

事務室を対象とした自然換気の試行研究

(その 1) 階段室を利用した自然換気における実測とアンケート調査

STUDY ON NATURAL VENTILATION OF OFFICE ROOM

Part1 Measurements and questionnaire survey of natural ventilation using a stair case

伊藤 優^{*1}, 三浦 寿幸^{*2}, 村江 行忠^{*3}, 栗木 茂^{*4}, 鈴木 孝彦^{*1}
 Yu ITO, Toshiyuki MIURA, Yukiada MURAE, Shigeru KURIKI and Takahiko SUZUKI

Natural ventilation using a stair case was conducted experimentally on the third floor of the existing office building in Tsukuba city. Firstly, ventilation volume passed through the openings attached to the windows was estimated using the relation expression between the pressure difference and the air flow volume. Secondly, the change of temperature distribution and wind speed distribution in the office room through conducting natural ventilation was measured. Lastly, questionnaire surveys to office workers about satisfaction level of indoor environment were conducted. The following results were obtained.

1. Air change rate of the office room was 3~7 times per hour.
2. The room air temperature dropped about 2 degrees after opening ventilation window and increased 1~2 degrees after closing.
3. From the result of questionnaire surveys, in the area near the openings, workers were more satisfied with the indoor environment than the other area.

Keywords: Natural Ventilation, Measurements, Ventilation Volume, Temperature Distribution, Questionnaire Survey
 自然換気, 実測, 換気量, 温度分布, アンケート調査

1. はじめに

自然換気は、冷房エネルギーや搬送動力の削減に有効であるばかりでなく、震災時の BCP の観点から見直されるようになってきた。また、ZEB を構築する際にも有用な環境配慮技術と考えられる。

昨年の秋に、通常事務室として使われる建物の 1 フロアを対象に窓開口と階段室を利用して自然換気を試行し、換気量や室内温度・風速分布等の基礎的な実測を行った。さらに、執務者に対して自然換気時の室内環境満足度に関するアンケート調査を行った。本報ではそれらの結果について述べる。

2. 階段室を利用した自然換気方法

自然換気実測は茨城県つくば市にある 6 階建ての建物の 3 階事務室を対象に実施した。図-1 に 3 階事務室の平面図および測定点、図-2 に階段室の断面を示す。3 階事務室の南面 3 か所と北面 1 か所の窓に、写真-1 に示す手製の開口部 (0.5m×0.5m=0.25m²の網戸(開口率 64%)開口 2 段、その間の両面に内外差圧測定用の風圧測定板あり) を設置した。自然換気実施日は空調および換気を停止し、事務室内にある排気ガラリの目張りを行った。3 階事務室, ELV ホール, 階段室の各室間の扉を開放し、また他階と階段室との扉は閉鎖して階段室屋上階の扉を開放することで、3 階事務室の窓開口から階段室を抜けて屋外へ排気される換気経路を構築した。表-1 に自然換気経路に関わる各開口部位置およびその面積を示す。

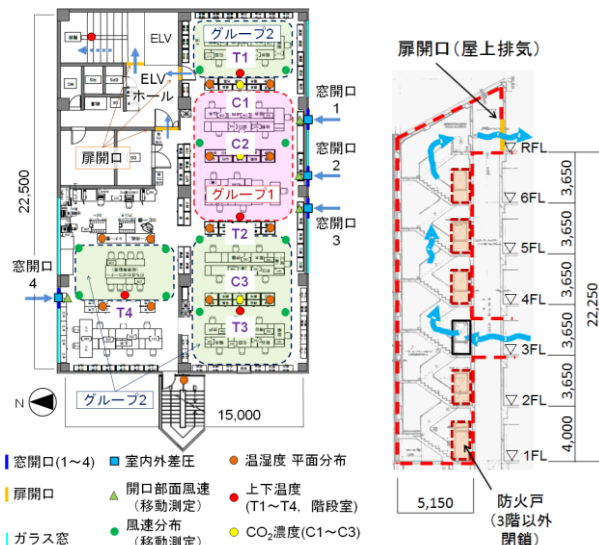


図-1 3階事務室平面図
および測定点

図-2 階段室断面



(1) 室内側



(2) 屋外側 (南面)

写真-1 自然換気時の開口部の状況

*1 戸田建設(株)開発センター 修士 (工学)
 *2 筑波技術大学 博士 (工学)
 *3 戸田建設(株)開発センター 工学修士
 *4 戸田建設(株)開発センター

Research and Development Center, TODA CORPORATION, M.Eng.
 Tsukuba University of Technology, Dr.Eng.
 Research and Development Center, TODA CORPORATION, M. Eng.
 Research and Development Center, TODA CORPORATION.

実測は2013年10月30日～11月1日に実施した。日中の自然換気実施時間は8:30～17:30に設定し、11/1のみ12:00までとした。10/30は窓開口1～4全て自然換気時間帯常時開放し、10/31と11/1は執務者の判断で開閉することとした。

3. 窓開口の通風特性の予備測定

3.1 測定概要

写真-1に示した窓開口に関して、内外差圧と換気量を得るため、予備測定を行った。測定は図-3に示す室圧制御実験室¹⁾にて行った。各室間の扉を開放し、Room-2内部の間仕切壁の開口部に写真-2に示すように実測で使用する窓開口を設置した。Room-3側を加圧し、風が窓開口を通過してRoom-1側へ流れるようにし、窓開口を通過する風量を測定した。実験室内は気密性が高いので、実験室への給気風量は窓開口を通過する風量とみなして給気ダクトに設置した

表-1 自然換気時の開口部面積

種別	開口部両側の空間	開口数	全開口面積 [m ²]	備考
窓開口	屋外⇄3階オフィス	4	2.00	窓開口について、10/30は左記の通りであるが、10/31と11/1は執務者の判断で一部閉じられたため、これより小さくなる。
扉開口	3階事務室⇄ELVホール	2	4.20	
扉開口(防火戸)	ELVホール⇄階段室	1	2.52	
扉開口	階段室⇄屋外	1	1.44	

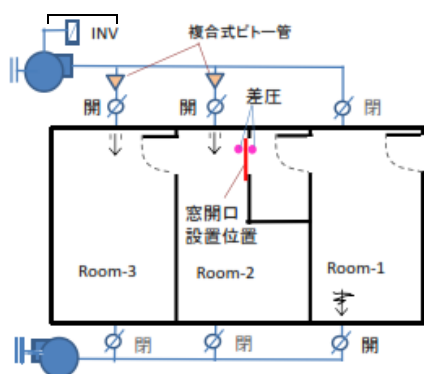


図-3 窓開口特性実験概要

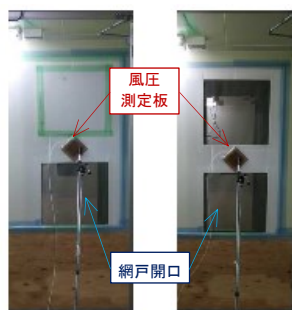


写真-2 窓開口設置状況

表-3 測定項目

測定項目	測定内容, 位置, 点数	測定機器	サンプリング間隔	測定形態
内外差圧	窓開口×4か所, 屋上扉近傍×1か所	デジタル微差圧計 (長野計器 GC62)	1.0s	連続測定
風速	開口部面風速 窓開口(上下2点)×4か所	熱線風速計 (KANOMAX 6500)	1.0s×60	移動測定
	開口部面風速 扉開口(上中下3点)×4か所	熱線風速計 (KANOMAX 6500)	1.0s×60	移動測定
	開口部面風速 窓開口, 扉開口各1か所	熱線風速計 (KANOMAX 6500)	1.0s	連続測定
	室内風速分布 (FL+100,1100mm)×12か所	熱線風速計 (KANOMAX 6500)	1.0s×60	移動測定
外部風向・風速	屋上(地上高さ30m)×1か所	風向風速計 (KADEC21-KAZW-C)	1.0s	連続測定
上下温度	階段室上下温度 1,2,3,4,5,6,RF	T型熱電対	1.0min	連続測定
	室内上下温度 (FL+100, 600, 1100, 1700, 2200mm)×4か所	T型熱電対	1.0min	連続測定
温湿度	室内 (FL+1,100) ×12か所, 外部2か所	小型データロガー (TR-72i, T&D)	1min	連続測定
CO ₂ 濃度	室内3か所 (C1～C3)	小型データロガー (TR-76i, T&D)	1min	連続測定

複合式ピトー管にて測定した。

測定ケースを表-2に示す。1つの窓に設置する開口の数を1段もしくは2段としたもの(写真-2)、網戸用ネットの有無を測定パラメータとした。また網の開口率が64%であることから、比較用に開口面積を64% (0.16m²)として網の無いCase3を追加した。なお、本実測に用いたのはCase5である。

3.2 測定結果

図-4に差圧と通過風量の関係を示す²⁾。開口が2段の場合(Case4, 5)の通過風量は、1段の場合(Case1, 2)の通過風量を2倍とした場合の結果とさほど変わらないことと、網有りの場合(Case2, 5)は無い場合に比べて約20～30%程度通過風量が小さくなるのがわかった。また、開口が1段で網有りの場合(Case2)は単純開口率64%の場合(Case3)より20%程度通過風量が大きくなるのがわかった。

表-2 窓開口通風特性の測定ケース

Case名	開口数	網の有無	開口面積 [m ²]
Case1	1	無	0.25
Case2	1	有	0.25
Case3	1	無	0.16
Case4	2	無	0.50
Case5	2	有	0.50

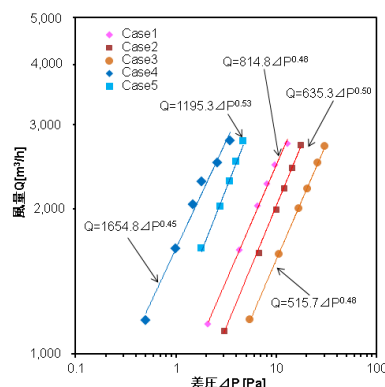


図-4 差圧と通風量の関係

以降、自然換気実測結果については、Case5 の結果から得た(1)式によって、室内外差圧 ΔP [Pa] から通風量 Q [m³/h] を算定することとする。

$$Q = 1195.3 \Delta P^{0.53} \quad (1)$$

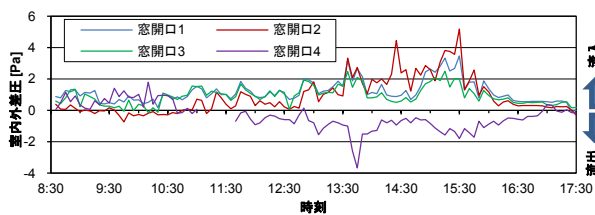
4. 実測概要

表-3 に測定項目を示す(測定点は図-1 参照)。窓開口の内外差圧、面風速、外部風向・風速(風向・風速計は屋上の地上高さ 30m に設置)、外気温湿度(3 階の外階段および屋上)、階段室の上下温度分布、3 階事務室内の上下温度分布、温湿度平面分布および CO₂ 濃度を連続測定した。

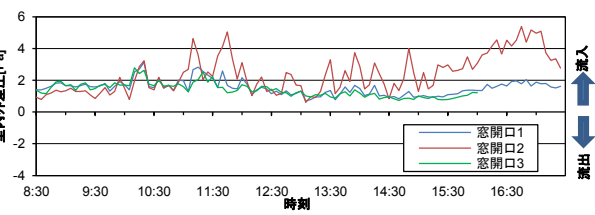
また、1 日に 3 回(11/1 は 2 回)、3 階事務室内の室内風速分布と全開口部の面風速・風向を、風速計を持ち歩くことにより移動測定した。併せて、スモークテスターを利用し、窓開口における流出入状況および風向を確認した。移動測定の日時(測定に要した時間)は表-4 に示す通りである。

表-4 移動測定日時

測定回	測定日時	測定回	測定日時
①	10/30 10:27~11:10	⑤	10/31 14:15~14:44
②	10/30 13:10~13:57	⑥	10/31 16:37~17:05
③	10/30 16:30~17:14	⑦	11/1 9:03~9:30
④	10/31 10:23~10:54	⑧	11/1 11:06~11:33

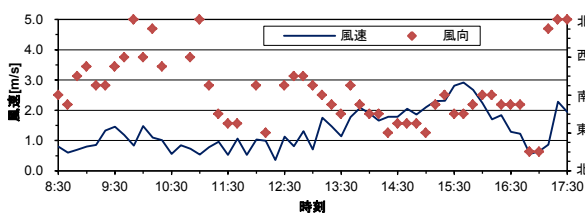


(1) 10/30

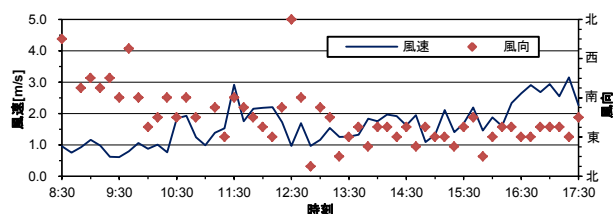


(2) 10/31

図-5 各窓開口における室内外差圧の時間変化

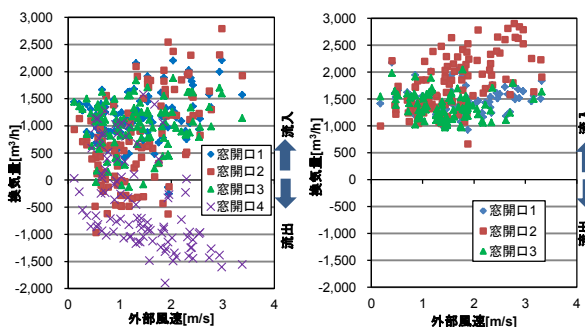


(1) 10/30



(2) 10/31

図-6 外部風向・風速の時間変化



(1) 10/30

(2) 10/31

図-7 各窓開口の通過風量と外部風速の関係

5. 実測結果

5.1 換気量の推定

(1) 窓開口における室内外差圧

図-5 に 3 階事務室の各窓開口における自然換気時の室内外差圧の時間変化を示す。10/30 は窓開口 1~4 が全て開いた状態であり、午後からは窓開口 4(北面)が流出側となって風力換気と温度差換気の両方が生じている^{注1)}。10/31 は窓開口 4 が終日閉じられた状態で、さらに窓開口 3 も 16:00 頃から閉じられたが、開放されていた窓開口はいずれも 1 日を通して流入側の差圧となっている。窓開口 1, 3 に比べて窓開口 2 の差圧の値や変化が異なるのは、設置した窓開口の外に開いている既存窓の位置と外部の風向が影響していると考えられる。

(2) 窓開口通過風量と外部風速との関係

図-6 に屋上において測定した外部風向・風速の時間変化、図-7 に 10/30, 10/31 における各窓開口の通過風量と外部風速の関係をそれぞれ示す。10/30 は北側の窓開口 4 も開放されていることから、午後の南風の時間帯を中心に南側の窓開口 1~3 から流入した空気の一部が窓開口 4 から風力換気によって抜けていることが推察できる。また、外部風速が大きいほどそのときの通風量は大きくなる傾向が確認できる。

10/31 は北面の窓開口 4 が閉じられているため温度差換気が主体になると考えられるが、外部風向は南から東にかけての時間帯が多く、特に夕方に東風の

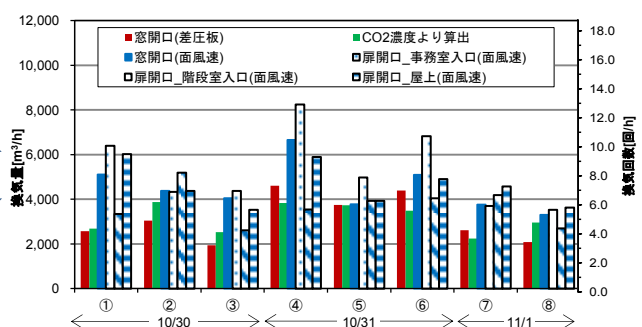


図-8 室内外差圧および CO₂ 濃度、開口面風速に基づく換気量推定値

頻度が高くなっている。窓開口 1, 3 では通風量に対する外部風の影響が小さいのに対し、窓開口 2 ではばらつきがあるものの外部風速の増加とともに通風量が増加する傾向が読み取れる。これは、窓開口 2 の外に開いている既存窓(写真-1(2)参照)が東風の際にウインドキャッチャーとして外部風を室内に引き入れる効果があるためと考えられる。

(3) 換気量の推定

図-8 に 4 つの窓開口の室内外差圧から算定した換気量と CO₂ 濃度と在室者数より推定した換気量^{注2)}、および移動測定で得た面風速から算定した全開口部の通風量の比較を示す。室内外差圧と CO₂ 濃度に基づく風量は各移動測定時間帯における連続測定データの平均値を用いているが、これらの時系列的な傾向は類似していた。また、移動測定により面風速から算定した風量は、変動している風速を移動しながら短時間で測定しているため結果が異なるのは当然であるが、室内外差圧と CO₂ 濃度による風量よりも全体的に大きめの傾向となった。

窓開口の室内外差圧に基づいた換気量から算定した換気回数は 3~7 回/h であった。

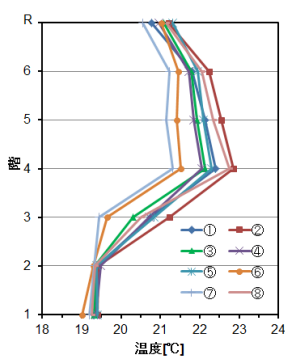


図-9 階段室の上下温度分布

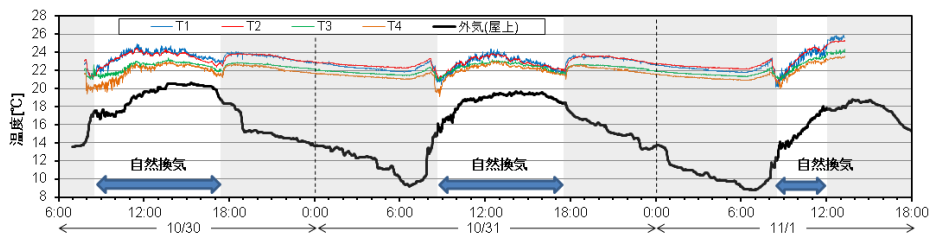


図-10 室温と外気温の時間変化

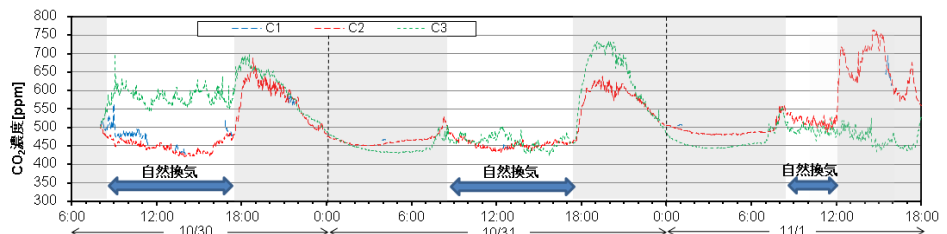
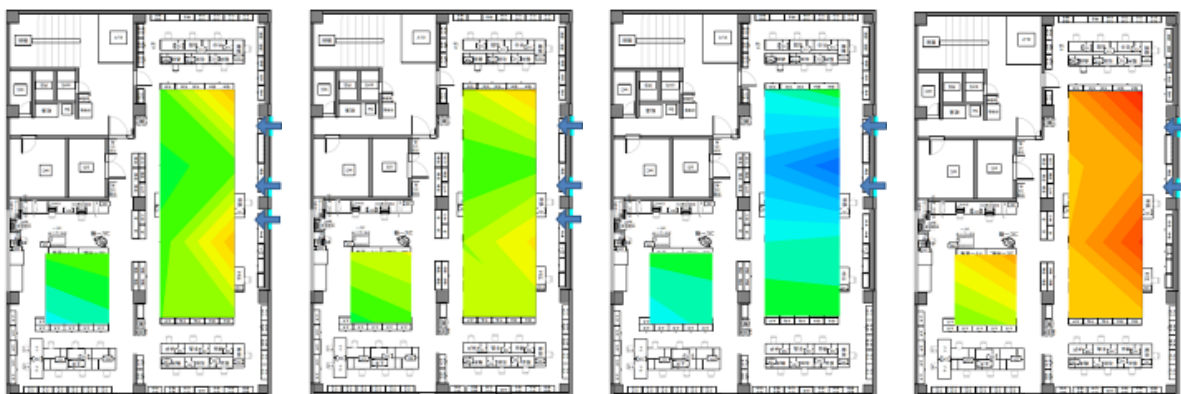
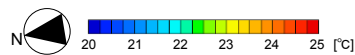


図-11 CO₂ 濃度の時間変化



④10/31 10:23~10:54

⑤10/31 14:15~14:44

⑥10/31 16:37~17:05

⑧11/1 11:06~11:33

図-12 室温平面分布の推移

5.2 室内温熱環境の変化

(1) 階段室の上下温度分布

図-9 に階段室の上下温度分布を示す。①~⑧は表-4 で示した移動測定の日時に対応し、その所要時間において連続測定値を平均した(以降の図-12, 13 も同様)。図から、1~2階に比べて3階事務室からの空気が抜けていき、それより上階の温度が高くなっていることがわかる。

(2) 室温および CO₂ 濃度の時間変化

図-10 に実測期間中の室温(T1~T4, FL+1,100mm)と外気温度の時間変化を示す。いずれの日も朝の自然換気開始後室温が2°C程度低下し、終了後に1~2°C程度上昇している。T3, T4に比べ、南面に開口のあるT1, T2の方が相対的に高めに推移しているのは、ガラス窓面からの日射取得熱が影響しているためと考えられる。

図-11 に CO₂ 濃度(C1~C3, 室内平均)の時間変化を示す。C1についてはほとんどの時間帯で欠測となってしまった。10/30のC3はC2より100~200ppm高くなった。在席者数は少なかったが、室内気流分布の影響で濃度の差が生じた可能性がある。10/30~31は窓開口直近のC2での濃度がほぼ450ppm程度で

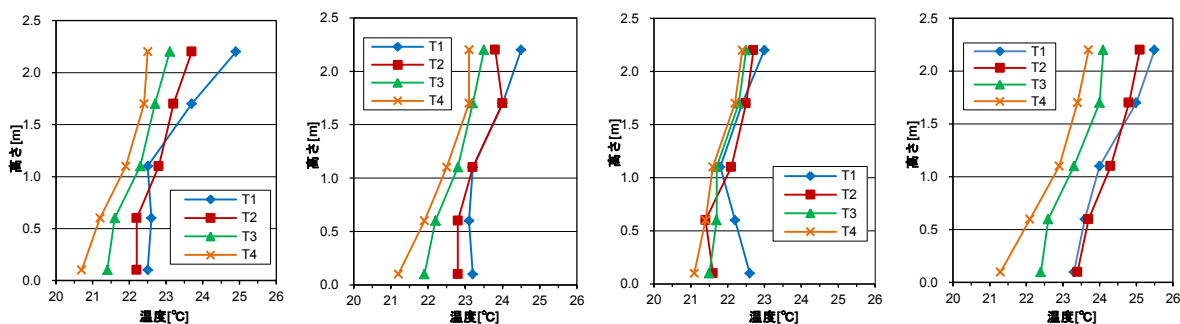


図-13 室内上下温度分布の比較



(1) FL+1,100mm



(2) FL+100mm

図-14 風向・風速分布の推移

あり、外気の CO₂ 濃度に近いと推測される。11/1 は各エリアとも在室者が多く 500ppm 付近を推移し、自然換気窓を閉じた直後に上昇した。

(3) 室内温度平面分布の推移

図-12 に室温平面分布の推移を示す。比較対象は後述のアンケート調査実施時刻に近い測定回である 10/31 の④、⑤、⑥と 11/1 の⑧とした。室温の時間変化で示したように、日射取得熱の影響により南面のガラス窓面付近の温度は北側よりも高い傾向にある。窓開口 1~3 の直近の温度は、外気導入によって周囲より低くなっていることがわかった。

(4) 室内上下温度分布

図-13 に室内上下温度分布の変化の比較を示す。「⑥10/31 16:37~16:51」を除き、南面のガラス窓に近い T1 と T2 は、T3 と T4 よりも足元 FL+100m の温度が高く、FL+1,100mm との上下温度差が小さい様子が見られた。

表-5 アンケート調査概要

対象室	自然換気を実施した 6 階建て建物の 3 階事務室 (茨城県つくば市)	
対象者	執務者 11~20 名 (2 日間延べ 55 名)	
調査時刻 (回答者数)	(i)10/31 10:00 (12 名)	(ii)10/31 10:00 (11 名)
	(iii)10/31 17:00 (12 名)	(iv)11/1 11:30 (20 名)
実施方法	実施時刻にアンケート用紙を直接配布し、その場で記入し、回収	
	窓開閉行動の有無	
調査項目	その時点の環境の感じ方	温冷感、湿度感、温熱環境の満足度
		空気環境の満足度
		音環境の満足度
		執務者の作業のしやすさ (作業への集中・リラックス・コミュニケーション・創造的活動)
		総合的な室内環境の満足度

(5) 室内風速平面分布の推移

図-14 に移動測定によって測定した風向・風速分布の推移を、屋上で測定した外部風向・風速と合わせて示す。高さ FL+1,100mm においてはいずれも窓開口1, 2付近で流入のため最大0.47m/sと大きく、窓開口から離れるに従って減衰している傾向であった。(2)FL+100mm については④~⑥は風向分布が同じであるが、⑧は窓開口直近において窓面から直進する向きになっており、その部屋奥で風速が大きくなった。⑧は、④~⑥に比べて外部風の直接的な流入の影響が少ないため、傾向が異なると考えられる。

務空間の知的生産性評価ツールとして使われる SAP から熱、空気、音、空間環境の要因と知的生産性に関する項目について5段階評価を依頼した³⁾。

6.2 アンケート結果

自然換気の影響を考察するため、室内を座席位置によってエリア分けし、窓開口1~3に近いエリアを「グループ1」、それ以外のエリアを「グループ2」とし、以下結果を比較する(図-1参照)。4回の調査での合計の回答者数は、グループ1は13名、グループ2は42名であった。

6. 室内環境満足度に関するアンケート調査

6.1 アンケート概要

表-5にアンケート調査概要を示す。調査は自然換気実測期間のうち2013/10/31~11/1の2日間で計4回実施した。実施時刻に在席中の執務者へアンケート用紙を直接配布し、窓の開閉行動の有無および執

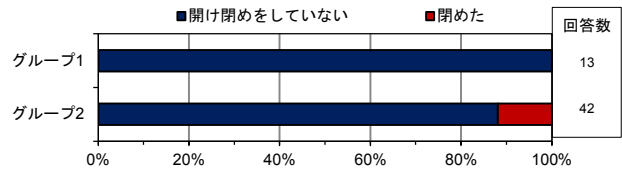
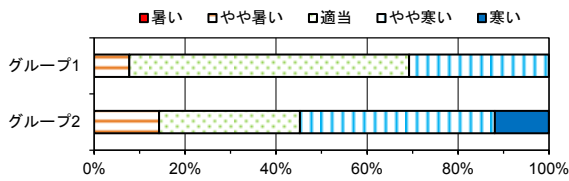
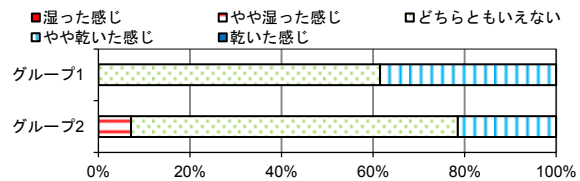


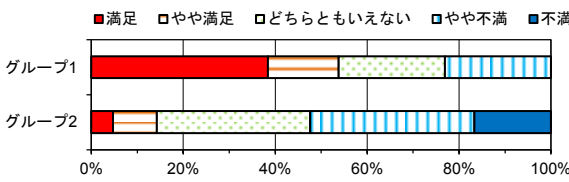
図-15 窓開口の開閉の有無



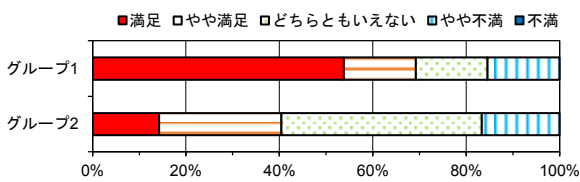
(1) 温冷感



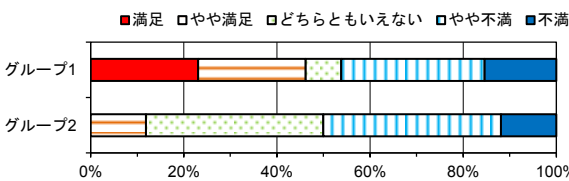
(2) 湿度感



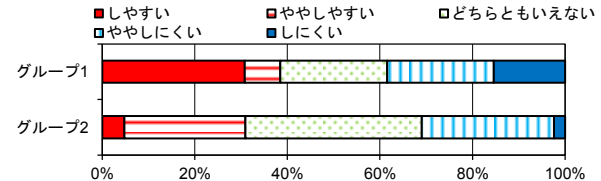
(3) 温熱環境満足度



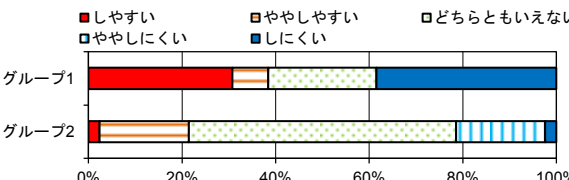
(4) 空気環境満足度



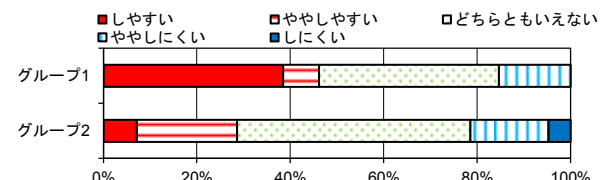
(5) 音環境満足度



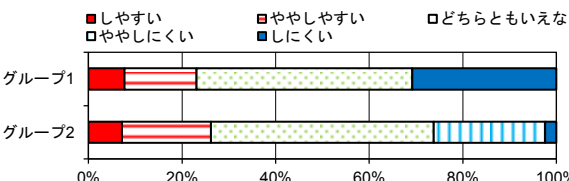
(6) 作業への集中しやすさ



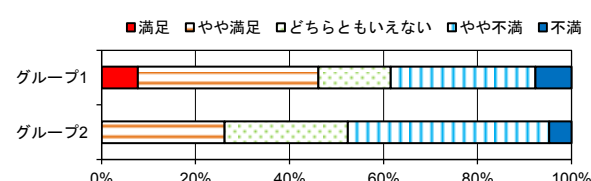
(7) リラックスしやすさ



(8) コミュニケーションの取りやすさ



(9) 創造的活動のしやすさ



(10) 総合的室内環境満足度

図-16 環境の感じ方 集計結果

(1) 窓開口の開閉状況

アンケート調査期間中(10/31~11/1)の窓開口の開閉状況は、窓開口 1 と窓開口 2 は期間を通して開放、窓開口 3 は 10/30 16:00 以降と 11/1 の終日閉鎖、窓開口 4 は両日とも終日閉鎖であった。図-15 に示す窓の開閉有無の回答結果より、実施期間中に開閉の行動は、グループ 2 の在席者が閉めたのみであり、その理由は寒いからであった。

(2) 環境の満足度 (図-16 (1)~(5))

図-16 にその時点の環境の感じ方の集計結果を示す。温冷感を比較すると、グループ 1 は約 60%の執務者が適当と回答しており、グループ 2 では寒い側の回答をした執務者が 50%を超えた。温熱環境満足度についてもグループ 2 で不満者が 20%近くいたが、グループ 1, 2 ともに満足との回答者もいた。日射熱の影響で南側の周囲温度が高くなるものの、自然換気で外気が流入することで気流を感じて適温になり、また上下温度差が小さいことで満足感が得られたと考えられる。グループ 1 においては温度上昇を抑える効果があるが、グループ 2 も含め室全体の温冷感を考慮すると少量の換気量で済むと考えられる。この場合はエリア別にブラインドにより日射熱侵入の有無をコントロールすることで全体的な温冷感をある程度維持できた可能性がある。

空気環境、音環境についてもグループ 1 がグループ 2 よりも満足側の割合が多かった。敷地南側には比較的交通量の多い幹線道路が通っているが、通行車両による排気や騒音の影響は少なかったと言える。音環境については、1 回目のアンケートを実施した 10/31 の午前中に敷地内において機械による草刈作業が行われており、その影響で不満側の回答者が多くなった。

(3) 作業のしやすさ (図-16 (6)~(9))

集中しやすさ、リラックスしやすさ、コミュニケーションの取りやすさについても、グループ 1 ではしやすいと回答者が 30~40%近くいた。一方で、集中しやすさ、リラックスしやすさ、創造的活動のしやすさではしにくいと回答した割合がグループ 2 よりもグループ 1 の方が多かった。執務室での作業のしやすさについては、窓開放によって外部が気になるなど自然換気が負に影響する可能性もあるが、自然換気以外に今回質問項目として挙げていない光環境、空間環境や IT 環境など様々な要因も考えられる。

(4) 総合的室内環境満足度 (図-16 (10))

総合的室内環境満足度の評価は、窓開口に近いグループ 1 はグループ 2 より満足側の割合が大きくなった。

7. まとめ

6階建ての建物の3階事務室を対象に、階段室を利用した自然換気を試行、換気量や温度、風速分布などを実測により把握した。併せて、執務者を対象に実施した自然換気時の室内環境満足度に関するアンケート調査を行った。

実測結果より、対象事務室では自然換気により十分な換気量が得られることがわかったが、窓開口との位置関係によって、温度分布や執務者の室内環境満足度評価にばらつきが生じた。エリアごとに日射取得熱や内部発熱が異なる大部屋の事務室において自然換気を計画する際は、それらを踏まえた換気口位置や開口面積、換気量の設定、開閉制御を検討する必要があると考えられる。

謝辞

測定に用いた風圧測定板をお貸し頂いた独立行政法人建築研究所・西澤主任研究員に謝意を表します。

注釈

注 1) 窓開口 4 において午前中の 10:30 頃から 11:35 頃まで欠測となっているが差圧板が外れていたためである。

注 2) CO₂濃度と在室者数による換気量 Q[m³/h]は(2)式より推定した。

$$Q = \frac{k}{p_i - p_o} \quad (2)$$

ここで、 p_i は室内 CO₂濃度[ppm]であり、実測値を用いた。C1~C3 の平均値の時間変動の、表-4 に示した移動測定の時間帯でそれぞれ時間平均を取った。 p_o は外気中の CO₂濃度[ppm]であり、推定値を用いた。筆者らが 2013 年 6 月に別途測定した外気中の CO₂濃度測定結果と過去のつくば市における大気中 CO₂濃度公開情報⁴⁾を照し合せ、420ppm 一定値と設定した。 k は CO₂発生量[m³/h]であり、(3)式より求めた。

$$k = 0.8 \times 0.015 \times (\text{在室者数}) \quad (3)$$

在室者数は、10/30 は出勤記録から 20 人とし、10/31 と 11/1 はアンケート調査の回答人数とした。また、室への出入りを考慮して 0.8 を乗じた。

参考文献

- 1) 村江 他 「クリーンルームにおける室圧変動に関する実験的研究、(その 4)風量変更時の室圧変動とその制御手法に関する実験」、空気調和・衛生工学会大会学術講演梗概集、2010.9
- 2) 石原正雄 「建築換気設計」朝倉書店、1969.3
- 3) (財)建築環境・省エネルギー機構 「誰でもできるオフィスの知的生産性測定 SAP 入門」、テツアドー出版、2010
- 4) 温室効果ガス世界資料センターHP
http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/jp/wdcgg_j.html