飲食店舗における給湯負荷の解析

ANALYSIS ON THE LOADS OF HOT WATER SUPPLY DEMANDS IN RESTAURANTS

高田 宏*, 村川 三郎**, 田中 篤***

Hiroshi TAKATA, Saburo MURAKAWA and Atsushi TANAKA

The authors have advanced the development of a calculating method for the time series loads of cold and hot water consumption by the Monte Carlo simulation technique. The purpose of this study is to obtain the fundamental data of the hot water consumption in the restaurants. The measurements of hot water consumption were carried out in 7 restaurants in each season. As for the measurement data, the time series loads of hot water consumption were analyzed. As the results, the relationships between the daily hot water consumption and number of customers were clarified. The fluctuation patterns of the hourly hot water consumption were classified into 3 types by cluster analysis. Finally, by using the measurement data which recorded by the interval of 2 seconds, calculation models of hot water consumption were proposed in each restaurant.

Keywords : Hot Water Supply Demands, Restaurants, Measurement
給湯負荷, 飲食店舗, 実測

1. 序

近年, 世界規模で地球環境保全に向けた取り組みがなされており, 国内でも各分野において, 環境負荷削減を目標とした活動が進められている。地球温暖化要因の4割を占める建築分野¹⁾でも, 持続可能な建築設計・生産システムが求められ, エネルギー消費の少ない設備システムの構築が21世紀初めの課題となっている。建築物の生涯エネルギーの半分以上が, 運用時における建築設備の運転のために費やされている¹⁾現状において, 省エネルギーを考慮した設備設計, 維持管理は負荷削減に向けた対策として重要である。

このような背景のもと, 給排水設備分野のエネルギー消費を考えた場合, 特に給湯システムの負荷の把握が重要である。高効率な給湯設備が開発され, その機器能力を最大限に生かすためには, 最適な機器容量を決定するための正確な給湯負荷の予測が望まれている。建築物の給湯需要の大半は調理・洗浄行為と入浴行為によって発生しており, 住宅における給湯負荷に関しては, 近年, 各研究者の精力的な実測・実験をもとに, 基礎的データが蓄積されつつある^{2, 3)}。しかしながら, 厨房を有する飲食店舗では, 店舗業態によって調理機器の使用状況, 作業内容などが複雑かつ多様であることから, 研究例も少なく, 基礎的データの蓄積が進んでいない状況にある。

そこで筆者らは, 2002年4月から複合商業施設内飲食店舗(21店舗)を対象として, 店舗内厨房の使用水量の測定を行い, 給水負荷の実態を明らかにした⁴⁾。さらに, それらの飲食店舗と, 大量調理型厨房として大学福利施設内食堂を対象に, 時系列的給水負荷を予測するため, モンテカルロ法によるシミュレーションを用いた負

荷算定法を提案している^{5, 6)}。

飲食店舗における給湯負荷に関するデータは, 便覧など^{7, 8)}に原単位として記載されているが, 筆者らが提案している負荷算定法のモデル構築に耐えうる時系列的な基礎的データの蓄積は乏しい。

そこで本研究では, 使用水量の測定を実施した複合商業施設内飲食店舗の中から対象店舗を選定し, 店舗内厨房の使用湯量の測定を実施した。本論文では, 年間4季節に渡る詳細な測定データをもとに, 飲食店舗における給湯負荷の実態を明らかにし, 給湯設備の計画設計に資する基礎的データを蓄積すること, さらに飲食店舗における時系列的な給湯負荷の算定に必要な負荷算定モデルの考え方とモデル構築の方法を提案することを目的とする。

なお, 本論文は, 既発表の論文⁹⁻¹¹⁾をもとに, さらに解析・検討を加え, 再編したものである。

2. 調査概要

2.1 店舗概要

調査対象とした飲食店舗は, 広島県広島市にある複合商業施設内飲食店街の7店舗である。施設は, ホテル(地上33階, 地下2階)と商業施設(地上12階, 地下2階)に分かれ, ホテル, 百貨店, 専門店街などが入店している。複合商業施設の詳細は既報⁴⁾を参照されたい。

表1に調査対象店舗の概要を示す。既報⁴⁾で給水量測定を行った飲食店舗21店舗のうち, 給湯量として厨房内給湯器の補給水量が測定できる7店舗を選出した。

* 広島大学大学院教育学研究科 講師・博士(工学)
** 広島大学大学院工学研究科 教授・工博
*** ㈱竹中工務店 工修

Lecturer, Graduate School of Education, Hiroshima Univ., Dr. Eng.
Prof., Graduate School of Engineering, Hiroshima Univ., Dr. Eng.
TAKENAKA Corporation, M. Eng.

表2に給湯設備の概要を示す。各店舗にはガス瞬間給湯器が設備されており、店舗面積が300m²未満の店舗C, D, K, Nでは、それぞれ1台の給湯器から厨房内の給湯栓、食器洗浄機に給湯している。店舗F, I, Jには給湯器が複数あり、食器洗浄機1台につき、給湯器1台が追加して設備されている。なお、店舗Kには給茶用の給湯器が別途に1台設置されているが、給茶専用のため給湯量の測定からは除外している。

表3に各店舗の食器洗浄機の概要を示す。店舗Fにはラックコンベア型洗浄機が、そのほかの店舗にはドアタイプ型洗浄機が設備されている。各洗浄機では給湯器からの湯をブースターで再加熱して利用している。

表1 調査対象店舗の概要

店舗	業態	店舗面積 [m ²]	厨房面積 [m ²]	席数 [席]	厨房 比率
C	和食	279.3	84	142	0.30
D	海鮮どんぶり	66.5	13	31	0.20
F	中華料理	472.9	100	275	0.21
I	バイキング	781.9	170	164	0.22
J	韓国風鉄鍋	330.4	79	116	0.24
K	焼肉	165.4	77	105	0.46
N	寿司	115.7	73	72	0.63

表2 給湯設備の概要

店舗	ガス瞬間給湯器			
	号数	台数	名称	給湯系統
C	16号	1	給湯器C	店舗全体
D	16号	1	給湯器D	店舗全体
F	20号	2	給湯器F1	給湯栓(シンク)
			給湯器F2	洗浄機+給湯栓(シンク)
I	16号	2	給湯器I1	給湯栓(シンク)
			給湯器I2	洗浄機
	24号	1	給湯器I3	洗浄機+給湯栓(シンク)
J	16号	2	給湯器J1	洗浄機
			給湯器J2	給湯栓(シンク)
K	16号	1	給湯器K	店舗全体
N	8号	1	給湯器N	店舗全体

表3 食器洗浄機の概要

店舗	食器洗浄機					
	型式	洗浄		すすぎ		台数
		時間 [sec]	タンク容量 [L]	時間 [sec]	使用水量 [L/回]	
C	ドアタイプ	45	50	7	5	1
D	ドアタイプ	55	28	7	4	1
F	ラックコンベア	-	120	-	6	1
I	ドアタイプ	40	63	12	7	2
J	ドアタイプ	45	30	11	4	1
K	ドアタイプ	45	30	11	4	1
N	ドアタイプ	23~73	50	12	6	1

2.2 測定概要

給水・給湯量と給水・給湯温度の測定を、2003年12月16日から2004年11月21日まで実施した。表4に測定概要を示す。給水量の測定は既報⁴⁾と同じであり、各店舗の給水管に設置したパルス発信式水道メータからのパルス信号(単位パルス: 10 L/pulse)をロガーで記録した。給湯量の測定は、各店舗内給湯器の補給水配管にパルス発信式水道メータ(無単位パルス: 0.031 L/pulse)を設置し、同様の測定を行った。ここで、給水量と給湯量の最小流量単位が異なるが、本論文で分析している1日あたり給水・給湯量の取扱いに際しては、使用量が1[m³/d]以上といった値から判断して、流量単位の差異による影響は無いものと考えている。給湯温度の測定は、各給湯器の出湯配管に温度センサーを取り付け、給湯温度を温度ロガーで記録している。また、給水温度は店舗Fの給水配管1箇所に温度センサーを設置し、代表点として測定している。測定間隔は、各季節の1日のみを2秒間隔で測定し、長期測定では、20秒または60秒間隔で行っている。なお、冬期の2秒間隔の測定は、2003年度に実施できなかったため、2004年12月16日に行っている。また、店舗Nは夏期測定の途中より営業が停止したため、以降の測定は行っていない。

3. 測定データの取扱い

各店舗の給湯器の給湯温度はそれぞれ異なり、店舗によっては給湯器の設定温度を、その使用目的によって頻繁に変更し、常に一定の温度ではない。2秒間隔で測定した給湯温度データをもとに、2秒、20秒、60秒値の頻度分布および累積頻度分布を図1に、店舗Iの給湯器I2を例として示す。測定間隔が2、20、60秒と変化しても、分布傾向に大きな差異はみられない。そこで、各季節における各店舗の60秒間隔の測定データから、非超過確率99%値を各給湯器の給湯温度として採用した。給水温度は、店舗F給湯器F1の補給水配管内に給水されている時の温度を抽出し、1日ごとの最頻値をその日の代表値として採用した。

3. 測定データの取扱い

表5に各季節の給水温度と給湯温度を示す。店舗Iの給湯器I3は、店舗へのヒアリングから、ほとんど使用されていないことを確認したため表記していない。各季節の給湯温度は、給湯器J1の冬期を除き、45~83℃である。各店舗の食器洗浄機では、給湯器から供給された湯を、すすぎ用の給湯温度にブースターで再加熱している。したがって、食器洗浄機では、給湯器からの給湯温度が異なっても、

表4 測定概要

	測定期間	測定項目	測定間隔
冬期	2003年12月16日~2004年1月25日	給水量	2秒
春期	2004年4月20日~2004年5月30日	給湯量	20秒
夏期	2004年7月27日~2004年9月10日	給水温度	60秒
秋期	2004年10月13日~2004年11月21日	給湯温度	60秒

図1 給湯温度の分布(店舗I, 給湯器I2)

表5 各季節の給水温度と給湯温度

	給水温度 [°C]	各店舗給湯器の給湯温度[°C]									
		C	D	F1	F2	I1	I2	J1	J2	K	N
冬期	9.8	50	47	73	62	53	68	29	54	45	54
春期	18.7	53	56	68	65	56	73	50	58	49	54
夏期	24.9	52	55	68	65	53	79	47	48	51	49
秋期	18.1	55	46	66	64	53	83	53	54	46	—

ブースターで昇温するため、給湯量は変化しないことが予想される。一方、シンクでは、従業員が直接湯に触れて作業するため、給湯温度の違いによって、給湯量が変化することが予想される。本論文では、各店舗の給湯量を比較する際に、給湯温度 60℃の湯量に換算して検討するが、換算する際には、洗浄機への給湯量の測定値は、給湯温度に関係なく 60℃で供給されたものとみなして、測定値をそのまま 60℃換算給湯量としている^{註1)}。また、店舗全体あるいはシンク系統に供給している給湯量の測定値は、換算式 (1) を用いて 60℃換算給湯量を算出した。ただし、店舗 D では、ヒアリング調査の結果より、給湯量の大半が洗浄機による使用であることを確認しているため、測定値をそのまま 60℃換算給湯量として分析している。表 6 に各給湯器で測定した給湯量の換算方法を示す。

$$Q_{h60} = Q_h \times (T_h - T_c) / (60 - T_c) \dots\dots\dots (1)$$

Q_{h60} : 60℃換算給湯量 [L]

Q_h : 給湯量 (測定値) [L]

T_h : 給湯温度 [℃] T_c : 給水温度 [℃]

表 6 各店舗給湯器における測定値の 60℃給湯量への換算方法

各店舗給湯器	C	D	F1	F2	I1	I2	J1	J2	K	N
60℃給湯量への換算方法	●	○	●	●	●	○	○	●	●	●
	ここで、●:換算式(1)を用いて60℃換算給湯量を算出。 ○:給湯量の測定値をそのまま60℃換算給湯量とする。									

4. 各店舗の給水・給湯量の分析

図 2 に、給水・給湯量と来客者数の関係について、店舗 D の冬期の一部 (1 月 2 日～1 月 25 日) を例に示す。来客者数が多くなるのは、土曜日と日曜日・祝日 (以降、休日と称する) であり、給水量と給湯量の合計量の変動と来客者数の変動が類似していることがわかる。特に、正月休みと 1 月中旬の 3 連休のピークが顕著である。

次に各店舗の給水・給湯量を検討する前に、前述した給湯量の 60℃換算値について検討を行う。図 3 に店舗 C を例として、各季節の給水・給湯量の測定値と、換算式 (1) を用いて、給湯量を 60℃換算した後の給水・給湯量を示す。各値は各季節の 1 日あたり給水・

図 2 給水・給湯量と来客者数の変動 (店舗 D, 2004 年 1 月)

図 3 給水・給湯量の測定値と 60℃換算値 (店舗 C)

給湯量の平均値である。表 5 で示した給湯温度を用いて 60℃換算しているため、店舗 C の場合、換算値の給湯量のほうが各季節ともに若干少なくなっている。

表 7 に、各店舗の給水・給湯量と給湯割合 (給水量と給湯量の合計に占める給湯量の割合) を、各季節の測定値と 60℃換算値として示す。これより、各店舗の給水・給湯量、給湯割合の測定値と換算値では若干の増減はみられるが、季節変動の傾向は測定値と換算値で顕著な差異はない。また、冬期と夏期の給湯割合について、ほとんどの店舗で夏期に比べ冬期に高い傾向を示すが、店舗 I では逆の傾向を示し、冬期に低く、夏期に高くなっている。店舗 I ではバイキング形式で様々な料理を提供しており、季節によってメニューが変わる。冬期には鍋料理なども提供していることから、給水量の増加が影響していると考えられる。店舗 I を除く 6 店舗の換算値では、冬期の給湯割合は 21.5～42.4%、夏期の給湯割合は 9.1～26.9% の範囲にあり、給水温度の影響による一般的な季節変動の傾向を示していると思われる。

表 7 給水・給湯量、給湯割合の測定値と 60℃換算値

店舗	項目	冬期		春期		夏期		秋期	
		測定値	換算値	測定値	換算値	測定値	換算値	測定値	換算値
C	給水量[L/d]	3644	4329	3413	3775	3678	4078	3531	3792
	給湯量[L/d]	3344	2678	2098	1742	1752	1353	2185	1924
	給湯割合[%]	47.9	38.2	38.1	31.6	32.3	24.9	38.2	33.7
D	給水量[L/d]	1428	1428	1751	1751	2170	2170	1594	1594
	給湯量[L/d]	1052	1052	1093	1093	752	752	1028	1028
	給湯割合[%]	42.4	42.4	38.4	38.4	25.8	25.8	39.2	39.2
F	給水量[L/d]	7995	7825	6554	6473	6084	5990	5207	5154
	給湯量[L/d]	3003	3170	2036	2117	1850	1943	1776	1830
	給湯割合[%]	27.3	28.8	23.7	24.6	23.3	24.5	25.4	26.2
I	給水量[L/d]	18169	18503	14823	15113	8269	8841	13896	14305
	給湯量[L/d]	3746	3412	4531	4250	4406	3834	3740	3333
	給湯割合[%]	17.1	15.6	23.4	21.9	34.8	30.3	21.2	18.9
J	給水量[L/d]	4138	4458	4057	4163	4651	5560	2822	3073
	給湯量[L/d]	3082	2767	2516	2412	2906	2041	2126	1882
	給湯割合[%]	42.7	38.3	38.3	36.7	38.4	26.9	43.0	38.0
K	給水量[L/d]	2704	3166	3058	3441	4411	4722	2160	2483
	給湯量[L/d]	1545	1084	1439	1056	1216	904	963	642
	給湯割合[%]	36.4	25.5	32.0	23.5	21.6	16.1	30.8	20.5
N	給水量[L/d]	3329	3457	4339	4487	4165	4366	—	—
	給湯量[L/d]	1073	944	1020	872	636	437	—	—
	給湯割合[%]	24.4	21.5	19.0	16.3	13.2	9.1	—	—

5. 各店舗の給湯量の分析

5.1 日給湯量の変動

各店舗の給湯量について比較検討するにあたり、以降の分析で示す給湯量は、すべて 60℃換算値を用いている。

表 8 に、各店舗の日給湯量の統計値を季節別に示す。平均値について冬期と夏期で比較するなら、ほとんどの店舗で夏期に減少する傾向がみられるが、店舗 I は夏期のほうが約 400 [L/d] 多くなっている。また、最大値でみるなら、店舗 F の冬期、店舗 I の春期、夏期、店舗 J の冬期、春期に給湯量が多くなっている。これらの店舗は、給湯器を複数台所有していることが共通点として挙げられる。給湯器 1 台で店舗全体に供給している 4 店舗 (店舗 C, D, K, N) における最大値は、店舗 C では冬期に 3456 [L/d]、店舗 K では春期に 2324 [L/d] であり、給湯器を複数台所有する店舗の最大値の半分程度となっている。

表 8 各店舗の日給湯量の統計値

		店舗C 給湯量 [L/d]	店舗D 給湯量 [L/d]	店舗F 給湯量 [L/d]	店舗I 給湯量 [L/d]	店舗J 給湯量 [L/d]	店舗K 給湯量 [L/d]	店舗N 給湯量 [L/d]
冬期	平均値	2754	1052	3308	3412	2812	1084	947
	標準偏差	295	353	731	957	1048	255	177
	最大値	3456	1993	5768	5021	5249	1736	1455
	サンプル数	39	39	39	39	39	39	39
春期	平均値	1776	1093	2117	4326	2443	1056	876
	標準偏差	652	388	654	1112	973	435	173
	最大値	3317	2174	4539	7139	5685	2324	1272
	サンプル数	41	41	41	33	41	41	41
夏期	平均値	1291	752	1943	3839	2126	904	440
	標準偏差	201	167	310	842	586	286	91
	最大値	1754	1174	2616	5480	3907	1565	639
	サンプル数	40	40	45	39	37	41	13
秋期	平均値	1925	1028	1830	3342	1928	644	—
	標準偏差	354	250	319	749	775	167	—
	最大値	2949	1674	2911	4697	3784	1036	—
	サンプル数	40	40	40	40	40	40	—

これら日給湯量の最大値は休日に発生していることが多いことから、平日・土曜日・休日の来客者数と給湯量の関係を図4に示す。来客者数が多くなるほど給湯量も増えていることがわかる。平日・土曜日・休日の全データを用いて店舗ごとに求めた相関係数 r は、店舗Cで $r = 0.511$ とかなり関連がみられ、そのほかの店舗では $r = 0.683 \sim 0.851$ と両者にかかなり強い関連がみられる。また、図より、来客者の増加に対して、給湯量の増加率は若干低減する傾向がみられたため、図中には累乗近似 ($y = a \cdot x^b$) による近似式を示している。係数 a は店舗によって差異がみられ、 $a = 41.8 \sim 346.0$ の値を示す。係数 b は店舗による差異は比較的小さく、 $b = 0.433 \sim 0.567$ の範囲となっている。これらの結果から、飲食店舗の日給湯量は、店舗の規模や給湯器の数、来客者数の大小によって変化することが示唆される。

表9に給湯負荷原単位として、来客者数および店舗面積あたり給湯量を示す。来客者数あたり給湯量の文献値⁸⁾ [$8 \sim 12 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$] と平均値を比較すると、本測定で得られた結果は、店舗Dでは来客者1人あたり 4.0 [L] と少ないが、そのほかの店舗では $8.2 \sim 17.1 \text{ [L}/(\text{人} \cdot \text{d})]$ となっており、店舗C、I、J、Kは文献値を上回っていることがわかる。店舗面積あたり給湯量では、店舗Dは $14.8 \text{ [L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$ とほかの店舗と比べて大きくなっているが、そのほかの店舗は $5 \sim 7 \text{ [L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$ と類似している。店舗面積あたり給湯量の文献値⁸⁾ [$20 \sim 25 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$ と比較すると、本測定によった平均値のほうが全体的に小さい値となっている。

各店舗の給湯量の測定で、店舗F、I、Jのように複数台の給湯器を所有し、洗浄機専用あるいはシンク専用の給湯器がある店舗や、店舗Dのように洗浄機だけで湯を使用する店舗では、洗浄機とシンクそれぞれの系統の日給湯量を把握することができる。図5に、来客者数と洗浄機系統、シンク系統の給湯量の関係を示す。洗浄機系統では、いずれも来客者数の増加に伴い、給湯量も増加しているが、来客者1人あたりの増加量は店舗によって差異がみられ、洗浄機の型式・性能や、洗浄ラックへ食器を入れる量・回数など、洗浄機の使い方による影響が考えられる。また、シンク系統では、店舗I、Jと店舗Fでは、分布に明確な差異がみられる。店舗Iでは、シンク

図4 来客者数と給湯量の関係

表 9 給湯負荷原単位

店舗	来客者1人あたり給湯量[L/(人・d)]				店舗面積あたり給湯量[L/(m ² ・d)]			
	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値
C	14.6	5.8	43.8	6.1	6.9	2.4	12.4	3.3
D	4.0	1.1	7.2	2.0	14.8	4.9	32.7	6.0
F	10.6	3.0	21.1	5.7	4.8	1.7	12.2	2.7
I	17.1	6.5	48.8	8.5	4.7	1.3	9.1	2.3
J	13.7	4.7	30.5	6.2	7.0	2.8	17.2	2.9
K	12.6	5.5	42.6	4.4	5.6	2.1	14.1	1.4
N	8.2	2.4	15.3	3.3	7.3	2.0	12.6	3.0

図5 来客者数と洗浄機系統、シンク系統の給湯量の関係

に湯を貯める際に、貯まった後も湯を流し続けて使用していることをヒアリング調査から確認しており、シンクにおける湯の使い方が洗浄機と同様に影響していることがわかる。

給湯負荷の算定モデルについて、厨房内を洗浄機系統とシンク系統に分けてモデル構築することが考えられるが、前述したように、機器特性や使い方など、店舗特性による差異が大きく、サンプル数も少ないことから、系統別のモデル構築は今後の検討課題とする。

5.2 時間給湯量の変動

各季節の時間給湯量の変動について、店舗C, Dを例として、図6に示す。対象時間帯は7時から24時までの17時間である。図中の値は各測定期間の各時間帯の平均値を17時間合計値で除した使用割合[%]として示している。店舗Cでは、各季節とも午前の準備時間帯、昼食・夕食時間帯に湯の使用が多くなり、閉店前の20時から22時台に1日のピークが現れる。店舗Dでは、12時から14時台の昼食時間帯と夜の20時台の2回にわけてピークが発生しており、時間給湯量の変動傾向は各季節とも概ね類似している。なお、図示は割愛したが、そのほかの店舗においても、時間給湯量の変動パターンに季節による差異はみられなかった。

図7に平日・土曜日・休日の曜日区分による時間給湯量の変動について、店舗C, Dの冬期を例として示す。図6と同じく、縦軸は各時間帯の平均値を17時間合計値で除した使用割合である。これより、店舗C, Dともに、曜日区分によってピーク発生時間帯に若干の差異はみられるが、曜日による時間給湯量の変動パターンは概ね類似し

図6 各季節の時間給湯量の変動(店舗C, D)

図7 各曜日の時間給湯量の変動(店舗C, D, 冬期)

表10 各店舗の時間給湯量の統計値

		店舗C	店舗D	店舗F	店舗I	店舗J	店舗K	店舗N
		給湯量	給湯量	給湯量	給湯量	給湯量	給湯量	給湯量
		[L/h]	[L/h]	[L/h]	[L/h]	[L/h]	[L/h]	[L/h]
冬期	平均値	157.5	61.9	186.5	200.7	162.8	63.7	55.5
	標準偏差	86.6	62.2	155.3	202.9	153.8	63.0	45.6
	最大値	542.9	374.0	888.3	824.2	672.8	327.1	225.7
春期	平均値	102.5	64.3	124.5	250.0	141.9	62.1	51.3
	標準偏差	86.5	61.1	118.4	240.7	150.2	84.7	39.3
	最大値	418.2	304.4	772.8	1044.6	716.6	504.0	230.1
夏期	平均値	75.9	44.3	114.3	225.6	120.1	53.2	25.7
	標準偏差	65.2	38.6	104.5	209.6	102.8	69.9	21.3
	最大値	376.1	188.0	558.2	887.6	498.1	408.9	106.5
秋期	平均値	113.2	60.5	107.6	196.0	110.7	37.7	—
	標準偏差	93.4	51.6	107.0	181.9	106.0	45.6	—
	最大値	552.9	310.4	837.3	827.3	569.5	331.5	—

ていることがわかる。そのほかの店舗でも同じ傾向がみられ、調査対象とした商業施設内の各飲食店舗では、曜日による営業時間、作業工程に大きな差異がないことから、曜日区分による給湯量の平均的な変動パターンは類似したと考えられる。

表10に各店舗の時間給湯量の統計値を季節別に示す。ここで、各季節の平均値は対象時間帯(7~24時)の17時間平均値とし、最大値は測定期間中に1時間あたり給湯量が最大となる、ある1時間の値としている。各店舗の平均値は25.7~250.0[L/h]の範囲にあり、ばらつきが大きい。季節間では、店舗D, Iを除く5店舗で、冬期の1時間あたり平均給湯量が多く、給水温度の影響がみられる。また、給湯器1台で店舗全体に供給している4店舗(店舗C, D, K, N)では、店舗Cが75.9~157.5[L/h]と、ほかの店舗に比べ給湯量が多く、店舗面積が200m²以下の3店舗では、25.7~64.3[L/h]と比較的類似した値となっている。各店舗の時間給湯量の最大値は、各季節の時間平均値の3~6倍程度であるが、店舗Fの秋期、店舗Kの春期・夏期・秋期では7~9倍と差異が大きい。これらの最大値は、食器や調理器具の洗浄をある時間帯に集中して行った場合に発生していると考えられる。

6. 時間給湯量の変動パターンの類型化

時系列的な給湯負荷の算定には、各店舗で特徴を有する作業工程の影響を受ける時間給湯量の出現傾向を類型化することが必要となる。5.2の時間給湯量の分析で、各季節各曜日の変動パターンに大きな差異はないことが確認できていることから、本章では、各店舗の7時から24時までを対象時間帯として、測定期間中の休日における1時間あたり給湯量の変動パターンについて検討する。各時間帯の平均給湯量を17時間合計値で除した使用割合を用い、ワード法によるクラスター分析によった結果、平方ユークリッド距離を10程度とするなら、概ね3分類とすることができる。

図8a)~c)に3分類した各店舗の時間変動パターンを、図8d)に3分類した店舗の各時間値を平均して求めた時間変動パターンをそれぞれ示す。パターンAは、昼と夜に給湯量のピークが現れ、昼のピークが大きいパターンであり、昼食時の来客者数の増加に応じて食器洗浄による湯使用が多くなる店舗Dと、シンクで湯を流し続けて使用する店舗Iが同じパターンに分類されている。パターンBは、

図8 年間休日の給湯量の時間変動パターン

Aと同様に昼と夜に給湯量のピークが現れるが、夜のピークが大きいパターンである。アルコール類の提供により夕食時の来客者の滞在時間が長く、食器を多く使用するため、夜に集中して食器洗浄を行う店舗がパターンBに分類されている。また、パターンCは、朝、昼、夜にピークが現れるパターンである。準備・仕込み段階で湯使用が多い店舗Fが分類されている。負荷算定を行う際には、店舗の特性、勤務形態などから、給湯負荷の大きい時間帯を想定して、図に示したような給湯量の変動パターンを用いることが必要と考える。

7. シミュレーションモデルの検討

飲食店舗における給湯負荷の算定モデルを作成するため、冬期に測定した各店舗の2秒間隔の給湯量をもとに検討を行う。算定モデルとしては、厨房内における湯使用行為1回あたりの「平均吐水時間」、「平均吐水流量」、「各時間帯の利用頻度」を決定する必要がある。

図9に給湯負荷モデルの考え方の概念図を示す。図のように、ある湯使用行為が始まって、吐水が開始されてから停止までの行為(点線の円で囲んでいる区間)を1行為として考える。「湯使用行為1」は吐水時間が6秒、給湯量は0.1[L/2sec]が3回継続しているので吐水流量は0.05[L/sec]となる。このように各湯使用行為の吐水時間と吐水流量を集計し、平均吐水時間、平均吐水流量を求める。さらに、集計した吐水時間と吐水流量の累積頻度分布を、指数分布(Exp.)、超指数分布(Hyp.)、アーラン分布(Erl.)による確率分布として近似す

図9 湯使用行為の考え方(概念図)

図10 吐水時間と吐水流量の分布形

表11 各店舗の給湯負荷算定モデルの提案値

	吐水時間		吐水流量		1回あたり 使用湯量 [L/回]	1日あたり 給湯量 [L/d]	利用 頻度 [回/d]
	平均値 [sec]	分布形	平均値 [L/sec]	分布形			
店舗C	74	Hyp.10	0.10	Erl.5	7.5	2754	368
店舗D	29	Exp.	0.09	Erl.10	2.6	1052	409
店舗F	142	Hyp.2	0.08	Erl.5	10.8	3308	306
給湯器F1	74	Hyp.2	0.12	Erl.15	9.2	827	90
給湯器F2	165	Hyp.2	0.08	Erl.10	12.7	2481	195
店舗I	142	Hyp.3	0.13	Erl.5	18.5	3412	184
給湯器I1	102	Hyp.2	0.14	Erl.20	14.6	2062	141
給湯器I2	107	Erl.5	0.07	Erl.40	7.6	1350	179
店舗J	52	Hyp.2	0.13	Erl.5	6.6	2812	429
給湯器J1	20	Erl.20	0.17	Erl.15	3.3	450	134
給湯器J2	61	Hyp.2	0.10	Erl.10	5.9	2363	399
店舗K	70	Hyp.3	0.12	Erl.20	8.2	1084	133

る。ここで、湯使用行為を集計する際に、吐水時間が極端に短い、あるいは吐水流量が著しく少ない場合は、測定上のノイズの可能性が考えられるため、吐水時間が2秒以下、あるいは吐水流量が0.02[L/sec]以下の行為については、集計から除外している^{注2)}。

図10に、店舗Dを例として、吐水流量と吐水時間の分布形を、表11に各店舗の給湯負荷算定モデルの提案値をそれぞれ示す。表中には、各店舗の給湯負荷算定モデルと、参考値として、系統別に測定している店舗F, I, Jでは、それぞれの給湯器での算定モデルを示している。これより、吐水時間は店舗によってさまざまな分布形となるが、吐水流量はいずれもアーラン分布で近似される。また、洗浄機系統の給湯器I2, J1では、吐水時間もアーラン分布で近似でき、洗浄機の機器性能や使い方によって、ある程度定まった吐水特性を示していることがわかる。各店舗の平均吐水時間と平均吐水流量を乗ずることによって、湯使用行為1回あたり平均使用湯量が算出される。各店舗の湯の1日あたり平均利用頻度は、1日あたり給湯量を行為1回あたり平均使用湯量で除して求めることができる。本研究では、対象店舗のサンプル数の影響もあり、図8、表11に示したように、湯使用行為を店舗全体で捉えて構築した算定モデルを用いて、負荷算定を行うことを考えている。しかしながら、店舗内の湯使用行為を考えると、洗浄行為の占める割合が大きく、機器性能などからモデル化が可能と考えられる洗浄機については、単独のモデルとして別個に考えることも一つの方法といえる。

8. 結語

本研究では、飲食店舗における給水・給湯量の年間4季節の測定データをもとに、給湯負荷の実態を明らかにし、給湯負荷算定に供するシミュレーションモデルの構築について、考え方の一提案を行った。得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- 1) 各店舗の給水・給湯量、給水・給湯温度の測定値から、給湯温度60℃換算時の給水量と給湯量の割合について示した。その結果、店舗によって差異はみられたが、季節間では、冬期の給湯割合が高くなることを明らかにした。
- 2) 各店舗の日給湯量の増減には、来客者数の影響が大きく、両者の関係について、累乗近似による近似式を示した。系統別給湯量と来客者数の関係について検討を行った結果、洗浄機やシンクの使い方など店舗特性による差異が大きいのことを明らかにした。
- 3) 時間給湯量の変動について、各季節各曜日による差異を検討したが、いずれも顕著な差異は無く、類似した変動パターンとなることを明らかにした。
- 4) 年間休日の各店舗の給湯量の時間変動パターンについて、7時から24時までを対象時間帯として、各時間帯の湯使用割合を用い、クラスター分析によって検討した。その結果、給湯量の時間変動パターンは、概ね3分類に類型化することができた。
- 5) 最後に、飲食店舗における給湯負荷算定モデルとして、2秒間隔の測定データをもとに、各店舗の湯使用行為の平均吐水流量、平均吐水時間を算出した。両者の積から行為1回あたり平均使用湯量を求め、1日あたり給湯量を除して、1日の湯の利用頻度を算出した。各店舗の吐水時間、吐水流量の平均値、分布形、1日あたり利用頻度を算出し、シミュレーションモデルの構築について、考え方の一提案を行った。

実際の負荷算定では、1日あたり利用頻度から、給湯量の時間変動パターンを用いて、各時間帯の利用頻度を求めることにより、時系列的な負荷算定が可能となる。本論文では、給湯負荷算定に適用できる算定モデルの考え方、モデル構築の方法について示した。この方法を用いることで、店舗内厨房などの湯使用行為が多様な用途では、筆者らが提案している時系列的な給水・給湯負荷算定法に適用できるモデルが作成できると考えている。なお、今回提案した算定モデルは、実測した店舗それぞれのモデルであり、一般モデルとして適用していくには、さらなるこの種のデータ蓄積を進めて、精度を高めていく必要があると考えている。

謝 辞

本研究は2003年度科学研究費補助金基盤研究(B)(2)、課題番号：13450237(代表：村川三郎)および松下電工株式会社の研究助成金によったことを記す。本研究を進めるにあたり、多大なご協力をいただいたNTT都市開発中国支社の櫻井仁氏を始めとする関係の方々感謝する。また、本研究の分析にあたり、当時、広島大学大学院生の高橋大輔君の協力を得た。ここに記し謝意を表する。

注

- 1) ブースターを備えている洗浄機では、そこへの給湯温度によらず、洗浄機で一定温度まで湯を再加熱するので、食器洗浄に要する熱量は、給湯器と洗浄機が負担することになるが、給湯量としては測定値をそのまま用いるほうが妥当と考えたためである。そして、実際の計画設計における給湯負荷予測が容易に行えるように、本論文で扱っている給湯量の60℃換算値にならって、洗浄機への給湯温度を一律に60℃として扱うこととした。
- 2) 測定間隔が2秒であることから、吐水時間が2秒以下のデータはノイズの可能性があると除外している。また、最小流量単位が0.031[L/pulse]であることから、2秒間に1pulseのみのデータは、60℃換算すると店舗によって若干の差異はあるが、0.02[L/sec]以下の場合と考え、ノイズとして除外している。

参考文献

- 1) 日本建築学会編：地球環境建築のすすめ，彰国社，p.56，2002
- 2) 前 真之・布野裕子・石渡 博・市川憲良・鎌田元康：湯・水消費の季節変動要因についての分析 都市型集合住宅における給湯・給水の消費構造分析と評価方法に関する研究（その1），日本建築学会環境系論文集，No.566，pp.73-80，2003.4
- 3) 田中瑠美ほか7名：住宅における水・湯使用実態に関する研究 その1 世帯構成からみた水・湯使用行為の生活時間特性，日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）D-1，pp.467-468,2005.9
- 4) 村川三郎・西名大作・高田宏・高橋大輔：飲食店舗における給水負荷算定法に関する研究 第1報 レストラン等の店舗特性と日使用水量の解析，空気調和・衛生工学会論文集，No.92，pp.111-120，2004.1，
- 5) 高田宏・村川三郎・西名大作・高橋大輔：飲食店舗における給水負荷算定法に関する研究 第2報 レストラン等の水使用解析に基づく給水負荷の算定，空気調和・衛生工学会論文集，No.96，pp.85-94，2005.1
- 6) 高田宏・村川三郎・西名大作：飲食店舗における給水負荷算定法に関する研究 第3報 大量調理型厨房の水使用解析に基づく給水負荷の算定，空気調和・衛生工学会論文集，No.106，pp.11-20，2006.1
- 7) 空気調和・衛生工学会編：空気調和・衛生工学便覧，第12版，4 給排水衛生設備設計篇，丸善，p.147，1995
- 8) 空気調和・衛生工学会編：給排水・衛生設備計画設計の実務の知識，オーム社，p.81，1995
- 9) 高田宏・村川三郎・西名大作・高橋大輔：飲食店舗における給水・給湯負荷の解析（第1報）（第2報），空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp.17～24，2004.9
- 10) 高田宏・村川三郎・西名大作・田中篤：飲食店舗における給水・給湯負荷の解析（第3報）季節別給湯負荷，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp.1533～1536，2005.8
- 11) 高橋大輔・村川三郎・西名大作・高田宏・田中篤：飲食店舗の給水・給湯負荷算定法に関する研究 その3 商業施設内店舗における給湯負荷の検討，日本建築学会中国支部研究報告集，No.28，pp.509-512，2005.3

(2006年9月7日原稿受理，2007年2月16日採用決定)