

平成30年度
第3回日本工学アカデミー北海道・東北支部講演会

脱炭素社会における住宅環境の将来像
—日本と中国の比較から見えてきたもの—

東北大学 名誉教授
秋田県立大学客員教授、前橋工業大学客員教授
吉野 博

講演内容

1. はじめにー温暖化防止に向けた動き
2. 日本における現状と今後の方向
 - 2.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 2.2 室内環境と健康・快適性
 - 2.3 ゼロエネルギー建築への方向
3. 中国における現状と今後の課題
 - 3.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 3.2 室内の温熱環境と健康問題
 - 3.3 省エネルギー対策とその効果の予測
4. 今後の方向

講演内容

1. はじめにー温暖化防止に向けた動き
2. 日本における現状と今後の方向
 - 2.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 2.2 室内環境と健康・快適性
 - 2.3 ゼロエネルギー建築への方向
3. 中国における現状と今後の課題
 - 3.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 3.2 室内の温熱環境と健康問題
 - 3.3 省エネルギー対策とその効果の予測
4. 今後の方向

地球温暖化防止に係る動き

1997.12 京都議定書(COP3)議決(2005年発効)

2007.5 IPCC/第4次レポート公表

2009.7 G8首脳会議(イタリア・ラクイラ)

2050年までに少なくとも50%削減するとの目標を再確認

2010.12 COP16(メキシコ)ポスト京都議定書の議論

2011.3 東日本大震災／福島第一原発事故

2013.9-2014.11 IPCC/第5次レポート公表

人間活動が温暖化の支配的な要因であった可能性が極めて高い

2015.9 SDGs国連本部にて採択

人間、地球及び繁栄のための行動計画17の目標と169のターゲット

2016.11 COP21 パリ協定発効

地球の気温上昇を2°C未満、1.5°Cに抑える努力

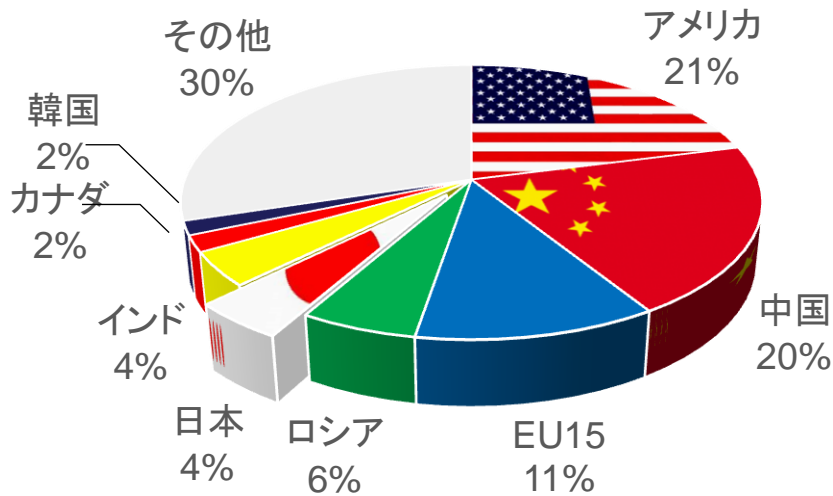
2018.7 経済産業省 エネルギー基本計画改定

2018.10 IPCC特別報告書『1.5°Cの地球温暖化』

1.5°Cに抑えることにより影響が回避

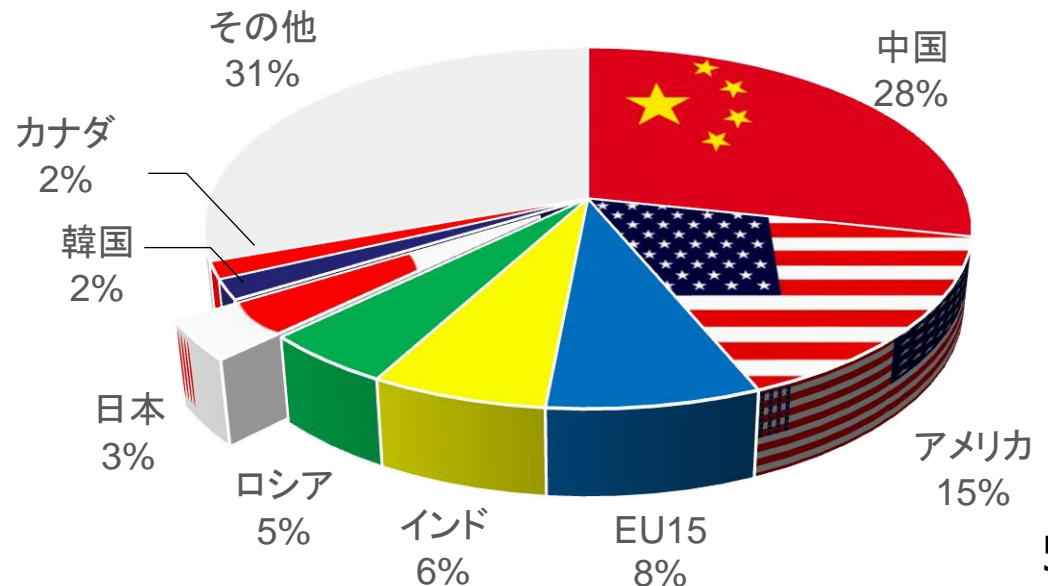
各国からのCO₂排出量

276億トン(2005)



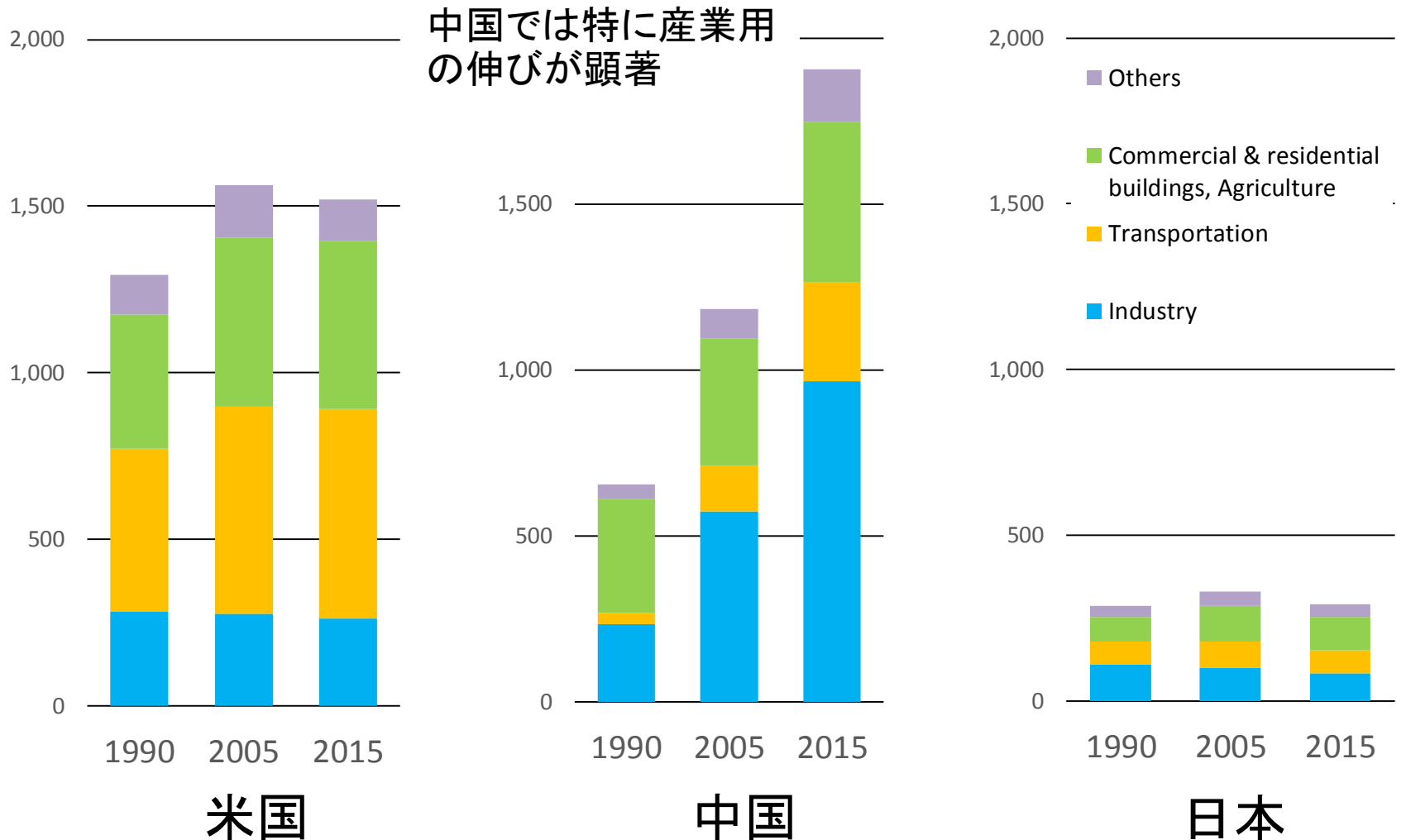
- ・2005年では米国、中国の順、2015年には、中国が米国を大幅に上回る。
- ・日本は2005年では5番目で4%、2015年には、インドが4番目に入ってきて6番目の3%。

329億トン(2015)



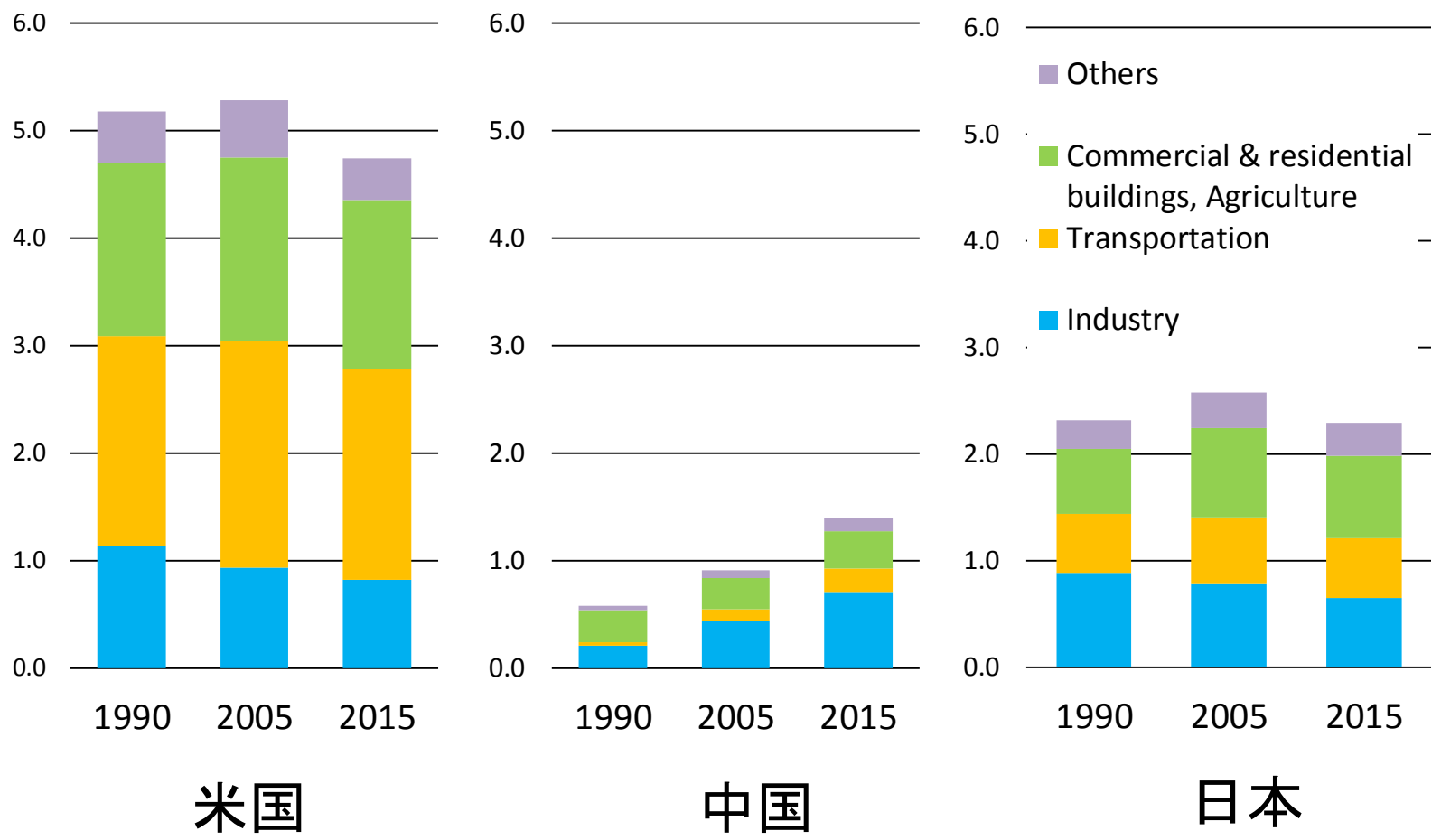
米・中・日の総エネルギー消費量

X10⁶ ton oil equivalent



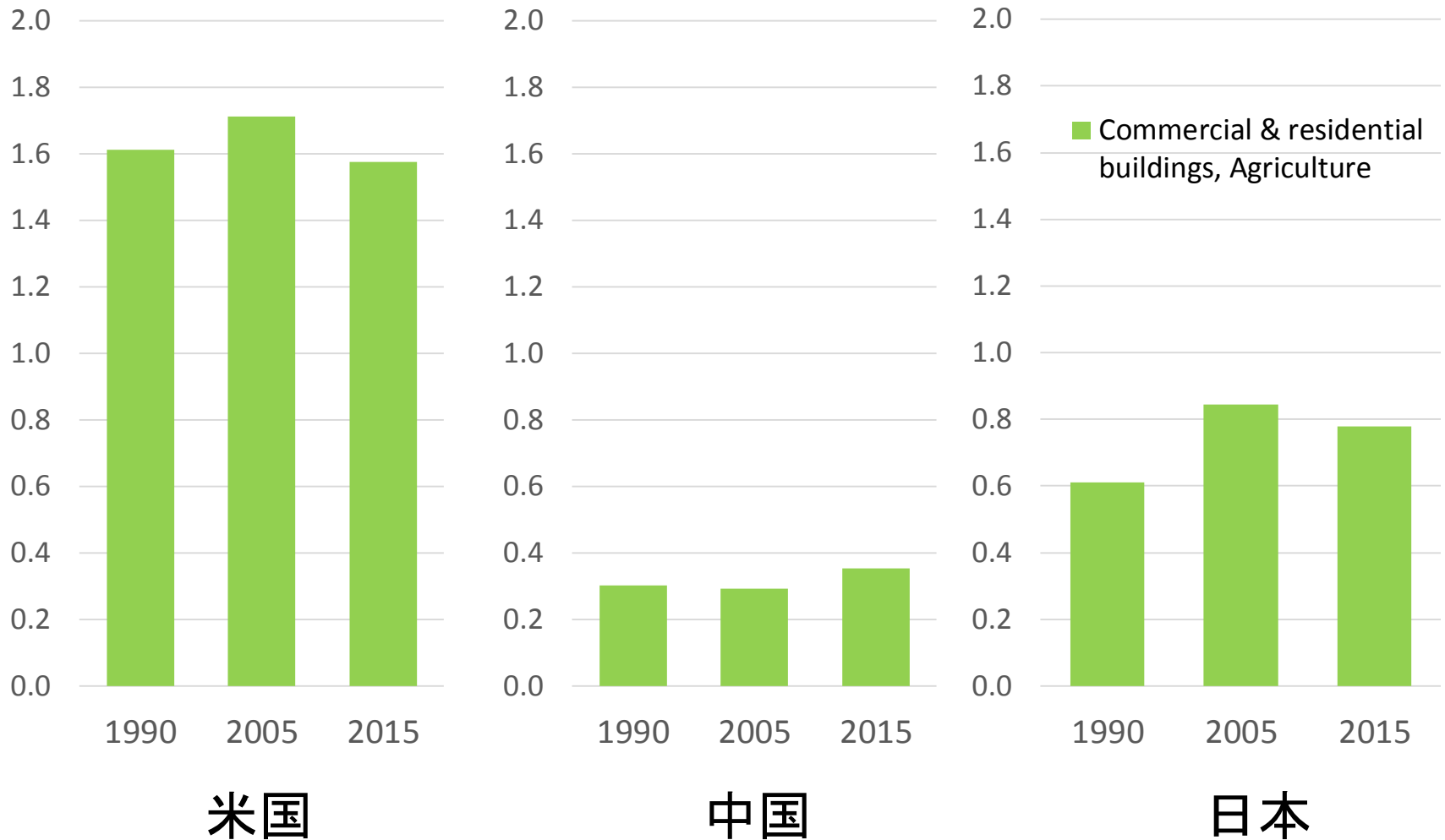
米・中・日の一人当たりエネルギー消費量

Oil equivalent ton / person



一人当たり民生用エネルギー消費量

Oil equivalent ton / person



講演内容

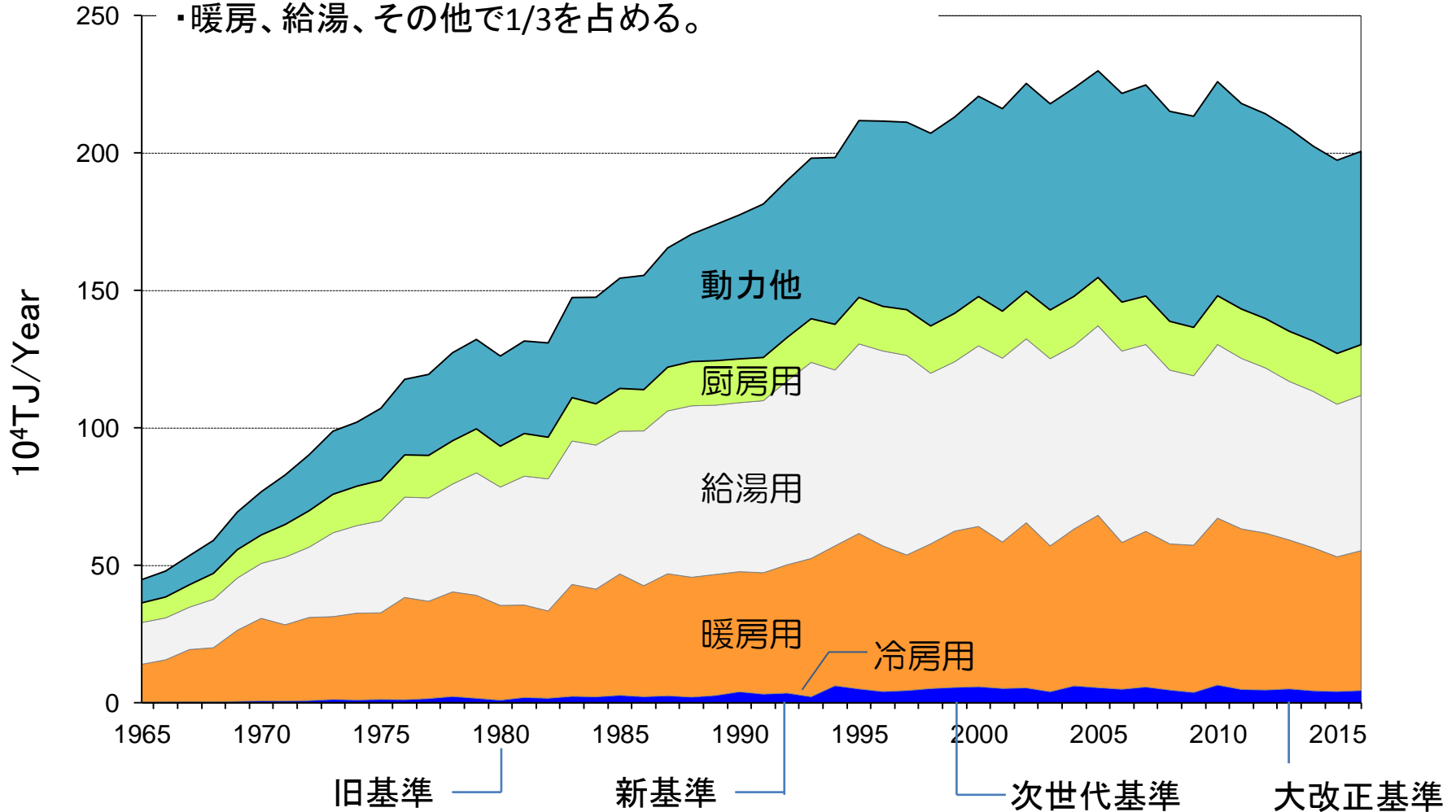
1. はじめにー温暖化防止に向けた動き
2. **日本における現状と今後の方向**
 - 2.1 **住宅におけるエネルギー消費量**
 - 2.2 室内環境と健康・快適性
 - 2.3 ゼロエネルギー建築への方向
3. 中国における現状と今後の課題
 - 3.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 3.2 室内の熱環境と健康問題
 - 3.3 省エネルギー対策とその効果の予測
4. 今後の方向

省エネルギー基準関連の経緯

- 1973年(昭和48年) 第1次石油危機
- 1980年(昭和55年) 住宅の省エネ基準制定(旧省エネ基準: 等級2)
- 1992年(平成4年) 住宅の省エネ基準改定(新省エネ基準: 等級3)
- 1997年(平成9年) COP3(気候変動枠組条約締約国会議)京都会議
- 1999年(平成11年) 住宅の省エネ基準改定(次世代省エネ基準: 等級4)
- 2002年(平成14年) シックハウス防止建築基準法の改正
- 2013年(平成25年) 住宅の省エネ基準改正
(建物の外皮性能に加えて、設備性能も含めて総合的に評価)
- 2016年(平成28年) パリ協定発効
- 2017年(平成29年) 建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律
- 2018年(平成30年) エネルギー基本計画改定
(2020年までにハウスメーカー等が新築する注文戸建住宅の半数以上で
2030年までに新築住宅の平均でZEH(Zero Energy House)の実現を目指す。)
- 2020年(平成32年) 省エネルギー基準の義務化(300m²以下の住宅は除外)

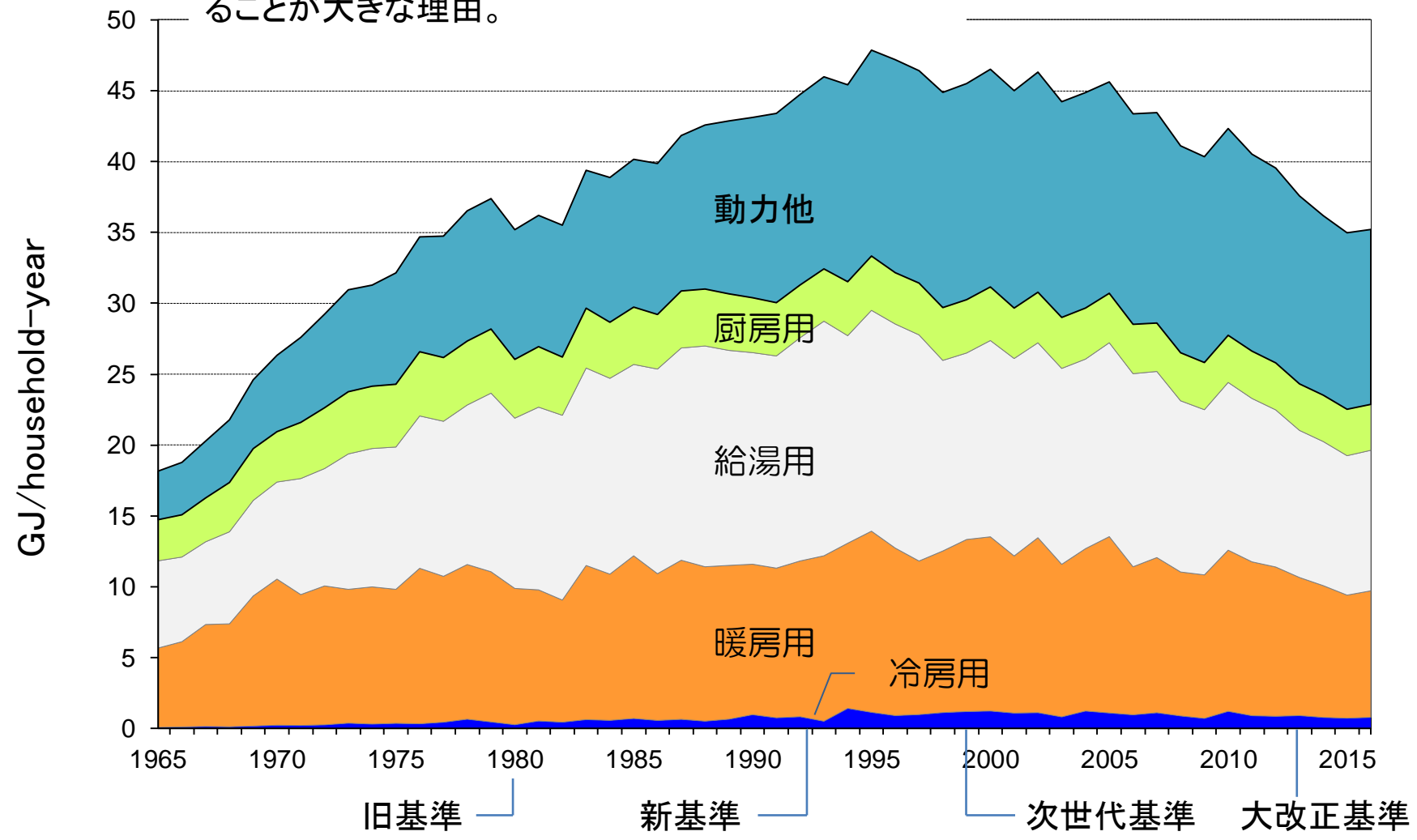
住宅用エネルギー消費量の推移(日本全体)

- ・1995年頃までは急激に増加、その後、やや伸びは鈍化し、2010年頃から減少。
- ・暖房、給湯、その他で1/3を占める。



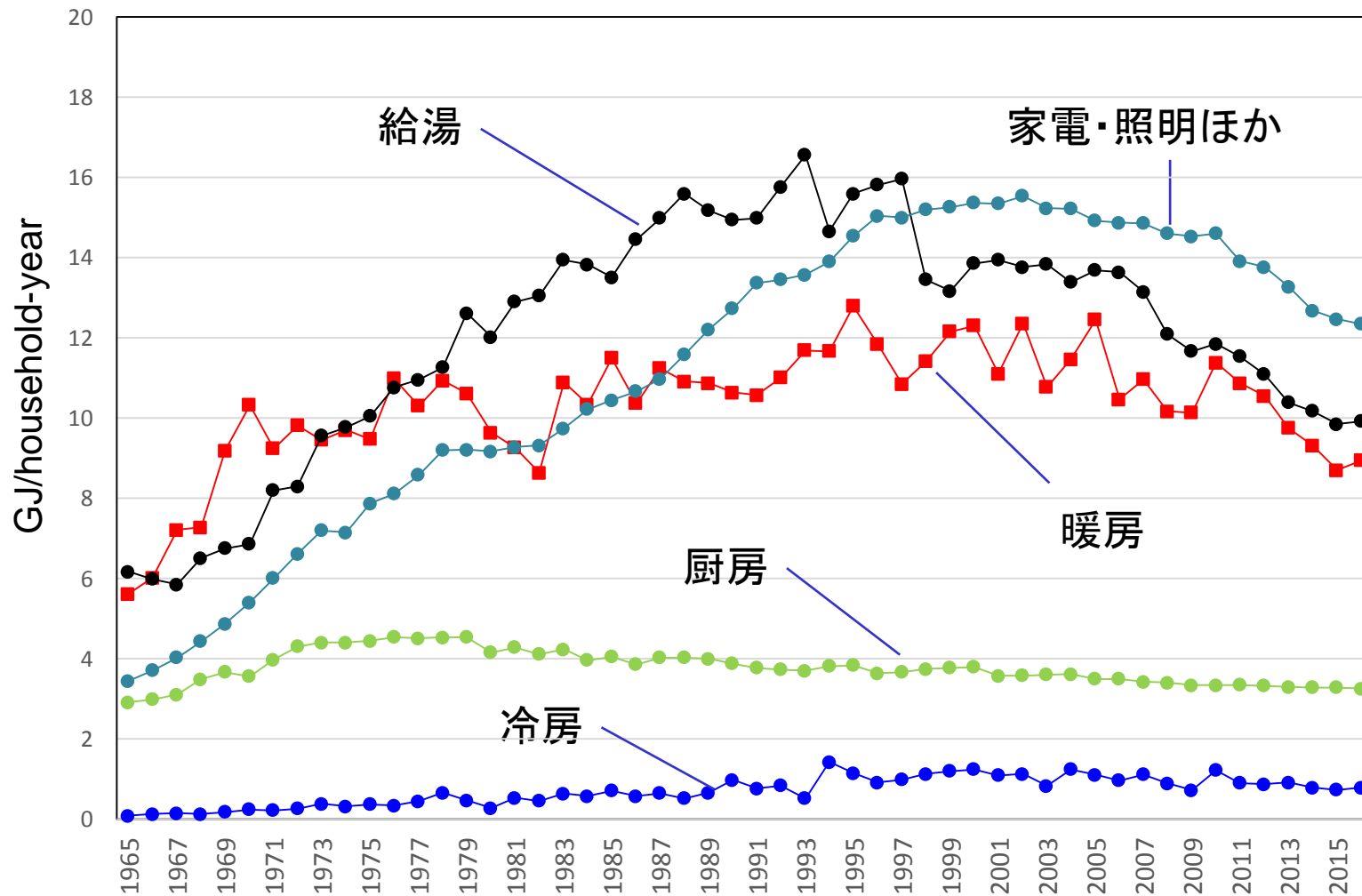
住宅用エネルギー消費量の推移(世帯当たり)

1996年にピークがみられ、その後、急激に減少。
機器の効率向上に加え、世帯人数が減ってきていることが大きな理由。



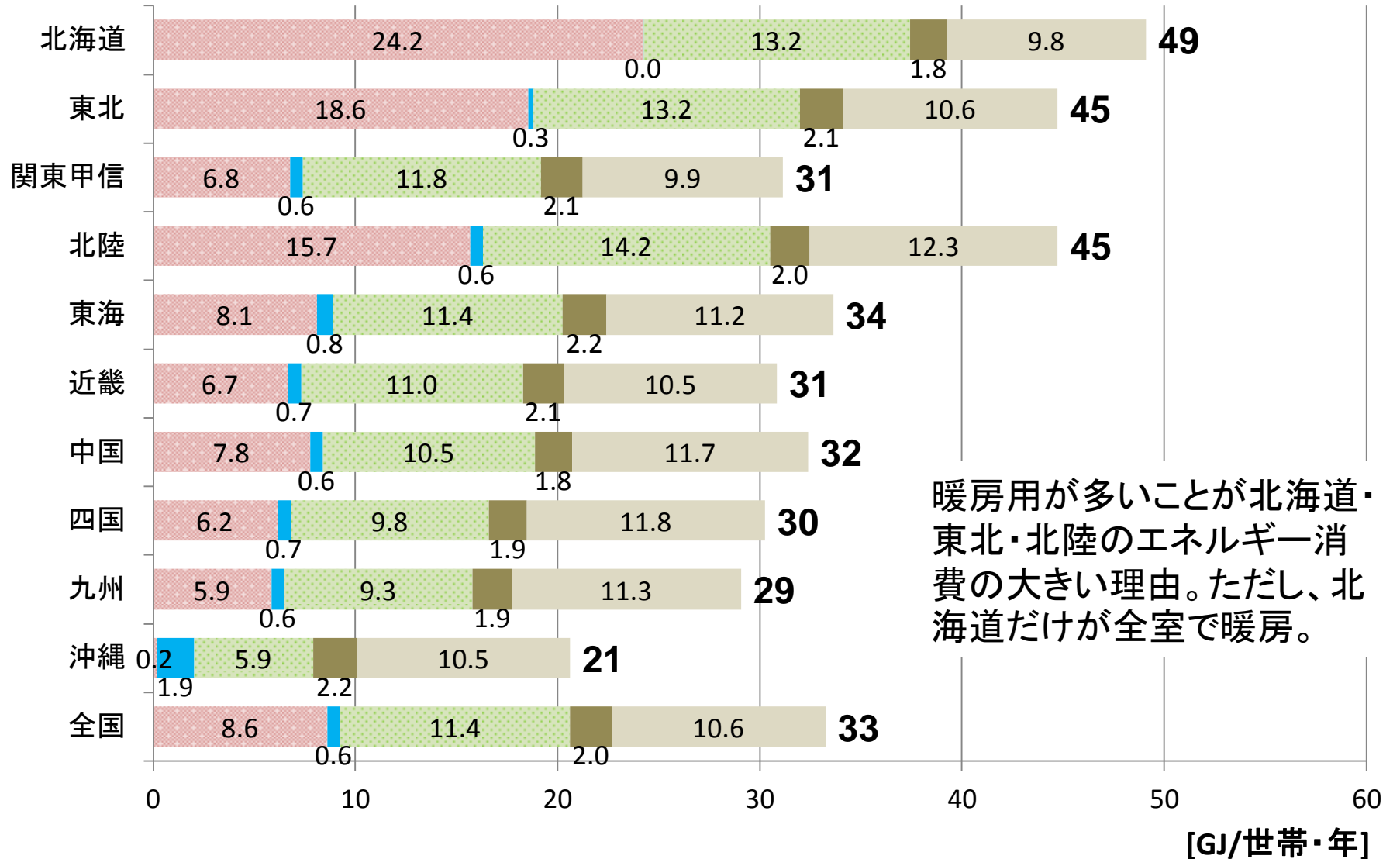
用途別エネルギー消費量の経年変化

最近は、給湯と暖房がほぼ同じ。その他が多いので、この部分の省エネが大事。冷房が少ないのは、使用時間が短く、冷房面積が狭いなどが理由。



地域別エネルギー消費量(8,864戸)

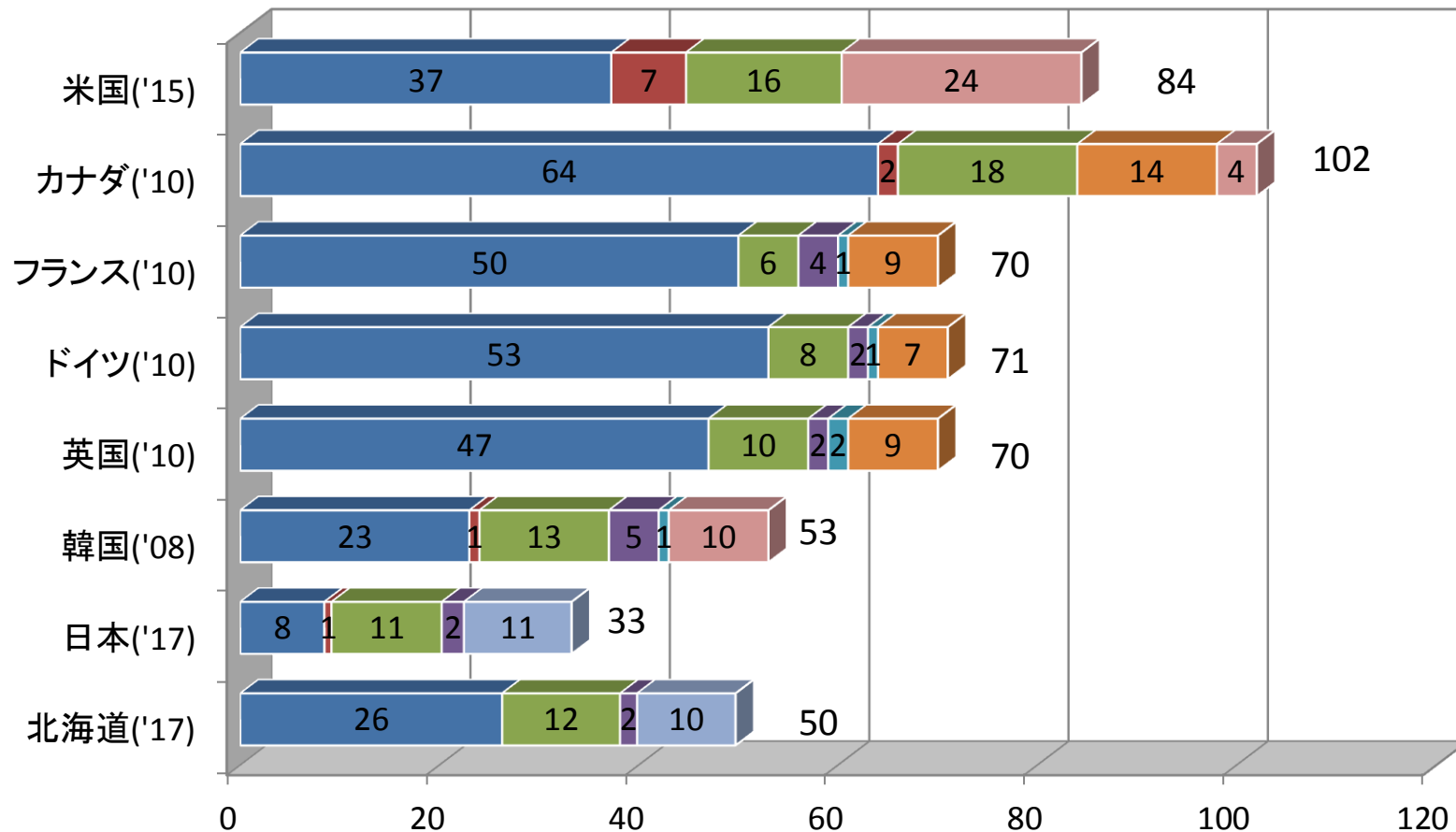
環境省「平成29年度 家庭部門のCO2排出実態統計調査(確報値)」



暖房用が多いことが北海道・東北・北陸のエネルギー消費の大きい理由。ただし、北海道だけが全室で暖房。

住宅用エネルギー消費量の国別比較

■ 暖房 ■ 冷房 ■ 給湯 ■ 調理 ■ 照明 ■ 家電 ■ 照明・家電 ■ その他



※アメリカ：その他には、調理、照明と家電が含まれる。

※韓国：その他には、家電とその他が含まれる。

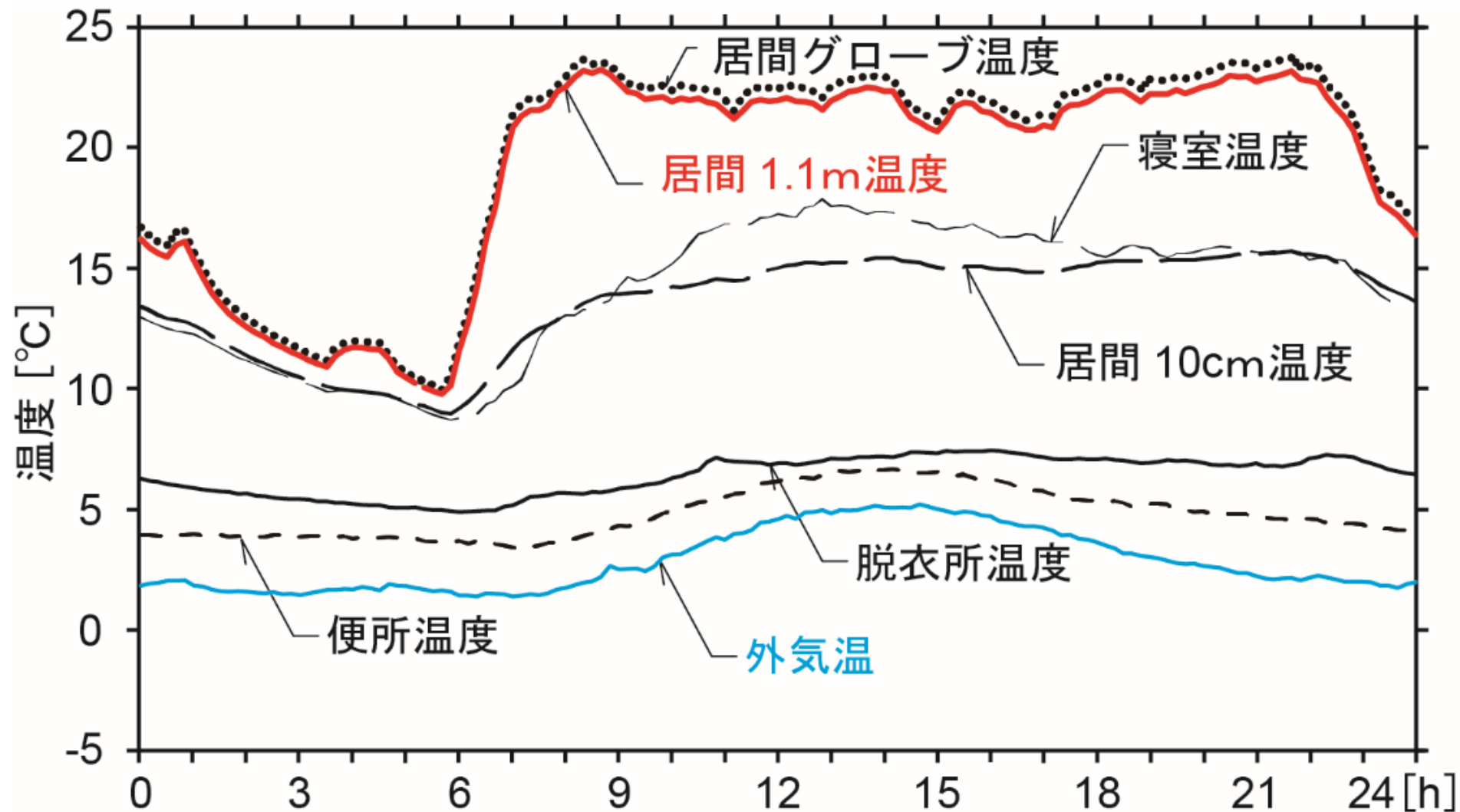
[GJ/世帯・年]

出典 米国：2015 RCS(Residential Energy Consumption Survey) Survey Data
 日本、北海道：環境省「平成29年度 家庭部門のCO2排出実態統計調査(速報値)」
 その他：(株)住環境計画研究所

講演内容

1. はじめにー温暖化防止に向けた動き
2. 日本における現状と今後の方向
 - 2.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 2.2 室内環境と健康・快適性**
 - 2.3 ゼロエネルギー建築への方向
3. 中国における現状と今後の課題
 - 3.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 3.2 室内の温熱環境と健康問題
 - 3.3 省エネルギー対策とその効果の予測
4. 今後の方向

旧羽黒町の住宅の室内温度変化 2015年1月

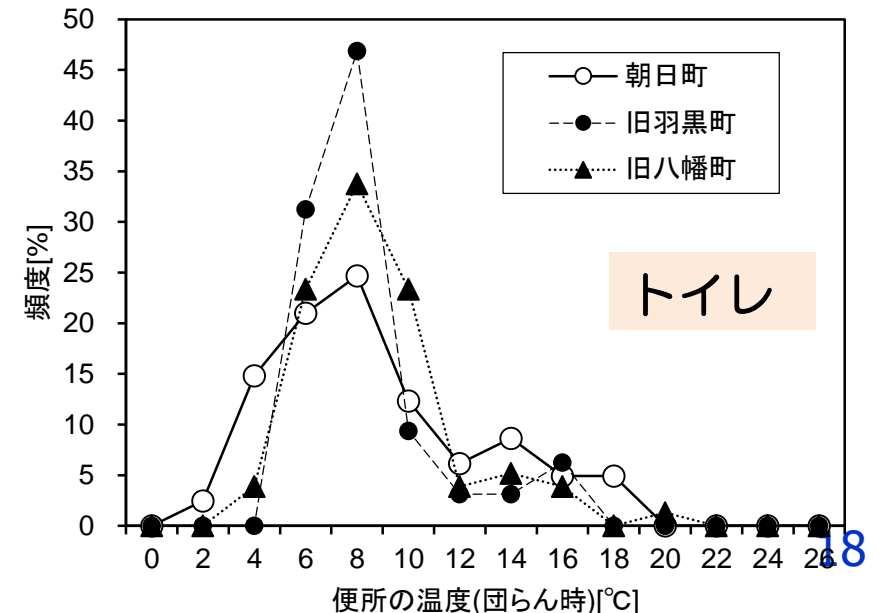
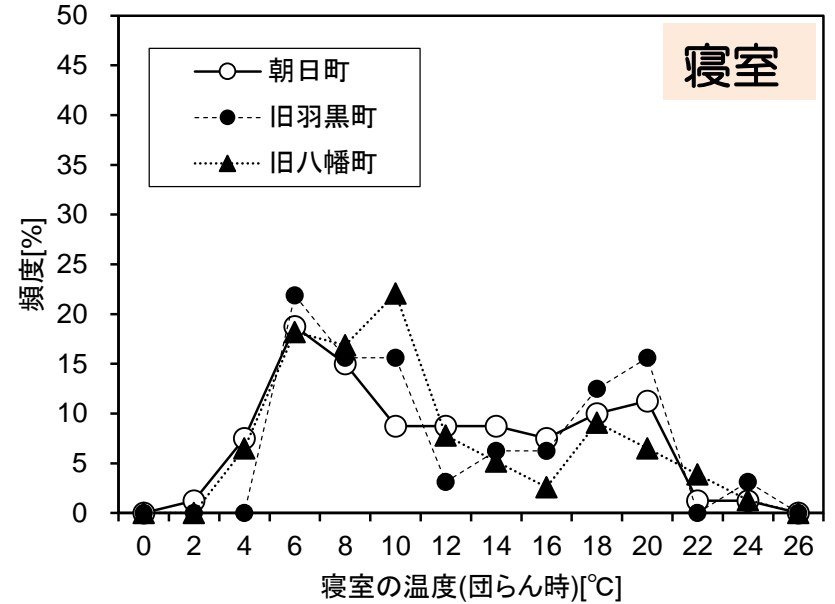
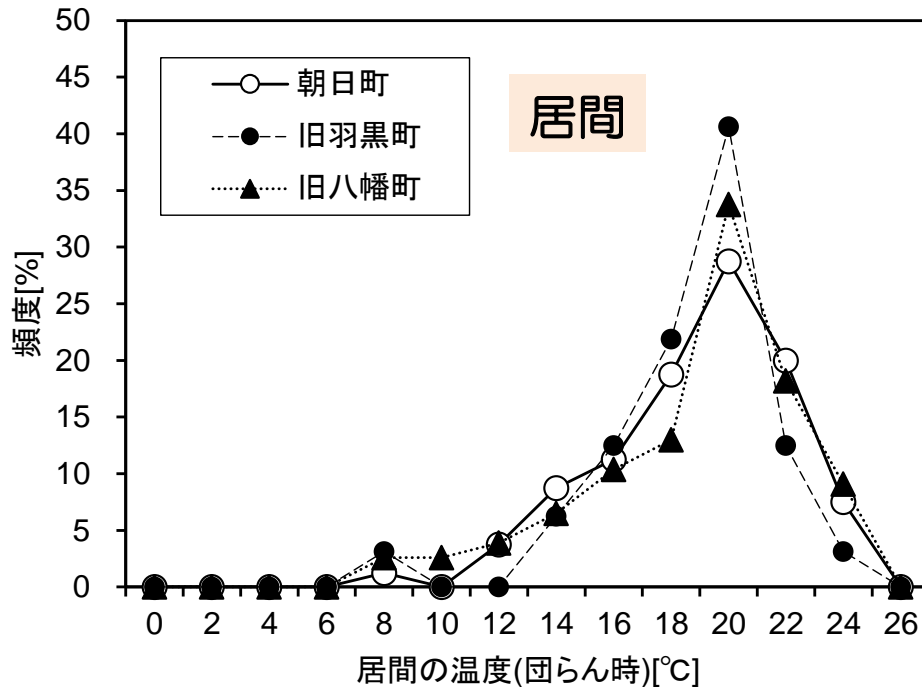


1982年に羽黒町・朝日町・八幡町で脳卒中死亡と衣食住との関係を山形大学医学部と共同で調査。部屋間の温度差が脳卒中発症の一要因と推察。

団らん時の室内温度の比較

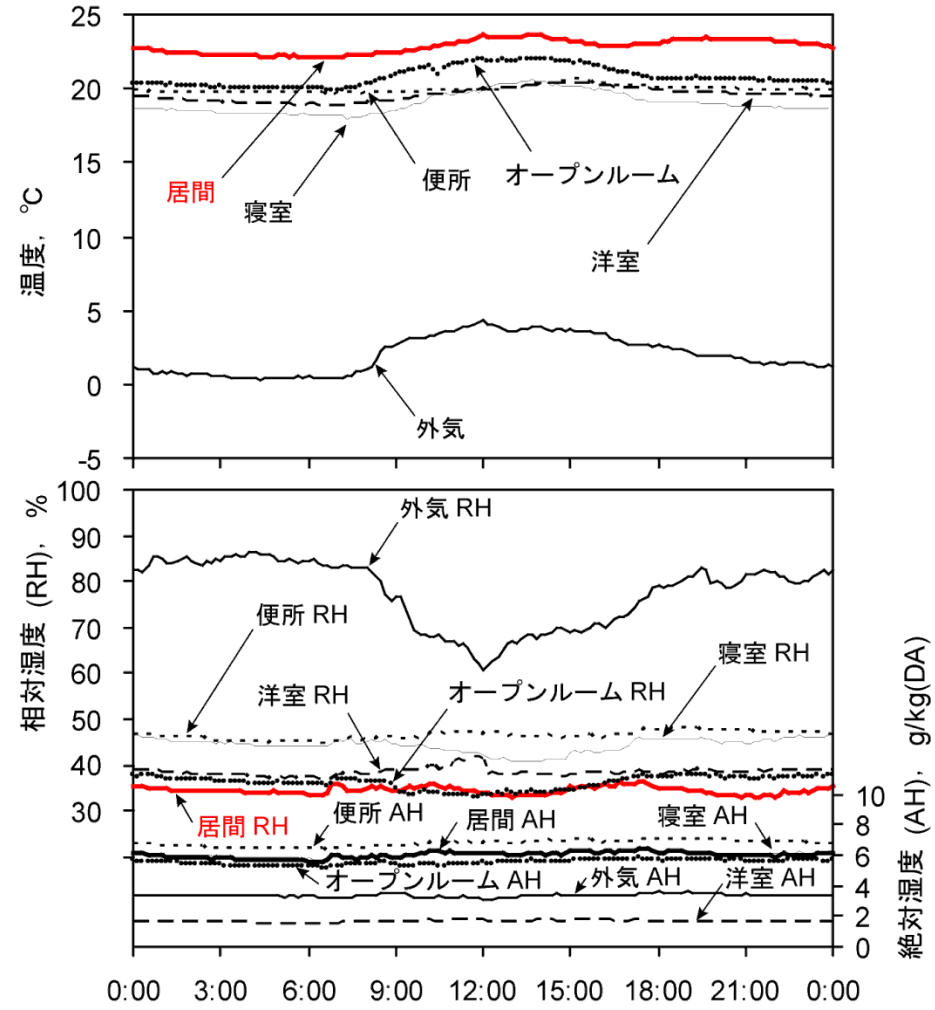
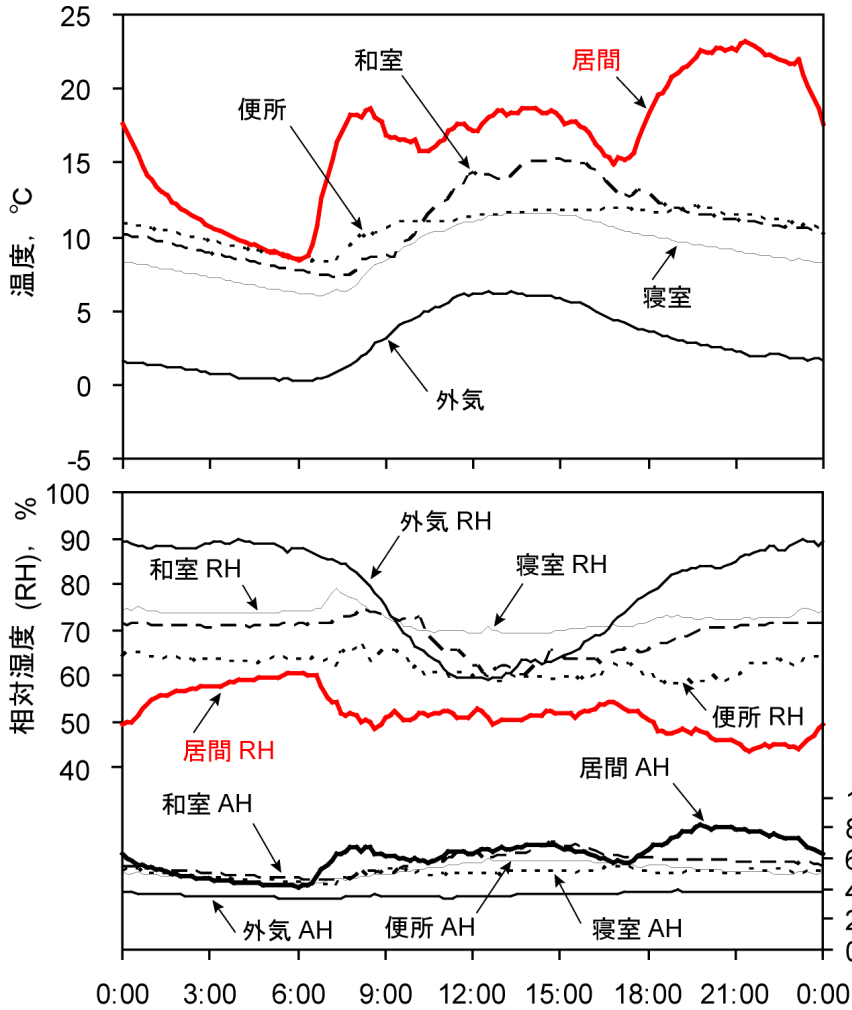
2015年1月測定

- 1) 居間の温度は20°Cがピーク
- 2) 寝室の温度には二つの山がみられた
- 3) トイレは8°Cがピーク



断熱改修前後の室内環境の変化

◆ 典型的な1日の変動(左：改修前，右：改修後)



住宅の断熱化と居住者の健康への影響に関する全国調査 第3回中間報告会 2019.2.1

1. 家庭血圧と室温

1) 起床時の居間室温が低いほど血圧が高い

ex. 60歳男性：20°C→10°Cでは、7.8mmHg上昇

2) 居住者の血圧は、部屋間の温度差が大きく、床近傍の室温が低い住宅で有意に高い

3) 断熱改修後に、居住者の起床時の最高血圧が有意に低下 (-3.5mmHg)

2. 夜間頻尿

1) 就寝前の室温が低い住宅ほど、夜間頻尿の人が有意に多い

2) 断熱改修後に就寝前居間室温が上昇した住宅では、夜間頻尿が有意に緩和

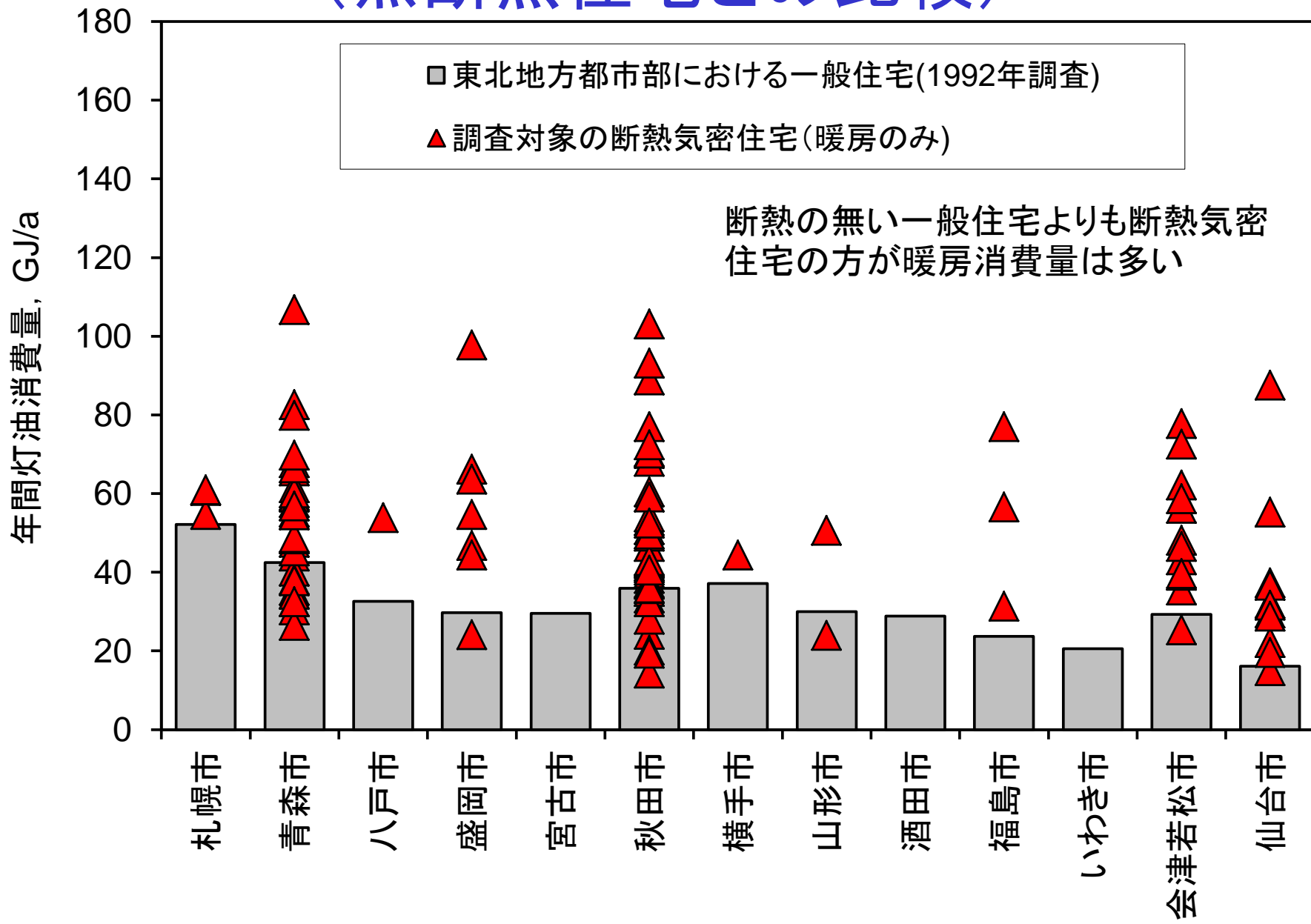
3. **疾病・自覚症状と室温** 床近傍の室温が低い住宅では、様々な疾病・症状を有する人が有意に多い。（高血圧、糖尿病、骨折・捻挫、脱臼など）

4. **身体活動量と室温** 断熱改修に伴う室温上昇によって暖房習慣が変化した住宅では、住宅内身体活動時間が有意に増加

講演内容

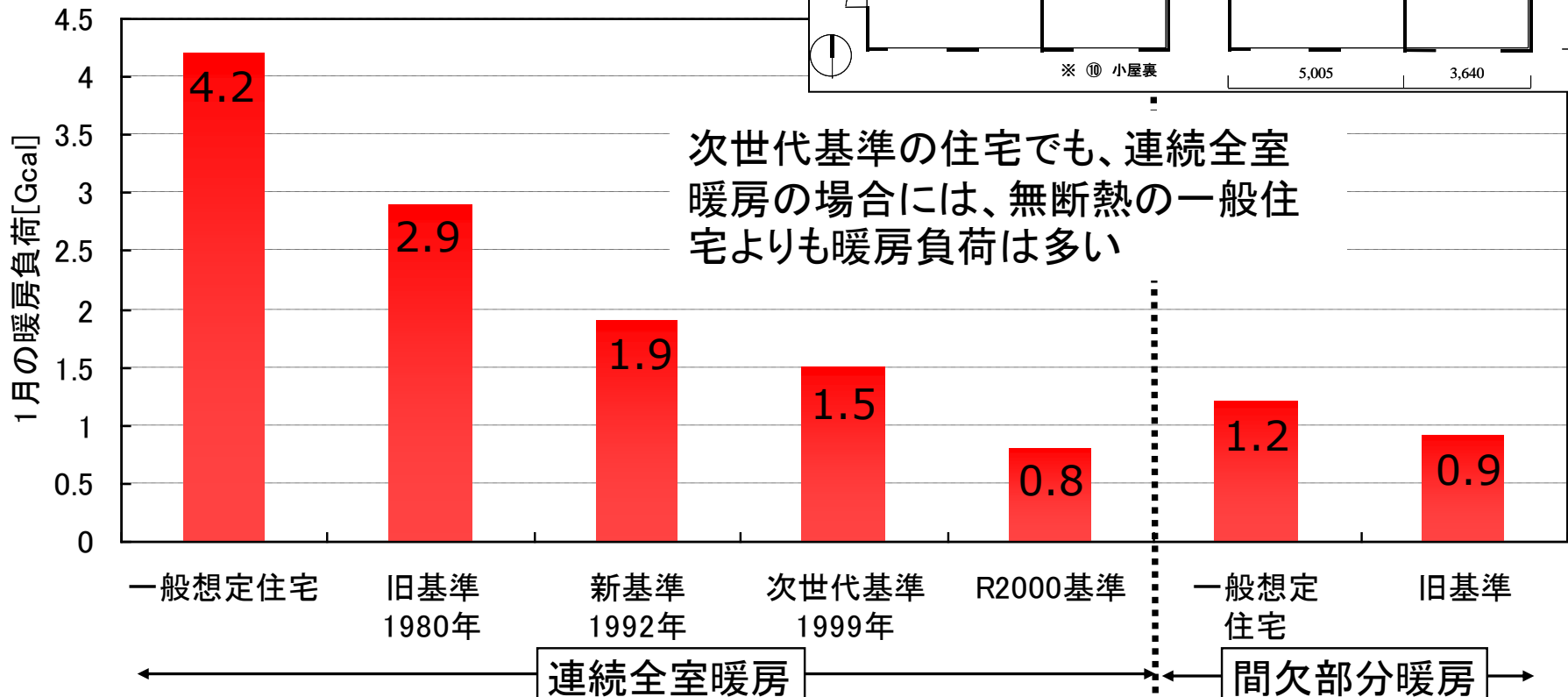
1. はじめにー温暖化防止に向けた動き
2. 日本における現状と今後の方向
 - 2.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 2.2 室内環境と健康・快適性
 - 2.3 ゼロエネルギー建築への方向**
3. 中国における現状と今後の課題
 - 3.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 3.2 室内の温熱環境と健康問題
 - 3.3 省エネルギー対策とその効果の予測
4. 今後の方向

断熱気密住宅の暖房用エネルギー消費量 (無断熱住宅との比較)



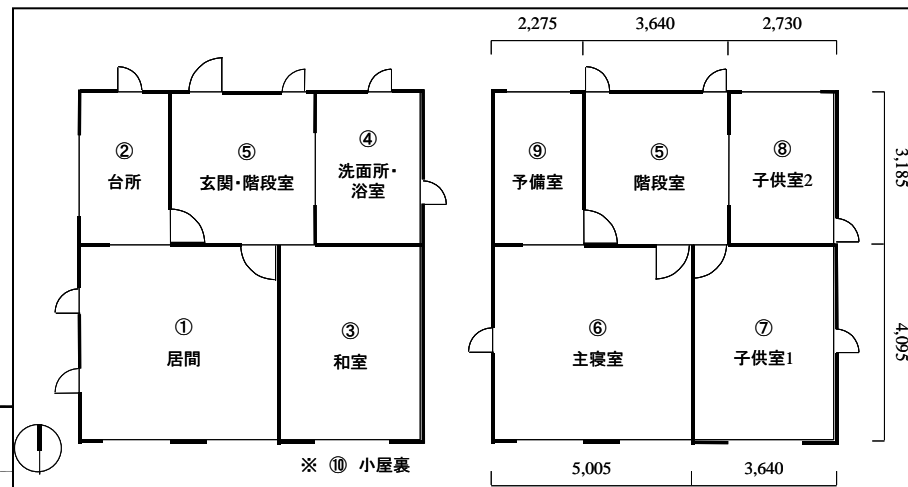
住宅性能の向上 と暖房負荷

仙台市における1月の暖房負荷



次世代基準の住宅でも、連続全室暖房の場合には、無断熱の一般住宅よりも暖房負荷は多い

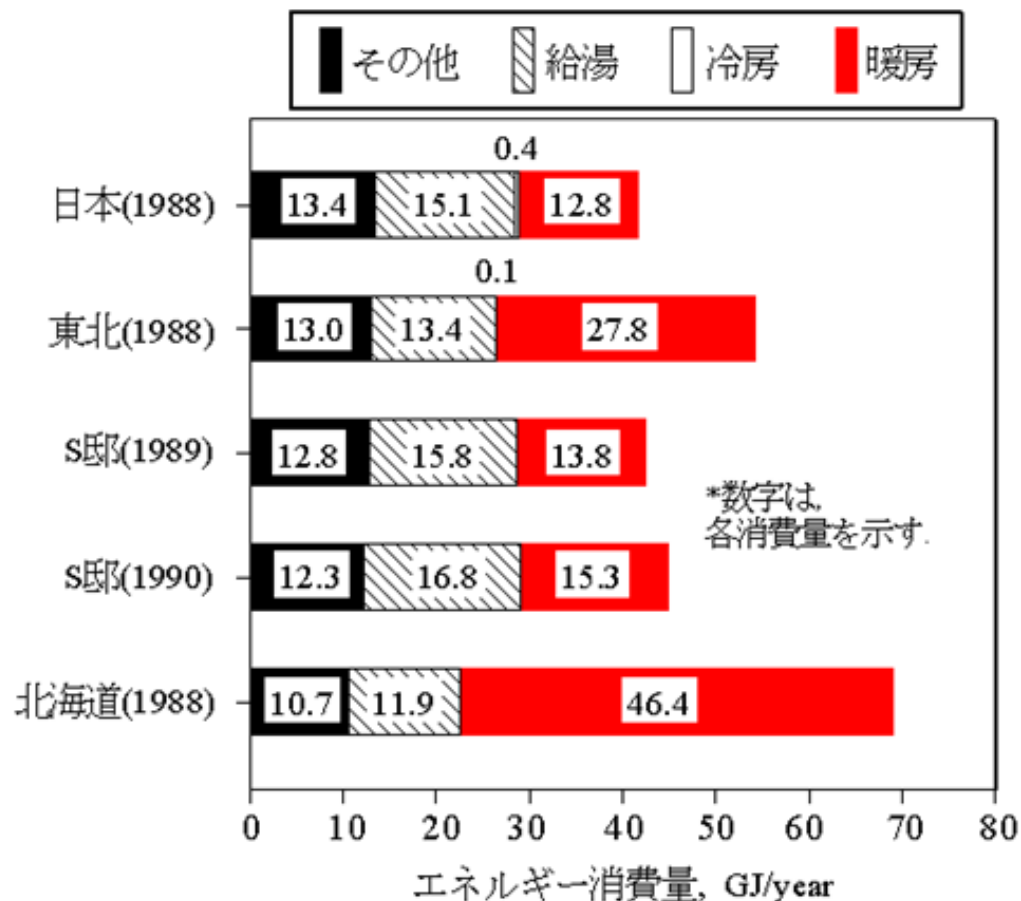
断熱気密性能レベルが向上するにつれて暖房負荷が低減 暖房負荷の差が小さい



出典：長谷川兼一、吉野博「東北を中心とした高断熱高気密住宅の暖房負荷に関する数値計算」、日本建築学会大会学術講演梗概集、1997

R2000住宅のエネルギー消費

- ▶ 仙台市に建設されたカナダR2000仕様の住宅(壁の断熱厚さ20cm)の暖房用エネルギー消費量は、東北の平均値よりも少ない。



エネルギー消費量

「住まいと環境 東北フォーラム」のプロジェクトによる プラスエネルギー住宅

「住まいと環境 東北フォーラム」は快適・健康・省エネな住宅の普及のために1992年に発足した任意団体

- 外皮平均熱貫流率 U_A 値 0.31 (W/m²·K)
- 熱損失係数Q値 0.88 (W/m²·K)
- 相当隙間面積C値 0.37 (cm²·K)
- 太陽光発電システム：11.20kW



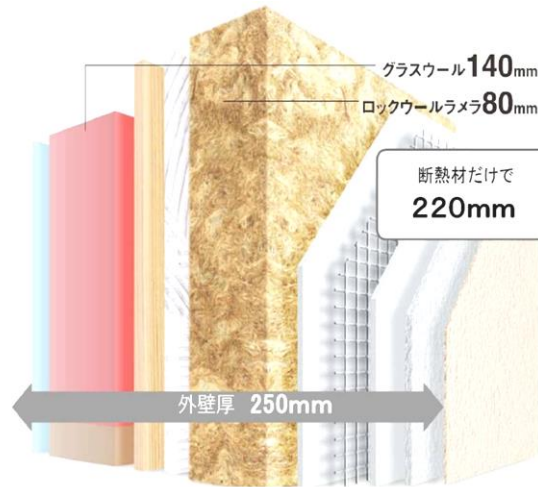
工法	木造枠組壁工法
規模	2階建て
建築面積	78.71m ²
延床面積	148.44m ² (44.81坪) 1階:75.41m ² 2階:73.03m ²
着工	2014年12月
竣工	2015年3月
居住人数	6人
所在地	宮城県仙台市若林区 (4地域)

株式会社北洲 北洲総合研究所設計

住宅の建物仕様

■ 壁断熱

外壁U値 = 0.196



■ 高性能トリプルサッシ

○北側：日射遮蔽型

ダブルLow-E三層複層ガラス
LE3+G16+FL3+G16+LE3

熱貫流率 = 0.91

日射熱取得率 = 0.46

○東・西・南側：日射取得型

Low-E三層複層ガラス
FL3+G16+FL3+G16+LowE3

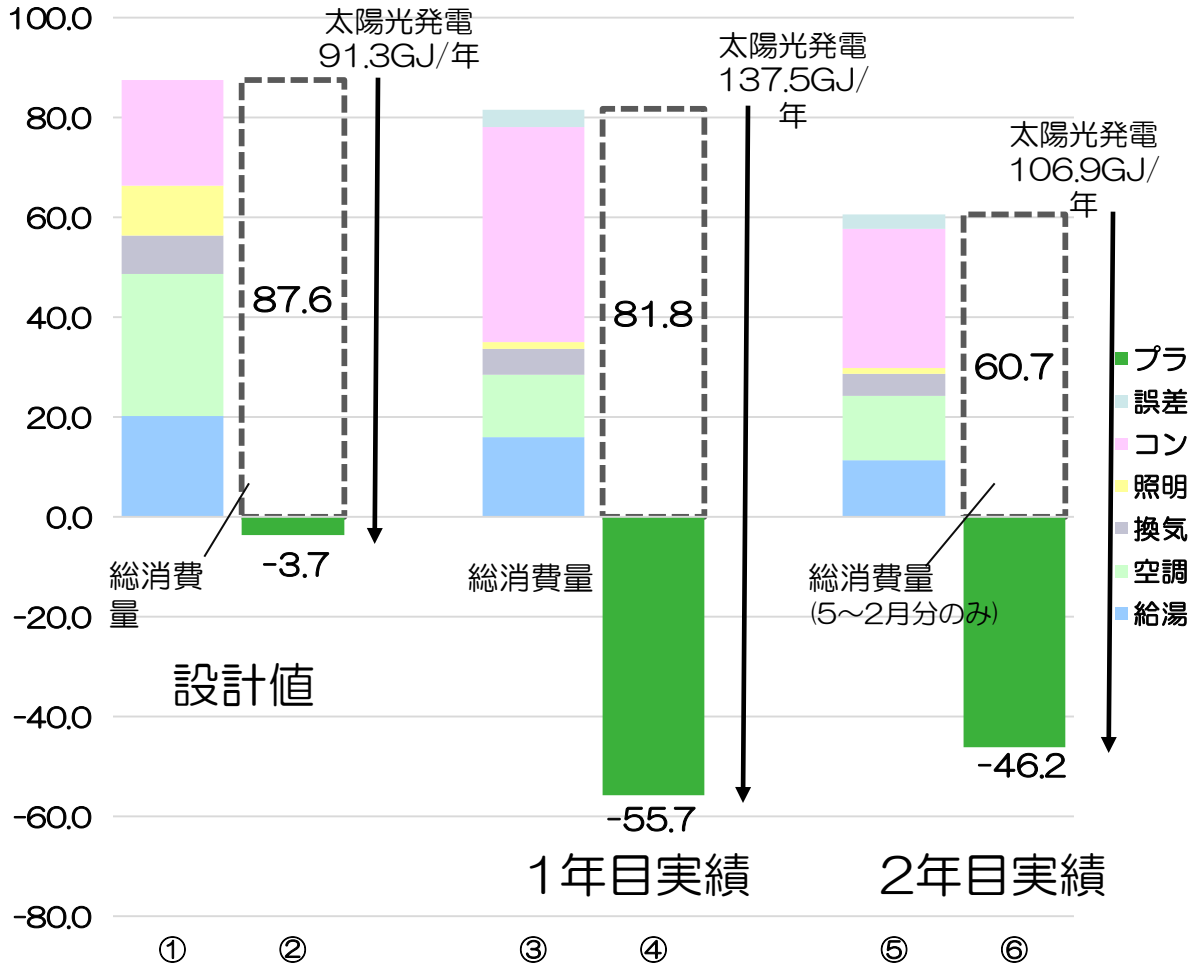
熱貫流率 = 1.17

日射熱取得率 = 0.56



年間エネルギー消費（計算値と実績）

・一次エネルギー消費量・太陽光発電考慮(GJ/年)



一、二年目ともに
プラスエネルギー達成

※二年目は5～2月までのデータにて検証

- プラスエネルギー
- 誤差
- コンセント(家電)
- 照明
- 換気
- 空調
- 給湯

- ① 設計値
- ② 設計値 (太陽光発電考慮)
- ③ 一年目
- ④ 一年目 (太陽光発電考慮)
- ⑤ 二年目
- ⑥ 二年目 (太陽光発電考慮)



省エネ手法

- ・高断熱高気密
- ・太陽熱利用
- ・蓄熱
- ・太陽光発電
- ・自然換気
- ・日射遮蔽

建築研究所に建設されたLCCM デモンストレーション住宅

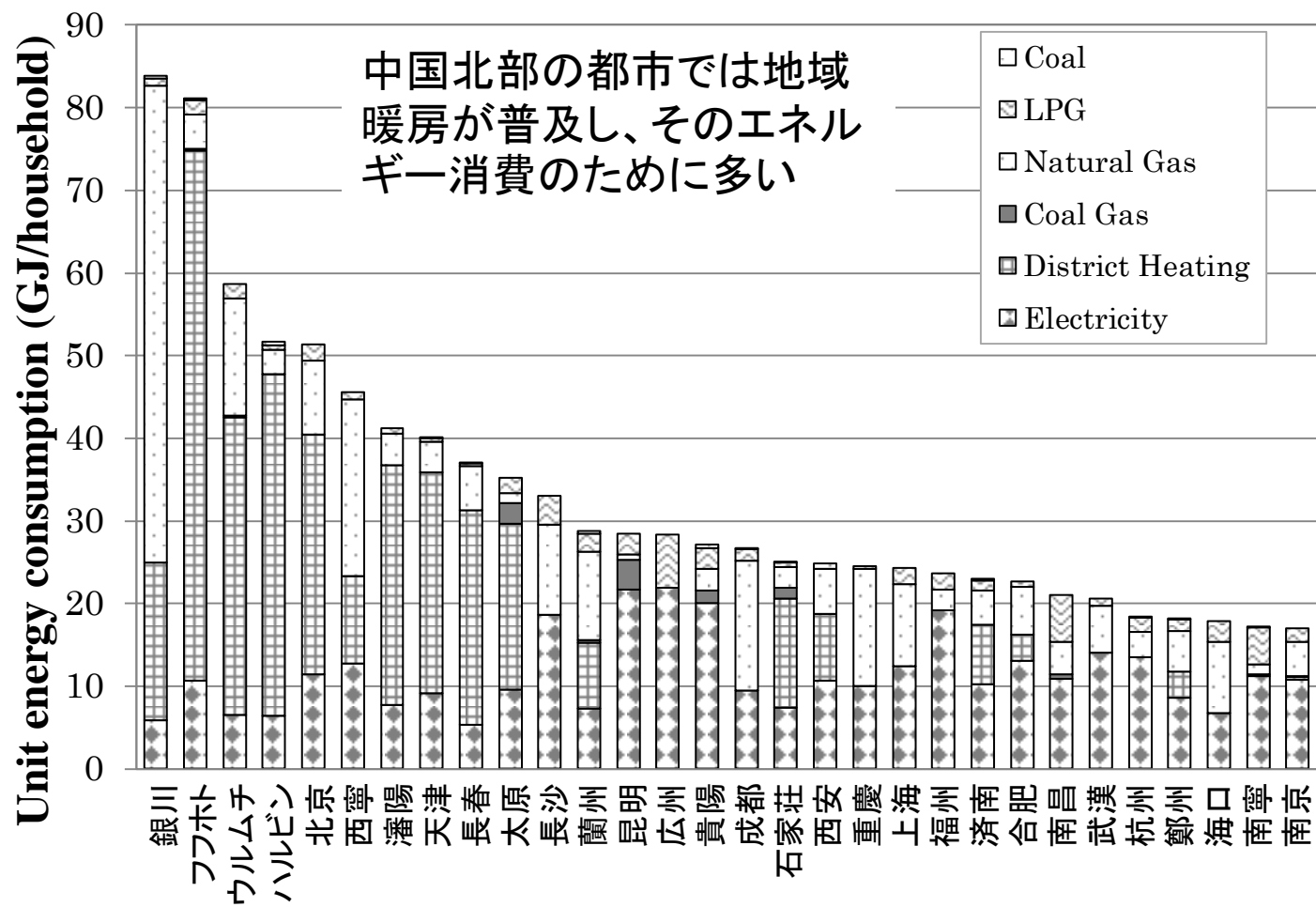
建築環境・省エネ機構に設けられたLCCM住宅開発委員会(委員長:村上周三理事長)が開発。設計は、首都大学東京、小泉雅生教授
2011年2月竣工



講演内容

1. はじめにー温暖化防止に向けた動き
2. 日本における現状と今後の方向
 - 2.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 2.2 室内環境と健康・快適性
 - 2.3 ゼロエネルギー建築への方向
- 3. 中国における現状と今後の課題**
 - 3.1 住宅におけるエネルギー消費量**
 - 3.2 室内の温熱環境と健康問題
 - 3.3 省エネルギー対策とその効果の予測
4. 今後の方向

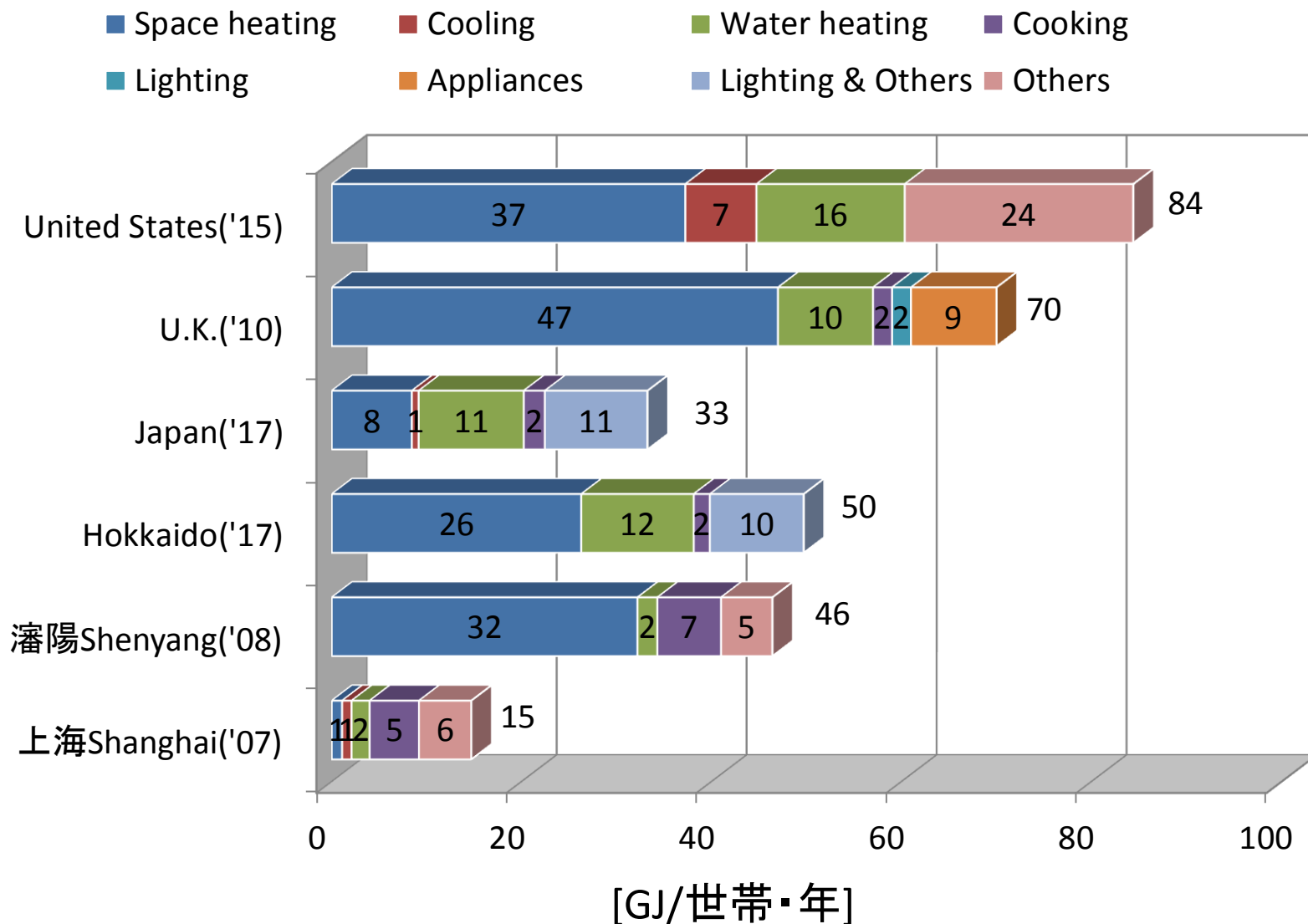
中国の主要都市における住宅エネルギー消費量（世帯当たり、2012年）



張 晴原、吉野 博：中国都市部住宅のエネルギー消費原単位とCO₂排出量の経年変化、日本建築学会環境系論文集、2016.8

1) National Bureau of Statistics of China: China urban statistical yearbook, 2002-2013, China Statistics Press.
 2) National Bureau of Statistics of China: China Statistical Yearbook, 2002-2013, China Statistics Press.

住宅エネルギー消費量の比較



出典 米国: 2015 RCS(Residential Energy Consumption Survey) Survey Data、英国: (株)住環境計画研究所、日本・北海道: 環境省「平成29年度 家庭部門のCO2排出実態統計調査(速報値)」、瀋陽、上海は、吉野らの調査

講演内容

1. はじめにー温暖化防止に向けた動き
2. 日本における現状と今後の方向
 - 2.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 2.2 室内環境と健康・快適性
 - 2.3 ゼロエネルギー建築への方向
3. 中国における現状と今後の課題
 - 3.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 3.2 室内の温熱環境と健康問題**
 - 3.3 省エネルギー対策とその効果の予測
4. 今後の方向

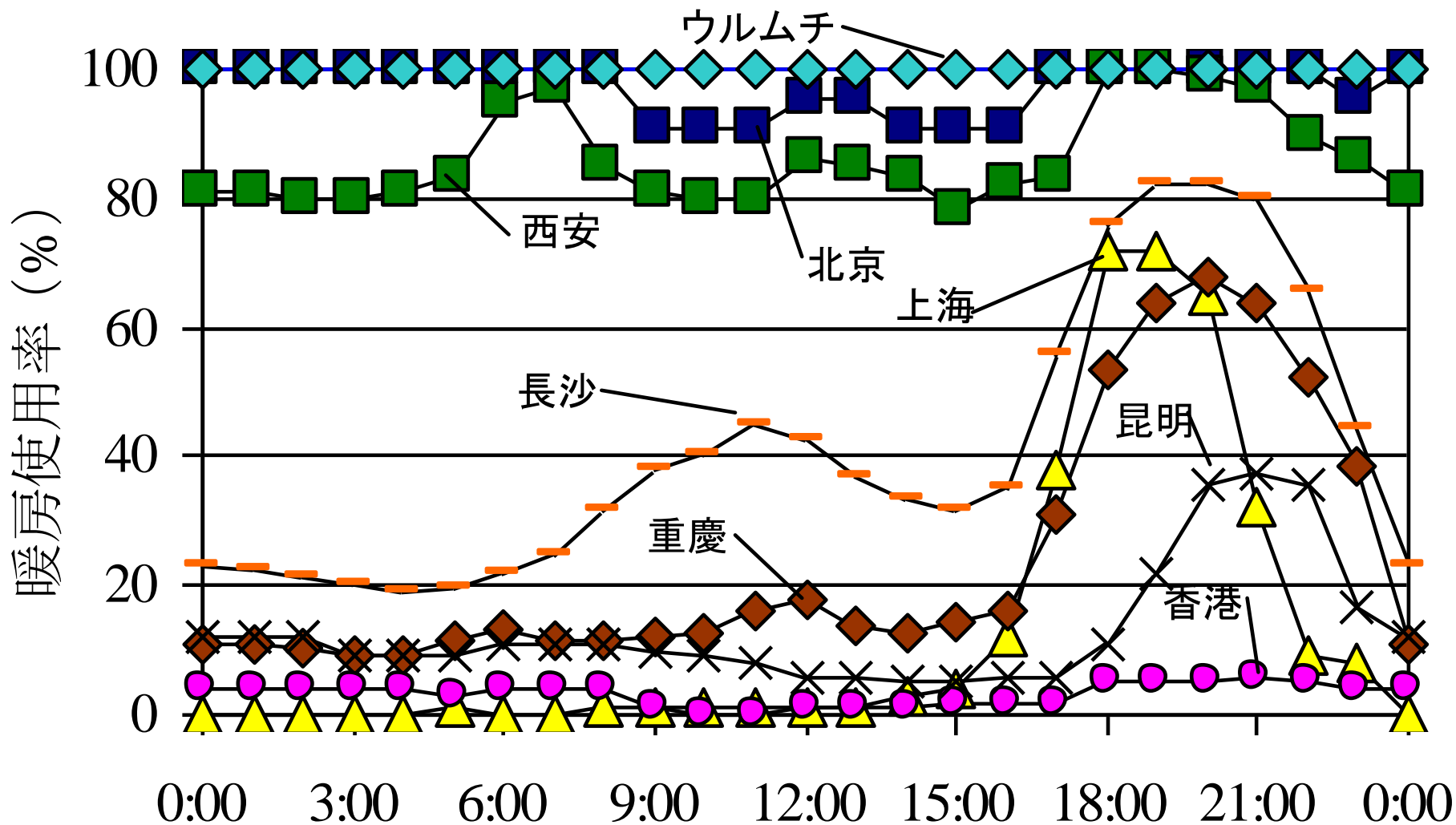
中国の気候区と調査対象都市

(2001-2004に調査実施)

気候区は1993年版「民用建筑热工设计规范」に初めて設けられ、断熱基準などに利用。

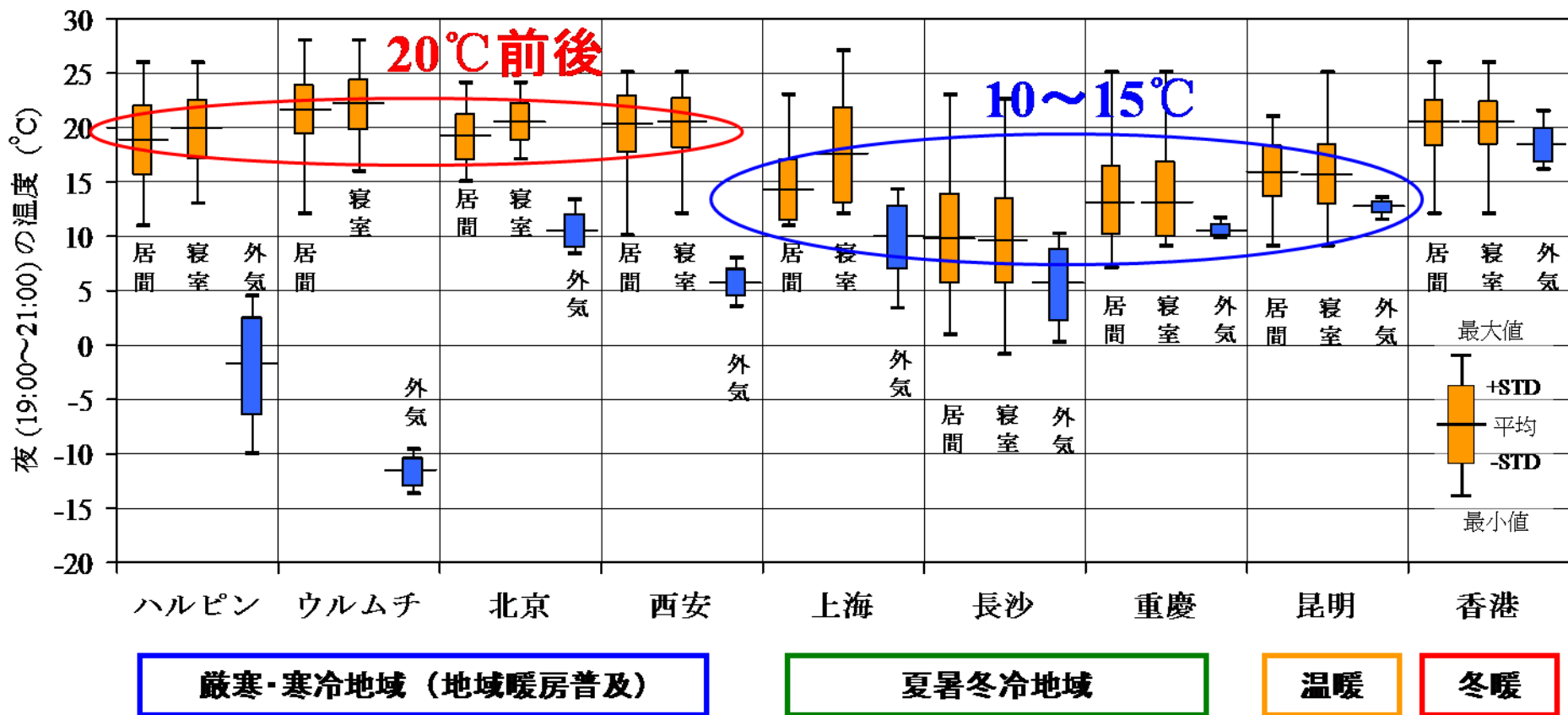


各都市の暖房使用率の一日の変化



地域暖房が設置されている都市では、殆ど一日中運転。地域暖房のない都市では、夜間のみ暖房器を運転する。

団らん時の冬期の室温（液晶温度計による）



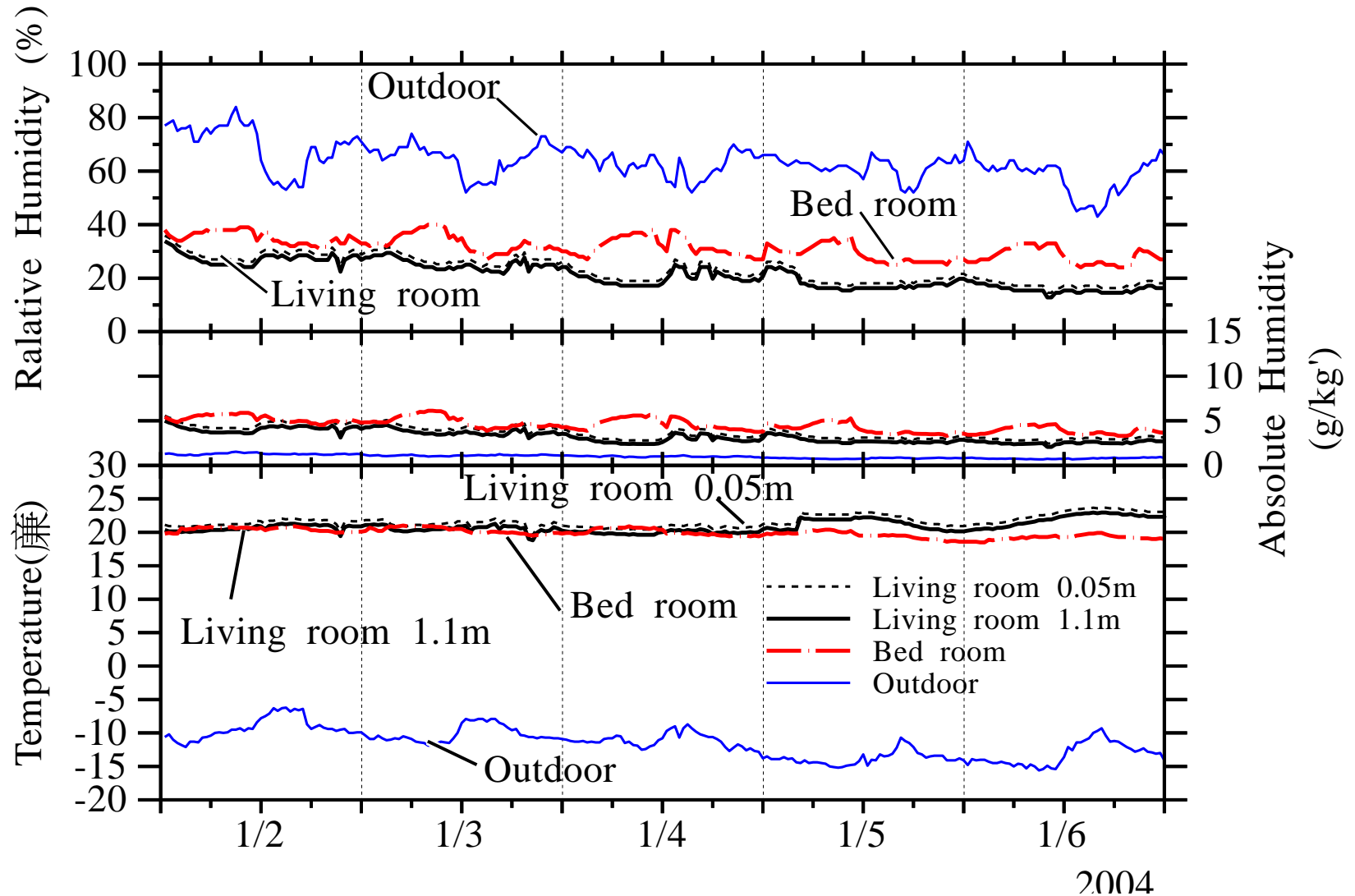
- 地域暖房が設けられている都市では20°C。地域暖房がない都市では10-15°Cと室温が低い。香港は暖房は無いが外気温が高いので、室温も20°C前後である。

ウルムチの 集合住宅

(厳寒地域)



ウルムチの住宅における温湿度変化



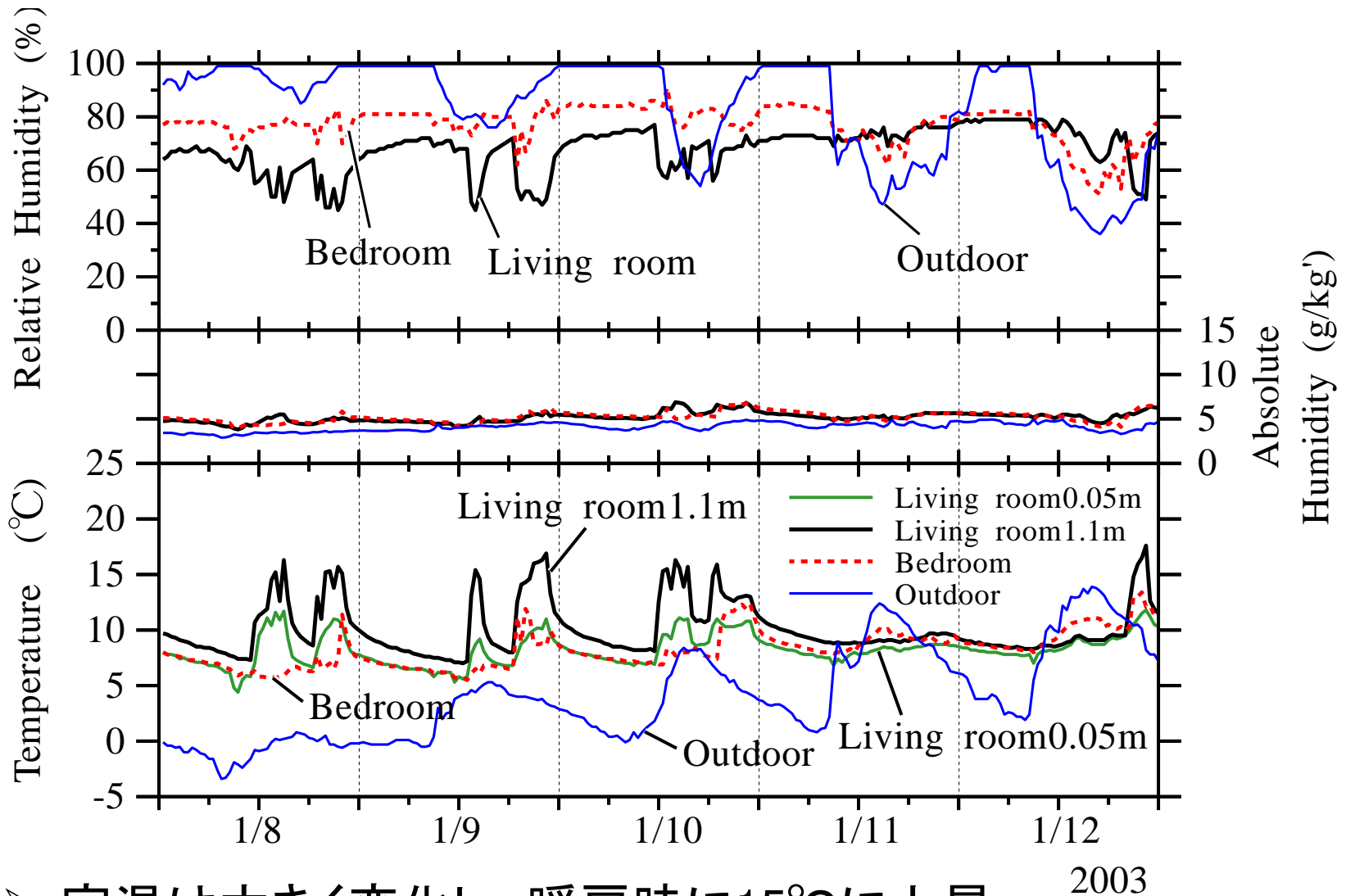
- 室温は20°Cでほぼ安定している。しかし、湿度が20%で低い。

長沙の集合住宅

(夏暑冬冷地域)



長沙の住宅における温湿度変化



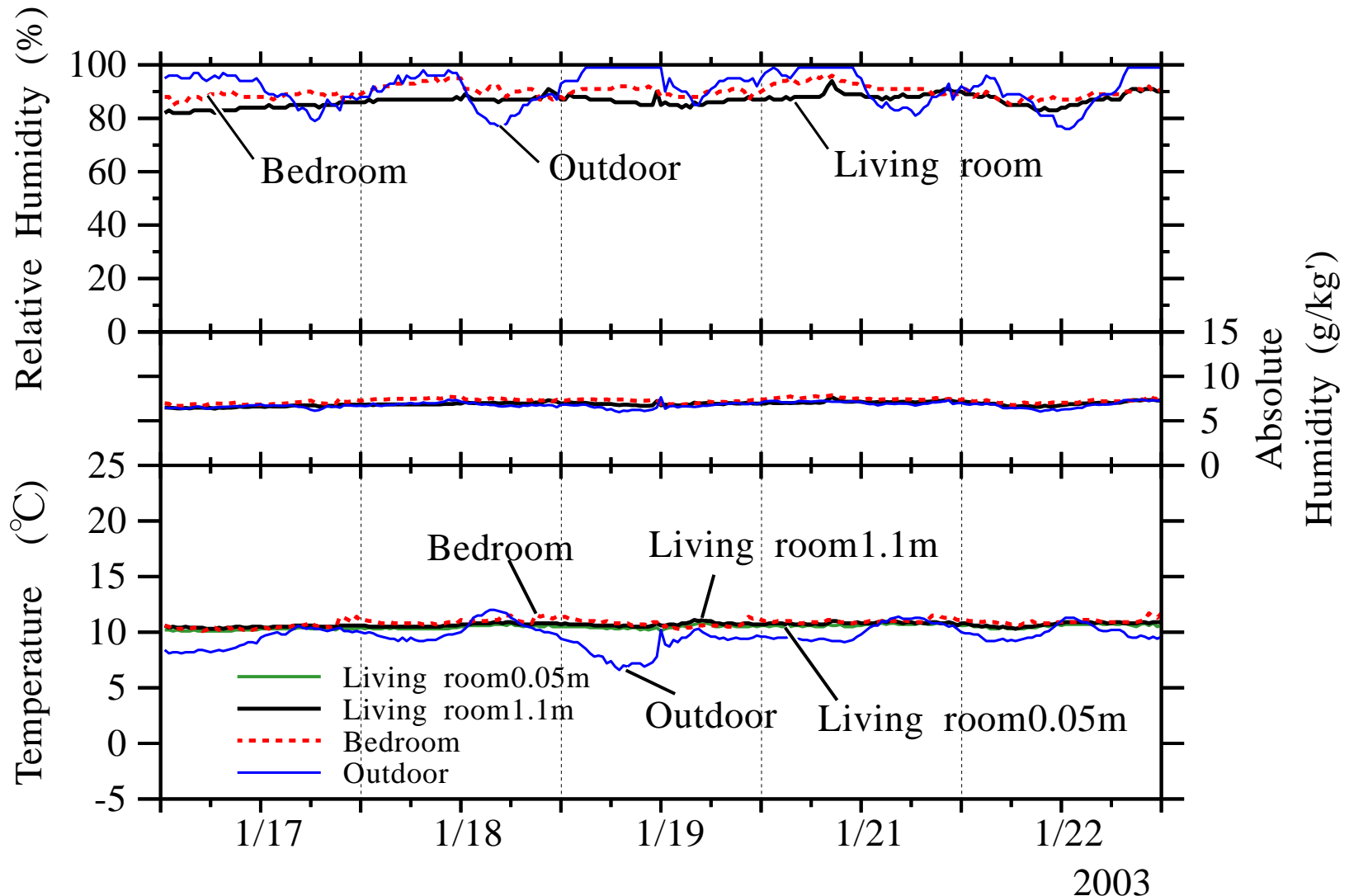
- 室温は大きく変化し、暖房時に15°Cに上昇
- 湿度は、非暖房時に80%まで上昇

重慶の集合住宅

(夏暑冬冷地域)

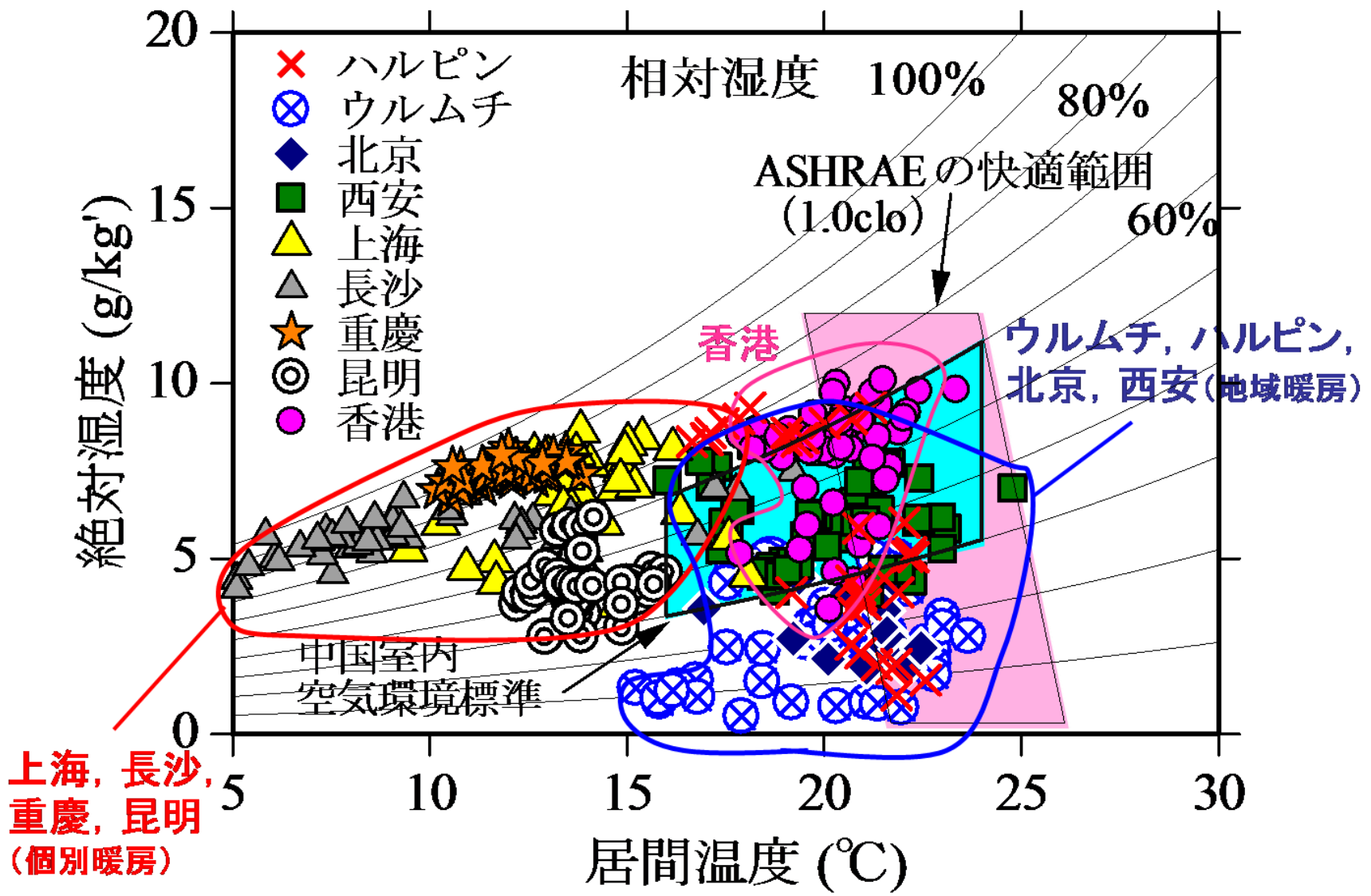


重慶の住宅における温湿度変化



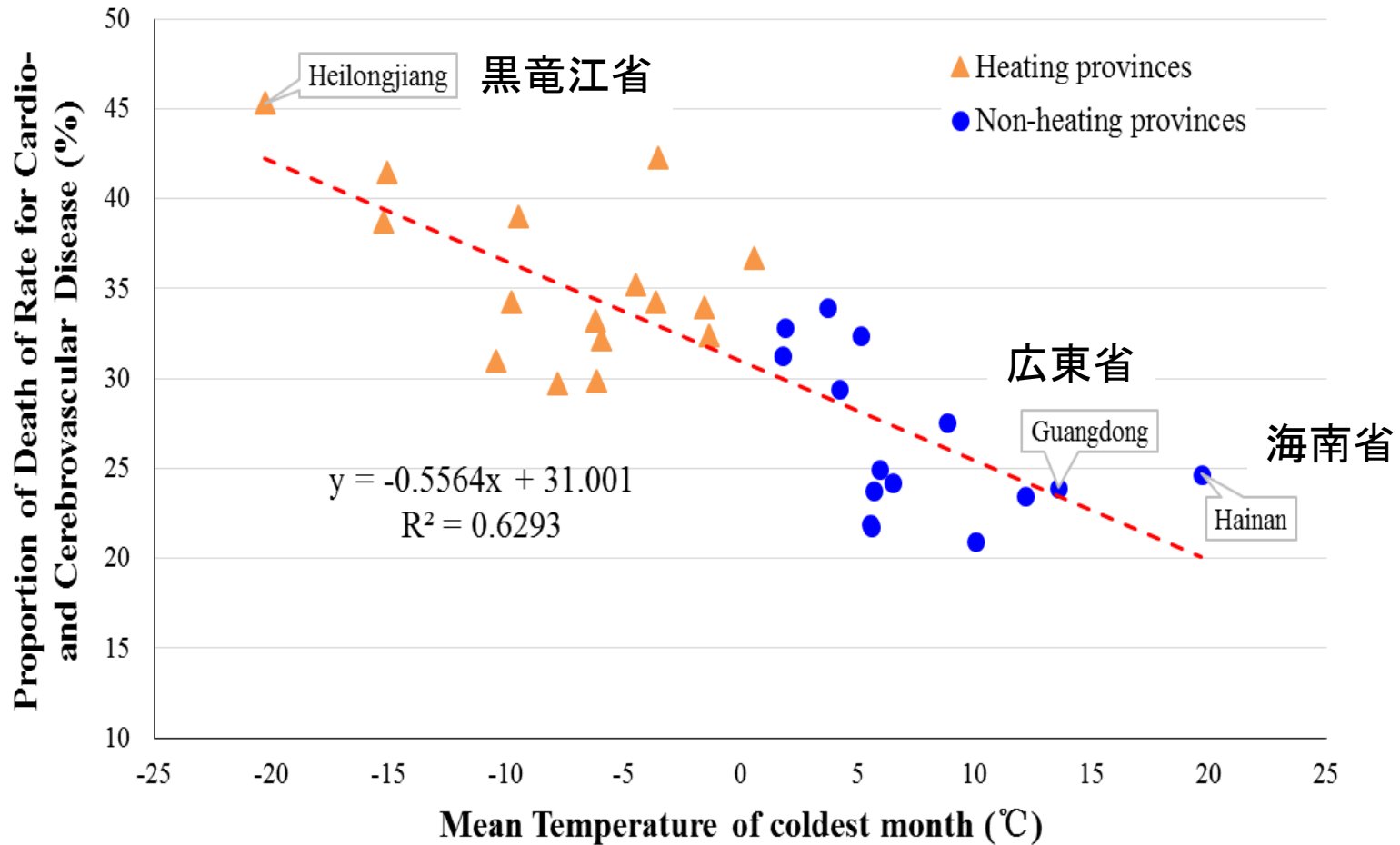
- 室温は10°Cで安定。暖房していない。湿度は90%と高く結露の発生の懸念あり。

各都市の住宅における団らん時の室内環境



地域暖房の設置された都市と無い都市では大きく異なる。

冬季の月平均外気温と脳卒中による死亡率の関係



横軸は2008年における最も寒い月の省内代表都市の平均値

Jing Xiong a, Zhiwei Lian a, *, Huibo Zhang a, Hiroshi Yoshino, Correlation between health discomforts and temperature steps in winter of China, Building and Environment, 2017

各省における脳卒中死亡率と影響する 要因との重相関分析

$$\delta = 0.245 \cdot HDD + 0.165 \cdot h - 0.553 \cdot I + 0.243 \cdot \beta + 0.335 \cdot S$$

δ : 脳血管疾患死亡率
(人/10万人)

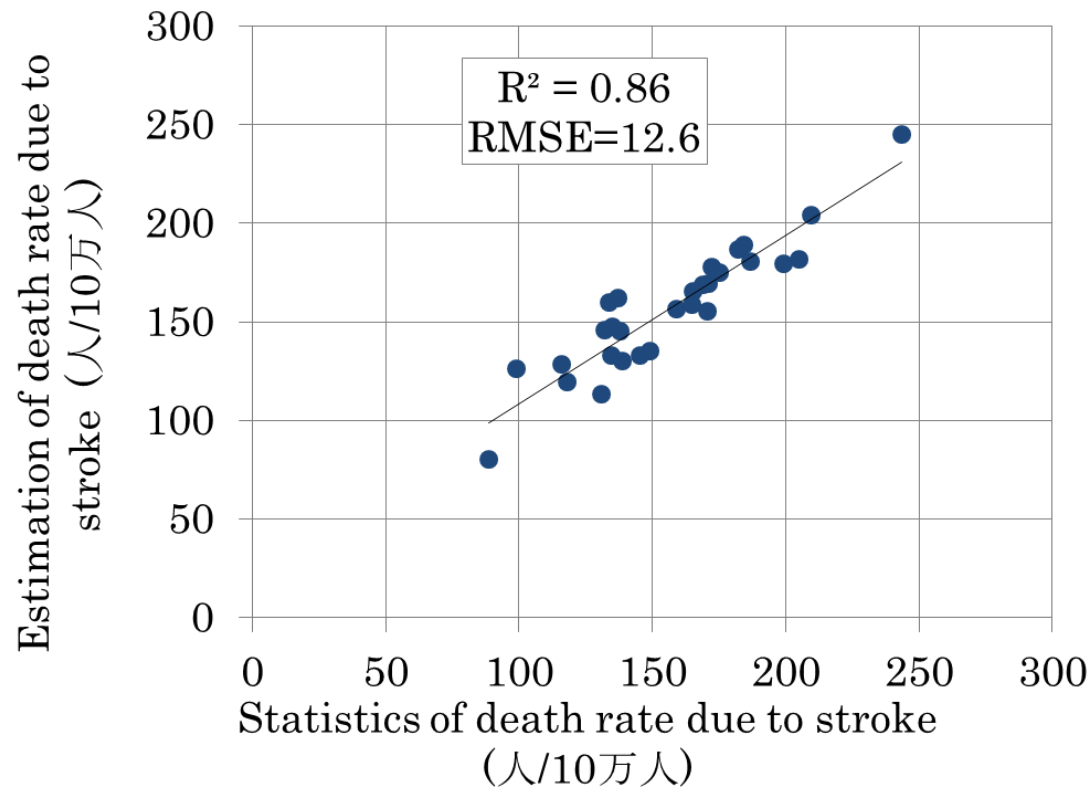
HDD : 代表都市の暖房デグリデー
($^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$)

h : 代表都市の標高(m)

I : 年収(元/人)

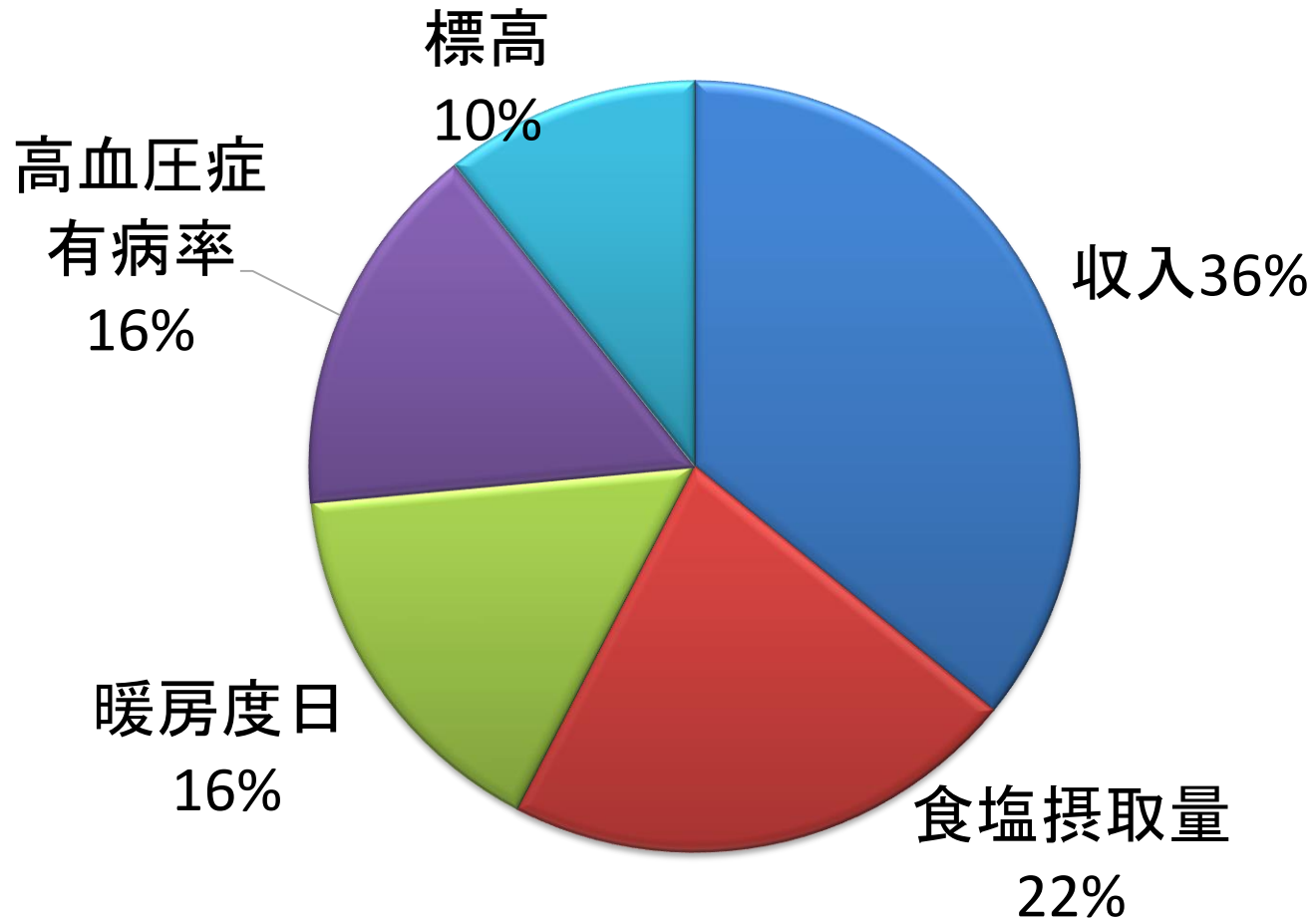
β : 高血圧症有病率(%)

S : 食塩摂取量(g/日・人)



張 晴原、吉野 博、柳 宇長谷川兼一、後藤伴延、鍵 直樹、中国における脳血管疾患死亡率に対する環境要因の分析、日本建築学会技術報告集 第24巻 第56号, 2018年2月

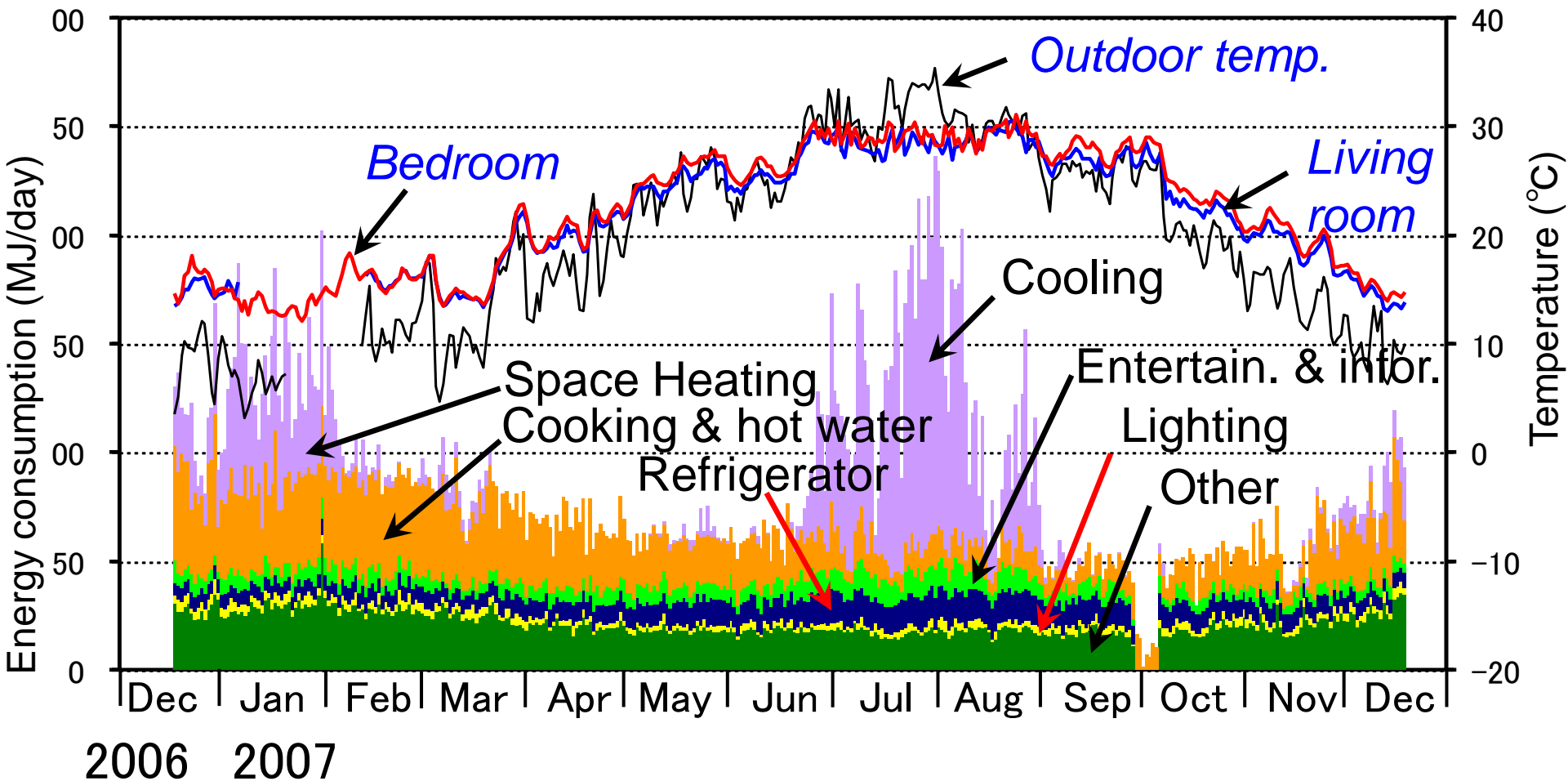
説明変数の寄与率



講演内容

1. はじめにー温暖化防止に向けた動き
2. 日本における現状と今後の方向
 - 2.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 2.2 室内環境と健康・快適性
 - 2.3 ゼロエネルギー建築への方向
3. 中国における現状と今後の課題
 - 3.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 3.2 室内の温熱環境と健康問題
 - 3.3 省エネルギー対策とその効果の予測**
4. 今後の方向

上海の住宅におけるエネルギー消費量と室内温度の年変化

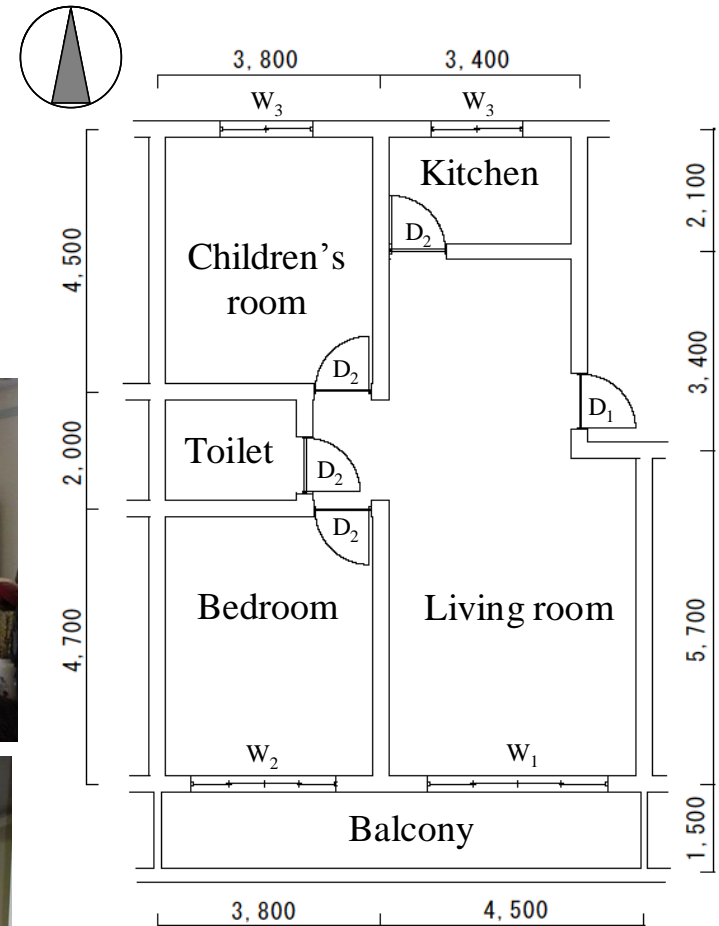
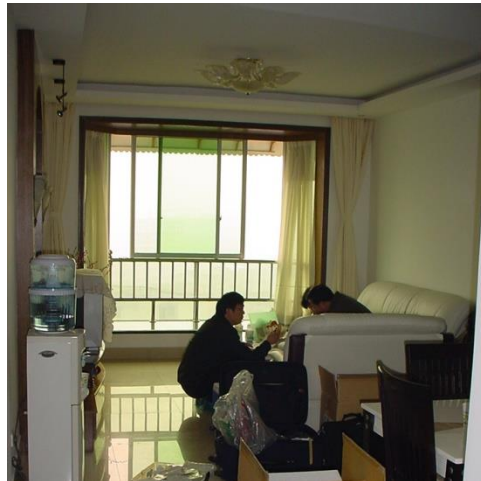


省エネ対策の効果を数値計算で検討するため、設定条件を得る目的で測定

数値計算のためのモデル住宅

Features

- The living room is not on a center of the house.
- Use the balcony as outdoors.
- The brick is used for the wall.



Floor plan of a model house
RC with brick wall structure
Floor: 87.2m²

計算の条件

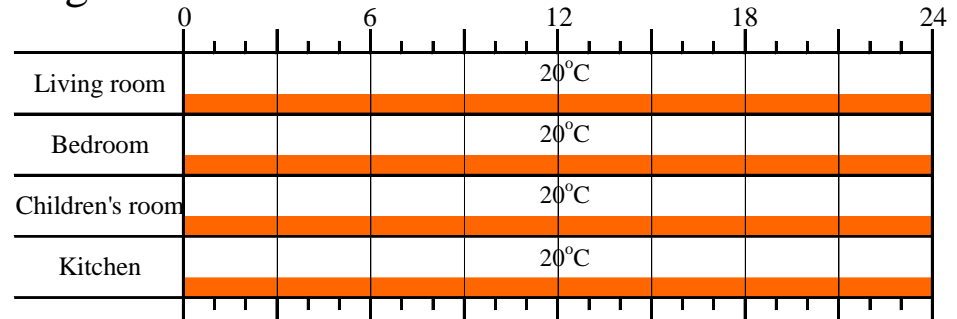
Cities for calculation:

Beijing, Shanghai

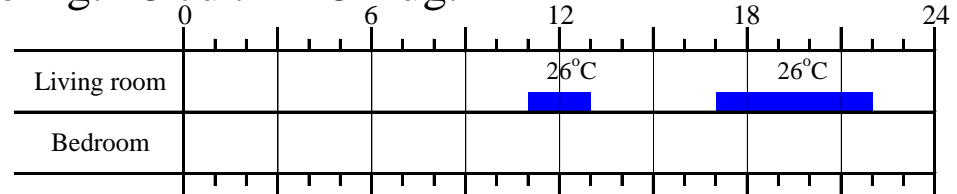
Location	Intermediate floor, Between adjacent apartment units	
Direction	South	
Material wall	Brick	
Outer wall thickness	Beijing	370 mm U=1.23 W/m ² *K
	Shanghai	240 mm U=1.65 W/m ² *K
Inner wall thickness	240 mm	
Windows	Beijing	Double glazing
	Shanghai	Single glazing

Air-conditioning schedule -Beijing-

Heating : 9 Nov. – 17 Mar.

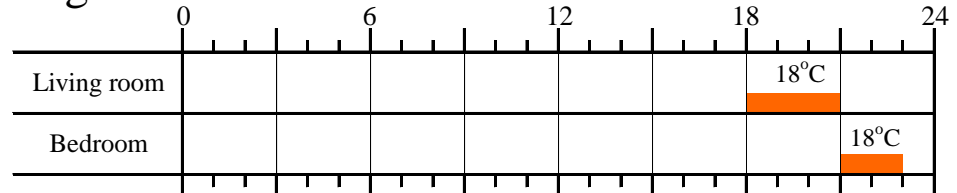


Cooling: 15 Jul. – 15 Aug.

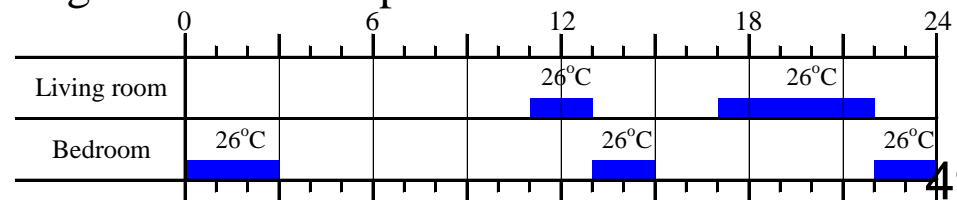


Air-conditioning schedule -Shanghai-

Heating: 5 Dec. – 5 Mar.



Cooling: 5 Jul. – 5 Sep.



暖冷房負荷の計算結果(ベースケース)

・ 現状

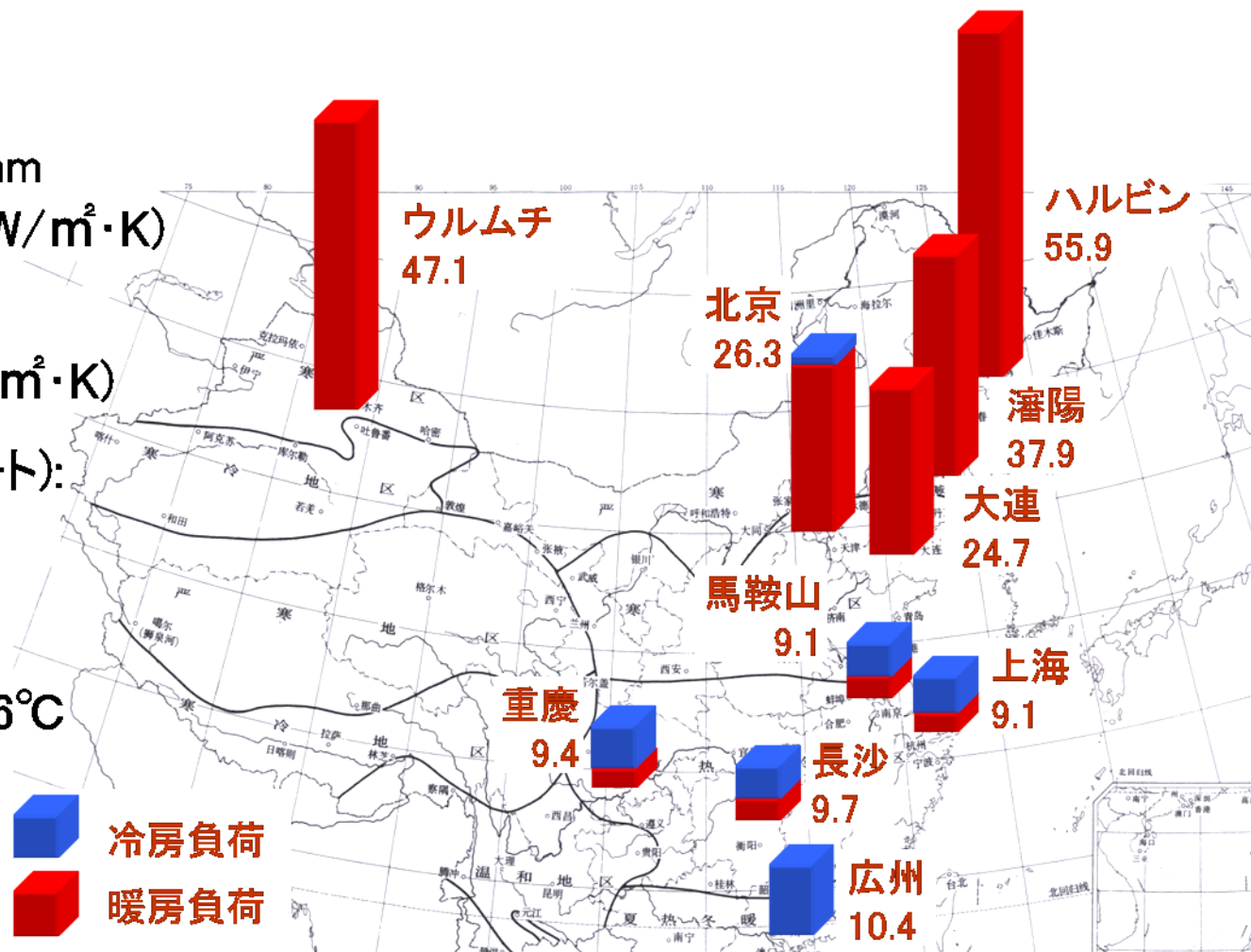
ポリウレタン 20mm
(熱貫流率:1.448W/m²·K)

2重ガラス
(熱貫流率:2.7W/m²·K)

蓄熱体(コンクリート):
厚さ200mm

換気回数 1回/h

暖房20°C、冷房26°C



➤ 地域暖房のある都市と無い都市での差が大きい。

暖冷房負荷の計算結果(省エネケース)

・ 省エネ例

ポリウレタン 80mm
(熱貫流率:0.580/m²·K)

2重LowEガラス
(熱貫流率:1.7W/m²·K)
(反射率:0.22)

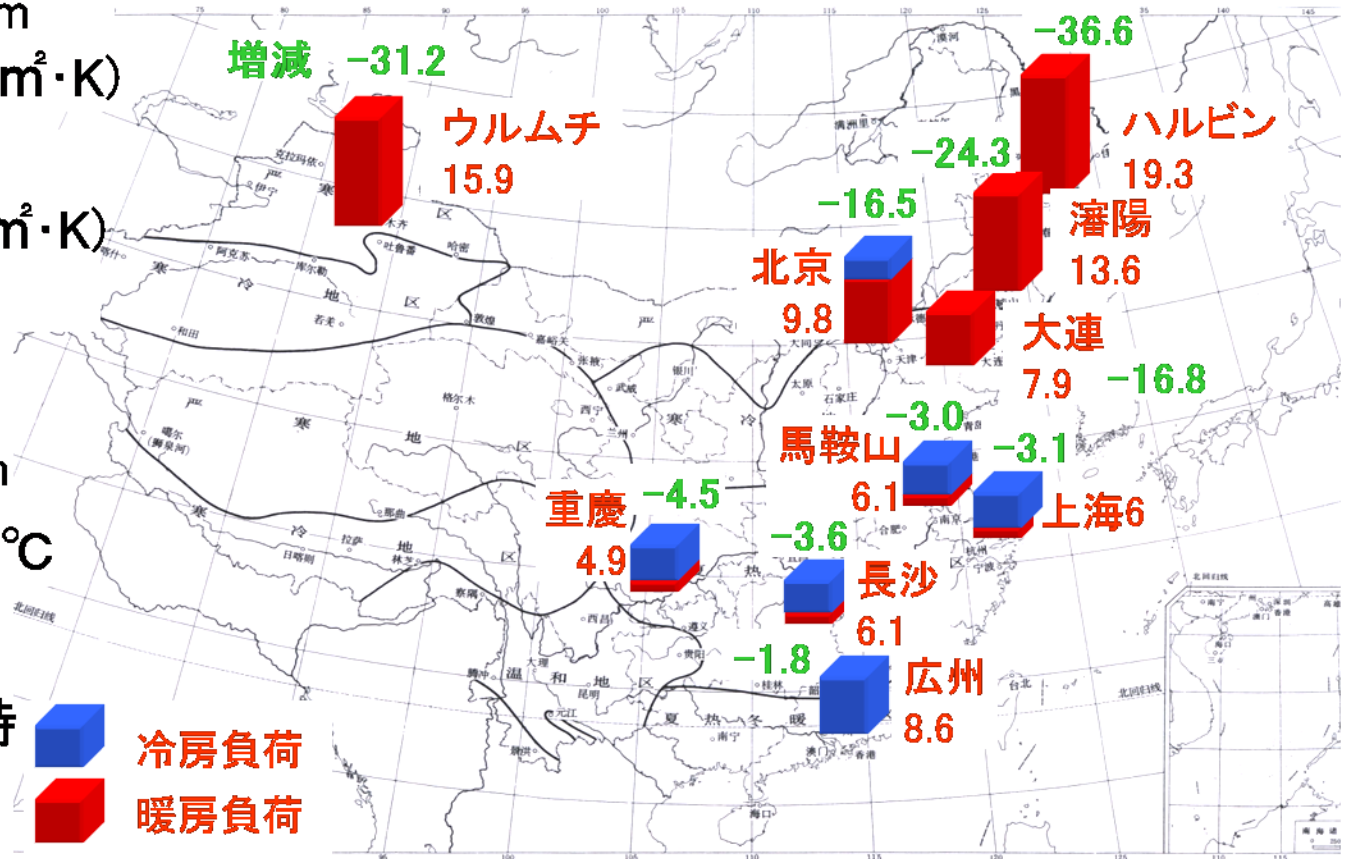
庇の設置

換気回数 0.5回/h

暖房18°C、冷房28°C

外気冷房

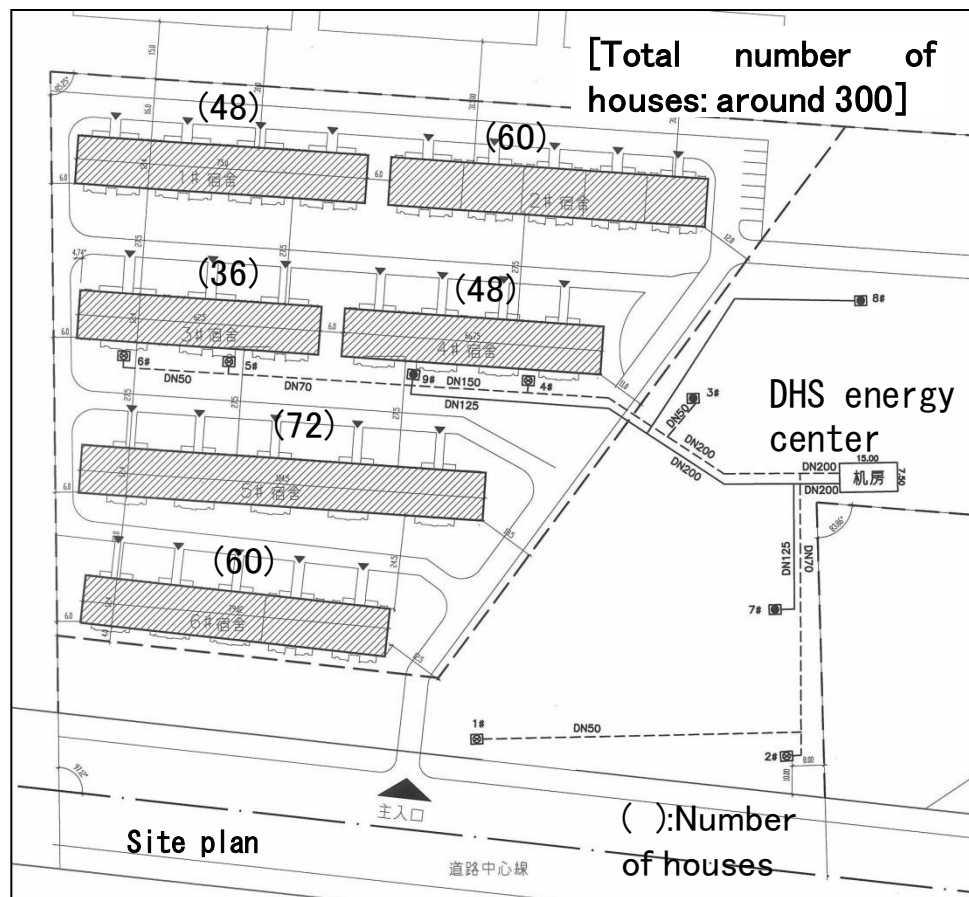
家電機器不使用時
プラグ抜く



➤ 暖房負荷の大幅な削減が可能

瀋陽の大学キャンパス内にある住宅

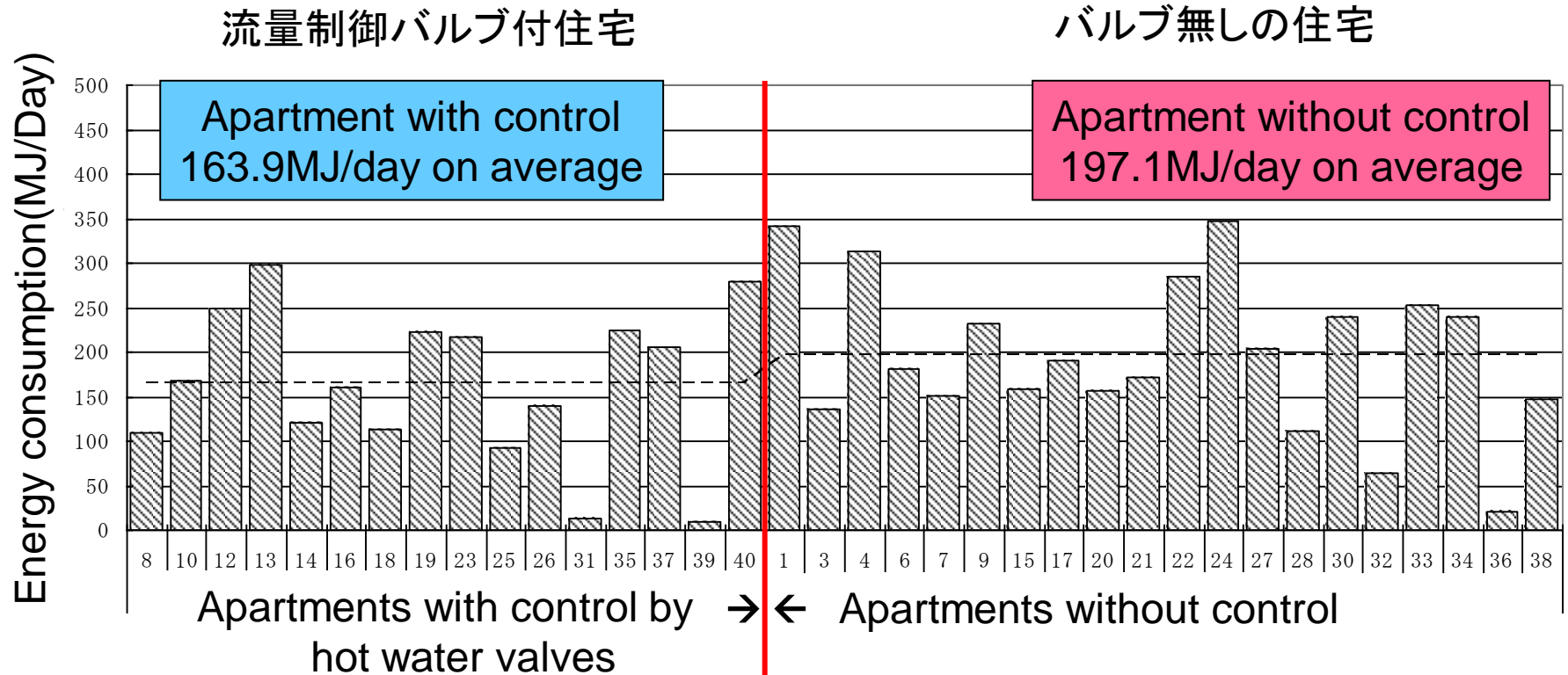
JETRO「中国東北地域における地域暖房住宅の省エネルギー推進のためのシステム導入実証事業、2008年」による。実施主体：日本環境技研



Energy center with ground heat pump system



床暖房のエネルギー消費量



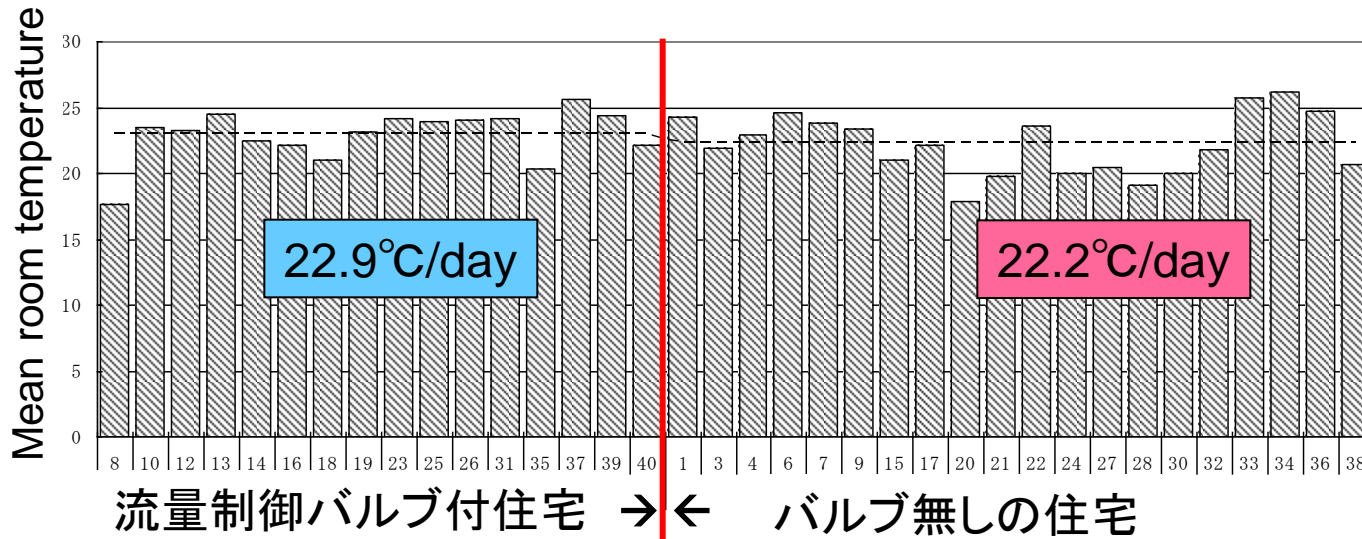
測定期間中の1日当たりエネルギー消費量

流量制御バルブ付住宅16戸の平均値: 163.9MJ/day (25.6GJ/year)

バルブ無しの住宅20戸の平均値 197.1MJ/day (32.2GJ/year)

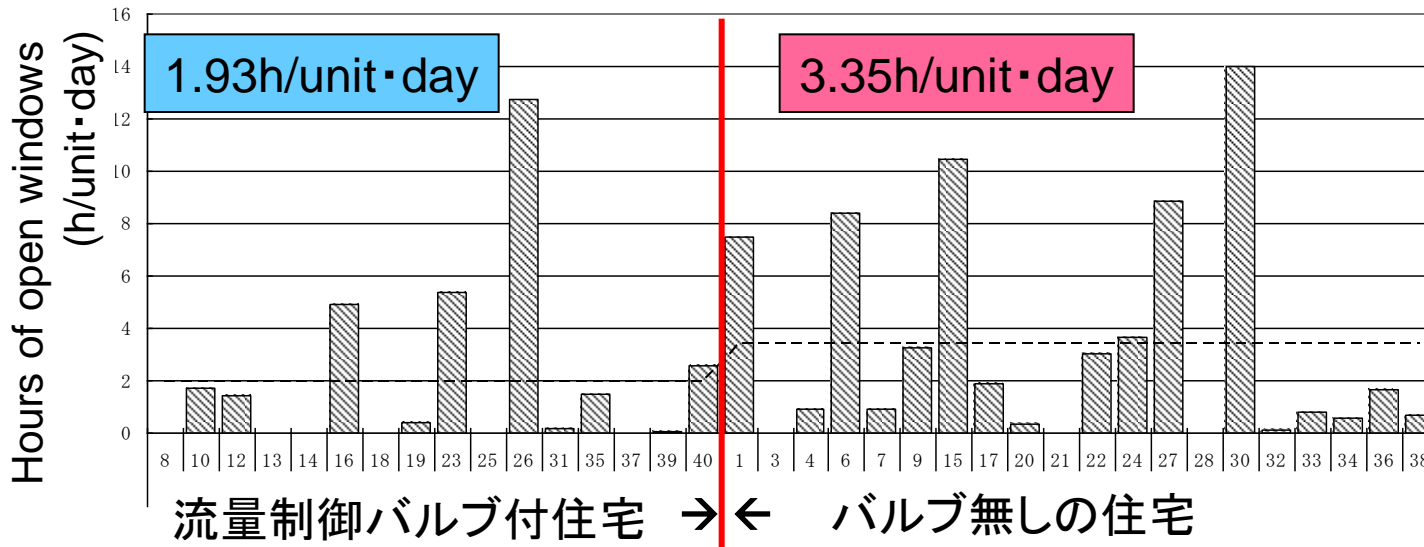
→ バルブの制御によって17%の省エネが達成された

各住宅の室内温度



室内温度は22°C前後で、二つのグループに大きな差はない。

窓の開放時間



バルブ付の住宅の方の窓開閉時間は、バルブの無い住宅よりもはるかに短い。

講演内容

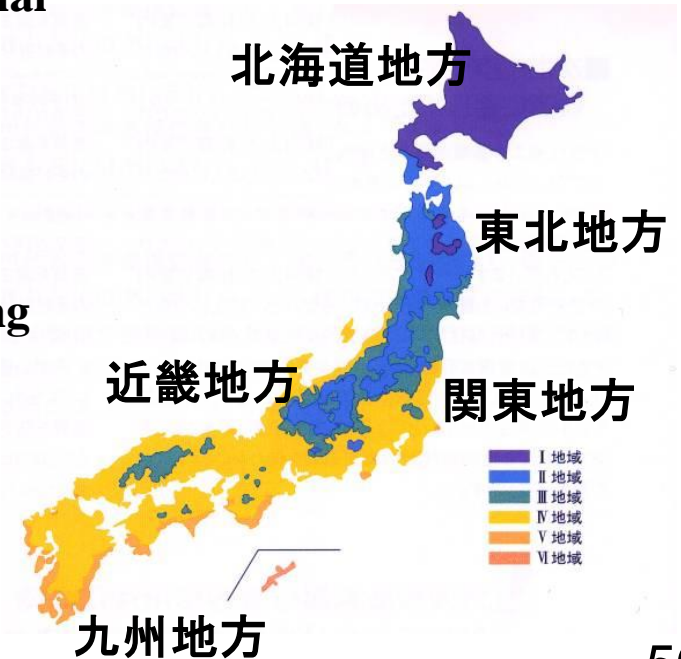
1. はじめにー温暖化防止に向けた動き
2. 日本における現状と今後の方向
 - 2.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 2.2 室内環境と健康・快適性
 - 2.3 ゼロエネルギー建築への方向
3. 中国における現状と今後の課題
 - 3.1 住宅におけるエネルギー消費量
 - 3.2 室内の温熱環境と健康問題
 - 3.3 省エネルギー対策とその効果の予測
4. 今後の方向

中国と日本の気候区分

暖房デGREEデーを基に区分



GB 50176-93 Standard of Climate Regionalization for Architecture



今後の方向

1. 我が国における住宅環境のあり方

- ・ 住宅の世帯当たりのエネルギー消費量は、欧米に比べて少ない。更に削減を図りつつ健康・快適性を向上させるべき。
- ・ そのために断熱性能を高めることは極めて重要。
- ・ 北海道では高断熱化は省エネ化に直結、その他の地域では省エネ化には必ずしも繋がらないが健康増進のために重要。
- ・ LCCM住宅の普及がCO₂39%削減のために目指すべき方向。

2. 中国における今後の課題

- ・ 地域暖房が設置されている住宅の暖房エネルギー消費量は極めて多い。建物の断熱化、個別制御システムの導入が重要。
- ・ 地域暖房の無い住宅のエネルギー消費量は少ない。今後、快適性に対する要求の高まりから暖房・冷房用消費量は増加する可能性は大。それを抑えるためには断熱化が重要。
- ・ 室内熱環境と健康との関係の調査研究が今後の大きな課題。



ご静聴ありがとうございました。