

日積算給湯消費量の予測に関する研究

正会員 ○近藤 修平* 同 銚井 修一**

4. 環境工学 8. 熱 g.蓄熱

給湯消費量, 時系列, 予測, 自己回帰モデル

1. はじめに

蓄熱槽を持つ給湯システム（例えば、自然冷媒式ヒートポンプ給湯器）では、翌日の負荷を予測し、料金が安価な深夜電力を利用して蓄熱し、低コスト運転を行っている。長谷川ら[1]は、集合住宅における給湯使用量合計に対して時系列予測を提案しているが、日本の戸建住宅では、住宅毎に給湯器が設置されるため、個々の住宅における給湯使用の予測が必要となってくる。

戸建住宅の給湯使用量の予測手法としては、森本ら[2]は、前日と1週間前の使用量に重み付けをして線形加算することにより、当日の電力や給湯の使用量予測を行うことを提案している。

本報告では、関西地区を中心として測定した10軒の住宅における給湯測定データをもとに、給湯消費量の予測手法を提案する。

2. 実測住宅の概要

表1に示す住宅を対象に測定を行った。測定期間は基本的に1年以上としたが、モニター04は途中で引越しを行ったので、測定期間は5ヶ月程となった。また、モニター06は同一市内で集合住宅から戸建住宅へ引越しを行っている。モニター06（前期）を除き、基本的に戸建住宅で、2～4人で構成される住宅を選定した。

表1 モニターの概要

モニター番号	所在地	給湯システム	住宅形態	測定期間
1	兵庫県姫路市	C02HP	戸建	05/Jan~06/Mar
2	滋賀県大津市	ガス給湯器	戸建	04/Nov~06/Dec
3	兵庫県姫路市	電気温水器	戸建	06/Jul~08/Mar
4	大阪府池田市	ガス給湯器	戸建	06/Jul~06/Nov
5	大阪府箕面市	ガス給湯器	戸建	06/Aug~08/Feb
06 (前期)	神奈川県藤沢市	ガス給湯器	集合	06/Nov~07/Dec
06 (後期)	神奈川県藤沢市	ガス給湯器	戸建	08/Jan~08/Sep
7	兵庫県川西市	C02HP	戸建	06/Oct~08/Feb
8	大阪府守口市	ガス給湯器	戸建	08/Mar~09/Mar
9	千葉県千葉市	ガス給湯器	戸建	08/May~09/Mar
10	兵庫県姫路市	ガス給湯器	戸建	08/Jun~09/Mar

これらの住宅における季節毎のシャワー浴または湯張り浴（以下”入浴スタイル”と呼ぶ）の変化をみると、表2に示すように、一年中シャワー浴が中心のモニター02を除き、夏期はシャワー浴、冬期は湯張り入浴の住宅が多かった。長谷川らのアンケート結果[3]によると、7、8月頃、関西地区で週7回以上湯張りを行う住宅は33%程度であった。本研究における測定住宅（関東地区のモニター06及び09を除き）でも、夏期に週7回以上湯張りを行う住宅は3軒（関西地区の測定住宅における割合は42%）であり、測定住宅の数から判断するとほぼ同程度と言える。

表2 季節別入浴スタイル

モニター番号	季節別入浴スタイル		
	夏期	中間期	冬期
01	シャワー	シャワー	浴槽湯張
02	シャワー	シャワー	シャワー
03	浴槽湯張	浴槽湯張	浴槽湯張
04	シャワー	シャワー	-
05	浴槽湯張	浴槽湯張	浴槽湯張
06	浴槽湯張	浴槽湯張	浴槽湯張
07	シャワー	浴槽湯張	浴槽湯張
08	シャワー	数日間隔浴槽張	数日間隔浴槽張
09	シャワー	浴槽湯張	浴槽湯張
10	浴槽湯張	浴槽湯張	浴槽湯張

3. 給湯使用量予測のための入浴パターン分類

表2に示す各住宅の入浴パターンを、給湯使用量の量的および時間的变化（短期間を含む）の観点から、1. 年間を通じてシャワー浴を基本とし、数日毎に湯張り入浴を行う住宅、2. 季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行う住宅の2種類にパターン分類した。さらに、パターン”2”に属する住宅の給湯使用状況を分析すると、図1に示すような「夜間は季節により湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行うが、日中の給湯使用に曜日依存性のない住宅」と、図2に示すような「夜間は季節により湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行うが、日中の給湯使用に曜

Prediction method of daily hot water supply

Shuhei KONDO and Shuichi Hokoi

日依存性のある住宅」の2種類に分類できることがわかった。結局、本報告では表3に示す3パターンに分類した。本報告では、これら3種類の入浴パターンのうち、季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行う2種類の住宅に対する予測モデルについて検討を行った。

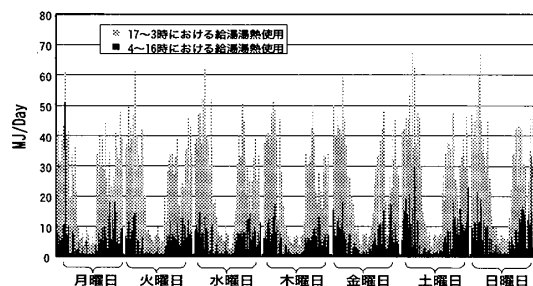


図1 モニター01における曜日別日積算給湯使用量
(2005年1月15日から2006年1月14日)

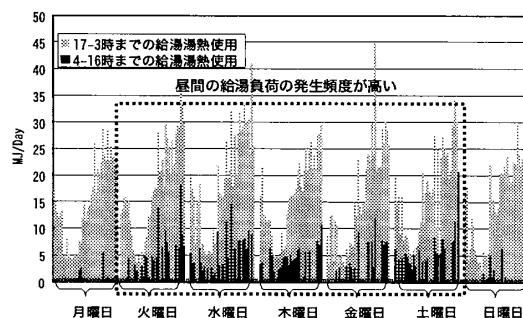


図2 モニター09における曜日別日積算給湯使用量
(2008年5月26日から2009年月25日)

表3 入浴パターン分類

モニター番号	入浴スタイルの変化
01,03,05,07,10	夜間においては季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行うが、日中の給湯使用に曜日依存性のない住宅
06,09	夜間においては季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行うが、日中の給湯使用に曜日依存性のある住宅
02,04,08	年間を通じてシャワー浴を基本とし、数日毎に湯張り入浴を行う住宅

4. 夜間においては季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行うが、日中の給湯使用に曜日依存性のない住宅における日積算給湯使用量の予測

今回の調査対象住宅の半数が、この入浴パターンに分類された。これらのモニターの中で、1年間以上の観測データがあり、欠測が少ないモニター05を対象にして日積算給湯使用量の予測式を作成する。

モニター05の日積算給湯使用量は、夏少なく冬多い

正弦波状の変化をしている(図3)。そこで、2006年8月4日から1年間の日積算給湯使用量からフーリエ級数を求め、フーリエ級数の0次(年平均)及び1次項(1年周期)により、日積算給湯使用量を近似した。

日積算給湯使用量からこのフーリエ級数による近似値を差し引き、季節変動成分(トレンド)を取り除いた時系列の自己相関関数を図4に示す。この時系列が前日の給湯使用と弱い相関をもつことがわかる。

よって、給湯使用量をフーリエ級数によるトレンドと1次の自己回帰モデルAR(1)との和として、式1のように近似する。

$$Q_{(n)} - FT_{(n)} = \alpha(Q_{R(n-1)} - FT_{(n-1)}) + \varepsilon \quad \cdots \text{式1}$$

ただし

$Q_{(n)}$: n日の日積算給湯使用量 [MJ/day]

$FT_{(n)}$: n日のフーリエ級数による近似値 [MJ/day]

α : (=0.22)自己回帰モデル(AR(1))の係数

ε : (平均0[MJ/Day], 分散5.70[(MJ/day)²])の白色雑音 [MJ/day]

この式1を用いて、2007年8月4日以降の給湯データを予測したものを図5に示す。急激な給湯使用がある日を除き、予測値は測定値を比較的良好に再現している。

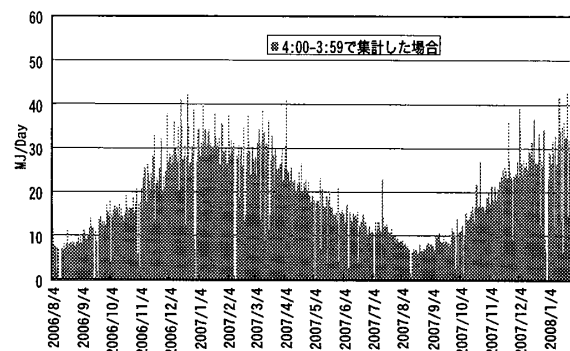


図3 日積算給湯使用量の季節変化(モニター05)

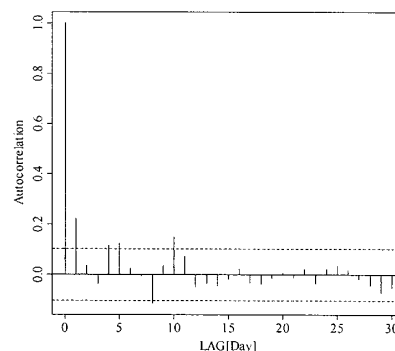


図4 フーリエ級数による季節変動成分を除去した日積算給湯使用量の自己相関関数
(モニター05)

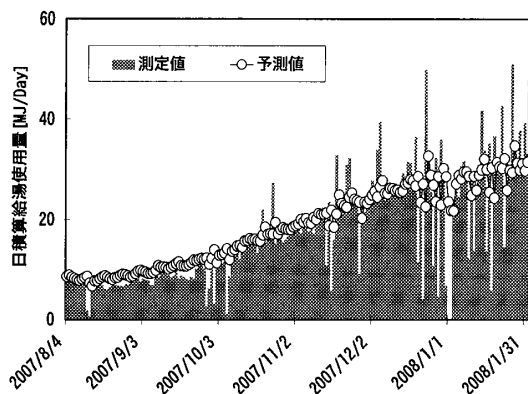


図5 日積算給湯使用量の予測値と測定値の比較
(モニター05)

5. 夜間においては季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行うが、日中の給湯使用に曜日依存性のある住宅における日積算給湯使用量の予測

モニター06および09では、日中の給湯使用に曜日依存性がある。モニター06は1年以上測定を行ったが、測定途中で転居しているので、測定期間が1年以上あるモニター09を対象に給湯負荷モデルを構築する。図2に示すように、日中の給湯使用量は日曜日及び月曜日に少ない。そこで、日中の給湯使用と夜間の給湯使用を2つに分けて予測モデルを検討する。

まず、2008年5月26日から2009年5月25日までの1年間の日中の日積算給湯使用量 $Q_{m(n)}$ から、欠測部分及び土日を中心とした給湯不使用日計90日分の日中の日積算給湯使用量を除いて求めたフーリエ級数の結果を図6に示す。 $Q_{m(n)}$ は、0次・1次及び52次（1週間周期）成分に、ピークを有している。そこで、年変動（トレンド）を0次及び1次項よりなるフーリエ級数 $FT_{(n)}$ により近似した（図7）。 $Q_{m(n)}$ を $FT_{(n)}$ で除した値($Q'_{m(n)}$)を図8に示す。

$$Q'_{m(n)} = Q_{m(n)} / FT_{(n)} \quad \dots \text{式2}$$

この操作により、日中の積算給湯使用に含まれる年周期のトレンドは取り除かれ、測定値は年間を通して1および0の周りに分散している。

次に、 $Q'_{m(n)}$ の曜日別日積算給湯使用量の年平均・季節別平均を図9に示す。 $Q'_{m(n)}$ の曜日別の平均は、季節により多少の違いはあるが、同様の傾向を示している。よって、曜日別平均の年間平均をもとに1週間周期関数 $W_{(n)}$ を定めた。1週間周期を除くために $Q'_{m(n)}$

を曜日別平均 $W_{(n)}$ で除した。結果の値 $Q''_{m(n)}$ の自己相関関数を図10に示す。 $Q''_{m(n)}$ の自己相関は、白色雑音のそれに近い。よって、 $Q''_{m(n)}$ を式3のように表す。

$$Q''_{m(n)} = Q'_{m(n)} / W_{(n)} = 1 + \varepsilon \quad \dots \text{式3}$$

以上より、モニター09の日積算給湯使用量は式4、5により近似的に表現される。

$$Q'_{m(n)} = W_{(n)} * (1 + \varepsilon) \quad \dots \text{式4}$$

$$Q_{m(n)} = Q'_{m(n)} * FT_{(n)} = W_{(n)} * (1 + \varepsilon) * FT_{(n)} \quad \text{式5}$$

ただし

$Q_{m(n)}$: n日の日積算給湯使用量 [MJ/day]

$FT_{(n)}$: n日のフーリエ級数による近似値 [MJ/day]

$Q'_{m(n)}$: n日における日積算給湯使用量 $Q_{m(n)}$ をフーリエ級数による近似値 $FT_{(n)}$ で除した時系列

$W_{(n)}$: 1週間周期関数(年平均に基づく)

ε : 平均0[MJ/day], 分散2.19[(MJ/day)²]の白色雑音 [MJ/day]

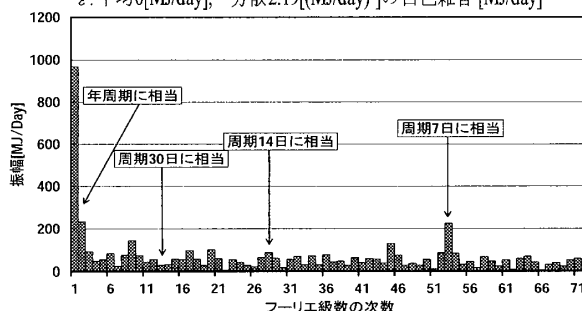


図6 日中の日積算給湯使用量のフーリエ級数成分振幅 (モニター09)

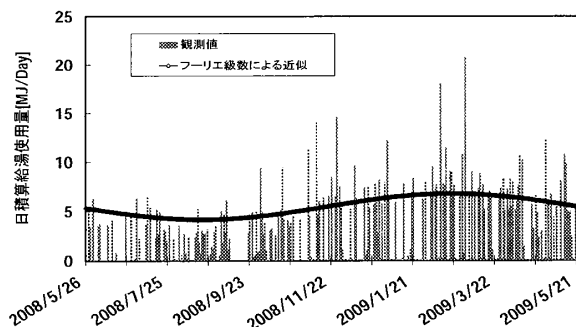


図7 0次及び1次調波による日中の日積算給湯使用量の近似 (モニター09)

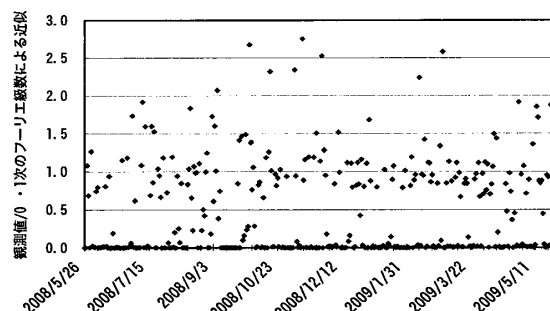


図8 積算給湯使用量をフーリエ級数により除して季節変動成分を除去 (モニター09)

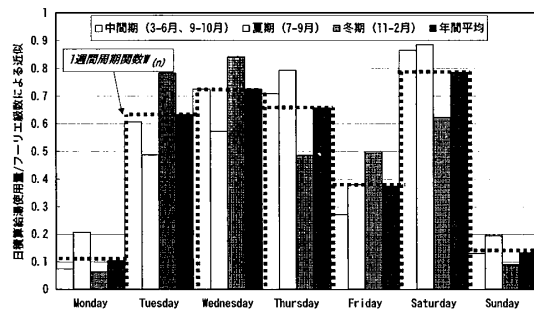


図9 積算給湯使用量/フーリエ級数の曜日別季節別平均
(モニター09)

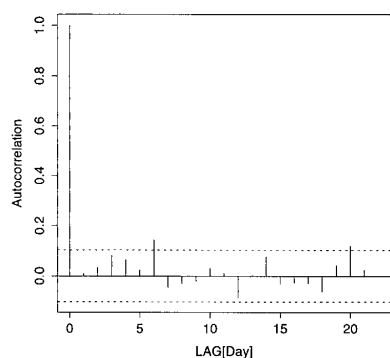


図10 積算給湯使用量/（フーリエ級数による近似・曜日別年平均値）（ $= Q''_{m(n)}$ ）の自己相関(モニター09)

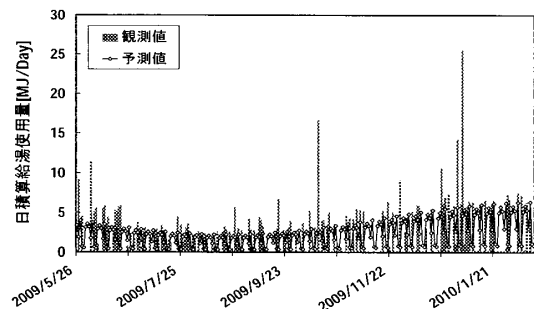


図11 日中の日積算給湯使用量の予測値と測定値の比較 (モニター09)

2008年5月26日～2009年5月25日の日中の積算給湯使用量に基づいて作成したモデルを用いて、2010年5月26日以降の日積算給湯使用量を予測した結果と測定値の比較を図11に示す。予測値は測定値に大略一致しているといえる。

夜間の給湯使用量については、モニター05と同じ手法で予測を行った。結果のみ図12に示す。急激な給湯使用がある日を除き、予測値は比較的良好に測定値を再現している。今回の予測モデル作成には、過去

*関西電力（株）エネルギー利用技術研究所

**京都大学大学院工学研究科 教授、工博

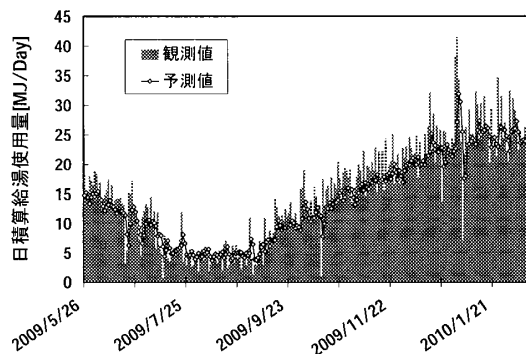


図12 夜間の日積算給湯使用量の予測値と測定値の比較(モニター09)

1年間分の測定データを使用した。よって、1年間分の測定データがない住宅では、測定値を1年周期の正弦波で近似する方法よりトレンドを求めるか、ごく短期間ならば直線で日積算給湯使用量近似により初期の予測を行い、データが取得される毎にモデルの更新を行うことにより、本論文に示した手法で自己回帰モデルを作成できるものと考えられる。

6. まとめ

実測した日積算給湯使用の時系列解析を行った。その結果、今回解析対象とした住宅における日積算給湯使用量は、フーリエ級数によるトレンドと1次の自己回帰モデルAR(1)との和として表現できることを示した。

参考文献

- [1]長谷川巖,市川憲良,紀谷文樹:給水・給湯負荷の計測と時系列解析を用いた時間負荷変動の予測 集合住宅における給水負荷変動の予測に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.494, pp.53-59, 1997年4月
- [2]森本義則, 澤田雄治, 橋野浩樹:コージェネレーションシステムの運転方法及びコージェネレーションシステム, 公開特許公報 (A), 特開 2005-291561, 平成17年10月22日
- [3] 長谷川善明, 井上隆:全国規模アンケートによる住宅内エネルギー消費の実態に関する研究 世帯特性の影響と世帯間のばらつきに関する考察 その1, 日本建築学会環境系論文集, 第583号, pp.23-28, 2004.9

Kansai Electric Power, Inc., Energy Use R&D

Prof, Graduate School of Eng., Kyoto University, Dr. Eng