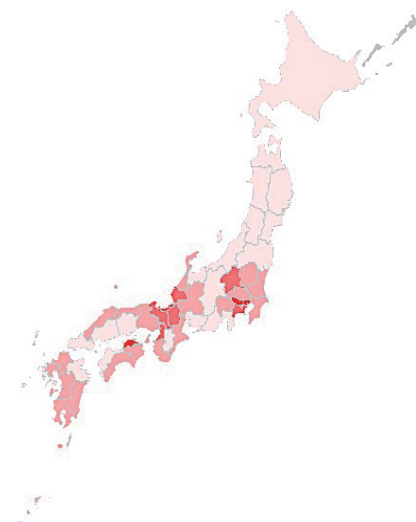


学びの環境の快適性と学習効率

- 空気・温熱環境の快適性と学習効率 -

PRESENTED BY:
空気環境部会 主査 山中俊夫
(大阪大学)

公立学校でのエアコンの設置率（全国）



文科省「公立学校施設の空調（冷房）設備の設置状況調査の結果について」（平成26年4月1日）

2

公立学校でのエアコンの設置率（大阪）

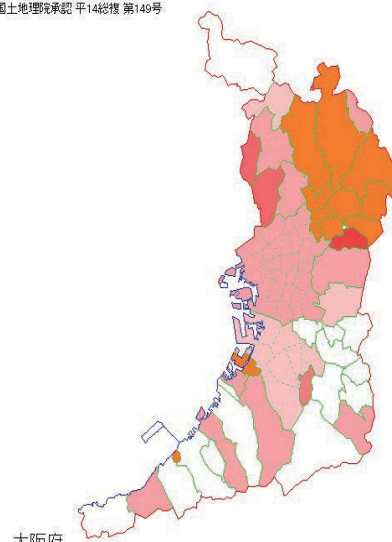


河内長野市議会 議員提供資料より

3

公立学校でのエアコンの設置率（大阪）

国土地理院承認平14総復第149号



大阪府

河内長野市議会 議員提供資料より

4

学校環境衛生の基準

➤ 空気環境 (代表的なもの)

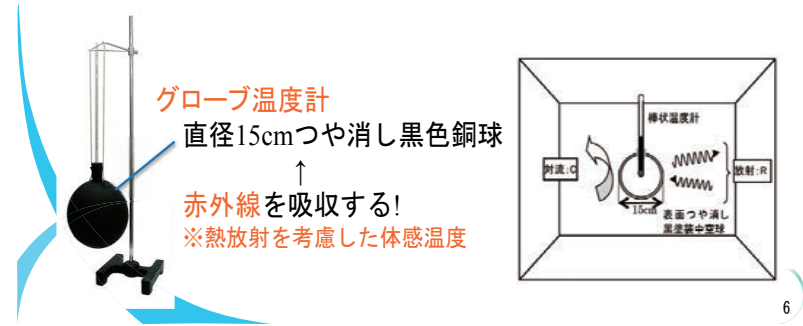
- 二酸化炭素 (CO₂) … 1500 ppm 以下
- 一酸化炭素 (CO) … 10 ppm 以下
- 浮遊粉塵 … 0.10 mg/m³ 以下
- 落下細菌 … 10 コロニー/室 以下
- 気流 (機械換気) … 0.5 m/s 以下
- ホルムアルデヒド … 100 μg/m³ 以下
- 換気回数 … 2.2 回/時 (幼稚園・小学校) 以上
- ダニ … 100 匹/m² 以下

5

学校環境衛生の基準

➤ 熱環境

- 温度 … 夏期 25~28℃ 最大30℃
冬期 18~20℃ 最低10℃
- 相対湿度 … 30~80%
- 実効輻射温度 … グローブ温度と乾球温度の差 5℃ 以下



6

CO₂ の濃度基準とは?

- 二酸化炭素 (CO₂) 濃度: 1000ppm ← 特定建築物, 中央式空調
 - 総合的指標? → ×
 - 代表的指標 → 人体から発散する体臭強度の代表的指標
 - 嗅覚は順応する → 外来者評価による体臭強度の指標
- 現在多くの建物で1000ppmを超える
 - 東京都での立ち入り検査の結果
 - 相対湿度: 冬期の乾燥問題、40%を下回るケース
 - CO₂: 平成9年頃より徐々に増加
← 地球温暖化に伴うCO₂増加 20ppm/10年
20ppm増加で換気量は 1m³/h 程度増加 (32.8→33.9m³/h)
 - 温度: 平成23年に激増
← 東日本大震災後の節電要求による

7

公立学校教室での熱・空気環境測定例 (冬期)

8



測定対象校一覧(2015年冬期)

関西の公立学校

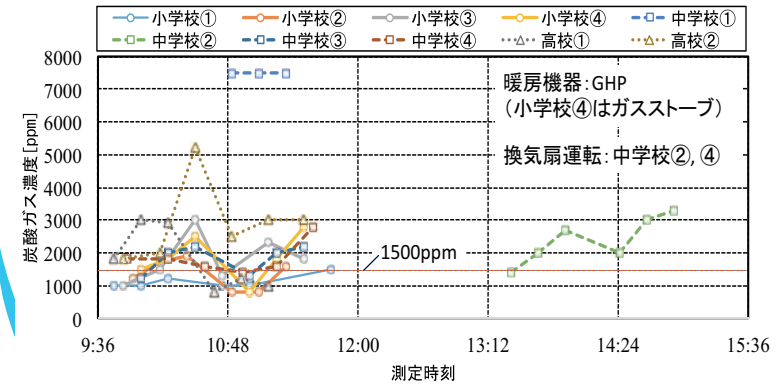
学校	児童	大人	換気扇	暖房器具	外気温度	外気湿度
小学校①	28	3	停止	GHP	8.0°C	66%
小学校②	32	2	停止	GHP	7.2°C	54%
小学校③	18	2	停止	GHP	8.4°C	43%
小学校④	35	2	停止	ガスストーブ	9.0°C	54%
中学校①	29	2	停止	GHP	6.8°C	48%
中学校②	28	2	使用	GHP	13°C	56%
中学校③	33	2	停止	GHP	7.0°C	87%
中学校④	25	3	使用	GHP	4.6°C	72%
高校①	39	1	停止	GHP	8.0°C	63%
高校②	40	3	停止	GHP	6.0°C	60%

9



冬季の教室内 CO₂濃度測定例

関西の公立学校の測定例



炭酸ガスCO₂濃度の経時変化(平成27年1~2月)

10



開放形燃焼器具(都市ガス13A)

- 空気調和・衛生工学会規格

「SHASE-S 102-2011 換気規準・同解説」より

- ガスコンロ etc..
- 1kW当たりの換気量
 - CO₂濃度 3500ppm → 32.7m³/h
 - CO濃度 10ppm → 33.6m³/h
 - NO₂濃度 105ppb → 373.3m³/h

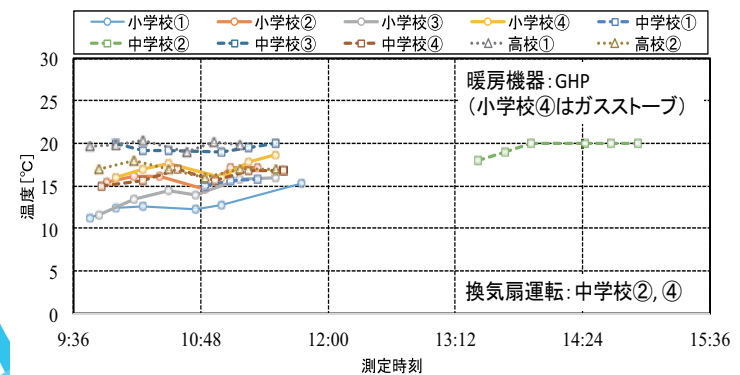
- 開放型燃焼器具の換気量は本来NO₂で決まる!

11



冬季の教室内 温度測定例

関西の公立学校の測定例

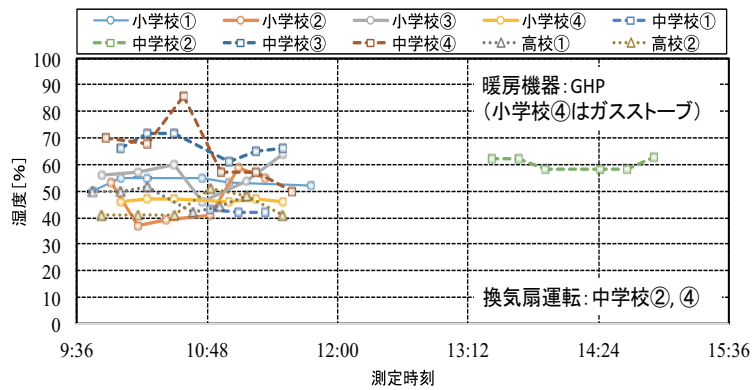


温度の経時変化(平成27年1~2月)

12

冬季の教室内 湿度測定例

関西の公立学校の測定例

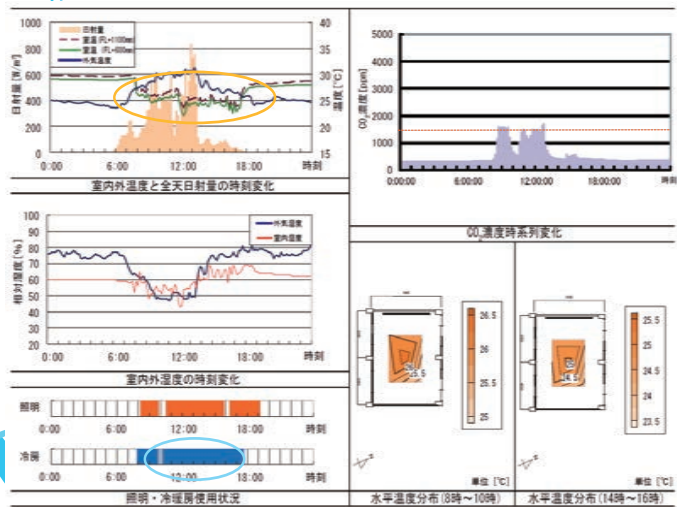


炭酸ガスCO2濃度の経時変化(平成27年1~2月)

高校教室の熱・空気環境測定例

夏季実測結果

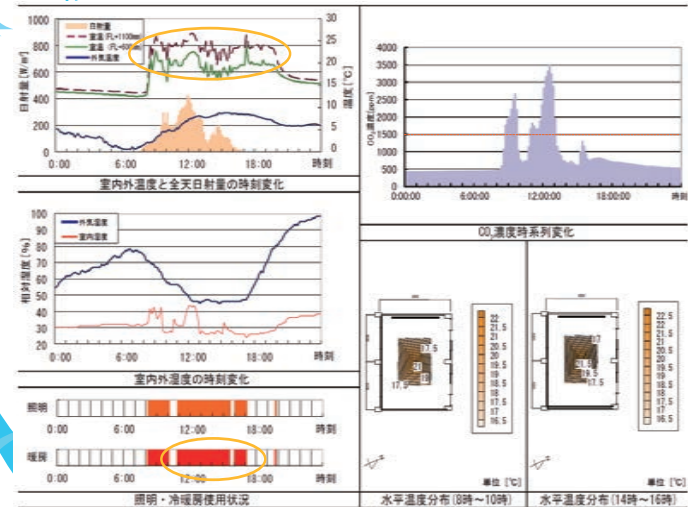
エアコン+全熱交換型換気扇
—新校舎 4階普通教室—



2012/9/10(月)

冬季実測結果

エアコン+全熱交換型換気扇
—新校舎 4階普通教室—

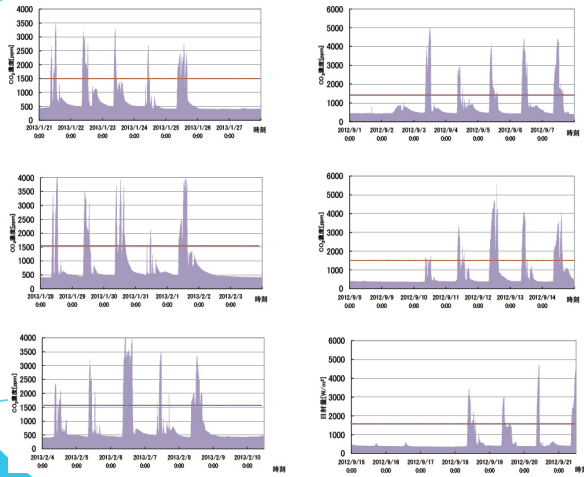


2013/1/21(月)



CO₂濃度実測結果

—新校舎 4階 普通教室 CO₂—



冬季

夏季

17



快適性

CO₂濃度と体臭評価との関係は??

19



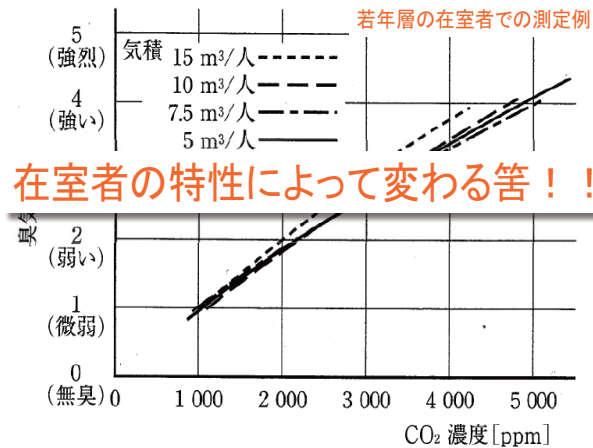
はじめに

以下の汚染質について区別して考える必要がある!

- ① ピュア(Pure)なCO₂(CO₂単体)
- ② 人の呼吸によって発生するCO₂
 - 体臭(bio-effluent: 生理的排出物)と共存
- ③ 人体以外から発生する汚染質
 - 建物等から発生する化学物質
 - CO₂とは無関係(換気量削減によって増加する)



CO₂濃度と体臭強度(檜崎ら)



在室者条件がにおい評価に及ぼす影響

22

在室者Case

日本人学生

- 体臭を最低限に制御した「**ミニマム条件**」 (“bio-effluent”のみ)
- 衣服や入浴に制限を設けない「**無制御条件**」(普段の状態)
- 夏季想定空間で運動させた「**発汗条件**」 (“ミニマム”+「発汗」)
- 「**35歳以上**」
- 「**外国人**」



実験概要

23

- ◆ 実験日時：2016年10月13日～11月22日
- ◆ 場所：隣接した2つのにおい実験室(コンテナ)
- ◆ 検臭方法：嗅ぎ窓式無臭室法(外来者)+入室法(在室者)
- ◆ 臭気：体臭(化粧品等を含む)
- ◆ 外来者：18～25歳の本学学生21名
(男性11名、女性10名、各日6名ずつ)
- ◆ 在室者：
 - ① 22～25歳の日本人学生6名(男女3名ずつ、非喫煙)
 - ② 39～65歳の日本人6名(男5名、女1名、非喫煙)
 - ③ 22～25歳の外国人学生(男性:ミャンマー2名、ロシア1名、女性:マレーシア1名、インドネシア1名、インド1名、非喫煙)



在室者の条件

24

(1) ミニマム条件(22～25歳日本人学生)

- ☑ にんにくなどのにおいの強い食事を取らないこと
- ☑ 化粧品・整髪料などを使用しないこと
- ☑ 支給した無香料のシャンプー・コンディショナー・ボディウォッシュを用いて必ず入浴し、汗をかくような運動をしないこと
- ☑ 実験用の衣服を着用すること



- 通気性のよい麻が主な素材
- 無臭の洗剤で洗濯

(2) 無制御条件(22～25歳日本人学生)

入浴や衣服、化粧品の使用などに制限なし

(3) 発汗条件(22～25歳日本人学生)

「ミニマム条件」の体臭制御

+ チャンパー入室前に35℃・RH70%の空間に10分間滞在(そのうち5分間踏み台昇降運動)



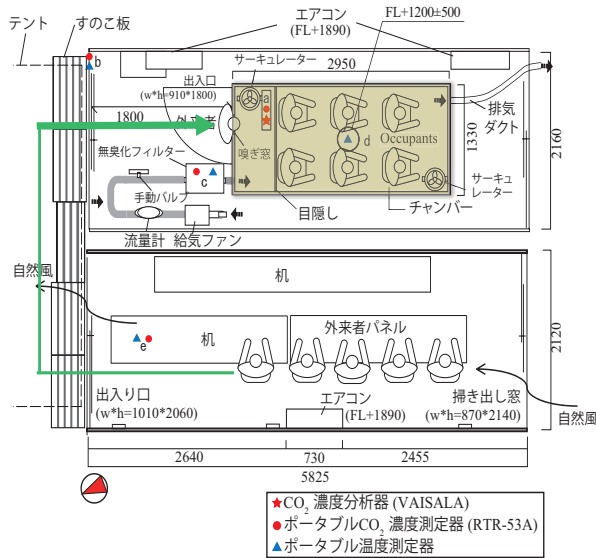
(4) 35歳以上条件(無制御) 39歳～65歳の日本人(一般人)

(5) 外国人条件(無制御) 22歳～25歳の外国人学生



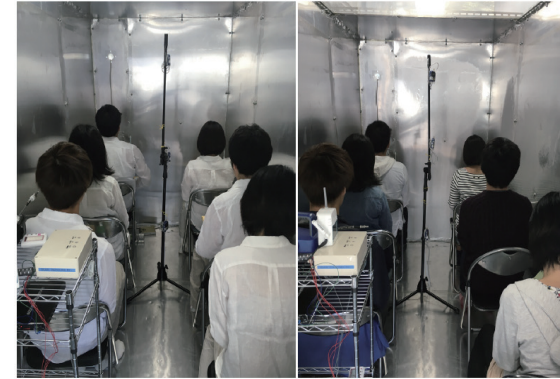
■ ■ ■ 検臭の手順

25



■ ■ ■ チャンバー内の在室者 (6人)

6人の在室者がチャンバー内で在室している状況



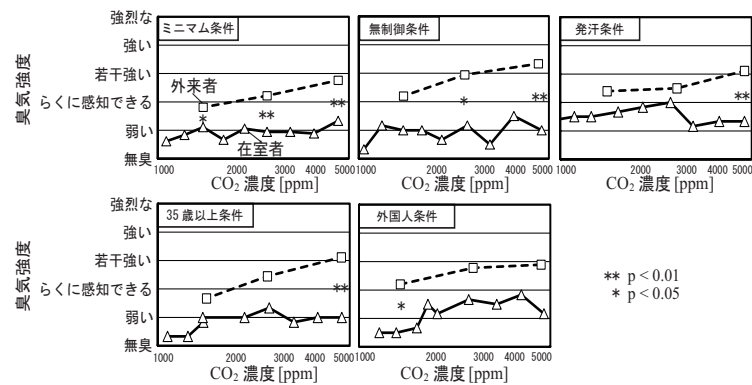
(1) Minimizing & (3) Sweating

(2) Usual state



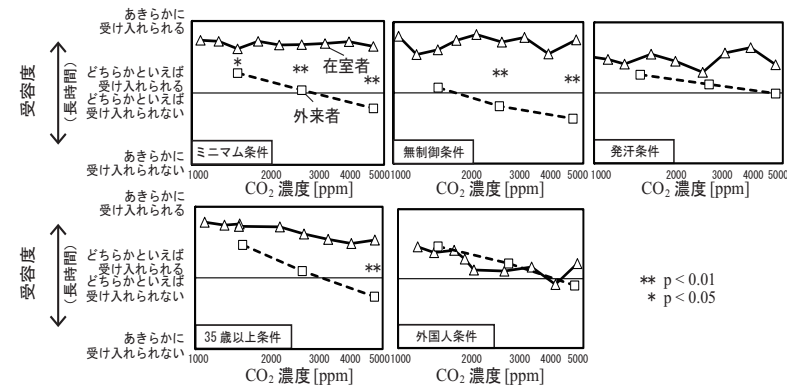
■ ■ ■ CO₂濃度と臭気強度との関係

27



■ ■ ■ CO₂濃度と受容度(長時間)との関係

28

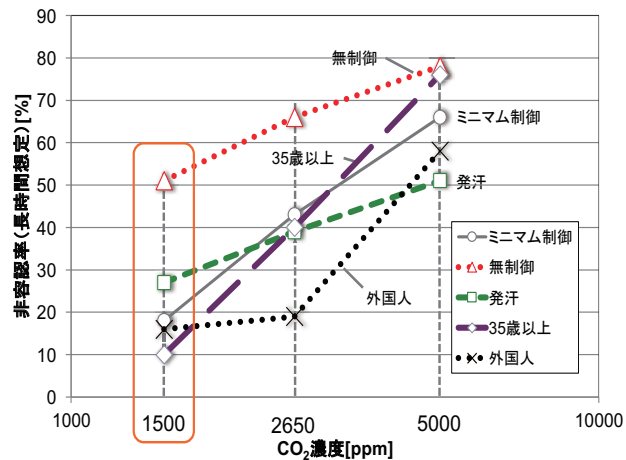


在室者は空気質の悪化に気がつかない!!!



CO₂濃度と非容認率(外来者)推定値との関係

29



CO₂1500ppmでは必ずしも満足な空気質ではない!



温熱環境に関する基準

➤ 建築物衛生法による空気環境の環境衛生管理基準

項目	管理基準
温度	17℃~28℃
相対湿度	40%~70%
気流	0.5 m/sec
一酸化炭素	10 ppm
二酸化炭素	1000 ppm
浮遊粉じん量	0.15 mg/m ³
ホルムアルデヒド	0.1 mg/m ³ (0.08ppm)

快適な温度とは?

➤ 熱的快適性の原理

➤ 体温調節のしくみ

- 自律性体温調節・意志とは関係なく、人体の生理的反応として行われる体温調節
- 行動性体温調節・衣服の調節、活動量の変化、姿勢の変化、滞在場所の選択

➤ 人体と周囲環境の熱バランス

➤ 熱バランスに関わる6つの要素

- 人体に関わる要素: 代謝量(活動量) 単位:[met](メット)
- 人体に関わる要素: 着衣量 単位:[clo](クロ)
- 環境に関わる要素: 空気温度
- 環境に関わる要素: 湿度
- 環境に関わる要素: 気流速度(風速)
- 環境に関わる要素: 放射温度



温熱環境指標

➤ 快適な温熱環境 ←6つの要素で決まる!

室温が28℃でも、体感温度は様々

いろいろな温熱環境指標

評価指標	評価要素						
	温度	湿度	気流	放射	着衣	代謝量	
物理計測に基づく指標	室温 (Dansk, 1995)	○	○	○	○	○	
	グローブ温度 (Vernon, 1990)	○	○	○	○	○	
主観的経験的指標	有効温度 ET (Effective Temperature) (Fagoule, et al., 1953)	○	○	○	○	約1 clo 作業軽作業*	
	修正有効温度 CET (Vernon, 1993) (Beckford, 1995)	○	○	○	○	通常着衣 作業軽作業	
	作用温度 OT (Operative Temperature) (Gagge, 1937)	○	○	○	○	○	
熱平衡式に基づく指標	新有効温度 ET* (New Effective Temperature) (Gagge, et al., 1971)	○	○	○	○	約0.6 clo 軽作業*	
	標準新有効温度 SET* (Standard Effective Temperature) (Gagge, et al., 1971)	○	○	○	○	○	
	Predicted Mean Vote PMV (Fanger, 1973)	○	○	○	○	○	任意設定 任意設定
		○	○	○	○	○	任意設定 任意設定

OT
(作用温度)

PMV
(予想温冷感申告)

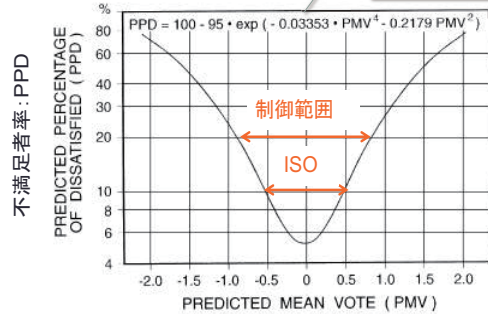
SET*
(標準新有効温度)

* 1 重作業には不適、* 2 1 Met : 58.2 W/m²

温熱環境の評価手法:PMV

- ・ 温冷感は個人差が大きい。

どんなに温熱良い環境でも100%の人を満足させることはできない!



PMVの生みの親
P.O.Fanger 博士

予測平均温冷感申告:PMV

By Fanger

PMVに与える相対湿度の効果

▶ 試算条件:

▶ クールビズ(0.5clo)+気温26℃

▶ RH30% →PMV:-0.11

▶ RH50% →PMV: 0.05

▶ RH70% →PMV: 0.22

▶ クールビズ(0.5clo)+気温28℃

▶ RH30% →PMV:-0.58 27℃+RH70%(湿度の40%低下)と同じ

▶ RH50% →PMV: 0.76

▶ RH70% →PMV: 0.94

気温1℃ = 相対湿度40%!

PMVで判断する限り、温冷感に与える湿度の効果は、室温よりも小さい

冷房設定温度と室温

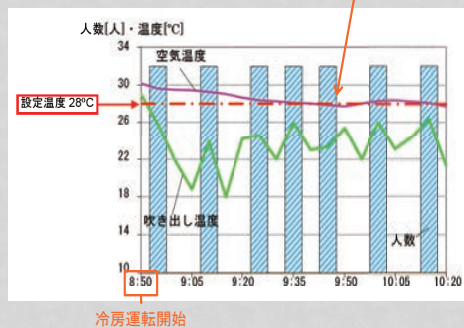
▶ 測定例: 小学校

▶ 空調機: マルチパッケージ型

▶ 温度センサー: 吸い込み口

室内熱負荷に対して、設備容量が十分大きい場合の特性

1時間程度で28℃に



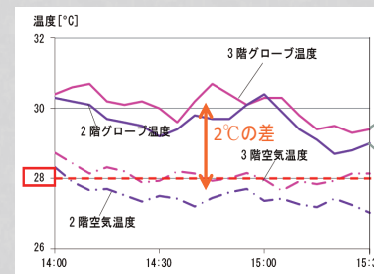
冷房時のグローブ温度

▶ 測定例: 小学校(3階建て)

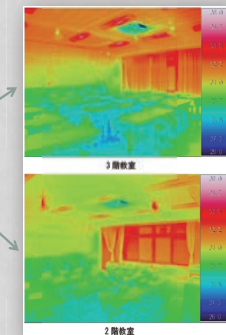
▶ 空調機: マルチパッケージ型

▶ 温度センサー: 吸い込み口(設定温度28℃)

体感温度は30℃! (>_<)



空気温度とグローブ温度の変化



学習効率=知的生産性

知的生産性(Productivity)

・フレイスマンの能力分類 21項目

1.口頭理解	8.問題への感受性	15.関係性発見速度
2.書面理解	9.数学的推論能力	16.関係性発見柔軟性
3.口頭表現	10.数学処理	17.空間位置確認
4.文章表現	11.演繹的推理	18.視覚化
5.アイデア創出	12.帰納的推理	19.比較速度
6.独創性	13.情報秩序化	20.集中力
7.記憶	14.分類柔軟性	21.時分割

・知的生産性:いろいろな測定法

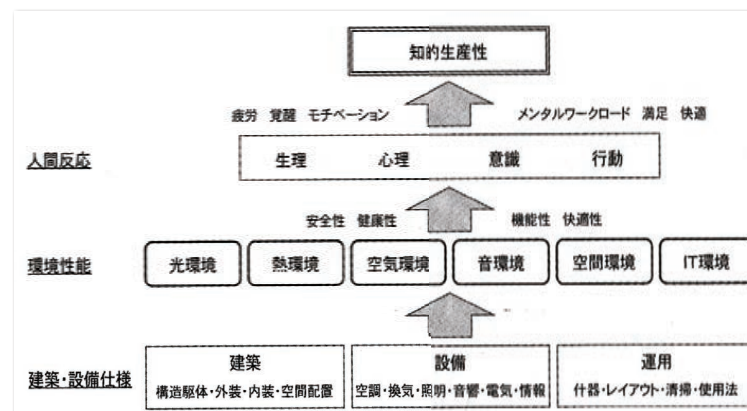
- ・SAP・・・自己評価
- ・テスト・・・客観評価(収束的思考テスト、拡散的思考テスト)
- ・意志決定能力(decision making)・・・客観評価(PCで行うテスト)

SAPに関する入門書

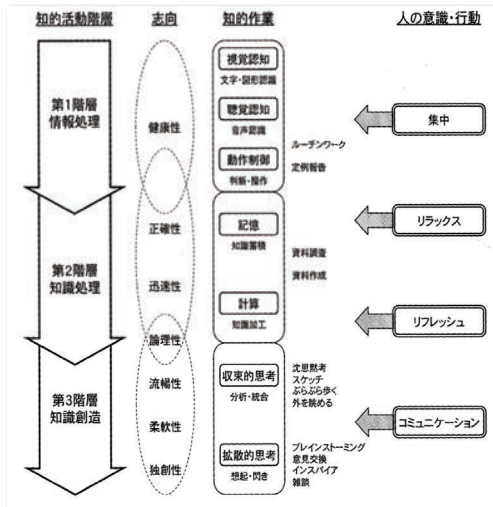


- ・(財)建築環境・省エネルギー機構(IBECE)で開発された測定法
- ・SAP=Subjective Assessment of workplace Productivity
- ・特徴:
 - ・ワーカーの主観評価
 - ・簡易(WEB版あり)

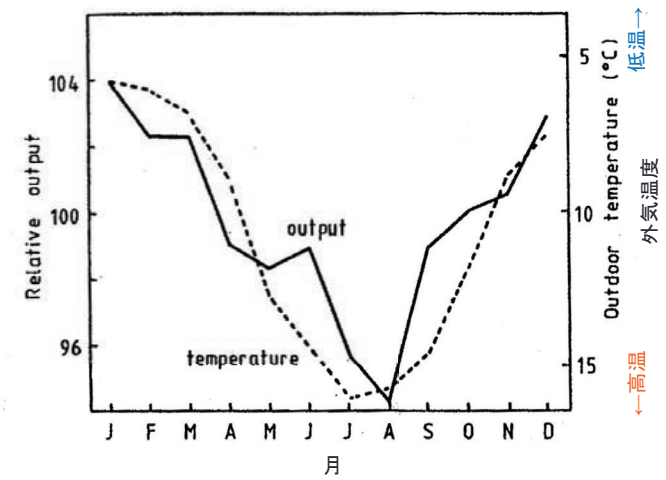
オフィスの環境性能の考え方(SAP)



オフィスの知的活動モデル(SAP)

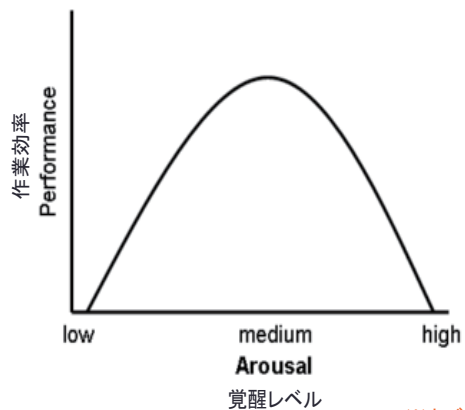


工場の生産性(Vernon, 1919)



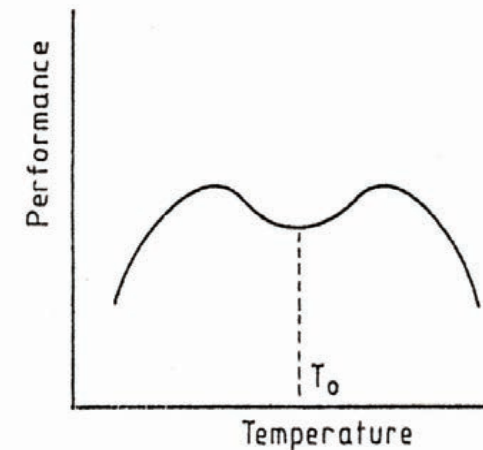
Yerkes-Dodson(ヤーキーズ・ドットソン)の法則

⇒不快なもの(刺激)が一定量あった方が効率が上昇するという法則



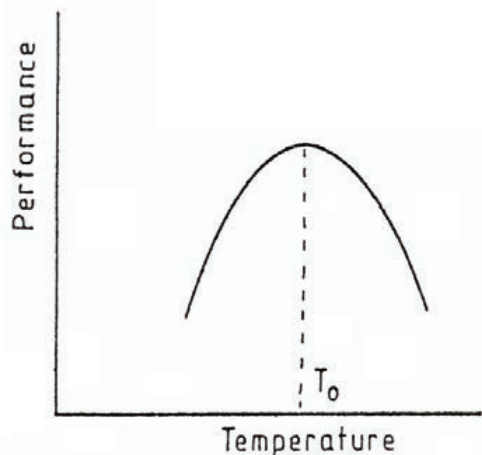
※ネズミを用いた実験で発見

温度と作業成績の関係(単純作業の場合)



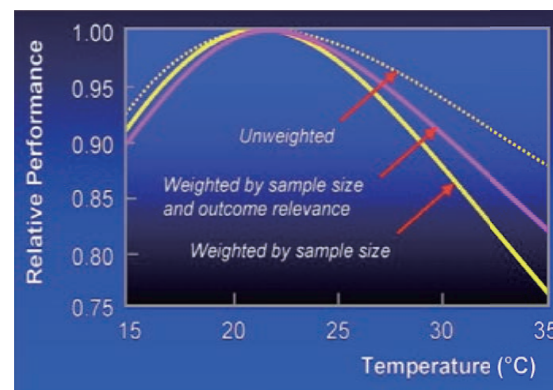
BY D.A. McIntyre

温度と作業成績の関係(高度な作業の場合)



BY D.A. McIntyre

プロダクティビティー(知的生産性)の意義

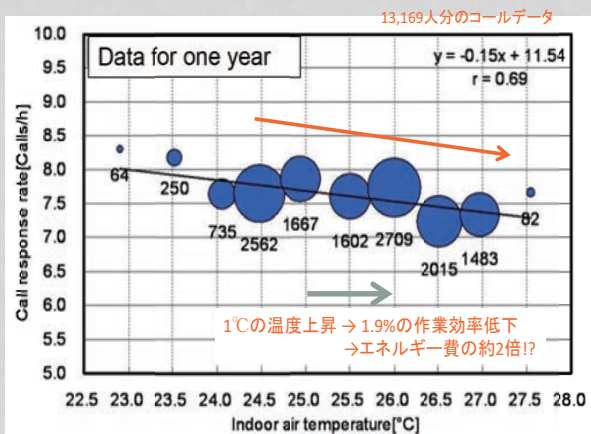


室内温度と知的生産性(相対軸)との関係

室内温度は23°Cでなくてはならない?

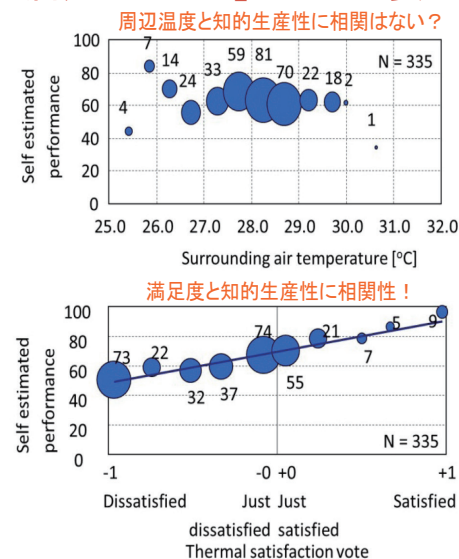
By Seppanen from REHVAガイドブック

コールセンターにおける作業性



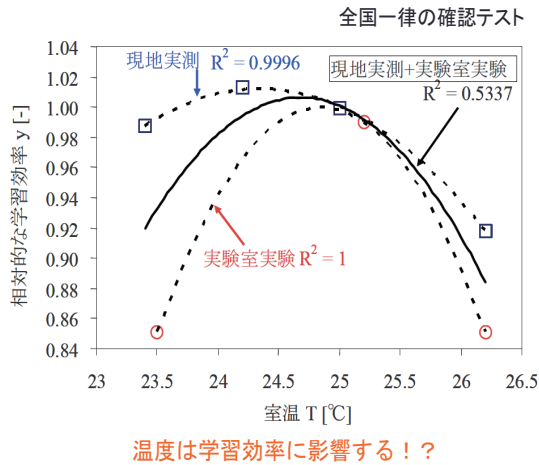
By 田辺新一

環境に「満足している」ことが重要



By 田辺新一

温度と学習効率との関係(資格試験予備校)



By 伊藤一秀

室温と学習効率との関係(温度)

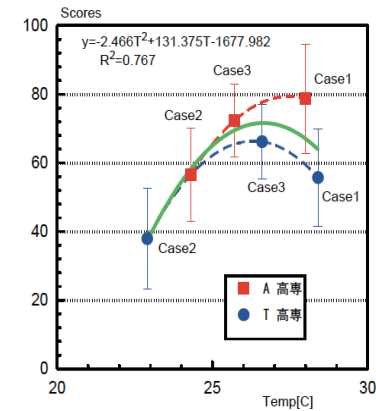
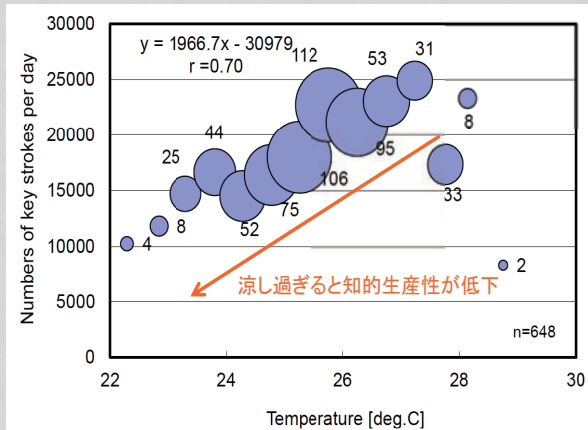


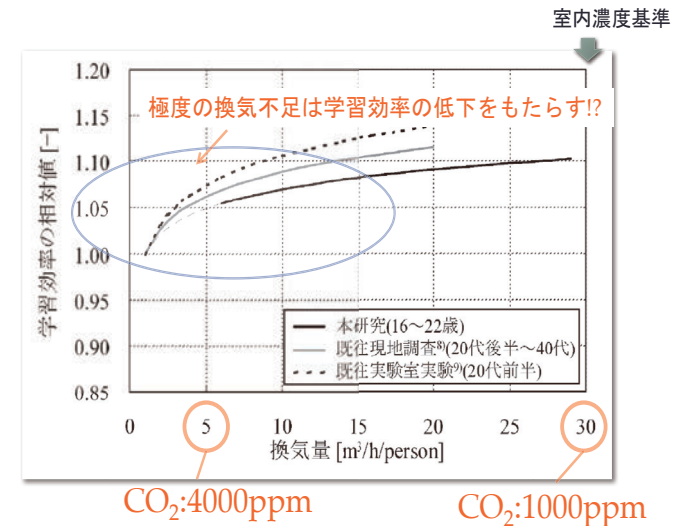
図4 室温(°C)と確認テストの関係

By 伊藤一秀

涼しすぎるプログラム開発室



換気量と学習効率との関係(資格試験予備校)



By 伊藤一秀

換気量と学習効率との関係(高専)

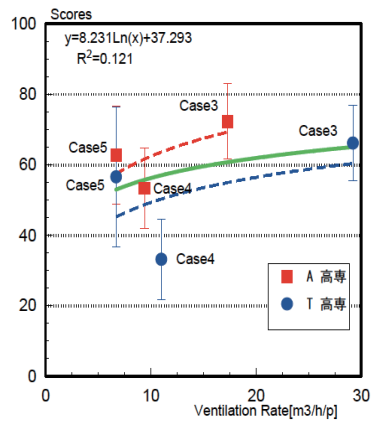


図3 換気量(m³/h/p)と確認テストの関係

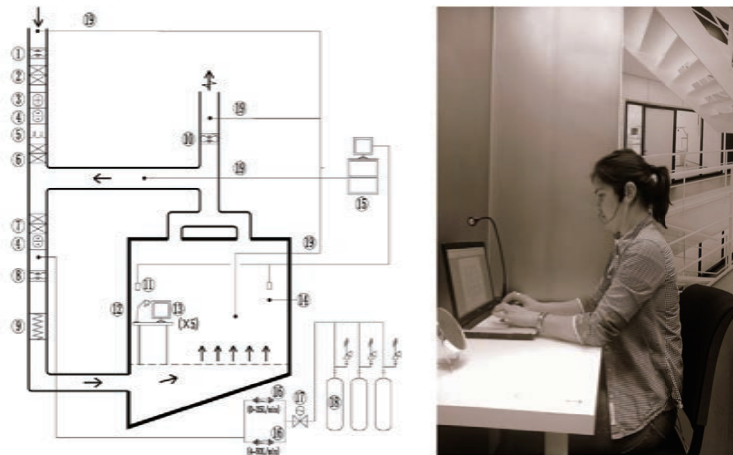
By 伊藤一秀

Zhang, Wargockiらの最新研究

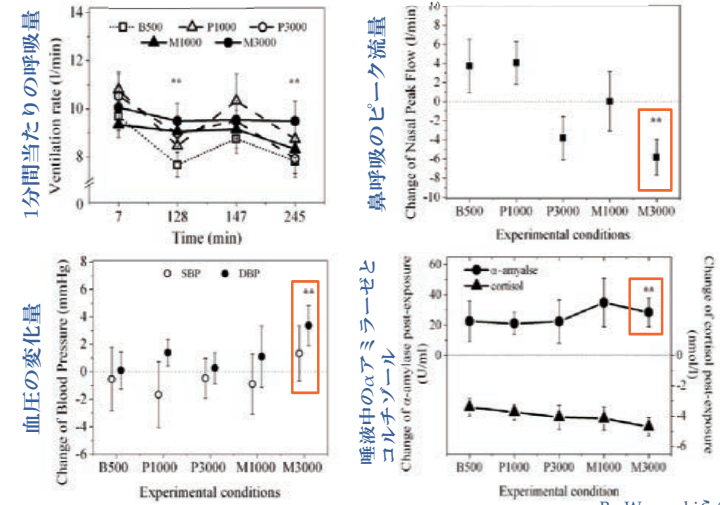
曝露条件

	CO ₂ 濃度 [ppm]	体臭の有無 (bioeffluents)
B500	500	×
P1000	1000	×
P3000	3000	×
M1000	1000	○
M3000	3000	○

実験装置

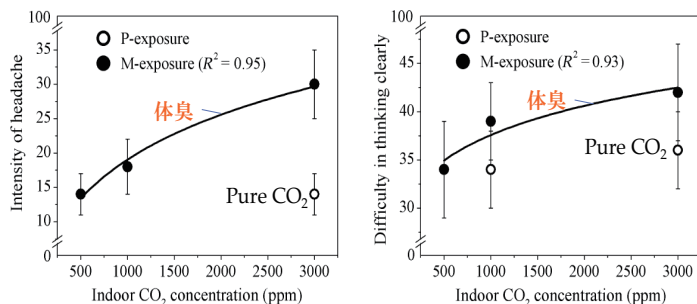


CO₂・体臭と生理反応

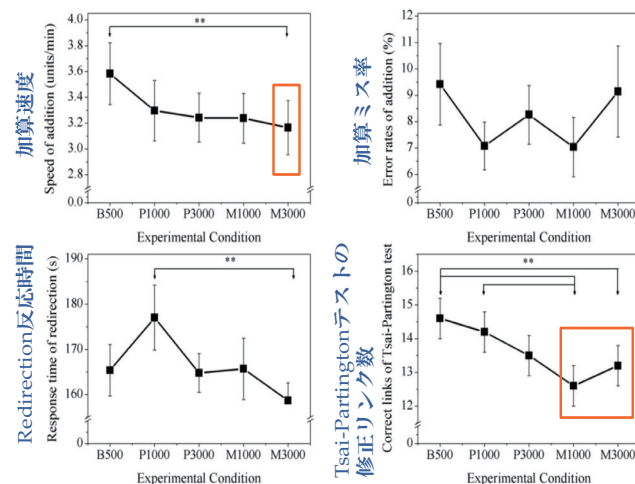


By Wargockiら(2015)

CO2濃度と頭痛・頭の働き



CO₂・体臭と知的生産性



By Wargockiら(2015)

考察

- ・ 在室者だけによるCO₂濃度3000ppmの環境下 (M3000) では、外来者による知覚空気質を低下させ、急性の健康症状の度合いを増加、認知能力に影響
←新鮮空気 (B500) との比較
- ・ 3000ppm以下の純粋なCO₂濃度への曝露では、実験中、知覚空気質・急性の健康症状・認知能力への有意な変化を引き起こさなかった。
←新鮮空気 (B500) との比較

教室の室内環境に関する提言

- ・ 体臭由来のCO₂濃度は体臭の快適性と学習効率の両面の観点から、1000ppm (~1500ppm?) 以下に保つことが望ましい。教室の換気については休み時間の窓開けや換気扇の運転などの習慣的換気行為が重要。
- ・ 温度は湿度より重要であり、過度の冷暖房は不要であるが、夏期は28℃設定より快適な温度が望ましい。
- ・ ストープ利用は空気質 (NO₂) 観点から注意が必要。
- ・ 夏期は窓や屋根からの熱放射、冬期は上下温度分布に気をつける。遮熱対策と窓断熱が重要。