

住宅内室温分布の要因分析とその評価方法に関する研究
その2 累積確率を用いた暖房期の室温分布と暖房負荷の評価

正会員 ○羽山広文*1
同 小林直樹*2
同 絵内正道*3
同 菊田弘輝*4
同 渡邊 均*5

温度分布 標準偏差 重回帰分析
累積確率分布 最低基準室温 年間暖房負荷

1. はじめに

地球環境問題の対応、エネルギー単価の高騰を背景に、省エネルギーの必要性は高い。しかし、単なる我慢を強いる暖房設定温度の低下ではなく、健全な室温を確保しながら省エネルギー対策を図ることが望まれる。本報告では、前報¹⁾で示した各種条件と暖房期における室温の標準偏差の関係に加え、最低基準室温の累積確率を用い、各種条件が年間暖房負荷へ与える影響を簡便に評価する方法を提案する。

2. 室温の標準偏差

前報¹⁾では、暖房期における室温分布を実測値を正規分布と見なし、その累積確率分布を平均値 μ [°C] および標準偏差 σ [°C] で概ね表現できることを確認した。この性質を利用し、全国の戸建住宅53戸、集合住宅27戸における室温の実測結果から、建物の熱損失係数 q 値 [W/(m²・K)]、隙間相当面積 c 値 [cm²/m²]、暖房方式(全室・部分)、暖房期平均室温 [°C] を説明変数とし、室温の標準偏差 σ [°C] を得る近似式を作成した(表1)。

3. 最低基準室温の累積確率と平均室温

従来、住宅の暖房負荷を検討するに当たり、平均室温を与条件としているが、同じ平均室温であっても室温のばらつきの大小は居住者にとって大きな差異となる。そこで、最低基準室温 T_0 [°C] を設定しその累積確率 F [-] を用い要求する室内温熱環境を評価することを考える。まず、正規分布の確率分布は次式となる。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\sigma}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right), \quad x = \frac{T_0 - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

正規分布の累積確率分布はWilliams(1946)の近似式を用い、展開すると平均室温 μ は(2)式となり最低基準室温 T_0 に対し標準偏差 σ の $\sqrt{-\frac{\pi}{2} \text{Ln}\{1-(1-2F)^2\}} = k_s$ 倍増減する。

$$\mu = T_0 + \sqrt{-\frac{\pi}{2} \text{Ln}\{1-(1-2F)^2\}} \sigma, \quad F < 0.5$$

$$\mu = T_0 - \sqrt{-\frac{\pi}{2} \text{Ln}\{1-(2F-1)^2\}} \sigma, \quad F \geq 0.5 \quad (2)$$

表1 室温の標準偏差の推定式¹⁾

係数・単位	戸建住宅			集合住宅		
	係数	レンジ		係数	レンジ	
A ₁ 切片[-]	4.79	-	-	4.55	-	-
A ₂ 熱損失係数[W/m ² ・K]	0.15	3.70	1.01	0.11	7.74	0.83
A ₃ 隙間相当面積[cm ² /m ²]	0.06	12.15	0.35	0.50	2.88	0.30
A ₄ 暖房方式(全室[0], 部分[1])	0.81	1	0	0.58	1	0
A ₅ 暖房期平均室温[°C]	-0.15	23.1	14.4	-0.17	21.40	14.60

Attribution Analysis and Evaluation Method of Room Temperature Distribution in Housing Part2 Evaluation of Room Temperature Distribution and Heating Load using Cumulative Distribution Function

標準偏差 σ をパラメータに、最低基準室温 $T_0=17^\circ\text{C}$ 、累積確率 $F=0.1$ を与条件にして算出した累積確率分布を図1に示す。この図から、低基準室温 T_0 およびその累積確率 F を同一とした場合、室温の標準偏差 σ の増加にともない平均室温 μ (累積確率 $F=0.5$ の時の室温) が増大する。

図2に累積確率 F と k_s 値の関係を示す。この図から、累積確率 F の減少にともない、 $\sqrt{-\frac{\pi}{2} \text{Ln}\{1-(1-2F)^2\}} = k_s$ 値は増加し $F < 0.05$ でその傾向が顕著となる。

このことから、最低基準室温の累積確率を室内温熱環境の指標にした場合、室温のばらつきが大きくその標準偏差が大きいほど、また累積確率 F が小さいほど平均室温を高くする必要がある。

4. 年間暖房負荷

年間暖房負荷の簡易な算出方法に暖房度数²⁾を用いる。日平均室内取得熱 H [W/m²] には、室内の内部発熱 H_i [W/m²] と窓からの日射熱 H_s [W/m²] を加え、自然温度差 ΔT [K] を考慮した実効暖房度数 D_{n-n} [K・d] を用い、次式で年間暖房負荷 H_L [Wh/年] が得られる。

$$H_L = 24 q D_{n-n} \quad (3)$$

$$n = \mu - \Delta T = T_0 + \sqrt{-\frac{\pi}{2} \text{Ln}\{1-(1-2F)^2\}} \sigma - \frac{H}{q}, \quad F < 0.5 \quad (4)$$

$$D_{n-n} = a_2 n^2 + a_1 n + a_0 \quad (5)$$

暖房度数には標準年気象データを用い、実効温度差 n (設定温度 - 自然温度差) と暖房度数の関係を図3に示す。簡易に算出するには、任意の n 値での暖

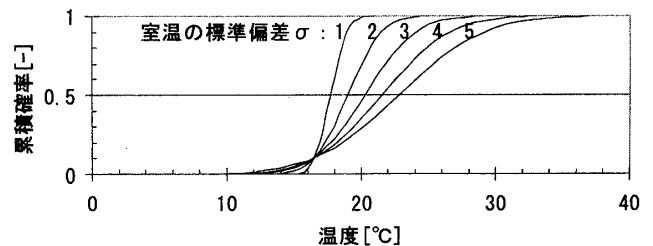


図1 暖房期室温の累積確率分布 (累積確率F=0.1)

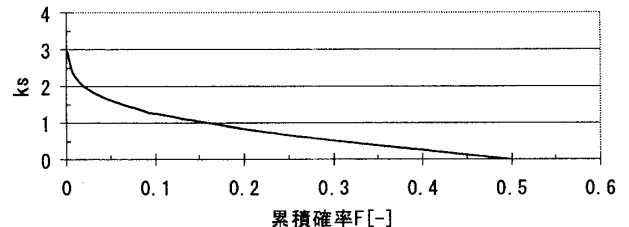


図2 累積確率と k_s 値の関係

Hirofumi HAYAMA, Naoki KOBAYASHI, Masamichi ENAI, Kouki KIKUTA, Hitoshi WATANABE

房度日数が得られると良い。国内6地域におけるn値と暖房日数の関係を2次関数で近似し、その結果を表2に示す。近似式の決定係数R²値は、0.99程度であり、実用的な精度といえる。

5. 累積確率を用いた室温分布と熱負荷の評価

(1) 計算条件：札幌の戸建住宅を対象に、前期の計算方法を用いた検討結果を示す。なお、気密性能をc=2.0[cm²/m²]、最低基準室温T₀を17[°C]、日平均室内取得熱H=10[W/m²]とし、その超過確率F=0.05, 0.1, 0.15の3種類、暖房方式を全室、部分の2種類とした。

(2) 熱損失係数と室温の標準偏差：熱損失係数と室温の標準偏差の関係を図4に示す。この結果、熱損失係数の増加にともない室温の標準偏差は増大する。さらに、最低基準室温の累積確率が大きいほど、また部分暖房の方が室温の標準偏差は大きくなる。

(3) 熱損失係数と平均室温：熱損失係数と平均室温の関係を図5に示す。この結果、熱損失係数の増加にともない、平均室温は増大する。さらに、最低基準室温の累積確率が小さいほど、また部分暖房の方が平均室温は高くなる。これは、室温のばらつきが大きくなると最低基準室温の累積確率の条件を満たすために平均室温が高くなることを意味する。

(4) 熱損失係数と年間暖房負荷：熱損失係数と年間暖房負荷の関係を図6に示す。この結果、熱損失係数の増加にともない、年間暖房負荷が増大する。最低基準室温の累積確率が小さいほどその傾向は顕著となる。一方、低基準室温の累積確率が同じならば、部分暖房の方が全室暖房よりも年間暖房負荷が大きくなる点が興味深い。これは、室温のばらつきを小さくすることが省エネルギーに寄与することを示唆している。

6. まとめ

実測調査の結果から室温のばらつきを推定する近似式を用い、最低基準室温の累積確率を指標に、平均室温、年間暖房負荷を推定する簡易な方法を提案した。低基準室温の累積確率を同じにするならば、室温のばらつきが大きな住戸ほど平均室温が高くなり、暖房負荷が増加する。このため、適正な室温を確保しながら省エネルギーを図るには、室温分布も考慮しながら住宅の熱性能を決定する必要がある。

参考文献

- 1) 小林直樹、羽山広文、絵内正道、菊田弘輝：住宅内室温分布の要因分析とその評価方法に関する研究その1 暖房期における住宅内室温分布推定法の提案，日本建築学会学術講演梗

表2 暖房度日数の近似式

地域	a ₂	a ₁	a ₀
旭川	5.03	111.80	628.89
札幌	5.89	77.92	291.58
盛岡	5.71	105.38	566.26
秋田	6.27	68.70	265.10
仙台	6.18	106.27	474.06
新潟	6.39	76.10	156.92

$$D_{n-n} = a_2 \cdot n^2 + a_1 \cdot n + a_0$$

*1 北海道大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)
 *2 北海道日建設計 修士(工学)
 *3 北海道大学大学院工学研究科 教授・工学博士
 *4 北海道大学大学院工学研究科 助教・博士(工学)
 *5 東京理科大学工学部 准教授・博士(工学)

Associate Prof., Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Dr. Eng. Hokkaido Nikken Sekkei Co.Ltd., M.Eng.
 Prof., Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Dr. Eng.
 Assistant Prof., Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Dr. Eng.
 Associate Prof., Faculty of Engineering Division, Tokyo University of Science, Dr. Eng.

概集, 2008 (広島)
 2) 渡辺要編：建築計画原論III, 丸善株式会社

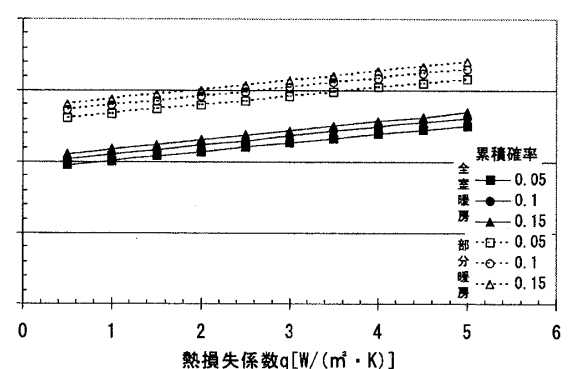
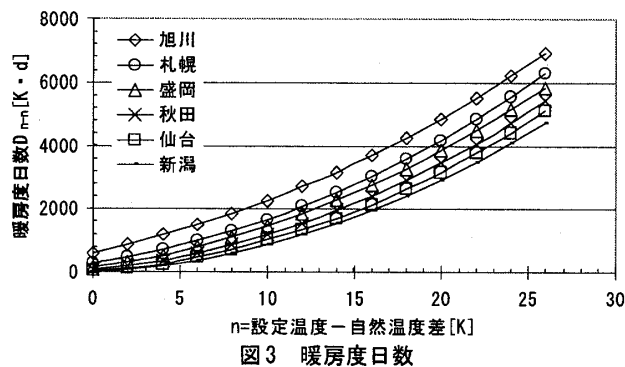


図4 熱損失係数と室温の標準偏差の関係(札幌)

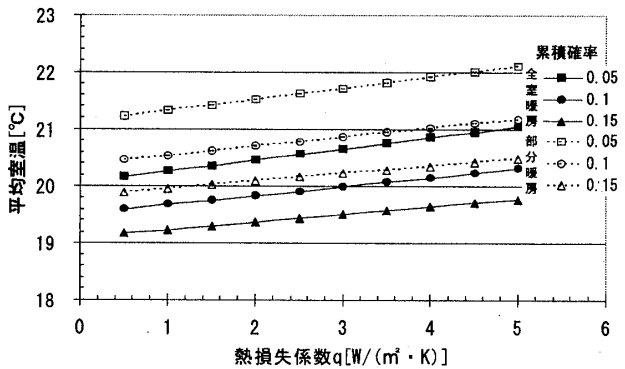


図5 熱損失係数と年平均室温の関係(札幌)

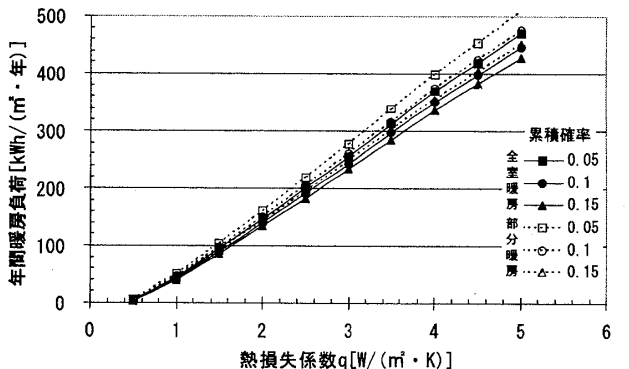


図6 熱損失係数と年間暖房負荷の関係(札幌)