

双曲放物屋根をもつ木造オフィスの冬季の室内気候と快適性

スタッフの想像温度と快適感・行動について

正会員 ○中谷 航平\*1 同 廣林 大河\*1  
 会員外 横木 達雄\*2 正会員 遠藤 謙一良\*3  
 同 斉藤 雅也\*4

4.環境工学-11.1 住まい方・住みこなし (省エネ行動・意識の向上)  
 室内気候、放射、想像温度、寒暑感、快適感、行動

1. はじめに

北海道内の新築の木造住宅では、外壁の断熱は200mm 厚程度が標準とされ、床下暖房とパッシブ換気を組み合わせた事例が増えている。最近では、200mm 厚以上の断熱材が設けられる住宅も見られる。このように建築外皮の断熱厚さを増すほど、また気密性を上げるほど冬季の暖房負荷は小さくなり、穏やかな室内気候の形成に寄与する。一方、標準の断熱厚さであっても、建築形状、採用する設備、住まい手の行動の組み合わせ次第では、より高質で快適な室内気候を実現できる可能性がある。以上の関係が定量的に判れば、寒冷地建築の計画において設計の自由度がさらに拡がり、得られた知見を住まい手向けの住みこなしの支援にも活かすことができる。

筆者らは、札幌市内に双曲放物屋根 (HP シェル構造) をもち、外壁が 200mm 厚断熱、主な開口部が Low-E トリプルガラスを採用した木造オフィスを計画した。暖房設備は、温水配管の床下こがし部分と埋め込み部分の併用型として、2019 年 10 月に建物が竣工した。

本研究では、オフィス計画時に行なった CFD 解析の結果 1) に基づいて、竣工後の冬季に熱環境実測を行ない、どのような室内気候が形成されているかを確認した。また、室内気候とスタッフの想像温度・寒暑感・快適感、それに伴う行動との関係についても整理した。

2. 建築・設備概要

表 1 にオフィスの建築・設備の概要、図 1 に 1・2 階の平面図と計測機器の配置を示す。建物は南北軸に配置され、南側と西側が道路に面し、南側に街路樹と水面鏡がある。1 階は主に来客・打合

表 1 建築・設備概要

【所在地】	北海道札幌市中央区
【竣工年】	2019 年 10 月
【構造】	基礎 RC 造 木造 2 階建て
【敷地面積】	277.69 m <sup>2</sup> (建蔽率: 70%、容積率 200%)
【延床面積】	276.79 m <sup>2</sup> (1 階: 131.01 m <sup>2</sup> 、2 階: 145.78 m <sup>2</sup> )
【断熱仕様】	基礎 外+スラブ下: 押出法ポリスチレンフォーム断熱材 b-2 100mm 外壁 軸間: 高性能 GW 24kg/ m <sup>2</sup> 100mm 付加: 押出法ポリスチレンフォーム断熱材 b-2 100mm 軒天井 吹込み GW 22kg/ m <sup>2</sup> 相当 400mm 天井 高性能フェノールフォーム断熱材 60mm (垂木間) 屋根 高性能フェノールフォーム断熱材 50mm+50mm (垂木上)
【開口部仕様】	ハイサイドライト: Low-E ペアガラス U=1.37W/(m <sup>2</sup> ・K) 1・2 階: Low-E トリプルガラス U=0.92W/(m <sup>2</sup> ・K)
【設備】	熱源 都市ガス エコジョーズ (暖房用温水+給湯)+ロードヒーティング 配管設備 床下転がし温水配管+埋込温水配管 (ホール・トイレ・風除室) 換気設備 第 3 種換気

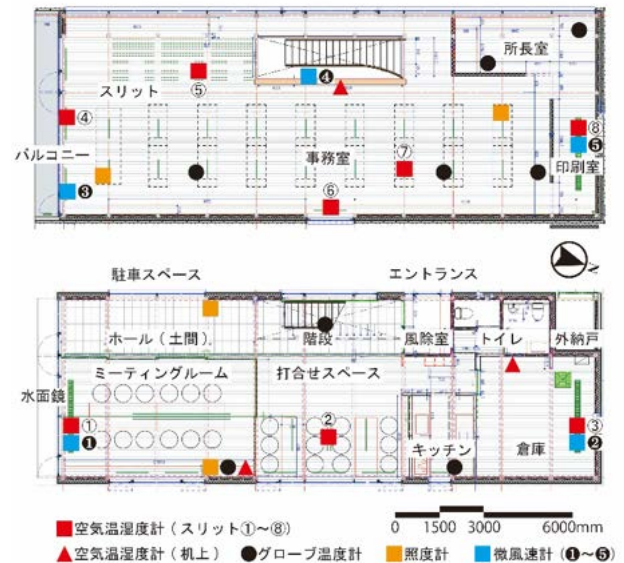


図 1 平面図(上:2 階・下:1 階)と機器配置

せ・休憩スペース、2 階はスタッフの事務室である。2 階北東・南西の角にハイサイドライト、1・2 階南・西面に大開口の Low-E トリプルガラスがある。外壁は軸間と付加断熱 (200mm) で熱貫流率は 0.17W/(m<sup>2</sup>・K) である。暖房設備は、1 階には床下

Indoor Climate and Thermal Comfort in Winter of a Wooden Office with a Hyperbolic Paraboloid Roof

Discussion on Cognitive Temperature and Comfortable Sensation, and Environmental Behaviors of the Staff

NAKATANI Kohei, HIROBAYASHI Taiga, YOKOKI Tatsuo, ENDO Kenichiro, and SAITO Masaya

空間(高さ 220 mm)があり、そのスラブ表面に温水配管をころがして配置し、ホール(土間)・風除室とトイレの床には温水配管を埋込んでいる。1・2階の床面には複数のスリットを設けている。換気は1階倉庫をチャンバーとして外気を自然給気し、床下空間に移動した外気が温められた後、階段・各床面にあるスリットを通して上昇し、室内全体に行きわたるよう計画した。その一部の空気は2階北東・南西角と1階トイレから強制排気し、残りは還気として1階倉庫に戻す計画とした。

### 3. 熱環境実測・アンケート調査の概要

熱環境実測は、竣工後の初冬を迎えた2019年11月26日から2020年2月末日まで空気温湿度計、小型黒球グローブ温度計、照度計を10分間隔で計測した。また、床暖房用の温水の温度や流量レベル、窓の開閉などの記録は、スタッフが変化のあるごとに記録用紙に記入した。

スタッフ(10名)へのアンケート調査は、1回目は冬至後の2019年12月23日(終日)、24日(朝のみ)と、2回目は2020年2月28日(終日)に以下の内容を実施した。それぞれ1日3回を目安に想像温度・寒暑感・快適感・オフィス内で「最も心地良い場所」とその理由などを図2のアンケート用紙に申告してもらった。また、スタッフの動きを確認するため、2階室内全体の画像を1分間隔で撮影し、午前・午後・夕方には室内主要箇所の熱画像も撮影した。さらに、2月28日のみ、図1に示す階段とスリットにて気流速度を2秒間隔で記録した。

### 4. 結果と考察

図3と4は、調査前日からの外気温(敷地そばの札幌気象台)に対する各点の空気温度である。1回目(12/23)の天候は「晴れのち曇り」で、前日から終日氷点下で平均外気温は $-4.3^{\circ}\text{C}$ であった。2回目(2/28)の天候は「曇りのち雪」で、平均外気温は $-2.0^{\circ}\text{C}$ であった。

1、2回目とも1階の平均室温は約 $25^{\circ}\text{C}$ 、2階は約 $23^{\circ}\text{C}$ で1階のほうが $2^{\circ}\text{C}$ 高い。また、最も温度が高いのは①1階ミーティングルーム(以下、1階MTGルーム)の床スリット(床下スラブ面からの高さ880mm)で、次に②1階打合せスペースの床スリット、⑤土間天井スリット(FL2940mm)の順である。これらは、 $25\sim 33^{\circ}\text{C}$ で推移している。以上より、1階床下( $30^{\circ}\text{C}$ 以上)から1階( $25^{\circ}\text{C}$ )を経て2階( $23^{\circ}\text{C}$ )に暖気が上昇していると言える。なお、1・2階の上下温度差は、CFD解析の結果と概ね同じ



図2 使用したアンケート用紙

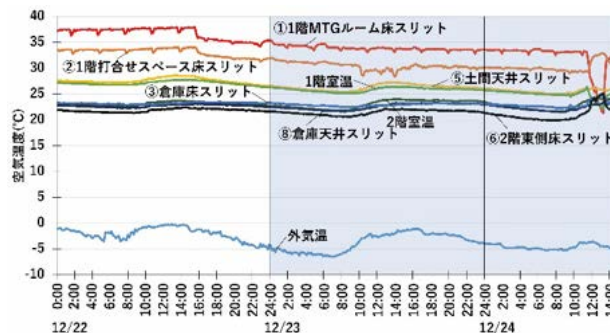


図3 1回目調査時の空気温度(2019/12/22~24)

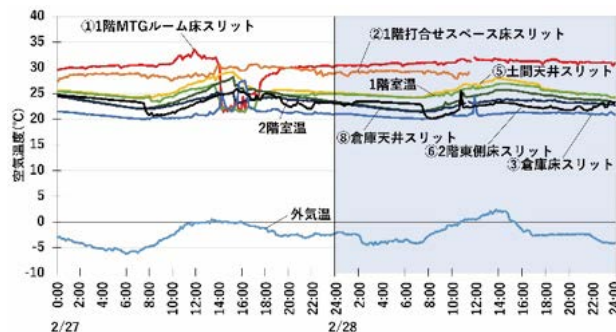


図4 2回目調査時の空気温度(2020/2/27~28)

になった<sup>1)</sup>。一方、1階の③倉庫床スリットと⑧天井スリットの温度は $20\sim 22^{\circ}\text{C}$ で、外気が倉庫の床下に吸い込まれ、天井から還気として戻って



ると考えられる。また、2階の⑥東側床スリットも1階の倉庫床・天井スリットと同様に21~22℃であった。これは、近くの窓からのコールドドラフトの影響と考えられるが、Low-Eトリプルガラスなので20℃以上を維持している。

図5は、1回目調査時(10:35頃)の1階MTGルームと土間床の写真と熱画像である。MTGルームの机下にもスリットがあり、床下空間から31~32℃の空気が上昇して室全体を温めている。その結果、空気温度とグローブ温度ともに約25℃であった。また、MTGルーム西側(写真右側)のホール(土間)と仕切る引違いドアが開いていて、札幌軟石を用いた土間床(表面温度33~34℃)を温源として空気を2階に上昇させている。

図6は、2回目調査時(12:15~13:10)の①~⑤の気流速度である。④階段の平均気流速度は0.08m/s、①1階MTGルーム床スリットと③天井スリットはそれぞれ0.05m/s(補正值)、0.1m/sで、1階の②倉庫床スリットと⑤天井スリットはそれぞれ0.1m/s、0.14m/sであった。当初の計画<sup>1)</sup>では、各スリットの気流速度が0.1~0.4m/sと想定されていたので、予測値と実測値は概ね近いと言える。

図7は、1回目・2回目のアンケート調査の結果である。左上から寒暑感・快適感・乾湿感、左下にいき気流感・明るさ感・環境調整行動の申告割合を示している。

寒暑感は、1回目に「やや寒い」・「涼しい」が計30%ほどあるが、一冬を過ごした2回目は寒冷側の申告が無くなり、「暑くも寒くもない」・「温かい」が85%を超える。快適感は、1回目に「不快」が34%あるが2回目は無い。前述の通り1・2階の室温は1、2回目とも変わらないが、1回目は真冬に入る前で多くのスタッフが寒冷馴化していなかったと考えられる。また、1回目は竣工後2カ月で床スラブなどの躯体が冷えていたと考えられる。図3の1回目の①1階MTGルーム床スリットや②1階打合せスペース床スリットの空気温度は、2回目より4~5℃高い。このことから室内では気流が発生していたと予想される。左下の気流感をみると、1回目に「風を感じる」があるが2回目は無い。2回目は床スラブの躯体温度が高くなり、穏やかな室内気候が形成されたと考えられる。

乾湿感の「乾燥している」は、1、2回目とも室内の相対湿度が20~30%であった影響と考えられる。また明るさ感は、1回目(冬至後)よりも2

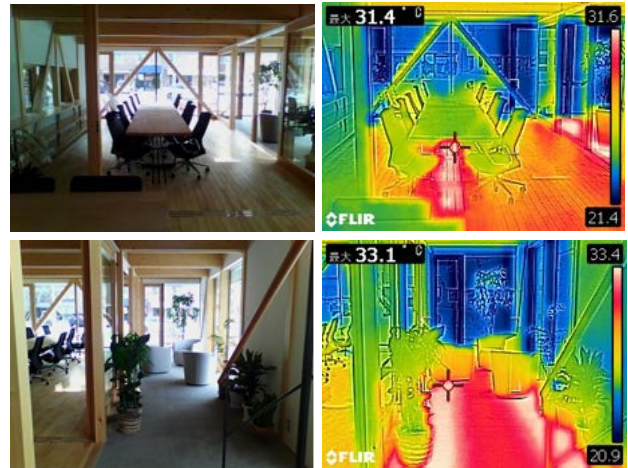


図5 1階床の写真と熱画像(2019/12/23 10:35)

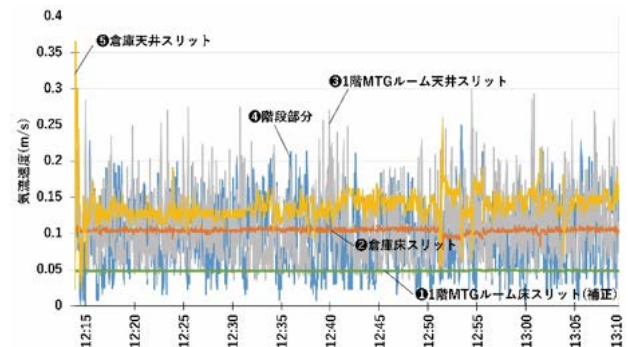


図6 階段・各スリットの気流速度(2020/2/28 12:15~13:10)

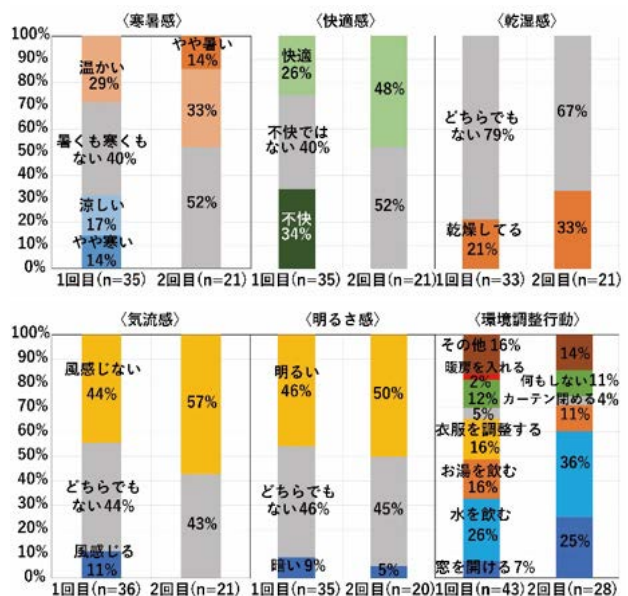


図7 1・2回目アンケート調査の結果

回目(晩冬)の方が「明るい」側に変化している。室内への入射日射と雪面反射光の影響と考えられる。環境調整行動は、1回目で「衣服を調整する」・「暖房を入れる」があるが、2回目は「窓を開ける」・「水を飲む」が増え、その他では「加湿」があったので、室内の一寸した暑さと乾燥に対する

行動と考えられる。

オフィス内で「最も心地良い場所」は、景色や明るさの観点から大きな開口部があり、床面からの温かさが得られる 1 階ホール(土間)が最大で 34% 申告されていた。それに対して、2 階の事務室ではチーム単位で座席が決まっているため、自席とする申告割合は 7% と低かった。一方、他の場所へ移動して「温まりたい」は 45%、「涼みたい」は 11% であった。特に、2 階のハイサイドライトを通して日射が当たる南側の席のスタッフ(3 名)は、「明るい」の他に「温度変化のない日陰の北側に移動したい」の申告があった。

図 8 は、寒暑感ごとの快適感申告である。図 7 でも示した通り、1 回目で「やや寒い」・「涼しい」かつ「不快」とした人が多い。これは前述した寒冷馴化と気流の影響と考えられるが、2 回目では解消されている。スタッフ全員が室内気候の特性を理解して、住みこなし始めたと考えられる。

図 9 は、申告時の室温と外気温に対するスタッフの想像温度の分布である。1、2 回目の実際の温度(以下、実際温度)は 24~25℃ でほとんど差がないが、想像温度の申告幅は 1 回目(19~27℃)よりも 2 回目(21~26℃)の方が短い。これはスタッフがオフィス内に設置されている温度計の示度を時々確認して空間のおおよその温度を把握する能力が養われたと考えられる。例えば、自席の周囲や 1・2 階の温度差などを体感に基づいて把握できるようになったと考えられる。

図 10 は、寒暑感ごとの実際温度と想像温度の分布である。1、2 回目とも寒暑感は「寒い」側から「暑い」側になるにつれて、実際温度と想像温度も上がる。この傾向は、実際温度よりも想像温度のほうが強い。想像温度のほうが実際温度より寒暑感との相関が高いことは既往研究<sup>2), 3)</sup>でも確認されている。また、1 回目に「やや寒い」・「涼しい」申告の想像温度は概ね 20℃ 以上(実際温度 22~23℃)で、冬季の室内気候としては問題ないと考えられる。この時、想像温度が実際温度より 2~3℃ 低いのは、前述の空気の動きの影響と考えられる。また、「暑くも寒くもない」申告時の想像温度幅は他の申告より長く、1、2 回目の実際温度(平均)はそれぞれ 24℃、25℃ なのに対して、想像温

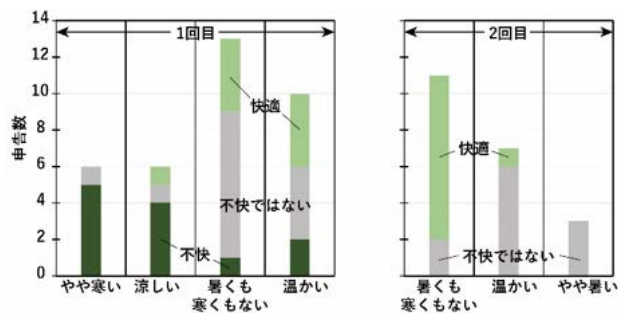


図 8 寒暑感と快適感ごとの申告数

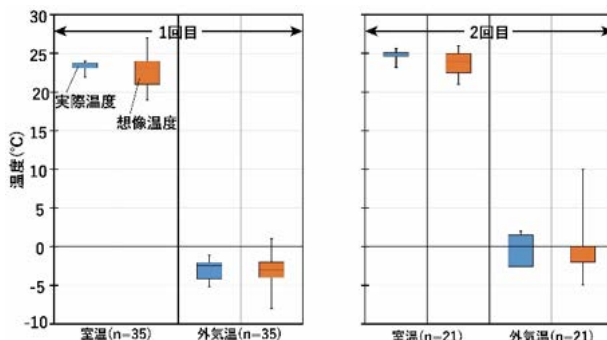


図 9 室温と外気温に対する実際温度と想像温度

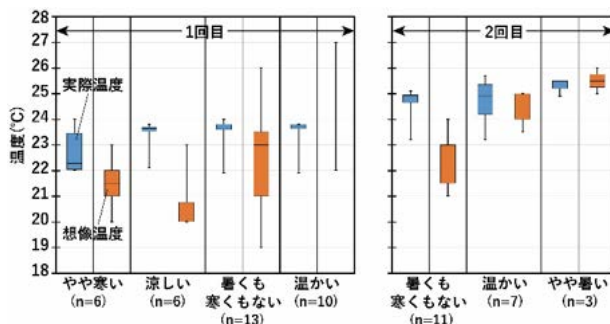


図 10 寒暑感ごとの実際温度と想像温度

度はどちらも 22℃ である。想像温度が実際温度より低い、これは 1 回目の「やや寒い」・「涼しい」想像温度(21.5、20.5℃)よりは 0.5~1.5℃ 高い。冬季の「暑くも寒くもない」と「やや寒い」・「涼しい」の想像温度の境界は 20~22℃ の範囲と言える。

#### 参考文献

- 1) 斉藤雅也、遠藤謙一良、横木達雄：双曲放物屋根をもつ木造オフィスの冬季の室内気候デザイン、日本建築学会北海道支部、pp. 33-36、2019. 6.
- 2) 斉藤雅也、辻原万規彦：ヒトの熱環境適応と想像温度に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 33-36、2017. 9
- 3) 斉藤雅也、辻原万規彦：ヒトの想像温度の形成プロセスに関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 269-272、2018. 9

\*1 札幌市立大学大学院デザイン研究科

\*2 株式会社遠藤建築アトリエ 設計主任・修士(工学)

\*3 株式会社遠藤建築アトリエ 代表・芸術学修士

\*4 札幌市立大学デザイン学部 教授・博士(工学)

\*1 Graduate School, Sapporo City Univ.

\*2 Chief Designer, Endo Architectural Atelier Co., Ltd., M. Eng.

\*3 Representative, Endo Architectural Atelier Co., Ltd., M. Arts.

\*4 Professor, School of Design, Sapporo City Univ., Dr. Eng.