

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18404012  
 研究課題名（和文） 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  
 研究課題名（英文） Investigation on the Actual Situation and Prediction Based on Lifestyle of Energy Consumption of Residential Buildings in China  
 研究代表者  
 吉野 博（YOSHINO HIROSHI）  
 東北大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号：30092373

研究成果の概要：中国の9都市における914軒の住宅を対象にアンケート調査とメーター読み取り調査を実施した。また、都市部の集合住宅におけるエネルギー消費と室内環境の実態を把握するため、上海、長沙、ハルビン、北京、大連、瀋陽の6都市において、各都市2軒ずつ合計12件の集合住宅におけるエネルギー消費量と室内外温度を測定し、ピーク電力を分析した。実測結果を基に、標準モデル住宅を対象とした数値計算を行い、各種省エネ手法に対する代表都市の暖冷房負荷の削減効果を検証した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	7,500,000	2,250,000	9,750,000
2007年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2008年度	3,100,000	930,000	4,030,000
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 建築環境・設備

キーワード：中国 エネルギー消費 環境問題 アンケート調査 実測調査 数値計算

### 1. 研究開始当初の背景

地球環境時代にあつて、グローバルな環境戦略を考えなければならない。現在、中国は大きな経済発展を遂げつつあり、それに伴って生活水準が向上し、エネルギー消費量が急激に増加している。特に、都市化の進行と所得の上昇に伴い、都市部の家庭用エネルギー消費は急速に拡大している。この消費拡大を防ぐためには、各種のエネルギー対策を施して持続可能な居住環境を形成していく必要があるが、その基礎となる室内環境とエネルギー消費に関するデータは乏しい。

### 2. 研究の目的

本研究では、中国の都市部における住宅の

エネルギー消費量、温熱環境、住まい方の実態把握を目的とし、集合住宅を対象としたアンケート及び実測調査を行う。更に、実測値の傾向を再現可能な計算モデルを構築し、数値計算によりエネルギー消費の予測を行う。

### 3. 研究の方法

第一に、図1における9都市の集合住宅914件を対象として、2007～2008年に調査を行った。表1にアンケートの内容を示す。



図1 調査対象都市

読み取り調査では、電力及びガスメーターの数字を月ごとに読み取り、各月のエネルギー消費量を算出する。

第二に、アンケート・読み取り調査を行ったハルビン、瀋陽(厳寒地域)、大連、北京(寒冷地域)、上海、長沙(夏暑冬冷地域)の6都市で、各都市2件ずつの合計12件の集合住宅における実測調査を行った。表2に調査内容と方法を示す。電力及びガスのエネルギー消費量、室内外温湿度の測定(30分間隔)の他、居住者の住まい方や環境意識などに関するアンケート及びヒヤリング調査を実施した。対象住宅の概要と調査期間を表3に示す。

第三に、既存の計算プログラム(TRANSIS, SYSTEMS)を用いて標準モデル住宅を作成し、暖房負荷の予測と各種省エネ手法の効果の検証を行った。

#### 4. 研究成果

(1) アンケート及びメーター読み取り調査によるエネルギー消費の実態把握

① アンケート調査の結果 図2に暖房使用率の経時変化を示す。厳寒・寒冷地域のハルビン、大連、ウルムチ、北京では地域暖房が利用されており、すべての住宅が24時間暖房されている。一方、夏暑冬冷地域の南京、上海、馬鞍山、長沙及び重慶は個別暖房であり、団欒時(18~23時)にピークが現れる。広

表1 アンケート調査の内容

調査内容の分類	質問項目
住宅の特性	建設年、構造、建築面積、部屋の方向、建物の階数 外壁、内壁、床材、窓材、玄関ドアの構成、窓の構成
暖冷房設備	暖冷房器具、使用範囲、期間、時間、設定温度、満足度
給湯設備	給湯器用エネルギー源、給湯方式、給湯場所
ライフスタイル	居住人数、在宅人数、納涼方法、満足度
エネルギー消費量	エネルギー種類、問題点、光熱費割合、省エネ意識

表2 実測調査の内容と方法

調査内容	調査方法	
	測定機器	測定間隔
エネルギー消費量	電力	使用電力情報収集システム(中国用に改造) 1分
	ガス	カメラ型カラー画像記録装置 5分
室内外温熱環境	温湿度	温湿度センサー付小型データロガー 30分
アンケート調査	建物概要、機器の使用、住まい方、省エネ意識、在宅時間、年収	
ヒヤリング調査	建物概要・使用頻度、世帯構成、エネルギー種類、問題点、家電製品の仕様	
現場の測量	住宅の平面計画、各要素の寸法の測量	

表3 対象住宅の概要と調査期間

年度	都市	住宅名	建築年	延べ床面積 [m <sup>2</sup> ]	構造工法	暖房	冷房	給湯	調理	家族人数	測定期間
2007年度	上海	住宅01	1995	129.6	RC造	電気	電気	ガス	ガス	4	2006年12月~2007年12月
		住宅02	2002	130.0	RC造	電気	電気	地域給湯	ガス	3	2006年12月~2007年12月
	長沙	住宅03	1999	106.0	煉瓦造	電気	電気	電気	ガス	4	2006年12月~2007年12月
		住宅04	2000	103.0	煉瓦造	電気	電気	ガス	ガス	3	2006年12月~2007年12月
		住宅05	2001	180.5	RC造	地域暖房	無	地域給湯	ガス	3	2006年1月~2008年1月
2008年度	ハルビン	住宅06	1999	104.0	煉瓦造	地域暖房	無	電気	ガス	3	2007年1月~2008年1月
		住宅07	2004	80.5	RC造	ガス	電気	ガス	ガス	3	2006年1月~2008年1月
	北京	住宅08	2006	90.0	RC造	地域暖房	電気	ガス	ガス	3	2006年1月~2008年1月
		住宅09	2004	101.4	煉瓦造	地域暖房	電気	太陽熱	ガス	2	2006年1月~2008年1月
	大連	住宅10	2002	89.0	煉瓦造	地域暖房	電気	電気	ガス	4	2006年1月~2008年1月
		住宅11	2001	110.0	煉瓦造	地域暖房	無	電気	ガス	5	2006年2月~2008年2月
	瀋陽	住宅12	2003	100.0	煉瓦造	地域暖房	無	電気	ガス	3	2006年2月~2008年2月

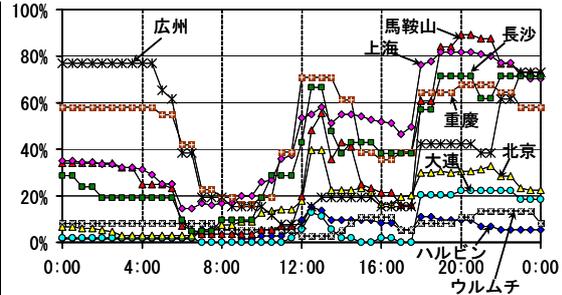


図2 夏季アンケートによる冷房使用率の経時変化

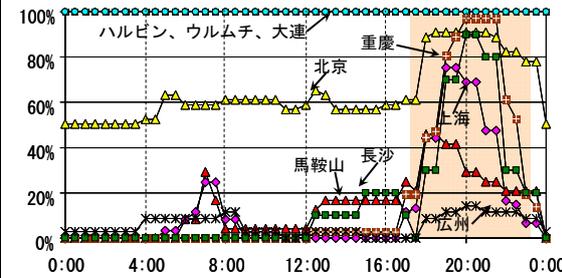


図3 冬季アンケートによる暖房使用率の経時変化

州は温暖な地域であるため、暖房はほとんど使用しない。図3に冷房使用率の経時変化を示す。ハルビンを除いて、調査都市のエアコン保有率は8割以上である。広州及びハルビンを除く都市では1日に2回の使用ピークがある。主要なピークは夜の団欒時(20~21時)で、上海及び重慶では明け方近くまで使用している。また、昼食時から午後の休憩時の間(12~15時頃)にピークがある。広州は他の都市と異なり、日中のピークが見られず、数多くの住宅において、就寝時から明け方にかけての使用が中心である。

② メーター読み取り調査の結果 図4に、各都市における月毎の電力・ガスの消費量、並びに両者を合計した総エネルギー消費量、外気温を示す。各都市ともに、外気温の変化の影響を強く受け、季節によりエネルギー消費量が大きく変化している傾向が見られる。盆地に位置する重慶では、夏に冷房(除湿も含む)時間が多いため、電力消費量は他の都市より高い。広州では、冬期でも外気温が高く、ほとんど暖房を使用しないため、冬期の電力消費量は中間期とほぼ同じである。ガスの消費について、南部の重慶・長沙及び広州では、北部より消費量が多い。これは南部地域の飲茶、煮物料理などの食生活習慣の違いで、北部の都市より調理時間が長いと考えられる。重慶・長沙では、冬期に給湯や炊事にかかる時間が多くなるため、ガス消費量は中間期より若干多くなる。

(2) エネルギー消費と室内外温熱環境の実測調査

①用途別の年間エネルギー消費量(住宅01~12, 図5) 照明、冷蔵庫、娯楽&情報による消費量については、最も多い住宅01と最も少ない住宅09の間に7倍以上の差が見ら

れた。住宅 02, 05, 12 以外の住宅では給湯・調理による消費量とともに把握できており、住宅 01, 03, 06, 09, 10 の消費量は同程度だが、住宅 04, 07, 08 はその約半分であった。また、住宅 03 と 06 の結果より、調理と給湯の消費量は同程度であることが確認された。暖冷房による消費量を確認できた住宅は 01~04 であり、住宅 04 を除いた 3 件では、冷房による消費量が暖房よりも大きい。

②エネルギー消費の長期変動 北京の住宅 07, 08 を例として報告する。図 6 に住宅 07, 08 における日積算用途別エネルギー消費量の長期変動 (08/01/01~09/01/01) を示す。住宅 07 では、調理・給湯・暖房以外の用途に電気を、住宅 08 では、調理&給湯のみにガスを使用している。(ア)温度 住宅 07, 08 とも、冬季は暖房を終日使用しており、居間の日平均温度が 20℃前後で安定している。夏季には、日平均室内温度が 30 度近くとなっている。(イ)電力 住宅 07, 08 とも、夏季には主に 6 月末~8 月末にかけて冷房の使用が見られ、冷房用エネルギー消費量は 7 月中旬に最も多くなり、8 月中旬以降は少なくなった。住宅 08 では、熱帯魚水槽の水温を終日 28℃程度に保つためにヒータが使用され、その消費量が冬季の全体消費量に占める割合が高い。それ以外の消費量は、各月の間で大きな差が見られなかった。(ウ)ガス 住宅 07 では暖房・給湯・調理にガスを使用しているの、特に冬季におけるガス消費量が極めて大きい。住宅 08 で冬季の調理&給湯の消費量が他の季節より大きいのは、調理時間と入浴用エネルギー消費が増加するためである。

③住宅 07 における最寒日・最暑日前後 3 日間の消費量変動 図 7, 図 8 に住宅 07 における最寒日、最暑日前後 3 日間の用途別エネルギー消費量と室内外温度の時刻変動 (30 分間隔) を示す。(ア)室内外温度の変動 最寒日

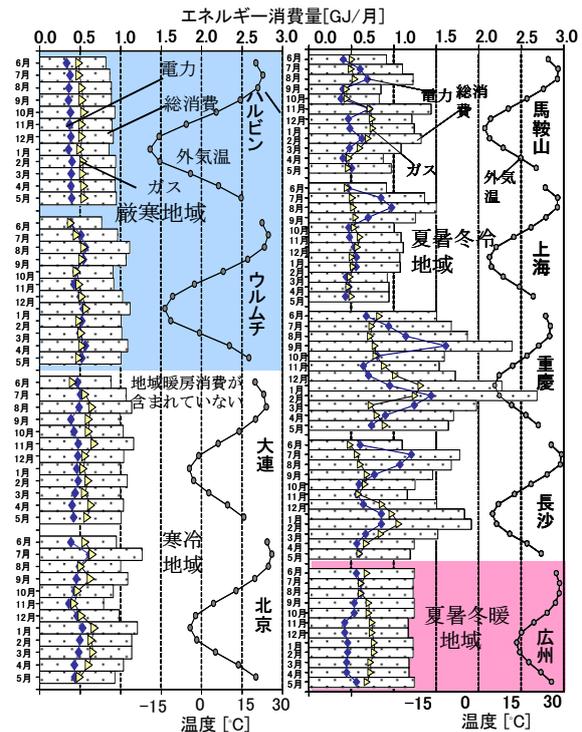


図 4 各都市の電力とガスの積算エネルギー消費量

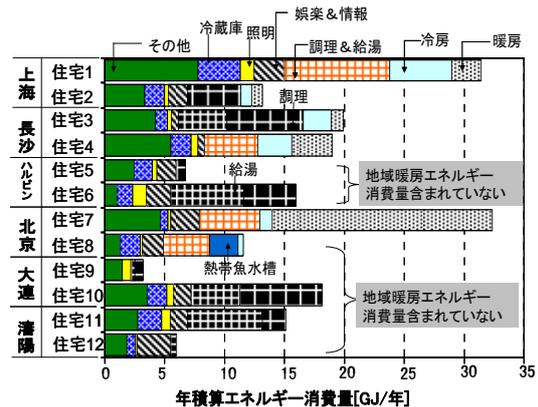


図 5 用途別の年間エネルギー消費量

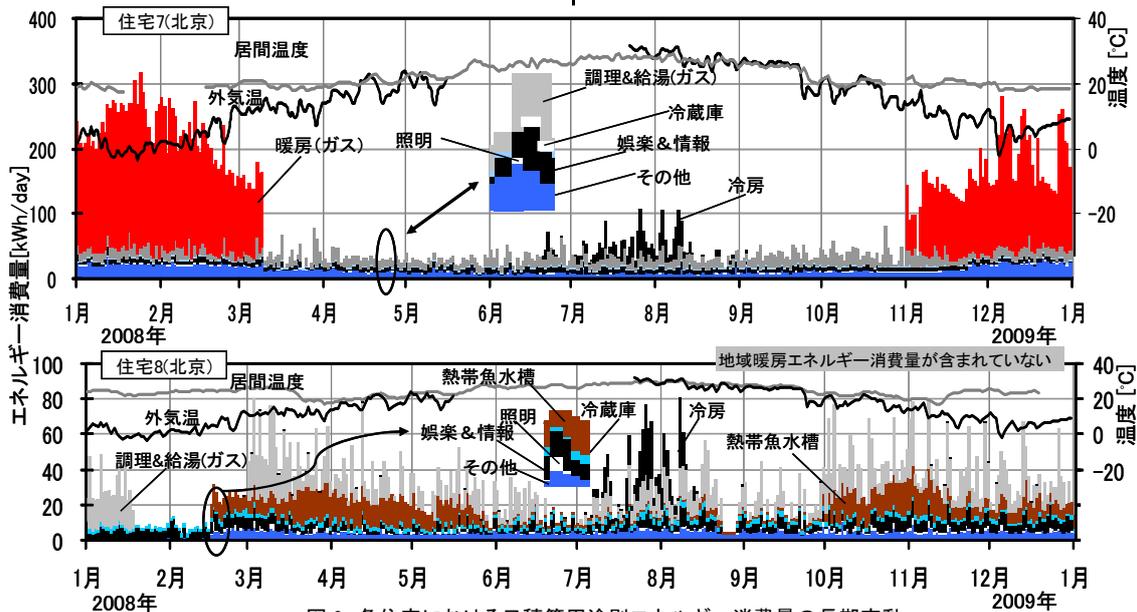


図 6 各住宅における日積算用途別エネルギー消費量の長期変動

前後 3 日間では、外気温が $-7^{\circ}\text{C}\sim 1^{\circ}\text{C}$ の間で変動するのに対し、室内温度が $19^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ 前後で安定していた。最暑日前後 3 日間では、外気温が $25^{\circ}\text{C}\sim 32^{\circ}\text{C}$ に対して、室内気温は冷房により $25^{\circ}\text{C}$ 以下に維持されていた。(イ)エネルギー消費の特徴 最寒日前後 3 日間では、全体の消費量に対して暖房の消費量の占める割合が大きい。一方、冷房設備として、居間、主寝室、子供室にエアコンが設置されており、最暑日前後 3 日間では、夜を中心に冷房が使用されていた。全体の消費量に対して冷房の消費量の占める割合が大きい。また、調理により、冬季、夏季ともに朝・昼・夜に幾つかの消費ピークが現れる。照明は、朝と団欒時を中心に使用されている。図に示した最寒日・最暑日を含む 3 日間は、それぞれ冬季、夏季の長期休暇の時期と重なり、娯楽&情報による消費がほぼ一日中見られる傾向にあった。冷蔵庫の消費量は、夏季、冬季でそれぞれ 0.5KW, 0.7KW であり、冬季より夏季の方が若干大きい。

(3) ピーク電力消費の実態把握

① ピーク電力消費量の長期変動 ピーク値は 1 分間で測定した実測データから算出する。1 分間ピーク値は 1 分間の電力積算値において 1 日で最も消費量の大きい値とし、1 分間の積算値を 15 分間あたりの消費量に換算した値において、1 日で最も消費量の大きい値を 15 分間のピーク積算値とする。同じ方法で 1 時間のピーク消費量を算出する。図 9 に、上海の住宅 01 とハルビンの住宅 05 におけるピーク電力消費量の長期変動を示す。個別暖房の住宅 01 では、1 日のピーク値の季節変動が大きい。一方、地域暖房されている住宅 05 の場合、季節変動よりも日変動が大きい。住宅 01, 05 とともに、ピーク算出の積算時間を長くすることによって、ピーク値が減少することが確認された。

② ピーク値の発生時間 図 10~11 に住宅 01, 06 における冬季 1 ヶ月の平均電力消費の時刻変動とピーク値の発生時刻、その時点における機器別電力消費量を示す。住宅 01 ではエアコンによる暖房が行われており、18~

22 時頃にピークの発生が集中していた。住宅 06 では、週に 1~2 回の頻度で洗濯機の使用によるピークの発生が見られた。

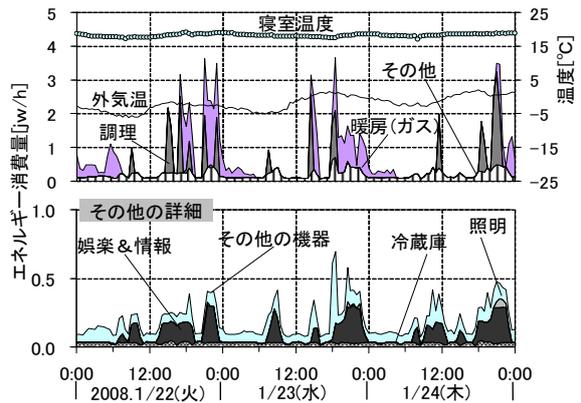


図 7 最寒日前後 3 日間における住宅 7 のエネルギー消費変動

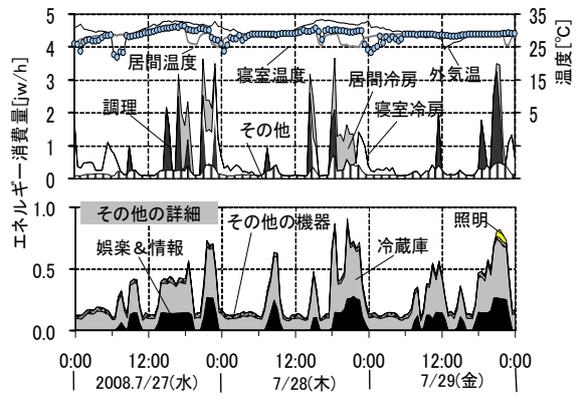


図 8 最暑日前後 3 日間における住宅 7 のエネルギー消費変動

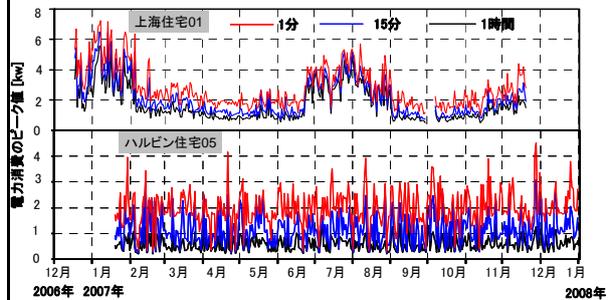


図 9 ピーク電力消費量の長期変動

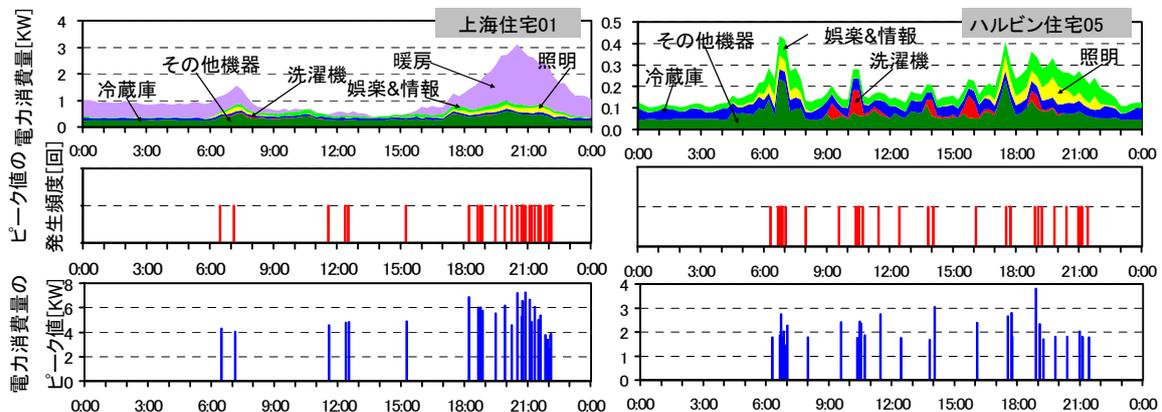


図 10 冬季電力消費量の時刻変動とピーク値発生時刻の分布

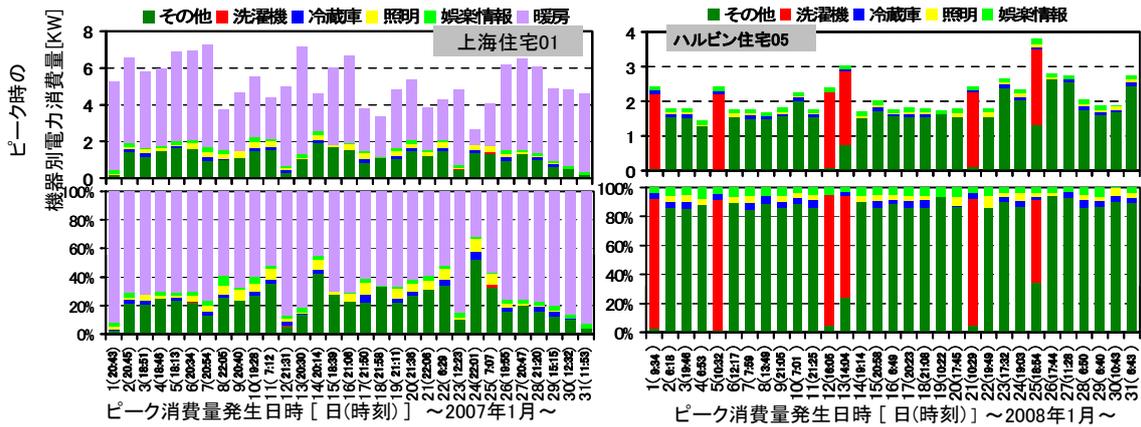


図 11 冬季ピーク時の機器別消費量とその割合

(4) 標準モデル住宅を想定した各都市の暖冷房負荷の予測とエネルギー削減手法の検証

表 2 にモデル住宅の概要、図 12 にその平面プランを示す。年間エネルギー消費量の計算値と読み取り調査の結果は大きく乖離することはない、傾向をよく再現していると言える。図 13 に、現状を基準とした各都市の暖冷房負荷の削減予測を示す。

① 厳寒・寒冷地域 地域暖房の影響で、暖房負荷は削減余地が大きい。躯体の断熱性能を向上させること、必要最小限の換気量を確認した上で気密性能を高めることが、省エネルギー対策として非常に有効であり、暖房設定温度を終日 18~20℃にする、もしくは、非在室時に 16℃に設定する等の適切な手法が施されれば、暖房負荷を 6.5 割程度 (20GJ~46GJ/年・戸) 削減できることが確認された。

表 2 標準モデル住宅の概要

項目	内容
住宅構造	レンガコンクリート混構造 6階建て中層集合住宅
延べ床面積	83㎡
家族人数、構成	3人家族 夫婦2人、子供1人
暖房運転	厳寒・寒冷地域: 全室24時間地域暖房 夏暑冬冷地域: エアコン(居間, 主寝室, 子供室) 夏暑冬暖地域: 無し
冷房運転	厳寒地域・寒冷地域: 冷房無し(北京を除く) 北京: エアコン(居間, 主寝室, 子供室) 夏暑冬冷地域: エアコン(居間, 主寝室, 子供室) 夏暑冬暖地域: エアコン(居間, 主寝室, 子供室)
給湯設備	ガス式給湯器
調理設備	ガスコンロ

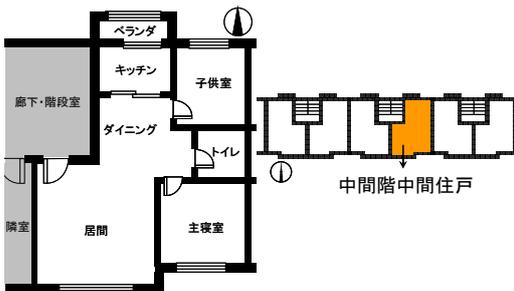


図 12 標準モデル住宅の平面プラン

② 夏暑冬冷地域 (ア) 冬季における暖房負荷 個別暖房機器を使用すると仮定し、躯体の断熱性及び気密性を向上させた後、現状型の使用方式の下で、設定温度を 18℃にした場合、暖房負荷を 4~7 割 (2.1~2.8GJ/年・戸) 削減できることが確認された。一方、室内温熱性を重視し、在室時の設定温度を 20℃として、適切な躯体の断熱性と気密性を確保し、且つ、開口に工夫を施した場合、暖房負荷は、中間階の中央に位置する住宅が現状とほぼ同じで、最上階の東側住宅が現状の 1.6 倍という結果となった。(イ) 夏季における冷房負荷 躯体の断熱性及び気密性を向上し、現状の冷房使用方式で、設定温度を 28℃にした場合、冷房負荷が 5%程度削減できることを確認した。個別冷房が使用されている夏暑冬冷地域では、現状の冷房使用のままで、躯体の断熱性と気密性を向上しても、大きな冷房負荷の削減には繋がらなかった。一方、室内温熱性を重視した場合、冷房負荷が 1.4~2 倍増加する傾向にあった。

③ 夏暑冬暖地域 躯体の断熱性及び気密性を向上し、現状の冷房使用方式で、設定温度を 28℃にした場合、冷房負荷が 2 割 (2GJ/年・戸) 削減できることを確認した。

### 5. まとめ

調査により中国の都市集合住宅におけるエネルギー消費量の実態を把握した。更に、数値計算による標準住宅予測モデルを構築

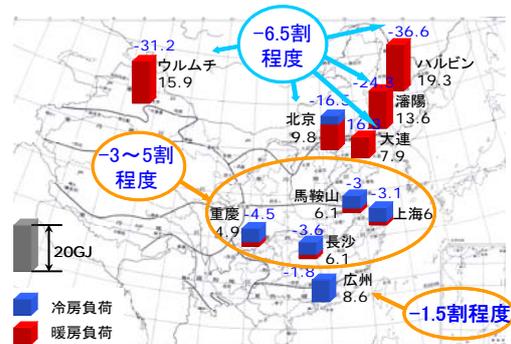


図 13 現状を基準とした各都市暖冷房負荷の削減予測

し、メーター読み取り値と比較検証した後、暖冷房負荷を低減するための建築設計手法及び住まい方について検討した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- ① 于リヤン, 渡辺 俊行, 吉野 博, 高 偉俊, 中国における都市部集合住宅のエネルギー消費に関する調査研究, 日本建築学会環境系論文集, 73 巻第 624 号, pp. 183-190, 2008 年, 査読有
- ② 張晴原, 吉野博, 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, 日本建築学会環境系論文集, 第 618 号, pp. 9-16, 2007.8, 査読有
- ③ CHEN Shu-qin, LI Nian-ping, Hiroshi Yoshino, Research on the statistical method of residential energy consumption in China, Journal of Harbin Institute of Technology (New Series), vol. 14, pp. 93-97, 2007 年, 査読有
- ④ LI Zhen-hai, SHI Rui-hua, Yoshino Hiroshi, Investigation and analysis on residential energy consumption in Shanghai, Journal of Harbin Institute of Technology (New Series), vol. 14, pp. 130-133, 2007 年, 査読有
- ⑤ Hiroshi Yoshino, Yasuko Yoshino, Qingyuan Zhang, Akashi Mochida, Nianping Li, Zhenhai Li, Hiroyuki Miyasaka Indoor thermal environment and energy saving for urban residential buildings in China, ENERGY and BUILDINGS, Vol.38, 1308-1319, 2006 年, 査読有
- ⑥ Nianping Li, Shuqin Chen, Hiroshi Yoshino, Di Le, Feng Gao, Research on the Energy Utilization Structure of Rural Residence in Hunan Province, China, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol.5 No.2, 413-419, 2006 年, 査読有

[学会発表] (計5件)

- ① Hiroshi Yoshino, Contrastive Analyses on Annual Energy Consumption between New Residential Buildings and Old Residential Buildings in Shanghai, China, International Conference of the Air Infiltration and Ventilation Center "AIVC", 2008年10月15日, 国立京都国際会館(京都府京都市)
- ② 吉野 博, 上海, 長沙, ハルビンの都

市住宅におけるエネルギー消費量と温熱環境の実測調査, 日本建築学会大会, 2008年9月18日, 広島大学 (広島県広島市)

- ③ 吉野 博, 中国の3都市における集合住宅のエネルギー消費量と室内外温熱環境の実測調査, 空気・調和衛生工学会大会, 2008年8月27日, 立命館大学 (滋賀県草津市)
- ④ Hiroshi Yoshino, Investigation of Urban Residential Energy Consumption in China, 2008 International Conference on Building Energy and Environment "COBEE 2008", 2008年7月14日, 大連理工大学 (中国・大連)
- ⑤ 吉野 博, 上海, 長沙, ハルビンの都市住宅におけるエネルギー消費量と温熱環境の実測調査, 日本建築学会東北支部研究報告会, 2008年6月15日, 弘前大学(青森県弘前市)

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者 吉野 博 (YOSHINO HIROSHI)  
東北大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 30092373

(2) 研究分担者

渡辺 俊行 (WATANABE TOSHIYUKI)  
九州大学・人間環境学研究科・教授  
研究者番号: 60038106

張 晴原 (ZHANG QING-YUAN)  
筑波技術大学・産業情報学科・教授  
研究者番号: 70227346

高 偉俊 (GAO JUN-WEI)  
北九州市立大学・国際環境工学部・教授  
研究者番号: 20288004

吉野 泰子 (YOSHINO YASUKO)  
日本大学短期大学部・建設学部・教授  
研究者番号: 90269499

外岡 豊 (TONOOKA YUTAKA)  
埼玉大学・経済学部・教授  
研究者番号: 00282418

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

劉 加平 (LIU JIA-PING)  
西安建築科技大学・建築学院・教授  
李 念平 (LI NIAN-PING)

湖南大学・建築環境設備工程系・教授  
李 振海 (LI ZHEN-HAI)  
同济大学・機械工程学院・教授

劉 京 (LIU JING)  
ハルビン工業大学・市政環境工程学院  
朱 穎心 (ZHU YING-XIN)

清華大学・建築学院・教授  
SERGE SALAT

Ecole Nationale des Ponts et Chaussees・准教授