

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 14 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560716

研究課題名(和文) 居住者行動の確率変動を考慮したユーティリティデマンド予測モデル構築とシナリオ分析

研究課題名(英文) Development of a numerical model for utility demand prediction considering stochastic nature of occupants behavior and scenario analysis

研究代表者

萩島 理 (Hagishima, Aya)

九州大学・総合理工学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60294980

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：建築の運用段階でのエネルギー消費とCO2排出量の削減に対し有力視される家庭用コジェネの普及のためには、熱電需要を時系列特性が重要となる。これに対し、個人の日々変動する生活スケジュールに対応した内部発熱と在室状況に応じた確率的な空調発停行為を考慮した熱負荷計算に基づく住居系ユーティリティデマンド確率予測モデルTUD-PSに関して、その精度と汎用性の向上のための抜本的なリバイズを行った。また、リバイズしたコードを用いた系統的な数値実験により、省エネルギーのための種々のシナリオの効果を定量的に明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Accurate demand prediction of electricity, space cooling/heating and hot water is critical for dissimilating high-performance cogeneration systems in the housing sector. This research aims to contribute to this social requirement by improving a numerical modelling scheme, TUD-PS (Total Utility Demand Prediction System). Through this research projects, we have revised TUD-PS to improve its accuracy and versatility. The main activity can be summarized as follows. 1) Improvement of the state transition probability functions for occupants' behavior of A/C operation and window-open/close, 2) dynamic modelling of COP of A/C, 3) structuring main source code. Furthermore, we conducted a systematic numerical experiment by using the revised TUD-PS to quantify the effects of various factors of both eco-friendly behaviors and building specifications on thermal load.

研究分野：建築環境

キーワード：空調負荷 エネルギー需要予測 省エネルギー

1. 研究開始当初の背景

ここ数年来、地球温暖化に対応した低炭素社会の達成のため、建築物の運用段階でのエネルギー消費と CO₂ 排出量の削減のため、電力と熱の需要が同時に発生する住宅系建物において家庭用コージェネレーションシステム(H-CGS)の普及による総合効率向上に大きな期待が寄せられてきた。こうした状況に対して、高い総合効率のシステムを構築するためには、2次側の電力、ガス、熱、水等々のユーティリティデマンド高精度かつ高時間解像度で把握し、ベストな要素機器構成、設計法、運用プロトコルを構築することが重要な技術的課題となる。

しかし、住宅における冷暖房を主とするエネルギー消費の予測手法は従来、想定した建物に対し目的に応じて入力条件である気象データを使い分け(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)、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った。この際、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は、ある標準的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。

しかし、事業系建物とは異なり現実の住宅系建物における冷暖房や給湯・給水などの運用は日々確率的に変動する居住者の生活パターンや在室スケジュールの影響を受けるため、こうした固定スケジュールに基づく時系列デマンドの推算は誤差を生じることが避けられない。また、複数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際にも、実態に比べ過大な見積もりとなるため、システム設計の段階における大きな問題であった。

筆者らは上記のような状況に対しこれまで、各個人の生活スケジュールの多様性に関して、同一世帯における日々の変動、独身、高齢者、多人数家族といった世帯属性による違い、平日・土日による違い等を考慮し、エージェントベースで多数サンプルの生活スケジュールを確率的に発生させる手法を提示してきた。

2. 研究の目的

前述の状況に対し本研究は、昨今の社会情勢、即ち、少子高齢化、国や地方公共団体の財政悪化、長期的な経済の低迷に加え、3.11の東日本大震災により、今後長期的には国内の社会基盤の新規整備のみならず現下ストックの維持にも支障を来す可能性も否定しえない、という懸念に対し、地球環境の保全のみならず国や自治体そのものの「サステナビリティ」を意識し長期的包括的な視点での都市環境設備の計画策定を行う場面において TUD-PS を最大限に応用できるようにすべく抜本的なリバイズを施そうというものである。

3. 研究の方法

TUD-PS に関して、その精度と汎用性の向上のための以下の点について、抜本的なリバイズを行った。

(1) 空調発停行動モデルの改良

TUD-PS では、住戸ごとに各居住者の生活行動スケジュールが 15 分時間分解能で確率生成され、これに冷暖房の off on の状態遷移確率を重畳することで室側の熱負荷が求められる。

確率生成された生活行動スケジュールの妥当性については、NHK データとの比較検証、室内の家電によるエネルギー消費量、水使用量などの時系列変動についての比較検証を行ってきたが、空調使用に関しては、十分な検証が行われてこなかった。そこで、今回は、既往研究における夏季と冬季の空調使用期間、および 1 日当たりの空調運転時間のデータに対し、TUD-PS の予測値との比較を行い、状態遷移確率に含まれるパラメータのチューニングを行った。

(2) 窓開閉行動モデルのリバイズ

これまで、外気条件によっては確定的に開閉行動が生じると取り扱ってきたモデルを、外気温度条件に応じた確率的な窓開閉行動が発生するようにモデルを改良した。また、窓開けの際の換気量について、当初計画では外界の風速条件に応じて可変とするようにモデルの変更を計画していたが、計算負荷の増大が無視し得ないため、残念ながら見送る事とした。

(3) 空調 COP、内部発熱サブモデル改良

近年の研究成果を反映し、外気温度、室温、負荷に応じて動的に COP を変化させるサブモデルを組み込んだ。また、多数住戸のアンサンブル平均を行う際には、家電機器の普及率や性能のバラツキに応じて、住戸の設定条件を確率的に変化させるようサブモデルを作成した。

(4) TUD-PS 本体コードの構造化(H.26年度)

10年弱に渡り、複数の学生により改変が施されてきた TUD-PS コードは、main program 部分が長く、全体構造が分かりにくくなっていたため、処理の大半を subroutine 化することで、ハンドリングを容易にするように、大幅に書き換えを行った。

以上のリバイズを施した TUD-PS を用いて、系統的な数値実験を行い、建物条件、世帯構成、空調設定温度、カーテン開閉の省エネ効果に関する定量化を行った。

4. 研究成果

居住者の省エネ行動として表-1 に示す通り空調設定温度およびカーテンの開閉を取り上げ、様々な住戸、家族構成において冷暖房負荷に与える影響を評価することを目的として表-2 に示す計算条件にてリバイズ後

項目	水準
冷房設定温度	25, 26, 27, 28, 29
暖房設定温度	18, 20, 21, 22, 24
カーテン	default(在室時のみ開), 常時開, 常時閉

ハッチをかけた条件を標準としている

項目	水準
階数	最上階, 中間階
断熱仕様	標準(断熱材厚さ 50mm), 無断熱
世帯構成	#5; 勤め人男, 勤め人女, 小学生 1 #6; 勤め人男, 主婦, 中学生, 小学生 1 #8; 勤め人男, 主婦, 高齢女, 小学生 3 #9; 高齢男, 高齢女 #12; 勤め人男

ハッチをかけた条件を標準としている

の TUD-PS を用い計 30 ケースの熱負荷計算を行った。なお、外界気象条件として 15 年間(1981~1995 年)の拡張 AMeDAS 東京の生データを用いている。

(1) 空調設定温度の効果

図-1(a), (b) に標準住戸条件(中間階標準断熱), 家族タイプ#6(勤め人男, 主婦, 中学生, 小学生の 4 人家族)について, エアコン設定温度の変更に伴う年間空調運転時間, TAC2.5, 年間負荷積算値, 負荷平均値の変化率を示す。冷房, 暖房ともに年間負荷の変化率が最も大きく, 次いで運転時間, 負荷平均値, TAC2.5 の順となっていることから, 設定温度の調整に伴う負荷積算値の変化の主要因は空調運転時間が変化することであることが分かる。また, 冷房設定温度の+1 上昇と暖房設定温度-1 低下を比べると, 年間負荷に対する影響は前者が大きいのは, 設定温度と外気温との温度差の違いによるものであろう。暖冷房ともに TAC2.5 に対する空調設定温度の影響が他の統計値に比べ小さいのは, 空調されていない無人の部屋に入室した直後の空調立ち上がりにおいて躯体蓄熱が負荷に与える影響が大きいためであろう。この傾向は冷房において特に顕著であり, 空調設定温度調整によるピークデマンド削減効果は, 年間積算負荷削減効果に比べかなり小さくなる, と言える。

次に, 標準住戸条件(中間階標準断熱)における 3 種類の世帯構成に関して, 設定温度変更による年間延運転時間の変化率を図-1(c), (d)に, 設定温度変更による年間負荷積算値の変化率を図-1(e), (f)にそれぞれ示す。冷房に関しては, 男性の単身世帯(家族タイプ#12)で空調運転時間および負荷の変化率が他の世帯構成に比べ大きくなっているのに対して, 暖房では 6 人家族(家族タイプ#8)の変化率が最も大きく単身世帯(家族タイプ#12)の変化率が最も小さく冷房とは逆の傾向を示している。これは, 空調 OFF ON の状態遷移確率の説明変数となる室内グローブ温

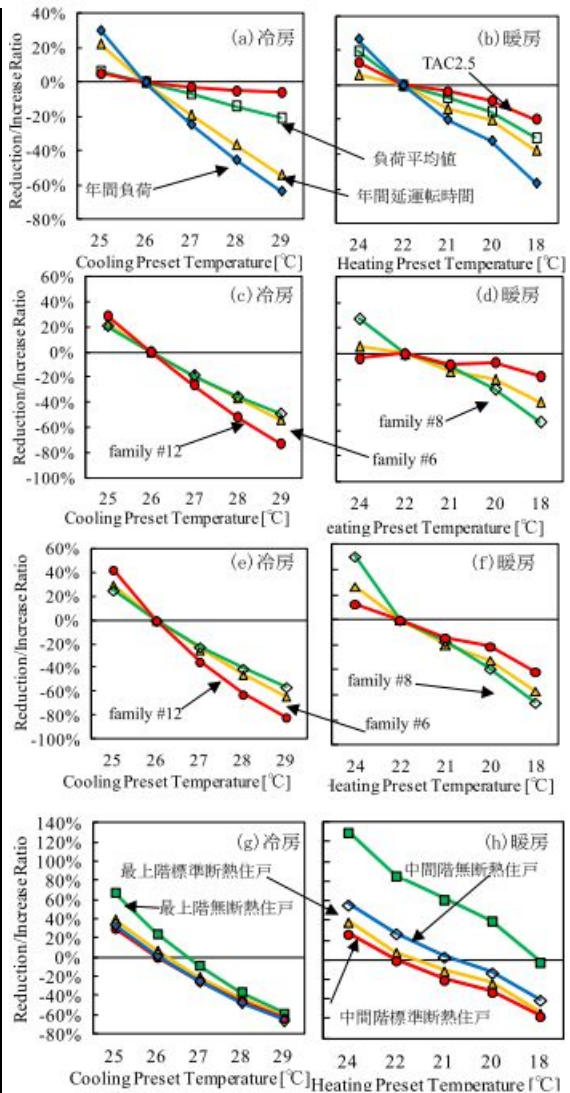


図 1 空調設定温度が空調負荷および空調運転に及ぼす影響。(a)(b): 標準住戸条件(中間階標準断熱)の家族タイプ#6における TAC2.5, 負荷平均値, 空調運転時間, 年間積算負荷の空調設定温度による変化率。(c)(d): 標準住戸条件における年間延運転時間の空調設定温度による変化率の家族タイプによる比較。(e)(f): 標準住戸条件における年間冷暖房負荷の空調設定温度による変化率の家族タイプによる比較。(g)(h): 家族タイプ#6 の年間冷暖房負荷の空調設定温度による変化率の住戸条件による比較。

度と空調設定温度の温度差 T が概して夏期は小さく冬期は負に大きいことが要因の一つと考えられる。即ち T が 10 を超えるような時間帯が少ないであろう夏期については, T が 0 付近から空調 OFF ON の状態遷移確率が急激に立ち上がる単身世帯では複数人世帯に比べ空調設定温度の影響がより鋭敏となる。一方, 外気温が低い冬期では T が 5 を下回ると単身世帯の空調 OFF ON の状態遷移確率は 1 に達するのに対して, 複数人世帯では T が 0 から 10 程度までは状態遷移確率は勾配を有している事から結果として空調設定温度を数上下させる事による空調使用時間や負荷への響は複数人世帯の方が大きくなったのであろう。

次に, 家族タイプ#6 について年間負荷の

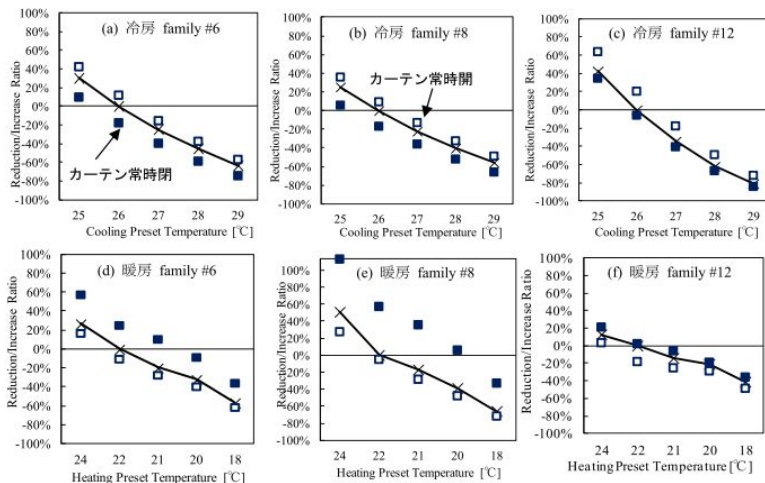


図-2 標準住戸（中間階標準断熱）において空調設定温度とカーテン開閉行動が年間空調負荷に及ぼす影響。縦軸は標準設定温度且つカーテン開閉 default 設定条件における負荷に対する増減率。直線プロットはカーテン開閉 default 設定、プロットはカーテンを常に閉じた条件、プロットはカーテンを日中常に開けた条件である。

空調設定温度に対する感度の住戸条件による比較を図-1 (g), (h)に示す。冷房に比べ暖房における住戸条件の影響が大きいのは、冬季の貫流熱損失が大きい事に起因する。また、同じ中間階住戸では無断熱の場合には暖房設定温度を1~2 高くしたのとはほぼ同等の影響があることが分かる。

(2) カーテン開閉の重畳効果

標準住戸（中間階標準断熱）において空調設定温度とカーテン開閉行動が年間空調負荷に及ぼす影響を図-2 に示す。居住者の在室の如何に依らずカーテンを常時開もしくは閉とした極端な二条件間の比較を行うと、冷房に比べ暖房において両者の差が大きくなっている。これは、南に面する LDK を対象とした解析であるため、夏期に比べ冬季に日射遮蔽の有無が負荷に与える影響が大きくなるためである。また、暖房については6 人家族の#8 が最もカーテンの開閉による負荷の変化が大きく、次いで4 人家族の#6、単身世帯の#12 の順となっているのは、世帯人数が多いほど昼間の在室時間が長いこと日射取得が負荷に与える影響が大きくなるためであろう。

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 2 件)

萩島理，谷本潤，池谷直樹，藤原優也，居住者の生活スケジュールの多様性を考慮した負荷計算に基づく省エネ行動の評価，空気調和衛生学会論文集，205,17-24,2014.04.

萩島理，池谷直樹，谷本潤，光安清次郎，生活スケジュールの多様性を考慮した負荷計算に基づく集合住宅の熱負荷の確率密度関数，空気調和・衛生工学会論文集，184, 11-18, 2012.07

〔学会発表〕(計 3 件)

深見亮介，萩島理，谷本潤，池谷直樹，住宅における冷房使用行動の確率性状に関する考察，2015年日本建築学会大会 学術講演会 2015.9.4-9.6

N.F. Mat Hanip，S.A Zaki，Aya Hagishima，Jun Tanimoto，M.S.M Ali，Occupant Behavior Related to Space Cooling in a High Rise Residential Building Located in a Tropical Region，Proceedings of the 2nd Asia Conference of International Building Performance Simulation Association, 673-681, 2014.11.

Hagishima,A.，Tanimoto, J.，Ikegaya, N.，Mitsuyasu, S.，Stochastic characteristics of thermal load in a single dwelling in a residential building based on building energy simulation coupled with a sub-model for considering variation in behavior schedules of residents, 13th International Conference of the International Building Performance Simulation Association, 2013.8.25, Chambery, France

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

萩島 理 (HAGISHIMA, Aya)

研究者番号：60294980

(2)研究分担者

谷本 潤 (TANIMOTO, Jun)

研究者番号：60227238

池谷 直樹 (IKEGAYA, Naoki)

研究者番号：70628213