

平成31年度 建築基準整備促進事業報告会

## **E13 非住宅建築物における室内の温熱環境を踏まえた 空調エネルギー消費量評価手法に関する検討**

事業主体 (株) 日建設計総合研究所  
(株) OCAEL

# 報告内容

1.調査概要

2. (イ) 外皮の熱性能及び空調方式の実態把握

3. (ロ) 外皮の熱性能及び空調方式による  
室内の上下温度分布等の解析

4.まとめ

# 1. 調査概要

- 1.1 調査目的
- 1.2 調査概要
- 1.3 調査のフロー
- 1.4 調査体制

# 1.1 調査目的

## ■背景

建築物省エネ法における非住宅建築物の空調エネルギー消費量計算では、室内空間の温熱環境を1点の温湿度で代表させて空調負荷の計算を行っており、外皮等の表面温度による放射や室内の上下温度分布等の温熱環境の影響が考慮されていない。

設計者は、オフィス等における快適な室内空間の実現とともに空調エネルギー消費量を削減するための工夫として、外皮性能を確保することに加えて、室内の上下温度分布等を加味した空調方式を選定しており、その効果を踏まえた空調エネルギー消費量を適切に評価する必要がある。

## ■目的

本調査では、外皮（壁、屋根、床、窓）の熱性能及び空調方式が室内の上下温度分布等の温熱環境に及ぼす影響を踏まえた空調エネルギー消費量の評価手法を開発することを目的とする。

## 1.2 調査概要

### (イ) 外皮の熱性能及び空調方式の実態把握

- ✓ 解析に使用するパラメーター（外皮の熱性能、空調方式）について、設計図書の調査、設備設計者へのヒアリングを実施し、設計時の計算条件等から、外皮の熱性能、空調方式の情報を、建物種別ごとに整理する。
- ✓ ヒアリング先は、設計事務所、ゼネコン等の3社以上に調査を実施する。
- ✓ ヒアリング結果から、数値流体解析を行うパラメータを、建物種別ごとに整理する。

### (ロ) 外皮の熱性能及び空調方式による室内の上下温度分布等の解析

- ✓ 外皮の熱性能及び空調方式の違いによる暖房時及び冷房時における室内の上下温度分布等を数値流体解析によって把握する。
- ✓ 解析結果をもとに、外皮の熱性能と空調方式が室内の上下温度分布等の温熱環境に及ぼす影響を整理する。
- ✓ 更に、温熱環境の影響を踏まえた空調エネルギー消費量の評価手法を開発する。
- ✓ 大学等の外部有識者を交えた検討委員会を開催し、調査内容の妥当性の確認を得ながら、調査を進める。

## 1.3 調査のフロー

### (イ) 外皮の熱性能及び空調方式の実態把握

#### ①ヒアリング内容、ヒアリング先検討

- ・外皮の熱性能、空調方式のヒアリング内容及びヒアリング先の検討

#### ②設計図書調査

- ・設計図面から建物種別の外皮の熱性能、空調方式の情報収集

#### ③設備設計者へのヒアリング

- ・ヒアリングにて建物種別の外皮の熱性能、空調方式の情報収集

#### ④解析に使用するパラメータ整理

- ・建物種別にパラメータ（外皮の熱性能、空調方式）を整理

### (ロ) 外皮の熱性能及び空調方式による室内の上下温度分布等の解析

#### ⑤計算パラメータの想定

- ・計算を実施する解析用パラメータの想定

#### ⑥室内温度分布のCFD計算

- ・整理した解析用パラメータでの室内温度気流分布のCFD計算実施

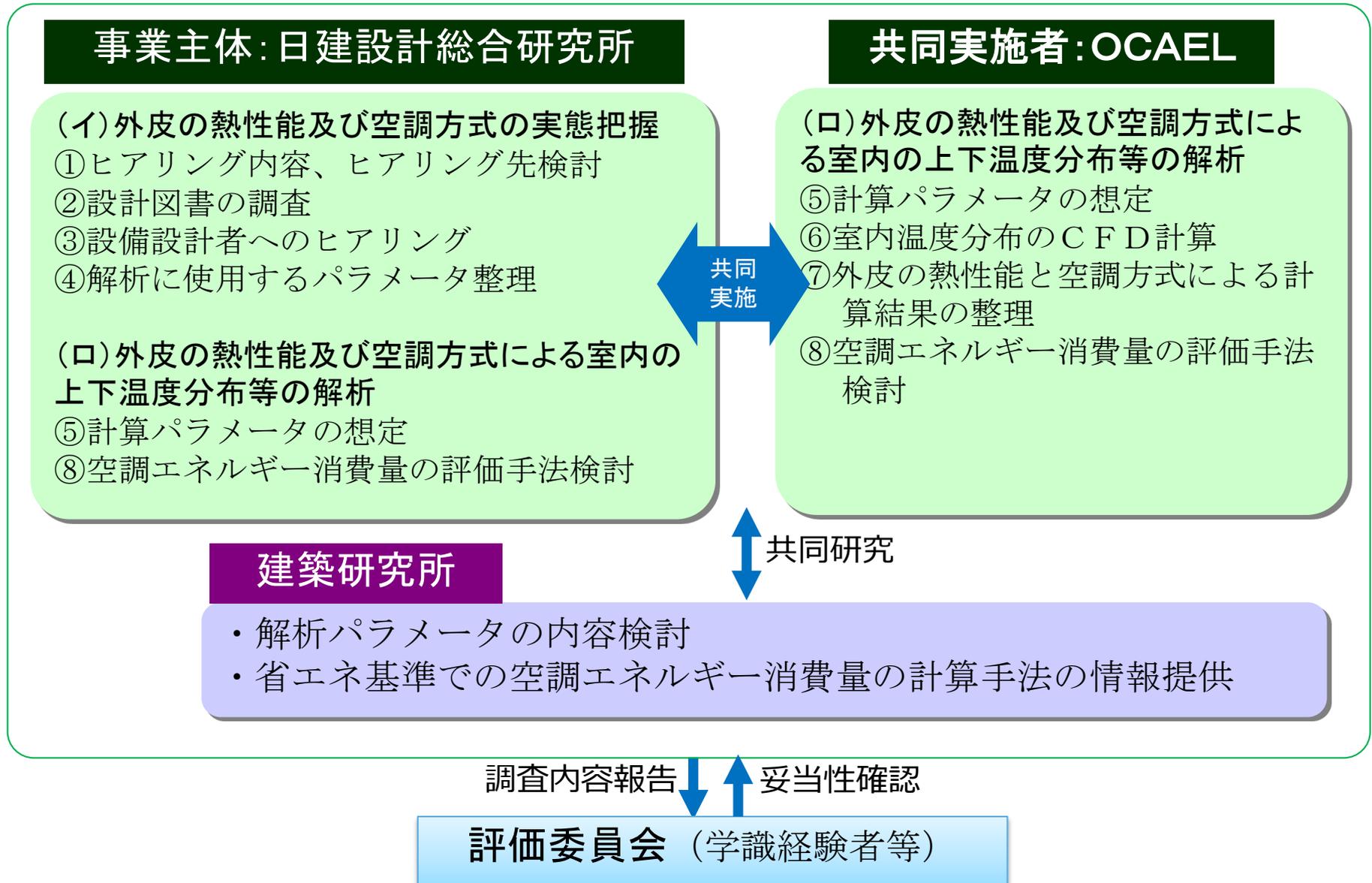
#### ⑦外皮の熱性能と空調方式による計算結果の整理

- ・上下温度分布の状況と外皮の熱性能、空調方式の関係を整理

#### ⑧空調エネルギー消費量の評価手法検討

- ・上下温度分布緩和に要するエネルギー消費量などを指標とした評価手法検討

# 1.4 調査実施体制



## (イ) 外皮の熱性能及び空調方式の実態把握

- ① ヒアリング内容、ヒアリング先検討
- ② 設計図書調査
- ③ 設計者へのヒアリング
- ④ 解析に使用するパラメータ整理

# ①ヒアリング内容、ヒアリング先検討

ヒアリングや図面調査で収集する情報を整理、ヒアリング先を決定

## 【外皮の熱性能の収集情報】

- ・ 躯体の断面構成、躯体の熱貫流率、
- ・ 窓の種類、熱貫流率、日射熱取得率

## 【空調方式の収集情報】

- ・ 中央式・個別式の別
- ・ 対流・放射の別
- ・ 吹出口の配置、ペリメータ用FCUの有無
- ・ 吹出風量、吹出温度

## 【ヒアリング先】

- ・ 設計事務所：総合設計事務所 2 社
- ・ ゼネコン：大手ゼネコン 5 社

## ② 設計図書の調査

- ✓ 設計図書である省エネ計算書や断面図、矩計図などより、外皮の断面構成や熱貫流率の情報を収集
- ✓ 設備図面（機器表、系統図、ダクト平面図など）より空調方式の情報を収集
- ✓ 収集した情報を建物種別に整理

### 【建物種別の分類】

- ・ 地域（寒冷地、温暖地）
- ・ 建物用途（事務所、ホテル、学校）
- ・ 建物規模（大規模、中小規模）

### 外皮計算の省エネ計算書の例

部位記号	部位詳細図	構成材種類	構成材厚さ (mm)	構成材熱伝導率 (W/(m・K))	構成材熱抵抗値 (m <sup>2</sup> ・K/W)	熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ・K))	吸収率 (ε)	日射侵入率 (γ)				
SHT1 タイル(壁)	外 内	外表面	-	-	-	0.0435	0.728	0.8	0.023			
		タイル	20	1.3000	0.0154							
		普通コンクリート	200	1.4000	0.1429							
		吹付種質ウレタンフォーム	25	0.0290	0.8621							
		非密閉中空層	0	-	0.0700							
		石膏板、ラスボード	22	0.1700	0.1294							
		内表面	-	-	0.1111							
SHT2 RC(壁)	外 内	外表面	-	-	-	0.0435	0.744	0.8	0.024			
		普通コンクリート	180	1.4000	0.1286							
		吹付種質ウレタンフォーム	25	0.0290	0.8621							
		非密閉中空層	0	-	0.0700							
		石膏板、ラスボード	22	0.1700	0.1294							
		内表面	-	-	0.1111							
SHT3 RC2(壁)	外 内	外表面	-	-	-	0.0435	0.666	0.8	0.021			
		普通コンクリート	400	1.4000	0.2857							
		吹付種質ウレタンフォーム	25	0.0290	0.8621							
		非密閉中空層	0	-	0.0700							
		石膏板、ラスボード	22	0.1700	0.1294							
		内表面	-	-	0.1111							

### ③ 設備設計者へのヒアリング

- ✓ ヒアリング先各社の設計者に対して、各建物用途別に、代表的な外皮の熱性能、空調方式をヒアリング
- ✓ 図面調査で得た様々な外皮仕様や空調方式を参考に、建物用途、規模別に一般的な外皮仕様や空調方式をヒアリング

#### ヒアリング結果の例（建物概要、外皮仕様）

	事務所O-1	事務所O-2	ホテルH-1	ホテルH-2	学校S-1	学校S-2	
概要	延べ面積[m]	7,687	357,706	46,511	40,763	7,419	8,090
	竣工年	2016	2020	2018	2019	2019	2018
	所在地	東京都中央区	東京都千代田区	兵庫県芦屋市	沖縄県恩納村	東京都世田谷区	岐阜県瑞浪市
	気候区分(1~8)	温暖地(6地域)	温暖地(6地域)	温暖地	温暖地	温暖地	温暖地
	対象室用途	事務室	事務室	客室	客室	教室	教室
	対象室面積[m]	239	3730		50	72	72
	対象室サイズ(W[mm]×D[mm])						
	BPI						
	BEI						
	または PAL または ERR						
観点	物件抽出の観点	温暖地/標準仕様/個別式空調	温暖地/標準仕様/中央式空調	温暖地/標準仕様/中央式空調	温暖地/標準仕様/中央式空調	温暖地/標準仕様/個別式空調	温暖地/省エネ仕様/個別式空調
躯体(外壁)	断面構成	室内 石膏ボード 13mm 石膏ボード 9mm 非密閉中空層 吹付硬質ウレタン 30mm アスロック押出成形セメント 75mm 室外	室内 吹付RW 30mm けいカル板 20mm 密閉中空層 ガラス 10mm 室外	室内 石膏ボード 9.5mm 石膏ボード 9.5mm 非密閉中空層 押出法ポリスチレンフォーム断 熱材 45mm RC屋根スラブ 室外		室内 ヒノキ合板 12mm 石膏ボード 12.5mm 石膏ボード 12.5mm 非密閉中空層 吹付硬質ウレタン 25mm 鉄筋コンクリート壁 180mm 室外	
	熱貫流率 [W/m <sup>2</sup> ・K]	0.67	1.12	屋根: 0.52		0.88	
躯体(屋根)	断面構成						
	熱貫流率 [W/m <sup>2</sup> ・K]						
躯体(床)	断面構成						
	熱貫流率 [W/m <sup>2</sup> ・K]						
窓	種類	Low-E 高断熱	Low-E 遮熱型	Low-E	単板フロート		Low-E 高断熱
	熱貫流率	1.70	1.5		5.62		2.17
	日射熱取得率 η	0.37	0.32		0.383		0.38
	窓面積率						

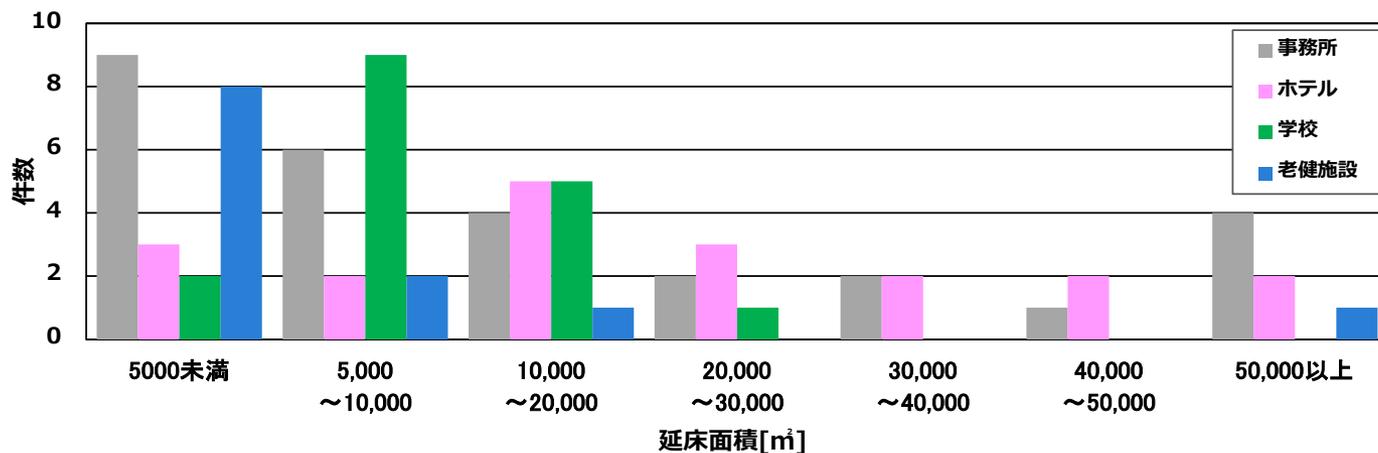
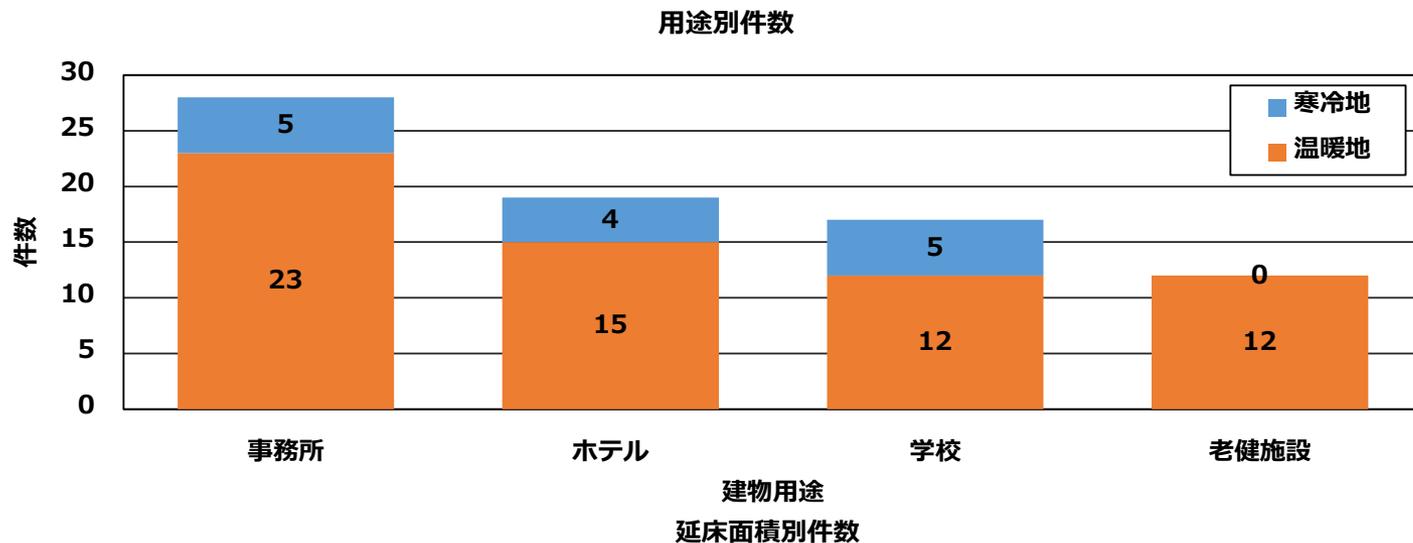
### ③ 設備設計者へのヒアリング

#### ヒアリング結果の例（空調設備仕様）

	事務所:O-1	事務所:O-2	ホテル:H-1	ホテル:H-2	学校:S-1	学校:S-2	
空調	熱源方式 (中央式/個別式)	個別式	中央式	中央式	中央式(FCU) 個別式(PAC・将来分譲対応の可能性がある客室)	個別式	個別式
	熱源種別 (機器名)	空冷マルチパッケージ型空調機			空冷パッケージ型空調機	空冷パッケージ型空調機	
	空調方式 (対流式/放射式)	対流式	対流式	対流式	対流式	対流式	
	ペリメータ専用空調機の有無	無し	有り	無し	無し	無し	
	吹出口種類 (インテリア)	アネモ	アネモ	BL	VHS・壁吹	ライン型 (天井カセット)	壁掛型
	吹出口種類 (ペリメータ)	-	ブリーズ	BL	-	-	
	吹出口1か所あたりの 空調面積 (インテリア) *天井カセットの場合は、1台あたり吹出口1か所とカウントする 吹出口1か所あたりの	26m <sup>2</sup>	26m <sup>2</sup>	20-40m <sup>2</sup> 程度	30m <sup>2</sup> (リビングのみ)	36m <sup>2</sup>	36m <sup>2</sup>
	空調面積 (ペリメータ)	-	3.6m	20-40m <sup>2</sup> 程度	-	-	
	吹出口の風量 (インテリア・代表)	220~385 CMH	280~303 CMH	客室は原則ペリメータでの吹出し	1320CMH(急運転時)	1800CMH	1500CMH (強運転)
	吹出口の風量 (ペリメータ・代表)	-	375~406 CMH	400CMH/m程度 (BL-4)	-	-	
	吹出温度	要確認	14~15℃	13℃程度 (隠蔽FCU)	要確認		

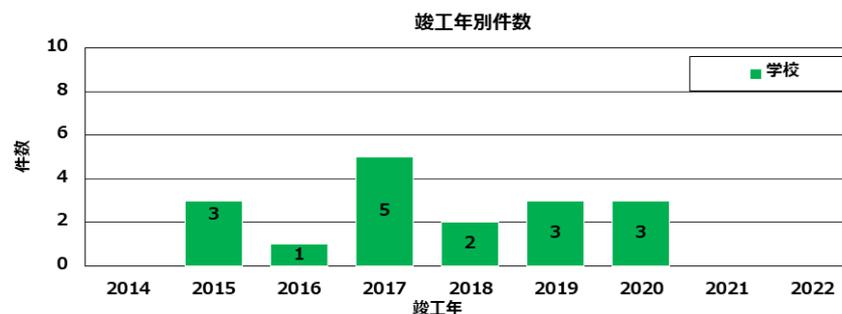
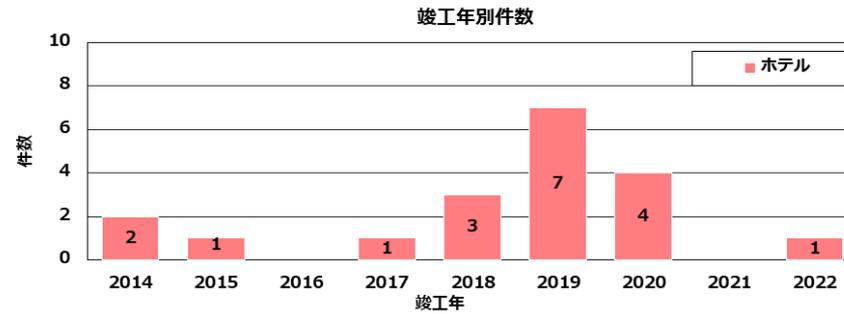
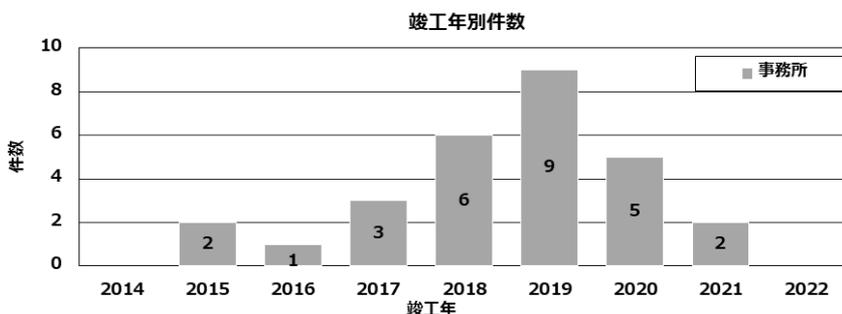
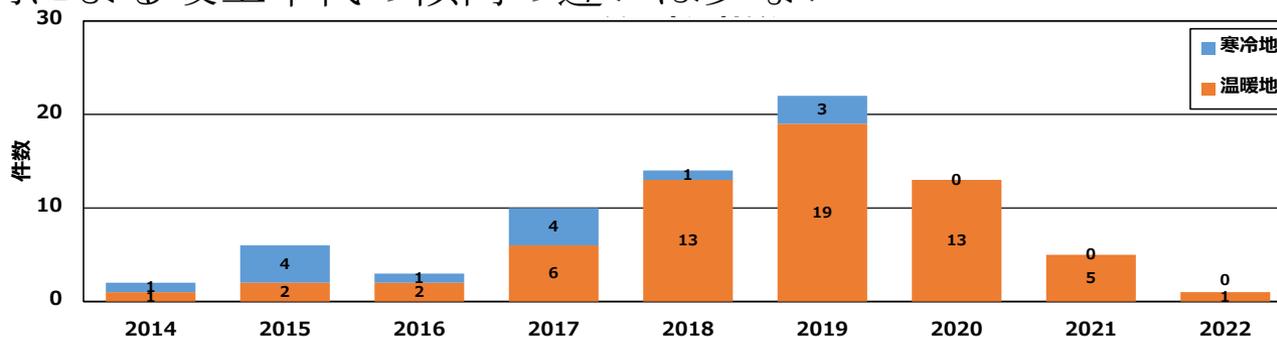
# 調査結果「調査建物件数」

- ✓ 事務所28件、ホテル19件、学校17件、老健施設12件の合計76件
- ✓ 温暖地の建物が多く62件、寒冷地は14件（寒冷地の老健施設は未入手）
- ✓ 延床面積は20,000㎡未満の建物が多い結果となった。



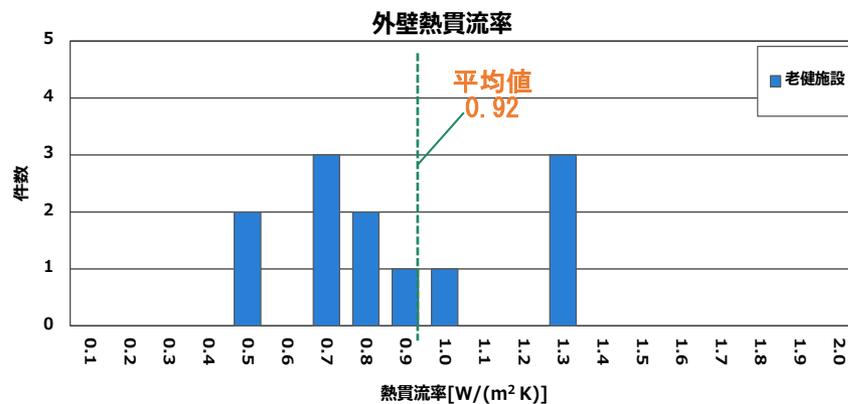
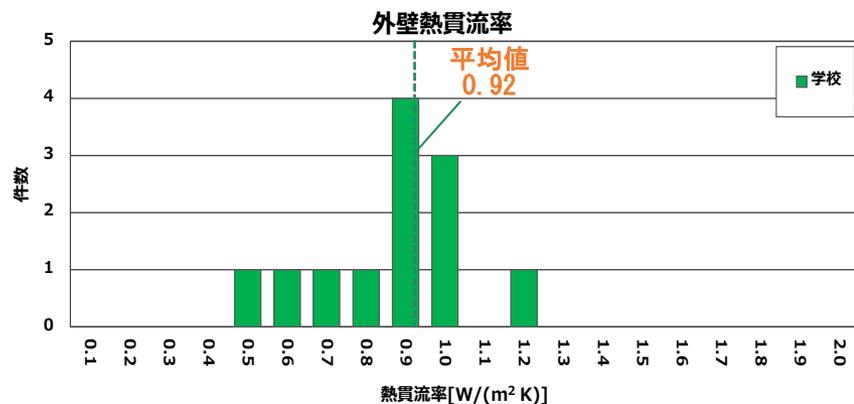
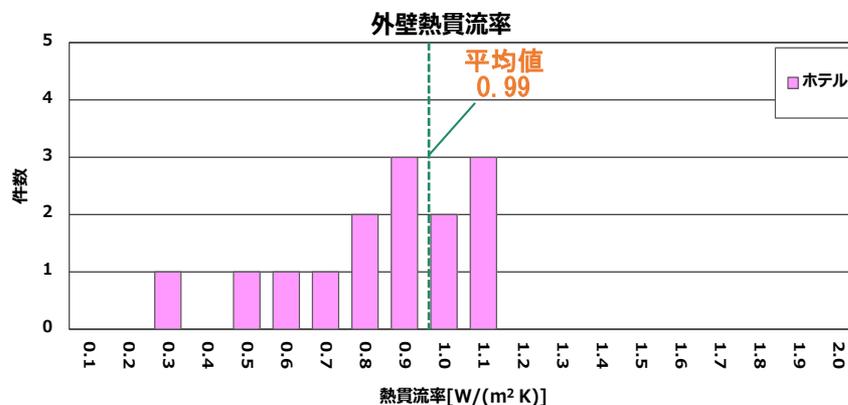
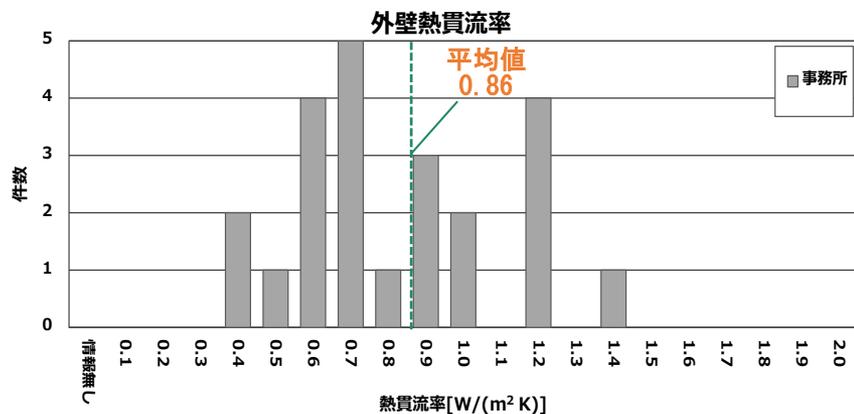
# 調査結果「竣工年別の建物件数」

- ✓ 調査対象を省エネ基準改正後としたため、竣工年度は2014年度以降の建物で、2019年度竣工の建物が最も多い
- ✓ 建物種別による竣工年代の傾向の違いは少ない



# 調査結果「外壁の熱貫流率（温暖地）」

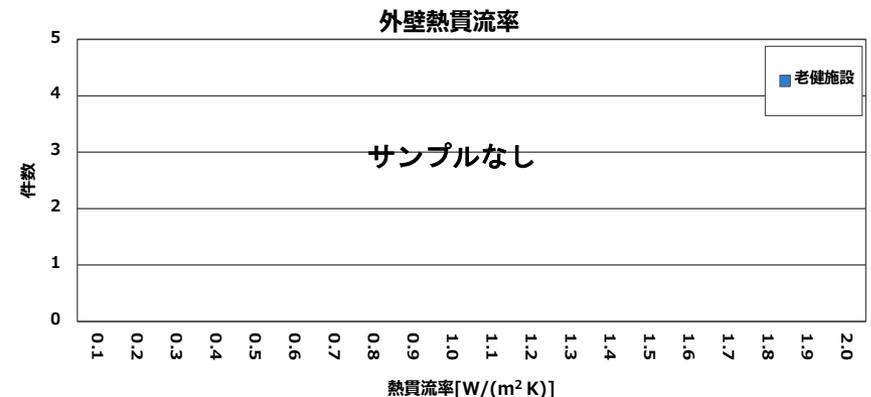
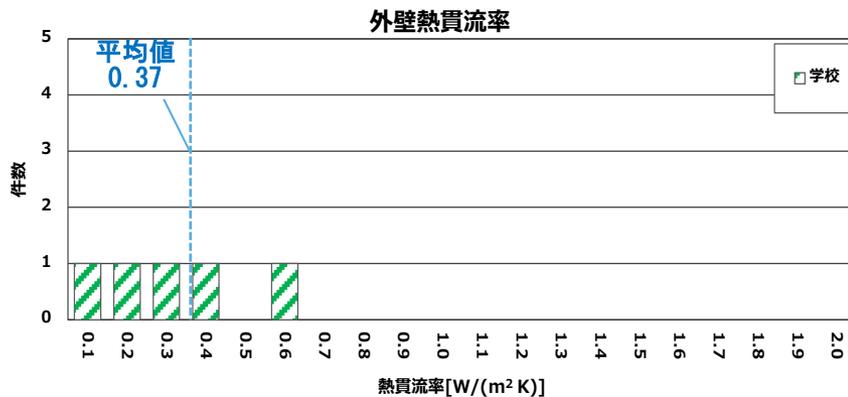
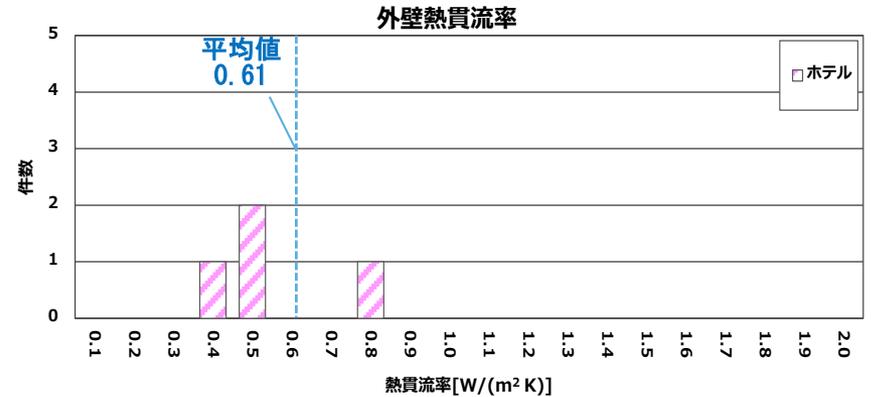
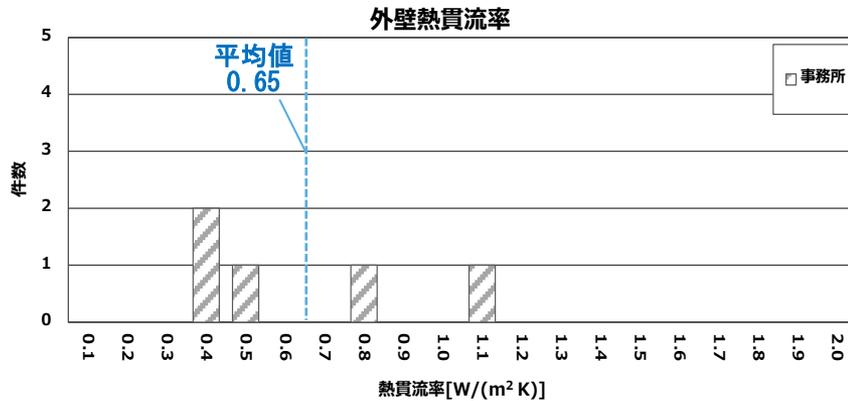
- ✓ 外壁の熱貫流率は、 $0.1 \sim 1.4 [W/(m^2K)]$  の範囲で分散
- ✓ 建物用途別の外壁の熱貫流率の平均値は、事務所の断熱性能が多少高い。  
事務所 $0.86$ 、ホテル $0.99$ 、学校 $0.92$ 、老健施設 $0.92 [W/(m^2K)]$



# 調査結果「外壁の熱貫流率（寒冷地）」

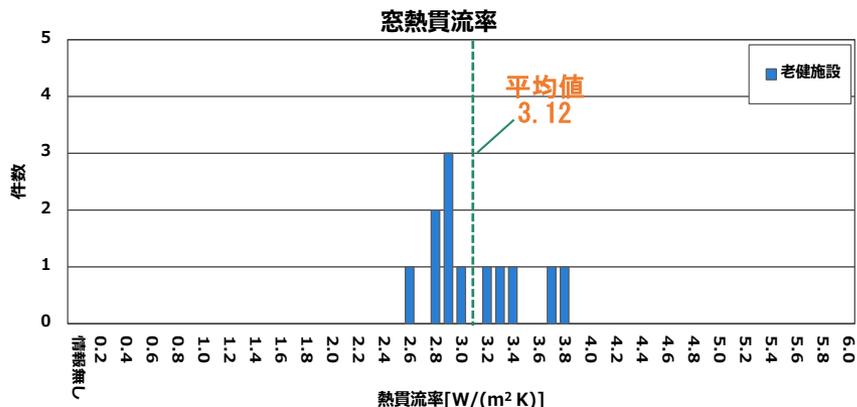
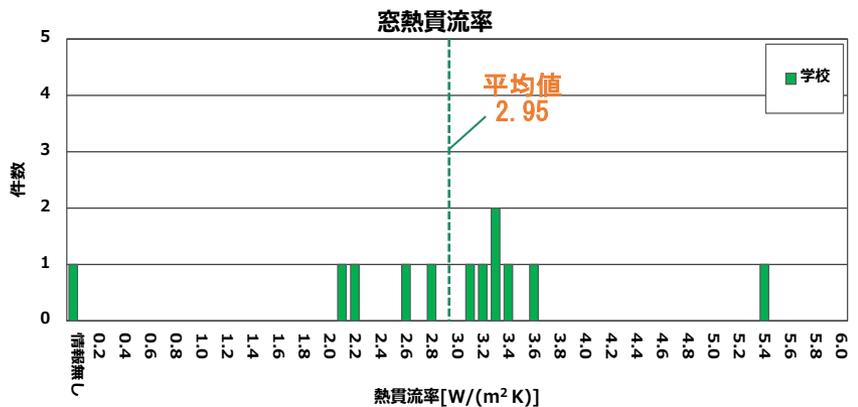
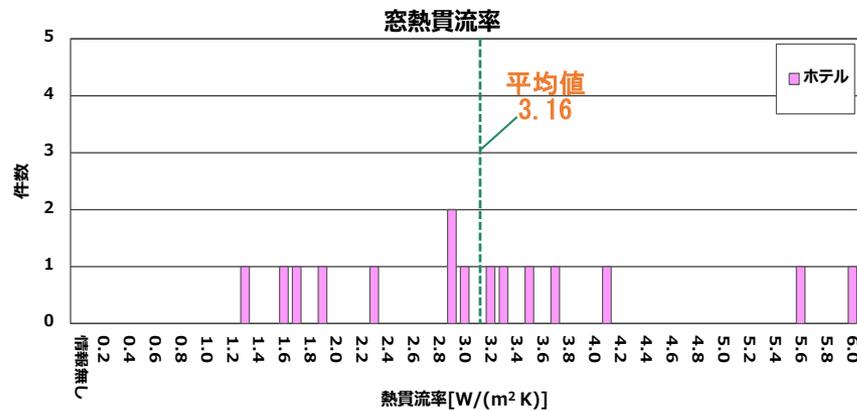
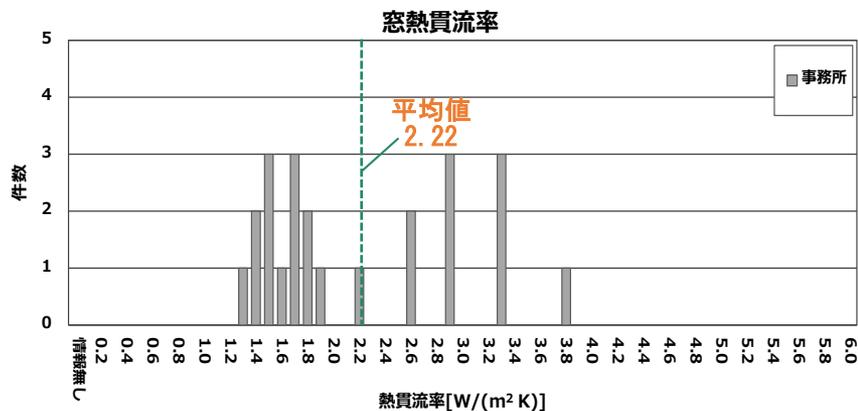
- ✓ 寒冷地の建物は、概ね $0.8 [W/(m^2K)]$ 以下で断熱性能が高い
- ✓ 建物用途別の外壁の熱貫流率の平均値は、学校の断熱性能が高い  
事務所 $0.65$ 、ホテル $0.61$ 、学校 $0.37 [W/(m^2K)]$

注) 調査件数が少ないため精査が必要



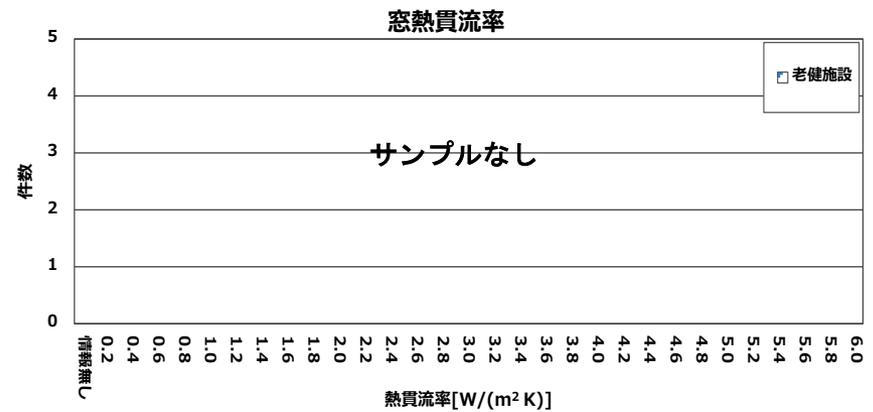
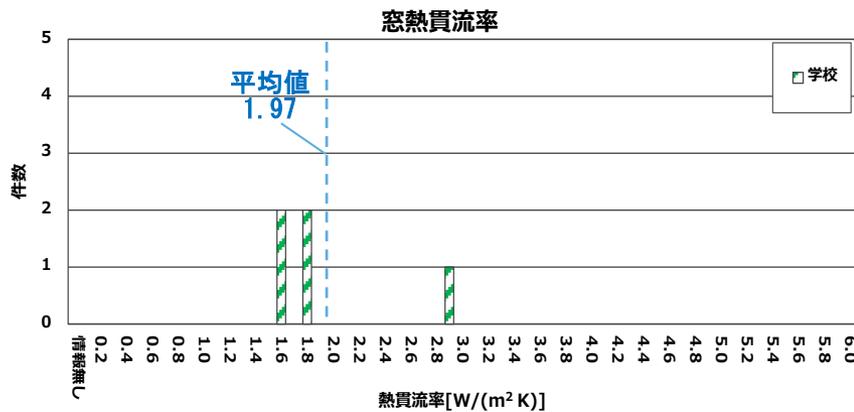
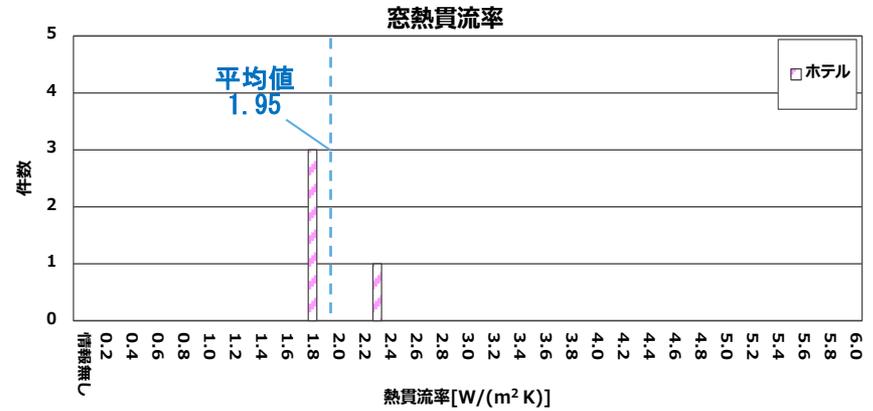
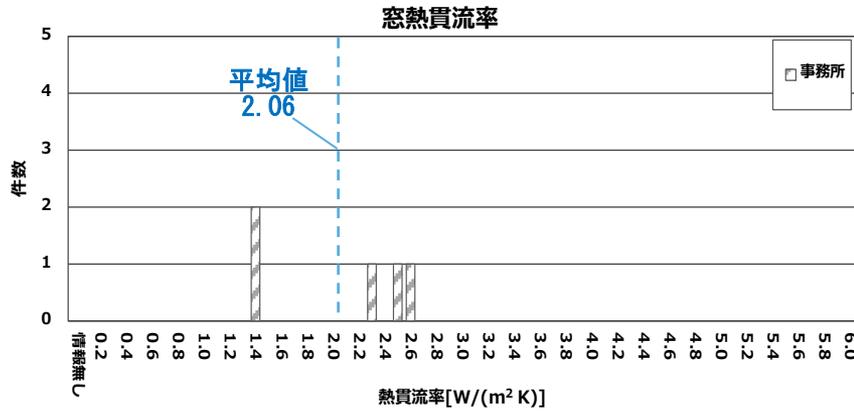
# 調査結果「窓の熱貫流率（温暖地）」

- ✓ 窓の熱貫流率は、1.3～6.0[W/(m<sup>2</sup>K)]と広い範囲で分散
- ✓ 熱貫流率が5.0[W/(m<sup>2</sup>K)]以上のものは、単板ガラスを使用
- ✓ 建物用途別の外壁の熱貫流率の平均値は、事務所の断熱性能が多少高い  
他の建物用途は、単板ガラスの建物があったためと低くなっていると想定  
事務所2.22、ホテル3.16、学校2.95、老健施設3.12[W/(m<sup>2</sup>K)]



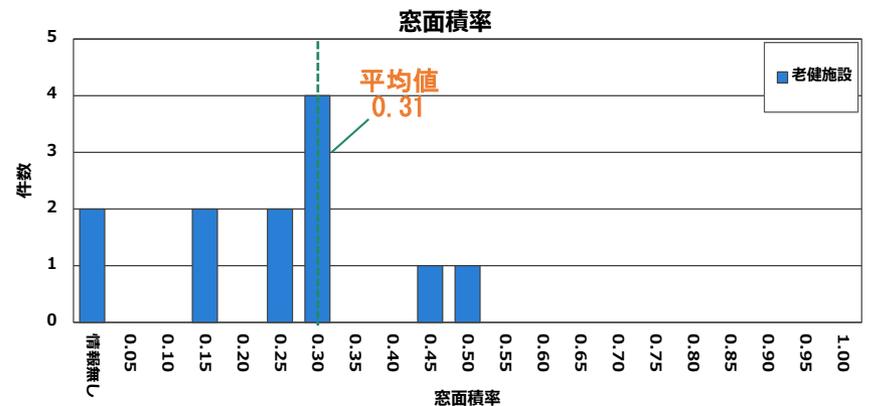
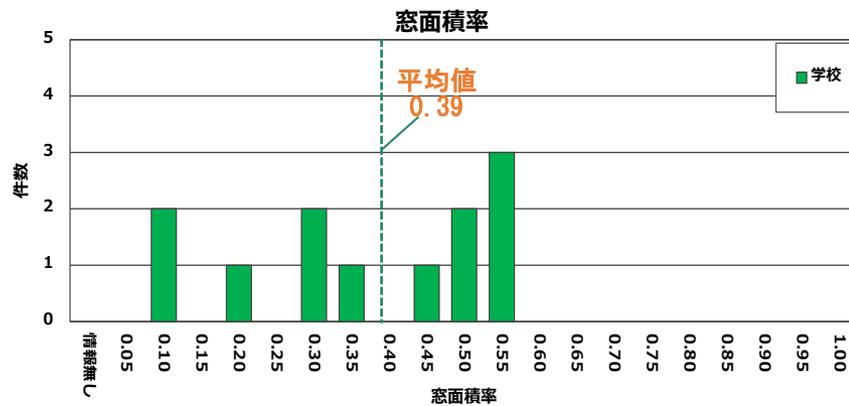
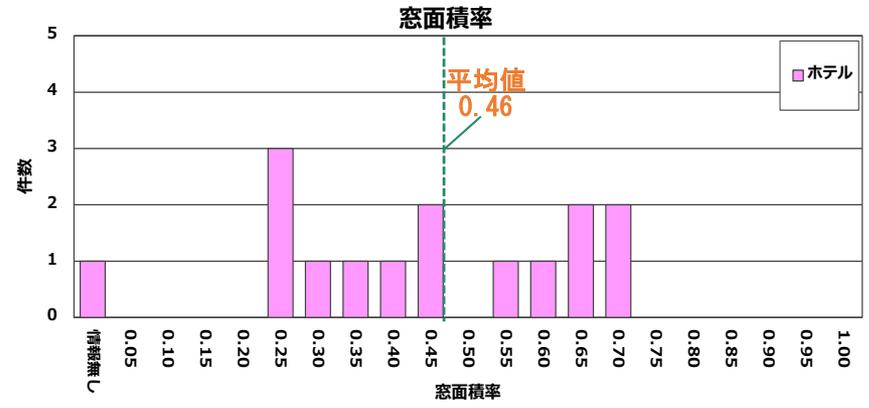
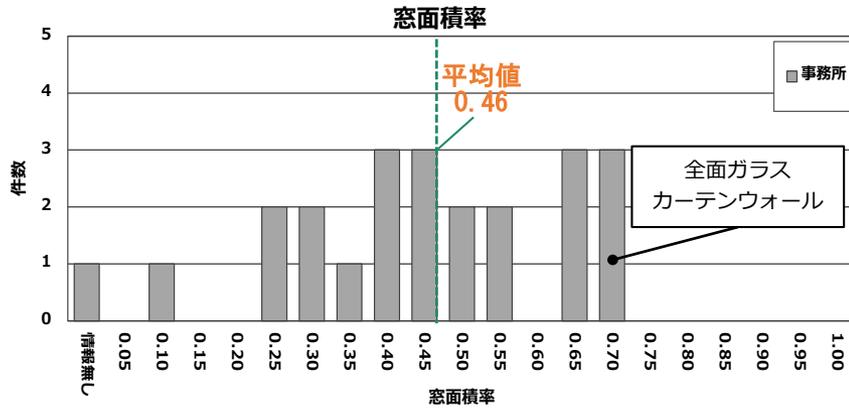
# 調査結果「窓の熱貫流率（寒冷地）」

- ✓ 建物用途別の外壁の熱貫流率の平均値は、概ね同等の断熱性能  
事務所2.06、ホテル1.95、学校1.97[W/(m<sup>2</sup>K)]



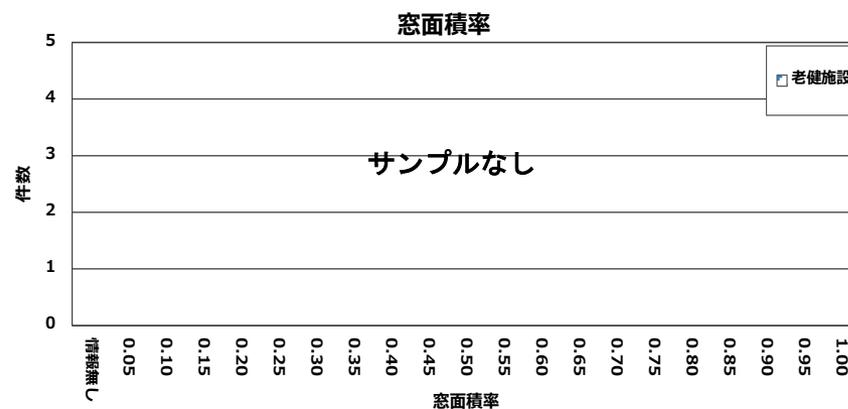
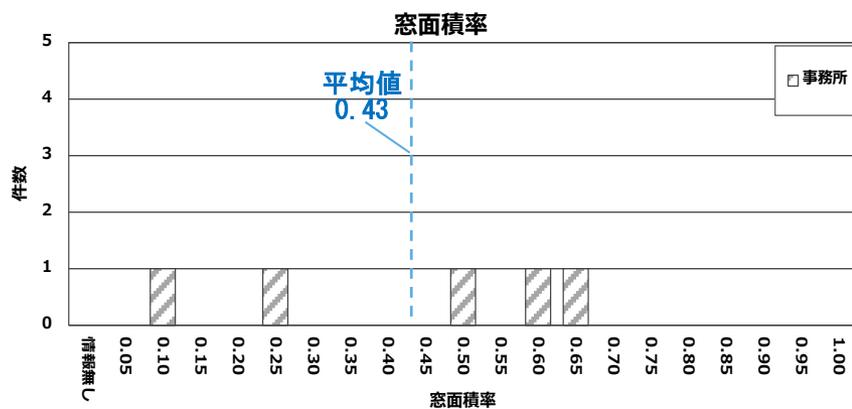
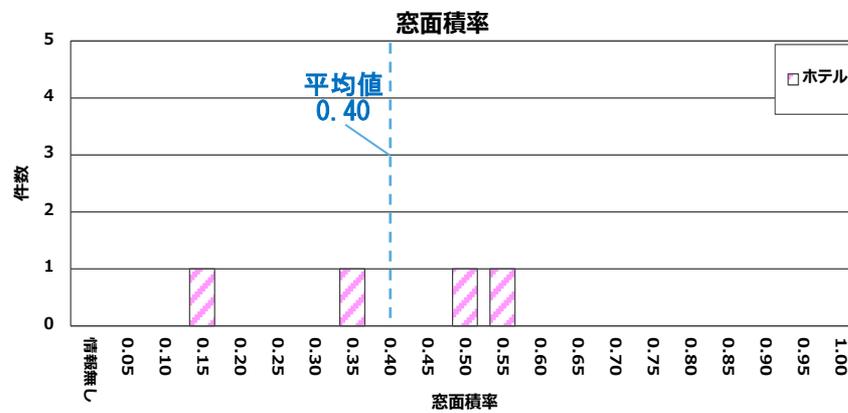
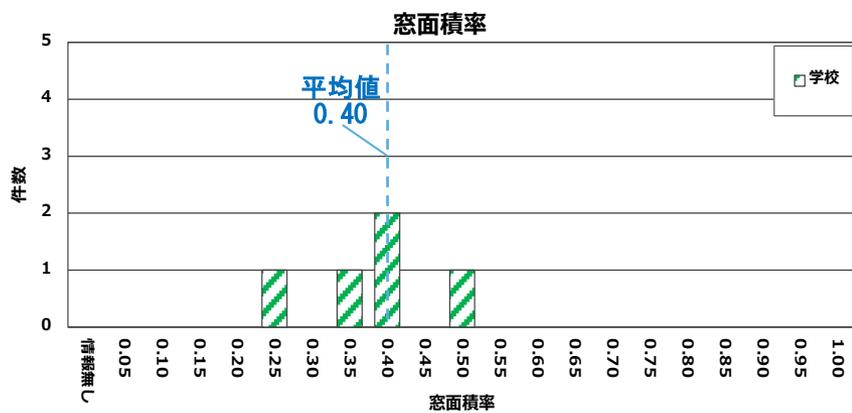
# 調査結果「窓面積率（温暖地）」

- ✓ 窓面積率は、0.1～0.7の範囲で分散
- ✓ 建物用途の平均値：事務所0.45、ホテル0.44、学校0.39、老健施設0.31



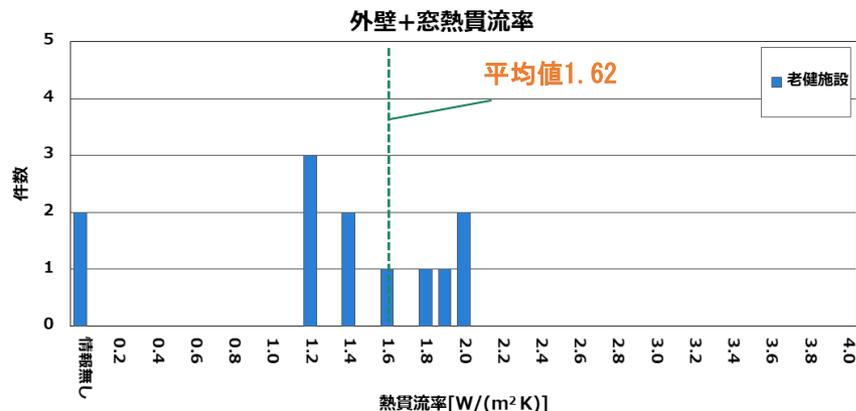
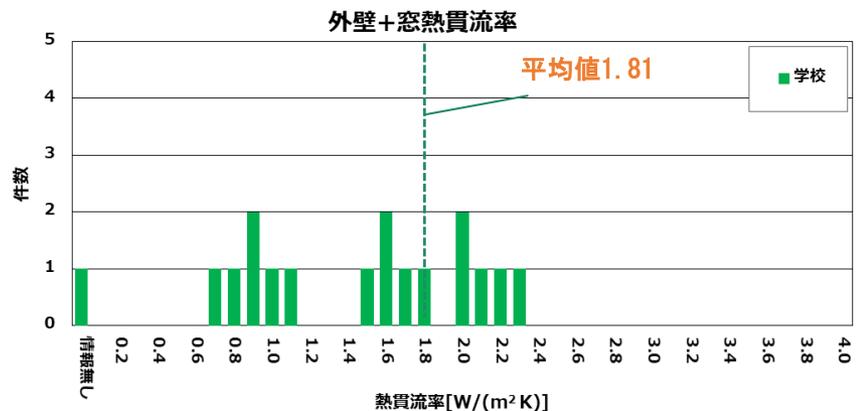
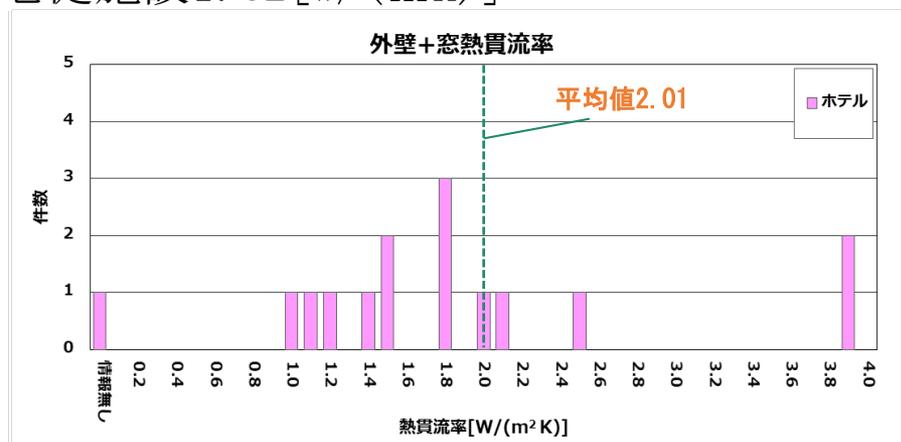
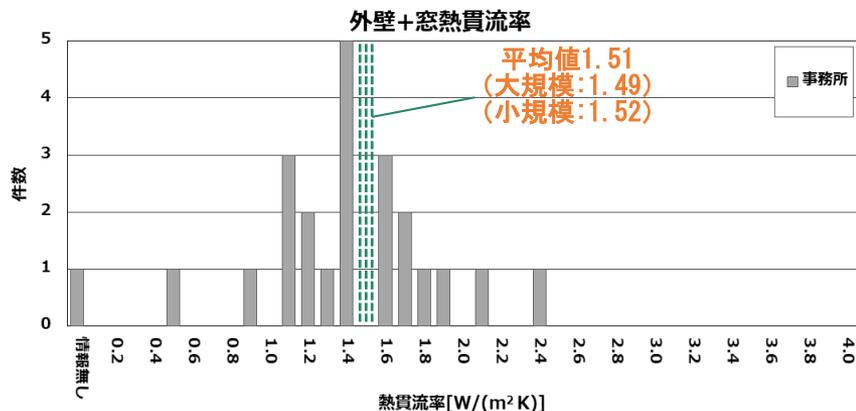
# 調査結果「窓面積率（寒冷地）」

- ✓ 窓面積率の平均値は、温暖地と寒冷地で大きな差異はない
- ✓ 建物用途の平均値は、建物用途による差は少ない。  
事務所0.40、ホテル0.40、学校0.43



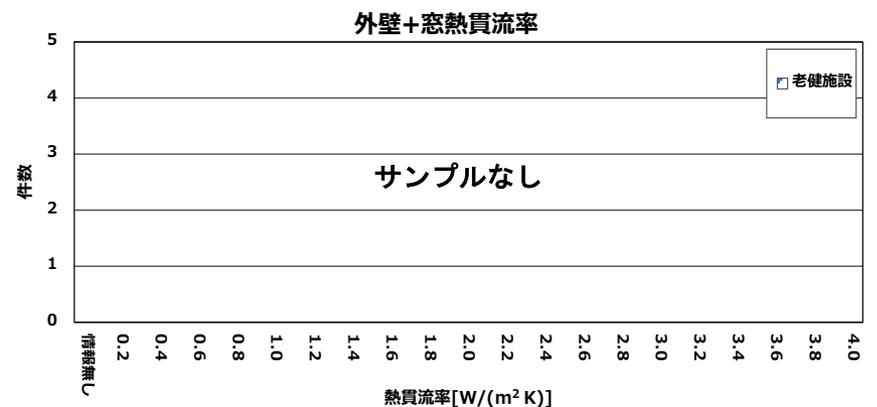
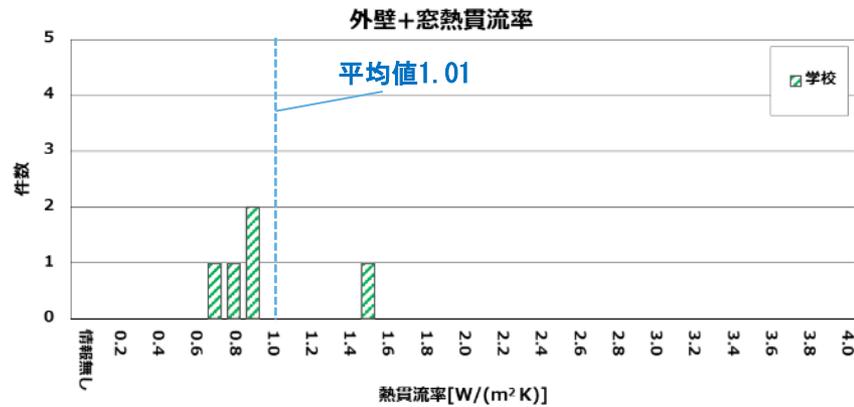
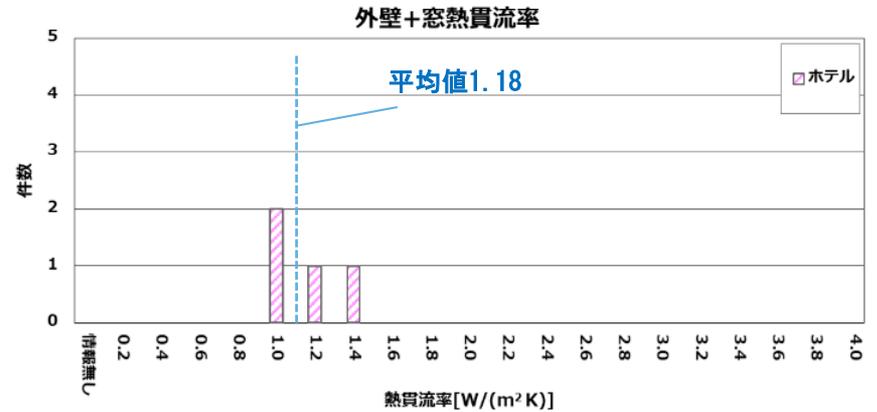
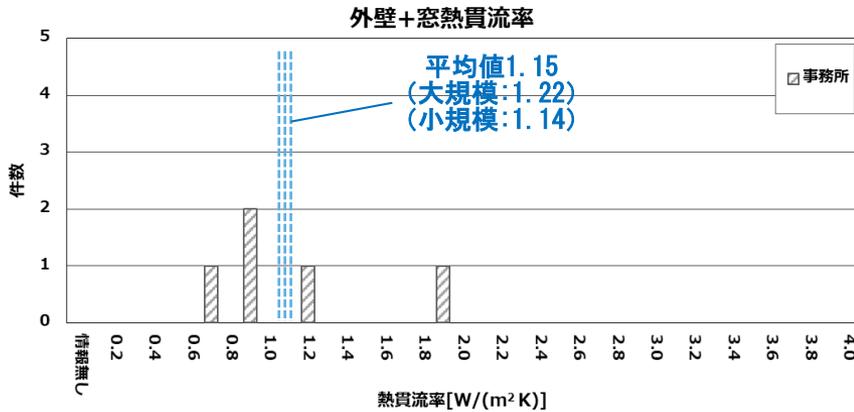
# 調査結果「外壁+窓の熱貫流率（温暖地）」

- ✓ 外壁を窓を合わせた外皮全体の熱貫流率を算出
- ✓ 外壁と窓の熱貫流率は、0.3~3.9[W/(m<sup>2</sup>K)]の広い範囲で分散
- ✓ 建物用途別の平均値は、老健施設の断熱性能が高く、単板ガラスの建物がああるホテルは低い  
事務所1.51、ホテル2.01、学校1.81、老健施設1.62[W/(m<sup>2</sup>K)]



# 調査結果「外壁+窓の熱貫流率（寒冷地）」

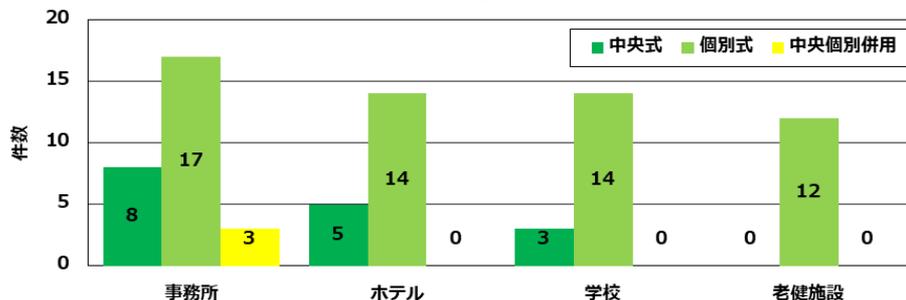
- ✓ 寒冷地の建物は、 $1.9 [W/(m^2K)]$ 以下で断熱性能が高い
- ✓ 建物用途別の平均値は、建物用途による違いは少ない。  
事務所 $1.15$ 、ホテル $1.18$ 、学校 $1.01 [W/(m^2K)]$



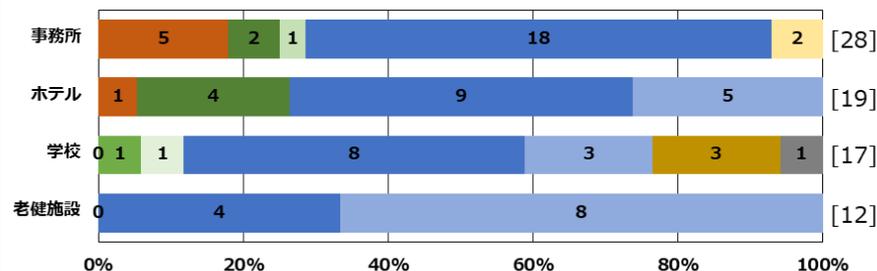
# 調査結果「熱源方式別・空調方式」

- ✓ 空調熱源方式は、事務所は中央式の建物もあるが、その他の建物用途は、個別分散式の建物が多い
- ✓ 空調方式は、放射式の空調方式を採用している建物は5件で、対流式が多い
- ✓ ペリメータ専用の空調機を設置している建物は、ほとんどが事務所

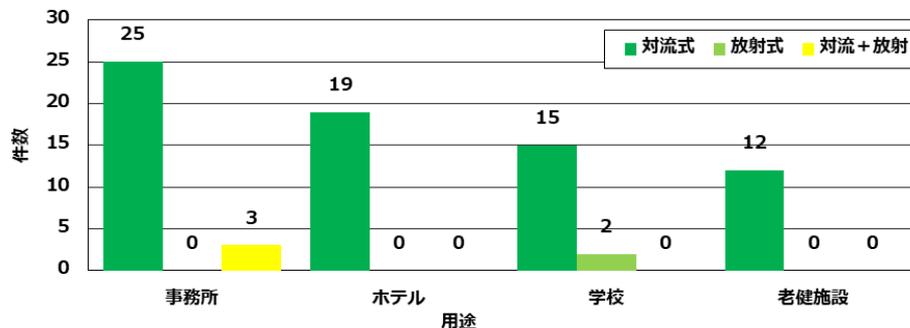
熱源方式別件数



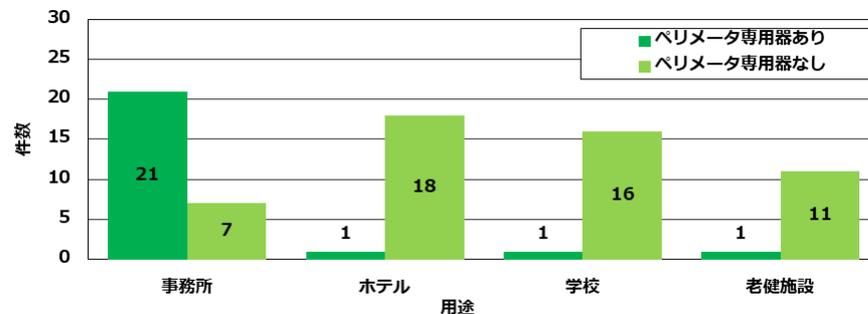
件数



空調方式別件数



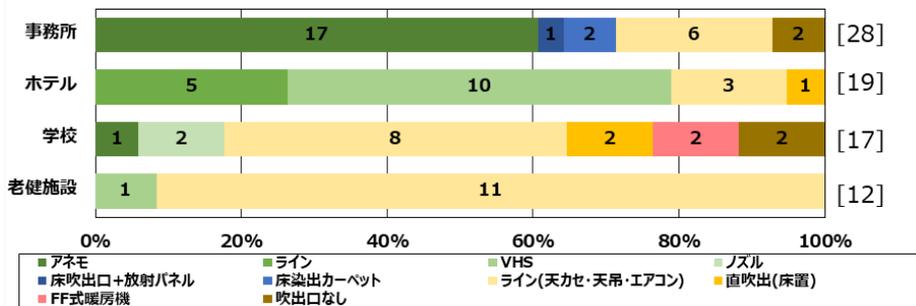
ペリメータ専用器別件数



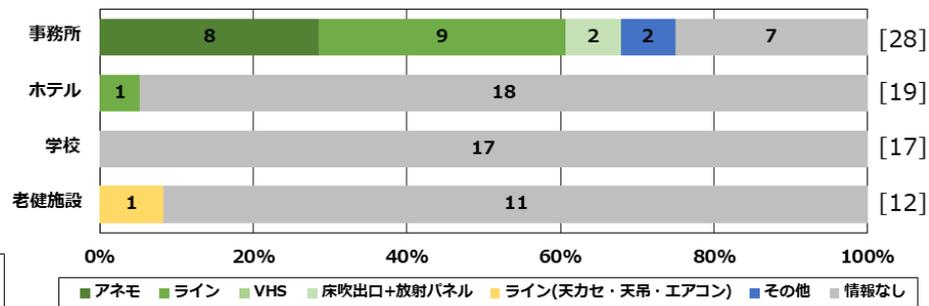
# 調査結果の整理 「吹出・吸込口種類、外気処理方式」

- ✓ 吹出口は、事務所はアネモ吹出が多く、その他の建物用途は個別分散式の天井カセット方式が多い
- ✓ 外気処理方式は、事務所・ホテルは外調機か空調機、学校は全熱交換器が多い

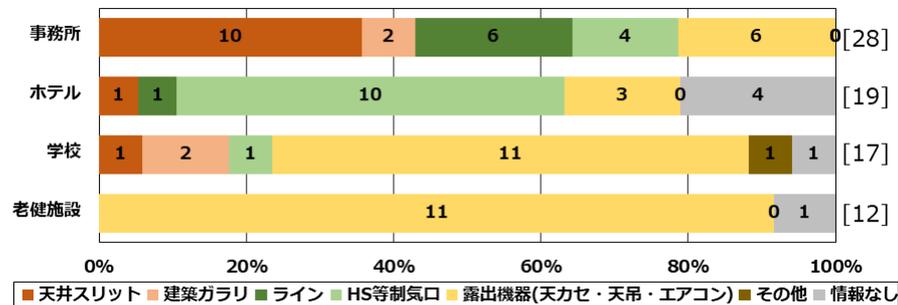
インテリア吹出口の種類別件数



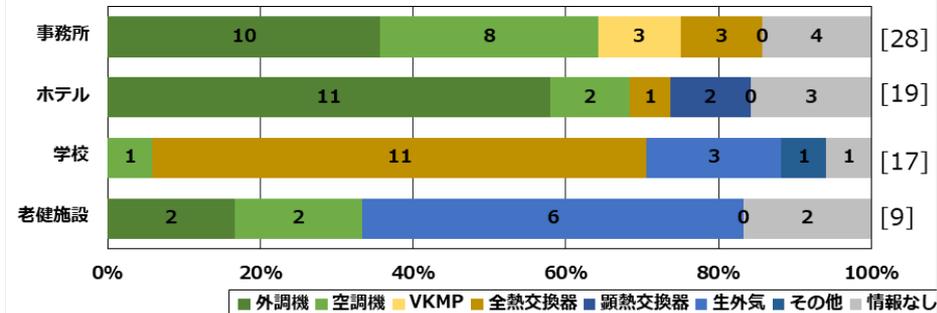
ペリメータ吹出口の種類別件数



吸込口器具の種類別件数

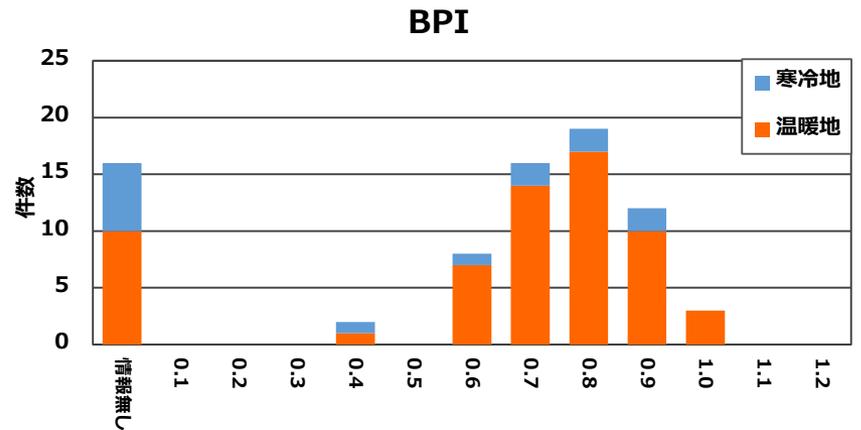
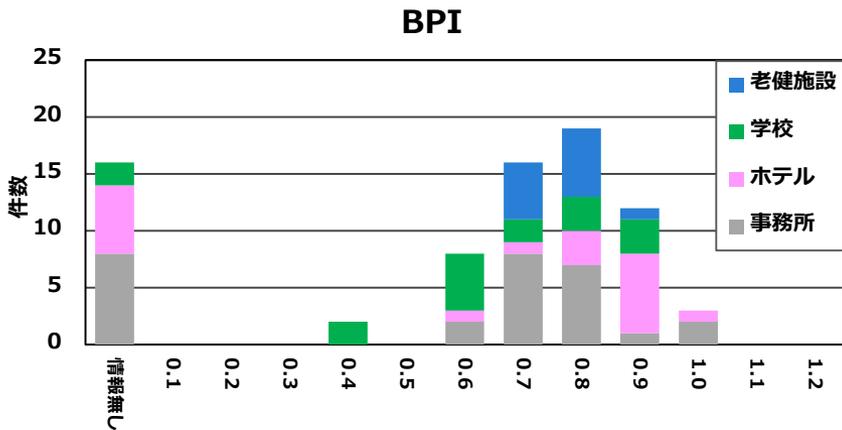
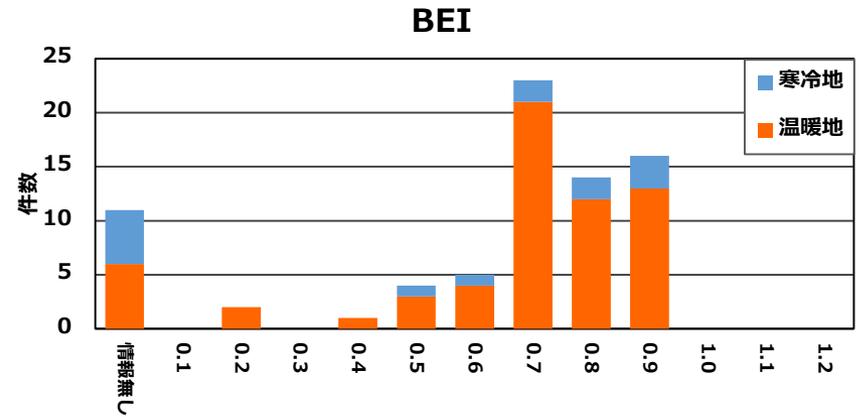
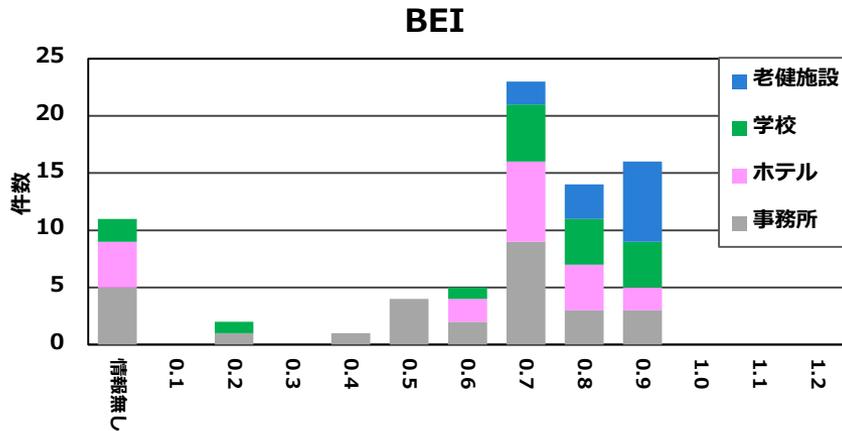


外気処理方式の種類別件数



# 調査結果の整理 「BPI・BEIの建物件数」

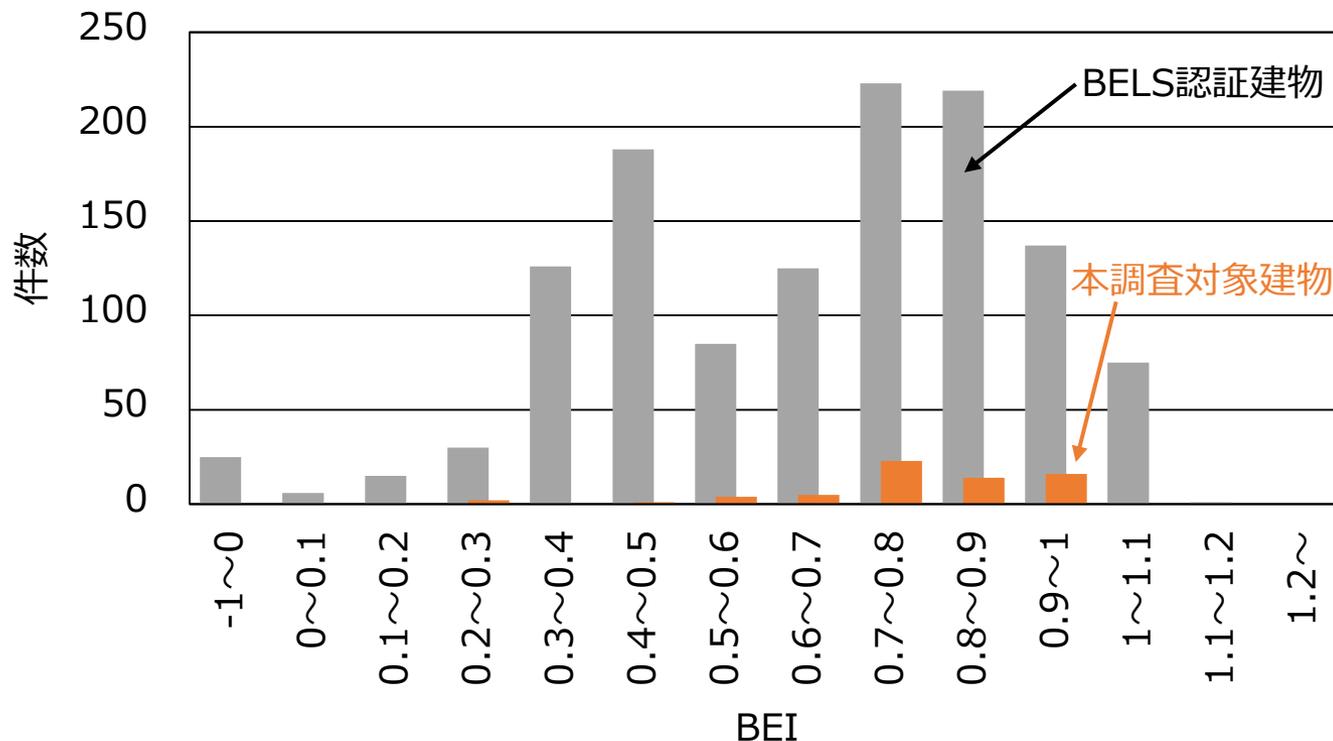
- ✓ BPI・BEIとも0.6～0.9の範囲で分布
- ✓ BEI 0.7の建物も多く、建築物省エネ法の誘導基準レベル（BEI0.8以下）の省エネ性能の高い建物も多い



# 調査建物とBELS認証建物（H28基準以降）の比較

- ✓ BELS認証建物は、のZEB-ready を目指した高仕様の建物群 (BEI0.5以下) と、その他の一般仕様の建物群 (BEI1.0以下) に分かれる。
- ✓ 本調査の建物は、概ね一般仕様建物の傾向に合致している。

BELS認証建物と今回調査建物のBEI 頻度分布



## ④ 解析に使用するパラメータ整理

- ✓ 図面調査およびヒアリングで得た結果を整理し、分析に使用するパラメータとして整理
- ✓ 建物用途、規模別に代表的な外皮の熱性能、空調方式などを整理
- ✓ 外皮の熱性能は、建物によって性能が異なることが想定されるため、平均な値および高性能、低性能の外皮仕様を整理
- ✓ 空調方式は、代表的な方式を整理

# 代表的な外皮の熱貫流率「大規模事務所（温暖地）」

- ✓ 代表的な温暖地の外壁と窓を加えた熱貫流率

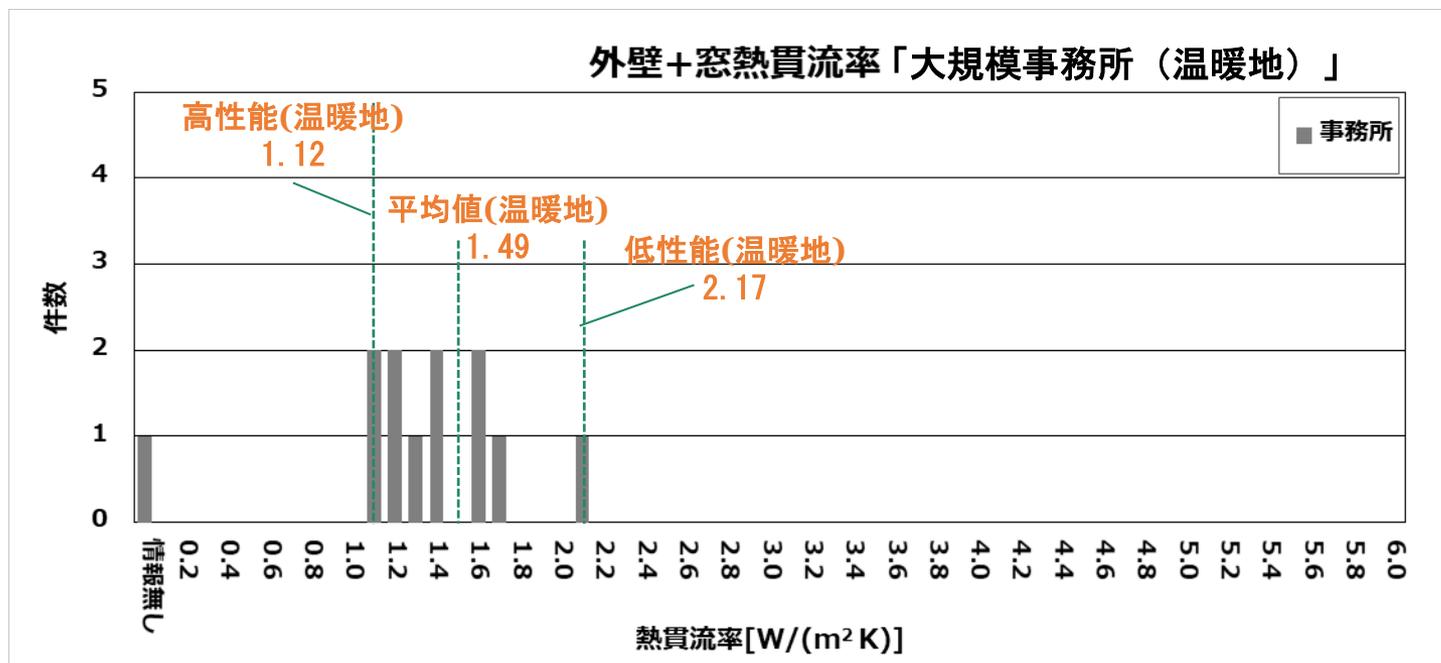
平均値 1.49 [W/(m<sup>2</sup>K)]

高性能 1.12 [W/(m<sup>2</sup>K)]

低性能 2.17 [W/(m<sup>2</sup>K)]

- ✓ 寒冷地：1.22 [W/(m<sup>2</sup>K)]

注) 大規模事務所はサンプル数が1件のみ



# 代表的な外皮仕様の事例「大規模事務所（温暖地）」

✓ 代表的な外壁と窓を加えた熱貫流率の建物の外皮仕様の事例を示す

## 平均断熱性能

外壁 + 窓の熱貫流率：1.49 W/m<sup>2</sup>・K

### 【外壁の仕様】

室内  
吹付け硬質ウレタン 20mm  
非密閉中空層  
ガラス 19mm  
室外

0.90 W/m<sup>2</sup>・K

### 【ガラスの仕様】

種類	上部:高性能熱線反射ガラス
熱貫流率[W/m <sup>2</sup> ・K]	1.80
日射熱取得率[η]	0.40
窓面積率[%]	0.66
ブラインド・カーテン	ブラインドあり

ガラスカーテンウォール

事例：事務所O-06

## 高性能断熱性能

外壁 + 窓の熱貫流率：1.12 W/m<sup>2</sup>・K

### 【外壁の仕様】

"室内石膏ボード 10mm  
非密閉中空層吹付け硬質ウレタンフォームA種3 25mm  
押出成型セメント板 75mm室外"

0.74 W/m<sup>2</sup>・K

### 【ガラスの仕様】

種類	Low-Eガラス (ダブルスキン)
熱貫流率[W/m <sup>2</sup> ・K]	1.30
日射熱取得率[η]	0.81
窓面積率[%]	0.67
ブラインド・カーテン	ブラインドあり

ガラスカーテンウォール

事例：事務所O-04

## 低性能断熱性能

外壁 + 窓の熱貫流率：2.17 W/m<sup>2</sup>・K

### 【外壁の仕様】

室内  
吹付け硬質ウレタン 20mm  
非密閉中空層  
ガラス 19mm  
室外

0.71 W/m<sup>2</sup>・K

### 【ガラスの仕様】

種類	複層フロートガラス
熱貫流率[W/m <sup>2</sup> ・K]	3.88
日射熱取得率[η]	0.45
窓面積率[%]	0.46
ブラインド・カーテン	ブラインドあり

ガラスカーテンウォール

事例：事務所O-47

# 代表的な外皮の熱貫流率「小規模事務所（温暖地）」

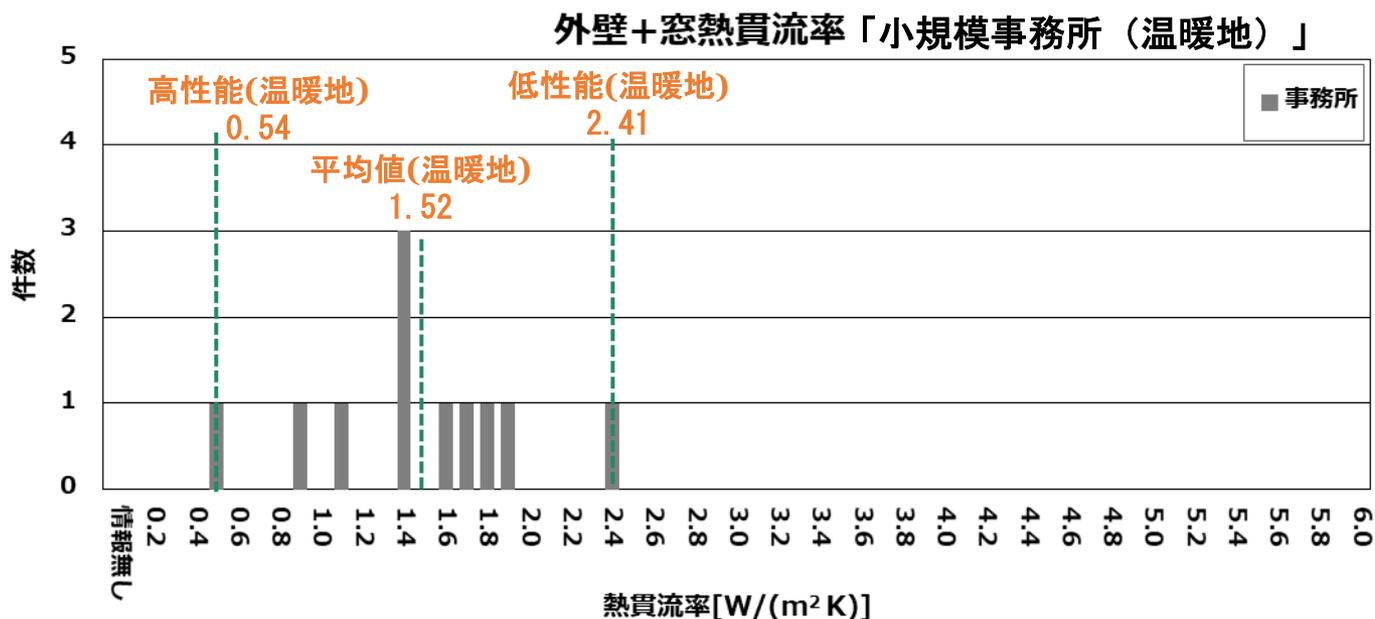
- ✓ 代表的な温暖地の外壁と窓を加えた熱貫流率

平均値 1.52[W/(m<sup>2</sup>K)]

高性能 0.54[W/(m<sup>2</sup>K)]

低性能 2.41[W/(m<sup>2</sup>K)]

- ✓ 寒冷地：平均値1.14[W/(m<sup>2</sup>K)]、高性能0.73[W/(m<sup>2</sup>K)]、低性能1.92[W/(m<sup>2</sup>K)]



# 代表的な外皮仕様の事例「大規模事務所（温暖地）」

✓ 代表的な外壁と窓を加えた熱貫流率の建物の外皮仕様の事例を示す

## 平均断熱性能

外壁 + 窓の熱貫流率：1.78 W/m<sup>2</sup>・K

【外壁の仕様】 IPAC入力情報より 室内 石膏ボード 25mm 非密閉中空層 硬質ウレタン発砲板 25mm RC 200mm 室外	0.71 W/m <sup>2</sup> ・K
---	--------------------------

【ガラスの仕様】 種類	Low-E 複層ガラス
熱貫流率[W/m <sup>2</sup> ・K]	2.60
日射熱取得率[η]	0.51
窓面積率[%]	0.57
ブラインド・カーテン	ブラインド

事例：事務所O-05

## 高性能断熱性能

外壁 + 窓の熱貫流率：0.54 W/m<sup>2</sup>・K

【外壁の仕様】 室内 石膏ボード 12.5mm 石膏ボード 12.5mm 非密閉中空層吹付硬質ウレタン 50mm 押出成形セメント板 60mm 室外	0.44 W/m <sup>2</sup> ・K
--	--------------------------

【ガラスの仕様】 種類	Low-E 高断熱 (Arガス入り)
熱貫流率[W/m <sup>2</sup> ・K]	1.40
日射熱取得率[η]	0.24
窓面積率[%]	0.10
ブラインド・カーテン	不明

事例：事務所O-51

## 低性能断熱性能

外壁 + 窓の熱貫流率：2.41 W/m<sup>2</sup>・K

【外壁の仕様】 室内 押出ポリエチレン50mm コンクリート150mm 室外	0.68 W/m <sup>2</sup> ・K
--	--------------------------

【ガラスの仕様】 種類	複層フロートガラス
熱貫流率[W/m <sup>2</sup> ・K]	3.30
日射熱取得率[η]	0.79
窓面積率[%]	0.66
ブラインド・カーテン	カーテン

事例：事務所O-09

# 代表的な外皮の熱貫流率「ホテル（温暖地）」

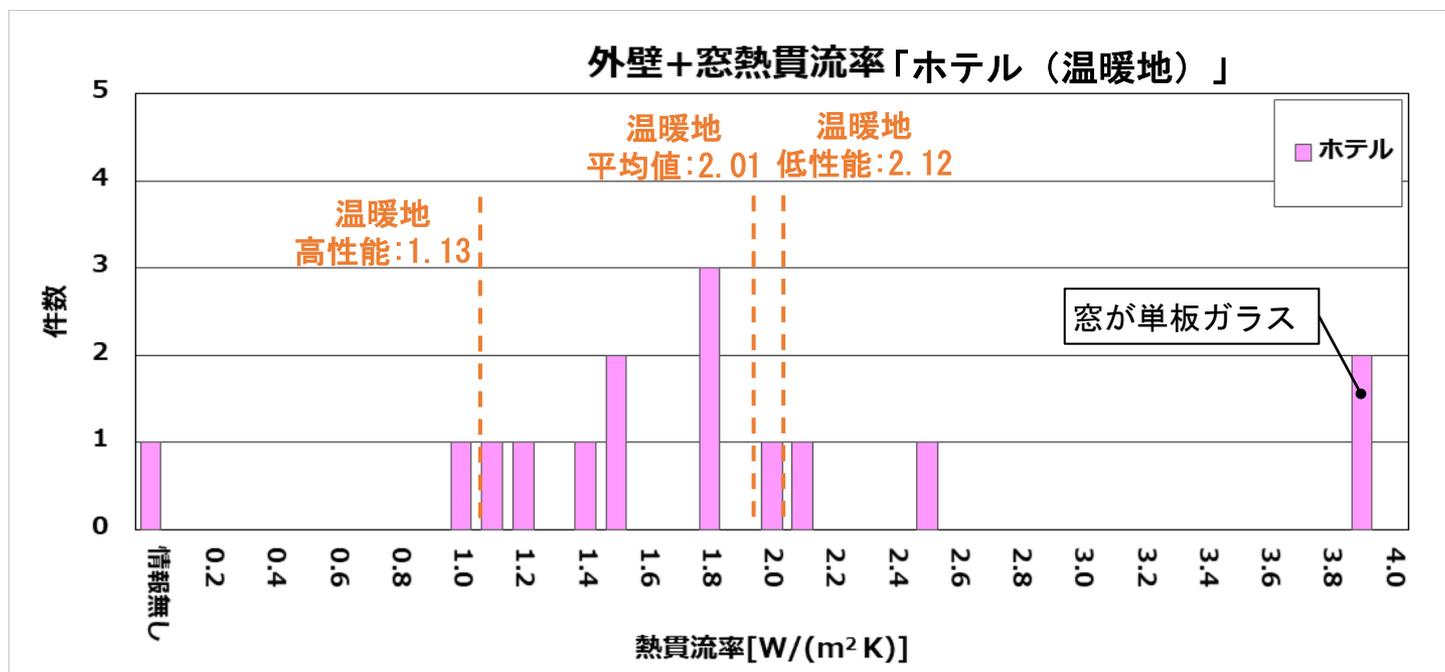
- ✓ 代表的な温暖地の外壁と窓を加えた熱貫流率

平均値 2.01 [W/(m<sup>2</sup>K)]

高性能 1.13 [W/(m<sup>2</sup>K)]

低性能 2.12 [W/(m<sup>2</sup>K)]

- ✓ 寒冷地：平均値1.18 [W/(m<sup>2</sup>K)]、高性能1.00 [W/(m<sup>2</sup>K)]、低性能1.14 [W/(m<sup>2</sup>K)]



# 代表的な外皮仕様の事例「ホテル（温暖地）」

✓ 代表的な外壁と窓を加えた熱貫流率の建物の外皮仕様の事例を示す

## 平均断熱性能

外壁 + 窓の熱貫流率：1.86 W/m<sup>2</sup>・K

【外壁の仕様】	
室内	
石膏ボード 12mm	
吹付硬質ウレタン 20mm	
ALC 60mm	
室外	
0.63 W/m <sup>2</sup> ・K	

【ガラスの仕様】	
種類	Low-E複層 高遮熱
熱貫流率[W/m <sup>2</sup> ・K]	2.38
日射熱取得率[η]	0.34
窓面積率[%]	0.70
ブラインド・カーテン	ブラインド

事例：ホテルH-01

## 高性能断熱性能

外壁 + 窓の熱貫流率：1.13 W/m<sup>2</sup>・K

【外壁の仕様】	
屋外	
PCコンクリート 210mm	
吹付硬質ウレタンフォーム 200mm	
石膏ボード 12.5mm	
石膏ボード 9.5mm	
屋内	
0.90 W/m <sup>2</sup> ・K	

【ガラスの仕様】	
種類	Low-E 高断熱
熱貫流率[W/m <sup>2</sup> ・K]	1.60
日射熱取得率[η]	0.35
窓面積率[%]	0.33
ブラインド・カーテン	不明

事例：ホテルH-42

## 低性能断熱性能

外壁 + 窓の熱貫流率：2.12 W/m<sup>2</sup>・K

【外壁の仕様】	
室内	
石膏ボード 12.5mm	
非密閉中空層吹付硬質ウレタンフォームA種1 25mm	
普通コンクリート 270mm	
室外 <sup>1)</sup>	
0.75 W/m <sup>2</sup> ・K	

【ガラスの仕様】	
種類	透明ペアガラス
熱貫流率[W/m <sup>2</sup> ・K]	3.50
日射熱取得率[η]	0.75
窓面積率[%]	0.47
ブラインド・カーテン	ブラインド

事例：ホテルH-43

# 代表的な外皮の熱貫流率「学校（温暖地）」

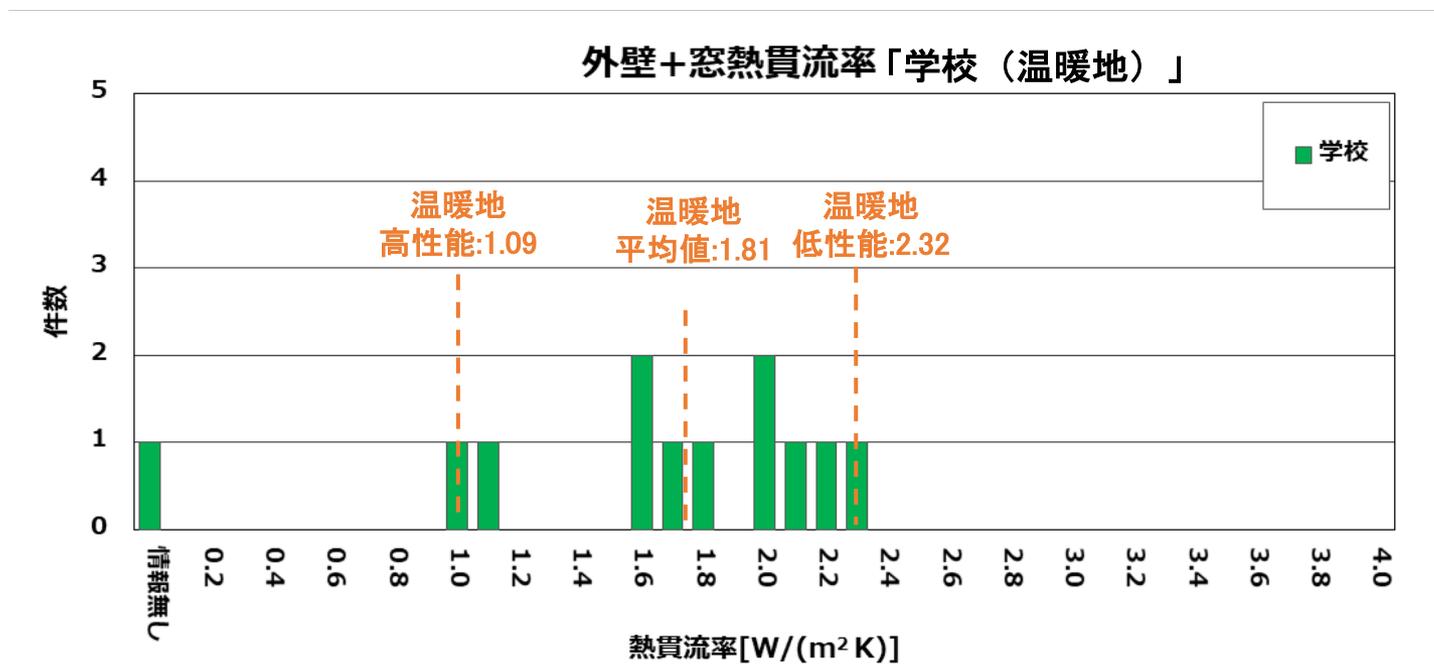
- ✓ 代表的な温暖地の外壁と窓を加えた熱貫流率

平均値 1.81 [W/(m<sup>2</sup>K)]

高性能 1.09 [W/(m<sup>2</sup>K)]

低性能 2.32 [W/(m<sup>2</sup>K)]

- ✓ 寒冷地：平均値1.01 [W/(m<sup>2</sup>K)]、高性能0.75 [W/(m<sup>2</sup>K)]、低性能1.46 [W/(m<sup>2</sup>K)]



# 代表的な外皮仕様の事例「学校（温暖地）」

✓ 代表的な外壁と窓を加えた熱貫流率の建物の外皮仕様の事例を示す

## 平均断熱性能

外壁 + 窓の熱貫流率：1.64 W/m<sup>2</sup>・K

### 【外壁の仕様】

室内  
 ヒノキ合板 12mm  
 石膏ボード 12.5mm  
 石膏ボード 12.5mm  
 非密閉中空層  
 吹付硬質ウレタン 25mm  
 鉄筋コンクリート壁 180mm  
 室外

0.88 W/m<sup>2</sup>・K

### 【ガラスの仕様】

種類	Low-E 複層ガラス
熱貫流率[W/m <sup>2</sup> ・K]	2.17
日射熱取得率[η]	0.38
窓面積率[%]	0.59
ブラインド・カーテン	カーテン

事例：学校S-02

## 高性能断熱性能

外壁 + 窓の熱貫流率：1.09 W/m<sup>2</sup>・K

### 【外壁の仕様】

室内  
 石膏ボード 12.5mm  
 石膏ボード 12.5mm  
 非密閉中空層吹付ウレタン 15mm  
 コンクリート180mm  
 室外

0.94 W/m<sup>2</sup>・K

### 【ガラスの仕様】

種類	Low-E 複層ガラス
熱貫流率[W/m <sup>2</sup> ・K]	2.28
日射熱取得率[η]	0.30
窓面積率[%]	0.11
ブラインド・カーテン	ブラインド

事例：学校S-43

## 低性能断熱性能

外壁 + 窓の熱貫流率：2.32 W/m<sup>2</sup>・K

### 【外壁の仕様】

室内  
 石膏ボード 22mm  
 発泡ウレタン 25mm  
 コンクリート180mm  
 非密閉空気層タイル10mm  
 屋外

1.07 W/m<sup>2</sup>・K

### 【ガラスの仕様】

種類	熱線吸収フロート板ガラス
熱貫流率[W/m <sup>2</sup> ・K]	3.30
日射熱取得率[η]	0.74
窓面積率[%]	0.56
ブラインド・カーテン	カーテン

事例：学校S-06

# 代表的な空調方式

建物用途別に多くの建物で採用され、代表的と思われる空調方式を選出した。

- ✓ 大規模事務所：中央式空調方式で、アネモ吹出
- ✓ その他の建物用途：個別式空調方式で、天井カセット方式

	大規模事務所	小規模事務所	ホテル	学校	老健施設
空調方式	中央式	個別式	個別式	個別式	個別式
インテリア吹出口	アネモ	天井カセット	制気口	天井カセット	ルームエアコン
ペリメータ吹出口	ブリーズライン	なし	なし	なし	なし
相当する事例 (温暖地)	事務所O-06	事務所O-05	ホテルH-01	学校S-02	老健施設E-21
相当する事例 (寒冷地)	事務所O-11	事務所O-31	ホテルH-12	学校S-12	—

## (□) 外皮の熱性能及び空調方式による 室内の上下温度分布等の解析

- ⑤ 計算パラメータの想定
- ⑥ 室内温度分布のCFD計算（2019年度予備検討、2020年度検討）
- ⑦ 外皮の熱性能と空調方式による計算結果の整理（2020年度検討）
- ⑧ 空調エネルギー消費量の評価手法検討  
（2019年度予備検討、2020年度検討）

## ⑤ 計算パラメータの想定

C F D 計算を行う建物の室モデル、計算条件などのパラメータを設定した。

### ✓ 建物の室モデル

建物の室モデルは、建物用途別に単室モデルを想定し、方位や窓面積率などを設定した。

### ✓ 外皮性能

建物用途別に代表的な外皮の熱性能（主に熱貫流率）および、これより性能の劣る性能、優れている性能を計算パラメータとした。

### ✓ 熱負荷条件

C F D 計算を行う熱負荷条件（計算時刻）の設定方法を検討した。

# 計算パラメータ

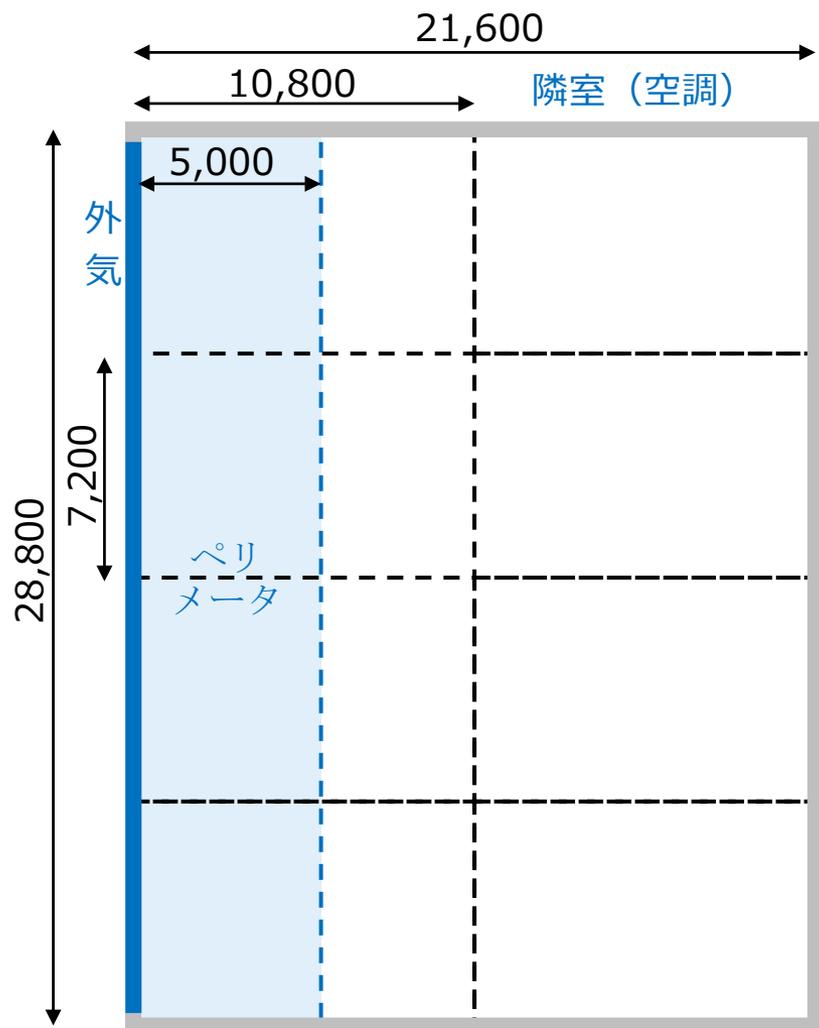
- ✓ CFD計算の計算パラメータは、建物の室モデル4種類（それぞれの空調方式は固定）、地域2ケース、外皮性能3ケース、熱負荷条件8ケースを設定し、計算ケースは合計192ケース想定

建物の室モデル	[空調方式]	地域	外皮性能	熱負荷条件 (最大負荷に対する割合)
事務所 事務室 (大規模)	[天井アネモ]	温暖地 (6地域)	高性能	冷房100%
事務所 事務室 (小規模)	[天井カセット]			75%
ホテル 客室	[天井カセット]	寒冷地 (2地域)	中性能	50%
学校 普通教室	[天井カセット]			25%
			低性能	暖房100%
				75%
				50%
				25%

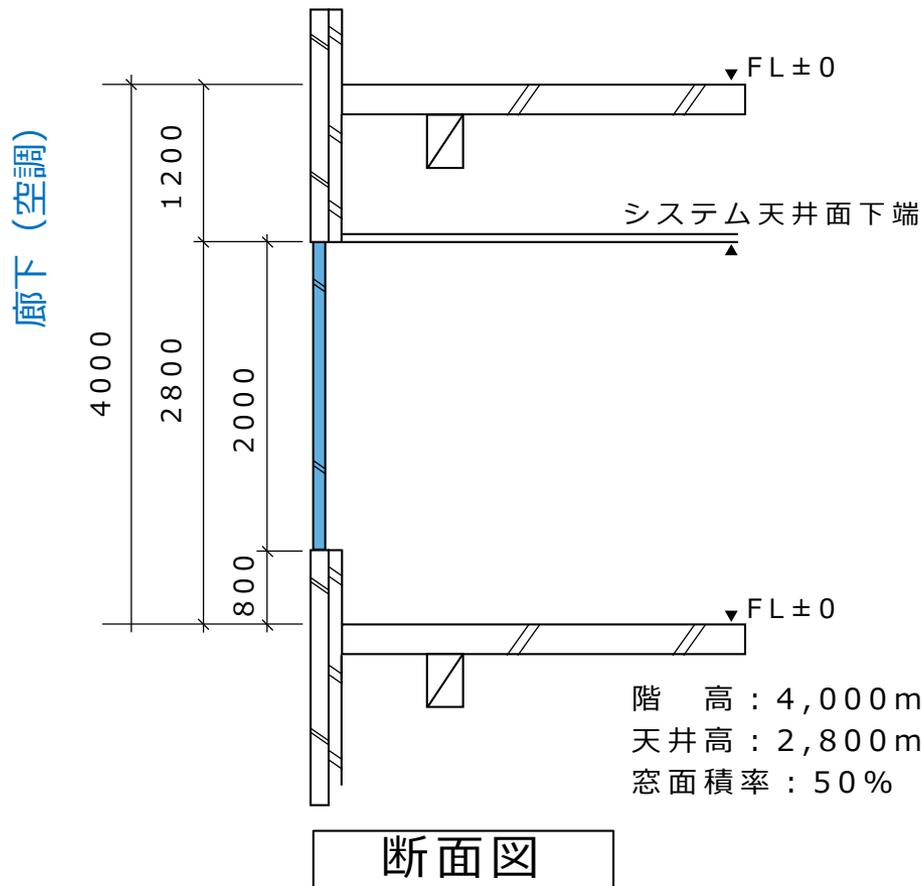
※空調方式は、1建物モデル1空調方式の計算ケースとする。

建物の室モデルの検討  
「事務所 事務室モデル」

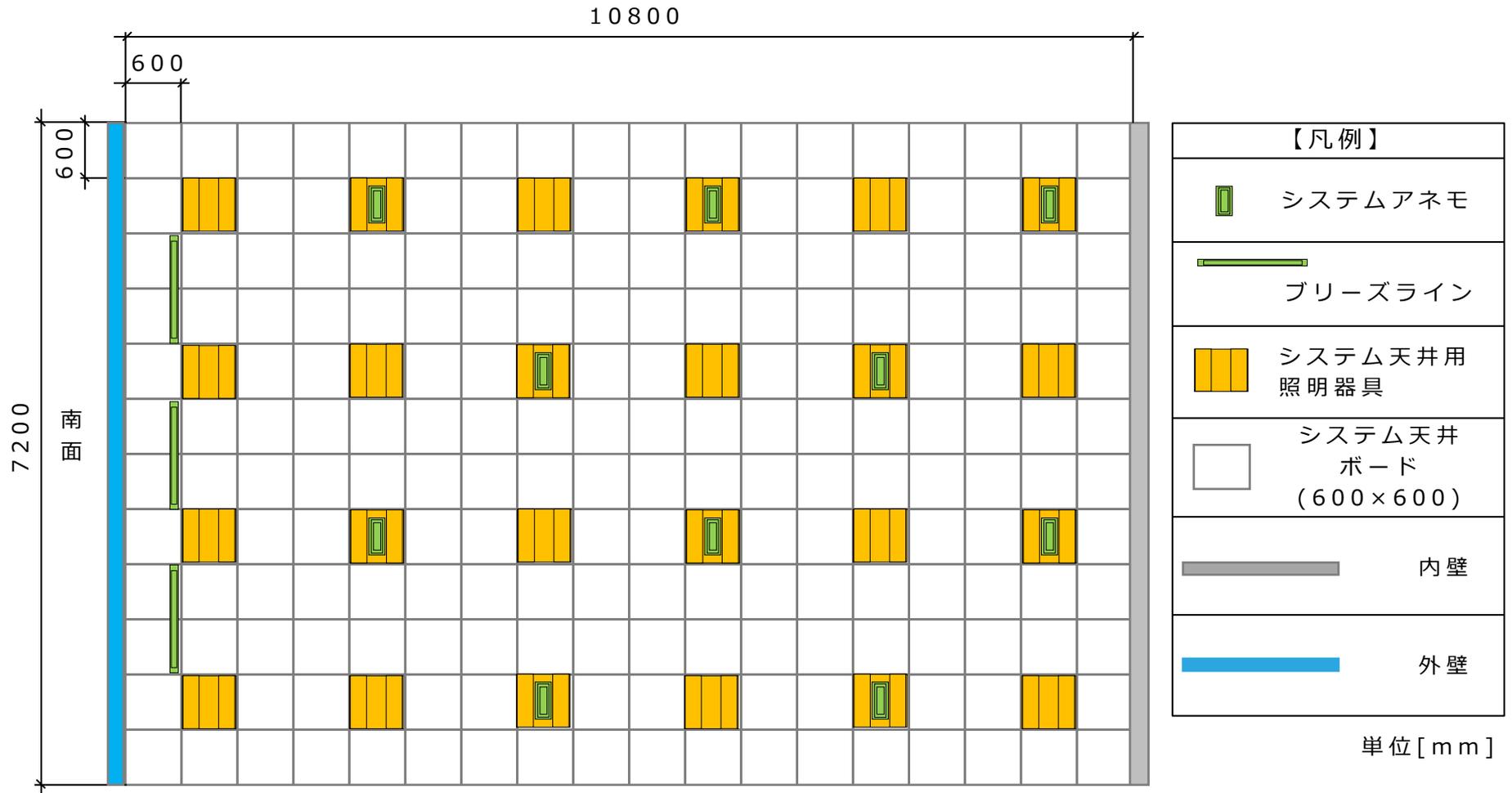
# 計算モデル平面図・断面図「大規模事務所」



床面積：622㎡  
 階高：4,000mm  
 天井高：2,800mm  
 窓面積率：50%



# 吹出口・吸込口の配置「大規模事務所」



# 吹出口・吸込口「大規模事務所」

## 吹出口 (インテリア)

器具種類: システムアネモ

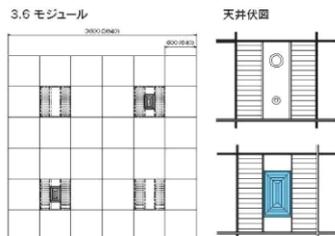
サイズ: W330[mm]、H210[mm]

ネックサイズ:  $\Phi 175\text{mm}$

風量: 207[m<sup>3</sup>/h]



照明組込型全体写真



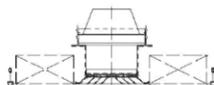
◎ 照明器具 / パナソニック, 東芝ライテック, 三菱電機, NEC 等

### 照明組込型 ラインナップ一覧

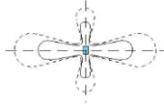
#### STE-M II (水平吹出 扇定)



断面図



気流パターン



- ◎ 多層コーン型
- ◎ 筒部の中に吹出口を配置するタイプ
- ◎ 安定した水平気流が得られます。
- ◎ 常に結露防止型などがあります。

## 吸込口

器具種類: システム天井照明器具

(一体型 LED ベースライトルーバータイプ)

サイズ: 600[mm] × 600[mm]



## 吹出口 (リメータ)

器具種類: システムH (プリーズライン)

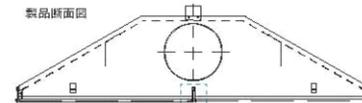
サイズ: L=1, 192[mm]

ネックサイズ:  $\Phi 175\text{mm}$

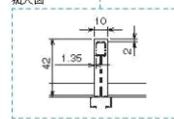
風量: 166[m<sup>3</sup>/h]



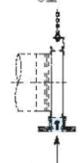
製品断面図



板大図

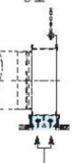


S型



吹出口=1本

D型



吹出口=2本

T型



吹出口=3本

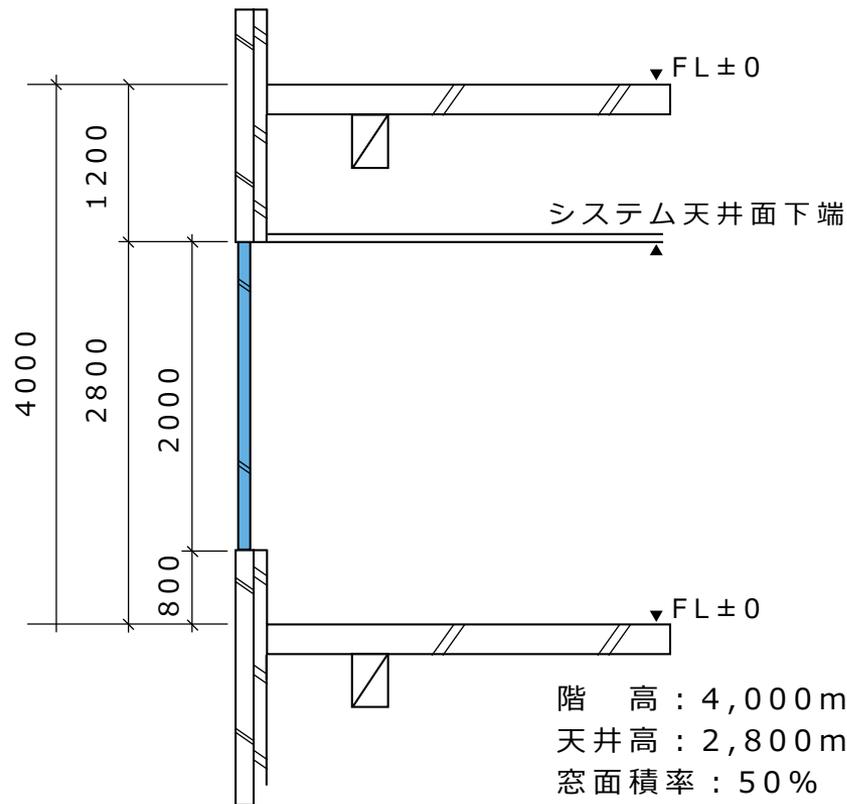
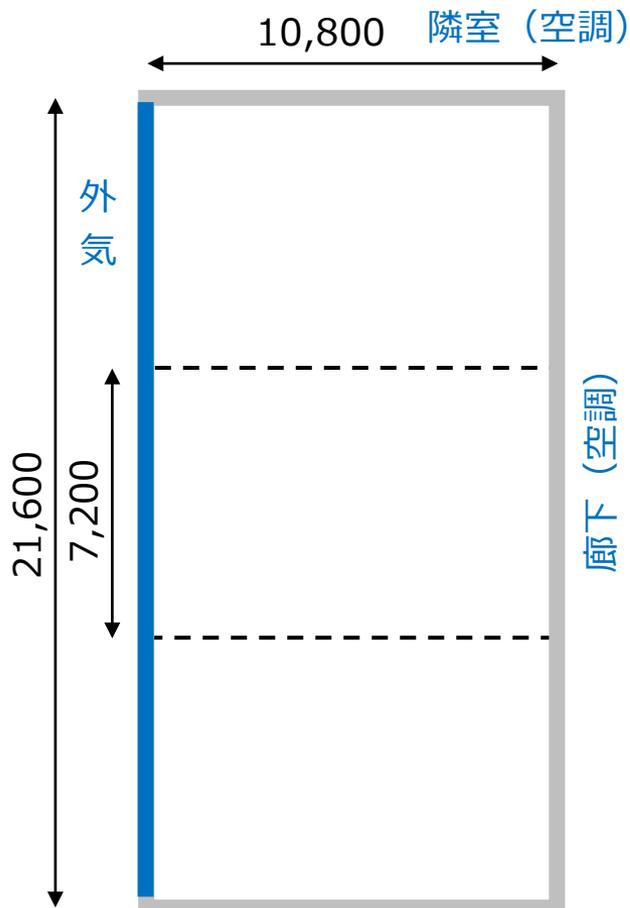
S型・D型のみ



※寸法は一例です。その他のサイズにも対応できます。

# 計算モデル平面図・断面図「小規模事務所」

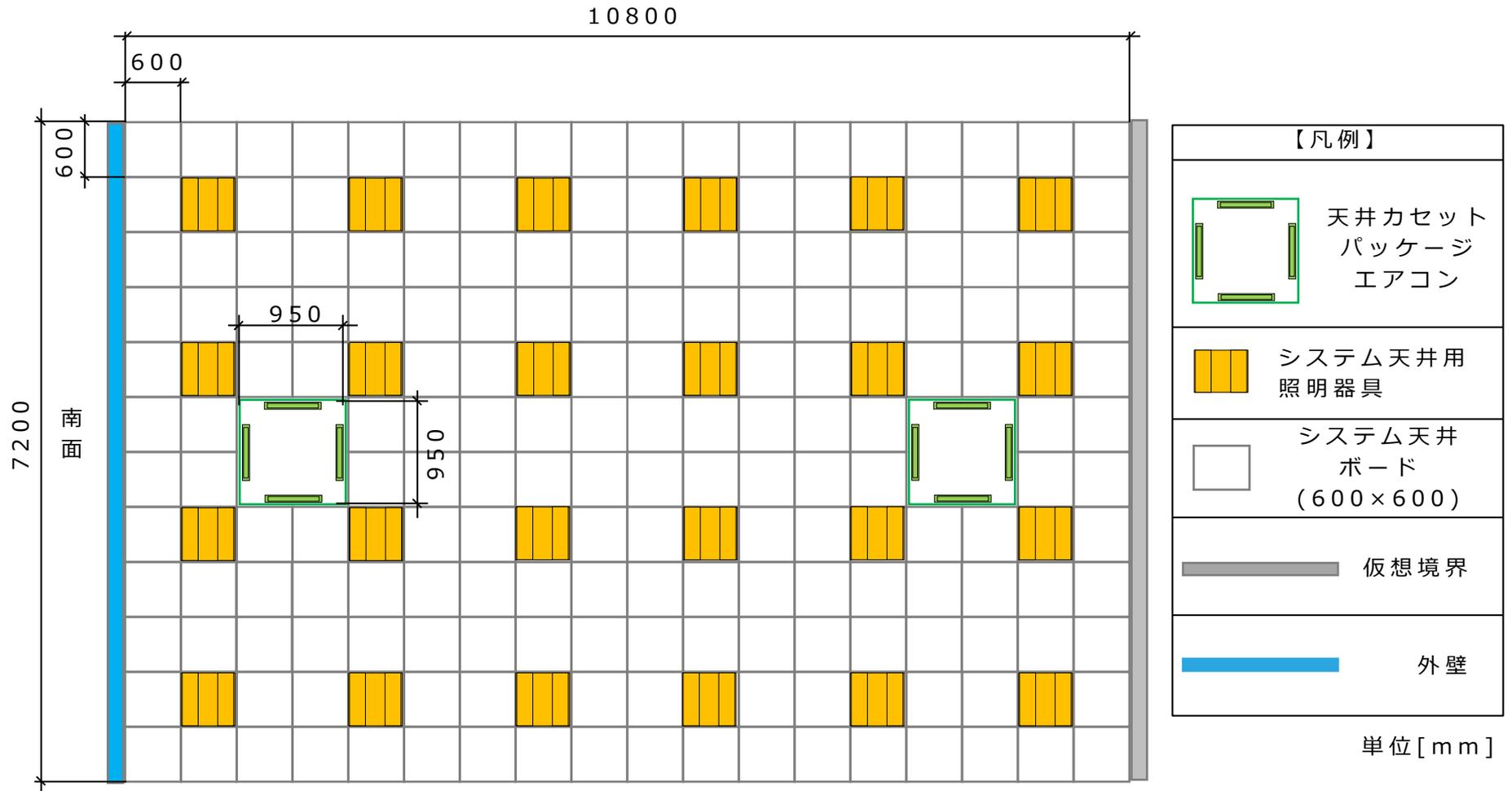
床面積：233㎡  
 階高：4,000mm  
 天井高：2,800mm  
 窓面積率：50%



階高：4,000mm  
 天井高：2,800mm  
 窓面積率：50%

断面図

# 吹出口・吸込口の配置「小規模事務所」

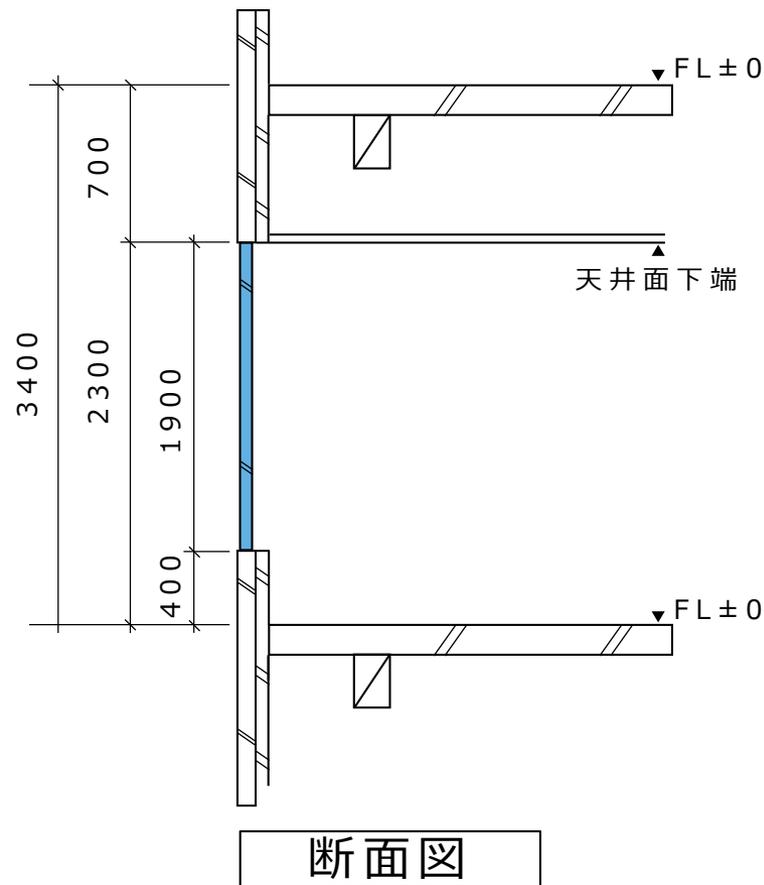
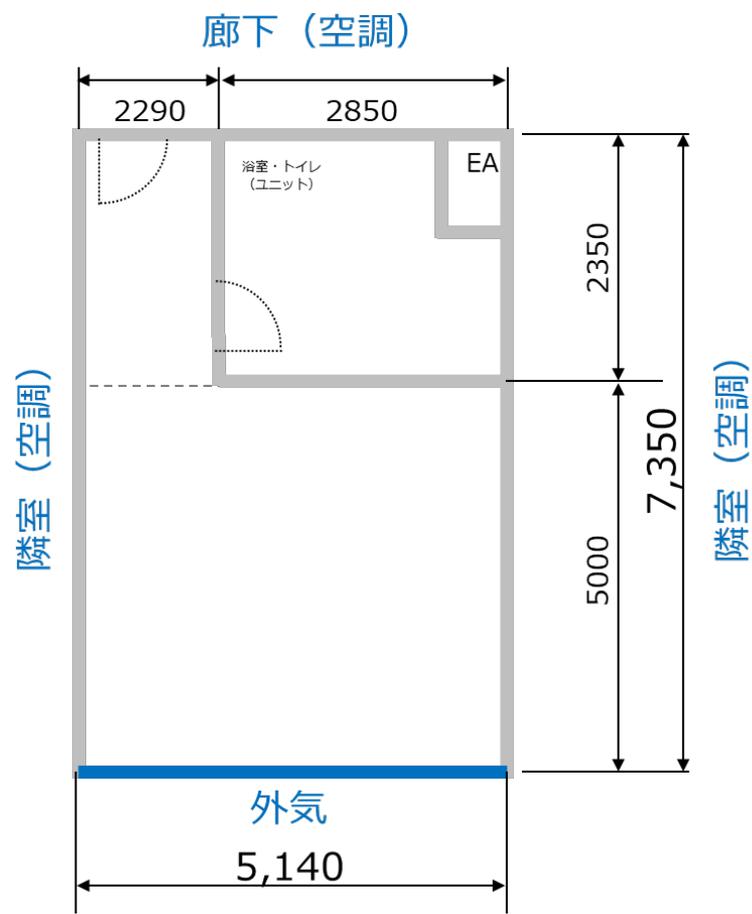




建物の室モデルの検討  
「ホテル 客室モデル」

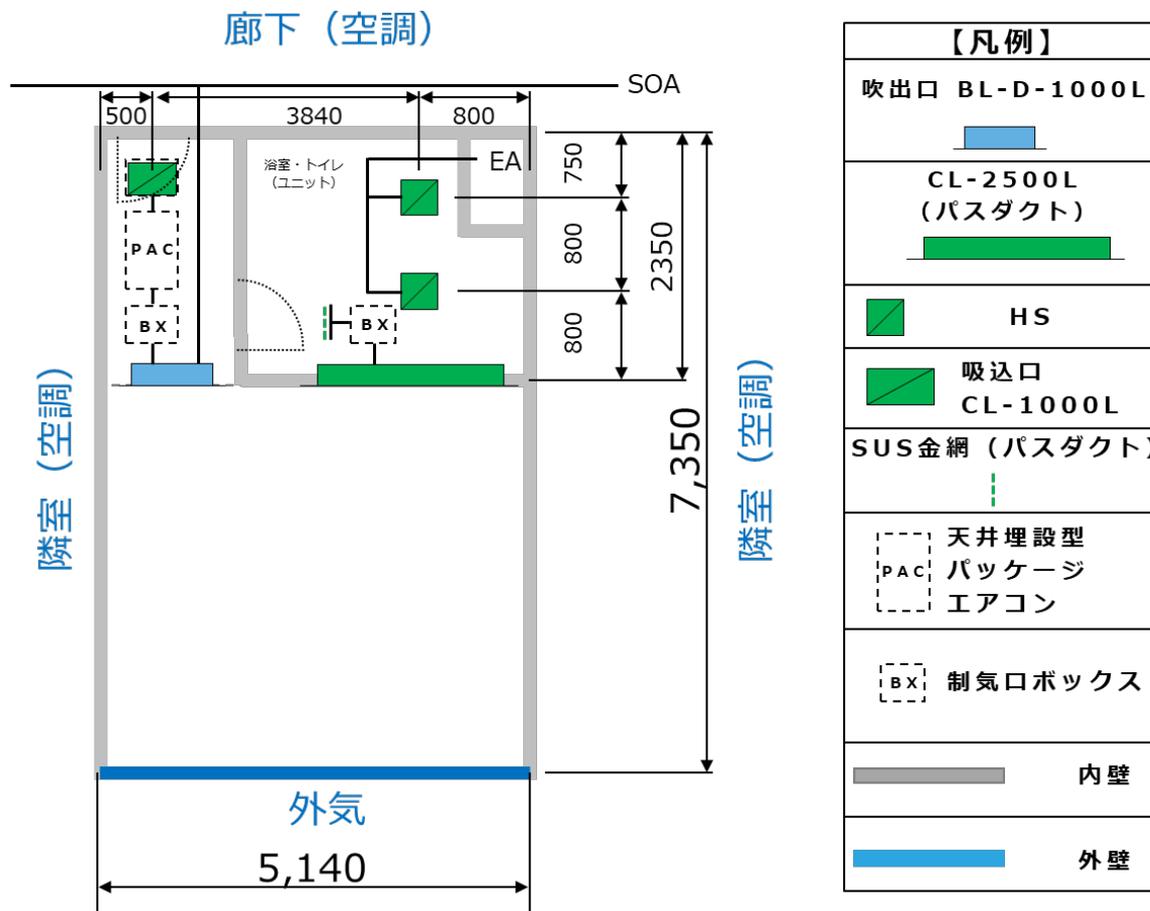
# 計算モデル平面図・断面図「ホテル」

✓ 37㎡の客室で、南側のみ外皮とし、他の壁面は隣室を空調室とした



# 吹出口・吸込口の配置「ホテル」

✓ 客室1室について天井埋設型のパッケージ空調機を配置



# 吹出口・吸込口「ホテル」

吹出口 (天井埋設型パッケージ・SOA 系統吹出口)

器具種類 : BL-D (ブリーズライン・ダブル)

風量 : 9.5[m<sup>3</sup>/min]

サイズ : 1000[mm] × 67[mm]



吸込口 (天井埋設型パッケージ・RA 系統)

器具種類 : CL-T (カームライン・トリプル)

サイズ : 1000[mm] × 65[mm]

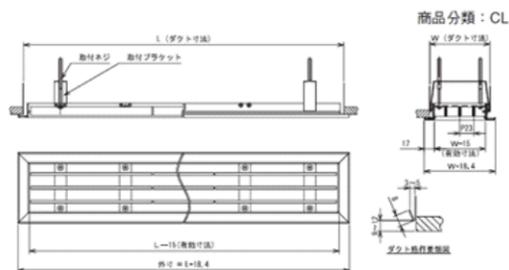
## ② カームライン CL 型 (アルミ製)

CL

線状吹出口として最もシンプルなもの、発生騒音が少なく到達距離が大きくとれるものです。



- ・静圧損失が非常に少ない為、到達距離が長くとれます。
- ・発生騒音が少ないです。
- ・CL 型も LD 型同様、連結していく事により任意の L 寸法が得られます。
- ・吸込口としてもご利用できます。

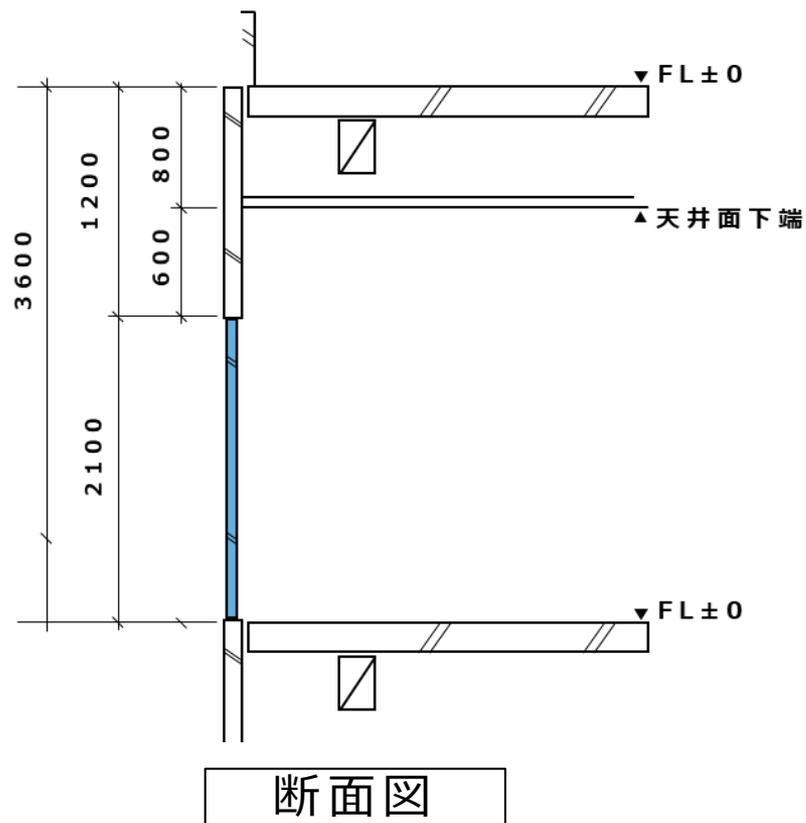
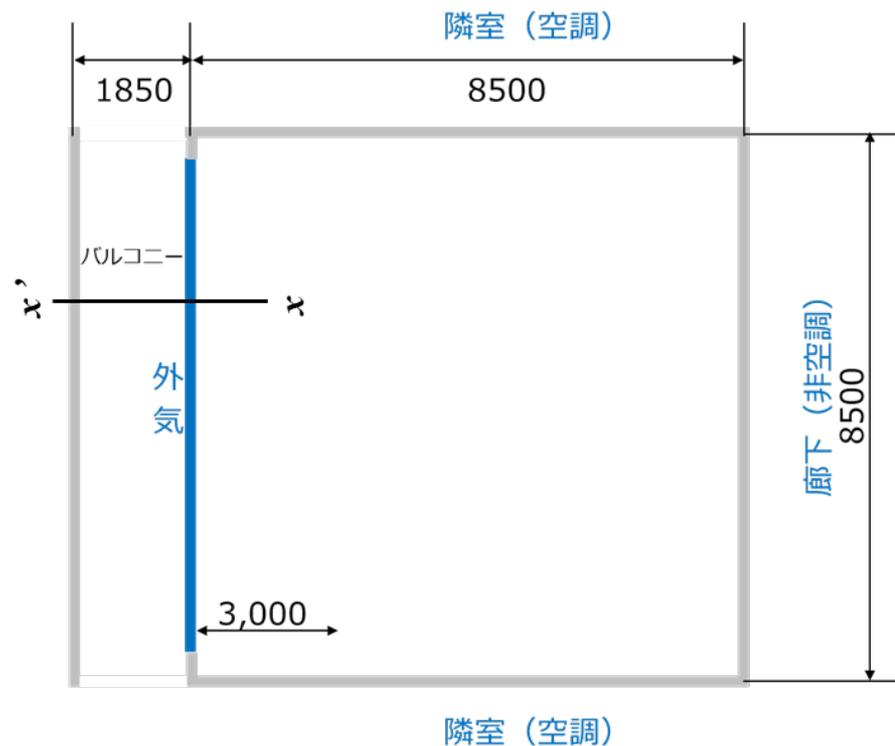


※標準仕様：表面仕上げはメラミン樹脂焼付塗装といたします。  
 ※羽根は、固定羽根で風向調整は不可です。

建物の室モデルの検討  
「学校 普通教室モデル」

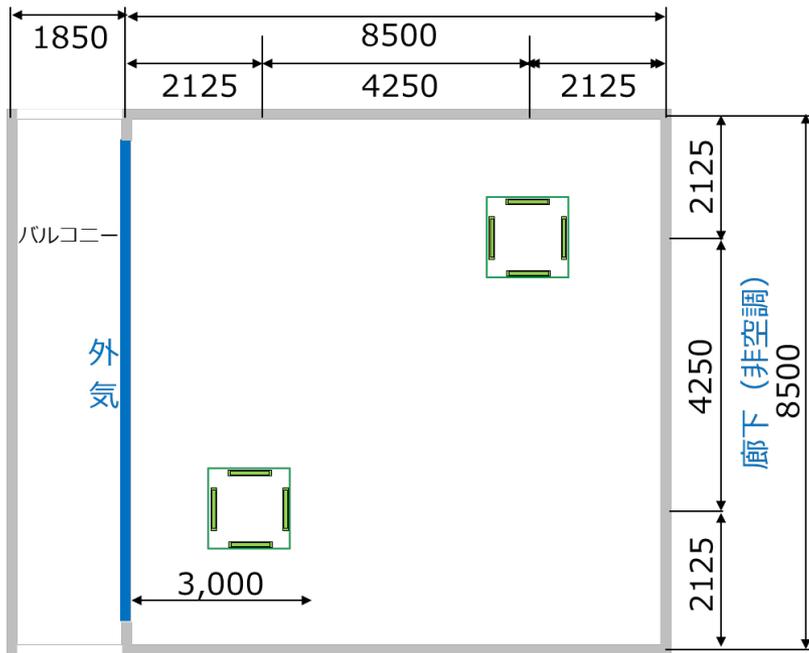
# 計算モデル平面図・断面図「学校」

✓ 72m<sup>2</sup>の普通教室で、南側のみ外皮とし、他の壁面は隣室を空調室とした。



# 吹出口・吸込口の配置「学校」

- ✓ 教室1室についてカセット式パッケージ空調機を2台配置



【凡例】	
	天井カセット パッケージ エアコン
	内壁
	外壁

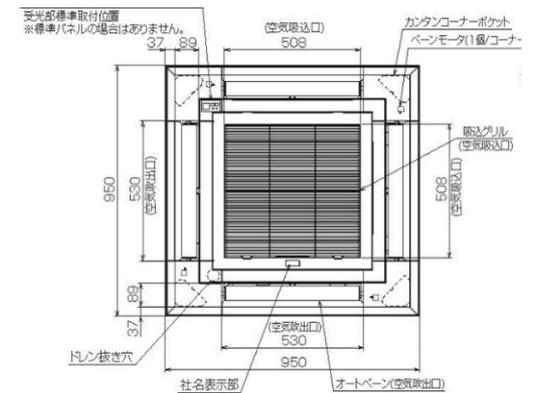
吹出口

器具種別:カセット式パッケージエアコン

風量 (額):25[m<sup>3</sup>/min]

中1-中2弱号:21-17-14[m<sup>3</sup>/min]

サイズ:950[mm]×950[mm]

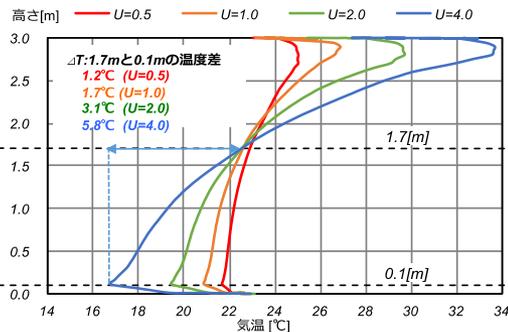


## ⑥ 室内温度分布のCFD計算

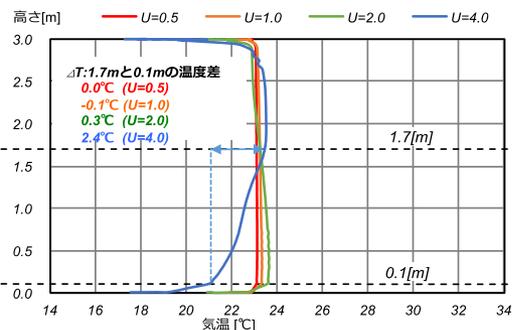
- ✓ 設定した計算パラメータに基づき、室内温度分布の試計算を実施
- ✓ 本格的な計算実施は、2020年度に実施
- ✓ 建築環境系でも検証例が多く、多数のケーススタディを行う事が可能なオープンソースのCFDツールキットのOpenFOAMを使用

## ⑦ 外皮の熱性能と空調方式による計算結果の整理

- ✓ 外皮の熱性能の違いによる計算結果を比較し、影響の大小を確認
- ✓ 本項目は、2020年度に実施

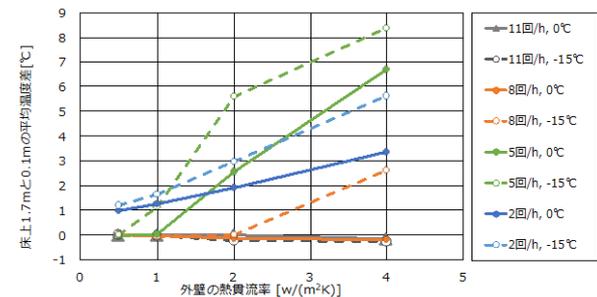


吹出風量：2[回/h]



吹出風量：8[回/h]

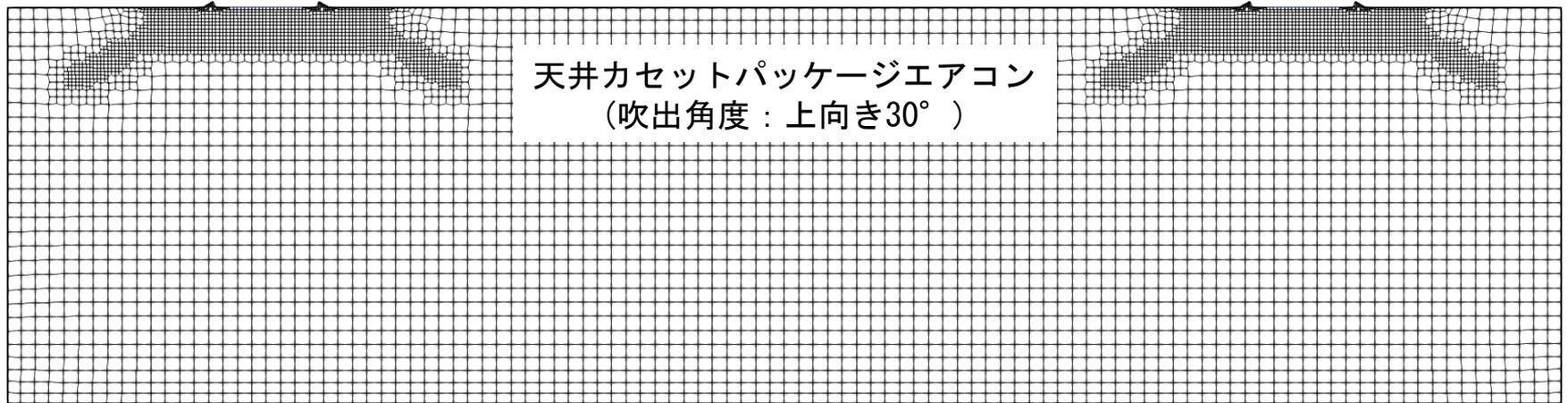
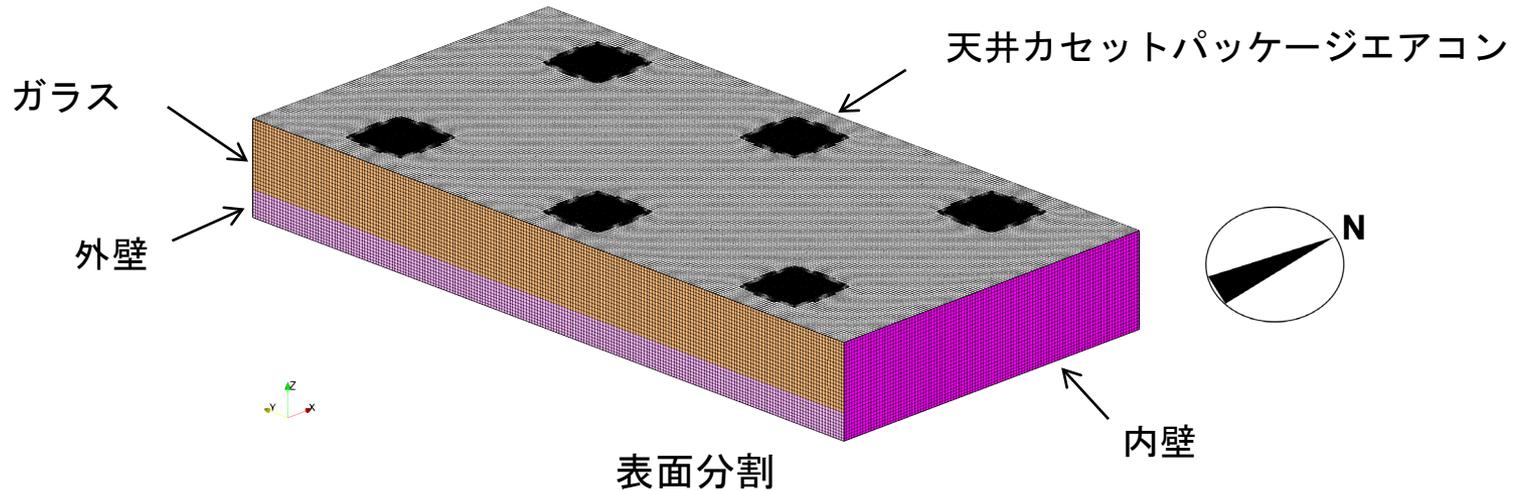
上下温度分布計算結果の整理のイメージ



外壁の熱貫流率と居住域上下温度差  
外壁の熱貫流率と  
室内環境評価のイメージ

# CFD計算での解析格子「小規模事務所」

- ✓ 室内温度分布の計算の予備検討として、小規模事務所における冷房時室内温熱環境の数値流体解析を実施



吹出口の南北方向断面

# 冷房時の解析ケース

- ✓ 熱負荷計算において空調機の顕熱負荷がピークとなる時刻と、ピーク顕熱負荷の約75%、約50%、約25%となる時刻を対象に、以下のケースで解析を実施

## 冷房時の解析ケース

ケース名 (*)	顕熱負荷 [kW] (/床面積 [W/m <sup>2</sup> ])	居住域平均 気温 [°C]	居住域平均 PMV	日時	外気温 [°C]
C-100-L	15.7 (70.6)	—	—	9月11日11時	31.5
C-100-T	—	26	—	“	“
C-100-P	—	—	1.24	“	“
C-075-L	12.5 (56.2)	—	—	7月31日15時	31.1
C-075-T	—	26	—	“	“
C-075-P	—	—	1.14	“	“
C-050-L	8.38 (37.7)	“	“	7月6日9時	28.6
C-050-T	—	26	—	“	“
C-050-P	—	—	0.91	“	“
C-025-L	4.19 (18.8)	—	—	5月8日20時	23.0
C-025-T	—	26	—	“	“
C-025-P	—	—	0.83	“	“

\*) C-N-L: 熱負荷計算結果の顕熱負荷を空調機の投入熱量としたケース

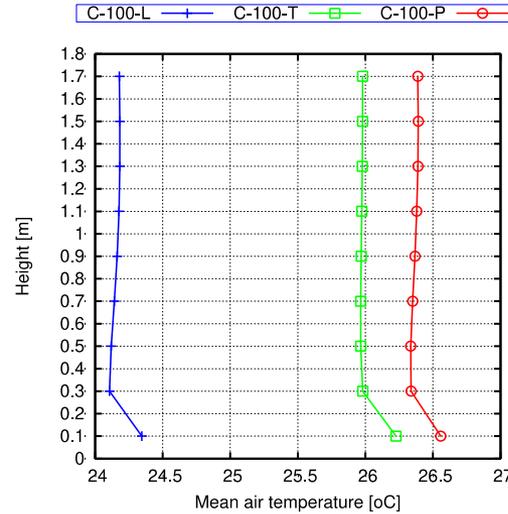
C-N-T: 居住域平均気温を熱負荷計算と同一になるよう空調機の投入熱量を設定したケース

C-N-P: 居住域平均 PMV を熱負荷計算と同一になるよう空調機の投入熱量を設定したケース

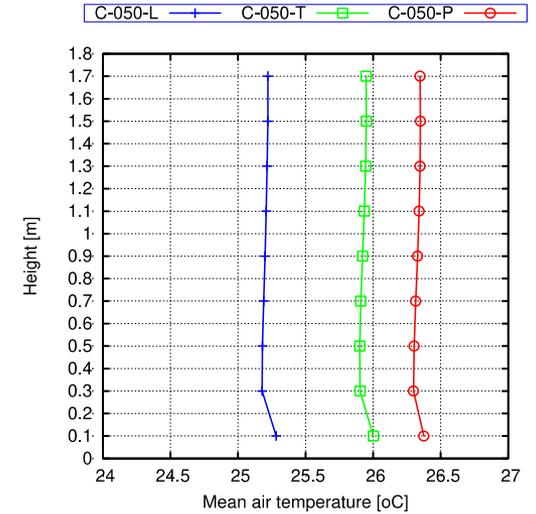
ここで、N はピーク負荷に対する割合 [%] である

# 上下温度分布計算結果

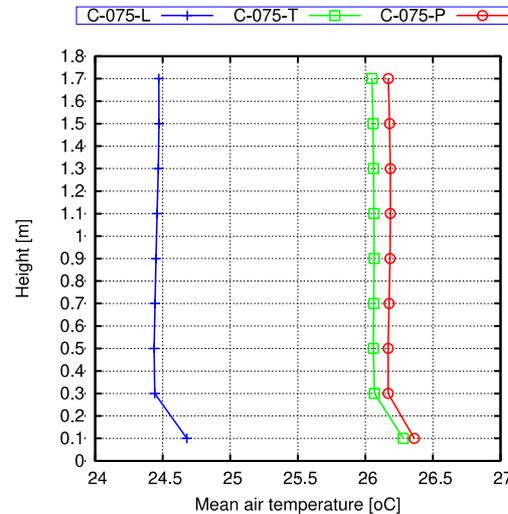
- ✓ 居住域における0.2m 高さ刻みの空間平均温度の鉛直分布を確認
- ✓ 床面は日射による流入熱があり、表面温度が高くなるため、0.1m 高さでの気温が多少高くなるが、概ね上下温度分布は小さい



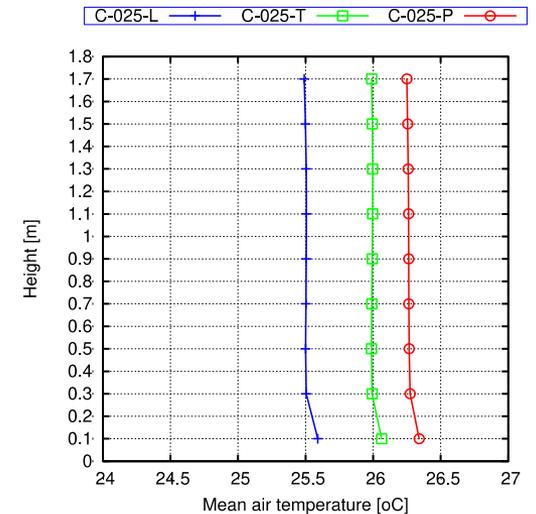
ケースC-100



ケースC-050



ケースC-75

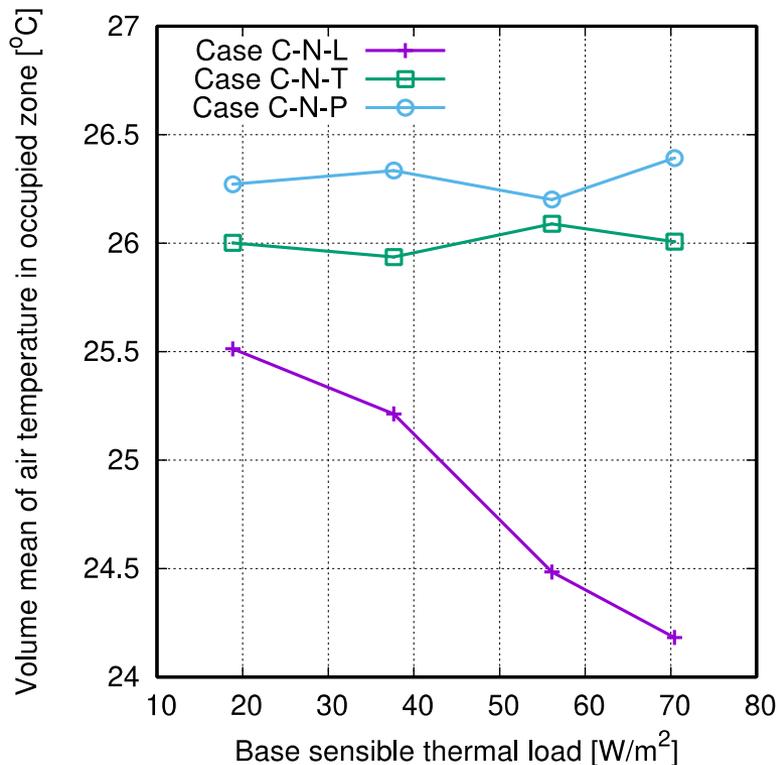


ケースC-25

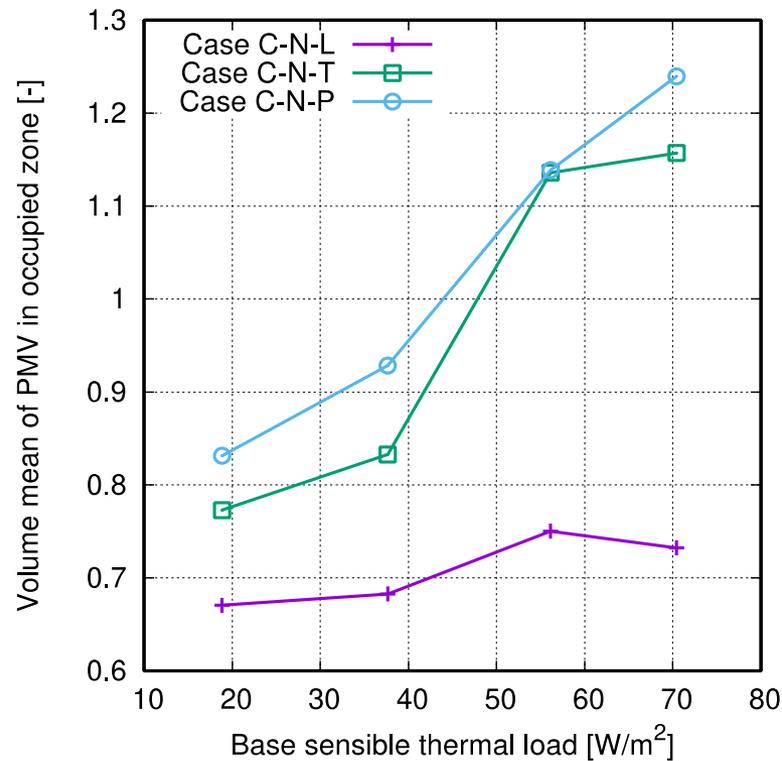
居住域における0.2m高さ刻みの空間温度の鉛直分布

# 居住域空間平均気温・居住域空間平均PMV計算結果

- ✓ ケースC-N-L では、居住域平均気温は冷房設定温度より低い(図a)
- ✓ PMV値も低くなった(図b)



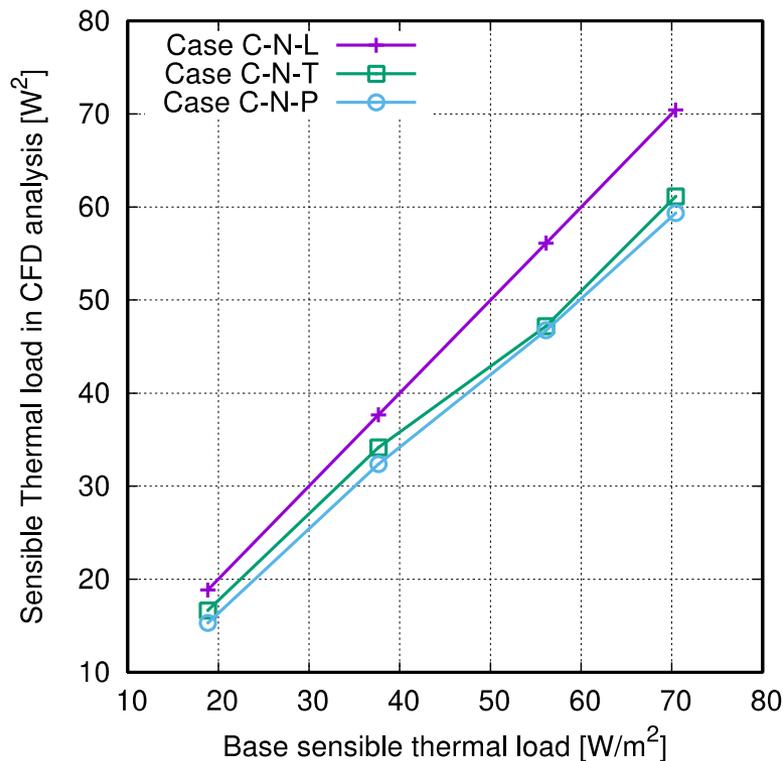
(a) 居住域平均気温



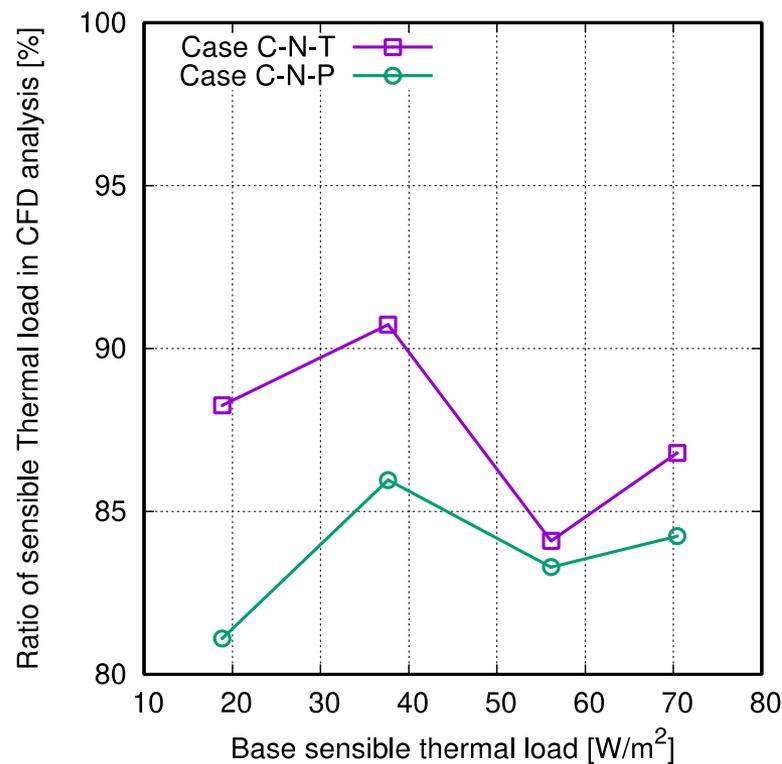
(b) 居住域平均PMV

# 居住域顕熱負荷計算結果

- ✓ ケースC-N-T では、顕熱負荷は元の負荷に比べて減少し、約85%~90%の割合
- ✓ C-N-P では、顕熱負荷は元の負荷に比べて約80%~85%の割合



(c) 顕熱負荷



(d) 顕熱負荷の割合

## ⑧ 空調エネルギー消費量の評価手法検討

建物外皮の断熱性能の違いによる室内の上下温度分布や外皮等の表面温度による放射等の室内温熱環境の影響を考慮した空調エネルギー消費量の評価手法の案を提案した。

建築物省エネ法における非住宅建築物の空調エネルギー消費量計算では、室内の平均（代表点）空気温度が同一の条件で計算を行っている。ただし、建物外皮の断熱性能の違いにより室内温熱環境は異なる。

そこで、室内温熱環境を同等にするために必要となる空調エネルギーの増加分を想定し、この増加分を加えたものを空調エネルギー消費量とする評価手法の案を検討した。

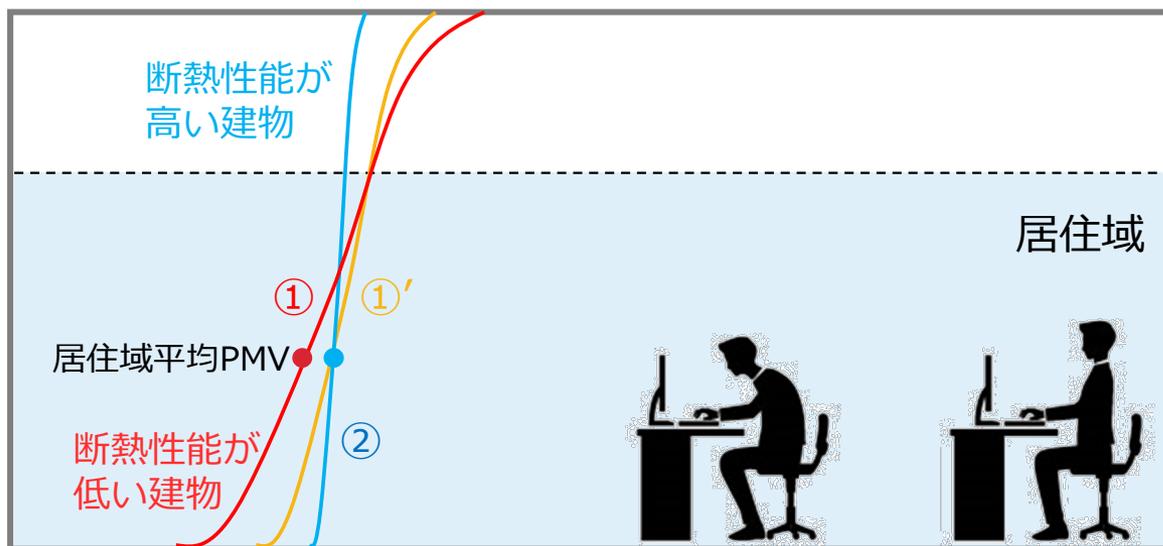
本調査での提案する同等な室内温熱環境の定義は以下である。

- ・ 居住域の平均PMVが同等
- ・ 上下温度差(1.7m-0.1m)が許容範囲内(3°C未満)

※居住域：ASHRAE55での定義に従い、外壁と空調機から1.0m以上、内壁から0.3m以上、高さ1.8m以内の領域とする。

# 補正の評価手法（補正值の算出方法）案

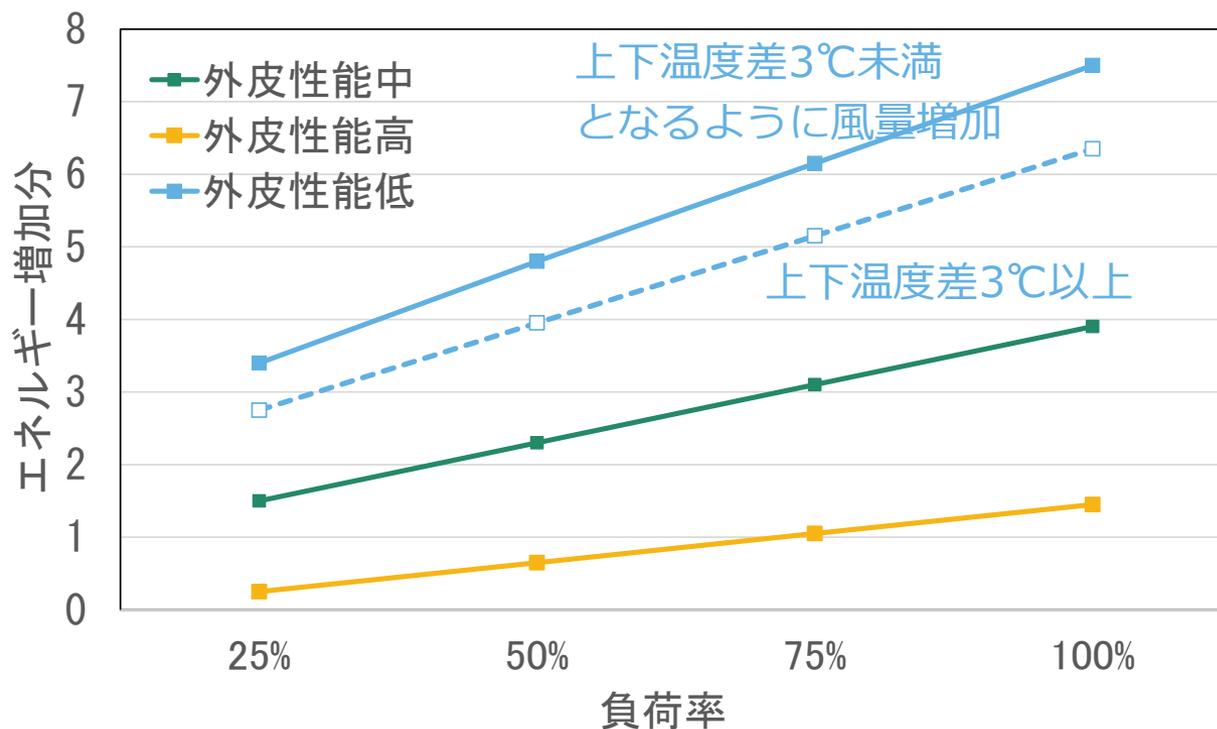
- 1) 室全体の平均気温は同じ状況であるが、断熱性能が低い建物と、断熱性能が高い建物では、上下温度分布が異なると想定  
更に、居住域の平均温度、平均温熱環境(PMV)も、断熱性能が低い建物（図中①）と、断熱性能が高い建物（図中②）で異なると想定
- 2) 同等な室内温熱環境（居住域平均PMVが同一で、上下温度差が $3^{\circ}\text{C}$ 未満）となるように空調することを想定（図中①'）
- 3) 居住域平均PMVが②と同じで、上下温度差が、 $3^{\circ}\text{C}$ 以内なる状況とするため、断熱性能が低い建物は、供給熱量を増加（供給温度を変更）、更に吹出風量を増加する。  
その際の供給熱量とファン動力増加分を、エネルギー増加分とする。



暖房時の上下温度分布計算結果イメージ

# 補正の評価手法（補正值の算出方法）の整理案

- 4) 外皮性能別の負荷率とエネルギー増加分の関係式を作成し、外皮性能による空調エネルギー補正量の関係を作成する。



外皮性能とエネルギー増加分の関係の計算結果イメージ

## 4. まとめ

# まとめ

本調査では、外皮(外壁、屋根、床、窓)の熱性能及び空調方式が、室内の上下温度分布等の温熱環境に及ぼす影響を踏まえた空調エネルギー消費量の評価手法を開発することを目的とし、以下の調査を行った。

## (イ) 外皮の熱性能及び空調方式の実態把握

外皮の熱性能及び空調方式が室内の上下温度分布等の温熱環境に与える影響を考慮した評価手法を開発するために、図面調査や設計実務者にヒアリングを行い、解析に使用するパラメーター(外皮の熱性能、空調方式)を地域、建物用途別に収集・整理した。

## 調査対象

- ✓ 調査先:設計事務所4社、ゼネコン5社
- ✓ 調査建物:事務所28件、ホテル19件、学校17件、老健施設12件の合計76件

## 外壁と窓を合計した熱貫流率

- ✓ 熱貫流率の分布は、 $0.3\sim 3.9[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$ の範囲で分散
- ✓ 温暖地での平均値は、老健施設の断熱性能が高く、単板ガラスの建物があるホテルは低い  
事務所 $1.51[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$ 、ホテル $2.01[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$ 、学校 $1.81[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$ 、老健施設 $1.62[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$
- ✓ 寒冷地での平均値は、建物用途による違いは少ない  
事務所 $1.15[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$ 、ホテル $1.18[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$ 、学校 $1.01[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$

## 空調方式

- ✓ 空調熱源方式は、事務所は、中央式の建物もあるが、その他の建物用途は、個別分散式の建物が多い
- ✓ 空調方式では、放射式の空調方式を採用している建物はほとんどなく、概ね対流式の空調方式
- ✓ ペリメータ専用の空調機を設置している建物は概ね事務所のみで、その他の建物用途は、ペリメータ専用機の設定はほとんどない
- ✓ これらの空調方式を、数値流体解析(CFD)を行うモデル建物の基本仕様とする

# まとめ

## (□) 外皮の熱性能及び空調方式による室内の上下温度分布等の解析

外皮の熱性能の違いによる室内の上下温度分布等をCFDによって把握する。外皮の熱性能と空調方式が室内の上下温度分布等の温熱環境に及ぼす影響を整理し、それらの影響を踏まえた空調エネルギー消費量の評価手法を開発する。

本年度は、CFDを行うための計算パラメータの想定と、CFDの試計算、空調エネルギー消費量の評価手法の案を提案した。

## 計算パラメータ想定

CFD計算ケースとして、以下のパラメータの組み合わせにより、最大で192ケースを設定

- ・ 計算モデル建物 : 大規模事務所・小規模事務所の事務室、ホテルの客室、学校の普通教室
- ・ 計算地域 : 温暖地 (6地域)、寒冷地 (2地域)
- ・ 外皮の熱性能 : 外壁+窓の熱貫流率が平均断熱性能、高断熱性能、低断熱性能
- ・ 熱負荷条件 : 最大負荷時、最大熱負荷の75%、50%、25%の時刻

## CFD試計算実施

小規模事務所の冷房時の計算を行い、室内環境や供給熱量が評価可能なモデルの構築を確認

## 空調エネルギー消費量の評価手法案

室内の温熱環境分布を考慮した上で、同等な室内温熱環境を実現するために必要となる空調エネルギー消費量の差異を評価指標とする

## 今後の実施内容

- ・ 他の建物モデルのCFD計算モデルの作成、CFD計算実施と計算結果の整理
- ・ CFD計算結果を元に評価指標の算出を行い、提案した評価方法が有効性を検討

**NIKKEN**  
EXPERIENCE, INTEGRATED

