

住宅のエネルギー消費に関する日中比較及び中国における暖冷房用エネルギー消費量の削減対策の検討

于, 靚

九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻博士後期課程修了生

渡辺, 俊行

九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

高, 偉俊

北九州市立大学国際環境工学部

劉, 俊

日発販売株式会社

他

<https://doi.org/10.15017/19137>

出版情報 : 都市・建築学研究. 16, pp.111-118, 2009-07-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

バージョン :

権利関係 :

住宅のエネルギー消費に関する日中比較及び 中国における暖冷房用エネルギー消費量の削減対策の検討

Comparative Research on Energy Consumption of Residential Buildings between
Japan and China and Energy Saving Method for Heating and Cooling in China

于 靚*, 渡辺俊行**, 秦 文軍***, 高 偉俊****, 劉 俊*****

Liang YU, Toshiyuki WATANABE, Wenjun QIN, Weijun GAO and Jun LIU

At present, the energy consumption has increased rapidly along with a large economic growth accomplished in China. Especially, energy consumption in residential sector has been increasing annually. The objectives of this research are to compare the energy consumption of residential buildings between Japan and China; and to investigate saving methods for heating-cooling energy consumption. In this paper, we reported about the results of comparative research. And we suggest saving methods for energy consumption in China.

Keywords: Residential buildings, Energy consumption, Comparative research, Energy for heating and cooling, Energy saving methods

住宅, エネルギー消費, 比較研究, 暖冷房エネルギー, エネルギー削減対策

1. はじめに

住宅のエネルギー消費はその地域が属している国家の経済・社会条件によって複雑な影響を受ける。また、世帯や住宅の属性、住まい方などに応じてエネルギー消費構造にも変化が予想される。中国では、近年急激な経済発展をとげつつあり、それに伴って生活水準が向上し、エネルギー消費量が著しく増大しているが、今後の経済発展により住宅のエネルギー消費量はさらに増大すると推測される。今後の動向を予測するためには、先進国の住宅のエネルギー消費実態と比較し、共通点や相違点を明確にすることが必要と思われる。

本研究では、日本と中国における住宅のエネルギー消費実態について、それぞれ両国において実施したアンケート調査結果¹⁾及び実測調査結果²⁾に基づき様々な角度から比較を行い、住宅のエネルギー消費における中国の特徴を明らかにする。

また、2007年度から2008年度にかけて中国の厳寒地区(ハルビン市、瀋陽市)、寒冷地区(北京市、大連市)、夏暑冬冷地区(上海市、長沙市)の6都市における各都市2戸、合計12戸の集合住宅を対象として実施した詳細実測調査における上海住宅02を対象に、中国の標準気象データを

用いて上海住宅02の暖冷房負荷を数値シミュレーションにより再現し、省エネルギー手法を加えた場合の暖冷房負荷削減効果を算出する。さらに、各種のエネルギー手法を組み合わせて、各都市の標準住宅モデルにおける年間暖冷房用エネルギー消費量の削減対策について検討する。

2. アンケート調査に基づく比較検討

2.1 住宅・世帯属性の比較

図1~5に、アンケート調査から得られた日本と中国における住宅属性(延床面積、築年数、住宅構造)と世帯属性(世帯人数、年間所得)を示す。日本における延床面積の平均は約84㎡(戸建住宅では119㎡、集合住宅では60㎡)である。中国都市部集合住宅における延床面積の平均は約86㎡(瀋陽市80㎡、大連市82㎡、洛陽市90㎡、上海市84㎡、長沙市94㎡)である。集合住宅について見ると、中国の延床面積が日本より大きくなっていることが分かる。築年数では、日本と中国ともに半数以上の住宅が10年以内に建設されており比較的新しい住宅が多い。世帯人数では、日本が平均3.1人、中国が平均3人で、大差ない。住宅構造については、日本の集合住宅は鉄筋コンクリート造(RC造)が主であり、中国ではコンクリートブロック造とRC造がそれぞれ約50%となっている。年間所得には極めて大きな差が見られ、中国における世帯当たりの年間所得は日本の10分の1である。

* 空間システム専攻博士後期課程修了生

** 都市・建築学部門

*** 瀋陽市城郷建設委員会

**** 北九州市立大学国際環境工学部

***** 日発販売株式会社

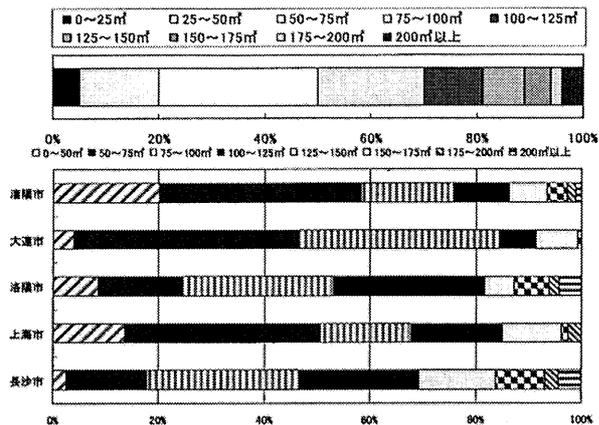


図1 延床面積 (上: 日本の調査²⁾、下: 中国の調査¹⁾)

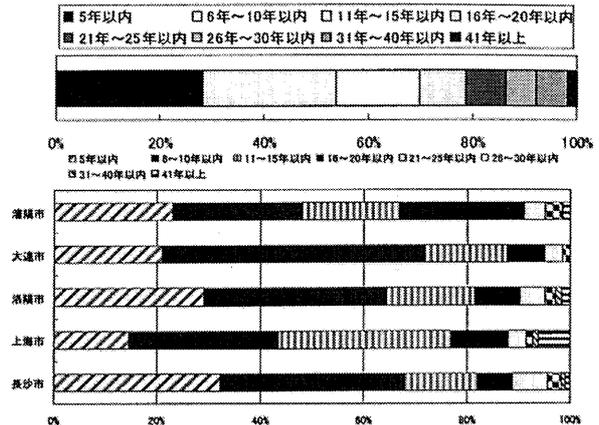


図2 築年数 (上: 日本の調査²⁾、下: 中国の調査¹⁾)

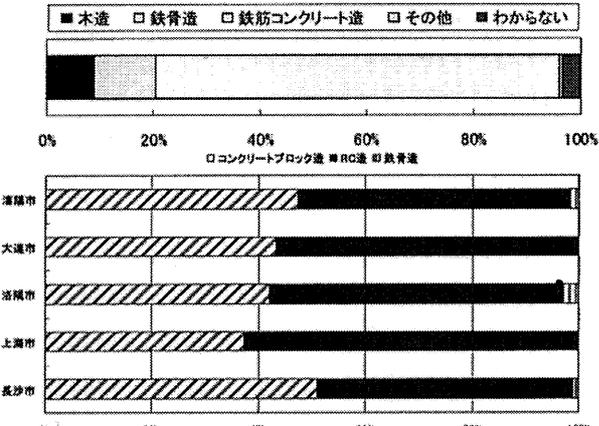


図3 住宅構造 (上: 日本の調査²⁾、下: 中国の調査¹⁾)

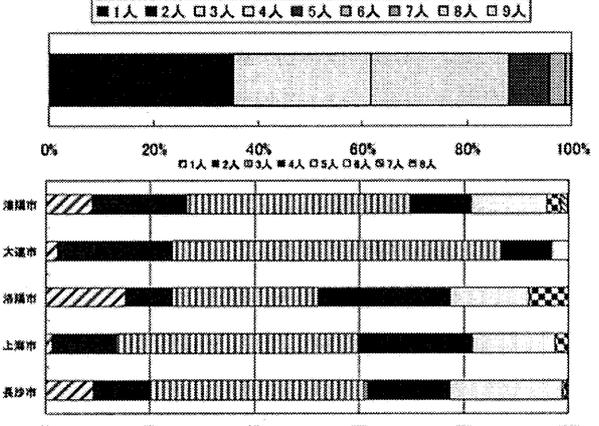


図4 世帯人数 (上: 日本の調査²⁾、下: 中国の調査¹⁾)

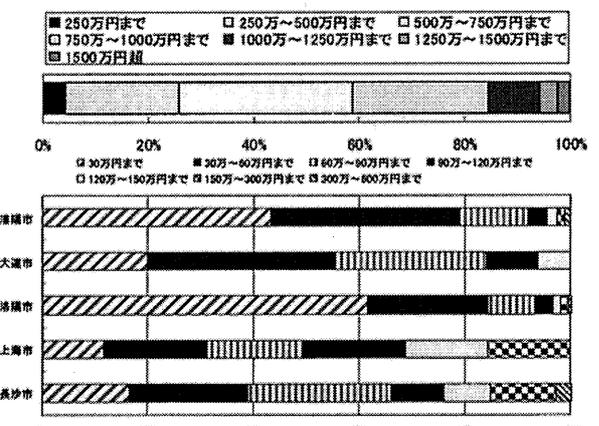


図5 年間所得 (上: 日本の調査²⁾、下: 中国の調査¹⁾)

2.2 年間エネルギー消費量の比較

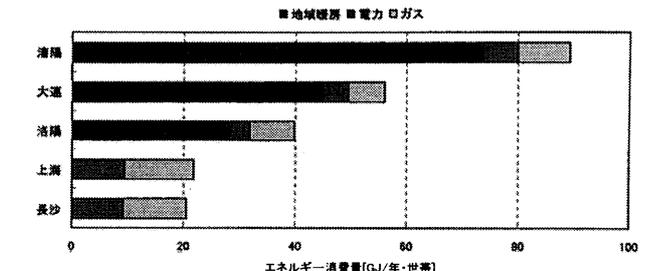
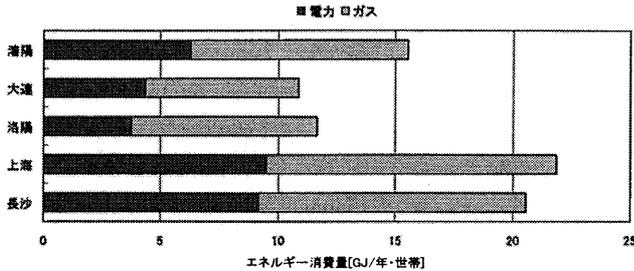
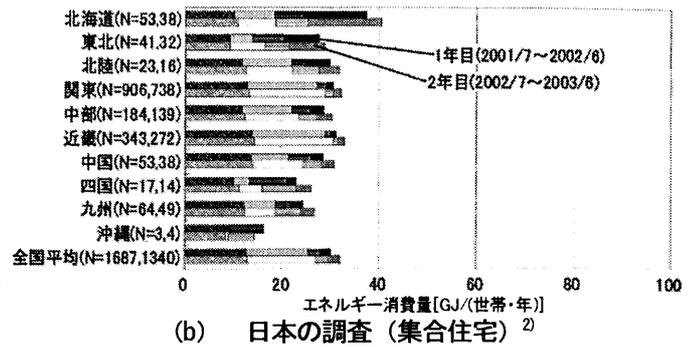
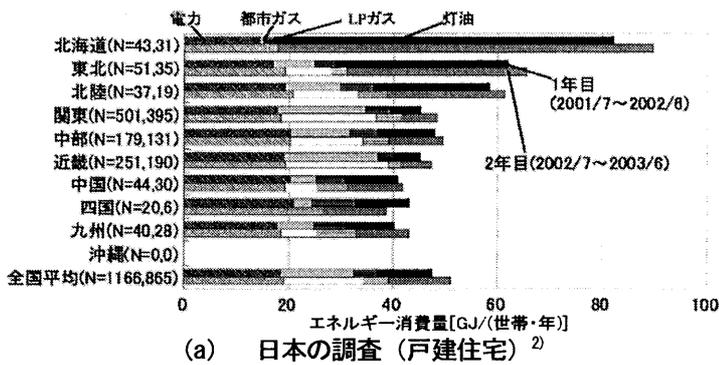
住宅で消費されるエネルギーの地域性を把握するため、日本と中国における地域別の世帯当たりの年間エネルギー消費量を図6の(a)～(d)に示す。

日本における全国平均は調査1年目が37.9GJ/年・世帯、調査2年目は39.7GJ/年・世帯である。戸建住宅については、調査1年目が47.7GJ/年・世帯、2年目が51.0GJ/年・世帯、集合住宅については調査1年目が30.1GJ/年・世帯、2年目が32.1GJ/年・世帯であり、集合住宅は戸建住宅の6割程度のエネルギー消費量である。

一方、中国都市部集合住宅における5都市平均では地域暖房分を除くと16.12GJ/年・世帯、地域暖房の推定分を含めると45.50GJ/年・世帯である。中国における集合住宅のエネルギー消費量は日本の集合住宅の約1.5倍になっていることが分かる。これは主に中国の厳寒地区及び寒冷地区の地域暖房用熱消費量が多いことに起因している。また、中国における厳寒地区の集合住宅のエネルギー消費量は日本における北海道地域の戸建住宅とほぼ同様、中国における寒冷地区の集合住宅のエネルギー消費量は北陸・関東地域の戸建住宅とほぼ同様、中国における夏暑冬冷地区の集合住宅のエネルギー消費量は九州地域の集合住宅とほぼ同様であることが分かる。中国における厳寒地区と寒冷地区の地域暖房用熱消費量を抑制することが重要な課題である。

3. 実測調査に基づく比較検討

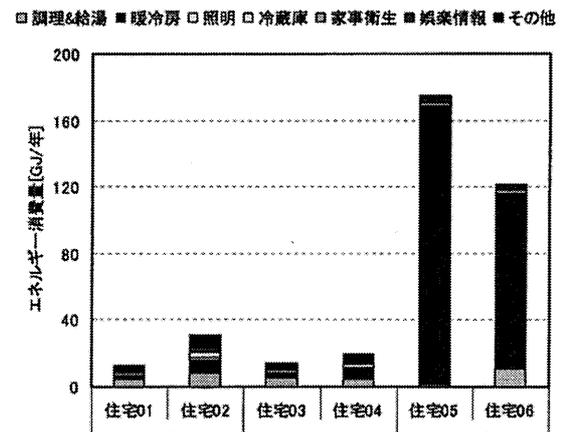
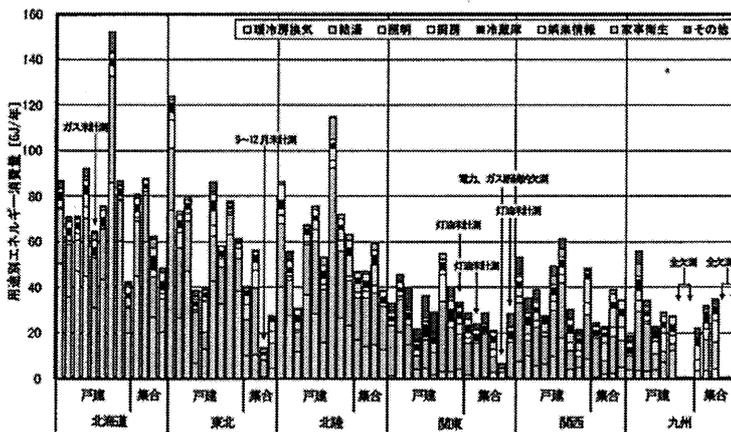
図7に住宅の年間総エネルギー消費量の日中比較を示す。日本における年間総エネルギー消費量は20～40GJ/年・世帯の住宅が最も多く、全体の約42%を占める。次いで、40～60GJ/年・世帯が22%、60～80GJ/年・世帯が19%、80～100GJ/年・世帯が9%と続き、0～20GJ/年・世帯と100GJ/年・世帯以上の住宅はいずれも4%、年間総エネルギー消費量の平均値は43.9GJ/年・世帯となっている。北海道地域では暖冷房換気用エネルギー消費量が最も多く、東北・北陸



(c) 中国の調査 (地域暖房を除く)¹⁾

(d) 中国の調査 (地域暖房を含む)¹⁾

図6 地域別エネルギー消費量の日中比較



(a) 日本の調査²⁾

(b) 中国の調査 (地域暖房を含む)¹⁾

図7 年間総エネルギー消費量の日中比較

地域では給湯用と暖冷房換気用のエネルギー消費量がほぼ同等で、その他の地域では給湯用エネルギー消費量が多い。

一方、中国における年間総エネルギー消費量は20GJ/年・世帯未満の住宅が最も多く、全体の約50%、次いで100~200GJ/年・世帯が33.3%、20~40GJ/年・世帯が16.7%であり、年間総エネルギー消費量平均は62.5GJ/年・世帯となっている。厳寒地区では地域暖房用熱消費量が最も多く、夏暑冬冷地区では調理・給湯用と暖冷房用エネルギー消費量がほぼ同等で最も多い。

日中の年間総エネルギー消費量を比較すると、中国では厳寒地区と寒冷地区の地域暖房用熱消費量が圧倒的に大きい。また、中国における夏暑冬冷地区のエネルギー消費レベルは日本における同様の地域(中国四国・九州)と比べて低い。日本の住宅では、家電機器による電力消費量の割合が多い。

4. 暖冷房用エネルギー消費量の削減対策の検討

2007年度から2008年度にかけて実測調査を実施した夏暑冬冷地区に属する住宅(01~04)における暖冷房用エネルギー消費量は、それぞれ1.9GJ/年・世帯、7.8GJ/年・世帯、3.0GJ/年・世帯、6.9GJ/年・世帯であり、顕著な差が見られる。住まい方はもちろん、住宅プラン、壁体構成、外表面仕上げ、暖冷房機器の運転状況などによる影響が大きいと考えられる。そこで以下、壁体構成、外表面仕上げ(外装状況)、住まい方、暖冷房機器の運転状況がどの程度暖冷房用エネルギー消費量に影響を及ぼすかについて検討する。

4.1. 暖冷房用エネルギー消費量の数値シミュレーション

4.1.1. 計算方法

実測住戸(上海住宅02)の年間暖冷房用エネルギー消費量を算定するため、多数室室温変動・熱負荷計算プログラムTrP³⁾と中国の標準気象データを用いて、建物データや気

象データ，生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver.2.0⁴⁾による在室パターン，内部発熱などをそれぞれTrP³⁾に入力し，年間暖冷房負荷を算出する．そして，暖冷房機器効率を考慮し，年間暖冷房用エネルギー消費量の算出を行う．

4.1.2. 計算対象建物概要

計算対象は夏暑冬冷地区の実測住宅で，最も欠測が少ない上海住宅02を選定，その地域の代表的な住戸として使用した．図8に上海住宅02の平面図を示す．表1に上海住宅02の計算概要を示す．実測を行った住戸の壁体構成を入手することは現段階では困難なため，ここでは上海住宅02の壁体仕様⁵⁾として仮に，中国の建築省エネルギー技術標準規範を満たす各部位の壁体構成と定めた．また，窓ガラスについては二重ガラスを設定している．表2に壁体仕様⁵⁾を示す．

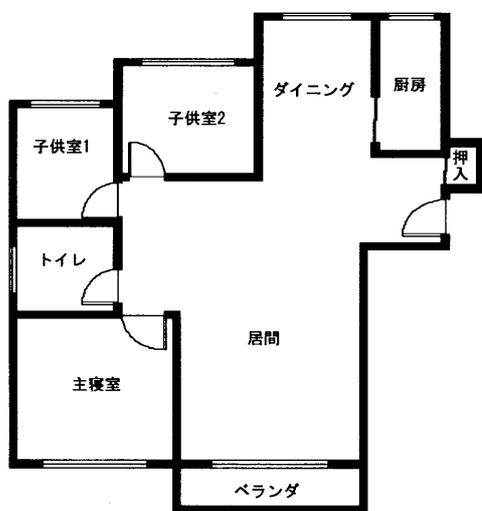


図8 上海住宅02平面図

表1 計算概要

項目	内容
延床面積	124.92㎡
建築構造	RC造
住戸位置	中間階中間住戸
世帯人数・構成	5人世帯 夫婦(二人とも通勤者)、子供2人(学生)、祖母
暖房設備(設置場所)	エアコン(居間、主寝室、子供室1、子供室2)
冷房設備(設置場所)	
気象データ	中国の標準気象データ
プログラム	多数室室温変動・熱負荷計算プログラムTrP.
	生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver2.0

表2 数値シミュレーション用住宅02の壁体仕様⁵⁾

	材料	熱伝導率 λ (W/m·K)	厚さ g (mm)	厚さ g (m)	熱貫流率 K (W/m ² ·K)
外壁	モルタル(ポリマー・セメント)	0.83	20	0.02	0.50
	ポリスチレン発泡板	0.05	20	0.04	
	普通コンクリート	1.74	200	0.2	
内壁	モルタル(石灰)	0.87	20	0.02	1.52
	モルタル(石灰)	0.87	20	0.02	
	普通コンクリート	1.74	180	0.18	
床	モルタル(ポリマー・セメント)	0.83	20	0.02	0.82
	モルタル(ポリマー・セメント)	0.83	20	0.02	
	普通コンクリート	1.74	120	0.12	
	ガラス繊維	0.054	90	0.09	
屋根	モルタル(ポリマー・セメント)	0.83	20	0.02	0.57
	防水層	0.17	10	0.01	
	モルタル(ポリマー・セメント)	0.83	20	0.02	
	土壌(火山灰質)	0.455	10	0.01	
	ポリスチレン発泡板	0.05	80	0.08	
	普通コンクリート	1.74	120	0.12	
	モルタル(石灰)	0.87	20	0.02	

4.1.3. 暖冷房機器の運転スケジュール概要と効率

暖冷房機器の運転スケジュールは，住宅02の実測結果より作成した．表3に暖冷房期間の運転スケジュールを示す．暖冷房用エネルギー消費量を算出するに当たって，実測を行った住宅02で使用されている暖冷房機器のカタログ値を使用した．表4に暖冷房機器の効率を示す．

4.1.4. 数値シミュレーションの再現性の確認

図9に住宅02における実測結果と数値シミュレーション計算結果の月積算値を比較する．暖冷房エネルギー消費量には両者の差が若干見られるが，変動の傾向は良く捉えられている．図10に住宅02における実測結果と数値シミュレーション計算結果の年積算値を比較する．年積算暖冷房用エネルギー消費量については実測結果と数値シミュレーション計算結果はほぼ一致しており，数値シミュレーション計算用モデルは上海住宅02のエネルギー消費量を比較的精度良く予測できていると考えられる．

表3 暖冷房期間の運転スケジュール

暖房	期間	運転時間表																								期首		設定温度 (°C)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
暖房	主寝室																										11月16日	3月21日	18
	居室1																											11月16日	3月21日
冷房	居室2																										11月16日	3月21日	18
	居室1																										8月23日	9月8日	26
	居室2																										8月23日	9月8日	26
	居室1																										8月23日	9月8日	26
	居室2																										8月23日	9月8日	26

表4 暖冷房機器の効率

上海 (住宅02)	居室	暖房		冷房	
		エネルギー源	効率	エネルギー源	効率
	居間	電気	4.2	電気	3.6
	主寝室	電気	3.6	電気	2.8
	子供室1	電気	2.8	電気	2.5
	子供室2	電気	3.6	電気	2.8

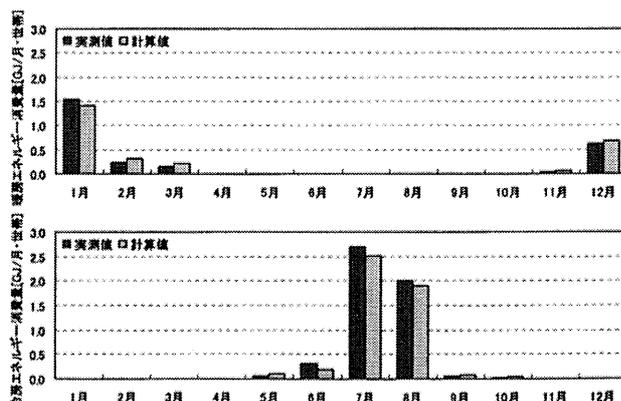


図9 実測結果とシミュレーション結果の月積算値の比較

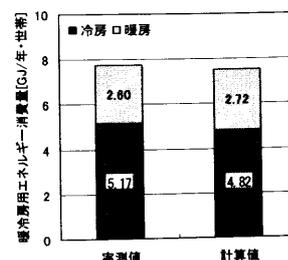


図10 実測結果とシミュレーション結果の年積算値比較

4.2. 省エネルギー手法による削減効果の検討

ここでは、各種省エネルギー手法として12種類のケースを想定し、それぞれの暖冷房用エネルギー消費量の削減効果について検討する。

4.2.1. 建物シェルター性能を変更した場合

建物の外壁断熱材や外壁蓄熱材の厚さが暖冷房用エネルギー消費量にどのような影響を及ぼすかを把握するため、ケース1とケース2ではそれぞれ建物の外壁断熱材や外壁蓄熱材の厚さを変更した場合の削減効果を検討する。ケース0は前節で述べた上海住宅02の計算結果であり、断熱材のポリスチレン発泡板が60mm、蓄熱材の普通コンクリートが200mmである。ケース1ではポリスチレン発泡板を80mmに変更し、ケース2では普通コンクリートを260mmに変更する。住戸の開口面積が暖冷房用エネルギー消費量にどのような影響を及ぼすかを把握するため、ケース3やケース4では開口面積（窓の大きさ）を変更した場合の暖冷房用エネルギー消費量の削減効果を検討する。建物の外装色は、一般に隣接建物と同系色として周辺景観との調和に配慮するなどの美観維持が求められるが、建物の暖冷房用エネルギー消費量にも影響を及ぼすので、その効果を把握するため、ケース5やケース6では建物外装色を変更した場合の削減効果について検討した。表5にケース1～6の建物シェルター性能変更内容をまとめる。

図11に、各ケースにおける暖冷房用エネルギー消費量の計算結果と削減率を示す。削減率とは変更後の暖冷房用エネルギー消費量を変更前の暖冷房用エネルギー消費量（ケース0）で除した値である。冷房用エネルギー消費量については、最も削減率が大きいのはケース3である。これは、開口面積が小さくなるほど、窓からの入射日射量が少なくなるためと考えられる。暖房用エネルギー消費量については、最も削減率が大きいのはケース1である。これは断熱性能を向上すると熱損失が減り、日射熱も室内に閉じ込め易くなるためである。

4.2.2. 生活スタイルを変更した場合

暖冷房設定温度が暖冷房用エネルギー消費量にどのような影響を及ぼすかを把握するため、ケース7やケース8やケース9では暖冷房設定温度を変更した場合の暖冷房用エネルギー消費量の削減効果を検討する。暖冷房機器の運転スケジュールが暖冷房用エネルギー消費量にどのような影響を及ぼすかを把握するため、ケース10では暖冷房機器の運転スケジュールの違いによる暖冷房用エネルギー消費量の削減効果を検討する。ケース11は夏季防暑対策として昼間にカーテンで日射遮蔽を行った場合の冷房用エネルギー消費量に影響を検討する。夏季の冷房用エネルギー消費量を削減するため、冷房時間以外の夜間に窓を開放して通風により室内に冷気を導入した場合の効果を検討する。表6にケース7～12の居住者ライフスタイルの変更内容をまとめて示す。

図12に、各ケースにおける暖冷房用エネルギー消費量の計算結果と削減率を示す。冷房用エネルギー消費量の削減効果が大きいのはケース9であり、続いてケース8である。冷房使用時間を減らすより、冷房設定温度を高くした場合の削減効果が大きい。一方、暖房用エネルギー消費量の削減効果が大きいのはケース10であり、続いてケース7とケース9である。これより、暖房設定温度の変更、続いて暖房運転時間の減少による効果が高いことが分かる。

4.2.3. 年間暖冷房エネルギー消費量の削減効果

図13に各ケースにおける年間暖冷房用エネルギー消費量と削減効果を示す。他の省エネルギー手法より、暖房の設定温度を現状より1度下げる、冷房の設定温度を現状より2度上げることによる、年間暖冷房用エネルギー消費量の削減効果が最も大きいことが分かる。これによって年間暖冷房用エネルギー消費量を3割程度削減できる。次に、暖冷房使用時間を1時間減らすことによる年間暖冷房用エネルギー消費量の削減効果は1.5割程度である。また、夏季における昼間にカーテンで日射遮蔽することによる年間冷房用エネルギー消費量の削減効果も期待できる。その年間暖冷房用エネルギー消費量の削減は1割程度である。また、冷房を行う場合、夜間と明け方、外気温度が冷房設定温度より低下した場合、窓を開放して通風すれば、冷房用エネルギー消費量は若干削減される。

一方、建物シェルター性能に関して、建物の断熱材と蓄熱材を厚くした場合、暖冷房用エネルギー消費量はそれぞれ削減されるが、生活スタイルの変更に比べて削減効果は小さい。したがって、建設段階の経済性など考慮すると、むしろ居住者の住まい方による省エネルギー手法を採用した方がよいと考えられる。また、開口面積（窓の面積）を大きくすると、暖房用エネルギー消費量は減少するが、逆に冷房用エネルギー消費量が大幅に増加するので、年間暖冷房用エネルギー消費量にはあまり効果がない。

したがって、上海住宅02を対象に検討した省エネルギー手法のなかでは、暖冷房設定温度及び暖冷房運転時間の変更による年間暖冷房用エネルギー消費量の削減効果が最も大きい。

表5 建物シェルター性能変更内容のまとめ

case番号	変更点	備考
case0	無し	ポリスチレン発泡板の厚さ:60mm(熱伝導率0.05W/m・K) コンクリートの厚さ:200mm(熱伝導率1.74W/m・K) 窓の高さ:1500mm 外装色:グレー(外壁)
case1	壁体断熱材	断熱性能が向上する場合(ポリスチレン発泡板の厚さ:80mm)
case2	壁体蓄熱材	蓄熱性能が向上する場合(コンクリートの厚さ:260mm)
case3	開口面積	開口面積が減少する場合(窓の高さ:1000mm)
case4		開口面積が増加する場合(窓の高さ:1800mm)
case5	日射吸収率	日射吸収率が減少する場合(外壁外装色:白)
case6		日射吸収率が増加する場合(外壁外装色:茶)

4.3. 各都市の標準住宅モデルにおける削減対策の提案

本節では、前節で検討した省エネルギー手法を組み合わせ、各都市の標準住宅を対象とした暖冷房用エネルギー消費量の削減対策について検討する。

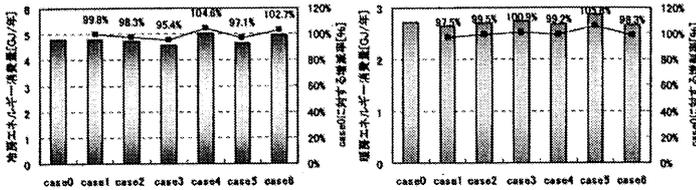


図11 各ケースの暖冷房エネルギー消費量
(左：冷房、右：暖房)

表6 居住者のライフスタイル変更内容のまとめ

case番号	変更点	備考
case0	無し	暖房：18℃、冷房：26℃ 夜間のみカーテンで遮蔽 暖冷房運転方式：間欠運転 冷房を行う場合、各室の窓を閉める
case7	暖冷房機器設定温度	暖房：17℃、冷房：26℃
case8		暖房：18℃、冷房：27℃
case9		暖房：17℃、冷房：28℃
case10	暖冷房運転方式	暖冷房使用時間がそれぞれ1時間減らす
case11	夏季防暑対策	昼間にカーテンで日射遮蔽
case12		冷房を行う場合、各室：22時～6時に窓を開放

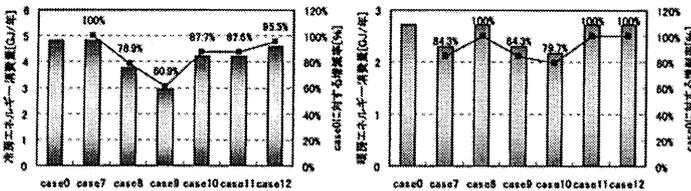


図12 各ケースの暖冷房エネルギー消費量
(左：冷房、右：暖房)

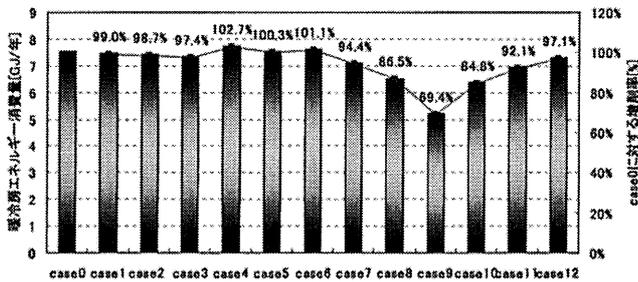


図13 各ケースの年間暖冷房エネルギー消費量と削減効果

4.3.1. 計算概要

各都市における暖冷房エネルギー消費量の削減対策を検討するため、2004年度から2006年度にかけて実施したアンケート調査の結果（調査都市の集合住宅の延床面積は86㎡）を参考に、夫婦と子供1人で構成される延床面積87.29㎡の住宅（以下、標準住宅モデル）を想定した。計算対象住宅は集合住宅の中間階中間住戸である。図14に標準住宅モデルを示す。多数室室温変動・熱負荷計算プログラムTriP³⁾と中国の標準気象データを用いて、各都市の標準住宅モデルにおける年間暖冷房負荷を算出し、暖冷房機器効率を考慮して年間暖冷房用エネルギー消費量を求める。表7に各都市の計算概要を示す。表8に壁体仕様⁴⁾を示す。壁体仕様は中国の建築省エネルギー技術標準規範に従った。在室パターン、内部発熱は生活スケジュール自動生成プログラムSCHEDULE Ver.2.0⁴⁾により算出した。

4.3.2. 各種省エネルギー手法の提案

各都市における暖冷房用エネルギー消費量の削減効果を

明らかにするため、前節で検討した各種省エネルギー手法を組み合わせ、以下のような省エネルギー対策を提案する。ケース A は標準住宅モデルの現状より、躯体の断熱性能と蓄熱性能、開口部の気密性能を向上、ケース B は厳寒・寒冷・夏暑冬冷地区に属する住宅の暖冷房設定温度を変更、ケース C は厳寒地区と寒冷地区の暖房運転方式を変更し、夏暑冬冷地区の空調時間の削減と夏季日射遮蔽ならびに夜間通風を行う。提案した省エネルギー手法を表 9 に示す。

4.3.3. 各種ケースの削減効果

各都市における標準住宅モデルの年間暖冷房用エネルギー消費量を図 15 に示す。年間暖房エネルギー消費量の平均値は、厳寒地区で 64.56GJ/年・世帯、寒冷地区で 37.87GJ/年・世帯、夏暑冬冷地区で 3.16GJ/年・世帯となっている。一方、年間冷房エネルギー消費量の平均値は夏暑冬冷地区で 6.30GJ/年・世帯となっている。図 16 に各種省エネルギー手法の計算結果を示す。

ケース A では、年間暖房エネルギー消費量の平均値は、厳寒地区で 57.00GJ/年・世帯、寒冷地区で 32.68GJ/年・世帯、夏暑冬冷地区で 2.82GJ/年・世帯となっている。一方、年間冷房エネルギー消費量の平均値は、夏暑冬冷地区で 5.68GJ/年・世帯である。ケース A の暖冷房用エネルギー消費量は、厳寒地区、寒冷地区、夏暑冬冷地区でそれぞれ 12%、14%、10%削減される。ケース B では、年間暖房エネルギー消費量の平均値は、厳寒地区で 56.59GJ/年・世帯、寒冷地区で 31.21GJ/年・世帯、夏暑冬冷地区で 2.29GJ/年・世帯となっている。一方、年間冷房エネルギー消費量の平均値は夏暑冬冷地区で 4.16GJ/年・世帯である。ケース B の暖冷房用エネルギー消費量は、厳寒地区、寒冷地区、夏暑冬冷地区でそれぞれ 12%、18%、32%削減される。ケース C では、年間暖房エネルギー消費量の平均値は、厳寒地区で 56.95GJ/年・世帯、寒冷地区で 33.27GJ/年・世帯、夏暑冬冷地区で 3.06GJ/年・世帯となっている。一方、年間冷房エネルギー消費量の平均値は夏暑冬冷地区で 5.15GJ/年・世帯である。ケース C の暖冷房用エネルギー消費量は、厳寒地区、寒冷地区、夏暑冬冷地区でそれぞれ 12%、12%、13%削減される。

以上、3つのケースを比較すると、ケース B の場合の削減量が最も大きい。また、建物の躯体の断熱性能と蓄熱性能及び開口部の気密性能を向上させた場合（ケース A）と、暖冷房運転時間の減少及び夏暑冬冷地区での夏季防暑対策を行った場合（ケース C）の削減効果はほぼ同じである。一方、この2ケースより、暖房の設定温度を現状より2度下げ、冷房の設定温度を現状より2度上げた場合（ケース B）の年間暖冷房用エネルギー消費量の削減効果が最も大きく、特に夏暑冬冷地区の年間暖冷房エネルギー消費量を約3割削減できることが分かる。したがって、建物の経済性など考慮すると、まずは居住者の住まい方による省エネルギー手法を推進すべきであろう。

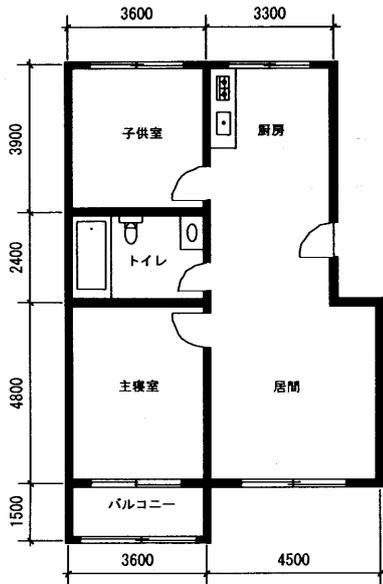


図14 標準住宅モデル

表7 各都市の計算概要

建築気候区分	厳寒地区		寒冷地区			夏暑冬冷地区	
	ハルビン	瀋陽	大連	北京	洛陽	上海	長沙
都市名	ハルビン	瀋陽	大連	北京	洛陽	上海	長沙
緯度	N45.45°	N42.02°	N39.28°	N39.58°	N35.05°	N31.22°	N28.14°
暖房設置場所	全室					居間、主寝室、子供室	
運転方式	24時間地域暖房					間欠運転	
暖房期間	開始日: 10月15日	11月5日	11月15日		11月20日		
終了日	4月21日	4月16日	3月15日		2月5日		
設定温度	20°C					20°C	
冷房設置場所	無し					居間、主寝室、子供室	
運転方式						間欠運転	
冷房期間	開始日					8月25日	
終了日						9月1日	
設定温度						26°C	
暖房効率	暖房: 0.95					暖房: 3.15 冷房: 2.67	

表8 壁体仕様

部位	仕様モデル	番号	材料	厚さ	熱伝導率λ (W/m·K)	熱貫流率κ (W/m²·K)
外壁	標準	1	モルタル(ポリマーセメント)	20mm	0.93	0.50
		2	石膏	40mm	0.03	
		3	普通コンクリート	200mm	1.74	
		4	モルタル(石灰)	20mm	0.87	
内壁	標準	1	モルタル(石灰)	20mm	0.87	1.52
		2	普通コンクリート	180mm	1.74	
		3	モルタル(ポリマーセメント)	20mm	0.93	
		4	防水層	10mm	0.17	
床	標準	1	モルタル(ポリマーセメント)	20mm	0.93	0.52
		2	普通コンクリート	120mm	1.74	
		3	グラス繊維	20mm	0.024	
		4	モルタル(ポリマーセメント)	20mm	0.93	
屋根	標準	1	防水層	10mm	0.17	0.37
		2	モルタル(ポリマーセメント)	20mm	0.93	
		3	保温断熱材	10mm	0.035	
		4	ポリスチレン発泡板	60mm	0.03	
		5	普通コンクリート	120mm	1.74	
開口部	標準	厳寒・寒冷地区: 二重普通サッシ(カーテン、ブラインド付) 夏暑冬冷地区: 一重普通サッシ				3.00

表9 各種省エネルギー手法の提案

case	条件	備考
標準住宅モデル(現状)	躯体熱貫流率: 0.5W/m²·K	ポリスチレン発泡板の厚さ: 80mm(熱貫流率0.86W/m²·K) コンクリートの厚さ: 200mm(熱貫流率1.74W/m²·K)
	開口部の熱貫流率	厳寒地区、寒冷地区: 二重普通サッシ 夏暑冬冷地区: 一重普通サッシ
	開口面積	窓の高さ: 1500mm
	設定温度	厳寒地区、寒冷地区: 暖房22°C 夏暑冬冷地区: 暖房20°C、冷房26°C
	運転方式	厳寒地区、寒冷地区: 全室24時間 夏暑冬冷地区: 間欠運転
CASE-A	躯体の蓄熱・断熱性能が向上した場合(躯体熱貫流率: 0.43W/m²·K)	ポリスチレン発泡板の厚さ: 80mm(熱貫流率0.76W/m²·K) コンクリートの厚さ: 200mm(熱貫流率1.74W/m²·K)
	開口部の気密性能が向上した場合	厳寒地区、寒冷地区: 二重(ペア)ガラス 夏暑冬冷地区: 二重普通サッシ
CASE-B	設定温度が変更した場合	厳寒地区、寒冷地区: 暖房20°C 夏暑冬冷地区: 暖房18°C、冷房28°C
	運転方式	厳寒地区、寒冷地区: 暖房24時間 夏暑冬冷地区: 間欠運転
CASE-C	運転時間の減少(夏暑冬冷地区のみ)	夜に1時間を減少する
	夏季防暑対策(夏暑冬冷地区のみ)	各室: 22時~6時に冷房を行う場合窓を開放する 昼間にカーテンで日射遮蔽

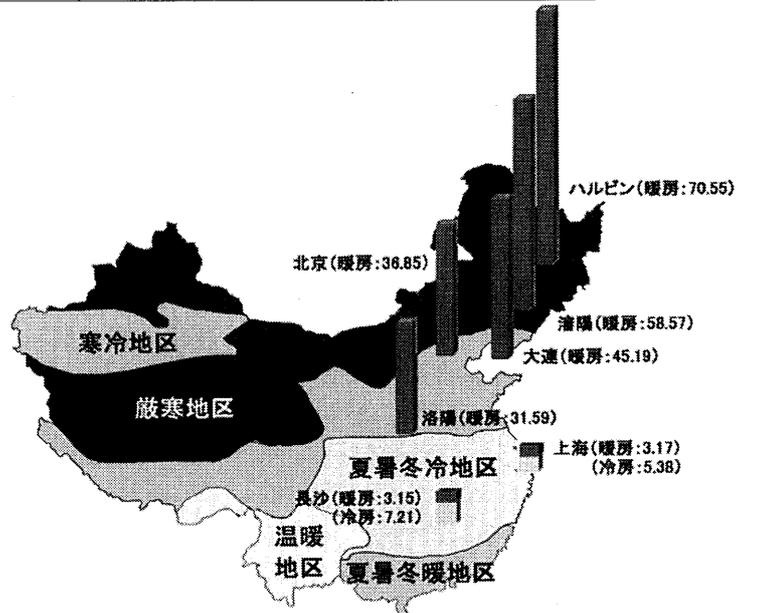


図15 暖冷房エネルギー消費量(標準住宅モデル) 単位: GJ/年・世帯

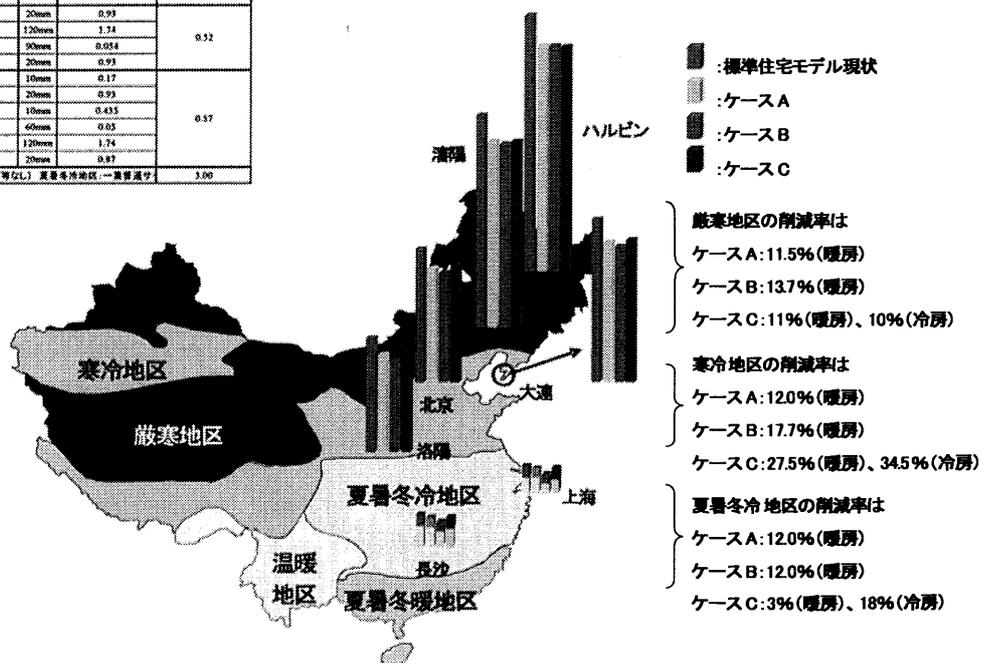


図16 暖冷房エネルギー消費量 (CASE-C) 単位: GJ/年・世帯

5. まとめ

本稿では、日本と中国における住宅のエネルギー消費実態について、両国で実施したアンケート調査結果及び実測調査結果に基づき様々な角度から比較を行った。住宅のエネルギー消費に関する日本と中国の実態は大きく異なることが明らかになった。それから、数値シミュレーションを用いて、実測住戸のなかから上海住宅02を対象に暖冷房用エネルギー消費量を再現し、省エネルギー手法による削減効果の算出を行った。以下に得られた結論を示す。

(1) アンケート調査結果では、中国の集合住宅の平均延床面積（約86 m²）は日本の集合住宅の平均延床面積（60 m²）の1.4倍である。築年数は、日本と中国ともに半数以上の住宅がこの10年以内に建設されており、比較的新しい住宅が多い。世帯人数では、日本と中国ともに平均約3人である。住宅構造については、日本の集合住宅は主に鉄筋コンクリート造（RC造）であり、中国ではコンクリートブロック造とRC造の住宅がそれぞれ約50%となっている。年間所得には極めて大きい差が見られ、中国における世帯当たりの年間所得は日本の1/10である。

(2) アンケート調査結果では、日本における集合住宅の年間総エネルギー消費量が31.10GJ/年・世帯、中国における5都市平均では地域暖房用熱消費量を除くと16.12GJ/年・世帯、地域暖房用熱消費量の推定値を含めると45.50GJ/年・世帯である。中国の厳寒地区及び寒冷地区の地域暖房用熱消費量が極めて大きい。

(3) 実測調査結果では、日本における住宅の年間総エネルギー消費量は20～40GJ/年・世帯の世帯が最も多い。一方、中国における夏暑冬冷地区では住宅の年間総エネルギー消費量は10～40GJ/年・世帯であり、厳寒地区では100GJ/年・世帯以上となっている。

(4) 実測住戸の暖冷房用エネルギー消費量を再現した結果、月積算では計算値と実測値との誤差が多少あるものの、エネルギー消費量の傾向を捉えることができた。

(5) 夏暑冬冷地区の住宅における外壁の断熱性能や窓の開口面積の変更は、暖房用エネルギー消費量削減には効果があるが、冷房用エネルギー消費量の削減に必ずしも有効ではなく、建築計画全体としての対応が必要である。

(6) 暖冷房の設定温度や運転時間の変更による暖冷房用エ

ネルギー消費量の削減効果は大きく、夏季において昼間のカーテンによる日射遮蔽や夜間の通風による夜間冷気の導入は生活スタイルの工夫による冷房用エネルギー消費量の削減効果が期待できる。

(7) 建物の躯体の断熱性能、蓄熱性能、気密性能の向上や夏暑冬冷地区での夏季防暑対策よりも、暖冷房設定温度を変更することによる年間暖冷房用エネルギー消費量の削減効果は大きい。

謝辞

本研究は平成18年度科学研究費補助金（基盤研究B）「中国における住宅エネルギー消費の現状把握とライフスタイルを考慮した将来予測」（研究代表者：東北大学教授吉野博）における研究活動の一環として実施したものです。また、本研究の遂行にあたり、日本建築学会地球環境委員会「中国における住宅の省エネルギー問題検討WG」の関係各位にご指導ご助言をいただきました。とくに、埼玉大学経済学部外岡豊教授には参考資料を、筑波技術大学産業技術学部張晴原教授に気象データを、それぞれご提供いただきました。記して謝意を表します。また、アンケート調査にご協力いただいた数多くの方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 于靚，他：中国における住宅のエネルギー消費に関するアンケート調査研究，都市・建築学研究，九州大学大学院人間環境学研究院紀要，第11号，pp.103-110，2007.
- 2) 日本建築学会特別調査委員会：日本の住宅におけるエネルギー消費，2006.
- 3) 林徹夫：マイコンによる住宅の多数室室温変動・熱負荷計算プログラムの開発，住宅総合研究財団研究年報，No. 19，pp. 337-346，1992.
- 4) 空気調和・衛生工学会：シンポジウム「住宅における生活スケジュールとエネルギー消費」テキスト付属プログラム「SCHEDULE Ver.2.0」，2000.
- 5) Detailed rules and regulations in enforcement of energy conservation design standard for new heating residential buildings，DB 21/1007-1998，Industrial Standard of PRC，China Architecture & Industry Press，Beijing.

（受理：平成21年6月4日）