

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 17日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2008～2011

課題番号：20686040

研究課題名（和文）都市基盤設備の最大負荷設計のための
水・熱・エネルギーデマンド予測手法の構築

研究課題名（英文）Development of Methodology for Utility Demand Prediction
Considering Actual Variations in Inhabitant Behavior Schedules

研究代表者

萩島 理（HAGISHIMA AYA）

九州大学・大学院総合理工学研究院・准教授

研究者番号：60294980

研究成果の概要（和文）：

空調発停行為を含む居住者の生活行為のタイムスケジュールの多様性を考慮し住戸の電力、熱、水等のユーティリティデマンドを高時間分解能で予測する枠組み Total Utility Demand Prediction System (TUD-PS) の構築を行った。また、集合住宅を対象とした TUD-PS による数値計算により冷暖房負荷の確率特性についての検討を行い、平均値で基準化した全熱負荷の確率密度分布が住戸条件や家族構成の違いによらず概ね普遍的な傾向を示し、LDK における暖冷房の基準化全熱負荷の確率密度がアーラン分布で近似できることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

Total Utility Demand Prediction System, TUD-PS was established to predict utility demand such as electricity, gas, hot water and air-conditioning load, on a basis of time-varying inhabitants' behavior schedule. In addition, the stochastic characteristics of heating/ cooling load of a dwelling in a residential building were investigated based on time-series data estimated by TUD-PS. The analysis indicates that probability density distributions of heating/cooling load normalized by the average for various types of dwelling and family type shows a similar tendency, and optimizing parameters of Erlang distribution were presented.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	5,700,000	1,710,000	7,410,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学，建築環境・設備

キーワード：空調負荷、生活スケジュール、熱負荷計算、空調エネルギー消費

1. 研究開始当初の背景

住宅における冷暖房を主とするエネルギー消費を予測するには、ある標準的な建物を

仮定し、目的に応じて入力条件である気象データ（期間負荷・年間負荷には標準気象データ、最大負荷には設計用気象データ）を使い分け、非定常計算（期間・年間非定常計算も

しくはピーク日の日周期定常計算)を行うことが一般的である。ここで入力データとして確率的挙動が考慮されているのは、気象データだけで、他は確定的取り扱いとなっている。事務所を主とする業務系建物において、エネルギーシステムが比較的固定されたスケジュールで運用されている状況と異なり、住宅におけるそれらは居住者の生活パターン、家族構成やその属性(男か女か:大人か子供か老人か:勤労者か否か)により大きく異なることが容易に予想される。確率的に変動する冷暖房やエネルギー機器の使用状況が負荷全体の動特性に有意な影響を与えるにも関わらず、現在のところ冷暖房や給湯・給水スケジュールやエネルギー機器の使用スケジュールの全てが標準的住戸を想定して決めたスケジュールを入力条件として確定的に付与されている(数種の生活パターンを考慮したとしても確定付与している点が変わらない)。このような算法に基づく電力・給湯・ガスなどのデマンド予測は大きな誤差を生むものと考えられる。特に、標準住戸を重畳して住棟・街区・都市域全体の最大負荷を積み上げて予測すると大きな誤差が発生してしまうことが知られている。また、低CO₂や省エネに対する社会的要請が一層高まっている現状において、熱負荷の動特性により空調機器効率が大きく左右されることから、住居系に関しては居住者の生活スケジュールの影響を受ける空調運転時間の多様性・確率性を考慮した上での熱負荷の確率的振る舞いを適切に予測評価することが求められている。

2. 研究の目的

空調発停行為を含む居住者の生活行為のタイムスケジュールの多様性を考慮し、住戸の電力、熱、水等のユーティリティデマンドを高時間分解能で予測する手法(TUD-PS, Total Utility Demand Prediction System)の構築を目的とする。加えて、構築したTUD-PSを用いて種々の感度解析を行う。加えて、スケジュール固定の従来法による計算結果とTUD-PSによる計算結果の比較を行うことにより、生活スケジュールの多様性が最大負荷、期間負荷に及ぼす影響を把握する。また、生活スケジュールの多様性を考慮した空調負荷の時系列データを用いて、負荷の確率特性に関する検討を行う。最後に、TUD-PSの中のランダムに生成された生活スケジュールおよびTUD-PSによる計算結果など一連のデータをweb上に公開する。

3. 研究の方法

以下の3項目に関してTUD-PSを構成する

サブモデルとしてFortranによるプログラムコードを作成した。

(1) エージェントベース確率的生活行動スケジュール発生法の理論構成

NHKの国民生活時間調査には、年齢・職層などの分類ごと、平日、土曜、休日ごとに、28種類の生活行為の15分毎の行為者率時変動特性、各行為の継続平均時間と標準偏差が整理されている。これを元データとして、従来までgenerate & killの統計的手法について検討を行ってきたアルゴリズムについて検討を行ってきた。当該研究課題では、生成された生活行動スケジュールの一部が精度不十分という問題に対する修正を行うとともに、元データを90年度版から2000年度版に差し替えを行った。以上により、高精度な生活行動スケジュール生成アルゴリズムおよび、そのアルゴリズムによりランダム生成された10万サンプルの生活スケジュールデータベースを構築した。

(2) エージェントベース生活行動とエネルギー計算との接続プロトコルの整備

(1)で得られたエージェントベースの生活スケジュールを動的熱負荷計算、住棟セントラル給湯計算などに適用するために、1)個人別データを家族ユニットに集合させるプロトコル、2)生活行為と家電機器や水湯消費行動を対応付けるプロトコル、3)各行為と在宅非在宅との関連付けプロトコルの開発を行った。

(3) 生活行動、エネルギー原単位と建物熱負荷伝熱計算の連成

(1)(2)のサブモデルに対して、居住者在室時における空調on/off行動に温度条件を引数とするマルコフモデルと住戸の熱負荷計算を連成させることで、日々変動する生活スケジュールに応じた空調発停や内部発熱を考慮した住戸の電力、熱、水等のユーティリティデマンドの予測モデルTotal Utility Demand Prediction System(TUDPS)を構築した。

4. 研究成果

以下に示す通り、TUD-PSを用いた種々の検討を行った。

(1) 空調使用状況に関する感度解析

TUDPSでは空調on/off行動を室内気温に対する状態遷移確率として定義している。そこで、この確率のパラメータを変化させることで、居住者の暑さ寒さ忍限度の期間冷暖房熱負荷に及ぼす感度を設定温度(Tset)±1℃の感度と比較しながら検討した。15年間の東京の生気象データを用い標準的な集合住宅の4人家族を対象とした計算の結果、連続的運転状態となる暖房では、両状態遷移確率の感度は小さいが、設定温度の感度は極めて大きくなることが確認された。これに対して、

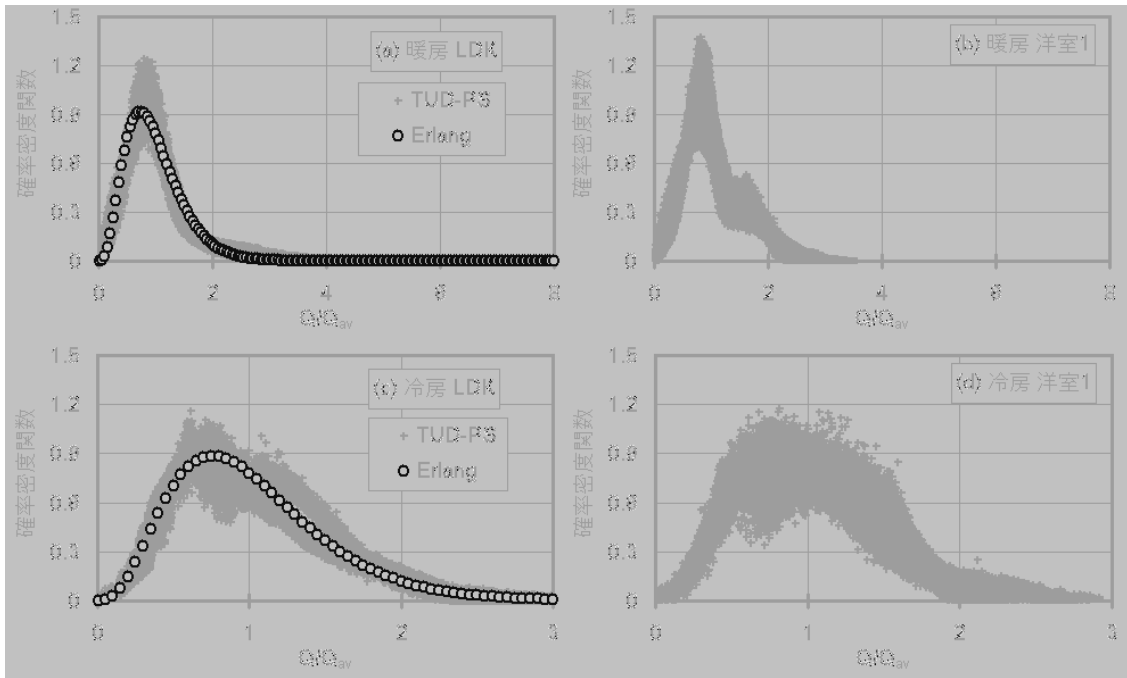


図 集合住宅における無次元化全熱負荷の確率密度, 住戸条件、世帯構成の異なる全 672 ケースのデータを全てプロット, 横軸は (熱負荷/平均値) (a) 暖房 LDK, (b) 暖房 洋室 1, (c) 冷房 LDK, (d) 冷房 洋室 1, LDK については fitting されたアールン分布による確率密度関数を併せて示す

冷房では頻繁に発停が繰り返されるので、設定温度上下の感度が寧ろ鈍く、「冷房開始を我慢する」ことの感度が大きくなる事が明らかになった。

(2) スケジュールの多様性が空調の期間負荷、最大負荷に及ぼす影響に関する数値実験

TUDPS を用いて、様々な住戸方位、住戸位置、家族構成、断熱状況の条件に対して期間負荷および最大負荷を計算し、従来のスケジュール固定の計算手法に基づく値との比較を行った。また、従来算法の修正係数の提示を行った。その結果、冷房では、変動スケジュールでは頻繁な発停が繰り返されることが利いて、期間負荷は従来法に比べ少なく、最大負荷は大きくなる傾向がみられた。また、暖房の変動/固定の負荷比は最大、期間とも計算条件によるばらつきは小さくなった。これは、暖房では室温と外気温度の差が大きく連続的運転が行われる傾向にあるため、最大負荷が発生する時間帯が概ね固定されていることが一因と考えられる。

(3) 空調熱負荷の確率特性

15年分の気象データを用いた TUD-PS による数値計算は、気象条件の確率性のみならず居住者の生活スケジュールに基因する内部発熱や空調運転のスケジュール等々評価出来る全ての要因の確率性を忠実に再現した悉皆的モンテカルロシミュレーションと位置づけることができる。そこで、住戸条件、居住世帯条件の異なる計 672 ケースを対象とした数値実験で得られた負荷生データを用いて、空調負荷の確率性状について検討を行

った。その結果、各ケースに対し平均値で基準化した全熱負荷の確率密度分布が住戸条件や家族構成の違いによらず概ね普遍的な傾向を示し、LDK における暖冷房の基準化全熱負荷の確率密度がアールン分布で近似できることを明らかにした (上図)。

(4) 複数住戸系への拡張

複数住戸が集積された住棟、街区における熱、電気、ガスのデマンド予測はコジエネや市域冷暖房などのインフラ設計において重要である。そこで、コードを複数住戸計算に拡張し、100戸からなる集合住宅1棟を対象としたシミュレーションを行い、電力・給湯の住棟セントラル化による最大デマンド削減効果について検討した。

以上に加え、これまでの研究成果および生活スケジュールデータを研究室のwebページにて公開した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 8 件, 査読有)

- ① 谷本潤, 萩島理 (2011) 住棟・街区など多住戸系への適用を前提にした居住者の生活スケジュールの多様性を考慮した包括的ユーティリティデマンド予測手法, 日本建築学会環境系論文集 Vol.76 (660),

- pp.141-149
- ② 谷本潤, 萩島理, 諫山由紀子, 岩井雄志 (2010) 居住者の生活スケジュールの多様性を考慮した包括的ユーティリティデマンド予測手法を適用した集合住宅における熱負荷特性に関する検討, 空気調和・衛生工学会論文集, Vol.161, pp. 35-40
 - ③ J Tanimoto, A Hagishima (2010) Total Utility Demand Prediction System for dwellings based on stochastic processes of actual inhabitants, Journal of Building Performance Simulation Vol.3, pp.155-167
 - ④ 谷本潤, 萩島理, 岩井雄志, 諫山由紀子 (2009) 居住者の生活スケジュールの多様性を考慮した包括的ユーティリティデマンド予測手法の構築, 日本建築学会環境系論文集, Vol.74, pp.579-586
 - ⑤ 岩井雄志, 谷本潤, 相良博喜, 萩島理 (2008), エネルギー計算に用いる生活スケジュールに関する研究 第8報-2005年度版データに基づく生活スケジュールデータの生成, 空気調和・衛生工学会論文集, Vol.136, pp.43-46
 - ⑥ J Tanimoto, A Hagishima, H Sagara (2008) Validation of Methodology for Utility Demand Prediction Considering Actual Variations in Inhabitant Behavior Schedules, Journal of Building Performance Simulation, Vol.1(1), pp.1-12
 - ⑦ J Tanimoto, A Hagishima, H Sagara (2008) A methodology for peak energy requirement considering actual variation of occupants' behavior schedules, Building and Environment, Vol.43(4), pp.610-619
 - ⑧ J Tanimoto, A Hagishima, H Sagara (2008) Validation of Probabilistic Methodology for Generating Actual Inhabitants' Behavior Schedules for Accurate Prediction of Maximum Energy Requirements, Energy and Buildings, Vol.40, pp.316-322

〔学会発表〕(計3件)

- ① 諫山由紀子, 岩井雄志, 谷本潤, 萩島理, 居住者生活スケジュールの多様性を考慮した熱負荷予測手法を用いた基礎的検討, 日本建築学会学術講演梗概集, 2010.9.10, 富山大学
- ② 諫山由紀子, 岩井雄志, 谷本潤, 萩島理, 居住者生活スケジュールの多様性を考慮した熱負荷予測手法を用いた基礎的検討, 日本建築学会学術講演梗概集, 2009.8.28, 東北大学
- ③ 岩井雄志, 谷本潤, 萩島理, 居住者の生活スケジュールの多様性を考慮したユーティリティデマンド予測に関する研究

第1報 手法の概要と集合住宅モデルケースの検討, 日本建築学会学術講演梗概集, 2008.9.19, 広島大学

〔その他〕

ホームページ

<http://ktlabo.cm.kyushu-u.ac.jp/j/software/tud-ps.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

萩島 理 (HAGISHIMA AYA)

九州大学・大学院総合理工学研究院・准教授

研究者番号: 60294980