

## 51

## 夏季のオープンクーリングによる住宅の室内気候

## その3 札幌にあるモデル住宅の室内気候と体感評価

会員 ○斉藤 雅也 (札幌市立大学)  
 学生会員 熊谷 菜花 (札幌市立大学)  
 米本晋太郎 (株式会社カイトー商会)  
 平川 秀樹 (北海道科学大学)

学生会員 泉 龍雅 (北海道大学)  
 学生会員 堤 晴季 (札幌市立大学)  
 福島 明 (北海道科学大学)

Indoor Climate of Houses under the Open Cooling in Summer  
 Part.3: Measurements of thermal environment and sensory testing of  
 subjects in the model houses in Sapporo

Masaya SAITO\*, Ryuga IZUMI\*\*, Nanoha KUMAGAI\*,  
 Haruki TSUTSUMI\*, Shintaro YONEMOTO\*\*,  
 Akira FUKUSHIMA\*\*\*\*, and Hideki HIRAKAWA\*\*\*\*

\*Sapporo City University  
 1 chome, Geijutsunomori, Minami-ku, Sapporo,  
 Hokkaido, 005-0864, Japan  
 e-mail : msaito@scu.ac.jp  
 \*\*Hokkaido University, \*\*\*Kaitoh company,  
 \*\*\*\*Hokkaido University of Science

## ABSTRACT

The results of field measurements of the indoor climate of the model houses and a survey for the occupants under the "open cooling (OC)" in Sapporo during the summer are described. The indoor climate in "OC" is more comfortable than in "closed cooling (CC)" and the occupant's imagined temperature is about 1 °C lower. During the "CC", the airflow is mechanical, dominated by the fluctuating rhythm of air blown from the air conditioner. On the other hand, in "OC," the strong cold air from the air conditioner is agitated here and there in the room by opening a high window to allow the heat generated indoors to escape efficiently, thereby moderating the airflow. This is an expected benefit of OC.

キーワード：オープンクーリング，室内気候，想像温度

Keywords : open cooling, indoor climate, cognitive temperature

## 1. はじめに

北海道では、積雪寒冷気候に対応するために1980年代からこれまで大学・自治体・公設研究機関・企業が連携して、住宅の高断熱・高气密化に関わる技術開発・設計施工技術者の養成を推進してきた<sup>1)</sup>。現在は、北方型住宅のブランドとして広く北海道各地に普及している。特に、冬季の室内での熱的快適性、省エネルギー性は飛躍的に向上し、北方型住宅の設計・施工技術は、本州以西の温暖地にも徐々に広がっている。

住宅の断熱・気密化は、計画的な換気を図る上でも重要であるが、1990年代に入り(北海道において)全室暖房と高い断熱・高气密性を実現した住宅では、内外温度差による煙突効果を主動力としたパッシブ換気<sup>2)</sup>が提案さ

れ、現在もその技術は展開・継承されている。2003年に改正建築基準法(シックハウス対策)が施行され、新築住宅のすべてに24時間換気システムが導入されるようになったが、機械換気は、強制換気としての強い圧力によって室内に空気の通り道を生成する。逆に言えば室内に空気が淀むデッドゾーンを生むので、温度むらも生じやすく、当然ながら機械換気はファン動力を要する。

北方型住宅の多くに採用されているパッシブ換気は、機械換気と違って空気の淀みを生まない仕組みである。パッシブ換気による室内空気の流れは機械換気で一般的な横の流れではなく、縦の動きを生成する。これは床下空間を熱源として煙突効果を駆動力として空気が動くので、室内空気のよどみを生じさせないシステムと言える。

パッシブ換気は、冬季のみならず夏季においても室内発生熱の排出に有効である。特に断熱・気密性に優れ、換気が計画的に高窓や2階の窓を開放することによって熱気を効率よく排出できる。しかしながら、最近の夏はそれでも「蒸し暑さ」の緩和・解消が難しく、札幌市ではエアコンによる冷房が急速に普及しつつある<sup>4)</sup>。

筆者(斉藤)らは、以上の背景から、エアコン(1台)を運転して冷気を床下に蓄積し、住宅上方の熱気を屋外に効率よく排気するパッシブ換気+窓開けのハイブリッド換気による「オープンクーリング(以下、OC)」が有効ではないかと考えた。その3では、札幌市内にある2棟の北方型住宅を対象に熱環境実測・被験者の申告調査を行ない、OCと通常冷房:クローズクーリング(以下、CC)の室内気候を比較した。具体的には、エアコンの配置(1階もしくは2階)の影響による室内気候に対する体感の違い、OC時・CC時に室内で生成される気流の特長をフーリエ解析によって解明した。

## 2. 対象住宅の概要

Fig.1と2に、対象住宅(2棟)の平面図をそれぞれ示す。札幌市西区(House A)と札幌市豊平区(House B)にそれぞれあるモデル住宅(居住者が居ない)で、いず

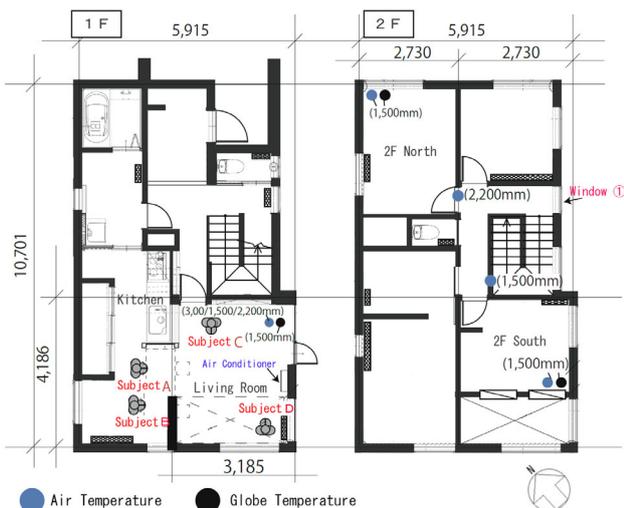


Fig. 1 Floor plan of House A in Sapporo

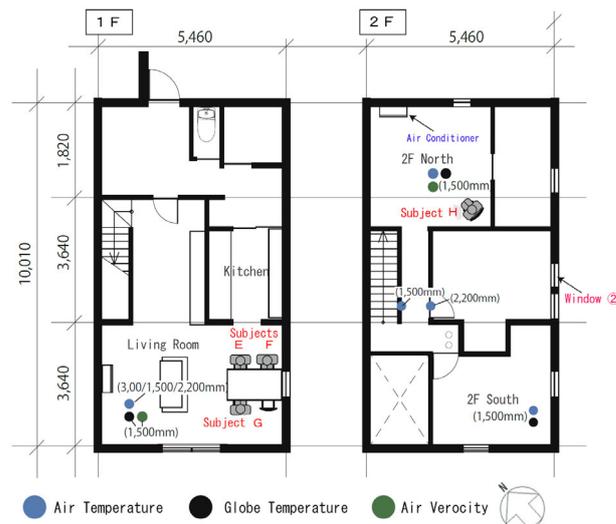


Fig. 2 Floor plan of House B in Sapporo

Table 1 Insulation and airtightness specifications of House A

Location	Nishi ward, Sapporo city	
Structure	Traditional wooden frame construction method	
Total floor space	111.66㎡	
Total room volume	320㎡	
Average U-value	0.24 w/㎡・k	
Roof	Glass wool (18K) 450mm	
Outer wall	Glass wool (high performance16K) 105mm	
Floor exposed to outside air	Class A rigid polyurethane foam 108mm	
Foundation	Outer rise: Polystyrene foam 100mm , Under the dirt floor: Polystyrene foam 100mm	
Specifications of the opening	Resin sash (YKKapAPW430) Argon gas-filled double Low-E triple-glass sunshade type blue hollow layer 15/15mm Pipe fan system Panasonic FY-12PF9D	
Ventilating facilities	+ outside air inlet + exhaust stack x 2 sets (passive ventilation)	

Table 2 Insulation and airtightness specifications of House B

Location	Toyohira ward, Sapporo city	
Structure	Traditional wooden frame construction method	
Total floor space	104.34㎡	
Total room volume	263.3㎡	
Average U-value	0.26W/㎡・K	
C-value	0.4cm/㎡	
Roof	Urethane for filling 100mm +Neoma Foam[Asahikasei] 100mm	
Insulation specification	Outer wall	Neoma Foam[Asahikasei] 50mm +Glass wool (high performance16K) 105mm
	Foundation	Outer rise cell board 100mm under the dirt floor cell board 100mm
Specifications of the opening	LIXIL Elster X High insulation LOW-E triple glass Hollow layer 15・15mm BAKUMA INDUSTRIAL Co.,Ltd. KP-08DS+FY-17CFR8V+RE-	
Ventilating facilities	100JFK + outside air inlet + exhaust stack x 2 sets (passive ventilation)	

れも北方型住宅の標準仕様の性能である。各住宅の断熱・気密・換気等の仕様を Table 1, 2 に示すが、2 棟も概ね同じ仕様である。なお、House A は 1 階居間に、House B は 2 階主寝室にエアコンが設置されている。

### 3. 調査の概要

調査は、OC 時・CC 時の室内気候とそれがもたらすヒトの熱的体感を解明することを目的として、a)室内気候の実測調査と b)被験者を用いた申告調査を House A では 2021 年 8 月 4 日、B では 2021 年 8 月 7 日に実施した。

室内気候の実測項目として、空気温湿度・グローブ温度を 10 分間隔、気流速度 (House B のみ) を 1 秒間隔で記録した (Fig. 1 と 2 上に計測機器の配置・高さを示す)。

被験者は、2 棟ともに 4 人ずつで、House A では 50 代男 (被験者 A)、60 代男 (B)、50 代女 (C)、20 代男 (D) の全員がエアコンのある 1 階居間で参加した。House B では 40 代男 (E) 60 代男 (F)、60 代男 (G) が 1 階ダイニングで、50 代女 (H) がエアコンのある 2 階主寝室で参加した。

なお、被験者 B と F、C と H は同一人物である。Fig. 1 と 2 上に被験者の着席位置を示す。被験者の申告項目は想像温度 (今、何° C と思うか?)<sup>3)</sup> と、寒暑感、熱的快適感、乾湿感、気流感、発汗感等で、各自のスマートフォンを介してウェブ形式で、OC 時(60 分)・CC 時(60 分)の間に 15 分ごと (計 5 回/OC 時もしくは CC 時) の申告を得た。

House A では、OC (12:30~13:30) の実測として 2 階の階段室上部の Window①を開放し、1 階リビングのエアコンを運転した (設定温度 26°C)。その後 30 分間を空けて、CC (14:00~15:00) の実測を行なった。なお、CC 時は OC 時と換気量を概ね合わせるためにキッチンのレンジファンを運転した (換気回数 0.1~0.2 回/h)。

House B では、OC(12:30~13:30)の実測の後、CC (14:00~15:00) の実測をした。House B では OC として 2 階の子供部屋②の上げ下げ窓 (1 か所) を開放(下部 50 mm)しながら 2 階主寝室にあるエアコンを運転した (設定温度 24°C : エアコンからの冷気を 1 階に送るため)。

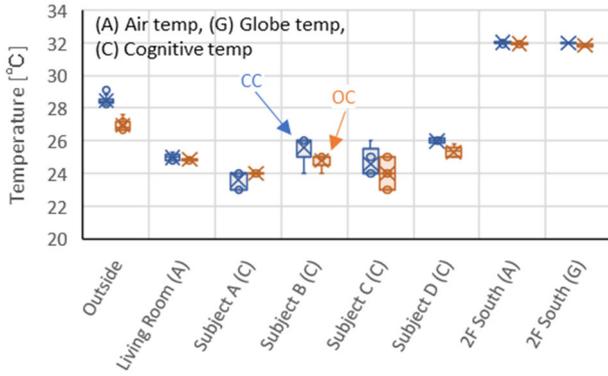


Fig. 3 Air temperature and Cognitive temperature (House A)

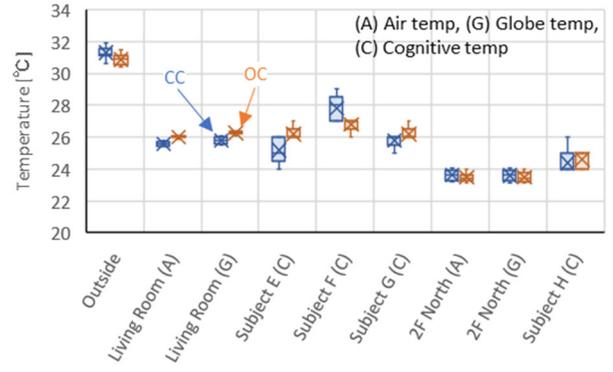


Fig. 4 Air temperature and Cognitive temperature (House B)

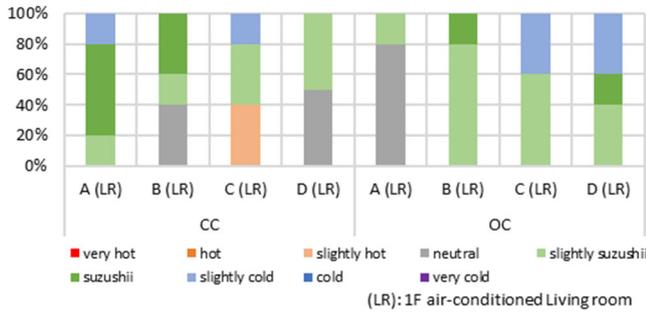


Fig. 5 Thermal sensation of the subjects (House A)

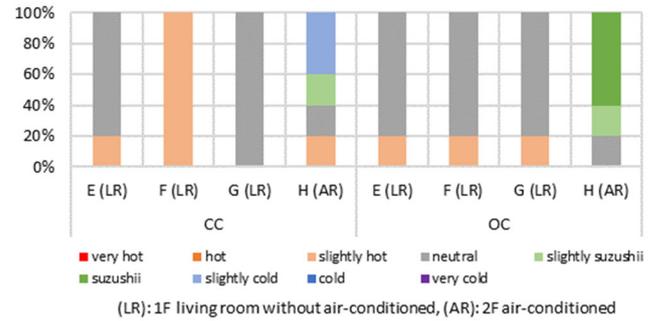


Fig. 6 Thermal sensation of the subjects (House B)

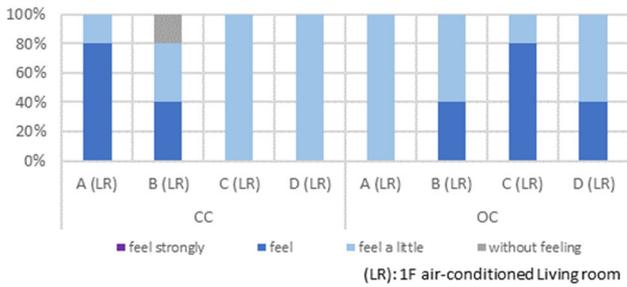


Fig. 7 Airflow sensation of the Subjects (House A)

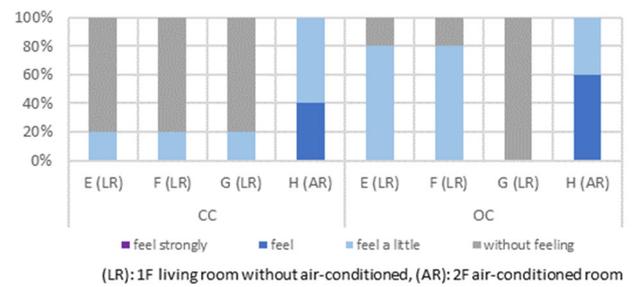


Fig. 8 Airflow sensation of the subjects (House B)

#### 4. CC・OC時の室内気候と体感評価

Fig. 3 と 4 は、House A と B の実測時の外気温と各室温・グローブ温、被験者 4 名の想像温度を CC 時と OC 時で比較したものである。

House A の調査日の天候は雨で、CC 時の外気温は 26.5 ~ 27.5°C で OC 時の 28 ~ 29°C よりやや低かったが、CC・OC それぞれのリビングの平均室温は概ね 25°C であった。2 階各室の空気温度・グローブ温は OC 時・CC 時ともに 32°C で、1 階リビングのエアコンの冷気が 2 階に行き渡っていない。被験者の想像温度は、被験者 A を除く 4 人中 3 人が CC 時より OC 時の方がやや低い。

House B の調査日の天候は晴天で、外気温は CC 時、OC 時ともに 30.5 ~ 32°C で差がないが、1 階リビングの室温・グローブ温は CC・OC 時ともに 25 ~ 26.5°C に対して、2 階主寝室・南室の室温・グローブ温は 24°C 以下である。これは、2 階主寝室のエアコンの冷気が 2 階各室を経て、

1 階に下降していることを表している。被験者の想像温度は、2 階主寝室の H を除くと概ね 26°C 前後である。

Fig. 5 と 6 は、House A と B の CC 時と OC 時の寒暑感である。House A では、1 階リビングで被験者がエアコンの傍にいたので「寒さ」を感じている。House B ではリビングの被験者 E ~ G は「寒さ」を感じていない。エアコン運転中の 2 階主寝室にいる被験者 H が「寒さ」を感じている。また House B で CC 時は「やや暑い」申告が 35% が、OC 時はその申告割合が 10% になる。

Fig. 7 と 8 は気流感で、House A で「感じる」・「やや感じる」は CC 時：約 95%、OC 時：100% でそのうち「感じる」は 40% である。CC 時には傍にあるエアコンからの冷気によって OC 時よりも強さを感じた可能性がある。House B では、その傾向がさらに顕著に出ていて OC 時の方が CC 時よりも可感気流がある。なお、House A で風を感じる方向は、CC・OC 時のいずれも上からが 3 割、

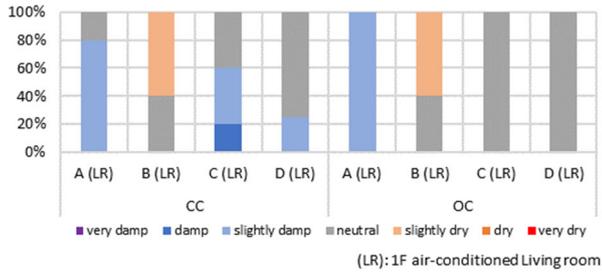


Fig. 9 Dry/Moist sensation of the subjects (House A)

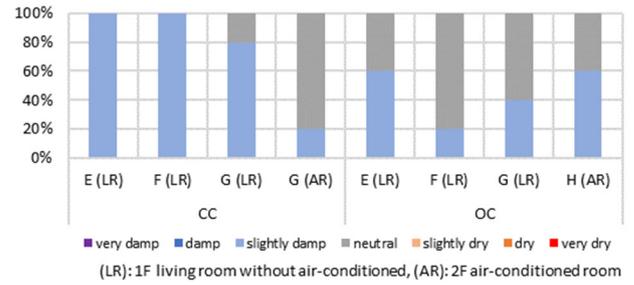


Fig. 10 Dry/Moist sensation of the subjects (House B)

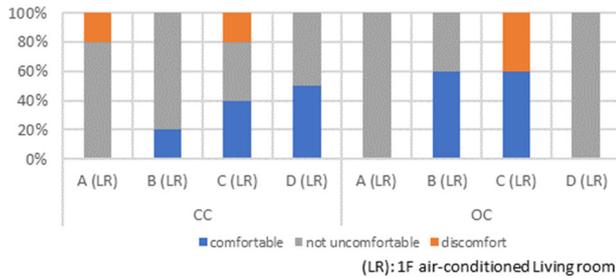


Fig. 11 Thermal Comfort of the subjects (House A)

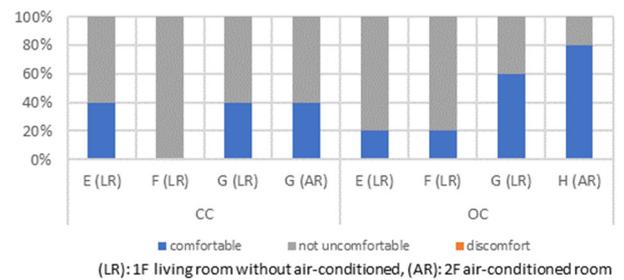


Fig. 12 Thermal Comfort of the subjects (House B)

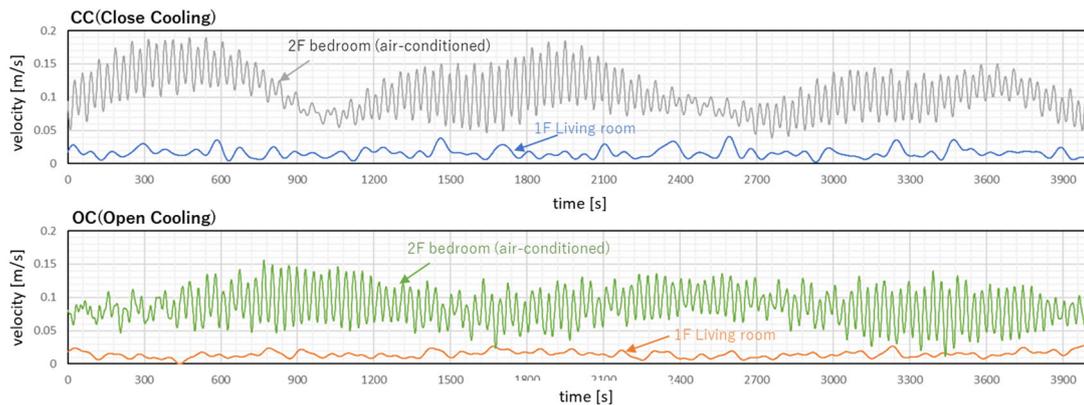


Fig. 13 Patterns of indoor airflow based on Fourier analysis (upper CC mode and lower OC mode)

水平方向が7割であった。一方、House BのCC時は全て水平方向の風で、OC時は上方向からが3割、水平方向が5割、下方向が2割だった。OC時は窓開放によって換気量が大きくなり、水平方向・上下方向に緩やかな空気の流れが生まれたと考えられる。

Fig. 9と10は、House A・Bでの乾湿感で、House Aでの「湿っている」「やや湿っている」申告率はCC時の被験者平均で40%、OC時では25%、House BではCC時で75%、OC時で60%でOC時の方がOC時よりも湿り感がある。OCの方がCCよりもジメジメした感覚が生じにくいと考えられる。Fig. 11と12は、House A・Bでの熱的快適感で、House Aでの「快適」申告率はCC・OC時で差がないが、House BではCC時30%、OC時45%で、OC時がOC時よりも「快適」感が得られやすい。

Fig. 13は、House Bで計測した2階主寝室（エアコン運転）と1階リビングでの気流速度データをフーリエ変換し、主要な10成分の波を合成して再び気流速度として

表したものである。CC時の気流速度の特長は、エアコンの吹出冷気のリズムが支配しているのに対して、OC時の波にはCC時に見られる規則性がない。OC時はエアコンからの下降冷気とともに窓開放によって熱気が同時に上方へ捨てられるので、エアコンからの強い冷気を室内各所で攪拌し緩らげていると考えられる。これがOCのアドバンテージと言える。

#### 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気予熱給気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，pp.51-56. 1997.8.
- 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，pp.38-39, 2022.9.
- 3) 斎藤雅也・宿谷昌則：「涼しさ」を感じる気流に関する屋外での実測とその解析，日本建築学会計画系論文集，第523号，pp.39-44, 1999.9.