

AIJ 近畿支部 空気環境部会シンポジウム
「建築空間における快適性と知的生産性
～学びの空間における学習効率の向上を目指して」



学校建築の自然換気手法

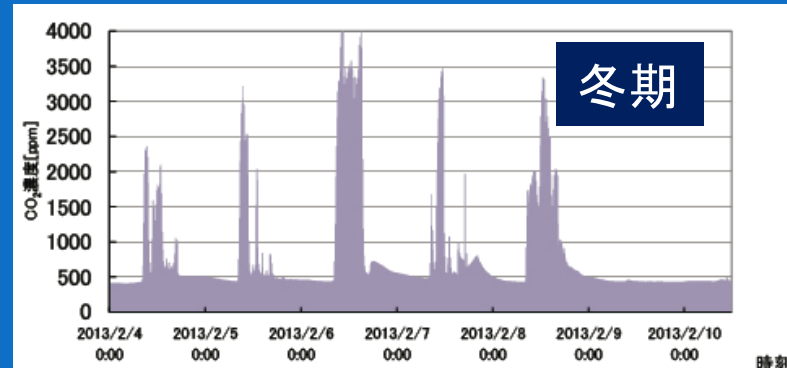
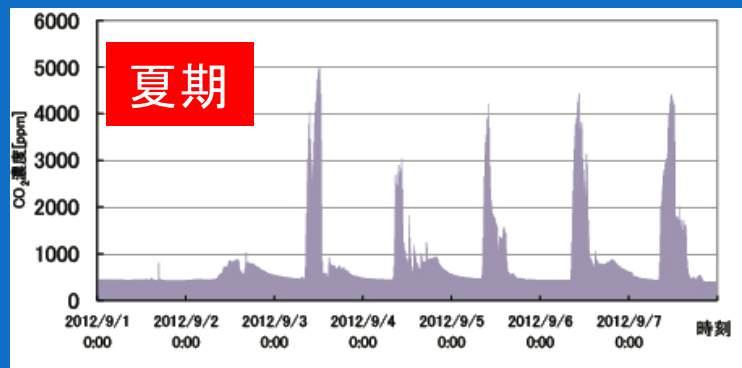
2019年11月8日(金)
ヴィアーレ大阪

大阪大学 大学院工学研究科
地球総合工学専攻
山中 俊夫



学校建築と自然換気

- 学校建築：窓による自然換気が主体
- ↓
- エアコン導入に伴う換気不足→学習効率の低下？
- ↓
- 自然換気の利用促進が課題




大阪府下高等学校普通教室でのCO₂濃度測定例(2012-2013)



事例紹介

- 公立高等学校のエコ改修における自然換気利用事例
 - － 大空間実習室における自然換気（堺高校）
- 大学建築におけるチムニー利用自然換気の実例
 - － 大講義室におけるウィンドチムニーによる自然換気
 - － 階段室型チムニーを利用した中廊下型研究室棟の自然換気



大空間実習室における自然換気 (堺高校)

エコ改修における要件と基本方策

➤要件

- 夏の暑さの解消
- 天窓効果による現状以上の照度確保
- 冬季暖房時の温度成層への配慮

➤基本方策

- 屋根の日射遮蔽と断熱性向上
- 東西面の日射遮蔽
- 通風の積極的利用
- 断熱性の高い壁面・ガラス
- シーリングファンの活用
- ナイトパーズ → 熱容量の活用



機械実習室



機械実習室の改修内容

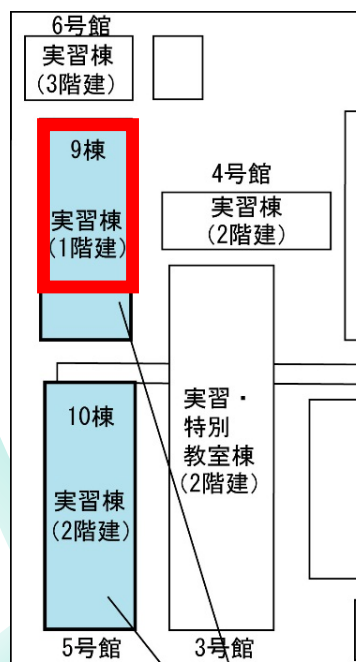
改修項目

用途： 工作機器による金属加工実習
大空間作業室

設備：空調機器なし

- ・夏季：扇風機
- ・冬季：ストーブ

- ・外断熱
- ・屋上高反射遮熱塗装
- ・開閉式トップライト
- ・ペアガラス化
- ・シーリングファン
- ・ナイトパーズ用小窓
- ・グリーンカーテン
- ・高効率照明
- ・耐震改修



改修前



改修後





9棟のエコフレーム



シルバークール版

【 9棟外観 改修前 】



エコフレーム

【 9棟外観 改修後 】

目的:

- ・耐震補強
- ・グリーンカーテンによる日射遮蔽



開閉式天窗 → 自然換気

開閉式天窗

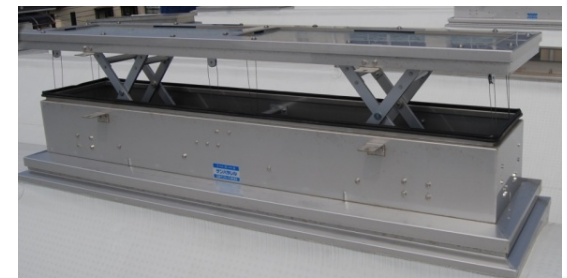
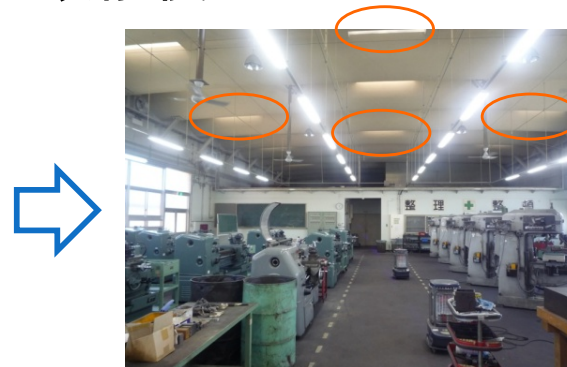
目的: 自然換気
→ 熱気の除去



改修前



改修後





シーリングファン

上向き・下向きの切り替えが可能

シーリングファンの設置

目的:

- ・上下温度分布の解消
- ・気流による冷却効果



改修前



改修後





ナイトパージ用小窓

ナイトパージ用小窓の新設

目的: 夜に開けて建物を冷やす



改修前



改修後



※冬は使用しない



スチレンフォーム＋高反射塗料

屋根仕上げ

防水シート(無断熱)



高反射塗料＋断熱材

目的：日射を遮蔽し、
屋根面温度を下げる



夏に涼しい環境！

改修前

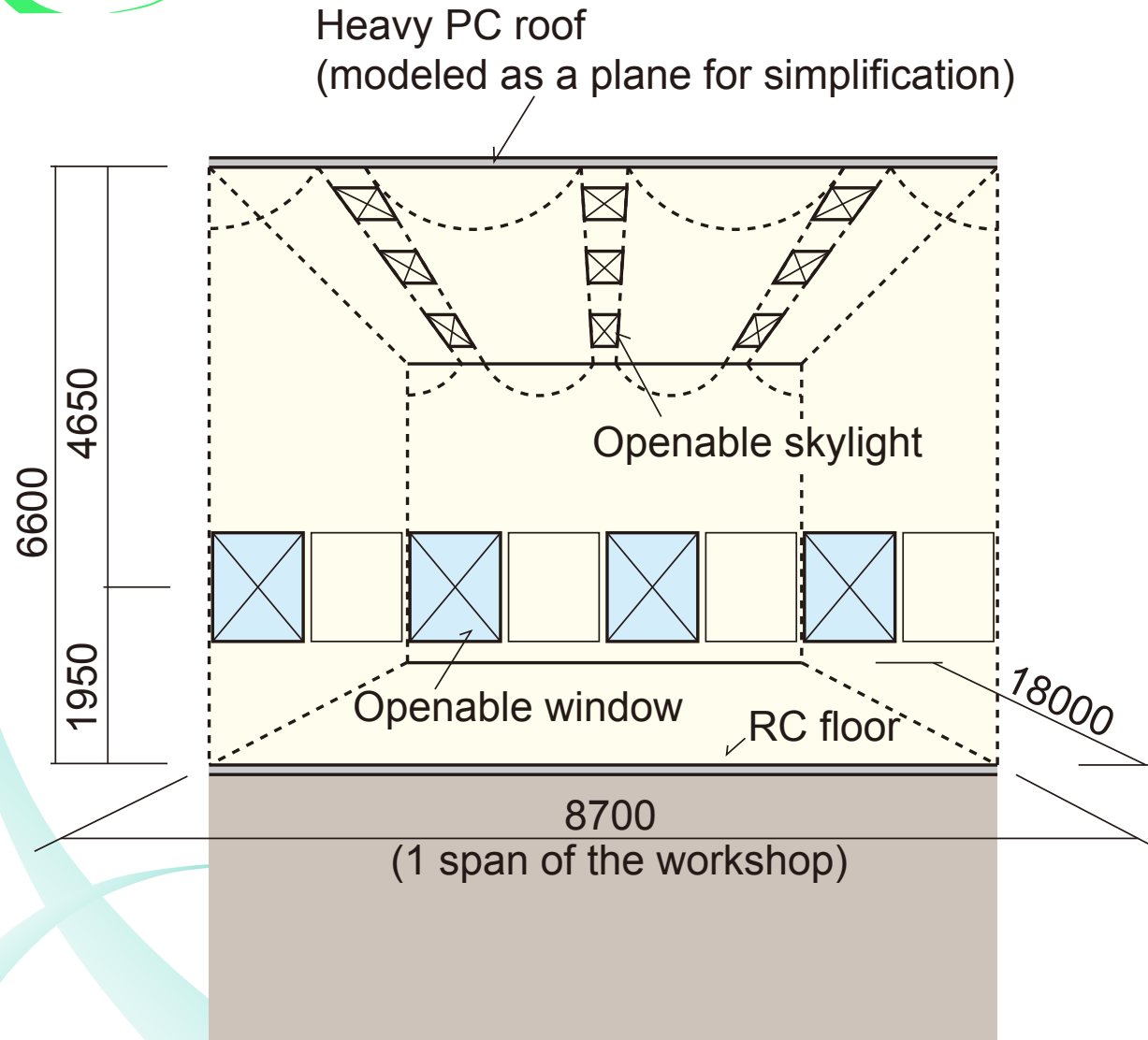


改修後





屋根の日射遮蔽と自然換気対策 ←夏期



検討項目

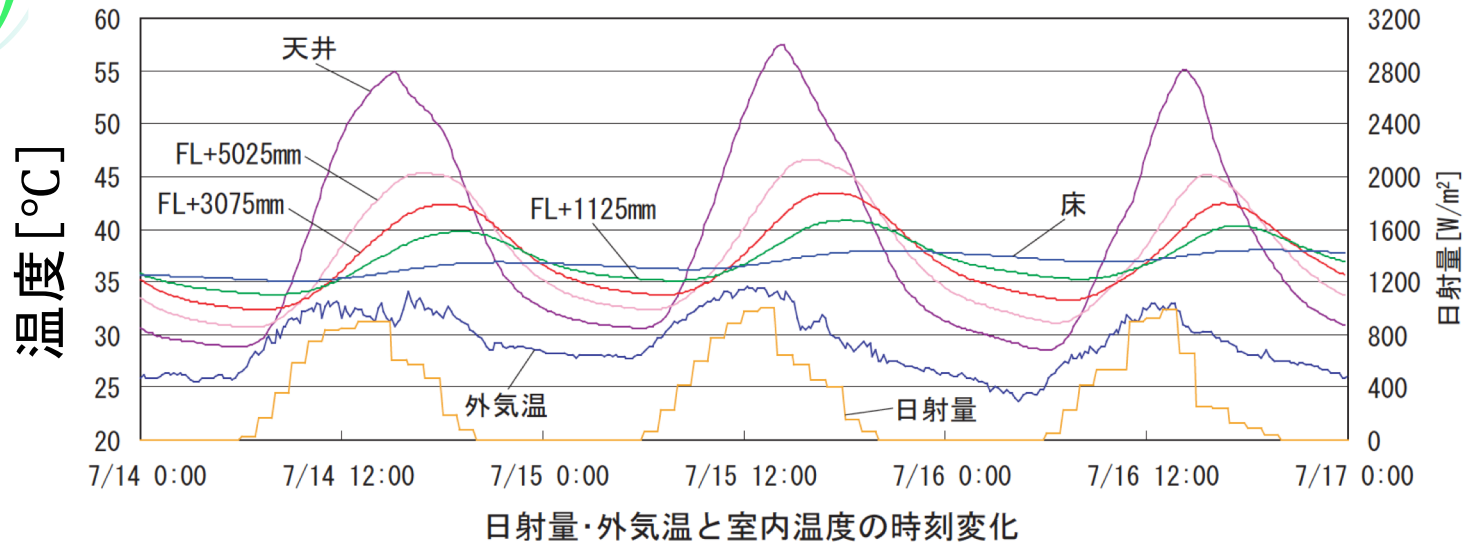
- 断熱材
- 遮熱塗料
- 天窓の開放



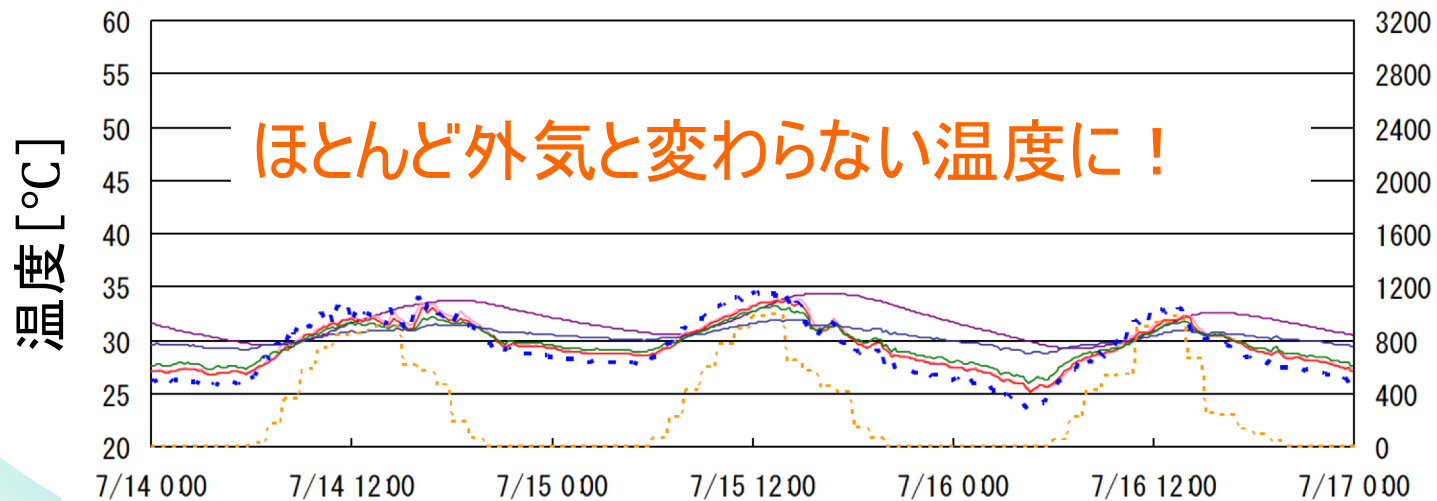
縦方向に分割して
モデル計算



改修効果の予測



天窗開放 + 高反射性塗料 + 断熱材



学校の室内環境の基準

➤ 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℃



グローブ温度計

直径15cmつや消し黒色銅球

↑
赤外線を吸収する!



機械実習室
e点

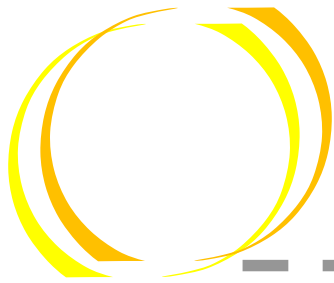


学校の室内環境の基準

➤ 空気環境（代表的なもの）

二酸化炭素 (CO ₂)	…1500 ppm 以下	
一酸化炭素 (CO)	…10 ppm 以下	
浮遊粉塵	…0.10 mg/m ³ 以下	→0.15mg/m ³ <small>一般環境では</small>
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/m ³ 以下	
換気回数※	…4.4 回/時 以上	
ダニ	…100 匹/m ² 以下	

※学校施設の換気設備に関する調査研究報告書より



改修前後の温度の比較

	換気扇	側窓開閉	天窗開閉	シーリングファン
2009.9.9(水)	○	○		
2012.9.3(月)	○	○	○	×
2012.9.7(金)	×	○	×	○
2012.9.13(木)	×	○	○	○

改修前

天窗開閉

シーリングファン

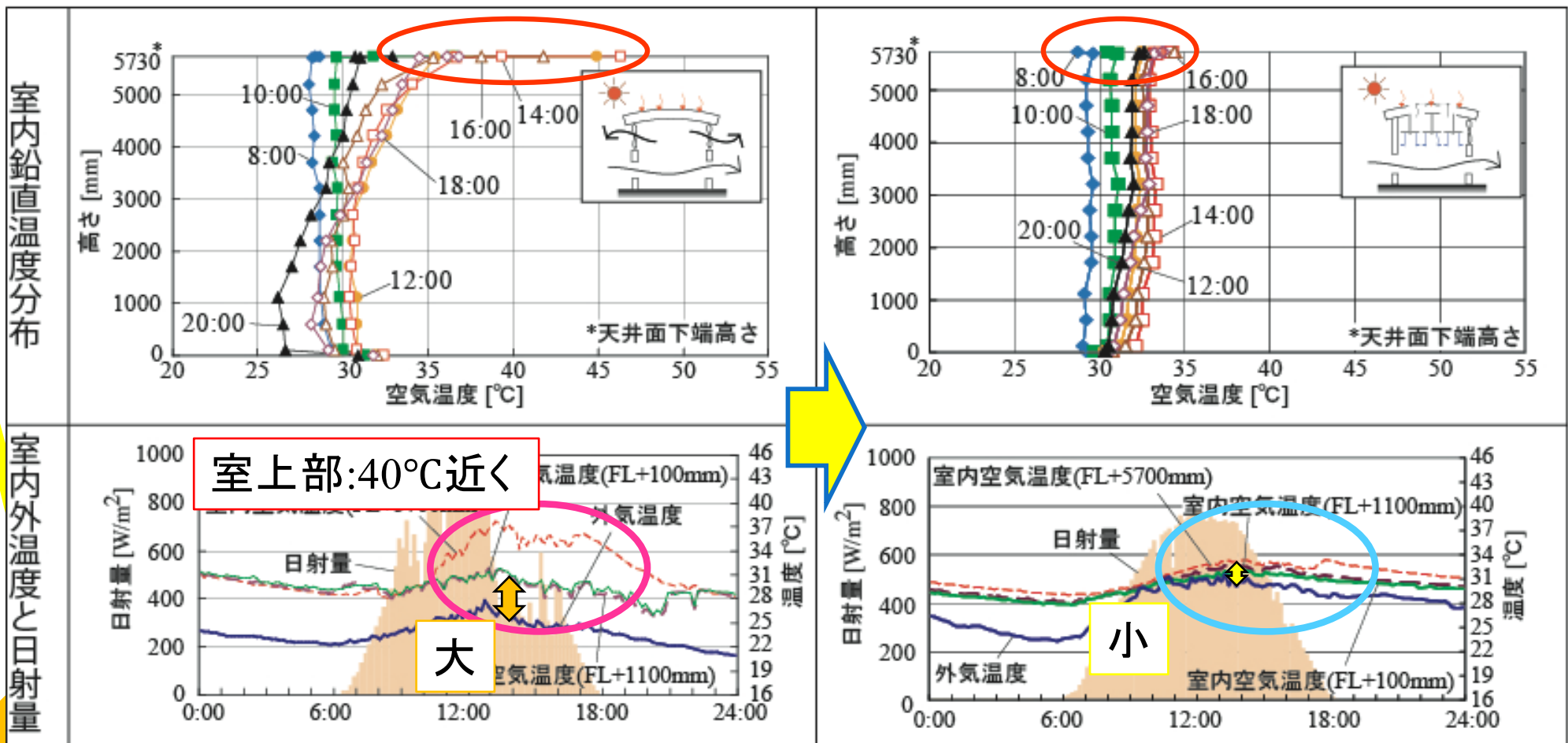
側窓開閉

改修後

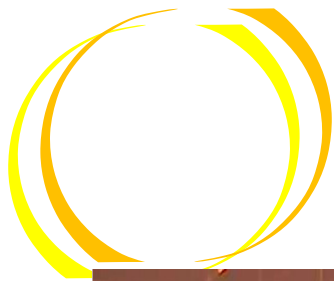
天窗開閉

シーリングファン

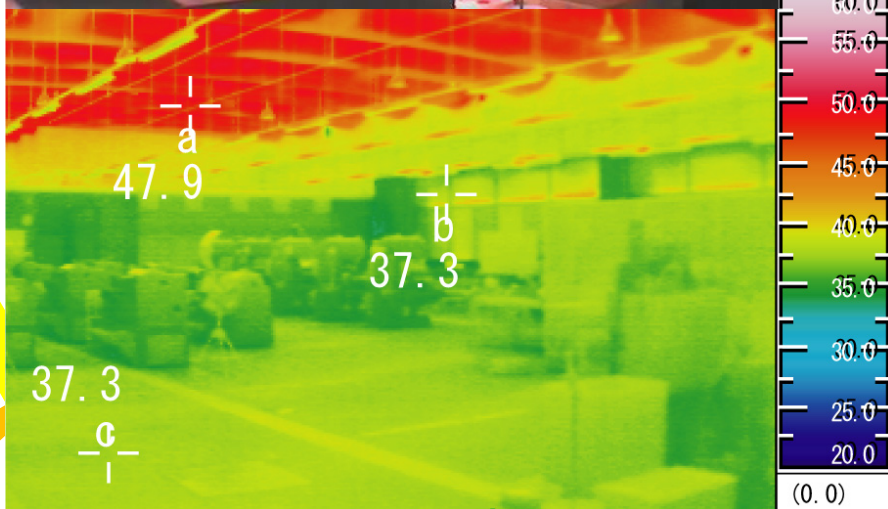
側窓開閉



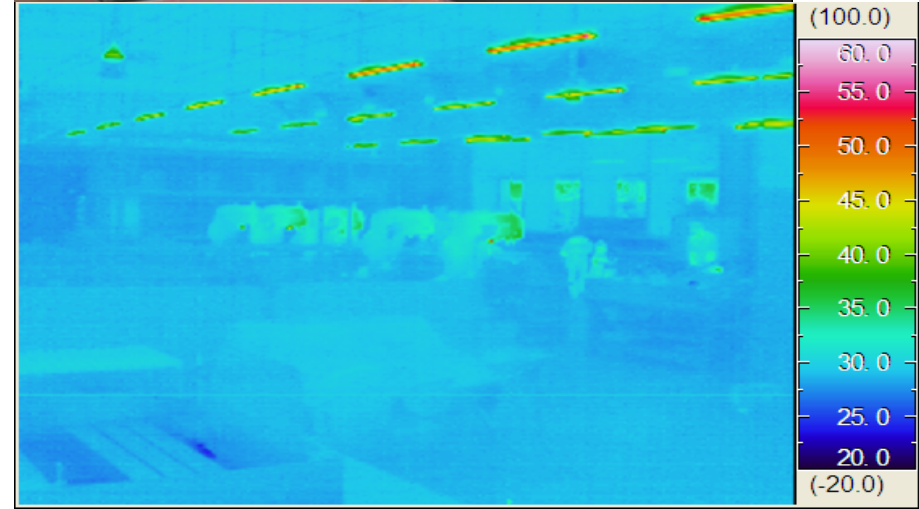
改修前後の温熱環境の変化



室内のサーモビューアによる熱画像



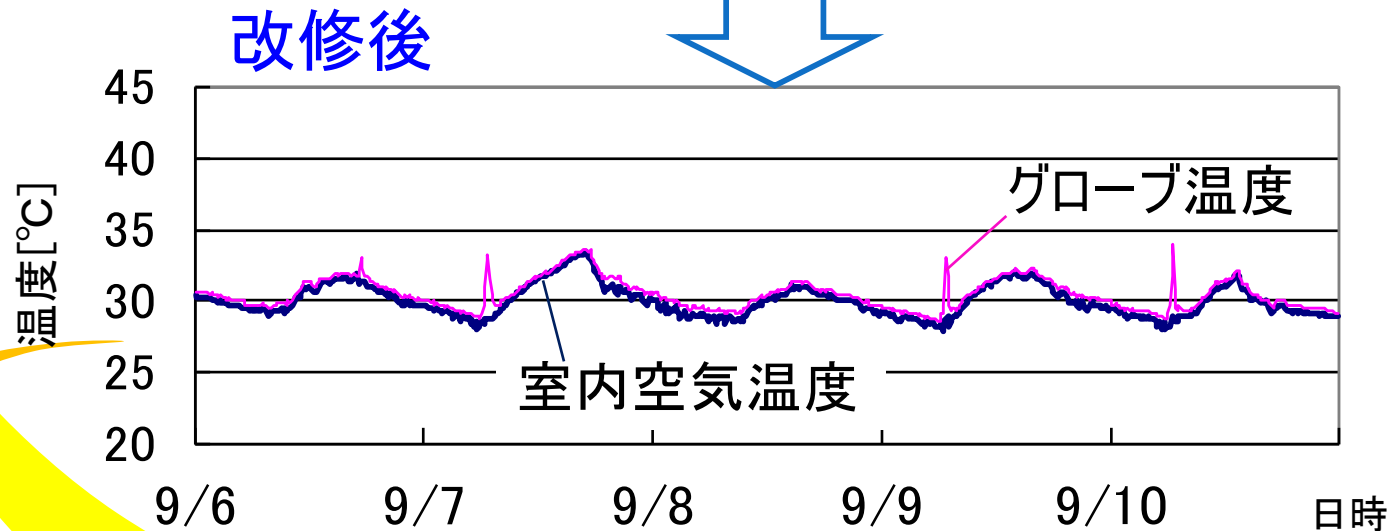
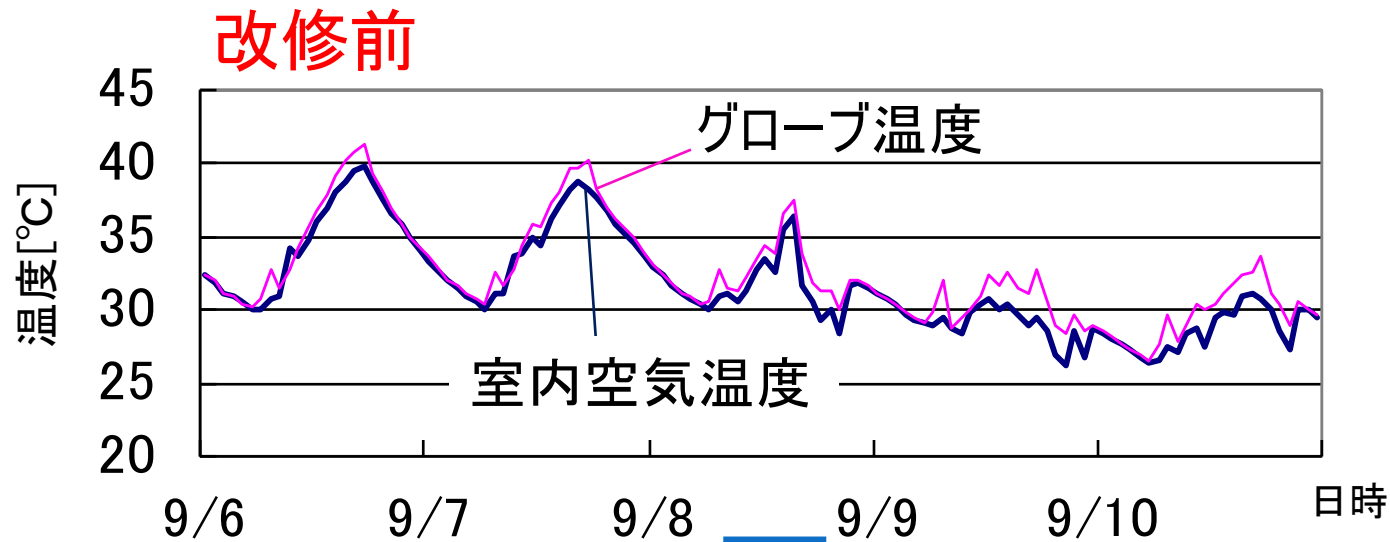
改修前



改修後



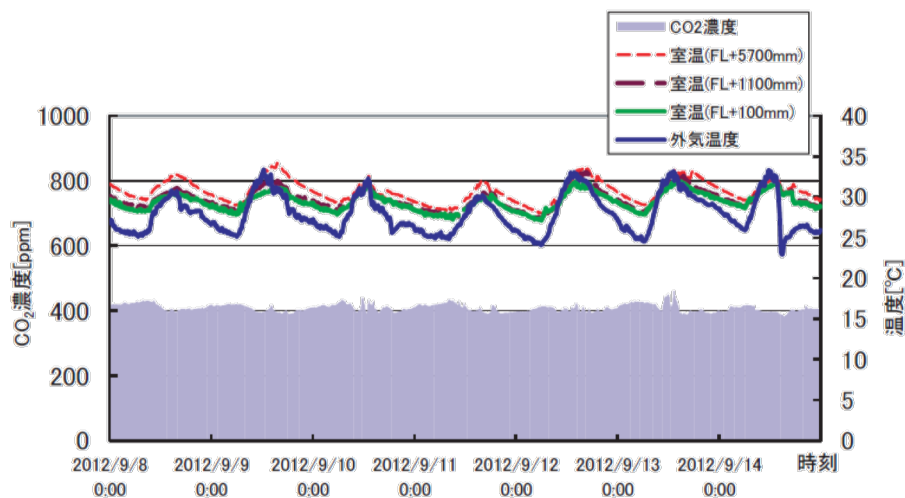
グローブ温度と気温の時間変化



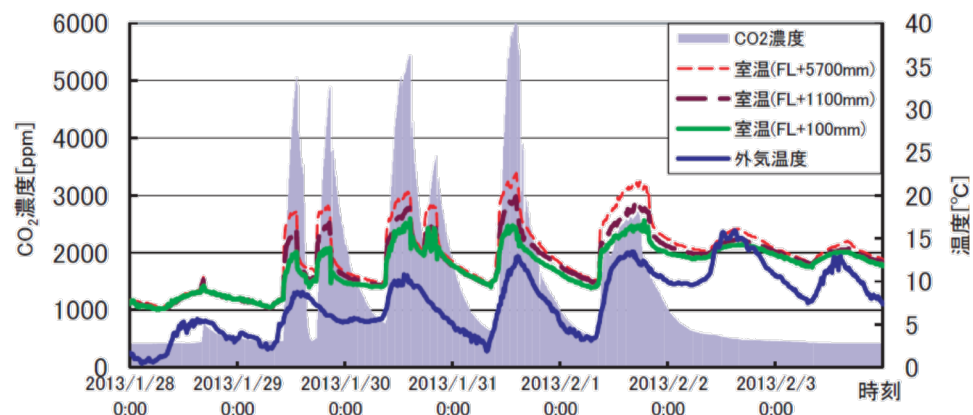
グローブ温度と
室温に差がなくな
った！



CO₂濃度の実測結果



夏期のCO₂濃度変化



冬期のCO₂濃度変化

まとめ

◆9棟 機械実習室



温熱環境

- 屋根仕上げの変更、天窓の開閉により、上下温度分布が小さくなり、室内温度が改修前より抑えられている。
- シーリングファンの利用により、夏季は気流感が得られ、冬季は上下温度分布を小さくすると考えられる。

空気環境

- 冬季、ストーブの使用により室内のCO₂濃度が非常に高くなることがわかった。
- 開閉式天窓の使用などにより室内の空気温度を過度に下げることなく、換気を行い、CO₂濃度や他の汚染物質(窒素酸化物、一酸化炭素など)の濃度上昇を防ぐ有効な手段となり得ると考えられる。



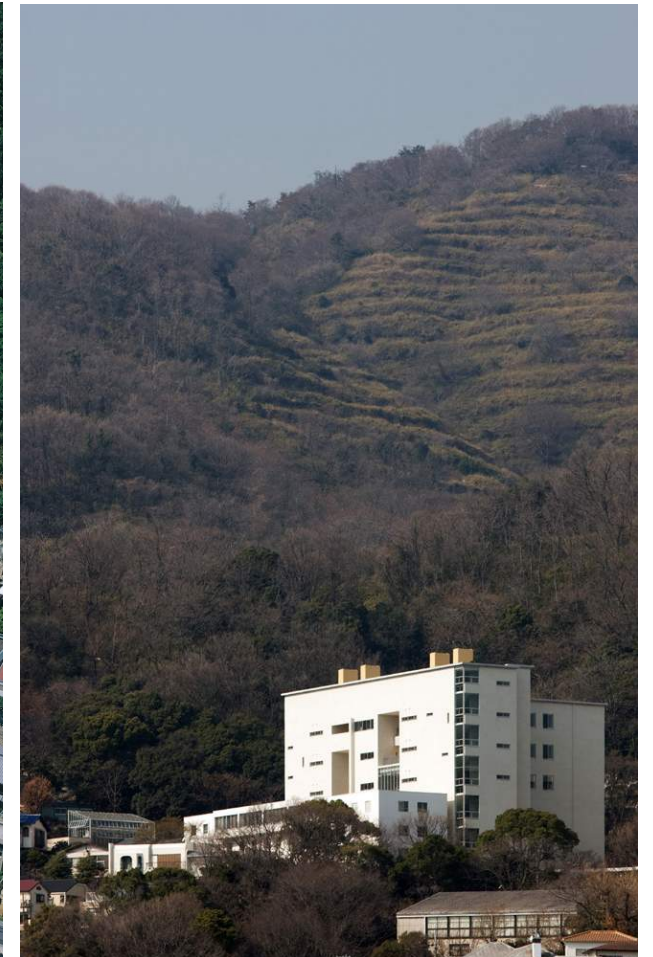
大講義室における 自然換気

ウィンドチムニーによる

ウィンドチームー導入建物(神戸薬科大学)

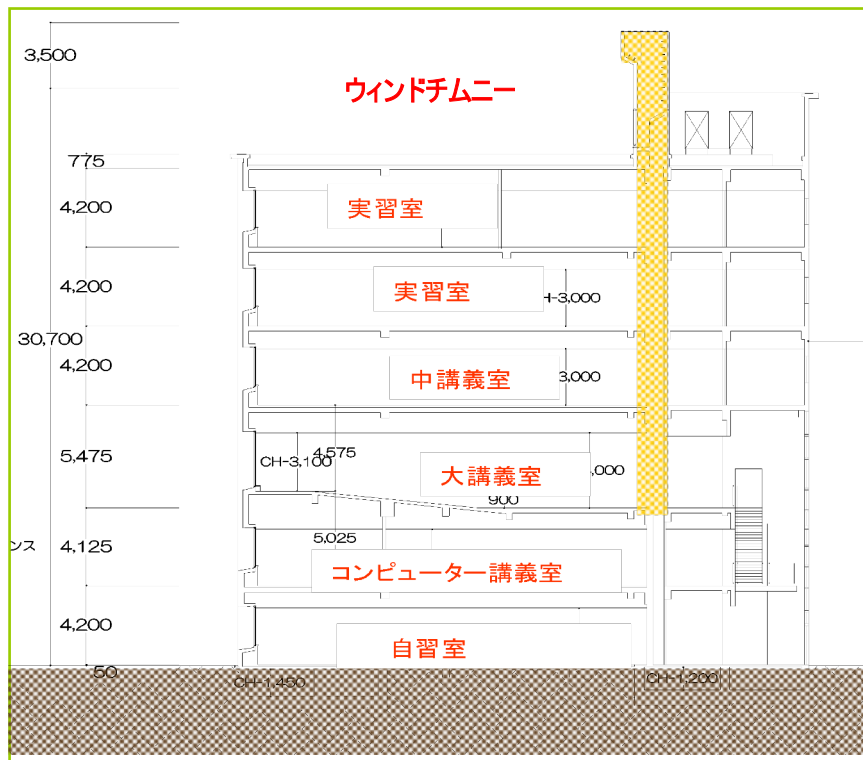


周囲を自然に囲まれた立地



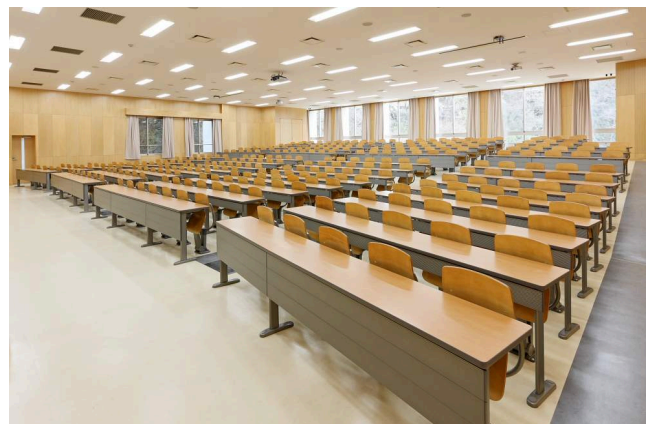
市街地からの遠景

大講義室



断面図

3階講義室のウインドチムニー



足元内倒窓

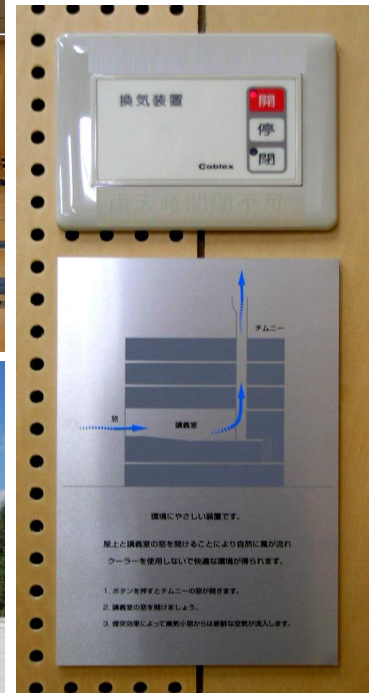


ガラリー

3階講義室後部開口部



屋上ウインドチムニー



システム説明パネル

チムニー形状の検討



筒型

遮風板あき型
遮風板とじ型

通り抜け型

バンチュリー型

神戸薬科大
モデル

11号館における自然換気システム概要



①換気窓

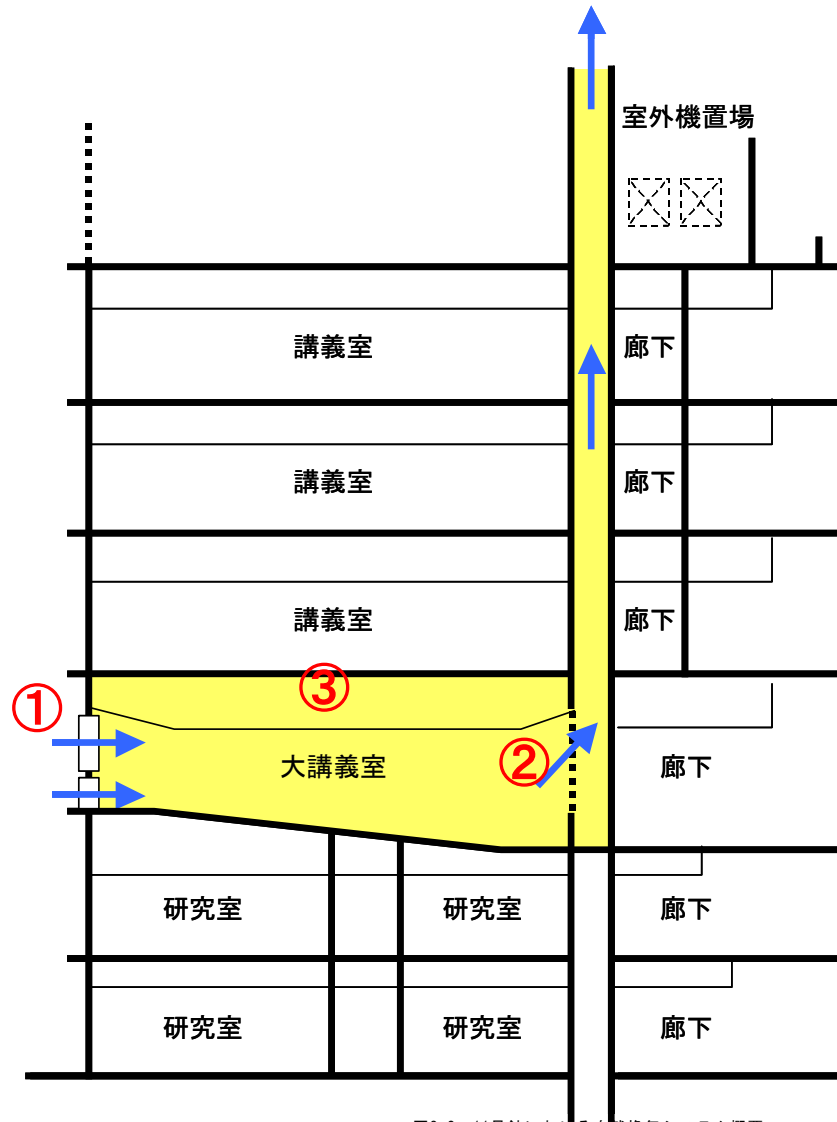
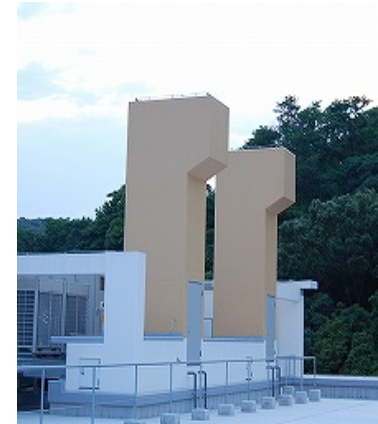


図3.2 11号館における自然換気システム概要



③ウインドチムニー



②講義室—チムニー間
ガラリ

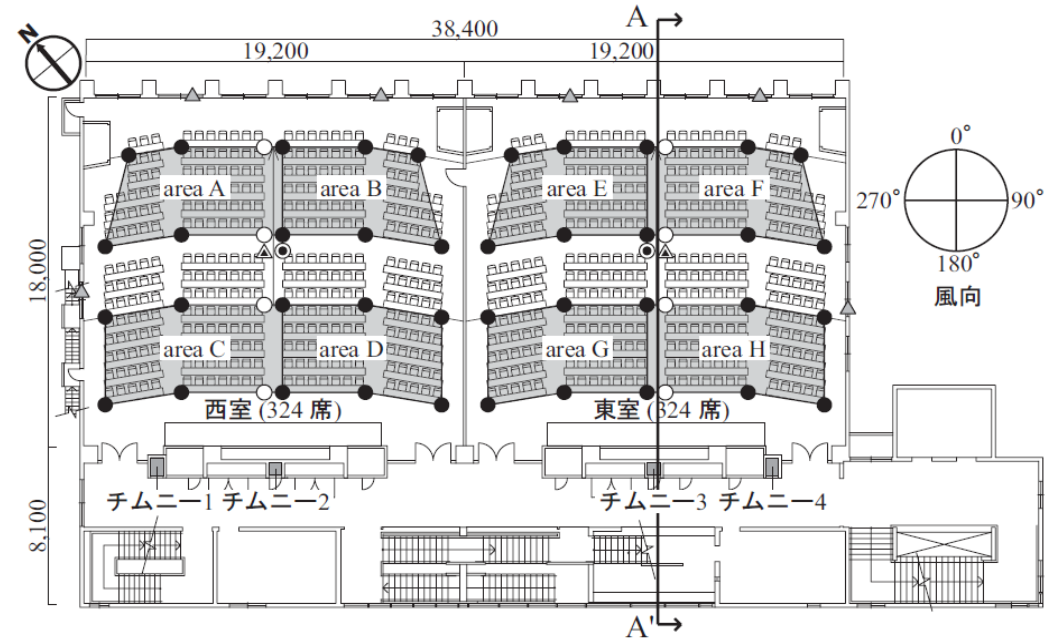
自然換気測定および実態調査

測定概要

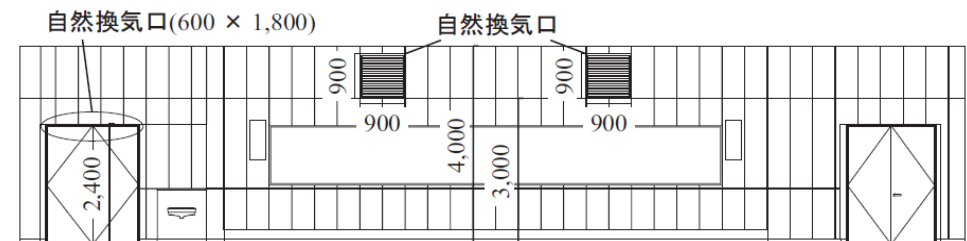
測定時期：2008年6月、
2008年10月
2009年6月

測定項目

測定項目	記号	測定機器	測定数
外部風向風速	+	超音波風速計	1
外気温	⊕	小型温湿度計	1
チムニー内風速	▲	風速計	2 / 室
室内温度(居住域分布)	●	小型温湿度計	20 / 室
室内温度(鉛直分布)	○	小型温湿度計	33 / 室
室内グローブ温度	⊙	グローブ温度計	1 / 室
室内風速	△	風速計	1 / 室
窓面風速	▲	風速計	3 / 室

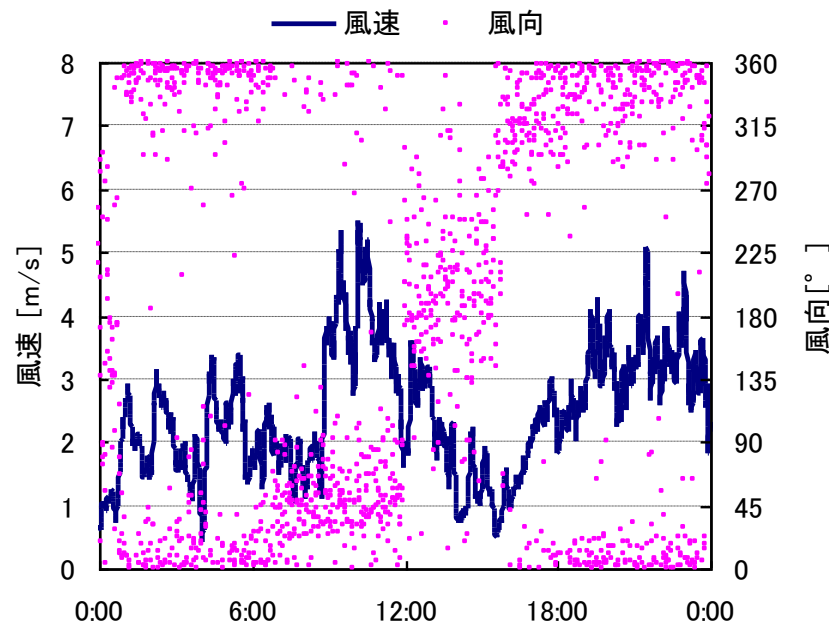


3階大講義室平面図および測定点

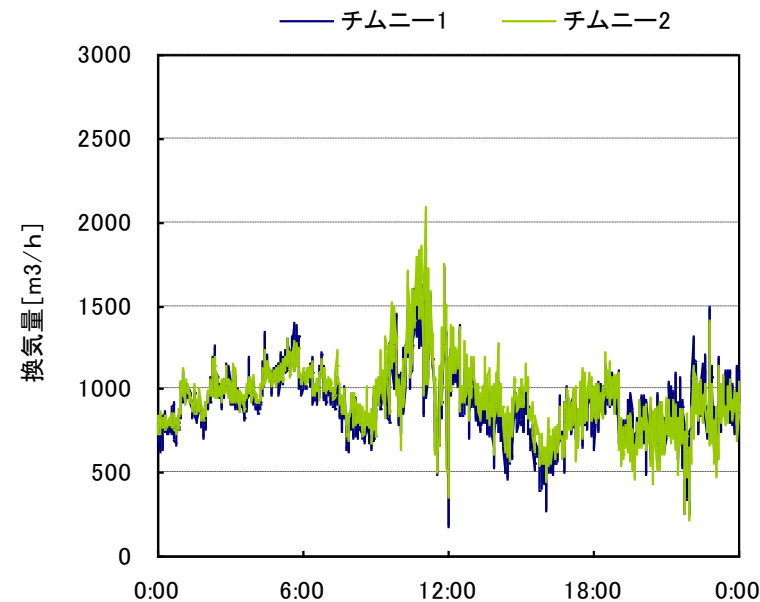


大講義室とチムニー間の換気開口

自然換気測定結果



外部風向風速(10月16日測定)



チムニー換気量(10月16日測定)

■ 測定期間中は後方窓方向からの風が卓越しており、外部風速が大きい程、換気量も大きくなる。

- ・換気量は最大で1室約3,000m³/hであり、換気計算で確認された結果であった。
- ・比較的風速が小さい場合でも講義室は発熱量が多いため、外部風速の変化に関わらず換気量が1室約1,000m³/h以上確保できる。

自然換気測定結果

■コントロール測定概要

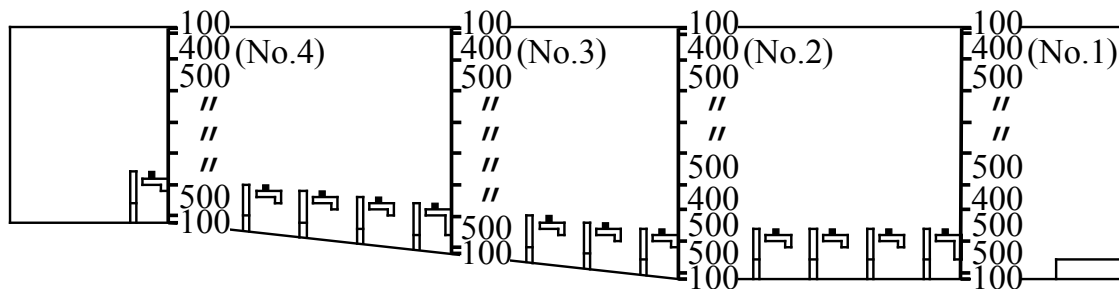
実測条件

条件名	後窓	側窓	空調設定温度
Close	-	-	OFF
Nv	全開	-	OFF
Hb(22 ^{※1})	全開	-	22°C
Hb(25 ^{※1})	全開	-	25°C
AC(25 ^{※1})	-	-	25°C

※1・・・()内の数値は空調設定温度を表す。

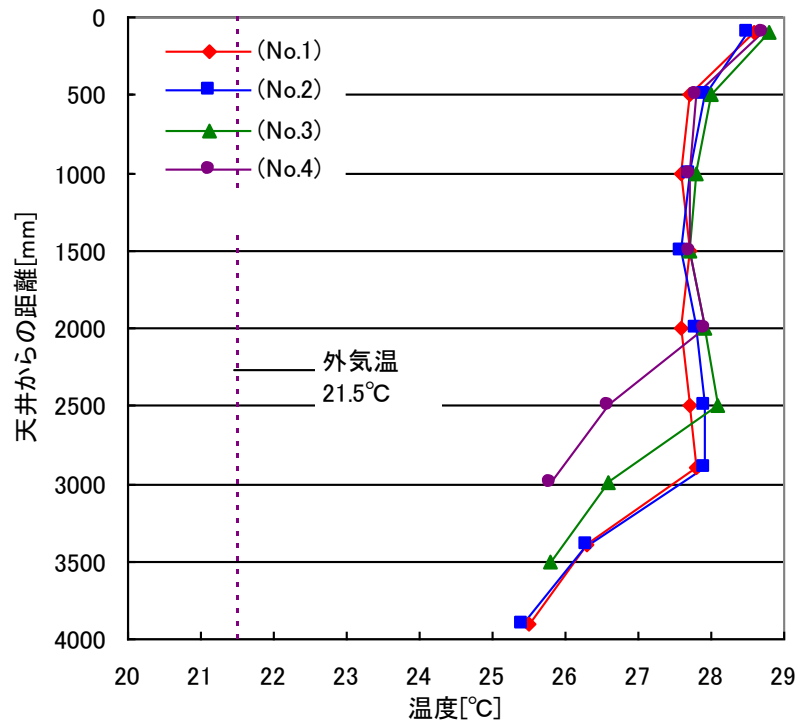


発熱体(60W白熱球)設置状況

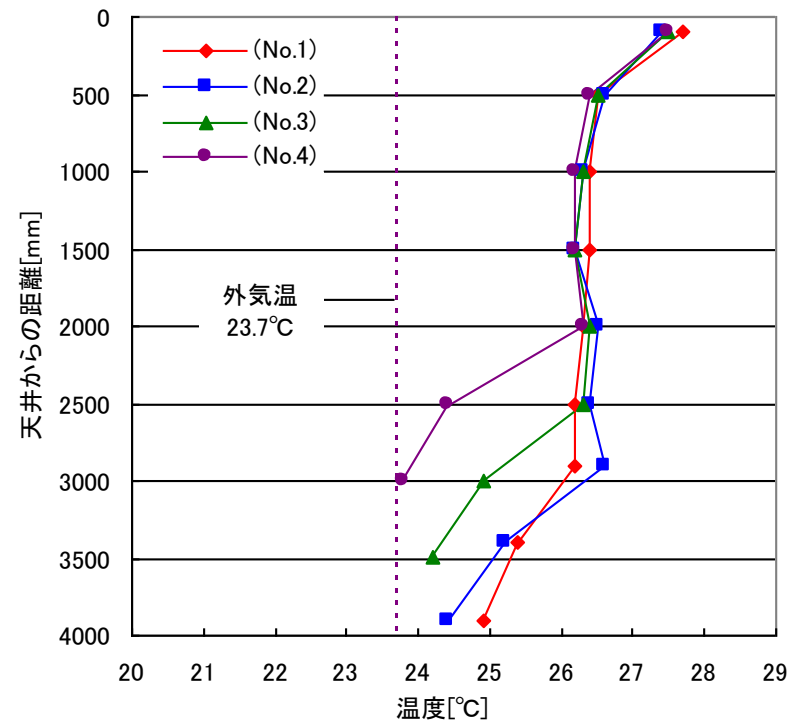


講義室断面および鉛直温度測定点

講義室内の鉛直温度分布



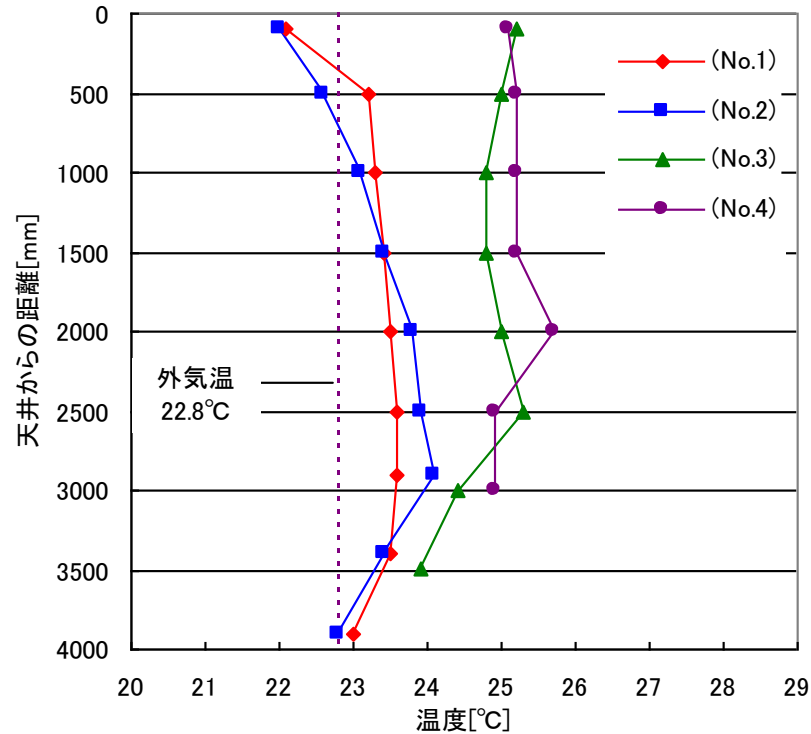
全閉



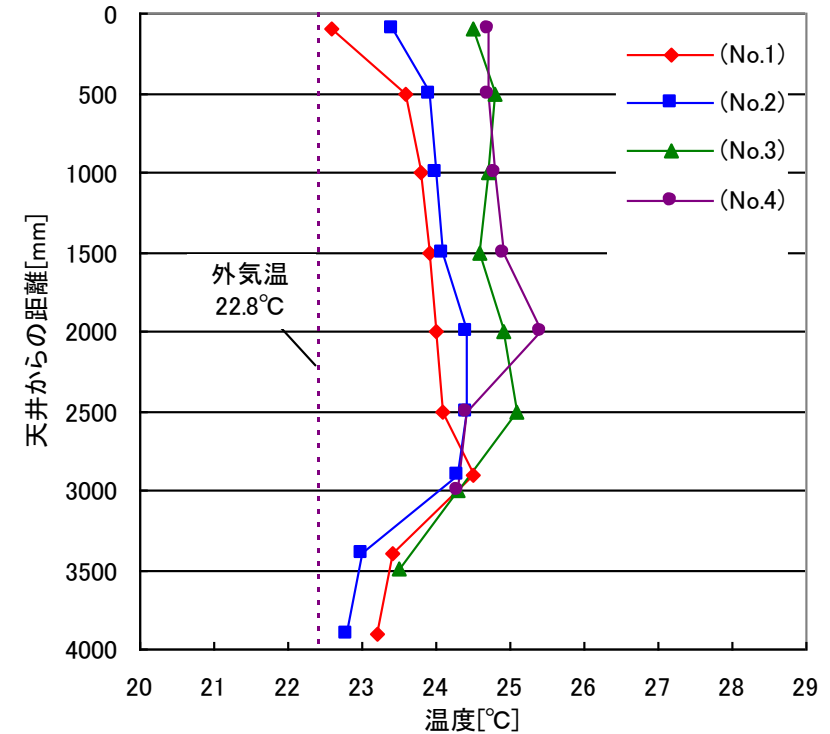
自然換気

- ・全閉条件から自然換気条件になると室全体で1°C～2°C程度低下。
- ・居住域においては室後方から流入する外気の影響で室前方より1°C程度低い、居住域よりも上方では室前後の温度差は小さい。

講義室内の鉛直温度分布



空調運転

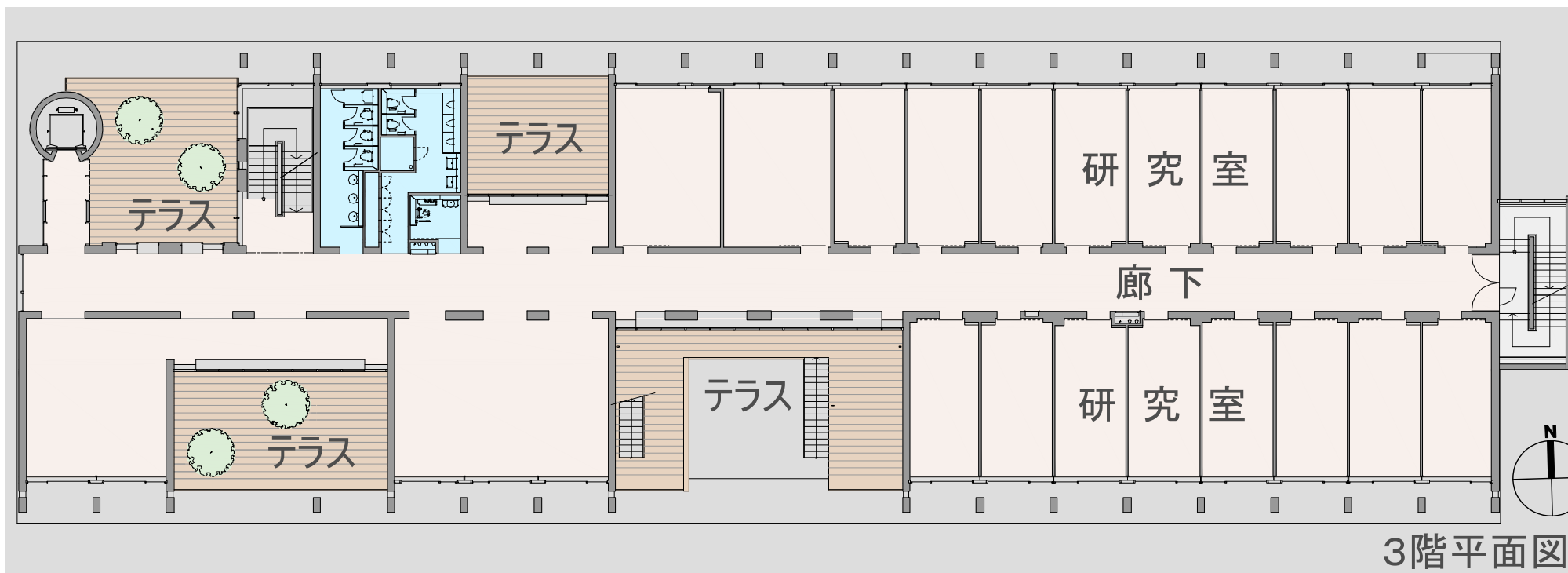


ハイブリッド(空調+自然換気)

- ・ 空調時では室温が自然換気時より1°C～3°Cさらに低下。
- ・ ハイブリッド空調条件下では、機械空調に比べて室内前後の温度差が小さい。

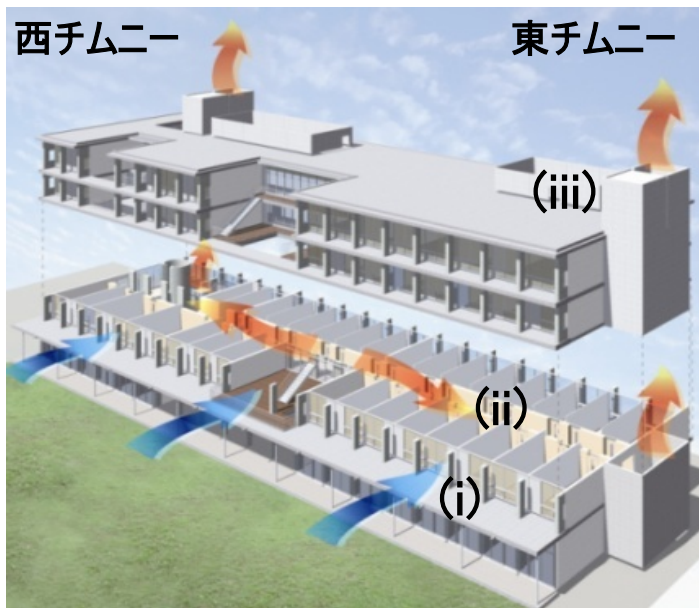
階段室型チムニーを利用した 中廊下型研究室棟の自然換気



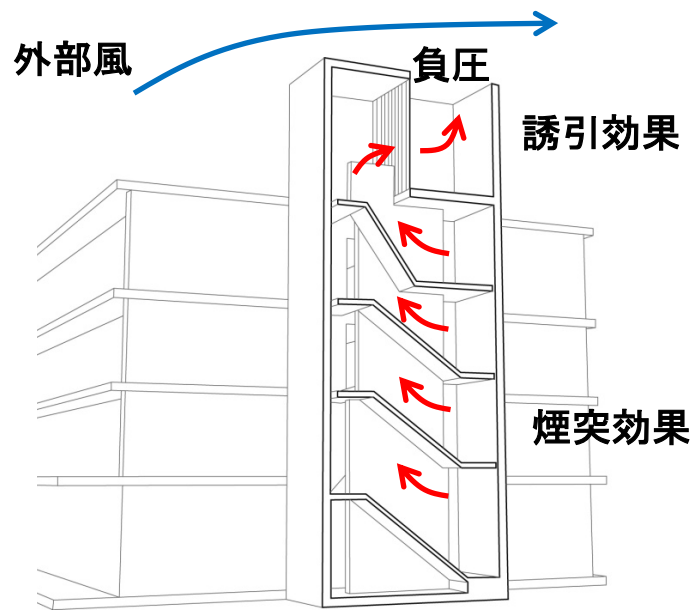


3階平面図

階段室型チムニーを用いた自然換気計画



換気経路



換気促進効果のしくみ



チムニー外観



(i) 窓から外気流入



(ii) 欄間・扉を介して廊下へ排気

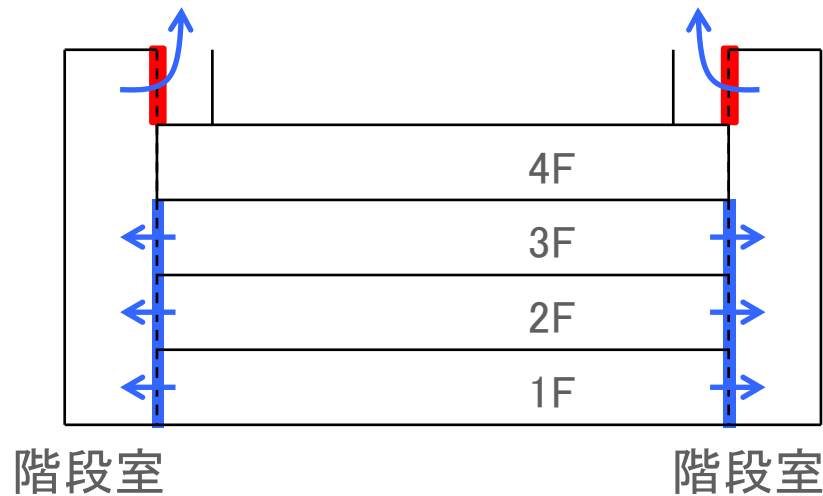


(iii) 階段室上部のガラリより排気

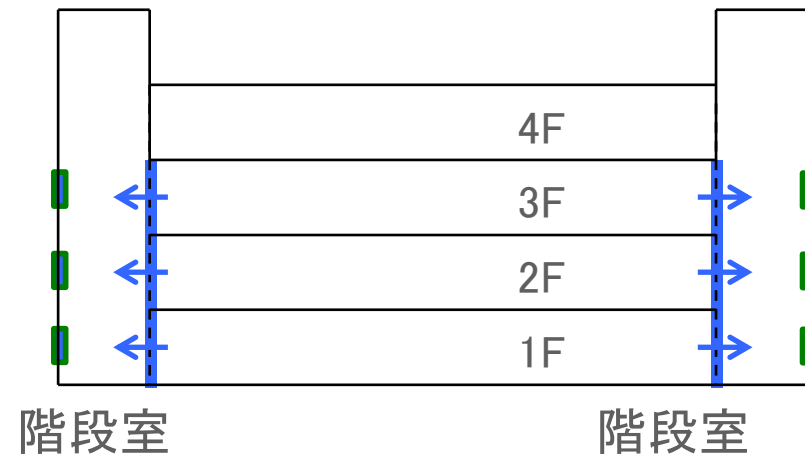


換気促進効果のシミュレーション

換気回路網計算にて、チムニー設置の場合とチムニー同面積の開口が階段室にある場合とを比較し、チムニーがある事による換気促進効果について確認

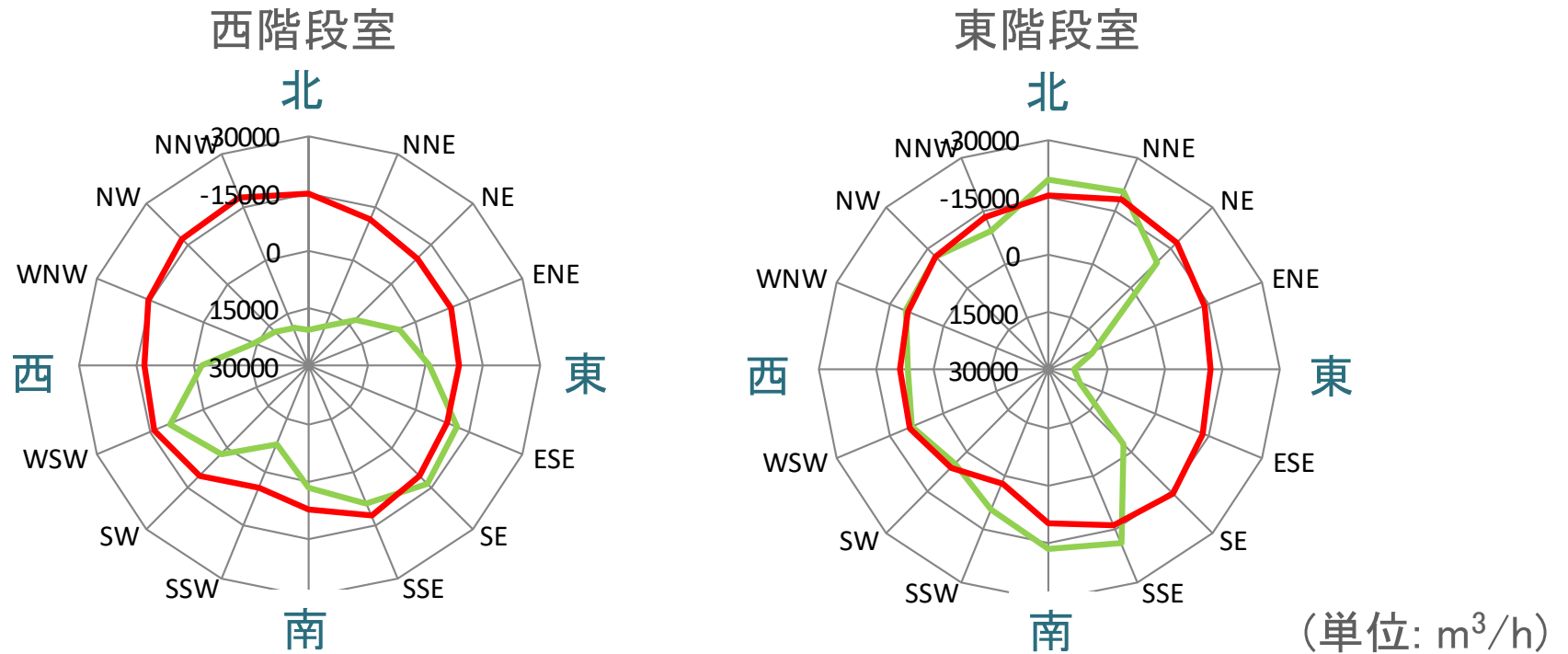


チムニー設置



1F-3Fの各階段室に開口を設置

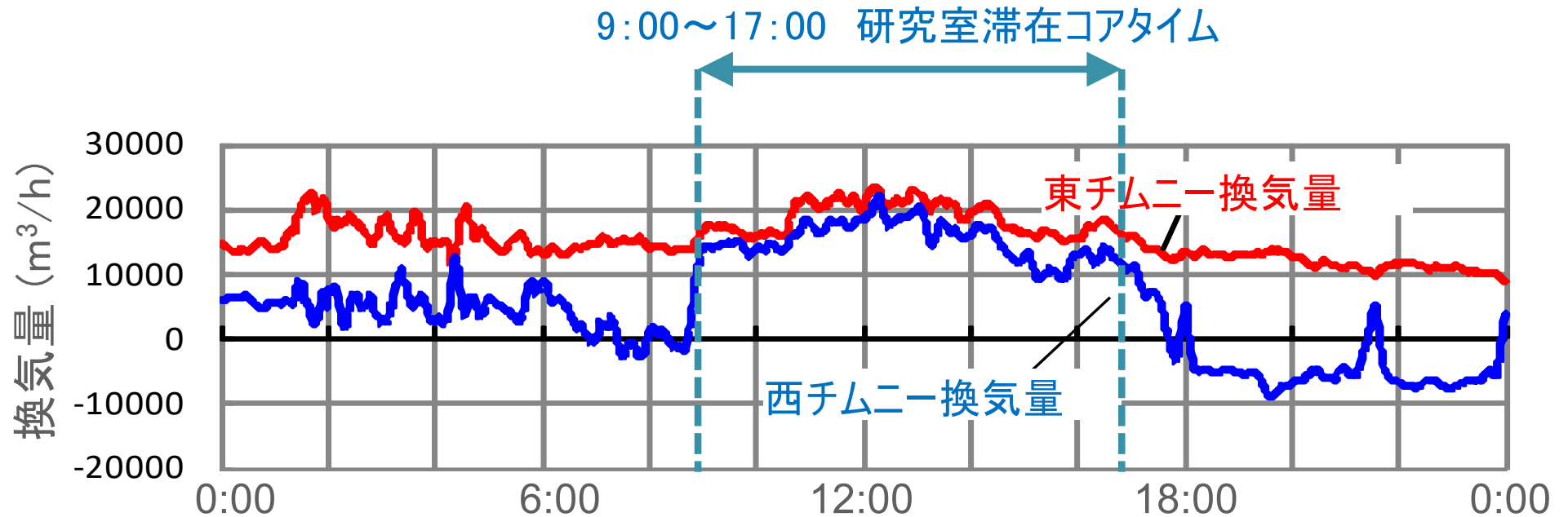
換気促進効果のシミュレーション



- 1-3F階段室に開口設置(合計面積 = チムニー開口と同面積)
- チムニー設置

階段室の換気量シミュレーション(計算条件: 20°C 等温計算、軒高風速 2m/s)

換気促進効果の測定結果

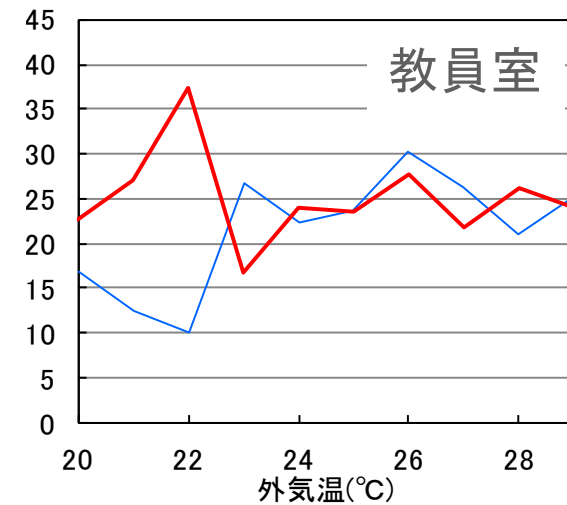
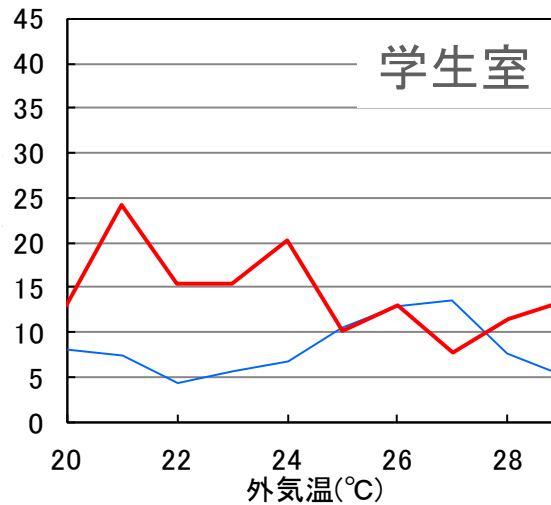


自然換気量測定結果 (測定日: 2009/9/29)

ポスター掲示による運用の改善



掲示ポスター(A4版)

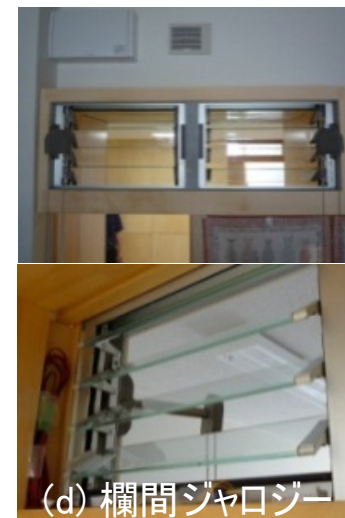


— 秋期(ポスター掲示後)

— 春期(ポスター掲示前)

ポスター掲示前後の外部窓開放率比較

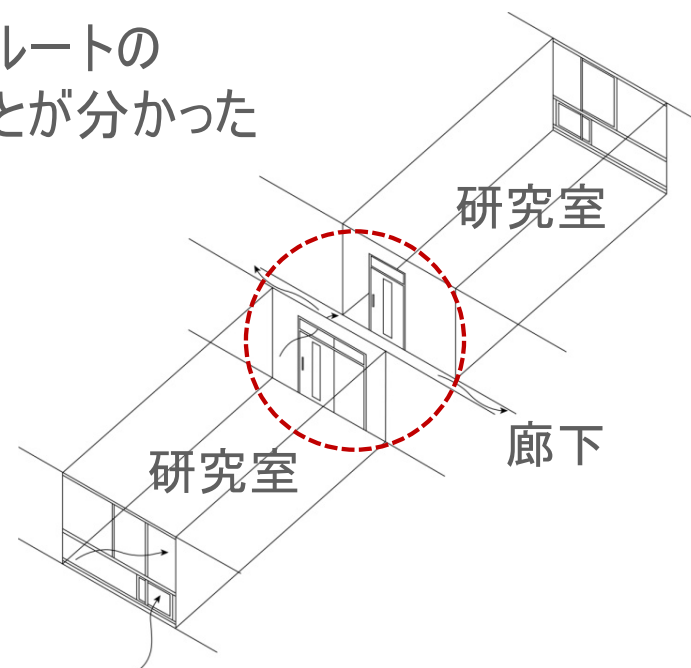
使い勝手の改善



改造扉・欄間



アンケート結果から、
居室と廊下との通風ルート
の開放頻度が少ないことが分かった



まとめ

1. 階段室型チムニーを利用した自然換気計画

- いずれの風向においても換気促進が得られるよう換気経路を計画し、換気量が風洞実験結果と実測値がほぼ一致することを確認した。

2. 運用実態の把握と、自然換気利用の改善

- 説明会、ポスター掲示、アンケート調査などの啓蒙活動を竣工後継続実施し、特に、ポスター掲示前後で、窓開放の頻度向上を確認した。
- 通風開口部の使い勝手向上のため、研究室一廊下間の扉・欄間を改造し、改造前後で操作性と利用頻度を向上させることができた。



今後の課題

- 普通教室への展開
 - 自然換気期間を長く確保するための外気の取り入れ方
 - 夏期ナイトパーズの活用
 - 遮熱性能の確保と日射遮蔽装置との併用
 - 廊下換気の活用方法
- 自然換気と知的生産性(学習効率)との関係解明
- ハイブリッド換気(自然換気と空調との併用)の可能性検討