

2020 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：室内環境 研究期間：2020 年度 課題番号：20202010 研究課題名（和文）：集合住宅におけるウィンドキャッチャーの有効性及び通風性能促進効果向上に関する研究 研究課題名（英文）：Study on the ventilation promoting effect of wind catcher applied to apartment buildings 研究代表者：倉淵 隆 交付決定額（当該年度）：500000 円
--

※ページ数の制限はありません。
 ※成果等の説明に図表を使用させていただいて構いません。（カラーも可）
 ※提出して頂いた成果報告書をホームページでの公開を予定しております。

・その1 ウィンドキャッチャー設置による通風促進効果に関する研究

1. 研究の目的

昨今の新型コロナウイルスの流行に伴い、感染防止対策の一つとして換気に大きな注目が集まっているが、自然換気を用いる場合外部風速が小さい、開口面積が小さい、開口が一面しかないといった理由より、十分な換気量を確保することが難しい。この問題点に対し既往研究ではウィンドキャッチャー（以下 WC）と呼ばれるデバイスを用いることで通風性能向上の効果が示されている。本研究では実際の建物をモデルとして風洞実験と CFD 解析を用いて WC 設置による効果の検証を行う。

2. 研究の方法

2.1. 現場実測

現場での実測データより風洞実験での流量計数 α の検討を行った。機器の設置位置を図 1 に示す。また屋上と開口部に超音波風速計を設置し、外部風速と主風向、開口部での風速測定も行う。開口部での風速測定値と開口面積の積で通風量を求めた。また各開口部の室圧との圧力差を用いて通風量と圧力の関係式より窓 1、窓 3 における流量計数 α を算出した。 $\alpha_1=0.59, \alpha_3=0.63$ となりどちらも 0.6 付近の値となったため、風洞実験でも各開口の流量計数を 0.6 と仮定して換気量の算出を行った。

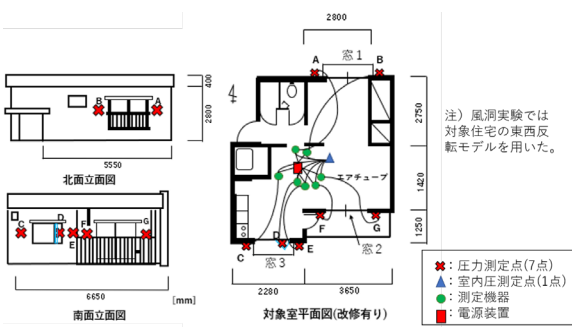


図 1 機器設置位置

2.2. 風洞実験

実験は圧力測定模型(図 2)を用いた壁面風圧測定を行った。模型軒高を基準高さ ($Z_0=226.6\text{mm}$) とし、接近流の軒高風速 ($V_0=7\text{m/s}$) を基準速度、基準速度に基づく動圧を基準圧力 P_0 とし、模型に配置した圧力測定点 (図 3) より各開口部付近の壁面圧力及び室内圧を測定した。接近流は市街地を想定した 1/4 乗則に従うプロファイルとし、風向角は 270° (図 4)、検討ケースは表 1 の 6 ケースとした。アプローチフローの測定結果を図 5 に示す。

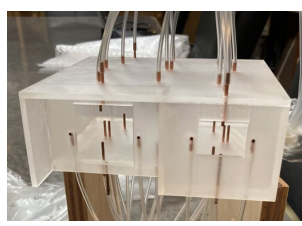


図 2 風洞模型

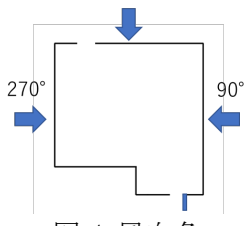


図 4 風向角

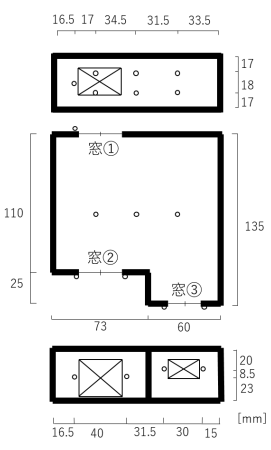


図 3 圧力測定点

表 1 風洞実験検討ケース

窓①③開口	窓②③開口	窓①②③開口
case1	case3	case5
窓①③開口 WCあり	窓②③開口 WCあり	窓①②③開口 WCあり
case2	case4	case6

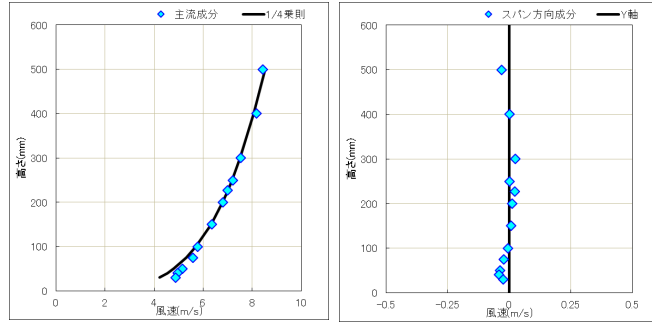


図 5 アプローチフロー測定結果

2.3. CFD 解析

解析モデルは風洞実験模型を模擬したものを作成した。乱流モデルは $k-\epsilon$ モデルとし、流入条件は風洞実験で測定した接近流を用いた (表 2、図 6)。

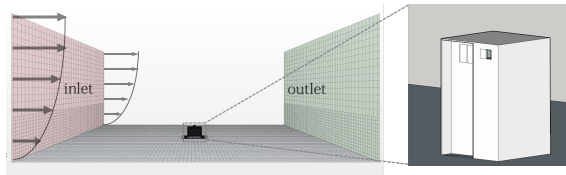


図 6 チャンバーモデル

表 2 CFD 境界条件

境界	境界条件	
流入面	inlet	$U = U_0(z/z_0)^{0.25}$ 基準風速 $U_0=1.0\text{m/s}$ 軒高 $Z_0=1.0\text{m}$
流出面	outlet	自由流出 (ゼロ勾配)
天面・側面	symmetry	Free slip
地面	wall	一般対数則に基づく壁関数

また、風洞実験では行うことのできなかつた、対象室の風上側に隣室を設けたモデル (図 7) でも解析を行った。また、対象となる建物は改修窓として窓 3 に左右開きの WC が導入されている。この改修窓による効果についても CFD 解析を用いて検証を行った (図 8,9)。

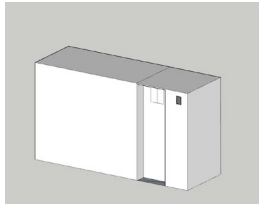


図 7 隣室有モデル

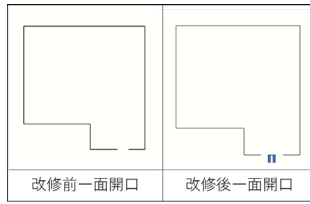


図 8 改修の有無による検討ケース

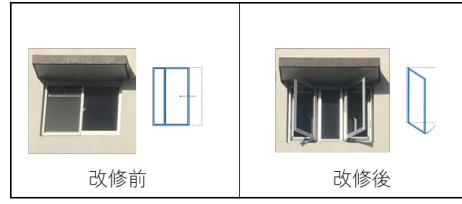


図 9 窓改修概要

3. 研究成果

3.1. 風洞実験・CFD 解析の整合性と結果

風洞実験での圧力測定より求めた換気量と、CFD 解析の比較を図 10 に示す。換気量の基準値は各軒高風速と軒高の二乗の積とした。この結果より風洞実験値と CFD 解析による通風量換算の傾向は一致するものの、両者に多少差があることがわかる。そこで、CFD 解析にてモデルの開口を塞いだシールドモデルを用いて開口部に生じる風圧力を測定し、各開口部の流量係数 α を算出したところ、 $\alpha_1=0.39$ 、 $\alpha_2=0.41$ 、 $\alpha_3=0.52$ となった。風洞実験において、流量係数 $\alpha=0.6$ と固定して風圧より算出した通風量換算が過大評価された可能性がある。

各検討ケースでの基準化換気量を比較すると、WC を設置することで換気量が小さくなっている。風洞実験での圧力測定及び CFD 解析より風向 270° において窓 3 が流入開口として機能していることが予想される。そこで、窓 1 の風上側に WC を設置したケースと窓 3 の風下側に WC を設置したケース (表 3) で CFD 解析を行った。結果を図 11 に示す。case1 と case7 を比較すると換気量は減少しており、窓 1 の風上側に設置した WC は通風促進効果がない。また case1 と case8 を比較すると換気量は増加しており、窓 3 の風下側に設置した WC は通風促進に効果がある。この時の圧力コンター図を図 12 に示す。case8 では、窓 3 の風下側に設置した WC に風が衝突し開口部付近の圧力が増加している。また、窓 1 付近は大きく負圧となっていることも確認できる。結果、流入開口と流出開口の圧力差が大きくなり、換気量の増加につながっていると考えられる。次に case7 についてみると、窓 1 の風上側に WC を設置することによって剥離圧が遮られ流出開口の負圧が稼げなくなっている。このことにより流入開口と流出開口の圧力差が小さくなり、換気量の減少につながっていると考えられる。

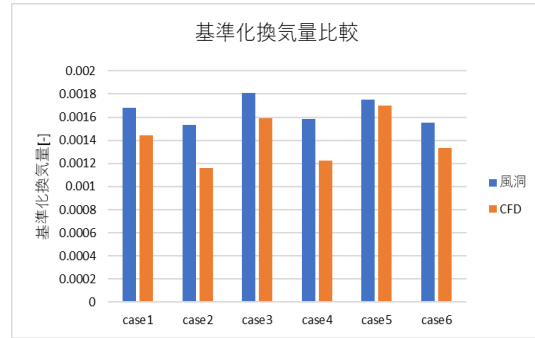


図 10 換気量比較

表 3 追加検討ケース一覧

窓①③開口 WCなし	窓①③開口 窓①風上WC	窓①③開口 窓③風下WC
case1	case7	case8

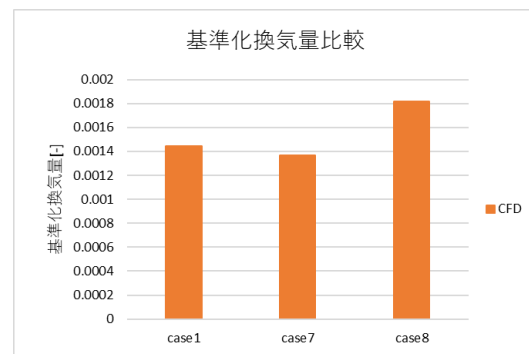


図 11 追加検討換気量比較



図 12 追加検討圧力コンター図

3.2. 追加検討一隣室有モデル

次に隣室有のモデルにて CFD 解析を行った。検討ケースは 3.1 項で行った追加検討のケースと窓 1,3 の両方に WC を設置したケースで行った。風上側に隣室を設けたモデルで CFD 解析を行ったときの基準化換気量の比較を図 13、各ケースでの圧力コンター図を図 14 に示す。風上側に隣室があるモデルにおいて、WC を設置しないケース (case9) では換気量が著しく低く、Case9 の圧力コンター図を見ると、流入開口と流出開口で圧力差がほとんどないことがわかる。次に、窓 1 の風上側に WC を設置したとき (case10) と窓 3 の風下側に WC を設置したとき (case11) の基準化換気量を見るとどちらも値が大幅に上昇しており、圧力コンター図より WC を設置したことで圧力差が生まれていることがわかる。また、窓 1 の風上側と窓 3 の風下側に WC を設置したとき (case12) の流入開口と流出開口の圧力差が最も大きくなり、換気量も最も大きくなる結果となった。このことより気流の剥離の影響を受ける角部屋においては WC 設置によって換気量が減少してしまう恐れがあるが、それ以外の部屋においては WC の効果が見込まれると考えられる。

表 4 隣室有モデル検討ケース一覧

窓①③開口 WCなし	窓①③開口 窓①風上WC	窓①③開口 窓③風下WC	窓①③開口 窓①風上WC 窓③風下WC
case9	case10	case11	case12
全ケースにおいて風上側に2室分の隣室を設ける			

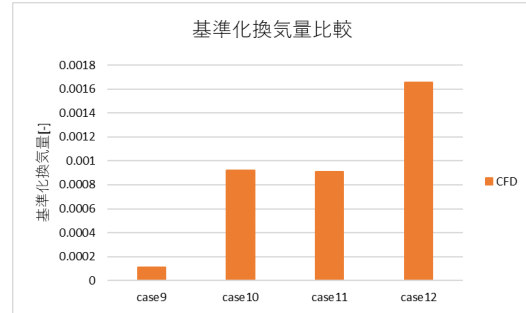


図 13 隣室有モデル換気量比較

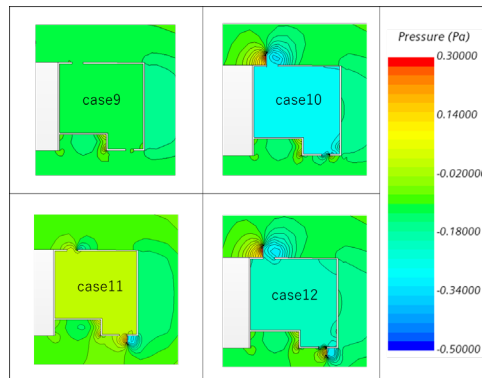


図 14 隣室有モデル圧力コンター図

3.3. 追加検討一隣室有、改修窓モデル

隣室有モデルの case11, case12 にて窓 3 を改修したモデルで CFD 解析を行った。結果を図 15 に示す。この結果より、対面開口が可能なケースにおいて換気量は改修の有無であまり変化がないことがわかる。次に開口を窓 3 のみとしたときの換気量の比較結果を図 16 に示す。この結果より窓の改修によって換気量が大幅に増加していることがわかる。改修後の一面開口時の圧力コンター図と風速ベクトル図を図 17, 18 に示す。これらによると WC によって圧力差が生まれ、風上側の開口から流入し、風下側の開口から流出するような空気の流れができていくことがわかる。以上のことより、左右開きのウィンドキャッチャー窓は開口が一面しかないときの換気量増加に効果があることが予想される。

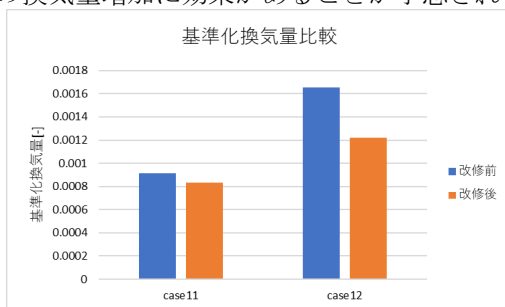


図 15 改修の有無による換気量比較

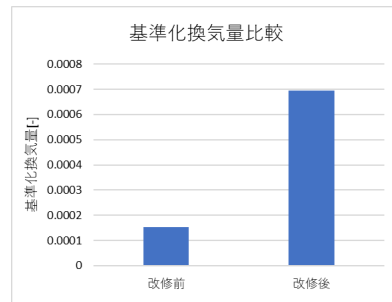


図 16 改修の有無による一面開口時の換気量比較

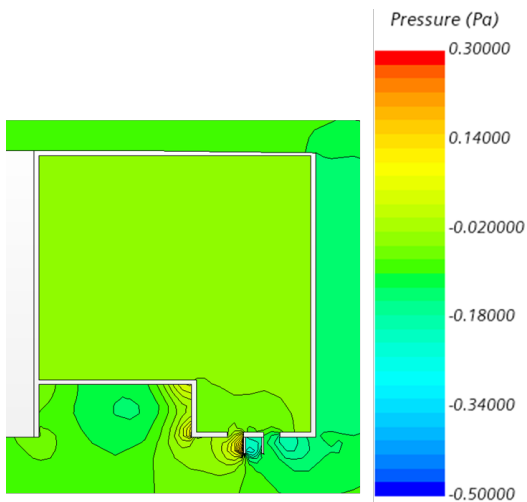


図 17 窓改修後の圧力コンター図

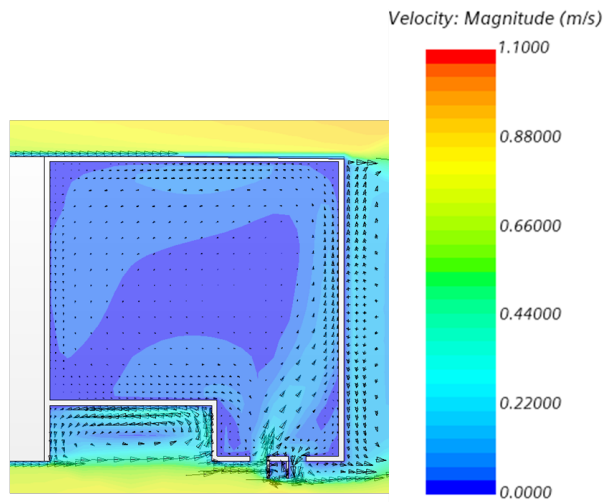


図 18 窓改修後の風速ベクトル図

3. 4. まとめ

本研究より以下の知見が得られた。

- 1) 風上側に隣室がない場合、WCを設置する位置によっては逆効果になる恐れがある。
- 2) 風上側に隣室がある場合、流入開口の圧力を上昇させる、または流出開口の圧力を減少させるようにWCを取り付けることで換気量の増加が見込まれる。
- 3) 左右開きのWCは一面しか開口が得られないような場合において効果を発揮すると考えられる。

風洞実験において風上側に隣室を再現したモデルでの測定、及び風洞実験での流量係数 α の検討については今後の課題である。

・その2 集合住宅での開口部扇風機設置による換気効果の実測調査

1. 研究の目的

昨年から急速に流行している COVID-19 の感染防止策の一つとして、換気に大きな注目が集まっている。特に、自然換気を用いる際は、外部風速が小さい、開口面積が小さい、一面にしか開口がない、など様々な理由で十分な換気量を確保することが難しく、換気量増加のために工夫が必要となる。本報では、開口部に扇風機を設置することによる効果を、集合住宅における CO2 トレーサガスを用いた実測より検証した結果について述べる。

2. 研究の方法

2.1 集合住宅での実測

測定は神奈川県厚木市緑ヶ丘に位置する集合団地4階A号室にて2020年11月15日から21日に行った。図1に実測対象室を、図2に測定機器設置位置を示す。対象室には窓が3箇所あり、それぞれの寸法、窓タイプを図3に示す。測定ケースは全9ケース行った。二面開口と一面開口の比較、それに加えて、一面開口時に扇風機等を設置することによる換気量への影響、扇風機の設置開口の違いによる換気量への影響を検討した(表1)。ケース5, 6では扇風機とサーキュレーターの効果の違いを比較しており、図4に示すように高さは合わせず、それぞれの機器を設置した。今回の実験では換気量の比較に重点を置いている。濃度測定より空気齢を用いて換気量を求める場合、排気口濃度が必要となる。しかし、実測では環境は常に変化しており、更に一面開口時は流入出開口の判別が難しい。そのため、実測中の対象室の空気を混合し、空間濃度と排気口濃度を等しくする必要があるので室内の攪拌について、攪拌なし(ケース2)、サーキュレーター1カ所のみ(ケース3)、扇風機・サーキュレーター等3カ所設置(ケース4)の3ケースで比較を行い、攪拌による換気量の結果への影響についても検討を行った。

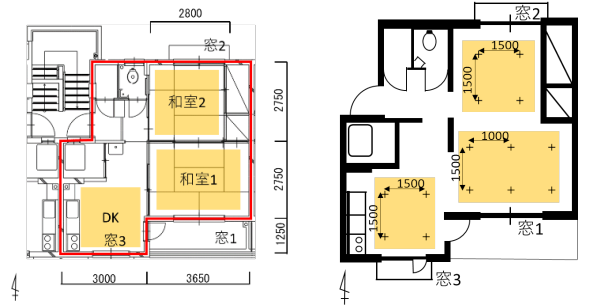


図1 実測対象室平面図

図2 濃度測定機器設置位置

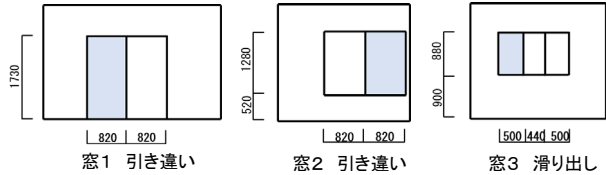


図3 各開口寸法

表1 測定ケース

ケース	開口・扇風機	検討項目
1	窓2, 3	2面開口
2	窓1, 3(攪拌無し)	1面開口の現状把握
3	窓1, 3+サーキュレーター設置	1面開口時、滞留域の改善
4	窓1, 3(攪拌あり)	分布を小さくし換気量を算出
5	窓1, 3+窓1扇風機	1面開口時の扇風機効果
6	窓1, 3+窓1サーキュレーター	1面開口時のサーキュレーター効果
7	窓1, 2	
8	窓1, 2+窓2扇風機	流入開口、流出開口に扇風機を設置した際の効果の比較
9	窓1, 2+窓1扇風機	

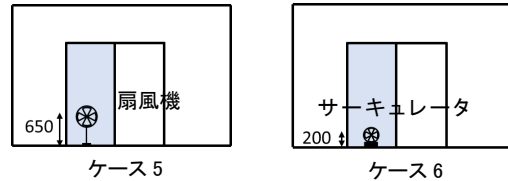


図4 扇風機・サーキュレーター設置位置

3. 研究成果

3.1 住宅実測結果

表2及び図5に結果を示す。表2では実測時の軒高風の風向・風速の条件も示している。換気量・換気回数については実測時の換気量とともに、表0内に軒高風速 1m/s の条件で基準化した結果を記載している。同風向・同開口条件下(ケース2と3)において、軒高風速 1m/s 基準化での換気量の結果を比較すると、攪拌により換気量に差が出ていることがわかる。そこで各室の平均空気齢を算出して、比較を行った(図6)。この結果一面開口時は和室2で滞留が起きやすく、空気齢が長くなる傾向があるため、攪拌を行わない場合、室全体の平均空気齢より、換気量を求めると、換気量が過小評価されることがわかる。そのため、今後の実測では室内を攪拌して行うこととする。

表2 室内攪拌有無による結果及び実測時環境条件

ケース	2	3	4
開口	窓1-3		
室内条件	攪拌なし	サーキュレーターのみ	サーキュレーター 扇風機2台
風速	1.67	1.02	0.62
風向	西北西	西北西	東南東
換気量[m ³ /h]	529.0(316.1)	404.5(397.6)	338.7(533.4)
換気回数[回/h]	8.5(5.1)	6.5(6.4)	5.5(8.6)

※0内軒高風速 1m/s で基準化した値

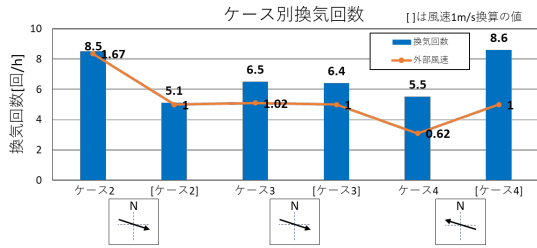


図5 室内攪拌有無による換気回数比較

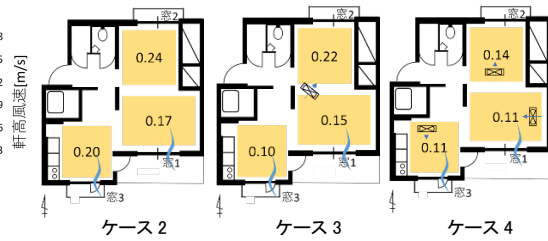


図6 ケースごとの室別平均空気齢 [h]

3.2 扇風機等設置による換気量の改善検討

ケース1の二面開口とケース4の一面開口、ケース5、6の換気量の比較を行った。その結果を表3と図7に示す。軒高風速1m/s基準化におけるケース1と4を比較すると、換気量にそれほど差がなく、一面開口の場合でも換気回数が8回/h以上となっている。ケース5の結果から窓1に扇風機を設置することにより、換気量増加の効果が見られる。一方で、ケース1(軒高風速1m/s)とケース6の関係性を見ると、ケース6での外部風速に対する換気回数の増加率が低く、サーキュレーターの設置の効果が見られないと考えられる。このことから換気量が十分にある場合はサーキュレーターの設置による換気量増加の効果は大きくないと考えられる。

表3 扇風機設置による結果及び実測時環境条件

ケース	1	4	5	6
開口	窓2-3		窓1-3	
室内条件	なし	なし	窓1扇風機	窓1サーキュレーター
風速	0.98	0.62	1.01	2.11
風向	南南西	東南東	西北西	北
換気量[m ³ /h]	535.5(546.8)	529.0(316.1)	404.5(397.6)	1060.7(503.4)
換気回数 [回/h]	8.6(8.8)	5.5(8.6)	10.5(10.4)	17.1(8.1)

※()内軒高風速1m/sで基準化した値

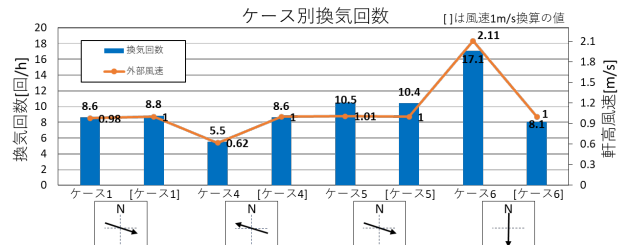


図7 扇風機・サーキュレーター設置による換気回数比較

3.3 扇風機設置開口による換気量増加効果への影響

ケース8では窓2に、ケース9では窓1に扇風機を設置した(図8)。扇風機を設置していないケース7とケース8、9の結果を表4、図9に示す。表4の風向から、実測をした際の主風向は北であり、窓2が流入開口であり、窓1が流出開口と考えられる。また同風向・同開口条件下となるこれらのケースにおいて、軒高風速1m/s基準化での換気量の比較をすると、流出開口に扇風機を置いた[ケース9]では換気量が大きくなっているが、流入開口に扇風機を置く[ケース8]が扇風機を置かない[ケース7]の換気量よりも小さくなってしまい、逆効果になっているといえる。以上から、開口部に扇風機を設置して換気量改善を狙う際に、風向が安定しない場合には、定期的な風向確認に基づいて、扇風機の設置位置を変更するなどの対応が必要である。

表4 風上・風下に扇風機を設置した際の結果

ケース	7	8	9
開口		窓1-窓2	
室内条件	なし	窓2扇風機	窓1扇風機
風速	2.76	2.21	1.44
風向	北北東	北/北北東	北
換気量[m ³ /h]	2001.4(726.3)	1491.6(673.5)	1252.4(869.3)
換気回数 [回/h]	55.9(20.3)	41.7(18.8)	35.0(24.3)

※()内軒高風速1m/sで基準化した値

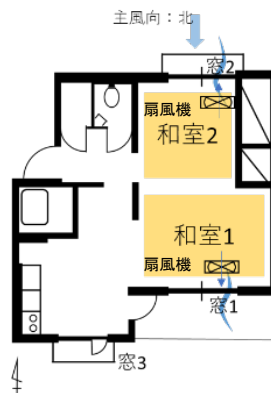


図8 検討対象室と機器の設置位置

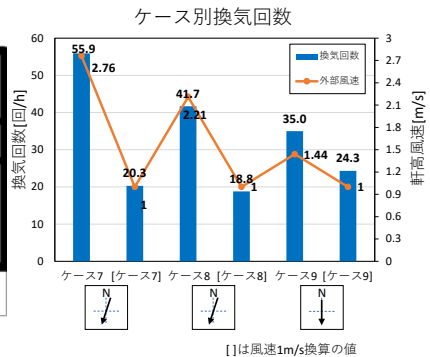


図9 風上・風下に扇風機を設置した際の換気回数比較

本研究より以下の知見が得られた。

- 1) 扇風機を開口部に設置することで換気量改善に効果があるが、元々の換気量が大きい場合は効果があまりない。
- 2) 開口部に扇風機を設置して換気量改善を狙う場合、扇風機を流入開口側に設置すると逆効果になるため、風向に注意して設置する必要がある。

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 3 件)

1. 扇風機を用いた室内環境の換気効果に関する研究—集合住宅での開口部扇風機設置による換気効果の実測調査 (2021年度日本建築学会大会 (東海))
2. ウィンドキャッチャー設置による通風促進効果に関する研究 (2021年度空気調和・衛生工学会大会 (福島))
3. 扇風機を用いた室内環境の換気効果に関する研究 (2021年度空気調和・衛生工学会大会 (福島))

[図書] (計 0 件)

[その他, 産業財産権, ホームページ等]

5. 研究組織

(1) 研究代表者

倉渕 隆 東京理科大学・工学部・教授

(2) 研究分担者

奥田 有彩 東京理科大学・工学研究科・院生
柴田 実里 東京理科大学・工学研究科・院生
土橋 昌晃 東京理科大学・工学研究科・院生
石川 光太郎 東京理科大学・工学部・卒研究生
古澤 明里朱 東京理科大学・工学部・卒研究生
鈴木 雄登 東京理科大学・工学部・卒研究生
水谷 国男 東京工芸大学・工学部・教授

6. 要約 (Abstract, 英文)

Research Theme : A study on the effectiveness of wind catcher and the improvement of the effect of promoting ventilation performance in apartment buildings

Representative Researcher (Affiliation) : Takashi Kurabuchi (Tokyo University of Science)

Summary · Figures

Wind tunnel experiments and CFD analysis were used to investigate the effect of wind catcher installation on ventilation, and the following was found.

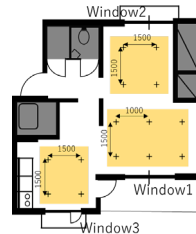
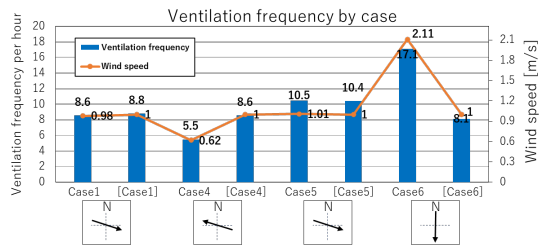
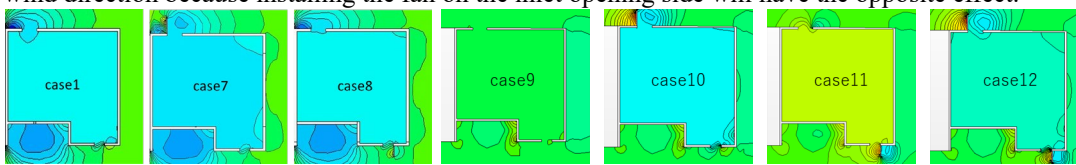
1) When we use a model without a neighboring room on the upstream side, the wind catcher attached to the windward side may be counterproductive to the wind promotion because it interferes with the negative pressure due to the peeling of the air flow.

2) When a model with a neighboring room on the upstream side is used, since there is no influence of peeling of the air flow, the wind catcher is expected to promote air flow.

And we investigated the effect of fan installation on ventilation using the tracer gas experiment, and found the following.

1) Installing fans in the openings is effective in improving the ventilation volume, but the effect is not significant when the original ventilation volume is large.

2) When installing a fan in an opening to improve the ventilation volume, it is necessary to pay attention to the wind direction because installing the fan on the inlet opening side will have the opposite effect.



[] is a case where wind speed is converted to 1m/s.

