温暖地に建つ学校建築における階段室型自然換気チムニーが 冬期の屋内熱環境に及ぼす影響

THERMAL ENVIRONMENT IN A SCHOOL BUILDING WITH NATURAL VENTILATION CHIMNEY USING STAIRCASE IN WINTER

坂口 武司^{*1}, 山中 俊夫^{*2}, 甲谷 寿史^{*3}, 桃井 良尚^{*4}
相良 和伸^{*5}, 張 成^{*6}

*Takeshi SAKAGUCHI, Toshio YAMANAKA, Hisashi KOTANI,
Yoshihisa MOMOI, Kazunobu SAGARA and Zhang CHENG*

Recently, as increase of eco-awareness, the number of building adopted with natural ventilation is increasing. Naturally ventilated building is expected to effectively reduce the building's cooling load, and also expected to make people feel comfortable and familiar with nature, especially in spring and autumn. Few studies are found about the actual thermal condition of naturally ventilated building in winter. The purpose of this study is to figure out the influence of the ventilation chimney using staircase on the actual thermal environment and occupants' evaluations in winter. The result shows that closing the opening at the top of chimney decreases the air change rate at room. It is also found that the cold draft at the window side and air leakage through the switched-off ventilation fan also influence on the thermal environment, except for that of ventilation chimney.

Keywords : Natural Ventilation, Staircase, Chimney, Winter, Thermal Environment, Occupants' Evaluation
自然換気, 階段室, チムニー, 冬期, 熱環境, 居住者評価

1. はじめに

屋内の快適性向上と、地球環境問題を背景にした自然エネルギーの有効利用の観点から、自然換気システムを積極的に導入した建物が増えている。特に中間期の積極的な自然換気利用は、涼風の心地よさと同時に空調負荷低減による省エネルギー効果を期待できる。学校建築については、文部科学省で環境を考慮した学校施設(エコスクール)の整備推進を行っており、その手法の1つとして自然換気システムがあげられている¹⁾。

なかでも近年、自然換気チムニーを設け、煙突効果と外部風による誘引効果を利用して屋内空気を排出する自然換気システムの導入事例が増えている。小松ら²⁾が、建物自身の剥離気流によるチムニー上部の風圧と、屋内発熱による温度差の両者を駆動力とした自然換気に関して、阪神間の大学校舎を対象に風洞実験及び換気計算による検討を行っている他、鍋島ら⁸⁾、品田ら⁹⁾¹⁰⁾、前坂ら¹¹⁾¹⁵⁾、吉原ら¹³⁾、樋渡ら¹⁴⁾が、中間期を中心に自然換気の種々の検討を行っている。一般的に自然換気建物は中間期の省エネ効果を目的に作られる一方で、開口部の増大による漏気等が原因となり冬期の熱環境悪化および暖房負荷増大が懸念されるにもかかわらず、冬期の屋内熱環境の実態はあまり明らかにされておらず、前坂ら¹²⁾は大学校舎を、阿部ら¹⁴⁾は中学校校舎を対象に自然換気性状の計測と評価を行っているが、開放型チムニーを有する建物の屋内熱環境および居住者評価に関する研究は少ない。本研究は、中間期の自然換気を重視して

設計された建物(設計者=著者:坂口武司)における、自然換気を行わない冬期の屋内熱環境を主題とし、屋上の安定した負圧を利用した階段室型チムニーを有する学校建築⁽³⁾を対象とする。チムニー上部の開口部(以下チムニー開口部)が常時開放状態だった2009年1,2月の調査と、2013年2月のチムニー開口部への開閉式鋼製扉設置を機に実施した、チムニー開口部の開放時と閉鎖時の調査を通じて、階段室型自然換気チムニーが冬期の屋内熱環境に及ぼす影響について明らかにするものである。現地調査として、熱環境の測定と居住者評価調査を行い、トレーサガス法により室の換気回数を測定した。

2. 研究方法

2.1 調査対象建物とその自然換気システム

香川県高松市内の大学校舎を調査対象とした。図1に平面図を、図2に全景写真をそれぞれ示す。RC造4階建て中廊下型校舎で、1階に講義室、2,3階に研究室、4階に音楽教室等の実習室が配置されている。東西の階段室型チムニーを利用した自然換気システムを採用しており、中間期に自然換気を積極的に利用し、新鮮な外気を取り入れる心地よさを居住者が体感すると同時に、外気を効率的に屋内に導くことにより空調機の使用を抑え、省エネルギー効果を期待した校舎である。自然換気システムの概要を図3~5に示す。①各室の窓から外気を採り入れ、②廊下側の扉と欄間から廊下へ排気、③廊下から階段室を経て屋上のチムニー開口部(ガラリ)から屋外へ排気

*1 竹中工務店設計部
大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻
博士後期課程

*2 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻
教授・博士(工学)

*3 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻
准教授・博士(工学)

*4 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻
助教・博士(工学)

*5 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻
教授・工博

*6 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻
博士前期課程

Design Department, Takenaka Corporation
Graduate Student, Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University, M. Eng.

Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.

Assistant Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.

Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.

Graduate Student, Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University

される仕組みである。階段室を換気経路として利用し、煙突効果により無風時でも換気が促進される仕組みである。なお、1,4階は講義や実習に伴う防音上の理由から、室と廊下を仕切る扉は閉鎖状態で運用されることを想定して計画されており、前述の自然換気システムは2,3階の研究室を対象としている。

● 研究室測定点 (FL+100, 600, 1100, 1700, 2200) ● 廊下・階段測定点 (FL+1100)
図1 平面図：東西に階段室型チムニーを有する中廊下型プラン (単位:mm) Scale 1:1000

図2 南西からの全景写真：校舎東西屋上に突出するチムニー
外装ガラスはシングルガラスt6または8mm

図3 自然換気システムの全体概要

西階段室(図1 A断面) 東階段室(図1 B断面) チムニー開口部
図4 階段室断面模式図：煙突効果と誘因効果による換気促進

図5 研究室に外気を採り入れ廊下へ排気する通風ルート(単位:mm)

2.2 チムニー開口部、開放・閉鎖用鋼製扉と鋼製板

2013年2月に設置した鋼製扉の概要を図6に示す。西階段室にはチムニー開口部の屋外側に鋼製扉を設置、東階段室には、チムニー開口部に至る経路上に鋼製扉を設置し、踊場床と壁面との間の通気スリットには鋼製板(着脱式パネル)を設置している。

図6 開閉式鋼製扉

2.3 調査・検討内容

本研究で報告する調査・解析項目を表1に示す。
(1) 熱環境調査：校舎内各所の温度測定を行った。
(2) 居住者評価調査：教員と学生を対象にアンケート調査を行った。
(3) 換気回数測定：単室の研究室においてCO₂をトレーサガスとして濃度減衰多時点法で換気回数を測定した。

表1 調査・検討項目

実施期間	1年目調査:2009年(3章)	閉鎖装置設置後調査:2013年(4章)	
	1/26～2/6 12日間	2/3～2/6 4日間	2/7～2/17 11日間
調査の位置付け	竣工1年目調査	冬期居住環境の改善検討用調査	
	問題点の把握	ドラフト、換気量の詳細把握	
チムニー開口部	開放	開放	閉鎖
建物各所温度	○	○	○
上下温度分布	○	○	○
居住者評価調査	平日10日	平日3日	平日6日
換気回数測定	—	2/3	2/9

3. 竣工1年目の調査

3.1 熱環境調査

3.1.1 調査手法

小型温度計(T&D社製, TR72U, TR71S)を、廊下と階段室において床から高さ1100mmの位置に、2, 3階研究室において床から高さ100mm, 600mm, 1100mm, 1700mm, 2200mmの位置にそれぞれ設置した。測定機器の設置位置は図1に示す。

3.1.2 調査結果と考察

図7, 8に3階A室の測定点と鉛直温度分布を示す。A室は南窓側がフルワイドかつフルハイトの大型シングルガラス窓で、窓側にエアコンが設置されている。なお、窓横の24時間換気扇には外気流入防止ダンパーは備わっていない。計測点はエアコンの気流や日射の影響の少ない廊下側とした。各プロットは、各日12時の温度データであり、暖房不使用日として2/1の結果を、暖房使用日として1/28, 2/2, 2/3の結果を示す。暖房使用時には床上高さ100mm(足元を想定)と1100mm(着席時頭部を想定)とでは3~5℃程度の温度差が見られるが、暖房不使用の2/1には上下温度差がほとんど見られない。また、床上100mmでの温度は暖房使用、非使用を問わず14~16℃でほぼ一定であり、暖房を使用しても足元の温度が上がっていないことを示している。

図9に外気温と東西階段室温度との関係、図10に外気温と廊下温度との関係を示す。図9と10を比較すると、階段室は廊下よりも温度が低く、外気温とほぼ等しい時間帯も存在する。廊下は、3、4階の温度が1、2階よりも高くなっており、1階出入口の影響や暖かい空気が上昇するためと考えられる。階段室型チムニーの上部開口部が開放状態のため、階段室に外気が流入していると推測される。

図7 測定点平面図(3階A室)

図8 開放時 鉛直温度分布 (各日12時)

図9 チムニー開放時 外気温と階段室温度の関係 (1/26~2/6、各日9~12時平均値)

図10 チムニー開放時 外気温と廊下温度の関係 (1/26~2/6、各日9~12時平均値)

3.2 居住者評価調査

3.2.1 調査手法

2, 3階の研究室を利用する教員と学生を対象に、温冷感に関するアンケート調査を行った。実施期間とチムニー開口部の開閉状態を表1に示す。アンケートは2種類で、1つはアンケート用紙の冒頭に「冬を対象として総合的にお答えください」と明記した、冬期全般の窓開閉状況や温冷感に関するアンケートで、期間中1回回答してもらった(以下「1回」)。もう1つは日々の窓開閉状況や温冷感を中心に居住者評価を把握するため調査期間を通じて毎日回答してもらった(以下「毎日」)。アンケート項目を表2に示す。

表2 アンケート項目

1回アンケート	
1. 個人属性	性別、年齢、教員学生区分、省エネ関心度、暑がり寒がり、服装、自然換気システム理解度
2. 居室について	室番号、在室人数、発熱機器数
3. 暖房空調について	使用器具、使用時間、在室時間に対する使用時間割合、設定温度、操作を行う主体
4. 24時間換気扇について	使用頻度、使用理由、使用しない理由
5. 自然換気について	窓開閉状態を気にしていたか、窓開放時間、在室時間に対する窓開放時間の割合、窓開閉を行う主体、窓開放面積の割合、窓開放時の扉・欄間の状態、窓閉鎖時の扉・欄間の状態、窓開放理由、窓を開放しない理由
6. 温熱・空気環境について	暖房未使用時の温冷感、暖房使用時の温冷感、上下温度差、廊下・階段の温冷感、冬に対象建物を使用する際に気になる点
毎日アンケート	
1. 暑がり寒がり	6. 暖房使用時間
2. 服装	7. 暖房未使用時の温冷感
3. 窓開閉の有無	8. 暖房使用時の温冷感
4. 窓を開けた理由	9. 暖房使用時の上下温度差感
5. 窓を開けなかった理由、閉鎖理由	10. 温熱・空気環境について不快なこと

3.2.2 調査結果と考察

図11に、暖房使用時、暖房不使用時の研究室内温冷感についての回答結果を示す。暖房使用時の「寒い」「涼しい」の回答者は男性7%、女性15%、暖房不使用時は男性75%、女性81%であり、暖房使用により寒さ感が緩和される評価となった。「寒い」に着目すると、男性は暖房使用時0%、不使用時54%、女性は使用時11%、不使用時78%であり、女性のほうが寒さを感じやすい傾向にあることを示す結果となった。

図11 チムニー開放時 暖房使用/不使用 研究室内温冷感(毎日)

図12(a)に上下温度差感に関する回答結果を示す。「感じない」は13%で、温度差を感じるとの回答が87%である。図8の鉛直温度分布のグラフから、足元(床面から100mm)と着席状態での頭部(同1100mm)とでは、暖房使用時には3~5℃の温度差があることがわかる。

図12(b)に廊下・階段室の温冷感に関する回答結果を示す。「寒い」「涼しい」の回答者は合わせて82%であるが、調査対象建物の廊下と階段室は非空調で、チムニー開口部開放時は、ほぼ外部と同じ熱環境であると予想される。図9, 10からも廊下と階段室の温度はほぼ外気温と等しいことが読み取れる。

(a) 上下温度差感(毎日) (b) 廊下・階段室温冷感(1回)

図12 チムニー開放時 アンケート結果

3.3 本章のまとめ

1年目調査(2009年冬期実施、チムニー開口部開放)の、における調査の結果、以下の2点が実態として明らかになった。

- 1) 研究室内で、足元と上半身の高さとは暖房使用時で約5℃の温度差があり、アンケート結果から温度差を感じている人が80%以上で、「足元の冷え」が気になる点として多くあげられた。
- 2) 階段室温度は外気温とほぼ等しく、気になる点でも「足元の冷え」に次いで「廊下・階段の熱環境」の回答が多かった

これらの原因が、大型ガラス窓によるコールドドラフト、冬期においても開放状態のチムニー開口部、24時間換気扇からの空気の入りにあると推測し、ひとつの可能性として検討するためにチムニー開口部に閉鎖装置を設置し、4章の設置後調査を実施した。

4. チムニー開口部閉鎖装置設置後の調査

4.1 熱環境調査

4.1.1 調査手法

1年目調査(3.1.1に示す)と同じ手法を用いた。

4.1.2 調査結果と考察

(1) 調査期間中の気象条件と建物内温度変化

図13に調査期間中の外気温、建物内3階各所の温度、全天日射量を示す。建物内温度の測定は、図1に示す位置で床から高さ1100mmにて行った。研究室の温度変化から、チムニー開口部開放の2月4～6日、同閉鎖の2月7, 8, 12～15日に暖房運転を行ったことが分かるが、外気温変化からは、開放時に比べ閉鎖時の方が外気温が低めに推移していたことが分かる。図14に外部風向と風速を示す。西方向からの風の出現頻度が高いことが分かる。

図13 3階廊下温度、同東西階段室と研究室(A室廊下側) 温度 外気温(アメダス高松)、全天日射量(同左)

図14 外部風向と風速(アメダス高松)

(2) 廊下の温度変化

図15にチムニー開口部が開放状態の2/5, 6、閉鎖状態の2/14, 15の廊下温度変化を示す。開放時は10～13℃、閉鎖時は9～12℃で推移し、いずれも外気温にあまり左右されない。開放状態の2/5の9:00～18:00において、廊下温度の上下変動が見られ、外気が流入していると思われる。このような上下変動は閉鎖時には見られない。

図15 チムニー開放時 廊下の温度変化

図16 チムニー閉鎖時 廊下の温度変化

(3) 外気温と廊下・階段室温度の関係

図17, 18に外気温と3階廊下・階段室温度の関係を示す。チムニー開放の2月5日の12:00～18:00において、東西階段室および廊下において、温度が低下し外気温との温度差が小さくなることが確認された。12:00の温度に着目すると、廊下においてまず低下し始め、遅れて西階段室が低下し、いずれも1.5℃程度の低下である。東階段室においても低下の現象が見られるが、0.5℃程度の低下である。図14に示す通り同時時間帯には風速4m/s前後の東風が継続的には発生しており、東側チムニーで誘因効果が高まり、西側1階ロビーや研究室等から外気が流入することにより、西側階段室温度および廊下温度が低下し、主に東階段室経由で東側チムニー開口部から排気されたものと推測される。一方、チムニー閉鎖時には、この現象は確認できなかった。

外気温＝室温ライン、ならびに外気温と室温の温度差が8℃のラインとの関係に着目すると、チムニー開放の2月4日の18:00前後、東西階段室において室温が外気温をわずかに下回る時間帯が確認された。廊下温度も同時時間帯に外気温近くまで低下しており、自然換気量が大きいことが予想される。これも、チムニー閉鎖時には確認できなかった。

(4) 研究室内の温度変化

図7に3階A室における計測点を示す。南面する窓近くにエアコンがあり、執務机はこの窓近くに配置されている。図19にチムニー開放の2/5, 6、閉鎖の2/14, 15の3階A室の温度変化を示す。計測点は図7に示す。昼間に暖房を入れていた研究室の夜間の温度変化を見ると、廊下側は暖房停止後速やかに上下温度差が小さくなり1℃未満になる一方、窓側は温度差が2～3℃のまま翌朝まで推移する。床から天井までの大型窓ガラスのため、窓際でコールドドラフト現象が発生し、廊下側より窓側で上下温度差が大きくなると考えられる。この傾向は、チムニー開口部の開放閉鎖を問わず確認された。

(5) 研究室内の上下温度分布

図21, 22にチムニー開口部開放の2/6および閉鎖の2/15の上下温度分布を示す。0:00および6:00～18:00の2時間毎の瞬時値を示し、外気温は高松アメダス観測データを用いた。図19, 20の温度変化から、2/6は12:00頃から21:00頃まで、2/15は12:00頃から18:00頃まで暖房を使用したと考えられる。

床上100mmと1100mmとの温度差は、暖房時には、開放、閉鎖とも最大6～7℃で、暖房不使用時には、開放、閉鎖とも上下温度差がほとんど見られなかった。「3. 1 熱環境調査」に示す2009年の調査結果では、開放時の暖房時に5℃程度の温度差が生じていること、暖房不使用時は上下温度差がほとんどないことを確認したが、同様の現象が2013年の調査でも確認された。床上100mmの温度は、2009年も計測した廊下側では、暖房使用時、非使用時とも、また開放、閉鎖とも15～16℃で一定しており、暖房を使用しても温度がほとんど上昇しておらず、これも2009年の調査結果と一致した傾向を示した。一方、窓側では開放時は13～18℃、閉鎖時は14～19℃と変化を示している。夜間から朝方にかけては、廊下側よりも温度が低下しており、大型ガラス窓によるコールドドラフトによる温度低下と推測される。一方、昼間の暖房使用時には廊下側よりも上昇しており、暖房の気流と日射の影響が考えられる。

図 2-1 チムニー開放時(2/6)上下温度分布 []は当日12時の外気温

図 2-2 チムニー閉鎖時(2/15)上下温度分布 []は当日12時の外気温

4.2 居住者評価調査

4.2.1 調査手法

1年目調査(3.2.1参照)と同手法で、2/4(月)～8(金)、12(火)～15(金)(11は祝日)の9日間行った。2/4～6の3日間はチムニー開口部が開放、残る6日間は閉鎖で、グラフに[開放][閉鎖]と記す。

4.2.2 調査結果と考察

図23に暖房不使用時の研究室内の温冷感に関する回答結果を示す。一般的に男性に比べて寒さに敏感とされる女性の回答で、開放時よりも閉鎖時の方が「寒い」が10ポイント以上少ないが、男性の回答では逆に「寒い」が多い。

図 2-3 暖房不使用時の研究室内の温冷感(左：男性、右：女性)

図24に暖房使用時の研究室内の温冷感に関する回答結果を示す。女性の回答で、開放時よりも閉鎖時の方が「寒い」が10ポイント程度少ないが、男性では逆に「寒い」が10ポイント程度多い結果となった。「どちらでもない」「やや暖かい」「暖かい」「暑い」の合計は、女性の回答で閉鎖時の方がわずかに多い。一方、男性の回答では逆に開放時の方がわずかに多い。暖房不使用時、使用時とも閉鎖時の方が、研究室内熱環境が暖かい側の回答が多いと予想したが、そのような傾向はなかった。開放3日間の平均気温(アメダス高松)が7.5℃、閉鎖6日間の平均気温(同)が5.1℃であり外部温度の違いがあったことが一因と推測される。

図25に、暖房使用時の上下温度差感の結果を示す。t検定の結果、男性は $p=0.114$ 、女性は $p=0.0655$ で、統計的に有意とまではいえない

図 2-4 暖房使用時の研究室内の温冷感(左：男性、右：女性)

ったものの、男女ともチムニー閉鎖時は開放時よりも上下温度差感が緩和される傾向が見られた。これについては、アンケートお願い書に、チムニー開口部への開閉扉設置が冬期の屋内熱環境改善を目的とする旨を明記したこと[1]が回答者に心理的効果をもたらしたことが一因であると推測する。

図 2-5 暖房使用時の頭・上半身と足元・下半身との温度差感(左：男性、右：女性)

4.3 トレーサガスを用いた換気回数測定⁴⁾

4.3.1 調査手法

トレーサガス(CO₂)を研究室内に発生させ発生停止後の濃度減衰過程を測定し、研究室の換気回数を算出することにより、各条件における研究室の自然換気量を把握した。3階B室(図1参照)を測定対象とした。表3、4に測定条件、図26に研究室平面図を示す。ガスモニタはT&D社製RTR-576、マスフローコントローラはAera社製FC-771を使用した。表3、4に示す減衰時攪拌ON/OFFについて、本換気量測定法⁴⁾では通常攪拌を行うが、実際の使用状況(攪拌が行われない)とは、濃度分布および温度分布が異なり、実際の使用状況とは異なる換気回数が得られる。一方、攪拌を行わないと濃度分布が生じ、実際の流量とは異なる結果となる。ゆえに両条件にて換気回数測定を行い、両方の値でチムニー開口部開閉の効果を検討することとした。24時間換気扇については、冬期の使用実態を踏まえ、「OFF」を実施した。24時間換気扇にはOFF時に外気流入を遮断するダンパーが内蔵されていないため、外気流入ルートとなる可能性を想定した。24時間換気扇を閉鎖すると換気回数が減少すると予測をたて、ビニルテープにて目貼り閉鎖をし、濃度減衰過程の測定を行った。

表 3 測定条件(2月3日・チムニー開口部開放)

	CO ₂ 発生開始	CO ₂ 停止減衰開始	減衰終了	CO ₂ 発生量/min	発生時攪拌	減衰時攪拌	エアコン設定温度	24時間換気扇
1回目	10:25	10:50	11:45	10	ON	ON	25℃	OFF
2回目	11:55	12:09	12:38	10	ON	12:14 OFF	25℃	OFF

表 4 測定条件(2月9日・チムニー開口部閉鎖)

	CO ₂ 発生開始	CO ₂ 停止減衰開始	減衰終了	CO ₂ 発生量/min	発生時攪拌	減衰時攪拌	エアコン設定温度	24時間換気扇
1回目	10:20	10:56	12:12	10	ON	ON	25℃	OFF
2回目	12:13	12:41	14:00	10	ON	OFF	25℃	OFF
3回目	14:14	14:31	16:00	10	ON	ON	25℃	閉鎖

図 2 6 研究室(3階B室)平面図

4. 3. 2 調査結果と考察

室内濃度分布がほぼ一様であり、かつ測定期間中の換気回数が時間変化しないことをふまえ、濃度減衰多時点法により下式を用いて換気回数を求めた。

$$\log e\{C(t)-C_0(t)\}=-N(t-t_1)+\log e\{C(t_1)-C_0(t_1)\} \quad (1)$$

t : 時刻 [h] $C(t)$: t における室内濃度 [m^3/m^3]
 t_1 : 減衰開始時刻 [h] $C_0(t)$: t における外気濃度 [m^3/m^3]
 N : 換気回数 [1/h]

図27に2月9日チムニー開口部閉鎖時の研究室内5点外部1点のCO₂濃度測定結果、図28に同日1回目減衰時の自然対数濃度と近似直線を示す。また、表5に計測条件と近似直線から得た換気回数を示す。

図 2 7 室内5点におけるCO₂濃度測定結果(2/9 チムニー開口部閉鎖)

図 2 8 室内5点平均濃度と外部濃度の差の自然対数濃度

表 5 計測条件と換気回数

チムニー開口部	計測	減衰時攪拌	24時間換気扇	換気回数(回/h)
開放 (2/3実施)	1回目	ON	OFF	0.72
	2回目	途中からOFF	OFF	0.84
閉鎖 (2/9実施)	1回目	ON	OFF	0.52
	2回目	OFF	OFF	0.69
	3回目	ON	目貼り閉鎖	0.39

日常使用状態に近い室内空気の攪拌を行う条件で、開放時0.72回/h、閉鎖時0.52回/hの換気回数で、閉鎖状態の方が開放状態よりも室内空気の出入りが少なかった。攪拌を行わない条件では、開放時0.84回/h、閉鎖時0.69回/hと閉鎖状態の方が換気回数が少なかった。

研究室の外壁には24時間換気扇が設置されている。給排気口ともファンが内蔵されており、室内スイッチのON/OFFによって連動して運転する。ファン停止時に外気の流入を防ぐ逆流弁は備わっており、ファンの運転を行わない条件で計測を行った。チムニー開口部閉鎖、研究室内空気攪拌の条件での換気回数は、目貼り閉鎖なしの0.52回/hに対し、目貼り閉鎖をすると0.39回/hであり、24時間換気扇を介して内外の空気の出入りが発生していることが分かった。

5. まとめ

階段室型チムニーを備え自然換気を積極的に導入した学校建築での冬期における調査結果から、チムニー開放時と閉鎖時の熱環境および居住者評価を把握した。また、冬期の熱環境を左右する要因について考察した。

- 1) 暖房時の、床面から高さ100mmと1100mmとの上下温度差は5~7℃で開放時閉鎖時ともに同程度であり、チムニーの開放、閉鎖の違いが上下温度差解消に結びつかないことが判明した。
- 2) 開放、閉鎖時とも階段室温度は廊下温度よりも低く、開放時は外気温と同等の時間があつた。閉鎖時は廊下と階段室温度は外気温より高めで推移し、外気流入の減少によると判断できる。
- 3) 研究室内の廊下側と窓側の温度変化の相違、上下温度分布の変化より、開放時、閉鎖時を問わず夜中から朝方にかけて窓側でコールドドラフト現象を確認した。
- 4) トレーサガスによる換気回数測定の結果、室内空気攪拌条件で、開放時0.72回/h、閉鎖時0.52回/h、閉鎖かつ24時間換気扇目貼閉鎖時0.39回/hであつた。研究室内の暖気を保持するためにチムニー開口部の閉鎖に加え、24時間換気扇の閉鎖が有効であると判断できる。

研究室の熱環境について、チムニー開閉が上下温度差に与える影響が見られなかった。また、チムニー閉鎖により換気回数が低下することを確認した一方、大型ガラス窓によるコールドドラフト現象や、24時間換気扇経由の内外空気の出入り等、チムニー開閉以外の影響を確認した。

本研究では、中間期の自然換気を重視して設計された建物における、自然換気を行わず機械換気を行う冬期の、チムニー開口部の開放および閉鎖時の室内熱環境のデータを収集し検討を行った。これら検討結果は、今後ますます計画されるであろう自然換気利用建物の設計プロセスにおいて、冬期の室内熱環境計画上の検討事項、例えば、大型ガラス窓からのコールドドラフト対策としてのペアガラスの採用、24時間換気扇からの漏気対策としての外気流入遮断ダンパーの採用、廊下と研究室間のサッシの高気密化、などの重要性を示すものと考えられる。

謝辞

現地調査にご協力頂いた高松大学の関係各位に深く感謝いたします。3章の1年目調査について、調査結果は当時大阪大学大学院生であった若松夏加氏が取りまとめられたものを引用させて頂き、調査実施においては当時大阪大学大学院生であった藤本徹氏ならびに竹中工務店技術研究所の田中規敏氏にご協力頂きました。今回調査では、大阪大学大学院生の姜森氏と、竹中工務店技術研究所の和田一樹氏にご助力を頂きました。あわせてこの場をお借りしてお礼申し上げます。

本論文に関連した既発表論文等

- (1) 藤本徹, 津村勇次, 若松夏加, 甲谷寿史, 相良和伸, 山中俊夫, 桃井良尚, 坂口武司, 田中規敏: 階段室型チムニーが設置された学校建築の自然換気に関する研究(その1~3), 日本建築学会近畿支部研究報告集 第49号, 環境系, pp. 73-84, 2009年6月
- (2) 藤本徹, 津村勇次, 若松夏加, 甲谷寿史, 相良和伸, 山中俊夫, 桃井良尚, 坂口武司, 田中規敏: 階段室型チムニーが設置された学校建築の自然換気に関する研究(その4~6), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 第49号 pp. 761-766, 2009年8月
- (3) 坂口武司, 酒井利行, 増田俊哉, 萩平隆司, 樋口祥明, 高橋幹雄, 田中規敏, 山中俊夫, 甲谷寿史, 桃井良尚: 高松大学新校舎棟, 日本建築学会建築デザイン発表会梗概集, pp. 52-53, 2009年8月
- (4) 上恭子, 甲谷寿史, 相良和伸, 山中俊夫, 桃井良尚, 坂口武司, 田中規敏: 階段室型チムニーが設置された学校建築の自然換気に関する研究(その7), 日本建築学会近畿支部研究報告集 第50号, 環境系, pp. 229-232, 2010年6月
- (5) 上恭子, 藤本徹, 甲谷寿史, 相良和伸, 山中俊夫, 桃井良尚, 坂口武司, 田中規敏: 階段室型チムニーが設置された学校建築の自然換気に関する研究(その8~9), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2010年9月
- (6) 若松夏加, 甲谷寿史, 相良和伸, 山中俊夫, 桃井良尚, 藤本徹, 坂口武司, 田中規敏: 階段室型チムニーを有する学校建築の自然換気に関する研究(その5) 冬期における温熱環境および居住者評価, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 285-288, 2009年9月
- (7) 日本建築学会: 実務者のための自然換気設計ハンドブック, 技報堂出版, 2013年9月
- (8) 増田俊哉, 坂口武司, 萩平隆司, 田中規敏, 山中俊夫, 甲谷寿史, 桃井良尚: 高松大学2号館における自然換気の計画・運用・改善, 空気調和・衛生工学Vol. 85 no. 7, pp. 534-535, 2011年7月

参考文献

- (1) 文部科学省: エコスクールー環境を考慮した学校施設の整備推進-, 2012. 6
- (2) 小松由佳, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, LIM Eunsu, 樋口祥明, 西田恵: 建物屋上に設置した自然換気用チムニーの換気性能に関する検討(その1) 風圧係数を利用した換気量計算, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第47号, 環境系 pp. 209-212, 2007. 6
- (3) 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 第619号, pp. 9-16, 2007. 9
- (4) SHASE-S 116-2011 トレーサガスをを用いた単室の換気量測定法、空気調和・衛生工学会規格, 2011
- (5) 山本佳嗣, 田辺新一: 自然換気の使いこなし術, オーム社「設備と管理」2013. 2, pp. 57-66
- (6) 金政秀, 川口知真, 田辺新一: 執務者による自然換気窓の開閉行為に関する研究, 日本建築学会環境系論文集 第643号, pp. 1075-1082, 2009. 9
- (7) 鍋谷めぐみ, 田中規敏, 山中俊夫, 甲谷寿史, 桃井良尚: 神戸薬科大学における自然換気システムの計画と実施, 空気調和・衛生工学Vol. 84 no. 7, pp. 576-577, 2010. 7
- (8) 鍋島佑基, 宋城基: 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 No. 156, pp. 11-18, 2010. 3

- (9) 品田宣輝, 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 第74巻 第636号, pp. 169-175, 2009. 2
- (10) 品田宣輝, 木村建一, 桂木宏昌, 宋城基: 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性能に関する4年間の実測調査, 空気調和・衛生工学会論文集 No. 153, pp. 45-56, 2009. 12
- (11) 前坂彰子, 早川眞, 吉原和正, 樋渡潔, 永田修三: 大学校舎のソーラーチムニーの換気性能評価と設計法に関する研究, 日本建築学会技術報告集 第13巻 第26号, pp. 623-628, 2007. 12
- (12) 前坂彰子, 早川眞, 吉原和正, 樋渡潔, 永田修三: ソーラーチムニーを主体とする環境配慮型大学校舎の自然換気に関する研究, その4. 中間期、冬期の自然換気量の測定と評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp. 607-608, 2006. 9
- (13) 吉原和正, 早川眞, 大野二郎, 佐藤昌之, 永田修三, 上野祐行: ソーラーチムニーを主体とする環境配慮型大学校舎の自然換気に関する研究, その1 環境配慮型大学校舎の省エネルギー計画の概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp. 593-594, 2005. 9
- (14) 樋渡潔, 早川眞, 吉原和正, 永田修三, 上野祐行, 前坂彰子: ソーラーチムニーを主体とする環境配慮型大学校舎の自然換気に関する研究, その2 測定方法及びトレーサガスによる換気量、換気経路の把握, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp. 595-596, 2005. 9
- (15) 前坂彰子, 早川眞, 吉原和正, 樋渡潔, 永田修三, 上野祐行: ソーラーチムニーを主体とする環境配慮型大学校舎の自然換気に関する研究, その3 トレーサガスをを用いた換気量評価と省エネルギー効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp. 597-598, 2005. 9
- (16) 阿部佑平, 菊田弘輝, 羽山広文, 繪内正道, 今井綾子, 丹保洋人, 畑中壮大: エコスクールにおける温熱・空気環境の現状把握に関する研究, その5 冬期における自然換気性状の把握, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No. 82, pp. 279-282, 2009. 7

備考

- [1] アンケート用紙は、封筒に「お願い書」を貼付け配布した。「お願い書」中に記載がある、回答者に心理的效果をもたらしたと推測する文言は以下の通り
「自然換気を促進するウインドチムニーを採用した2号館の、冬季における居住者意識調査と温熱環境測定を行います。冬季に建物内に冷気が入り暖気が階段室トップガラリから逃げる現象を低減するための閉鎖扉を計画しており、(以下略)」

(2013年12月10日原稿受理, 2014年5月21日採用決定)