



快適な空間形成のための空調技術の動向

関東学院大学工学部建築学科
大沢記念建築設備工学研究所
遠藤智行

CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

空気調和の定義



- 保健用(または快適)空気調和
 - 居室内の人間を対象として、快適で健康的、もしくは作業効率の高い室内環境を形成することを目的とする空気調和
- 産業用(工服用)空気調和
 - 特別に清浄な空気が要求されるIC工場のクリーンルームや厳しい温度制御の必要な精密機器工場などを対象とする空気調和

CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

空気調和の手段



■ 換気

- 室内空間の空気質の調整技術・・・健康的に暮らすために
 - 自然(パッシブ)換気 効果的な取り込み手法
 - 機械換気 換気効率(高効率換気システム)

■ 冷暖房

- 室内空間の温度・湿度の調整技術・・・快適に暮らすために
 - パッシブ冷房 効果的な取り込み手法
 - エアコン(機械) 暖房方式と温熱環境
 - 床暖房等々

CPD中央講座 2008.10.25

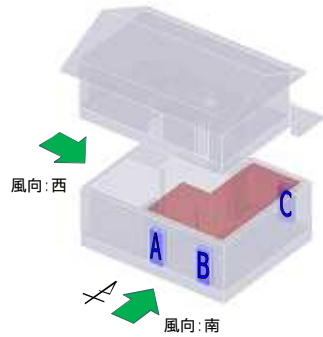
Kanto Gakuin University, Japan

パッシブ換気(冷房)の効果的な取り込み手法



Kanto Gakuin University, Japan

ウインドキャッチャー効果

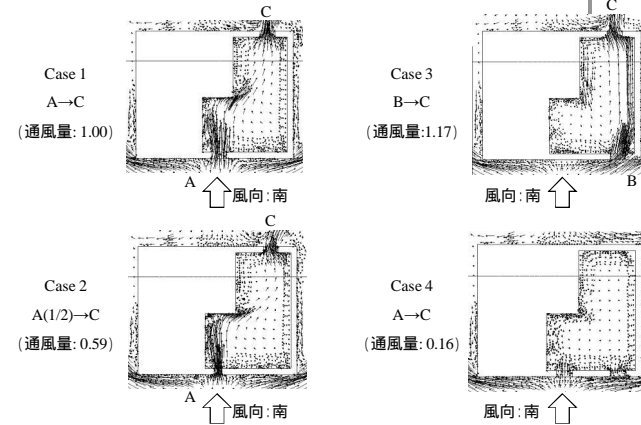


- 1階LDKに設置されたA,B,Cの3ヶ所の開口部による自然換気(通風)量を検討
- 外部風は南からと西からの2ケースを想定

CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

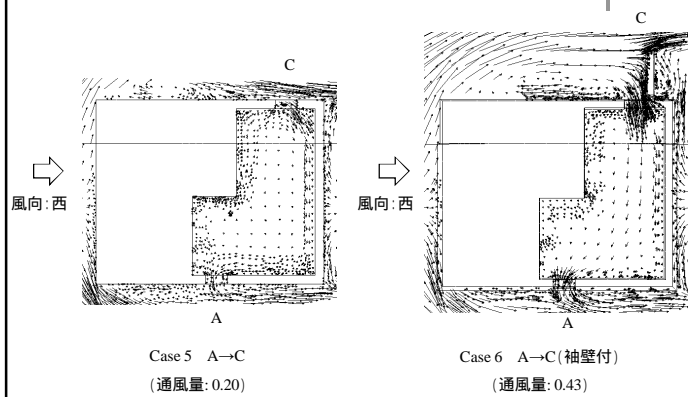
外部風が建物正面から吹く場合



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

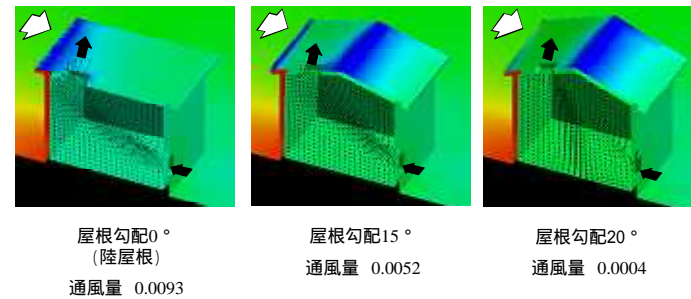
外部風が建物側面から吹く場合



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

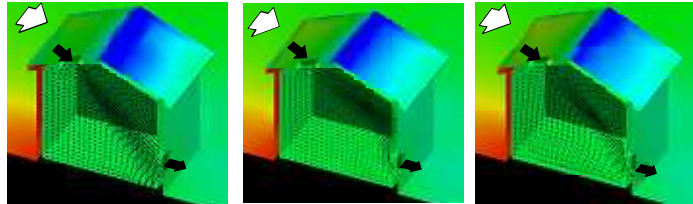
屋根面の利用 勾配 20°以下



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

屋根面の利用 勾配 20° 以上



屋根勾配22°
通風量 0.0017

屋根勾配23°
通風量 0.0027

屋根勾配25°
通風量 0.0035

CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

密集市街地における屋根面利用



- 密集市街地では、通風は無理？



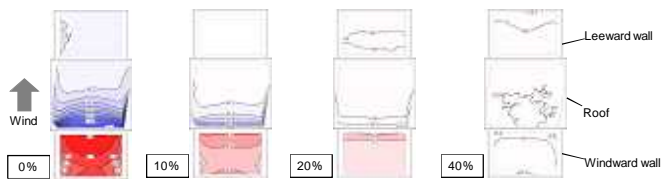
CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

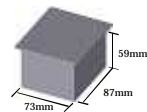
グロス建蔽率による風圧係数変化



- 陸屋根(0°勾配)



赤: 正圧、青: 負圧



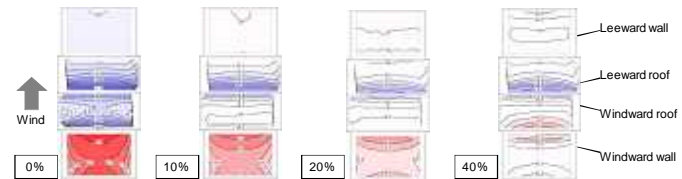
CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

グロス建蔽率による風圧係数変化



- 15°勾配屋根



赤: 正圧、青: 負圧

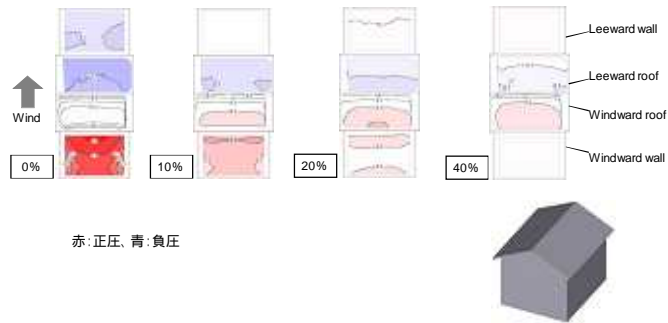


CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

グロス建蔽率による風圧係数変化

■ 27° 勾配屋根

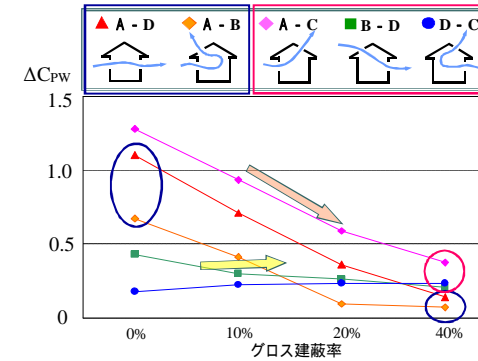


CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

グロス建蔽率による風圧係数差

■ 27° 勾配屋根



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

参考・引用文献

1. 遠藤智行他、通風へのCFDの利用: 日本風工学会誌 第30巻、第4号(通号第105号)、pp.441-450 (2005.10)
2. Tomoyuki Endo, et al., Enhancement of cross-ventilation of a detached house using roof surfaces in densely populated urban areas Part1 Wind pressure distribution by wind tunnel experiment.: PALENC2007 and 28th AIVC conference, pp.298-303 (2007.9)

CPD中央講座 2008.10.25

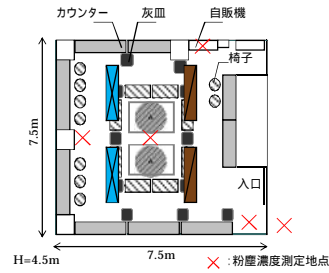
Kanto Gakuin University, Japan

受動喫煙抑制のための 高効率換気システムの開発



Kanto Gakuin University, Japan

現状把握 測定室概要 (Aビル)



- ◆ 水平方向:4か所(H=1100mm)
- ◆ 鉛直方向:3か所
(H=2100,1100,500mm)
- ◆ 給気口:天井 2ヶ所(外気)
- ◆ 排気口:天井 2ヶ所
- ◆ 天井吹出し、天井吸いこみの一般的なシステム

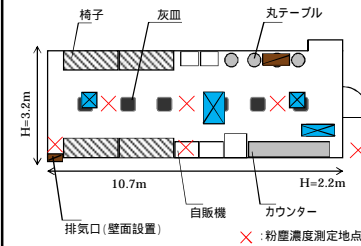
寸法	7.5 × 7.5 × 4.5 [m]
容積	253 [m ³]
床面積	56 [m ²]
設計排気量	4300 [m ³ /h]
設計換気回数	17 [回/h]

17

CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

測定室概要 (Bビル)



- ◆ 水平方向:5か所(H=1100mm)
- ◆ 鉛直方向:3か所
(H=2100,1100,500mm)
- ◆ 給気口:外気2ヶ所、廊下還気2ヶ所
- ◆ 排気口:天井1ヶ所、室奥壁面1ヶ所
- ◆ 室奥へ空気を誘導する意向

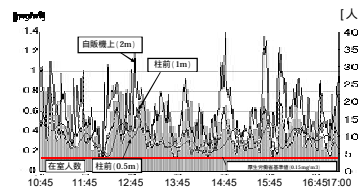
寸法	3.2 × 10.7 × 2.2 [m]
容積	75.3 [m ³]
床面積	34.2 [m ²]
設計排気量	4300 [m ³ /h]
設計換気回数	57 [回/h]

18

CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

喫煙室実測結果



- ◆ 粉塵濃度は基準値を大きく上回った
- ◆ 在室者と濃度変化の相関は高い

換気量の増大のみでは対応が困難
高効率換気システムの必要性

	Aビル	Bビル
利用者数[人]	約950	約1450
平均在室人数[人]	14.0	15.3
平均在室密度[人/m ²]	0.25	0.45
平均粉塵濃度[mg/m ³]	0.46	0.56

19

CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

空気齢



出典: 松下テクノトレーディング株式会社、トレーサガスをを用いた換気測定

空気齢とは、その空気が部屋の中に存在していた時間の長さのこと。

図中、左側ほど空気が新しく(若く)、右へ行くと古い(老いた)空気となる。

CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

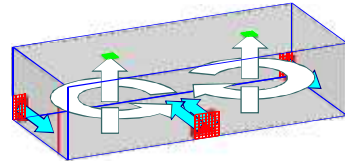
提案 トルネード型換気システム

縦トルネード型

室内鉛直方向に軸をもつ旋回流



床から天井に向かう流れ場を形成

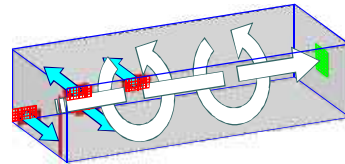


横トルネード型

水平方向に軸を持つ旋回流



室手前から奥に向かう流れ場を形成

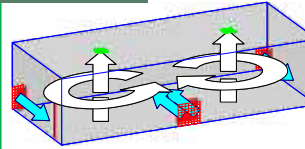


CPD中央講座 2008.10.25

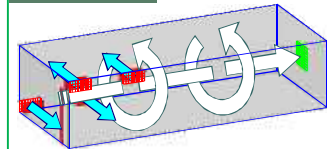
Kanto Gakuin University, Japan

CFD 検討モデル

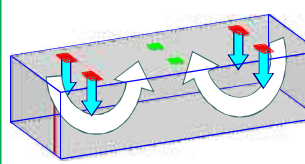
縦トルネード型



横トルネード型



天井吹出し型



対象空間

9.6 m*4 m*2.4 m=92.16 [m³]

換気量: 50[m³/h/m²], 1920 [m³/h]

在室人数は0, 4, 8, 12[人]を想定

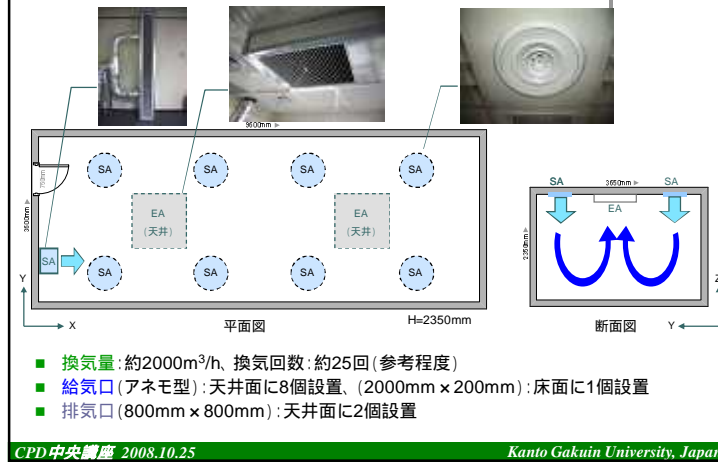
給気口サイズ及び風量は以下に統一

	寸法 [m]	風量 [m ³ /h]	風速 [m/s]
ドア風量	0.2*2	300	0.21
給気口	0.4*0.8	405	0.35

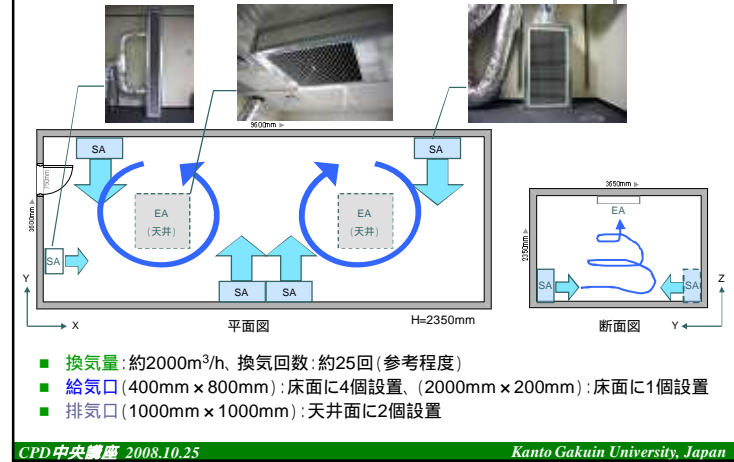
CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

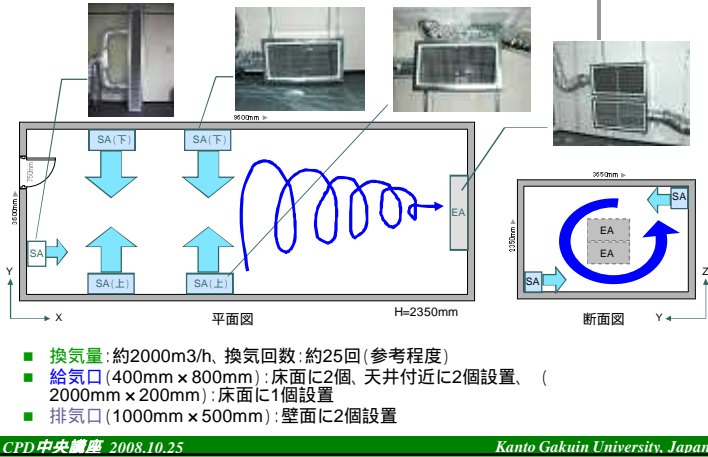
天井吹出し設備概要



縦トルネード設備概要



横トルネード設備概要

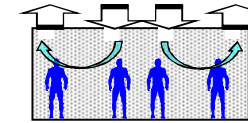


空気交換効率 ϵ^a

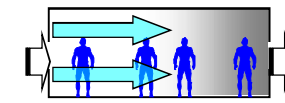
空気交換効率 ϵ^a

$$a = \frac{n}{2} \quad \begin{matrix} \tau_n : \text{公称時定数 [s]} \\ \tau : \text{平均空気齢 [s]} \end{matrix}$$

- 室内空気の交換能力を測る尺度
- 最低が0、最大が1
- 汚染は室内に一樣に発生すると仮定



一様混合状態 $\epsilon^a=0.5$

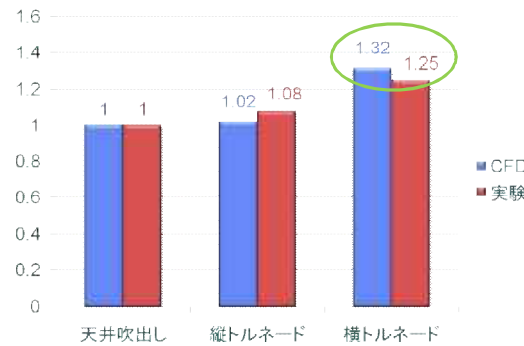


プラグフロー 最大の $\epsilon^a=1$

Kanto Gakuin University, Japan

空気交換効率 無人 まとめ

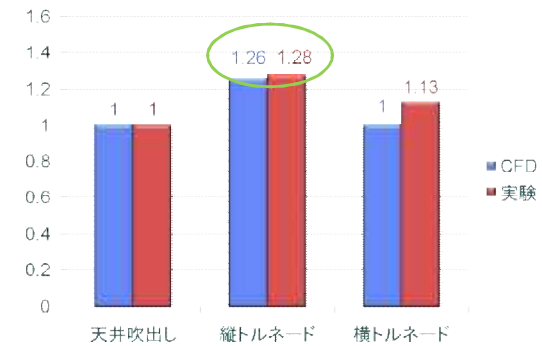
- 空気交換効率 無人 結果 天井吹出しの結果で基準化



Kanto Gakuin University, Japan

空気交換効率 発熱体有 まとめ

- 空気交換効率 発熱体有 結果 天井吹出しの結果で基準化



Kanto Gakuin University, Japan

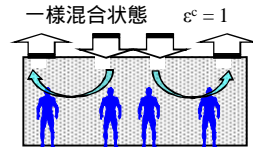
汚染除去効率 ϵ^c による評価

汚染質除去効率 ϵ^c

$$\epsilon^c = \frac{C_e}{C}$$

C_e : 排気濃度
 C : 室全域平均濃度

- 汚染の滞留の少なさを評価する指標
- 室内一様混合状態で $\epsilon^c = 1$
- 除去効率なので、数値が高い方が高効率

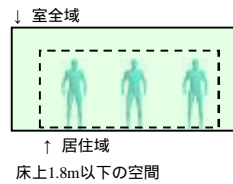


居住域汚染質除去効率 $\epsilon^{c'}$

$$\epsilon^{c'} = \frac{C_e}{C'}$$

C_e : 排気濃度
 C' : 居住域平均濃度

- 評価領域を居住域に限定

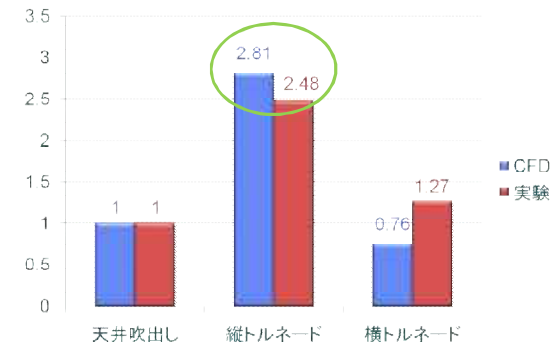


CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

汚染除去効率 発熱体有 まとめ

■ 汚染除去効率 発熱体有 結果 天井吹出しの結果で基準化



Kanto Gakuin University, Japan

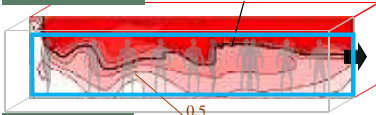
汚染質濃度分布

縦トルネード型



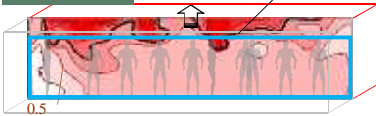
居住域内の汚染質が
効率良く取り除かれている。

横トルネード型



汚染質が室全域に滞留してしまい、
効率の良い換気が行われていない。

天井吹出し型



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

縦トルネード型 風速ベクトル分布

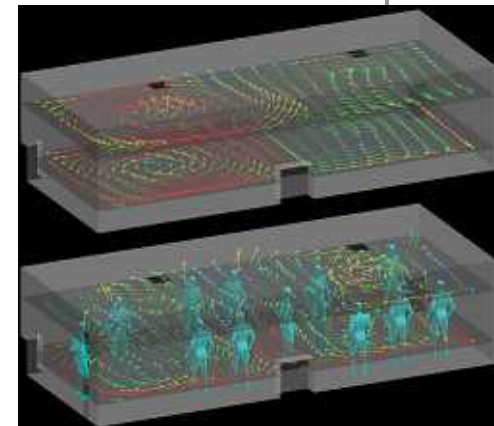
無人状態

室下方から上方に向
かう旋回流を形成

有人状態

熱上昇気流は旋回流
の形成を助長。

効率が上昇



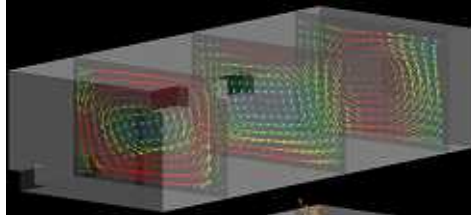
CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

横トルネード型 風速ベクトル図

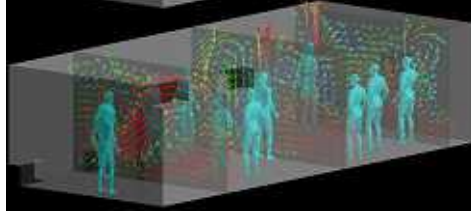
無人状態

室手前から奥に向かう
旋回流を形成



有人状態

熱上昇気流により、旋
回流が乱れる。
効率が低下



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

高効率換気システム

- 喫煙が伴うなど、大量の汚染質が発生する室内の空気環境を良好に保つためには、換気量の確保に加え、高効率換気システムの導入が必要である。
- 居住域の汚染物質を効果的に除去するためには、縦トルネード型のように床から天井に向かう一方方向性の強い換気システムが有効である。

Kanto Gakuin University, Japan

参考・引用文献

3. 遠藤智行他、高効率換気システムの導入による喫煙室内空気質環境の改善に関する研究：空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.261-264 (2008.8)
4. 松下テクノトレーディング株式会社、トレーサガスを用いた換気測定、p.14 (1989.10)

CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

異なる暖房方式における 室内温熱環境



Kanto Gakuin University, Japan

暖房方式

■ エアコン

- **対流**による暖房方式。室内空気中に高温気流を導入し、空気温度を温める。

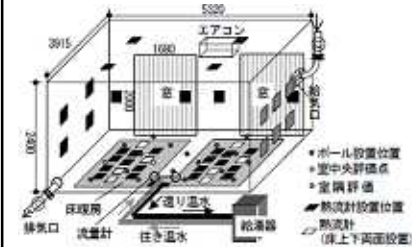
■ 床暖房

- **放射**による暖房方式。床面からの放射熱により、人体及び天井面、各壁面を温める。

CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

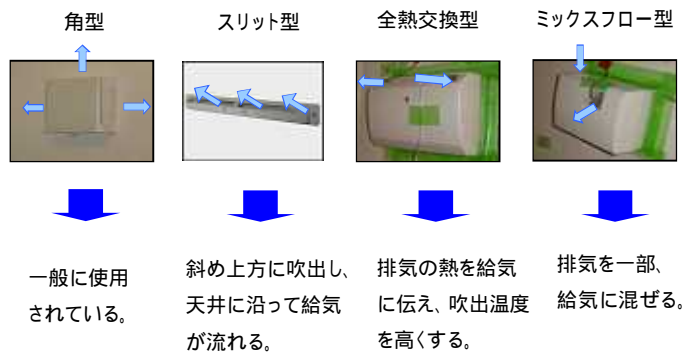
室内温熱環境実験



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

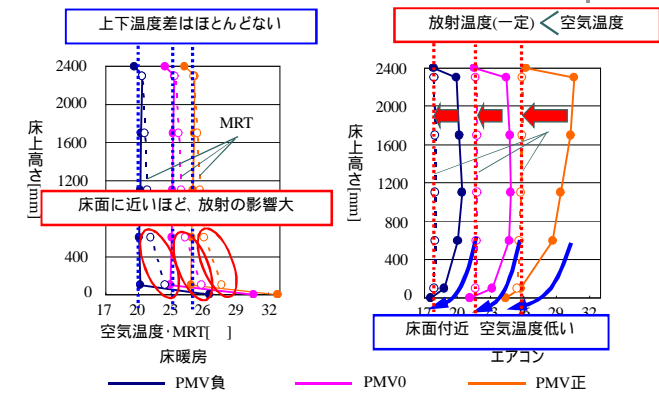
給気口の種類



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

上下温度・MRT分布




CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

PMV・DR

- PMV (Predicted Mean Vote)
 - 温熱環境6要素の組み合わせによる指標(正值:暖かい、負値:涼しい)
 - -0.5 ~ 0.5が快適域とされる。
- DR ()
 - 気流による不快感を示す指標(気温、平均風速、乱れの強さから算出)。
 - 20%以下が快適とされる。

環境側4要素
 ・気温
 ・湿度
 ・放射温度
 ・気流速度

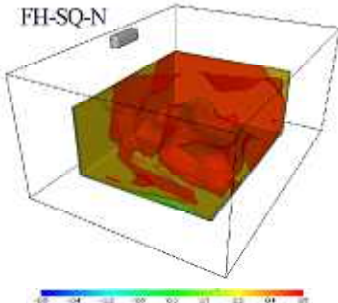


人間側2要素
 ・代謝量
 ・着衣量

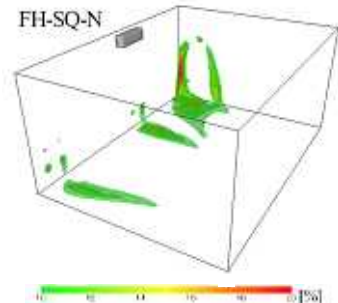
CPD中央講座 2008.10.25 Kanto Gakuin University, Japan

PMV・DR分布

- 床暖房・角型給気口・PMV 0



PMV

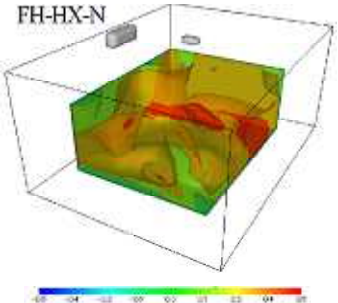


DR

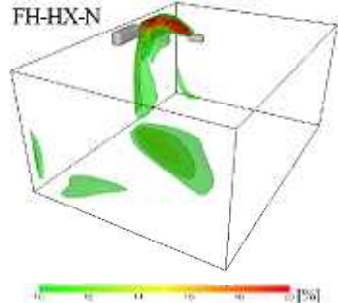
CPD中央講座 2008.10.25 Kanto Gakuin University, Japan

PMV・DR分布

- 床暖房・全熱交換型給気口・PMV 0



PMV

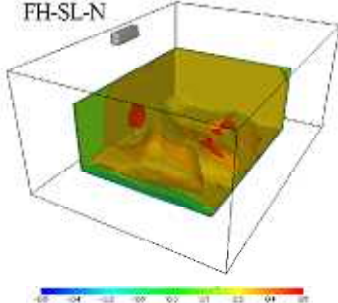


DR

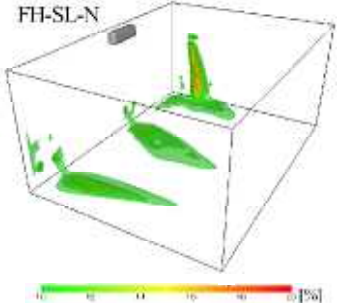
CPD中央講座 2008.10.25 Kanto Gakuin University, Japan

PMV・DR分布

- 床暖房・スリット型給気口・PMV 0



PMV

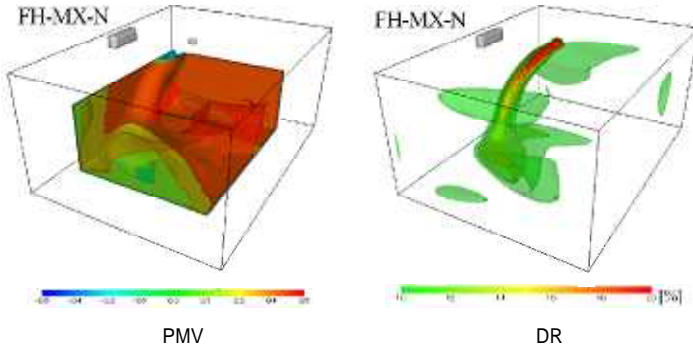


DR

CPD中央講座 2008.10.25 Kanto Gakuin University, Japan

PMV・DR分布

- 床暖房・ミックスフロー型給気口・PMV 0

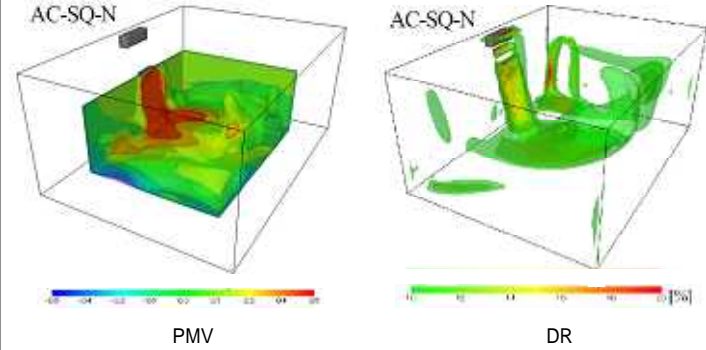


CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

PMV・DR分布

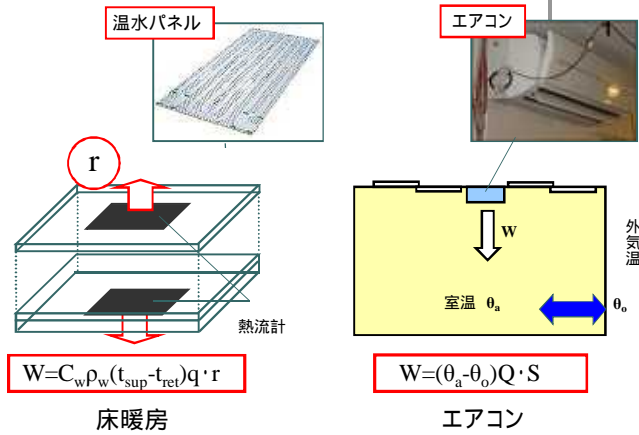
- エアコン・角型給気口・PMV 0



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

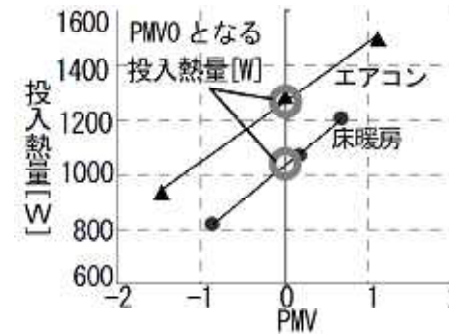
投入熱量の計算



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

PMV=0に必要な投入熱量

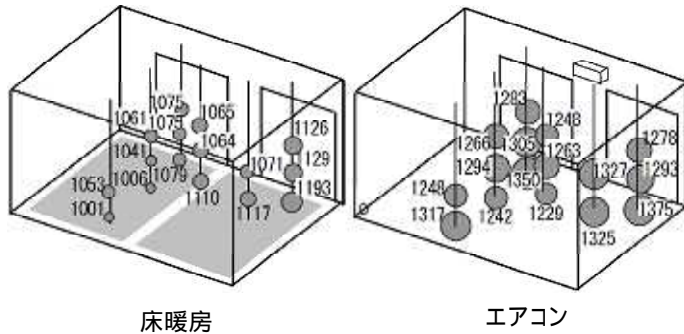


CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

各点におけるPMV=0時の投入熱量

- 各点においてPMV=0とするのに必要な投入熱量

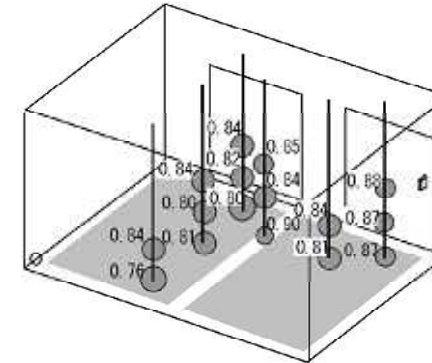


CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

投入熱量比

- 床暖房の投入熱量/エアコンの投入熱量



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

参考・引用文献

- 清水裕幸他、暖房室内の温熱環境評価に関する研究(第3報)床暖房・エアコンにより形成される居室の温熱環境と投入熱量の把握:空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.477-480(2008.8)
- 蛭田厚大他、暖房室内の温熱環境評価に関する研究(第4報)CFDによる室内快適性の詳細検討:空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.481-484(2008.8)

CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

室内温熱・空気環境と 学習効率



Kanto Gakuin University, Japan

教室環境はどうあるべきか

- 自ら環境を選ぶことの出来ない(小)学生にとって、教室環境はどうあるべきか？
 - 健康障害がなければ良いか？
 - 我慢できる範囲であれば良いか？
 - 快適であるべきか？
- 執務空間においては、室内環境形成のための投資が、経営者にとって費用対効果の観点から有利との報告あり。

CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

教室内の温度・CO₂濃度基準

- 学校環境衛生基準(文部科学省)
 - 冬期では10 以上、下記では30 以下であることが望ましい。
 - 最も望ましい温度は、冬期では18～20 、夏期では25～28 である
 - 教室内のCO₂濃度は1500ppm以下となるようにする。

CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

小学校における温熱環境調査

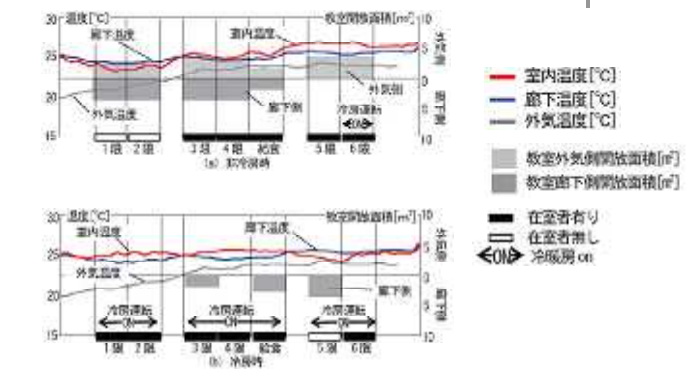
- 東京、神奈川の公立小学校6校で夏期・冬期に調査



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

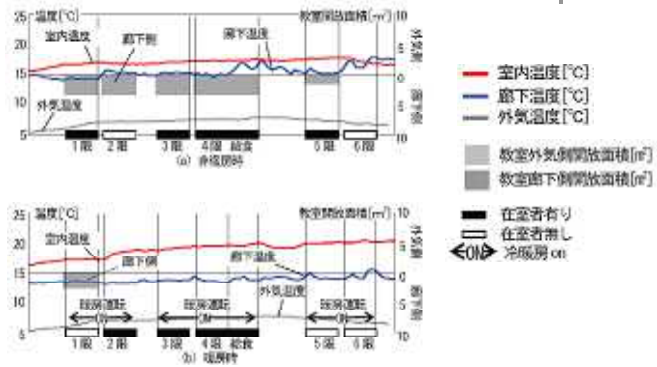
夏期の温度変化の結果 一例



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

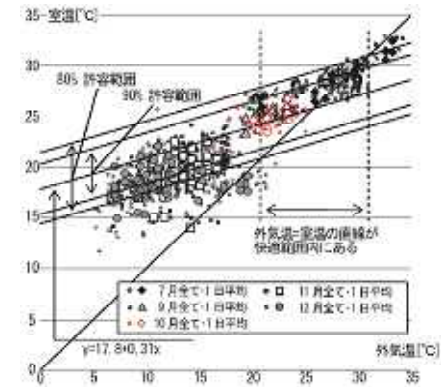
冬期の温度変化の結果 一例



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

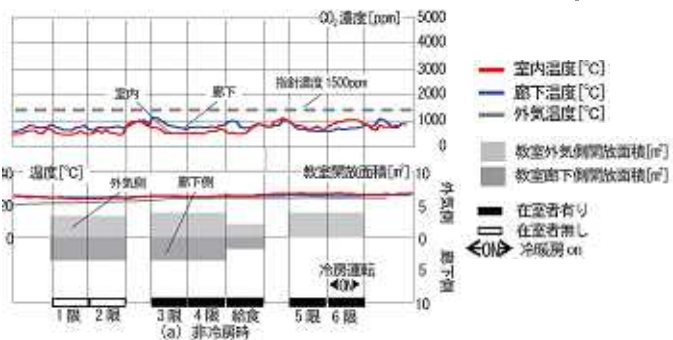
Adaptive Modelによる評価



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

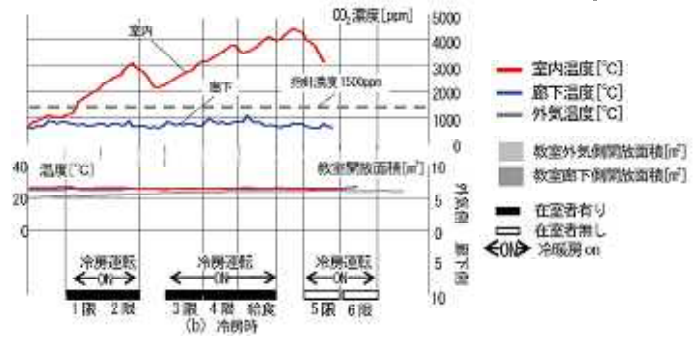
夏期のCO₂濃度変化の結果 一例



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

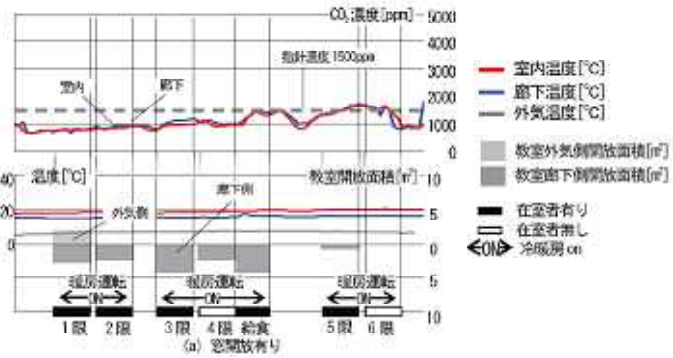
夏期のCO₂濃度変化の結果 一例



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

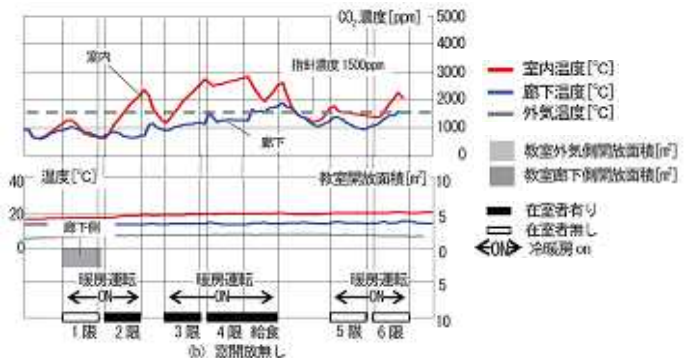
冬期のCO₂濃度変化の結果 一例



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

冬期のCO₂濃度変化の結果 一例



CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan

参考・引用文献

7. 倉淵隆他、小学校教室における窓開け行為と室内温熱・空気環境に関する実測調査：空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.1933-1936 (2007.9)
8. 金子隆昌他、現地実測による温熱・空気環境の質が学習効率に及ぼす影響の検討 -学習環境におけるプロダクティビティ向上に関する研究(その1)-：日本建築学会環境系論文集、第606号、pp.43-50 (2006.8)

CPD中央講座 2008.10.25

Kanto Gakuin University, Japan