に、「アルゴリズム」を示す。

#### 【 0 0 4 8 】

##### 補助情報の活用 の概要

##### < 1 > 機器の制御情報の活用 に関して

機器の電力消費パターンを学習している際に、制御情報（例えば、ON/OFF 情報）との乖離がみられた場合には罰則を与え、制御情報に沿うように電力消費パターンを学習させる。ただし、電力消費パターンに基づいた再現誤差と補助情報の整合性に基づいた誤差のいずれも最小化するため、必ずしも学習された電力消費パターンが制御情報に沿うと

50

は限らない。そのため、消費電力量を推定する際に、機器がOFFの時間帯については消費電力量を「0（ゼロ）」として置き換える。

【0049】

< 2 > 在所率情報の活用に関して

在所率と各機器の消費電力量との関係について、照明器具とコンセントにて正の相関関係がみられることが実験により分かっている。図4に各機器と在所率との関係を示す。図4に示したように、特に照明器具に対して消費電力を推定する際に在所率を考慮することが有用だという一般的な傾向が示唆されるため、照明器具の電力消費パターンのうちのひとつが在所率と関係を持つという仮定をおき、その関係の度合いを表すパラメータとの積によりこれを表すことにする。また、コンセントに関しては、消費電力量が在所率に比例するものとベースとして常に存在するものとに分けられると仮定を置いたうえで、在所率に関する1次関数として扱う。

10

【0050】

定式化

表1を適宜参照して、第1実施形態に係る消費電力推定方法の定式化について説明する。表1は、ここで説明する数式の記号表である。なお、表1には、第2実施形態で説明する記号が一部含まれている。

【0051】

【表1】

$Y$	観測行列	20
$X$	基底行列	
$A$	発生行列	
$n$	日数	
$t$	時刻	
$r$	機器	
$k$	基底行列の構成数	
$U^r$	機器ごとの制御履歴を表すバイナリの補助情報行列	
$V$	在所率情報を表す連続値の補助情報行列	30
$\mathcal{R}^0$	補助情報を持たない機器の集合	
$\mathcal{R}^b$	機器ごとの制御履歴を表すバイナリの補助情報行列が与えられる機器の集合	
$\mathcal{R}^v$	在所率情報を表す連続値の補助情報行列が与えられる機器の集合	
$\mathcal{R}^{bv}$	両者の補助情報が与えられる機器の集合	
$\hat{Y}^r$	機器 $r$ に対する消費電力の推定値	
$X^r$	機器 $r$ の消費電力量を再現する電力消費パターンを表すベクトル群で表された基底行列	
$A^r$	$X^r$ と対応した発生行列	40
$c_r$	コンセントの消費電力量を表すパラメータ（在所率に比例する）	
$b_r$	コンセントの消費電力量を表すパラメータ（ベースとして常に存在する）	
$\gamma_k$	消費電力パターンが在所率から受ける影響の大きさを表す重みパラメータ	
$\lambda_1$	罰則の大きさを調整するパラメータ（OFF情報に関する罰則の重み）	
$\lambda_2$	罰則の大きさを調整するパラメータ（ON情報に関する罰則の重み）	
$\alpha$	罰則の大きさを調整するパラメータ（ペナルティのカーブを決定する重み）	
$q_r$	拡張非負値行列因子分解の際に機器ごとに与えられるパラメータ	

50

## 【 0 0 5 2 】

「機器の制御情報」および「在所率情報」のある／なしに応じて、図5に示すように機器の集合を  $R^0$  ,  $R^b$  ,  $R^v$  ,  $R^{bv}$  の四種類に分けて定義する。

制御履歴情報については、ON/OFF情報を表し、図5に示す式(4.1)のように定義する。また、全機器の集合は、 $R = R^0 \cup R^b \cup R^v \cup R^{bv}$  とする。

機器  $r$  に対する消費電力の推定値  $Y$  (ハット付き)  $\hat{r}$  は、図6に示す式(4.2)～式(4.5)のようになる。

## 【 0 0 5 3 】

なお、在所率から影響を受ける電力消費パターンは一つと仮定しており、対象パターンに対する  $k$  の値は後述のようにデータに基づく学習によって得ることを考える。また、残りの電力消費パターンに関しては、 $k = 1$  と固定した上で基底行列、発生行列の学習のみを同様に行うものとする。

## 【 0 0 5 4 】

制御履歴情報と推定結果の乖離が少なくなることを考慮した罰則項を導入した目的関数は、図7に示す式(4.6)のようになり、この目的関数が最小となるように最適化問題を解くこととする。

式(4.6)の第2項は、制御履歴としてOFF情報が得られているにもかかわらず電力消費が存在している場合にかかる罰則であり、第3項は制御履歴としてON情報が得られているにもかかわらず電力消費が小さくなっている場合にかかる罰則である。図8に、推定された電力量と第1項、第2項それぞれの罰則との関係を示す。

## 【 0 0 5 5 】

図6に示す式(4.2), 式(4.3), 式(4.5)において表される機器の消費電力量は、SBNMFにより学習された  $X^r$  と  $A^r$  の積や、対応する制御履歴情報  $U^r$  や在所率情報  $V$  により再現される。このような状況で基底行列や発生行列の導出を行うため、HALS (Hierarchical Alternating Least Squares) アルゴリズムに基づく推定の検討を行っている。図7の式(4.6)の目的関数を  $k$  番目の電力消費パターンに関する目的関数として書き換え、図7に示す式(4.7)で表す。

## 【 0 0 5 6 】

式(4.7)の第1項は、総消費電力量のうち、 $k$  番目を除いた電力消費パターンの足し合わせで再現されていない残余の消費電力量と、 $k$  番目の電力消費パターンとの二乗誤差を表している。

## 【 0 0 5 7 】

これにより、 $X^r$  ,  $A^r$  ,  $c_r$  ,  $b_r$  を反復的に更新していくことで、式(4.7)の最適化問題を解くこととなる。

$X^r$  ,  $c_r$  ,  $b_r$  については、式(4.7)において極値問題を解くことで更新式が導出できる。 $k$  は、在所率から影響を受ける電力消費パターンにかかるもののみを更新し、それぞれ図9に示す式(4.8)～式(4.13)で表される。また、 $A^r$  は、貪欲法によって図7の式(4.7)の目的関数値を小さくするよう、各要素について更新がなされる。

## 【 0 0 5 8 】

## パラメータチューニング

各テナントにみられる特徴的な1日の電力消費パターンの個数  $K$  を具体的に与えるため、事前に学習データに基づいてチューニングを行う必要がある。ここでは、4-foldの交差検定(CV: cross validation)により具体的な  $K$  を与えることを想定する。4-fold CVは対象としている学習データの期間を4分割し、そのうちの1つを評価期間、残りを学習期間として全事例が一回ずつ評価期間となるよう検証を繰り返し、その平均的な振る舞いに基づき適切なパラメータを選定するというものである。ここでは、図7の式(4.6)の目的関数について、各期間の平均をとり、その値が最も小さくなる電力消費パターンの個数を適切な個数として採用する。図10に4-fold CVに基づくパラメータチューニングの概要を示す。

## 【 0 0 5 9 】

10

20

30

40

50

各テナントにみられる特徴的な1日の電力消費パターンの個数 $K$ 、さらに制御履歴情報との乖離に対する罰則の大きさを調整するパラメータ $\alpha_1, \alpha_2$ については、4-fold CVに基づいて決定することを考える。ただし、初めにパラメータ $\alpha_1, \alpha_2$ を固定したうえで最適な電力消費パターンの個数 $K$ を決定し、そのパターンの個数 $K$ のもとでパラメータ $\alpha_1, \alpha_2$ を決定する2段階のパラメータチューニングを考える。

【0060】

電力消費パターンの個数 $K$ については、図7の式(4.7)の目的関数のCV結果の平均を最も小さくするものを採用する。一方、罰則の大きさを調整するパラメータ $\alpha_1, \alpha_2$ については、式(4.7)によるチューニングを行ってしまうとパラメータの大きさに影響を受けて目的関数値の罰則項の重みも変化してしまう。よって、パラメータ $\alpha_1, \alpha_2$ に依存しない、推定電力消費量と制御履歴情報との乖離度合いを測る次のような距離尺度を導入し、図11に示す式(4.14)とし、CVの際の目的関数を図11に示す式(4.15)としてチューニングを行うことを考える。

10

【0061】

補助情報の信頼性については、得られる補助情報のうち、機器の制御情報については工事や作業の関係でデータが取得できていない時刻が存在することがある。そのような欠損値がある際には補助情報を用いた機器別消費電力推定が実現されなくなってしまうことから、制御履歴情報に着目した欠損値補完を行う。補完にあたっては、制御履歴情報に関する日ごとの特徴の類似性に着目し、欠損データが存在する日時 $(n, t)$ の機器 $r$ の情報を補完するために、対象日 $n$ において欠損していない残りの時間帯と、欠損が存在しない

20

$N_n = \{1, \dots, N\} \setminus \{n\}$ に属する日の同時時間帯の制御履歴情報に関する次のようなハミング距離を測ることで、欠損している時間帯以外において制御履歴情報推移が最も類似している日 $n$ (ハット付き)を選ぶ。

【0062】

制御情報に関して欠損値がある場合には、図11に示す式(4.16)、式(4.17)のように定義された類似日 $n$ (ハット付き)を選択することで、対象時刻の制御履歴情報を $u^r_{tn} = u^r_{tn}$ (ハット付き)のように補完する。なお、式(4.16)においてハミング距離が最も小さくなる候補日が複数存在する場合には、各候補日と補完対象日の総消費電力推移系列を二乗誤差和の観点から比較し、誤差が最も小さい日を最も類似している日 $n$ (ハット付き)として選ぶこととする。

30

【0063】

アルゴリズム

第1実施形態に係る消費電力推定方法のアルゴリズムを図12に示す。図12は、本発明の第1実施形態に係る消費電力推定方法のアルゴリズムの例示である。図12に示すアルゴリズムに記載される括弧書きの数字「(x.x) : x部分は数字」は、定式化で説明した数式に対応している。

【0064】

<第1実施形態に係る消費電力推定方法>

図13ないし図16を参照して(適宜、図1~図12を参照)、第1実施形態に係る消費電力推定システム100を用いた消費電力推定方法について説明する。

40

【0065】

(全体処理)

図13に示すように、最初に、電力推定を行う者は、消費電力を推定する期間(評価期間)を指定する(ステップS1)。評価期間は任意であってよく、例えば評価期間として1ヶ月間を指定した場合、1ヶ月間を1日単位で消費電力の推定を行う。情報取得部51は、評価期間の指定を受け付け、消費電力推定部52は、記憶部40から評価期間に対応するデータを取得する。例えば、評価期間として1ヶ月間が指定された場合、消費電力推定部52は、1ヶ月分の消費電力量を取得する。

【0066】

次に、消費電力推定部52は、対象テナントの消費電力分離におけるパラメータの決定

50

処理を実行する（ステップ S 2）。続いて、ステップ S 2 で決定したパラメータを用いて、対象テナントにおける消費電力の分離処理を実施する（ステップ S 3）。ステップ S 2 およびステップ S 3 の処理の詳細は後記する。なお、ステップ S 2 のパラメータ決定処理内においても、ステップ S 3 と同様に消費電力の分離処理が行われる。そのため、以下では、ステップ S 3 における「消費電力の分離処理」を特に「消費電力の分離処理（パラメータ決定後）」と呼び、また、ステップ S 2 内で実施される「消費電力の分離処理」を特に「消費電力の分離処理（パラメータ決定前）」と呼ぶ場合がある。

#### 【0067】

これにより、一つのテナントの評価期間における消費電力の分離が完了する。そして、消費電力推定部 5 2 は、対象となるすべてのテナントの消費電力の分離が完了したか否かを判定する（ステップ S 4）。対象となるすべてのテナントの分離が完了していない場合（ステップ S 4 で“ No ”）に、処理をステップ S 2 , S 3 に進めて、次の対象となるテナントの消費電力の分離を実施する。一方、対象となるすべてのテナントの分離が完了した場合（ステップ S 4 で“ Yes ”）に、処理を終了する。

10

#### 【0068】

（パラメータの決定処理）

図 1 4 を参照して、パラメータの決定処理について説明する。ここでの処理は、前記説明したパラメータチューニングの内容に対応している。つまり、各テナントにみられる特徴的な 1 日の電力消費パターンの個数  $K$ 、さらに制御履歴情報との乖離に対する罰則の大きさを調整するパラメータ  $\alpha_1, \alpha_2$  については、4-fold CV に基づいて決定する。

20

#### 【0069】

図 1 4 に示すように、最初に、候補パラメータを指定する（ステップ S 1 1）。本実施形態では、各テナントにみられる特徴的な 1 日の電力消費パターンの個数  $K$ 、制御履歴情報との乖離に対する罰則の大きさを調整するパラメータ  $\alpha_1, \alpha_2$  の候補を指定する。これらの電力消費パターン、およびパラメータ  $\alpha_1, \alpha_2$  には、予め候補が決まっています、ここでは候補の中から一つを選択する。

#### 【0070】

次に、ステップ S 1 1 で指定されたパラメータを用いて、消費電力分離の交差検証処理を実行する（ステップ S 1 2）。ステップ S 1 2 の処理の詳細は後記する。そして、消費電力推定部 5 2 は、すべての候補パラメータに対する交差検証を行ったか否かを判定する（ステップ S 1 3）。すべての候補パラメータに対する交差検証が完了していない場合（ステップ S 1 3 で“ No ”）に、処理をステップ S 1 1 , S 1 2 に進めて、次の候補パラメータに対する交差検証を行う。これにより、例えば、最初の  $K$  回のループでは、パラメータ  $\alpha_1, \alpha_2$  を固定した上で電力消費パターンの個数  $K$  を順次変更してステップ S 1 2 の消費電力分離の交差検証処理を実行する。そして、最初の  $K$  回のループを実行した結果として決定される最適な電力消費パターンの個数  $K$  のもとで、残りのループではパラメータ  $\alpha_1, \alpha_2$  を順次変更してステップ S 1 2 の消費電力分離の交差検証処理を実行する。一方、すべての候補パラメータに対する交差検証を行った場合（ステップ S 1 3 で“ Yes ”）に、処理をステップ S 1 4 に進めて、交差検証の結果が最良のパラメータの組合せを選択する（ステップ S 1 4）。そして、ステップ S 2 のパラメータの決定処理を終了する。

30

40

#### 【0071】

（候補パラメータを用いた消費電力分離の交差検証処理）

図 1 5 を参照して、候補パラメータを用いた消費電力分離の交差検証処理について説明する。ここでの処理は、前記説明したパラメータチューニングにおける 4-fold CV の内容に対応している。

#### 【0072】

図 1 5 に示すように、最初に、図 1 3 のステップ S 1 で指定した評価期間のデータを予め決められた  $L$  個に分割する（ステップ S 2 1）。データの分割数  $L$  は、任意であってよく、4-fold CV を想定する場合にはデータを 4 分割する（つまり、 $L = 4$ ）。続いて、消費電力推定部 5 2 は、「 $L - 1$ 」個分のデータを学習用で使用し、残りの「1」個分のデ

50

ータを評価用に利用することを決定する（ステップS 2 2）。続いて、ステップS 2 2で決めた暫定の学習用データおよび暫定の評価用データを用いて、対象テナントの消費電力分離処理を実施する（ステップS 2 3）。ステップS 2 3の処理の詳細は後記する。続いて、ステップS 2 3で実施した消費電力分離の結果を評価するために、評価用データに対する再構成誤差を評価する（ステップS 2 4）。

【0073】

そして、消費電力推定部5 2は、分割したL個のデータをすべて評価したか否かを判定する（ステップS 2 5）。L個のデータのすべてを評価していない場合（ステップS 2 5で“ No ”）に、処理をステップS 2 2, S 2 3, S 2 4に進めて、次の学習データを用いた対象テナントの消費電力分離処理の実施および評価用データによる評価を行う。これにより、例えば、図10に示すように、最初のループでは、期間1, 2, 3のデータを学習用データとし、期間4のデータを評価用データとして対象テナントの消費電力分離処理の実施および評価を行う。また、2回目のループでは、期間1, 2, 4のデータを学習用データとし、期間3のデータを評価用データとして対象テナントの消費電力分離処理の実施および評価を行う。また、3回目のループでは、期間1, 3, 4のデータを学習用データとし、期間2のデータを評価用データとして対象テナントの消費電力分離処理の実施および評価を行う。また、4回目のループでは、期間2, 3, 4のデータを学習用データとし、期間1のデータを評価用データとして対象テナントの消費電力分離処理の実施および評価を行う。

【0074】

一方、L個のデータのすべてを評価した場合（ステップS 2 5で“ Yes ”）に、処理をステップS 2 6に進めて、L個のデータに対する再構成誤差を記録する（ステップS 2 6）。そして、ステップS 1 2の候補パラメータを用いた消費電力分離の交差検証処理を終了する。

【0075】

（対象テナントの消費電力の分離処理（パラメータ決定前））

図16を参照して、ステップS 2 3における対象テナントの消費電力の分離処理（パラメータ決定前）について説明する。ここでの処理は、前記説明した定式化およびアルゴリズムの内容に対応している。

【0076】

図16に示すように、最初に、対象テナントの補助情報を収集する（ステップS 3 1）。具体的には、消費電力推定部5 2は、図15のステップS 2 2で学習用データとして決定したデータに対応する期間（つまり、評価期間の一部の期間）の補助情報を記憶部4 0から取得する。ここでの補助情報は、「機器の制御情報」および「在所率情報」である。

【0077】

次に、初期値の振り直し回数を指定する（ステップS 3 2）。振り直し回数は、ステップS 3 3～ステップS 3 6までの処理を繰り返し行う回数である。

【0078】

次に、消費電力推定部5 2は、行列要素の初期化を行った後で、目的関数値が収束するまで行列要素の更新を行う（ステップS 3 3～ステップS 3 5）。ステップS 3 3～ステップS 3 5の処理は、図12に示すアルゴリズムに対応している。そして、消費電力推定部5 2は、ステップS 3 6で収束した目的関数値を記録する。目的関数値は、図7の式(4.7)に対応している。

【0079】

前記説明した通り、ステップS 3 3～ステップS 3 6の一連の処理は、ステップS 3 2で指定した振り直し回数だけ繰り返し実行される（ステップS 3 7）。つまり、初期値の振り直しが指定回数に達していない場合（ステップS 3 7で“ No ”）に、処理をステップS 3 3に戻して、再び行列要素の初期化を行った後で目的関数値が収束するまで行列要素の更新を行う。一方、初期値の振り直しが指定回数に達した場合（ステップS 3 7で“ Yes ”）に、処理をステップS 3 8に進めて、最小の目的関数値を実現した結果を記録する（

10

20

30

40

50

ステップ S 3 8 )。

【 0 0 8 0 】

ここまで説明したように、図 1 5 のステップ S 2 3 における消費電力の分離処理（パラメータ決定前）では、図 1 4 のステップ S 1 1 で指定した候補パラメータを用いて、図 1 5 のステップ S 2 1 で分割した内の一部のデータ（つまり、不完全なデータ）を入力として処理を実行する。一方、ステップ S 3 における消費電力の分離処理（パラメータ決定後）では、ステップ S 2 で決定されたパラメータを用いて、ステップ S 1 で指定された評価期間のデータ（つまり、完全なデータ）を入力として処理を実行する。

【 0 0 8 1 】

（対象テナントの消費電力の分離処理（パラメータ決定後））

図 1 6 を参照して、ステップ S 3 における対象テナントの消費電力の分離処理（パラメータ決定後）について説明する。ここでの処理は、前記説明した対象テナントの消費電力の分離処理（パラメータ決定前）と同様であり、定式化およびアルゴリズムの内容に対応している。そのため、ここでは、ステップ S 2 3 における消費電力の分離処理（パラメータ決定前）との相違点について主に説明する。

【 0 0 8 2 】

ステップ S 3 で示す消費電力の分離処理（パラメータ決定後）では、ステップ S 2 で決定されたパラメータ（つまり、学習済みのパラメータ）を用いて、ステップ S 1 で指定された評価期間のデータ（つまり、完全なデータ）を入力として処理を実行する。また、それに対応して、ステップ S 3 1 において、消費電力推定部 5 2 は、評価期間に対応する補助情報を記憶部 4 0 から取得し、この補助情報を使用する。

【 0 0 8 3 】

以上のように、第 1 実施形態に係る消費電力推定システム 1 0 0 およびそれを構成する消費電力推定装置 3 は、補助情報として機器の制御情報および在所率情報を使用して機器毎または用途毎の消費電力量を推定する。そのため、推定精度が従来に比べて向上する。

【 0 0 8 4 】

[ 第 2 実施形態 ]

< 第 2 実施形態に係る消費電力推定システムの構成 >

図 1 7 を参照して、第 2 実施形態に係る消費電力推定システム 2 0 0 の構成について説明する。消費電力推定システム 2 0 0 は、複数の機器の各々の消費電力量を加算した全体の消費電力量から、各々の機器の消費電力量を推定するシステムである。ここでは、第 1 実施形態に係る消費電力推定システム 1 0 0（図 3 参照）との相違点について主に説明する。

【 0 0 8 5 】

消費電力推定システム 2 0 0 の消費電力推定装置 3 は、制御部 6 0 の機能が変更されている。制御部 6 0 は、主に、情報取得部 6 1 と、消費電力推定部 6 2 と、推定結果出力部 6 3 とを備える。なお、図 1 7 に示す制御部 6 0 の各機能は、説明の便宜上分けたものであり、機能の分割の仕方は本発明を限定するものではない。

【 0 0 8 6 】

情報取得部 6 1 は、電力メータ 2 0 からテナント 2 の消費電力量を収集する。また、情報取得部 6 1 は、各機器から制御情報を収集する。また、情報取得部 6 1 は、人検知センサ 3 0 から在所率情報を収集する。

消費電力推定部 6 2 は、S B N M F を用いて全体の消費電力量から機器毎の消費電力量を推定する。消費電力推定部 6 2 は、補助情報として機器の制御情報および在所率情報を利用する。また、消費電力推定部 6 2 は、定格値を考慮した消費電力推定を行う。処理の詳細は後記する。

推定結果出力部 6 3 は、消費電力推定部 6 2 によって推定された機器毎または用途毎の消費電力量を出力する。推定結果出力部 6 3 による出力の方法は特に限定されず、推定結果出力部 6 3 は、例えば、機器毎または用途毎の消費電力量を表示装置に表示する。

【 0 0 8 7 】

10

20

30

40

50

以下では、消費電力推定部 6 2 について説明する。まず最初に、「補助情報の活用等の概要」について説明する。次に、消費電力推定の「定式化」について説明し、続けて「パラメータのチューニング」について説明する。そして最後に、「アルゴリズム」を示す。

【 0 0 8 8 】

補助情報の活用等の概要

< 1 > 機器の制御情報および < 2 > 在所率情報の活用に関しては、第 1 実施形態と同様なので説明を省略する。

【 0 0 8 9 】

< 3 > 機器の定格値を考慮した推定に関して

S B N M F をはじめとする機器別・用途別の消費電力量推定技術は、機器毎の電力消費パターンを足し合わせるにより全体の消費電力の再現を行う。このような分解は、テナント毎、機器毎に複数の特徴的な電力消費行動の存在、またそれらが空間的に独立な形で生起している状況下でうまく働く。図 1 8 にこれら S B N M F で想定される状況を示す概念図を示す。

10

【 0 0 9 0 】

図 1 8 に示す状況は、例えば、広いテナント 2 や間仕切りの存在するようなテナント 2 において、そのテナント 2 内のエリア 2 - ( 1 ) , 2 - ( 2 ) ごとに日々活動する集団が異なる、あるいはエリア 2 - ( 1 ) , 2 - ( 2 ) ごとの使用用途がそもそも異なるような状況である。このような場合は、各エリア 2 - ( 1 ) , 2 - ( 2 ) における特徴的な電力消費行動は空間的に独立しており、各エリア 2 - ( 1 ) , 2 - ( 2 ) における電力消費パターン ( 1 ) , ( 2 ) を足し合わせることで機器ごとの消費電力量が再現されるという従来における推定の前提と良く整合していることになる。

20

【 0 0 9 1 】

一方、テナント毎、機器毎の複数の特徴的な電力消費行動が空間的に独立な形で生起していない状況下ではうまく働かない場合がある。つまり、電力消費行動が空間的に競合する可能性があり、学習された電力消費パターンを単純に足し合わせて機器の消費電力量を推定しようとする、機器の定格値を超えた推定結果を得る恐れがある。図 1 9 に S B N M F で起こりうる問題を示す概念図を示す。

【 0 0 9 2 】

図 1 9 に示す状況は、例えば、テナント 2 の広さがあまりなく、また会議室などの共用スペースが存在する状況である。その場合には、テナント 2 内の各エリア 2 - ( 1 ) , 2 - ( 2 ) における特徴的な電力消費行動は空間的に独立しておらず、各エリア 2 - ( 1 ) , 2 - ( 2 ) における電力消費パターン ( 1 ) , ( 2 ) を足し合わせることで機器の定格値を超えた推定結果を得る恐れがある。

30

【 0 0 9 3 】

なお、この問題に対して、超過量を各機器に再配分する操作を加えることも可能である。ただし、超過量を各機器に再配分する操作を加えたとしても、定格値は超えないものの推定結果が実際の観測に対して過大となる傾向が起こり得る。このような過大な推定をしてしまう機器があると、そのしわ寄せとしてほかの機器が過小な推定となってしまうことにつながる。さらに、結果として日ごとに過大な推定をする機器、しわ寄せで過小な推定が起こる機器が入れ替わる場合があり、機器ごとの日々の消費電力量にそれほどばらつきがない実際のデータと比較して大きく特徴が異なってしまう。このような特定機器の過大な推定や日による機器の推定消費電力量のばらつきは、機器別消費電力推定の精度悪化の要因となり得る。

40

【 0 0 9 4 】

本実施形態では、テナント内の同じエリアが異なる使用用途で利用される際に導出される推定消費電力が定格値を超え得るという上記の問題を、行列の積演算を一般化するためのパラメータ  $q_r$  ( $q_r = 1$ ) という新たな概念を導入することで解決している。図 2 0 の式(5.1)にパラメータ  $q_r$  を導入していない消費電力推定のための式表現、式(5.2)にパラメータ  $q_r$  を導入した消費電力推定のための式表現を示す。

50

## 【 0 0 9 5 】

図 2 0 の式(5.2)は、各電力消費パターンを  $q_r$  乗したものの総和において  $q_r$  乗根をとることとしているため、得られる消費電力量のオーダーは式(5.1)と同じになる。式(5.2)について、 $q_r = 1$  である場合には、式(5.1)と同様の式となる。一方、 $q_r$  の値が大きくなれば、 $q_r$  乗された複数の電力消費パターンについて、各時刻において大きな値をとるパターンの影響が強くなる。よって、その和の  $q_r$  乗根をとると各時刻における電力消費パターンのうちの最大値に近い値をとって推定値が算出されることとなる。図 2 1 にパラメータ  $q_r$  を導入した推定方法の概念図を示す。図 2 1 に示すように、 $q_r = 1$  に近い場合、推定結果はパターン(1)、(2)の和に近い値をとる。一方、 $q_r$  が大きい場合、推定結果はパターン(1)、(2)の最大値に近い値をとる。

10

## 【 0 0 9 6 】

このような拡張によって、各時刻において空間的に独立な電力消費行動がなされるようなテナントや機器に関しては、従来通り学習された電力消費パターンの和をとることで推定を行うことが可能となる。一方で、各時刻において空間的に競合する電力消費行動がなされるようなテナントや機器に関しては、図 2 0 の式(5.2)に基づきその競合の度合いに依存する  $q_r > 1$  という状況を想定した推定も可能になる。

## 【 0 0 9 7 】

例えば、複数の電力消費パターンが非常に強く競合しているのであれば  $q_r$  の値を大きく取り、各時刻で電力消費パターンの最大値に近い値に基づく推定を行うことができる。これにより、背後に存在する特徴的な電力消費パターンを抽出しながら、それが観測される消費電力量に対して必ずしも加算の形で寄与しないという状況下での推定精度の向上が期待できる。

20

また、パラメータ  $q_r$  の値を適切に与えることで、電力消費パターンの単純な和でもなく、いずれかの最大値でもなく、中間的な電力量表現で与えられるような、実空間の一部についてのみ消費行動が競合するような状況下での推定も可能になる。

パラメータ  $q_r$  がそのテナントにおいて適切な値となっているのであれば、従来アプローチで生じていた過大な推定が抑えられ、定格値を考慮した自然な推定が可能になる。

## 【 0 0 9 8 】

なお、パラメータ  $q_r$  は、一意に与えるものではなく、各テナントの特徴から複数パターンを比較し、自動チューニングを行いながら決定する。詳細は後記する。

30

## 【 0 0 9 9 】

## 定式化

表 1 を適宜参照して、第 2 実施形態に係る消費電力推定方法の定式化について説明する。なお、第 1 実施形態と説明が重複する部分については、説明を省略する場合がある。

## 【 0 1 0 0 】

機器  $r$  に対する消費電力の推定値  $Y$  (ハット付き)「は、第 1 実施形態と同様に、「機器の制御情報」および「在所率情報」のある/なしに応じて表す。

また、電力消費パターンの足し合わせ方についてパラメータ  $q_r$  を導入し、このパラメータ  $q_r$  は、各機器について図 2 2 の式(5.3)のように値をとるものとする。

## 【 0 1 0 1 】

これにより、機器  $r$  に対する消費電力の推定値  $Y$  (ハット付き)「は、図 2 2 に示す式(5.4)~式(5.7)のようになる。

40

## 【 0 1 0 2 】

また、目的関数については、制御履歴情報と推定結果の乖離が少なくなることを考慮した罰則項を導入した第 1 実施形態の式(4.6)と同様に、これが最小となるように最適化問題を解くこととする。ここでも H A L S アルゴリズムに基づいた更新を考えるが、パラメータ  $q_r$  を導入したことから式(4.6)の目的関数を、機器  $r$  の電力消費量に関する目的関数として書き換えて図 2 3 の式(5.8)として表す。式(5.8)の第 1 項は総消費電力量のうち、機器  $r$  を除いた機器の消費電力量の足し合わせで再現されていない残余の消費電力量と、機器  $r$  の消費電力量との二乗誤差を表している。

50

## 【0103】

これより、 $X^r$ 、 $A^r$ 、 $c_r$ 、 $b_r$ を反復的に更新していくことで式(5.8)の最適化問題を解くことを考える。

$X^r$ 、 $c_r$ 、 $b_r$ については、図23の式(5.8)において勾配法に基づいて解くことで更新式が導出でき、それぞれ図24および図25に示す式(5.9)~式(5.14)で表される。また、 $A^r$ は、貪欲法によって図23の式(5.8)の目的関数値を小さくするよう、各要素について更新がなされる。

## 【0104】

## パラメータチューニング

各テナントにみられる特徴的な1日の電力消費パターンの個数 $K$ 、各機器の電力消費パターンの足し合わせ方を決めるパラメータ $q_r$ 、さらに制御履歴情報との乖離に対する罰則の大きさを調整するパラメータ $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ については、4-fold CVに基づいて決定する。ただし、初めにパラメータ $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ を固定したうえで最適な電力消費パターンの個数 $K$ と電力消費パターンの足し合わせ方を決めるパラメータ $q_r$ を決定し、そのパターンの個数 $K$ とパラメータ $q_r$ の下でパラメータ $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ を2段階でチューニングするという方法をとる。

## 【0105】

本チューニングの過程では、照明と空調のいずれについても $q_r = 1$ をとるパラメータ組の再現誤差に着目し、その標準偏差の幅を用いてパラメータの決定を行う。ここでは、再現誤差の平均値が最も小さいパラメータ組について、その値が照明と空調のいずれについても $q_r = 1$ をとるパラメータ組の標準誤差内に含まれているのであれば $q_r = 1$ をとるパラメータ組を採用し、標準誤差を超えて小さい値をとっているのであればそのパラメータ組を採用することとする。これにより、基本的には従来の考えのもとで機器別消費電力推定を行うが、 $q_r$ の値を大きくすることが強い意味を持ちうる場合のみ、そのパラメータ組が選択されることとなる。図26に標準偏差を用いた第1段階のパラメータチューニングの概要を示す。

## 【0106】

一方、第2段階については第1実施形態と同様に図11の式(4.15)に着目し、各期間の目的関数値の平均が最も小さいパラメータ組を選択する。また、照明と空調のいずれについても $q_r = 1$ をとるパラメータの組が選択されたのであれば、第1実施形態で定式化した式で推定を行うものとし、 $q_r = 1$ となつた場合には第2実施形態で定式化した式を用いた推定を行う。

## 【0107】

## アルゴリズム

第2実施形態に係る消費電力推定方法のアルゴリズムを図27に示す。図27は、本発明の第2実施形態に係る消費電力推定方法のアルゴリズムの例示である。図27に示すアルゴリズムに記載される括弧書きの数字「(x.x) : x部分は数字」は、定式化で説明した数式に対応している。

## 【0108】

<第2実施形態に係る消費電力推定方法>

第2実施形態に係る消費電力推定システム200を用いた消費電力推定方法について、パラメータ $q$ を用いている点や使用する数式が異なる点以外は第1実施形態の処理の流れと同様である。

## 【0109】

<第2実施形態に係る消費電力推定システムの効果>

## (実験の概要)

業務ビルに存在するテナント「28室」を対象として、計測された部屋単位の30分平均総電力消費量データから機器別消費電力推定をする。学習データ期間、評価データ期間はともに「2018/8/1~2018/8/31」の31日間とし、補助情報としては照明器具と空調機器の制御履歴情報、各テナントの在所率情報、照明器具と空調機器の定格値を利用す

10

20

30

40

50

る。また、精度の評価を行う際には照明器具、空調機器、コンセントの30分平均電力消費量を用いている。

#### 【0110】

機器別消費電力量推定について、本実験では2つの手法の比較を行う。

(1) SBNMFに基づく手法・・・第1実施形態に係る手法

(2) 拡張SBNMFに基づく手法・・・第2実施形態に係る手法

また、いずれも補助情報を利用しており、各機器について $R^b = \{\text{空調機器}\}$ 、 $R^v = \{\text{コンセント}\}$ 、 $R^{bv} = \{\text{照明器具}\}$ とした推定を行う。

#### 【0111】

本実験においては、機器別消費電力推定の精度について、定量的評価指標としてMatch Rate (MR)を用いる。MRは、実測と推定結果の差を割合で評価する指標となっており「 $0 \leq MR \leq 1$ 」となる。実測波形と推定波形が完全に一致している場合には、 $MR = 1$ となり、全く一致していない場合には、 $MR = 0$ となる。図28に、MRの概念を示す。また、図29の式(6.1)にMRの定義を示す

10

#### 【0112】

また、これまでの検討で日によって機器の消費電力量の推定結果が過度にばらついてしまう傾向にあったことを考慮し、推定結果の過度なばらつきが改善されるかどうかの度合いを測る指標として誤差の分散に着目する。図29の式(6.2)に誤差の分散の定義を示す。推定結果に分離の大外れが多く存在する、あるいは日による機器の消費電力量のばらつきが多く存在する場合には、誤差の分散が大きくなるという特徴がある。

20

#### 【0113】

さらに、第1実施形態に係る手法による分離結果と比較して平均絶対誤差がどの程度改善されたかを図29の式(6.3)として表す。改善度は最高で100[%]となり、値が大きければ大きいほど改善していることを表す。

#### 【0114】

(実験結果)

評価期間における2手法の推定結果について、各テナントの機器ごとのMRをプロットした箱ひげ図を図30に示す。箱部は上位25%点、中央値、上位75%を表す。また、四分位範囲の1.5倍を超える値については、外れ値としてプロットされ、ひげ部はそれぞれ最大値、最小値を表す。図30より、特に照明に関して変化の見られるテナントが存在することがわかる。

30

#### 【0115】

第1実施形態に係る手法と第2実施形態に係る手法における結果の違いについては、第2実施形態に係る手法において $q_r = 1$ となるパラメータ組が選択されたテナントの有無による。よって、第2実施形態に係る手法において $q_r = 1$ となるパラメータ組を選択したテナントについてのみ注目し、評価期間のMRの平均を比較する。その結果を図31に示す。左側のグラフが第1実施形態に係る手法を示し、右側のグラフが第2実施形態に係る手法を示す。

#### 【0116】

図31より、第2実施形態に係る手法によりパラメータ $q_r$ の値を大きく取ることによって、平均的にMRにおける精度が改善されることがわかる。また、第2実施形態に係る手法において $q_r = 1$ となるパラメータ組が選択されたテナントの平均絶対誤差の改善度は、照明が「20.4%」、空調が「7.3%」、コンセントが「-1.4%」であった。

40

#### 【0117】

さらに、従来生じていた問題の改善について、空調の過大な推定が改善されたテナントの推定波形、MRと誤差の分散の比較をそれぞれ図32、図33、図34に示す。ここでは、第2実施形態に係る手法において「 $q_r = 3$  (機器rが照明)」、「 $q_r = 10$  (機器rが空調)」が選択されている。

#### 【0118】

図32より、第1実施形態に係る手法では空調が過大に推定されていたことが

50

見て取れるが、第2実施形態に係る手法では過大な推定が抑えられているといえる。

また、図33より、MRはコンセントについては差がなかったものの、照明と空調に対して向上していることがわかる。

さらに、図34より、誤差の分散についても照明と空調の値が大きく減少しており、提案手法は精度の向上につながったといえる。

【0119】

また、日による機器の推定消費電力量のばらつきが改善されたテナントの推定波形、MRと誤差の分散の比較をそれぞれ図35、図36、図37に示す。ここでは、第2実施形態に係る手法において、「 $q_r = 3$  (機器rが照明)」、「 $q_r = 3$  (機器rが空調)」が選択されている。

10

【0120】

図35より、第1実施形態に係る手法では日による機器の推定消費電力量のばらつきが多く存在することが見て取れるが、第2実施形態に係る手法ではそのばらつきが抑えられたといえる。

また、図36より、MRは照明と空調に対して向上していることがわかる。さらに、図37より、誤差の分散についても照明と空調の値が大きく減少しており、第2実施形態に係る手法は精度の向上につながったといえる。

【0121】

これより、パラメータ $q_r$ を導入し、自然に定格値を考慮するような拡張非負値行列因子分解に基づく機器の消費電力推定を行うことで、さらなる推定精度の向上につながるといえる。

20

【0122】

以上のように、第2実施形態に係る消費電力推定システム200およびそれを構成する消費電力推定装置3は、定格値を考慮した消費電力推定を行うことができる。そのため、推定精度がさらに向上する。

【0123】

[変形例]

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、特許請求の範囲の趣旨を変えない範囲で実施することができる。

【0124】

例えば、各実施形態では、機器の消費電力量の推定を行う対象としてテナントを想定して説明したが、これに限定されない。

30

【符号の説明】

【0125】

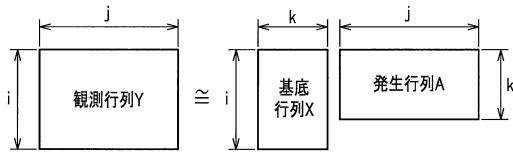
- 2, 2A, 2B テナント
- 3 消費電力推定装置
- 10 機器群
- 20 電力メータ
- 30 人検知センサ
- 40 記憶部
- 41 消費電力量記憶部
- 42 制御情報記憶部
- 43 在所率情報記憶部
- 50, 60 制御部
- 51, 61 情報取得部
- 52, 62 消費電力推定部
- 53, 63 推定結果出力部
- 100, 200 消費電力推定システム

40

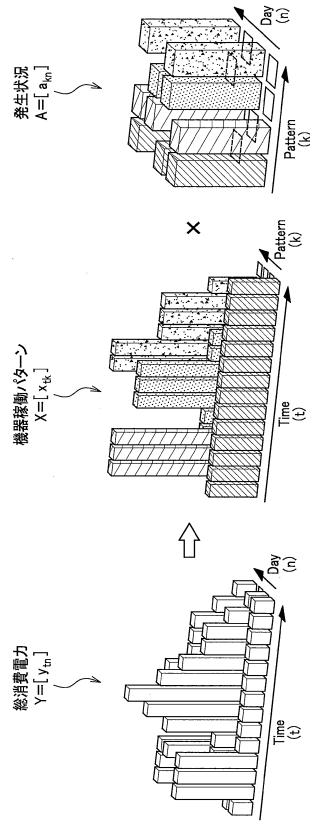
50

【図面】

【図 1】



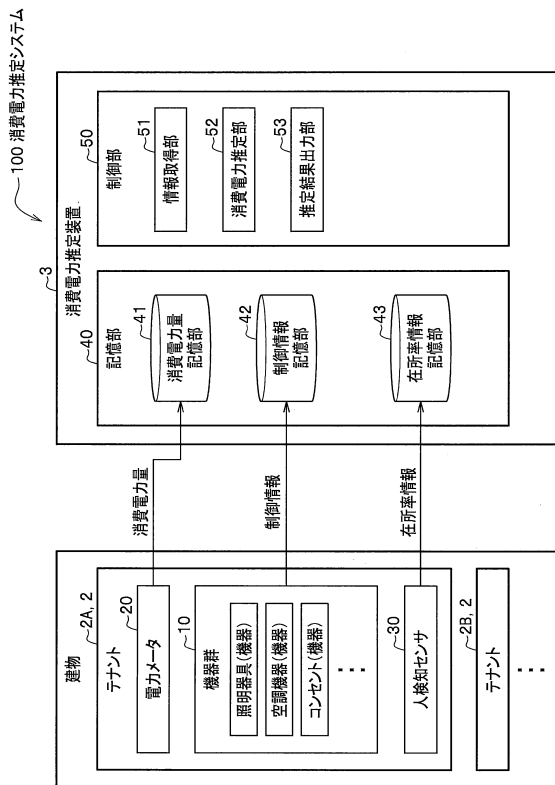
【図 2】



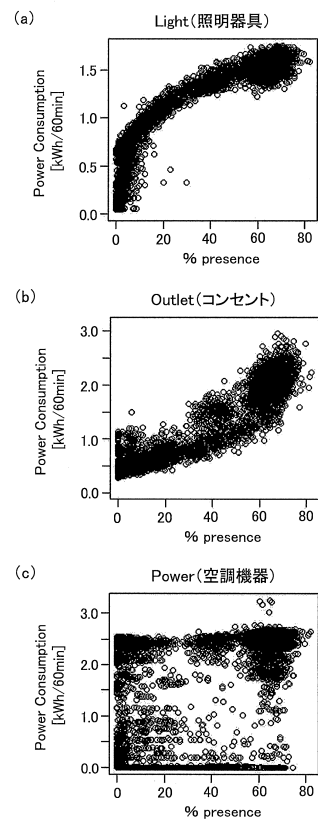
10

20

【図 3】



【図 4】



30

40

50

【 図 5 】

$\mathcal{R}^0$ : 補助情報を持たない機器の集合  
 $\mathcal{R}^b$ : 機器ごとの制御履歴を表すバイナリの補助情報行列  $U^r = [u_{tn}^r] \in \{0,1\}^{k \times N}$  が与えられる機器の集合  
 $\mathcal{R}^p$ : 在所率情報を表す連続値の補助情報  $V = [v_{tn}] \in \mathbb{R}^{k \times N}$  ( $0 \leq v_{tn} \leq 1$ ) が与えられる機器の集合  
 $\mathcal{R}^{bp}$ : 両者の補助情報  $U^r$  および  $V$  が与えられる機器の集合

ただし、制御履歴についてはON/OFF情報を表し、

$$u_{tn}^r = \begin{cases} 1 & (\text{機器 } r \text{ が ON}) \\ 0 & (\text{機器 } r \text{ が OFF}) \end{cases} \quad \dots (4.1)$$

とする。また、全機器の集合は  $\mathcal{R} = \mathcal{R}^0 \cup \mathcal{R}^b \cup \mathcal{R}^p \cup \mathcal{R}^{bp}$  とする。

【 図 6 】

$$\bar{Y}^r = X^r A^r = \left[ \sum_{k \in S_r} x_{tk} a_{kn} \right]_{t,n} \quad (r \in \mathcal{R}^0) \quad \dots (4.2)$$

$X^r$  は機器  $r$  の消費電力量を再現する電力消費パターンを表すベクトル群  $x^k$  ( $k \in S_r$ ) で表された基底行列であり、 $A^r$  は  $X^r$  と対応した発生行列の意とする。

$$\bar{Y}^r = U^r \otimes X^r A^r = \left[ \sum_{k \in S_r} u_{tn}^r x_{tk} a_{kn} \right]_{t,n} \quad (r \in \mathcal{R}^b) \quad \dots (4.3)$$

$$\bar{Y}^r = c_r V + b_r = [c_r v_{tn} + b_r]_{t,n} \quad (r \in \mathcal{R}^p) \quad \dots (4.4)$$

$r \in \mathcal{R}^p$  における消費電力量の推定値は、前記説明したようにパラメータ  $c_r \in \mathbb{R}_+$ ,  $b_r \in \mathbb{R}_+$  から表される1次関数として与えられるものとする。

$$\begin{aligned} \bar{Y}^r &= \{\gamma_k U^r + (1 - \gamma_k) V \otimes U^r\} \otimes X^r A^r \\ &= \left[ \sum_{k \in S_r} \{\gamma_k u_{tn}^r + (1 - \gamma_k) v_{tn} u_{tn}^r\} x_{tk} a_{kn} \right]_{t,n} \quad (r \in \mathcal{R}^{bp}) \quad \dots (4.5) \end{aligned}$$

$r \in \mathcal{R}^{bp}$  において与えられる  $\gamma_k$  は、その消費電力パターンが在所率から受ける影響の大きさを表す重みパラメータであり、 $0 \leq \gamma_k \leq 1$  である。

【 図 7 】

(a)

$$F = \left\| Y - \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{k \in S_r} \bar{Y}^k \right\|_F^2 + \lambda_1 \sum_{r \in \mathcal{R}^b} \|(1 - U^r) \otimes X^r A^r\|_F^2 + \lambda_2 \sum_{r \in \mathcal{R}^p} \left\| U^r \otimes \frac{2 \exp(-\alpha X^r A^r)}{1 + \exp(-\alpha X^r A^r)} \right\|_1 \quad \dots (4.6)$$

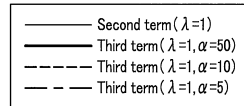
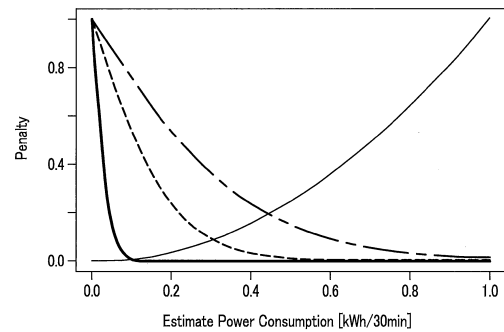
$\|\cdot\|_F^2$  はフロベニウスノルムの二乗であり、 $\|\cdot\|_1$  はL1ノルムを表す。また、 $\lambda_1, \lambda_2, \alpha$  は罰則の大きさを調整するパラメータである。

(b)

$$F^{(k)} = \|Y^{(k)} - \bar{Y}^k\|_F^2 + \lambda_1 \sum_{r \in \mathcal{R}^b} \|(1 - U^r) \otimes X^r A^r\|_F^2 + \lambda_2 \sum_{r \in \mathcal{R}^p} \left\| U^r \otimes \frac{2 \exp(-\alpha X^r A^r)}{1 + \exp(-\alpha X^r A^r)} \right\|_1 \quad \dots (4.7)$$

$Y^{(k)} = (Y - \sum_{k' \neq k} \bar{Y}^{k'})$  とし、式(4.7)の第1項は総消費電力量のうち、 $k$  番目を除いた電力消費パターンの足し合わせで再現されていない残余の消費電力量と、 $k$  番目の電力消費パターンとの二乗誤差を表している。

【 図 8 】



【 図 9 】

$$x_{tk} \leftarrow \frac{\left[ \sum_n a_{kn} y_{tn}^{(k)} \right]_+}{\sum_n a_{kn}^2} \quad \dots (4.8)$$

$(k \in S_r, s.t.r \in \mathcal{R}^0)$

ただし、 $[c]_+ = \max(0, c)$  である。

$$x_{tk} \leftarrow \left[ \frac{u_{tn}^r a_{kn} y_{tn}^{(k)} - \lambda_1 (1 - u_{tn}^r)^2 a_{kn} \sum_{k' \in S_r} x_{tk'} a_{k'n}}{\alpha \lambda_2 u_{tn}^r a_{kn} \frac{\exp(-\alpha \sum_{k' \in S_r} x_{tk'} a_{k'n})}{1 + \exp(-\alpha \sum_{k' \in S_r} x_{tk'} a_{k'n})} \Big|_+}{\left( \sum_n (u_{tn}^r a_{kn})^2 \right)} \right] \quad \dots (4.9)$$

$(k \in S_r, s.t.r \in \mathcal{R}^b)$

$$c_r \leftarrow \frac{\left[ \sum_{t,n} (y_{tn}^{(k)} - b_r) \right]_+}{\sum_{t,n} v_{tn}} \quad \dots (4.10)$$

$(k \in S_r, s.t.r \in \mathcal{R}^b)$

$$b_r \leftarrow \frac{\left[ \sum_{t,n} (y_{tn}^{(k)} - c_r v_{tn}) \right]_+}{TN} \quad \dots (4.11)$$

$(k \in S_r, s.t.r \in \mathcal{R}^b)$

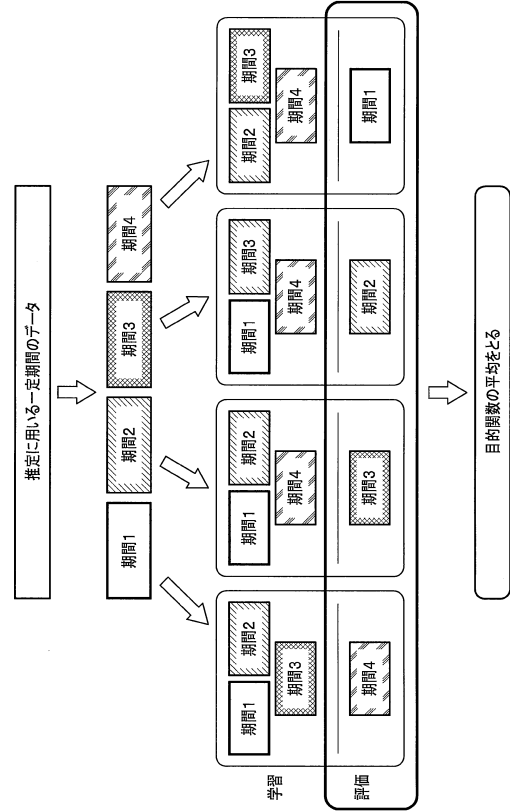
$$x_{tk} \leftarrow \left[ \frac{\{ \gamma_k + (1 - \gamma_k) v_{tn} \} u_{tn}^r a_{kn} y_{tn}^{(k)} - \lambda_1 (1 - u_{tn}^r)^2 a_{kn} \sum_{k' \in S_r} x_{tk'} a_{k'n}}{\alpha \lambda_2 u_{tn}^r a_{kn} \frac{\exp(-\alpha \sum_{k' \in S_r} x_{tk'} a_{k'n})}{1 + \exp(-\alpha \sum_{k' \in S_r} x_{tk'} a_{k'n})} \Big|_+}{\left( \sum_n \{ \gamma_k + (1 - \gamma_k) v_{tn} \} (u_{tn}^r a_{kn})^2 \right)} \right] \quad \dots (4.12)$$

$(k \in S_r, s.t.r \in \mathcal{R}^{bv})$

$$\gamma_k \leftarrow \frac{\sum_{t,n} \left[ (1 - v_{tn})^2 u_{tn}^r x_{tk} a_{kn} y_{tn}^{(k)} \right]_+}{\sum_{t,n} (1 - v_{tn})^2 (u_{tn}^r x_{tk} a_{kn})^2} \quad \dots (4.13)$$

$(k \in S_r, s.t.r \in \mathcal{R}^{bv})$

【 図 10 】



10

20

【 図 11 】

$$f(\hat{V}^r, U^r) = \sum_{r,t,n} z_{tn}^r \quad \dots (4.14)$$

$$z_{tn}^r = \begin{cases} 0 & (u_{tn}^r = 0 \rightarrow y_{tn}^r = 0) \\ 0 & (u_{tn}^r = 1 \rightarrow y_{tn}^r > 0) \\ 1 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

$$F = \left\| Y - \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{k \in S_r} \hat{V}^k \right\|_F^2 + \beta f(\hat{V}^r, U^r) \quad \dots (4.15)$$

$$\hat{n} = \operatorname{argmin}_{n' \in \mathcal{N}_n} \sum_{t \neq t'} d(u_{t'n'}^r, u_{t'n}^r) \quad \dots (4.16)$$

$$d(u; u_0) = \begin{cases} 0 & (u = u_0) \\ 1 & (u \neq u_0) \end{cases} \quad \dots (4.17)$$

【 図 12 】

---

**Algorithm**

**Input:**  $Y, U, V, K, \alpha, \lambda_1, \lambda_2$

**Output:**  $X, A$

Randomly initialize  $X \in \mathbb{R}_+^{T \times K}$ ,  $A \in \{0,1\}^{K \times N}$  and  $\gamma = 1$ ;

**While** the objective function Eq. (4.7) is not converged **do**

**for**  $k \in \{1, \dots, K\}$

**if**  $k \in S_r, s.t.r \in \mathcal{R}^b$  **do**

Update  $c_r$  according to Eq. (4.10);

Update  $b_r$  according to Eq. (4.11);

**else do**

Update  $x^k$  according to Eqs. (4.8), (4.9) and (4.12);

**for**  $n \in \{1, \dots, N\}$  **do**

Update  $a_{kn} \in \{0,1\}(\forall k)$  to minimize the objective function Eq. (4.7);

**end**

**end**

Update  $\gamma$  according to Eq. (4.13);

**end**

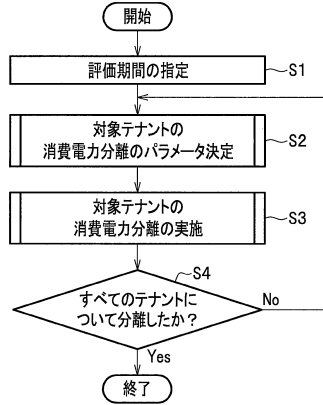
---

30

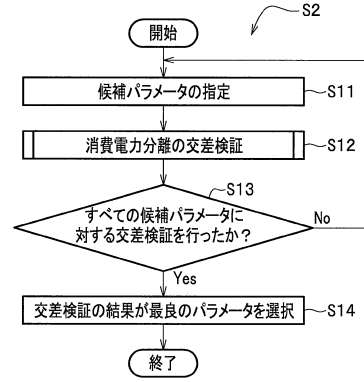
40

50

【 図 1 3 】

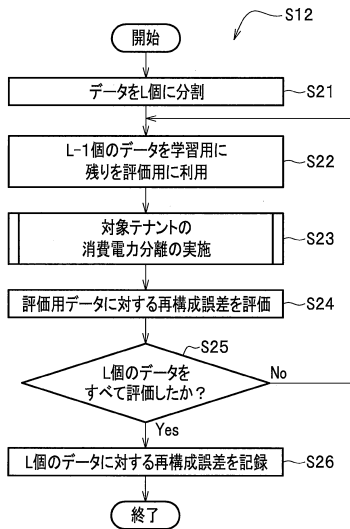


【 図 1 4 】

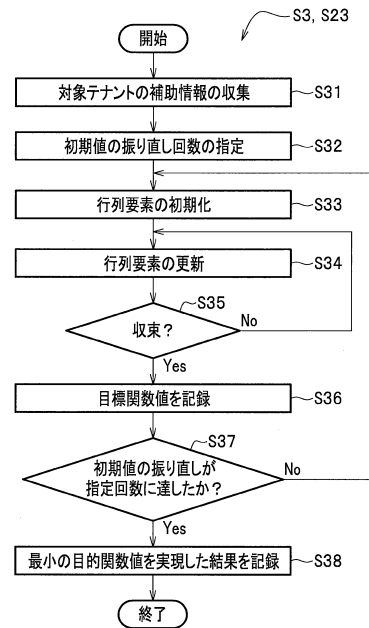


10

【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



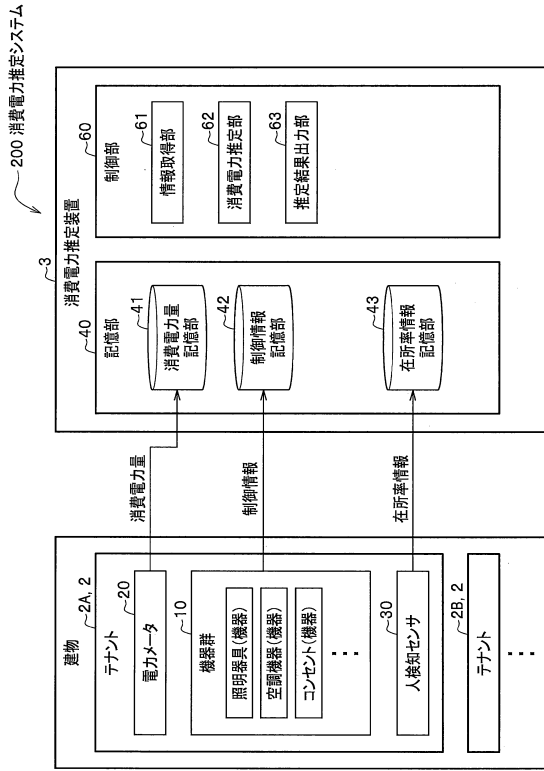
20

30

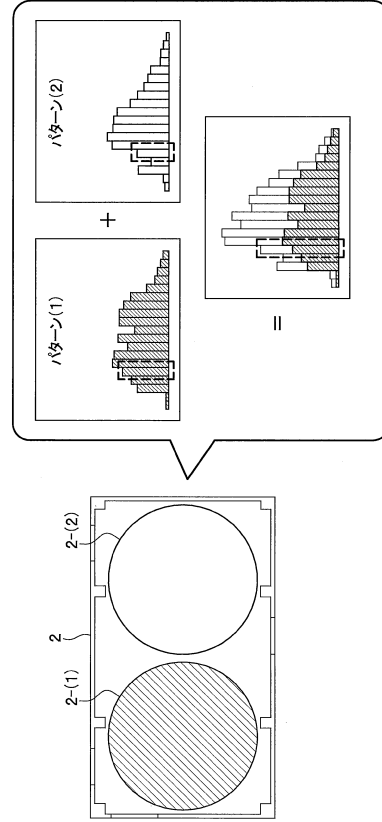
40

50

【図 17】



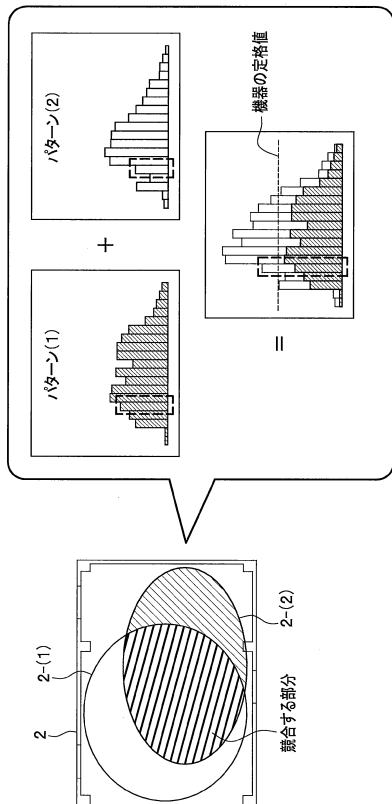
【図 18】



10

20

【図 19】



【図 20】

(a)

$$\bar{Y}^r = X^r A^r = \left[ \sum_{k \in S_r} x_{tk} a_{kn} \right]_{t,n} \quad \dots(5.1)$$

30

(b)

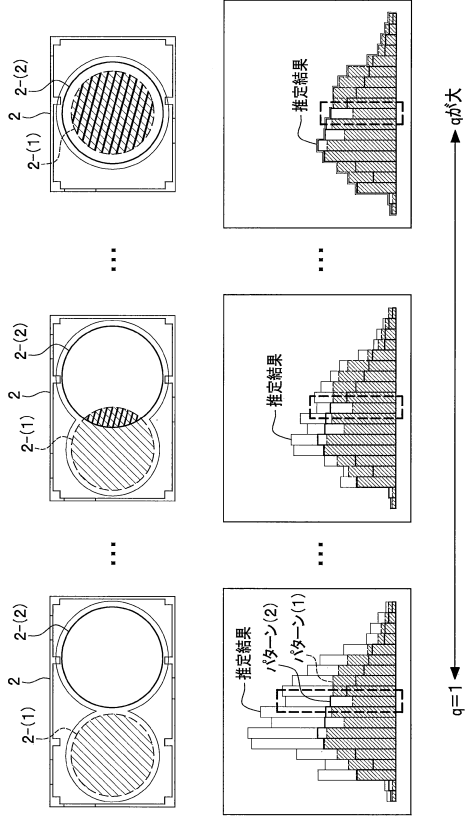
$$\bar{Y}^r = (|X^r A^r|^{q_r})^{\frac{1}{q_r}} = \left[ \left( \sum_{k \in S_r} |x_{tk} a_{kn}|^{q_r} \right)^{\frac{1}{q_r}} \right]_{t,n} \quad \dots(5.2)$$

ただし、 $q_r$ は機器ごとに与えられるパラメータであり、 $q_r \geq 1$ とする。

40

50

【図 2 1】



【図 2 3】

$$F^{(r)} = \|Y^{(r)} - \hat{Y}^r\|_F^2 + \lambda_1 \sum_{r \in \mathcal{R}^b} \|(1 - U^r) \otimes X^r A^r\|_F^2 + \lambda_2 \sum_{r \in \mathcal{R}^b} \left\| U^r \otimes \frac{2 \exp(-\alpha X^r A^r)}{1 + \exp(-\alpha X^r A^r)} \right\|_1 \quad \dots (5.8)$$

ただし、 $Y^{(r)} = (Y - \sum_{r' \neq r} \hat{Y}^{r'})$  とし、式(5.8)の第1項は総消費電力量のうち、機器 $r$ を除いた機器の消費電力量の足し合わせで再現されていない残余の消費電力量と、機器 $r$ の消費電力量との二乗誤差を表している。

【図 2 2】

- (a)  $q_r = 1$  (コンセント)  $\dots (5.3)$   
 $q_r \geq 1$  (照明, 空調)
- (b)  $\hat{Y}^r = (|X^r A^r|^{q_r})^{\frac{1}{q_r}} = \left[ \left( \sum_{k \in S_r} |x_{tk} a_{kn}|^{q_r} \right)^{\frac{1}{q_r}} \right]_{t,n} \quad (r \in \mathcal{R}^b) \quad \dots (5.4)$
- (c)  $\hat{Y}^r = (U^r \otimes |X^r A^r|^{q_r})^{\frac{1}{q_r}} = \left[ \left( \sum_{k \in S_r} u_{tn}^r |x_{tk} a_{kn}|^{q_r} \right)^{\frac{1}{q_r}} \right]_{t,n} \quad (r \in \mathcal{R}^b) \quad \dots (5.5)$
- (d)  $\hat{Y}^r = c_r V + b_r = [c_r v_{tn} + b_r]_{t,n} \quad (r \in \mathcal{R}^b) \quad \dots (5.6)$
- (e)  $\hat{Y}^r = (\{\gamma_k U^r + (1 - \gamma_k) V \otimes U^r\} \otimes |X^r A^r|^{q_r})^{\frac{1}{q_r}} = \left[ \left( \sum_{k \in S_r} \{\gamma_k u_{tn}^r + (1 - \gamma_k) v_{tn} u_{tn}^r\} |x_{tk} a_{kn}|^{q_r} \right)^{\frac{1}{q_r}} \right]_{t,n} \quad (r \in \mathcal{R}^{bv}) \quad \dots (5.7)$

10

20

【図 2 4】

- (a)  $x_{tk} \leftarrow x_{tk} + 2\eta \left[ \sum_n x_{tk}^{q_r - 1} a_{kn} \left( \sum_{k' \in S_r} x_{tk'}^{q_r} a_{k'n} \right)^{\frac{1 - q_r}{q_r}} \left( y_{tn}^{(r)} - \left( \sum_{k' \in S_r} x_{tk'}^{q_r} a_{k'n} \right)^{\frac{1}{q_r}} \right) \right]_+ \quad (k \in S_r, \text{ s.t. } r \in \mathcal{R}^b) \quad \dots (5.9)$
- (b)  $x_{tk} \leftarrow x_{tk} + 2\eta \left[ \sum_n u_{tn}^r x_{tk}^{q_r - 1} a_{kn} \left( \sum_{k' \in S_r} x_{tk'}^{q_r} a_{k'n} \right)^{\frac{1 - q_r}{q_r}} \left( y_{tn}^{(r)} - u_{tn}^r \left( \sum_{k' \in S_r} x_{tk'}^{q_r} a_{k'n} \right)^{\frac{1}{q_r}} \right) - \lambda_1 \sum_n (1 - u_{tn}^r) x_{tk}^{q_r - 1} a_{kn} \left( \sum_{k' \in S_r} x_{tk'}^{q_r} a_{k'n} \right)^{\frac{1 - q_r}{q_r}} + \alpha \lambda_2 \sum_n u_{tn}^r x_{tk}^{q_r - 1} a_{kn} \left( \sum_{k' \in S_r} x_{tk'}^{q_r} a_{k'n} \right)^{\frac{1 - q_r}{q_r}} \frac{\exp(-\alpha \sum_{k' \in S_r} x_{tk'}^{q_r} a_{k'n})}{(1 + \exp(-\alpha \sum_{k' \in S_r} x_{tk'}^{q_r} a_{k'n}))^2} \right]_+ \quad (k \in S_r, \text{ s.t. } r \in \mathcal{R}^b) \quad \dots (5.10)$
- (c)  $c_r \leftarrow c_r + 2\eta \left[ \sum_{t,n} v_{tn} (y_{tn}^{(r)} - c_r v_{tn} - b_r) \right]_+ \quad (k \in S_r, \text{ s.t. } r \in \mathcal{R}^b) \quad \dots (5.11)$

30

40

50

【 図 2 5 】

(a)

$$b_r \leftarrow b_r + 2\eta \left[ \sum_{t \in T_n} v_{tn} (y_{tn}^{(r)} - c_r v_{tn} - b_r) \right]_+ \quad \dots (5.12)$$

$(k \in S_r, s.t. r \in \mathcal{R}^p)$

(b)

$$x_{ik} \leftarrow x_{ik} + 2\eta \left[ \sum_n \left\{ \gamma_k + (1 - \gamma_k) v_{tn} \right\} u_{tn}^q x_{ik}^{q-1} a_{kn} \left( \sum_{k' \in S_r} \left\{ \gamma_{k'} + (1 - \gamma_{k'}) v_{tn} \right\} x_{ik'}^{q_r} a_{k'n} \right)^{\frac{1-q_r}{q_r}} \right. \\ \left. \left( \gamma_{tn}^{(r)} - u_{tn}^q \left( \sum_{k' \in S_r} \left\{ \gamma_{k'} + (1 - \gamma_{k'}) v_{tn} \right\} x_{ik'}^{q_r} a_{k'n} \right)^{\frac{1}{q_r}} \right) \right. \\ \left. - \lambda_1 \sum_n (1 - u_{tn}^q) x_{ik}^{q-1} a_{kn} \left( \sum_{k' \in S_r} x_{ik'}^{q_r} a_{k'n} \right)^{\frac{2-q_r}{q_r}} \right. \\ \left. + \alpha \lambda_2 \sum_n u_{tn}^q x_{ik}^{q-1} a_{kn} \left( \sum_{k' \in S_r} x_{ik'}^{q_r} a_{k'n} \right)^{\frac{1-q_r}{q_r}} \frac{\exp(-\alpha \sum_{k' \in S_r} x_{ik'}^{q_r} a_{k'n})}{(1 + \exp(-\alpha \sum_{k' \in S_r} x_{ik'}^{q_r} a_{k'n}))^2} \right] \quad \dots (5.13)$$

$(k \in S_r, s.t. r \in \mathcal{R}^{bp})$

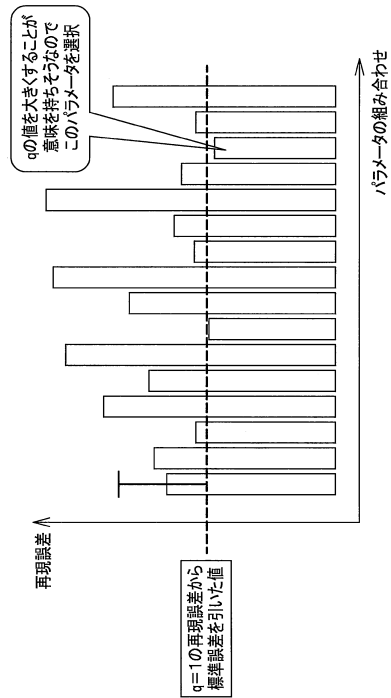
(c)

$$\gamma_k \leftarrow \gamma_k + 2\eta (1 - v_{tn}) u_{tn}^q \left( \sum_{k' \in S_r} x_{ik'}^{q_r} a_{k'n} \right)^{\frac{1}{q_r}} \left( \gamma_{tn}^{(r)} - u_{tn}^q \left( \sum_{k' \in S_r} \left\{ \gamma_{k'} + (1 - \gamma_{k'}) v_{tn} \right\} x_{ik'}^{q_r} a_{k'n} \right)^{\frac{1}{q_r}} \right) \quad \dots (5.14)$$

$(k \in S_r, s.t. r \in \mathcal{R}^{bp})$

ただし、 $0 \leq \gamma_k \leq 1$ である。

【 図 2 6 】



10

20

【 図 2 7 】

Algorithm

Input:  $Y, U, V, K, \alpha, \lambda_1, \lambda_2, q_r$

Output:  $X, A$

Randomly initialize  $X \in \mathbb{R}_+^{T \times K}$ ,  $A \in \{0,1\}^{K \times N}$  and  $\gamma = 1$ ;

if  $q_r \neq 1$  do

  While the objective function Eq. (5.8) is not converged do

    for  $k \in \{1, \dots, K\}$

      if  $k \in S_r, s.t. r \in \mathcal{R}^p$  do

        Update  $c_r$  according to Eq. (5.11);

        Update  $b_r$  according to Eq. (5.12);

      else do

        Update  $x^k$  according to Eqns. (5.9), (5.10) and (5.13);

        for  $n \in \{1, \dots, N\}$  do

          Update  $a_{kn} \in \{0,1\}(\forall k)$  to minimize the objective function Eq. (5.8);

      end

    end

    Update  $\gamma$  according to Eq. (5.14);

  end

else do

  While the objective function Eq. (4.7) is not converged do

    for  $k \in \{1, \dots, K\}$

      if  $k \in S_r, s.t. r \in \mathcal{R}^p$  do

        Update  $c_r$  according to Eq. (4.10);

        Update  $b_r$  according to Eq. (4.11);

      else do

        Update  $x^k$  according to Eqns. (4.8), (4.9) and (4.12);

        for  $n \in \{1, \dots, N\}$  do

          Update  $a_{kn} \in \{0,1\}(\forall k)$  to minimize the objective function Eq. (4.7);

      end

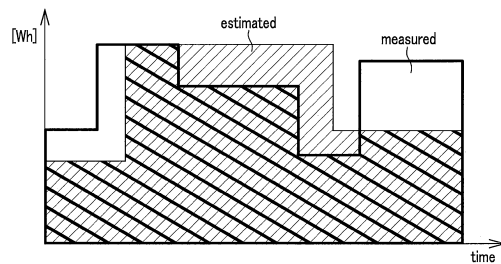
    end

    Update  $\gamma$  according to Eq. (4.13);

  end

end

【 図 2 8 】



$$\text{Match Rate (MR)} = \frac{\text{diagonal hatched}}{\text{white} + \text{diagonal hatched} + \text{vertical hatched}}$$

30

40

50

【 図 2 9 】

(a)

$$MR = \frac{\sum_{t,n} \min\{|y_{rtn}|, |\hat{y}_{rtn}|\}}{\sum_{t,n} \max\{|y_{rtn}|, |\hat{y}_{rtn}|\}} \quad \dots (6.1)$$

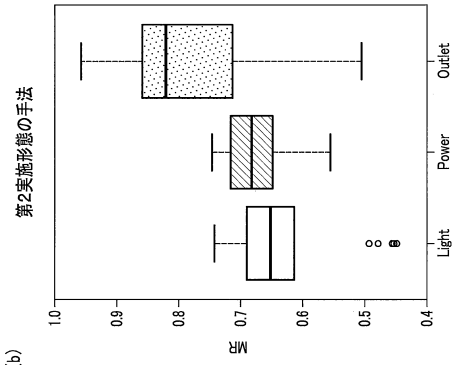
(b)

$$(\text{誤差の分散}) = \frac{\sum_{t,n} \{(y_{rtn} - \hat{y}_{rtn}) - (\overline{y_{rtn}} - \overline{\hat{y}_{rtn}})\}^2}{TN} \quad \dots (6.2)$$

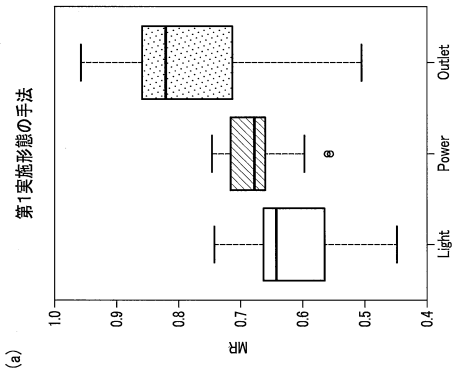
(c)

$$(\text{改善率}) = \frac{\text{従来手法 MAE} - \text{提案手法 MAE}}{\text{従来手法 MAE}} \times 100 \quad \dots (6.3)$$

【 図 3 0 】

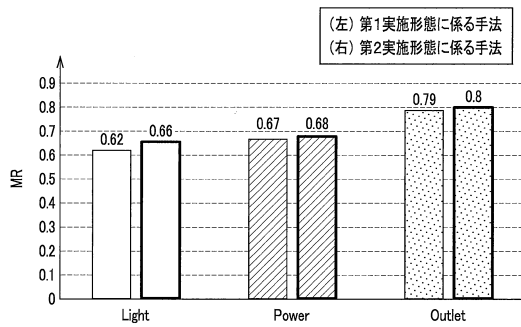


10



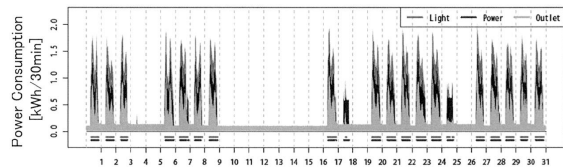
20

【 図 3 1 】



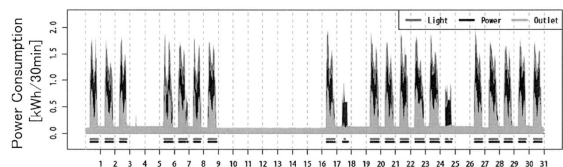
【 図 3 2 】

(a) 正解波形

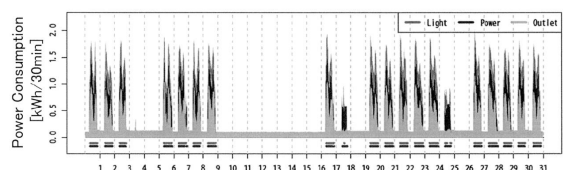


30

(b) 第1実施形態における推定波形

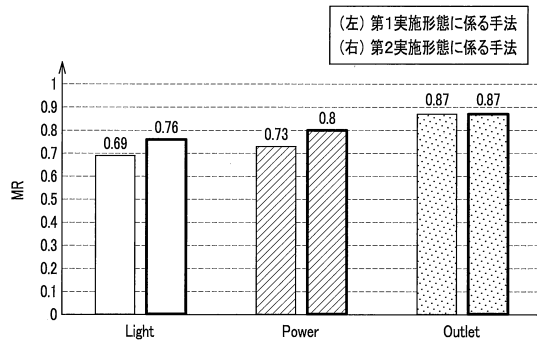


(c) 第2実施形態における推定波形

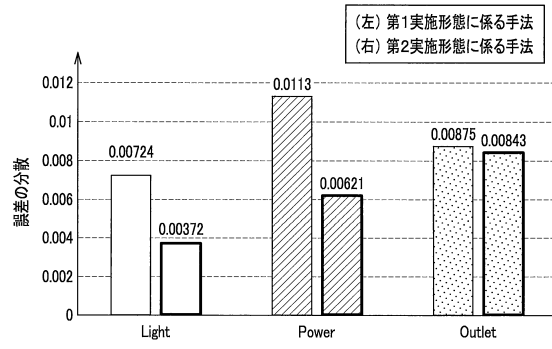


40

【 図 3 3 】



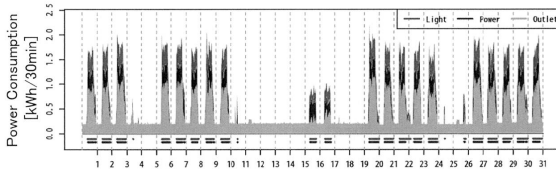
【 図 3 4 】



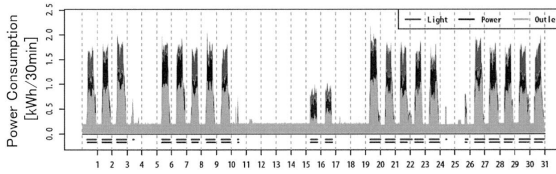
10

【 図 3 5 】

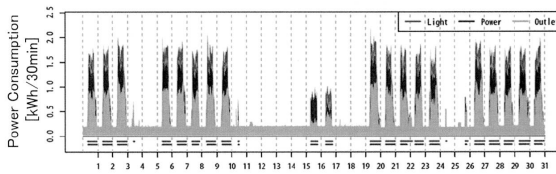
(a) 正解波形



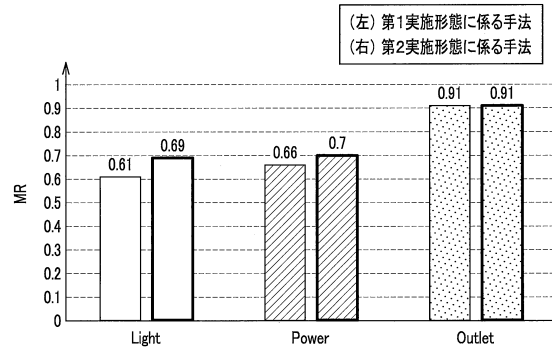
(b) 第1実施形態における推定波形



(c) 第2実施形態における推定波形



【 図 3 6 】



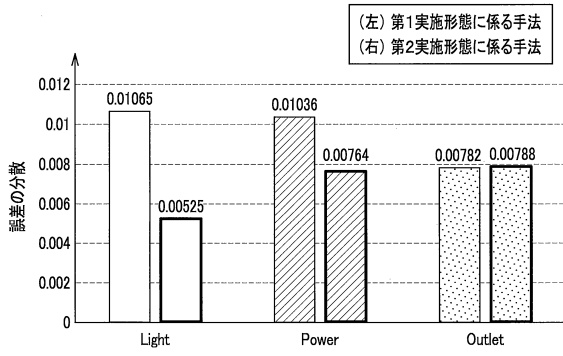
20

30

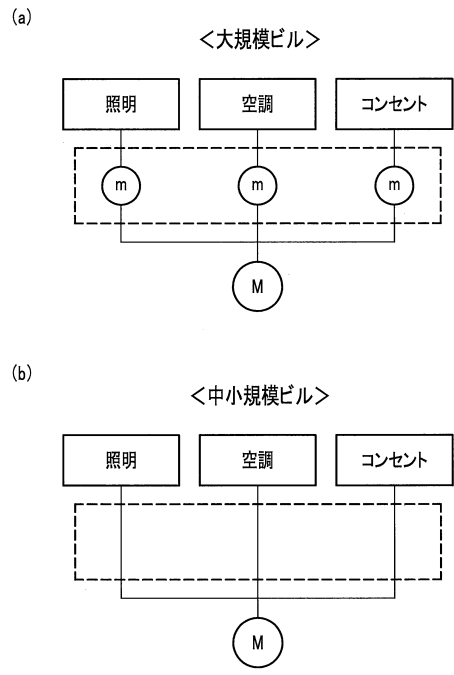
40

50

【 図 3 7 】



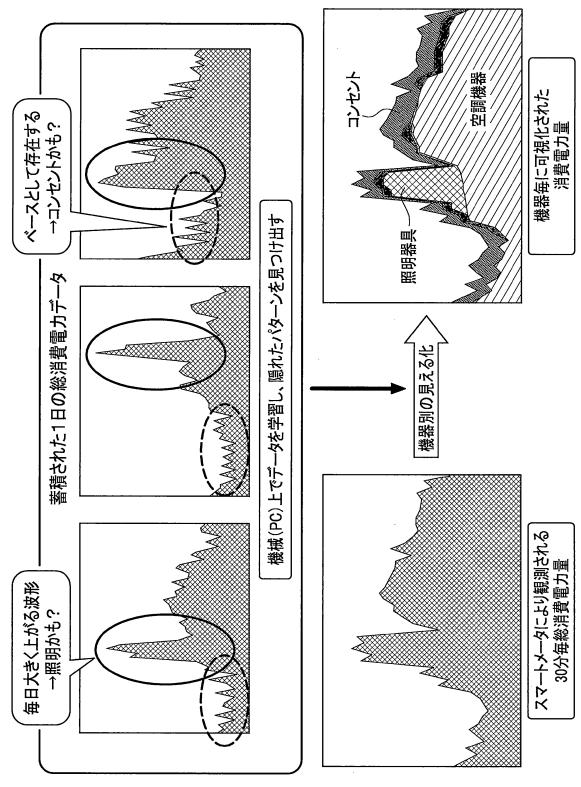
【 図 3 8 】



10

20

【 図 3 9 】



30

40

50

## フロントページの続き

- 東京都新宿区西新宿一丁目25番1号 大成建設株式会社内
- (72)発明者 山口 亮
- 東京都新宿区西新宿一丁目25番1号 大成建設株式会社内
- (72)発明者 小林 信郷
- 東京都新宿区西新宿一丁目25番1号 大成建設株式会社内
- 審査官 杉田 恵一
- (56)参考文献 特開2004-257897(JP,A)
- 特開2007-133468(JP,A)
- 特開2011-125122(JP,A)
- 特開2012-047600(JP,A)
- 特開2013-038836(JP,A)
- 特開2013-210755(JP,A)
- 特開2014-143819(JP,A)
- 特開2015-032222(JP,A)
- 特開2015-135574(JP,A)
- 特開2017-049221(JP,A)
- 国際公開第2016/031065(WO,A1)
- 藤本悠, 大久保直樹, 林泰弘, 杉立好正, 緒方司郎, 機器個別消費電力の把握を目的とした半教師付きNMFの応用, 電子情報通信学会技術研究報告, 日本, 一般社団法人電子情報通信学会, 2013年11月12日, Vol.113 No.286, ages.185-190
- Ayumi Miyasawa, Yu Fujimoto, Yasuhiro Hayashi, Energy Disaggregation Based on Smart Metering Data via Semi-Binary Nonnegative Matrix Factorization, Energy and Buildings, Elsevier, 2018年10月30日, pages.1-22
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- G01R 21/00
- G06Q 50/06
- H02J 3/00
- H02J 13/00