

## 中小規模建物において省エネルギー方策を施した場合の室内の環境質維持に関する研究

創造理工学専攻 環境都市コース 6164080056-8 山田 佳史  
(指導教員 近本智行)

## 1. はじめに

大規模建物においては中央監視等で室内温湿度をモニターしていることが多いが、中小規模ビルにおいて室内温湿度は個別設定であることが多く過剰冷却や高負荷域の能力不足が懸念される。また、室内空気質の維持において必要な換気も個別発停であることが多い。ビル管理法においては、空気質環境の測定は 3,000 m<sup>2</sup>以上の「特定建築物」に限られており、これ以下の中小規模の建物には規制が及ばない。一方、2010 年 4 月には改正省エネルギー法が施行され「特定建築物」において床面積の適応範囲が 300 m<sup>2</sup>以上に拡大された。このため、室内環境の十分な考慮がされないまま省エネルギーが推進される可能性があるが、室内の環境質や機器の運転状況が十分に把握できていないという問題点がある。

本研究では、実測により中小規模建物を想定した室内環境の現状を把握すると共に、CFD 解析を用いて空調や換気の有無による室内の環境質環境の維持を考察する。

## 2. 実測概要

## 2-1 実測目的

本研究では 24 時間利用者のいる偏在型オフィスと、間欠運転が多く機器の運転状況に大きな差があるオフィスを想定した実測として、大学校舎において室内環境の分布性状に着目して実測を行った。同時に、室内環境質が人体の心理にどのような影響を及ぼすかを測定した。

## 2-2 実測場所・期間

測定は夏期、中間期、冬期に立命館大学内において、下記の 2 つの想定をした研究室と教室において実施した。研究室は 24 時間利用者がいる偏在型オフィスを、教室は間欠運転が多いオフィスと想定した。

以下、24 時間偏在型オフィスは「偏在型」、間欠運転が多いオフィスは「間欠型」と呼ぶ。

## 2-3 測定ケース

中小規模建物では空調などの運転が十分に制御できていないため、個別制御となっている可能性がある。その現状に合わせて空調と換気（自然換気<sup>注1)</sup>と機械換気)の有無によりケース分けを行った(表1)。測定時間は「研究室」では3時間、「教室」では1.5時間とした。

夏期においては空調のみの状態を基準ケースとし、中間期と冬期は空調も換気もない状態を各基準ケースとする。

表1 実測ケース<sup>注2)</sup>

※基準ケース

Case	時期	対象 部屋	空調	換気		測定 時間
				自然	機械	
1-1	夏期 2009年 7月 13~17日	偏在型	○	○	○	3時間
1-2				×	×	
1-3				×	○	
1-4*				×	×	
1-5			×	○	○	
1-6				×	×	
1-7				×	○	
1-8				○強	○	
2-1	間欠型	○	○	×	1.5時間	
2-2			×	×		
3-1	中間期 2009年 10月 26~29日	偏在型	×	○	○	3時間
3-2				×	×	
3-3				×	○	
3-4			○	×	×	
3-5*				×	×	
4-1	間欠型	×	○	×	1.5時間	
4-2			×	×		
5-1	冬期 2008年 12月 5~15日	偏在型	○	○	○	3時間
5-2				×	×	
5-3				×	○	
5-4				×	×	
5-5			×	○	○	
5-6				×	×	
5-7				×	○	
5-8*				×	×	
6-1	間欠型	○	○	×	1.5時間	
6-2			×	×		
6-3			○	×		
6-4			×	×		

## 2-4 測定項目

測定は物理量として室内環境、機器の運転状況を測定し、心理量としてアンケートを実施した。

## 2-4-1 物理量測定概要

測定項目と測定機器の配置を示す(図1、図2、表2)。

## (1) 運転状況

運転状況を知るために FCU と給排気口の出入口温度を測定する。ここで得られた出入口温度の温度差より空調投入熱量を算出する<sup>注3)</sup>。

(2) 室内環境質

室内環境質を温度、湿度、風速、PMV、照度、CO<sub>2</sub>濃度、浮遊粉塵量として測定する。CO<sub>2</sub>濃度、浮遊粉塵量を除いて高さを変えて測定した。また、温度に関しては平面分布も考慮した。

測定間隔は、温度、湿度、風速、PMV、照度は5分間隔でCO<sub>2</sub>濃度、浮遊粉塵量は15分間隔で測定した。

A点には、アメニティメータ、照度計、CO<sub>2</sub>計を設置し、ペリメータの温度、湿度、風速、PMV、照度、CO<sub>2</sub>濃度を測定した。B点は高さ730mmにおいて、照度計、浮遊粉塵計を設置し、インテリアの照度、粉塵濃度を測定した。

2-4-2 アンケート概要

室内環境質の変化によって、室の在室者がどのように感じているかを把握することを目的としアンケートを実施した。

「研究室」では3時間の測定で30分毎に計6回行い、「教室」では1.5時間の測定で30分毎に計3回行った。

項目は、事前アンケートとして個人の属性を、実測中アンケートは部屋の環境に対する4つの環境(温熱、空気、光、室内)に対する申告とその時の心境(リラックス状態か緊張状態か)を加えたものとした。また、実測終了時には着衣、照明を変化させたいと感じた時刻と換気をしたと感じた時刻、自由記述欄を項目として終了アンケートを実施した。

3. CFD解析概要

3-1 解析対象 (図3)

空調方式はFCUとし、解析対象は実測で使用した「研究室」を基にして東面に窓を有するオフィスモデルを想定した(幅×奥行き×高さ=9m×11.2m×3m)。

3-2 解析概要

それぞれ12:00を想定した空調負荷を設定。室内には人体、PC、照明による内部負荷を与える(表3)。外部負荷は外壁の熱貫流率を1.0W/m<sup>2</sup>・Kとして与えた。空調の吹出し温度、給気口温度、吹出し風量は実測値より与えた。吹出し風量は3.1m<sup>3</sup>/minとした。

3-3 解析ケース

空調の有無、換気方式(自然換気と機械換気)、外気温度条件を変化させ、計9ケースの解析を実施(表4)。

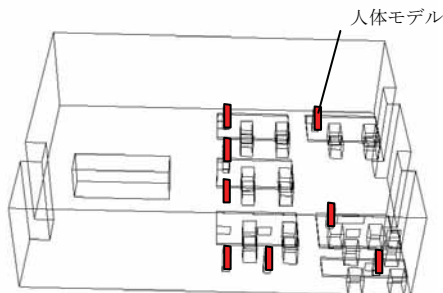
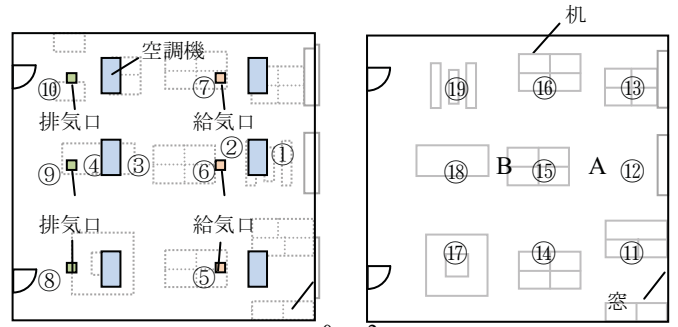
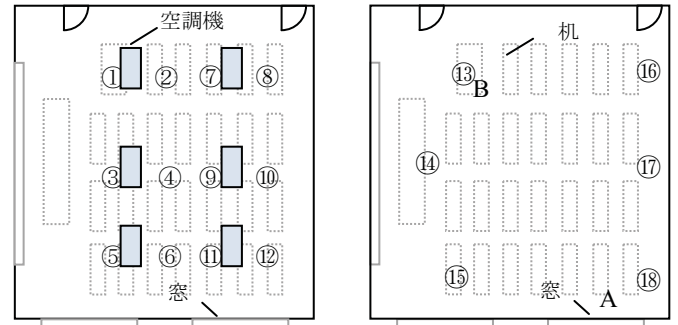


図3 CFD解析モデル



(1) 天井面 (2) 居住域  
図1 測定機器配置「研究室」 (測定点: ①~⑱ と A, B)



(1) 天井面 (2) 居住域  
図2 測定機器配置「教室」 (測定点: ①~⑱ A, B)

表2 測定項目<sup>注4)</sup>と測定位置

測定項目	研究室		教室	
	配置	床面高さ	配置	床面高さ
運転状況	空調吹出し・吸込み温度	①~④ 天井面 (2600mm)	①~⑫ 天井面 (3000mm)	
	給排気口温度	⑤~⑩	—	—
室内環境	温度	居住域 ⑪~⑱	1100mm	⑬~⑰ 730mm
		上下	100mm	100mm
	湿度	A	600mm	A 600mm
	気流	A	1100mm	A 1100mm
	PMV	A	1600mm	A 1600mm
	照度	A, B	730mm (B)	A, B 730mm (B)
	CO <sub>2</sub> 濃度	A	730mm	A 730mm
浮遊粉塵量	B		B 730mm	

表3 空調負荷

内部負荷	PC (10台)	500W (50W/台)
	人体 (8体)	480W (60W/人)
	照明 (18台)	1,800W (100W/台)

表4 解析ケース

Case	空調	外気温	換気	
			自然	機械
Case1-1	○	33°C	×	×
Case1-2	○	33°C	○	×
Case1-3	○	30°C	○	×
Case1-4	○	33°C	×	○
Case1-5	○1/2	33°C	×	○
Case1-6	○1/2	30°C	×	○
Case2-1	×	10°C	×	×
Case2-2	○		×	○
Case2-3	○		×	×

## 4. 結果

### 4-1 実測結果

#### 4-1-1 運転状況 (図4)

自然換気のあるケース 1-1 よりも自然換気のないケース 1-3 の方が空調投入熱量は多くなっている。これは、ケース 1-1 実測日の外気温がケース 1-3 に比べ約 2℃低いことが原因として考えられる。また、在室人数が投入熱量に影響があると考えられる。また、空調機が 1 台作動していない部屋や間仕切りの変更によって機械換気の系統が設計当初とずれている部屋があった。

#### 4-1-2 室内環境質 (図5~7)

温度の平面分布は各ケース間で温度に違いはあるもののおおよそ同じ幅で推移しており、ペリメータとインテリアでは 1~2℃の差がつくケースが多く見られた。

ケース 1-1 では空調を導入し自然換気をしているが平均して 27℃程度で推移しており、外気温の条件では窓を開放したまま空調をすれば室内はある程度適温に保てることが分かった。中間期に自然換気のみを行ったケース 3-2 では 24℃程度に保たれており、良好な環境が保たれていた。

照度分布は、ペリメータ側 (600mm) とインテリア側の実測時間平均で示す (図 6)。ペリメータが高い値を示しているのは直射日光の影響である。また、インテリア側はケースに関わらず、ほぼ一定の値を示している。

CO<sub>2</sub>濃度は、人数が少ない「研究室」では測定時間での平均は 1,000ppm をこえなかった。それに対し、人数の多い「教室」では、換気をしないケース 2-2 で CO<sub>2</sub>濃度はかなり高くなった (図 7)。自然換気をしている 2-1 と比べると値が大幅に増加している。人数が多くても自然換気を行うことで十分に換気ができていることがわかる。

浮遊粉塵量に関しては、ケース間での相関はみられず、在室人数に比例して値が上昇していた。

#### 4-1-3 アンケート結果と室内環境質

アンケート調査と温度、CO<sub>2</sub>濃度の関係を示す (図 8)。温度が低いケースに比べ温度が高いときに空気質環境満足度の申告値が低い値で推移している。これは温度が高くなるにつれ空気のこもり感を感じやすくなり、空気質満足度が低下したと考えられる。CO<sub>2</sub>濃度に関しては、濃度の上昇に伴う申告値の変化はほぼないが、CO<sub>2</sub>濃度値が高いときに平均申告値が低くなる傾向が見られる。

夏期では居住域温度 26~27℃、中間期においては 24℃付近で快適感申告値の値が高くなっている。季節によって快適温度が違うのは着衣量の変化によると考えられる (図 9)。また、温熱環境満足度と快適感の申告値には相関係数 0.96 という強い相関が見られた (図 10)。

全体的に適温に保ったまま、新鮮な空気を導入した場合に満足度が高くなる傾向となった。

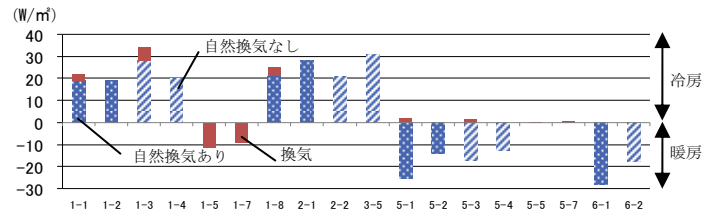


図4 空調投入熱量

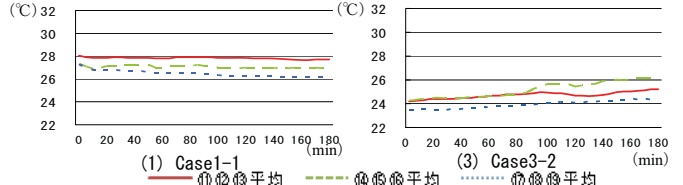


図5 居住域水平温度分布

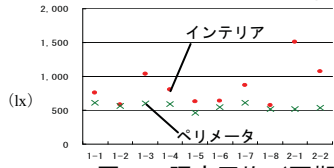


図6 照度平均 (夏期)

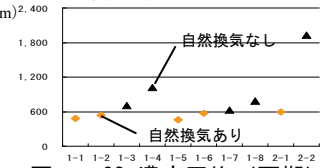


図7 CO<sub>2</sub>濃度平均 (夏期)

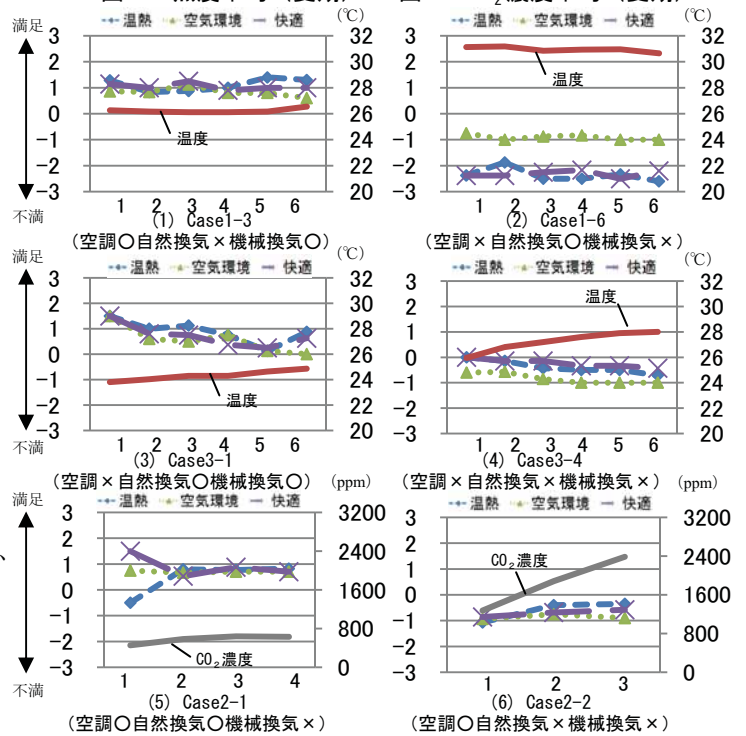


図8 室内環境アンケートの結果



図9 温度と申告値の関係図

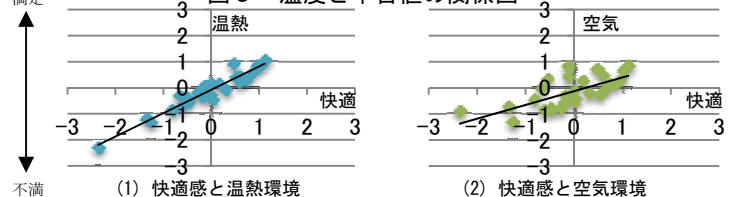


図10 申告値相関図

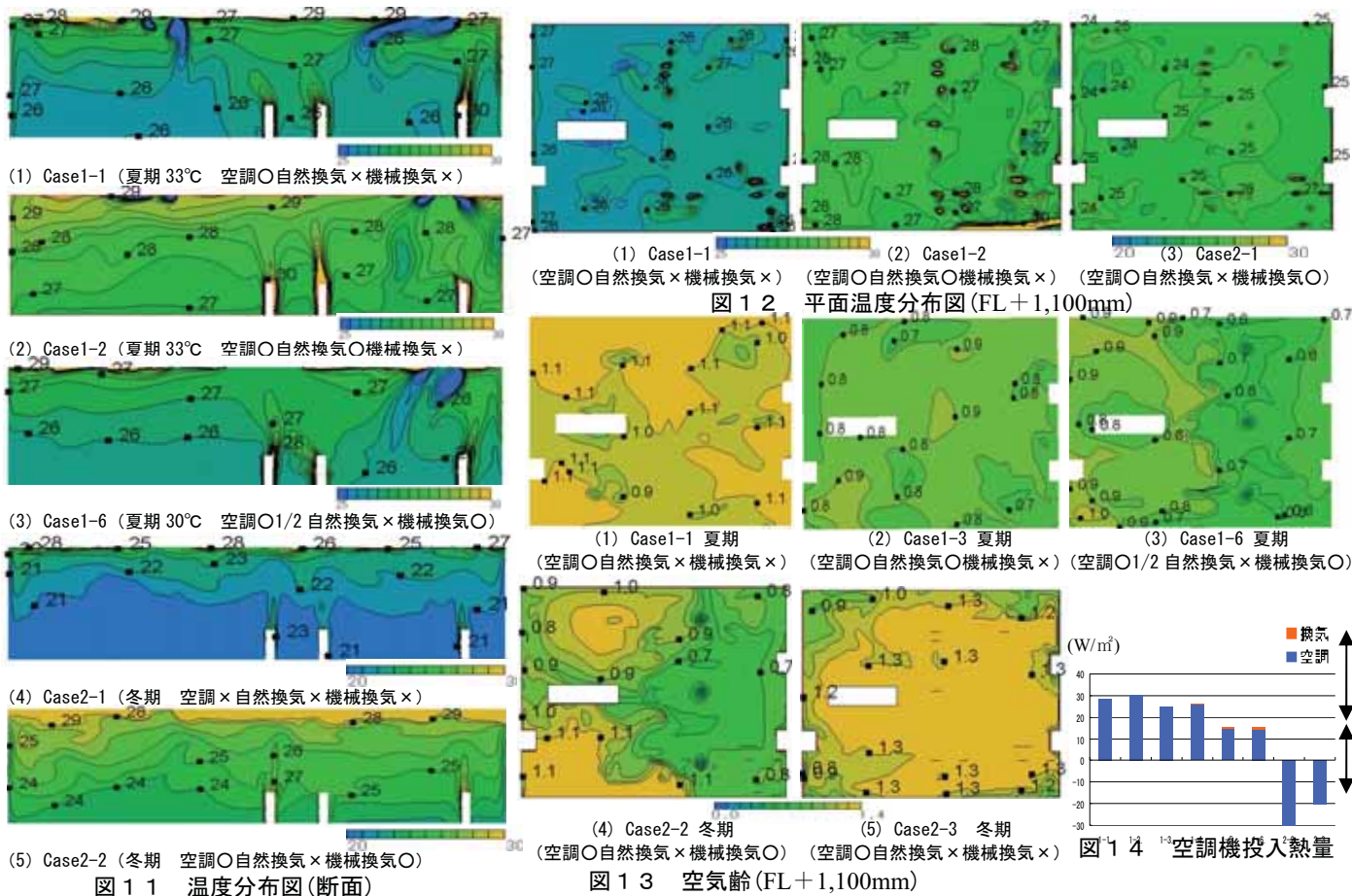


図 1 1 温度分布図(断面)

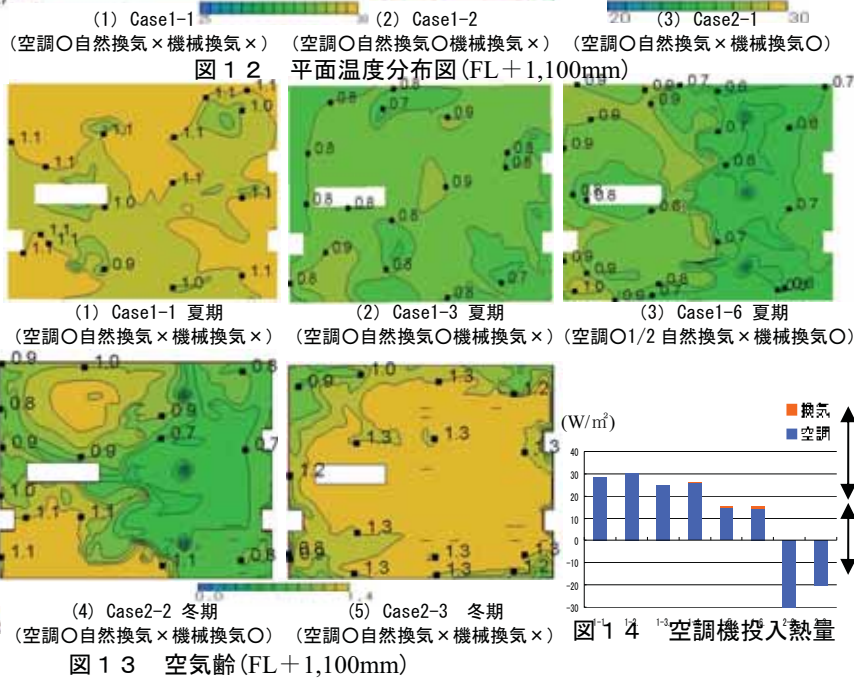


図 1 2 平面温度分布図 (FL+1,100mm)

図 1 4 空調機投入熱量

#### 4-2 CFD 解析結果 (図 11~13)

##### 4-2-1 夏期結果

基準のケース 1-1 では、ある程度温度は均一に制御されているが局所的に気流が当たっている部分が見られた。また、インテリアとペリメータでは約 1°C の温度差がついている。空気齢に関しては、換気がないために値が高くなっている。自然換気を導入したケース 1-2 では、温度分布は概ね 27~28°C となっており、アンケート結果から得た夏期適温より少し温度が高くなっている。空気質に関しては、空気齢の値より換気が十分にされており新鮮な空気が室内に導入されていることが分かる。外気温が 30°C のケース 1-3 では居住域温度は 25~26°C となっており、外気温の状況によっては自然換気を導入した場合に快適な室内環境をつくれる可能性がある事が分かった。また、自然換気を導入することで空調からの局所的な気流が軽減されている。空調を半分停止し外気温が 33°C の Case1-5 では温度分布が 27°C 程度になっている。外気温 30°C のケース 1-6 では居住域温度は概ね 26°C になっており、適温に保たれている。空気齢に関しても機械換気を行えば十分に空気を新鮮に保てる結果となった。

##### 4-2-2 冬期結果

温熱環境に関してはケース 2-2 で温度の偏りが少なく、ほぼ均一に空調されている。また、空気質に関しては機械換気をすれば分布は発生しているが比較的空気は新鮮に保たれる結果となった。

##### 4-2-3 空調機処理熱量結果 (図 14)

自然換気のある時に空調投入熱量が増加している。また、外気温 33°C と比べると外気温 30°C の空調投入熱量は約 19% 削減されている。空調を半分停止したケース 1-6 では基準ケースと比べると約 46% 減っており省エネルギーと室内環境質の維持を両立できる結果となった。

#### 5. まとめ

本研究では、省エネルギー法の制約を満たした上で室内環境質を維持できる方策を立案する事を目的に中小規模建物を想定した実測と CFD 解析を行った。実測においては、居住域温度を適温に保ったまま新鮮な空気を導入した場合に居住者の満足度が高くなる結果となった。

CFD の結果では、外気温の状況によっては空調をつけたまま自然換気を導入した場合に快適感が高くなる可能性があることが分かった。

注 1) 自然換気は窓 (高さ×幅=2,000mm×2,900mm) の 15% を 3ヶ所開けることとする。測定期間中に開閉状態は変えない。  
 注 2) 空調機の風量は「研究室」では 1,120 m³/h、ケース 1-8 は 3,360 m³/h「教室」では 1,280 m³/h とした。また、換気量は 700 m³/h とした。  
 注 3) 出入口の温度差と風量、空気 (25°C、50%) の定圧比熱、密度より、投入熱量を算出した。今回は顕熱のみを算出した。  
 注 4) 温度の平面分布および空調、換気口の出入口温度はボタン型クールメモリ、温度の高さ分布・湿度、・気流・PMV はアメニティメータ、照度は照度計、CO<sub>2</sub> 濃度は CO<sub>2</sub> 計を用いて測定した。また、同時に外気温も測定している。  
 注 5) グラフの横軸はアンケートの回数を表す。