

高層建築における自然換気用ソーラーチムニーの 換気性能検証手法に関する研究

—実建物を対象とした自然換気量測定に基づく換気性能検証事例—

山澤 春 菜^{*1} 山 中 俊 夫^{*2}
桃 井 良 尚^{*3} 小 林 知 広^{*4}
袁 繼 輝^{*4} 伊 藤 彰 悟^{*5}
水 出 喜 太 郎^{*6} 藤 井 拓 郎^{*7}

日射による煙突効果を利用するソーラーチムニーに関する研究は、実験、数値解析、マルチゾーンモデルなど、様々な手法で研究されてきた。しかし、実建物に導入した場合の実測データは未だ不足しているのが現状である。本研究は、ソーラーチムニーに関するデータを蓄積するとともに自然換気性能の予測・推定手法を確立することを目的としている。ソーラーチムニーを有する環境配慮型市庁舎において実測を行い、実測日において換気回数 10h^{-1} 程度の換気性能を有することを確認した。また、実測結果と BEMS を組み合わせることで年間の換気量・換気回数の頻度分布を得た。中間期である 2018 年 4 月の換気量は平均して $1,424\text{m}^3 \text{min}^{-1}$ であった。

キーワード：自然換気・実測調査・ソーラーチムニー・性能検証・Building Energy Management System・使用頻度

はじめに

高温多湿な日本の夏期における蒸し暑さを和らげるため、日本では長きにわたり自然換気が盛んに¹⁾行われてきた。現在はオフィスを含む非住宅建築における導入事例が増加しており、近年頻発する自然災害に対する意識の高まり、そして地球温暖化への懸念から、BCP (Business Continuity Planning: 事業継続計画) 及び省エネルギー・省 CO₂ への関心が寄せられ、自然換気も多くの注目を集めている。日本のエネルギー消費において、事業部門内のオフィスと建物セクションが占めるエネルギー消費の割合は 20% を超えており、その中でも 50% に当たるのが空調換気設備である²⁾。すなわち、空調換気システムの消費エネルギー削減は、建物のランニングコストに対

して大きな影響を与える。自然換気システムは、再生可能エネルギーを利用することで機械空調に比べて換気にかかる費用を抑えることができる。しかし、自然換気システムの最適な設計・制御手法を確立するためには未だ不明な点の多い一連の換気現象について明らかにする必要があり、現象が不安定であるからこそ、より多くの実建物におけるデータの蓄積と、そのデータによる解析及び計算モデルの検証が求められる³⁾。

自然換気装置として、日射を利用することで煙突効果を促進するソーラーチムニーについては長く研究されてきた^{4,8)}。Chen ら⁹⁾ はソーラーチムニーを模擬した煙突状実験装置の壁面を加熱することで日射の影響を模擬して実験を行った。Adam ら¹⁰⁾ はマルチゾーンモデルによりソーラーチムニーを通過する気流を詳細に解析した。鍋島ら¹¹⁾ は模型実験及び CFD 解析よりソーラーチムニーの効果的な断面積・断面形状について検討した。宋¹²⁾ は模型実験によりソーラーチムニーとチムニーシャフトの接続状態が換気量に及ぼす影響を検討した。

Nicol と Humphreys¹³⁾ は、数理的なモデルは実現象においては適用が難しいと主張し、実験室実験は実際の場

*1 大阪大学 学生会員

*2 大阪大学 SHASE 技術フェロー

*3 福井大学 正会員

*4 大阪大学 正会員

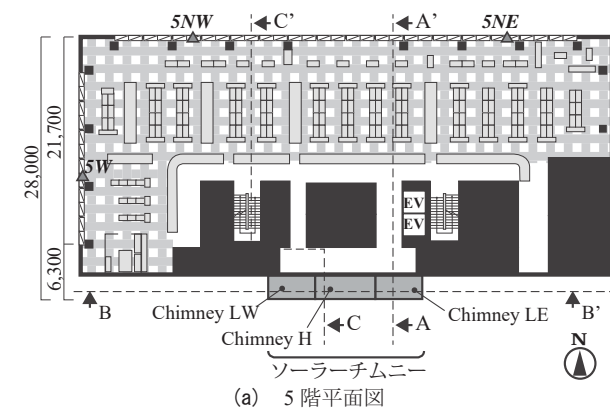
*5 大阪大学 学生会員

*6 (株)日建設計 SHASE 技術フェロー

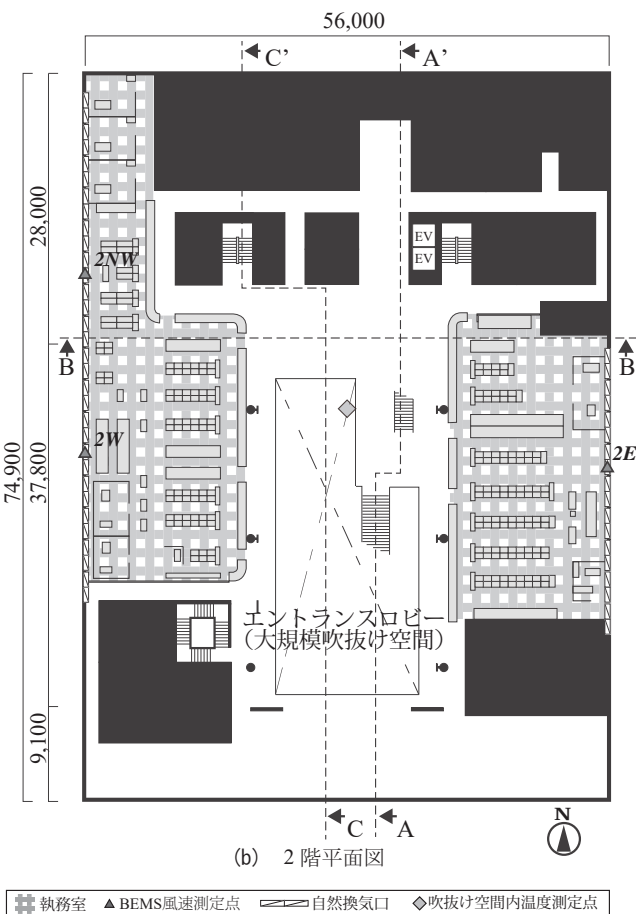
*7 (株)日建設計 正会員



写真-1 実測対象建物外観



(a) 5階平面図



(b) 2階平面図

図-1 実測対象建物平面図 [mm]

において試験される必要があるとした。さらに、自然換気システムは、導入から年月が経過するにつれ、その使用頻度が低下してしまうことが示されている¹⁴⁾。すなわち、自然換気の使用頻度・性能・省エネへの意識等は変化するため、換気性能の調査は、竣工当初のみならず運用に合わせて長期間行うべきと考えられる。しかし、精緻な実測実験を定期的に行うには多くの費用と時間が必要となる。そこで、実測実験に代わり、より簡易で安価に時々刻々変化する換気性能を予測する手法が必要とされており、例えば近年設置例の多い BEMS 測定結果を利用することが有効と考える。

そこで、本研究では、実在のソーラーチムニーを有する自然換気建物において詳細な換気量の測定を行いより正確な換気量を得たうえで、その結果を常時計測している BEMS の測定結果から簡易に推定した換気量と比較した。この比較検討において BEMS による換気量の簡易推定手法の精度を検証し、同時に簡易な精度向上手法の適用を試みた。精度向上手法適用後に BEMS による換気量の簡易推定手法を用いて実運用における換気量の季節変動を追った。また、限られた気象・時間的条件の下ではあるものの、実運用における実測結果と実運用を模擬した条件における実測結果とを比較することで自然換気建物における実測手法の評価及び知見を述べる。

1. 中間期における対象建物の自然換気システム

写真-1 に示す徳島県の市庁舎を実測対象とした。対象建物は、低層棟 (1～3F) と高層棟 (4～7F)、及びソーラーチムニーによって構成されており、オープンプランの執務室を有する高層棟が低層棟の上に位置し、ソーラーチムニーが南にガラス面を向けて高層棟に沿うようにして3本並び立っている。また、低層棟中央の、大きく吹き抜けたエントランスロビーを囲むように執務室が配置されている。1Fと2F、5Fと6Fにおける平面プランは概ね同じ形状をしており、低層棟と高層棟それぞれの代表階として2Fと5Fの平面プランを図-1に示す。また、断面図を図-2に、対称建物における中間期の自然換気システムの概要を図-3に、建物の概要を表-1に示す。外気は、図-4に示す空調換気運転にあわせて開閉する執務室窓際足元のペリカウンター組込み型自然換気口を通して建物内へ流

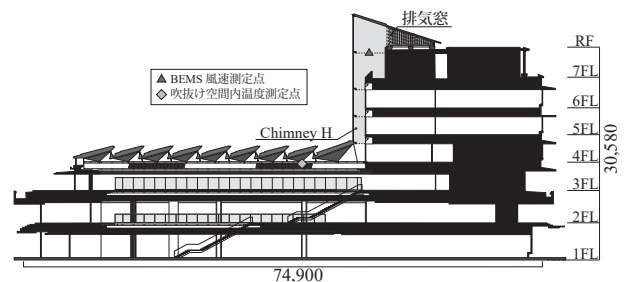


図-2 実測対象建物断面図 (A-A'断面) [mm]

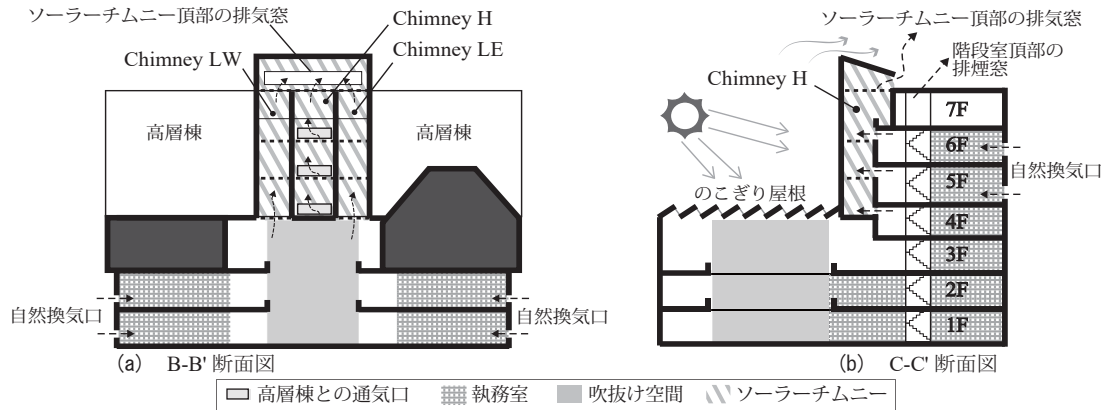


図-3 中間期における実測対象建物の自然換気システム概要

入し、建物内空気はソーラーチムニーから排気されるものとしている。中間期において、表-2に示す5つの条件をすべて満たす際に、空調機が停止したうえでソーラーチムニー頂部の排気窓及び対象階の自然換気口が開放されて自然換気が行われる。3本のソーラーチムニーのうち、中央一本は高層棟用（以下、Chimney H）であり、残り2本はどちらも低層棟用（以下、Chimney L）である。東側にある方をChimney LE、西側にある方をChimney LWと呼称する。Chimney Lの底部は常に大規模吹抜け空間に開放されており、低層棟の空気はChimney L内へその底部から流入する。一方で、底部がガラスで覆われているChimney Hにおいては高層棟の空気がソーラーチムニー近くの天井に設置された通気口を通り、水平にChimney Hへ流入する。ただし、4階執務室は自動扉により廊下とは隔てられ、常には自然換気が行われないうえに測定対象外とした。すべてのソーラーチムニーは頂部で合流し、内部の空気は頂部の排気窓からまとめて排気される。また、この建物には低層棟と高層棟を貫く2本の階段室があり、ソーラーチム

ニーにおける自然換気量に影響を与える可能性もある。

前述のように、本研究ではBEMSの測定結果から換気量を簡易に推定することを目指す。この簡易推定の際に用いる自然換気装置の内部に設置されたBEMS風速計の設置箇所の一部を図-1、図-2に示す。執務室の自然換気口においては、1階で3点、2階及び5階では図-1に示す各3点、6階で2点の測定点においてBEMS風速計が設置されている。また、ソーラーチムニー内の7階FL+3,700に設置されている落下防止用グリル直下に、各ソーラーチムニー1点ずつBEMS風速計が設置されている。

換気計算に用いた執務室及びソーラーチムニーの容積及び水平断面積を表-3に示す。BEMS風速計設置位置における自然換気口断面面積は、図-1の凡例に示すような1ユニットで約0.227m²である。

2. 実測手法

2.1 実測概要

対象建物における自然換気量評価のため、2018年4月21日～23日に実測を行い、執務室の自然換気口及びソーラーチムニー内の風速分布を測定した。ただし、4/23は平日のために執務者及び機器発熱が存在したが、4/22は休日であったためにそれらが存在せず、暖房運転及び照明発熱により模擬した。実測日の気候条件を表-4に示す。

2.2 ソーラーチムニーを通過する換気量

ソーラーチムニーにおける実測条件を表-5に、測定点

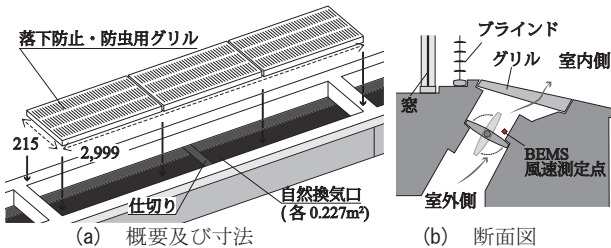


図-4 執務室窓際足元の自然換気口 [mm]

表-1 建物概要

場所	徳島県
建物用途	市庁舎
竣工年	2017年
高さ [m]	37
延べ床面積 [m ²]	20,704
建築面積 [m ²]	4,800

表-2 自然換気運転条件 (中間期)

降雨の有無	降雨無し
エンタルピー h	$h(\text{室内}) > h(\text{外気})$
外気湿度	90%RH 以下
外気温	18.1°C ~ 25.0°C
室内温度 (自然換気対象階で各2~3点)	20.1°C ~ 28.0°C

注 すべての条件を満たすとき自然換気運転モードに移行する。

表-3 執務室の室容積及びソーラーチムニーの水平断面積

	執務室				Chimney	
	1F	2F	5F	6F	H	L
室容積 [m ³]	4,333	3,159	2,357	1,212	-	-
面積 [m ²]	123.8	1,053	873	449	10.7	8.84×2
高さ [m]	3.5	3.0	2.7	2.7	-	-

表-4 実測日の気候条件

実測日	2018/4/21 (土)	2018/4/22 (日)	2018/4/23 (月)
実測時間	16:00-20:00	9:00-20:00	9:00-11:00
天候	快晴	薄曇時々晴	薄曇一時晴
外部風速 [m s ⁻¹]	1.34	3.34	4.03
風向	S	SE	SE
日射量 [W m ⁻²]	280	311	460
外気温 [°C]	23	21.9	20.1
外気湿度 [%]	84.8	57.7	69.3

注 データは実測時間内平均を表す。

を図-5に示す。測定条件について、Case 0a では全ての自然換気口が閉じ、自然換気無効時のソーラーチムニー内における自然対流による風速測定値への影響を確認する。また、Case 0b は Case 0a の状態からソーラーチムニー顶部

表-5 実測条件

Case	自然換気口				ソーラーチムニー 顶部の排気窓
	1F	2F	5F	6F	
0a	×	×	×	×	×
0b	×	×	×	×	○
1	○	○	○	○	○
2	○	○	○	×	○
3	×	×	○	○	○
4	×	×	○	×	○
5	○	○	×	×	○

注 ○は開、×は閉を表す。

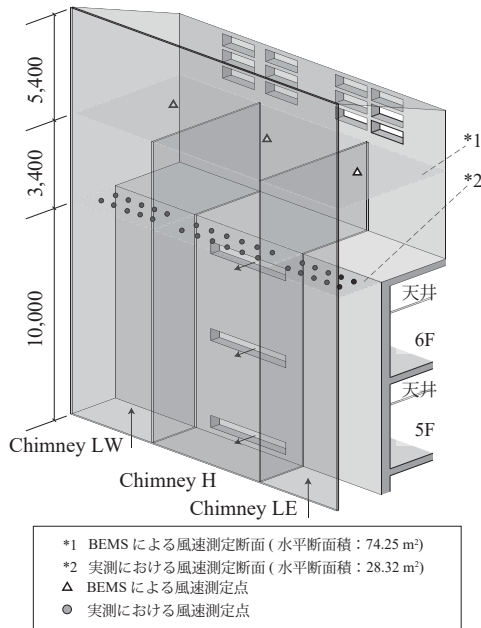


図-5 ソーラーチムニー内の測定点

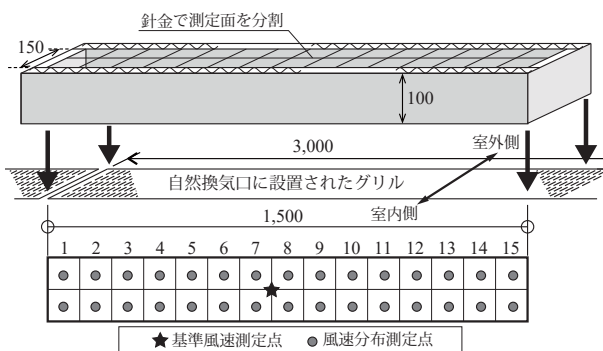


図-6 自然換気口風速分布の測定手法

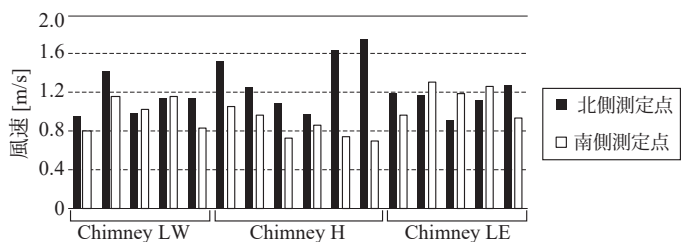
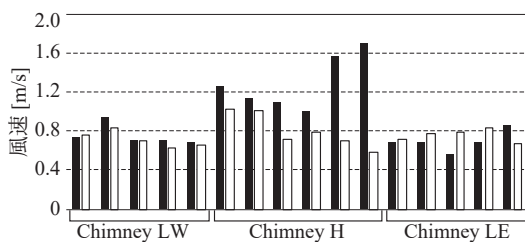


図-7 ソーラーチムニーにおける風速分布測定結果の比較 (休日は熱負荷を模擬、平日は実際の熱負荷)

の排気窓を開放した条件であり、自然換気口以外からの流入によるソーラーチムニー内気流の測定を意図した。その他の条件は実運用時を想定している。

ソーラーチムニー内におけるスカラー風速の水平面分布を32点で同時測定可能な多点風速計(サンプリング周波数: 1Hz)を用いて測定し、各ソーラーチムニーでの面平均の風速にソーラーチムニーの水平断面積を乗じることで3本のソーラーチムニーそれぞれで換気量を推定した。また、各条件において自然換気口を開放した階の執務室容積で換気量を除すことで換気回数を算出した。

2.3 自然換気口を通過する換気量

執務室の自然換気口においては、自然換気口の上部に短いダクトを設置したうえで水平方向の流速分布を求め、その平均値に面積を乗じることで換気量を算出した。測定の際は、3台の風速計(サンプリング周波数: 10Hz, 平均化時間: 10s)を用い、1台は図-6中央の基準風速測定点に設置して残りの2台を用いて風速分布を測定することとし、基準風速を含めて3台で同時測定を行った。基準風速測定結果を用いて風速分布測定結果を補正することで風速の時間変化を考慮した。測定点nにおける基準化風速 $v_{st} |_n$ [m/s] は式(1)で定義する。

$$v_{st} |_n = \frac{v_d |_n}{v_t |_n} \times \bar{v}_t \quad \dots\dots (1)$$

ただし、測定点nにおける風速分布測定結果を $v_d |_n$ [m/s]、その時の基準風速を $v_t |_n$ [m/s]、測定平面の全30点で風速分布を測定した期間中における基準風速の平均値を \bar{v}_t [m/s] と表している。この式は、風速分布の測定結果をその時の基準風速で除することで無次元化し、基準風速の平均値を乗じるにより次元を合わせている。

3. 結果と考察

3.1 ソーラーチムニーを通過する換気量

ソーラーチムニー内風速分布測定結果の一例として、4/22及び4/23におけるCase 1の結果を図-7に示す。前述のように、4/22(日)においては、暖房・照明により休日は存在しない人体・機器発熱を模擬した。これらを比較すると、ソーラーチムニー内風速分布の傾向は類似しており、休日に実際の発熱を模擬して行った実測の精度は概ね信頼できるものと判断した。

換気量算定結果を図-8に、風速測定結果と換気回数を表-6に示す。表中BEMSの換気量は、出力間隔10分の風速測定結果について各測定時間中のデータの平均値から求めた。便所の総設計排気量は低層、高層階でそれぞれ70.2, 56.7m³ min⁻¹と自然換気量に比べて小さく、影響は無視できると考える。低層棟自然換気口がすべて閉じられたCase 3, Case 4において、Chimney Lを通過する換気量は明らかに減少したが、換気量が0になることはなかった。これは、Chimney Lの底部は常に大規模吹抜け空間に開放されており、ソーラーチムニー頂部の排気窓が開放されてさえいれば、高層棟自然換気口から流入した空気が階段室を通り吹抜け空間からChimney Lに流入可能なためと考える。さらに、高層棟の自然換気口が全て閉じられたCase 5においてもChimney Hにおける換気量が0になることはなかった。これは、風速計に無指向性のものを使用したため、ソーラーチムニー内空気の流れの風速を測定してしまっただけと考えられる。Case 0aにおいて、全ての自然換気口とソーラーチムニー頂部の排気窓を閉めたにも関わらずソーラーチムニー内で平均0.22m s⁻¹の風速が測定され、内部での自然対流の存在が確認された。Case 0bにおいて、例え全ての自然換気口が閉められていたとしても、ソーラーチムニー内の空気は頂部から排気され、Chimney Lの底面を通り大規模吹抜け空間から空気が流入することが確認された。この

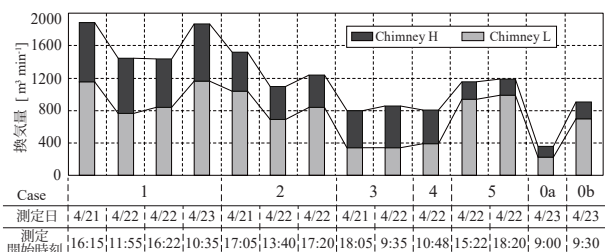


図-8 ソーラーチムニーにおける換気量算定結果の一覧

表-6 ソーラーチムニーにおける風速測定結果の一覧

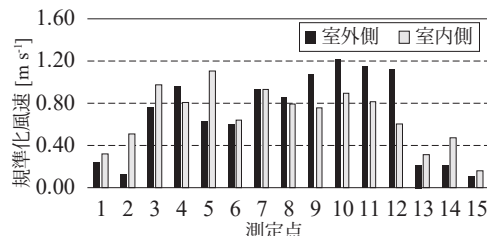
実測条件	換気量 [m ³ min ⁻¹]			BEMS	K _{SC}	ACH [h ⁻¹]
	多点風速計 (実測)					
Case	開始時刻	L	H	Total		計
4/21 (土)						
1 (1)	16:15	1156	732	1888	2495 {5}	10.2
2 (1)	17:05	1040	482	1521	1968 {6}	9.3
3 (1)	18:05	339	462	802	878 {9}	13.5
4/22 (日)						
3 (2)	9:35	339	520	859	368 {7}	14.4
4	10:48	392	411	803	747 {7}	20.5
1 (2)	11:55	769	674	1443	1603 {11}	7.8
2 (2)	13:40	690	411	1100	568 {5}	6.7
5 (1)	15:22	939	218	1157	968 {6}	9.3
1 (3)	16:22	843	597	1440	1760 {6}	7.8
2 (3)	17:20	838	398	1236	1425 {7}	7.5
5 (2)	18:20	992	199	1191	1882 {8}	9.5
4/23 (月)						
0a	9:00	228	128	356	223 {3}	-
0b	9:30	700	205	906	1058 {3}	-
1 (4)	9:52	1167	706	1873	2338 {4}	10.2

注 複数回行われた実測条件は、何度目の測定かを()内に示す。また、{}内にBEMS換気量結果平均値のサンプル数を示す。

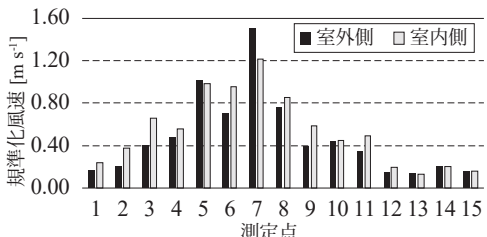
多点風速計を用いた換気量算定の結果 Q_m と BEMS 風速計による換気量の算定結果 Q_{BEMS} とを比較し、その関係を $Q_m = K_{SC} \times Q_{BEMS}$ で表せるものとして、各条件で両測定の測定点の違いを補正する係数 K_{SC} を得た。恣意的な操作を避け、精度よりも簡便さを重視して表-6の値を算術平均した1.12を今後の計算に用いることとする。

3.2 自然換気口を通過する換気量

執務室外周部の自然換気口における規準化風速分布のうち、図-1中の2E及び2Eとは階が異なるだけで平面位置は概ね同じ1E(1階)の位置の結果を図-9に示す。風速は測定領域の両端で小さくなったが、これは、1ユニット3m程度の自然換気口において半分の地点で仕切りがあるため、その影響を受けたものと考えられる。階が異なるだけで平面位置は概ね同じである1Eと2Eだが、風速分布が異なった。全測定地点における自然換気口を通過する風速の平均値及び標準偏差を図-10に示す。自然換気口を通過する風速の標準偏差は、低層階と比べると高層階で比較的小さかった。ここで、ソーラーチムニー同様、実測による換気量算定の結果 Q_m と BEMS 風速計による換気量の算定結果 Q_{BEMS} とを比較し、その関係を $Q_m = K_{NVO} \times Q_{BEMS}$ で表せるものとして、各換気口位置における補正係数 K_{NVO} を得た。その値を平均した1.18を今後計算する際には用いることとする。



(a) BEMS 風速測定地点：1E



(b) BEMS 風速測定地点：2E

図-9 自然換気口における風速分布測定結果の一例

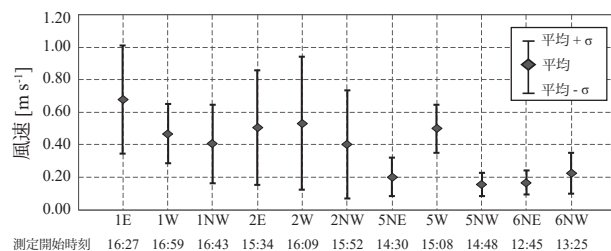


図-10 自然換気口における風速測定結果の平均値と標準偏差

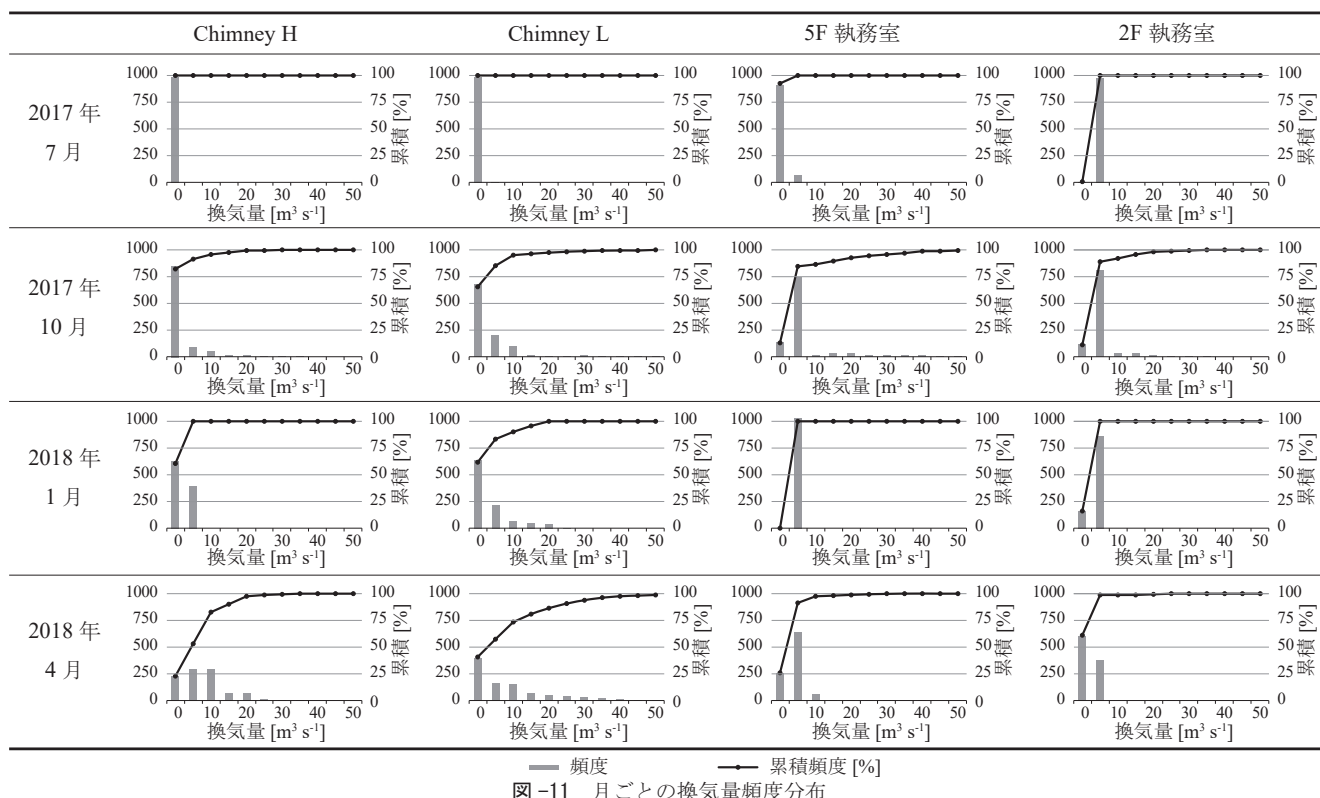


図-11 月ごとの換気量頻度分布

3.3 年間の換気量推定

執務室自然換気口及びソーラーチムニーを通過する換気量を、3.1、3.2で得られた補正係数と10分間隔で出力されるBEMSの風速データから推定した。2017年7月、2017年10月、2018年1月、2018年4月を各季節における代表月として、月ごとの換気量頻度分布を図-11に、外気温変化を図-12に示す。ただし、データは休日を除き、平日の午前9時～午後5時までの結果のみを抽出した。

ソーラーチムニーの通過換気量の頻度分布(図-11)によれば、2018年の4月には自然換気がよく利用されていたが、同じく中間期の2017年10月においては利用の頻度が比較的少なかった。2017年10月において、10/13までの外気温は自然換気運転の条件である18.1～25.0℃を上回った日が多く(図-12)、それ以降は条件を下回った日が多い。このように、外気温によっては同じ建物でも、2017年10月と2018年4月のように自然換気運転可能な日が大幅に減少することが確認された。

2018年1月において、ソーラーチムニー頂部の排気窓はその月を通して開放されることはなかったがBEMSで記録されている風速の値は完全に0とはならなかった。これは、Chimney Lでは図-13(b)に示すように、ガラス面の熱貫流により冷却されたソーラーチムニー内空気と暖房により暖められた吹抜け空間内の空気との密度差による自然対流が発生したためと考えられる。実際に、図-1、2に示す吹抜け空間の測定点における気温とソーラーチムニー内の気温が1月中平均してそれぞれ17.4℃と4.7℃であった。また、Chimney Hでは図-13(a)に

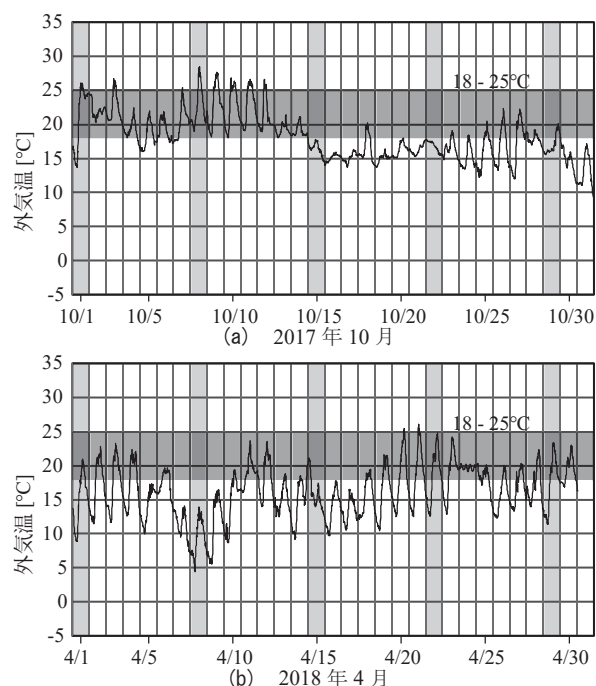
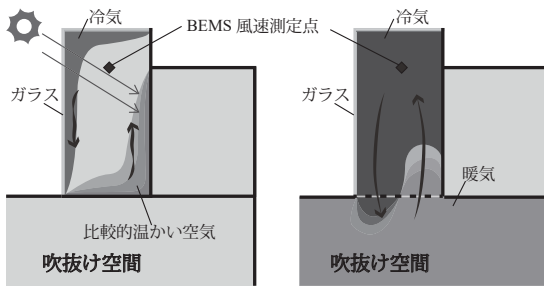


図-12 中間期の代表月における外気温変化

示すように、熱貫流により冷却されたガラス面付近の空気と建物側内壁で暖められた建物壁面付近の空気が自然対流が発生したものと考えられる。このように、3.1においてCase 0aで示したような自然換気運転時以外でもソーラーチムニー内で発生する自然対流による微風速の影響を確認した。したがって、換気量の算定においては風速のみならず自然換気運転の有無について考慮するこ

とが必要とわかった。そこで、平日の執務時間 (8:30 ~ 17:15) においてソーラーチムニーが利用されている間のみのデータから得た月別の平均換気量算出結果を図-14に示す。対象期間は2017年6月1日~2018年5月22日であり、この期間中の執務時間に占めるソーラーチムニーの利用時間 (自然換気が行われた時間) を同じく図-14に示している。中間期において盛んに利用され、実測を行った2018年4月におけるソーラーチムニーの平均換気量は $1,424\text{m}^3\text{min}^{-1}$ 、ソーラーチムニー利用率 (自然換気利用率) は42.3%であった。

4月の平日午前9時~午後5時の間でかつソーラーチムニー頂部の排気窓が開放されていた時の換気量とソーラーチムニー内外温度差及び外部風速との相関を図-15に示す。明確な相関は見られなかったが、これは、ソーラーチムニー周辺以外の環境が大きく影響を及ぼしたためと考えられる。実建物においては自然換気装置のみならず建物全域での環境を知る必要があり、その手段として、換気回路網と組み合わせる必要があると考える。



(a) Chimney H 内 (b) Chimney L 内
図-13 冬期におけるソーラーチムニー内の自然対流

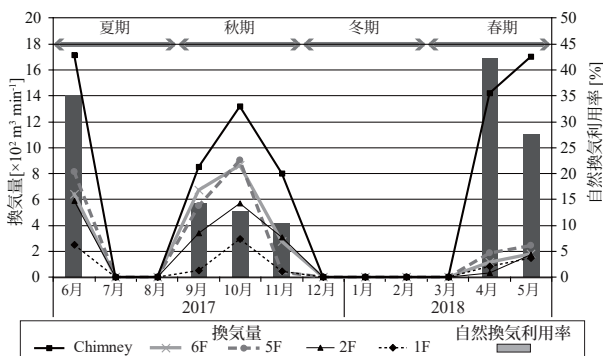
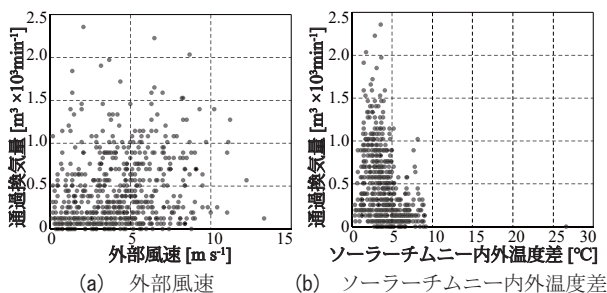


図-14 月ごとの平均換気量及び自然換気利用率



(a) 外部風速 (b) ソーラーチムニー内外温度差
図-15 ソーラーチムニー通過換気量と各物理量との相関

4. 結論

中間期において、自然換気システムを導入した非住宅建築における自然換気性能の評価手法を提案するために、自然換気装置を通過する換気量に関する実測を行い、その結果から年間換気量の頻度分布を得た。

本論文において示された知見を以下にまとめる。

- 1) 実測結果から、対象建物における対象階容積に対する換気回数は概ね 10h^{-1} 程度であった。
- 2) 自然換気装置における風速分布測定結果から算定した換気量と、自然換気装置に常設のBEMS風速計の測定結果から算定された換気量とを比較して両者の関係を簡単な補正係数で表した。その値は、ソーラーチムニーで1.12、自然換気口で1.18であった。
- 3) 前述の係数を用いてBEMS測定結果から月ごとの対象建物における平均自然換気量及び自然換気利用率を得たが、例えば中間期の2018年の4月において、ソーラーチムニーの平均換気量は $1,424\text{m}^3\text{min}^{-1}$ であり、利用率は42.3%であった。
- 4) 本研究において、BEMSの測定結果から換気量を推定した。自然換気の運転制御に組み込むことで、換気性能を加味した運転制御が可能と考えられる。

今後の展望として、この実測結果をもとに換気回路網計算を行うことにより、換気量のみならず換気経路も建物全体で正確に推定できるものとする。

謝 辞

種々の便宜を図っていただいた市庁舎関係者各位、及び研究の遂行にご尽力いただきました、白石かおり氏 (当時株式会社日建設計)、山本新氏 (福井大学大学院生)、吉本薫氏 (当時福井大学学部生) に深く感謝いたします。本研究はJSPS科研費JP17H01308の助成を受けたものです。最後に、研究に真摯で、熱意と愛情をもって懇切丁寧にご指導いただきました故甲谷寿史先生に深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小林知広：我が国における建物の自然換気及び通風に関する研究の130年の歴史，日本建築学会環境系論文集，751 (2018-09)，pp. 749-759
- 2) 経済産業省 資源エネルギー庁：Definition of ZEB and future measures proposed by ZEB Roadmap Examination Committee, (2015)，pp. 3-6
- 3) Q. Chen：Ventilation Performance Prediction for Buildings: A Method Overview and Recent Applications, Building and Environment, 44 (2009)，pp. 848-858.
- 4) G. Gan：A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings. Energy and Buildings, 27 (1998)，pp. 37-43
- 5) N. Pasumarthi, S. A. Sherif：Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model—Part I:

- mathematical model development. *International Journal of Energy Research*, 22 (1998), pp. 277-288
- 6) 品田宜輝、木村建一：ソーラーチムニーと地中ピットとを組み合わせた自然換気システムの基本性能に関する実測調査，日本建築学会環境系論文集，636 (2009-2)，pp. 169-175
- 7) T. Yamanaka, H. Kotani, Y. Momoi, K. Sagara, T. Kobayashi, Y. Komatsu：Design Method of Vertical Ventilation with Wind Chimney on Roof Driven by Wind and Buoyancy. In: Conference Proceedings, Low Energy and Sustainable Ventilation Technologies for Green Buildings, Seoul, AIVC International Conference 2010, (2010) 4A-2
- 8) 榎本丈二、木村建一、柴城基、桂木宏昌、品田宜輝：ソーラーチムニーを利用した自然換気システムの研究（その8）自然換気作用時における各階給排気量の現場測定結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，(2003-9)，pp. 623-624 (41301)
- 9) Z.D. Chen, P. Bandopadhyay, J. Halldorsson, C. Byrjalsen, P. Heiselberg, Y. Li：An experimental investigation of a solar chimney model with uniform wall heat flux, *Building and Environment*, 38 (2003), pp. 893-906
- 10) Z. Adam, T. Yamanaka, H. Kotani：Simulation Study on Solar Assisted Ventilation Systems –Unsteady-state simulation of a detached building with solar chimney using weather data–, 日本建築学会環境系論文集，577 (2004-3)，pp. 19-26
- 11) 鍋島佑基、柴城基：模型実験とCFDシミュレーションによるソーラーチムニーの最適な形状に関する検討，*空気調和・衛生工学会論文集*，156 (2010-3)，pp. 11-18
- 12) 柴城基：模型実験によるソーラーチムニーとチムニーシャフトの接続状態による自然換気性能の検討，*日本建築学会環境系論文集*，697 (2014-3)，pp. 255-260
- 13) F. Nicol, M Humphreys：Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings, *Energy and Buildings*, 34 (2002), pp. 563-572
- 14) 山本佳嗣、久保木真俊、鈴木宏昌、田辺新一：自然換気システムの運用実態に関する調査，*日本建築学会環境系論文集*，619 (2007-9)，pp. 9-16

(平成31.3.10 原稿受付)

Field Measurement and Estimation of Ventilation Performance of Solar Chimney

- Performance Estimation of Natural Ventilation in Actual Building based on Measurement of Ventilation Rate -

by Haruna YAMASAWA^{*1}, Toshio YAMANAKA^{*2}, Yoshihisa MOMOI^{*3}, Tomohiro KOBAYASHI^{*4},
Jihui YUAN^{*4}, Shogo ITO^{*5}, Kitarou MIZUIDE^{*6} and Takuro FUJII^{*7}

Key Words: Natural Ventilation, Field Measurement, Solar Chimney, Performance Estimation, Building Energy Management System, Usage Frequency

Synopsis: Solar chimney, which is a natural ventilation device that enhances the stack effect due to solar radiation has been studied for decades, by using an experimental method, a Computational Fluid Dynamics (CFD) method, and a multi-zone model method. However, the field measurement data of actual buildings with a solar chimney seem to be insufficient. The aim of this study is to accumulate the knowledge

about solar chimneys, and to establish a prediction and estimation method for the natural ventilation performance. The performance of the solar chimney at an actual city hall with a natural ventilation system is presented in this paper. The airflow rate and air change time per hour (ACH) were estimated in the spring of 2018, and were compared with the values predicted during the designing phase; it was found that the estimated ACH was approximately 10 h^{-1} , which was 1.5 times the predicted value. The airflow rate and ACH were averaged each month; in April 2018, the averaged airflow rate through the solar chimneys was $1,424 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$. In addition, the frequency distributions of ventilation rate through the solar chimney, i.e. the usage level of the solar chimney were obtained.

(Received March 10, 2019)

^{*1} Division of Global Architecture, Osaka University, Student Member

^{*2} Division of Global Architecture, Osaka University, Fellow Engineer

^{*3} Department of Architecture and Civil Engineering, University of Fukui, Member

^{*4} Division of Global Architecture, Osaka University, Member

^{*5} Division of Global Architecture, Osaka University, Student Member

^{*6} Nikken Sekkei Ltd., Fellow Engineer

^{*7} Nikken Sekkei Ltd., Member