

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 26 日現在

機関番号：34315

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22860067

研究課題名（和文）パッシブな換気促進装置を有する住宅の自然換気設計法に関する研究

研究課題名（英文）Natural Ventilation Design for Residence with Device promoting Wind-Induced Ventilation

研究代表者

小林 知広（KOBAYASHI TOMOHIRO）

立命館大学・理工学部 講師

研究者番号：90580952

研究成果の概要（和文）：

現在、建築基準法では居室への機械換気設備の設置が義務づけられ、近年の換気設計手法は省エネルギーに逆行していると言える。本研究では風力換気現象に着目し、パッシブな換気機構を導入した際の住宅の自然換気性能予測及び評価を行うことを目的とし、風洞実験および数値流体力学（以降 CFD 解析）を用いて、対象建物の周辺状況も考慮して装置周辺の気流性状を明らかにした上で、室内の換気性能の予測手法の提案及び評価を行った。

研究成果の概要（英文）：

Wind-induced natural ventilation is beneficial to obtain thermal comfort in the hot summertime. However, rooms in the building are obligated to have the mechanical ventilation device due to the regulation in Japan, which is contrary to saving energy. This work aims to evaluate and predict natural ventilation performance of the residence with the device promoting wind-induced ventilation. The flow characteristics around the device were clarified based on wind tunnel test, and substantial ventilation performance within occupied zone was analyzed by CFD analyses.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,220,000	366,000	1,586,000
2011 年度	1,150,000	345,000	1,495,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,370,000	711,000	3,081,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築環境・設備

キーワード：自然換気、通風、風洞実験、CFD、LES、PFR

1. 研究開始当初の背景

住宅の自然通風は我が国で積極的に導入されてきた手法であり、高温多湿な暑熱環境を緩和する効果があると言える。しかし、2003 年にはシックハウス対策として居室への機械換気設備の設置が義務化され、住宅の換気設計はますます機械設備に依存するこ

ととなった。これらが省エネルギーに逆行することは明白であり、機械設備による室内環境制御は必要とはいえ、自然風により涼感が得られる時間をより長く確保する設計上の工夫は重要である。しかし、住宅の自然換気設計指針はこれまでに示されておらず、本研究では風力換気を促進するパッシブな換気

装置としての「越屋根」や「チムニー」に着目し、換気性能評価および換気性能予測手法の提案を行うことを目指して着想に至った。

2. 研究の目的

(1) 基礎データベースの整備

これまでに、様々な研究者により住宅地を想定して換気駆動力となる風圧係数のデータは提示されてきたが、汎用的な住宅モデルでのデータ整備が多く、本研究で対象とする特殊な換気促進装置に関してまとめられたデータはほとんど存在しない。そこで基本的な情報として、まずは一般的な住宅模型に換気促進装置を設置し、周辺建物も配置した風洞実験を行い、各種装置部分及び対象建物壁面の風圧係数分布のデータ整備を行う。

同時に、密集市街地において設計を行う際の参考資料として、換気促進装置周辺の気流性状に関するデータ提供を目的とする。まずは気流の可視化実験を行い、周辺建物や隣棟間距離、装置形状が気流性状に及ぼす影響を定性的に明らかにした上で、風速測定により二次元速度分布の差異を明らかにする。

(2) 換気量の簡易予測手法の検討

研究代表者はこれまでに換気促進装置としての「越屋根」に着目して検討を行った、この場合換気抵抗が複雑であるため、従来の換気量予測手法を適用することができない。そのため、既往の研究では換気設計資料として越屋根付設建物の室内圧と換気量の関係である換気特性の整備を行ったが、実際の換気量評価には至っていなかった。そのため、既往の研究において整備された換気特性曲線と風圧係数データを用いて、設計時に用いることができる換気量の簡易算定手法の提案を行う。

(3) CFD 解析による室内気流性状の把握

前述(2)で検討を行う換気量算定について、同様の計算条件で CFD 解析を実施し、換気量算定精度の確認を行う。また、簡易算定では居室を 1 質点として扱うことから室内気流の分布は評価できないため、CFD 解析結果に基づいて室内及び流入出自の詳細な気流性状も明らかにすることを目的とする。

(4) CFD 解析による居住域換気性能評価

前述の換気量算定手法を用いた際、平均風速に基づく換気量は簡易に予測することができるが、換気駆動力となる風圧係数差が小さい場合においては、換気量が小さく算定されることになる。この場合、気流の乱れによる換気効果は無視されることになるが、この場合その影響が無視できないと考えられるため、乱れの影響を定量的に評価する必要がある。また、換気量が大きく算出された場合

であっても、換気促進装置が室上部に設置されていることから、ショートサーキットする可能性もあるため、検討対象を室内の居住域に限定して換気効果を定量的に評価することも目的とする。

3. 研究の方法

(1) 基礎データベースの整備

本研究では、日本建築学会標準住宅モデルに基づいて吹き抜けを有する住宅プランを想定し、図 1 に示す通り換気促進装置としての 1)越屋根(フラット)、2)越屋根(勾配屋根)、3)チムニー、4)装置なしの 4 条件を想定して風洞実験を行った。実験は立命館大学研究用回流式風洞を用い、気流の可視化実験、風圧測定実験、2 次元風速分布の測定実験を行った。実験はラフネス及びスパイヤーを用いて図 2 に示す境界層流を作成して実験模型にさらした。周辺建物は測定対象建物と同形状で換気促進装置を有しない模型を風上及び風下側に 3 列ずつ、計 7 列配置した。実験条件として、D (隣棟間距離) / L (建物幅) を 0.75、1.0、1.25 及び無限大 (隣棟無し) の 4 条件、外部風向を 45° 刻みの 8 条件とし、換気促進装置のうち、越屋根(フラット)とチムニーは大・中・小の 3 条件設定した。なお、風洞内基準風速は風洞床上 1,200mm 位置に設置したピトー管の静圧とした。

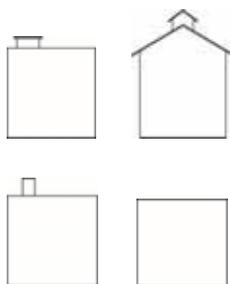


図 1 実験模型

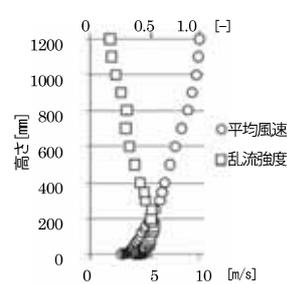


図 2 アプローチフロー

まずは気流性状の定性的な把握を目的として気流の可視化実験を行った。可視化は実験模型後方に CW:YAG レーザー (日本カノマックス CW532-600G) を設置し、風洞外部からアクリルガラスを通して高速カメラ (Photron 社 SA5) により 2,000 fps で撮影を行った。開口単一の風圧の測定は測定対象建物の平側及び妻側で各面 1 階及び 2 階部分を併せて 6 点、越屋根平側開口部またはチムニートップの測定を行った。また、越屋根付設建物条件に関しては、越屋根開口を両側開放した際の基部の換気駆動力を評価するために、越屋根開口部のみ開口を設けた模型を用いた際の室内圧を 3 点測定した。風圧の測定には微差圧計 (DP-45 パリダイン社) を用い、100Hz で 30 秒間測定した。換気促進装

置周辺の風速測定には X 型熱線流速計 (日本カノマックス model0249R 5 $\mu\phi$ タングステン) を用いて、1,000Hz で 60 秒間測定を行った。なお、測定点は気流の剥離域周辺を中心に 1 条件につき 70 ~ 100 点測定点を設けた。

(2) 換気量の簡易予測手法の検討

前述の換気促進装置のうち、越屋根に関しては換気抵抗が複雑であるため従来の換気抵抗係数を一定とする換気量予測手法を適用することができないため、図 3 に示すような既往の研究で整備した換気特性曲線を多項式近似することで越屋根基部通過風量 $Q_{mo}(p_i)$ を室内圧の関数として取り扱う。ここで、検討対象となる開口条件は図 4 に示す 5 条件とする。

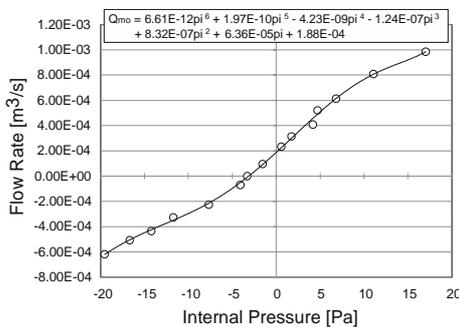


図 3 換気特性の例 (隣棟無し、風向 0°)

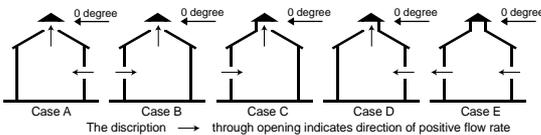


図 4 計算対象開口条件

側窓の抵抗係数の値は $\zeta=2.37$ (流量係数 $\alpha=0.65$) 流量係数を想定し、越屋根を片側閉鎖した条件 (Case C、Case D) では越屋根通過時に気流が衝突することを想定して曲がり抵抗 $\zeta=1.25$ の抵抗係数を追加し、換気のを適用して、室内圧の関数として側窓通過風量を $Q_w(p_i)$ を表現する。ここで、室内圧の関数である 2 種の換気量がバランスすることから、次式に示す $\Delta Q(p_i)=0$ となる室内圧を二分法により算出し、換気量の算定を行う。

$$\Delta Q(p_i) = Q_{mo}(p_i) + Q_w(p_i) \quad (1)$$

なお、計算に用いた風圧係数は風洞実験により得られた値とした。

(3) CFD 解析による室内気流性状の把握

前述の越屋根付設建物の簡易予測手法の精度を確認するために、RANS モデルを用いた CFD 解析を実施した。ここでは、Case A、Case C、Case E を再現して解析を行う。まずは開口を設定せずに建物外部空間のみを再

現し、乱流モデルは標準 $k-\epsilon$ モデル (SKE) と応力方程式モデル (RSM) の 2 種を用いて風圧係数を風洞実験結果と比較する。この結果、比較的精度が高かった RSM を用いて開口を有する条件の解析を行う。なお、流入境界条件は風洞実験により得られたアプローチフローの風速及び乱流用度の鉛直分布に基づいて設定した。表 1 に解析条件をまとめて示す。

表 1 CFD 解析概要 (RANS)

CFD Code	Anslys Fluent 12.0
Turbulence Model	Standard $k-\epsilon$ Model (SKE) Reynolds Stress Model (RSM)
Algorithm	SIMPLE
Discretization Scheme for Advection Term	QUICK
Boundary Condition	Inlet Velocity : Based on Wind Tunnel Test Turbulent Intensity : Based on Wind Tunnel Test Turbulent Length Scale : $\Lambda=126\text{mm}$ (0.07 times of hydraulic diameter)
	Outlet Gauge Pressure : 0 [Pa]
	Walls Walls : Generalized Log Low Symmetry : free slip

(4) CFD 解析による居住域換気性能評価

風圧係数差が小さい条件において乱れによる換気効果と居住域内の換気効果を定量的に評価するため、Large Eddy Simulation (LES) を用いた CFD 解析を行った。計算は SKE で十分に収束させた結果を初期値として用い、乱流モデルを LES に変更して計算時間間隔を 2.0×10^{-4} として行った。LES に変更後の 0.4 秒間は SKE からの移行期間とみなして結果を破棄し、その後 7.0 秒間の本計算を行った。表 2 に解析概要を示す。

表 2 CFD 解析概要 (RANS)

CFD Code	Anslys Fluent 13.0
Turbulence Model	Large Eddy Simulation (Smagorinsky-Lilly Model)
Algorithm	Implicit Method (SIMPLE)
Discretization Scheme for Advection Term	Central Differencing
Time Step	0.0002 s (5kHz)
Total Calculation Term	37,000 time step (7.4 sec.)
Boundary Condition	Inlet Based on k and ϵ obtained from Hotwire Measurement
	Outlet Gauge Pressure : 0 [Pa]
	Walls No slip
Smagorinsky Coefficient	0.1
Total Number of Grid	Case A : 2,186,590
	Case C : 2,185,490
	Case E : 2,184,890

CFD 解析を行うにあたって、居住域内で粒子を発生させ、以下の式に基づいて Purging Flow Rate (以下、PFR) を算出する。

$$PFR = q_p / C_p \quad (2)$$

ここで、 q_p は領域内粒子発生率 [1/s]、 C_p は領域内濃度 [個/m³] であり、PFR は汚染物希釈に実質的に有効に働いた換気量と言え、本研究での PFR の値と平均風速に基づく風速を比較することで換気性能を評価する。室内居住域は表 3 に示す範囲を想定し、居住域内部が

ら概ね一様となるよう表4の座標を組み合わせた計27点から各タイムステップで粒子を発生させ続け、本計算内で合計945,000個飛散させた。図5に粒子を飛散させた解析事例(Case C、0.5s時点)を示す。

表3 居住域範囲

X [mm]	-25.0 ~ 25.0
Y [mm]	5.0 ~ 50.0
Z [mm]	-40.0 ~ 40.0

表4 粒子発生点座標

X [mm]	-15.0	0	15.0
Y [mm]	12.5	25.0	37.5
Z [mm]	-22.5	0	22.5

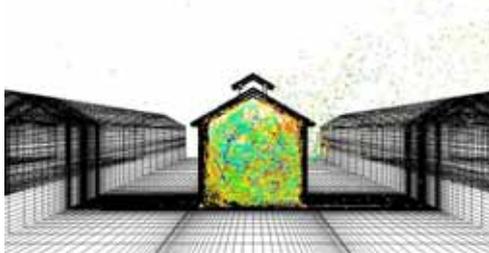


図5 粒子追跡結果の例 (Case C、t=0.5s)

4. 研究成果

(1) 基礎データベースの整備

気流の可視化により定性的な気流性状を把握した後、換気駆動力を表す基礎データとして図6に示すような風圧係数分布図の整備を行った。これにより換気促進装置が密集市街地において有効に働くことが示され、同時に設計時に装置部分の風圧係数を予測するための資料が整備されたと言える。

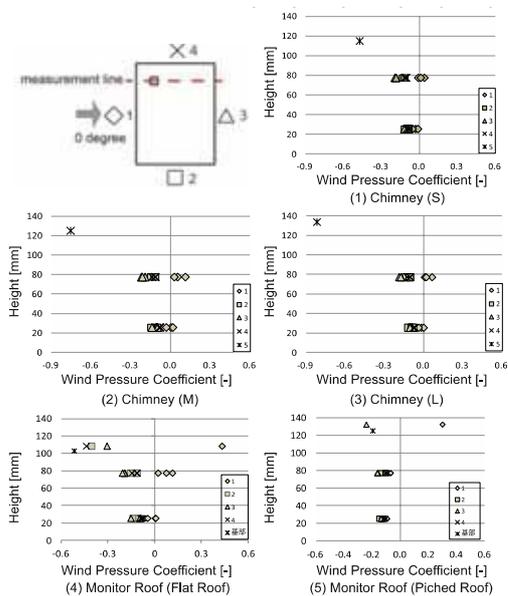


図6 風圧係数測定結果 (D/L=1.5、風向0°)

また、X型熱線風速計を用いた2次元風速測定により、各換気促進装置を設置した建物を対象として、隣棟感距離および外部風向を変化させて図7に示すような風速分布をまとめた。この結果、概ね同程度の高さの隣棟が

存在する条件では対象建物上部での剥離域が明確にならず、換気促進装置の高さが換気駆動力に大きな影響を及ぼさず、安定して比較的大きな風圧係数を示すことが分かった。

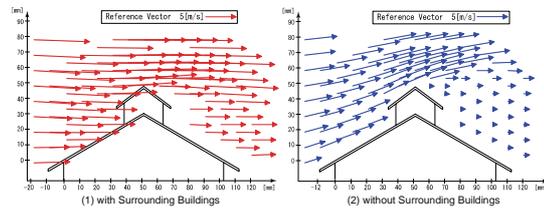


図7 換気促進装置周辺の二次元風速分布 (越屋根(勾配屋根)風向0°)

(2) 換気量の簡易予測手法の検討

前述の換気特性曲線と風圧係数データを用いて、換気抵抗が複雑な越屋根を設置した場合の各開口条件下での換気量算定を行い、特に周辺建物が存在する場合で越屋根が有効に働くことを示した。得られた換気量を換気回数に換算した結果の一部を同条件での風圧係数差とともに図8に示す。

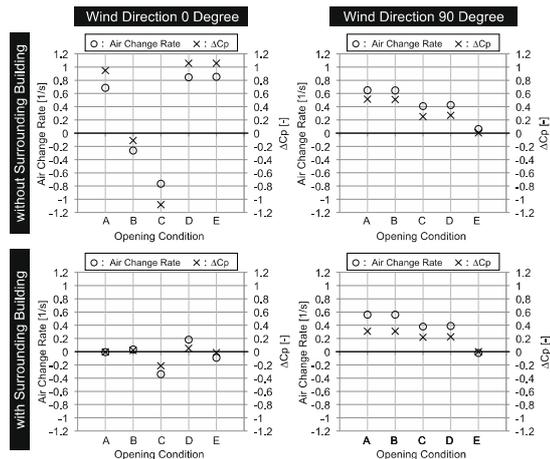


図8 換気量の簡易算定結果及び風圧係数差

(3) CFD解析による室内気流性状の把握

より詳細な室内気流性状を明らかにするために、RANSを用いたCFD解析を行った。乱流モデルはRSMを採用した。表5に示す通り、CFDにより得られた換気量と前節の簡易算定手法により得られた換気量は一致しており、精度は確認されたと言える。

表5 CFDと簡易算定手法により得られた換気量

Surrounding Buildings	Opening Condition	Air Change Rate [-]	
		CFD	Estimation
Exist	A	0.580	0.684
	E	0.947	0.851
Not Exist	A	-0.061	0.007
	C	-0.362	-0.381
	E	0.055	0.093

また、CFD により得られた室内外中心断面における風速ベクトル分布を図9に示す。風上側の側窓と越屋根開口両側を解放した Case A は基部と側窓に風圧係数差があまり生じていないことから室内の風速が小さくなる。Case C では越屋根がウインドキャッチャーとして働き、建物内に多く気流を取り込んでいるが、流入直後に流出している可能性もあるため、室内居住域における換気性能を別途評価する必要がある。Case E においては風下側からの若干の流入は見られるものの、風速はあまり大きくない結果となった。Case A と Case E では乱れによる換気効果が考慮されていないが、次節で PFR を用いることで Case C と併せて室内居住域での実際の換気効果をより定量的に評価することができる。

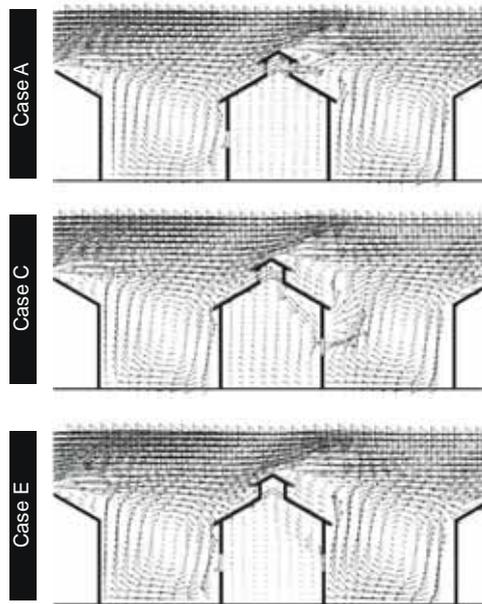


図9 CFD解析による室内外風速ベクトル図

(4) CFD 解析による居住域換気性能評価

前述の Case A、Case C、Case E について、LES を用いた CFD 解析により室内居住域より粒子を発生させて PFR による評価を行う。図10に各開口条件において粒子を発生し続けた際の居住域内粒子数と PFR の時間変化を示す。どの条件においても、6.0秒を経過した頃から居住域内の粒子数が概ね一定となり、定常状態となったと判断することができる。このため、7.0秒の総計算時間は妥当であると考えられる。また、6.0秒から7.0秒で0.2秒毎に算出した PFR の平均値を、LES の結果の開口部における時間平均風速を積分して得られた換気量と併せて示す。この結果 Case C については概ね両者が一致していることから、ショートサーキットは問題とならず十分に居住域内で混合していることがわかる。また、比較的換気量が小さかった Case A と Case E については、乱れの影響によ

り実際は居住域内においても一定の換気効果が得られていることが示された。

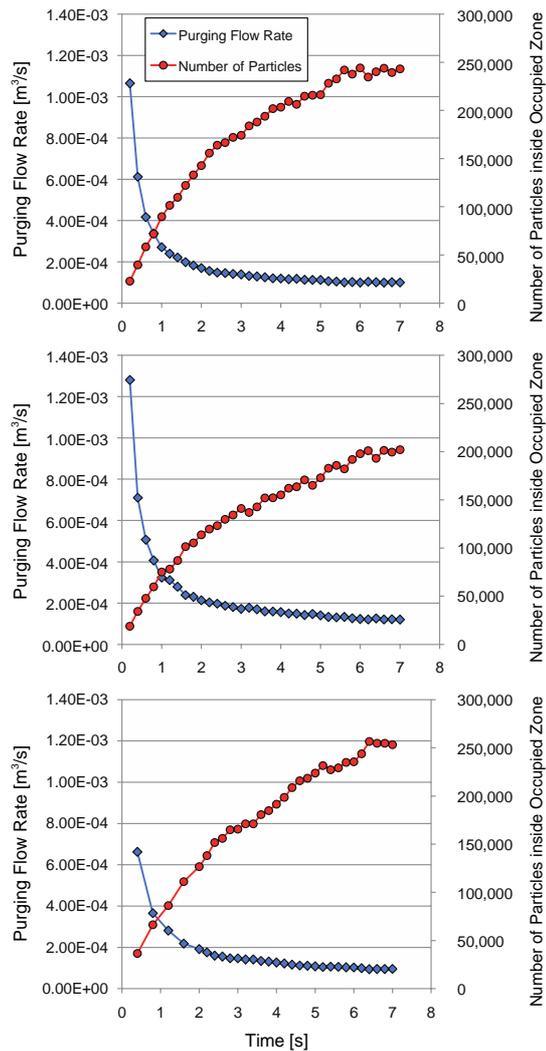


図10 PFR と居住域内粒子数の時間変化

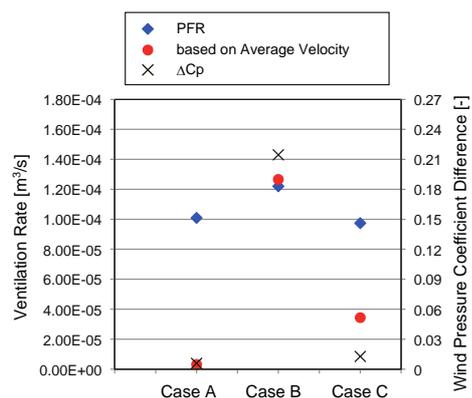


図11 PFR と平均風速に基づく換気量の比較

(5) 総括

本研究では、風力換気促進装置を設置した住宅を対象とし、装置周辺の気流性状や換気駆動力等の基本的なデータ整備を行った上で、換気量の簡易予測手法を示し、その精度

を確認した。さらに、LES を用いた CFD 解析により換気促進装置を設置した住宅の居住域内部での実際の換気効果の評価を行った。今後は様々な外部風向や周辺建物条件、開口条件の下でデータの整備を行い、より複雑な換気経路での実質的な換気効果の評価への展開が期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計5件)

発表者名：長田啓志、小林知広、近本智行、発表表題：風量換気促進装置を有する住宅の換気性能に関する研究(第2報)、学会名：空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会、発表年月：2012.3.13、発表場所：大阪大学中ノ島センター(大阪府)

発表者名：長田啓志、小林知広、近本智行、発表表題：風力換気促進装置を有する住宅の換気性能に関する研究(第1報)、学会名：空気調和・衛生工学会大会、発表年月：2011.9.14～16、発表場所：名古屋大学(愛知県)

発表者名：小林知広、近本智行、発表表題：住宅地における越屋根の風力換気性能予測手法に関する研究(その1)、学会名：空気調和・衛生工学会大会、発表年月：2011.9.14～16、発表場所：名古屋大学(愛知県)

発表者名：小林知広、近本智行、発表表題：住宅地における越屋根の風力換気性能に関する研究(その1)、学会名：日本建築学会大会、発表年月：2011.8.23～25、発表場所：早稲田大学(東京都)

発表者名：長田啓志、小林知広、近本智行、発表表題：パッシブな換気促進装置を有する住宅の換気性能に関する研究(その1)、学会名：日本建築学会大会、発表年月：2011.8.23～25、発表場所：早稲田大学(東京都)

6. 研究組織

(1)研究代表者

小林 知広 (KOBAYASHI TOMOHIRO)

立命館大学・理工学部・講師

研究者番号：90580952