

## 28

## 夏季の「オープンクーリング」による室内気候の特性

## 温暖地（東京）での居住者・非居住者の「交換実験」を通して

学会員 ○ 熊谷菜花（札幌市立大学）  
田中祐輔（旭化成建材株式会社）  
米本晋太郎（株式会社カイトー商会）

学生員 堤 晴季（札幌市立大学）  
小合祐輔（旭化成建材株式会社）  
会員 斉藤雅也（札幌市立大学）

Characteristics of Indoor Climate with "Open Cooling" in Summer Through "an Exchange Experiment" by Residents and Non-residents in Tokyo as Warm Region

Nanoha KUMAGAI\*, Haruki TSUTSUMI\*  
Yusuke TANAKA\*\*, Yusuke OGO\*\*,  
Shintaro YONEMOTO\*\*\*, and Masaya SAITO\*

\*Sapporo City University

1 chome, Geijutsunomori, Minami-ku, Sapporo,  
Hokkaido, 005-0864, Japan

e-mail : 2262009@st.scu.sc.jp

\*\*Asahi Kasei Construction Materials \*\*\*Kaitoh company

## ABSTRACT

This study clarified the summer indoor climate with passive ventilation and "open cooled (OC)" house in Tokyo. The room temperature and MRT in the OC house maintained around 25°C in all rooms with a single air conditioner, while the MRT was 1 to 1.5°C higher than the room temperature in the normal "closed-cooled (CC)" house. Although the air velocity in the OC house was significantly lower than that in the CC house, the occupant of the OC house felt a slight airflow, while the non-occupants felt almost no airflow, and were often neither hot nor cold, respectively. It was confirmed that the indoor climate of OC house is different from that of CC house.

キーワード：オープンクーリング、パッシブ換気、

交換実験

Key words: Open Cooling, Passive Ventilation, Exchange Experiment

## 1. はじめに

北海道では、パッシブ換気システム<sup>1)</sup>が採用された新築住宅（以下、パッシブ換気住宅）が普及している。これは、冬季の内外温度差を活かした換気方式をもつ住宅であるが、夏季は高窓換気との併用により、室内発生熱を効率よく排気できる特長がある。一方、近年の夏季の北海道は、室内での「蒸し暑さ」の解消が難しく、家庭用エアコンが徐々に普及しつつある<sup>2)</sup>。

筆者らは、夏季にパッシブ換気方式の特長を活かし、エアコン1台で全室において「涼しさ」感が得られる

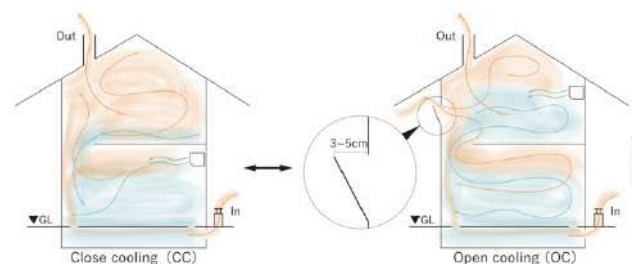


Fig. 1 "Close cooled" and "Open cooled" houses

「オープンクーリング（以下、OC）」手法に着目している<sup>3)</sup>。OCは、2階や吹抜上部にエアコン1台を設置・運転し、高窓1か所を数cm開放して温度差換気を促す「高窓換気を併用した冷房」である。Fig. 1（左）に通常冷房（クローズクーリング：以下、CC）、Fig. 1（右）にOCのイメージを示す。

現在の「平成25年省エネルギー基準」に関して、2025年より新築住宅への適合が全国で義務化される。このことより、今後、高性能な断熱・気密住宅が寒冷地だけでなく温暖地でも増えると予想される。夏季のOCによる室内気候の特性は、特に温暖地においてその実態と課題を明らかにする必要がある。

本研究では、温暖地（東京）にある住宅（2戸）を対象にして、夏季のOCによる室内気候と快適性を明らかにすることを目的とした。具体的には、パッシブ換気住宅（OC住宅とする）と近隣にある「ZEH+」住宅（CC住宅とする）を対象とした熱環境実測と申告調査、OC住宅の居住者がCC住宅の室内気候下で、CC住宅の居住者がOC住宅の室内気候下で過ごす「交換実験」を行ない、居住者と非居住者の体感を比較した。

## 2. 調査概要

## 2.1. 室内気候の実測と日常の申告調査の概要

本研究では、高断熱・高气密かつ換気・冷房方式が



Fig. 2 Outside views of houses in Mitaka, Tokyo (House A (left), House B (right))

Table. 1 Insulation and airtightness specifications of House A

Location	Mitaka city, Tokyo
Completion of construction	July, 2022
family composition	Spouses + two children
Structure	Traditional wooden frame construction method
Total floor space	104.34㎡
Total room volume	263.3㎡
Average U-value	0.31W/㎡・K
C-value	0.2cm/㎡
Ventilating facilities	BAKUMA INDUSTRIAL Co., Ltd
cooling equipment	KP-08DS+FY-17CFR8V+RE-100JFK Mitsubishi Electric MSZ-HXV56205

Table. 2 Insulation and airtightness specifications of House B

Location	Mitaka city, Tokyo
Completion of construction	January, 2022
family composition	Spouses + one child
Structure	Steel frame construction
Total floor space	147.04㎡
Total room volume	-
Average U-value	0.42W/㎡・K
C-value	-
Ventilating facilities	Airkis specification [Sekisui House, Ltd.]
cooling equipment	DAIKIN INDUSTRIES, LTD. F63ZTRXP-W, F22YTES-W, F22YTFXS-W, F25ZTMXS-W

異なる，居住者が実際に暮らす住宅 A・B（いずれも東京都三鷹市，2 邸間の距離は 1 km 以内）を対象とした。

住宅 A (Fig. 2(左), Table. 1) は高窓があり，夏季の開放によって OC が可能となる。冷房用のエアコンは吹抜のある 2 階階段室上部に 1 台，2 階寝室に 1 台設置されており，長期の不在時以外は階段室上部の 1 台を常時稼働している。住宅 B (Fig. 2 (右), Table. 2) のエアコンは各居室（計 6 台）にそれぞれあり，使用時に稼働している。

本研究では，A 住宅を OC 住宅，B 住宅を CC 住宅として，2023 年 7 月 16 日～10 月 3 日に各室の空気温湿度・グローブ温度を実測した。A・B 住宅の被験者をそれぞれ夫婦（2 名）として，1 日 2 回，想像温度や熱的快/不快感・寒暑感・乾湿感・気流感等の申告を収集した。

また，2023 年 7 月 16 日及び 8 月 5 日に各住宅 2 ヶ所にて気流速度を計測し，室内表面温度を赤外線放射カメラ

で撮影した。加えて，2023 年 8 月 27 日～10 月 3 日に簡易電力計でエアコンの電力消費量を連続計測し，数日に一度，電力消費量 (kWh) を回答してもらった。

## 2. 2. 「交換実験」の概要

2023 年 8 月 5 日に，それぞれの居住者に異なる室内気候を体験してもらう「交換実験」を行なった。交換実験とは，居住者自身が移動し，OC 住宅の居住者に CC 住宅を，CC 住宅の居住者に OC 住宅を体験させ，それぞれの室内気候に対する体感申告を収集するものである。居住者 1 名，非居住者 1 名に加えていずれの住宅の室内気候を初体験する体験者 2 名（計 4 名）を対象とした。

空気温湿度，グローブ温度，気流速度の計測と同時に指定時間に体感申告を収集した。具体的には，実験中，安静前後や椅座，床座と時間ごとに姿勢を指定し，都度，室内気候に対する評価について被験者 1 名につき計 6 回の申告を得た。

## 3. 結果・考察

### 3. 1. OC 住宅・CC 住宅の気流速度

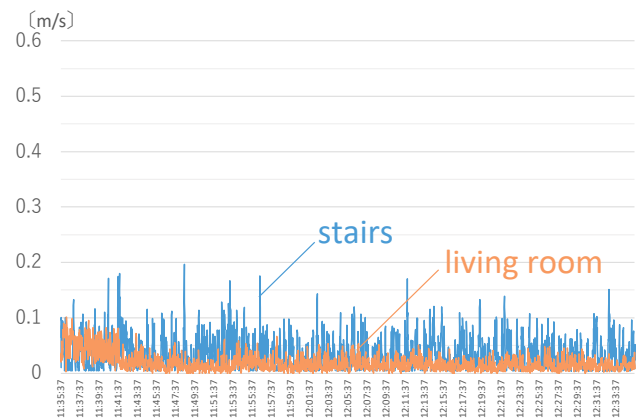


Fig. 3 Air velocity at the living room and stairs during “OC” period (2023. 7. 16)

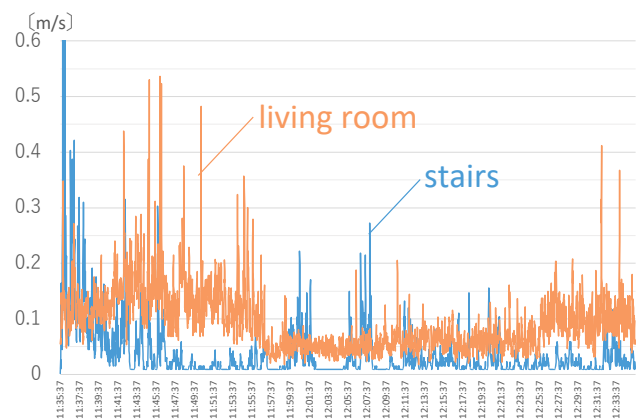


Fig. 4 Air velocity at the living room and stairs during “CC” period (2023. 7. 16)

Fig. 3, 4 は，2023 年 7 月 16 日 11:35～12:35 の OC 住宅・CC 住宅内の 1 階リビングと階段上の気流速度である。

OC・CC住宅ともに0.5m/s以下の気流速度である。

Fig. 3のOC住宅では、1階リビング・階段上の気流速度はいずれも0.2m/s以下で、Fig. 4のCC住宅の約3分の1である。OC住宅の気流はCC住宅ほど大きな変動はないが、絶えず細かく変動している<sup>28)</sup>。また、1階リビングよりも階段上の気流速度がやや大きい。これは2階の階段室上部のエアコンの影響と考えられる。1階リビングでは可感気流がほとんどない状態と推測される。

Fig. 4のCC住宅において、特に1階リビングの気流速度を見ると、気流速度が瞬間的に大きくなる箇所がいくつかある。これは、1階リビングのエアコンによる冷気流が一定ではないことを表している。階段上も同様の傾向が見られるが、1階リビングの気流速度と強まる箇所が一致していない。両者は異なる気流速度の変動であることから、1階と2階及び各居室の室内気候が個別に形成されていると予想される。

### 3. 2. OC住宅・CC住宅の室内気候

Fig. 5, 6は、交換実験を行なった8月5日（OC住宅：10:40～11:40, CC住宅：12:10～13:10）の1階リビングの空気温度・グローブ温度・平均放射温度（以下、MRT）である。

Fig. 5のOC住宅（階段室上にあるエアコンの設定温度：24℃）では、いずれも25℃前後で変動しており、空気温度よりもグローブ温度・MRTも概ね同じか僅かに低い。一方、Fig. 6のCC住宅（1階リビングにあるエアコンの設定温度：26℃）では、空気温度よりもグローブ温度・MRTが1.0～1.5℃高い。この差は、パッシブ換気と高窓換気を組み合わせたOC住宅に対する、機械換気だけのOC住宅の冷房・換気手法の差と考えられる。OC住宅では、冬季ほどではないが、夏季においても床下・居住空間の空気が一体となり上下方向に緩やかに動いており、その結果として空気温度、壁面や床面、天井面が概ね25℃で維持されると考えられる。一方CC住宅では、調査日に赤外線放射カメラで撮影した居室の表面温度をみると、天井付近の壁面温度は床付近より1.0～2.0℃高かった。CC住宅はOC住宅のように居住空間全体の空気が循環しておらず、各室で室内気候が形成される結果として、空気温度とグローブ温度・MRTに1.0～1.5℃の差が生じたと考えられる。Fig. 7に計測期間中の空気温度の分布を示す。OC住宅（左群）では、排熱のために窓開放をしているロフトを除き、各居室の室温は概ね24.5～27.5℃である。OCによって、熱気の排出とエアコン（設定温度24℃）からの冷気循環が促された結果と考えられる。一方、CC住宅（右群）も高断熱住宅であるため、30℃を超えることはないが、OC住宅の室温分布と比べると1～2

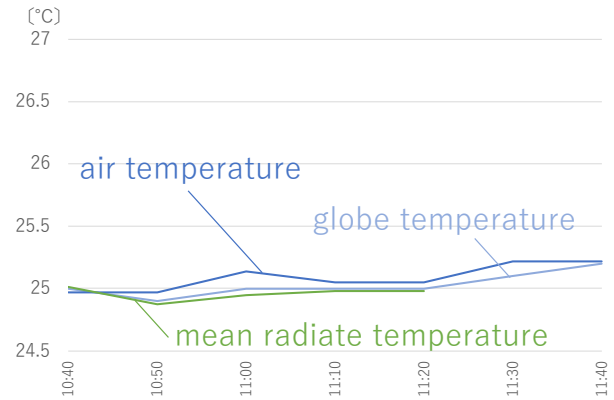


Fig. 5 Air temperature, globe temperature and mean radiate temperature of the living room in a “OC” house (2023. 8. 5)

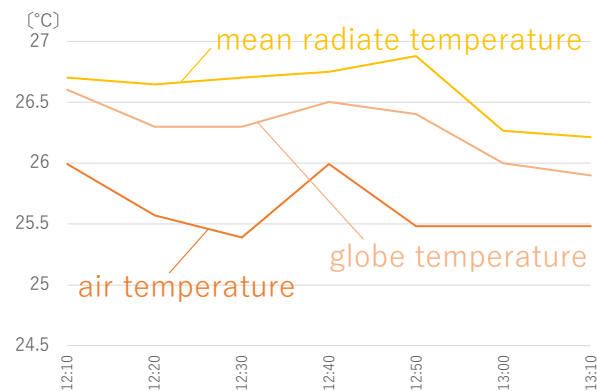


Fig. 6 Air temperature, globe temperature and mean radiate temperature at the living room in a “CC” house (2023. 8. 5)

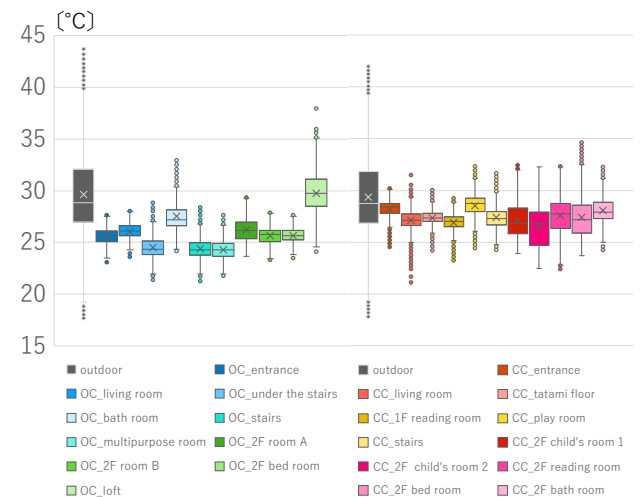


Fig. 7 Air temperature distribution in a “OC” house and a “CC” house (2023. 7. 16～10. 3)

℃ほど高い。これはエアコンの設定温度にも関係するが、OCとCCの差と考えられる。

以上より、OC住宅は、温度の高い帯から低い帯へと自然に且つ持続的に「涼しい」室内気候を形成し、CCでは瞬間的にエアコンによって「冷やす」ことで涼しい室内気候を形成していると考えられる。

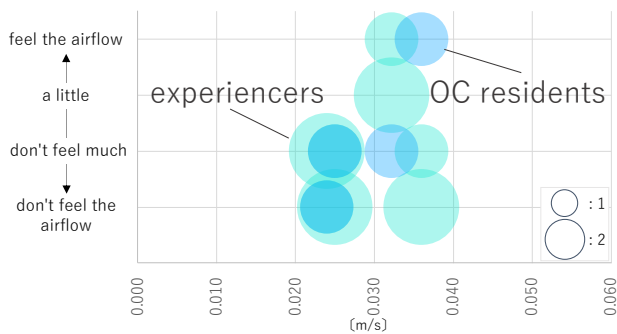


Fig. 8 Relationship between wind speed and airflow sensation in a “OC” house (2023.8.5)

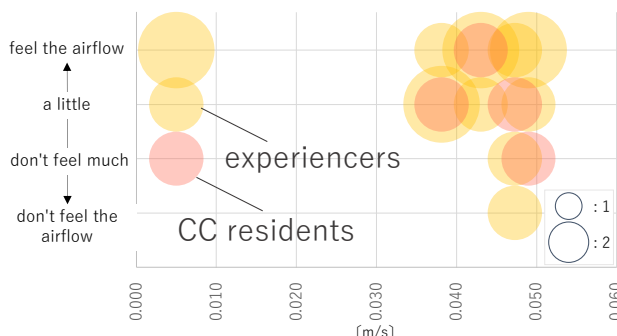


Fig. 9 Relationship between wind speed and airflow sensation in a “CC” house (2023.8.5)

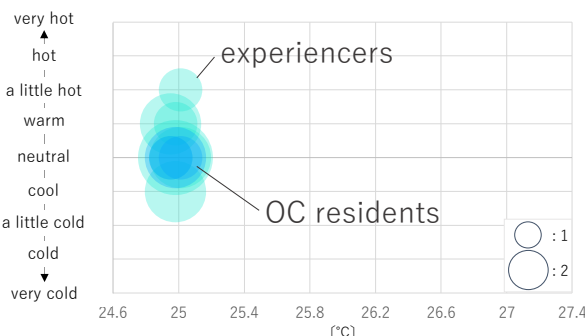


Fig. 10 Relationship between MRT and Thermal sensation in a “OC” house (2023.8.5)

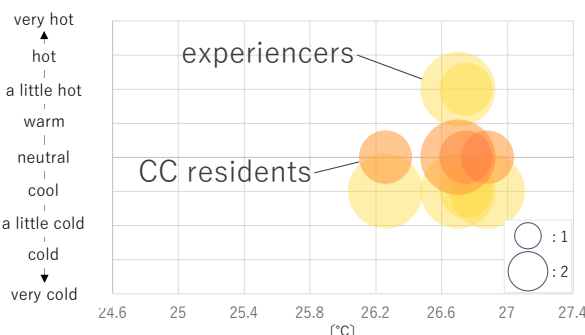


Fig. 11 Relationship between MRT and Thermal sensation in a “CC” house (2023.8.5)

#### 4. 「交換実験」の結果・考察

Fig. 8, 9は、OC住宅とCC住宅での気流速度に対する気流感、Fig. 10, 11は、OC住宅とCC住宅でのMRTに対する寒暑感の関係である。ここでは、当該住宅の「居住者（1名）」と交換実験による「体験者（3名）」の室内気

候に対する体感の違いを比較した。

Fig. 8のOC住宅では、3名の体験者（水色）は室内での風の動きをあまり感じていない。それに対して、OC居住者（青色）は気流速度の値に対応した気流感を得ていた。具体的には、気流速度が0.04m/sの際には、体験者は「気流を感じない」、「あまり感じない」のに対して、居住者は「気流を感じる」と回答していた。室内でのごく僅かな気流の変動下で毎日過ごすOC居住者は、体験者と比べて気流に対する感覚が敏感な可能性がある。

Fig. 9のCC住宅では、体験者3名（黄色）は気流速度が小さいときでも気流感を得ており、全体的に「やや感じる」、「感じる」申告が多い。一方、CC居住者（赤色）は気流速度の大小に応じて気流感を得ていた。

Fig. 10, 11より、両家ともに居住者の申告は「暑くも寒くもない」のみで、OC住宅の体験者は「暑くも寒くもない」から「やや暑い」・「暖かい」の範囲にある。また、CC住宅の体験者は「涼しい」から「暑い」にある。Fig. 5, 6で示したようにOC・CC住宅のMRTは約1.0~2.0°Cの差があるが、それぞれの居住者は自邸の室内気候を日常で体験しており、「暑くも寒くもない」のに対して、体験者の寒暑感には暑熱側と寒冷側に幅がある。

#### 5. まとめ

- 1) 温暖地（東京）のパッシブ換気住宅でのOC手法は、エアコン1台（2階設置：24°C設定）で全居室が25°C前後、僅かな気流変動の室内気候を形成する。
- 2) 「ZEH+」住宅でのCC手法は、エアコン（設定温度26°C）により、室温25~26°C、MRTが1.0~2.0°C室温より高く、エアコンからの気流を感じやすい。
- 3) 居住者の寒暑感はずべて「暑くも寒くもない」で、体験者は暑熱側と寒冷側に幅がある。

注）今回使用した微風速計（日本カノマックス社製：Model6036）は0.05m/s以下の値は保証していないので別途、検証が必要である。

#### 参考文献

- 1) 福島明・宮浦睦明・絵内正道・土井聡：基礎断熱した床下空間を冷外気の子熱給気に利用した自然給気方式の実験的検討—寒冷地のパッシブ換気に関する研究 その1—, 日本建築学会計画系論文集, 第498号, 1997.8, pp.51-56.
- 2) 山田信博：札幌市を対象としたルームエアコンの設置に関する研究—積雪寒冷地の住宅における冷房設備の現状把握—, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 2022.9, pp.37-38.
- 3) 熊谷菜花・堤晴季・田中祐輔・米本晋太郎・斉藤雅也：夏季のオープンクーリングによる住宅の室内気候, その1 札幌にあるモデル住宅の実測調査, 日本太陽エネルギー学会講演論文集, 2022.11, pp.169-172.