

オフィス建築を対象とした環境創造技術に関する実証研究

(その 5) 自然換気の給気口高さが室内環境に及ぼす影響

EXPERIMENTAL STUDY TO ACHIEVE THE OPTIMAL ENVIRONMENT FOR OFFICE BUILDINGS

Part5 Influence of air inlet height of natural ventilation on indoor environments

伊藤 優*1, 浅野 涼太*1, 村江 行忠*2, 竹中 優揮*3, 栗木 茂*3

Yu ITO, Ryota ASANO, Yukitada MURAE, Yuki TAKENAKA and Shigeru KURIKI

With regard to the natural ventilation system of the demonstration building, measurements were made in the autumn of 2017, and the effect of the air inlet height on the indoor environment was verified. In the autumn of 2018, air supply under the ceiling was measured again in order to study how to make the air flow reach the indoor side more effectively. In addition, numerical analyses were performed to compare the effects of the air inlet height on the indoor environment, including additional patterns. In the numerical analysis, the patterns of the air supply under the ceiling were compared. The following findings were obtained from those results.

1. From the measurements, the air flow extended to the far side of the office room from the air supply under the ceiling as well as the upper air supply, the room was ventilated, the temperature difference between the upper and lower was small, and favorable trends were also seen in the thermal environment.
2. From the numerical analysis, it was suggested that air flow under the ceiling air spread to the task area more than the pattern of air supply methods, and the difference between the temperature difference above and below and the age of air were small, and a reasonable environment was created.
3. Although the patterns of air supply under ceiling were compared by numerical analysis, the coanda effect flowing along the ceiling surface was not clearly seen.

Keywords : Experimental building, Natural ventilation, measurements, Simulation, Ventilation volume, Temperature, Velocity, Age of air
 実証建物, 自然換気, 測定, 解析, 換気量, 温度, 風速, 空気齢

1. はじめに

筆者らは、実証建物の自然換気システムについて実証測定を行い、給気口位置の高さが温熱分布や風速分布などといった室内環境へ及ぼす影響を検証している。既報¹⁾では、2017 年秋期の測定結果を示し、上段開口から外気導入する場合は下段開口から外気導入する場合に比べ、室内奥側における上下温度差が小さく、また風速が大きかったことから、良好な室内環境を形成できる可能性を報告した。

そこで、より効果的に室内側へ airflow を到達させる方法の検討を目的に、2018 年秋期には天井面より下部にある開口から外気を導入する追加パターン²⁾の測定を行った。

また追加パターンも含め、数値解析によって、自然換気システムの給気口高さによる室内の温度分布、風速分布、空気齢分布の比較も行った。本報ではこれらの結果を報告する。

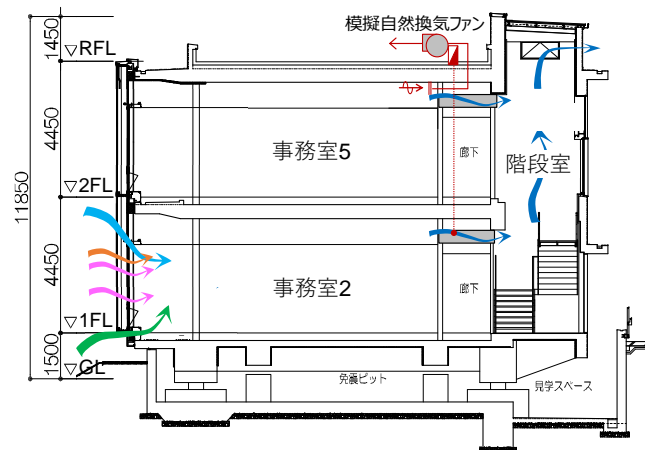


図 1 実証建物自然換気概要

2. 環境技術実証棟における自然換気実証概要

2.1 自然換気方法

図 1 に実証建物自然換気概要を示す。実証建物の薄型ダブルスキンの外装を有する 1F の事務室 2 および 2F の事務室 5 においては、4 箇所の換気パネルが設置され、上下方向に 4 種類の開口があり、そこから外気を取込める。事務室内からは照明器具レタンスリットを介し天井裏パスダクトを通して階段室に流れ、階段室頂部の排気口へと抜ける。また、事務室 5 には模擬自然換気ファンが設置されており、事務室 2 の自然換気量(パスダクトの通過風量)と同じ風量を排気することができる。

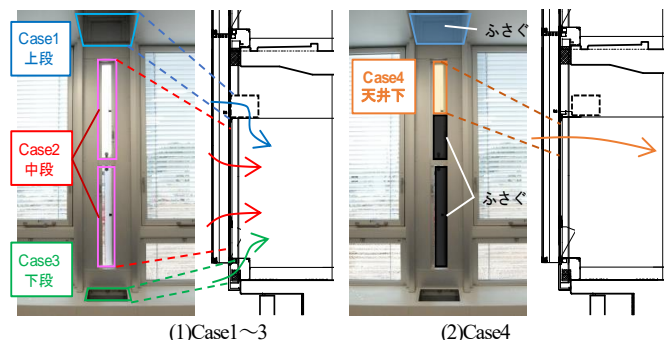


図 2 給気概要

*1 戸田建設株式会社技術開発センター 修士 (工学)

*2 戸田建設株式会社技術開発センター 工学修士

*3 戸田建設株式会社技術開発センター

Research and Development Center, TODA CORPORATION, M.Eng.

Research and Development Center, TODA CORPORATION, M.Eng.

Research and Development Center, TODA CORPORATION

2.2 検討ケース

検討対象は1Fの事務室2(7.2m(W)×10.2m(D)×2.9m(H), 床面積73.44m², 室容積212.9m³)とした。図2に給気概要を、表1に検討ケースを示す。Case1～3は実証建物据え付けの3種類の開口部を比較検討したものである¹⁾。

Case4は新たに追加したケースである。Case1上段開口室内側の天井面をふさぎ、Case2中段開口のうち上側だけ開放しさらにその上半分のみから外気を導入するものである。天井面に沿って室内へ空気が流れるコアンダ効果を期待した。

3. 実測検討

3.1 測定概要

(1) 測定項目

Case1～3は2017年秋期に実施し¹⁾、Case4の測定は2018/11/19～12/4のうち7日間実施した。

表2に測定項目を、図2に測定点を示す。外気の温度・風向・風速、各開口部断面中心の風速・温度、室内の風速、上下温度分布を測定した。また、開口付近で内外差圧を取り、気流の流出入を確認した。

測定日の10:30、13:30、16:30には、図3中の△1～10の位置のFL+600mmにおいて、風速計(クリモマスター風速計 Model 6500-A, 無指向性風速プローブ 6543-21, カノマックス)を持ち歩く移動測定により室内風速分布を測定した。1sごとに60s間データを取得し、平均した。

(2) 測定条件

事務室内の顕熱負荷は、椅子に設置した電気毛布により人体発熱分を模擬した(60W/ヶ所×8)。潜熱負荷については、4人分/台(90ml/人・h)の水蒸気発生装置を室中央部に2台置くことで模擬した。これらは、在室時間を8:00～18:00と想定してタイマー制御にて稼働させた。

自然換気の開口は8:30～17:30に開放した。開口は、温湿度や外部風速条件による自然換気有効・無効の設定をせず、降雨が無い限り一日中自然換気を継続した。

3.2 測定結果

(1) 換気量

図4に、日別および全期間の平均平均換気量を示す。なお、換気量は天井裏パスタクト中心断面で測定した風速に、断面積を乗じて

表1 検討ケース

Case名	給気位置	給気口面積[m ²]	測定実施時期
Case1	上段	0.135×4=0.54	2017年秋期 ¹⁾
Case2	中段	0.383×4=1.534	2017年秋期 ¹⁾
Case3	下段	0.135×4=0.54	2017年秋期 ¹⁾
Case4	天井下	0.055×4=0.22	2018年

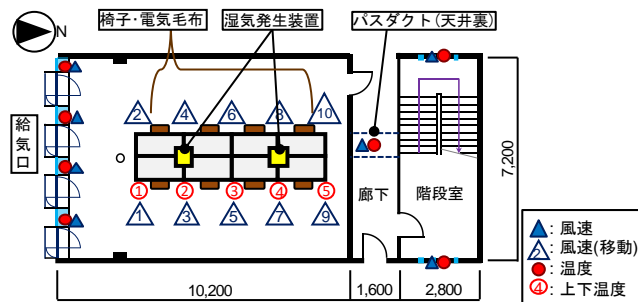
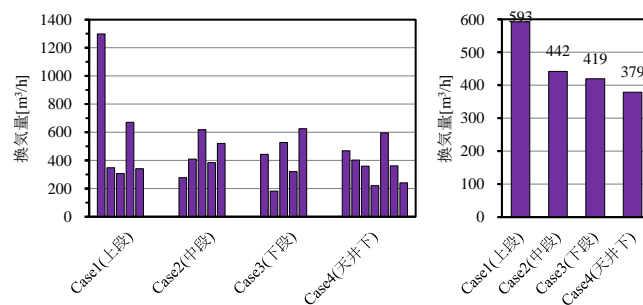


図3 測定点



(1) 日別 (2) 全期間

図4 平均換気量

表3 各ケース代表日13:30の換気量・面風速・外部風速比

	Case1 (上段)	Case2 (中段)	Case3 (下段)	Case4 (天井下)
換気量[m ³ /h]	212	416	376	442
給気口面風速[m/s]	0.42	0.44	0.45	0.77
面風速の 外部風速に対する比	0.57	0.16	0.14	0.33

表2 測定項目

項目	箇所		測定センサ	サンプリング
風速	開口部断面	給気口×4, パスタクト, 排気口(屋上)×2	指向性風速プローブ 0962-00 (KANOMAX)	1min 間隔
	室内	FL+600mm ×3点	無指向性風速プローブ 0965-01 (KANOMAX)	1min 間隔
	室内(移動測定)	FL+600mm ×10点	無指向性風速プローブ 6543-21 (KANOMAX)	1s×60
	外気(屋上)	RFL+2,400mm	気象観測装置	1min 間隔
温度	開口部断面	給気口×4, パスタクト, 排気口(屋上)×2	T型熱電対	1min 間隔
	室内上下	FL+100, 600, 1100, 1700, 2200, 2800mm ×5	T型熱電対	1min 間隔
	外気	RFL+2,400mm	T型熱電対	1min 間隔
内外差圧	開口部断面	給気口(事務室南面), パスタクト, 排気口(屋上)×2	微差圧計 GC62(長野計器)	1min 間隔

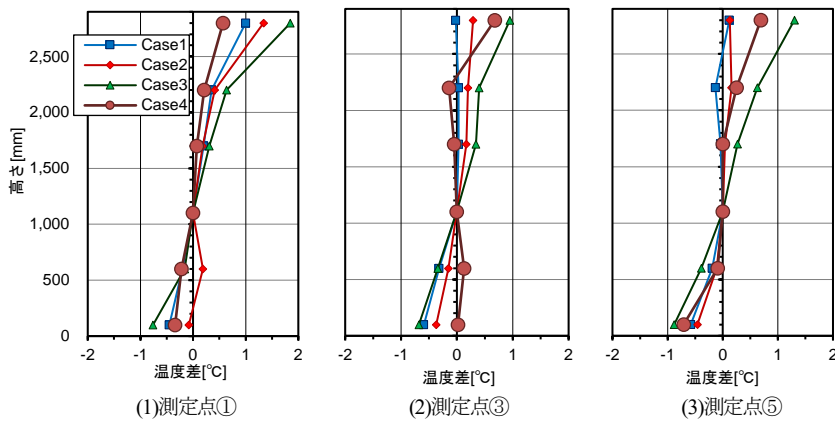


図5 上下温度差分布 (FL+1,100に対する温度差の分布)

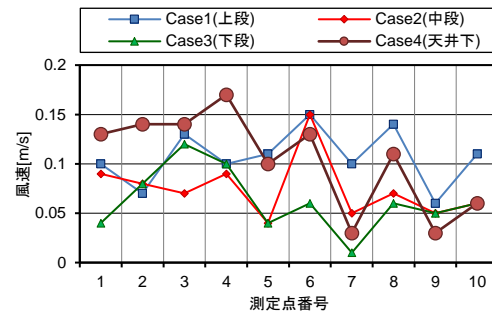


図6 風速分布 (FL+600mm)

算出した。

Case1 は外部強風時に突出して換気量が多くなるなど、測定日によって外部環境の違いがあった。Case4 を実施した7日間の平均は379m³/h(換気回数1.9回/h)であった。

(2) 上下温度分布

以下、結果の一部を各ケースの代表日として Case1: 2017/11/6, Case2: 2017/11/7, Case3: 2017/11/16, Case4: 2018/11/21 における測定データを示す。代表日は外部気象条件が近い日として、卓越風向が西より、外部風速が2.0m/s前後で変動し、屋上水平面日射量が最大600W/m²程度の日を選定した。

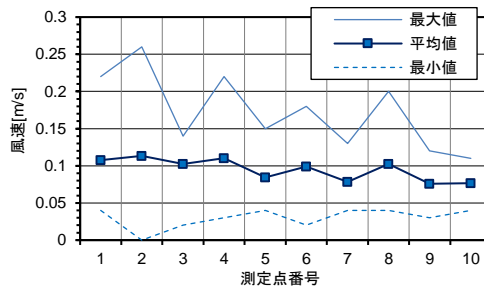
図5に、各ケースの代表日13:30の、測定点①・③・⑤の上下温度差分布(FL+1,100mmに対する温度差の分布)を示す。窓側の測定点①ではCase4は他ケースより最も上下温度差が小さかった。上方から入った外気により天井付近の熱だまりが解消されたためと考えられる。一方、Case3で上下温度差が大きかった(2.4°C差)室奥側の測定点⑤では、FL+100mmとFL+600mmで0.6°C差があるものの、居住域での上下温度差はCase3より小さかった。

(3) 風速

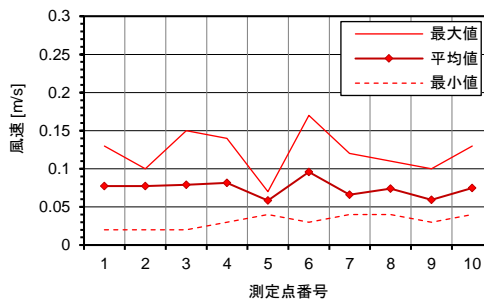
図6に、移動測定で得られた各ケースの代表日の13:30における、風速分布(FL+600mm)を示す。既報^りではCase1(上段)が全体的に大きい結果であったが、測定点1~4ではCase4が大きかった。図4の測定点⑤の上下温度差が広がったのは、天井下から導入した低温の外気が室内中央付近までに落下し、床面付近に広がったためと考えられる。

表3に、各ケース代表日13:30の前後10分平均の換気量、面風速(東から2番目の開口)、面風速の外部風速に対する比を示す。このときはCase4の換気量が最も多く、給気口の面風速が最も大きかった。上方から給気するCase1とCase4は、面風速の外部風速に対する比が大きく、風速が早い状態で室内に流入する可能性がある。

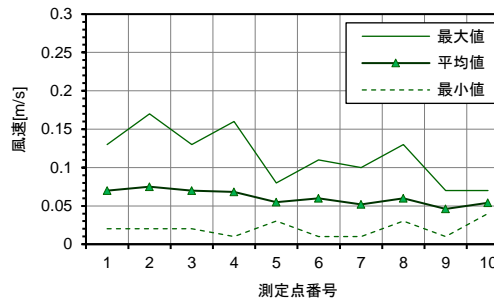
図7に、各ケースの風速分布移動測定全測定回に対する最大値・平均値・最小値の分布を示す。最大値、平均値とも、上方から外気を導入するCase1・4はCase2・3に比べ高めであった。Case4は代表日の図6と同様に、窓側から室中央にかけての測定点1~4は風速が大きめで、それより室奥側の風速が減衰する傾向であった。給気口上端が天井面より200mm下にあることと、形状が上下方向に縦長のため、コアンダ効果は限定的と考えられる。



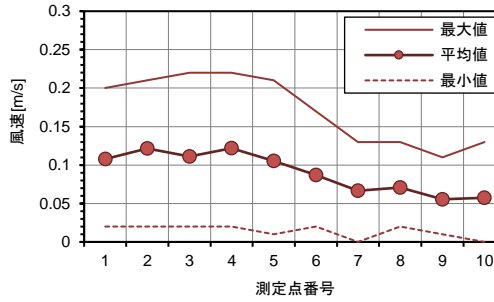
(1)Case1(上段)



(2)Case2(中段)



(3)Case3(下段)



(4)Case4(天井下)

図7 風速分布の全測定回の最大値・平均値・最小値

4. 解析検討

4.1 解析概要

(1) 解析概要

測定では大まかな傾向の違いが見られたものの、各ケース異なる日に一日ずつの検証のため、同一外気条件におけるケース間の明確な比較ができなかった。そこで、定常流体解析によって、温度差自然換気時の給気口位置による換気量および室内温度、風速分布、空気齢分布の定性的な比較を行った。

図8に解析モデルを示す。解析は以下の通り2段階で実施した。

①外部領域を含めた通風量算出

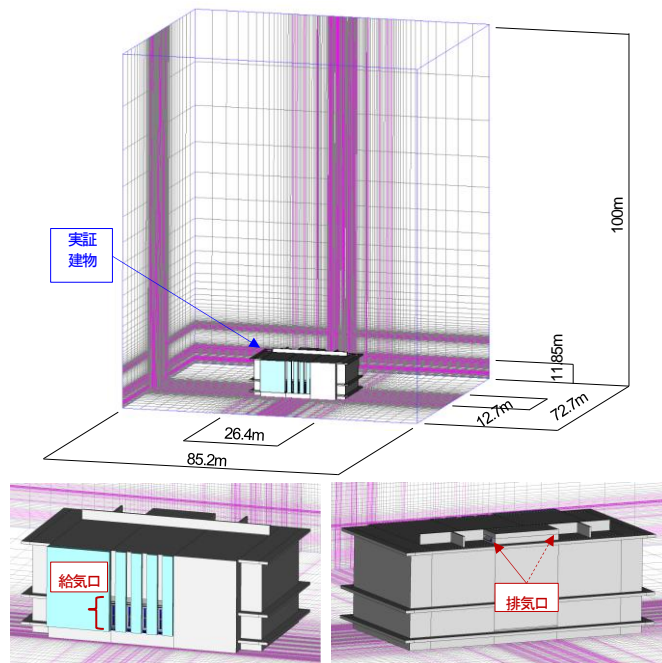
事務室2の換気量と各開口部の通過風量を算出する。外部領域を含めた解析領域を設定し、形状を簡易モデル化した自然換気ルート（事務室2とその天井裏、パスダクト、階段室を対象とし、事務室2の換気量と各開口部の通過風量を算出した。内部熱負荷は合計値を事務室2の空間全体に与えた。

②事務室2の空間分布

事務室2のみを対象に、室内の机・椅子等を再現し、内部発熱を詳細に与え、①で得られた給気口とパスダクトの通過風量を風速の境界条件として与えた。温度分布、風速分布および空気齢分布を得た。

(2) 解析ケース

表4に解析ケースを示す。Case1～3およびCase4-1は前章の測定検討と同様の給気口パターンの比較である。Case4については天井下給気の効果向上の検証のための追加ケースを設定した。図9にCase4追加検討を示す。実証建物の現状のCase4-1は縦長形状の開口部の天端が天井面から200mm下にあるのに対し、Case4-2は天端を天井面に接したものである。Case4-3は同じ開口面積で横長形状にしたものとし、天井面に接する辺を長くしたものである。



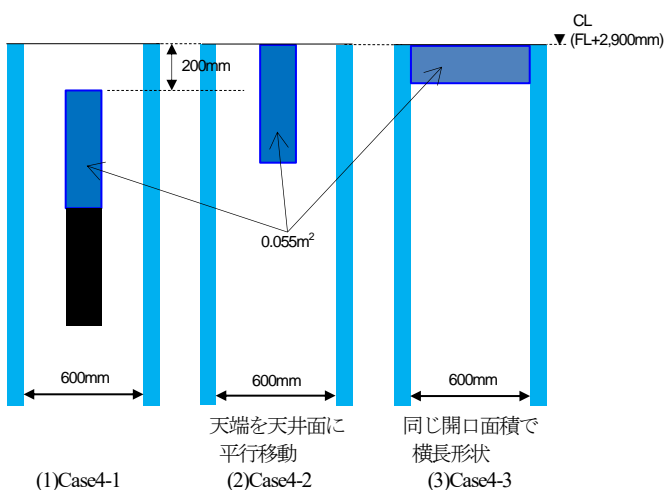
(1) 解析①(外部領域含む)

(2) 解析②(事務室2のみ)

図8 解析モデル

表4 解析ケース

	給気口位置	給気口面積	備考
Case1	上段	$0.135 \times 4 = 0.54$	測定と同じ上段給気
Case2	中段	$0.383 \times 4 = 1.534$	測定と同じ中段給気
Case3	下段	$0.135 \times 4 = 0.54$	測定と同じ下段給気
Case4-1	天井下	$0.055 \times 4 = 0.22$	測定と同じ天井下給気
Case4-2			Case4-1 開口上端を天井面へ
Case4-3			Case4-1と同じ開口面積で横長形状



(1)Case4-1

天井を天井面に
平行移動

(2)Case4-2

同じ開口面積で
横長形状

(3)Case4-3

図9 Case4追加検討

表5 解析条件

項目	内容
解析ソフト	ソフトウェアクレイドル STREAM V14.1
乱流モデル	標準 k-εモデル
解析領域	① 85.2m(x)×72.7m(y)×100m(z) ② 7.2m(x)×10.2m(y)×3.75m(z)
格子分割数	(Case1の例) ① 173(x)×222(y)×104(z)=3,994,224 ※最小幅 1cm ② 154(x)×321(y)×79(z)=3,905,286 ※最小幅 1cm
温度条件	室内 24°C, 外部 14°C
流入面条件	① 全圧境界条件 0Pa, 温度 14°C (解析領域境界) ② ①で得た通過流量を設定, 温度 14°C(給気口面)
流出面条件	① 表面圧力 0Pa, 温度 14°C(Zmax面) ② 表面圧力 0Pa, 温度 24°C(排気口面)
発熱条件	人体 60W/人 × 8人 = 480W 照明 21W/台 × 20台 = 420W 機器 40W/m² × 73.44m² = 2937.6W 合計 3837.6W
壁面境界条件	一般化対数則
壁面熱境界	温度対数則
移流項スキーム	QUICK

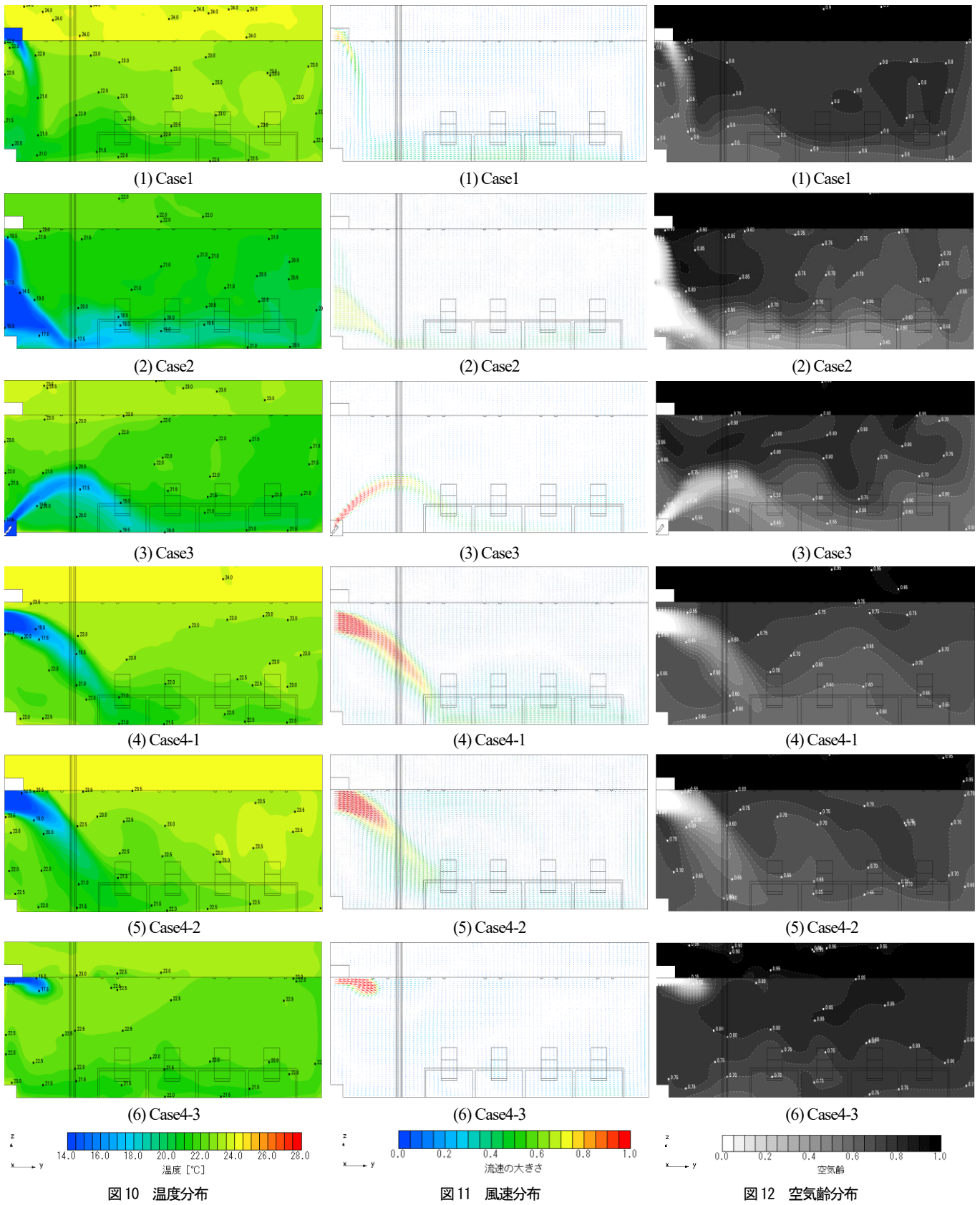


図 10 温度分布

図 11 風速分布

図 12 空気齢分布

表6 換気量と給気口面風速

		Case1(上段)	Case2(中段)	Case3(下段)	Case4-1(天井下)	Case4-2(天井下)	Case4-3(天井下)
換気量	室全体 (換気回数)	1,605 (7.5)	2,549 (12.0)	1,837 (8.6)	1,532 (7.2)	1,506 (7.1)	1,652 (7.8)
	開口1	404	下439 上185	460	385	376	416
通風量	開口2	401	下442 上184	459	382	377	414
	開口3	400	下447 上196	460	382	376	416
[m ³ /h]	開口4	400	下455 上201	457	383	377	407
	開口1	1.06	下0.64 上0.27	0.85	1.13	1.11	1.28
面風速	開口2	1.05	下0.65 上0.27	0.85	1.12	1.11	1.28
	開口3	1.05	下0.66 上0.29	0.85	1.12	1.10	1.28
[m/s]	開口4	1.05	下0.67 上0.30	0.85	1.13	1.11	1.26

(3) 解析条件

表5に解析条件を示す。解析ソフトはSTREAMV14.1(ソフトウェアアクレイドル)を使用した。乱流モデルは標準k-εモデルを使用した。室内設定温度は24℃、外気温度は中間期の平均的な温度として14℃に設定した。外部は無風状態での温度差換気を再現するため、解析①の解析領域境界(Xmin, Xmax, Ymin, Ymax 面)には全圧境界0Paを設定し、流出面(Zmax 面)に表面圧力境界0Paを設定した。

発熱は人体、照明は測定時と同様の条件とし、それに機器発熱分を室空間に加え、合計3,837.6Wを与えた。なお、必要換気量は1,151m³/hであり換気回数に換算すると5.4回/hである。

4.2 解析結果

(1) 換気量と給気口面風速

表6に外部領域を含めた解析から得られた換気量と給気口面風速を示す。表中の開口番号は西から順に1~4を示している。

給気口が大きいほど、また開口位置が低いほど室全体の換気量が多くなるという、温度差換気の特徴が確認できた。最も換気量が少ないCase4-2においても、換気回数は7.1回/hであり上記の必要換気量を大幅に上回る量であった。

Case1およびCase4-1~Case4-3は面風速が1.0m/sを超え、換気量に対して給気口の面風速が大きい結果である。Case4-3の1.26m/sおよび1.28m/sが最も速くなっていた。

(2) 室内分布

以下、給気口(開口2)断面における室内分布を示す。

①温度分布

図10に温度分布を示す。下方よりから給気されるCase2・3は、床面付近の一部に19℃程度の冷気だまりが形成された。上方から給気するCase1とCase4-1~4-3は給気された外気が下降する様子が見られるものの、机の高さまでが22~23℃となっており、上下温度差が比較的小さかった。

②風速分布

図11に風速分布を示す。Case4-3を除き、インテリアゾーンの足元付近にて速く流れる様子が確認でき、Case1とCase4-1については測定結果からも見られたように室奥側にかけて他ケースより速い傾向であった。

天井下給気のCase4-1とCase4-2は、風速が大きい状態でペリメータ側の柱付近までの吹出気流が見られた。しかし、開口上端が天井面に接するCase4-2の方がCase4-1よりも到達距離が短かった。ま

た、天井面に接する辺が長いCase4-3は流入した気流が1.5m進んだあたりから分散され、室全体はほとんど微気流の状態であった。以上から本解析からはコアンダ効果が期待されなかった。コアンダ効果の検証には、計算モデルをはじめ吹出気流条件や温度差条件などさらなる吟味が必要である。

③空気齢分布

図12に空気齢分布を示す。空気齢が小さい領域は温度が低く風速が大きい部分にほぼ対応する。Case2, Case3, Case4-1, Case4-2は床面から机高さまでに空気齢の小さい新鮮空気が分布した。その中でもCase3はその直上に空気齢が大きい部分が分布していた。Case4-1は上下の空気齢差が比較的小さかった。一方、Case4-3は室全体的に新鮮空気が行きわたりにくい結果であった。

5. おわりに

実証建物を対象に、2017年秋期測定に引き続き、2018年秋期には天井下給気による自然換気のパターンを加えた測定を行い、また数値解析も併せて、開口位置が室内環境へ及ぼす影響の検討を行った。それらの結果から、以下の知見を得た。

- 1) 測定より、天井下給気においては、上段給気と同様に室奥側まで気流が到達しており、温熱環境的にも上下温度差が小さく好ましい傾向が見られた。
- 2) 解析より、天井下給気が他の給気方法よりも居住域に気流が行きわたり、上下の温度差と空気齢の差が小さく、程よい環境を形成できることが示唆された。
- 3) 解析にて天井下給気のパターンを比較したものの、天井面を沿って流れるコアンダ効果は明確に見られなかった。コアンダ効果の検証には計算モデルをはじめ、吹出気流条件や温度差条件などさらなる吟味が必要である。

今後さらに取得データの分析や検証を進め、より良い環境形成のための外気導入方法の検討を行う。

参考文献

- 1) 伊藤 他「オフィス建築を対象とした環境創造に関する研究（その1）環境技術実証建物の概要と外装3種類の熱性能および自然換気に関する検証」, 戸田建設技術研究報告第43号, 2017.11
- 2) 伊藤 他「オフィス建築を対象とした環境創造に関する研究（その3）自然換気性能に関する秋期測定結果」, 戸田建設技術研究報告第44号, 2018.11