

中国の住宅省エネルギー基準の熱工学的考察と 日中の省エネルギー基準の比較研究

STUDY ON RESIDENTIAL ENERGY EFFICIENCY STANDARDS OF CHINA AND COMPARISON BETWEEN THE STANDARDS OF JAPAN AND CHINA

張 晴 原*, 吉野 博**
Qingyuan ZHANG and Hiroshi YOSHINO

In this paper, the standards for residential energy efficiency of China were studied. Heat loss coefficient and annual heating load of apartment houses in China were calculated, the values of which were compared to that of Japan. The conclusions from this study are: Both the annual heating load and the heat loss coefficients in the Japanese standards are slightly larger than that in the Chinese standards; the standard on heat transfer coefficient in the Japanese standards is the strictest; the air exchange rate is between 0.5 and 1.0 for all these standards.

Keywords: residences, energy efficiency, China, Japan, heating and cooling loads, heat loss coefficient

住宅、省エネルギー、中国、日本、暖冷房負荷、熱損失係数

1. はじめに

近年、中国における急速な経済成長に伴い、国民の生活水準が向上してきている。住宅用暖冷房設備の普及などによってエネルギー消費が著しく増加し、2005年における住宅のエネルギー消費量は総エネルギー消費量の20%を占めている¹⁾。一方、国際的な見地からみれば、中国の住宅温熱環境および住宅のエネルギー消費はまだ低いレベルにあり、2020年までに全国の住宅エネルギー消費量が2000年に比べ倍増するとの予想が出されている²⁾。中国の持続可能な社会システムを構築するために、住宅の省エネルギーに関する技術の開発のみでなく、政策による省エネルギーの推進も不可欠である。

住宅を主とする民用建築の熱環境の改善と省エネルギーを図るために、中国では1980年代から一連の省エネルギー設計基準が制定され、数度にわたって改正され現在に至っている。中国の住宅省エネルギー基準に関する統合的な研究は少ない。Langは中国の住宅省エネルギー基準の現状考察と将来予測を行った³⁾。周らは中国の民用建築の省エネルギー基準の体系を調べた⁴⁾。これらの研究は問題提起と情報提供の意味で重要であるが、各基準の断熱性能とエネルギー消費性能といった熱工学的指標およびそれらの相互関係についての考察がほとんどなされておらず、日中の基準間の関係についても比較・検討の余地がある。

中国の住宅の省エネルギー基準を他の国の基準と比較するとき、次の困難に直面する:①気候条件を表す指標が異なるため、気候条件の近い地域の基準値を比べるときに、「気候条件に近い」の判断ベースがない。例えば、暖房期平均外気温をベースにする基準もあれば、暖房デグリーデーをベースにする基準もある。②断熱基準や暖冷房負荷基準を表す指標が異なるため、直接に比較することはできない。このように異なる基準を比較するために、まずは気候条件を表す指標と断熱性能、エネルギー消費性能を表す指標をそれぞれ統一する必要がある。

本研究では中国の住宅を主とする民用建築省エネルギー基準の体系および熱工学的設計のための気候区分を述べ、採暖地区、夏暑冬寒地区および夏暑冬暖地区における各基準値を調べた。また、日本の住宅の次世代省エネルギー基準⁵⁾と比べるために、中国の各地区の熱損失係数と年間暖房負荷を熱損失指標などの基準値より算出した。さらに、気候条件を表す指標として暖房デグリーデーを用いて中国各地区の年間暖房負荷、熱損失係数、部位別の熱貫流率、室内温湿度、換気回数、暖冷房装置効率などの基準値を日本のそれと比較し、相違点とその原因を明らかにした。

2. 中国の住宅省エネルギー基準の考察

中国では、工業建築以外の建物は民用建築に分類され、民用建

* 筑波技術大学産業情報学科 教授・工博

** 東北大学大学院工学研究科都市建築学専攻 教授・工博

Prof., Dept. of Industrial Information, Tsukuba University of Technology, Dr. Eng.
Prof., Dept. of Architecture, Urban Planning and Building Eng., Graduate School of Eng., Tohoku Univ., Dr. Eng.

築はさらに居住建築と公共建築に分類される。居住建築には住宅とその他の居住建築(寄宿舎、招待所、旅館、幼稚園など)が含まれる。日本の住宅の次世代省エネルギー基準に相当する基準は以下の4つ存在する。①「民用建築熱工設計規範」⁶⁾、②「民用建築省エネルギー設計基準(採暖居住建築部分)」⁷⁾、③「夏暑冬寒地区居住建築省エネルギー設計基準」⁸⁾、④「夏暑冬暖地区居住建築省エネルギー設計基準」⁹⁾。①の対象は民用建築であるが、②～④は居住建築になっている。これらの対象建築物はやや異なるものの、いずれも住宅を主体としているので、本論文では、これらの基準をまとめて住宅の省エネルギー基準という。

2.1 民用建築熱工設計規範

「民用建築熱工設計規範」(以下「規範」と称する)は1993年に制定された国家基準である。対象建築物は住宅のほかに、他の居住建築、公共建築も含まれる。また、対象地域が全国であるため、冬季の保温、夏季の遮熱、建築の熱工学的設計に関する一般原則について述べているが、この規範が制定されてから14年経過しており、現在の技術・経済発展水準にそぐわない条文も含まれている。しかし、この規範で規定している建築熱工学的設計のための地区区分は他の地区別の省エネルギー基準の基礎になっており、その存在価値が大きい。

表1に示すように、規範では最も寒い月の平均気温、または最も暑い月の平均気温を地区区分の主な指標とし、日平均気温が5℃以下の日数、または25℃以上の日数を補助的な指標としている。主な指

標と補助的な指標は「AND」の関係にある。主な指標となる月平均気温と補助的な指標となる一定温度以下(以上)の日数を合わせると暖房デグリーデーまたは冷房デグリーデーを表すことになる。また、建物の年間暖(冷)房負荷はその地域の暖(冷)房デグリーデーと一次的な関係にあるため、表1に示す2つの指標より暖冷房デグリーデーを用いた方が合理的であろうと思われる。そのため、Zhang は暖房デグリーデーおよび冷房デグリーアワーに基づく中国の地域区分

表1 規範における建物の熱工学設計地区区分概要

地区	主な指標	補助的な指標
厳寒地区	最も寒い月の平均気温 $\leq -10^{\circ}\text{C}$	日平均気温が 5°C 以下の日数 ≥ 145 日
寒冷地区	最も寒い月の平均気温 $= -10^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$	日平均気温が 5°C 以下の日数 $= 0 \sim 145$ 日
夏暑冬寒地区	最も寒い月の平均気温 $= 0^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ 、且つ最も暑い月の平均気温 $= 25^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$	日平均気温が 5°C 以下の日数 $= 0 \sim 90$ 日、且つ日平均気温が 25°C 以上の日数 $= 40 \sim 110$ 日
夏暑冬暖地区	最も寒い月の平均気温 $> 10^{\circ}\text{C}$ 、且つ最も暑い月の平均気温 $= 25^{\circ}\text{C} \sim 29^{\circ}\text{C}$	日平均気温が 25°C 以上の日数 $= 100 \sim 200$ 日
温和地区	最も寒い月の平均気温は $0^{\circ}\text{C} \sim 13^{\circ}\text{C}$ 、且つ最も暑い月の平均気温 $= 18^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$	日平均気温が 5°C 以下の日数 $= 0 \sim 90$ 日

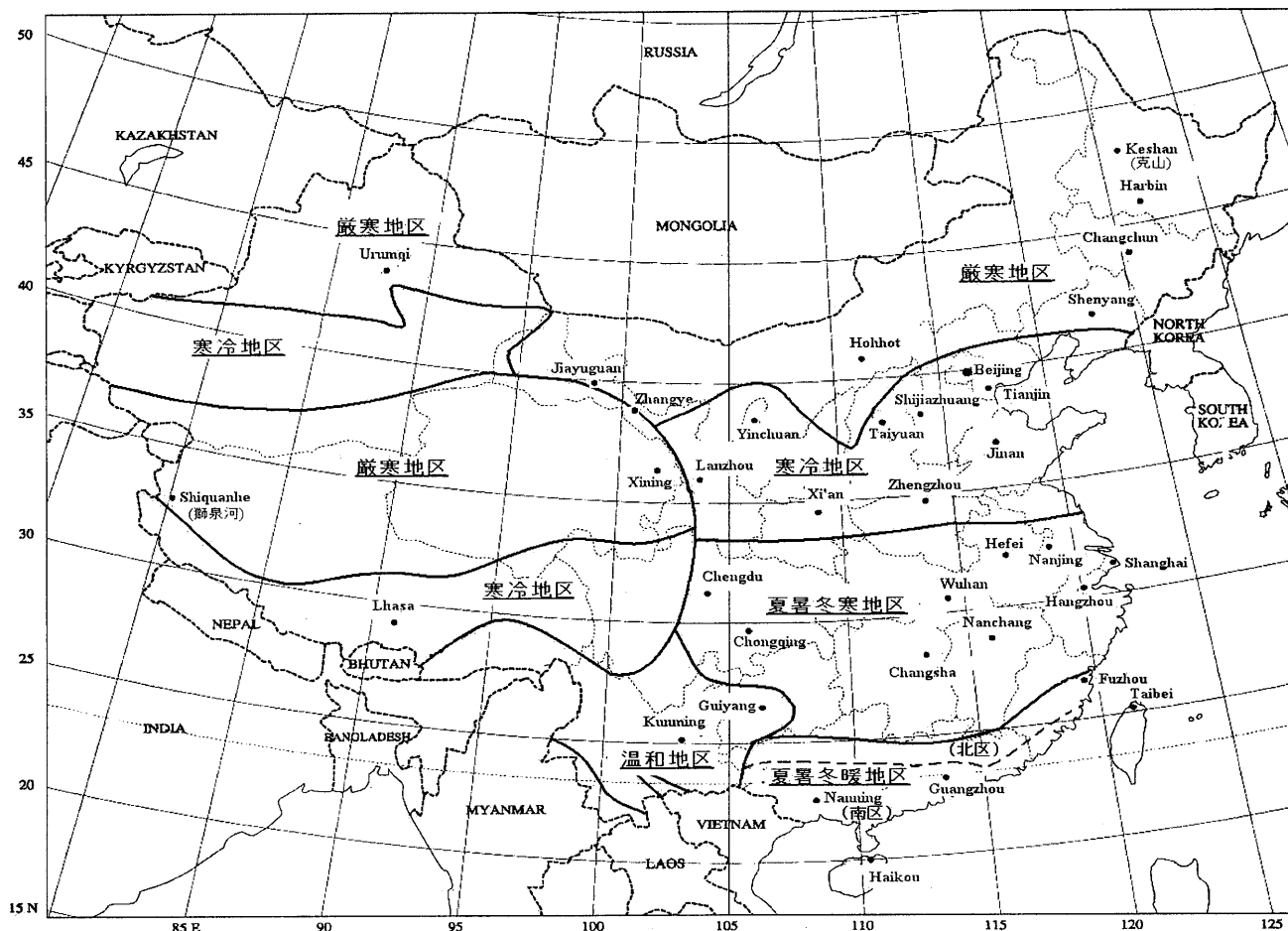


図1 規範による建築の熱工学設計地区区分(筆者らが作図)

を試みた¹⁰⁾。しかし、現行の地区別省エネルギー基準はすべて規範における地区区分に基づいており、本研究でもそれに沿って検討を進める。

規範に示される地区区分は図1に示す。それによれば、中国全土を5つの地区に分類される。地形が比較的平坦な105°E以東では、北から厳寒地区、寒冷地区、夏暑冬寒地区と夏暑冬暖地区の順になっているが、地形の起伏が激しいその以西では、寒冷地区と厳寒地区が交互に位置されている。このことは緯度のみでなく、標高も気候に大きな影響を与えていることを意味する。

上述した建築熱工学的設計のための地区区分、暖冷房のための建築設計に関する一般原則のほかに、規範では構造体(外壁、屋根と開口部)の断熱基準も示されているが、現行の地区別省エネルギー基準に比べて緩くなっているため機能されなくなりつつある。したがって、本論文では規範に示される構造体の断熱基準に触れないことにした。

2.2 採暖地区基準

厳寒地区と寒冷地区は集中暖房設備を設けるべき¹¹⁾とされる地区であり、合わせて「採暖地区」と言われている。中国の地区別省エネルギー基準として採暖地区には「民用建築省エネルギー設計基準(採暖居住建築部分)」(以下「採暖地区基準」と称する)、夏暑冬寒地区には「夏暑冬寒地区居住建築省エネルギー設計基準」(以下「夏暑冬寒地区基準」と称する)、夏暑冬暖地区には「夏暑冬暖地区居住建築省エネルギー設計基準」(以下「夏暑冬暖地区基準」と称する)が適応される。温和地区には基本的に暖冷房の必要がないと考えられ、その地区に適応する基準はない。本節では採暖地区基準について分析する。

採暖地区は面積が中国全土の72%、人口が全国の45%を占めている。この広い地域では暖房負荷が冷房負荷よりはるかに大きい^{12),13)}ため、暖房用エネルギーが住宅のエネルギー消費量の大きな割合を占めている¹⁴⁾。したがって、採暖地区の省エネルギー基準は中国のエネルギー消費量に大きな影響を与えていると思われる。

採暖地区基準は1986年に施行されたが、1995年に改定され、現在に至っている。現行の採暖地区基準は断熱材なしの6階建24住戸の集合住宅より50%の暖房エネルギー節減をベースに制定され、その内訳は建物による節減が30%、暖房設備による節減が20%となっている。この基準では外壁、屋根と窓の熱貫流率の基準値は図2に示すように暖房期平均外気温に応じて与えられている。最も寒い地域では屋

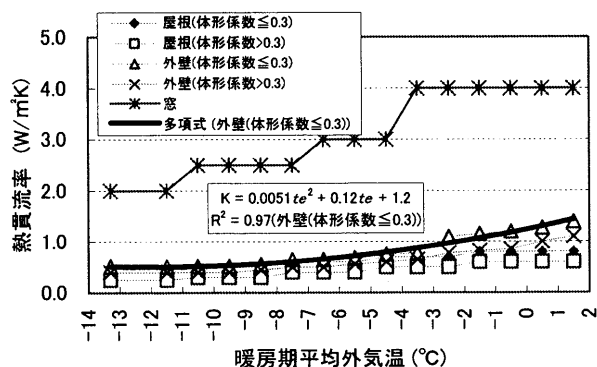


図2 採暖地区基準における外壁、屋根と窓の熱貫流率の基準値

根および外壁の熱貫流率基準値が $0.5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ 以下、窓のそれは $2.0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ となっている。外壁および屋根の熱貫流率基準値は体形係数¹⁵⁾によって異なり、体形係数が小さい建物の熱貫流率基準値は幾分緩和されている。採暖地区基準では、体形係数が0.3以下になるように設計すべきと規定されており(採暖地区基準 第4.1.2条)、この体形係数基準値は6階建24住戸の外壁に凹凸の少ない集合住宅に基づいて算出されたものである。

採暖地区基準では対象地域の気温特性を含めた建物の総合的な断熱・気密性能を熱損失指標で表している。熱損失指標は基準室温と暖房期平均外気温の温度差における単位時間、単位床面積あたりの熱損失を意味し、次の式で表す。

$$q_H = q_T + q_{INF} - q_R \quad (1)$$

$$q_T = (t_R - t_e) \left(\sum_{i=1}^m \varepsilon_i \cdot K_i \cdot F_i \right) / A \quad (2)$$

$$q_{INF} = (t_R - t_e) (C_p \cdot \rho \cdot N \cdot V) / A \quad (3)$$

ここで q_H は住戸の熱損失指標 (W/m^2)、 q_T は構造体の貫流熱損失 (W/m^2)、 q_{INF} は換気による熱損失 (W/m^2)、 q_R は室内器具と人体発熱量 (W/m^2) である。 t_R は基準室温 ($^{\circ}\text{C}$) であり、採暖地区基準では 16°C となっている。 t_e は暖房期(日平均外気温が 5°C 以下の期間)平均外気温 ($^{\circ}\text{C}$)、 ε_i は日射の影響を考慮した方位修正係数、 K_i は部位 i の熱貫流率 ($\text{W/m}^2 \text{ K}$)、 F_i は部位 i の表面積 (m^2)、 C_p は空気の比熱 ($\text{Wh/kg} \cdot \text{K}$)、 ρ は空気密度 (kg/m^3)、 N は換気回数 ($1/\text{h}$)、 V は対象住戸の気積 (m^3)、 A は床面積 (m^2) である。

図2に例示したように、外壁などの各部位の熱貫流率 K_i は暖房期平均外気温 t_e の2次関数で近似できる。したがって、式(2)中の q_T および式(1)中の q_H は t_e の3次関数で近似できると言える。

採暖地区基準に示される110箇所の q_H と t_e の関係を図示すると、図3になる。暖房期平均外気温 $-14.5^{\circ}\text{C} \sim 2.1^{\circ}\text{C}$ において、熱損失指標の変化が小さく定められている。

一方、日本の住宅の次世代省エネルギー基準では住宅の断熱・気密性能に関する基準を熱損失係数で表している。熱損失係数は室内外気温差が 1K のとき、単位時間、単位床面積あたりの熱損失と定義されている。熱損失指標と熱損失係数の違いは前者が対象地域の気温特性と建物の断熱・気密性が合わさった指標であり、後者は建物の

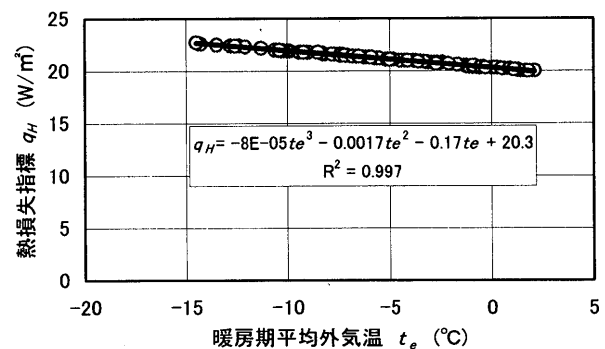


図3 採暖地区基準における暖房期平均外気温と熱損失指標

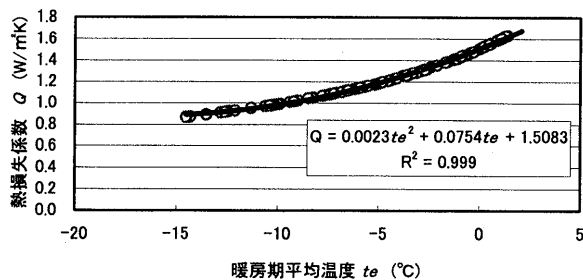


図4 採暖地区における熱損失係数と暖房期平均外気温の関係

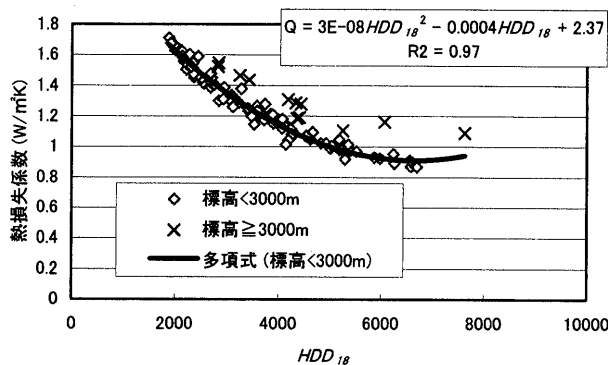


図5 採暖地区基準における熱損失係数と HDD₁₈ の関係

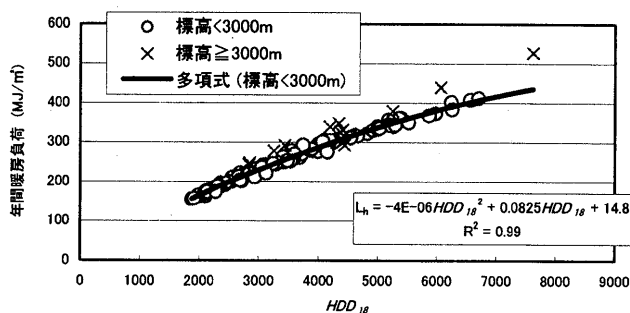


図6 採暖地区における年間暖房負荷と HDD₁₈ の関係

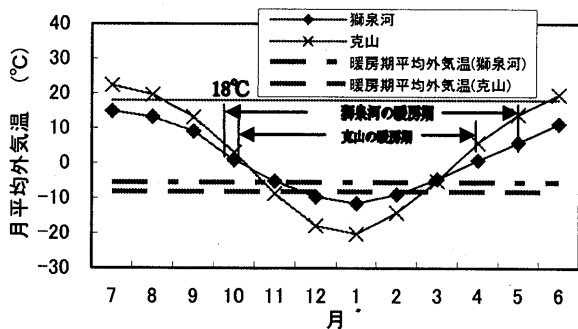


図7 獅泉河と克山における月平均気温と暖房期平均外気温

断熱・気密性のみを表すものである。熱損失係数 Q と熱損失指標 q_H の定義によれば次の関係が成り立つ²⁾。

$$Q = (q_H + q_R) / (t_R - t_e) \quad (4)$$

式(4)を用いて上述した採暖地区における110箇所の熱損失係数を計算し、暖房期平均外気温 t_e との関係を図4に示す。前述したように、式(4)中の q_H は t_e の3次関数で近似できるため、 Q は t_e の2次関数

表2 夏暑冬寒地区基準における熱貫流率 K の基準値

屋根	外壁	窓
$D^{注3)} \geq 3.0$ 且つ $K \leq 1.0$	$D \geq 3.0$ 且つ $K \leq 1.5$	窓壁面積比 ^{注4)} と方位によって K は 2.5~4.7 で変化
$D \geq 2.5$ 且つ $K \leq 0.8$	$D \geq 2.5$ 且つ $K \leq 1.0$	

で近似できることになる。一方、日本の住宅の次世代省エネルギー基準では、18°Cを基準温度とした暖房デグリーデー HDD_{18} に基づいて熱損失係数が定まっており、採暖地区基準における断熱基準値を次世代基準のそれと比較するために熱損失係数と HDD_{18} の関係を求める必要がある。上述した110箇所の熱損失係数とZhangの研究¹⁰⁾によるこれらの場所における HDD_{18} との相関をとり、図5に示す。標高が3000m未満の場所では、熱損失係数を HDD_{18} の2次関数で近似できる。標高が3000m以上のグループのデータは、2次関数のグラフの上方にあり、 HDD_{18} に基づいて言えば青海・チベット高原における熱損失係数が標高3000m未満の場所と比べ緩くなっていることを示唆している。

採暖地区基準では年間暖房負荷の基準値は定まっていないが、熱損失指標 q_H の定義から次の式を導き出すことができる。

$$L_h = 3600 \cdot 24 \cdot q_H \cdot Z \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

ここで、 L_h は年間暖房負荷 (MJ/m^2)、 Z は暖房日数 (日平均外気温が5°C以下の日数) である。式(5)を用いて上述した110箇所の年間暖房負荷を求め、 HDD_{18} との関係を図6に示す。標高が3000m以上のグループと3000m未満のグループは異なる傾向を示している。標高が3000m未満のグループと比べ、3000m以上のほとんどの場所の年間暖房負荷が高くなっており、 HDD_{18} に基づいていけば標高の高い場所に対する年間暖房負荷の基準が緩くなっていると言える。

標高の高い場所における熱損失係数と年間暖房負荷の基準値が緩い原因を解明するために、チベット高原にある獅泉河 (32°30'N, 80°5'E, 標高4279m, 年間 $HDD_{18}=6064$) と黒龍江省にある克山 (48°3'N, 125°52'E, 標高237m, 年間 $HDD_{18}=5960$) における各月の平均気温と暖房期平均外気温を調べた。図7に示すように、克山と比べ標高の高い獅泉河では暖房期が長い。したがって、暖房期平均外気温で断熱基準を決める際、標高の高い獅泉河の基準値が緩くなる。一方、 HDD_{18} で断熱基準を定めることになれば、2箇所の HDD_{18} がほとんど同じであるため、断熱の基準値を同レベルにすべきであろう。暖房期平均外気温と HDD_{18} に基づく基準値の違いの根源は暖房期の設定にある。日平均気温が18°C以下の期間を暖房期にすれば、暖房期平均外気温と HDD_{18} に基づく基準値が一致するが、現在の基準では日平均気温が5°C以下の期間を暖房期にしているため、その期間における平均外気温の高い場所 (すなわち標高の高い場所) における基準値が緩く見える。

2.3 夏暑冬寒地区基準

夏暑冬寒地区は上海、重慶の両直轄市を含む180万 km^2 (中国全土の19%)、5.5億人口 (総人口の42%) の地域であり、その2001年の国内総生産は全国の48%を占めている。この地区の建築熱環境の特徴として、暖冷房負荷がともに存在し、暖冷房設備がと

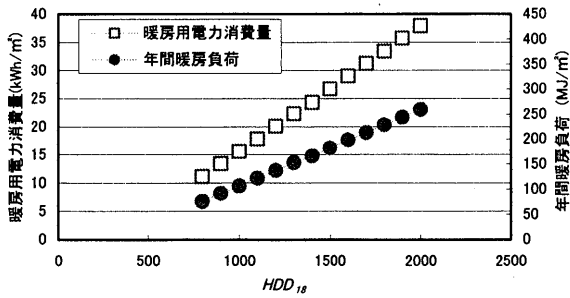


図8 夏暑冬寒地区基準における暖房用電力消費量、年間暖房負荷と HDD_{18} の関係

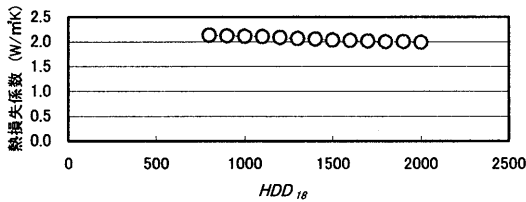


図9 夏暑冬寒地区基準に基づいて求めた熱損失係数と HDD_{18} の関係

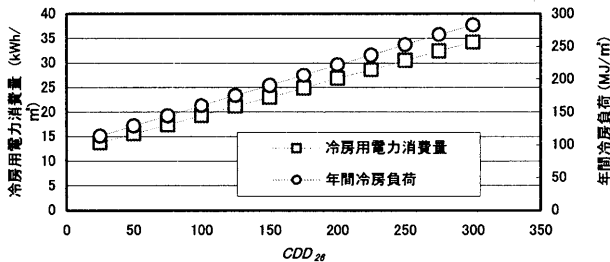


図10 夏暑冬寒地区基準における冷房用電力消費量、年間冷房負荷と CDD_{26} の関係

もに必要であることが挙げられる。また、採暖地区でないため、原則として集中暖房は設置しない。

夏暑冬寒地区基準は2001年に施行された基準である。その制定方法⁸⁾としてまずシミュレーションプログラムDOE-2¹⁵⁾に標準年気象データ^{16),17)}を入力し、モデルとなる断熱なしの集合住宅のシミュレーションによって年間暖房負荷と冷房負荷を計算した。次にこのモデル住宅に比べ、年間暖房用電力量を50%削減できるように部位別の熱貫流率と熱損失指標を定めた。夏暑冬寒地区基準における外壁、屋根と窓の熱貫流率 K の基準値を表2に示す。熱惰性指標 D の大きい壁または屋根に対して熱貫流率基準値の緩和が見られる。

各部位の熱貫流率、体形係数などの基準値を満たさない建物については、年間暖房用電力消費量の基準値を用いて総合的に判断される。基準として年間暖房負荷が定まっていなかったが、暖房用電力消費量基準値を用いて次のように算出することができる。

$$L_h = E_h \cdot \eta_h \cdot 3.6 \quad (6)$$

ここで L_h は年間暖房負荷(MJ/m²)、 E_h は夏暑冬寒地区におけ

表3 夏暑冬暖地区標準における部位別の熱貫流率 K と日射遮蔽係数の基準値

屋根	外壁	窓	
		日射遮蔽係数(-) (南区)	熱貫流率(W/m ² K) (北区)
$D \geq 2.5$ 且つ $K \leq 1.0$	$D \geq 2.0$ 且つ $K \leq 3.0$	窓壁面積比によって0.3~0.6で変化	遮蔽係数と窓壁面積比によって2.0~4.0で変化
	$D \geq 1.5$ 且つ $K \leq 3.0$	窓壁面積比によって0.4~0.8で変化	遮蔽係数と窓壁面積比によって2.0~6.5で変化
	$D \geq 1.0$ 且つ $K \leq 2.5$	窓壁面積比によって0.5~0.9で変化	遮蔽係数と窓壁面積比によって2.5~6.5で変化
$K \leq 0.5$	$K \leq 0.7$		

る年間暖房用電力消費量基準値(kWh/m²)、 η_h は暖房器具のエネルギー効率で1.9となっている。図8に夏暑冬寒地区基準による暖房用電力消費量基準値、式(6)による年間暖房負荷と HDD_{18} との関係を示す。夏暑冬寒地区では暖房用電力消費量と年間暖房負荷はともに HDD_{18} と線形的な関係にある。

採暖地区と同じように、式(4)を用いれば、夏暑冬寒地区の熱損失係数を算出することができる。このように求めた熱損失係数と HDD_{18} の関係を図9に示す。 HDD_{18} が800~2000で変動しているのに対して、熱損失係数は1.99~2.13W/m² Kとなっており、変動が小さい。

年間暖房負荷の場合と似ているように、年間冷房負荷は冷房用電力消費量基準値を用いて求めた。

$$L_c = E_c \cdot \eta_c \cdot 3.6 \quad (7)$$

ここで L_c は年間冷房負荷(MJ/m²)、 E_c は年間冷房用電力消費量基準値(kWh/m²)、 η_c は冷房設備のエネルギー効率で2.3となっており、現在の技術水準からみればかなり低く設定されている。図10に夏暑冬寒地区基準における冷房用電力消費量基準値および式(7)で算出した年間冷房負荷と26℃を基準温度とする冷房ディグリーデー CDD_{26} との関係を示す。冷房用電力消費量 E_c と年間冷房負荷 L_c はいずれも CDD_{26} と一次的な関係にある。

2.4 夏暑冬暖地区基準

図1に示すように、夏暑冬暖地区はおおむね北緯25°以南、東経105°以東の地域を意味する。さらに点線を境に、その北側を北区、南側を南区という。南区では冷房装置のみが必要であるに対して、北区では暖冷房装置がともに必要とされている。

夏暑冬暖地区標準では部位別の熱貫流率と日射遮蔽係数の基準値が表3のように定まっている。熱惰性指標 D と熱貫流率 K の組み合わせによって屋根が2つ、外壁が4つのパターンに分類され、それに応じて窓の遮熱・断熱の基準として南区では日射遮蔽係数、北区では熱貫流率のそれぞれの基準値が定まっている。表3の下段に熱惰性指標 D を規定しないパターンもあり、熱惰性指標 D が指定された他のパターンと比べ、熱貫流率が厳しい数値(屋根では $K \leq 0.5$ 、外壁では $K \leq 0.7$)となっている。熱貫流率、日射遮蔽係数、体形係数などの基準値を満たさない建物に対

表 4 次世代基準における地域区分

	HDD_{18} の範囲	都道府県名	備考
I 地域	3500 以上	北海道	各都道府県下の市町村は HDD_{18} が左記の都道府県に基づく地域区分における該当地域の HDD_{18} 範囲を超えた場合、左記の地域区分にもかかわらず、その市町村における HDD_{18} に基づいて地域区分が行われている。
II 地域	3000 以上 3500 未満	青森県、岩手県、 秋田県	
III 地域	2500 以上 3000 未満	宮城県、山形県、 福島県、栃木県、 新潟県、長野県	
IV 地域	1500 以上 2500 未満	I、II、III、V、VI 地域以外の都府県	
V 地域	500 以上 1500 未満	宮崎県、鹿児島県	
VI 地域	500 未満	沖縄県	

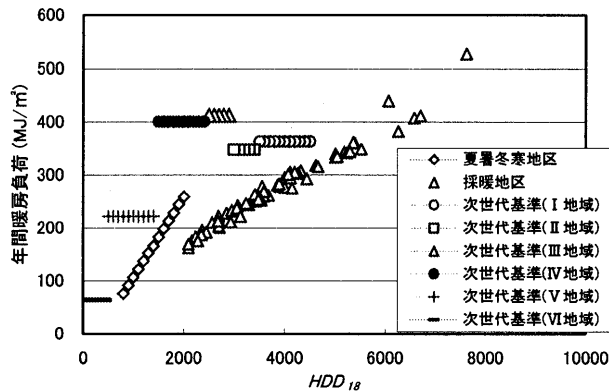


図 11 採暖地区基準、夏暑冬寒地区基準と次世代基準における年間暖房負荷の比較

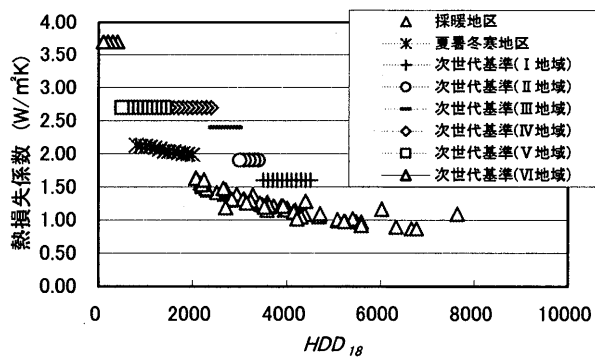


図 12 採暖地区基準、夏暑冬寒地区基準と次世代基準における熱損失係数の比較

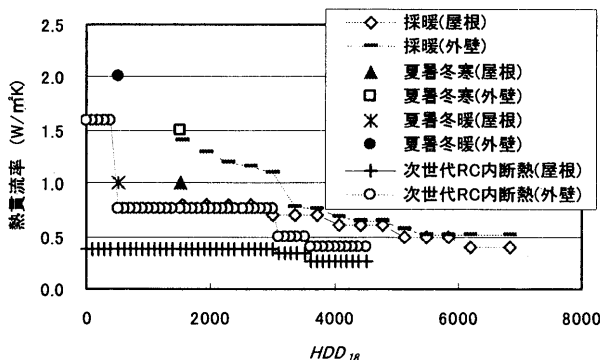


図 13 採暖地区、夏暑冬寒地区と夏暑冬暖地区における部位別の熱貫流率の比較

して、次の式に示す「対比評定法」による総合的な評価も可とされる。

$$ECF \leq ECF_{ref} \quad (8)$$

または

$$EC \leq EC_{ref} \quad (9)$$

ここで、 EC と ECF はそれぞれ対象建物の暖冷房用電力消費量 (kWh/m^2) と暖冷房用電力消費量指数 (-) であり、 EC_{ref} と ECF_{ref} はそれぞれ同じ延床面積をもつ、部位別の断熱と遮熱基準を満たす建物の暖冷房用電力消費量と暖冷房用電力消費量指数である。

この基準では採暖地区基準または夏暑冬寒地区基準のように年間エネルギー消費量基準いわゆる絶対的基準を定めるのではなく、「対比評定法」という相対的基準を用いている。その理由として集合住宅だけでなく、戸建住宅にも適応できるようにするためと考えられる。

3 日中省エネルギー基準の比較

3.1 日本の次世代省エネルギー基準

日本において、「住宅に係わるエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断の基準」および「住宅に係わるエネルギーの使用の合理化に関する設計および施工の指針」が平成 11 年に改正され、一般的にこの 11 年基準を次世代省エネルギー基準(以下次世代基準と称する)と呼んでいる。この基準では表 4 のように HDD_{18} によって日本を 6 つの地域に分け、地域ごとに暖冷房負荷基準、熱損失係数、部位別の熱貫流率、夏季の日射取得係数などが定まっている。以下、次世代基準における各基準値を中国の地区別基準に対応する値を比較しながら述べていく。

3.2 年間暖房負荷

次世代基準では、年間暖冷房負荷の基準値が示されているが、採暖地区では冷房に関する基準がないため、両者を比較することは難しい。したがって、本節では年間暖房負荷のみ比較した。まず式(5)と(6)を用いて採暖地区と夏暑冬寒地区の年間暖房負荷を求めた。次に、次世代基準を作成する際に用いた年間暖房負荷と HDD_{18} の相関式を用いて年間暖冷房負荷の基準値を年間暖房負荷と年間冷房負荷に分け、前者のみを用いて中国の採暖地区基準と夏暑冬寒地区基準における年間暖房負荷の比較を行った。次世代基準における地域別年間暖房負荷の回帰式は次のとおりである⁵⁾。

$$I \text{ 地域: } L_h = 0.0901HDD_{18} - 41.23 \quad (10)$$

$$II \text{ 地域: } L_h = 0.1140HDD_{18} - 38.33 \quad (11)$$

$$III \text{ 地域: } L_h = 0.1538HDD_{18} - 31.90 \quad (12)$$

$$IV, V \text{ 地域: } L_h = 0.1789HDD_{18} - 27.71 \quad (13)$$

$$VI \text{ 地域: } L_h = 0.2254HDD_{18} - 25.96 \quad (14)$$

次世代基準では、基準値の設定に当たって、各地域区分のなかで暖房負荷が最も高くなる値が基準値とされているため、表 4 に示す日本各地域の HDD_{18} の上限値を式(10)~(14)に代入して各地域の年間暖房負荷 L_h を算出した。ただし、I 地域では HDD_{18}

表5 日中住宅省エネルギー基準の基準値と関連値

		採暖地区基準	夏暑冬寒地区基準	夏暑冬暖地区基準	(日本)次世代基準
対象		集中暖房を採用した新築・増築居住建築	新築・増改築居住建築	新築・増改築居住建築	新築・増改築の住宅
施行開始時期		1996年7月1日	2001年10月1日	2003年10月1日	1999年3月30日告示
負荷計算法		定常	非定常	非定常	非定常
使用するプログラム		なし	DOE-2	DOE-2	SMASH
熱貫流率 (W/m ² K)	屋根	体形係数 ≤ 0.3 0.4-0.8 体形係数 > 0.3 0.25-0.6	0.8-1.0	0.5-1.0	0.27-0.37(RC造内断熱) 0.32-0.43(RC造外断熱) 0.17-0.24(RC造以外)
	外壁	体形係数 ≤ 0.3 0.52-1.4 体形係数 > 0.3 0.4-1.1	1.0-1.5	0.7-2.0	0.39-1.59(RC造内断熱) 0.49-1.76(RC造外断熱) 0.35-0.53(RC造以外)
	窓	2.0-4.7	2.5-4.7	2.0-6.5	2.33-6.51
暖冷房用エネルギー消費量		暖房用石炭消費量が対象地域の暖房期平均外気温に基づいて与えられる	暖冷房用電力消費量が対象地域のHDD ₁₈ とCDD ₂₆ に応じて与えられる	式(8)と式(9)に示す「対比評定法」で評価する	地域ごとに与えられる(290-460MJ/m ²)
熱損失係数(W/m ² K)		0.87-1.63(式(4)で算出)	1.99-2.13(式(4)で算出)	算出不能	1.6-3.7
温湿度		16℃	16℃-18℃(暖房) 26℃-28℃(冷房)	16℃(北区暖房) 26℃(冷房)	18℃以上(暖房) 27℃、60%以下(冷房)
標準住宅モデル		集合住宅(6階建24住戸)	集合住宅(6階建24住戸)	集合住宅(6階建24住戸)	戸建住宅(126m ²) 集合住宅(81m ²)
窓壁面積比		≤ 0.35 (南面) ≤ 0.30 (東・西面) ≤ 0.25 (北面)	$\leq 0.25-0.50$ (南面) $\leq 0.25-0.30$ (東西面遮熱あり) $\leq 0.25-0.50$ (東西面遮熱なし) $\leq 0.25-0.35$ (北面)	≤ 0.50 (南面) ≤ 0.30 (東・西面) ≤ 0.45 (北面)	なし
体形係数		≤ 0.30	≤ 0.35 (階段室型または型廊下型) ≤ 0.40 (コア型)	北区 ≤ 0.35 (階段室型または片廊下型) ≤ 0.40 (コア型)	なし
日射遮蔽		なし	なし	遮蔽係数(表3)	夏季の日射熱取得率 $\leq 0.06-0.08$
換気回数		0.5回/h	1.0回/h	1.0回/h	0.5回/h
暖房設備のエネルギー効率		ボイラの効率 $\geq 72\%-82\%$	1.9	1.5	なし
冷房設備のエネルギー効率		なし	2.3	2.7	
照明負荷		3.8W/m ²	14.1Wh/日・m ²	考慮せず	顕熱16.7kJ/m ² h 潜熱4.6kJ/m ² h(冷房時)
器具負荷と人体			4.3W/m ²		

の上限として4500を使用した。採暖地区、夏暑冬寒地区および次世代基準による日本各地域の年間暖房負荷とHDD₁₈の関係を図11に示す。中国の基準では同じ地区でも場所によって基準値が異なるが、次世代基準では、同一地域で1つの基準値になっている。HDD₁₈に基づいていけば、日本の各地域における暖房負荷基準値は中国のそれより大きくなっている。ただし、採暖地区と夏暑冬寒地区における暖房負荷は室温が16℃で、日平均外気温が5℃以下になる期間中の積算負荷であり、次世代基準では、暖房負荷が室温18℃で、日平均外気温15℃以下の期間における積算負荷である。夏暑冬暖地区基準では、「対比評定法」という相対的な基準を用いているため、暖冷房負荷に関するデータはない。

3.3 熱損失係数

式(4)を用いて算出した採暖地区、夏暑冬寒地区の熱損失係数を次世代基準のそれと比較した。図12に示すように、熱損失係数の値が採暖地区では0.87-1.63W/m²K、夏暑冬寒地区では2.0W/m²K前後、次世代基準では1.6~3.7W/m²Kとなっている。HDD₁₈に基づいて言えば、次世代基準における熱損失係数は採暖地区および夏暑冬寒地区のそれよりやや大きくなっている。な

お、夏暑冬暖地区の熱損失係数は前節と同じ理由で算出不能である。

3.4 部位別の熱貫流率

中国の3つの基準における屋根と外壁の熱貫流率を次世代基準(RC造内断熱の場合)のそれと比較して図13に示す。屋根と外壁についていずれも次世代基準が最も厳しく、以下採暖地区基準、夏暑冬寒地区基準、夏暑冬暖地区基準の順になっている。

3.2と3.3節では年間暖房負荷と熱損失係数についていずれも次世代基準が緩い値を示しているが、部位別の熱貫流率については次世代基準が最も厳しい結果になっている。一見矛盾しているように見えるが、その原因として次のことが挙げられる。表5に示すように、採暖地区基準、夏暑冬寒地区基準および夏暑冬暖地区基準では、いずれも体形係数で建物の形状を制限している。中国のいずれの基準も6階建24住戸の集合住宅をモデルにしており、戸建住宅は基本的に基準値を満たすことは難しい。また、窓壁面積比で窓面積を制限し、熱損失係数と年間暖房負荷を低下させている。一方、次世代基準は主に戸建住宅をモデルにして制定されているため、部位別の熱貫流率を厳しくしても、建物全体

の熱損失は集合住宅と比べたら大きくなりやすい。

3.5 室内温湿度

表5に各基準における基準値と関連値を示す。暖房時の室温基準について、採暖地区と夏暑冬暖地区(北区)基準では16℃、夏暑冬寒地区では16~18℃、次世代では18℃となっている。冷房時については、夏暑冬寒地区では26~28℃、夏暑冬暖地区では26℃と、中国において、基準の制定時期、地区の気候条件および地区の経済発展の水準などによる基準の変化が感じられる。湿度については次世代基準のみ冷房時の基準値がある。

3.6 換気回数

採暖地区基準と次世代基準では換気回数が0.5回/hとなっているが、夏暑冬寒地区基準と夏暑冬暖地区基準では1.0回/hとなっている。それらの基準で換気回数を1.0回/hに上げる理由として、温暖な地域では細菌の繁殖が速く、換気による汚染質の排出の重要性が挙げられている^{8),9)}。

3.7 暖冷房装置効率

中国の基準では暖冷房に必要な石炭や電力を概算するため、採暖地区基準ではボイラの効率、夏暑冬寒と夏暑冬暖地区基準では暖冷房装置のエネルギー効率の基準値が定まっている。しかし、技術が常に進歩しており、このようなエネルギー効率に関する基準値は果たして機能するかが疑問である。住宅のエネルギー基準のある程度の安定性を確保するために、むしろ次世代基準のように機械の領域に踏み入れず建物の暖冷房負荷に留まるべきである。

4 結論

本研究では、中国の住宅省エネルギー基準を熱工学的な観点から考察し、採暖地区と夏暑冬寒地区における年間暖房負荷と熱損失係数を求め、日本の住宅の次世代省エネルギー基準と比較した。本研究で得た主な知見をまとめると、以下の通りである。

- (1) 採暖地区では気候条件を表す指標として暖房期平均外気温が用いられているが、 HDD_{16} に基づいていえば標高の高い場所に対する採暖地区基準における熱損失係数と年間暖房負荷の基準値が緩くなっている。その原因は標高の低い場所と比べ標高の高い場所では暖房期平均外気温が高いためである。
- (2) 次世代基準における年間暖房負荷基準値は採暖地区基準、夏暑冬寒地区基準のそれよりやや大きくなっている。ただし、採暖地区と夏暑冬寒地区における暖房負荷は室温が16℃で、日平均外気温が5℃以下になる期間中の積算負荷であり、次世代基準では、暖房負荷が室温18℃で、日平均外気温15℃以下の期間における積算負荷である。
- (3) 熱損失係数についても次世代基準が採暖地区基準、夏暑冬寒地区基準よりやや大きい。
- (4) 部位別の熱貫流率については、次世代基準が最も厳しくなっている。部位別の熱貫流率と建物全体の断熱・気密性能を表す熱損失係数の傾向が異なる理由として中国では、体形係数と窓壁面積比で建物の集合化と小窓化を図っているためと考えられる。
- (5) 換気回数の基準値については、採暖地区基準と次世代基準では0.5回、夏暑冬寒と夏暑冬暖地区基準では1.0回になっている。

謝辞 本研究の遂行にあたり、米国 Lawrence Berkeley National Laboratory の Joe Huang 氏ならびに中国建築科学研究院の郎四維教授に貴重な助言をしていただきました。ここに記して感謝の意を表します。

注

- 注1) 体形係数とは外気に接する構造体の表面積とそれに囲まれる空間の気積との比であり、その値が小さいほど単位気積あたりの外壁面積が小さくなり、熱損失の低減につながる。
- 注2) 採暖地区基準では構造体の貫流熱量を計算する際、方位修正係数を用いて日射の影響を考慮しているが、次世代基準ではこのような処理を行っていない。このような違いによる熱損失係数の値への影響が小さいと考えられ、本研究ではそれぞれの基準における伝熱計算方法を尊重して熱損失係数を求め、両基準による熱損失係数を比較した。
- 注3) D は熱惰性指標と言い、熱流の波動に対する抵抗力を表す指標である。材料の熱抵抗と蓄熱指数(半無限厚物体表面における熱流振幅と温度振幅の比)の積で表し、ある外気温の励振に対して D の大きい壁は壁内と室内表面の熱流振幅が小さいため、動的熱抵抗が大きいと言える。
- 注4) 窓壁面積比とはある方位の窓面積と同一方位の外壁の表面積の比である。

参考文献

- 1) 劉志峰: 住宅博覧会開幕辞、中華工商時報インターネット版 <http://finance.sina.com.cn>, (参照 2006. 8. 30)
- 2) 郎四維: 建築省エネルギー基準の展望、国際都市持続可能エネルギー発展市長論壇講演論文集、2004. 11
- 3) S. Lang: Progress in energy-efficiency standards for residential buildings in China, *Energy and Buildings*, Vol.36, No.12, pp.1191-1196, 2004. 12
- 4) 周南, 高偉俊, 渡邊俊行, 吉野博, 西田勝, 尾島俊雄: 中国における住宅の省エネルギー及び環境設計基準に関する考察、技術報告集、第20号、p. 121, 2004. 12
- 5) (財)建築環境・省エネルギー機構 住宅の次世代省エネルギー基準と指針、1999
- 6) 中国国家基準 GB50176-93: 民用建築熱工設計規範、1993
- 7) 中国業界基準 JGJ26-95 民用建築省エネルギー設計基準(採暖居住建築部分)、1996
- 8) 中国業界基準 JGJ134-2001 夏暑冬寒地区居住建築省エネルギー設計基準、2001
- 9) 中国業界基準 JGJ 75-2003 夏暑冬暖地区居住建築省エネルギー設計基準、2003
- 10) Q. Zhang: Climatic Zoning for Thermal Design of Residences in China Based on Heating Degree-days and Cooling Degree-hours, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, Vol.4, No.2, pp.533-540, 2005. 11
- 11) 中国国家基準 GB50019-2003 採暖通風および空気調和設計規範(第4.1.2条)、2004
- 12) 張晴原, 浅野賢二, 林徹夫, 今井計: 中国における住宅の暖房負荷の地域特性、日本建築学会計画系論文集、第548号、pp.69-74, 2001. 10
- 13) 張晴原, 浅野賢二, 林徹夫: 中国における住宅の冷房負荷の地域特性、日本建築学会計画系論文集、第555号、pp.67-75, 2002. 5
- 14) Yutaka Tonooka, et al.: Energy Consumption in Residential House and Emissions Inventory of GHGs, Air Pollutants in China, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, Vol. 2, No. 1, pp.93-100, 2003. 5
- 15) F.C. Winkelmann, et al., "DOE-2 Supplement, Version 2.1E", LBL-33947, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley CA, USA, 1993.
- 16) 張晴原, 浅野賢二, 林徹夫: 中国の標準年気象データに関する研究、日本建築学会計画系論文集、第543号、pp.65-69, 2001. 5
- 17) Q. Zhang, J. Huang and S. Lang: Development of typical year Weather Data for Chinese Locations, *ASHRAE Transactions*, Vol.108, Part 2, pp.1063-1075, 2002

(2006年10月10日原稿受理、2007年4月26日採用決定)