A stylized, layered illustration of Mount Fuji in shades of green and blue, serving as a background for the text.

わが国における木造住宅の 断熱化の変遷と現状 及び問題点

2007, 9, 06

熱物性学会

石井宏

断熱はいつ頃から？ 住宅への適用は遅い！

軍用

産業用

住宅用

(欧米先進国でも同じ?)

軍用から始まった！ 第1次世界大戦時 (~1920) ?

艦船用(潜水艦), 戦車, 大砲等

アスベストも多用?

わが国ではRWが最も歴史が古い

1938(昭和13年) 工業化開始

1942 「岩綿保温材海軍暫定基準」

住宅断熱の変遷

1. 北海道

1953 (昭和28年) : 北海道寒地住宅建設等
促進法 (寒住法)

1969 (昭和44年) : 寒住法改訂

1976 : エネルギー使用の合理化に関する法律
制定 (第2次オイルショック後)

1980 : 住宅に係る省エネルギー基準
(旧省エネ基準)

以降本州と同じ

本州における変遷 1

< 直接要因 >

オイルショック 第1次1974 第2次1979

< 省エネ法の制定 >

1979: エネルギーの使用合理化に関する法律制定

1980: 住宅に係る省エネルギー基準

= 旧省エネ基準

1991: 改正 新省エネルギー基準

1999: 改正 次世代省エネルギー基準

2007: 同上1部改正? 設備による省エネを加算

住宅の省エネルギー基準

昭和55年基準(旧省エネルギー基準)

平成4年基準(新省エネルギー基準)

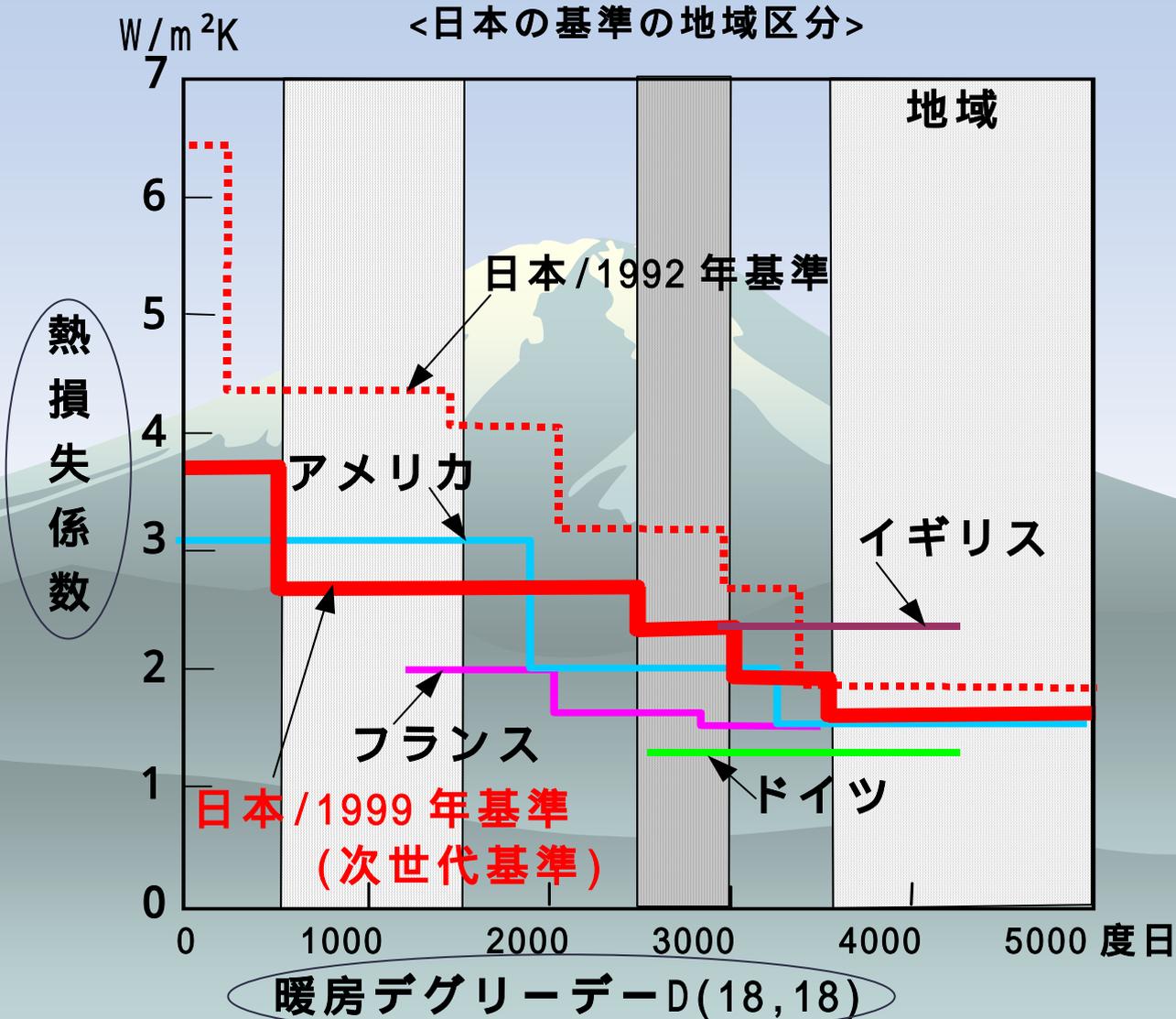
平成11年基準(次世代省エネルギー基準)

木造戸建住宅の採用比率(現状、推定、%)

旧	新	次
20 ~ 15	65	15 ~ 20

国は2008年には新築の次世代省エネ基準適合住宅
を50%とする目標

日本の省エネ基準の変遷 及び欧米先進諸国の基準



暖房デグリーデー(暖房度日)

暖房を必要とする期間中における
毎日の日平均外気温と暖房温度
との差を積算した値

$D(18-18)$ = 日平均外気温が18 以下を
暖房期間とし、その期間中の18 以下の
各日の平均外気温と18 の差を積算した
もの

住宅の主な法規制

住宅の断熱化・気密化は
温暖地では義務化されていない！

- ・ 建築基準法 義務基準
 構造,火災,劣化,換気等
- ・ 住宅の品質確保の促進等に関する法律（品格法）
 基本構造部分(基礎,柱,床,屋根等),雨水の侵入
- 10年の瑕疵保証
- 住宅販売側の責任を義務化
- ・ 消防法
- ・ 地方自治体の諸条例

住宅品質確保の促進に関する法律 「品確法」2000年施行

1. 10年瑕疵保証
 2. 性能表示制度
 3. 紛争処理体制
- 

住宅の性能: 9項目

住宅の性能表示制度・性能項目

1. 構造の安定 耐震、耐台風、耐積雪 (基)
2. 火災時の安定 耐火・防火 (基)
3. 劣化の軽減 耐木材の腐朽(白蟻)等 (基)
4. 維持管理への配慮 給排水管、ガス管等の維持管理
5. 温熱環境 省エネ対策 断熱・気密・遮熱等
6. 空気環境 室内化学物質汚染対策、換気 (基)
7. 光・視環境 採光のための開口部の面積
8. 音環境 対騒音 遮音
9. 高齢者への配慮 バリアフリー (基)
(階段)

住宅(戸建)の分類,種類

構造別:

木造: (在来)軸組, 2 × 4, 木質パネル

鉄骨造: 軽量鉄骨, スチールハウス,
重量鉄骨(ラーメン構造)

R C造(鉄筋コンクリート)

新築・既築(中古)

建売・注文

持ち家、借家等

一戸建て等住宅着工データ

平成18年 構造別

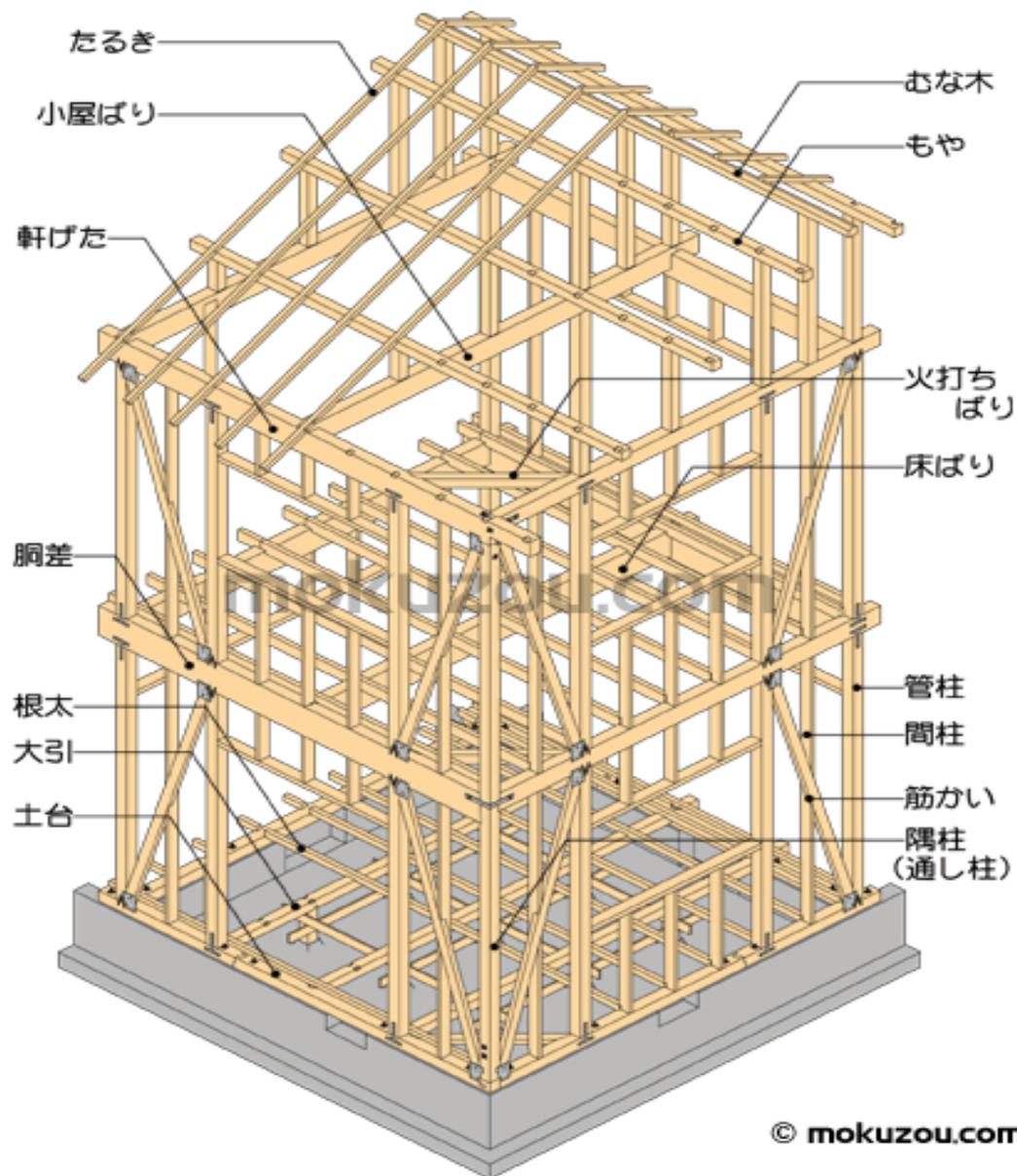
< 構造別 >

在来木造	355,288(70.6%)
2×4住宅	55,330(11.0%)
プレハブ住宅	72,147(14.3%)
R C造その他	20,120(4.1%)

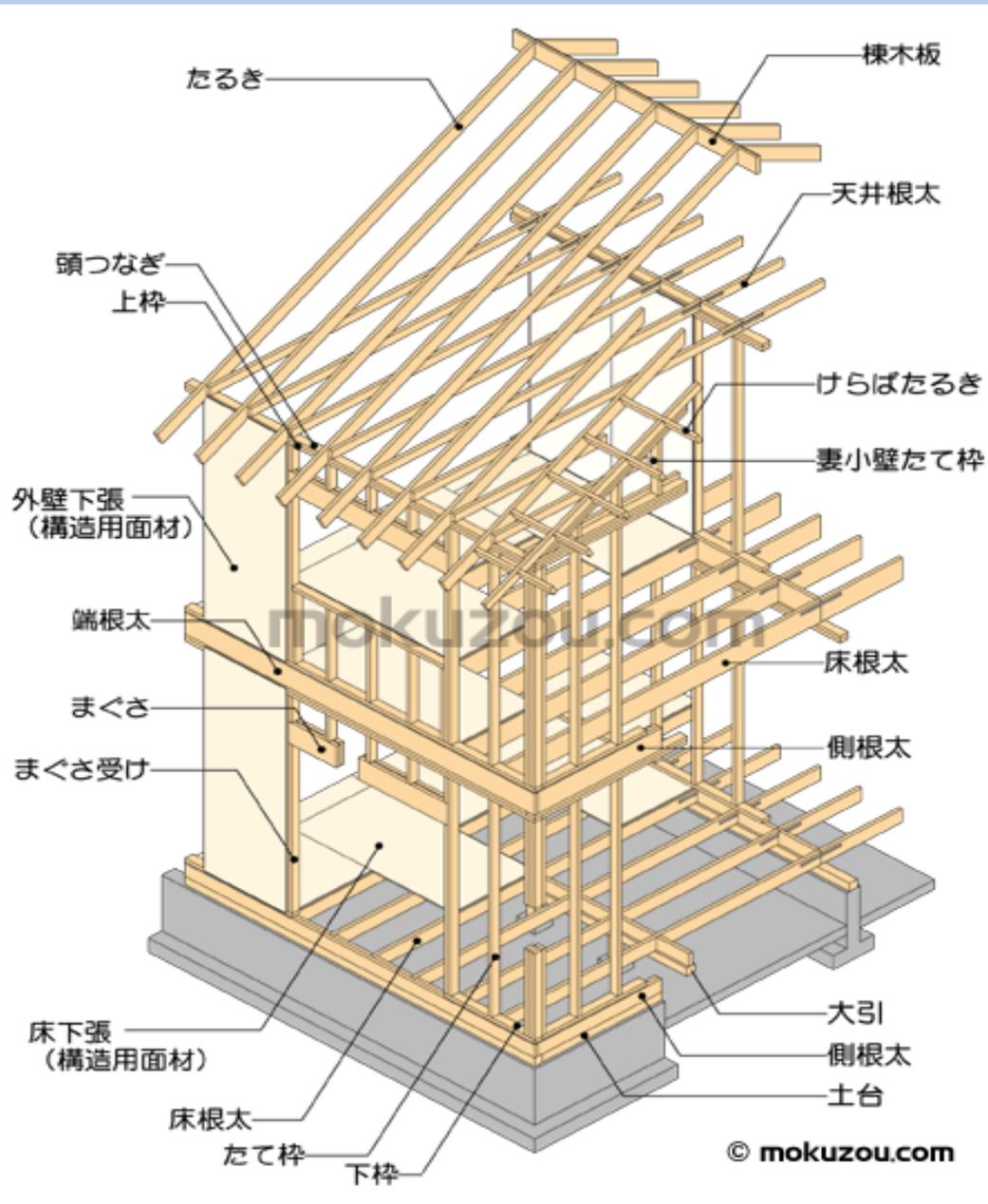
< 参考 >

持屋	385,519
貸家	543,453
給与住宅	9,228
分譲	379,181
マンション	238,614

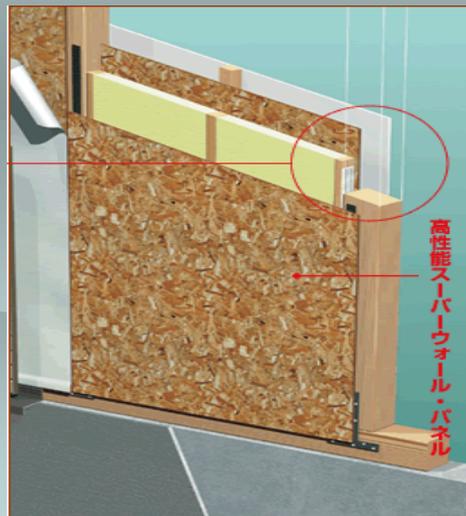
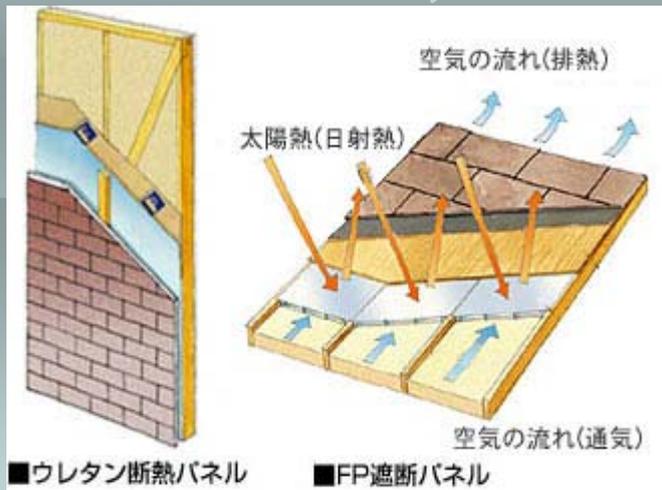
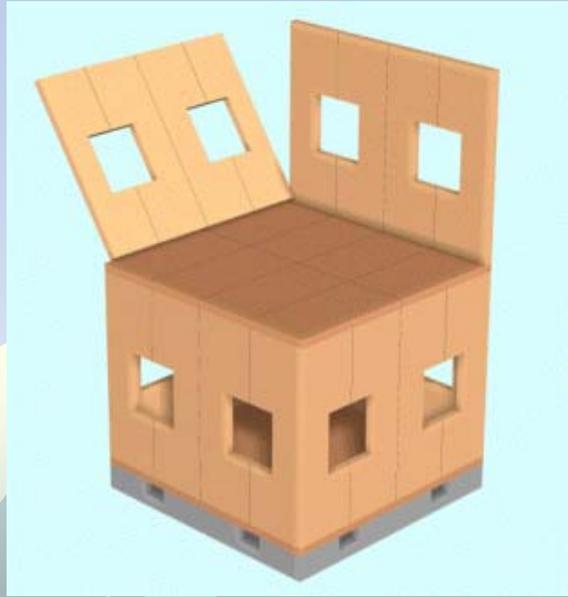
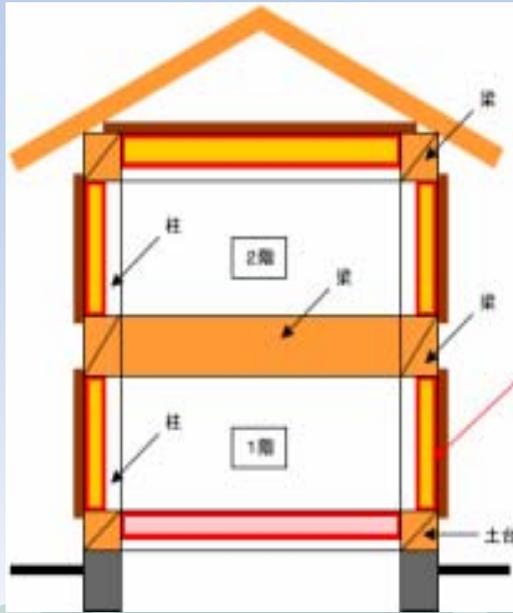
軸組構法



2×4構法



(木質) パネル構法



どこの部位を断熱するか？ (熱的境界)

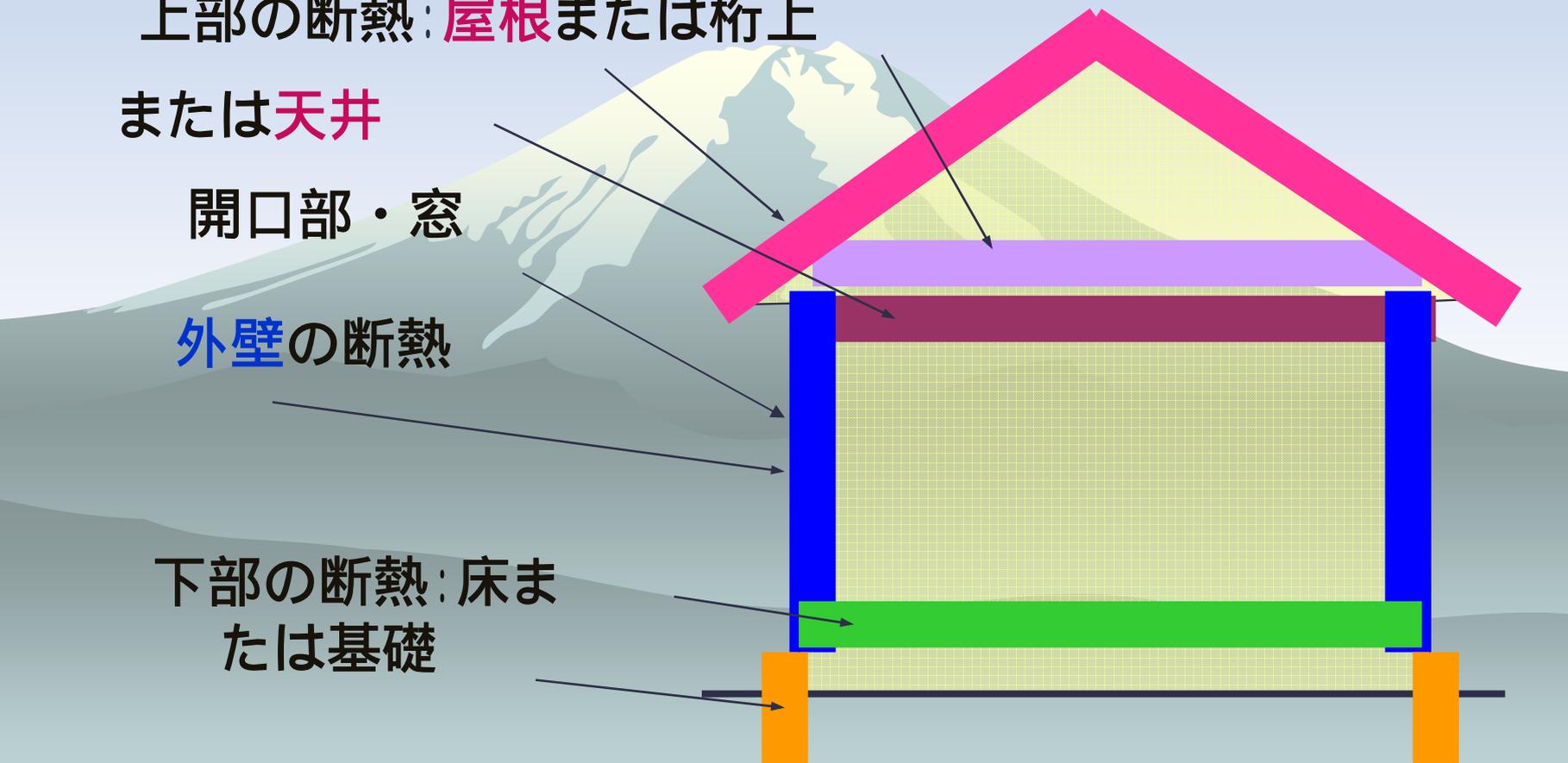
上部の断熱：**屋根**または**桁上**

または**天井**

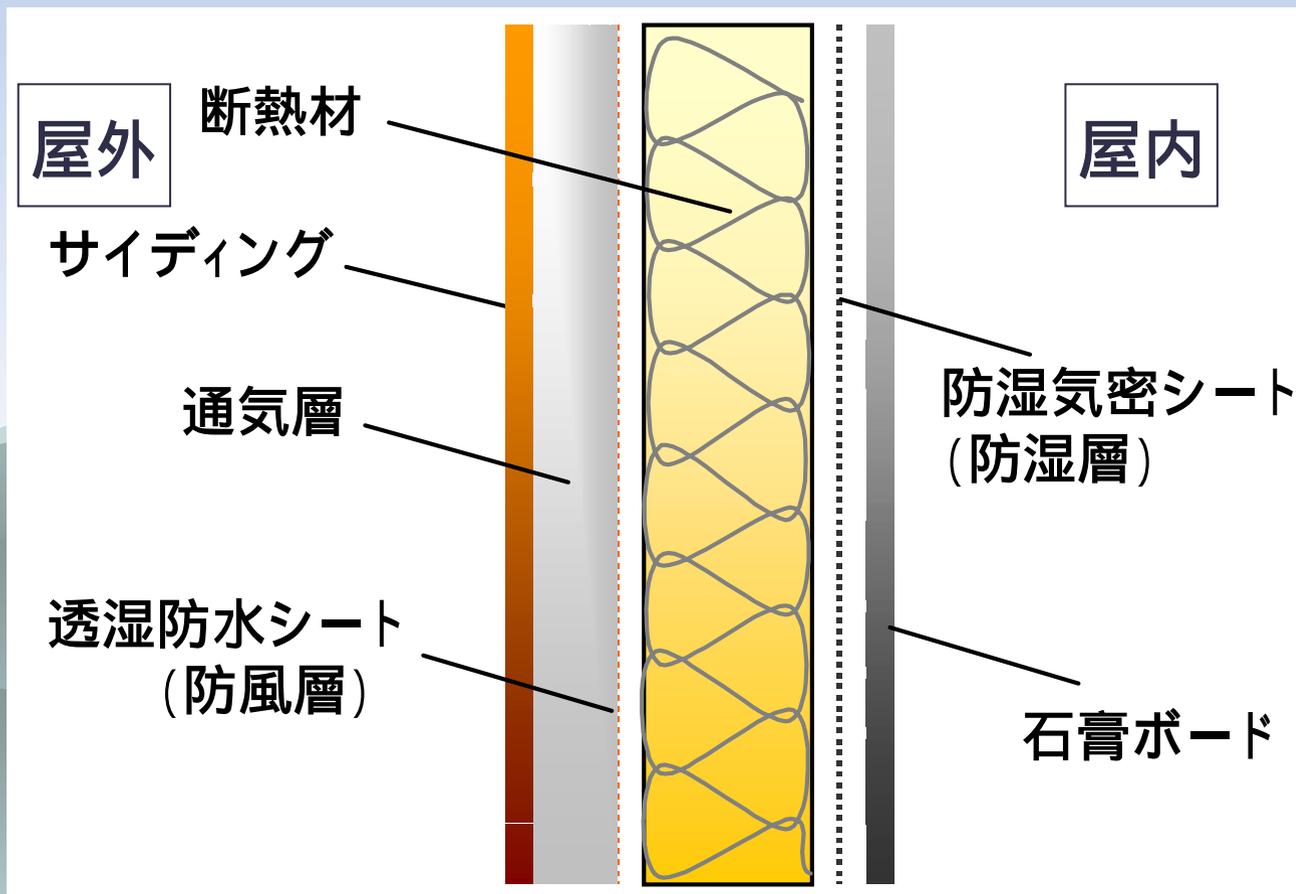
開口部・窓

外壁の断熱

下部の断熱：床ま
たは基礎



充填断熱工法(繊維系断熱材)



板状断熱材による外張り断熱工法

外壁

アキレスボード外張りノンフロン(壁用)

発泡プラスチック断熱材

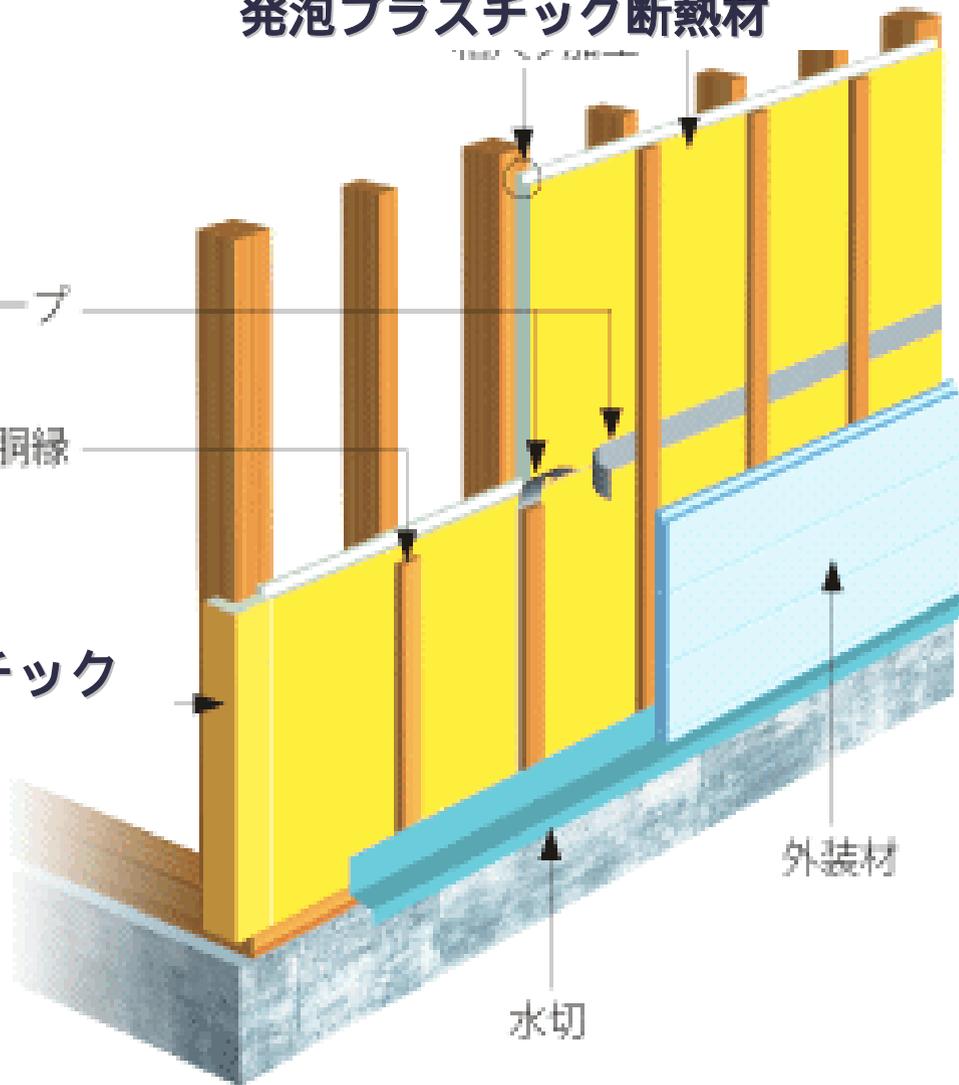
防水テープ

通気胴縁

発泡プラスチック断熱材

外装材

水切



主な断熱材(保温・保冷材)の種類

無機質繊維系
無機多孔質系

グラスウール、ロックウール
ケイ酸カルシウム
パーライト等

木質繊維系

セルローズファイバー
インシュレーションボード
(軟質繊維版)

発泡
プラスチック系

発泡ポリスチレン
ウレタンフォーム 等

断熱開口部材

複層硝子
断熱サッシ
断熱ドア

断熱の効果

熱の遮断 住居内への熱の侵入・流出を抑える



住居内温度の保温



- ・冷暖房の省エネルギー
- ・住居内快適性の向上
(室内表面温度の上昇, 体感温度向上,
室内上下温度差の解消)
- ・結露防止

住宅断熱の省エネルギー効果

省エネ住宅は地球温暖化問題に貢献！

省エネ効果

近年では地球温暖化問題

住宅分野における

省エネ貢献の重要な切札

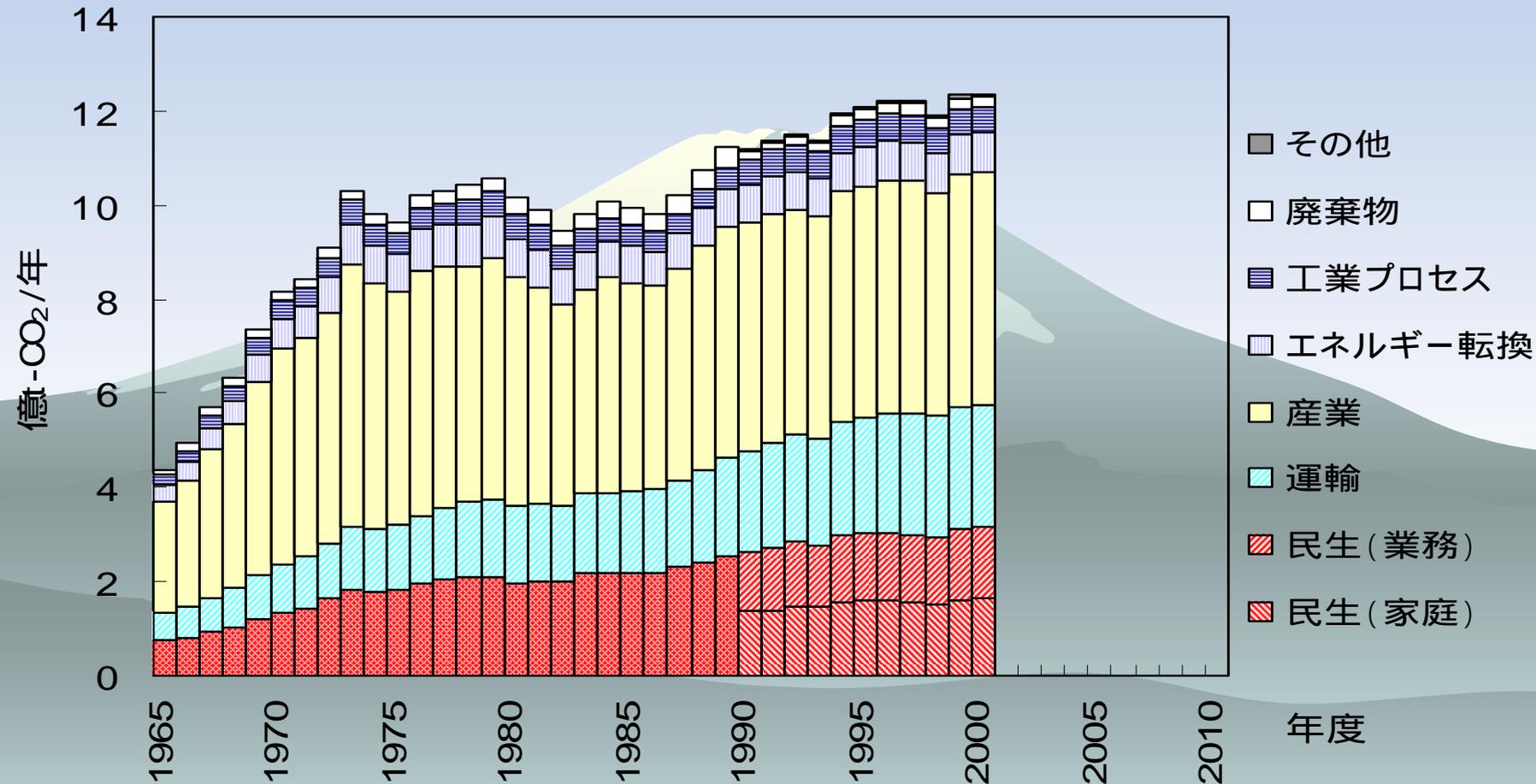
Stop The 温暖化 2005/環境省



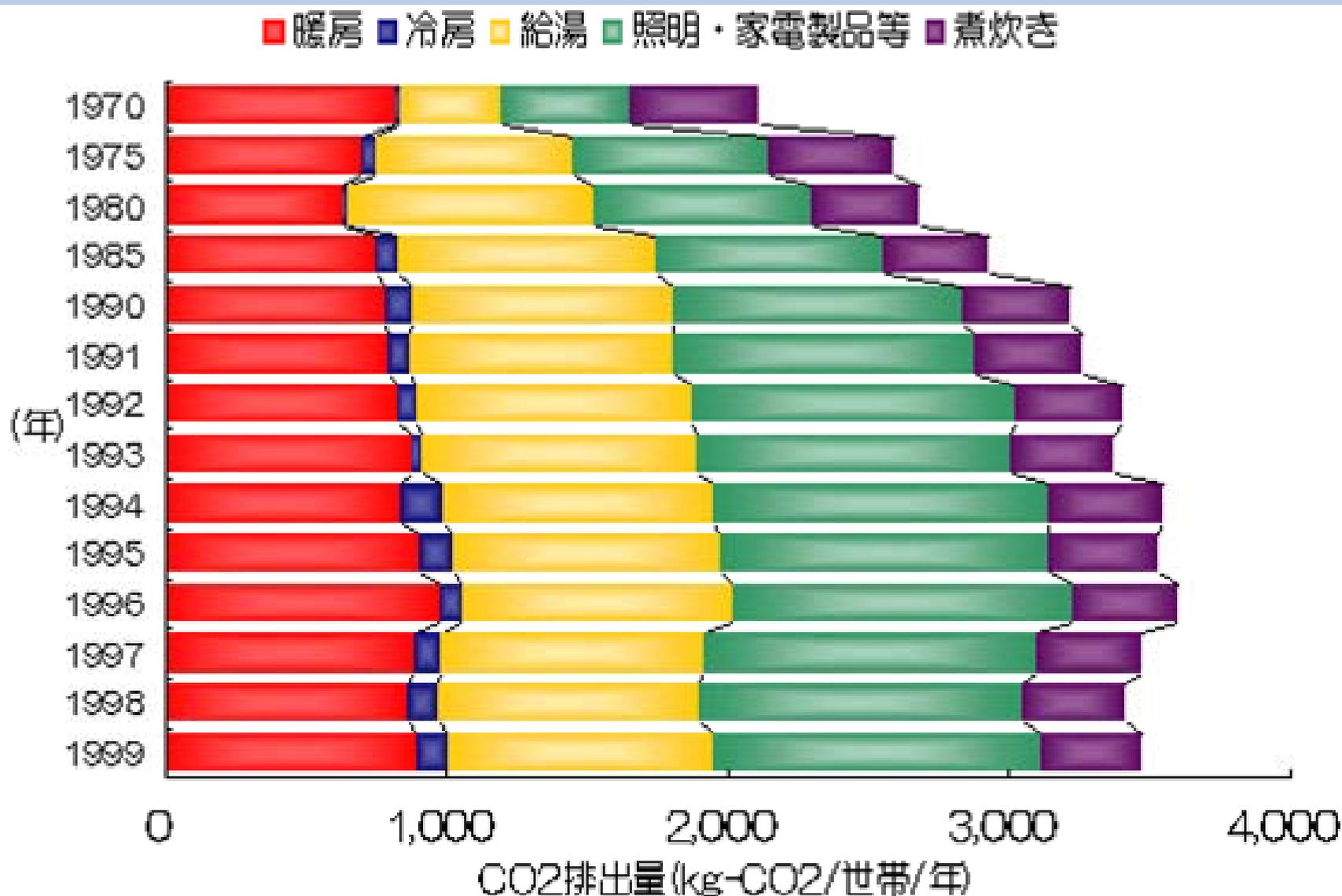
日本のCO₂排出量の推移

出所: 東大/工/坂本雄三

2000年度 12.37億t-CO₂/年



住宅用エネルギーの内訳



出所：家庭用エネルギー統計年報2000年版（住環境計画研究所）

断熱の効果－室内表面温度が体感温度 に与える影響

体感温度の簡単な計算式

$$\text{体感温度} \approx \frac{\text{表面温度} + \text{室温}}{2}$$

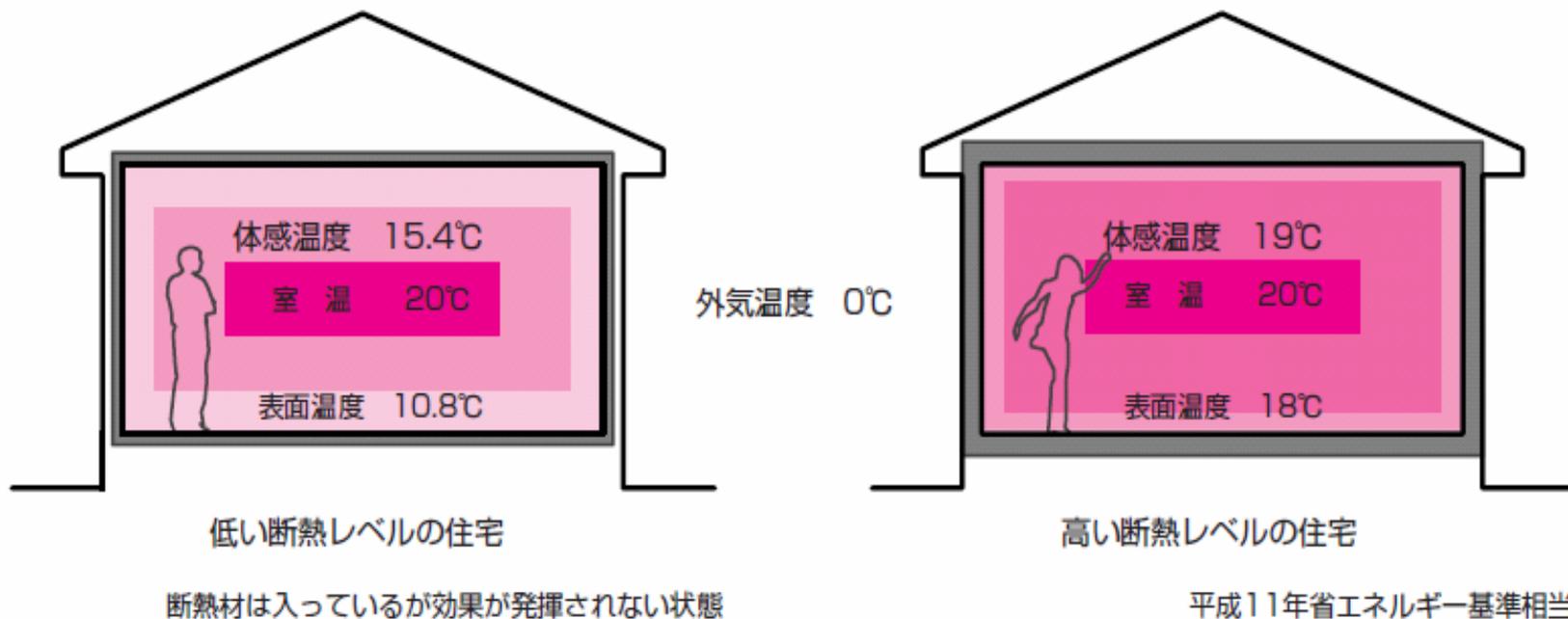


図4 室温・表面温度と体感温度

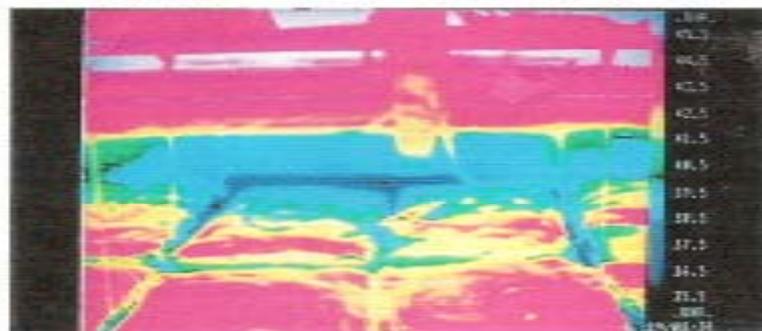
夏季の遮熱効果-小屋裏の温度状況

3. 充填断熱の場合の小屋裏の屋根下地材(野地板)の熱画像



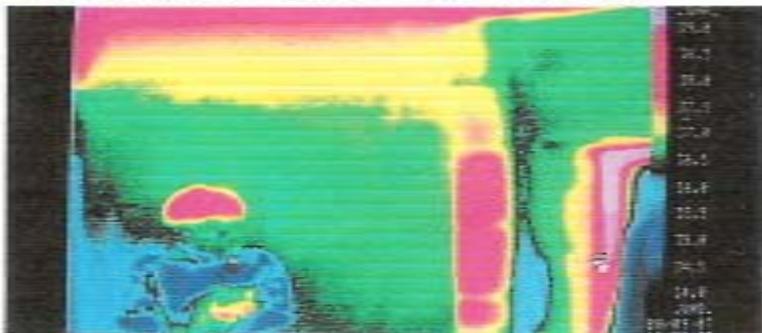
野地板の赤くなっている部分面は、60度近くになっています。一番下にわずかに見える青い部分は排気口ですが、排熱の役に立っていないことが分かります。

1. 充填断熱の場合の小屋裏内熱画像



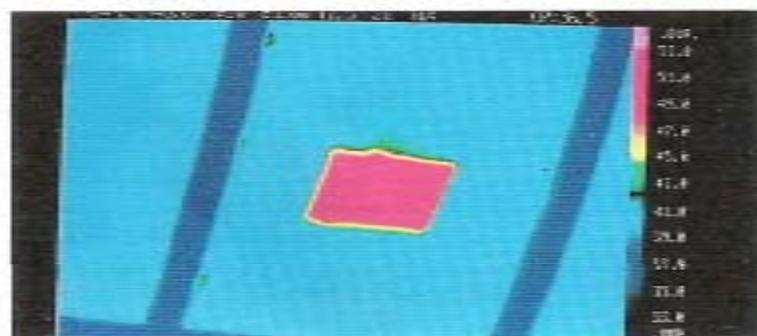
上の赤い部分が小屋裏(天井裏)の屋根面です。下の赤い部分は天井裏に敷かれた断熱材です。屋根面の温度は60度にも達し熱がこもっていることが分かります。

2. 充填断熱の場合の室内熱画像



1の写真の小屋裏の熱が室内天井面に伝わって温度が上がっています。その天井面から熱放射を受けて、室内の人間の頭部も温度が上がっています。まさに頭暑足寒の状態です。

4. 外張り断熱の小屋裏屋根面の熱画像



青い部分が屋根面です。赤い部分は屋根面の断熱材の一部を切り欠いて対比させたものです。屋根タル木の湿度もあがっていません。屋根面の断熱が遮熱に有効なことが一目瞭然です。

(福岡大学工学部建築学科 須貝研究室資料)

結露防止効果

結露の種類

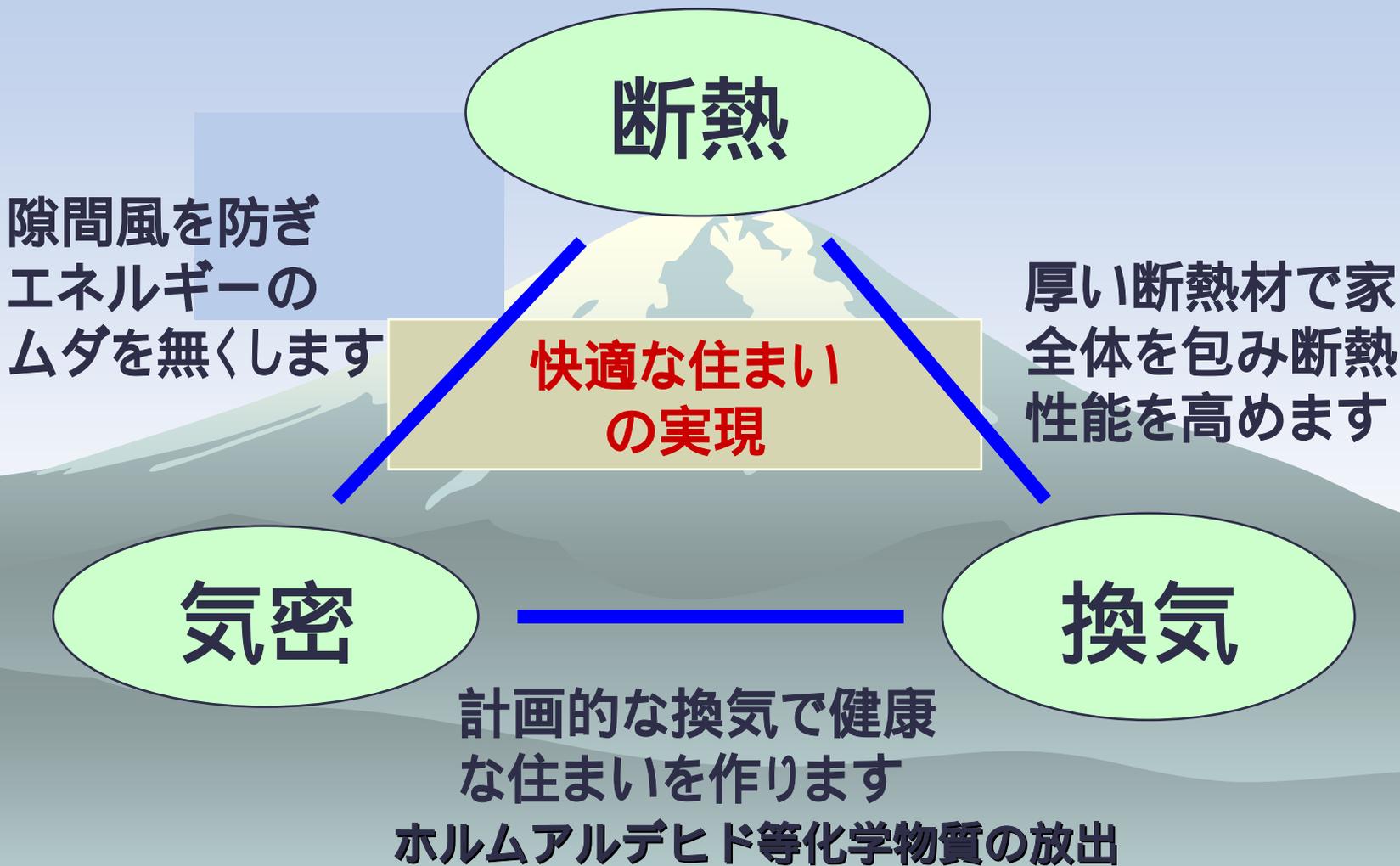
1. 表面結露
2. 内部結露: (1) 拡散型、
(2) 空気搬送型

防止対策

1. 表面結露: 室内側低温部
2. 内部結露
 - (1) 充填工法: 室内側防湿層の施工
 - (2) 外張又はパネル工法の採用

住宅の高断熱高気密化

快適な室内環境



住宅の性能-断熱・気密性能

Q , K , C ,

1. 建物全体の断熱性能は「**熱損失係数 (Q値)**」
2. 壁・窓など部位の断熱性能は「**熱貫流率 (K値)**」
3. 気密性能は「**隙間相当面積 (C値)**」

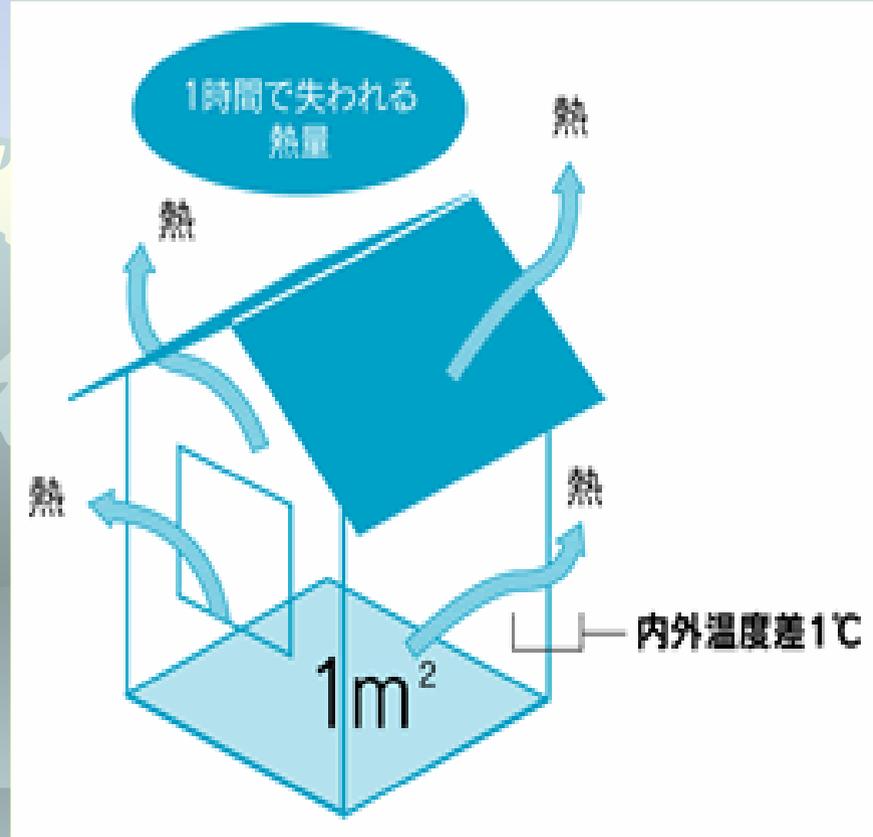
家全体の断熱性能「熱損失係数(Q値)」

「熱損失係数(Q値)」

家の内外の温度差が1 の時に、家全体から1時間あたりに逃げ出す熱量を床面積で割った数値です。

家全体から逃げ出す熱とは、外壁から、床から、窓から、天井・屋根から、を全部足したものです。

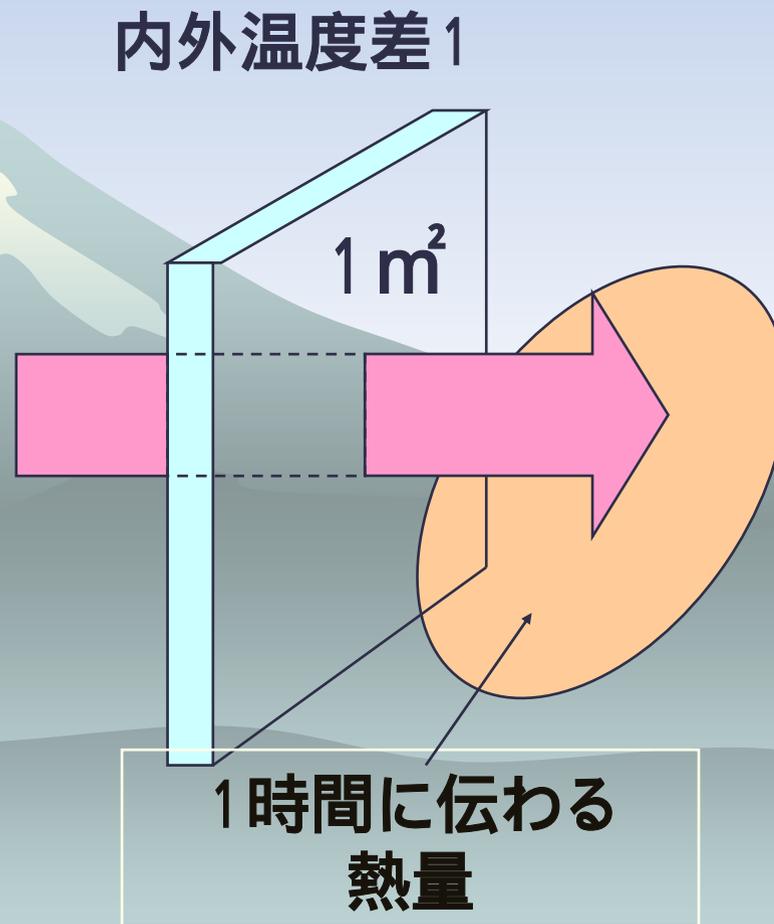
数値が小さいほど断熱性の高い住宅です。



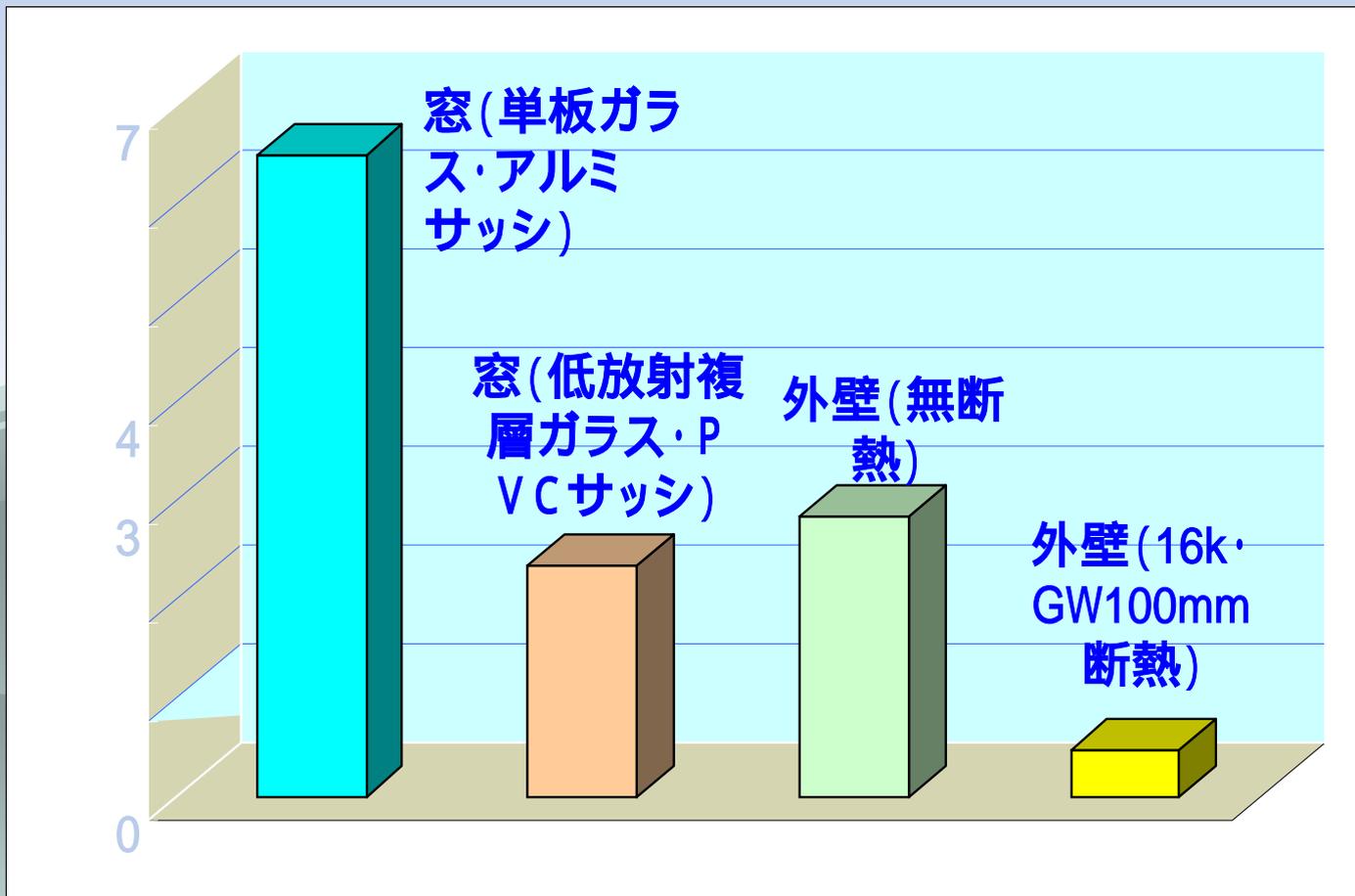
部分の断熱性能「熱貫流率 (K 値)」

熱貫流率 (K 値)

- 壁、天井、窓など、部分を通して“熱の通りやすさ”を表す数値
- 数値が小さいほど断熱性能に優れる窓や壁
- 断熱材を入れた壁 0.3 以下
- 複層ガラス + PVC サッシ 約 2.0



窓の熱性能(熱の逃げやすさ)



家全体の気密性能「相当隙間面積(C値)」

家の外周(外壁、天井、床、窓)にある隙間の総面積を
床面積で除した数値

$$C \text{ 値} = \frac{\text{隙間面積の合計 (単位: } \text{cm}^2 \text{)}}{\text{実質延べ床面積 (単位: } \text{m}^2 \text{)}}$$

現場測定可能: 住宅の性能を実測できる
優れた測定法

数値が小さいほど気密性が高い

住宅の構造別相当隙間面積 (実測による実例)

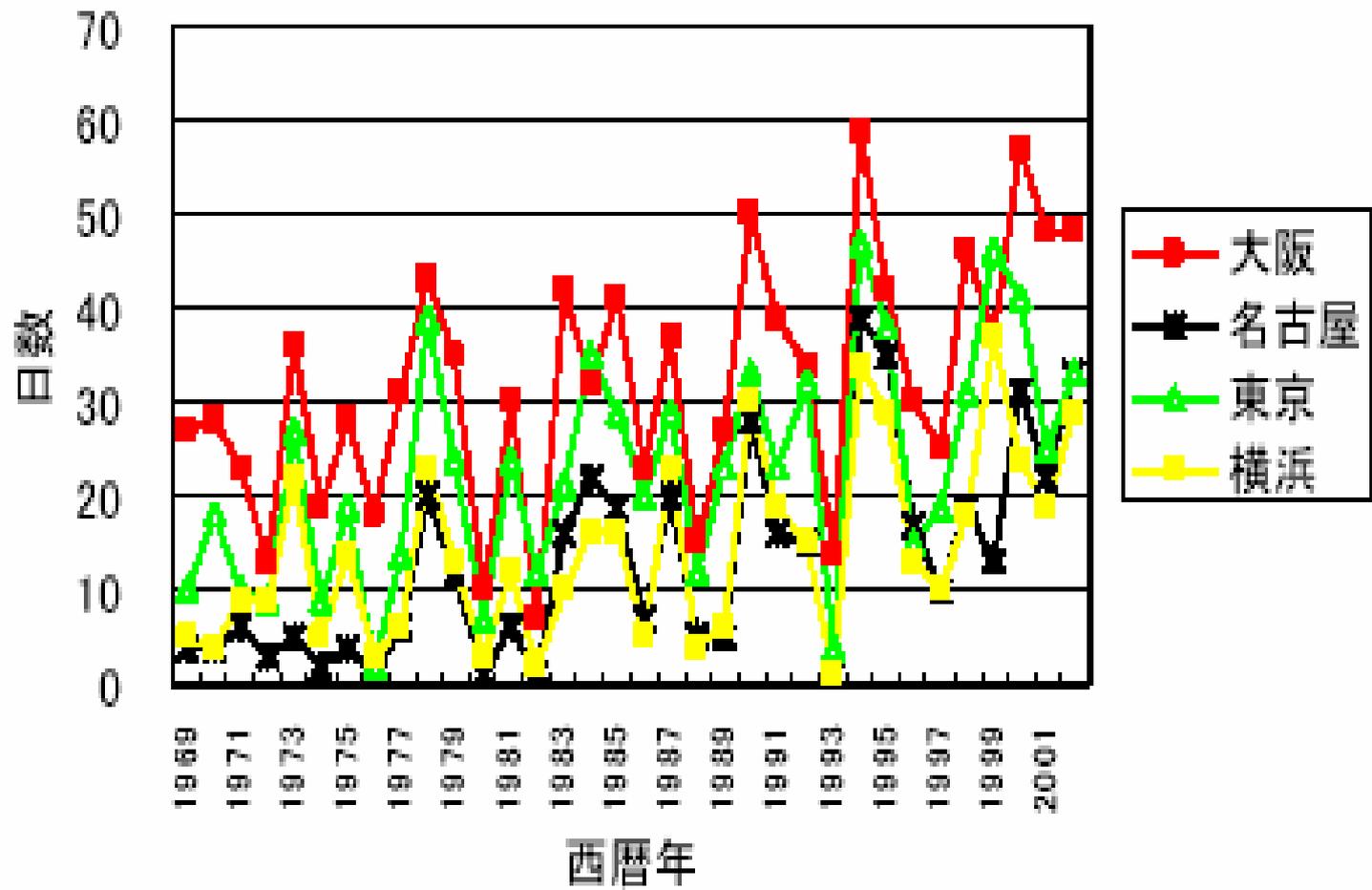
(単位: cm^2 / m^2)

構造	平均値	標準偏差
軸組	4.35	3.21
パネル(軸組)	2.02	1.34
2 × 4	2.17	1.19
RC(戸建)	1.67	1.17
RC(集合)	0.87	0.82
スチールハウス	3.44	1.50

日本の主要都市の気候 - 夏

	8月の最高温度 月平均	8月の最低温度 月平均	8月の平均 温度	8月の相対 湿度 %	30 以上の 日数(日)
名古屋	32.2	23.8	27.3	73	57.6
東京	30.8	24.2	27.1	72	45.6
和歌山	32.1	23.9	24.3	72	60.3
京都	32.9	23.9	27.8	68	66.4
奈良	32.2	22.3	26.6	75	59.5
大阪	33.0	25.1	28.4	67	67.9
広島	32.1	24.3	27.9	71	49.5
福岡	31.6	24.5	27.6	74	52.8
熊本	32.6	23.9	27.7	75	71.2
鹿児島	32.0	25.1	28.2	76	71.3
那覇	30.9	26.4	28.2	80	85.3

熱帯夜



気象台の観測データより作成

学位論文

温暖地における充填断熱壁体内の 熱・気相水分・空気移動及び隙間量の 定量化に関する研究

2006年3月

熊本大学大学院

自然科学研究科 環境共生科学専攻

石井 宏

本研究の目的

温暖地 袋入断熱材 充填工法壁体
隙間 水平方向移流

1. 熱,水分,空気挙動の解明

2. 隙間量の定量化 測定法の考案
隙間量の測定

3. 新工法の提案

第1章 用語の定義

水蒸気 「気相の水分」
「水分」 気相、液相、固相の水
(JIS A0202 断熱用語)

温暖地 1999年省エネルギー基準
地域区分、地域

移流又は移流型 空気移動に伴う

拡散又は拡散型 水蒸気分圧差

次世代省工ネ基準地域区分

次世代省工ネ基準地域区分

I地域

北海道

II地域

青森県 岩手県 秋田県

III地域

宮城県 山形県 福島県 栃木県 新潟県 長野県

IV地域

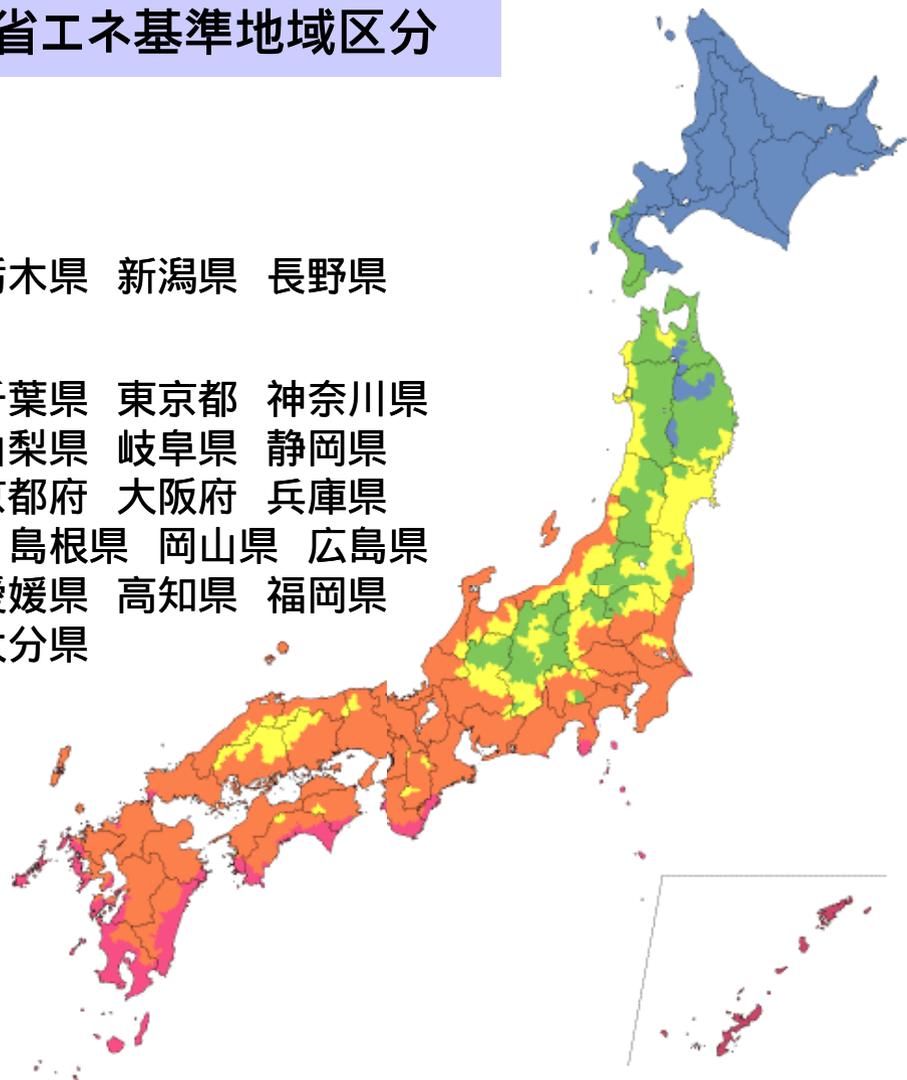
茨城県 群馬県 埼玉県 千葉県 東京都 神奈川県
富山県 石川県 福井県 山梨県 岐阜県 静岡県
愛知県 三重県 滋賀県 京都府 大阪府 兵庫県
奈良県 和歌山県 鳥取県 島根県 岡山県 広島県
山口県 徳島県 香川県 愛媛県 高知県 福岡県
佐賀県 長崎県 熊本県 大分県

V地域

宮崎県 鹿児島県

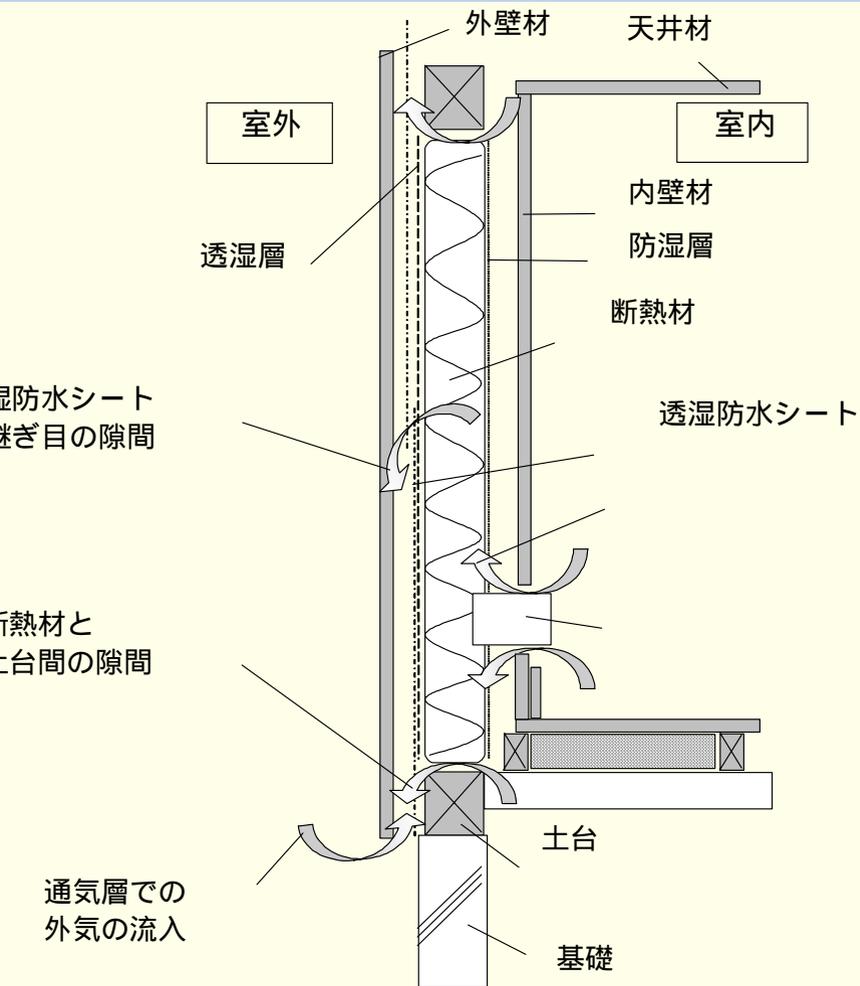
VI地域

沖縄県

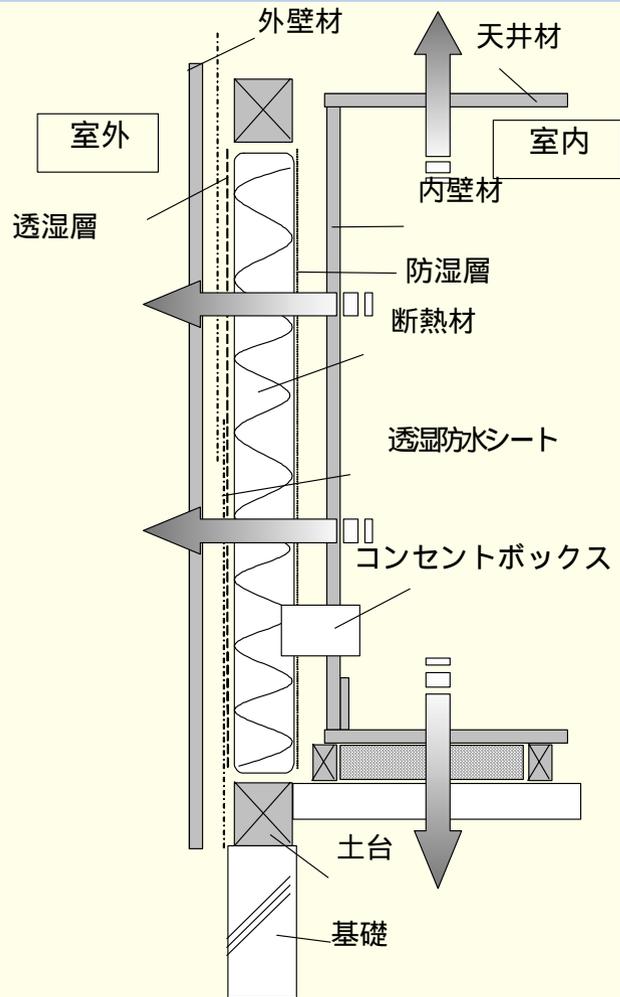


移流と拡散

空気移流型水分移動



拡散型水分移動

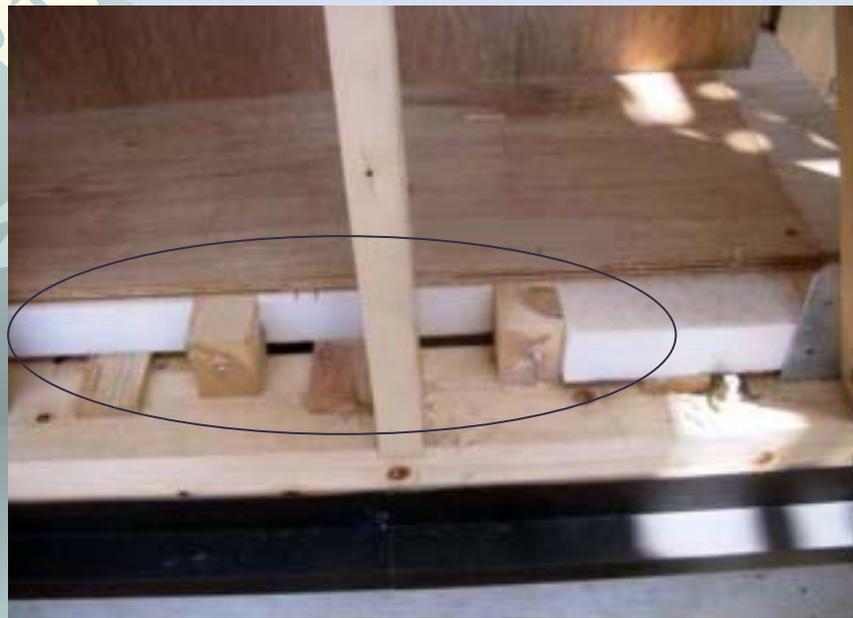


研究の動機-1 粗雑な施工

施工は全く粗雑(熊本市内50棟)



筋交部の断熱欠損



床下の取合部

温暖地における充填工法の問題点

問題点1 壁体内結露



カビで黒変



結露水

問題点 2 計算万能

結露計算

水蒸気移動の駆動力
分圧差

問題点 3 水分移動

移流

拡散

北海道 結露対策実験
福島等

「木造住宅の壁内結露防止に関する研究」

日本建築学会北海道支部研究報告書

No.59 1986年3月 pp.21 ~ 24

問題点 4 充填断熱工法の標準仕様 袋入繊維系断熱材

北海道

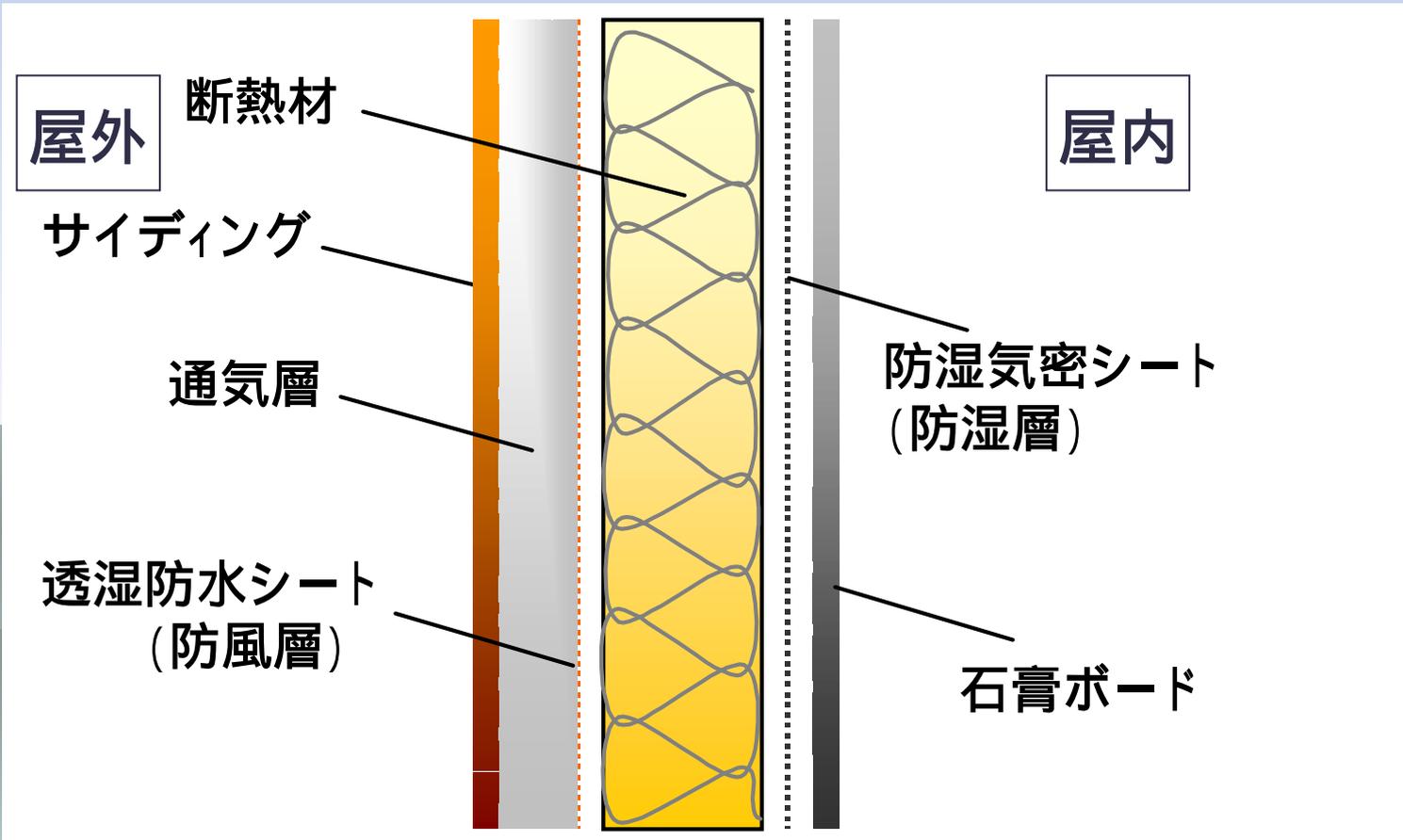
防湿層気密層 別張

厚さ0.1mmPEフィルム

温暖地

袋入断熱材装着PEフィルム

問題点-5 充填断熱工法の標準仕様 袋入繊維系断熱材



第2章

充填断熱壁体隙間からの水平方向空気移流 による壁体内の結露可能性に関する研究

目的; 実証実験前 計算による検討 実態調査

水分移動の計算

新築住宅施工現場調査

アンケート

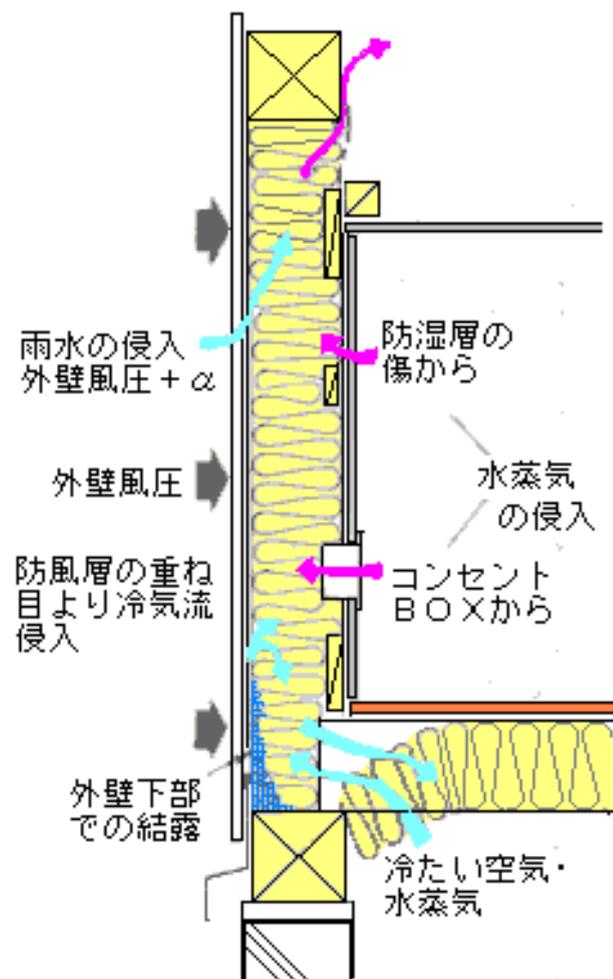
水分移動量の計算

- ・ 風力換気
- ・ 温度差換気
- ・ 拡散(水蒸気分圧差)

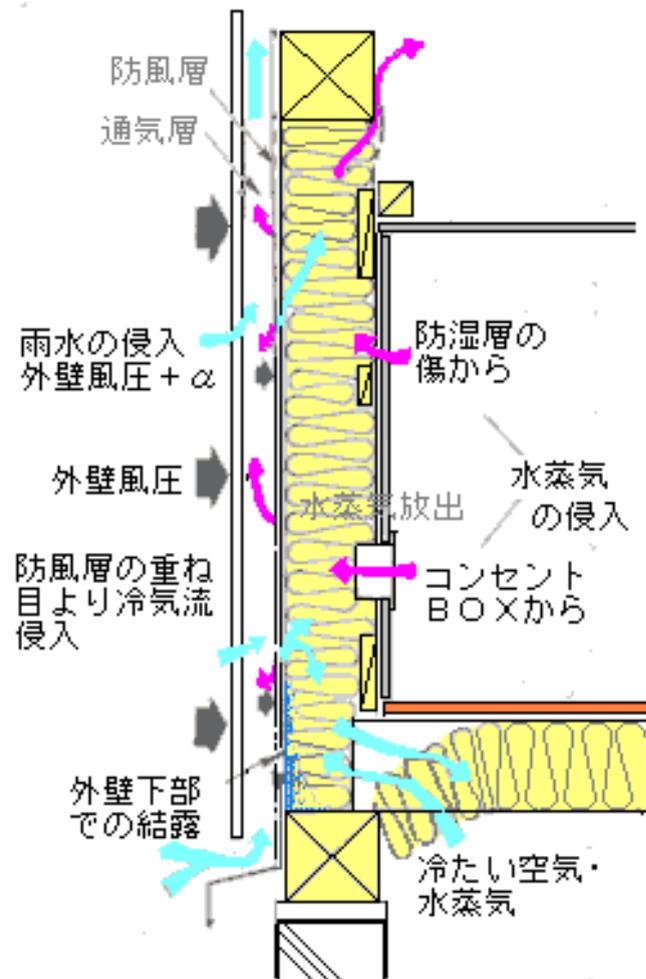
水分移動量(単位:[g/(h.m²)])

空気移流型		拡散型
風力換気	温度差換気	
12.537	0.601	0.024

繊維系断熱材による充填断熱工法



サイディング等を直貼りした場合

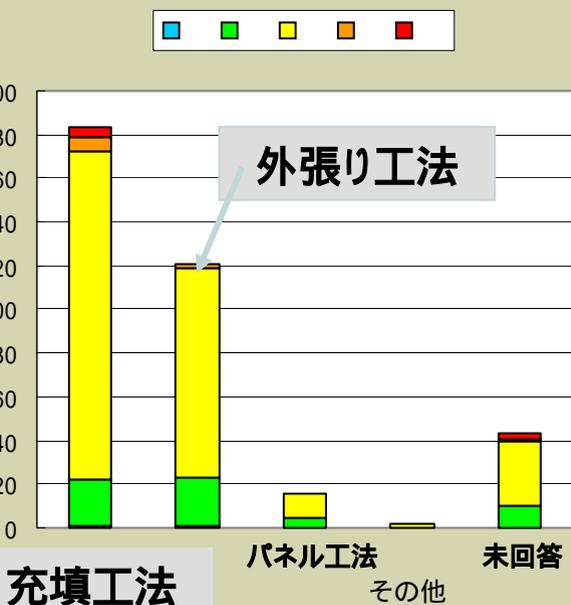


通気層工法による場合

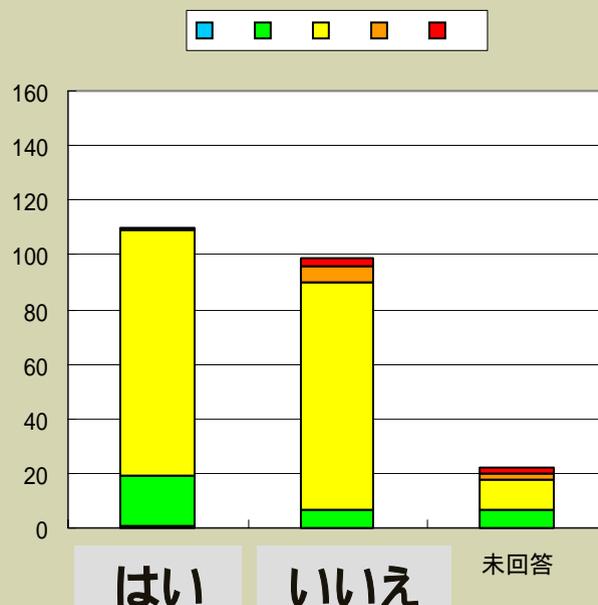
アンケート調査による断熱施工の実態

アンケート回収数： 260通

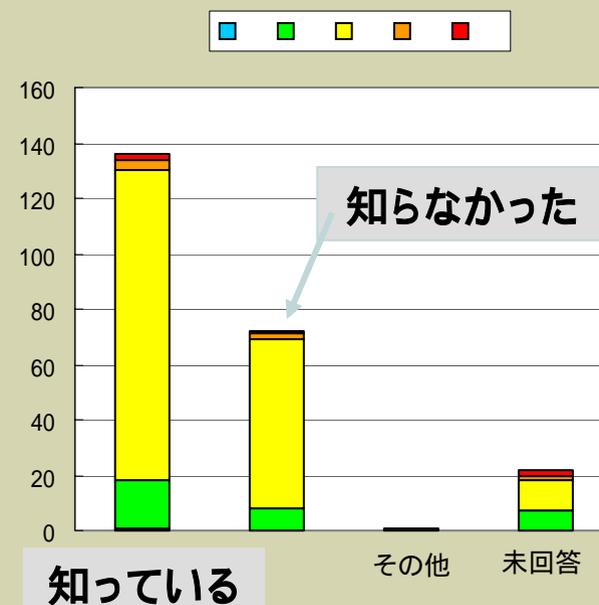
断熱工法



構造用合板の使用



構造用合板の結露可能性



第3章

充填断熱壁体隙間からの水平方向空気移流

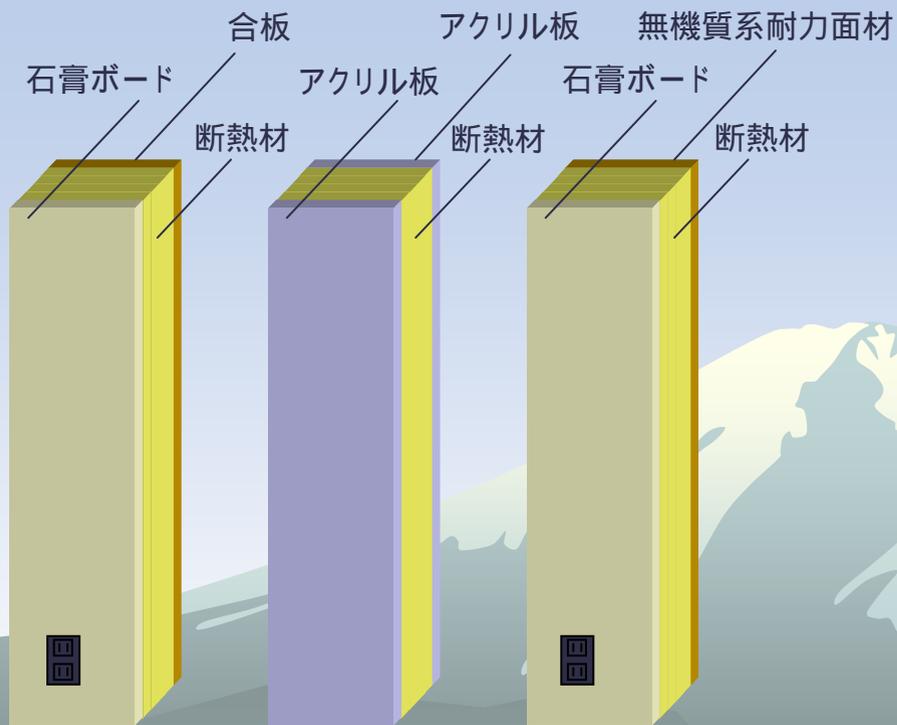
による壁体内の結露可能性に関する研究

目的; 充填断熱工法壁体模型による水蒸気移動の
実証実験

実験概要

試験結果

試験体概要



試験体 1

試験体 2

試験体 3



試験体外気側



試験体室内側

	室内側	内部	外気側
試験体 1	石膏ボード	10kg/m ³ 袋入りグラスウール	合板
試験体 2	アクリル版	10kg/m ³ 袋入りグラスウール	アクリル版
試験体 3	石膏ボード	10kg/m ³ 袋入りグラスウール	無機質系耐力面材

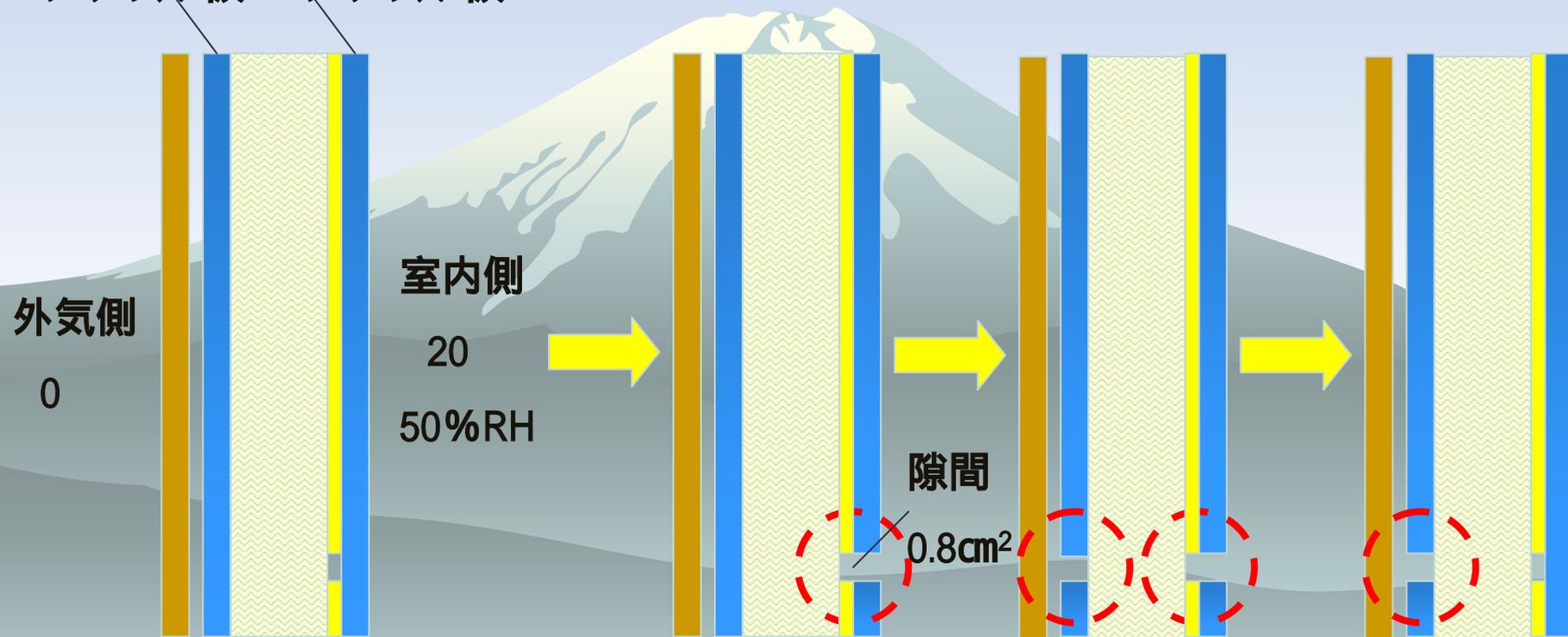
住宅内部の種々の隙間

(林基哉他 内部建材の化学物質放散が室内空気質に与える影響
日本建築学会環境系論文集 第573号 2003年11月 pp.63 ~ 69)

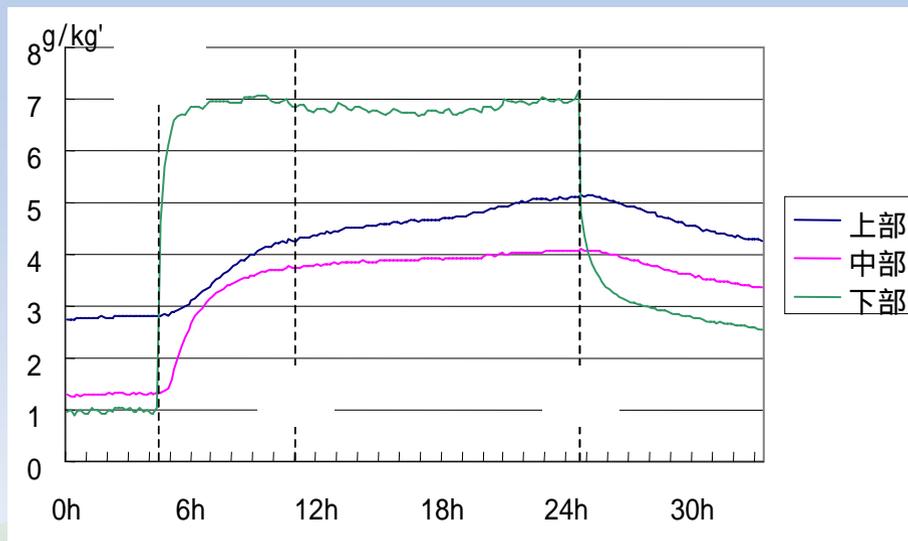


下部隙間 試験体2 アクリル板

外気側材料: アクリル板
室内側材料: アクリル板



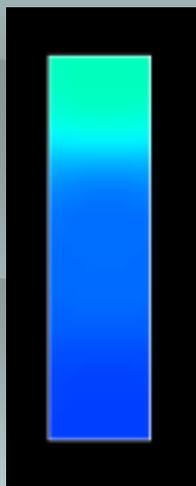
試験体2 下部隙間 試験結果



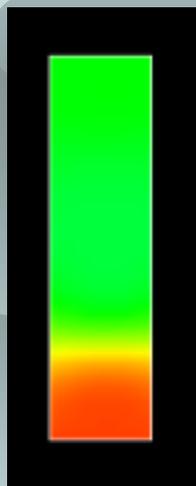
断熱材中央の湿度経時変化

7.5 g/kg'

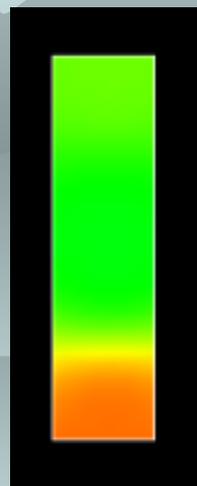
0.5 g/kg'



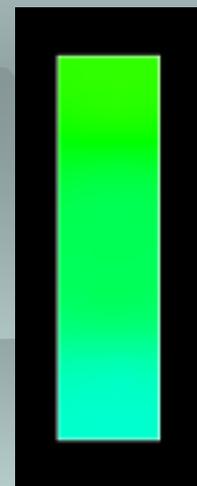
隙間開放前



下部室内側
隙間開放



下部外気側
隙間開放



下部室内側
隙間閉鎖

第4章

袋入断熱材充填工法の際間量の定量化に関する研究

目的;

測定法考案 理論的立証 隙間量の定量

測定法の考案 炭酸ガス拡散法

測定法の概要,原理

理論的立証

測定結果

測定装置



マルチガスモニター

CO₂ 供給ポンプ

マルチガスモニターによる測定

BOX2

BOX1

試験体

CO₂ の供給

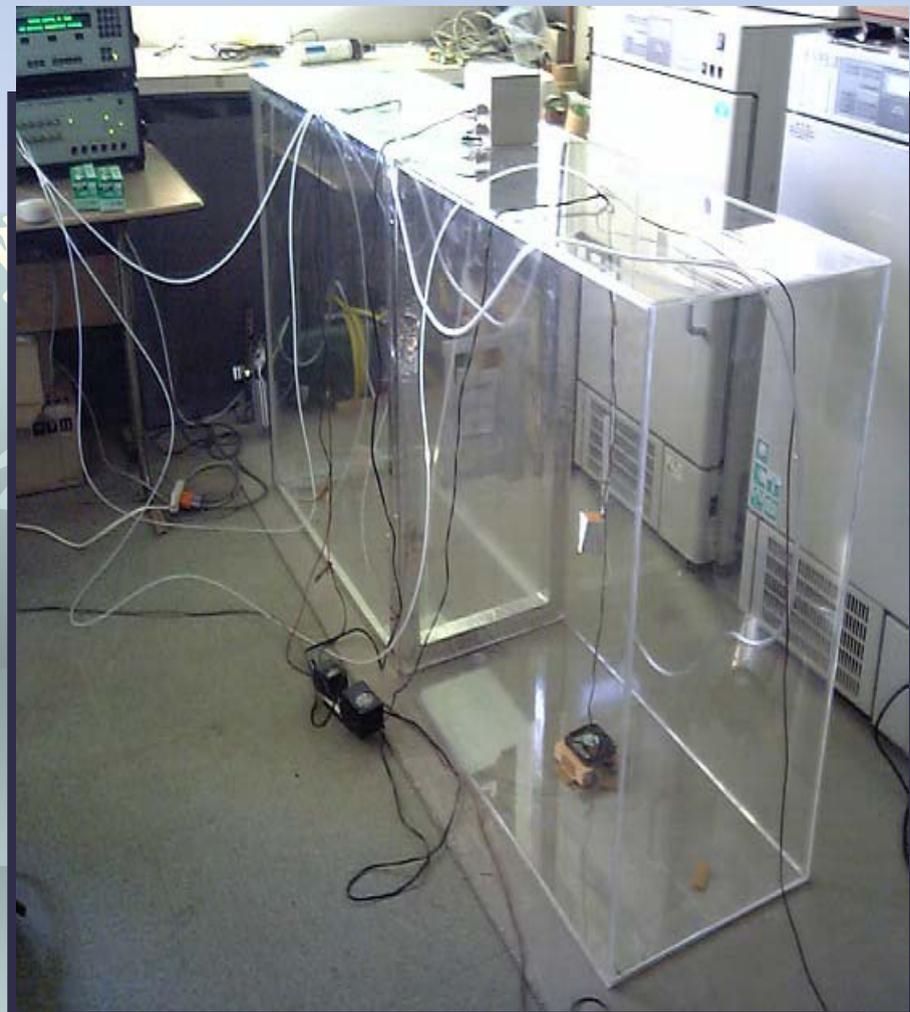
ガス攪拌用ファン

ガス攪拌用ファン

910

910

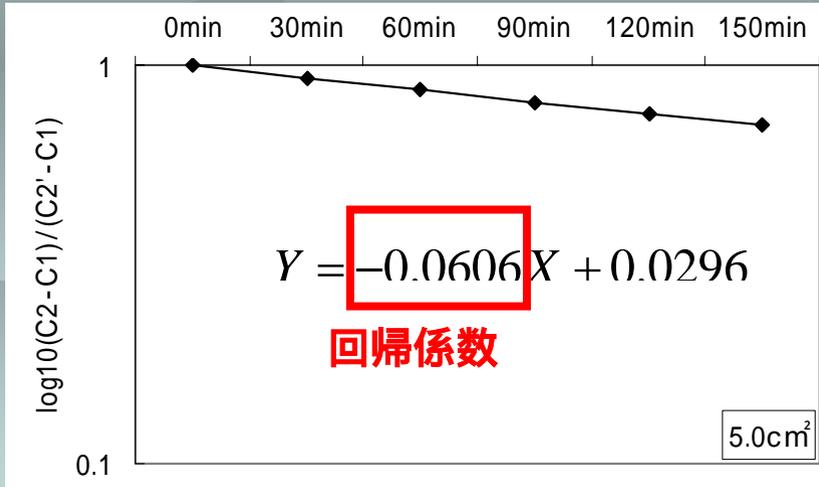
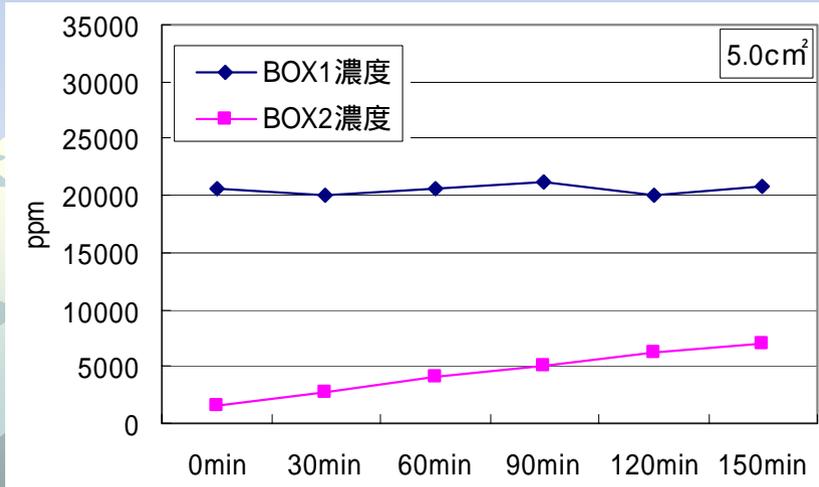
455



基礎実験 - 検量線の作成

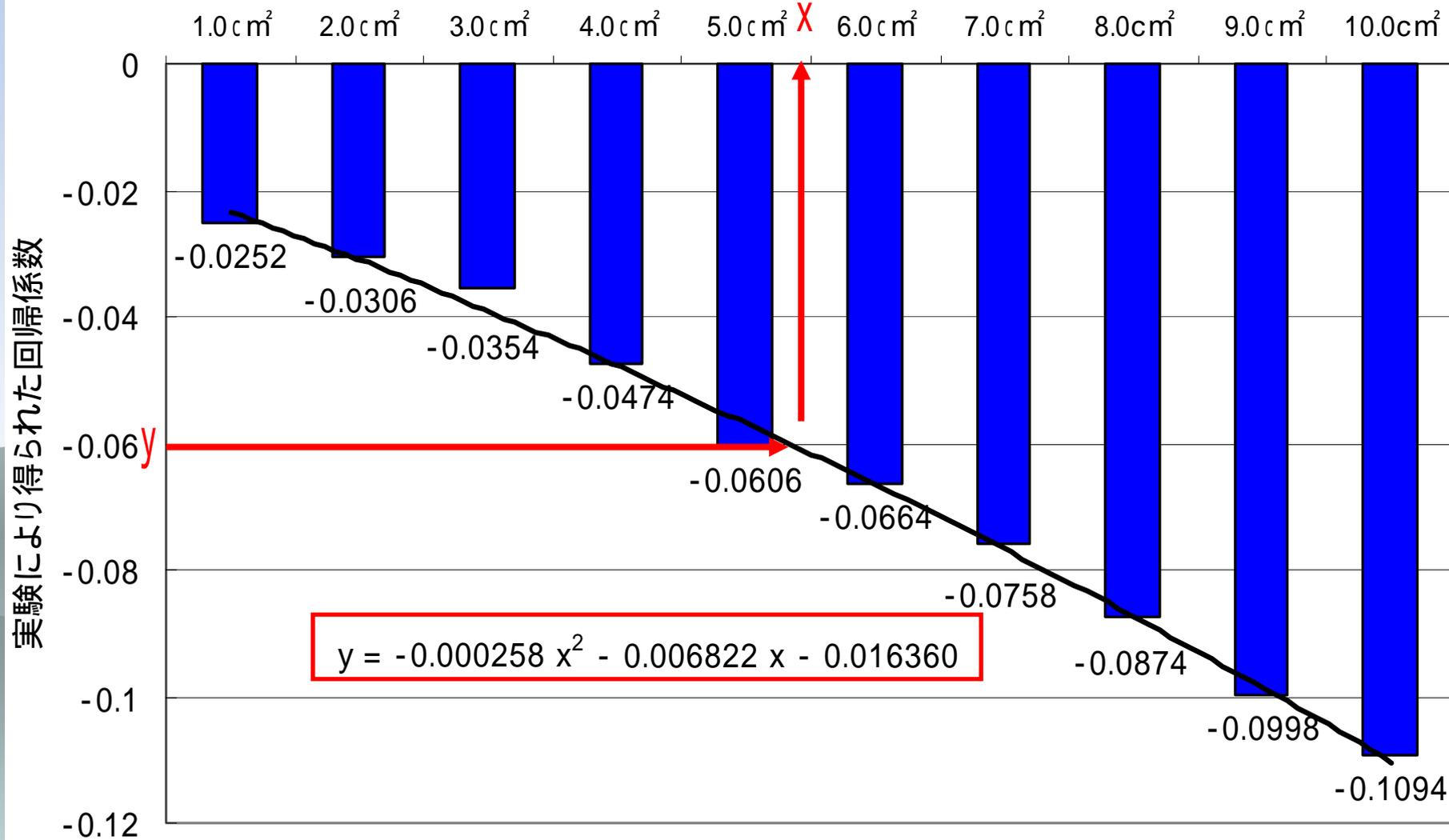
基礎実験として1cm²から10cm²まで1cm²毎の隙間をアクリル試験体に設置して、10通りの実験を行った。トレーサーガスの供給については、BOX1のCO₂濃度を20,000ppmでほぼ一定になるように制御した。

例: アクリル試験体隙間面積5cm²



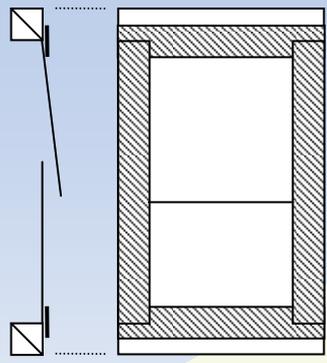
検量線

基礎実験における試験体の実開口面積

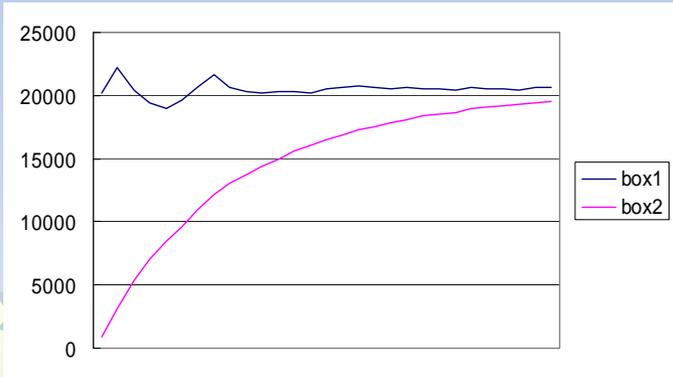


透湿防水シート

実験3 透湿防水シート(100mm重ね・たわみ大)



ppm

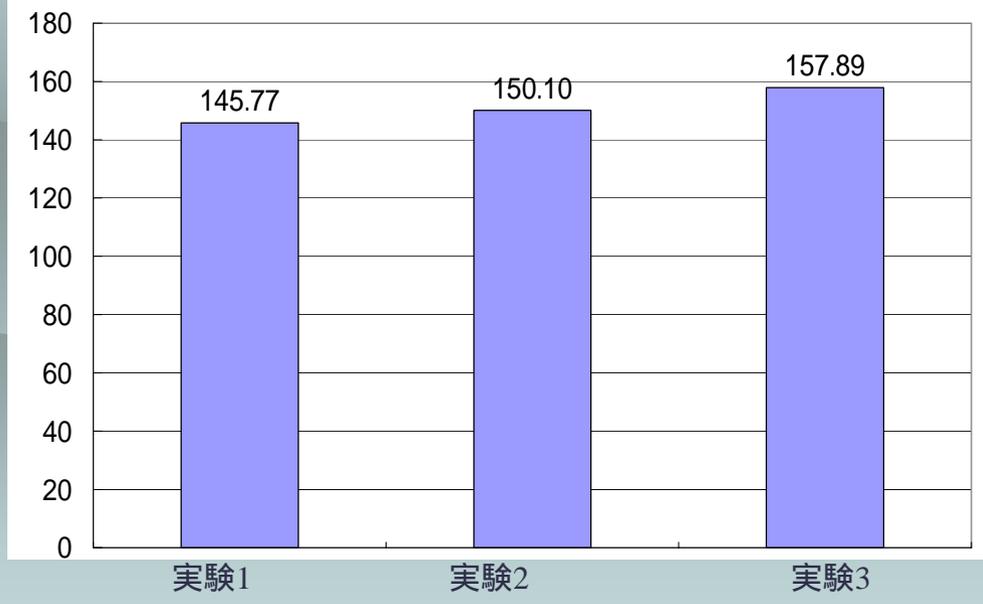


間柱部・テープ留め

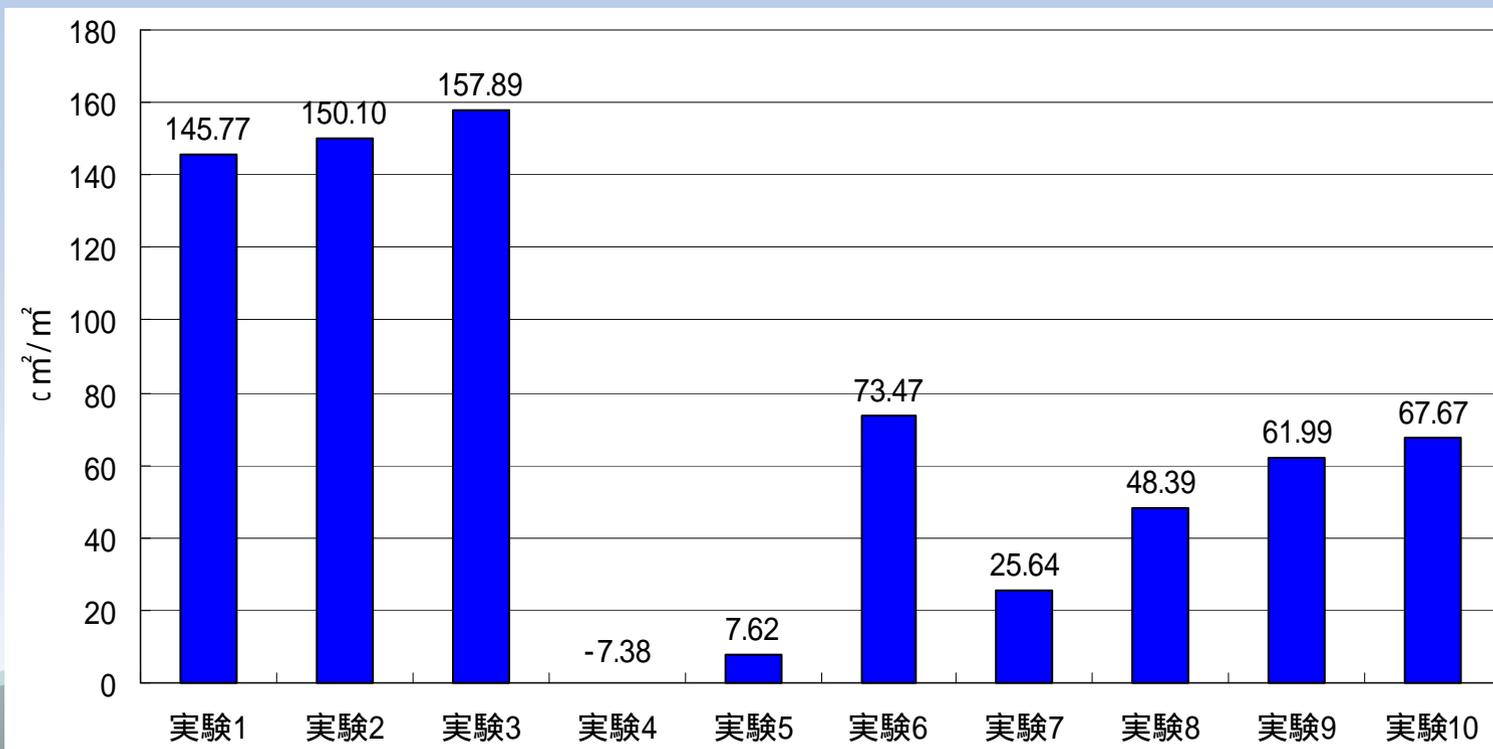
回帰係数 -1.506

隙間面積 157.89cm²/m²

cm²/m²

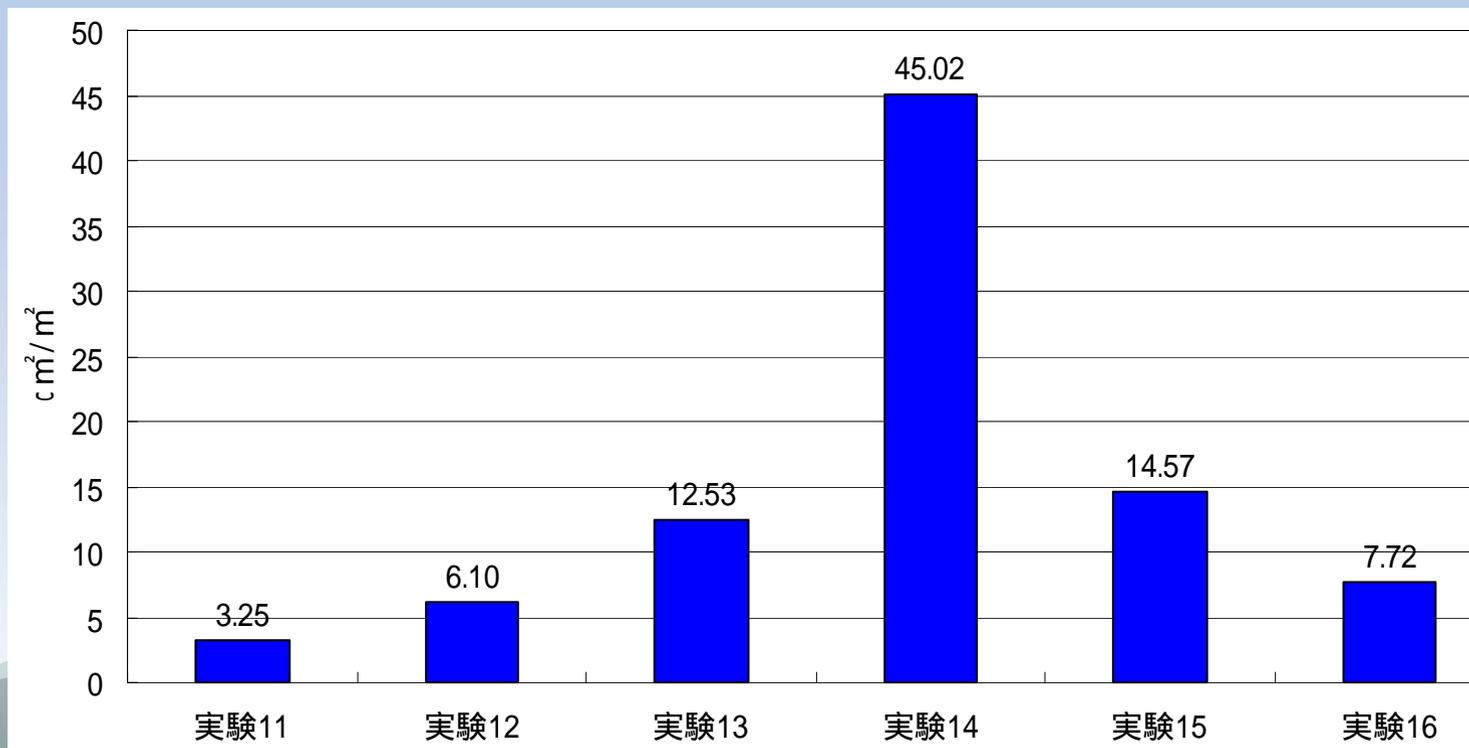


壁体構成材単独の隙間特性



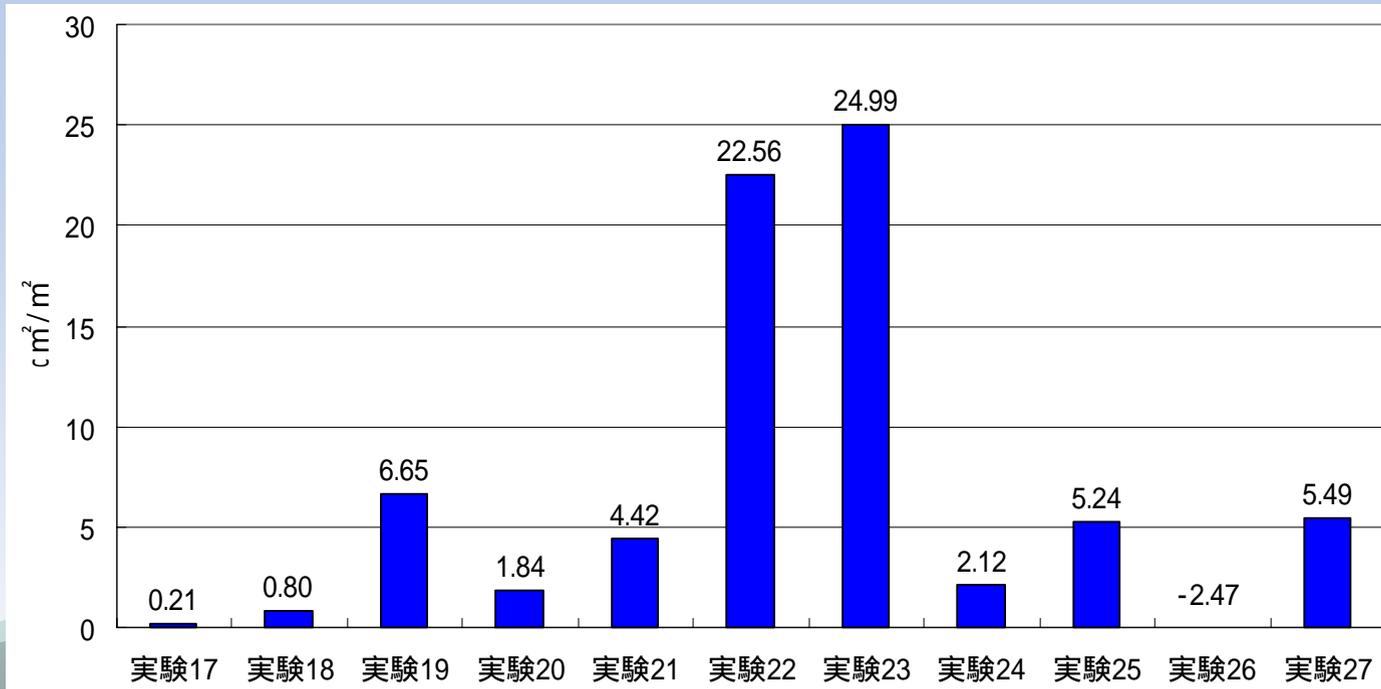
実験1	透湿防水シート	防湿層	隙間なし
実験2			重ねしろ100mm
実験3			隙間大の重ねしろ
実験4	袋袋入GW断熱材 構成材料別	防湿層	隙間なし
実験5			間柱部タッカー留め
実験6			間柱部タッカー留め、重ねしろ100mm
実験7			間柱部タッカー留め、重ねしろテープ
実験8			透湿層
実験9	ぷ石膏ボード		隙間なし
実験10			コンセントプレート付

袋入り断熱材の隙間特性



実験11	袋入り断熱材	筋筋違あり、 下下部に隙間	間柱部タッカー留め
実験12			間柱部タッカー留め、下部に隙間あり
実験13		防湿層切断せず	
実験14			防湿層切断、テープなし
実験15			防湿層切断部にテープ
実験16			防湿層切断部及び下部にテープ

建材の組み合わせによる隙間特性



実験17	袋入り断熱材 + 透湿防水シート		
実験18	間柱部タッカー留め		
実験19	間柱部タッカー留め、下部に隙間あり		
実験20	防湿層切断なし		
実験21	プ石膏ボード + 袋袋入GW断熱材	筋違 あり	防湿層切断なし、下部に隙間
実験22			防湿層切断
実験23			防湿層切断、下部に隙間
実験24			防湿層切断部にテープ
実験25			防湿層切断部にテープ、下部に隙間
実験26	プ石膏ボード + 壁紙	隙間なし	

第5章

充填断熱工法による壁体内結露の実験的検証及び対策工法に関する研究

目的：標準充填断熱工法及び、提案新工法の実証実験

充填断熱工法標準仕様

防風層

透湿防水シート

構造用合板

提案対策工法

標準充填断熱工法 実験2

防風層: 構造用合板

外気側材料:
構造用合板

室内側材料:
壁紙付PB

コンセント
ボックス

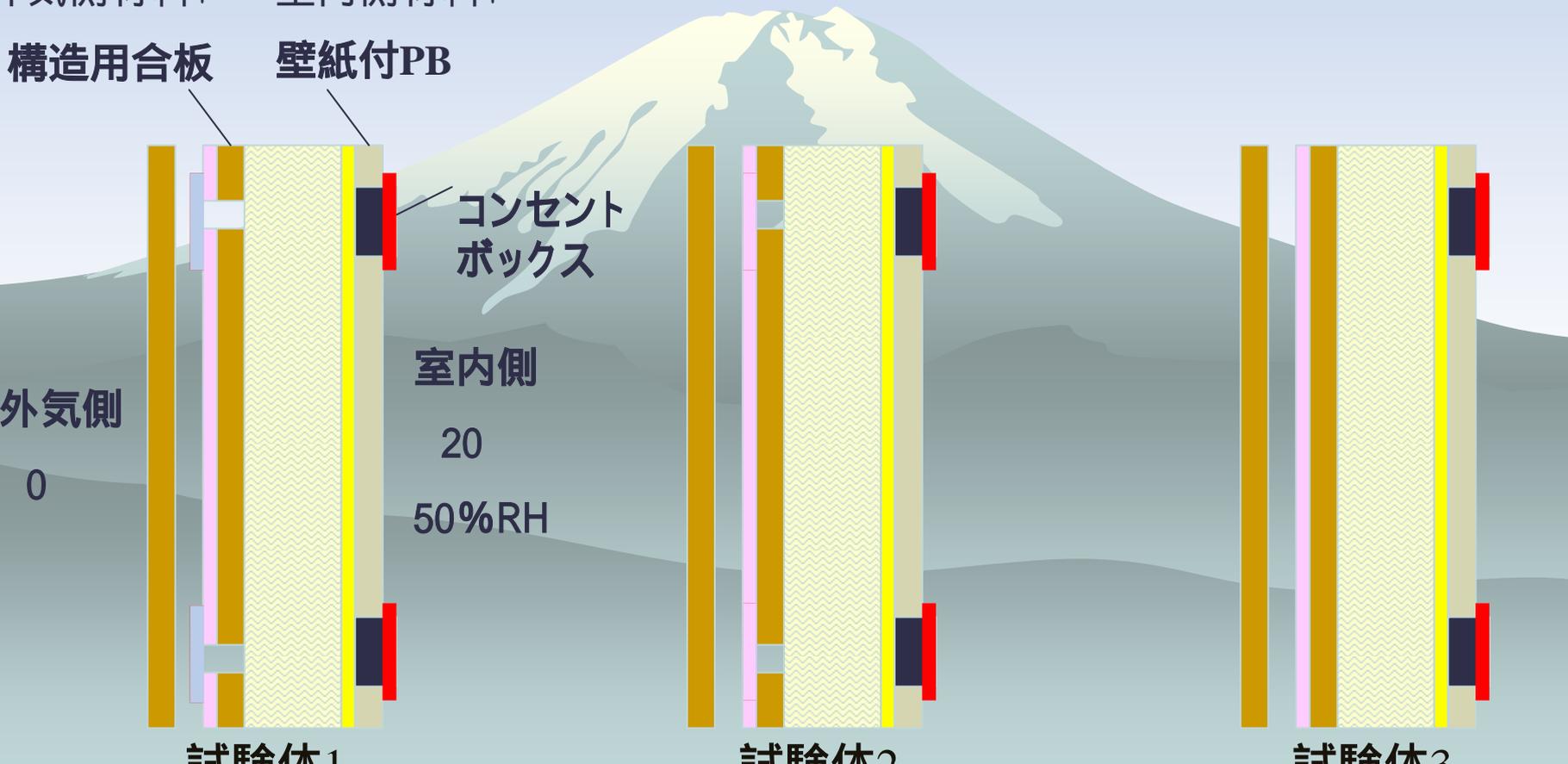
外気側
0

室内側
20
50%RH

試験体1

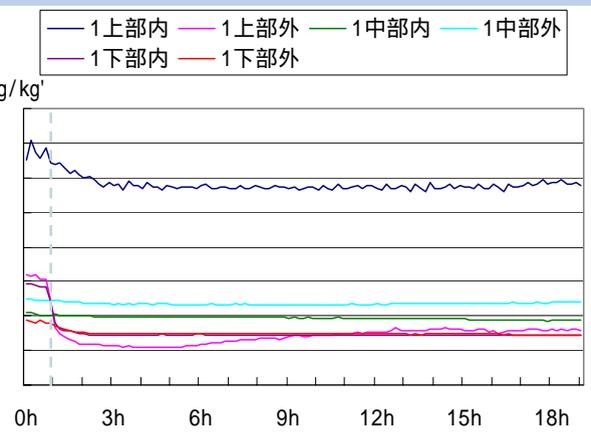
試験体2

試験体3

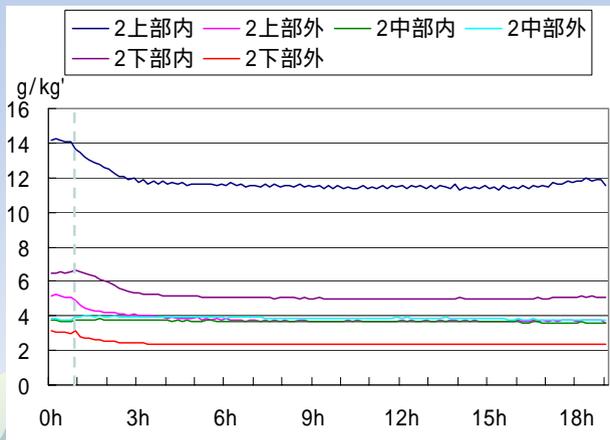


標準充填断熱工法 実験2 (防風層: 構造用合板)

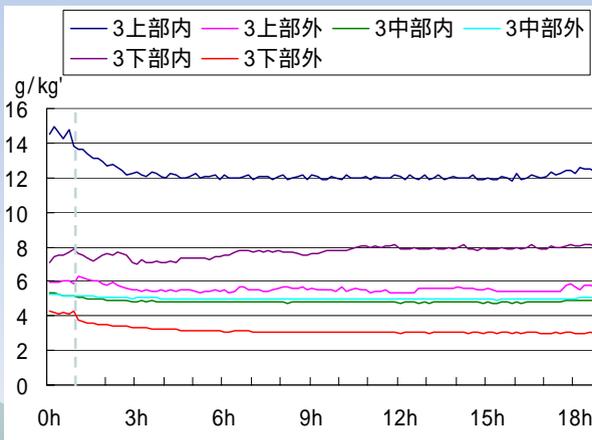
試験体1



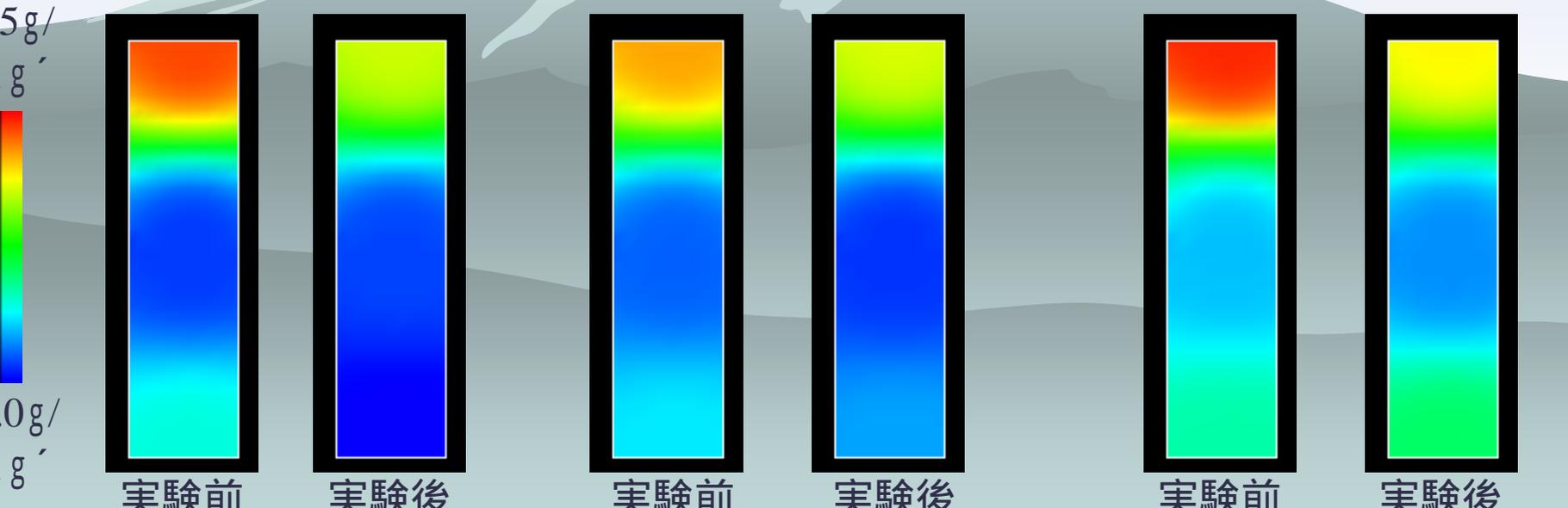
試験体2



試験体3



断熱材中央の湿度経時変化



実際の壁構成による実験2

実験三日後の試験体の結露状況



試験体3

合板穴なし

試験体2

穴あき合板 透湿防水
シートで穴をふさぐ

試験体1

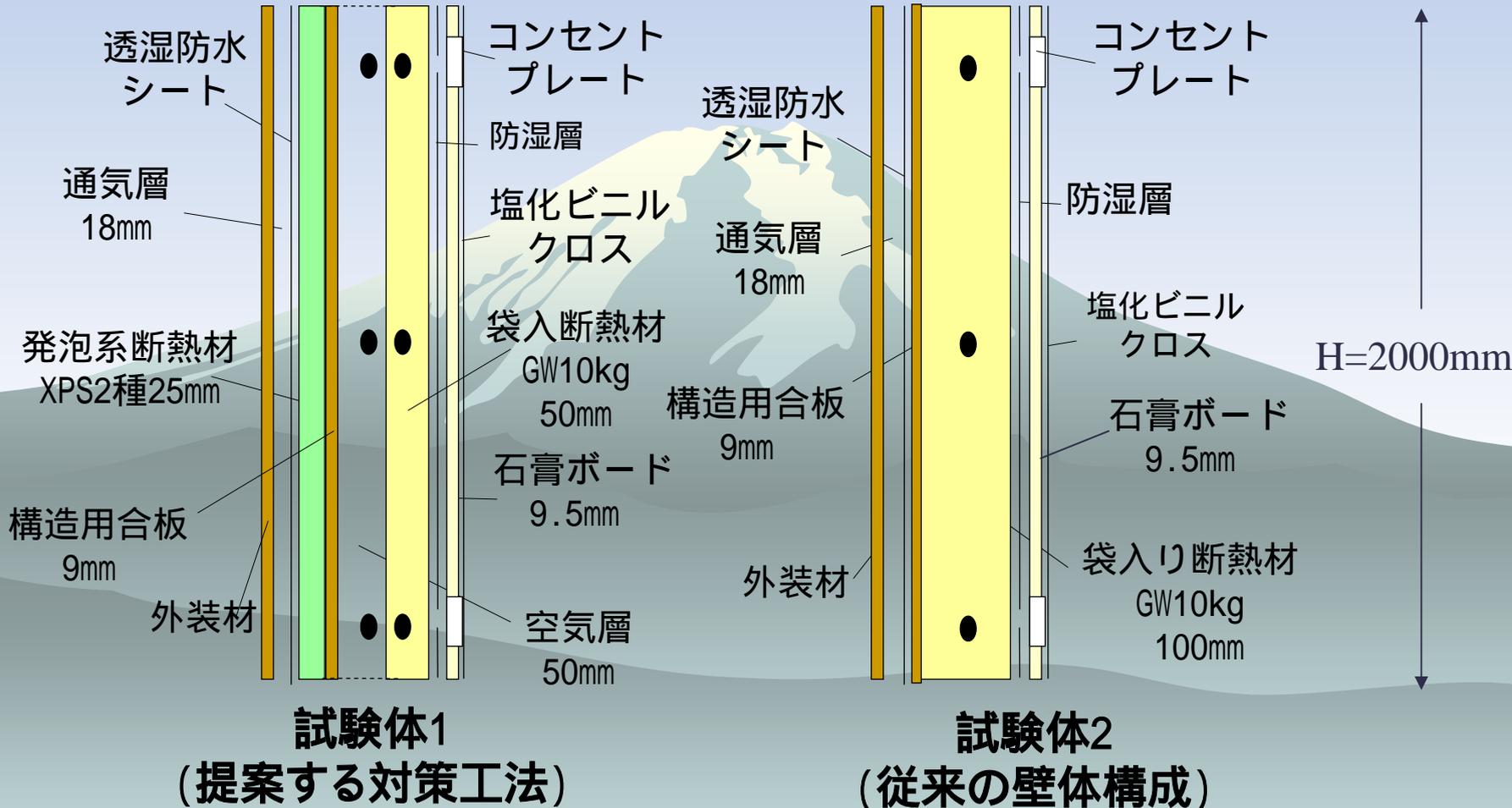
穴あき合板 透湿防水
シートで穴をふさがない

外内両断熱工法

提案新工法

壁体外側 断熱材 + 構造用合板
// 内 空気層 + 充填断熱材

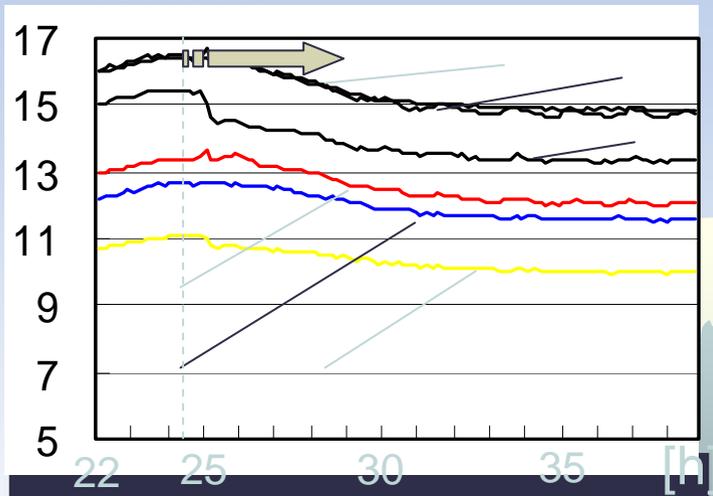
試験体の構成



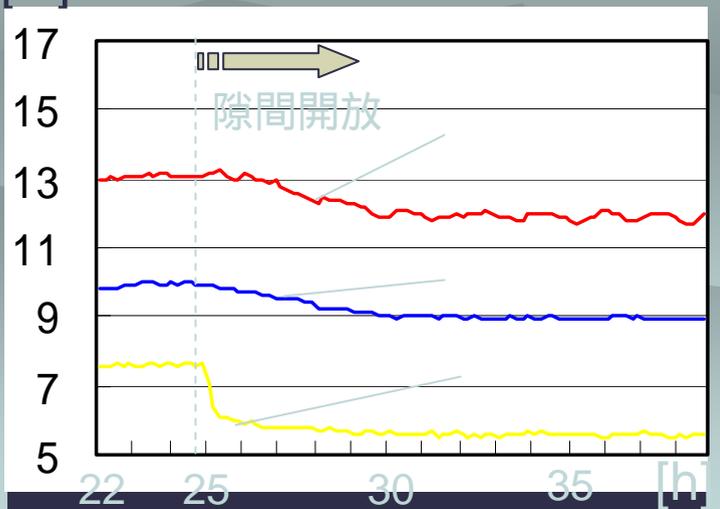
壁体内温湿度比較-温度

試験体1(両断熱)

[] 隙間開放

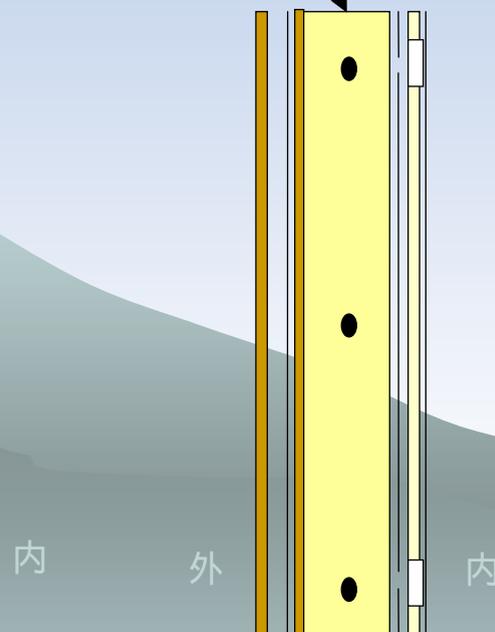
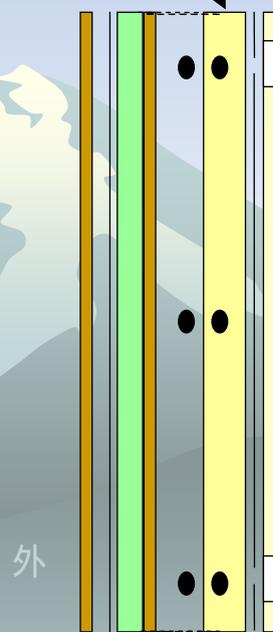


試験体2(充填断熱)



袋入断熱材
GW10kg
50mm

袋入断熱材
GW10kg
100mm



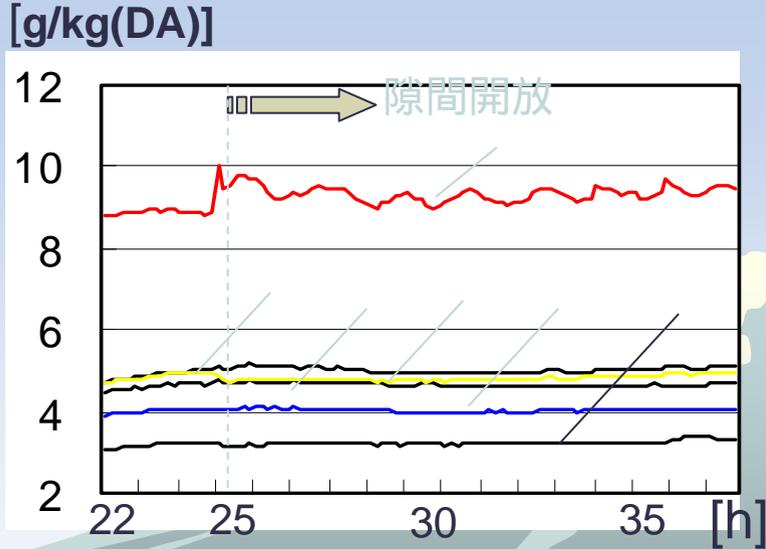
$K = 0.35 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$ $K = 0.24 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$

試験体1
(提案する対策工法)

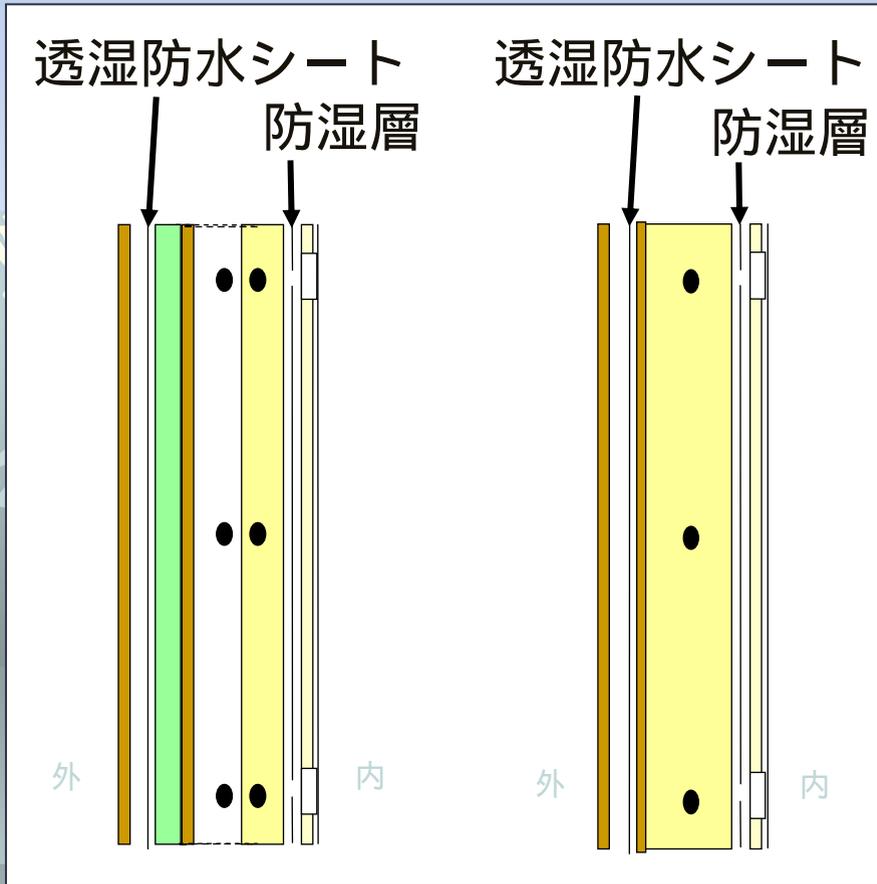
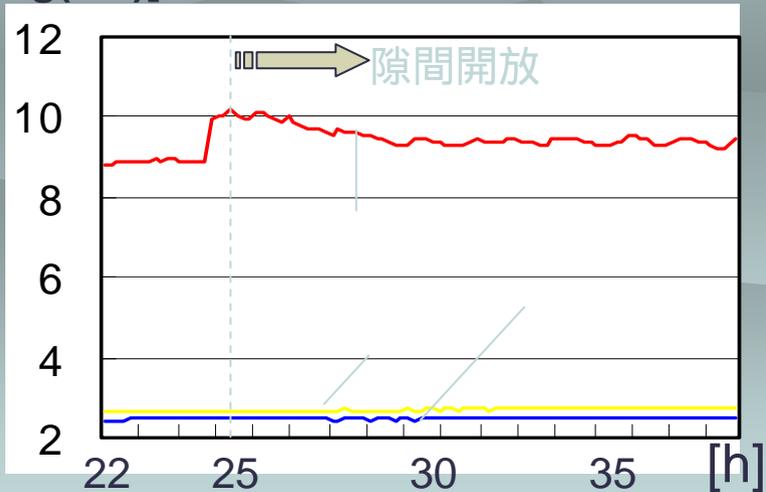
試験体2
(従来の壁体構成)

壁体内温湿度の比較- 湿度

試験体1(両断熱)



試験体2(充填断熱)



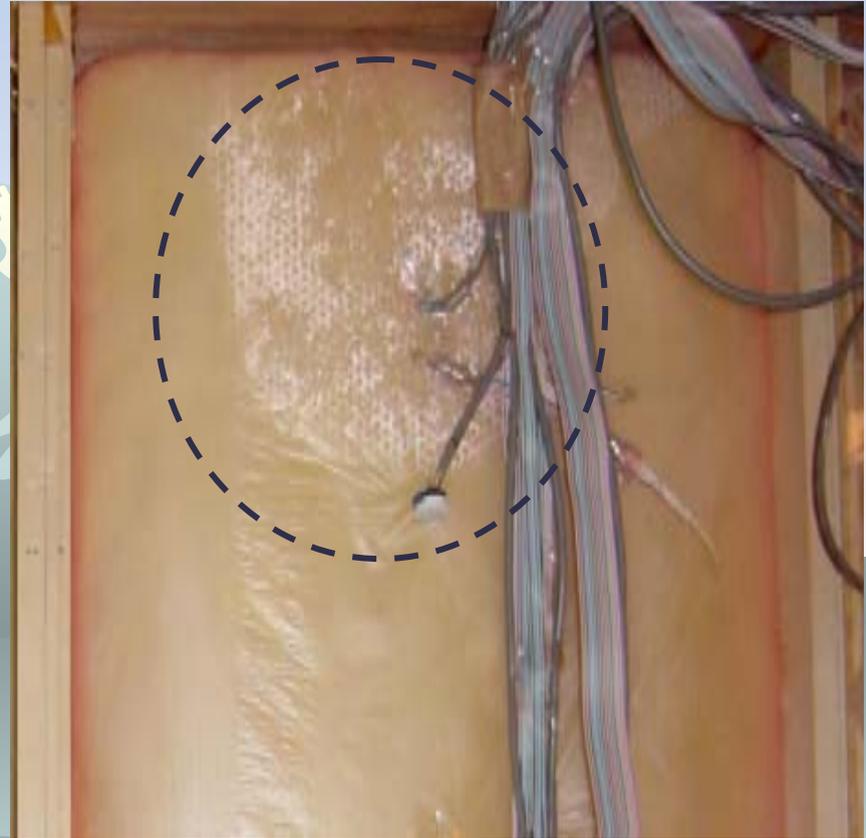
試験体1
(外内両断熱工法)

試験体2
(従来工法)

結露狀況 外側・上部



試験体1 (両断熱)



試験体2 (充填断熱)

まとめ

1. 実態 袋入充填断熱工法採用60%、粗雑な施工
2. 微小な隙間(コンセント) 「移流」 通気層 壁体内
3. 微小隙間測定
 - (1) 炭酸ガス拡散法
 - (2) マニュアル通り「丁寧な施工」 隙間
4. 現行標準袋入充填断熱工法
透湿防水シート 結露発生ナシ
// 壁体内温度低下
構造用合板 結露発生
5. 内外両断熱工法(提案工法) 結露発生ナシ

残された今後の課題

- ・エンドユーザ、住宅ビルダ 啓蒙・指導
- ・温暖地における袋入りGW充填工法の改良
- ・仕様書の改訂 施工マニュアルの整備
- ・性能値の定量化
- ・顧客への品質(性能)保証
- ・地方別省エネ住宅仕様の検討

研究後記

- ・先入觀念
- ・動機
- ・QC & QA



壁体孔からの水平方向移流の影響

充填断熱標準仕様 防風層: 構造用合板

外気側材料:

構造用合板

室内側材料:

壁紙付石膏ボード

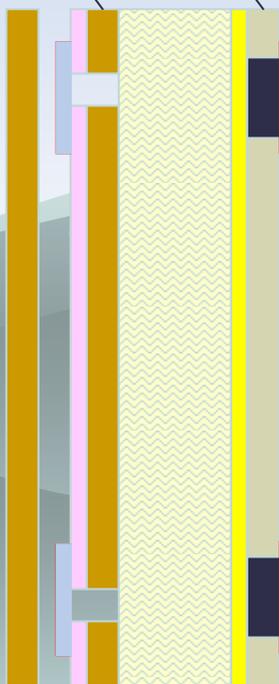
コンセント
ボックス

室内側

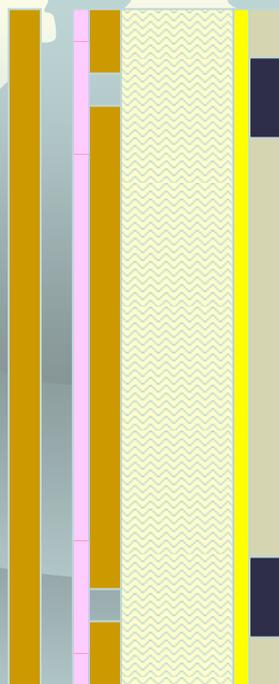
20℃, 50%

外気側

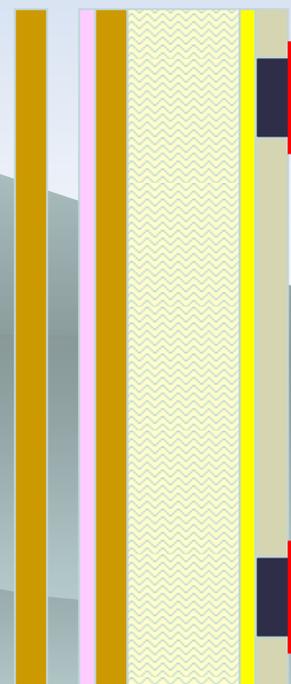
0℃



試験体1



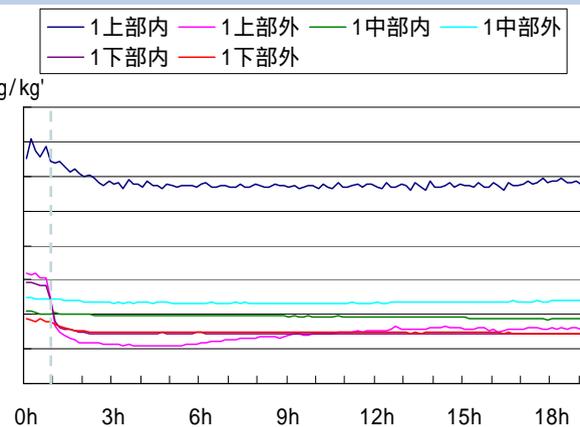
試験体2



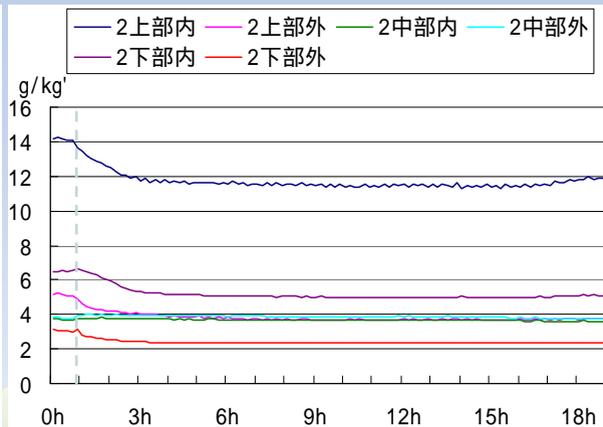
試験体3

防風層に構造用合板を使用した充填断熱標準仕様

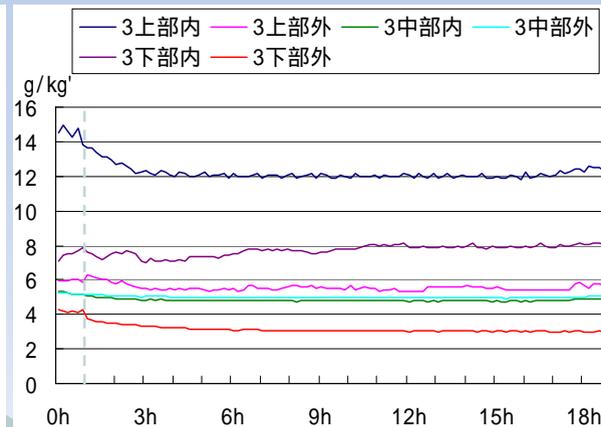
試験体1



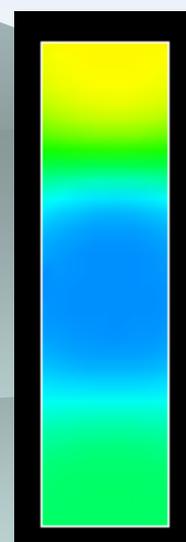
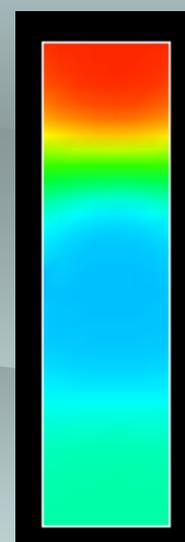
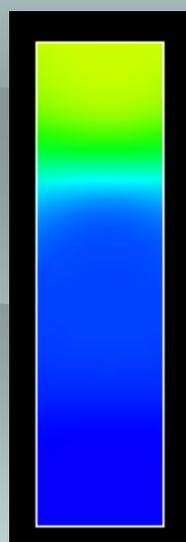
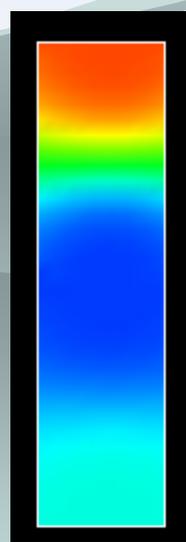
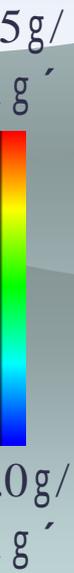
試験体2



試験体3



断熱材中央の絶対湿度経時変化



実験前

実験後

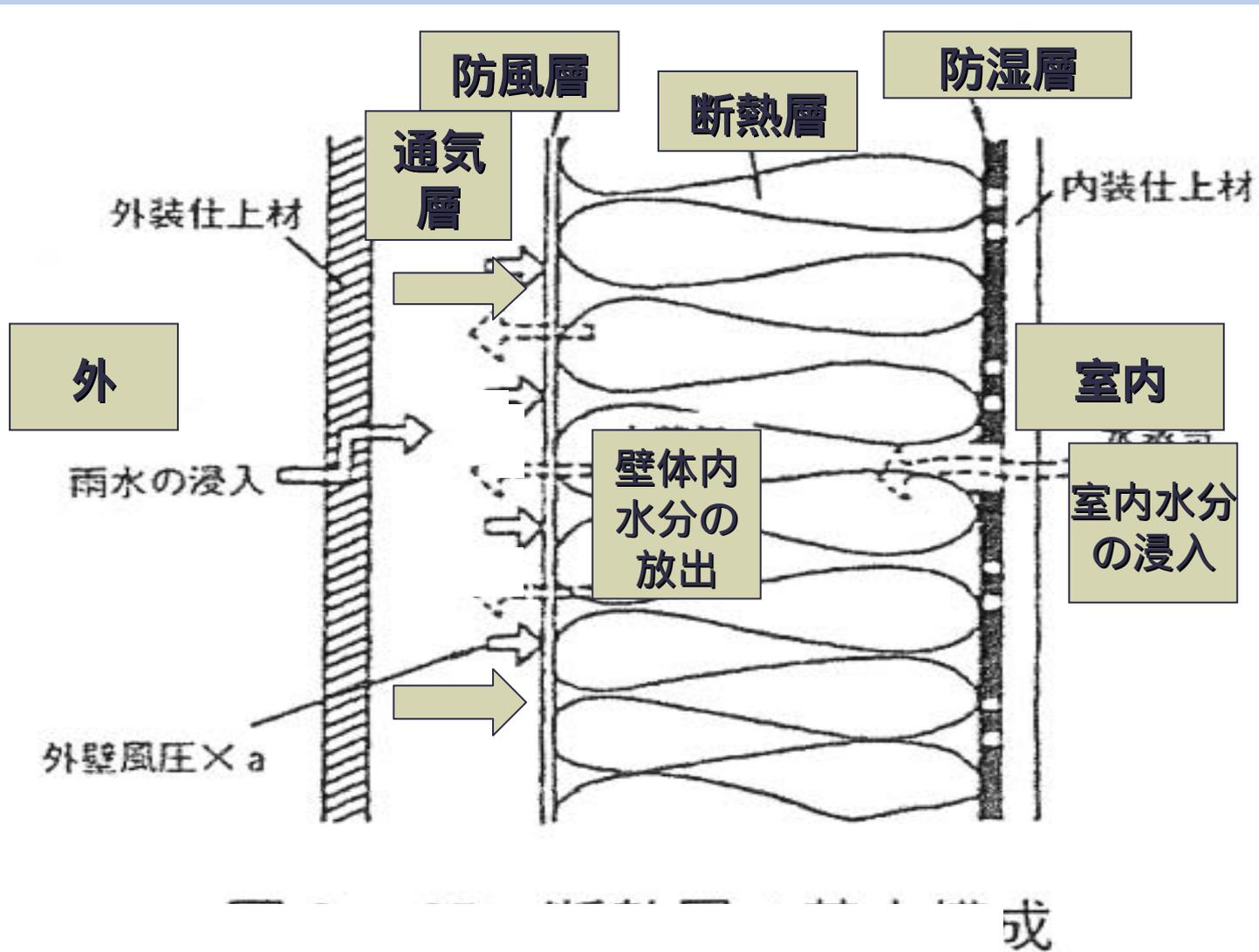
実験前

実験後

実験前

実験後

断熱層の基本概念



QCとQA

昔 JIS QC (Quality Control=品質管理)

今 ISO = JIS QA (Quality Assurance=性能保証)

工務店は住宅の性能保証が求められる

気密性能

断熱性能 ?

