

平成 27 年度低炭素ライフスタイルイノベーションを展開する評価手法構築事業

『涼』を呼ぶパッシブクーリング技術活用等による

ライフスタイルと満足感に関する効果の検証

成果報告書

平成 28 年 3 月

株式会社ミサワホーム総合研究所

本書は、環境省委託事業「平成 27 年度低炭素ライフスタイルイノベーションを展開する評価手法構築事業委託業務（『涼』を呼ぶパッシブクーリング技術活用等によるライフスタイルと満足感に関する効果の検証）報告書である。

目次

要旨

Summary

1. 業務の概要

- 1.1 背景及び目的 1-1-1
- 1.2 対象住宅地の立地・気候特性 1-2-1
- 1.3 対象住宅地の概要 1-3-1
- 1.4 対象住宅地に導入したパッシブクーリング技術 1-4-1

2. 検討方針等の整理

- 2.1 本業務で取り扱うNEBの概要 2-1-1
- 2.2 パッシブクーリング技術の導入・利用によるNEBの体系的整理 . . . 2-2-1
- 2.3 NEB評価指標の改良，追加に向けた検討方針の整理 2-3-1

3. 現地調査等の実施結果

- 3.1 屋内外の温熱環境調査，温冷感申告アンケート調査の実施 3-1-1
- 3.2 入居者アンケート調査の実施 3-2-1
- 3.3 エネルギー消費量計測の実施 3-3-1
- 3.4 NEB評価指標の試験的活用のための温熱環境の計測
及びエネルギー消費量・散水量の計測 3-4-1

4. NEB評価指標及び評価方法の妥当性の検証

- 4.1 NEB評価指標，評価方法の改良，追加 4-1-1
- 4.2 NEB評価指標の評価手法及び評価結果の妥当性検証 4-2-1
- 4.3 NEBの効果と前提条件との関係性等の検討 4-3-1
- 4.4 NEB評価指標の試験的活用による妥当性検証 4-4-1
- 4.5 NEB評価指標の今後の改良の方向性等 4-5-1

5. 二酸化炭素排出削減効果の定量的評価

- 5.1 数値解析による二酸化炭素排出削減効果の試算方法 5-1-1
- 5.2 数値解析による二酸化炭素排出削減効果の試算結果 5-2-1

6. 取組の普及検討

- 6.1 パッシブクーリング技術の普及に向けたロードマップ 6-1-1
- 6.2 HEMS等によるパッシブクーリング技術の利用促進・事後評価
手法に関する課題の整理 6-2-1
- 6.3 涼風形成度評価指標と評価手法 6-3-1
- 6.4 熱的快適性向上に関するNEB評価指標と評価手法 6-4-1
- 6.5 地域特性を踏まえた気象データに基づくNEBの発現可能性等
の予測方法 6-5-1

7. 結論・まとめ

- 7.1 構築したNEB評価指標及び評価手法について 7-1-1
- 7.2 まとめ 7-2-1

【資料編】

【要旨】

地球温暖化やヒートアイランドの深刻化に伴い、エネルギーに頼らないパッシブな手法を用いて街区全体をクーリングすることは、省エネルギーの推進と豊かな生活空間の創出などに効果が期待される。パッシブクーリング技術は、居住者・事業者・社会全般を含むステークホルダーに対して EB（エナジーベネフィット）と NEB（ノンエナジーベネフィット）をもたらすと考えられるものの、それらを定量的に評価した事例は少ない。また、評価をするための指標も限られることが、これまで普及に至らなかった要因の一つと考えられる。

本事業では、“「涼」を呼ぶまちづくり”をテーマとした住宅街区において、パッシブクーリング技術の導入による熱環境改善効果を明らかにすると共に、導入技術がライフスタイルの変化に及ぼす効果について検証し、今後同様の街区を開発する際に活用可能な指標としてまとめた。

パッシブクーリング技術の具体的評価を行うにあたっては、埼玉県熊谷市で開発中の住宅地を対象とし、屋内外の温熱環境調査、アンケート調査、エネルギー消費量計測を行った。また、各宅地に設計したパッシブクーリング部材の冷却性能を評価する指標として、「気温低下量（℃）」、「気温の乱れ（－）」をそれぞれ検討し、部材の冷却性能を定量的に表現すると共に、冷却性能の評価指標としての有用性も示すことができた。

被験者による温冷感申告と被験者近傍温度の測定結果からは、窓開閉条件やパッシブクーリング部材による快適温度の変化を評価した。その結果、窓を閉めた状態では温冷感中立（TSV=4）となる室温が6月では27.3℃であるのに対し、窓を開けると28.5℃まで上昇し、さらにパッシブクーリング部材に散水することで29.3℃まで上昇することを明らかにした。自然な気流や間歇的冷気を体感することで、室温が高くても温冷感中立を保つことを意味しており、夏季の冷房時間で見たとき窓を閉じた場合と比較して52%削減できる可能性を明らかにした。さらに、本事業において設計・施工したパッシブクーリング部材は、従来よりも冷涼な空間を屋外に創り出すことで、屋外で過ごせる時間を延ばし、結果として冷房時間を6.9%さらに短縮することにつながることを明らかにした。

各住宅には外気温と室温をセンシングしながらエアコンの運転停止と窓開閉を同時制御する涼風制御システムが導入されており、パッシブクーリング部材で創り出された冷涼な空気を有効に室内に取り入れることを可能にしている。街区で導入したパッシブクーリング技術は水の蒸発を利用した冷却手法であり、冷房電力を削減する一方で水道水を使用するが、トータルとしてCO₂排出を削減する効果があることを明らかにした。また、散水の有無による夏季の省エネルギー（省CO₂）効果についても27%と見積もることができた。

アンケート調査では、パッシブクーリング技術の利用頻度が高い居住者ほど住宅地の総合的満足度も高いことを明らかにした。

開発したパッシブクーリング技術と指標は、“夕涼み”という昔ながらのライフスタイルを現代の生活に呼び起こすきっかけとなることが期待できる。

【Abstract】

As the global warming and heat-island effect become increasingly more serious than ever, cooling the district with the so-called passive cooling methods may become all the more imperative to reduce energy consumption and to produce wealthy living space. Although passive cooling technologies may provide energy benefit and non-energy benefit to the stakeholders such as residents, business parties or the public at large, there have been few cases that have adopted and evaluated passive cooling methods for district planning. Furthermore, limited index for evaluating cooling potential is considered to be the impediment toward the spread of passive cooling technologies.

Thermal effects of the passive cooling technologies as well as changes in lifestyle have been evaluated in a housing district that has been designed with a theme of “cool town”. Several indices were also considered during the evaluation so that towns that will be designed in the future may make use of them.

Thermal environment and energy consumption were measured at an ongoing housing district in Kumagaya city, Saitama prefecture. Questionnaire surveys were also conducted to evaluate the newly developed passive cooling methods. Temperature Reduction and Temperature Turbulence are also considered to evaluate the cooling-effect of the passive cooling devices. The results clarified the cooling effect of the devices and the usefulness of the indices. Changes in the comfort temperature depending on window opening and passive cooling condition are investigated by Thermal Sensation Votes and thermal conditions around the research subject. According to the result, the thermal neutral (TSV=4) appears at 27.3 degrees C room temperature while the neutral temperature rises to 28.5 degrees C when the windows were open. The neutral temperature rises to 29.3 degrees C when the passive cooling devices were watered by running water. The result implies that natural air movement and intermittent cool air volume may raise the thermal neutral temperature even though the average temperature of the room may not change. Cooling hour in summer is calculated to be 52% less than ever before. Cool spot around the house may lengthen outdoor living time. As a result, cooling load of a house may be reduced up to 6.9%.

Each house has a system that controls window opening and air-conditioner by utilizing the outdoor and indoor temperature sensor. Measurement on a typical summer day shows energy and carbon dioxide (CO₂) reduction. CO₂ reduction due to less

air-conditioning load in summer is calculated to be 27% including the CO₂ emission by consuming tap water. The questionnaire surveys indicate that residents who more likely to use passive cooling devices are more likely to be satisfied with the district as a whole. Newly developed passive cooling devices and indices may remind conventional “yuusuzumi”, a traditional evening cool off, as a modern lifestyle.

第 1 章 業務の概要

1. 1.1. 背景及び目的

2015 年 12 月にフランス・パリで開催された国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議（COP21）では、京都議定書に代わる温室効果ガス削減のための新たな国際枠組みとして、パリ協定が採択され、世界の平均気温上昇を 2℃未満に抑えることが世界の共通目標となった。我が国においても 2020 年以降の温室効果ガス削減に向けた約束草案の中で国内の排出削減・吸収量の確保により、2030 年度に 2013 年度比－26.0%（2005 年度比－25.4%）の水準の温室効果ガス排出量とすることを掲げている。この中でも家庭部門は 2013 年度比で約 39%の大幅な削減が求められており、あらゆる施策の動員が必要とされる状況にある。

近年では、住宅の省エネルギー基準の改正、家電機器を中心としたトップランナー基準の導入など、住宅や設備機器の性能向上が図られてきたが、居住者が求める快適性や利便性のレベルがさらに高まり、結果として大幅な排出量増加を抑えることができなかった。今後も更なる製品性能向上を官民挙げて取り組んでゆくことになるが、これまでとは異なるアプローチによる温室効果ガス排出抑制策が求められる。

住宅の省エネ化、ネットゼロエネルギーハウス（ZEH）化が求められる一方で、省エネ化は必ずしも居住性能の向上には寄与しない場合もある。そのため、省エネ性と居住性能の双方を評価していくことが重要である。また省エネによる直接的便益（Energy Benefit, 以下 EB）だけではなく、省エネによる間接的便益（Non-Energy Benefit, 以下 NEB）の評価が高い技術を積極的に導入することによって、住宅の省エネ化とともに、快適性や満足感の向上へとつながることが期待される。

このうち住宅における屋内外の夏季温熱環境に着目すると、住宅性能の向上と空調機器の発達により、屋内の熱環境は改善している。しかし屋外においては、地球温暖化とヒートアイランド化現象が深刻化し、耐え難いほど暑くなる日が増加している。屋外熱環境の悪化は空調エネルギー使用量を増加させるばかりでなく、屋内においては冷房による不快感や冷房病などの健康問題、また冷房弱者^{（注 1）}など冷房を使用しない者の熱中症発生率を増加させる要因となっている。また冷房使用者においても、屋外に全く出ない生活を送ることは不可能であり、内外温度差が身体に負担を掛けることは否めない。

一方、居住者の生活行動を見ると、屋内の居住性を補完する空間として住宅の外部空間を利用する例が見られる^{1-2~1-4)}。屋外を利用する要因としては気分転換・気晴らし・ストレス解消などが見られ、人と生理心理的な欲求として、室内とは異なる刺激を求めて屋外に出るものと考えられる。また屋外空間の利用状況としては、夏季に最も多くなる傾向が広川らの調査で明らかにされているが¹⁻³⁾、各季節や時間帯により異なる日当たりや風の状態によって選択的に滞在場所を変えており、人の屋外滞在欲求を満たすためには、屋外の熱

的快適性が保たれる空間の形成が重要であることを指摘している。このような人の選択的行動は、住宅地を対象とした調査事例は少ないが、例えば商業施設¹⁻⁵⁾やアトリウム¹⁻⁶⁾などの半屋外空間を対象とした調査において同様の結果が得られている。

近年では、地域・気候特性を踏まえながら自然のポテンシャルをうまく活用しようとするパッシブクーリング技術が注目されており、その 1 つとして打ち水やミストに代表される水の蒸発冷却効果を利用したクーリング技術を用いて屋内外の暑熱環境を緩和する試みがみられるようになった。このような夏季における水の蒸発冷却を利用したパッシブクーリング技術は、ミストや保水性舗装、壁体のもの等様々な種類のものがみられるが、設置空間や利用（散水）方法によって異なる冷却効果や、その効果を享受することによって得られる快適感や満足感に関する評価方法が確立されておらず、省エネルギー効果や NEB について十分にとりまとめられていない。

以上を踏まえ本業務では、暑さが顕著となる中間期から夏季にかけて、熱的快適性が維持される条件でエアコンの使用時間を削減し、屋外（住空間の一部として主に半屋外）の滞在可能時間が増加することが居住者の住まいに対する総合的満足感を高めることを示し、その評価指標を提案してゆく。

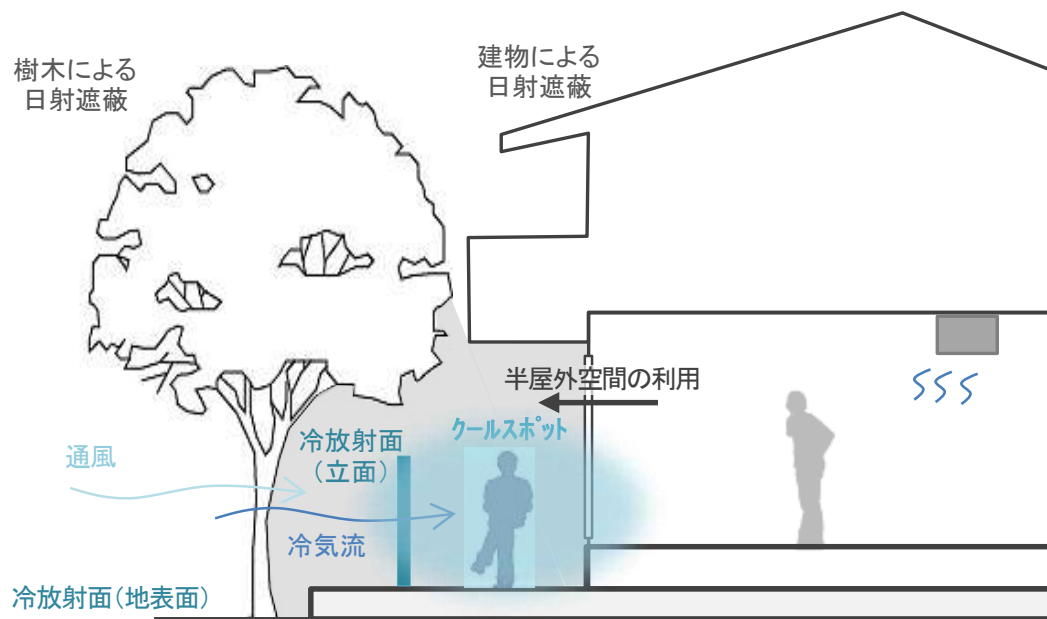


図 1-1-1 熱的快適性が向上した住宅の半屋外空間の概念

注 1) 冷房弱者とは冷房が効いた環境において体調不良などになった経験をもち冷房に苦手意識を持つ人、寒すぎても家族や他人を気遣い我慢してしまう人などを指す¹⁻¹⁾。

2. 1.2. 対象住宅地の立地・気候特性

対象地は埼玉県熊谷市に位置し、H26.4～H28.3にかけて開発中の総面積 18596.5m² の住宅団地である。対象地の敷地概要を表 1-2-1 に示す。平均宅地面積は 180m² である。

対象地が位置する熊谷市は図 1-2-1 に示す通り、秩父山脈から降りてくる風のフェーン現象と夏季主風向である南東の風による市街地の熱気により日本一暑い町として知られる。一方、図 1-2-2 の東側には畑地が広がる様子が見られるように、対象地は利根川と荒川に挟まれた沖積平野上にある。周囲には畑が広がることから、夜間には最低気温が都心部よりも低くなる特徴がある。その他の主な特徴を下記にまとめる。

また対象地が位置する熊谷市の年間の気象データ¹⁻⁷⁾を図 1-2-3～図 1-2-6 に、8 月の気温、相対湿度の日変化を図 1-2-7 に示す。

- 気温………6 月から 9 月の平均最高気温は 25℃を超え、夏季日中の気温上昇が厳しい。一方、最低気温は 8 月においても 23℃程度と東京より低い。広域的に見れば熊谷周辺は畑が多く残る平野であり、夜間の放射冷却の影響で気温が低下する。年間を通しての寒暖の差は大きく、冬季には気温が氷点下まで下がる。
- 相対湿度……夏季の平均相対湿度は 75%と高い。ただし日中の相対湿度は気温の上昇とともに低下し、50%を下回るような日も多く見られる。
- 風速………夏季の平均風速は 2m/s 程度である。冬季は北西の季節風（赤城おろし）が吹き込む影響で夏季より風速が大きく、平均風速は 3m/s 程度となる。
- 日照時間……6 月～9 月にかけて日照時間は 150 時間前後であるが、12 月、1 月は 200 時間を超える。
- 降水量………9 月に最も多く、200mm/月を超える。また夏季 6～9 月の平均降水量は 180mm/月程度あり、雨水の活用が期待できる（1286mm/年）。

表 1-2-1 土地利用別面積

土地利用	面積 (m ²)	比率 (%)
宅地	13,065	70
道路	3,869	21
公園	1,663	9



図 1-2-1 対象地の立地（関東広域）



図 1-2-2 対象地とその周辺環境

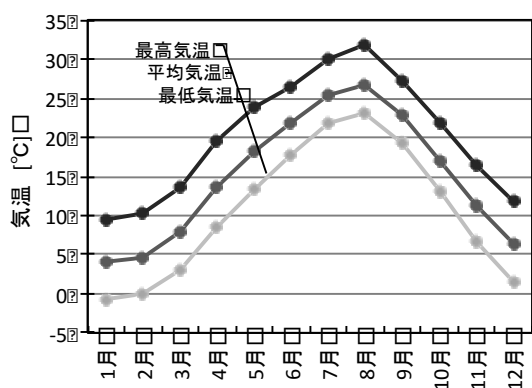


図 1-2-3 熊谷市 気温の年変化

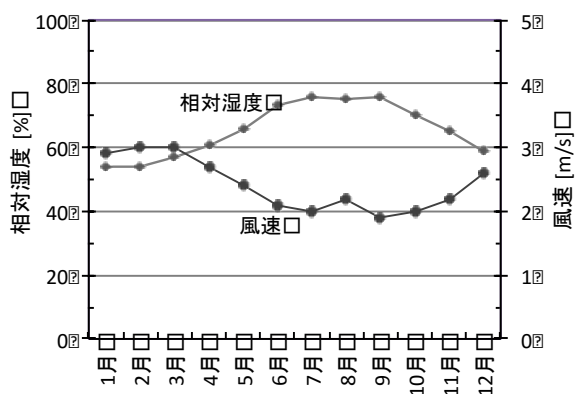


図 1-2-4 熊谷市平均風速と相対湿度の年変化

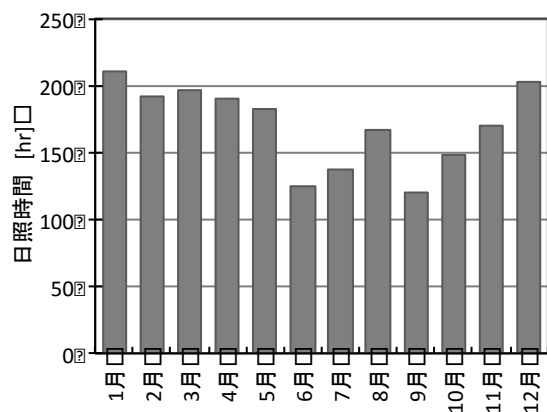


図 1-2-5 熊谷市 日照時間の年変化

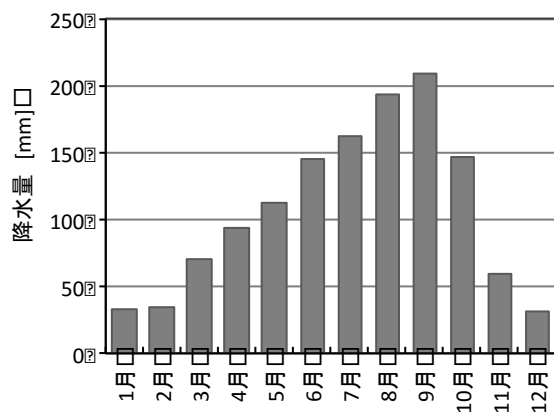


図 1-2-6 熊谷市 降水量の年変化

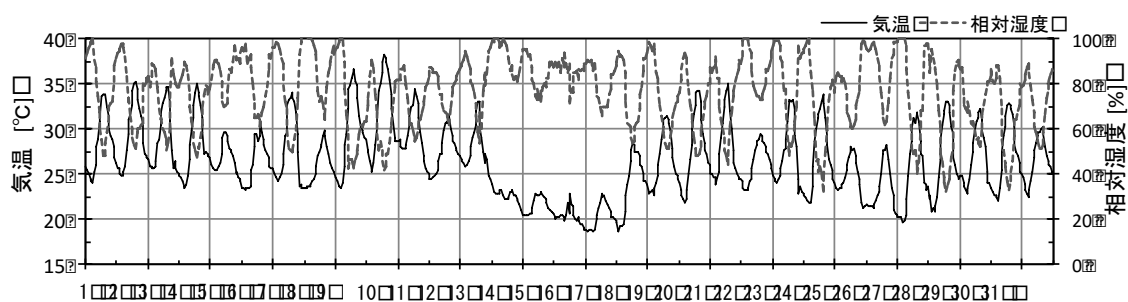


図 1-2-7 熊谷標準年 8 月の気温および相対湿度の日変化（1 時間あたり）

3. 1.3. 対象住宅地の概要

1. (1) まちのコンセプトと主な仕様

対象地は夏の暑さが厳しい熊谷市において住環境の熱環境を改善するため、各住宅地と街区が隣接する公園において、樹木や建物による日射遮蔽、植栽や水場、散水システム等、パッシブクーリング技術の導入および設計により「涼を呼ぶまちづくり」をコンセプトに計画された住宅地である。

計画地の風は、夏季は東よりの風が卓越することから、街区の東側に設けた公園により市街地等で温められた風を緩衝し、熱を和らげることが意図されている。また街区内の道路は東風の流れを妨げないように公園から放射状に配置し、街区内の風の通り抜けを良くするとともに、居住者が公園に集いやすい動線を確保している（図 1-3-1）。

当住宅団地では外構ルールとして「いえ・まちづくりガイドライン」を制定し、外構部材の設定や植栽量、パッシブクーリング技術の導入などについて一定のルールを設けている。したがって街区内の全住宅がパッシブクーリング技術を導入することにより、住宅地間の相乗効果によって、街区全体の熱環境が改善することを狙いとしている。

また住宅の外部空間に加え、住宅は ZEH（ネットゼロエネルギーハウス）を実現する仕様・設備と建築のパッシブクーリング技術（例えば 2 方向開口・温度差換気を考慮した開口部の設計等）を併せて、住宅内部の熱的快適性の向上と住宅の冷房負荷の削減を図る取組みも行われている。さらに導入したパッシブクーリング技術について居住者の利用・活用を促す取組みとして、街区内生活空間に「まちの气象台」を設け、街区内のリアルタイムの気象情報を提供すると共に、打ち水アドバイスや窓開けアドバイスなどを行っていることを特徴とする。

■ 街なみ・外構計画

- ・カーポート下に浸透トレンチを設置し地域の水循環に積極的に配慮。全戸雨水貯留タンクを設置。
- ・各宅地の外構面積に対する緑被率を 105%（10 棟平均）確保。（CASBEE 戸建て一新築の算定）

■ 建築計画（プラン、設備）

○ZEH（ネットゼロエネルギーハウス）実現のための代表的な設備・仕様

- ・品確法等級 4 をクリアする断熱構造
- ・第一種熱交換換気システム
- ・樹脂サッシ Low-e ペアガラス（熱貫流率 $1.71\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
- ・太陽光パネルと燃料電池のダブル発電

- ・全室 LED+リビング調光器, 高効率エアコン
- ・HEMS による電気, ガス, 水道の見える化
- ・PHV, EV 充電コンセント

■ 住宅のパッシブクーリング技術

- ・涼風制御システム (エアコン, シーリングファン, トップライトを連動制御するシステム。
建築的工夫として欄間付内部建具を設置)
熱気を抜きながら自然の風を取り込み, エアコンを補助的に運転させることでエアコンの運転時間を低減させる微気候補助機能。
- ・HEMS は涼風制御システムの機能を有し, 関連機器 (トップライト, シーリングファン) の稼働状況や温熱環境について見える化。さらに街全体のエネルギー使用量や街区内で測定した温湿度についても見える化。

■ 取り組み内容の維持について

- ・地区計画およびまち・いえづくりガイドラインを制定し包括的, 継続的に維持できるよう計画。



図 1-3-1 対象住宅地と隣接する公園・集会所

4.1.4. 対象住宅地に導入したパッシブクーリング技術

5.1.4.1. 対象住宅地の概要

本事業で主に対象とする住宅地の一例を、図 1-4-1 に示す。敷地面積は 186m²、建築面積 68m²（建ぺい率 36%）、延床面積 119m²（容積率 64%）となっている。また、外構部分の各用途の面積比率は表 1-4-1 に示す通りである。

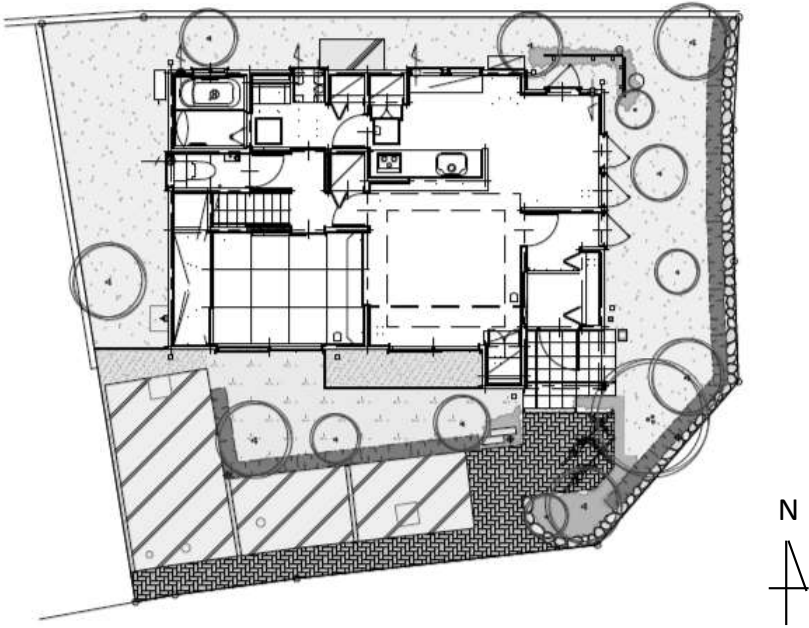


図 1-4-1 対象住宅地における外構平面図例

表 1-4-1 用途別面積比率（水平面）

用途	面積 [m ²]	比率[%]
主庭	10.5	8.9
門柱まわり等	3.6	3.1
生垣	6.6	5.6
アプローチ	12.2	10.3
駐車場	19.5	16.5
その他	65.6	55.6
外構面積合計	118.0	100

6.1.4.2. パッシブクーリング技術の選定・外構設計における考え方

日本国内の研究事例から、日射遮蔽物等の障害物がない水平面における水面や湿潤な土壌、草地、保水性舗装などからの夏季晴天日の蒸発散量は、 $5\sim 6\text{kg/m}^2$ になると考えられる。この蒸発散量に対し、水の潜熱量を 2.5MJ/kg とした場合の熱量は約 $12\sim 15\text{MJ/m}^2$ となる。

しかし熊谷の夏季晴天日の平均的な水平面全天日射量は約 26MJ/m^2 であり、直達成分だけを考えても約 20MJ/m^2 となる。つまり、水平面だけの熱収支を考えれば、日射を受けている面ではどれだけ保水性舗装や芝生を導入しても熱収支はプラスのままなのである。そこで周囲より熱収支としてマイナスにするためには、対象空間において水平面だけでなく立体的に、もしくは複層的にパッシブクーリング技術を導入していく必要があると言える。

空間設計に当たって滞在者や歩行者の熱的快適性を考えた場合には、滞在・歩行空間に重点的にパッシブクーリング技術を導入していくべきである。しかし夏季熱環境以外の視点、例えば冬季の日射取得やまちなみ、使い勝手などと合わせて住宅の外構において導入しやすいところにも積極的にパッシブクーリング技術の導入を図ることは、自身の住環境にとっても、また近隣の住環境にとってもプラスに働き、地域で取り組むことによる相乗効果が得られると考えられる。そこでパッシブクーリング技術の導入量の1つの設計目標値として、まずは各宅地内の外構面積に対する熱収支をマイナスにするという考え方が挙げられる。

以上を踏まえ、本事業ではパッシブクーリング技術の導入量の設計目標値として夏季晴天日に外構面積に入射する日射量（直達成分）相当の蒸発潜熱ポテンシャル量を掲げ、外構造園計画を行った。ここで、既往研究から推定される各パッシブクーリング技術の蒸発散ポテンシャル（最大蒸発散推定量）を表 1-4-2 の通り整理した。いずれも日射遮蔽物がない環境下における夏季晴天日において、朝に一回十分に散水（飽和含水率程度まで散水）した場合の水平投影面積（生垣、クールルーパーは垂直投影面積）あたりの蒸発散量である。

蒸発冷却性能は表面の濡れ性状に規定されるが、保水性を有する部材を用いることは水の効率的利用、特に自然降雨の利用率を高める上で重要である。屋根面の雨水は雨樋から雨水タンクに貯水できるが、地表面に降った雨水は地面で保水することが肝要である。そこで、保水性のある建材および自然被覆の割合を高めることによって対象地の蒸発量に占める雨水の割合を高めることを目指して計画を行った。

上記考え方にに基づき、住宅地への導入を検討した各種パッシブクーリング技術の特徴および蒸発性能について次項に示す。

表 1-4-2 様々なパッシブクーリング技術からの蒸発散ポテンシャル

パッシブクーリング技術	日中の蒸発散量 kg/ (m ² ・h)	蒸発散量 kg/ (m ² ・日)	参考文献
保水性舗装	0.6	5～6	赤川ら 1-8)
保水性インターロッキング	0.6	5～6	円井ら 1-9)
土壌	0.6	5～6	近藤 1-10)
芝生	0.6	5～6	近藤 1-10)
樹木 (樹高約 5m)	0.1～0.2	1～2	浅輪ら 1-11), 社内実測データ
生垣 (樹高約 1.2m)	0.3	2.5	社内実測データ
クールルーパー	1.2	9.8	社内実測データ

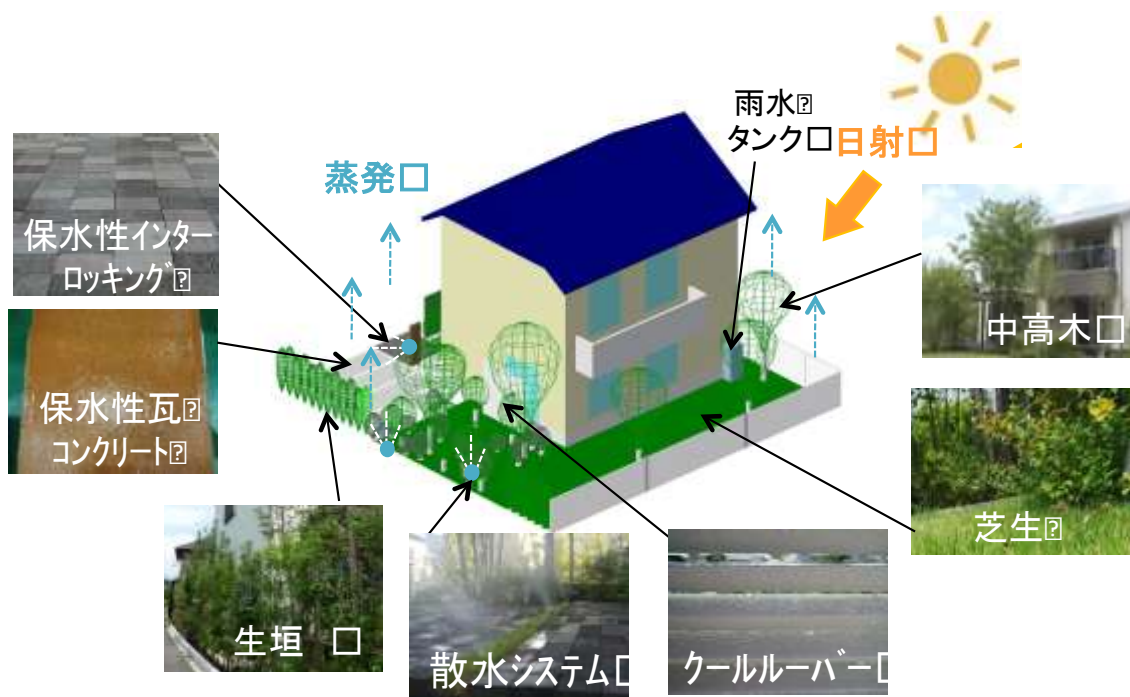


図 1-4-2 住宅外部空間と各空間に導入可能なパッシブクーリング技術

7.1.4.3. 舗装面、地面のパッシブクーリングアイテム

① 瓦骨材利用保水性舗装

住宅の外部空間は、各用途から、主に主庭、アプローチ、駐車場、植栽、その他に分けられる。今回の対象地のように郊外型の住宅地では駐車場は基本 2 台分あり、25～30m²を占める（図 1-4-1 の住宅は駐車場前の部分をアプローチに算入しているため見かけ上少ない）。駐車場の計画においては車の積載荷重の他に、緑化する場合には予想される日照時間に合った種を選ぶ必要がある。しかし対象住宅のような建売分譲住宅では居住者のライフスタイルが不明であり、数日間車を動かさない場合もあり得る。したがって本住宅地では、駐車場に植栽を用いず、粉碎したリサイクル瓦を 3 割程度骨材として混練した保水性を有するコンクリート舗装を選定した。対象地で用いた厚み 10cm 断面の保水量は 8.8～15.0kg/m²となる。色については、滞在空間とは見なされない駐車場では日射反射率が高い淡色系の方が好ましいことから、顔料を加えることはせず、瓦本来の色が淡く現れる仕上がりとした。

表 1-4-3 土地保水量・吸水量試験値

保水量（メーカー公表値）... 試験体厚み 2cm

試験項目	試験方法	測定結果
保水量	浸漬 24 時間	0.15～0.20 g/cm ³

吸水量・吸水高さ（自社測定値）... 試験体厚み 10cm, 当計画地仕様断面

試験項目	試験方法	測定結果
保水量	浸漬 24 時間	0.088 g/cm ³
吸水量	下方 5mm	0.053 g/cm ³
吸水高さ	30 分間浸水	8 cm

※社団法人インターロッキングブロック舗装技術協会が定めた品質規格に準拠

■表面散水時の様子



散水直後



散水後，吸水された後の表面

図 1-4-3 瓦骨材利用保水性舗装の表面濡れの様子

■断面

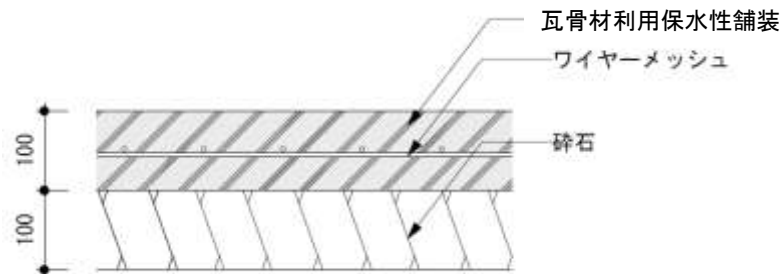


図 1-4-4 断面仕様

② 保水性インターロッキング

アプローチ部分に使用した保水性インターロッキングについては、日本インターロッキング協会により保水量と吸上げ高さの規定を満たすものを選定した。日中、水は表層部分から蒸発し表層ほど乾きやすくなるため、蒸発冷却効果を保つためには内部の水を表層まで吸い上げられやすいことが重要である。このため使用するインターロッキングの選定にあたっては、吸上げ高さが 70%以上であることを基準とし、実際に底辺から水を吸上げる様子を確認した上で決定した。その他、舗装ブロックの一般的な性能としてすべり抵抗や透水係数などを踏まえて選定した保水性インターロッキングの仕様を図 1-4-5 と表 1-4-4 に示す。当計画地で用いる厚み 6cm の断面の保水量は、約 16kg/m^2 となる。

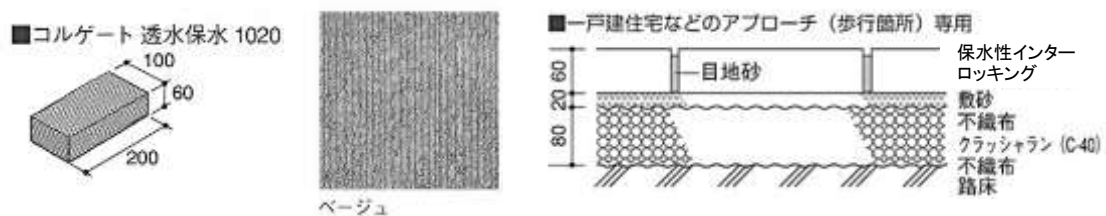


図 1-4-5 保水性インターロッキング仕様，規格サイズ，断面

表 1-4-4 保水性インターロッキングの基本性能（メーカー公表値）

曲げ強度	4.16 (MPa)
保水量	0.16 (g/cm ³)
吸上げ高さ	71.5%
透水係数	2.0×10 ⁻² 以上
すべり抵抗値	75 (BPN) 以上
環境安全性（溶出試験）	有害金属の溶出無し
ブロック密度	2.17 (g/cm ³)
ブロックサイズ	200×100×60 (mm)
1 ブロックの重さ	2.37 (kg)

③ 芝生，グラウンドカバー

主庭およびその他地表面においては，芝生などの草木や地被類もしくは土壌とすることが望ましいことから，主庭は全面芝生とし，門柱の足元などに対してもグラウンドカバーで覆った。一方，軒下は雨が当たらないことと，隣棟間が近い東西面や北面では日照が不足することから，これらの面に対しては防犯性も考慮して碎石とした。

8.1.4.4. 立面のパッシブクーリングアイテム

水平面だけでは不足する蒸発潜熱量を確保することと、滞在者の体感温度に作用する空間を形成するため、自社で開発したクールルーバーを導入した。滞在者の快適性を考慮して着座時に顔の高さまで冷却面がくるように、高さ GL+1.8m を基本とした。

クールルーバーは親水性・吸水性を高めた表面塗膜により部材の 4 面全てが濡れ、蒸発冷却面となる特徴を有する（図 1-4-6）。このため鉛直見付け面積あたりの蒸発面積は約 $3.5\text{m}^2/\text{m}^2$ であり、夏季晴天日の蒸発量は鉛直見付け面積あたり約 $9.4\text{kg}/\text{m}^2$ となる。

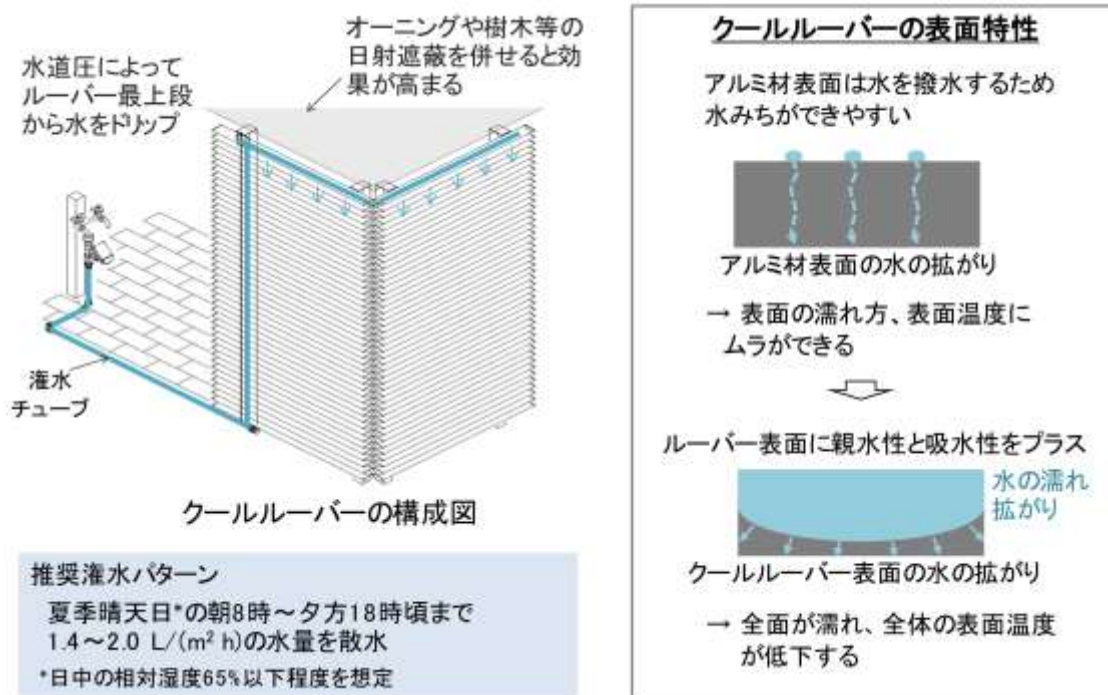


図 1-4-6 クールルーバーの構成と特徴

9.1.4.5. 植栽・保水性舗装用散水システム

①水ミスト，ドリップチューブ

パッシブクーリングアイテムの冷却機能を十分に発揮するため，散水補助システムを導入した。散水にかかる居住者の労力と時間の節約と節水を兼ねて，必要箇所に散水システムを配管し半自動タイマーを設置した。散水システムは①植栽・保水性舗装用の経路と②クールルーバー用の経路の2つに分けて設置した。これらを専用の立水栓（2口立水栓）に接続することで，1か所でそれぞれ設定時間を調整することができるようになっている。

植栽・保水性舗装用の散水システムは主庭から裏庭まで埋設したφ16mmポリチューブから任意の箇所で分岐させ，植栽には図1-4-7aを，保水性舗装には図1-4-7bを接続した。またクールルーバーの最上段には図1-4-7cのドリップチューブを格納した。



a. 植栽用ミスト



b. 舗装用ミスト



■仕様
外径:6mm 内径:4mm 直線延長距離:最大6m(1本当り)
吐出量:1.9ℓ/時(エミッター一個当たり105kpa)
取付本数:16mmポリチューブに接続する場合、
6mmソーカードリップライン6mを10本(並列)まで (条件 勾配20%)
材質:ポリエチレン樹脂

c. ドリップチューブ

図 1-4-7 散水システム

②灌水タイマー

居住者のライフスタイルや気象条件，土壌や保水性舗装の濡れ具合に応じて，居住者の判断で散水時間を調節できるよう半自動の灌水タイマーを設置した。

灌水タイマーは始動時は手動であるが，キッチンタイマーのように時間を設定し，任意の時間でOFFになる。



図 1-4-8 灌水タイマー

参考文献

- 1-1) ダイキン工業 2012：第 18 回現代人の空気感調査「夏場のエアコン利用と健康管理」
- 1-2) 広川美子：夏季の室内環境の居住性が戸外での生活行動に与える影響について－室内の居住性を補完する住棟周辺外部空間の居住機能 その 1－，日本建築学会計画系論文報告集, No.356, pp.13-22, 1985.10
- 1-3) 広川美子：非拘束時の戸外出現行動－室内の居住性を補完する住棟周辺外部空間の居住機能 その 2－，日本建築学会計画系論文報告集, No.365, pp.19-29, 1986.7
- 1-4) 広川美子：住棟周辺外部空間の熱環境と居住性－室内の居住性を補完する住棟周辺外部空間の居住機能 その 4－，日本建築学会計画系論文報告集, No.409, pp.11-21, 1990.3
- 1-5) 赤川宏幸, 福味克幸, 久保田孝幸, 竹林英樹, 森山正和：大規模商業施設屋上庭園における夏季の温熱環境と訪問者の滞留特性に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.611, pp.67-74, 2007.1
- 1-6) 中野淳太, 田辺新一：半屋外環境の熱的快適性に関する考察－温熱環境適応研究の日本における温熱環境計画への応用とその課題－，日本建築学会環境系論文集, No.701, pp.597-606, 2014.7
- 1-7) 拡張アメダス気象データ 1981-2000, 社団法人日本建築学会, 鹿児島 TLO, 2005.8
- 1-8) 赤川宏幸, 小宮英孝：表面を連続的に湿潤できる舗装体に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集, No.530, pp.79-85, 2000.4
- 1-9) 円井基史, 梅干野晃, 浅輪貴史, 板津佳恵：蒸発冷却舗装システムの基本性能に関する夏季屋外実験 都市熱環境改善に向けた蒸発冷却舗装システムとその予測評価手法の開発 その 1, 日本建築学会環境系論文集, No.600, pp.51-58, 2006.2
- 1-10) 近藤純正：水環境の気象学, 地表面の水収支・熱収支, pp.194-195, 1994
- 1-11) 浅輪貴史, 梅干野晃, 清水克哉, 久保田光政：大型重量計を用いた夏季におけるケヤキ単木の蒸散特性の分析, 日本緑化工学会誌, No.39 Vol.4, pp.534-541, 2014.5

第 2 章 検討方針等の整理

10. 2.1. 本業務で取り扱う NEB の概要

本業務は、居住生活におけるエネルギー消費量を削減しつつも、快適性との両立により豊かな暮らしを実現するライフスタイルへと転換していくために、戸建住宅地においてパッシブクーリング技術を活用することによる居住者の熱的快適性の改善を評価する指標（以下、熱的快適性指標（NEB 評価指標①））を提案する。そしてその結果として得られる、居住者の熱的満足感を評価する指標（以下、熱的満足感指標（NEB 評価指標②））を構築するものである。

本業務では熱的快適性指標および熱的満足感指標において高い評価が得られるパッシブクーリング技術によって形成される空間の質を評価する手法として、気温などの物理的な指標や、標準新有効温度（Standard Effective New Temperature, SET*）などの体感温度による従来の指標に加え、パッシブクーリング技術の導入・利用により形成される微気候の特徴を踏まえた「涼風形成度」を評価する指標を新たに提案する。

そして快適な住環境の形成によりもたらされる冷房利用時間の減少と屋外滞在可能時間・空間の増加が居住者の心理・生理的欲求を満たすという仮定のもと、「窓の開放可能時間の増加」「冷房利用時間の減少」と「屋外滞在可能時間・空間の増加」の3つをライフスタイルの改変に関する NEB 発現に寄与する指標として位置づける。今後、「冷房利用時間の減少」や「屋外滞在可能時間・空間の増加」と心理・生理的な指標との間に相関関係があることが明らかになれば、将来的には NEB 評価指標として位置付けることができる可能性はあるが、本業務においては熱的快適性指標と熱的満足感指標をつなぐ指標としての扱いに留める。

本業務で構築する NEB 評価指標は、具体的には、①熱的快適性指標は被験者温冷感申告実験とその時の温熱環境から算出される「快適温度」と「SET*」により、②熱的満足感指標は夏経過後に居住者が夏を振り返って総合的に評価するアンケート調査にもとづき、熱的快適性指標との関係を踏まえて作成する。

「涼風形成度」評価指標については、対象空間の「気温の低下」と「気温の乱れ」に基づき 4 段階で提示する。「窓の開放可能時間」、「冷房利用時間」及び「屋外滞在可能時間」はそれぞれ、パッシブクーリング手法の導入がない（散水を実施しない）場合との比較により提示する。

さらに本業務では、NEB と EB が両立する住環境の形成を目指して、NEB/EB 効率を高める住空間の設計条件と気象条件について明示する。

11. 2.2. パッシブクーリング技術の導入・利用による NEB の体系的整理

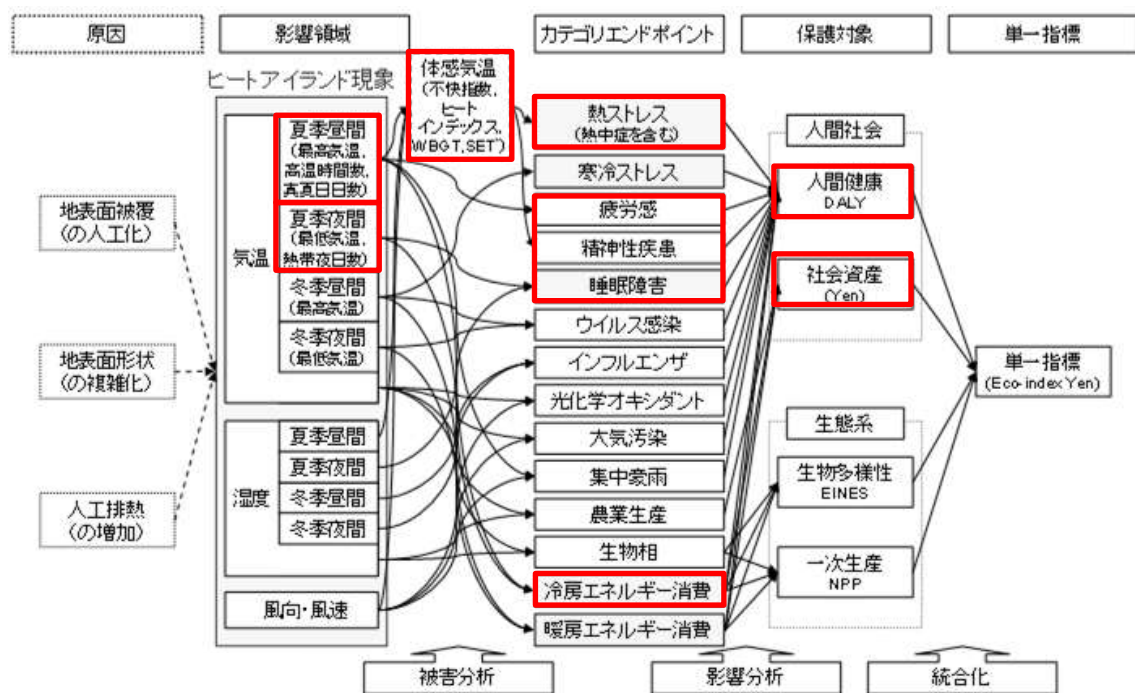
パッシブクーリング技術の導入によって得られる NEB を体系的に整理するにあたっては、ヒートアイランド現象の緩和に寄与する項目として、街区・建物スケールに当てはめて検討することにより整理した。すなわち高温化する都市の中で、戸建住宅地の屋内外居住空間を効率的に冷却することで、冷房用電力消費量の減少というエネルギーベネフィット（EB）とともに、様々なノンエネルギーベネフィット（NEB）が得られる内容について体系的に整理した。

これまでにヒートアイランド現象の影響範囲について体系的にとりまとめられた既往研究としては、図 2-2-1 に示す井原ら²⁻¹⁾や、図 2-2-2 に示す鳴海ら²⁻²⁾によるものがあり、これらの中で示されている負の影響のうち夏季において街区・建物スケールに関する部分についてはパッシブクーリング技術の導入・利用によって緩和することが可能となる。そこで、各図のうち赤枠で示した箇所については、住宅のパッシブクーリング技術との関連が深いといえる。特に図 2-2-2 についてはより関係性が明快に示されており、本図中に示されている局所気温の上昇・局所湿度の変化によってもたらされる熱的快適性への影響、人体健康に対する影響、エネルギー消費、CO₂ 排出量に対する影響をパッシブクーリング技術の導入・利用によって緩和することができる。そこで本図を参考にパッシブクーリング技術の導入・利用による NEB を図 2-2-3 に示すように整理した。

図 2-2-3 に示すようにパッシブクーリング技術の導入・利用によって、局所気温低下・局所湿度変化がもたらされ、街区スケールで導入が進んだ場合には地域温湿度や風系にも寄与する。また温熱環境が改善されることで屋内外の快適性が向上する。これにより、人体健康への効果や、居住者の満足感向上に寄与するライフスタイルの変化が起こる。そして、冷房の使用時間が減少するライフスタイルによって CO₂ 排出量が減少する。

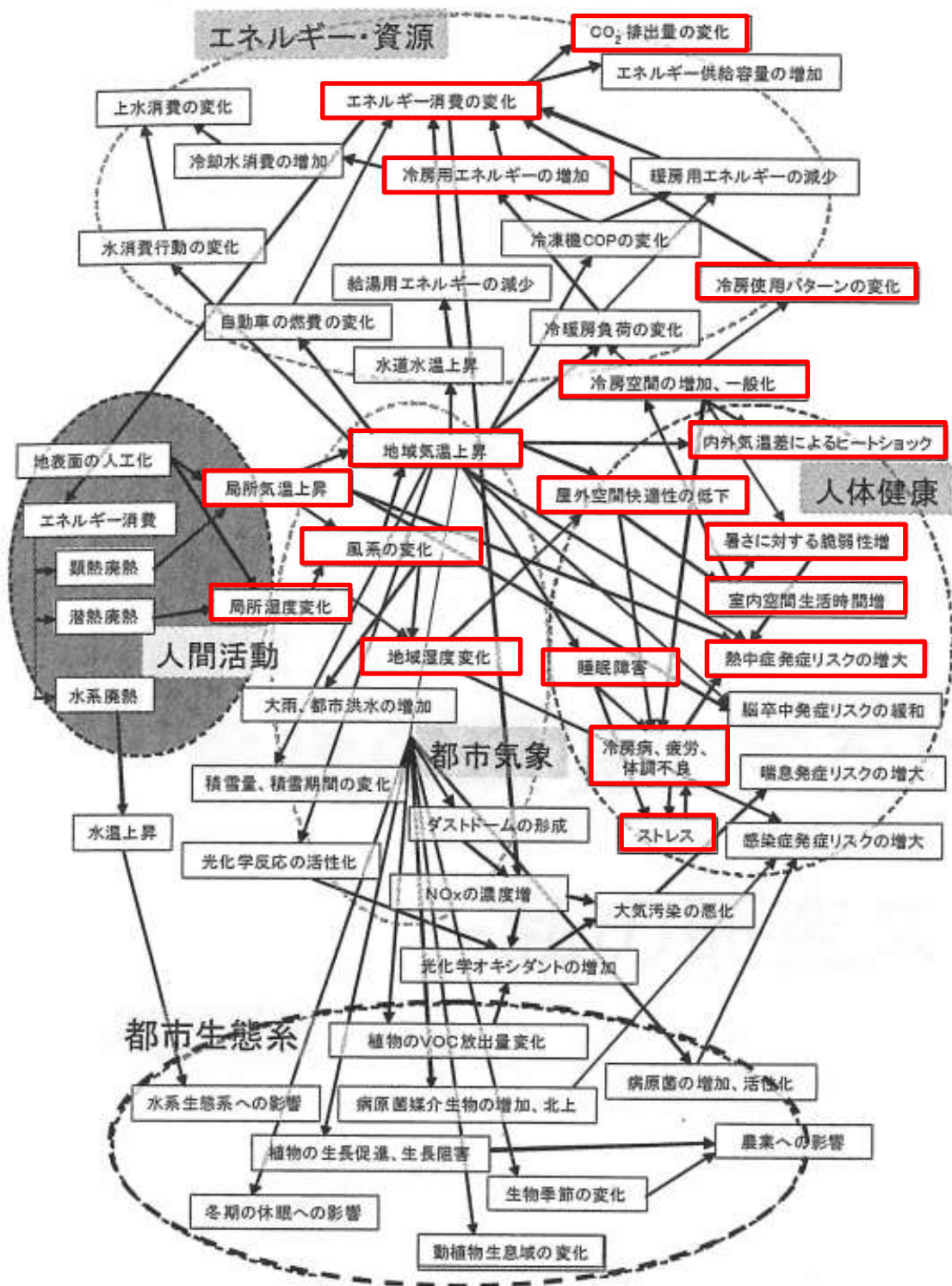
また図 2-2-2 には記載がないが、人体健康への効果は医療費削減や機会損失の低減につながるとともに、温熱環境の改善や居住者メリットがもたらされることによって、行政/社会メリットや事業者メリットにも波及することから、パッシブクーリング技術の利用拡大によって広範な NEB が得られるといえる。

このうち本委託業務の中では、図 2-2-3 の赤字部分に示す温熱環境の改善～屋内外空間の快適性向上～屋内外ライフスタイルの変化～居住者の満足感向上について、NEB 評価指標を用いて分析・調査した結果を報告する。



住宅地内のパッシブクーリング技術により緩和される環境影響

図 2-2-1 ヒートアイランドによる環境影響の枠組み 2-1)



住宅地内のパッシブクーリング技術により緩和される環境影響

図 2-2-2 ヒートアイランドによる発生要因から各影響に至るまでの関係図 2-2)

12. 2.3. NEB 評価指標の改良，追加に向けた検討方針の整理

13. 2.3.1. 検討方針の概要

図 2-2-3 に示した NEB 体系図の赤字部分について，より具体的な項目を整理したものを図 2-3-1 に示す。パッシブクーリング技術による NEB は，まず事業者によって質の高いパッシブクーリング技術の導入がなされ，居住者に適切に利用されることによって初めて得られる。そのため，事業者によって導入されたパッシブクーリング技術の質の程度を評価するために，今回新たに提示する前述の「涼風形成度評価指標」を使用する。本指標については，3 章で現地調査結果を示し，4 章にて結果の妥当性を評価する。

また適切なタイミングで居住者がパッシブクーリング技術を利用することで NEB・EB の最大化も図られることから，4 章にて適切なタイミングを提示し，5 章にて EB 評価を実施するとともに，インターネット等を利用したパッシブクーリング技術に関する利用促進技術についても 6 章の取組みの普及検討にて記述する。

そして効果的なパッシブクーリング技術の導入・利用によって(A)温熱環境が改善されることを現地調査にて実施した結果を 3 章にて示し，4 章にて考察を行う。次に温熱環境の改善によってもたらされる(B)屋内外空間快適性の向上については，温熱環境要素（気温，平均放射温度，風速，相対湿度）と被験者アンケートによる温冷感申告（TSV）を利用して快適温度及び SET*を屋内外について求め，パッシブクーリング技術によってもたらされる NEB 評価指標として整理する。これらについても現地調査にて実施した結果を 3 章にて示し，4 章にて考察を行う。

次に屋内外空間快適性の向上によってもたらされる(C)屋内空間生活減・屋外空間生活増の変化を表現する NEB 発現に寄与する指標として，「窓の開放可能時間の増加」「冷房使用パターンの変化」と「屋外滞在可能時間・空間の増加」を数値解析及びアンケート結果により示す。屋内外に関する結果は気温に着目した分析を中心に 4 章にて行う。また NEB がもたらされたことによる総合的な満足度に関する(D)住宅地に対する居住者の熱的満足感向上評価は 3 章で示す居住者アンケートにて行う。

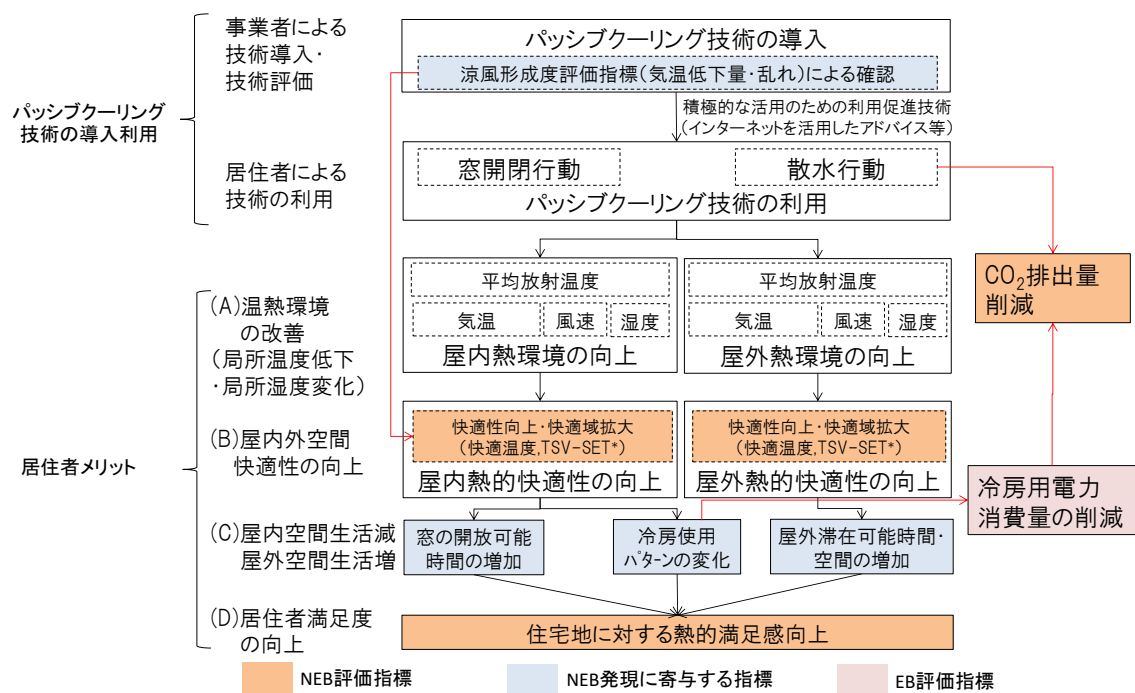


図 2-3-1 本業務で調査・分析を実施する項目

14. 2.3.2. パッシブクーリング技術による冷気の移流特性の評価

パッシブクーリング技術の一つである蒸発冷却手法は、濡れ面からの水の蒸発に伴う気化熱により表面温度が低下し、対象空間における冷放射面の形成と冷気の生成効果をもたらすものである。これにより、蒸発冷却手法を用いた空間では、平均放射温度（Mean Radiant Temperature, 以下 MRT）と気温の低下が体感温度の低下をもたらす。

空間の熱的快適性の評価手法として、現在広く用いられている手法には、気温と MRT による影響をそれぞれ加重平均した作用温度（Operative Temperature）や生理、代謝量も考慮した SET*などがあるが、これらは屋内において安定した状態を対象としたものである。したがって通風などによる非定常性を伴う環境の評価においては、風速の乱れなどを考慮した補正が行われ²⁻³⁾、また屋外・半屋外空間においては直達日射成分も考慮した MRT を用いるなど²⁻⁴⁾、空間の特性を考慮した補正が用いられている。しかし風向・風速、温湿度など様々な要因が複雑に変化する屋外環境における熱的快適性に関する評価指標は確立されていないのが現状である。

蒸発冷却手法を適用した空間に形成される微気候においては、生成された冷気による気温の低下が特徴として挙げられるが、冷気の温度および移流特性はその時の風向・風速の影響を受ける。ゆえに生成される冷気の性状は変化し続けており、このことは前年度の調査結果においても示された通りである。

このような冷気の変動は、空調機器により制御された空間などと比較すると不安定な性能として受け取られる場合もあるが、変動することが屋内空間と屋外空間における質的な違いをもたらし、それが屋外ならではの快適性を生み出しているとも考えられている²⁻⁵⁾。これは、寺田寅彦が「涼しいというのは温度の低いということとは意味が違う。暑いという前提があって、それに特殊な条件が加わって初めて涼しさが成立するのである」と記した文脈からも読み取ることができる²⁻⁶⁾。

非定常な空間における快適性を評価する手法として、風速の変動を扱ったものに「風速の乱れ」があり、ある時間間隔における風速の標準偏差を平均風速で除することによって求めることができる。主に突風率予測などに用いられてきた指標であるが、前述した通り近年では熱的快適性に影響する要因の一つとして用いられる例も見られる²⁻³⁾。また風速の乱れによる対流熱伝達率の増加が、顕熱輸送量の増加をもたらすことを示した数値解析結果等も見られる²⁻⁷⁾。

一方気温については、時間平均化された空間分布として扱われることが多く、秒単位の変動という視点では評価の対象とされてこなかった。しかし蒸発冷却手法により生成された冷気は、間欠的に周囲に比べ数℃低い冷気の出現をもたらすこと、また既往研究において、このような間欠的な冷気により被験者が涼しさを感じていることが明らかにされていることから²⁻⁸⁾、冷源を伴う空間の熱的快適性の評価においては気温の変動を考慮した評価指

標が必要であると言える。

そこで本業務では、「風速の乱れ」の考え方を応用し、間欠的な冷気の出現を「気温の乱れ」として評価する方法を提案する。ただし涼風形成度の評価にあたってはまず気温が低下することが前提であることから、「気温の低下 ($\Delta\overline{T_a}$)」(式 2.1) と「気温の乱れ (T_b)」(式 2.2) による 2 つの評価軸を用い、下記 $\Delta\overline{T_a}$ と T_b をそれぞれ y 軸と x 軸として図 2-3-2 に示すようにパッシブクーリング技術による冷気の形成の度合を評価する。

$$\Delta\overline{T_a} = \overline{T_{out}} - \overline{T_{in}} \quad \dots (2.1)$$

$\Delta\overline{T_a}$: 平均気温差[°C], $\overline{T_{in}}$: 対象空間内の 10 分間平均気温[°C], $\overline{T_{out}}$: 外部代表地点の 10 分間平均気温[°C]

$$T_b = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (\overline{T_{in}} - T_i)^2 / \overline{T_{in}}} \quad \dots (2.2)$$

T_b : 気温の乱れ[-], $\overline{T_{in}}$: 対象空間内の 10 分間平均温度 [°C], T_i : i 秒時の気温[°C]

N : データ数[-]

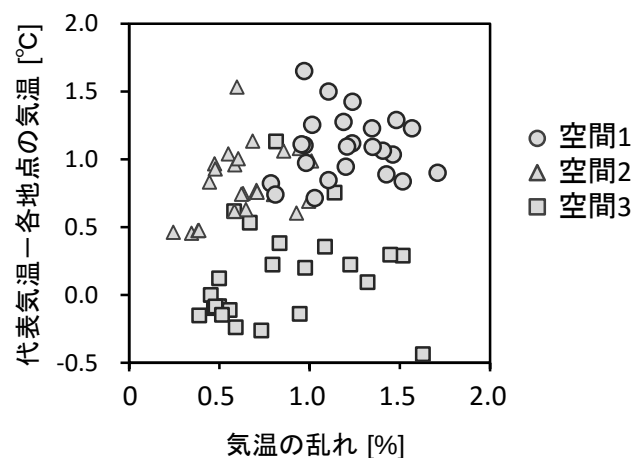


図 2-3-2 気温の低下と気温の乱れによる涼風形成度評価

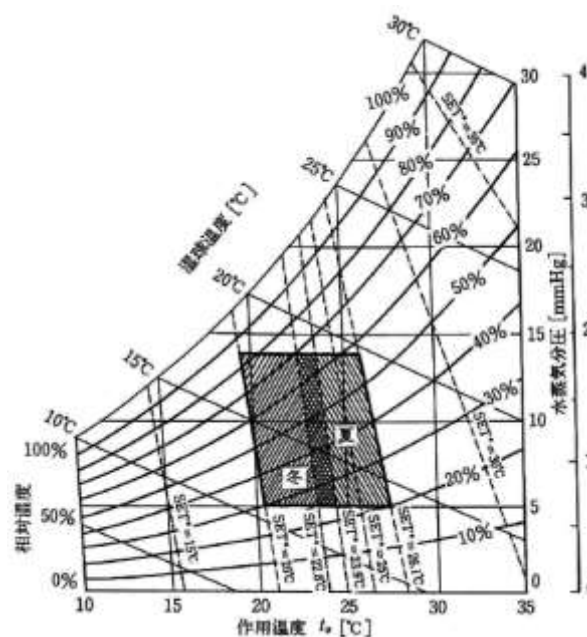
なお過年度業務においては「気温の乱れ」の考え方と算出結果の例示に留まったため、本年度は複数の地点および気象条件下における算出結果から快適性が得られる目安となる閾値について明らかにしてゆく。

15. 2.3.3. 季節別の快適温度, SET*の算出による快適性評価

本業務では、パッシブクーリング技術の導入・利用によってもたらされる NEB のうち、屋内外の熱的快適性向上を取り上げ、評価指標として SET*と TSV との比較と、Griffith 法による快適温度を用いてパッシブクーリング技術を用いた空間における快適域の上下限値の上昇を評価し、その指標の有用性を検証する。以下に各指標の特徴と適用可能性及び今年度の課題を示す。

(a) 標準新有効温度 (SET*)

SET*は温熱感覚および放熱量が実在環境におけるものと同等になるような相対湿度 50% の標準環境の気温として定義される。SET*の特徴は、皮膚濡れ面積率の導入および平均皮膚温と皮膚濡れ面積率の計算のための 2 層モデルの提案にある。予測平均温冷感(Predicted Mean Vote, PMV) の人体モデルがいわば均質一体の円筒モデルであるのに対し、2 層モデルは、人体を身体中心部と表面皮膚部の 2 つに分割した 2 重円筒モデルである。これにより、体深部と皮膚部との血流量などの温熱生理調節作用をモデル化し、平均皮膚温や皮膚濡れ面積率などを算出する。



(点斜線群は等温環境を示す)

図 2-3-3 ASHRAE 標準新有効温度 (SET*) 線図

SET*も基本的には屋内を対象としているものの、近年では屋外環境評価に適用する事例も多く見られる。人の温冷感と快適温度の関係については地域差や季節差があることが数々の研究で知られており、日本における屋外・半屋外空間の温冷感と SET*の関係は各地の被験者実験から、表 2-3-1, 表 2-3-2 のような式が報告されている。また各地域の気候へ

適応していることで、屋外・半屋外の熱的期待感もそれぞれ異なる。

高温多湿地域の屋内の快適性評価では、風速が大きくなることによって屋内快適温度が高くなることが Humphreys ら²⁻¹⁴⁾によって示されている。例えば風速 0.1m/s に比べ風速が 1m/s まで上昇すると、快適温度は 3.4℃上昇すると報告されている。このように、人の適応を考える場合に風速の大きさ等の様々な影響を考慮することは、非定常性が大きい屋外の熱的快適性を考える上では重要である。しかし非定常性が大きく、また空間分布も大きい屋外熱環境に関する知見はまだ少なく、大きな課題であると言える。そこで本業務では蒸発冷却手法等により冷気が生成される環境を対象とした場合に、被験者による温冷感申告結果と SET*算出結果とを比較し、冷気の影響を考慮した快適範囲を提示する。

また過年度の測定においては、初年度であったこともあり、サンプル数の不足や暑熱順化に対する知見の蓄積が不足していた。そこで今年度は過年度の夏季期間の測定に加えて、初夏における測定を実施し、SET*快適域の暑熱順化についても考慮する。また延べ被験者数を 500 サンプル程度得られるように調査を実施する。

表 2-3-1 日本の屋外空間の温冷感と SET*の関係

研究者	調査場所	回帰式	中立 (=0) の時の温度
谷本ら(1996) ²⁻⁹⁾	東京	$TSV = 0.286 SET^* - 7.31$	25.6
山下ら(1991) ²⁻¹⁰⁾	福岡	$TSV = 0.642 SET^* - 18.044$	28.1
Givoni (2003) ²⁻¹¹⁾	横浜	$TSV = 0.1118 Ta + 0.0019 I - 0.322 v - 0.0073 Hr + 0.0054 Ts + 1.7$	-

TSV:温冷感申告[-], SET*:標準新有効温度[℃], Ta:空気温度[℃], v:風速[m/s], Hr:相対湿度[%], Ts:周辺の地表面温度[℃] I:

表 2-3-2 日本の半屋外空間の温冷感と Ta, SET*の関係

研究者	調査場所／季節	回帰式	中立 (=0) の時の温度
Chun & Tamura (1998) ²⁻¹²⁾	横浜のデパートと地下ショッピングモール／8月	$TSV = 0.45 Ta - 5.64$	25.6
Nakano & Tanabe (2004) ²⁻¹³⁾	アトリウム／年間	$MTSV = 0.1420 SET^* - 3.6531$	25.7

MTSV : 平均温冷感[-],

(b)Griffiths 法による快適温度

Griffiths ら²⁻¹⁵⁾は「暑くも寒くもない」中立状態の温度を求めて快適温度を算出する方法を下式により提示しており、Humphreys ら²⁻¹⁴⁾は室温を基準として世界各地における快適温度について調査した結果、快適温度は外気温度との相関が高いことを示している。また de Dear ら²⁻¹⁶⁾は ASHRAE RP-884 の大規模な調査分析から、自然通風導入型オフィスの快適温度と月平均外気温度との関係を示し、アダプティブモデルとして ASHRAE Standard 55-2004 に提示している²⁻¹⁷⁾。これらの快適温度はこれまで、①冷暖房利用時、②自然換気時、③自然室温（窓閉）時の違いについては論じられてきたが、今回のような間欠的な冷気に伴って屋内の快適温度がどのように変化するかといった事例や、屋外について議論がなされた事例はみられない。そこで本業務では、上記 3 つのパターンに加えて、④パッシブクーリング技術を用いた空間に隣接した居室を対象に、散水を実施しながら窓を開放した状態で快適温度を調査するパターンや⑤パッシブクーリング技術を用いた屋外滞在空間において散水の有無別に快適温度を調査する。

$$T_c = T + (4 - C)/\alpha$$

T_c :Griffiths 法による快適温度 (°C) T :室温 (°C) C :温冷感申告
 α :回帰係数 (=0.50)

本事業における測定においては過年度の夏季期間の測定に加えて、初夏における測定を今年度は実施し、快適温度と外気温度との関係について考察する。また延べ被験者数を 500 サンプル程度得られるように調査を実施する。

16. 2.3.4. NEB の発現に寄与するライフスタイル変化の評価

前述の SET*や快適温度によりパッシブクーリング技術の導入・利用による熱的快適性向上という NEB が指標化されることにより、密閉された屋内での生活時間を減少させる度合いや、屋外での生活時間や生活空間を増加させることが可能な度合いを表現することが可能となる。これらのライフスタイルの変化は、図 2-2-3 に示したようにストレスの緩和等の NEB につながるものと考えられることから、これらに関わる項目についても指標化する。

屋内については、窓を開放しても熱的快適性が保たれる時間の比率を示す①時刻別窓開放可能時間率と、冷房を利用しなければ熱的快適性を保つことができない時間の比率を示す②時刻別冷房時間率を月別に評価する。また屋外については利用可能時間及び空間が広がることを時刻別屋外利用可能時間及び時刻別屋外利用可能空間分布図にて表現する。以下に各指標の算出方法を示す。

○月別時刻別窓開放可能時間率 α (6 月～9 月)

$$\alpha_t = T_{open,t} / T_{daytime}$$

$T_{open,t}$: 各時刻において窓の開放が可能な日数(=室温が快適温度以下となる日数)

$T_{daytime}$: 各月の総日数

t : 起居時刻 (6～24 時)

○月別時刻別冷房時間率 β (6 月～9 月)

$$\beta_t = T_{AC,t} / T_{daytime}$$

$T_{AC,t}$: 各時刻において冷房の利用が必要な日数(=室温が快適温度を超える日数)

$T_{daytime}$: 各月の総日数

t : 起居時刻 (6～24 時)

時刻別屋外利用可能時間については散水の有無別に生活時間内で外気温が快適温度を超えない時間数を算出する。また時刻別屋外利用可能分布図については、散水の有無別に快適温度を超えない範囲の分布図を時刻別に示す。

17. 2.3.5. パッシブクーリング技術によりもたらされる居住者満足度向上可能性の 評価

第 1 章でも述べた通り、居住者は屋内の居住性を補完する空間として住宅の屋外空間を利用しており、気分転換や気晴らし、ストレス解消などを目的とした屋外利用に対する生理・行動的欲求がある。したがって本業務では、居住者にとって最も身近な屋外空間であるテラスや庭などの半屋外空間の熱環境を改善することが居住者の熱的快適性を高め、さらには住生活における熱的満足感を高めるとする仮説のもと、パッシブクーリング技術が導入された住宅地の居住者を対象にアンケートによる満足感調査を実施する。なおアンケート調査においては、同世帯の中でもライフスタイルや好み等によって感じ方が異なる可能性が考えられるため、居住者のうち 20 歳以上の成人全てを対象とする。

ただし過年度の第 1 期入居者に対する入居時アンケートにおいても傾向が示されていた通り、ほとんどの世帯の転居前住居形態は集合住宅である。このため戸建住宅地に住むことも、パッシブクーリング技術についても初めて経験することから、新しい住環境に適応し、ライフスタイルに変化が現れるまでには時間がかかると考えられる。例えば、緑豊かな住宅地で冷涼な微気候が形成されている住環境においても、居住者がそのポテンシャルに気づき、適応し、冷房使用時間が減少するまでに 3 年を要した例が見られる²⁻¹⁸⁾。また本業務の対象住宅地では住宅の建設も段階的に進行しているため、計画段階で予測されたポテンシャルが初期段階から達成されるとは限らない点が懸念点として挙げられる。

よって本年度業務においては、パッシブクーリング技術が導入された住宅地の居住者に対する快適性および満足感に関するアンケート調査とは別に、パッシブクーリング技術が最大限利用された場合のポテンシャル評価として被験者を用いた熱的快適性、熱的満足感の調査・実験を行い、両者の関連性を見ながら評価指標を構築する。

参考文献

- 2-1) 井原,玄地：被害算定型ライフサイクル影響評価手法によるヒートアイランド現象の環境影響評価, 日本建築学会環境系論文集, Vol.73, No.634, pp.1407-1415, 2008.12
- 2-2) 鳴海：ヒートアイランド現象の環境影響評価, 2014 年日本建築学会大会（近畿）環境工学部門研究懇談会資料, pp.19-22, 2014.9
- 2-3) リジャル H.B., 梅宮典子訳：適応を考慮した熱的快適性の原理 (M.A. Humphreys), 空気調和・衛生工学会, 第 83 巻, 第 6 号, pp.413-419, 2009.6
- 2-4) Richard de Dear, Jennifer Spagnolo, Thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments, *Environmental Ergonomics*, Vol.3, 2005, pp.269-276
- 2-5) 斉藤雅也, 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, No.523, 39-44, 1999.9
- 2-6) 寺田寅彦：さまよえるユダヤ人の手記より, 寺田寅彦全集大三巻（初出「思想」1929 年 9 月）, 岩波書店, pp.196-205, 1997
- 2-7) 小野剛司, 村上周三, 大岡龍三, 吉田伸治：乱れ強さを考慮した人体の平均対流熱伝達率の予測式による屋外熱環境評価－樹木がもたらす乱れの屋外温熱快適性への影響の検討－日本建築学会関東支部研究報告集, pp.445-448, 2005
- 2-8) 白井一義, 梅干野晃, 小栗健：パッシブクーリングウォールにより構成された空間における涼しさの評価 透水性孔あき壁体を利用した蒸発冷却による屋外・半屋外快適空間の形成 その 3, 日本建築学会計画系論文集, No.552, pp.15-20, 2002.2
- 2-9) 谷本潤, 木村建一, 佐藤隆満：涼房手法を用いた屋外休憩施設に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集, No.481, 41-49, 1996.3
- 2-10) 山下盛久, 石井昭夫, 岩本静男, 片山忠久, 塩月義隆：屋外環境における温熱感覚に関する申告実験（その 6）温冷感と温熱指標の比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.751-752, 1991.9
- 2-11) Givoni B, Noguchi M, Saaroni H, Pochter O, Yaacov Y, Feller N, Becker S: Outdoor comfort research issues. *Energy and Buildings*, Vol.35, pp.77-86, 2003
- 2-12) Chun CY, Tamura A.: Thermal environment and human responses in underground shopping malls vs department stores in Japan, *Building and Environment*, Vol.33 2-3, pp.151-158, 1998
- 2-13) Nakano J, Tanabe S.: Thermal comfort and adaptation in semi- outdoor environments, *ASHRAE Transactions*, Vol.110 (2), pp.543-553, 2004
- 2-14) Humphreys, M.A., H.B. Rijal and J.F. Nicol: Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors: new insights and an extended database, *Building and Environment* Vol.63, pp.40-55, 2013
- 2-15) Griffiths I.D.: Thermal comfort in buildings with passive solar features. field

- studies. Report to the Commission of the European Communities. EN3S-0090-UK, University of Surrey, Guildford,1990
- 2-16) R.J.de Dear et al. : Developing an adaptive model of thermal comfort and Preference, ASHRAE Transactions Vol.104 No.1, pp.145–167, 1998
- 2-17) ASHRAE Standard 55-2004 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ANSI/ASHRAE,2004
- 2-18) 浅輪貴史：建築内外の微気候実態と居住者意識から見た開放的な住まい方の特徴
屋外空間の微気候と居住者の解放的な住まい方との関わりに関する研究 その3,日本
建築学会環境系論文集, No.623, pp.115-122, 2008.1

2.

第 3 章 現地調査等の実施結果

3.1. 屋内外の温熱環境調査，温冷感申告アンケート調査の実施

3.1.1. 調査目的

過年度業務で明らかにしたパッシブクーリング技術による温熱環境改善効果と熱的快適性向上の傾向を踏まえ，サンプル数や測定期間を増やすことにより NEB 評価指標の改良及び評価手法の精度向上のためのデータを取得する。具体的には，パッシブクーリング技術の種類および空間形態が異なる複数の空間を対象に，暑熱順化を考慮して初夏～晩夏にかけて調査を実施する。

過年度業務では人の体感温度に作用する環境 4 要素について総合的に考察してきたが，そのうち蒸発冷却を利用したパッシブクーリング技術により形成される空間においては冷気が間欠的に発現する特性が確認され，熱的快適性向上に寄与する傾向が見られている。一方，間欠的に発現する冷気の移流特性と熱的快適性の関係性を明らかにした既往の事例はこれまでみられない。

そこで本業務内で実施する温熱環境に関する現地調査においては，パッシブクーリング技術により発現する冷気の移流特性と熱的快適性向上の関係性に着目し，温熱環境調査，被験者実験，居住者アンケート調査，エネルギー計測について以下に関する調査を実施する。

- (1) 冷気が発現する間隔や温度低下量等の移流特性及び冷気の到達距離等の屋内外に与える効果を検証するための温熱環境調査
- (2) 発現した冷気及び暑熱順化を考慮した熱的快適性指標の精度を向上するための被験者による屋内外温冷感申告アンケート
- (3) パッシブクーリング技術が導入された住宅地の居住者を対象とした住まい方及び満足感に関するアンケート調査
- (4) 居住者を対象としたエネルギー消費量の計測

上記調査に基づき，本章では温熱環境測定結果より得られる気温の乱れ等の物理的指標について整理・分析する。また窓の開閉・散水の有無別に測定結果より得られる屋内外気温や SET*と，被験者による温冷感申告結果の相関関係を示し，NEB 評価指標の分析を行う。また居住者アンケートに基づき居住者が熱的満足感を得られていることを示す。

3.1.2. 全体の調査概要及び測定期間

前述の NEB 評価指標等の改良検討を行うため、今年度は昨年度よりも測定期間やサンプル数を増やした計測を行う。特に暑熱順化に伴う快適温度の違い等を明らかにするため、初夏の 6 月と、盛夏の 7・8 月、残暑となる 9 月についてそれぞれ 1～2 週間連続で調査した。また調査対象として使用したパッシブクーリング技術についても、①植栽への散水を中心としたもの、②溶岩ブロックや保水性玉石を中心としたもの、③クールルーパーを中心としたもの、の 3 パターンに分けて調査を実施した。

(1) 調査対象建物位置

調査対象とした建物は、図 3-1-1 に示すように対象地区内に立地する戸建住宅 4 棟、自治集会所 1 棟の合計 5 棟で実施した。また測定は各棟屋内外の 1～3 ヲ所で、計 8 ヲ所にて実施した。代表気象については、住宅地内の公園に設置されている気象観測装置によるデータを利用した。

(2) 測定項目・測定間隔

(i) 温熱環境測定

温冷感申告と同時に実施する温熱環境測定（温湿度、風向・風速、グローブ温度）に関する調査にあたっては、図 3-1-2 の実測風景例に示すように、強制通風筒内で温湿度を測定し、日射等の影響を受けないように測定を行った。また風向・風速についても微風速を捉えられるように超音波風向風速計を用いた。グローブ温度については、外壁等の構造物からは 1m 以上離し、被験者の放射環境と近い位置となるように測定を行った。なお調査にあたっては、超音波風向風速計及び多点デジタル温度記録計（以下、ロガー）を各 2 台リースにより調達し、実施した。測定間隔は 1 秒間隔とし、気温、相対湿度、風向・風速、グローブ温度のデータをロガーにて記録した。

(ii) 温冷感申告アンケート・散水の有無、窓開閉状況の確認

心理的反応を明らかにするための調査票を、日本建築学会温熱心理・生理測定法規準・同解説を参考として作成した。（アンケート用紙は資料集に記載）記入項目としては、①年齢、②性別、③服装、④記入時刻、⑤記入場所を基礎データとして、温冷感、気流感、湿度感、快適感、満足感を 7 段階評価で申告してもらい、心理的反応を測定した。記入は椅座静位後 10 分経過時とした。

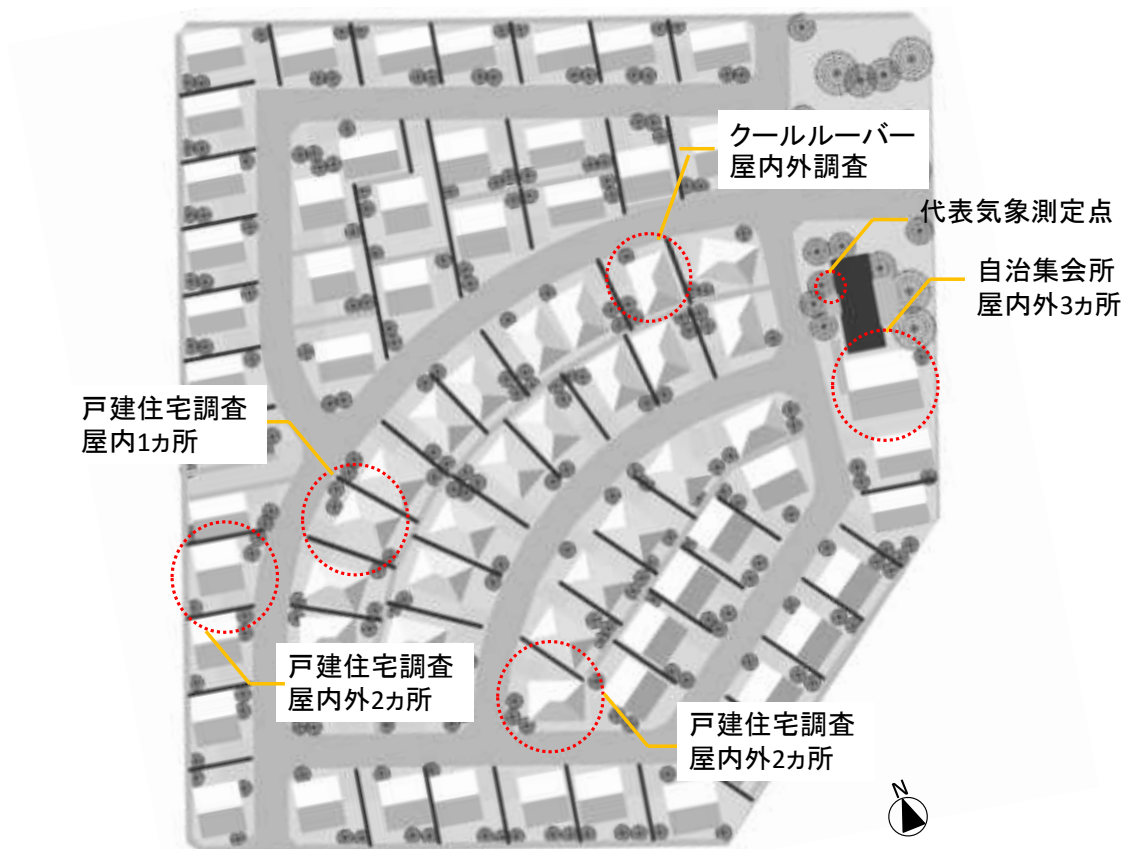


図 3-1-1 温熱環境測定及び被験者申告による屋内外調査箇所



図 3-1-2 温熱環境測定及び被験者温冷感申告実施例

3.1.3. 調査地点別測定概要

(1) 自治集会所を対象とした測定の概要

図 3-1-3 及び図 3-1-4 に示す自治集会所の屋外空間には、様々なパッシブクーリング技術を組み合わせた空間を設置し、本測定では図 3-1-5 に示すように、(A) 保水性玉石や溶岩ブロック等を組み合わせた散水設備がある和室前の空間 (B) 保水性玉石やクールルーバーがある集会室前の空間を対象に屋内外で測定を実施した。

■(A)和室内外測定点

和室内外には図 3-1-6 に示すように主な温度測定点としては、①流入空気側、②溶岩ウォール内部、③溶岩ウォール屋内側、④被験者・開口部近傍、⑤室中央付近、の 5 地点に配置した。

■(B)集会室内外測定点

集会室の測定点については、図 3-1-7 に示すように屋外側については、①流入空気側、②クールルーバー近傍③被験者近傍④集会室側窓近傍、室内側は①被験者・開口部近傍、②室中央とし、の 6 地点を測定した。

■測定期間

自治集会所における測定は、初夏については 2015/6/4・5,10・13、盛夏については 2015/8/12-14 に実施した。

■散水/窓開放時条件

測定期間中は、8～18 時頃まで溶岩ウォールおよびクールルーバーに対してドリップ散水を続け、また植栽および保水性玉石に対して午前、夕方に表面全体が濡れるまでホースで散水を行った。開口部は、和室、集会室の掃出し窓が正圧側となるため、冷気流入側として片側開放し、天窓及び玄関も空気の流出側として開放した。



図 3-1-3 自治集会所外観及び隣接する公園（北側より撮影）

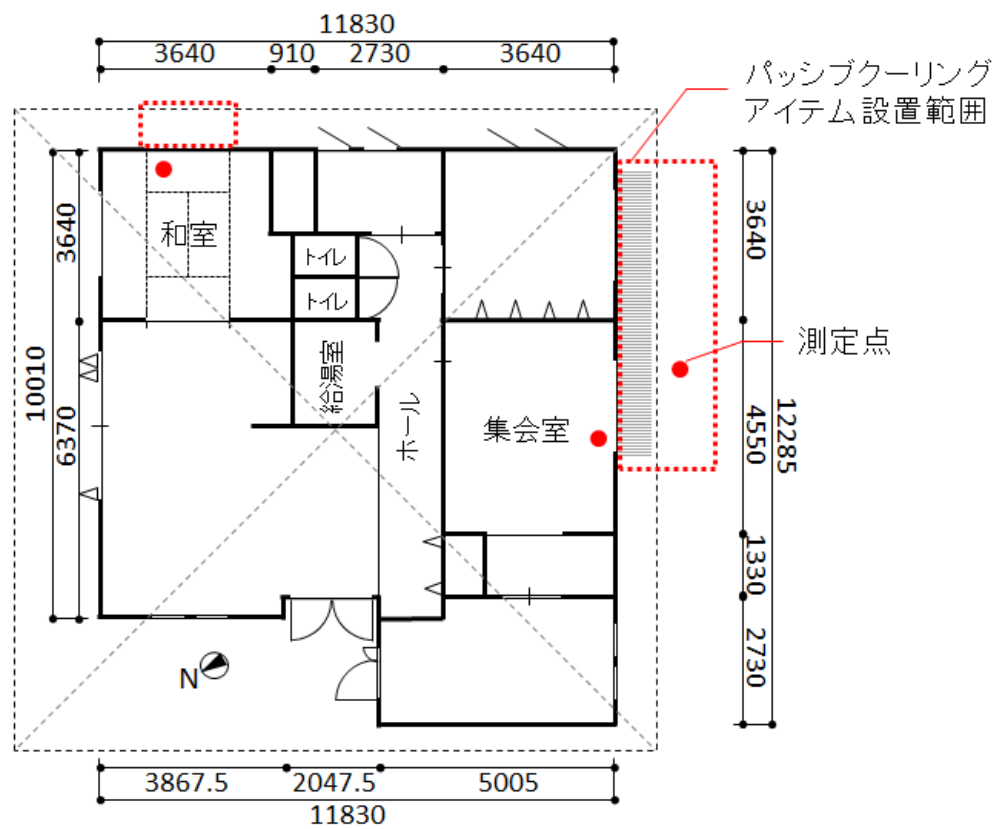


図 3-1-4 測定対象集会所平面図と温冷感申告による測定点



(A) 和室窓前空間（溶岩ウォール）



(B) 集会室窓前空間（クールルーバー）

図 3-1-5 自治集会所におけるパッシブクーリングアイテム設置状況

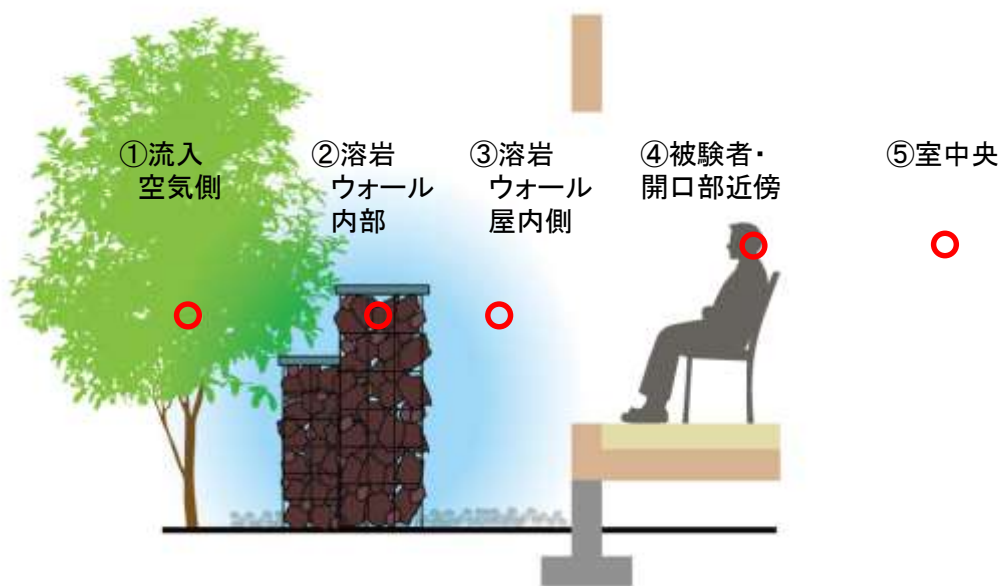


図 3-1-6 和室窓前空間の測定点

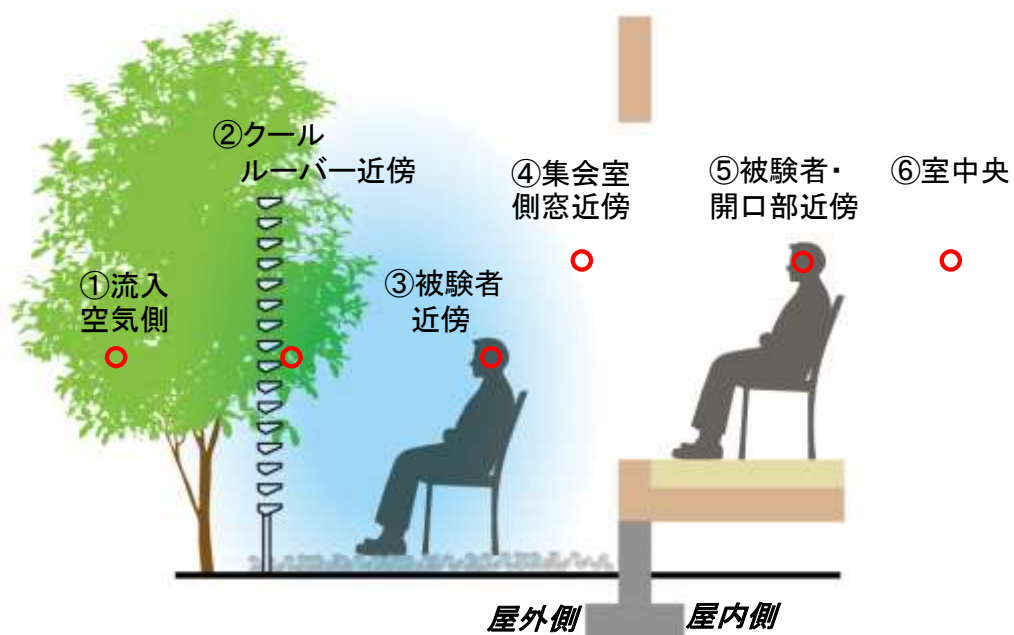


図 3-1-7 集会室窓前及び集会室内の測定点

(2) 戸建住宅における測定点

戸建住宅においては、パッシブクーリング技術としてクールルーパー及び散水を施した植栽空間に関する調査と、パッシブクーリングアイテムとの比較のための屋内におけるエアコンを利用した空間の評価に関する測定を実施した。以下に各住宅における測定点及び測定概要を示す。

■クールルーパーを主風向窓前に設置した空間における調査

夏季主風向に面する窓前が開けた住宅において、窓面に対して平行に設置したクールルーパーから移流する冷気の分布を測定した（図 3-1-8）。クールルーパーからの距離別および日射条件別に気温の低下と気温の乱れを算出し、場所・日射条件ごとに冷気の性質を明らかにした。当測定は 2015/9/12 に行った。

■クールルーパーを利用したテラス空間における調査

クールルーパーを利用したテラス空間においては、図 3-1-9 に示すようにクールルーパー近傍から 1m 離れた地点で被験者申告を行った。流入空気条件を把握するため、道路側において代表気象（温湿度、グローブ温度、風向・風速）の測定を行った。またルーパー近傍及び被験者近傍においても温熱環境（気温、湿度、風速、グローブ温度）の測定を行った。クールルーパーを利用したテラス空間における調査は、2015/8/4-6,8/13-14 の 5 日間実施した。

■散水を施した植栽利用空間における調査

植栽利用空間においては、図 3-1-10 に示すように屋内外 2 地点における被験者温冷感申告と、温熱環境（気温、湿度、風速、グローブ温度）の測定を行った。また気温の低下程度を調査するため、道路側での代表気象（温湿度、グローブ温度、風向・風速）の測定と敷地内における温湿度の測定を行った。植栽利用空間における調査は、2015/7/30-8/1,8/4-5 の 5 日間実施した。

■エアコン利用空間における調査

エアコン利用空間については、図 3-1-11 に示すようにエアコンの風が直接当たらない位置において、エアコンの設定温度を変えながら被験者申告による調査を実施した。設定温度は、24～30℃の中で行い、2015/7/30-8/1,8/4-8/5 の 5 日間実施した。

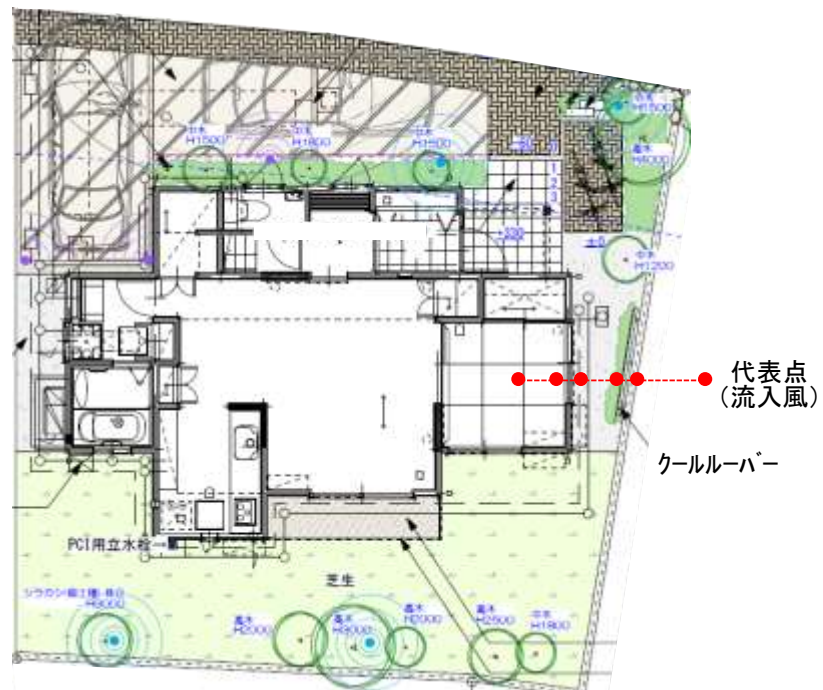


図 3-1-8 クーラーバーを主風向窓前に設置した空間における測定範囲

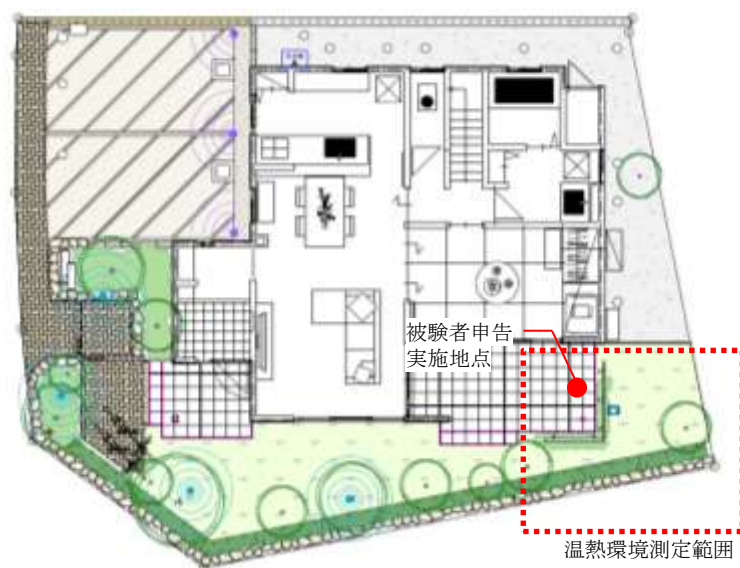


図 3-1-9 クーラーバー利用空間における測定範囲

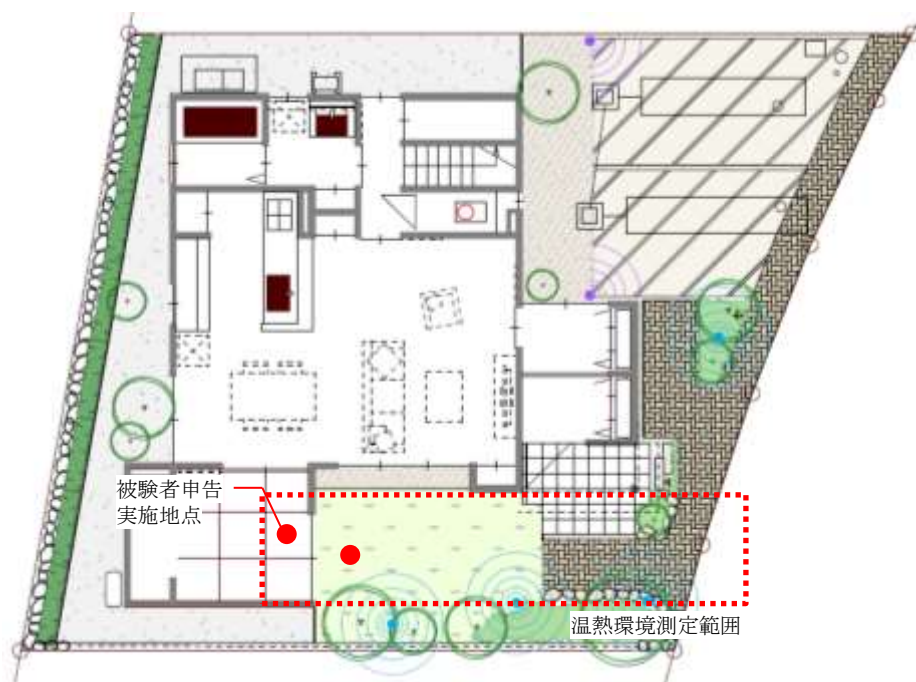


図 3-1-10 植栽利用空間における測定範囲



図 3-1-11 エアコン利用空間における測定範囲

3.1.4. 屋内を対象とした調査結果

(1) 自治集会所における測定結果

(i) 初夏（6月）における測定結果

・測定期間中の代表気象の特徴

6月の調査実施時における代表気象を図3-1-12～図3-1-16に示す。この期間における気象条件の特徴を以下に示す。

① 2015/6/4

・天候：曇後晴 最高気温：28.4℃ 終日北～西寄りの風が吹き、3m/sを超える風速の頻度も高く、風が強い日であった。

② 2015/6/5

・天候：曇後一時雨 最高気温：22.0℃ 風は強くないものの、肌寒い一日であった。

③ 2015/6/10

・天候：晴 最高気温：30.7℃ 終日晴天が続き、特に午後は安定して東寄りの風向であった。気温も30℃を超えて真夏日となった。

④ 2015/6/11

・天候：晴時々曇 最高気温：30.2℃ 前日に続き真夏日となり、晴天日であったが、やや曇りが多い日となった。

⑤ 2015/6/13

・天候：晴 最高気温：32.3℃ 終日晴天が続き、気温も測定期間の中で最も高い32.3℃まで上昇した。

以上より、測定期間の中では初夏の代表的な真夏日といえる6/13を事例として取り上げ、以下に自治集会所における屋内外の測定結果例を示す。

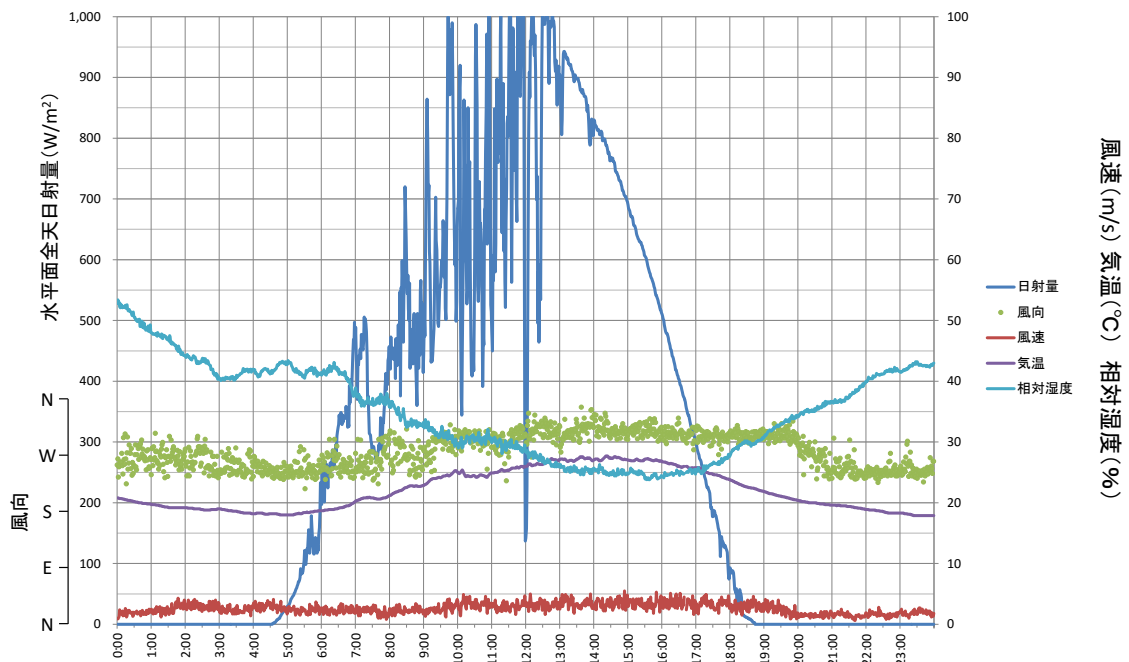


图 3-1-12 代表气象 (2015/6/4)

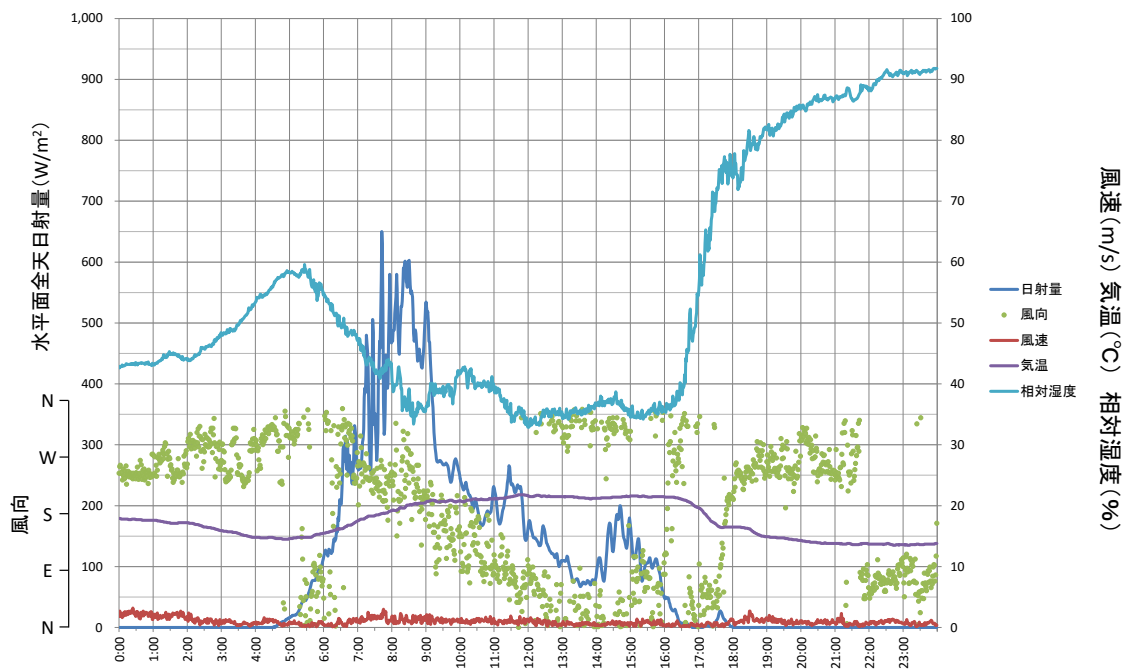


图 3-1-13 代表气象 (2015/6/5)

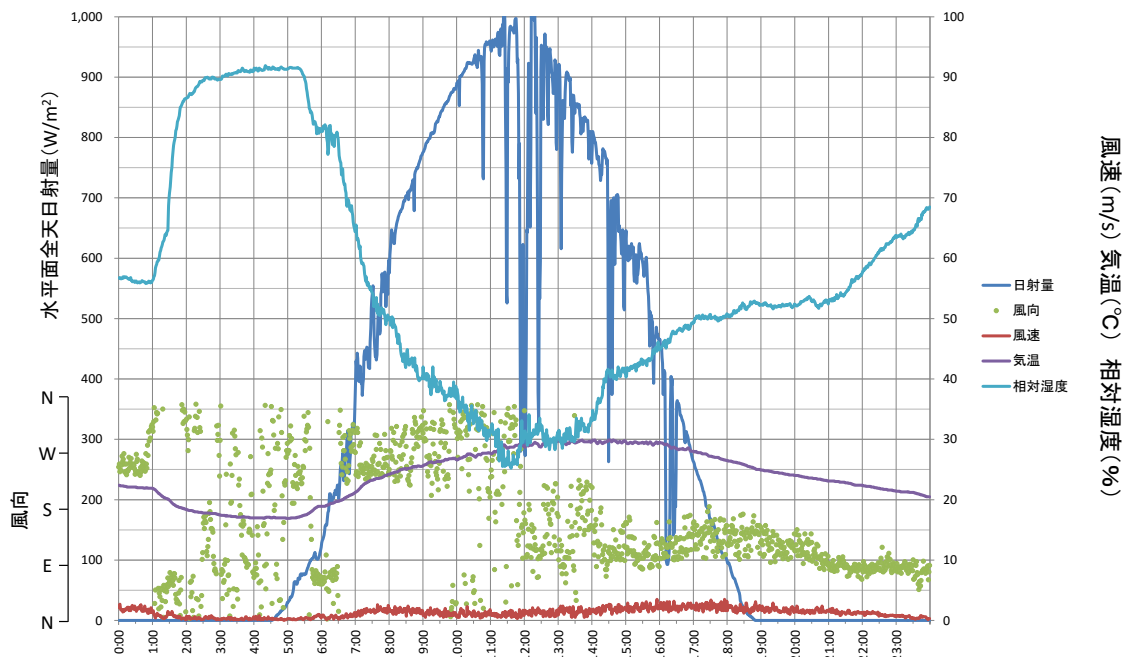


図 3-1-14 代表気象 (2015/6/10)

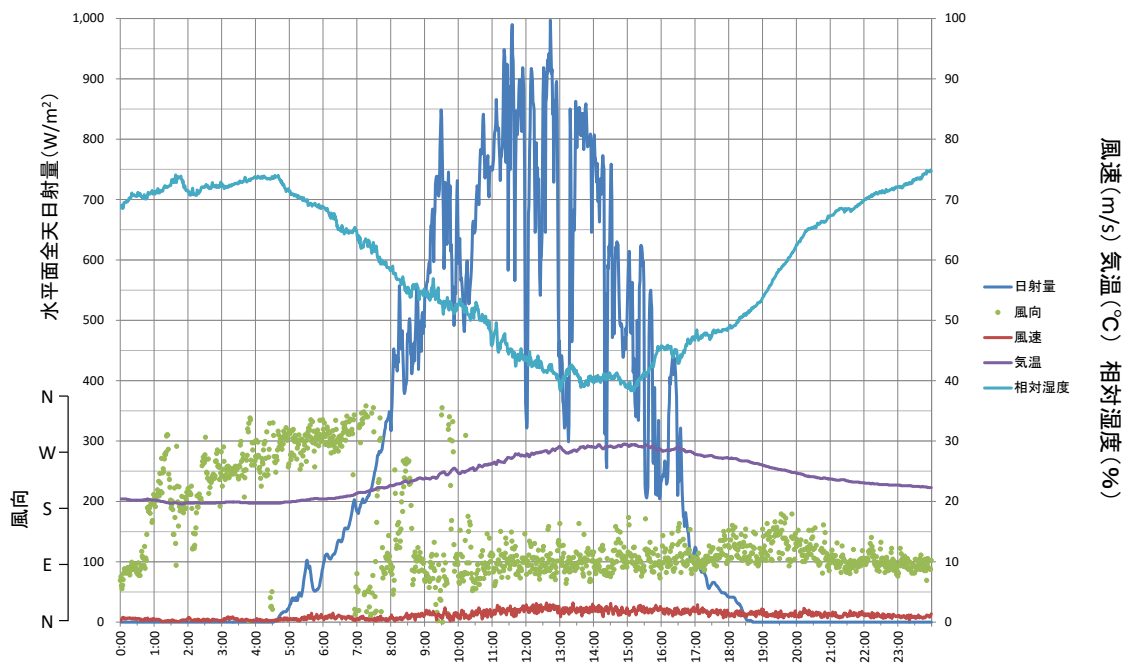


図 3-1-15 代表気象 (2015/6/11)

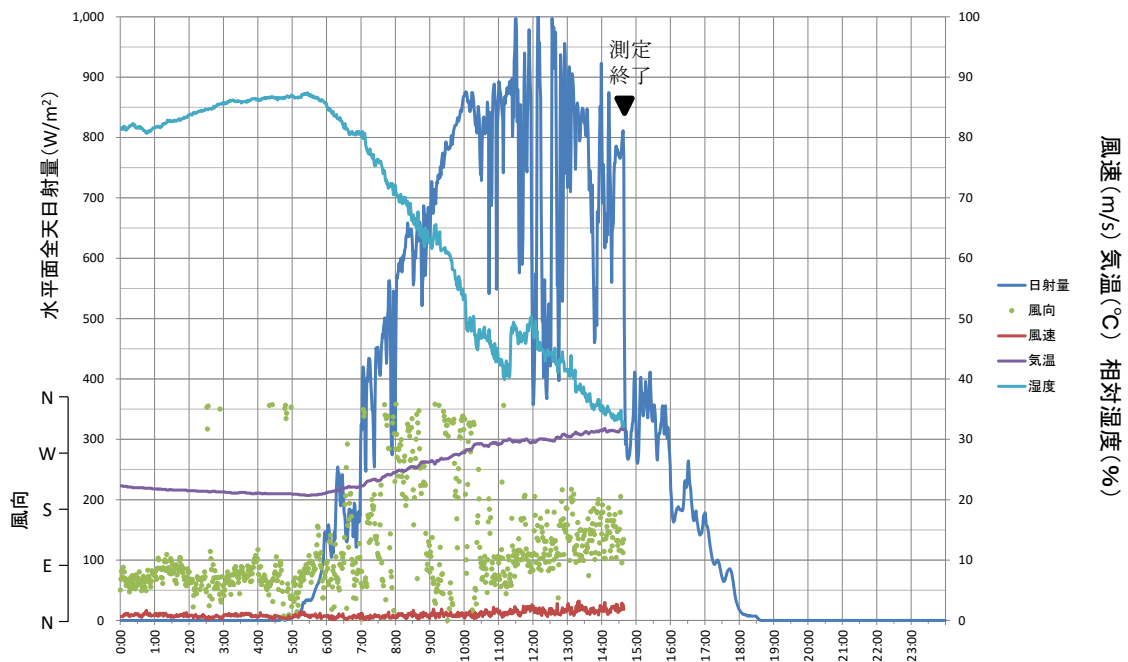


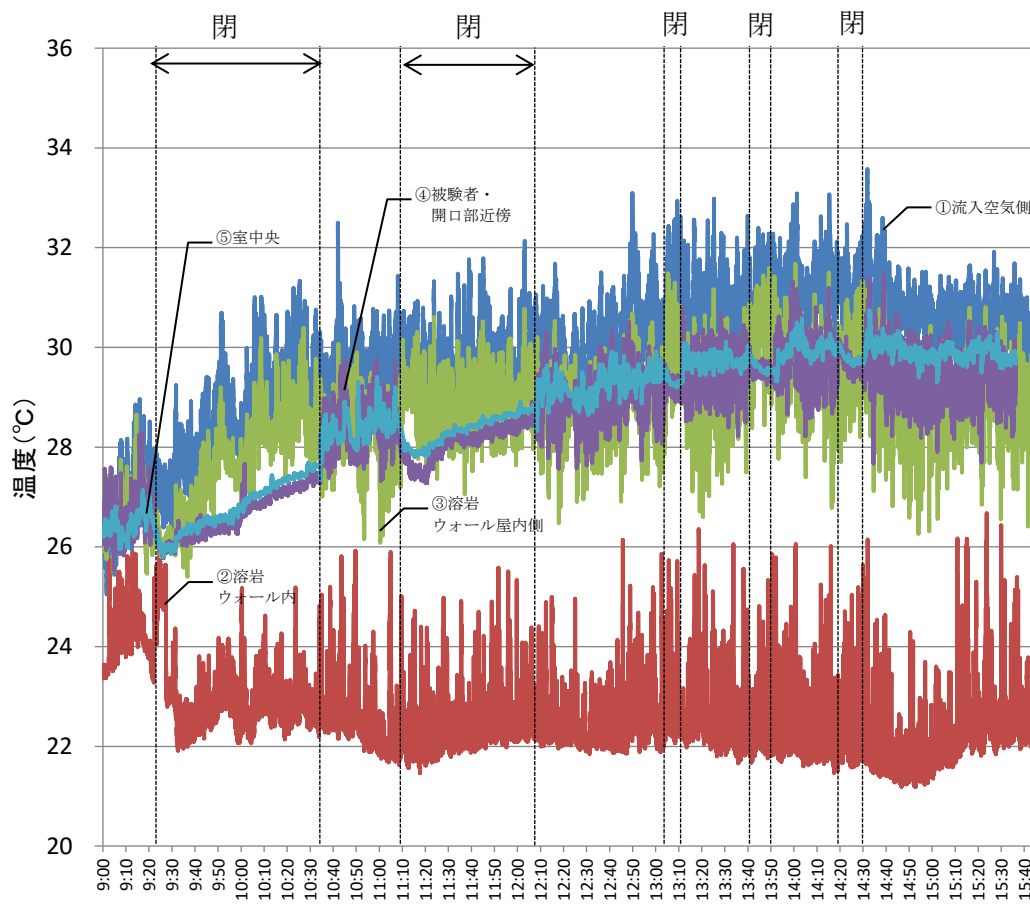
図 3-1-16 代表気象 (2015/6/13)

・屋内における温熱環境及び温冷感申告アンケート調査結果

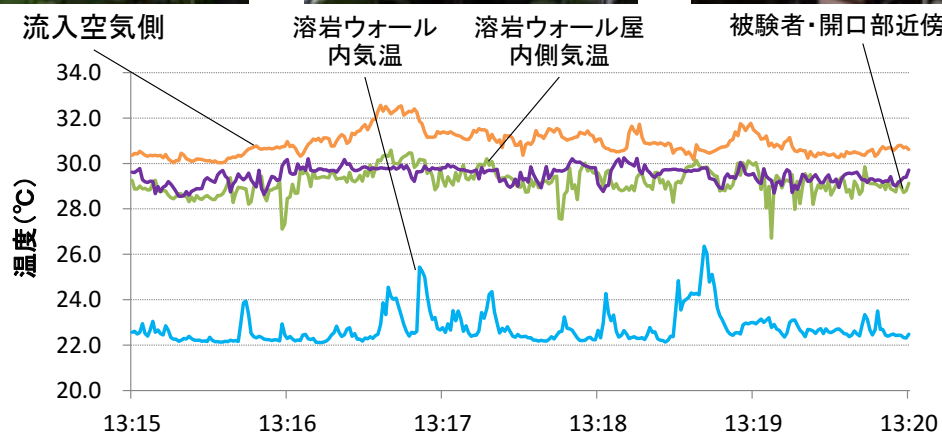
図 3-1-17 に 9-16 時における和室屋内外の温熱環境測定結果を示す。当日は、窓の開閉を実施しながら、被験者申告も行い、窓を閉じた場合と開放した場合の温冷感や快適感の違いについて調査を実施した。

図に示すように午前 10 時を過ぎると①流入空気側の温度は 30℃を超え、13 時を過ぎると、32℃を超える時間帯もみられる。その時、②溶岩ウォール内の気温は 22～24℃と安定しており、湿球温度相当である。この溶岩ウォール内の冷気が③溶岩ウォール屋内側に流出することで、外気側よりも 2～3℃低い冷気が常に生成されており、図 3-1-18 に示すように表面温度分布も道路と溶岩ウォールの表面温度分布とでは最大 30℃の差がみられる。そして、④被験者・開口部近傍では平均で 1～2℃外気より涼しく、瞬間的には外気よりも 3℃以上低い冷気が流入することが明らかとなった。

また当日の温冷感申告アンケート結果を図 3-1-19 に示す。窓閉では、少し蒸すといったコメントがみられるのに対し、窓開では、風が心地よいといったコメントがみられた。次節ではこれらの結果から窓の開閉別や散水の有無別について快適範囲がどのように変化するかを記載する。



(a) 2015/6/13 9:00～15:40



(b) 2015/6/13 13:15～13:20

図 3-1-17 和室屋内外における温熱環境測定結果

溶岩ウォール:外気温-8℃ 植栽:外気温±1℃ 道路:外気温+22℃

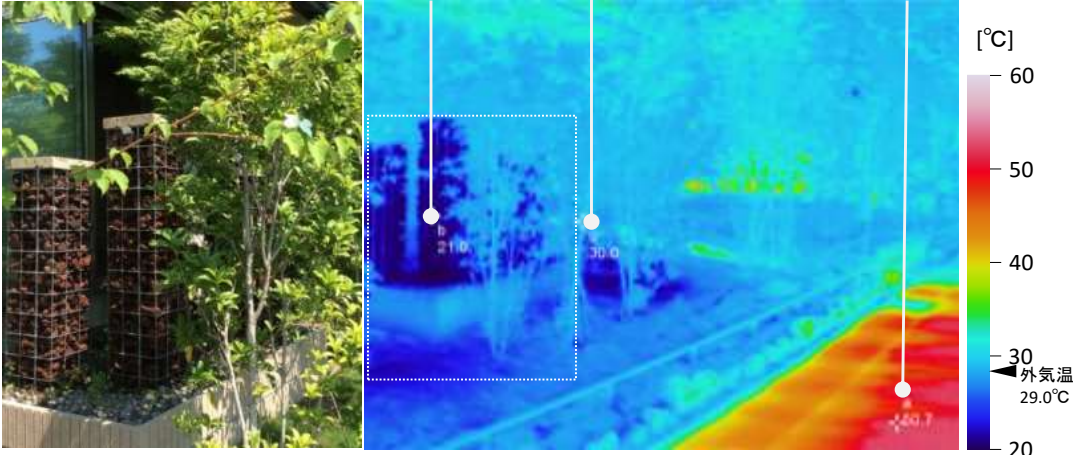


図 3-1-18 和室道路側からみた表面温度分布画像 (2015/6/13 13 時)

Q1時刻	Q1性別	Q1年代	Q2窓開閉	Q3暑さ寒さ	Q4暑さ寒さ	Q5許容	Q6気流	Q7湿度	Q8湿度	Q9快適感	Q10満足感
	1男 2女	2. 20代 3. 30代 4. 40代	1 閉 2 開	1寒い 2涼しい 3やや涼しい 4暑くも寒くもない 5やや暑い 6暑い 7非常に暑い	1もっと暖かく 2少し暖かく 3このままで良い 4少し涼しく 5もっと涼しく	1許容できる 2許容できない	1感じない 2やや感じる 3感じる 4非常に感じる	1非常に乾いている 2乾いている 3やや乾いている 4どちらでもない 5やや湿っている 6湿っている 7非常に湿っている	1もっと加湿して欲しい 2少し加湿して欲しい 3このままで良い 4少し除湿して欲しい	1非常に不快 2不快 3やや不快 4どちらでもない 5やや快適 6快適 7非常に快適	1非常に不満 2不満 3やや不満 4どちらでもない 5やや満足 6満足 7非常に満足
9:30	男	3	閉	5	4	1	1	5	4	3	3
10:30	男	3	閉	5	4	1	1	5	4	5	5
10:40	女	4	閉	4	3	1	1	5	3	4	4
10:50	男	3	開	5	4	1	2	5	4	3	3
11:00	女	4	閉	5	3	1	1	5	4	4	4
11:10	女	4	開	4	3	1	3	4	3	6	6
11:20	男	3	開	3	3	1	3	5	4	5	5
12:20	女	4	開	4	3	1	3	4	3	7	7
13:00	男	3	閉	5	4	1	1	5	4	3	3
13:20	男	3	開	3	3	1	2	4	3	4	4
13:40	女	4	閉	5	5	1	1	4	2	3	3
13:50	女	4	開	5	4	1	3	3	3	4	4
14:20	女	3	開	3	3	1	3	4	3	5	5
14:30	女	3	閉	5	4	1	1	5	4	3	3

Q1時刻	Q1性別	Q1年代	Q2窓開閉	Q11自由コメント	温度 [℃]	平均輻射 温度 [℃]	相対湿度 [%]	風速 [m/s]	SET*
	1男 2女	2. 20代 3. 30代 4. 40代	1 閉 2 開						
9:30	男	3	閉		26.0	26.3	65.5%	0.0	24.3
10:30	男	3	閉		27.4	27.2	64.7%	0.0	25.3
10:40	女	4	閉		27.7	27.2	64.7%	0.0	25.5
10:50	男	3	開		28.4	27.8	48.3%	1.0	22.8
11:00	女	4	閉	少し蒸す感じ。	27.8	28.0	47.7%	0.0	25.4
11:10	女	4	開	風の流れがおだやかで気持ちよい。	28.0	28.1	47.6%	0.1	25.5
11:20	男	3	開		27.3	27.7	50.9%	0.1	25.1
12:20	女	4	開		28.3	28.8	47.4%	0.4	24.1
13:10	男	3	閉		29.0	29.0	45.6%	0.0	26.2
13:20	男	3	開	風があまり入ってこなかった。	29.7	29.2	40.2%	0.2	25.8
13:40	女	4	閉	少し暑苦しい。風がなく蒸す感じ。	29.9	29.3	37.7%	0.0	26.4
13:50	女	4	開	風は気持ち良いが、窓側の放射熱が感じられて暑く感じる。	29.4	29.3	42.9%	0.1	26.4
14:20	女	3	開	もっと風が入ってきてほしいと感じる。	30.1	29.6	35.9%	0.1	26.5
14:30	女	3	閉	じっとしていると暑く感じる。	29.3	29.4	39.3%	0.0	26.3

図 3-1-19 温冷感申告結果と申告時の温熱環境測定結果

(ii)盛夏（8月）における測定結果

・測定期間中の代表気象の特徴

8月の調査実施時における代表気象を図3-1-20～図3-1-22に示す。この期間における気象条件の特徴を以下に示す。なお、盛夏時の測定は、外気温の低い早朝～午前の窓開放と夕方～夜間の窓開放を想定し、日中についてはエアコンによる屋内の測定のみを実施した。

① 2015/8/12

- ・天候：曇時々晴 最高気温：34.6℃ 測定を実施した7～12時は、外気温が26～31℃であり、6月の測定時と外気温は同程度である。また17～20時は、外気温が28～31℃であり、朝と比較するとやや暑い。

② 2015/8/13

- ・天候：曇時々晴 最高気温：32.6℃ 7～13時は、外気温が24～31℃であり、前日よりも涼しい時間帯が多い。また17～20時は、26～29℃で前日よりもやや涼しい環境である。

③ 2015/8/14

- ・天候：午前曇 最高気温：31.0℃ 午後は雨予想であったため、午前中のみ測定があり、7～12時は23～29℃と3日間の中では最も涼しい環境であった。

以上より、測定期間の中では初夏の代表的な真夏日といえる8/12を事例として取り上げ、以下に自治集会所における屋内外の測定結果例を示す。

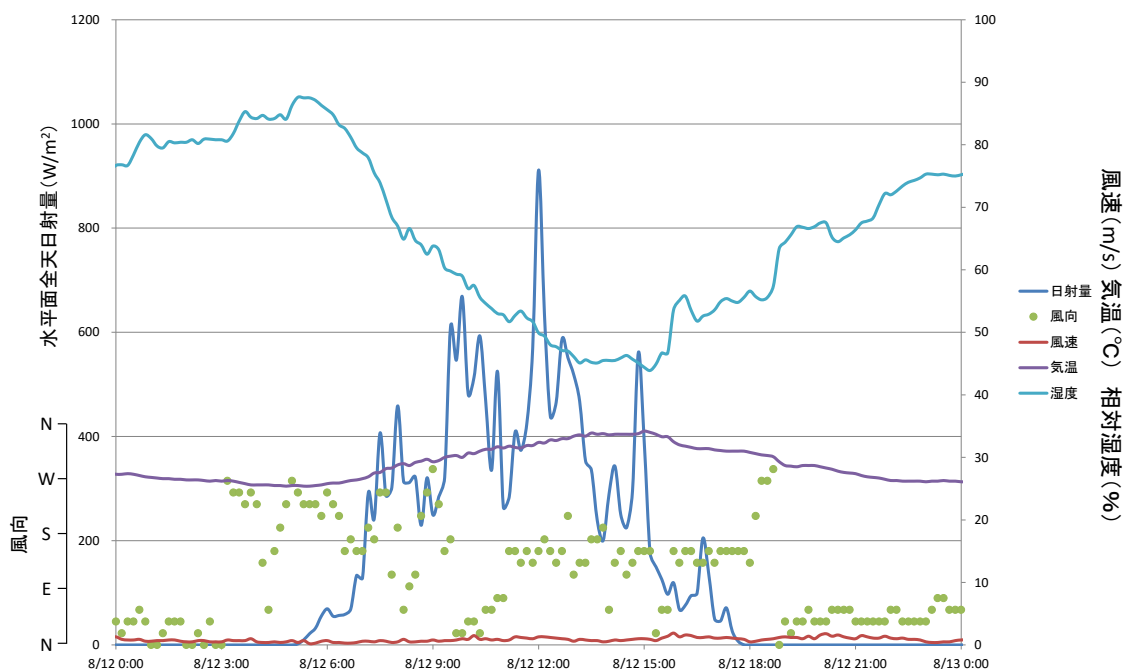


図3-1-20 代表気象（2015/8/12）

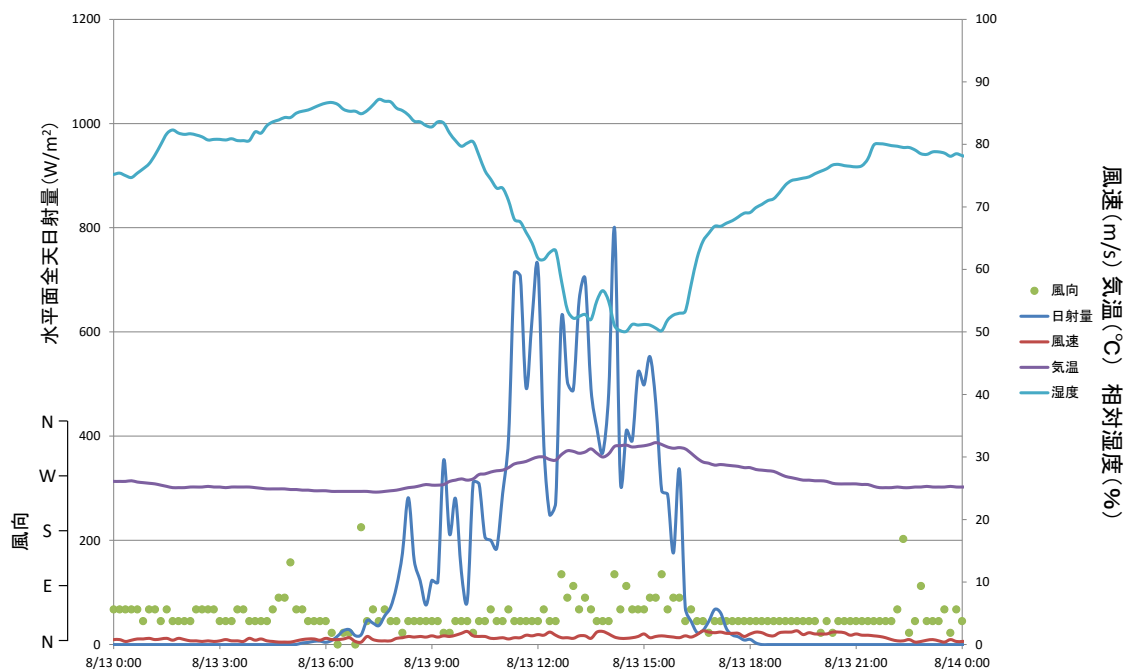


图 3-1-21 代表气象 (2015/8/13)

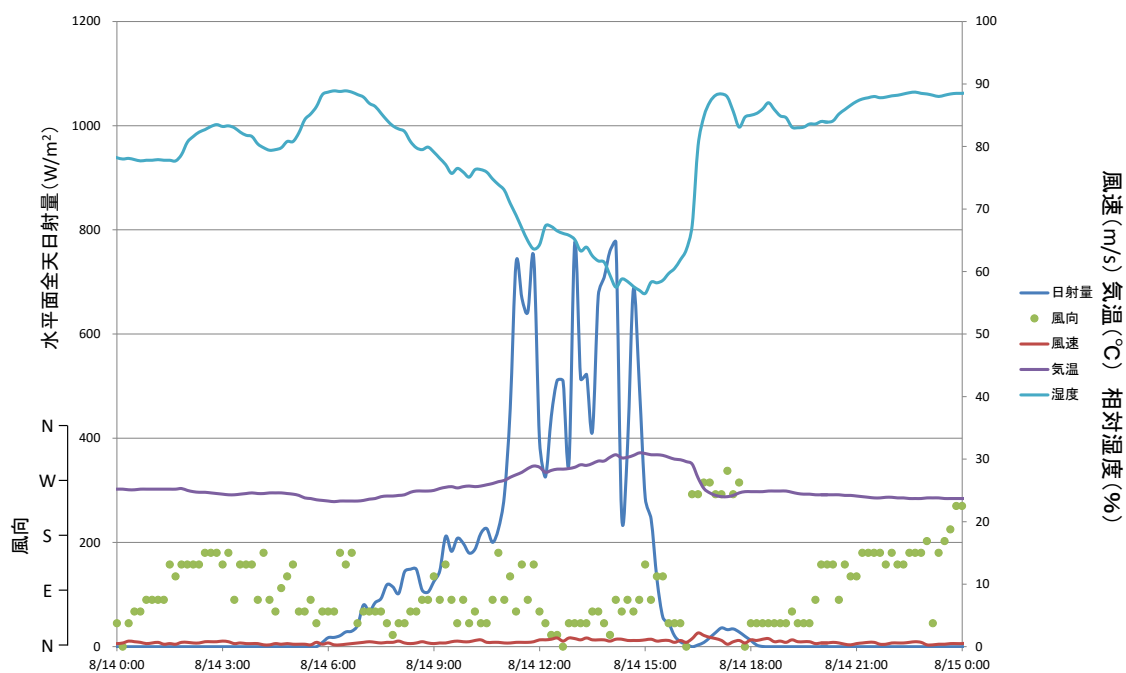


图 3-1-22 代表气象 (2015/8/14)

・屋内における温熱環境及び温冷感申告アンケート調査結果

ここでは 8/12 の測定結果の概要について記載する。前述の被験者温冷感申告を実施した 8/12 は、自治集会所和室においては散水を実施せず、散水の有無による屋内温熱環境の違いについて考察した。図 3-1-23 に示すように、流入空気側温度と被験者近傍温度の傾向はほぼ一致しており、屋外からの空気がそのまま冷却されずに室内へと流入していることがわかる。そのため図 3-1-24 に示すように 6 月の結果と比較すると、同じ外気温であっても散水無時の窓近傍気温は 1～3℃高い温度で流入していると考えられる。但し、図 3-1-25 に示す通り温冷感申告アンケート結果をみると、被験者・開口部近傍温度が 30℃を超える状況であっても風があれば涼しいと感じており、被験者自身が 6 月と比較して短期暑熱順化している傾向がみられ、次章では 6 月と 8 月の季節による違いについても考察を行う。

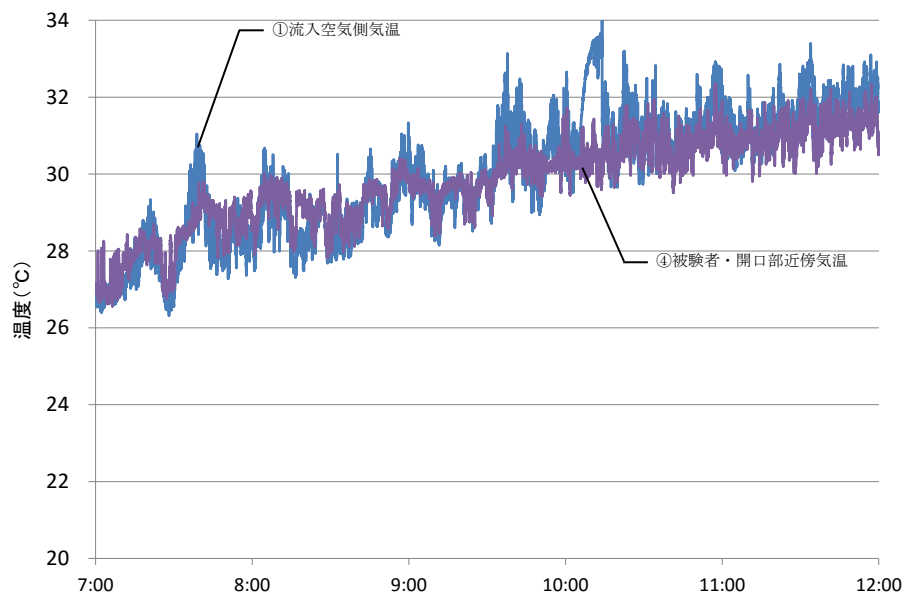


図 3-1-23 散水無時の流入側気温と被験者近傍温度の時系列変化
(2015/8/12 7-12 時)

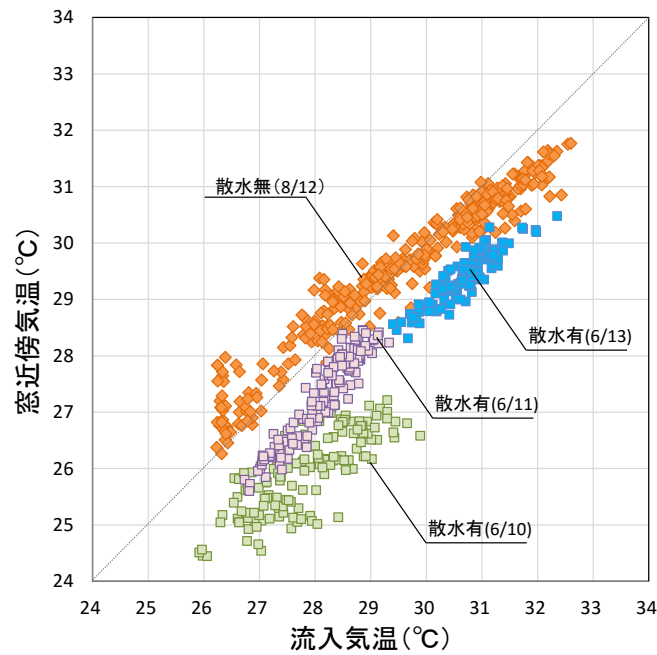


図 3-1-24 散水有無時の流入空気側気温と被験者・開口部近傍気温の比較

Q1時刻	Q1性別	Q1年代	Q2場所	Q2散水	Q2窓開閉	被験者・開口部近傍温度 [°C]	Q3暑さ感	Q4暑さ感	Q5許容	Q6気温	Q7湿度	Q8湿度	Q9快適感	Q10満足感
	1男 2女	2. 20代 3. 30代 4. 40代 5. 50代 6. 60代	ベンチ前 ルンパード 公園 和室前 集会所1 集会所2	1有 0無	1閉 2開		1寒い 2涼しい 3やや涼しい 4暑くも悪くない 5やや暑い 6暑い 7非常に暑い	1もっと暖かく 2少し暖かく 3このままで良い 4少し涼しく 5もっと涼しく	1許容できる 2許容できない	1感じない 2やや感じる 3感じる 4非常に感じる	1非常に乾いている 2乾いている 3やや乾いている 4どちらでもない 5やや湿っている 6湿っている 7非常に湿っている	1もっと加湿して欲しい 2加湿している 3やや加湿している 4このままで良い 5少し除湿して欲しい 6除湿して欲しい	1非常に不快 2不快 3やや不快 4どちらでもない 5やや快適 6快適 7非常に快適	1非常に不満 2不満 3やや不満 4どちらでもない 5やや満足 6満足 7非常に満足
7:10	男	2	和室前	0	開	28.2	4	3	1	2	4	3	4	5
7:30	男	3	和室前	0	開	27.5	3	3	1	2	5	4	5	5
8:00	男	2	和室前	0	開	29.2	5	4	1	1	4	3	4	4
8:10	男	3	和室前	0	開	29.1	4	3	1	2	4	3	5	5
9:50	女	3	和室前	0	開	30.2	4	3	1	2	4	3	7	7
11:00	男	2	和室前	0	開	30.8	4	3	1	2	4	3	5	5
11:10	男	2	和室前	0	開	30.8	3	3	1	1	5	4	4	4
11:30	男	3	和室前	0	開	31.3	3	3	1	2	5	4	4	4
11:50	女	3	和室前	0	開	31.3	6	5	2	2	6	5	2	2
17:10	男	2	和室前	0	開	30.5	4	4	1	2	4	3	4	3
17:20	男	2	和室前	0	開	30.6	4	4	1	1	6	4	3	3
17:30	男	3	和室前	0	開	30.7	5	4	1	2	5	4	4	4
17:40	女	3	和室前	0	開	30.7	5	4	2	1	5	4	3	3
17:50	女	2	和室前	0	開	30.7	4	4	1	1	6	4	4	3
19:30	女	2	和室前	0	開	28.6	2	3	1	2	5	4	5	6
19:40	男	2	和室前	0	開	28.7	4	3	1	4	5	4	5	4
19:50	男	3	和室前	0	開	28.7	3	4	1	2	4	3	4	4
20:00	男	2	和室前	0	開	28.5	3	3	1	3	4	3	6	6
20:20	女	3	和室前	0	開	28.0	2	3	1	3	4	3	7	7

Q1時刻	Q1性別	Q1年代	Q2場所	Q2散水	Q2窓開閉	被験者・開口部近傍温度	Q11自由コメント
7:10	男	2	和室前	0	開	28.2	
7:30	男	3	和室前	0	開	27.5	たまに涼しい風を感じる
8:00	男	2	和室前	0	開	29.2	
8:10	男	3	和室前	0	開	29.1	
9:50	女	3	和室前	0	開	30.2	ちょうどいい
11:00	男	2	和室前	0	開	30.8	風がかなり吹いて来た。
11:10	男	2	和室前	0	開	30.8	
11:30	男	3	和室前	0	開	31.3	風がないとやや暑い。
11:50	女	3	和室前	0	開	31.3	蒸し暑い。時々風を感じるが、少ない。
17:10	男	2	和室前	0	開	30.5	
17:20	男	2	和室前	0	開	30.6	風が入って来た際には、涼しく感じる
17:30	男	3	和室前	0	開	30.7	
17:40	女	3	和室前	0	開	30.7	風が入ってこない
17:50	女	2	和室前	0	開	30.7	風があまり感じられない
19:30	女	2	和室前	0	開	28.6	夕方に比べると風があって涼しい。
19:40	男	2	和室前	0	開	28.7	
19:50	男	3	和室前	0	開	28.7	外は涼しいが、中が蒸し暑い。体半分涼しい感じ。
20:00	男	2	和室前	0	開	28.5	
20:20	女	3	和室前	0	開	28.0	気持ちいい風が入ってくる

図 3-1-25 被験者温冷感申告アンケート結果

(2) 戸建住宅における屋内測定結果

(i) 植栽空間における温熱環境及び温冷感申告アンケート調査結果

図 3-1-10 に示した植栽空間が前面にある和室で温熱環境測定と被験者申告を実施した。ここでは 7/30 の結果を示す。図 3-1-26 に示すように 14 時を過ぎて植栽空間が建物の日射遮蔽の影響を受けて日陰となった結果、代表気温よりも屋外気温が約 1℃低い状態で推移しており、19 時迄はほぼ 1℃差で推移している。また被験者申告と合わせて 15 時頃には散水を行っているが、明確な効果は確認できなかった。また屋内については、15:20 にエアコンを停止し、窓を開放させ、15:30 より被験者温冷感申告を実施した。窓を開放した場合と窓を閉じた場合の 2 パターンを測定するため、窓の開閉を被験者の温冷感申告に合わせて実施し、温冷感の違いに関するデータを取得した。これらの結果を次章では他のパッシブクーリング技術と合わせて考察する。

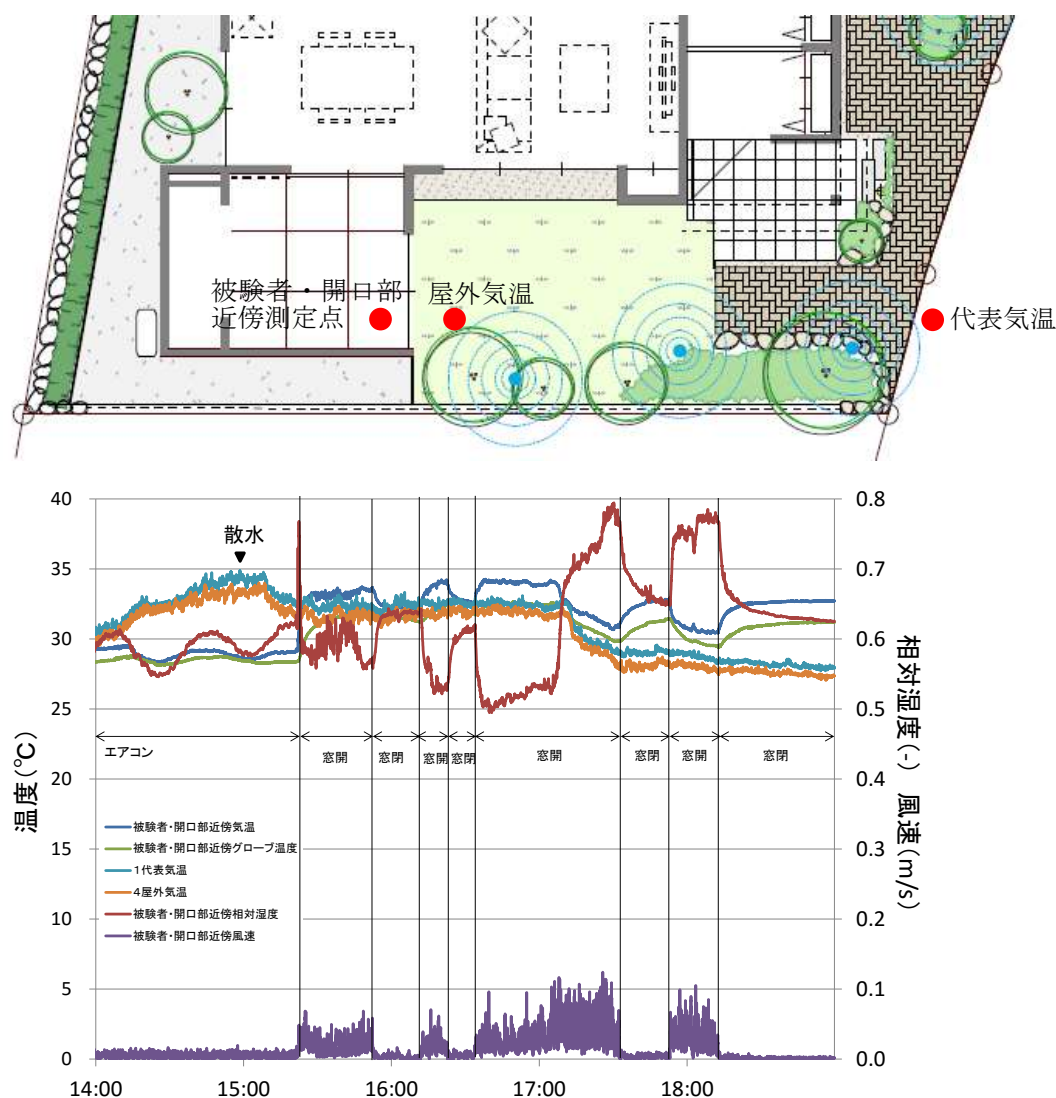


図 3-1-26 植栽空間における屋内外測定結果（2015/7/30 14-19 時）

(ii) エアコンを用いた場合の室内温熱環境及び温冷感申告アンケート調査結果

エアコンを用いた場合の室内温熱環境測定及び温冷感申告は、夏季日中・夜間の利用を想定して、9～20時の時間帯に行い、温熱環境の測定とともに実施した。当日は室温設定温度を24～30℃で変化させ、温冷感申告時前10分の被験者近傍平均室温とTSVとの関係と比較した。その結果、図3-1-27に示すように、エアコン利用時の室温と温冷感申告結果とは相関があり、本データを用いて次章では快適温度やSET*の快適範囲を求める。

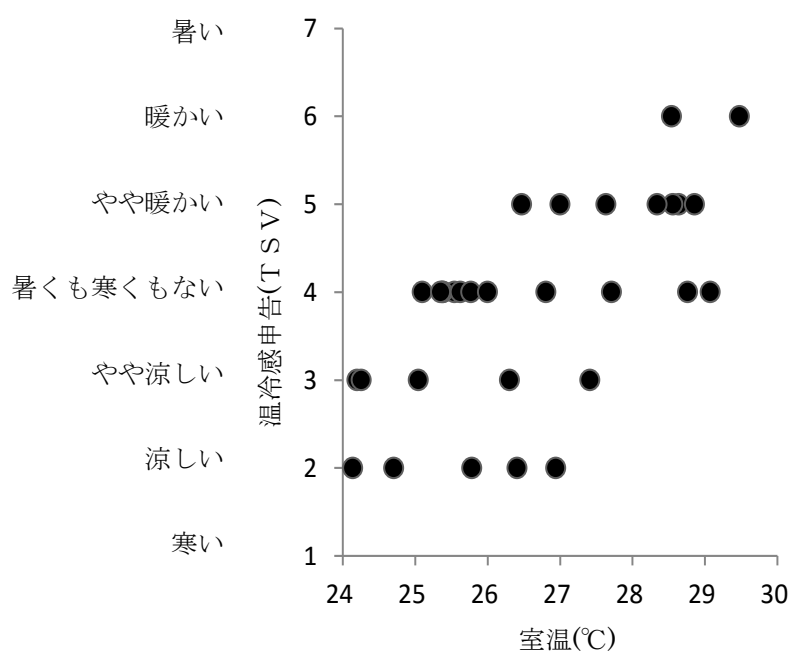


図 3-1-27 エアコン利用時の室温とTSVの比較

3.1.5. 冷気の移流特性および冷気の到達距離に関する調査結果

(1) 気温の低下が見られる空間的・時間的範囲の調査

(i) 調査目的

パッシブクーリング技術の導入・利用により発現する涼風形成度を評価するための基礎的データの取得を目的として、気温の低下と気温の乱れの効果が発現する空間的・時間的範囲を調査した。

(ii) 測定方法

夏季主風向側に面する窓前が開けた空間において、窓から 1m 離れた地点に設置されたクールルーバーを対象とした。本実測の測定位置と測定時の様子を図 3-1-28 に示す。測定日は 2015/9/12 とし、8:50~18:00 までクールルーバーへの散水を行った。

クールルーバーから夏季主風向風上側（東側）に 1.5m の地点を代表地点（①）として、3 次元超音波風向風速計により流入風向・風速を、また強制通風筒内の熱電対と高分子湿度センサーによって温湿度を測定した。その他、図 3-1-28 に示す通りルーバー前後および屋内に向かって直線上に気温の測定を行った。

(iii) 測定結果

①流入風温度に対するクールルーバーからの距離別の温度を図 3-1-29 に示す。ルーバーの風上側近傍に当たる②ルーバー-0.1m では気温の低下が 0.5~1℃程度、ルーバーの風下側近傍に当たる③ルーバー+0.1m では常に 1~2℃低い冷気の出現が見られ、ルーバー近傍では前後に冷気が分布する事象が観察された。またルーバーから 1m 離れた④ルーバー+1m と室内側⑤⑥では、流入風温度が 26℃前後の場合には流入風温度より高く、26℃より高くなるにつれ相対的に低下し、④⑤は最大 1℃差、⑥は流入風と同程度となった。26℃以下の温度帯は朝窓を開ける前の温度帯であったため、入射した日射により室内が温められたことに因る。また窓を開放することにより室内の空気とクールルーバーにより冷却された空気とが混合し、気温が低下したものと考えられた。

過年度業務の実測結果にも示されていた通り、日射が当たってもクールルーバーの表面温度は湿球温度相当まで低下する。しかし周囲の壁や地面は日射により温められると上昇気流を発生させる要因となるため、クールルーバーから移流する冷気の範囲に影響すると考えられる。そこで冷気の空間分布における日射の影響を把握するため、日射受熱条件、日射遮蔽直後（太陽位置が建物の逆側に移動した直後でまだ周囲の表面温度は高い状態）、日陰条件（空間全体が日陰になった状態）となる時間帯について、それぞれ気温の変動を図 3-1-30 にまとめた。ここでは気温変動の実態を細かく見るため、1 秒間隔のデータを 30 分間ずつ記載している。

図 3-1-30 より、まず全体的に屋外と屋内の気温変動の差が明確であり、質的に異なることがわかる。また一般的に周囲が開けている空間、または表面温度分布が小さい屋外環境

においては、ルーバー(-1.5m, -0.1m)のような気温変動を示すものである。それに対しクー
ルルーバーの風下側では、日射受熱条件で 3℃、日射遮蔽直後で 2℃、日陰条件で 1.5℃の
変動幅が見られ、流入風に対する気温低下が顕著に、また気温変動の振幅が大きくかつ高
周波による変動となる実態が示されている。

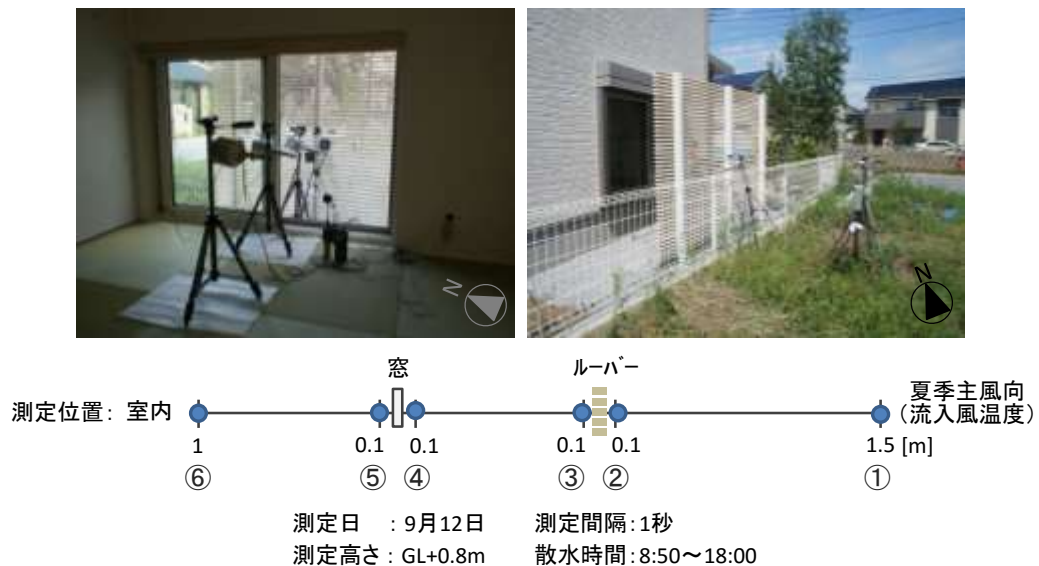


図 3-1-28 測定位置と測定時の様子

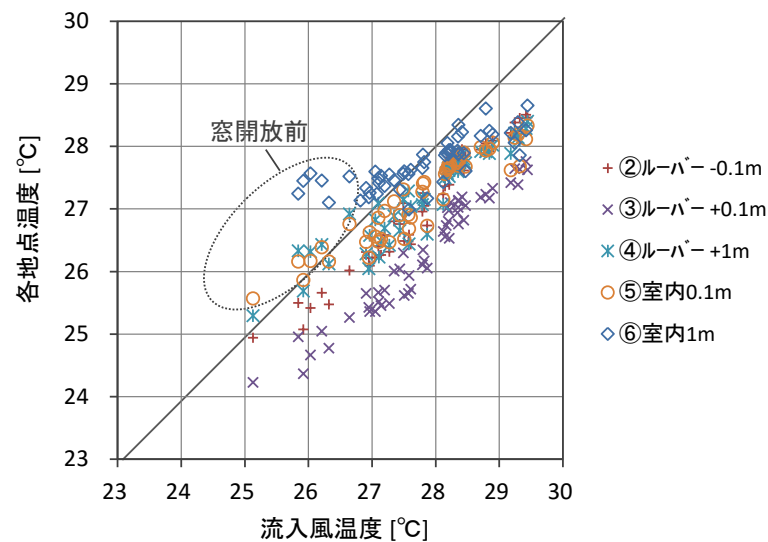
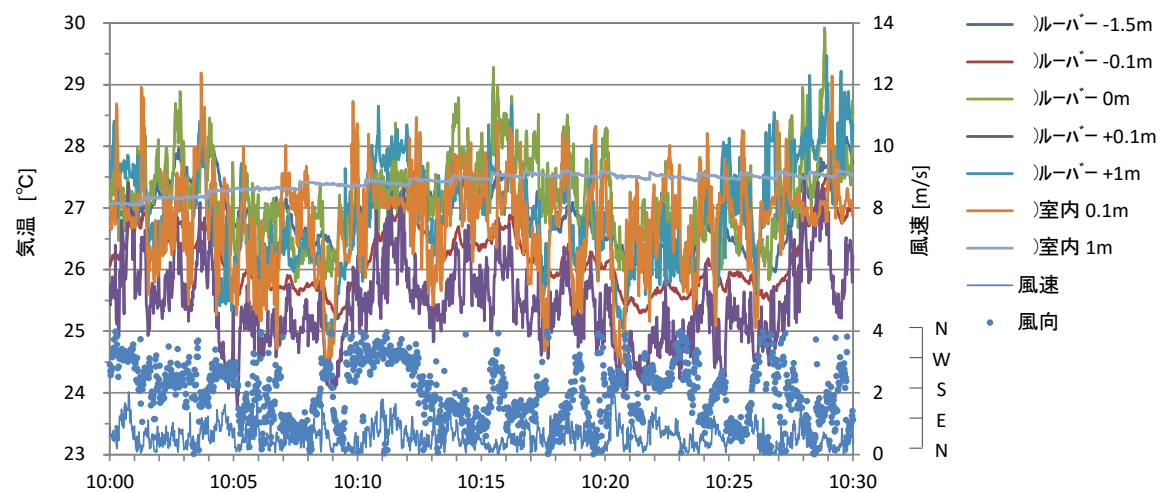
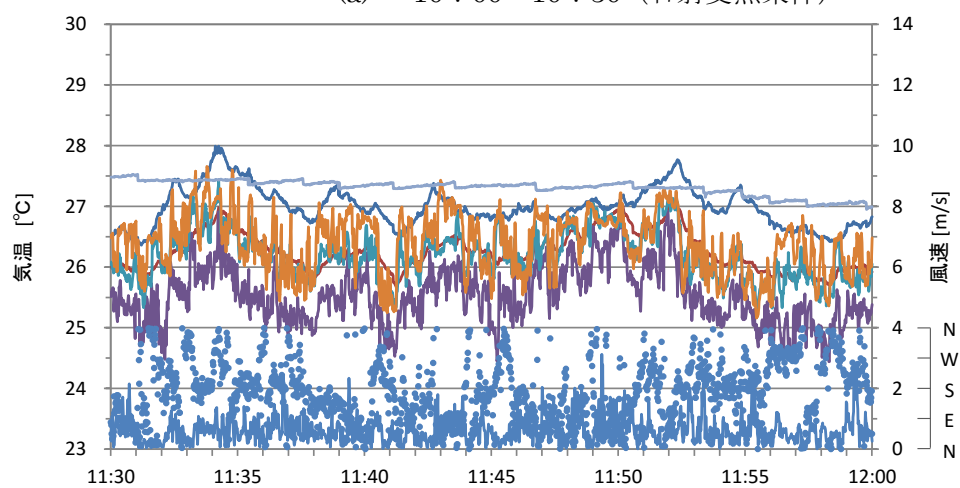


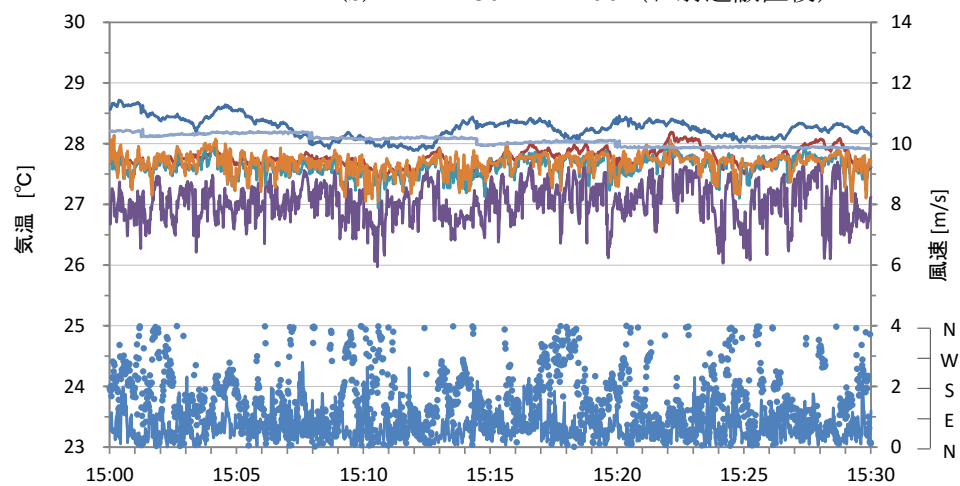
図 3-1-29 流入風温度に対するクールルーバーからの距離別の温度
(1 分間平均値)



(a) 10 : 00～10 : 30 (日射受熱条件)



(b) 11 : 30～12 : 00 (日射遮蔽直後)



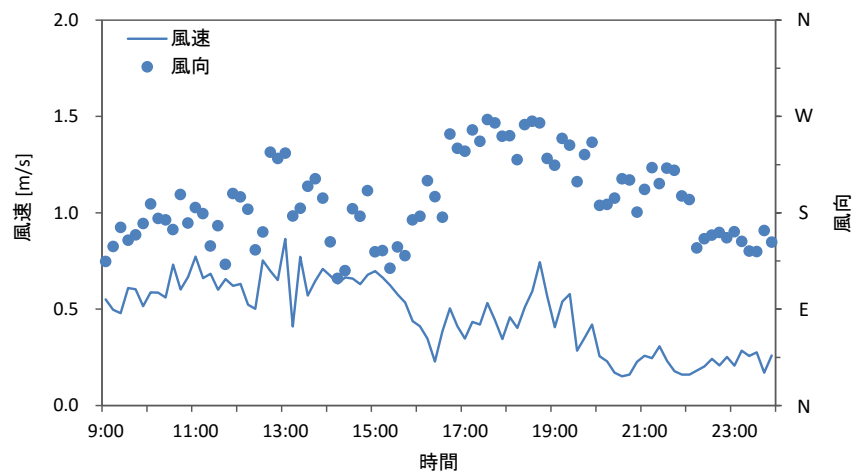
(c) 15 : 00～15 : 30 (日陰条件)

図 3-1-30 日射条件ごとの気温分布と気温変動 (1s 間隔)

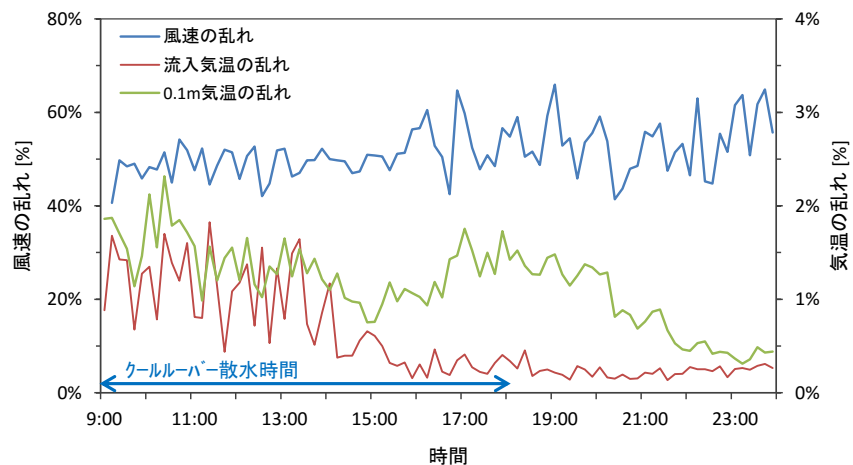
(2) 気温の低下と気温の乱れによる涼風形成度の評価

人の体感においては、まず気温変動そのものが刺激となって涼しさをもたらすと考えられるが、パッシブクーリング技術の適用によって目指す涼的に質の高い空間は、図 3-1-30(c) の日陰条件で見られたような気温の低下と気温の変動の 2 つの効果が合わさった、冷氣の出現を伴う空間である。よって本業務で提案する涼風形成度の評価指標は、外気に対する低下量を示す「気温の低下」(式 2.1) と気温の変動を示す「気温の乱れ」(式 2.2) の 2 つの尺度を用いることとする。

ず、東京工業大学の浅輪准教授の指摘を踏まえ、屋外風環境を議論する際に算出されることが多い風速の乱れとの性質の違いを図 3-1-31 に示す。(b)風速の乱れと流入気温の乱れ、ルーバー+0.1m の気温の乱れはそれぞれ異なる性質をもつものであることがわかる。



(a) 流入風向・風速



(b) 風速の乱れと気温の乱れ

図 3-1-31 流入風条件と気温の乱れ (9 月 12 日 10 分間隔)

そこで、気温の低下を縦軸に、気温の乱れを横軸に取り、(1)の測定点別にグラフにプロットした結果を図 3-1-32 に示す。網掛け部分は代表気温に対して気温が上昇した範囲を示す。当図では散水を行った 9 時～18 時を日中とし、18 時～6 時までの散水なしの時間帯を夜間として示している。さらに日陰条件に該当する時間帯として、日中 15～18 時の時間帯を青く塗り潰した凡例で示している。夜間は静穏な日が多く、かつ表面温度分布が日中に比べ小さいため、このような条件下における気温の乱れの参考値として併記した。また本来、朝 6 時～9 時は散水対象時間となるが、今回の調査では散水していないため図には記載していない。なお散水せず窓を閉じた夜間には室温が外気温より高くなる時間帯も見られたが、本指標は気温が低下する条件を対象とした評価指標の構築を目的としているため、夜間の室温は扱わないこととする。

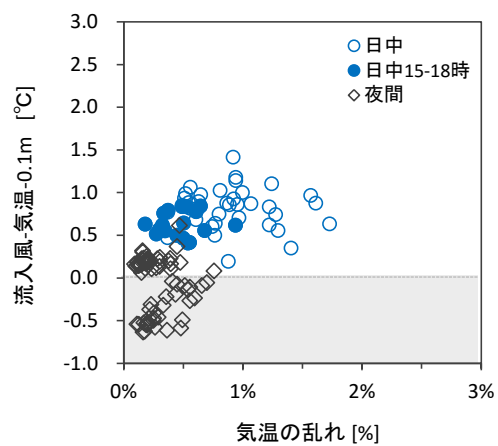
以上の条件をもとに図 3-1-32 の地点②～④を見ると、散水なしの夜間には気温の乱れと気温の低下が 0 付近に分布するのに対し、散水が行われる日中には気温の低下と気温の乱れが大きくなり、グラフの右上方向に分布する傾向が見られた。特に③ルーバー+0.1m が顕著である。また④ルーバー+1m では気温の乱れは大きい気温の低下は小さい分布が見られ、これはクールルーバーにより生成された冷気と日射を受けた壁面等により温められた空気とが混合し、乱れが大きくなった状態が表れていると言える。⑤室内 0.1m では④ルーバー+1m と同様に全体的にばらつきが大きい。⑥室内 1m では、気温の低下は見られるものの気温の乱れはほぼ 0 となり、気温はゆっくりと変化していることが読み取れる。

これらの特徴とばらつきを踏まえると、気温の低下は最大 3℃、気温の乱れは最大 3%程度である。また日陰条件となり、理想的な気温の低下と冷気の乱れ条件として③ルーバー+0.1m の 15～18 時の分布を考慮すると、気温低下 1℃以上、気温の乱れ 1%以上が目標とする涼風形成条件の閾値として考えられた。

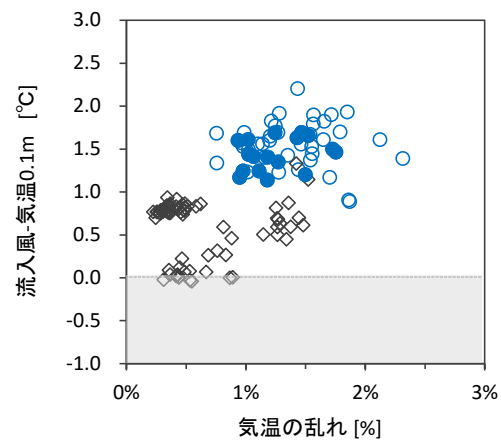
「気温低下 1℃」は、人が感知できる温度差の下限値であることが知られていること、また過年度業務において屋外における散水あり／なしによる快適温度の差が 0.5℃であったことを踏まえると、散水による環境の質の改変の評価基準として意義ある値であると考えられる。

また「気温の乱れ 1%」については、今回対象としている温度域が概ね 28～32℃であり、当温度帯における乱れ 1%は平均気温±0.3℃程度に相当する。繰り返しになるが、パッシブクーリング技術の適用によって目指す涼的に質の高い空間は図 3-1-30(c)の日陰条件における③ルーバー+0.1m で見られたような冷気が出現する空間であることから、当空間の質を満たす基準として、1%を閾値とした。

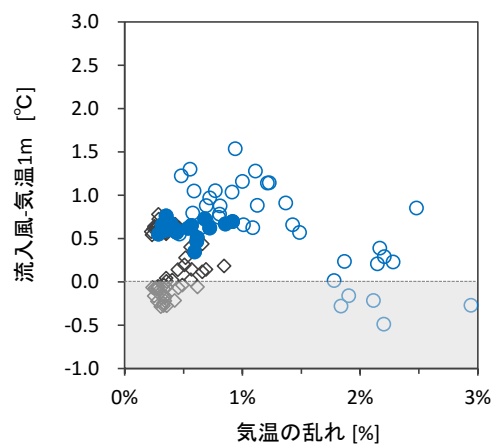
なお、今回提示した涼風形成度評価手法については 4.5.4 で温冷感申告結果との関係性を踏まえながら考察し、今後の改良の方向性について示す。



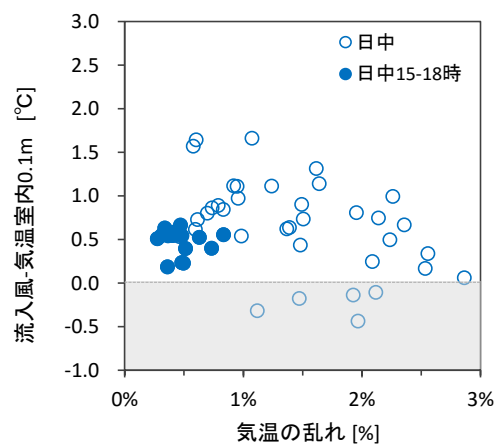
②ルーバー-0.1m



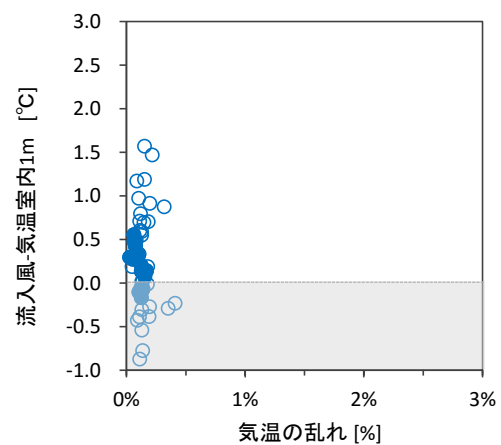
③ルーバー +0.1m



④ルーバー 1m



⑤ 室内 0.1m



⑥ 室内 1m

図 3-1-32 クールルーバーからの距離別の気温の乱れ

(3) 様々なパッシブクーリング技術の適用空間における涼風形成度の評価

パッシブクーリング技術の種類および空間形態の異なる 4 箇所において、気温の低下と気温の乱れを算出した結果を図 3-1-33 に示す。各空間における気温の低下と気温の乱れについて、前述の評価基準を踏まえてそれぞれ特徴を明らかにする。

気温の低下と気温の乱れが共に大きく、プロットされた点がグラフの右上方向に多く分布しているのは(a)集会所ルーバー前と(b)ルーバー付きテラスである。

(a)集会所ルーバー前（図 3-1-5(B)）ではほとんどの時刻で気温低下 1℃以上、気温の乱れ 1%以上となっている。

(b)ルーバー付きテラス（図 3-1-9）では(a)よりばらつきが大きい。これは昼から午後にかけてルーバーおよびテラスに日射が当たり、また午前および夕方には日陰条件となるため 1 日の中で大きく条件が変わる環境であることの表れである。このように環境条件の変化が大きい中でも、クールルーバー近傍の特徴として、気温低下 1℃以上、気温の乱れ 1%以上の分布が多い傾向が表れている。

(c)集会所ベンチ上（図 3-1-5(B)）ではクールルーバーから約 2m 離れており、気温以下となっているものの、気温差はほぼ 0～1℃の範囲である。一方、気温の乱れが 1%を超える時間が多く見られ、(1)④ルーバー+1m と⑤室内 0.1m の一部と共通する分布が見られる。

(d)植栽空間（図 3-1-2, 図 3-1-10）では概ね気温以下となっているものの、気温差はほぼ 0～1℃の範囲である。また気温の乱れはほとんどが 1%以下であり、グラフの左下よりに分布している。

以上より、クールルーバーを適用した空間においては概ね気温の低下 1℃以上、気温の乱れ 1%以上であること、また植栽空間では気温の低下や気温の乱れによる効果が見られるものの、クールルーバーの空間に比べ両効果とも小さく、空間の特徴がよく表されている。したがって気温の低下と気温の乱れを用いた本手法により、上記閾値によって、パッシブクーリング技術や空間による涼風形成度合いの違いを評価可能であると考ええる。

そこで涼風形成度評価における空間特性を示すグレードとして、図 3-1-34 の通り設定した。(a)～(d)の空間をそれぞれグレード化すると、(a)と(b)のルーバーを用いた空間は Grade I, (c)の集会所ベンチは GradeIII, (d)植栽空間は GradeIVと位置づけられる。

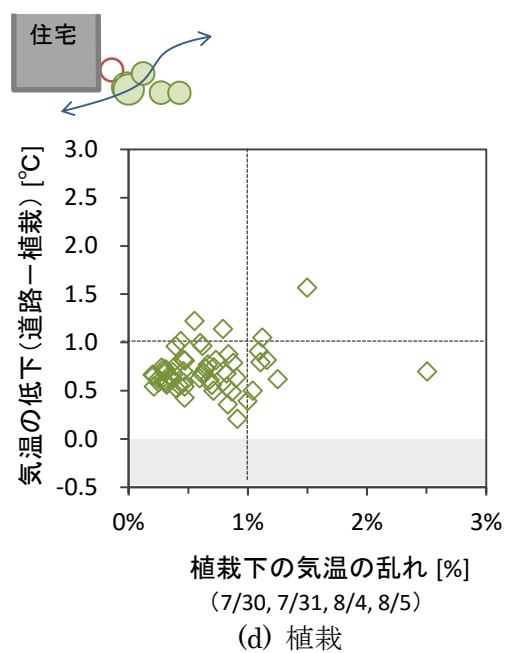
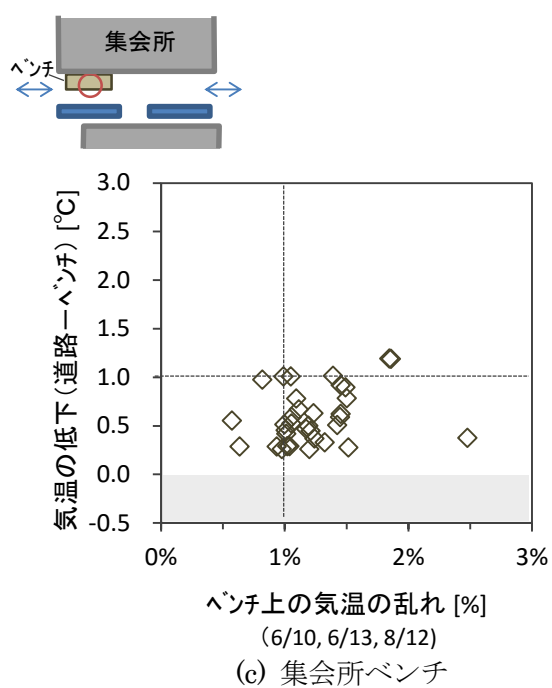
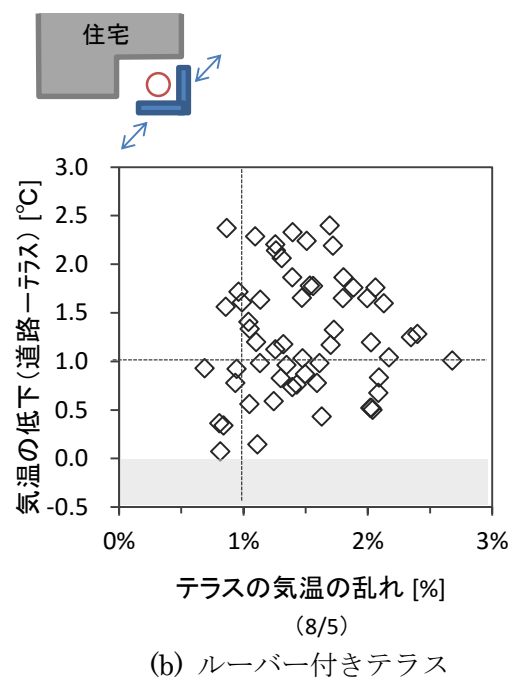
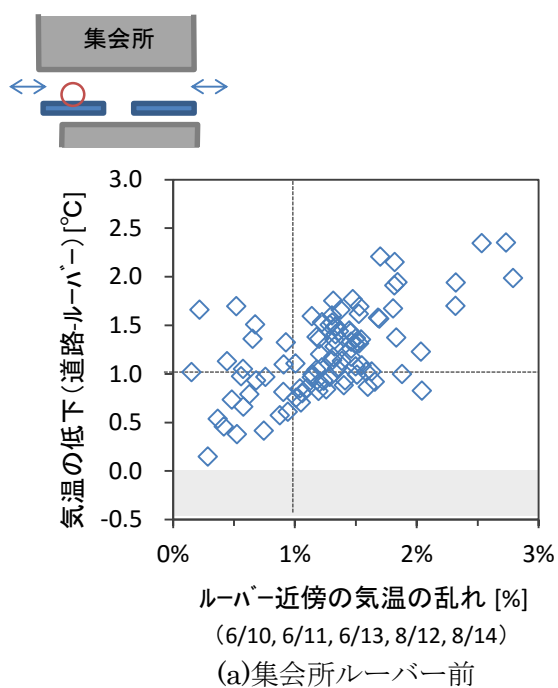


図 3-1-33 パッシブクーリング技術・空間別気温の乱れと気温の低下

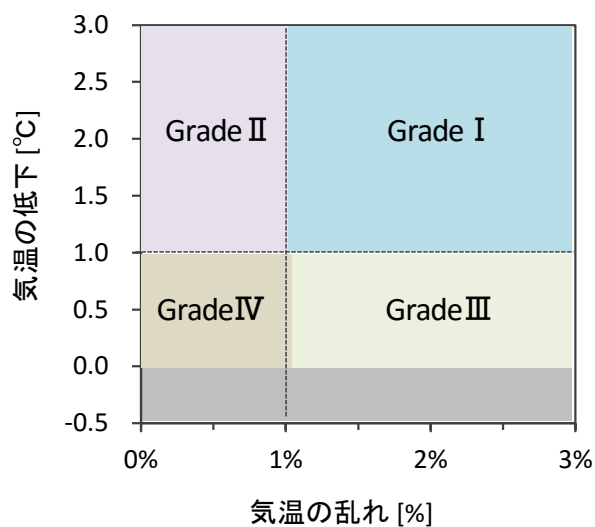


図 3-1-34 涼風形成度評価におけるグレード

3.2. 入居者アンケート調査の実施

3.2.1. 調査概要

パッシブクーリング技術の利用が満足感の向上に寄与することを評価する NEB 評価指標の追加検討を行うため、過年度業務で実施した入居時の満足感やパッシブクーリング技術への期待に関するアンケート調査（以下、入居時アンケート）を平成 27 年以降の新規入居者に対して実施した。次に、平成 27 年 9 月までの全入居者を対象に、夏季のパッシブクーリング技術の利用状況、エアコンの利用状況、当技術を導入したライフスタイルに対する満足感などに関するアンケート調査（以下、夏の住まい方アンケート）を実施した。

調査の実施時期および対象者数などを表 3-2-1 にまとめて示す。同世帯の中でもライフスタイルや好み等によって感じ方が異なることが予想されたため、当住宅地に住まう居住者のうち 20 歳以上の成人全てを対象とした。アンケート用紙は郵便受けに投函し、回収方法は郵送とした。

住宅の建設に伴い入居が段階的に行われたため、入居時アンケートは各世帯入居後 1 ヶ月前後を目安として 5 月と 9 月の 2 回に分けて実施した。5 月は 9 世帯 18 名、9 月は 10 世帯 20 名の入居者を対象とした。回収率は 80%であった。

夏の住まい方アンケートは平成 27 年 8 月までに入居した 1 次・2 次入居者（計 17 世帯）のうち、入居時アンケートに回答した 15 世帯 31 名を対象に 9 月下旬に実施し、一夏を振り返る形で質問に回答させた。回収率は 100%であった。

また 3 次入居者 10 世帯 20 名は夏以降に入居したため、入居時アンケートと夏の住まい方アンケートを同時に行った。回収率は 80%であった。

アンケート項目を表 3-2-2 に示す。個別の質問内容については、アンケート用紙を付録に添付する。

表 3-2-1 アンケート調査概要

	時期	対象者/世帯数	回答者数	回収率
【1次 入居者】 ・入居時アンケート	2014.10 (過年度業務)	17名(8世帯)	17名	100%
【2次 入居者】 ・入居時アンケート	2015.5	18名(9世帯)	14名	80%
【3次 入居者】 ・入居時アンケート ・夏の住まい方アンケート	2015.9	20名(10世帯)	16名	80%
【1・2次 入居者】 ・夏の住まい方アンケート	2015.9	31名(15世帯)	31名	100%

表 3-2-2 入居時アンケート項目の概要

	項目	備考
1	回答者の基本情報	
2	当住宅地の選択理由	
3	当住宅地に対する満足感	7段階尺度
4	涼を呼ぶまちづくりの取組みに対する感想	期待値について
5	夏、涼しく住もうためにやってみたい／やってみたいくないこと	
6	転居前住居で行っていたこと	
7	転居前住居に対する満足感	7段階尺度

表 3-2-3 夏の住まい方アンケート項目の概要

	項目	備考
1	回答者の基本情報	平均在宅時間を追加
2	窓開放時間	春, 初夏, 盛夏, 晩夏
3	涼を呼ぶまちづくりの取組みに対する感想	利用したもの 効果を感じられたもの
4	各居室のエアコン使用状況	
5	エネルギー表示器	
6	屋外での過ごし方	
7	この夏の熱的快適性と満足感	7段階尺度
8	自由記述	

3.2.2. アンケート調査結果

アンケート調査結果については、3次入居者の回答のうち、1次・2次入居者と比べて明らかに異なる項目以外は、入居時期の違いは考慮せず、まとめて解析した。また入居時アンケート・夏の住まい方アンケートの両方において質問した項目については、その比較を行ないながら考察を行った。

(1) 回答者の基本情報

- ・回答者の年代は30代が約7割を占め、住宅の1次取得者層の特徴を示した。
- ・従前の住居形態は集合住宅が多く、戸建は約1割である。「その他」は社宅が多かった。
- ・転居前の市町村は対象住宅地が属する埼玉県内が最も多く、記述欄の市町村名からは、深谷など近隣の市から転居した者が多かった。つまり入居者の大半は対象地域の夏の暑さについて十分に知っており、経験があると言える。
- ・在宅時間については、平日は16時間以上在宅している者が最も多く、夫婦のどちらかが平日在宅している割合として世帯数を数えると7.3割であった。休日には基本的に夫婦とも在宅している傾向が見られた。

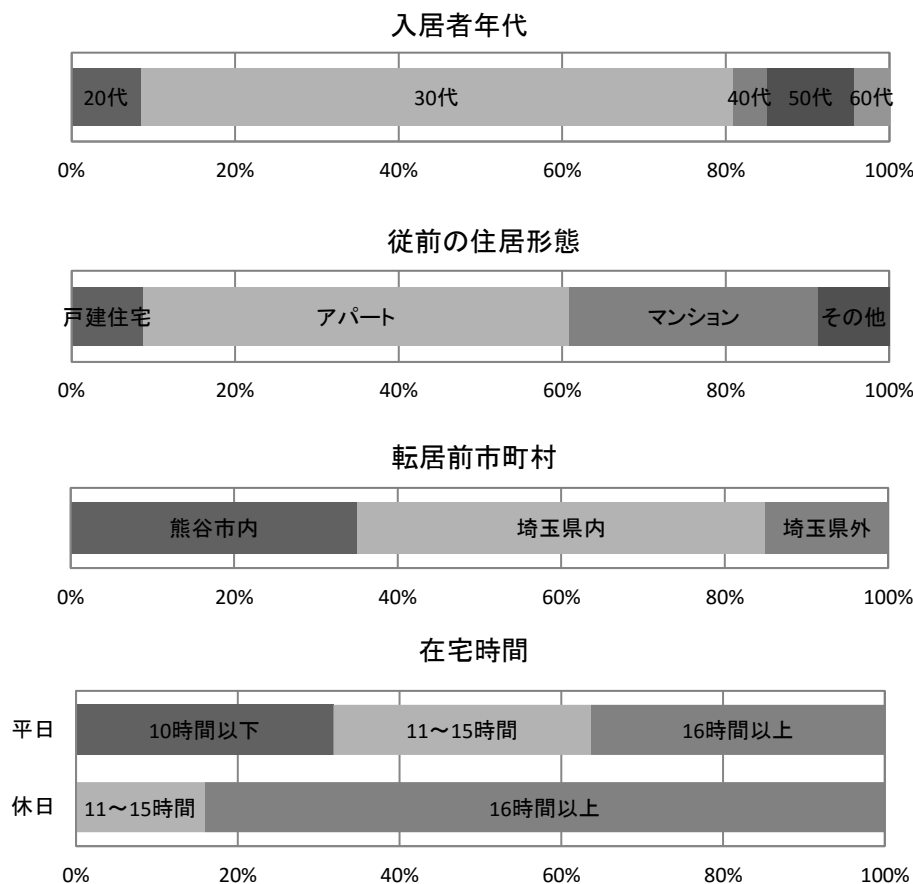


図 3-2-1 回答者の基本情報

(2) 当住宅地の選択理由

入居時アンケートにて当住宅地を選択した理由について、①～⑱の中から、1 番目と 2 番目の理由を選択させた。また、その他いいと思う項目について複数選択させた。

まず 1 番目と 2 番目の選択理由について調査結果を図 3-2-2 に示す。一般的な不動産の評価項目でもある「①駅からの距離」が 1 番目の理由として最も選択者数が多くなったが、次いで「⑩まちなみ」や「⑪まちづくりコンセプト」の選択が多く、住宅地の選定理由として重視していることが明らかとなった。

また 2 番目の選択理由を見ると、「⑬創エネ技術」や「⑭涼を呼ぶまちの取組み」の選択者が増え、「⑭涼を呼ぶまちの取組み」を重視する、すなわちパッシブクーリング技術に対して関心が高い人々が当住宅地を選択し、入居していることを示す結果となった。

その他いいと思う項目も含めて選択された全回答を積算すると、「①駅からの距離」などの一般的な不動産評価項目と、「⑫省エネ技術」「⑬創エネ技術」などのエネルギー系や「⑭涼を呼ぶまちの取組み」などの温熱環境系の取組みの選択数が多く、またこれらの差が小さくなった。

以上の結果から、駅からの距離は前提条件としてある一方で、嗜好や付加価値を高めるものとしてエネルギー・温熱環境系の取組みが評価されており、これらの取組みが住宅地の選択の際のインセンティブとして機能するポテンシャルを有すると考えられた。

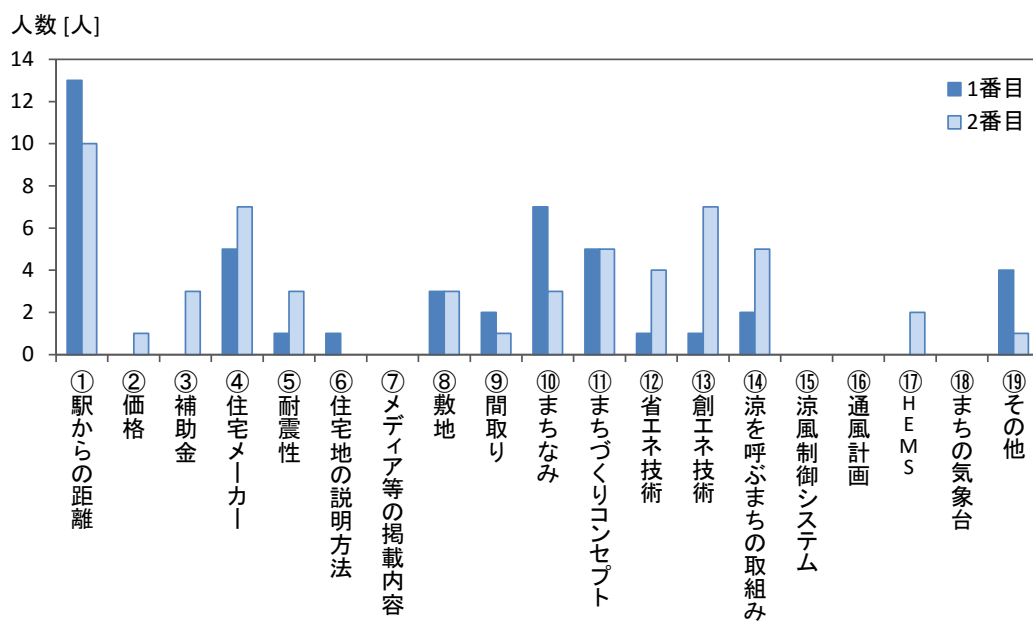


図 3-2-2 当住宅地の選択理由（1 番目，2 番目）

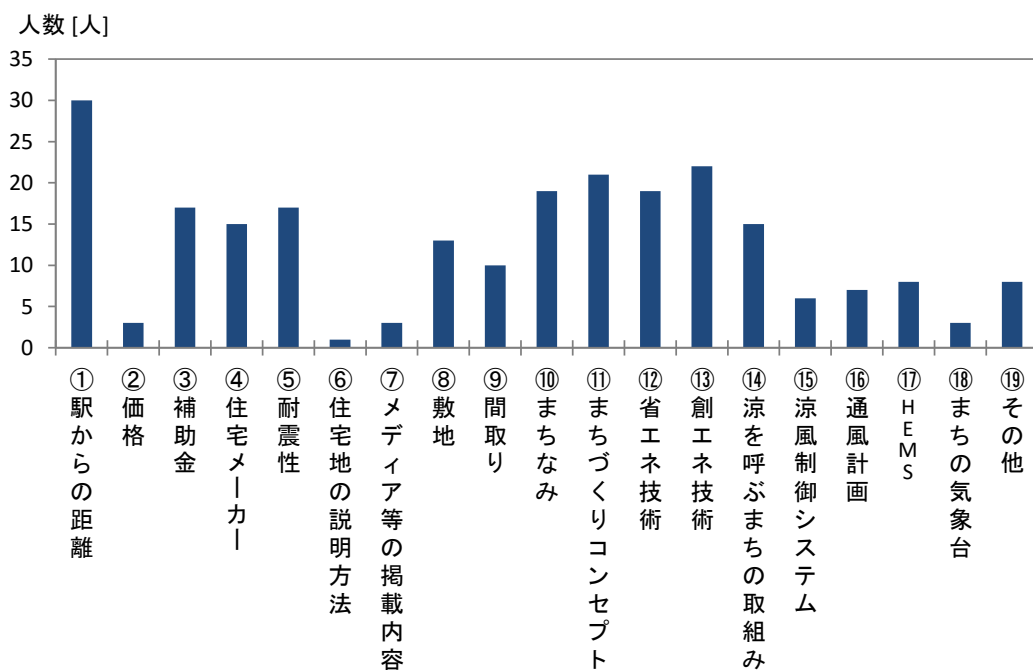


図 3-2-3 当住宅地の選択理由（いいと思うもの全て）

(3) 涼を呼ぶまちづくりの取り組みに対する感想

当住宅地に導入した涼を呼ぶまちづくりに関する技術について、入居時アンケートにて効果を期待するもの、また夏経過後に実際に利用／効果を感じられたものについて調査した。

街区として取り組んだものについては、まちのコンセプトの一つでもある夏季主風向の東からの風の取り込みに対する期待値が高かったが、公園から遠い住宅地では効果を感じられたとする回答は減少した。ただし、住宅内部の通風に関しては高い評価が得られており、公園からの風は直接感じられなくても住宅内外の通風は高く評価されていた（詳細は後述）。

外構・造園の取り組みについては、ほぼ全ての項目について期待値を上回る結果となり、4割以上の入居者が利用し、効果を感じられた項目がほとんどであった。クールルーパーについても利用者は4割となり、また利用したほぼ全ての入居者が効果を体感している。一方、利用者の割合が4割より伸びなかった理由としては、平日日中に不在な入居者も半分近くいること、また新しいシステムについて理解し、試行するまでに障壁があることなどが考えられた。

保水性舗装・樹木への散水システムについては、夏季に日照りが続き、植栽間もない樹木への散水の必要性が入居者の利用を後押ししたと考えられた。この結果、利用した入居者が比較的多かったが、「涼しさ」を感じられた者はその約半分であった。これは外構全体に対して散水することで広い範囲の表面温度を低下させることを意図して散水システムを設置したため、日射受熱下では「涼しい」と思えるほどの効果が出ないことに因ると考えられた。広域的な散水は植栽などへの散水労力の負担軽減や暑熱緩和効果のある手法であるが、入居者の熱的快適性には影響しにくい手法と言える。

以上から、入居者が利用し効果を感じられる取り組みとするためには、利用方法や効果についてもっと情報を伝え、試行するまでのハードルを下げる必要があること、また暑熱緩和に留まらず涼しさを感じられるレベルまで作り込む必要があると言える。

住宅内部の取り組みについては、全体的に利用した項目が多く、入居者が屋内を重視している傾向が読み取れる。入居時点で期待する項目には、性能表示などが明確な断熱性・気密性の項目が選択されるケースが多かった一方で、入居後はトップライト、シーリングファン、窓開放など排熱・通風に関する項目の評価が高かった。また窓開放による風の取り込みの評価の高さから、まち全体の風環境の良さが伺える。

トップライトやシーリングファンは広く普及している部品ではないため、認知度が低く期待値も高くなかったと考えられるが、設置されていれば手軽に利用でき、かつ効果を体感できる点で入居後の評価が上昇したのと考えられる。さらに自由記述欄に記載されていた内容として、窓開放はランニングコストがかからないこと、すなわちエネルギーが発生しないことも好評価を得ている要因のひとつであった。

排熱・通風は屋外温熱環境と密接に関連するものであり、流入する空気を外構・造園のパッシブクーリング技術によって冷却することにより、さらに効果を高めることができると考えられることから、屋内外の手法を組み合わせた利用を推奨することにより、今後さらに居住者の熱的快適性と熱的満足感を高めることができるものと期待される。

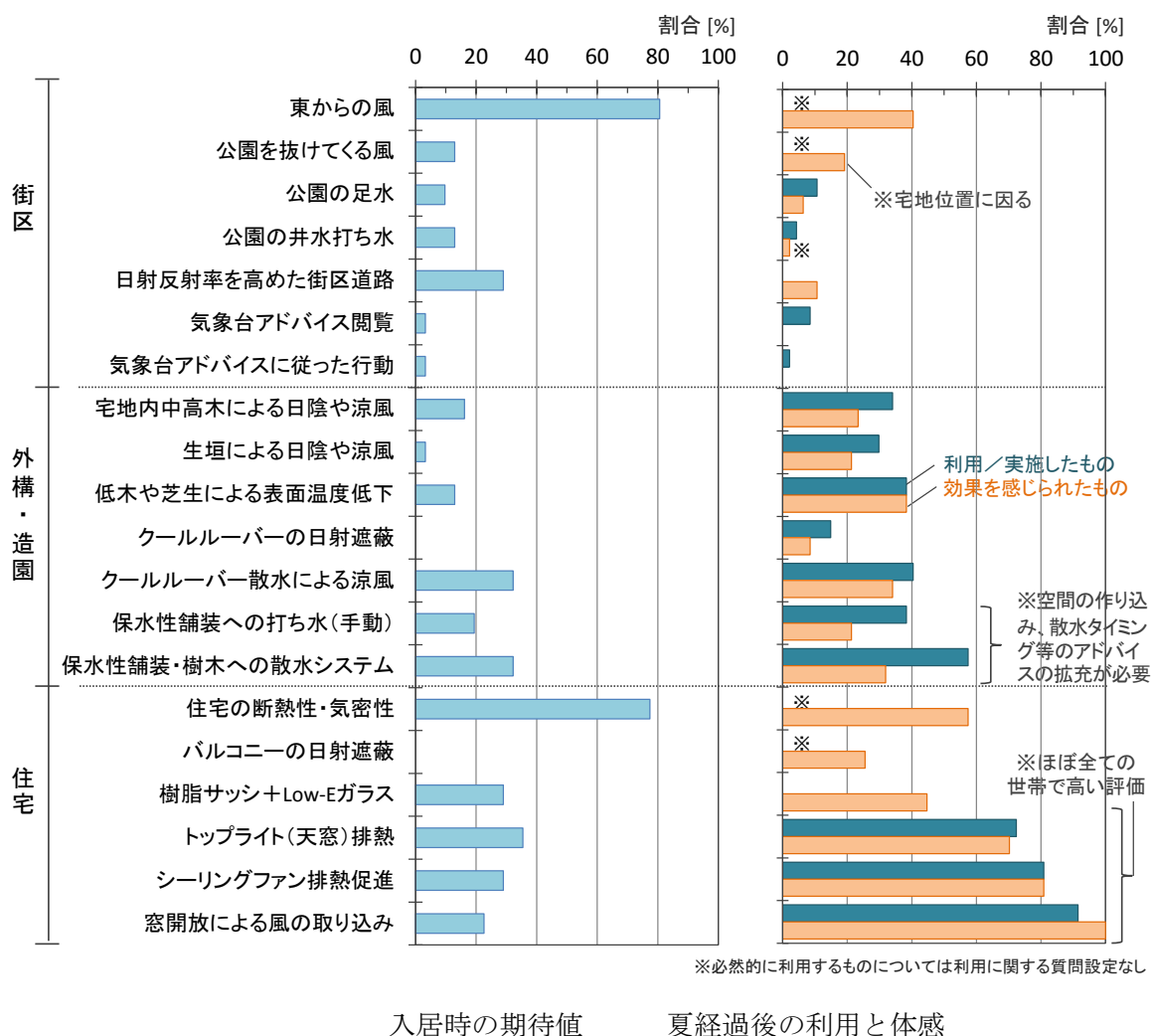


図 3-2-4 涼を呼ぶまちづくりの取り組みについて

(4) 窓開放時間

1次・2次入居者の窓の開放時間を調査した結果を図3-2-5に、3次入居者の結果を図3-2-6に示す。3次入居者においては、春～盛夏の回答は転居前の住居によるものであり、晩夏から当住宅地における内容について回答している。

1次・2次入居者の窓の開放時間は春に最も多く、日中約5割の入居者が窓を開放していた。また初夏、晩夏では4～5割、盛夏では2～3割となっていた。屋外の気温が暑くも寒くもない時期には窓の開放割合が高いが、暑さが厳しくなるにつれ窓の開放割合が低下する傾向が見られる。ただし熊谷の平成27年の夏は猛暑日が20日、真夏日が60日に達したにも関わらず、盛夏においても窓を開けている入居者が2～3割程いることは、夏季屋外を含めた温熱環境を改善する意義を示唆するものである。

一方3次入居者は、転居前住居では窓を開放していた世帯は1～2割であったのに対し、当住宅地に入居した晩夏には5～7割の入居者が窓を開放している。転居により変化した様々な要因があるものの、屋外温熱環境の変化がライフスタイルの変化に表れた結果の1つであると考えられる。

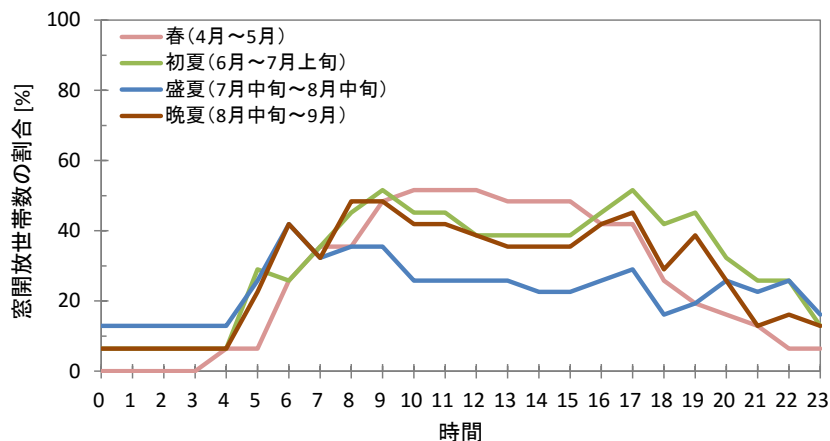


図 3-2-5 開放時間（1次・2次入居者）

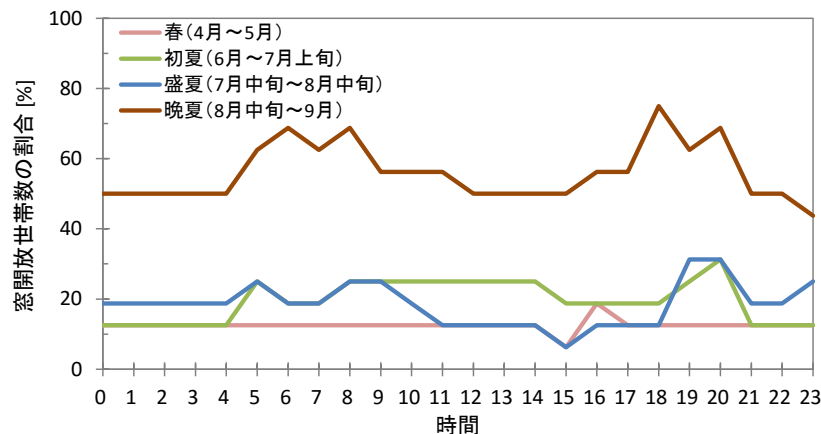


図 3-2-6 開放時間（3次入居者）

(5) エアコンの利用について

転居前住居と比べたエアコンの使用時間、入居後の光熱費に対する満足感、エアコンの利用に対する意識について調査した結果を図 3-2-7 に示す。転居前の住居形態が集合住宅だったケースが多いにも関わらず、エアコンの使用時間が減ったという回答が多く、現在の光熱費に対する満足感も高かった。

またエアコンの利用についてどのような時に利用したいか尋ねたところ、「暑い時のみ利用したい」という回答が最も多く、入居者自身で温熱環境を判断しながらエアコンを利用していることがわかる。したがってパッシブクーリング技術により温熱環境が改善され熱的快適性が向上することで、エアコンの利用時間はさらに減る可能性がある。

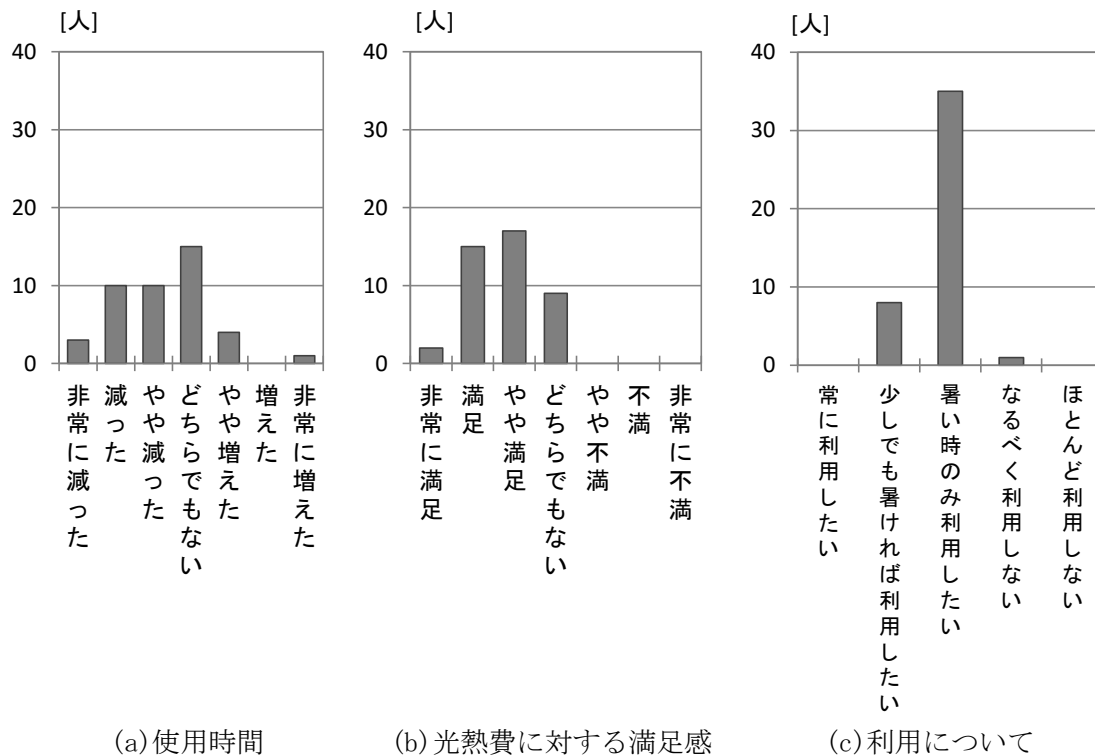


図 3-2-7 エアコンの使用について

(6) エネルギー表示器

エネルギー表示器の閲覧回数を図 3-2-8 に、閲覧による省エネ意識の変化を図 3-2-9 に示す。1 週間に 1 回以上および定期的に見ている入居者は 2 割程度であり、多くの人は数えられる程度の閲覧回数であった。

しかしエネルギー表示器による省エネ意識の変化については、約 8 割の人が意識の変化を認識しており、自由記述欄を見ると入居者が様々に工夫して、情報を活かしていることがわかる。

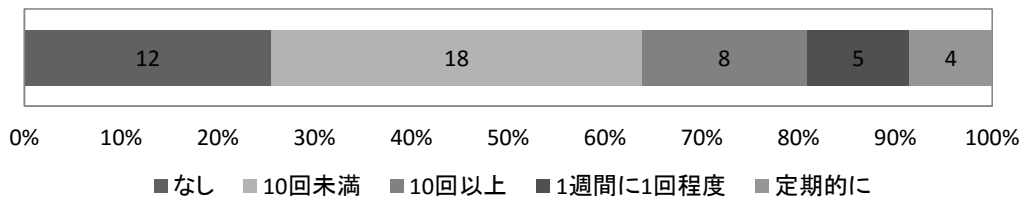


図 3-2-8 エネルギー表示器の閲覧回数

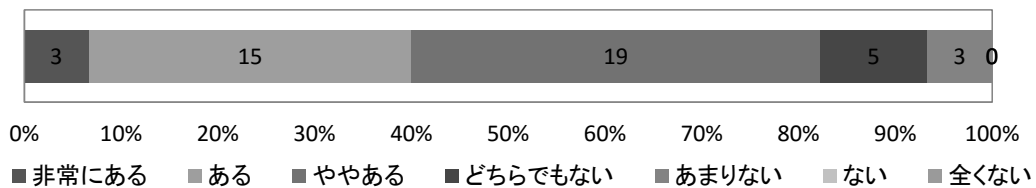


図 3-2-9 エネルギー表示器の閲覧による省エネ意識の変化

表 3-2-4 閲覧するタイミングと省エネ意識の変化（自由記述）

閲覧するタイミング	・ 家電製品を使用している時間帯 ・ アイパットを立ち上げて他の調べ物をしたついでに ・ エアコン利用時、光熱費のチェック時 ・ 使いすぎたかなと思う時 ・ 月末付近 ・ 天気が良かった日 ・ 毎日 ・ 電気の消費具合の確認の為
省エネ意識変化	・ エネファームの電力自給率やお湯の量の減少についてよく見るようになった ・ 電気がどれだけ売電されているか気になった ・ エアコンをなるべく使用しないようにするようになった ・ エアコンの温度設定を意識するようになった ・ なるべくエネファーム発動時に電化製品を使用するようになった ・ 発電量をチェックする ・ 使用電気をみて節電を意識した ・ 必要のない電気は小まめに消すようにしている ・ どれぐらい使っているのか、値段をできるだけ抑える為にはどうしたら良いか等を考えるようになった ・ 電気商品毎にどの位電力を使うか目安がわかった ・ モニターの電気・ガス使用量のグラフをこまめにチェックし使い過ぎないように意識するようになった

(7) 屋外での過ごし方

転居前住居と転居後の屋外での過ごし方について調査した結果を図 3-2-10 に示す。転居前住居では子供と遊ぶ割合が最も高かったのに対し、転居後は子供と遊ぶ、子供が遊ぶ割合が増え、親子ともに屋外に滞在する世帯が増えた。これらは親子間のコミュニケーションの機会の増加やまちの賑わいに繋がると考えられ、屋外熱環境の改善と、そのために整備された良好なまちなみによる副次的な効果と言える。

また屋外での過ごし方として庭木の手入れが大きく増えており、こちらについては植栽量が多いため必然的に手入れをせざるを得ない状況であることも一因として考えられるが、実際に住宅地を歩いていても手入れが行き届いており、入居者の意識の高さが伺える。庭木の手入れにより屋外滞在時間が増えることが屋外熱環境の改善に対する要求を高め、また緑を育てることが屋外熱環境の改善に繋がるというように、これらは相互に関係する内容である。

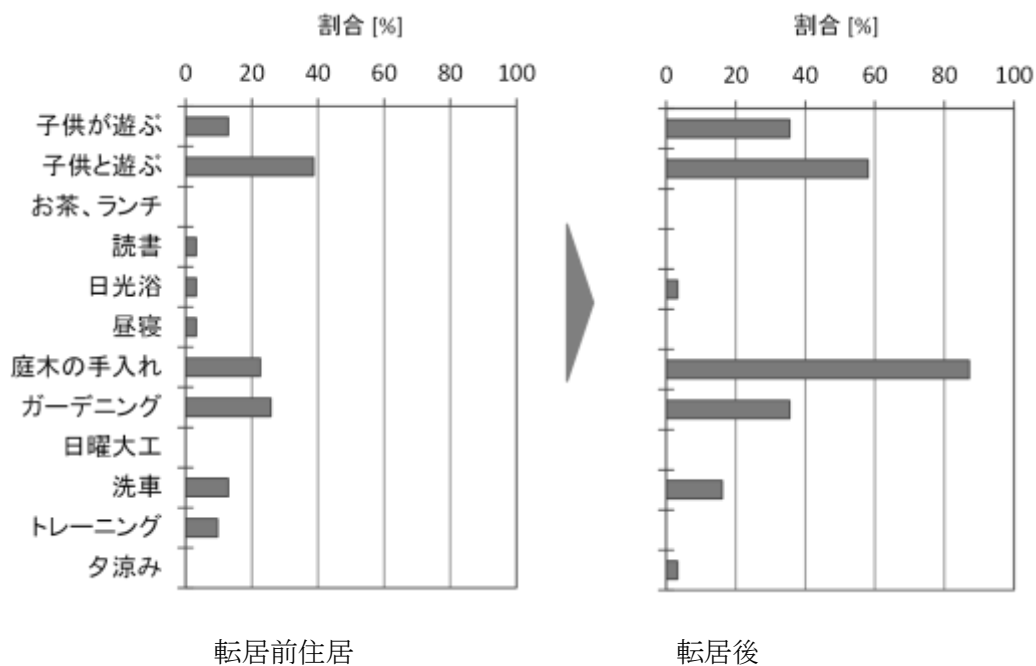


図 3-2-10 屋外での過ごし方（転居前／転居後）

(8) この夏の熱的快適性と満足感

春季，初夏，盛夏，晩夏ごとに尋ねた熱的快適性の結果を図 3-2-11 に示す。当図は季節ごとに色分けして，回答者の延べ人数を示している。

盛夏において不快よりの回答が 1 件ずつ申告されているが，前述の通り猛暑日・真夏日が多い盛夏の回答である。一方，全ての回答者が春季，初夏，晩夏においてどちらでもない～快適よりの回答を申告しており，高い評価となっている。実際には，春季，初夏，晩夏における SET*などの定量的な評価指標によれば，快適範囲を超える時間帯も含まれるが，本質問が各期間を振り返った場合の総合的な評価であることと，またこのような取組みによる入居者の心理面への効果も影響して熱的快適性について高い評価となったものと考えられる。次に，春季～晩夏にかけての熱的快適性の平均値と熱的満足感の関係を図 3-2-12 に示す。これらは高い相関を示し，本業務で構築した NEB 評価指標である「熱的快適性指標」と「熱的満足感指標」の関係を裏付けるものとなった。

さらに春季～晩夏の季節ごとに熱的快適性と熱的満足感の関係をみていくと（図 3-2-13），春季，盛夏の熱的快適性と熱的満足感の相関係数が低く，特に調整を必要としない快適な時期と，猛暑日・真夏日となる盛夏の熱的快適性が熱的満足感に与える影響は小さいことが示されている。このことは，ある意味入居者は盛夏の暑さに対しては諦めているようにも受け取れる。一方，初夏および晩夏の熱的快適性と熱的満足感の相関が高いことから，暑さに対する我慢の限界に近く，冷房をつけるかどうか迷う中間期における熱的快適性が，入居者の満足感に繋がっていることが明らかとなった。以上より，入居者の NEB 評価に当たっては，主に中間期に着目して温熱環境評価を行うことにより，熱的快適性評価および熱的満足感評価を予測することができると言える。

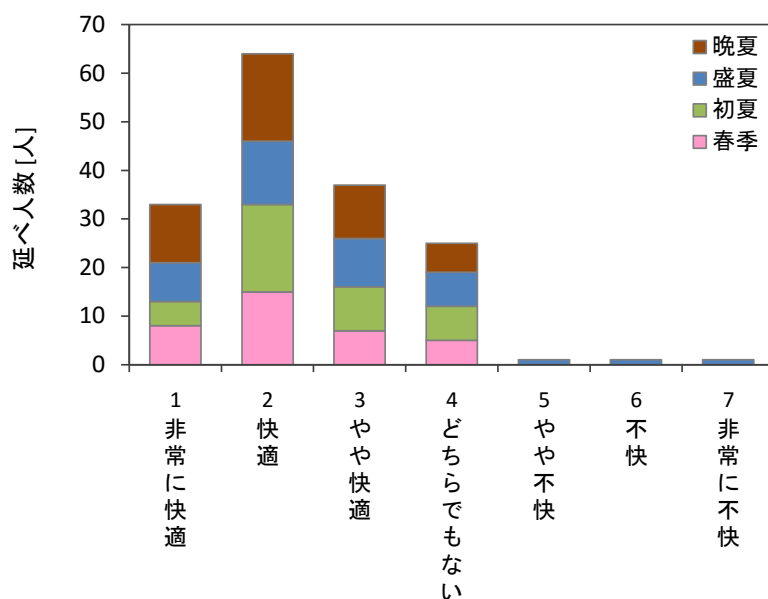


図 3-2-11 熱的快適性

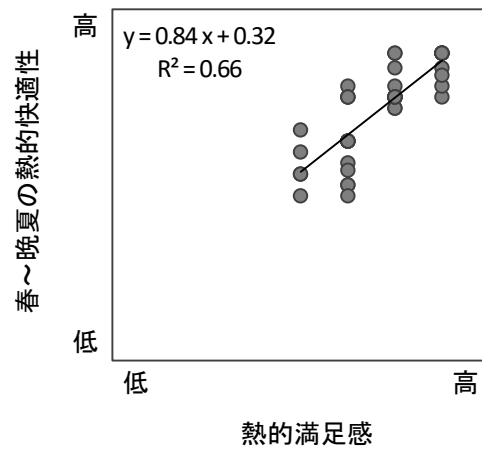


図 3-2-12 熱的満足感と熱的快適性の関係

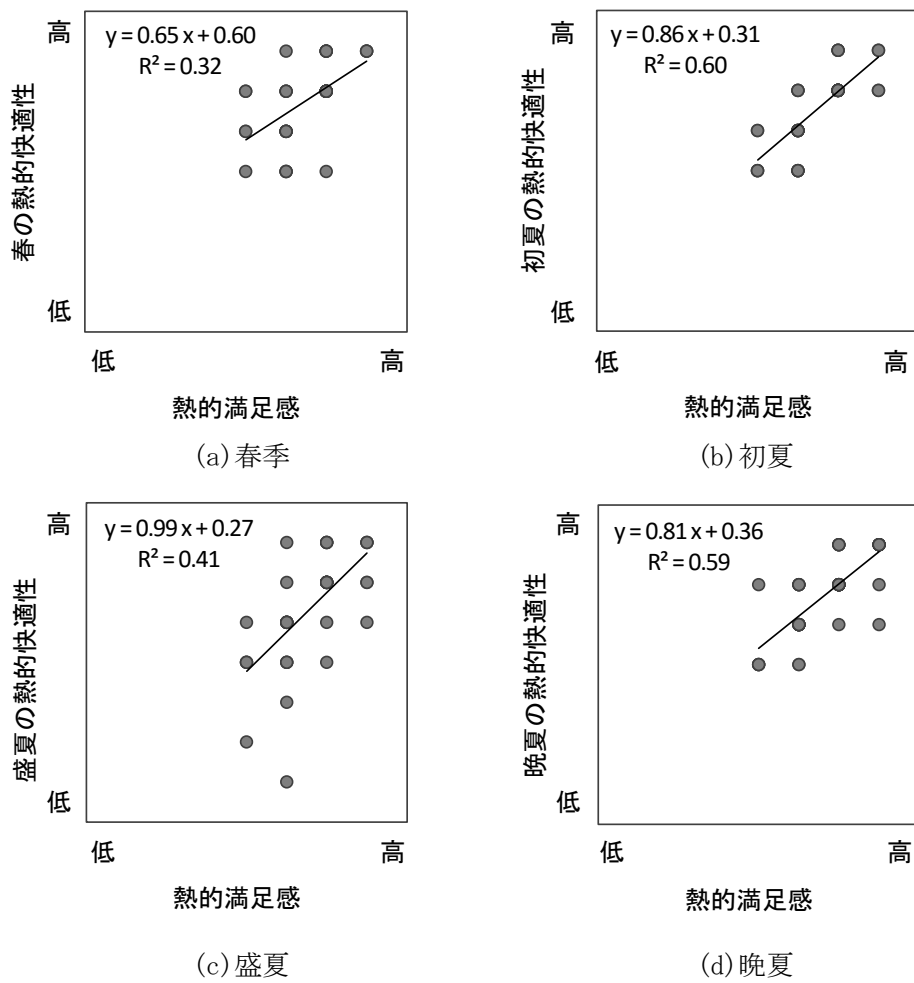


図 3-2-13 熱的満足感と春～晩夏の熱的快適性の関係

(9) 転居前後の満足感の変化

最後に、転居前住居と転居後の当住宅地に対する総合的満足感を調査した結果を図 3-2-14 に示す。転居前住居では不満～満足まで様々な回答が得られたのに対し、転居後の当住宅地では全ての入居者がやや満足～非常に満足と回答しており、総合的満足感の向上が顕著に表れた結果となった。回答者の中には入居後 1 ヶ月未満の者から 1 年程度の者まで含まれており、一般には入居後満足度が低下するケースが多く見られるが、当住宅地は満足感がほぼ維持される結果となっている。

また図 3-2-15 に示す通り熱的満足感と総合的満足感との間に相関関係が見られたことから、本 NEB 評価指標によって住宅地の総合的満足感についても評価できると言える。

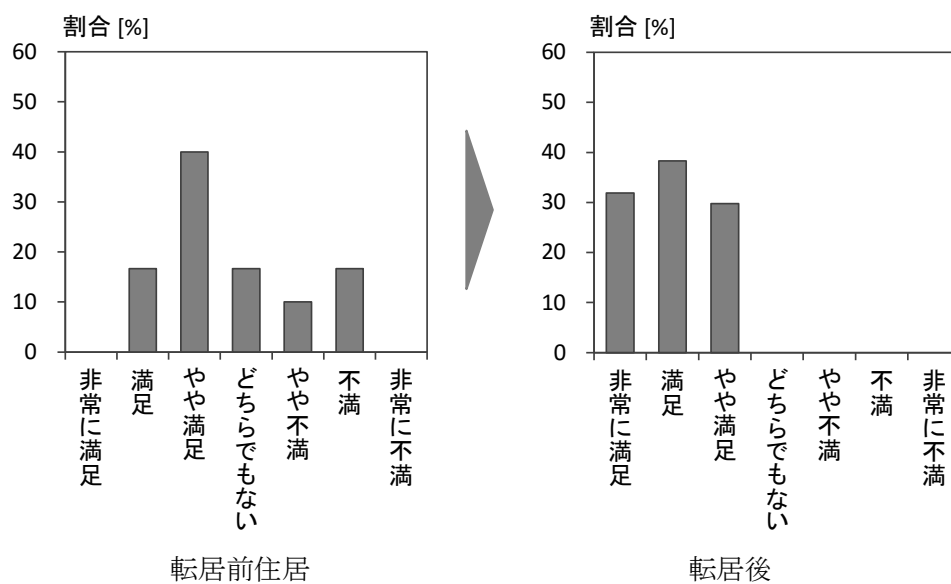


図 3-2-14 転居前後の満足感

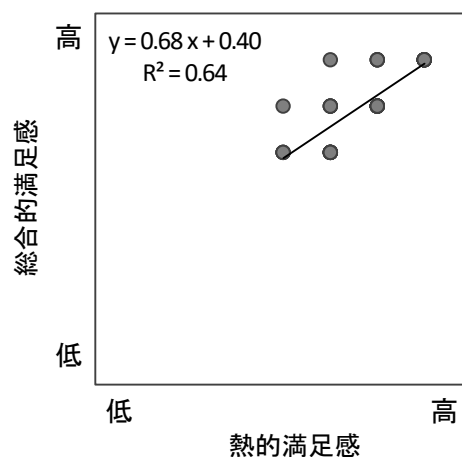


図 3-2-15 熱的満足感と総合的満足感

3.3. エネルギー消費量計測の実施

本節では対象住宅地内における居住者の住まい方や、エアコン（冷房）の使用状況を明らかにするために実施した電力消費量及びエアコン電力消費量の特徴を明らかにする。

3.3.1. 測定を実施した入居者の概要

表 3-3-1 に今回エネルギー消費量を取得した入居者（8 世帯）の家族構成及び家族人数を示す。全て「夫婦のみ」または「夫婦+子世帯」であり、家族人数は 2~4 人である。入居直後ということもあり、A 世帯を除き、40 代以下の夫婦で子供も小学生以下である。次項以降ではこれらの特徴も踏まえながら、各世帯の電力消費量の特徴について考察する。

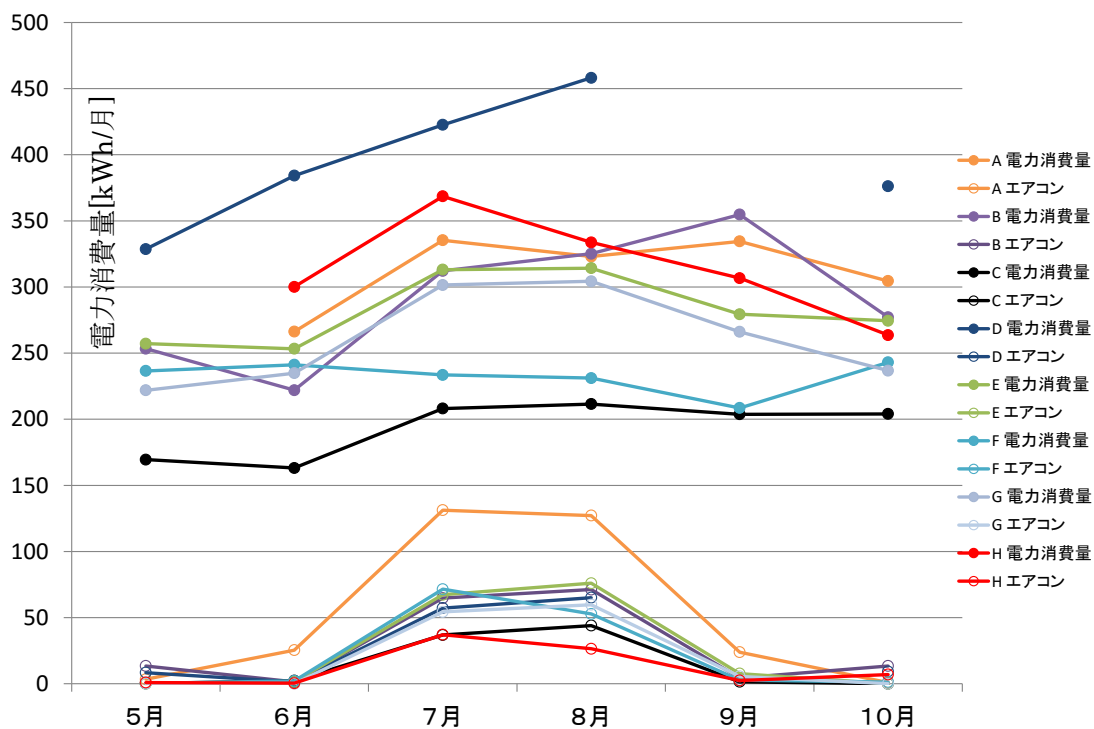
3.3.2. 電力消費量の測定結果

図 3-3-1 に各世帯の月別電力消費量とエアコン電力消費量を測定した結果を示す。住宅全体の電力消費量が最も多いのは D 世帯であり、8 月にピークとなるが、全期間で電力消費量が多い。また夏季に 2 番目に多い H 世帯は 7 月にピークとなり、その後は徐々に低下している。また A 世帯は 7 月以降ほぼ変わらない電力消費量となる。E,G 世帯はほぼ似通った傾向を示し、7,8 月にほぼ同等の電力消費量で最大となるが、その後低下する。また F 及び C は電力消費量が他の世帯よりも少なく、夏季において電力消費量が増加する傾向もみられなかった。

一方、エアコン（冷房）の電力消費量は各世帯全体の電力消費量の傾向と同様の傾向を示す世帯と異なる世帯がみられ、A 世帯の 7・8 月のエアコン電力が突出して多く、全体の電力消費量が少ない傾向にあった F 世帯では他世帯よりエアコン電力がやや多い傾向がみられた。その他の世帯では電力消費量の増減傾向とエアコン電力の増減傾向は同様の傾向を示していた。今回の測定結果からは子の有無等の家族類型による差はみられず、電力の使用傾向は個人差の方が大きい結果となった。

表 3-3-1 電力消費量の測定を実施した入居者属性

	家族構成	家族人数
A	夫婦(60代)+子(30代)	3名
B	夫婦(30代)+子(乳幼児)	3名
C	夫婦(30代)+子(乳幼児)	3名
D	夫婦(30代)	2名
E	夫婦(30代)+子(乳幼児)	3名
F	夫婦(30代)+子(乳幼児)	3名
G	夫婦(40代,30代)	2名
H	夫婦(30代)+子(小学生,乳幼児)	4名



*A,H 戸 5 月,D 戸 9 月は欠測日があるため除外

図 3-3-1 月別総電力消費量とエアコン（冷房）電力消費量の関係（5-10 月）

3.3.3. 冷房用電力消費量の測定結果

ここでは各世帯の冷房用電力消費量の特徴を示す。図 3-3-2 に示すように 6～9 月迄の総冷房用電力消費量は、A 世帯が 300kWh を超える電力消費となっており、C,H 世帯は少ない傾向にあり、その他の世帯は同等であった。D 世帯は 9 月に一週間程度欠測があるが、その他の世帯も含め 9 割以上は 7.8 月の利用によるものであった。

また 1F と 2F のエアコンの利用頻度を図 3-3-3 に示す。B,C,D,H 世帯は 8 割以上が 1F での使用であるのに対し、A,F,G 世帯は約 6～7 割、E 世帯は約 4 割の利用であった。このことから、エアコンの使用量が少ない C,H 世帯は 1F の利用が主であるのに対し、その他の世帯では 1・2F の使用量にばらつきがみられた。これらの傾向についてさらに時刻別の利用頻度より分析を行う。

図 3-3-4、図 3-3-5 に時刻別の冷房利用率を月別階別に示す。最も電力消費量の多い A 世帯では、6 月から 1F の日中・夜間における冷房利用率が 3 割を超えており、7・8 月では午前 5 時～23 時迄冷房利用率が高く、エアコンをつけることが習慣となっていることが伺える。また 9 月においても最も高い冷房利用率となっている。一方、エアコン使用量が少ない C,H 世帯では、6,9 月で冷房使用量が少ないという傾向は一致しているが、C 世帯は日中の利用頻度が少なく、H 世帯は一日を通して利用率が低い傾向にあった。またその他の世帯についても世帯間で様々な特徴がみられ、似通った世代・家族類型ではあるが、多様な利用のされ方となっていることが明らかとなった。

次に各世帯の冷房開始時の外気温度とエアコン電力消費量の関係を図 3-3-6、図 3-3-7 に示す。電力消費量の多い A 世帯では、外気温が 20℃付近からエアコンの利用を開始していることがわかり、また 7 月よりも 8 月の方が外気温が低くてもエアコンを利用している世帯が多くみられ、エアコンの利用が習慣化しているものと考えられる。また各世帯の冷房開始外気温度には特徴がみられ、1F では 21.5～25℃、8 月は 20～24.5℃であり、2F では 7・8 月とも 20～26℃であった。またエアコンの電力消費量が少ない H 世帯では、冷房利用開始外気温度が他の世帯よりも階別・月別にみても高い傾向がみられ、外気温度とエアコン電力消費量に相関がみられることから、パッシブクーリング技術により外気温を低下させることができれば、冷房利用時間も抑制できると考えられる。

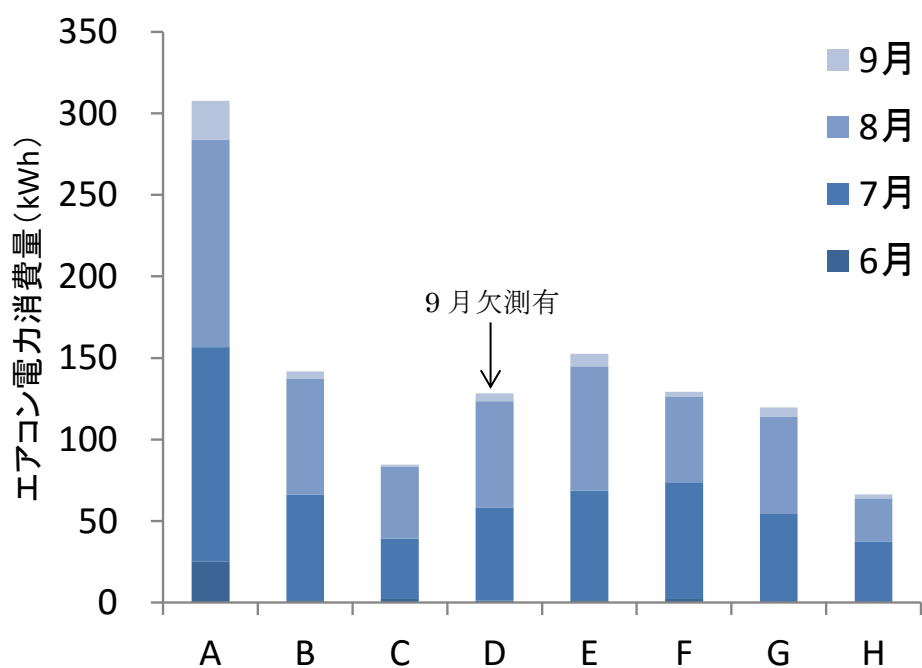


図 3-3-2 月別エアコン（冷房）電力消費量（6-9月）

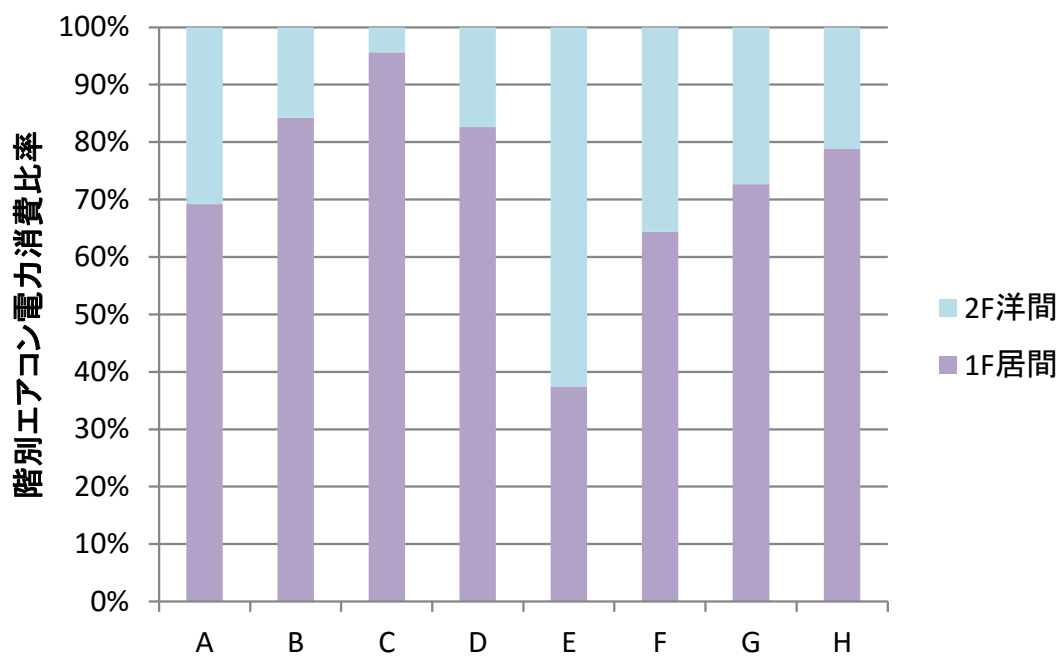
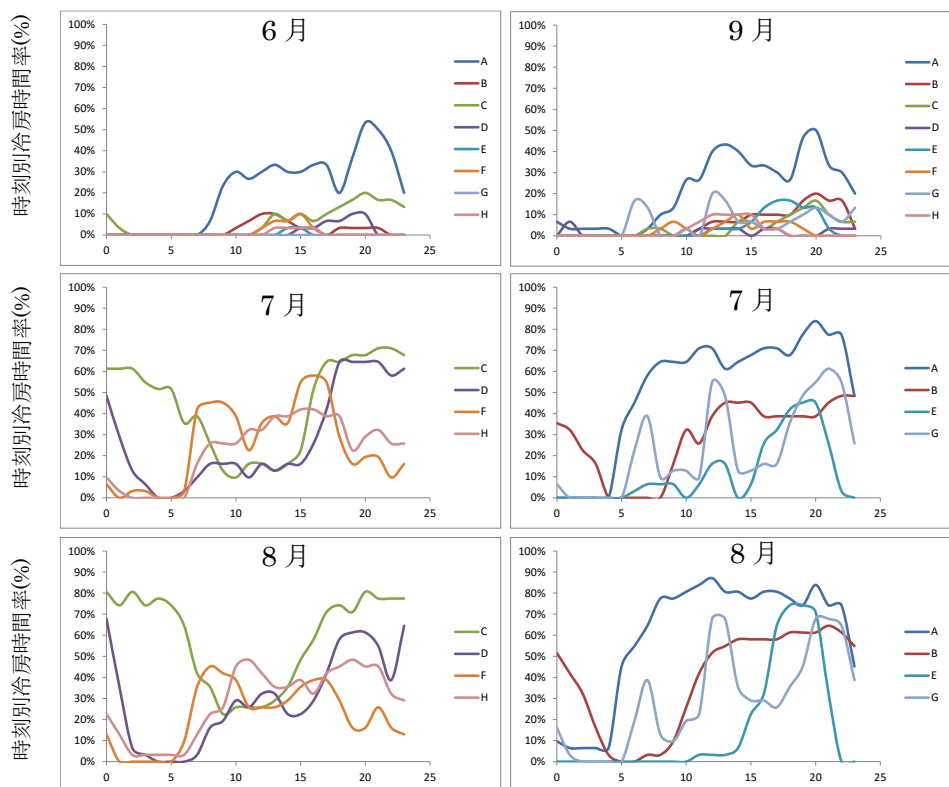
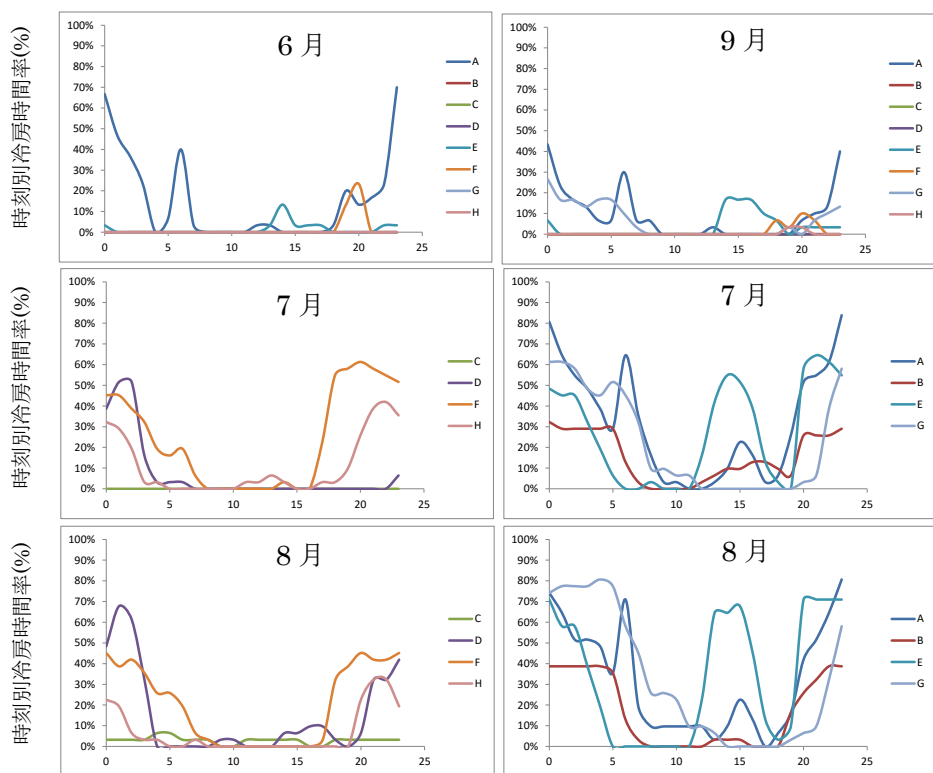


図 3-3-3 階別エアコン電力消費比率（6-9月）



*7, 8月はグラフを見やすくするため、4戸づつグラフを表示
図 3-3-4 時刻別冷房時間率（1F 居間・6-9月）



*7, 8月はグラフを見やすくするため、4戸づつグラフを表示
図 3-3-5 時刻別冷房時間率（2F 洋間・6-9月）

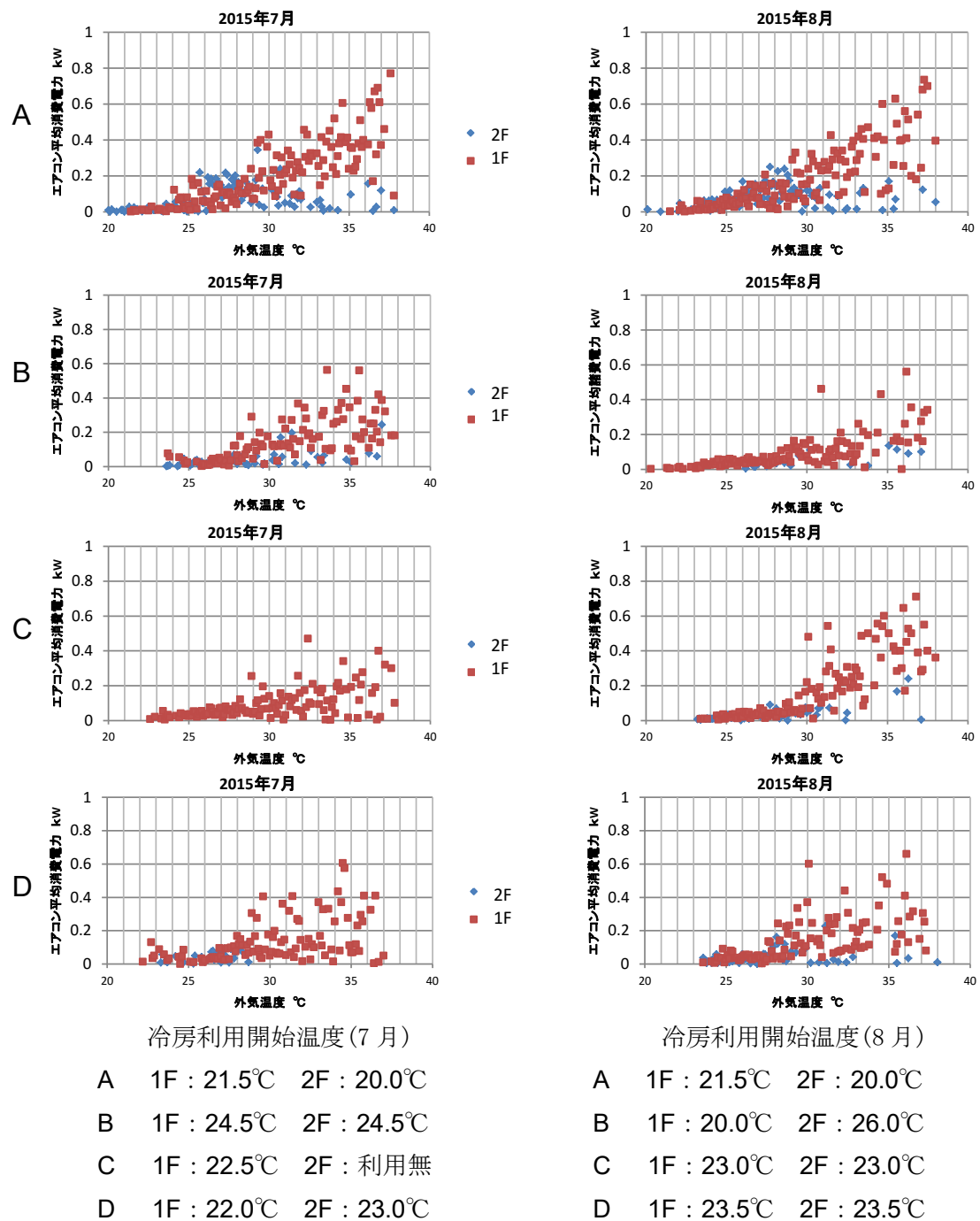
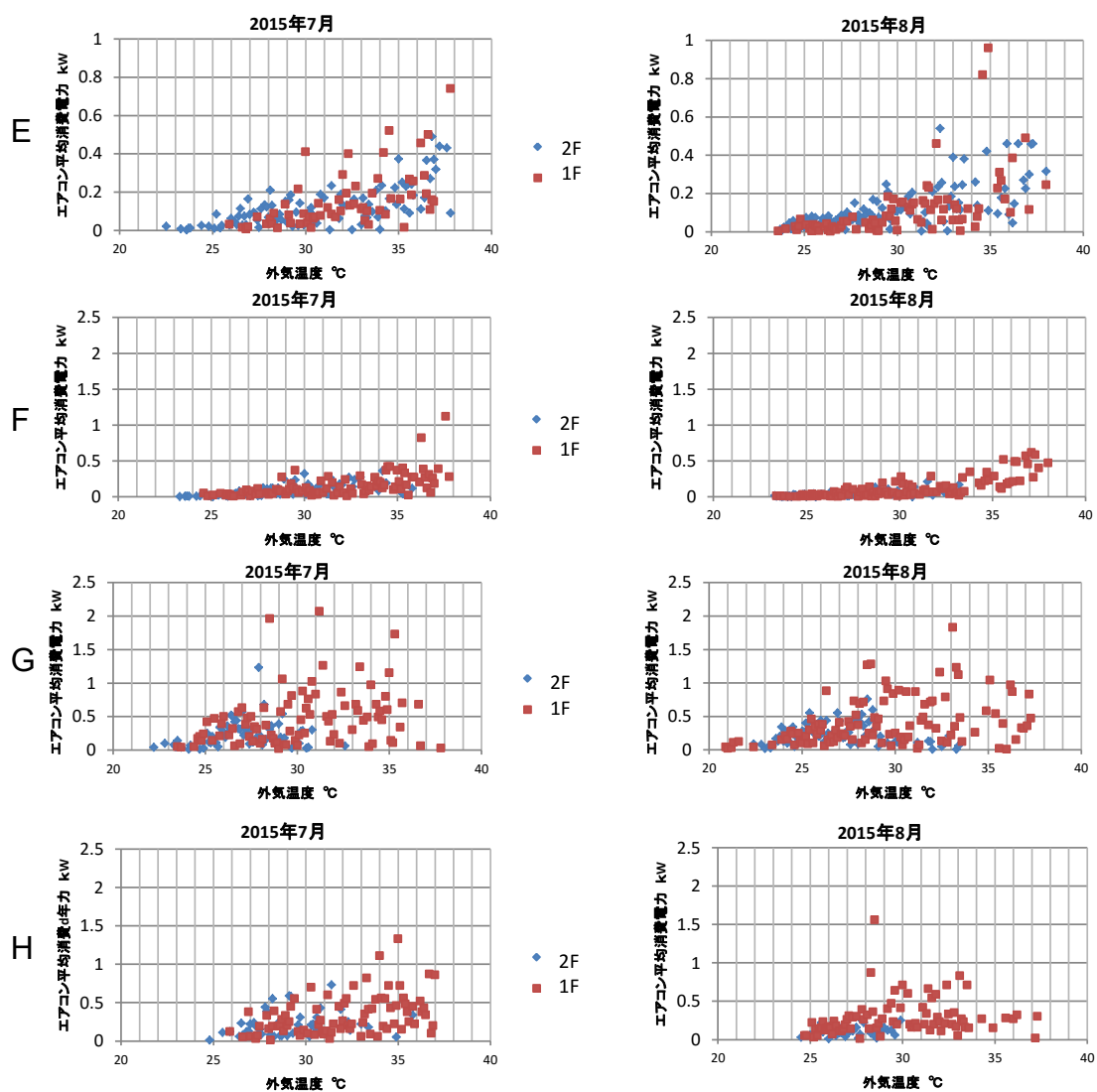


図 3-3-6 外気温度（横軸）と階別エアコン電力消費（縦軸）の関係（A～D 世帯）



冷房利用開始温度(7月)

E 1F : 22.0℃ 2F : 26.0℃

F 1F : 24.5℃ 2F : 23.0℃

G 1F : 23.5℃ 2F : 22.0℃

H 1F : 25.0℃ 2F : 26.0℃

冷房利用開始温度(8月)

E 1F : 23.5℃ 2F : 23.5℃

F 1F : 23.0℃ 2F : 23.0℃

G 1F : 21.0℃ 2F : 22.5℃

H 1F : 24.5℃ 2F : 24.5℃

図 3-3-7 外気温（横軸）と階別エアコン電力消費（縦軸）の関係（E～H 世帯）

6.4. NEB 評価指標の試験的活用のための温熱環境計測及びエネルギー消費量・散水量の計測

NEB 評価指標を用いて快適性が向上する時間帯に散水・窓開け行動を実施した上で、屋内の快適性が向上し NEB が発現することを検証するため、温冷感申告・温熱環境・エネルギー消費量・水使用量を計測した。

6.4.1. 3.4.1. 調査概要および測定期間

(1) 測定対象建物

主庭に面してテラスを有し、隣接して建つ 2 棟の住宅を対象に、1 棟は散水あり、もう 1 棟は散水なし条件として温熱環境の測定とエネルギー消費量・水使用量の計測を行った。対象住宅の概要と被験者着座位置、温熱環境測定位置を図 3-4-1 に示す。

両棟とも和室前にテラスがあり、その上は 2 階バルコニーの出により軒下空間となっている。散水あり棟の舗装には保水性平板を用い、立面にはクールルーバーが 2 面設置され、出入り口となる 1m 以外はクールルーバーで囲われた空間となっている。散水なし棟のテラス舗装面はタイル仕上げであり、屋内フロアーレベル近くまで立ち上げられている。散水なし棟にもクールルーバーが 2 面設置されているが、主庭方向は短く開放的なテラスとなっている。また図 3-4-3 の通り、調査時点では散水あり棟のみ植栽が行われ、散水なし棟は樹木・芝生ともに植栽工事前の状態であった。温熱環境測定方法は 3.1.2 と同じである。

(2) 散水・窓開閉条件

測定は晩夏期の晴天日を代表して 2015/9/12 に行った。散水あり棟では終日散水とし、4.3 で示す効率的な散水を想定した場合と日中散水し続ける場合との散水量の比較を行う。また窓も「やや暖かい」という申告が半分以上占めるまでは開とし、「窓閉」となった室温と 4.2 で示す快適温度とを比較し、明らかとなった快適温度が妥当であることを示す。

(3) 測定結果

(i) 気象条件

測定日の代表気象を図 3-4-2 に示す。午前中は快晴、12 時頃および 14 時以降曇りとなった。またこの日の最高気温は 30℃、相対湿度の最低値は 48%であった。風向は北よりとなり、この時期に良く見られる気象条件であった。

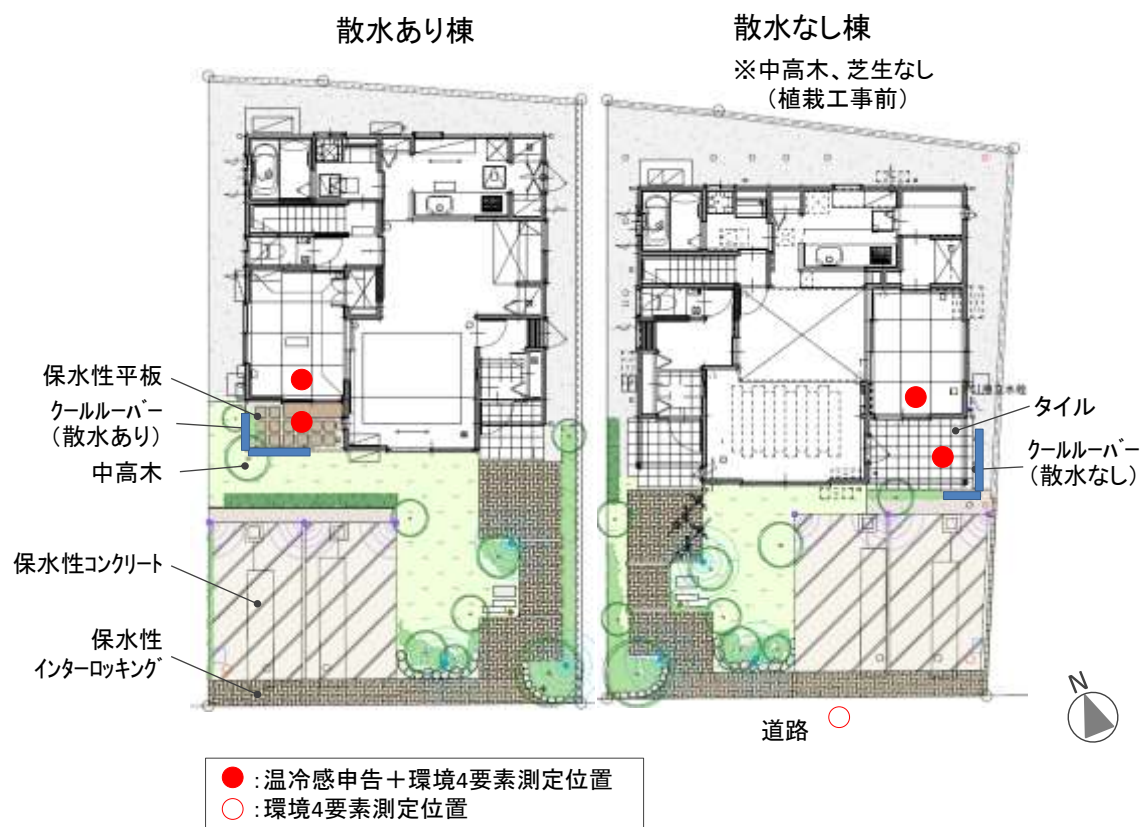


図 3-4-1 測定対象住宅と温熱環境測定位置

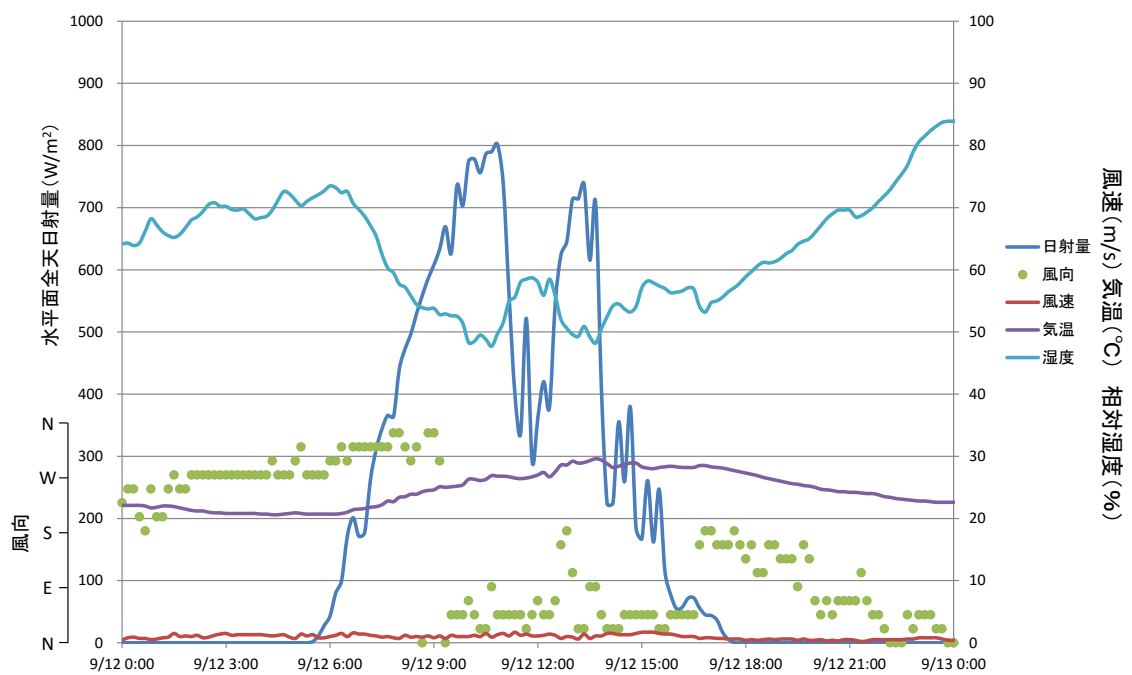


図 3-4-2 代表気象 (2015/9/12)

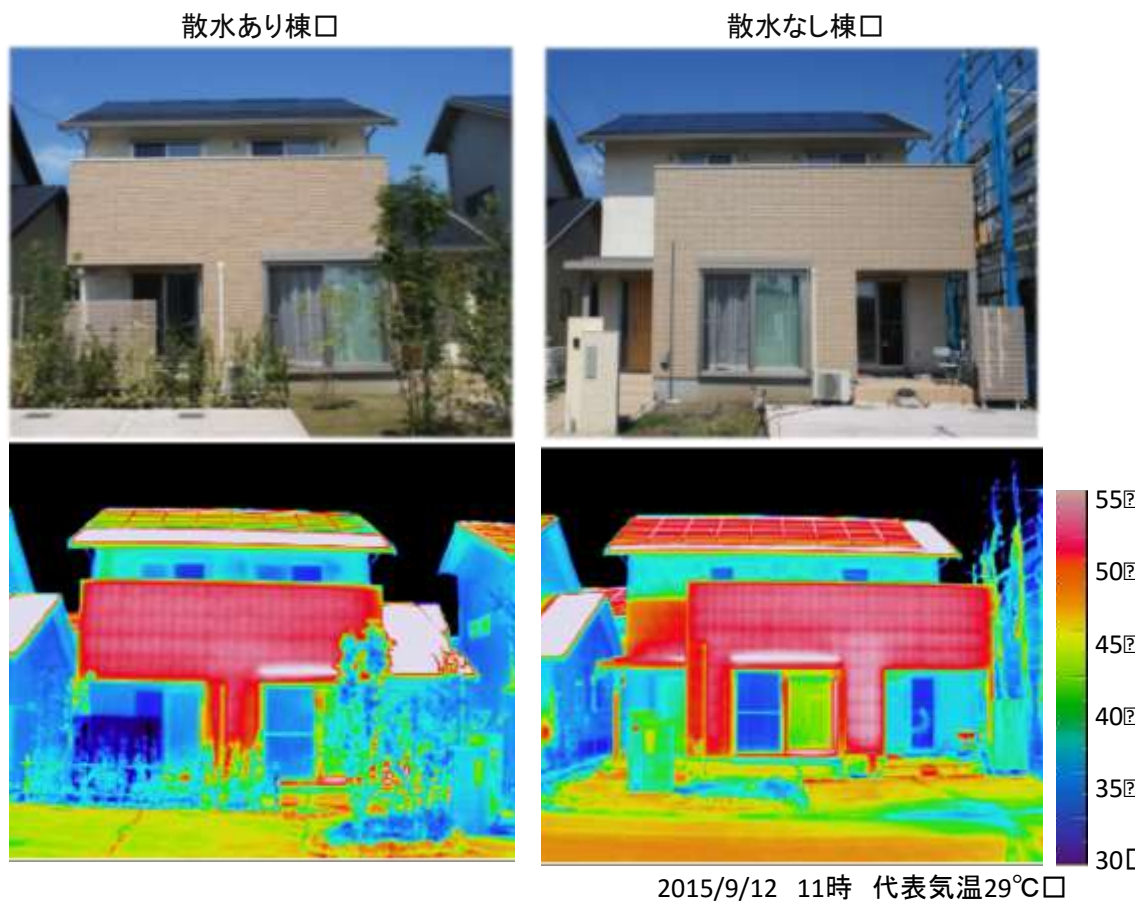


図 3-4-3 対象住宅（南東面）の表面温度分布

(ii) 表面温度分布

測定日の 11 時、道路上の気温が 29℃時の表面温度分布を図 3-4-3 に示す。散水あり棟では、表面温度がそれぞれクールルーパーは 23℃、植栽は 30℃、植栽下の草地が 31℃となっているのに対し、散水なし棟ではクールルーパーが 36℃となっている。駐車場などの舗装面はどちらも 43℃であった。

(iii) 環境 4 要素と SET*の測定結果

環境 4 要素の測定結果を図 3-4-4 に、SET*の算出結果を図 3-4-5 に示す。以下に概要を記す。

- ・ 気温... 朝、庭全体に散水することにより気温が 2℃低下した状態が 1 時間ほど持続した。その後クールルーパーのみ散水を継続することでテラス間で 1～1.5℃の気温差が継続的に見られた。また道路と散水棟テラス間では 1～2.5℃の気温差が継続した。
- ・ 平均放射温度 (MRT)... 庭全体への散水後で MRT が 3℃ほど低下する状態が 1 時間ほど継続した。また対象テラスは南東向きのため、日射を受ける午前中はテラス間で 9℃程度、道路と散水あり棟テラスとの間で 15℃程度差が見られた。午後、日射が当たらなくなっても温まった壁床の影響で、テラス間で 5℃程度、日射を受け続けた道路と散水あり棟テラスとの間で 17℃程度の差が見られた。
- ・ 相対湿度... 庭全体に散水した場合でも相対湿度の上昇は最大で 8%であった。またその後のクールルーパーに散水し続けた状態では、テラス間で相対湿度に顕著な差は見られなかった。
- ・ 風速... 散水あり棟、散水なし棟、道路の順に風速が大きくなったが、測定日の風速は 0.1～0.5m/s と全体的に低かった。また風速については周辺建物などの影響が大きいため、今回の評価においてこの差は考慮せず、SET*算出に当たっては散水あり棟の風速を全空間に対して用いることとした。
- ・ SET*... 代謝量、衣服量をそれぞれ Met1.0, Clo0.6 とした時の SET*は、散水あり棟と散水なし棟の間で最大 8.8℃、平均 3.6℃ (散水時間である 8 時～18 時の平均)、散水あり棟と道路の間で最大 5.2℃、平均 1.3℃差 (同左) が見られ、パッシブクーリング技術の導入による差が顕著に表れた。空間による SET*の差が最大となったのは午後 1 時の日射量が多い時間帯であり、気温低下+MRT の差も最大となった時間帯である。

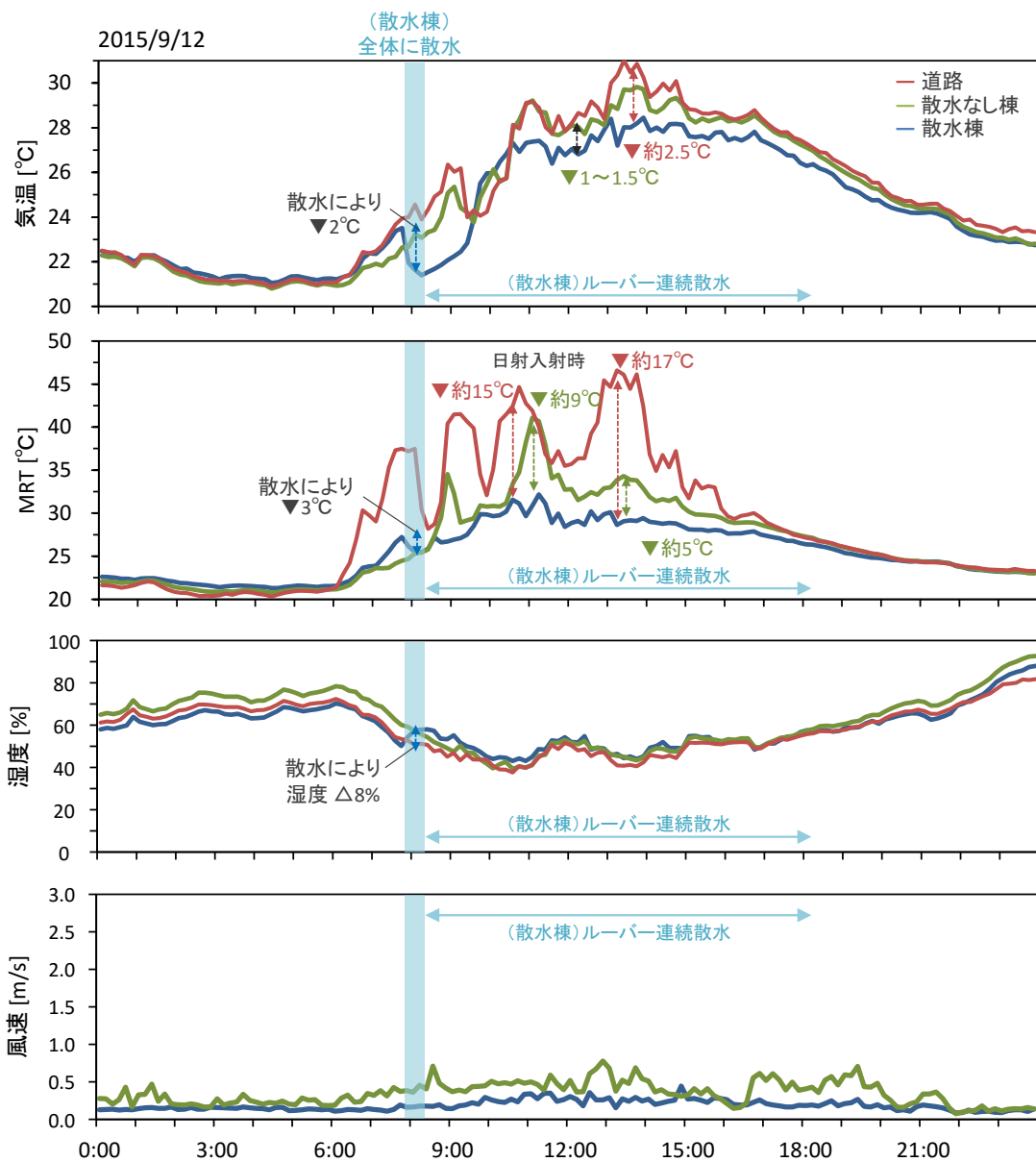


図 3-4-4 環境 4 要素の測定結果

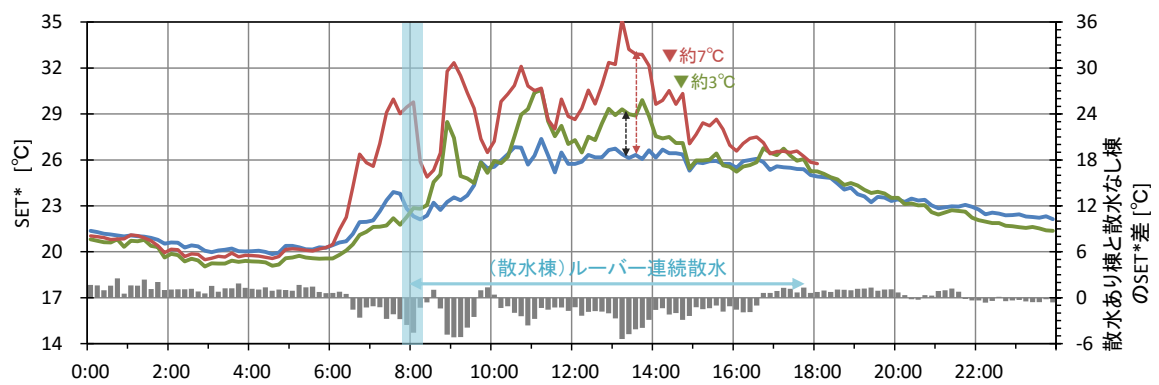


図 3-4-5 SET*算出結果

(iv) 気温の低下と気温の乱れ

各棟テラスの気温の低下と乱れの算出結果を図 3-4-6 に示す。散水あり棟では Grade I ～ II にかけて分布し、涼風形成度が高いことが確認された。

散水なし棟では外気温比 0～1℃の分布が多く、気温の乱れが大きくばらついたため、Grade III～IVに位置づけられる結果となった。

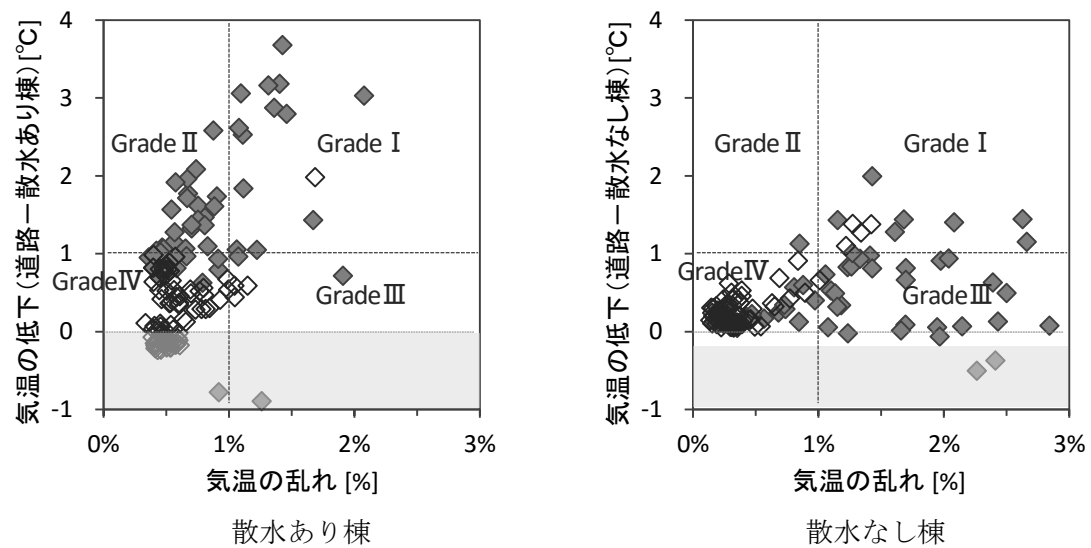


図 3-4-6 気温の低下と乱れの算出結果

6.4.2. 3.4.2. エネルギー消費量計測の実施

NEB 評価指標の試験的活用に合わせて、エアコン利用時のエネルギー計測を散水あり棟と散水なし棟で実施した。使用したエアコン（ダイキン社製 S56RTAXP）は、他の住宅と同一であり、定格冷房能力 5.6kW、通年エネルギー消費効率(APF)は 6.1 である。また設定は自動運転モードとしており、運転時の外気温度・相対湿度は前述の図 3-4-2 の通りである。

計測したエネルギー消費量を図 3-4-7 に示す。散水なし棟では前項で示したように室温上昇が散水あり棟よりも早かったため、14 時台からエアコンの利用を開始した。初動に伴う電力消費の影響で 14 時は他の時間帯よりも電力消費量が 2 倍程度あるが、その他の時間帯はほぼ 50Wh 前後で推移している。また外気が 27℃まで低下した 17 時台にはエアコンを散水あり棟・散水なし棟とも停止した。

散水あり棟については、散水してもやや暖かいと申告されるようになった 16 時台からエアコンの利用を開始し、16 時台は 100Wh を超えているが、17 時台には散水なし棟とほぼ同じ 50Wh の電力消費量となった。

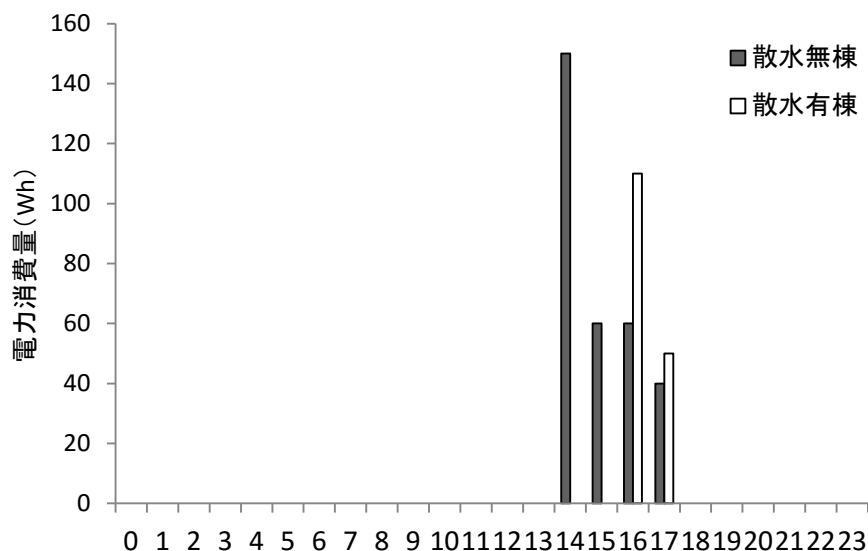


図 3-4-7 エアコン電力消費量測定結果 (2015/9/12)

6.4.3. 3.4.3. 散水量計測の実施

散水量の計測は、パルス計測に基づく水量計を既設しており、HEMSを通じて散水量データの取得を行った。データは30分ごとの積算値として表示されており、本業務においては1時間ごとの散水量として集計した。

NEB 評価指標の試験的活用に合わせて、散水あり棟の散水量を測定した結果を図 3-4-8 に示す。起床から窓を開け、庭への散水を想定して実施した 8 時と、夕方エアコンを停止した後、夜間の窓開けのために実施した 17 時の散水量が 60L/h を超えているが、その他の時間帯は 10L/h 前後となっている。エアコンの利用は、前述の通り 16 時～17 時台であり、この間については散水を停止しているため、16 時の散水量は 0 となっている。また通常使用想定時の散水量は 8.8L/h であり、敷地全体や一部敷地への散水を実施した時間帯以外の平均散水量は概ね想定通りの散水量で推移していた。

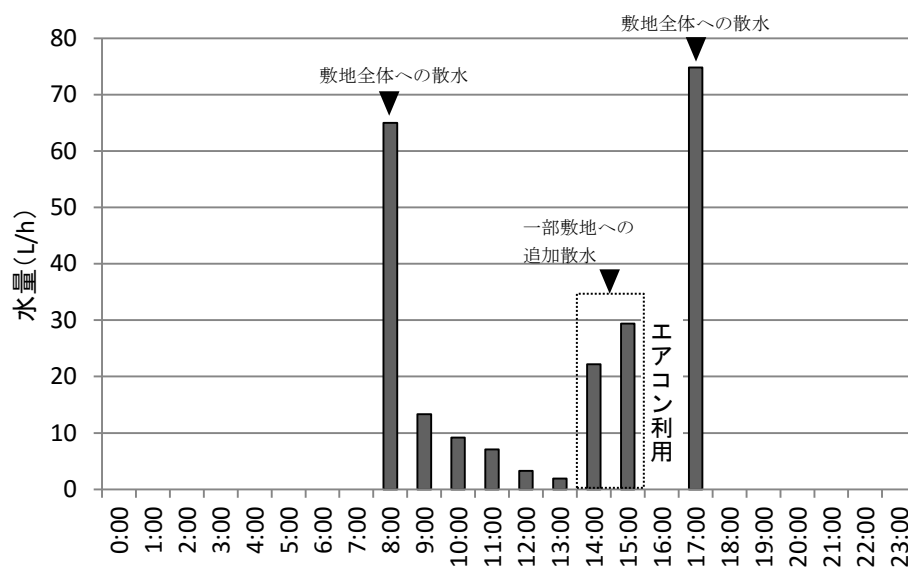


図 3-4-8 散水量測定結果 (2015/9/12)

第 4 章 NEB 評価指標及び評価方法の妥当性の検証

4.1. NEB 評価指標、評価方法の改良、追加

4.1.1. 季節別・散水有無別の SET*快適域の算出

(1) 初夏・盛夏別 SET*快適域の算出の必要性

昨年度は実測開始が 8 月であったため、散水有無別の SET*の快適域の算出も盛夏が中心となった。一般的に示されている SET*の快適域は、冬季・夏季の 2 時期のみで示されることが多いが、快適域は月平均外気温等によって異なることが示されている。この快適域の変動要因としては、基礎代謝量が季節によって変化することがいわれており、日本人の基礎代謝は冬高く夏低い季節変動があり、年間で約 10%の幅があるといわれている⁴⁻¹⁾。特に住宅においては、夏季と冬季で約 4K の差があることから⁴⁻²⁾、初夏と盛夏を対象とした今回の熊谷市における測定においては、月平均外気温が平年値で約 5℃異なるため、パッシブクーリング技術を使用する期間内の中でも快適域が変化することが予想される。そこで、今年度の測定では季節別に SET*快適域を算出することとした。

(2) 季節別 SET*快適域の算出方法

パッシブクーリング技術を用いた空間の SET*快適域を算出するにあたっては、前述の涼風形成度を用いて効果が高い (Grade I) とされる空間を対象に実施する。そして SET*の快適域が散水をしない場合と比較して上下限值が高くなるという仮説のもとに測定結果の分析を行う。

定常状態を想定した SET*では、一般的に気温等の物理的な指標の平均値が用いられるが、外気温よりも平均的に 1℃常に気温が低い空間と、間欠的に 2~3℃低い気温が観測される場合も含めて平均値が 1℃低い空間とを比較した場合、後者の方が涼しさを得やすいと考えられる。このことは、変動風が定常風よりも涼しさを得られるという既往研究⁴⁻³⁾⁴⁻⁴⁾からも予想することができ、間欠的な冷気の発現についても同様の知見が得られれば、屋内外で不快と感じる時期や時間帯を抑制することができ、様々な NEB につながるものといえる。すなわち本仮説は、気温の乱れや気温差の大きい空間においては、平均値としてみた場合には明らかにできない図 4-1-1 内に示す平均皮膚温や皮膚面蒸発放熱量、代謝量のいずれかまたは全てが散水の無い場合よりも涼しい側に変化する可能性を示唆する結果を得るものである。

そこで本業務では、3 章で示した温熱環境測定結果に基づく温熱 4 要素 (気温, 相対湿度, 平均放射温度, 風速) の温冷感申告前 10 分の平均と、代謝量・着衣量より SET*を求める。同時に被験者には椅座静位状態において温冷感申告アンケートを実施してもらい、SET*と温冷感申告 (TSV) を屋内外において比較し、相関関係をみるための回帰式を作成する。回帰式の作成は、初夏 (6 月) と、盛夏 (7・8 月) の 2 時期に分けて作成する。

SET*と TSV を用いた回帰式は、屋内については①窓閉・エアコン無、②窓閉・エアコン有、③窓開・散水無、④窓開・散水有の 4 パターンを実施する。また屋外については、①散水無、②散水有の 2 パターンを実施した結果を報告する。評価式としては、下式に示すように被験者による温冷感申告値と SET*との関係を季節別（6 月及び 7・8 月）に求める。そして回帰式の係数を前述のパターン別に求めることで、パッシブクーリング技術を用いた空間に対する快適域の上下限値上昇の有無について評価する。

$$TSV = aSET^* + b$$

TSV：温冷感申告[-] SET*：新標準有効温度[℃] a, b：回帰式の係数

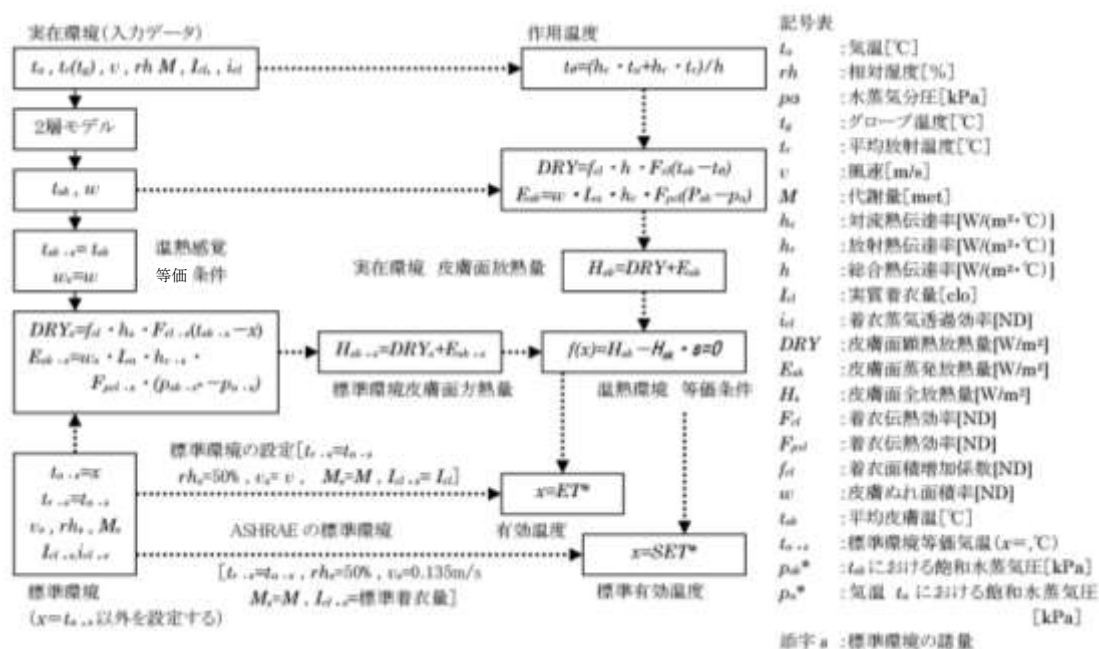


図 4-1-1 SET*算出フロー図 (4-5)

4.1.2. 季節別の快適温度算出方法

2.3.3 に示した快適温度については、日本においても中谷ら^{4-6) 4-7)}や、Rijal ら^{4-8) 4-9)}、中野ら⁴⁻¹⁰⁾によって快適温度（熱的中立温度）に関する調査がなされており、中谷らの調査では平均外気温が 28.2～28.4℃の時期において関西地域の住宅における中立温度は 27.6℃となったことが示されている。また岐阜や関東の住宅の調査により自然換気やエアコン利用時の快適温度が平均外気温や月別に求められており、初夏(6月)と盛夏(7,8月)では快適温度が3℃程度異なる結果となっている。そのため SET*と同様にパッシブクーリング技術を利用した空間等の間欠的な冷気の有無による快適温度を調査するにあたって季節別に明らかにすることで、より精度の高い快適温度が表現できると考えられる。

人間の熱的適応性としては、①行動的適応、②生理的適応、③心理的適応があるとされ、前述の既往研究ではそれらを全て含んだ形の調査結果であるが、本業務においてはパッシブクーリング技術による冷気の効果をはっきりさせるため、①行動的適応は一律の状態、②生理的適応、③心理的適応にのみ着目した快適温度を求めている。これは行動的適応を考慮した場合、パッシブクーリング技術による効果の有無が判別しづらくなるためである。但し将来的には行動的適応の適応機会の一つとしてパッシブクーリング技術の利用が組み込まれるような技術へと発展させる予定である。今回環境適応の対象としている②生理的適応と③心理的適応のうち、②生理的適応については前述の SET*と同様の内容である。また③心理的適応については、期待する環境と実際の環境が合致することで満足が得られるという指摘がなされており⁴⁻¹⁰⁾、今回の場合では散水がなされた空間が認識できるまたは滞在することに対する「涼しさ」への期待と関係すると考えられる。

以上より本業務では、快適温度を算出するにあたって測定位置、姿勢、着衣を固定した状態で実施することとし、前 10 分平均温度と被験者による温冷感申告結果より前述の窓の開閉・散水有無・屋内外のパターン別に季節別（6月、7・8月）の快適温度を求める。快適温度の算出式については、下式の通りであり、2章で記載したように回帰係数は 0.5 を用いることとする。

$$T_c = T_a + (4 - C) / \alpha$$

T_c :Griffiths 法による快適温度(℃) T_a :被験者近傍温度(℃) C :温冷感申告 α :回帰係数(=0.50)

快適温度は SET*とは異なり、複雑な算出式や温熱4要素全てを取り扱う必要がないため、居住者にもわかりやすい指標と考えられ、本業務においては窓開閉温度や冷房発停温度の判断ロジックにも快適温度を活用し、次項のライフスタイルの変化を表現する指標やパッシブクーリング技術による EB 算出にも利用する。快適温度は基礎代謝量や平均皮膚温とも相関が高いと考えられることから、今後これらの関係性を明確にすることで、人間の生理・心理側面の双方からみた快適温度の有用性を明らかにすることが期待される。

4.2 NEB 評価指標の評価手法及び評価結果の妥当性検証

4.2.1. 季節別の SET*算出結果

前述の実測結果と NEB 評価指標の算出方法に基づき SET*を季節別に算出した結果を以下に示す。

① 初夏（6月）における SET*-TSV 測定結果

3章で示した自治集会所における測定結果に基づき、TSV と SET*または被験者近傍気温との相関関係をパターン別に求めた。6月の測定においては、冷房負荷発生時間帯が少なかったことから、エアコンの調査については実施していない。またここで示す屋内外気温とは、全て被験者近傍気温を指す。また clo 値は、被験者全員に半袖・夏ズボンの着用を依頼しており 0.6 を用いた。また met 値は椅座静位状態として 1.0met を使用した。

図 4-2-1 及び表 4-2-1 に TSV と SET*との関係を示す。いずれの回帰式でも有意性（p 値 <0.05）は認められたが、回帰係数が 0.5 以上の概ね精度が高いと考えられる数値となったのは「屋内窓閉」と「屋外散水無」「屋外散水有」のみであった。その他の回帰式は 0.5 を下回り精度は低いといえることから、生理的側面からの検証が今後必要である。このうち、回帰係数が 0.5 を上回った「屋内窓閉」では、既往の屋内における研究とほぼ同様の快適域を示し、21.3～26.2℃となった。また「屋外散水無」と「屋外・散水有」を比較すると、上下限值とも快適域が 1～2℃高くなる傾向がみられた。

これらの結果から今後生理的側面からみた検証も合わせて実施することが必要と考えられるが散水有無を比較すると、SET*の快適域の上下限值が 1～2℃高くなる可能性があるといえる。

表 4-2-1 SET*と TSV の関係（初夏（6 月）熊谷：月平均外気温 22.4℃）

モード	回帰式	回帰係数	快適と感じる温度域
屋内窓閉	$TSV = 0.405SET^* - 5.616$	$R^2 = 0.69$	21.3～26.2
屋内窓開・散水無	$TSV = 0.249SET^* - 2.266$	$R^2 = 0.32$	21.2～29.2
屋内窓開・散水有	$TSV = 0.285SET^* - 3.318$	$R^2 = 0.34$	22.2～29.2
屋外・散水無	$TSV = 0.282SET^* - 3.285$	$R^2 = 0.46$	22.3～29.4
屋外・散水有	$TSV = 0.332SET^* - 5.046$	$R^2 = 0.64$	24.2～30.3

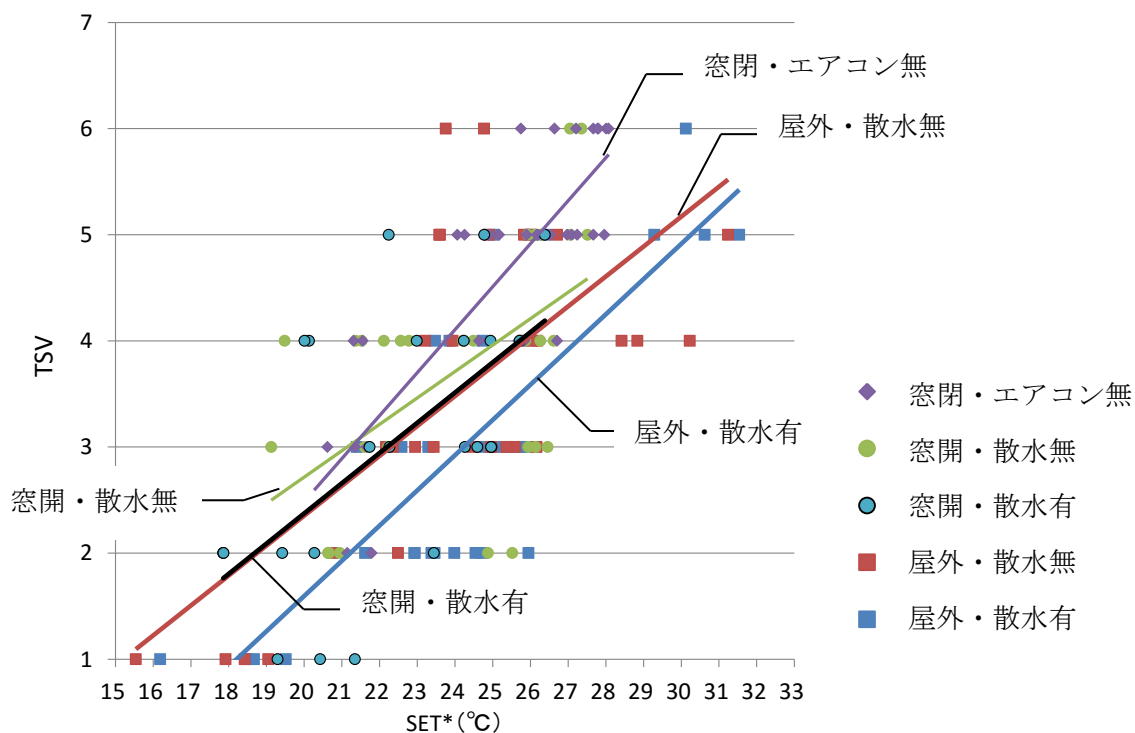


図 4-2-1 初夏（6 月）における TSV と SET* の関係

② 盛夏（7・8月）における SET*- TSV 測定結果

次に初夏と同様に盛夏時の SET*と TSV の関係を求めた。盛夏時においては、エアコンの設定温度を変化させた場合の温冷感申告も実施し、合計 6 パターンの SET*と TSV の関係を示す回帰式を作成した。その結果、いずれの回帰式でも有意性（p 値<0.05）は認められたが、図 4.2.2，表 4-2-2 に示すように回帰係数が 0.5 以上の概ね精度が高いと考えられる数値となったのは「屋外散水有」のみであり、「屋外散水無」についても今回は 0.5 以上とはならなかった。但し、散水無よりも散水有の方が上下限值が高くなる傾向は屋内外ともにみられ、今後生理的な側面からの検証が進むことで精度の高い結果が得られると考えられる。

また 6 月の結果と比較すると、快適と感じる温度域のうち、下限値は全てのパターンで 2～5℃高くなり、暑熱順化によるものと考えられる。また上限値については窓開・散水無を除き 1～2℃高くなる傾向がみられた。これらの結果から、季節による暑熱順化があった場合も散水による間欠的な冷気の出現によって快適域が高くなる傾向がみられる可能性があることが明らかとなった。

表 4-2-2 SET*と TSV の関係（盛夏（7・8月）熊谷：月平均外気温 26.7℃）

モード	回帰式	回帰係数	快適と感じる温度域
屋内窓閉・エアコン有	$TSV = 0.499SET^* - 9.34$	$R^2 = 0.22$	24.7～28.7
屋内窓閉・エアコン無	$TSV = 0.858SET^* - 19.949$	$R^2 = 0.28$	26.8～29.1
屋内窓開・散水無	$TSV = 0.456SET^* - 8.905$	$R^2 = 0.42$	26.1～30.5
屋内窓開・散水有	$TSV = 0.428SET^* - 8.434$	$R^2 = 0.34$	26.7～31.4
屋外・散水無	$TSV = 0.307SET^* - 4.747$	$R^2 = 0.44$	25.2～31.8
屋外・散水有	$TSV = 0.362SET^* - 6.677$	$R^2 = 0.50$	26.7～32.3

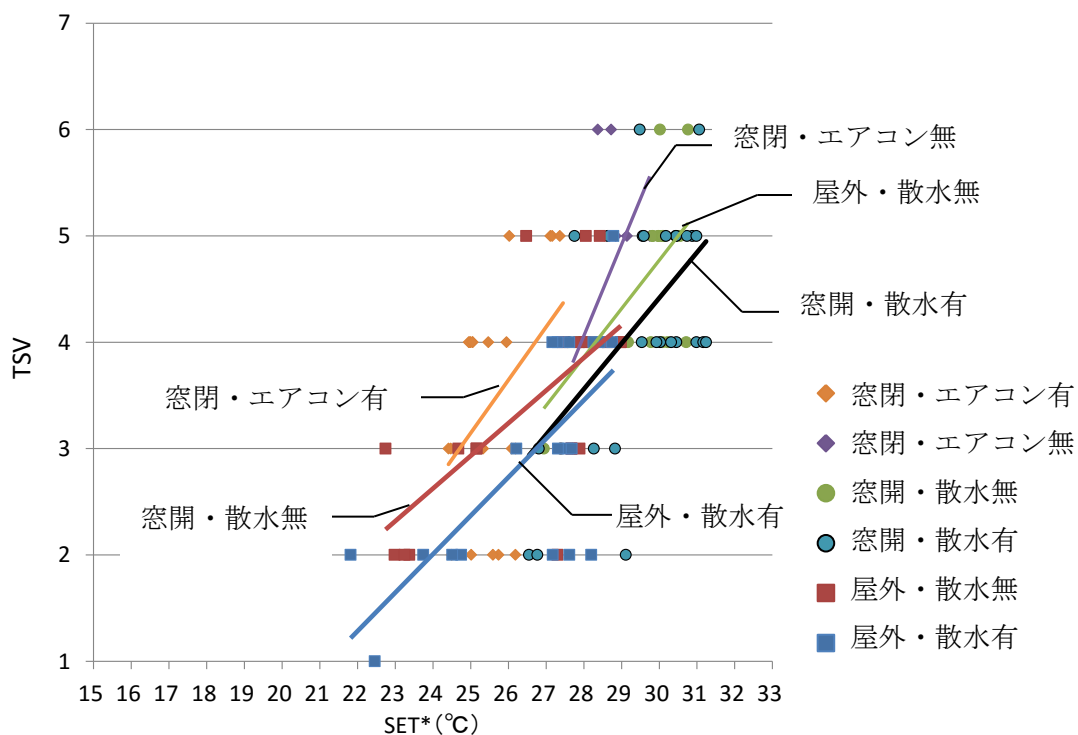


図 4-2-2 盛夏（7・8月）における TSV と SET*の関係

4.2.2. 季節別の快適温度算出結果

① 初夏（6月）における快適温度算出結果

次に TSV と被験者近傍の屋内外温度より、快適温度を求めた。表 4-2-3 にパターン別の快適温度を示す。また図 4-2-3 に温冷感申告と屋内外温度の関係を示す。その結果、6 月においては屋内の快適温度は[窓閉] < [窓開・散水無] < [窓開・散水有]の関係があり、快適温度が約 1℃間隔で上昇する傾向がみられ、窓開・散水有では 29.0℃となった。また屋外の快適温度も散水有と無を比較すると、散水無では 28.5℃であるのに対し、散水有では 29.7℃となり、1.2℃上昇した。これらの結果から快適温度については散水の有無によって屋内外ともに約 1℃上昇する傾向がみられた。

表 4-2-3 初夏（6月）におけるパターン別快適温度 Tc 算出結果
(初夏（6月）熊谷：月平均外気温 22.4℃)

6月	快適温度(℃)
窓閉・エアコン無	27.3
窓開・散水無	28.5
窓開・散水有	29.3
屋外・散水無	28.5
屋外・散水有	29.7

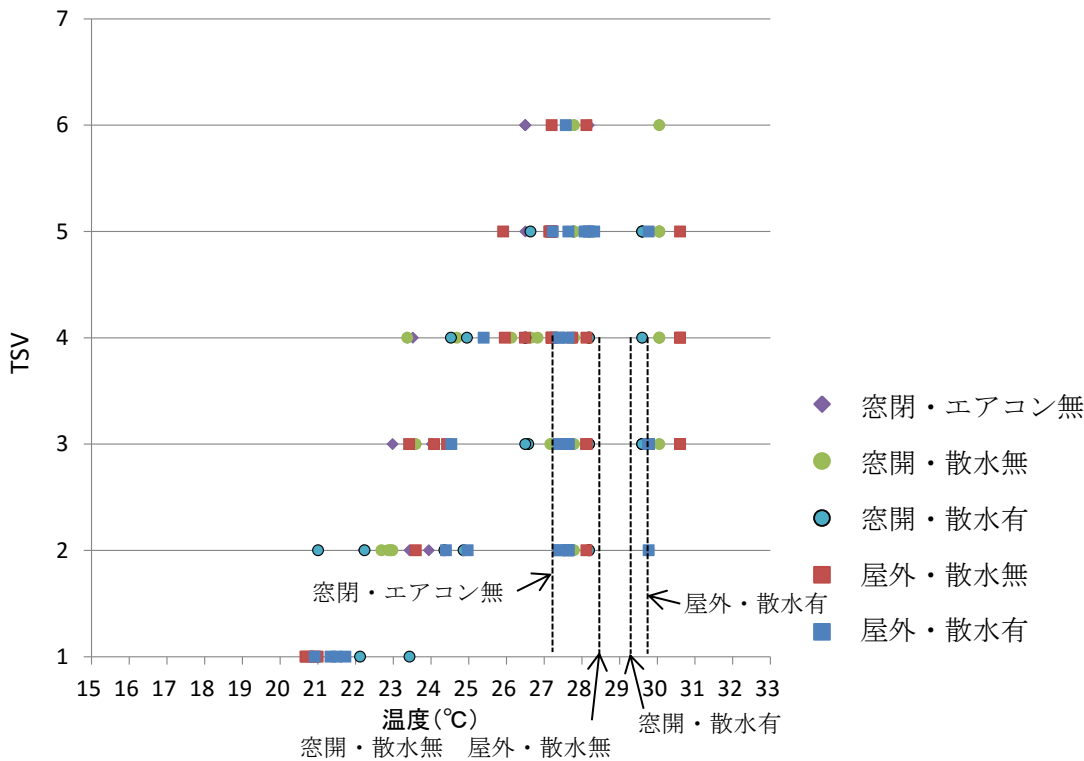


図 4-2-3 初夏（6月）における TSV と屋内外気温の関係

② 盛夏（7・8月）における快適温度算出結果

次に盛夏における快適温度の算出結果を、表 4-2-4 及び図 4-2-4 に示す。その結果、屋内の快適温度は[窓閉・エアコン有] < [窓閉・エアコン無] < [窓開・散水無] < [窓開・散水有] となり、それぞれ約 1℃ずつ快適温度が上昇した。6 月とは異なり、散水の有無による差がほとんどみられず、屋外についても散水の有無による差はみられなかった。これは快適な温度域での冷気の量・頻度が 6 月時よりも少なかったことが要因として考えられるため、次頁以降でその要因について分析する。

表 4-2-4 盛夏（7・8月）におけるパターン別快適温度 T_c 算出結果
(熊谷：月平均外気温 26.7℃)

8月	快適温度(℃)
窓閉・エアコン無	28.5
窓閉・エアコン有	26.9
窓開・散水無	29.8
窓開・散水有	30.1
屋外・散水無	31.2
屋外・散水有	31.2

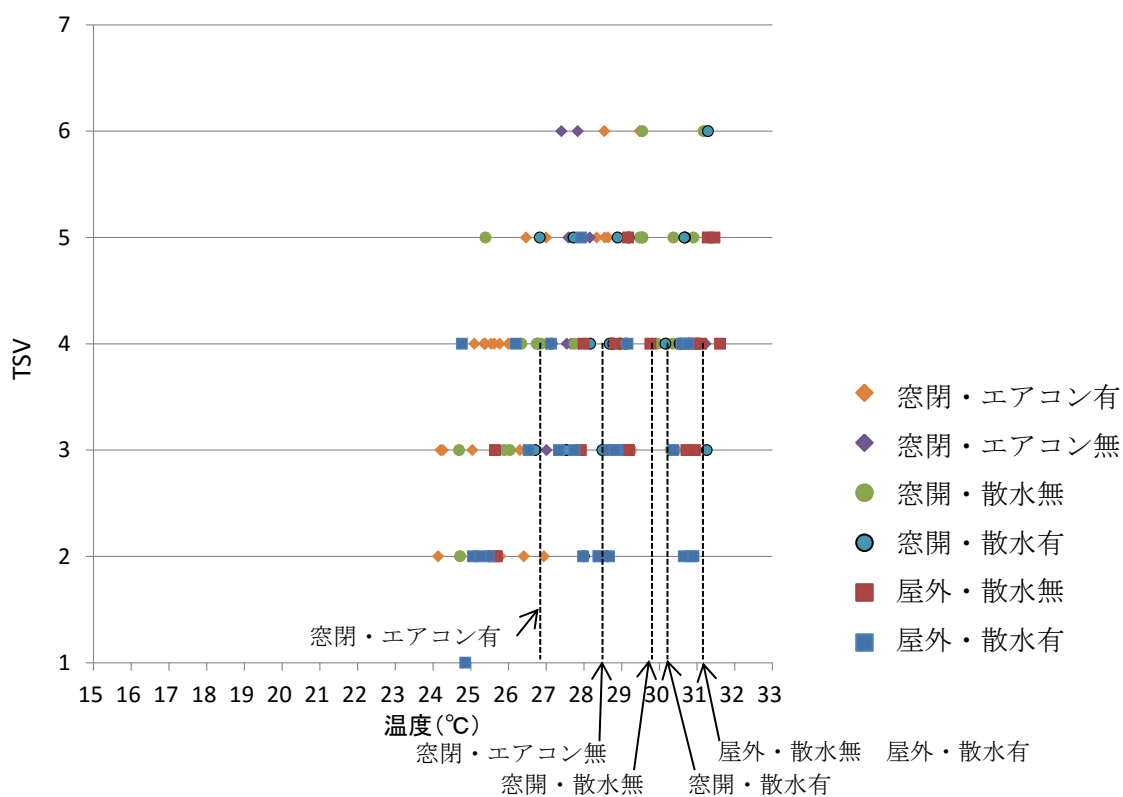


図 4-2-4 盛夏（7・8月）における TSV と屋内外気温の関係

4.2.3. 快適温度及び SET*による評価結果の妥当性検証

(1) パッシブクーリング技術による SET*の快適上下限值の上昇可能性について

ここでは、前述の「パッシブクーリング技術により、SET*の快適域の上下限値が 1℃前後高くなる」ことの妥当性について検証する。まず SET*の温度が 1℃低下した場合の環境とその実現可能性を示す。例えば SET*が 26℃と 25℃の環境の違いを比較すると、Met0.8, Clo0.5 で代謝量、衣服量を固定した場合、

SET*=26.0℃…気温：28.1℃, MRT：28.1℃, 風速：0.3m/s, 相対湿度：50%

平均皮膚表面温度 34.03℃, 皮膚面蒸発放熱量 9.01W/m²

SET*=25.0℃…気温：26.4℃, MRT：28.1℃, 風速：0.3m/s, 相対湿度：50%

平均皮膚表面温度 33.44℃, 皮膚面蒸発放熱量 9.03W/m²

となり、この場合気温が 1.7℃低下した環境を意味し、平均皮膚温 T_{sk} は 0.59℃, 皮膚面蒸発放熱量 E_{sk} は 0.02 W/m² 変化する環境である。間欠的な冷気による気温低下は最大 2～3℃であり、これらの冷気の効果によって、平均皮膚温や皮膚面蒸発放熱量の変動に寄与している可能性は考えられる。皮膚面蒸発放熱量は、平均皮膚温や基礎代謝量と関係があることから、平均皮膚温が低下することが重要であるといえる。

また実測時の平均皮膚温 T_{sk} の算出に用いられる Hardy&DuBois の 7 点法では、今回の測定時着衣（半袖シャツ・スラックス）においては、①額、②腹部、③前腕、④手背、⑤大腿、⑥下腿、⑦足背のうち①③④の点で肌が露出しており、平均皮膚温に対する寄与度では、下式に示す通り 26%であることから、仮にこの 3 点において 2～3℃低い空気に曝露され、平均皮膚温が 0.5℃程度低下する環境が繰り返された場合、SET*が 1℃程度低下した環境と同等の温熱生理状況となり得る。

○Hardy&DuBois の 7 点法による平均皮膚温 T_{sk} 算出式

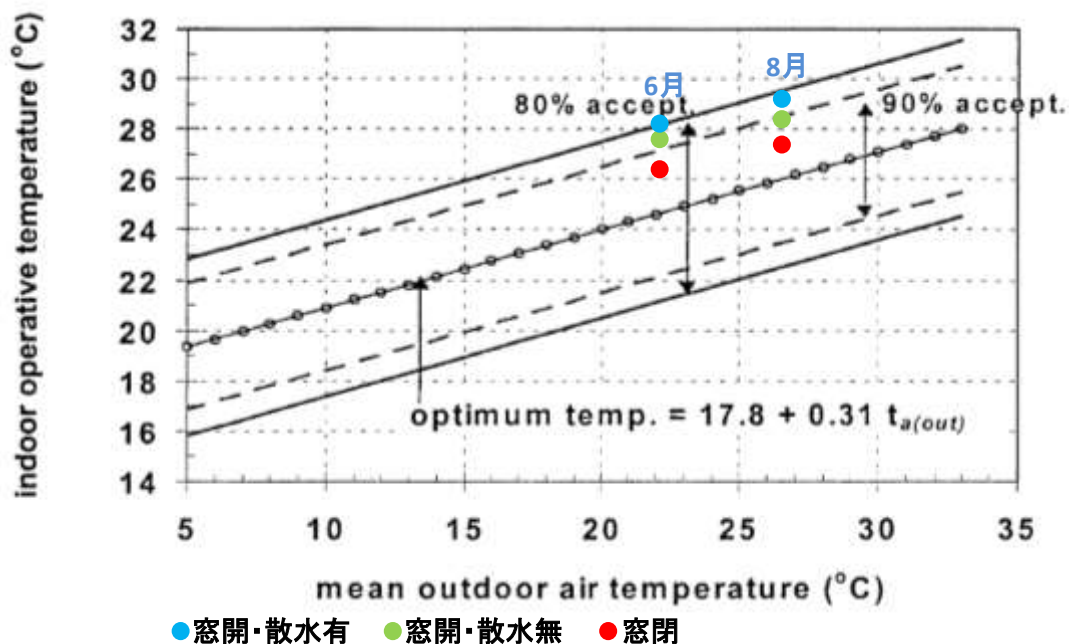
$$T_{sk}=0.07\times①+0.14\times③+0.05\times④+0.35\times②+0.19\times⑤+0.13\times⑥+0.07\times⑦$$

以上より、最終的な確認には実際に冷気が間欠的にみられる環境下で今後は皮膚温や基礎代謝量等を計測しながら、冷気による効果を検証していくことが必要ではあるが、物理現象として捉えられている冷気のポテンシャルからは「SET*の快適域の上下限値が 1℃前後高くなる」可能性は十分にあるといえる。

(2) 快適温度による快適域の拡大について

今回測定によって算出した屋内における各パターンの室内快適温度に基づき自然換気ビルを対象として測定された ASHRAE における調査結果と比較した結果を図 4-2-5 に示す。その結果, 6 月と 8 月における月平均外気温度と快適温度時の室内作用温度の上昇程度は既往研究とほぼ一致しており, 平均値からはやや高い側に推移しているが, 80% 許容域に収まっており, 大幅な温度のずれはみられない。また, 既往研究の自然換気ビルと同等の環境といえる窓開・散水無の結果をみると, 2℃程度高い側で推移しており, 北米における滞在者との長期暑熱順化の違いも影響しているものと考えられる。

また「快適温度が 2℃程度異なること」を冷気の有無で評価した既往研究はみられないが, 気流性状の違い(定常流または変動流)による差については議論されており, 個人差はあるが 2℃程度異なることがいわれている。そのため, 非常常や準定常状態でみられる気温差や気温の乱れについても同程度の効果がある可能性がある。今後 SET*と同様に温熱環境と温熱心理測定とともに平均皮膚温や基礎代謝量等の生理測定を実施していくことで結果の妥当性がより高まると考えられる。



*快適温度からの室内作用温度算出には, 快適温度時の室内平均放射温度を用いて算出した。

図 4-2-5 平均外気温度と室内作用温度の関係 4-11)

4.3. NEB の効果と前提条件との関係性等の検討

本節では温熱環境の改善により NEB の効果を発現させるための前提条件として, 最適な

気象条件及び起床時間帯の設定に基づく散水タイミングを提示し、散水に適した時間帯及び頻度を今年度とりまとめた外気象データを用いて提示する。そして適切な散水を前提条件として、4.2 で示した快適温度まで散水や窓の開放を実施した場合に、屋内においては冷房利用時間率や窓開放時間率がどのように変化するかを示し、屋外においても快適な時間や空間の拡大可能性を数値解析により示す。

4.3.1. 気象条件と快適温度による散水タイミング判断手法の提示

(1) 散水条件の提示

これまでは主に屋内外の気温に着目し、パッシブクーリング技術を利用した場合の効果について評価してきた。しかしながら、パッシブクーリング技術をより効率的に利用するためには、①散水を実施しても快適温度域に達しない気象条件、②相対湿度が高い降雨前後、③NEB を利用しない就寝時では、散水を実施しない条件を設定することで、さらに EB を最大化する効率的な運用が可能となる。そこで本項では上記①～③に当てはまる気象条件を設定し、時間帯や気温のみで散水条件を設定する場合の総散水時間と比較することで、散水タイミングの有効性を確認する。以下にこれまでの測定結果や既往研究に基づき設定した最適と考えられる散水条件を示す。

- ① 散水開始・停止温度については、快適温度の算出結果より外気温が 28℃程度までは散水しなくても快適に過ごせることから 28℃以上で散水が実施されるものとし、夏季において屋外で快適に過ごせる上限値である 31℃まで外気温を冷却可能な温度として 32℃までを外気温の散水上限温度とする。
- ② 散水可能時刻については、窓開放時刻に合わせて任意に設定されるのが望ましいが、熊谷の住宅地においては、6 時以降に 1F 居間の冷房が使用される頻度が高いことから、6 時～24 時の間を対象とする。
- ③ 相対湿度については、高湿な状況下では不快に感じる割合が高くなることや、降雨前後の可能性が高くなるため、相対湿度が 75%以下の時を散水対象とする。また 75%以下ではカビの繁殖可能性が低くなることもいわれている。

次項では上記 3 条件を散水タイミングとした場合の散水時刻の特徴を 2015 年の 6～9 月の気象データを用いて分析する。

(2) 散水タイミング適用の有無による散水量の違い

前頁で示した散水タイミングに関するロジックをそれぞれ適用していった場合に散水時刻及び頻度がどのように変化するかを 2015 年 6～9 月の外気象条件に基づき整理した。整理方法は、

- ①外気温が 28℃以上 32℃以下の場合に散水
 - ②①の条件に加えて 6～24 時の間に散水
 - ③①、②に加えて相対湿度が 75%以下の時に散水
- の 3 パターンについて比較した。

そして上記パターンについて、各月の散水に適した時刻の頻度を示す指標を時刻別散水至適率として定義し、下式に示すように算出した。

○時刻別散水至適率 ω (6 月～9 月)

$$\omega_t = T_{\text{watering},t} / T_{\text{daytime}}$$

$T_{\text{watering},t}$: 各時刻における散水日数 T_{daytime} : 各月の総日数 t : 時刻

その結果、図 4-3-1 に示すように 6 月及び 9 月は①の条件のみでも散水は外気温の高い日中に限られ、20～40%の割合で散水に適した条件となる。一方 7,8 月は外気温が昼夜を問わず高いため、①のみの条件では午前 4 時頃まで散水至適時間となる場合が 20%程度の確率でみられる。一方②、③では気温が上昇し始める 8 時以降に散水に適した条件となり、一部相対湿度が高い朝方または夕方にかけて散水に適さない場合もあるが、②と③はほぼ同様の傾向がみられた。将来的にはこのような至適条件を居住者ごとに設定できるようにすることで、各居住者が散水時には常に快適と感じる空間の設計に寄与できると考えられる。

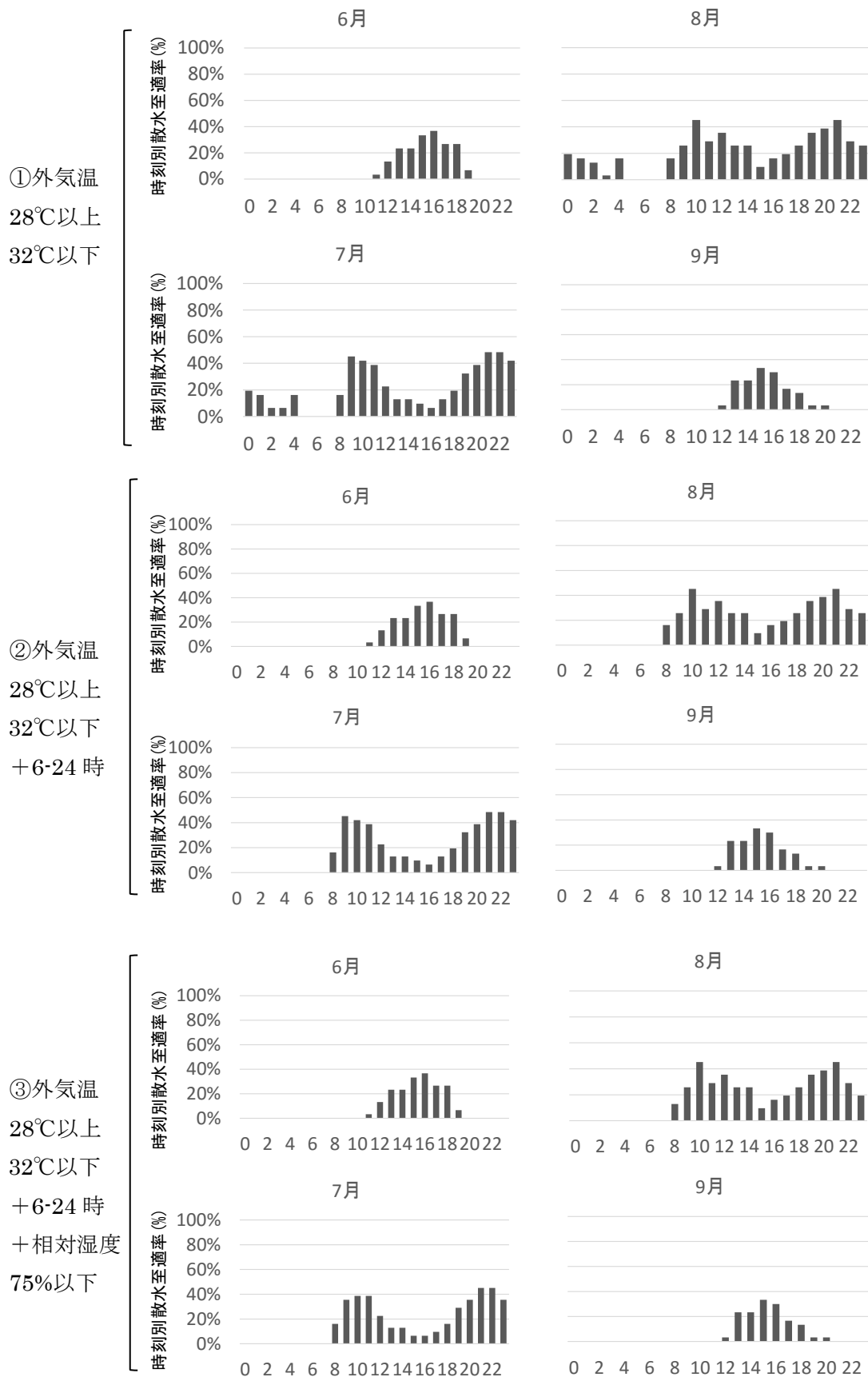


図 4-3-1 散水ロジックに基づく各月の時刻別散水至適率の比較

4.3.2. NEB の発現による窓開放時間の増加及び冷房時間削減可能性

(1) 数値解析の概要

本項では、前項で示したような散水が実施されることを前提条件として、パッシブクーリング技術によってもたらされる NEB として屋内の温熱環境の改善が得られ、窓の開放可能時間の増加や冷房時間の削減といったライフスタイルの改変にどの程度寄与できるかを数値解析により考察する。本数値解析では、屋内のライフスタイル変化の評価方法として、前節の快適温度を用いて窓開放時間の増加や冷房時間削減可能性を数値解析手法と組み合わせて評価する。具体的には図 4-3-2 に示すように戸建住宅モデルの室温を数値解析により求め、室温または外気温が快適温度以下の場合を窓開放可能時間とし、室温が快適温度を超えた場合を冷房時間として算出する。またこれらを中間季から夏季にかけて月別に整理し、窓開放可能時間率や冷房利用率を、①窓閉・エアコン有、②窓開・散水無、③窓開・散水有のパターン別に求め、パッシブクーリング技術による効果を評価する。

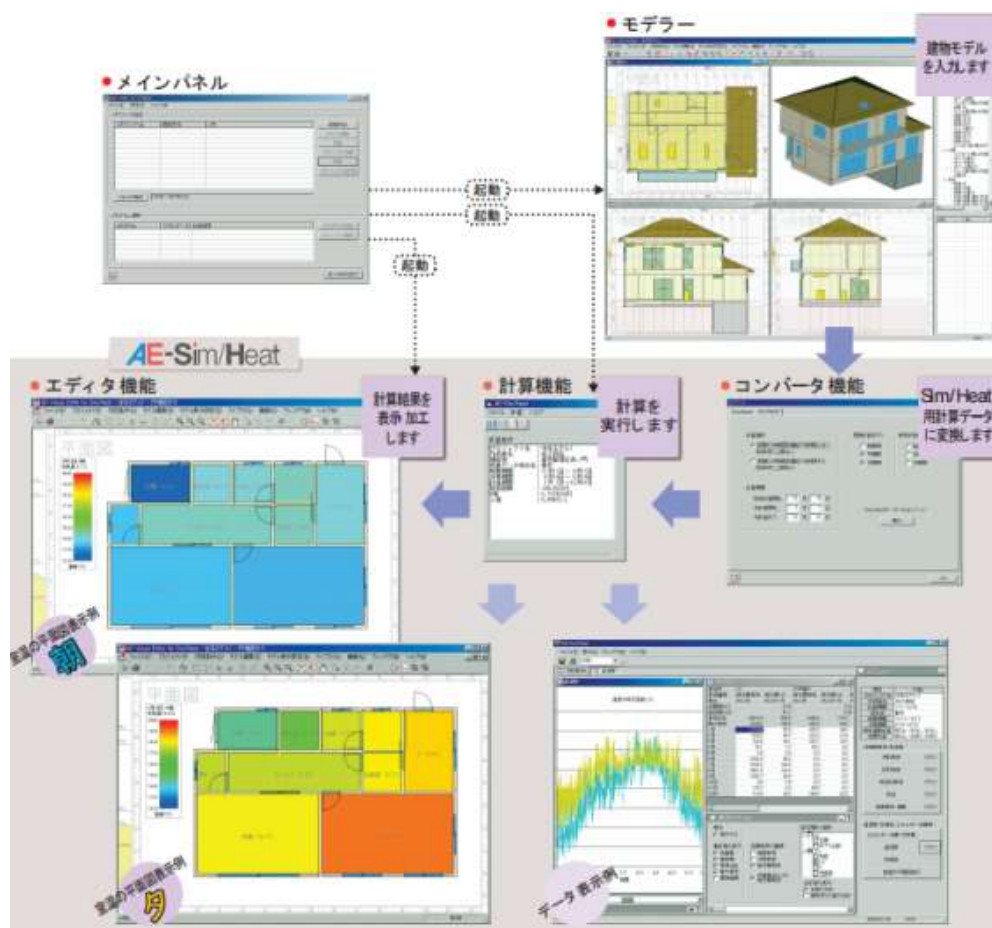


図 4-3-2 数値解析による室温解析イメージ 4-12)

(2) 数値解析による窓開放時間の増加及び冷房時間削減可能性の評価方法

4.2.2 で算出した快適温度を利用して数値解析手法により窓開放可能時間の増加及び冷房時間の削減可能性を中間季～夏季について算出した結果を示す。

(i) 窓開放・冷房開始判定ロジックの作成

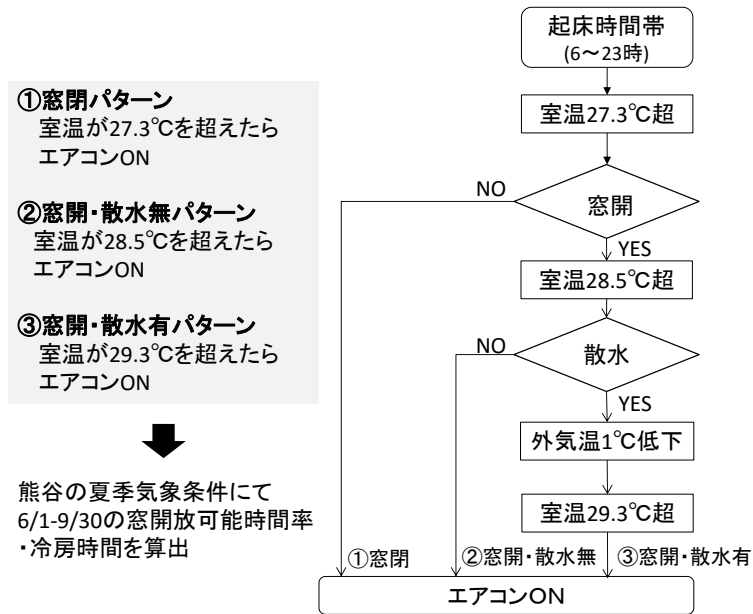
3 章の実物件における冷房開始外気温度の傾向からも明らかなように、居住者の住まい方によって、外気温が上昇してきた際に①すぐに冷房を開始する住まい方②窓を極力開放する住まい方が存在する。また今回の測定結果からはパッシブクーリング技術を導入することで、流入外気温が平均で1℃低下し、さらに快適温度域が間欠的な冷気存在によって1℃上昇する傾向がみられた。そこでこれらの傾向を踏まえて日中の窓開放可能時間及び冷房時間の違いを数値解析により定量的に明らかにするために、図 4-3-3 のようなロジックを作成し、各パターンの窓開放可能時間及び冷房時間を算出した。冷房開始温度については、6・9 月は 6 月の快適温度、7・8 月は 8 月の快適温度を使用する。

(ii) 数値解析モデルの概要

数値解析の実施にあたっては、対象とする熊谷の住宅地内に建設予定の図 4-3-4 に示す数値解析モデルの 1F 和室空間を対象として計算を実施した。計算条件は表 4-3-1 に示す通りであり、前述の設定温度を利用して 3 パターンにて計算を実施した。

(iii) 数値解析結果

図 4-3-5 に各パターンにて算出した総冷房時間を示す。また初夏（6 月）及び盛夏（8 月）の代表的な晴天日におけるパターン別冷房時間を算出した結果を図 4-3-6、図 4-3-7 に示す。図 4-3-5 に示すように冷房時間では起床時間帯に①室温 27.3℃を超えたら冷房を ON とする場合と、②27.3℃を超えたら窓を開け、28.5℃を超えたらエアコンを ON する場合では、冷房時間が約 22%減少しており、朝・夕それぞれ 1 時間程度冷房時間が減少する傾向がみられた。また③28.5℃を超えたら散水の実施を想定し、外気温が 1℃低下し、さらに 29.3℃を超えたらエアコンを ON する場合では、①より冷房時間が 52%減少した。これは図 4-3-6、図 4-3-7 に示すように朝・夕の冷房時間が 2 時間程度それぞれ少なくなる場合や、そもそも冷房負荷が発生する日数が減少することが寄与しているものと考えられる。



*ここでの冷房開始温度は、6月の快適温度に基づき表記

図 4-3-3 窓開放可能時間・冷房時間算出フロー

表 4-3-1 数値解析概要

使用ソフト	AE sim/heat ver.4.0
気象データ	日本建築学会拡張AMeDAS(2000年版) 標準気象データ(熊谷)
対象居所室	1F和室
内部発熱	無
排熱換気 (暑いときの窓開け)	有(和室5回/h換気)・設定室温と同じ
冷房開始温度	3パターン(室温27.3℃ 室温28.5℃ 日中 外気温1℃低下+室温29.3℃)
分析対象時刻	6-23時

*ここでの冷房開始温度は、6月の快適温度に基づき表記

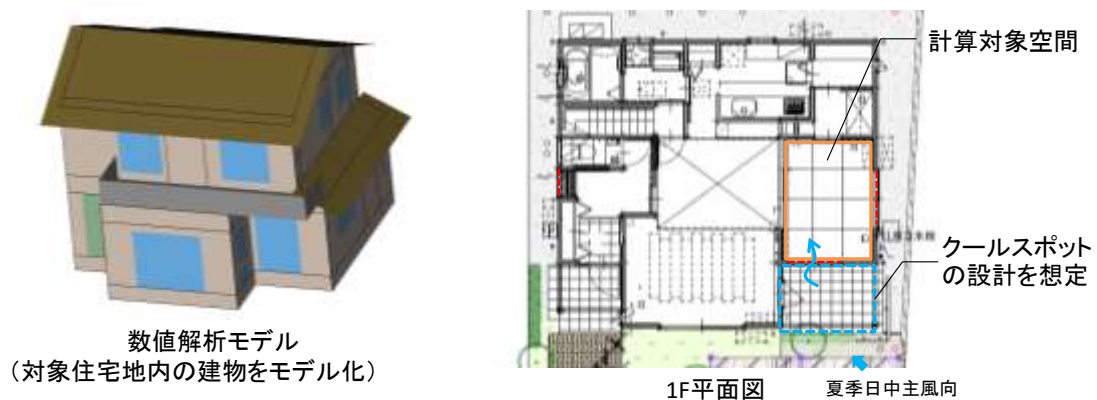


図 4-3-4 計算対象住宅の 1F 平面図

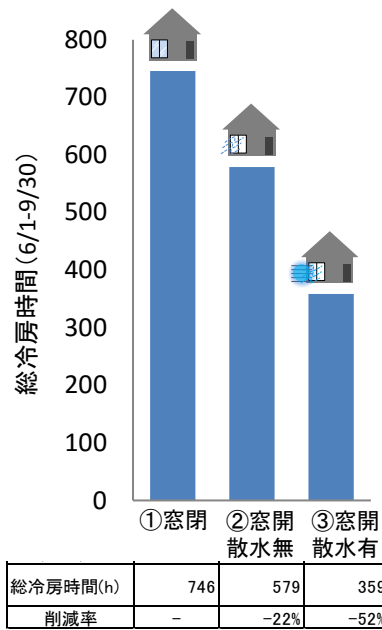


図 4-3-5 パターン別冷房時間算出結果

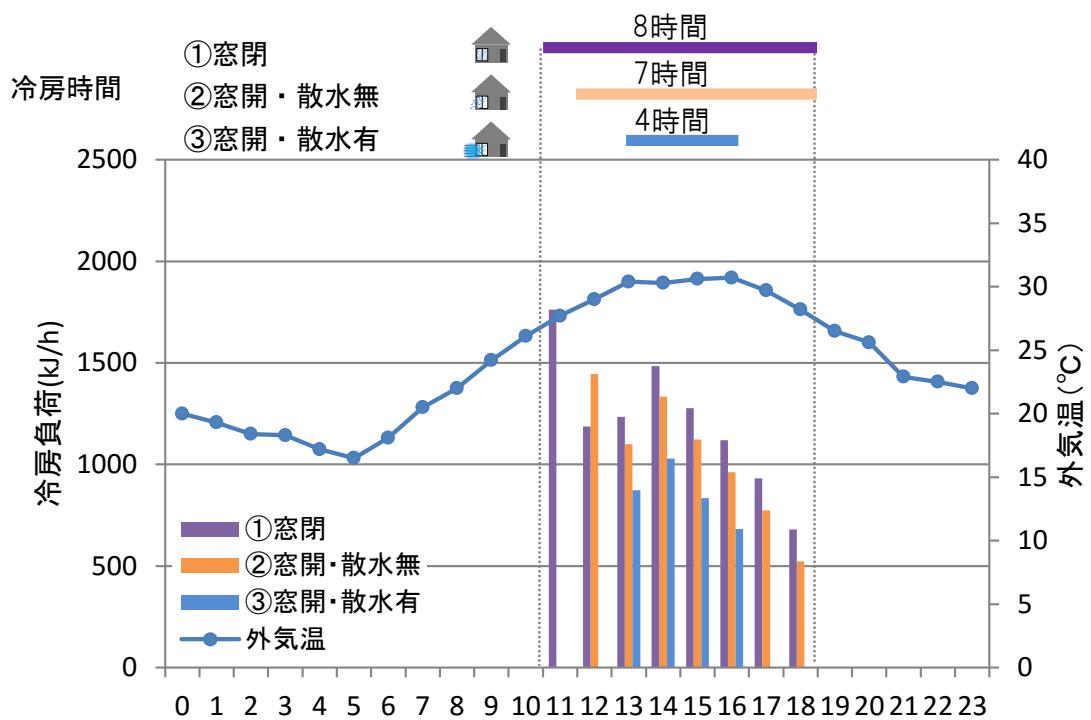


図 4-3-6 代表晴天日における冷房負荷及び時間算出結果(初夏)

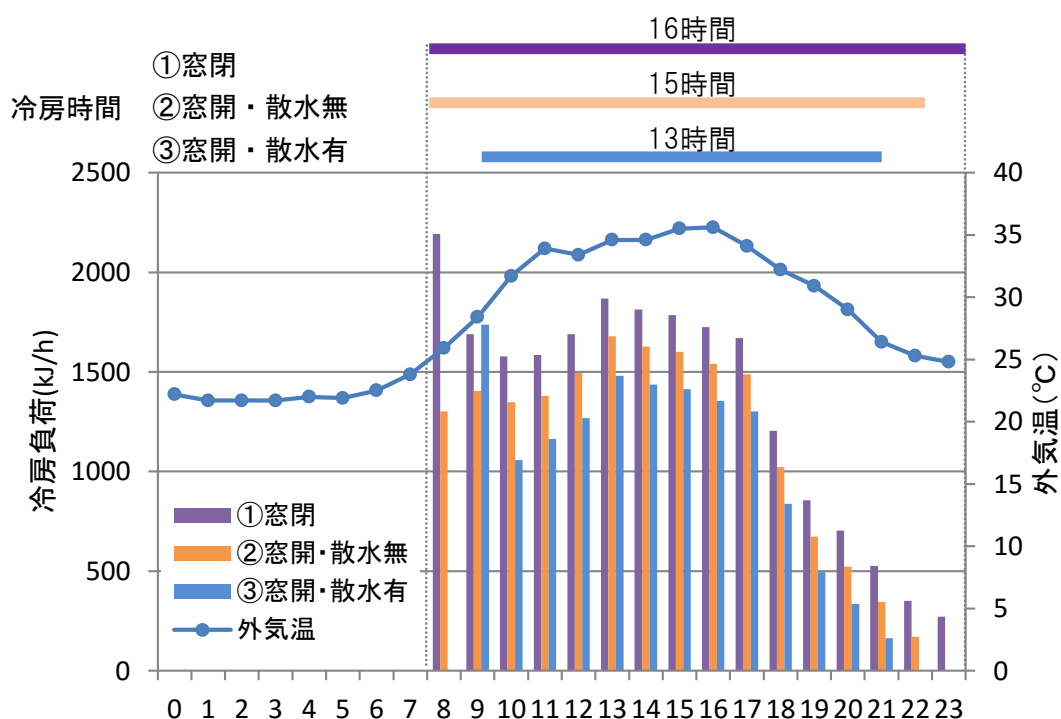


図 4-3-7 代表晴天日における冷房負荷及び時間算出結果(盛夏)

また「①窓閉」、「②窓開・散水無」、「③窓開・散水有」各パターンの月別冷房時間率を数値解析により求めた結果を図 4-3-8～図 4-3-11 に示す。このとき、月別冷房時間率は対象とする各時刻（6～24 時）における冷房負荷発生日を月別に積算し、月日数で除したものとする。また「窓開・散水無」、「窓開・散水有」各パターンの月別窓開放可能時間率を図 4-3-12 に示す。このとき月別窓開放可能時間率は、各時刻（6～24 時）における冷房負荷が発生しない（設定温度以下の室温となる）日を月別に積算し、月日数で除したものとする。以下に各月の特徴を示す。

6 月は、月別冷房時間率は①窓閉においては 12～17 時に 30%を超えるが、②窓開・散水無では 13～16 時、③窓開・散水有では超える時間帯はなく、窓開けと散水の活用によって、冷房を使用しなくても快適に過ごせる時間帯が大幅に増えると考えられる。7・8 月は、朝・夕の時間帯で窓開・散水有の冷房利用率を散水無と比較して最大 20%程度減少させることが可能であり、散水によって朝・夕に冷房を使わずに過ごせる時間帯を増加させることが可能と考えられる。また 9 月は、9～10 時の時間帯を中心に冷房を使用しなくても快適に過ごせる時間を増加させることが可能である。以上より、季節によって散水の効果が顕著となる時間帯に差はみられるが、6～9 月のいずれの期間においても散水により、窓開放可能率や冷房時間削減率が高くなる可能性がある。

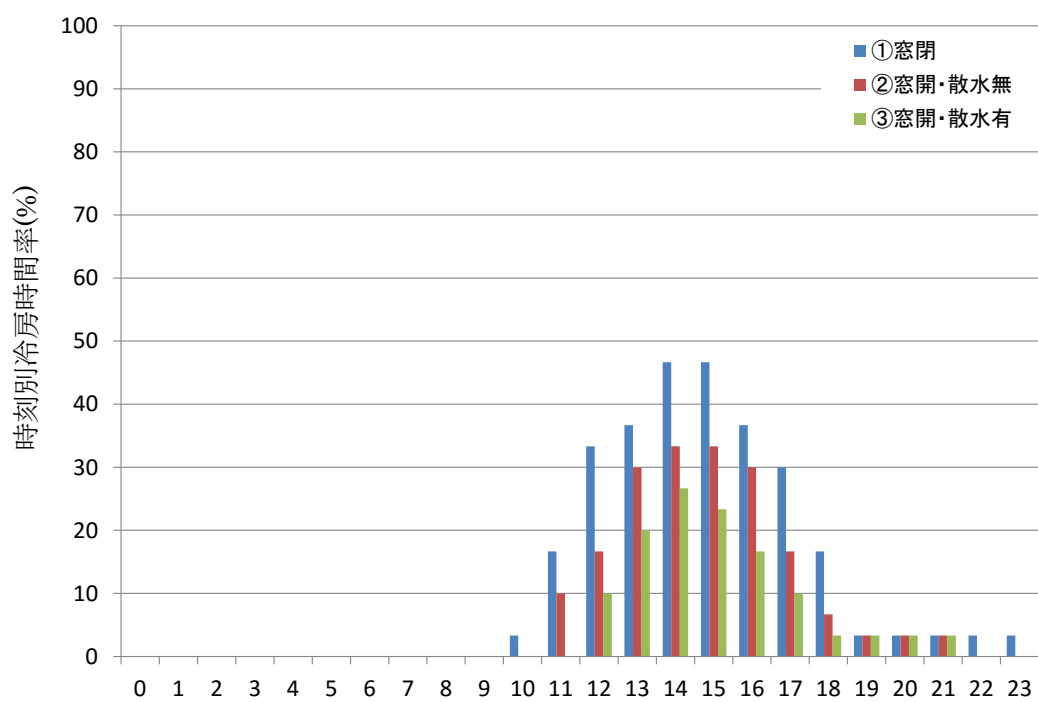


図 4-3-8 時刻別冷房時間率 (6 月)

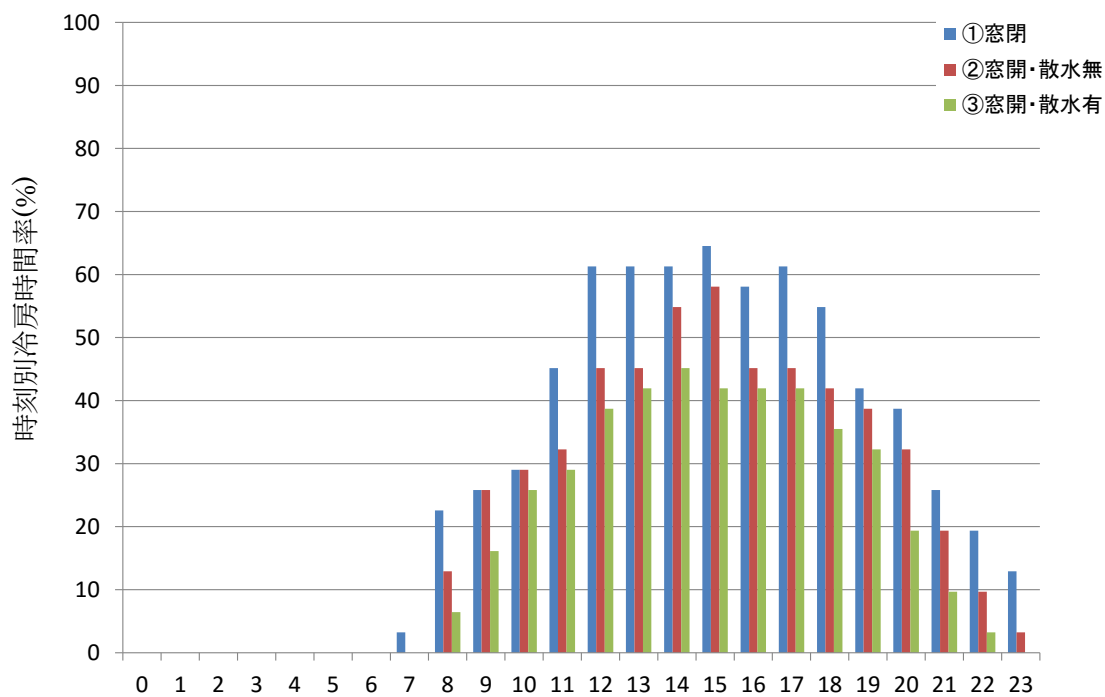


図 4-3-9 時刻別冷房時間率 (7 月)

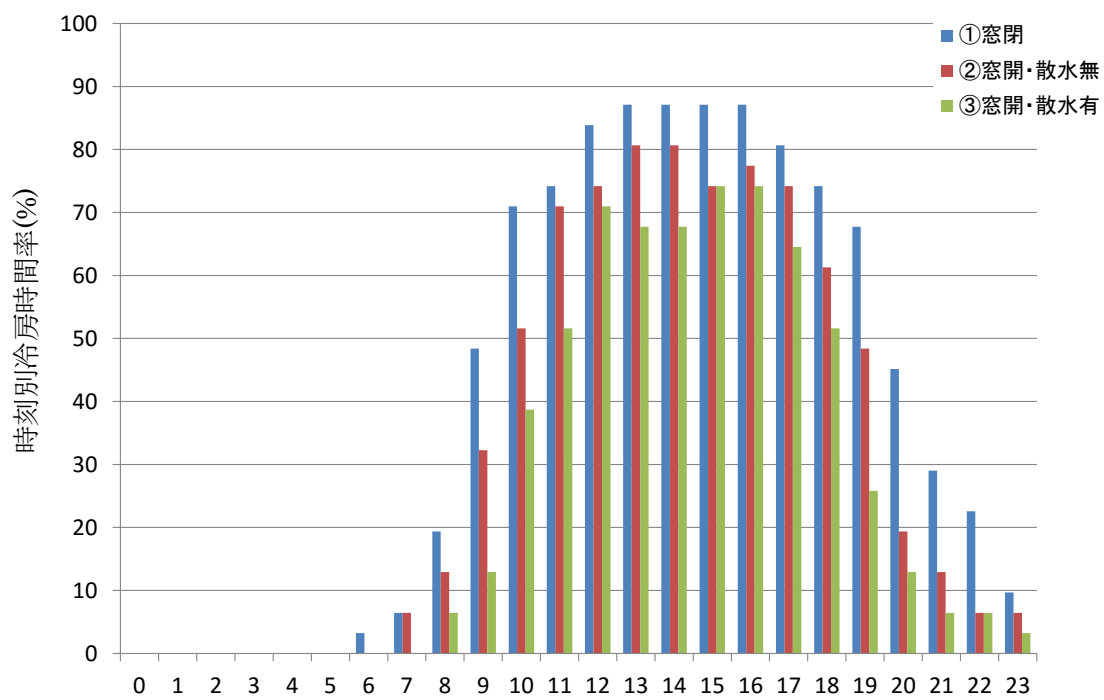


図 4-3-10 時刻別冷房時間率（8 月）

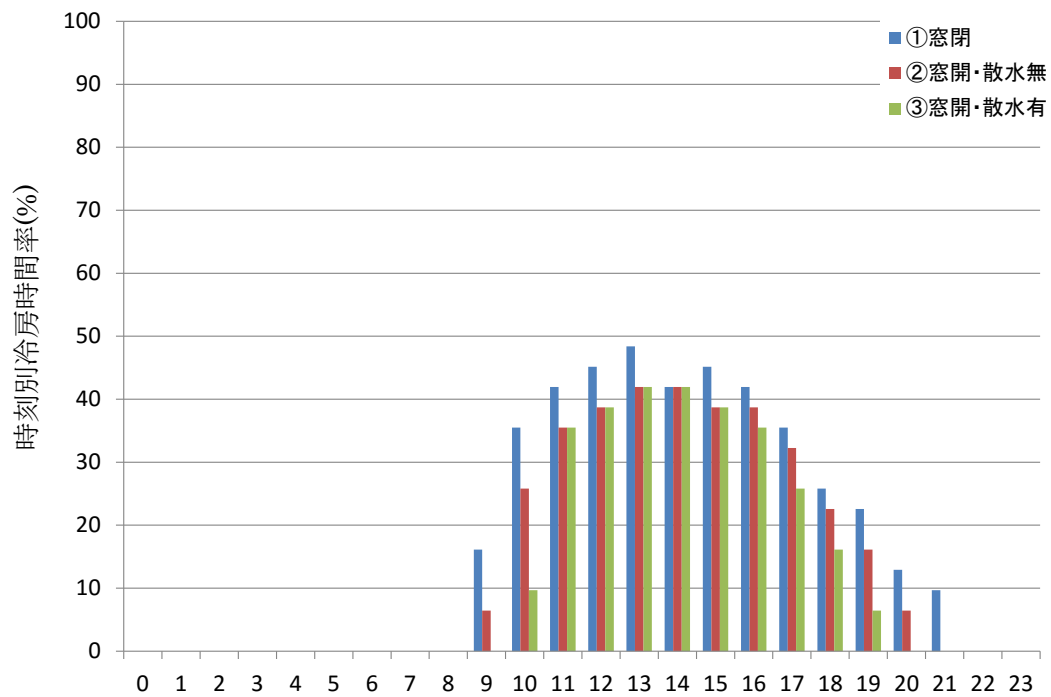


図 4-3-11 時刻別冷房時間率（9 月）

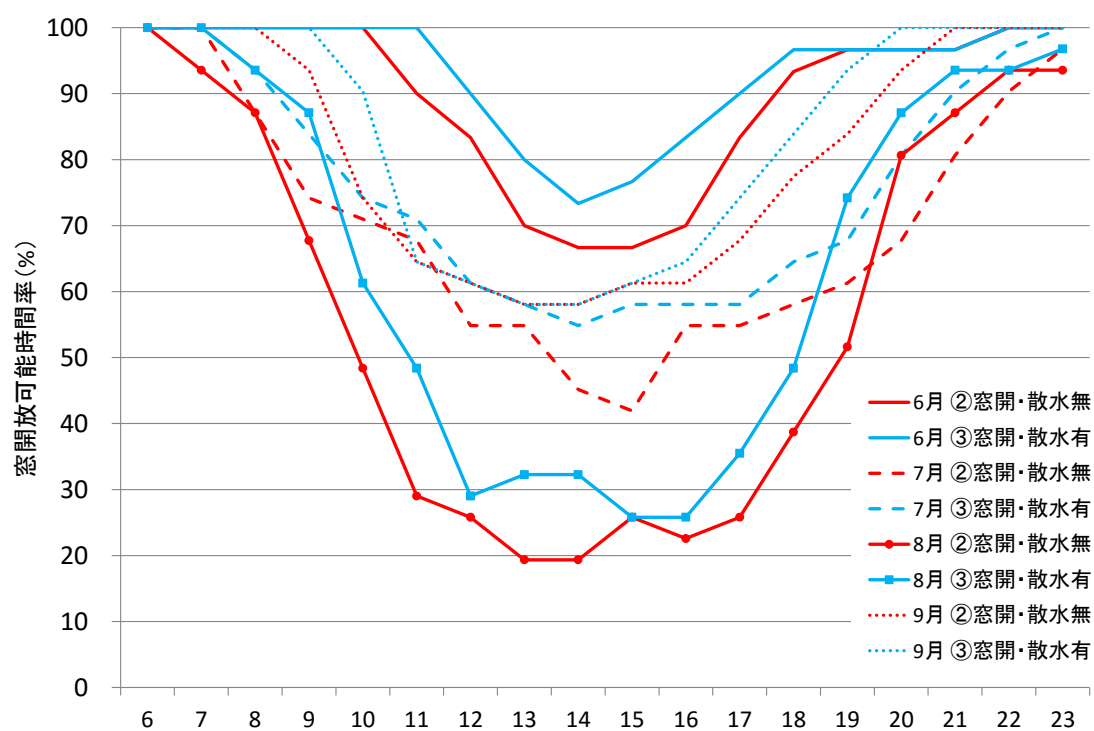
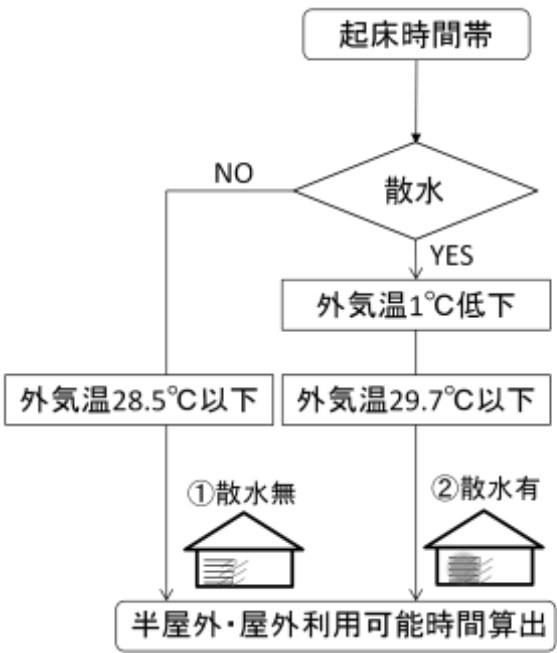


図 4-3-12 散水有無別の窓開放可能時間率 (6-9 月)

4.3.3. NEB の発現による屋外快適時間・空間の増加可能性

(1) 季節別の快適温度に基づく屋外滞在可能時間の算出

ここではパッシブクーリング技術の利用によって、屋外温熱環境が改善（外気温が約 1℃ 低下）するとともに、暑くも寒くもないと感じる快適温度が約 1.2℃ 上昇することで、屋外滞在可能時間が増加する可能性について示す。算出方法は図 4-3-13 に示すロジックの通りであり、対象とした気象条件は、表 4-3-1 に示す気象条件と同様である。また屋外の快適温度は、前述の屋内の場合と同様に、6・9 月は 6 月の快適温度を使用し、7・8 月は、8 月の快適温度を用いて屋外滞在可能時間を算出した。その結果、図 4-3-14 に示すように、屋外における滞在可能時間は、6～9 月の期間において、散水無よりも 6.9% 増加するとの試算結果が得られた。このことから、屋内において暑いと感じた場合でも屋外に移動することでさらに冷房時間を削減することが可能といえる。



*ここでの冷房開始温度は、6 月の快適温度に基づき表記

図 4-3-13 半屋外・屋外快適空間

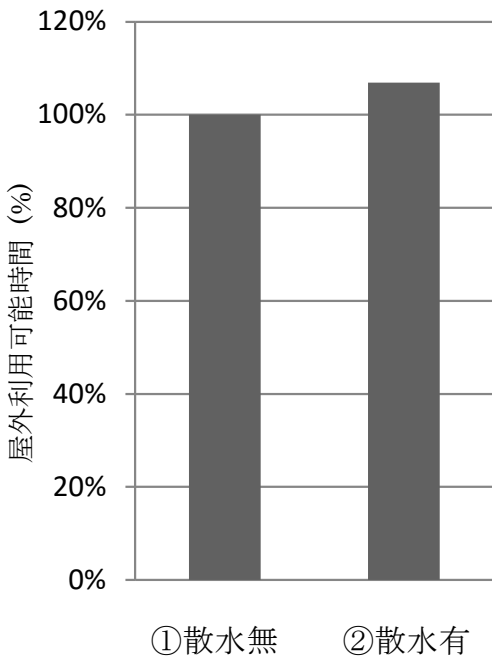


図 4-3-14 半屋外・屋外快適空間

(2) 屋外熱-気流連成解析による快適空間増加の可能性評価

(i) 数値解析の概要

パッシブクーリング技術によってもたらされる屋外快適空間の増加を評価する手法として、パッシブクーリング技術を導入した住宅地（以下、パッシブ住宅地）と導入していない住宅地（以下、一般的な住宅地）の気温分布の時間変化を解析し、その比較・評価を行った。

屋外環境のシミュレーションにおいては、テラス空間の形態や構成材料に加え周辺建物が日射や風環境に影響するため、テラスの形態が異なる 5 棟を評価対象とした上で、その周辺建物を図 4-3-15 の通りモデル化した。街区内の共通外構仕様については図 4-3-15 の中に示す。パッシブクーリング技術を導入した住宅におけるテラス空間の詳細を図 4-3-16 と図 4-3-17 に、またそれぞれの仕様を表 4-3-2 に記載する。一般的な住宅地では、クールルーパーと保水性の部材がないものと設定した。

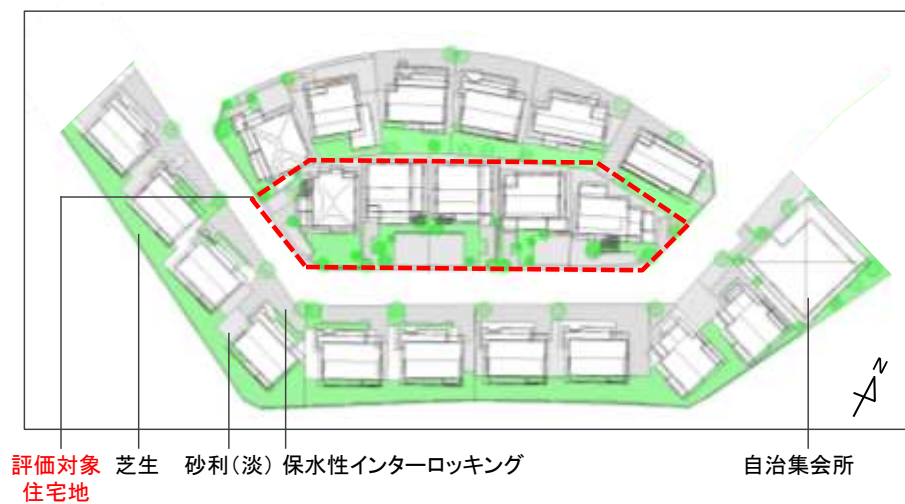


図 4-3-15 解析モデル

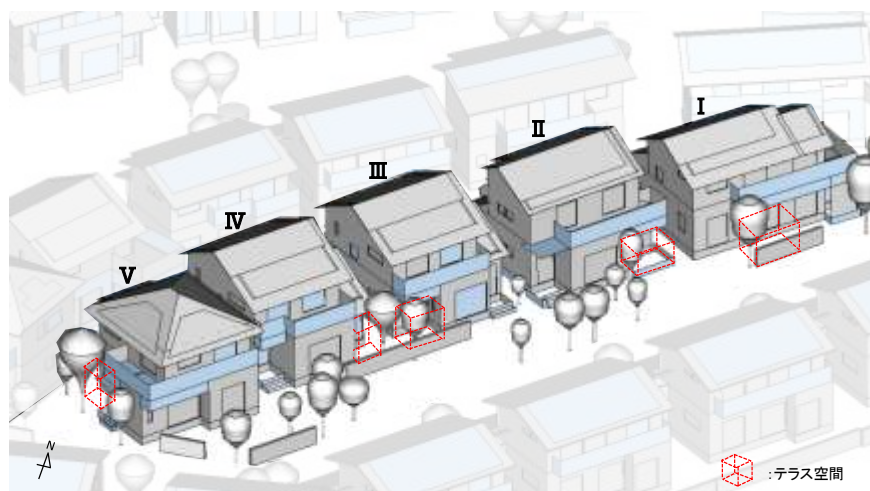
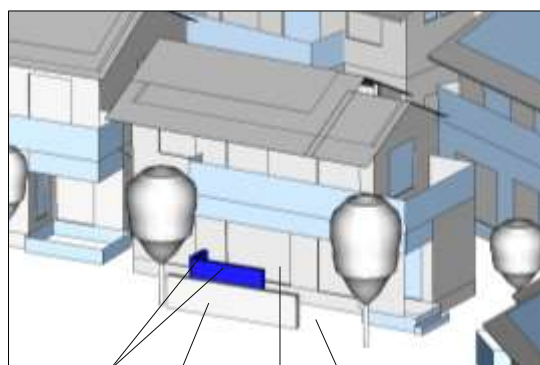


図 4-3-16 評価対象住宅

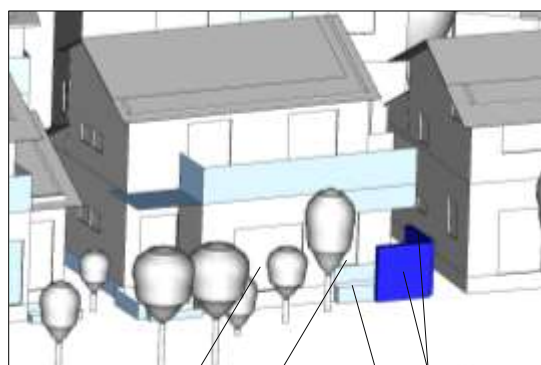
表 4-3-2 パッシブ住宅地のテラス仕様

住宅	連続する 居室の形態	開口部 の形態	対象空間 サイズ(m)	日射遮蔽	床面の仕様	クールルーパー 設置面積
I	居間	掃出窓	2.8×2.2	2 階バルコニー+高木	保水性平板 +芝生	W3.0×H1.8 W1.0×H1.8
II	和室	掃出窓	2.3×2.3	2 階バルコニー	タイル舗装	W1.0×H1.8 W2.0×H1.8
III	和室	掃出窓	2.8×1.5	2 階バルコニー	保水性平板 +芝生 +化粧砂利	W2.5×H1.8 W1.0×H1.8
IV	台所	勝手口	2.2×1.8	下屋の屋根	保水性平板 +化粧砂利	W1.0×H1.8 W1.5×H1.8 W2.0×H1.8
V	和室	掃出窓	2×2.3	高木	保水性平板 +化粧砂利	W1.5×H1.8 W1.5×H1.8



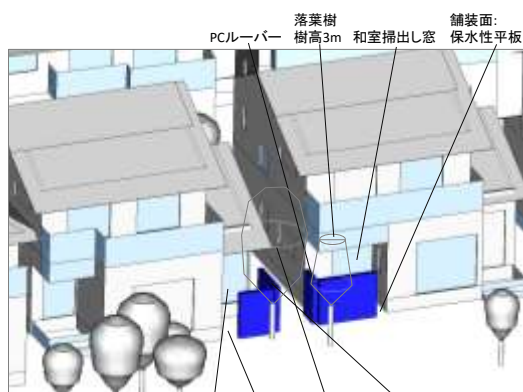
PCルーバー 生垣 リビング掃出し窓 芝生

住宅 I



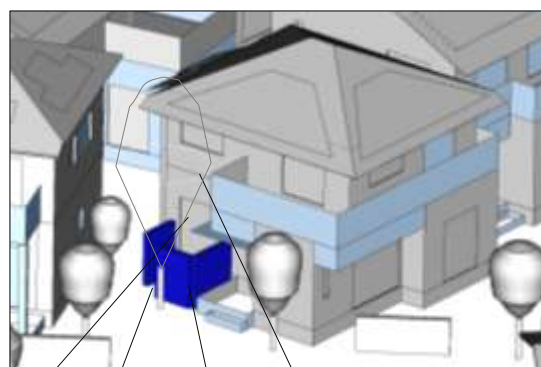
リビング掃出し窓 和室掃出し窓 タイルテラス PCルーバー

住宅 II



勝手口 舗装面: 保水性平板 落葉樹 樹高5m PCルーバー

住宅 III, IV



和室掃出し窓 舗装面: 保水性平板 PCルーバー 落葉樹 樹高7m

住宅 V

図 4-3-17 テラスの拡大図

(ii) 数値解析条件

解析対象日は、対象地の夏季の気候特性を示す日を現地にて測定した気象データより選定し、2015年8月18日とした。気象測定は計画地の中で東側が開けている場所として東側道路と水路の前に当たる計画地外周部で行い、道路面から1.8m（宅地面から1.2m）の高さで行った。対象日の気象条件を図4-3-18に示す。

パッシブ住宅地においては、4.3.1で提示した条件のもと散水が実施されることを前提条件として、対象日の気温変化を踏まえ、散水は9時に開始し、外気温が32℃より高くなる14～17時に一度停止、気温が低下した18時以降に再び散水を行うスケジュールとした（表4-3-3）。

熱・気流連成解析では、はじめに熱放射解析（Thermo Render Pro5, エーアンドエー社）を行い、算出される表面温度を境界条件として数値流体力学（Computer Fluid Dynamics, 以下CFD）解析（STREAM Ver12, ソフトウェアクレイドル社）に引き渡した。各種計算条件やクールルーバー固有値の与え方などについては、東京工業大学浅輪准教授の指摘を踏まえて設定した。なお屋外、特にテラス空間の熱環境予測においては住宅の開口部の開閉状態が影響するが、屋内を考慮するには居室間の通風経路、室温など条件が複雑となることから本解析では全開口部を閉じた状態で計算を行った。

■熱放射解析

熱放射解析は8月18日の気象条件を繰り返し4日間の助走計算を行った後、5日目の結果を出力し、CFD解析の境界条件として表面温度を用いた。街区内道路は淡色アスファルトとなっており、実測結果にもとづき反射率0.2とした。各宅地の駐車場とアプローチに用いられている保水性舗装は宅地内に設置される予定の灌水システムによってクールルーバーと同時間帯散水されるものとして計算を行った。クールルーバーの計算条件を表4-3-3に、その他住宅および外構に用いた部材の物性値を表4-3-4に示す。

■CFD解析

熱放射解析により求めた表面温度を熱境界条件として、対象時刻の風向・風速条件を与えて解析を行った。解析領域を図4-3-19に、CFD解析条件を表4-3-5に、クールルーバーの計算条件を表4-3-6に示す。流体は非圧縮性流体と仮定し、乱流モデルは標準 $k-\epsilon$ 2方程式モデルを使用した。鉛直方向方程式には重力項に対してブシネスク近似を用い、非等温解析を行った。

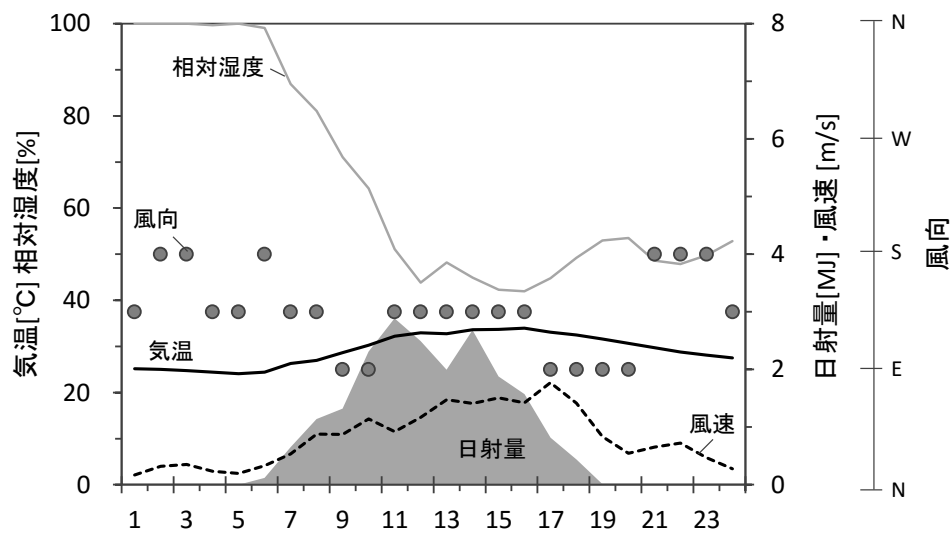


図 4-3-18 熱環境解析対象建物（2015 年 8 月 18 日）

表 4-3-3 クールルーバーの計算条件（熱放射解析）

灌水時間、灌水量	9:00-13:00, 18:00-24:00
日射反射率	0.46
日射透過率	0.07
放射率	0.9
外部側側面温度	濡れ状態 $T_{so}=0.0065 I_v+0.37+T_{wb}$ 乾燥状態 $T_{so}=0.0083 I_v-0.33+T_{db}$
テラス側側面温度	濡れ状態 $T_{st}=0.0030 I_v+0.36+T_{wb}$ 乾燥状態 $T_{st}=0.0037 I_v+0.21+T_{db}$

表 4-3-4 構成材料の物性値（熱放射解析）

部位	構成材料	日射反射率 [-]	長波長放射率 [-]	日射透過率 [-]	熱伝導率 [W/(m・K)]	容積比熱 [J/(m ³ ・K)]
屋根	スレート(濃色)	0.2	0.9	0	0.96	1500000
	PV	0	0.94	0	1	2022200
壁	サイディング(淡色)	0.4	0.9	0	0.12	800000
	タイル(濃色)	0.2	0.9	0	1.3	2000000
窓ガラス	熱線反射ガラス	0.24	0.7	0	0.78	19000000
基礎	モルタル系(淡色)	0.5	0.9	0	1.5	16000000
生垣	生垣	0.3	0.95	0	0	0
駐車場・ アプローチ	保水性コンクリート/ インターロッキング	0.2	0.9	0	0.727	2055000
タイルテラス舗装	タイル(淡色)	0.4	0.9	0	1.3	2000000
その他外構	砂利表面(淡色)	0.4	0.9	0	0.61	1500000
街区道路	淡色アスファルト	0.2	0.9	0	0.7	2000000

表 4-3-5 CFD 解析条件

計算領域	462m(x)×310m(y)×32m(z)
分割メッシュ数	716(x) × 363(y) × 61(z)=15,854,388
メッシュサイズ	建築物を含む領域は0.2m等間隔 その他は1.195拡大率非等間隔
乱流モデル	標準k-εモデル
計算アルゴリズム	SIMPLE法
差分スキーム	QUICK (2次精度風上差分)
流入境界条件	べき乗則(α=0.2)
流出境界条件	自然流出境界
壁面境界条件	Z _{max} :フリースリップ, Z _{min} :ノースリップ
表面温度	熱放射解析結果を連成
熱境界条件(流体・固体間)	温度対数則を適用

表 4-3-6 クールルーパーの計算条件 (CFD 解析)

灌水時間、灌水量	9:00-13:00, 18:00-24:00
灌水量・温度	3.8 kg/(m ² ・h), 29°C
日射反射率	0.46
日射透過率	0.07
放射率	0.9
外部側側面温度	濡れ状態 $T_{so}=0.0065 I_v + 0.37 + T_{wb}$ 乾燥状態 $T_{so}=0.0083 I_v - 0.33 + T_{db}$
テラス側側面温度	濡れ状態 $T_{st}=0.0030 I_v + 0.36 + T_{wb}$ 乾燥状態 $T_{st}=0.0037 I_v + 0.21 + T_{db}$
4面平均表面温度	濡れ状態 $\bar{T}_s=0.0034 I_v + 0.33 + T_{wb}$ 乾燥状態 $\bar{T}_s=0.0044 I_v + 0.13 + T_{db}$
空隙率	0.3
接触面積／体積	26.4 m ² /m ³
抵抗係数, べき数	$C_f=5.36$, n=2
平均対流熱伝達率	$\alpha_c=19.57v+13.57$

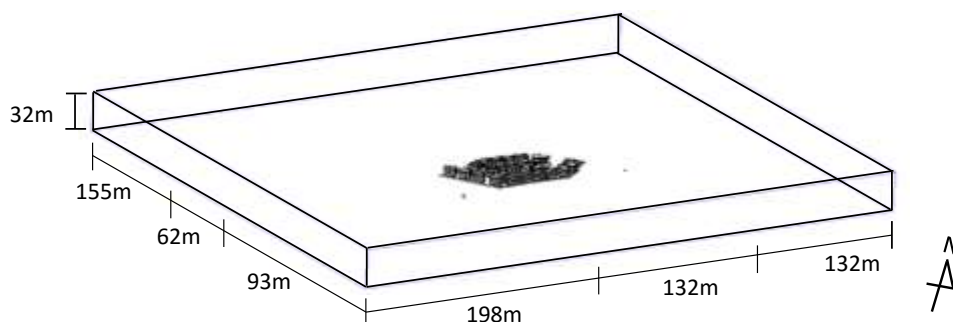


図 4-3-19 CFD 解析領域

(iii) 数値解析結果

各時刻の解析結果のうち、午前中の散水時間帯の例として 12 時、夕方の散水時間帯の例として 18 時の気温分布を図 4-3-20, 21, 23, 24 に示す。また屋外の快適温度となる 31.2℃ 以下となる空間について図 4-3-22 と図 4-3-25 に示す。

いずれの住宅地においても、広域的に見られる気温分布の特徴として、12 時には壁面や地面の表面温度が上昇する影響で流入風温度に対して 0.5℃ 程度高い分布が見られた。一方 18 時は日没を迎える時間帯であり、場所によっては早くから建物等の陰で表面温度が低下するため、流入風温度 31.6℃ に対して 0.5℃ 程度低い分布が見られた。

またパッシブ住宅地では、テラス内およびその付近の気温が流入風温度に対して 12 時で 1～3℃、18 時で 0.5～3℃ 低下した。その結果、快適温度となる 31.2℃ 以下の範囲が 4～6m² のテラス空間内ほぼ全域、さらにテラス周りを含め 10～20 m² 前後まで分布した。また快適温度までは低下していないが、各テラスにおいて生成された冷気が隣接する住宅地に移流し、近隣住宅地の暑熱緩和に寄与することが読み取れる。

本解析では NEB と EB の最大化を目的として、4.3.1 で提示した条件のもと散水が実施されることを前提条件としたが、仮に快適温度を超えても屋外に出なければいけないような状況を想定して日中も散水し続けた場合の 14 時の結果を図 4-3-26, 27, 28 に示す。この時間帯の流入風温度は 33.7℃ と高いため、パッシブ住宅地においても快適温度以下となる空間はクールルーパー近傍のみとなっているが、流入風温度が高くなるほど気温とクールルーパーや保水性舗装などの表面温度との差は大きくなるため、気温の低減効果は大きくなる。したがって屋外に滞在しなければならない者に対する暑熱緩和という視点から見れば、日中高温な時間帯においても散水を行う効果があると言える。

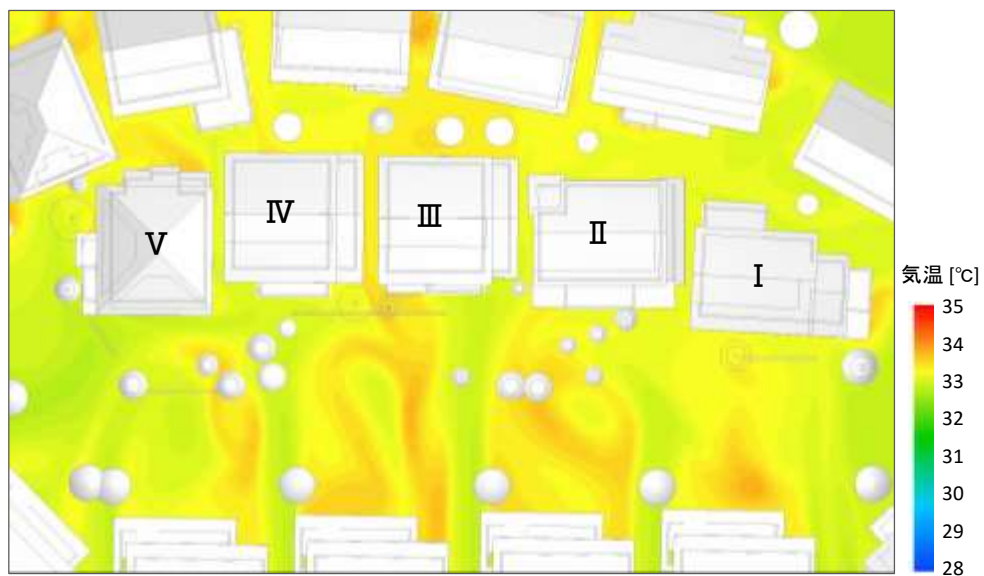


図 4-3-20 一般住宅地の気温分布（8 月 12 時）

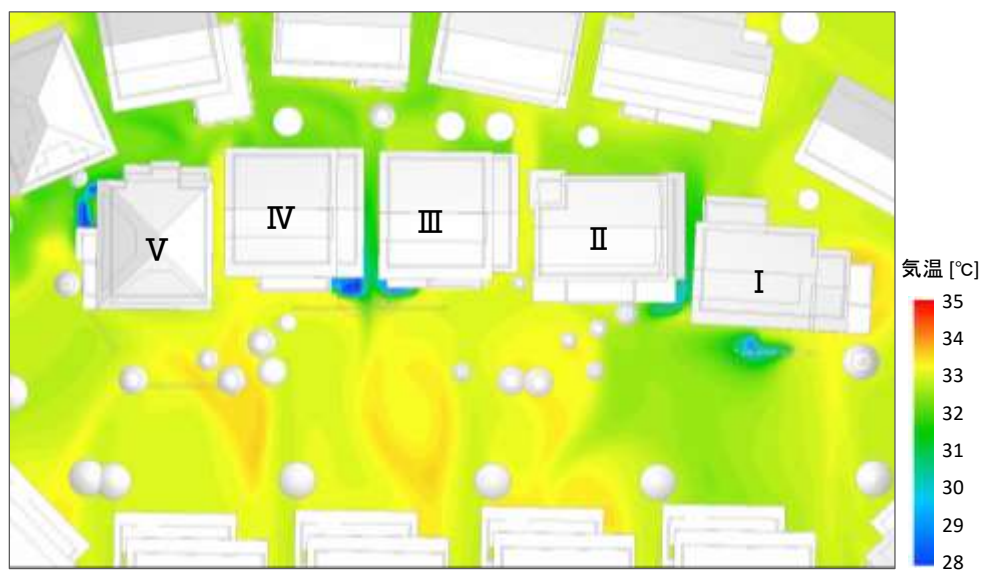


図 4-3-21 パッシブ住宅地の気温分布（8 月 12 時）

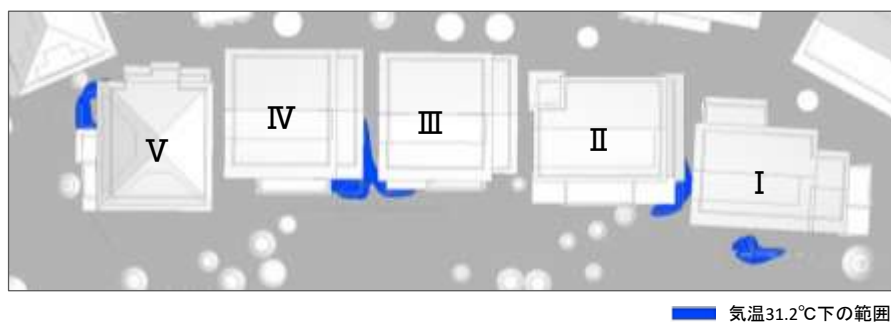


図 4-3-22 快適温度（31.2℃）以下となる範囲（8 月 12 時）

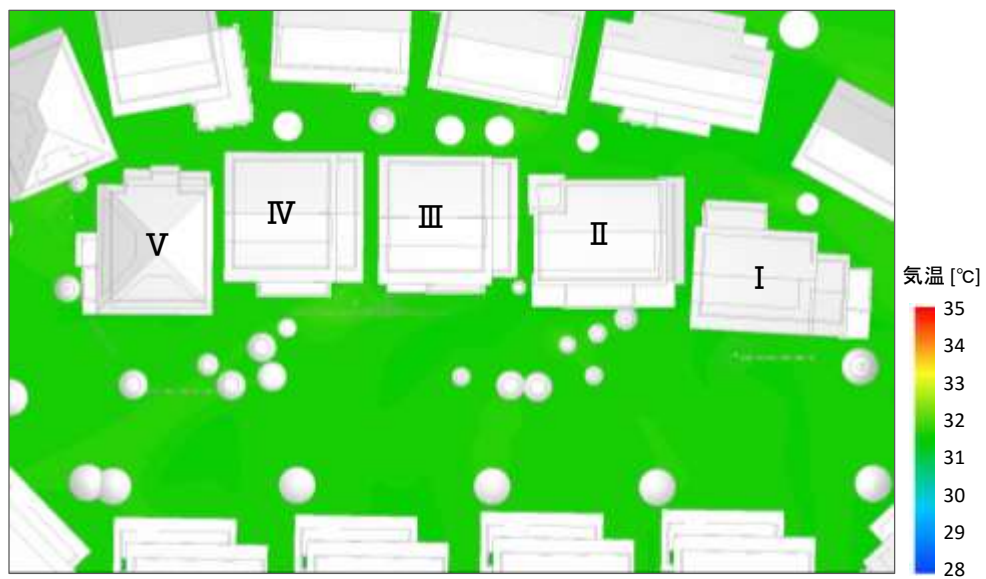


図 4-3-23 一般住宅地の気温分布（8 月 18 時）

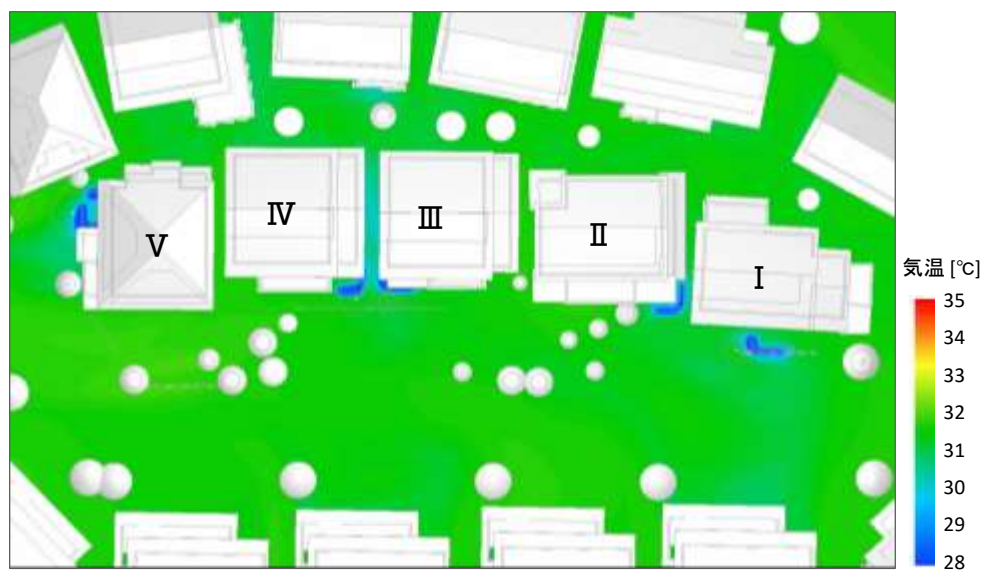


図 4-3-24 パッシブ住宅地の気温分布（8 月 18 時）

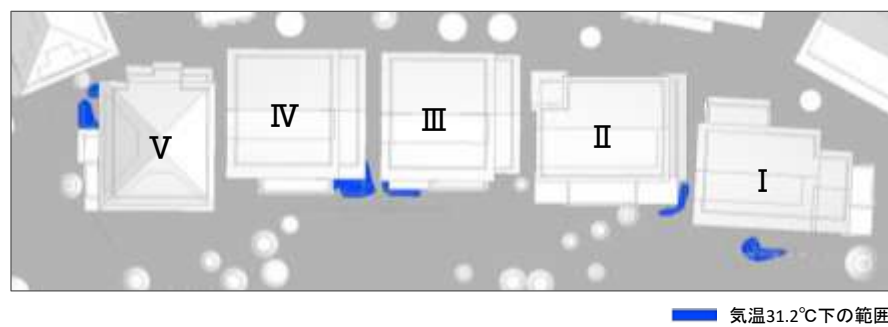


図 4-3-25 快適温度（31.2°C）以下となる範囲（8 月 18 時）

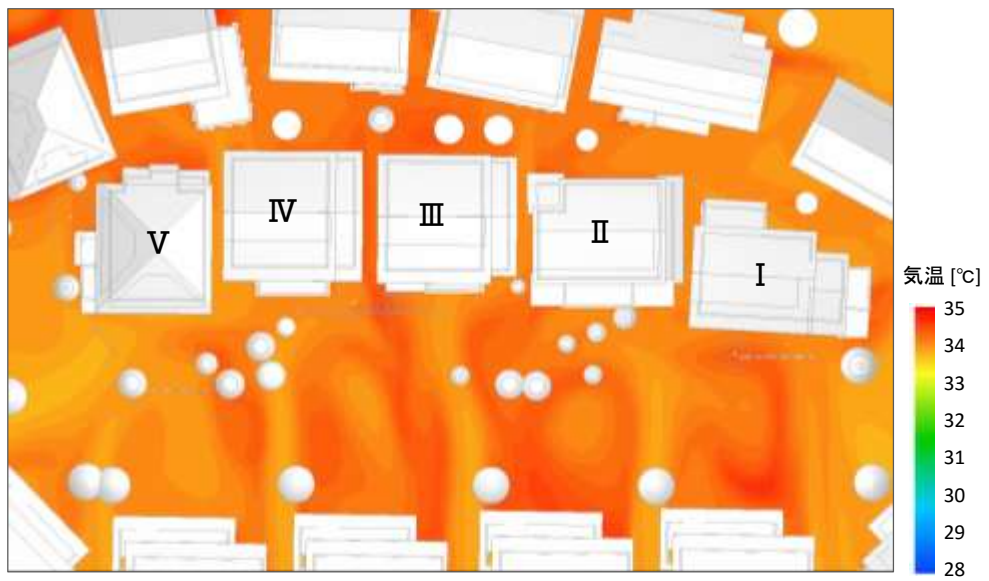


図 4-3-26 一般住宅地の気温分布（8 月 14 時）

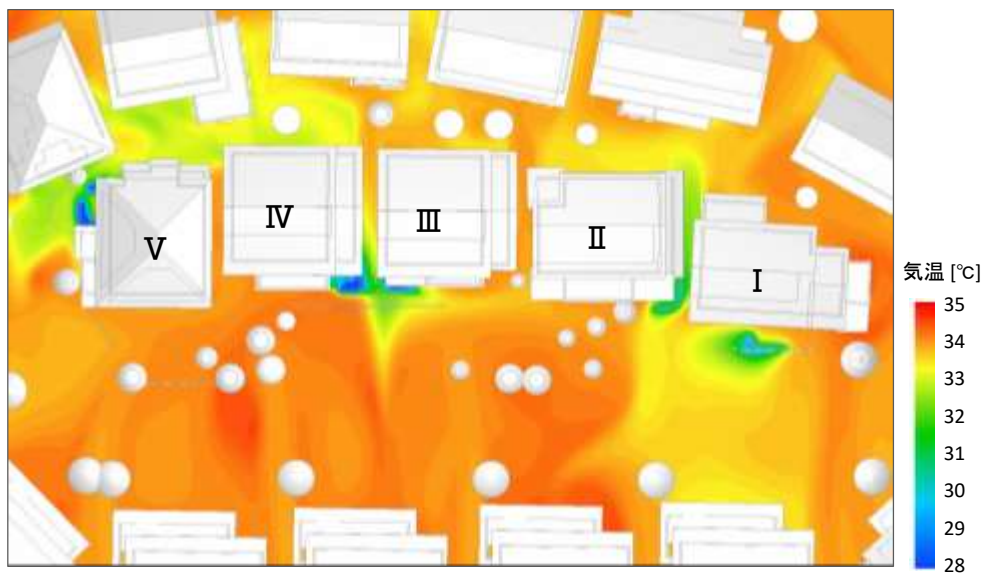


図 4-3-27 パンプ住宅地の気温分布（散水を続けた場合）（8 月 14 時）

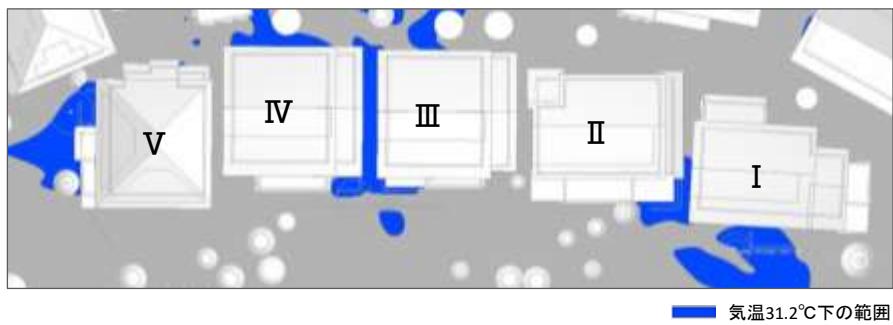


図 4-3-28 快適温度以下となる範囲（8 月 14 時）

4.4. N E B 評価指標の試験的活用による妥当性検証

3.4 で取得した結果について、ここでは今回提示した熱的快適性指標を日中を通して適用した場合に、被験者が想定通り快適性を維持できていたかを検証する。

4.4.1. 屋内外における SET*と温冷感申告の関係

図 4-4-1 に示すように、散水あり棟と散水なし棟の屋内における SET*と温冷感申告結果の時系列変化をみると、朝夕の散水ありでは青色の「やや涼しい」という申告が多いのに対し、散水なしでは黄緑色（色抜き）の「暑くも寒くもない」という申告結果が多い傾向がみられた。一方、日中の上限側の申告をみると、橙色の「やや暖かい」という申告は同数程度あったが、散水ありでは「暖かい」という赤色の申告はみられなかった。

4.2 で示した 8 月の SET*快適域の下限値である「やや涼しい」と申告される温度は散水ありでは 26.7℃、散水なしでは 26.1℃という結果となっており、今回の結果においても散水ありで青色の「やや涼しい」と申告される温度は全て 27℃未満で、同様の傾向を示しているといえる。また散水なしについては「やや涼しい」という申告が 1 回のみであったため「暑くも寒くもない」と感じる温度を 4.2 で示した回帰式より求めると約 28℃であり、今回の結果においても「暑くも寒くもない」という申告は全て 28℃未満で申告されており、同様の結果が得られていた。

次に散水あり棟と散水なし棟の屋外における SET*と温冷感申告結果の時系列変化を図 4-4-2 に示す。屋内の場合と同様に散水ありでは「やや涼しい」という申告がみられるのに対し、散水なしでは「やや涼しい」という回答結果はみられなかった。また散水なしでは 12～15 時までは橙色または赤色の「やや暖かい」または「暖かい」という申告のみであり、アンケート結果から散水なし棟ではテラス内の照り返しの影響を示唆する回答がみられた。4.2 で示した 8 月では「やや涼しい」と申告される SET*の温度が、散水ありでは 26.7℃、散水なしでは 25.2℃となったが、今回の測定も青色の「やや涼しい」と申告される温度は 27℃未満で、同様の傾向を示している。

これらの結果から、9 月においても散水ありでは 27℃未満で「やや涼しい」と申告される傾向が屋内外ともにみられ、散水なしよりも有意な差がみられた。一方、快適域上限側の「やや暖かい」という申告は、散水の有無を問わず同程度の温度域でみられており、下限値側で散水の効果が顕著にみられる傾向が今回の測定結果からも示された。

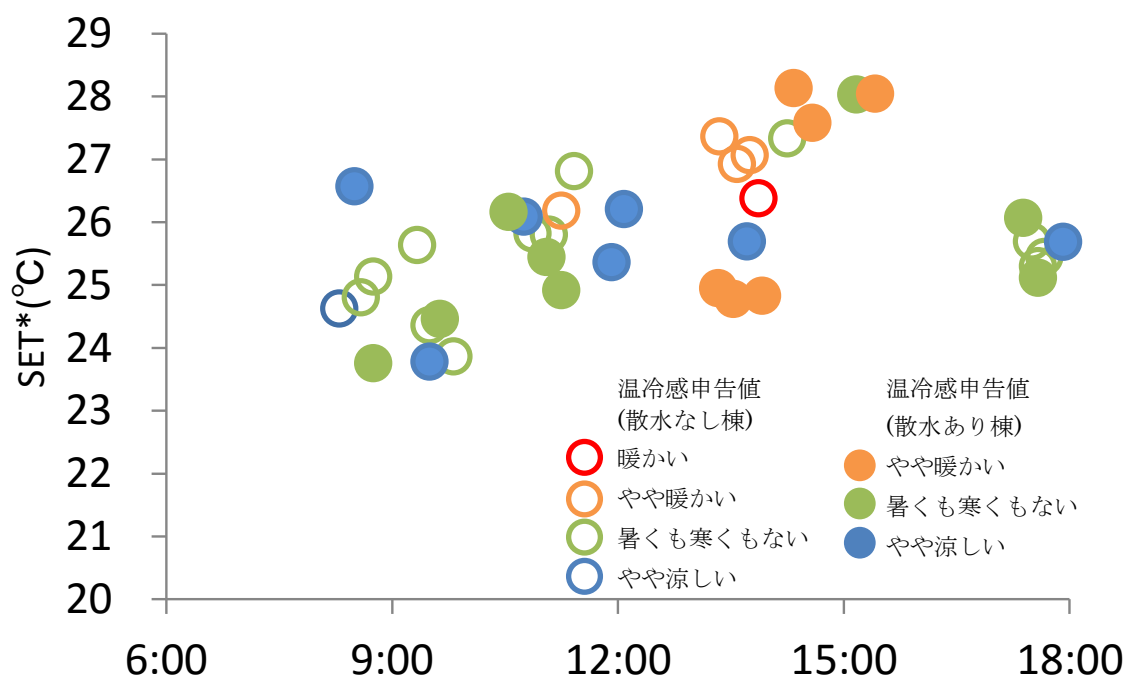


図 4-4-1 屋内の SET*と温冷感申告値の比較 (2015/9/12)

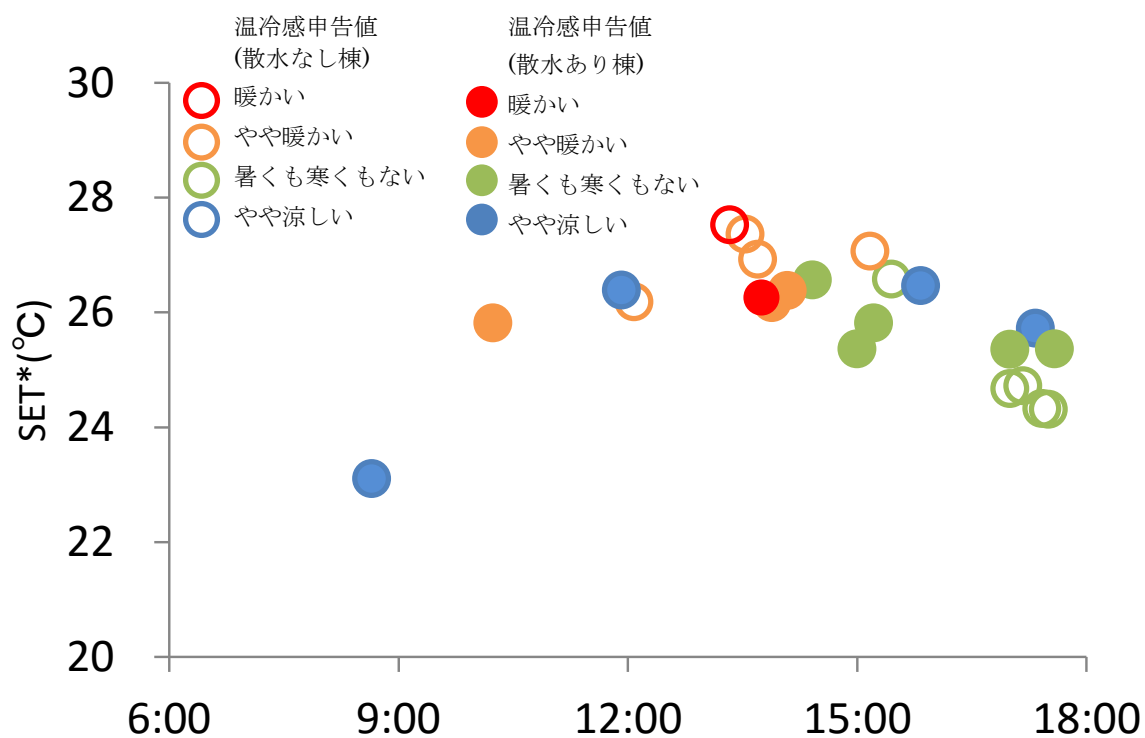


図 4-4-2 屋外の SET*と温冷感申告値の比較 (2015/9/12)

4.4.2. 快適温度に基づく冷房発停温度の妥当性

快適温度については4.2の8月の結果を用いて9月のエアコン開始温度を決定しており、エアコンの運転を開始した直前の室温と温冷感申告の関係に着目して考察する。

今回の測定時には8月の快適温度を用いてエアコンの開始温度を決定したが、9月の月平均外気温は6月と今年度は同じであり、9月における「やや暖かい」との申告が多くなった室温も図 4-4-3 及び図 4-4-4 に示す通り散水なし棟、散水あり棟とも 28℃を超えてからであり、6月の散水なしの快適温度とほぼ同じ値であった。但し散水ありでは、室温が 28.5℃を超えた場合であっても「暑くも寒くもない」と申告される場合もみられ、自治集会所と比較して冷気の到達頻度がやや少ないと考えられるが、冷気が得られる環境の下では涼しさが得られているものと考えられる。

また散水なし棟では、午前中テラスからの照り返しや、隣接する建設中建物からの騒音等を指摘するコメントがみられ、午前中は MRT が気温より 1~3℃高いことも影響があると考えられる。また散水あり棟では、6・8月で測定を実施した自治集会所に設置されているパッシブクーリング技術を用いた空間よりも屋内に到達する間欠的な冷気の頻度が少なく、快適温度の向上に寄与している時間が短いことが要因として考えられる。

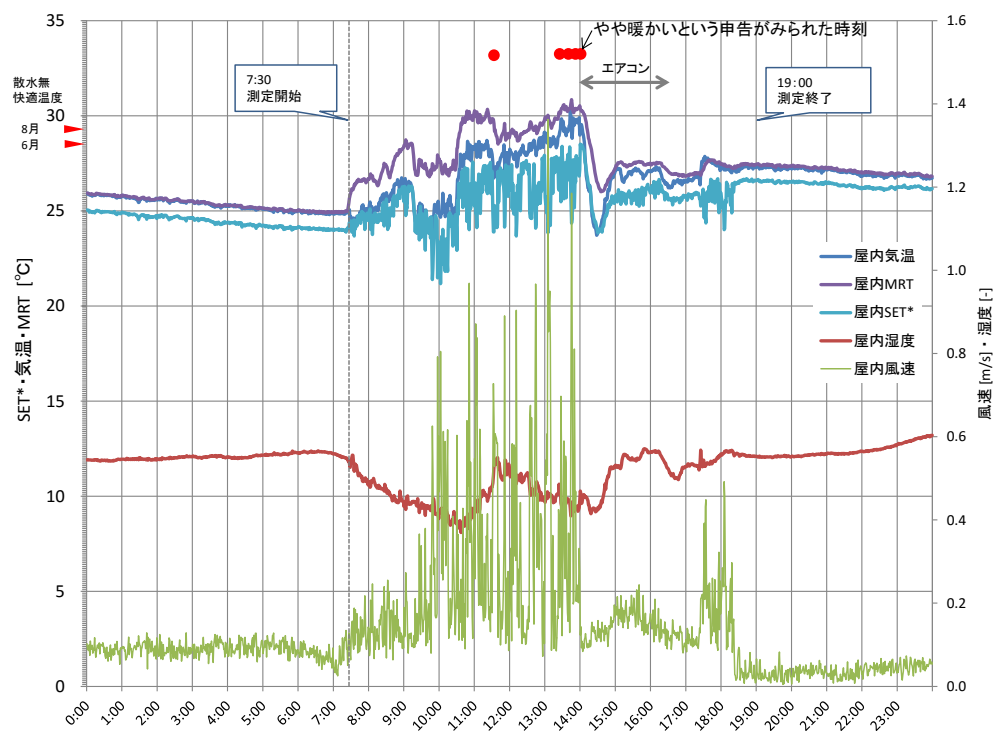


図 4-4-3 散水なし棟における温熱環境要素と温冷感申告値の関係

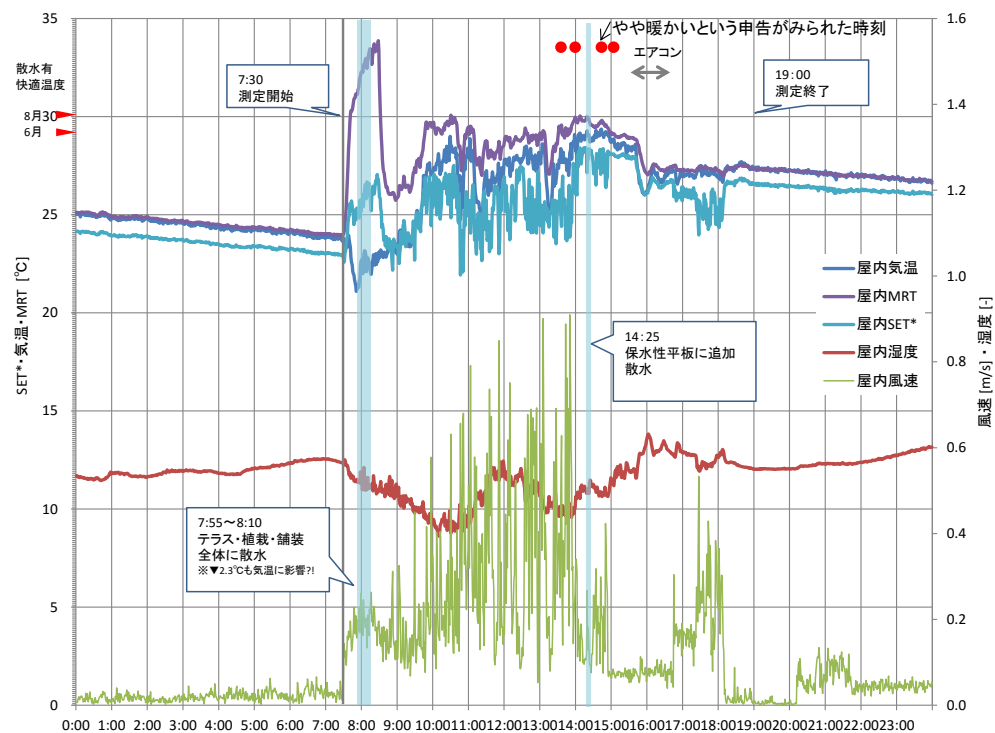


図 4-4-4 散水あり棟における温熱環境要素と温冷感申告値の関係

4.5. NEB 評価指標の今後の改良の方向性等

4.5.1. 標準新有効温度（SET*）の活用可能性及び前提条件

4.2 で示したパッシブクーリング技術による SET*の上下限値の上昇は、気温の乱れや気温差の大きい場合に現れると考えられるため、まず NEB が得られるようなパッシブクーリング空間が設計されていることが前提条件としては重要となる。その上で今回は温冷感申告のみの測定であったが、心拍数や直腸温、平均皮膚温等の温熱生理反応と合わせて検証していくことで、より確実な NEB 評価指標として確立されるものと考えられる。そしてこれらの結果と、SET*の two-node model 内のどのパラメータに気温の乱れや気温差が寄与するのかを明らかにしていくことで、SET*の上下限値の上昇が実証できるものといえる。

具体的には、SET*では、気温 t_a [°C]、平均放射温度 t_r [°C]、風速 v [m/s]、相対湿度 rh [%]、代謝量 M 、実質着衣量 I_{cl} 、着衣蒸気透過効率 $i_{cl}(=0.45)$ の実測値・仮定値が入力データとなって、温冷感と相関の深い平均皮膚温 t_{sk} と皮膚ぬれ面積率 w の 2 つの生理量が算出される。したがってパッシブクーリング技術の導入・利用による熱的快適性向上を明らかにする上では、平均皮膚温及び皮膚ぬれ面積率 w との関係をまず明らかにすることが重要となる。つまり、実測で求められる t_{sk} と温熱環境の測定結果より SET*の数式で求めた t_{sk} に相関があり、かつ SET*の快適域下限値付近で実測により求められる t_{sk} が SET*の数式で求めた t_{sk} よりも低い傾向が認められれば、今回の測定結果が実証できるものといえる。

また皮膚ぬれ面積率 w は、最大蒸発熱放散量 E_{max} と皮膚からの汗の蒸発による熱放散量 E_{sk} の比として定義され、下式により求められる。

$$w = E_{sk}/E_{max}$$

$$E_{sk} = h_e F_{pcl} (p_{sk}^* - p_a) (A_w/A_D) [W/m^2]$$

$$E_{max} = h_e F_{pcl} (p_{sk}^* - p_a) [W/m^2]$$

h_e : 蒸発に伴う熱伝達率[W/m²kPa] F_{pcl} : 衣服の透湿効率[-] p_a : 水蒸気分圧[kPa]

p_{sk}^* : 皮膚温度 t_{sk} における飽和水蒸気圧[kPa] A_w : ぬれた皮膚部分の面積[m²]

A_D : 全体表面積[m²]

このうち、皮膚温度と蒸発に伴う熱伝達率が実測により求められるが、皮膚温度は上記の通りであり、熱伝達率は対流熱伝達率 h_c よりルイスの関係を用いて求められるものである。また対流熱伝達率 h_c は一定値が用いられる場合もあるが (3W/m²K)、代謝量 met との関係も指摘されており、 met の範囲が 1.25~5 の範囲においては、

$$h_c = 5.66(met - 0.85)^{0.39}$$

の関係があると言われている。この met 値は短期暑熱順化によっても変化することが知られており、暑熱順化により基礎代謝量が低下した状態の時に冷気を検知することで「やや涼しい」と感じられることが温冷感申告に現れているものと考えられる。よって平均皮膚温とともに代謝量の測定が重要と考えられるが、間接測定法等の方法で測定した基礎代謝量と SET* の関係を散水の有無別に求めることで基礎代謝量との関係を明らかにできる。

4.5.2. 快適温度の活用可能性及び前提条件

前述の SET* と同様に、快適温度は平均皮膚温や基礎代謝量と相関が高いことが知られており⁴⁻¹³⁾⁴⁻¹⁴⁾、気温の乱れや気温差の大きい場合の効果を明らかにすることで、パッシブクーリング効果により快適温度が高くなることを生理側の側面からも実証できるものといえる。また快適温度は暑熱順化による違いを考慮するために月平均外気温度や日移動平均温度等とともに測定することが重要である。また居住者ごとに快適温度に関する回帰式を作成することができれば、①個人差②季節を考慮した窓の開放、散水条件を自動制御するデータ等に活用することができると考えられる。

4.5.3. 冷房時間率及び窓開放可能時間率の NEB 評価指標としての可能性

2 章で示した冷房時間率の削減及び窓開放可能時間率の増加は、熱環境だけではなく人間の生理・心理とも大きく関わる数値であると考えられ、これらの指標とストレスや睡眠との関係性が明らかとなれば、NEB 評価指標となりうる。また「冷房利用が減らせる」「窓を開放しても快適な時間が増やせる」といったことが伝わる一般市民にもわかりやすい指標であることから、省エネルギー行動につながる指標として提示することができる。また季節別にどのような時間帯に窓を開放し、散水すべきなのかイメージが湧きやすくなるものと考えられる。

散水の実施にあたって居住者アンケートの記載でもみられたように、どの程度水道代がかかるのか不安を感じる居住者に対しても水量や水道代のイメージが湧きやすくなり、費用対効果の高い利用方法について各居住者の住まい方に合わせた学習にも効果があると考えられる。

但し、前述の快適性に関する NEB 評価指標と同様に、効果の高いパッシブクーリング技術が導入された場合に初めてライフスタイル変化に寄与できるものであるため、効果が小さいものについては、ヒートアイランドの緩和等の NEB には寄与しているといえるが、居住者のライフスタイルには効果がほとんどみられないことに注意が必要である。また今後様々なパッシブクーリング技術を利用した空間についても同様の効果が得られるかを検証していく必要があり、SET* 等の評価と合わせて実施されることが望ましいと考えられる。

4.5.4. 涼風形成度指標の NEB 評価指標としての可能性

4.2 で算出した快適温度では、どのような条件であれ、室内に比べ屋外の快適温度が高い結果となった。しかし屋外については散水無と散水有の比較に留まっており、気温分布、風速分布ならびにそれぞれの変動が大きな屋外環境においては快適温度に寄与する要因（ここでは涼風形成度）ごとにそれぞれ快適温度を算出することで、予測精度を高めることができると考えられる。

そこで、3.1 で示した涼風形成グレードごとに気温と快適温度の式を作成し、NEB 評価指標の試験的活用データ（3.4）に対して適用可能か検証する。そして今後、パッシブクーリング技術を適用した空間における、快適温度の予測手法としての適用可能性について示す。

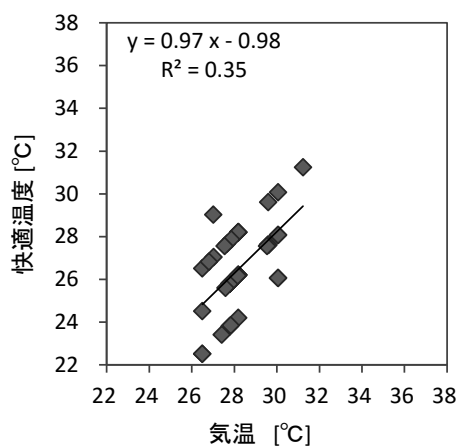
（i）涼風形成グレードごとの気温と快適温度の算出式

3.1.5 で示した測定時間帯の気温と快適温度の関係を図 4-5-1 に示す。季節変化により快適温度が異なることを踏まえ、6 月～8 月の実測結果を合わせて、対象空間内の気温に対する快適温度の予測式を算出した。標準的なケースとして従来の快適温度の算出時に対象とされてきた室内窓閉状態の快適温度予測式を(a)に、図 3-1-33 で Grade I と位置づけられたルーバー前の快適温度予測式を(b)に、GradeIII と位置づけられたベンチの快適温度予測式を(c)に、GradeIV と位置づけられたルーバー前の快適温度予測式を(d)に示した。

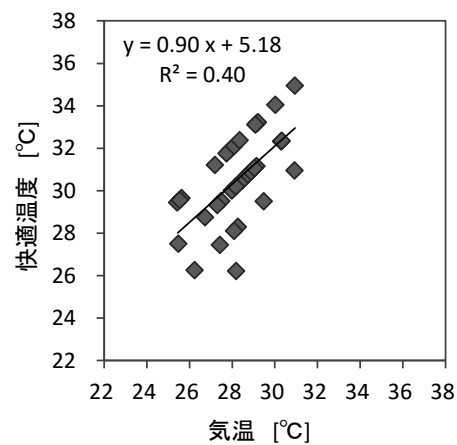
各グレードの予測式を図 4-5-2 にまとめると、Grade I の場合には他の空間より快適温度が高くなり、室内窓閉と比べると 3～4℃高い。また 30℃程度の温度帯に着目すると、室内窓閉の快適温度より GradeIV で 1.4℃程度、GradeIII で 2.4℃程度それぞれ高くなる。

これらの結果は、各空間における涼風形成度を気温の低下と気温の乱れによりグレード分けすることにより、空間の特徴を踏まえた快適温度の予測式を導くことができることを示唆するものである。

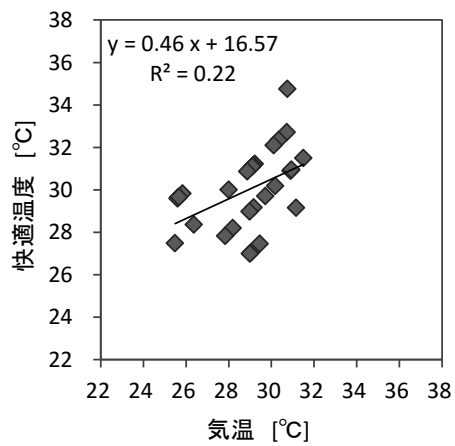
今回は GradeII の条件下で温冷感申告実験を実施していなかったため予測式を作成することができなかった他、グレードの数など、今後更に検討を重ねる必要があるが、本検討は気温の低下と気温の乱れによる涼風形成度の評価指標化による、快適温度の予測に向けた可能性を示したものである。



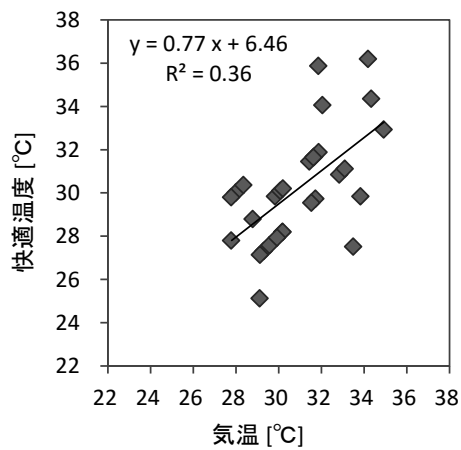
(a) 標準(室内窓閉)



(b) Grade I



(c) Grade III



(d) Grade IV

図 4-5-1 グレードごとの室温－快適温度の算出式

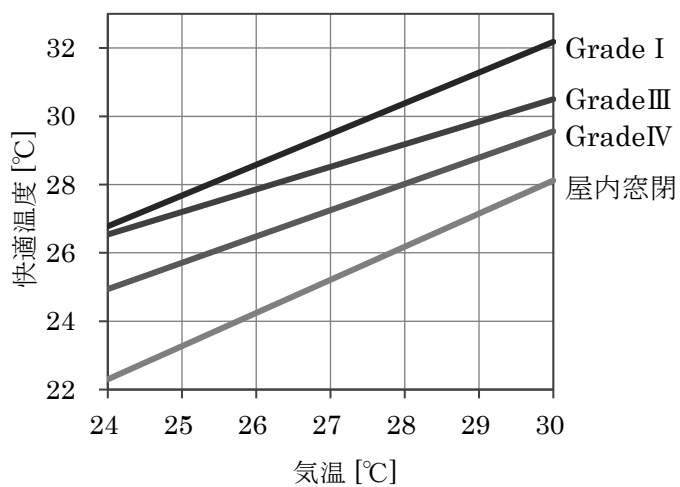


図 4-5-2 グレードごとの快適温度予測式の比較

参考文献

- 4-1)岡村圭子,中村泰人:同一熱環境実験に基づく皮膚温および体温の年内変動,日本生気象学会誌 Vol.34, No.2,pp89-95,1995
- 4-2)中村泰人,岡村圭子:各種の実態調査にみられる至適温度の季節順化に関する生起分析,日本建築学会計画系論文集,No.495,pp.85-91,1997.5
- 4-3)桑沢保夫,斉藤基之,鎌田元康,千田善考:変動風が快適性におよぼす影響に関する研究,日本建築学会計画系論文集,No.526,pp.37-42,1999.12
- 4-4)佐藤英樹,赤林伸一,坂口淳,桑原亮一:通風時の室内における快適性評価手法に関する基礎的研究,日本建築学会環境系論文集,Vol.75,No.647,pp.59-66,2010.1
- 4-5)空気調和衛生工学会:新版 快適な温熱環境のメカニズム,空気調和衛生工学会,2006
- 4-6)中谷岳史,松原斉樹,藏澄美仁:関西地域の住宅における熱的快適性に関する実態調査-夏季の中立温度と許容範囲-,日本建築学会環境系論文集 No.597,pp.51-56,2005.11
- 4-7)本庄美穂,H.B.リジャル,中谷岳史:岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その3 快適温度の検討,2011 年度日本建築学会関東支部研究報告集Ⅱ,pp.57-60,2012.3
- 4-8)吉村咲希,H.B.リジャル,菊池世欧啓:住宅における快適温度と適応モデルに関する研究,日本建築学会関東支部研究報告集Ⅱ,pp.113-116,2012.3
- 4-9)勝野二郎,H.B.リジャル,宿谷昌則,菊池世欧啓:適応モデルに関する研究 その4 リビングにおける居住者の快適温度と適応メカニズムの検討,日本建築学会学術講演梗概集,pp.407-410,2014.9
- 4-10)中野淳太,田辺新一:半屋外環境の熱的快適性に関する考察ー温熱環境適応研究の日本における温熱環境計画への応用とその課題ー,日本建築学会環境系論文集 Vol.79 No.701,pp.597-606,2014
- 4-11)Richard de Dear,Gail Brager,Donna Cooper:Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference,ASHRAE RP-884 Final Report,1997.3
- 4-12)株式会社建築環境ソリューションズホームページ: AE-Sim/Heat
<http://ae-sol.co.jp/_src/sc278/AESimH.pdf>(2016/2/25 参照)
- 4-13)岡村圭子,中村泰人:Two-Node Model による人体の季節順化の評価,日本建築学会大会技術講演梗概集,日本建築学会,pp.421-422,1995.8
- 4-14)鄭梈元,堀越哲美,梅村茂樹,宮本征一,水谷章夫:都市の街路および開放空間における熱放射環境が人体に及ぼす影響,日本建築学会計画系論文集,No.493,pp.77-84,1997.3

第 5 章 二酸化炭素排出削減効果の定量的評価

5.1. 数値解析による二酸化炭素排出削減効果の試算方法

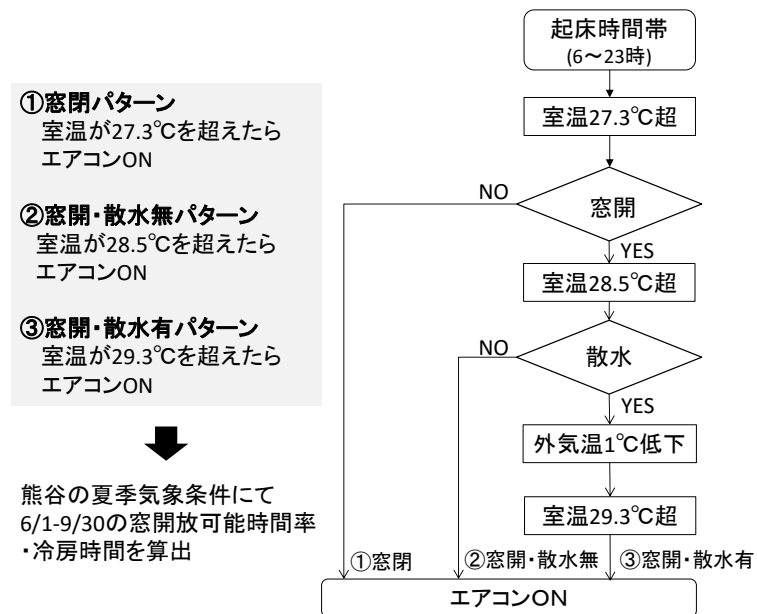
本節では、パッシブクーリング技術のエネルギーベネフィット（EB）として、パッシブクーリング技術の導入による空調用電力消費量削減効果を、エネルギー消費量計測結果やエアコン利用時間の減少に関する推定に基づき、数値解析により試算した結果を示す。前述の 4.3 に示したように窓の開閉や散水の有無別の快適温度を冷房設定条件とした場合には冷房時間が約 52%削減されることを示した。本章ではこれらの結果を用いて冷房用電力消費量の削減による二酸化炭素排出量削減効果を示す。算出ロジック及び冷房時間算出結果を図 5-1-1 及び図 5-1-2 に再掲する。NEB の効果が得られる前提条件として、対象居室は前章にて示した通りパッシブクーリング技術が主風向側の掃出し窓前面に設置されていることを想定し、図 5-1-3 に示す和室空間を対象として算出する。

冷房用電力消費量の算出は、数値解析結果より得られた各パターンの冷房負荷に基づき、冷房 COP は実働時を想定して 6.0 として冷房用電力消費量を算出する。また電力の CO₂ 排出係数は平成 25 年度東京電力の実排出係数である 0.530kg-CO₂/kWh を用いて計算する。また散水に用いる上水の CO₂ 排出係数は 0.36 [kg-CO₂/m³]を用いる。CO₂ 排出量の算出式を下式に示す。

$$X = \frac{H}{COP} \times \eta + W \times \beta$$

X: CO₂ 排出量[kg-CO₂/year] H: 冷房負荷[kWh/year] COP: 家庭用エアコン機器成績係数[-]
η: 電力 CO₂ 排出係数[kg-CO₂/kWh] W: 上水使用量[m³/year] β: 上水 CO₂ 排出係数[kg-CO₂/m³]

前章の数値解析結果では、散水を実施した時間は 6～9 月迄で 119 時間であり、1 時間当たり約 8.8L 散水すると想定した場合では 1047.2L となる。今回の試算では本数値を用いた場合の散水による二酸化炭素排出量を算出する。



*ここでは6月の快適温度を設定温度とした場合を示す。

図 5-1-1 快適温度を用いたパターン別冷房利用算出ロジック

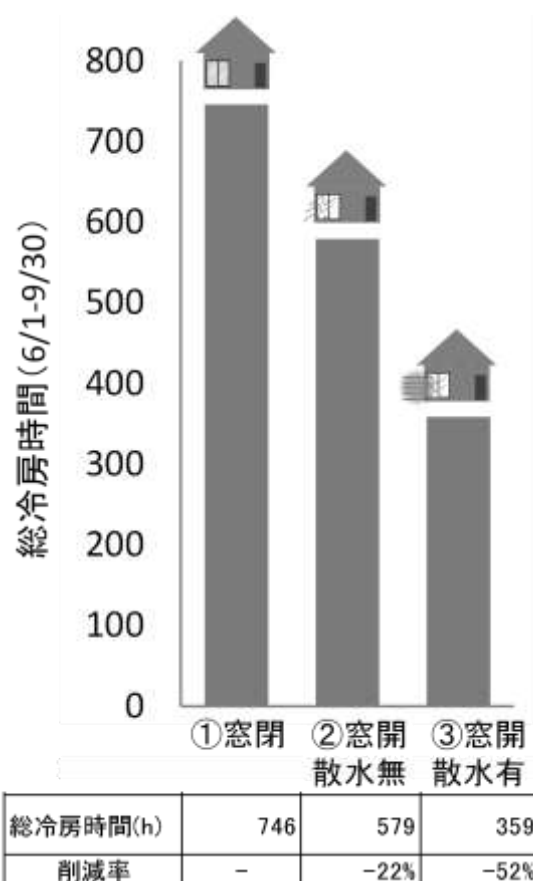


図 5-1-2 パターン別冷房時間算出結果

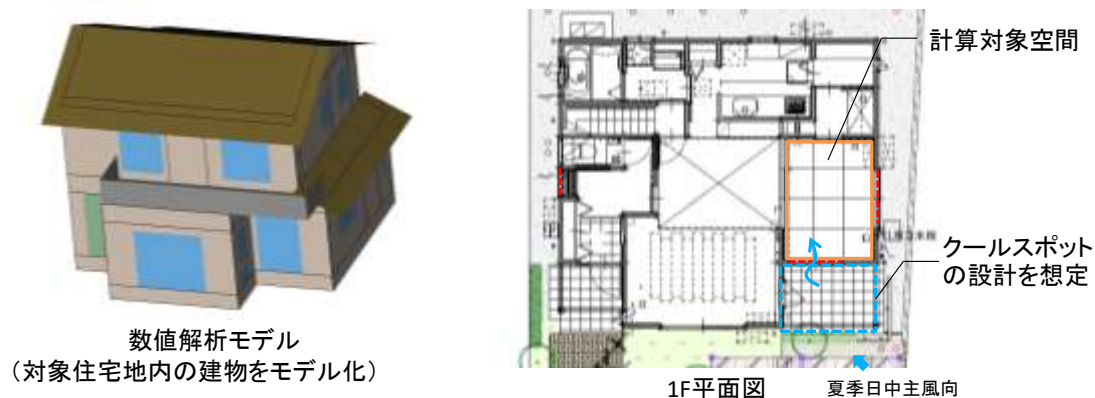


図 5-1-3 数値解析による計算対象空間

表 5-1-1 数値解析概要

使用ソフト	AE sim/heat ver.4.0
気象データ	日本建築学会拡張AMeDAS(2000年版) 標準気象データ(熊谷)
対象居所室	1F和室
内部発熱	無
排熱換気 (暑いときの窓開け)	有(和室5回/h換気)・設定室温と同じ
冷房開始温度	3パターン(室温27.3℃ 室温28.5℃ 日中 外気温1℃低下+室温29.3℃)
分析対象時刻	6-23時

*ここでは6月の快適温度を設定温度とした場合を示す。

5.2. 数値解析による二酸化炭素排出削減効果の試算結果

本節では、前節で示した試算方法に基づき、①窓閉②窓開・散水無③窓開・散水有の二酸化炭素排出量を算出した結果を示す。図 5-2-1 に示すように各パターンの二酸化炭素排出量を算出した結果、①窓閉と②窓開・散水無では約 24%CO₂ 排出量が削減され、②窓開・散水無と③窓開・散水有を比較すると、約 27%抑制可能との試算結果を得た。また①窓閉と③窓開・散水有を比較すると CO₂ 排出量が約 51%減となり、冷房時間と同様に CO₂ 排出量も半減できる可能性がある。これらの結果は前節で示した通り夏季主風向側居室の前面に涼風形成度の高いパッシブクーリング技術が設置された場合であり、他の居室については、今回は評価を実施していない。今後パッシブクーリング技術を用いた空間の規模や質と、屋内外に形成される温熱環境の関係性が明らかにされることで、隣室への効果等も踏まえた解析が実施できるようになるといえる。

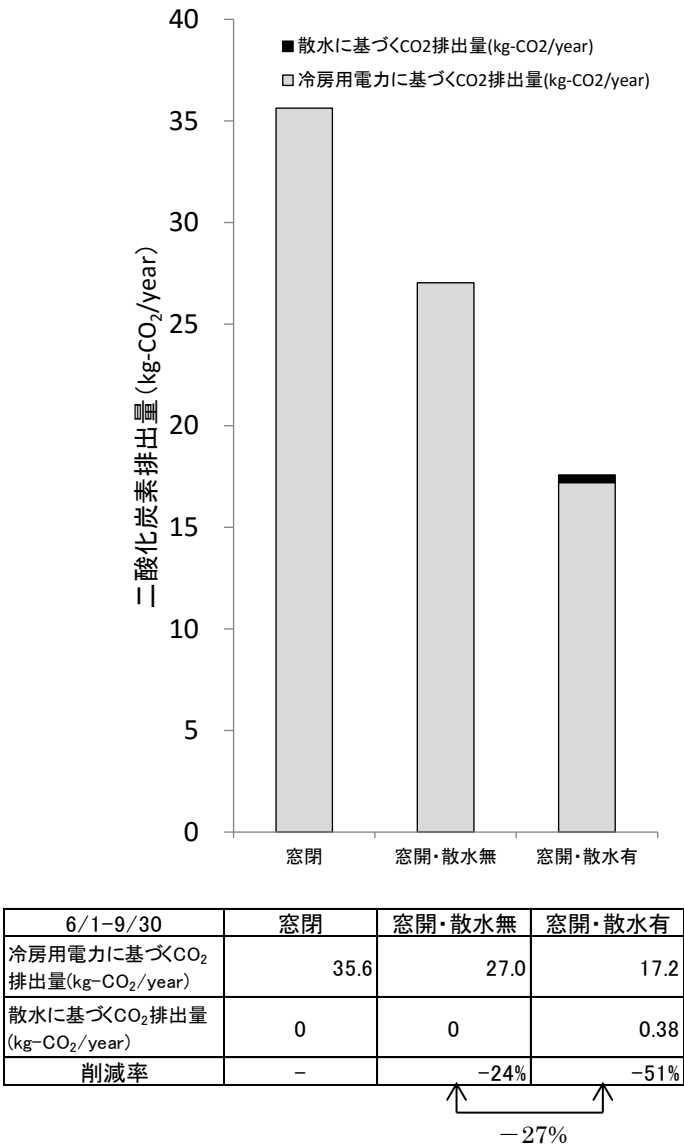


図 5-2-1 パターン別二酸化炭素排出量算出結果（6/1-9/30）

第 6 章 取組の普及検討

6.5. 6.1. パッシブクーリング技術の普及に向けたロードマップ

本事業において検討したパッシブクーリング技術は、街区の熱環境を改善し、CO₂排出を削減するだけでなく、パッシブなライフスタイルを実現するソリューションとしての可能性を持っているが、本格的な普及に向けては技術的な改良・発展と事業性の向上を図ることが望ましい。次頁において、パッシブクーリング技術の普及に向けたロードマップを示す。

パッシブクーリング技術を普及させる上でまず求められるのは、パッシブクーリング方式と設備バリエーションの充実である。敷地条件、建物のプラン、造園計画や各種外構部品との調和などを考えれば、現在のクールルーパー単体で対応することには限界がある。陽射しを抑え、底面に保水し、鉛直面を冷やししながら、流れる空気の温度を下げるべく、複数の手法や部材を組み合わせることが求められる。各部材のデザインバリエーションも増やすことで、機能部品を超える価値を訴求することも重要であろう。将来的には雨水を活用したパッシブクーリングに期待が集まるが、衛生面やポンプ動力などの技術的ハードルは高く、今後の課題である。

普及の過程においては住宅地に限ることなく、公共空間での利用を進めることがスケールメリットを最大化しながらコストダウンを図る上で望ましい。特に2020年の東京オリンピック関連施設で採用されれば、コストダウン効果は大きく、結果としてその後の一層の普及のきっかけとなると考えられる。パッシブクーリングには新たな市場を創出する可能性があるが、公的支援による後押しがあれば設置を検討する事業者にとって費用の軽減になるだけでなく、導入の社会的意義を確認する機会となる。

パッシブクーリングによる「おもてなし」は、日本の新たなライフスタイルとして海外にも波及することが期待される。

【パッシブクーリング技術普及に向けたロードマップ】

2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021

東京オリンピック開催

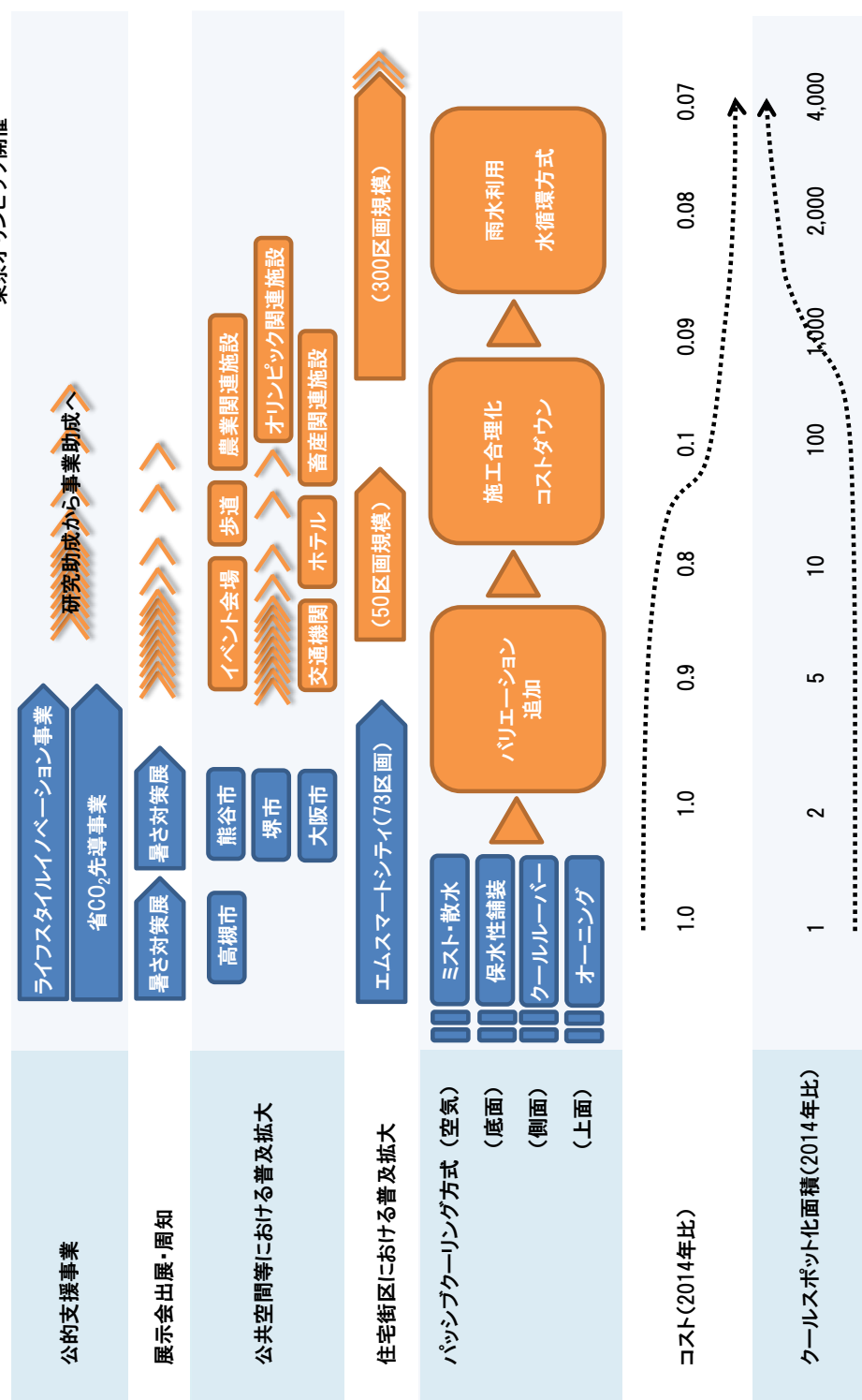


図 6-1-1 パッシブクーリング技術普及に向けたロードマップ

6.6. 6.2. HEMS 等によるパッシブクーリング技術の利用促進・事後評価手法に関する課題の整理

6.1 に示したロードマップの中で、住宅街区における普及拡大を図る上で懸案となるのが、本年度の夏季のエアコン利用状況調査でも見られる通り、パッシブクーリング技術を導入し空調装置を利用しなくても快適に過ごせる環境が実現できたとしても、居住者がそれに気付かずに従来通り窓を閉め切って人工的な空調を続けてしまう事象が挙げられる。しかしながら、ピンポイントの屋外の快適さを適切に伝えたり、自動的に快適な通風が行える HEMS とそれと連携する電動窓やシーリングファン等の周辺装置を用いる事で、こうした課題は解決できる可能性がある。また、これまで注目されてこなかった微細な温度や風のゆらぎが熱的快適性に影響する事から、そうした計測が可能な温湿度・風速センサを開発し広く普及させる事が、居住者の快適性向上に役立つだけでなく、街区全体の夏季快適性を評価する基準として活用されていく事が期待される。更に、屋外だけでなく屋内の通風や空調の制御への応用も考えられるだろう。

しかし、次頁に示すようなピンポイントの快適性等の気象情報提供の際に一つのネックとなるのは温湿度・風速センサを設置し、継続的に管理、運用していかなければならない点である。例えば気象情報を取得するハードウェア（気象センサ、データ変換通信装置）が設置費用を含めて 100 万円程度、計測データの収集に用いる無線ネットワーク利用料、WEB サーバ運用費用等は、利用者数にもよるが年間で数百万円（新規に専用の設備を構えた場合）と高額になる。仮に運用費用を 300 万円とした場合、100 軒でコスト負担を行ったとするとイニシャルコストが 1 万円／軒、ランニングコストが 2500 円／月・軒となり普及価格帯（利用料は 100～300 円／月が上限）に収まらない。1000 軒レベルならコストが現実的となってくるものの、狭いエリアの気候（微気候）を活用する方向から離れてしまう。実際には気象観測装置は故障対応や定期的な校正等のメンテナンスコストが発生するのでこうした想定以上にコストがかかる事が予想される。IoT の進展によってコスト問題は改善に向かう事が期待されるものの、情報の品質保証を含めた信頼性の改善までには今暫くの時間がかかるだろう。そのため、これらの取組みに対する補助や、維持管理や事後評価を促す継続的な取組みに対する助成等が望まれる。

こうしたコスト負担を抑制する為には、既に運用中の HEMS を初めとした各種のサービスを提供するサーバの一機能として気象情報ガイダンスを取り入れる事が不可欠である。また、気象情報を提供している企業とのコラボレーション、気象データ提供或いは宅内の温熱環境等とのパートナーによる費用低減を図る事が期待される。

今後のサービス提供に当たっては HEMS のエネルギー情報と同様に単純な現況の可視化やアラートだけでは数か月で飽きられ利用されなくなるので、気象予想を組み合わせる

活情報に密着した利便性の高い情報提供を目指す事がポイントとなるだろう。また、例えばパッシブクーリング技術の利用を促す電子メールを用いた情報配信は個人用通信手段としては必ずしも適当ではなくなりつつある現状を鑑みると、時代に応じたユーザーインターフェース（現時点であれば LINE 等の SNS や発話機能付きロボット等）に対応していく継続的な取り組みも必要であろう。HEMS の機器制御は現時点では単なるリモコンレベルのものが殆どであるが、今後は前述の気象予想に見られる様な新たな情報を加える事でより気の利いた自動制御に繋がる事が期待される。そして飽きる位に枯れた情報は当たり前の自動制御化してあえて見えなくする時代が訪れるだろう。熱中症にならない、ヒートショックが起きにくい、一步進んでより快適であるといった居住環境の見守りは防災、防犯に代表される安心、安全機能の裾野を大きく広げて付加価値を生み出していくだろう。

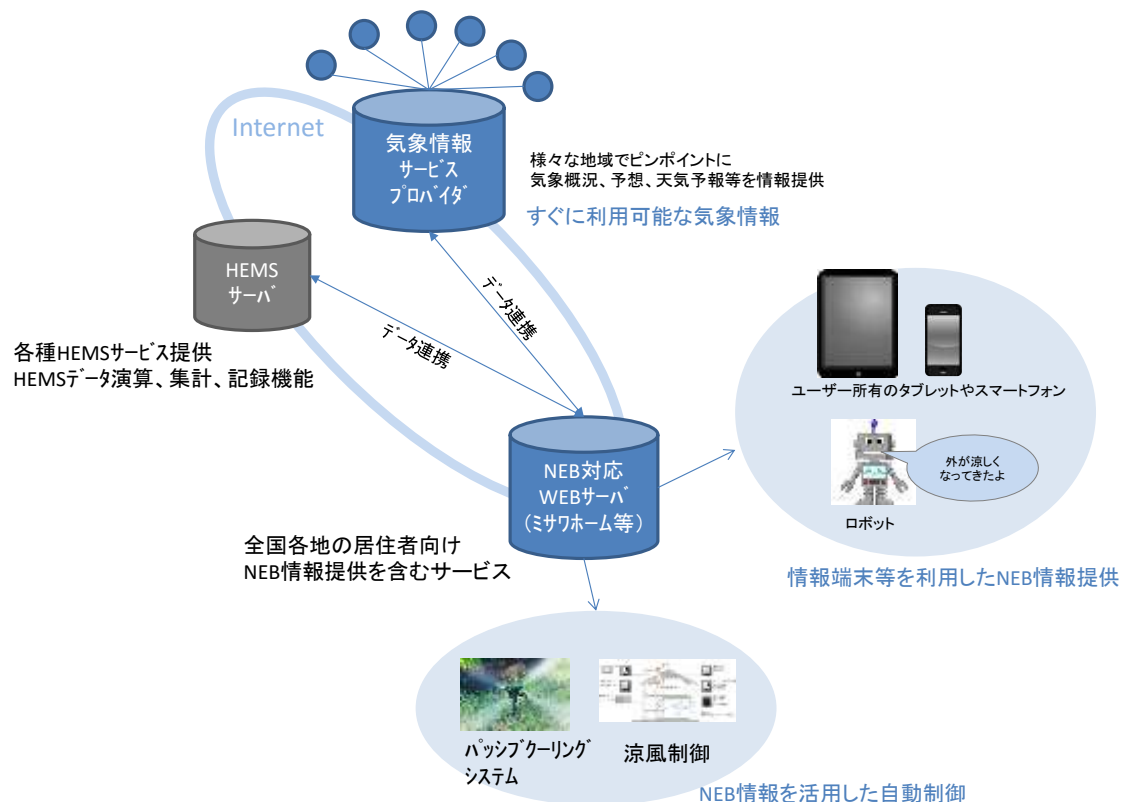


図 6-2-1 利用促進技術・事後評価手法の概案イメージ

6.7. 6.3. 涼風形成度評価指標と評価手法

本章 6.3 節以降においては、構築した NEB 評価指標の解説資料として、評価方法及び利用方法について記載する。6.3.では今後普及が望まれる質の高いパッシブクーリング技術を用いた空間の評価方法を示す。また 6.4.では導入した空間において熱的快適性が得られるかを明らかにする方法を示す。また 6.5.ではパッシブクーリング技術を用いた空間が導入された場合に地域・気候特性によってどの程度効果が得られる可能性があるかを予測・評価する方法について示す。また本解説資料は、6.1.のロードマップ中に示した事業助成結果の事後評価や、助成を行う上での事前評価の参考となる資料の作成等に利用されることを想定したものである。以下には熊谷における測定結果をベースとして算出した事例を示す。

6.3.1 涼風形成度評価の概要

涼風形成度評価は、従来、室内静穏時を基準に算出される快適温度に対し、同程度の気温条件下において、快適温度を上昇させる要因として「気温の低下」と「気温の乱れ」に着目し、これら 2 つの評価軸によって「涼」空間の質を評価するものである。測定はパッシブクーリング技術の製品開発においては技術開発者が、涼空間の形成にあたっては建設会社やコンサルタント・調査研究機関などが行い、より質の高い涼空間の形成評価に用いる。また評価結果は設計者や施主、利用者に対して提示することにより、目標とする涼の質が得られることを評価・確認する。

涼風形成度評価では、気温の低下と気温の乱れが大きい空間ほど人の涼しさに与える影響が大きいという本業務の知見から、Grade I（気温の低下大、気温の乱れ大）から Grade IV（気温の低下小、気温の乱れ小）まで段階的に評価する。

さらに今後、グレード別に快適温度の予測式を確立することによって、都度被験者申告実験を行わなくとも、各空間の涼風形成グレードの判定結果から快適温度を予測することができるようになり、熱的快適性の向上や熱的満足感が拡大する空間を予測・評価することができるようになると考えられる。

※グレード別の快適温度の予測式は現段階では限定的であり、今後より多くの空間や被験者によるデータを蓄積することにより、予測精度を向上させていく必要がある。

6.3.2 涼風形成度の測定方法

<測定位置>

対象空間において、人が椅子座した時の顔の高さにおいて測定を行う。パッシブクーリング技術によって生成される冷気を最大限利用することができる位置に椅子等を設置することを考えると、日射が遮蔽される時間が長く、冷気の生成源から 0.1～0.5m 程度、地面（床上）高さ 1.2m にて測定を行う。

<測定時間>

パッシブクーリング技術による冷気の生成，熱的快適性が満足される時間の拡大，省エネルギー性の 3 つを満たす利用法を前提として，外部代表地点（道路上など周囲が開けている場所）における気象条件が以下の条件を満たし，かつ起床時間帯として 6 時～24 時の間のデータを用いて評価を行う。

①気温 28℃以上 32℃以下 ②相対湿度 65%以下 ③風速 3m/s 以下

<測定方法>

測定項目は外部代表地点の気温（ T_{out} ）と対象空間内の気温（ T_{in} ），そして外部代表地点における相対湿度である。外部代表地点における気温測定では放射の影響を受けないよう配慮するとともに，気温の乱れの算出において気温変動の振幅がわかるよう測定する必要があるため，以下の測定機器および測定間隔を推奨する。

①測定機器：気温… $\phi 0.1\text{mm}$ T 型熱電対（強制通風筒内）

相対湿度… 電子式高分子湿度センサ（強制通風筒内）

記録計（ロガー）… 電源ノイズ除去機能付のもの

②測定間隔：1 秒



図 6-3-1 測定の様子

6.3.3 気温の低下と気温の乱れの算出

1 秒間隔で測定した気温データに対し，下式により 10 分間隔で気温の低下（ $\Delta\overline{T_a}$ [°C]）と気温の乱れ（ T_b [%]）を算出する。

$$\Delta\overline{T_a} = \overline{T_{out}} - \overline{T_{in}}$$

$\Delta\overline{T_a}$ ：平均気温差[°C]， $\overline{T_{in}}$ ：対象空間内の 10 分間平均気温[°C]， $\overline{T_{out}}$ ：外部代表地点の 10 分間平均気温[°C]

$$T_b = \left(\sqrt{\frac{1}{N} \sum (\overline{T_{in}} - T_i)^2 / \overline{T_{in}}} \right) \times 100$$

T_b : 気温の乱れ[%], $\overline{T_m}$: 対象空間内の 10 分間平均気温[°C], T_i : i 秒時の対象空間内の気温, N: データ数

6.3.4 気温の低下と気温の乱れによる涼風形成度評価

6.3.3 で算出した気温の低下を縦軸に、気温の乱れを横軸にとり、図 6-3-2 の通り散布図を作成する。気温の低下は 1℃以上、気温の乱れは 1%以上を基準値として、最も分布の多いグレードを判定する。

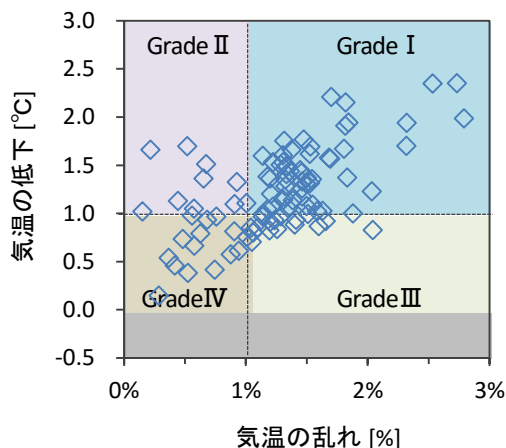


図 6-3-2 涼風形成度評価結果の例

本手法によって定められるグレードは、既往研究等にも基づいた一定の根拠があるものではあるが、今後、公的機関や学会で委員会等が組織され、評価基準が定められることで、質の高い空間の普及や市場の拡大にも寄与すると考えられる。

6.3.5 涼風形成度グレードによる快適温度の予測

現時点では測定空間や条件、データ数が限られているため、以下に示す式は参考値であるが、今後データ数を増やし、グレード別に快適温度の予測式を確立することによって、都度被験者申告実験を行わなくとも各空間の涼風形成グレードの判定結果から快適温度を予測することができるようになると考えられる。以下に、本業務で測定した涼風形成度評価および温冷感申告アンケートのうち、多くのデータが得られた Grade I と GradeIVについて、温冷感申告アンケートより求めた快適温度と申告時の対象空間内の気温との関係を示す（図 6-3-3）。参考までに、従来快適温度算出に用いられてきた室内窓閉条件の実測結果も併せて示す。またこれらのデータから導かれた快適温度の予測式を各図中に示す（図 6-3-4、表 6-3-1）。快適温度予測式の精度は今後高めていく必要があるが、現時点のデータから、室内窓閉条件に対し Grade I では約 4℃、GradeIVでは 1～3℃快適温度が上昇する傾向が見られる。

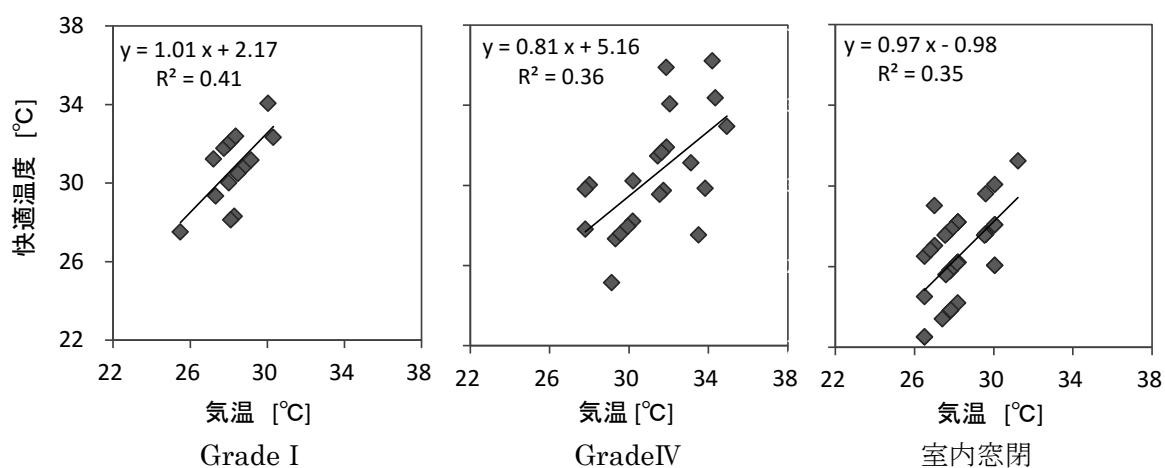


図 6-3-3 グレード別 気温と快適温度の関係式

表 6-3-1 グレードごとの快適温度予測式

Grade I	$T_c = 1.01 \times T_o + 2.17$
Grade IV	$T_c = 0.81 \times T_o + 5.16$
屋内窓閉	$T_c = 0.97 \times T_o - 0.98$

T_c : 快適温度 [°C] T_o : 対象空間内の気温[°C]

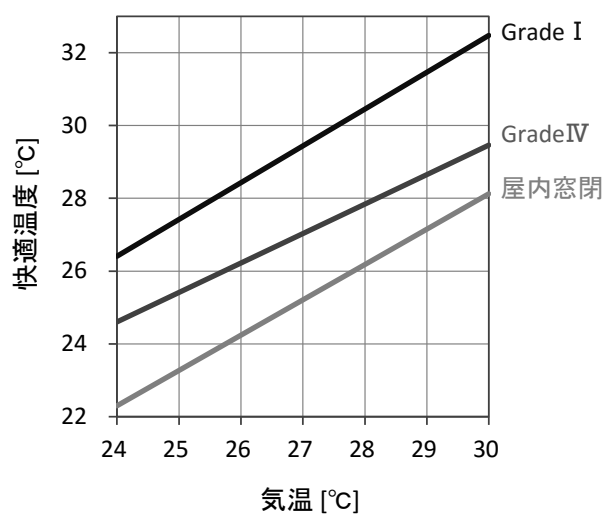


図 6-3-4 グレードごとの快適温度予測値

6.8. 6.4. 熱的快適性向上に関する NEB 評価指標と評価手法

本節では、パッシブクーリング技術を用いた空間において温熱環境改善が熱的快適性に寄与しているかを快適温度及び SET* にて算出する方法を示す。快適温度や SET* の算出は、パッシブクーリング技術を導入する予定の開発事業者やパッシブクーリング技術の開発を進める資材メーカー等により、人の熱的快適性に対する具体的な効果について事前予測や事後評価として実施することを想定したものである。

このうち快適温度の算出結果は、開発前段階であれば 6.5 に示す数値解析実施時におけるエアコン発停温度として利用できる。また居住者に対してもパッシブクーリング技術による導入効果を事前にイメージすることが可能となる。また事後評価であれば、補助金等の助成がなされていた場合の効果検証方法として利用することができ、導入の有無による効果の違いを確認することができる。

①適用範囲

- ・ 前述の涼風形成度評価指標で **Grade I** を示す空間または隣接する屋内を対象とする。
- ・ 被験者及び被験者近傍の温熱環境装置に日射が直接当たらないこととする。
- ・ 屋内においてはパッシブクーリング空間が隣接した開口部近傍（1m 以内）とする。
- ・ 測定対象とする気象条件及び時間は気温を除き 6.3 と同様の条件とする。
- ・ 気温については、被験者温冷感申告を用いて統計を実施する観点から涼しい～暖かい側の申告値も必要となるが、暖かい側は熱中症となる危険性があるため、26～32℃とする。

②温熱環境測定方法

- ・ 代表気象（流入外気温・湿度）及びパッシブクーリング技術の適用空間内の測定位置は 6.1 と同様とする。
- ・ 測定項目は、気温・相対湿度（強制通風筒付のもの）、風速、グローブ温度とする。
- ・ 風速の測定は熱線風速計等、時定数が小さいものを使用する。
- ・ グローブ球はφ150mm を推奨することとし、内部の熱電対は 0.3mm T 型熱電対とする。そしてグローブ球から平均放射温度(MRT)を下式より求める。

$$MRT = \left[(t_g + 273.15)^4 + 2.47 \times 10^8 \times v^{0.6} (t_g - t_a) \right]^{0.25} - 273.15$$

t_g : グローブ温度(℃) t_a : 空気温度(℃) v : 風速(m/s)

- ・ 着衣量は、夏季を想定した 0.6clo 程度の着衣量を推奨する。
- ・ 代謝量は、椅子座安静を基本とした 1.0met を用いる。
- ・ 被験者が 10 分間椅子座した状態について連続測定を行う。

③被験者申告方法

- ・被験者申告は 7 段階温冷感申告（ASHRAE・ISO に準じた尺度）で行い，日本建築学会温熱心理・生理測定法規準に準拠する。
- ・温冷感申告（TSV）をグラフ化する際は，「寒い(1)～暑い(7)」を数値で表現するものとする。
- ・10 分間椅子座後，アンケート用紙に着衣状況・記入時刻・温冷感を申告する。
- ・測定は外気温が 26～32℃の中でのなるべくばらつきがある状態での測定を推奨する。
- ・測定時の風速は風速の影響が大きくなりすぎないように，弱風時の測定を推奨する。
- ・被験者申告数 n は健康な日本人の成人を対象として $n=30$ 以上を推奨する。

④快適温度，SET*快適域の算出

- ・被験者申告時刻前 10 分の温熱環境測定結果についてまず平均値を算出する。
- ・平均値より気温，相対湿度，風速，平均放射温度，Clo 値，Met 値を用いて SET*を算出する。SET*の算出にあたっては，「新版 快適な温熱環境のメカニズム,空気調和・衛生工学会編」付属 CD 等を利用する。
- ・算出した SET*と TSV(1~7)をプロットし，下式に示すような最小二乗法による単回帰分析を行い，回帰式を作成する。回帰式を作成した際には回帰係数，都市名，月平均外気温についても付記する。また回帰式を作成した際に得られる有意水準 F が 0.05 以下の統計上有意な値となることを確認する。また回帰係数が 0.5 以上のものを用いる。

$$TSV = aSET^* + b$$

回帰係数 $R^2=○$ （都市名:○ 月平均外気温:○）

TSV:7 段階温冷感尺度(-) SET*:標準新有効温度(℃) a, b :回帰式の係数

- ・算出した回帰式より TSV が 3～5 となる SET*の範囲を快適範囲として提示する。
- ・快適温度については被験者近傍の外気温と TSV(1～7)を用いて下式により算出する。

$$T_c = T + (4 - TSV)/\alpha$$

T_c :快適温度(℃) T :被験者近傍気温(℃) TSV: 7 段階温冷感尺度(-) α :回帰係数(=0.50)

- ・下式に示すように算出した各パターンの平均値を快適温度として提示する。
- ・取得したデータについては SET*と同様に都市名，月平均外気温についても付記する。

$$\bar{T}_c = \sum_{n=1}^n T_{c,n}/n$$

$T_{c,n}$:各被験者の快適温度(℃) n :各パターンの総被験者数

⑤散水の有無による比較

- ・①～④を散水を実施した場合と実施しない場合の両方のデータについて整備し、快適温度や SET*のパターン別の差を示す。
- ・例えば以下に示すように窓の開閉別・散水の有無別の快適温度の提示や、SET*の快適範囲を提示し、パッシブクーリング技術を用いた空間の熱的快適性向上効果を明らかにする。

本測定によって得られる熱的な快適域や快適温度は、散水の有無による相対的に有意な差を見る上では有用と考えられるが、公的機関や学会で委員会等が組織され、生理的側面からもパッシブクーリング技術を用いた空間に対する評価基準が定められることで、市場の拡大にも寄与すると考えられる。

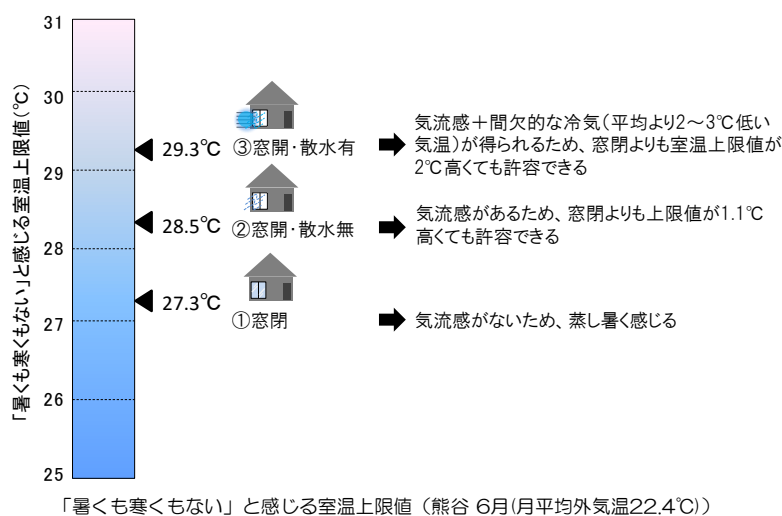


図 6-4-1 快適温度を用いた熱的快適性提示例

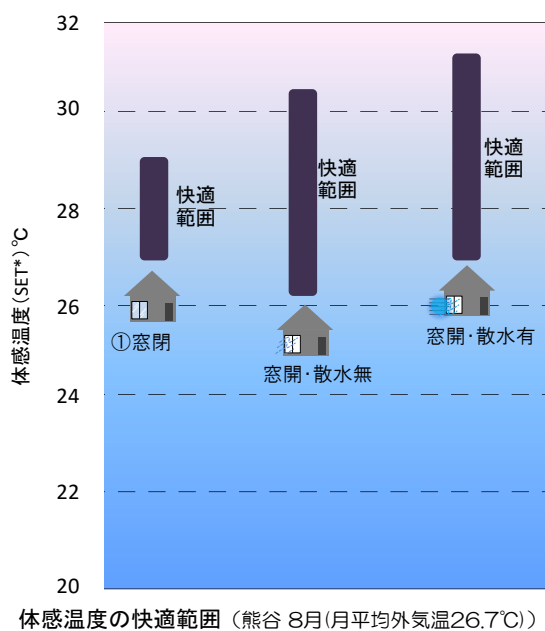


図 6-4-2 標準新有効温度 (SET*) を用いた熱的快適性提示例

6.9. 6.5. 地域特性を踏まえた気象データに基づく NEB の発現可能性等の予測方法

パッシブクーリング技術によって涼風を得るための空間評価方法及び熱的快適性に関わる NEB 評価指標の算出方法については 6.3 及び 6.4 に記載した通りであるが、各地域の気候特性によって、効果の得られる期間や時間は異なることが予想される。そこで、以下には開発事業者等が住宅地設計段階で、パッシブクーリング技術を用いた空間を設計した場合に、どの程度 NEB 等が得られる可能性があるかを各地域の気象データ等を用いて数値解析により予測する方法について記載する。

本手法を活用することで、パッシブクーリング技術の導入効果の高い地域において積極的に普及を図る事業の展開や、導入住宅地の居住者に対して各季節における散水時間の目安を提示できるとともに、低炭素なライフスタイルの普及・啓発につながる基礎データとなるものである。

図 6-5-1 にパッシブクーリング技術を用いた空間を利用した場合に得られる冷房負荷の削減、冷房時間の削減、窓開放時間の増加を数値解析により予測するための手順を示す。以下に各手順の進め方の詳細及びアウトプットイメージを示す。

①気象データの整備

パッシブクーリング技術による涼風の効果を最大限享受するためには、表 6-5-1 に示すような条件に基づいて散水されることが望ましい。そこでこれらの条件に当てはまる気象条件を抽出し、条件と合致する時間帯において平均気温が 1℃下がることを想定した気象データを整備する。各地の気象データについては、全国約 840 地点のデータが拡張アメダス気象データ⁶⁻¹⁾として整備されており、これらの気象データを用いて地域ごとに散水対象時刻を抽出し、抽出時刻について外気温度が 1℃低下することを想定した気象データを作成する。なお、気温の低下を想定した場合には、相対湿度が上昇するため、合わせて相対湿度についても外気温度 1℃低下時の相対湿度データを整備する。本気象データの整備により、散水時間の算出や、図 6-5-2 に示すような散水至適率を算出することができる。

②建物熱負荷計算用住宅モデルの作成

上記気象データを入力条件として建物熱負荷計算を実施するにあたっては、住宅の品質確保の促進等に関する法律による特別評価方法認定プログラムとして認められた計算プログラムを用いて計算することが望ましい。例えば AE-Sim/Heat⁶⁻²⁾、TRNCOM⁶⁻³⁾等の汎用ソフトウェアがあり、これらのソフトウェアを用いてパッシブクーリング空間に隣接した居室を対象に計算を行う。なおパッシブクーリング空間に隣接しない居室については、対象としないものとする。断面仕様・建物形状については、対象とする建物固有のものを設

定し、内部発熱については住宅事業建築主の判断基準に従って設定する。

③居住者行動スケジュールの入力

プログラムに入力する居住者行動スケジュールについては、以下の 3 つのパターンを計算するための入力を行うものとする。いずれのパターンにおいても 6～24 時をパッシブクーリング技術を利用する可能性のある時間帯として、快適温度を用いるものとする。ここでは一例として熊谷における測定結果（6 月）に基づき算出した場合を示す。

- (i) 室温が 27.3℃迄は窓を閉とし、27.3℃を超えた場合は冷房を使用する設定とし、冷房設定温度は 27℃とする。なお、建物の内部発熱は考慮しないものとする。
- (ii) 室温が 27.3℃迄は窓を閉とし、27.3℃を超えた場合は窓の開放を想定した自然換気量（換気回数 5 回/h）を導入するものとする。そして 28.5℃を超えた場合には冷房を使用するものとし、冷房設定温度は 27℃とする。
- (iii) 室温が 27.3℃迄は窓を閉とし、27.3℃を超えた場合は窓の開放を想定した自然換気量（換気回数 5 回/h）を導入するものとする。散水有を想定した場合には、29.3℃を超えたら冷房を使用するものとし、冷房設定温度は 27℃とする。

④建物熱負荷計算の実施

建物モデルの作成及び居住者行動スケジュール入力の後、建物熱負荷計算を実施する。

1 回目の計算では、通常の気象データを使用して「(i)窓閉」を想定した場合の冷房負荷・冷房時間・窓開放時間の計算を行う。

2 回目の計算では、通常の気象データを使用して「(ii)窓開」を想定した場合の冷房負荷・冷房時間・窓開放時間の計算を行う。なお、窓開放時の外気条件は、外気温が 28℃以上 32℃以下、相対湿度が 75%以下で、6～24 時（起床時間帯）を対象とする。

3 回目の計算では、散水を考慮した気象データを使用して「(iii)散水有」を想定した場合の冷房負荷・冷房時間・窓開放時間の計算を行う。なお、窓開放時の外気条件は、外気温が 28℃以上 32℃以下、相対湿度が 75%以下で、6～24 時（起床時間帯）を対象とする。

⑤期間冷房時間・冷房負荷の算出

計算結果より各パターンの冷房負荷・冷房時間・窓開放時間を整理し、図 6-5-3、図 6-5-4 に示すようなパッシブクーリング技術の導入効果を試算する。

⑥CO₂排出量の算出

算出した冷房負荷より電力消費量を算出し、CO₂ 排出量を算出する。また散水時間より散水量を算出し、CO₂ 排出量の増加分を算出する。これらの結果を積算し、図 6-5-5 に示すような CO₂ 排出量の削減効果を試算する。

屋外のパッシブクーリング技術を導入した空間において快適な時間帯や快適な空間がどの程度広がるかについて予測・評価する方法としては、今回 CFD 解析を用いた手法を提示

し，このような予測・評価が可能な汎用のソフトウェアも販売されつつあるが⁶⁻⁴⁾，現状では行政・事業者が取り扱うのは難しく，専門家も交えて外部委託等により効果を検証していくことが望ましい。

今回提示した手法は「散水時に平均で1℃外気が冷却される」ことを前提とした概算値を示すものであり，様々なパッシブクーリング技術を導入した空間を期間計算レベルで予測・評価する手法は発展途上の段階にある。現状では保水性舗装や植栽等を数値モデル化したものはみられるが，パッシブクーリング技術を導入した空間全体の挙動について年間を通して予測・評価する方法は見受けられないことから，評価する際の標準となるようなソフトウェアの開発が官民一体となった組織等で開発されることが望まれる。

表 6-5-1 パッシブクーリング技術による

涼風を最 件	外気温が 28℃以上 32℃以下 相対湿度が 75%以下 6~24 時（起床時間帯）	大限享受できる気象条
-----------	---	------------

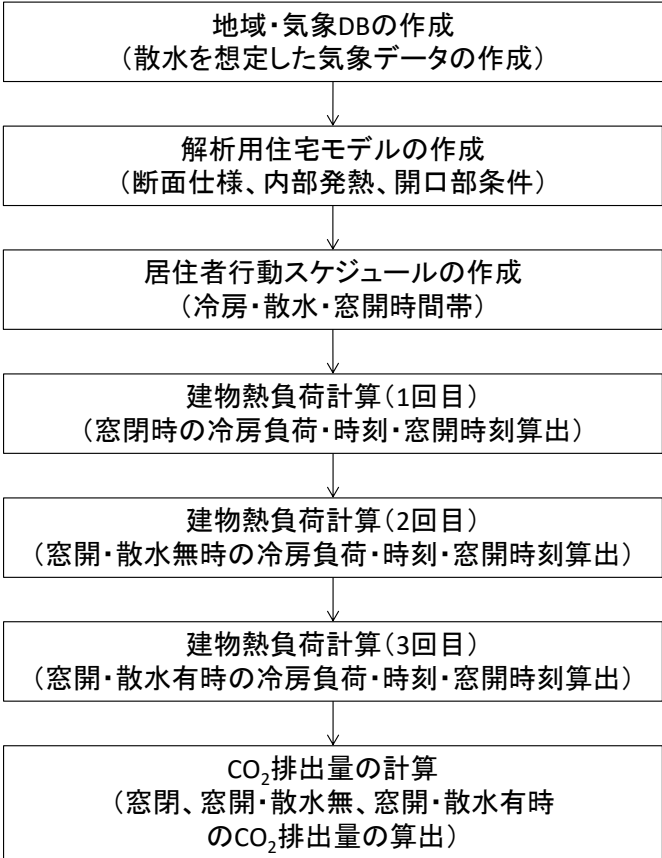


図 6-5-1 地域特性を踏まえた気象データに基づく NEB 等の発現可能性予測手順

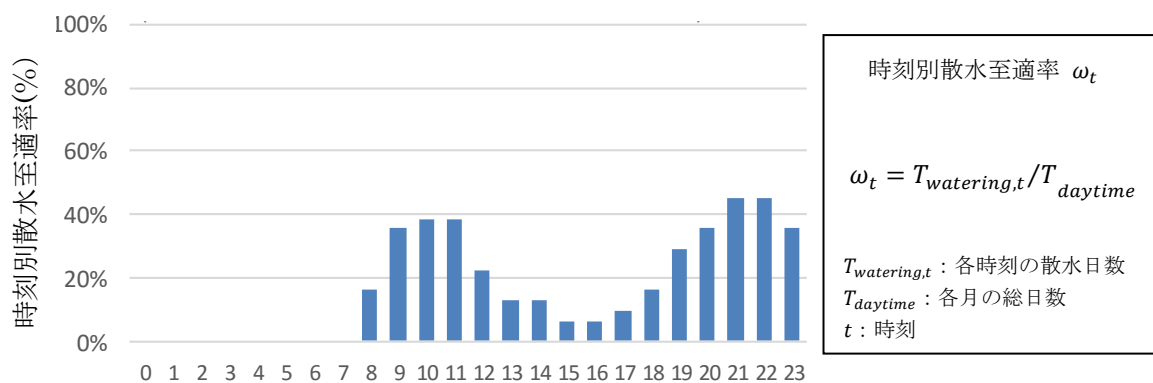


図 6-5-2 気象データにもとづく時刻別至適散水率算出結果例

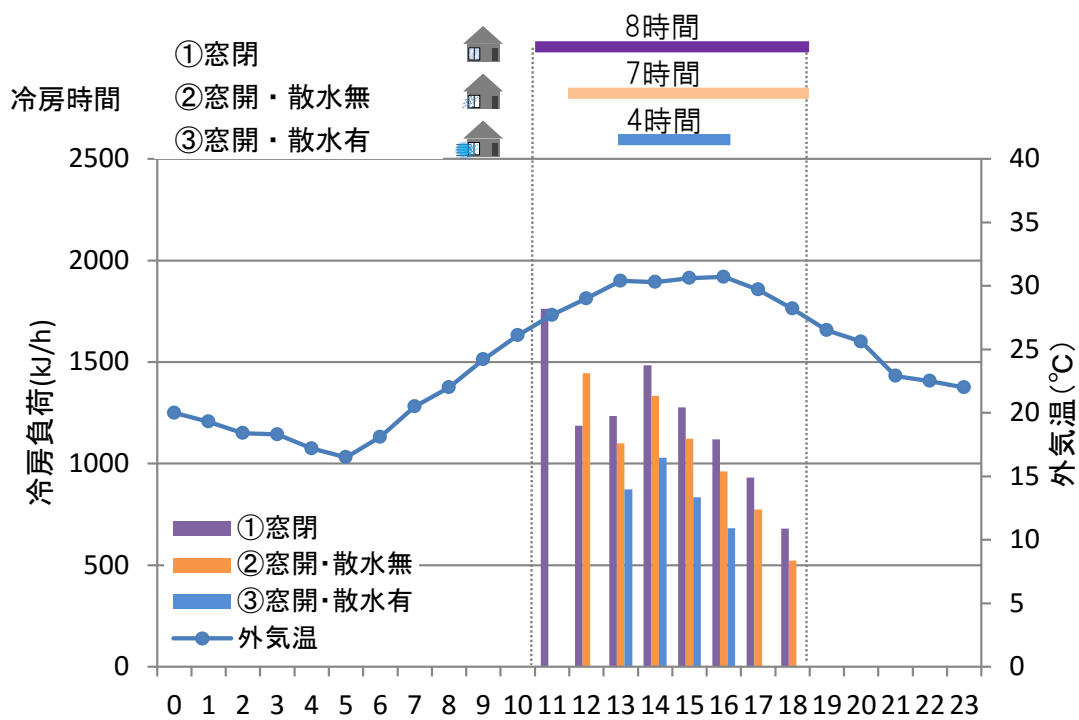


図 6-5-3 冷房負荷及び冷房時間算出結果(初夏)例

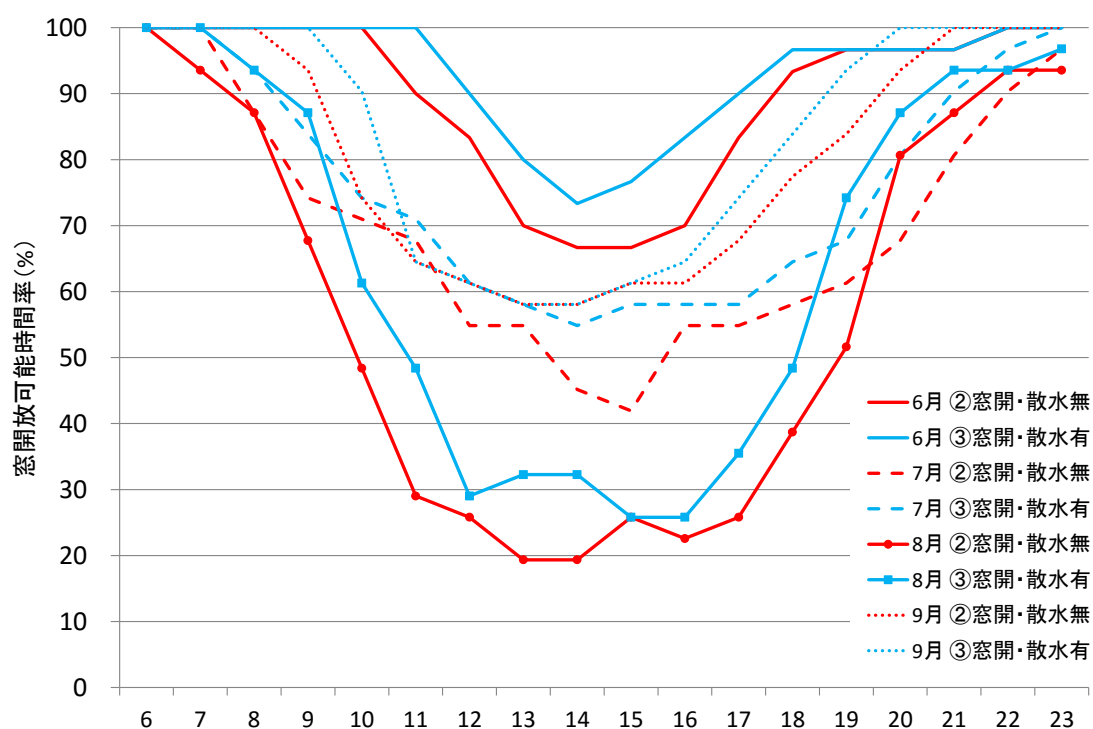


図 6-5-4 月別散水有無別の窓開放可能時間率算出結果例

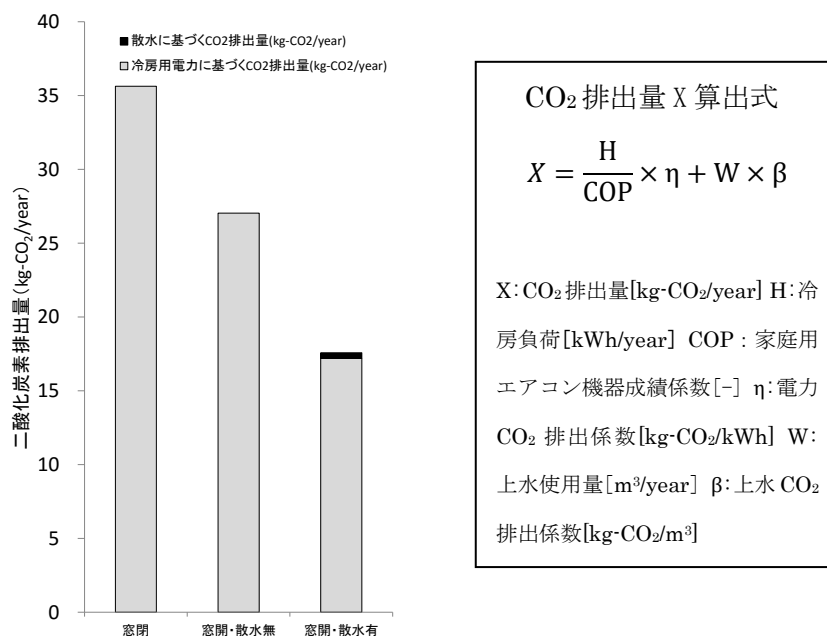


図 6-5-5 散水有無別の CO₂ 排出量算出結果例

参考文献

6-1)株式会社気象データシステムホームページ<<http://www.metds.co.jp/>>

2016/2/26 参照

6-2)株式会社建築環境ソリューションズホームページ

<www.ae-sol.co.jp/_src/sc278/AESimH.pdf> 2016/2/26 参照

6-3)株式会社イマジックデザインホームページ

<<http://imagicdesign.co.jp/kenchiku/trncom/desc.html>> 2016/2/26 参照

6-4)エーアンドエー株式会社ホームページ

< <http://www.aanda.co.jp/products/ThermoRender/>> 2016/2/26 参照

第 7 章 結論・まとめ

13.1. 構築した NEB 評価指標及び評価手法について

13.1.1. 構築した NEB 評価指標の利用方法

本業務は、居住生活におけるエネルギー消費量を削減しつつも、快適性との両立により豊かな暮らしを実現するライフスタイルへと転換していくために、戸建住宅地においてパッシブクーリング技術を活用することによる居住者の熱的快適性の評価指標（以下、熱的快適性指標）を提案するものである。

パッシブクーリング技術は、地域・気候特性を踏まえた自然のポテンシャルをうまく活用しようとする手法であり、本業務ではその1つとして打ち水等に代表される蒸発冷却手法を用いる。そして蒸発冷却機能を有するパッシブクーリング技術の導入による屋内外の熱環境および居住者の熱的快適性の向上について、評価方法および評価事例を示しながら、居住者の熱的満足感との関係を示し、本指標の有意性について記述している。

図 7-1-1 に今回提示した NEB/EB 評価指標を活用してパッシブクーリング技術の開発段階から、開発したパッシブクーリング技術を適用した住環境の設計および居住者のライフスタイル評価を実施する流れを示す。まずパッシブクーリング技術の開発フェーズでは資材メーカーや住宅メーカーが涼風形成度評価を用いながら製品の開発を行う。行政は、涼風形成度評価にもとづき、より高い効果が期待されるパッシブクーリング技術に開発補助などを行うことが望まれる。

空間設計フェーズでは、住宅メーカーやディベロッパーの技術者・設計者が涼風形成グレードを用いて、期待される快適時間や快適空間の拡大を予測する。また数値解析により CO₂ 排出量の削減ポテンシャルを予測し、入居予定者等とも評価結果を利用しながら設計を行う。また行政担当者は、NEB/EB 評価結果に基づき事業助成などを行う。

居住後フェーズでは、NEB/EB の検証として熱的快適性の実測評価や、熱的満足感のアンケート調査を行う。また CO₂ 排出量の削減量を評価することにより、当初予測した NEB/EB が発現していることを確認し、事後評価を行う。また居住者は NEB 評価指標による基準値を、冷房を極力使用しなくても窓の開放や散水等を実施することで快適に暮らせるライフスタイルの改変に利用する。

次項以降では、各評価指標の評価手法及び評価基準について記述する。

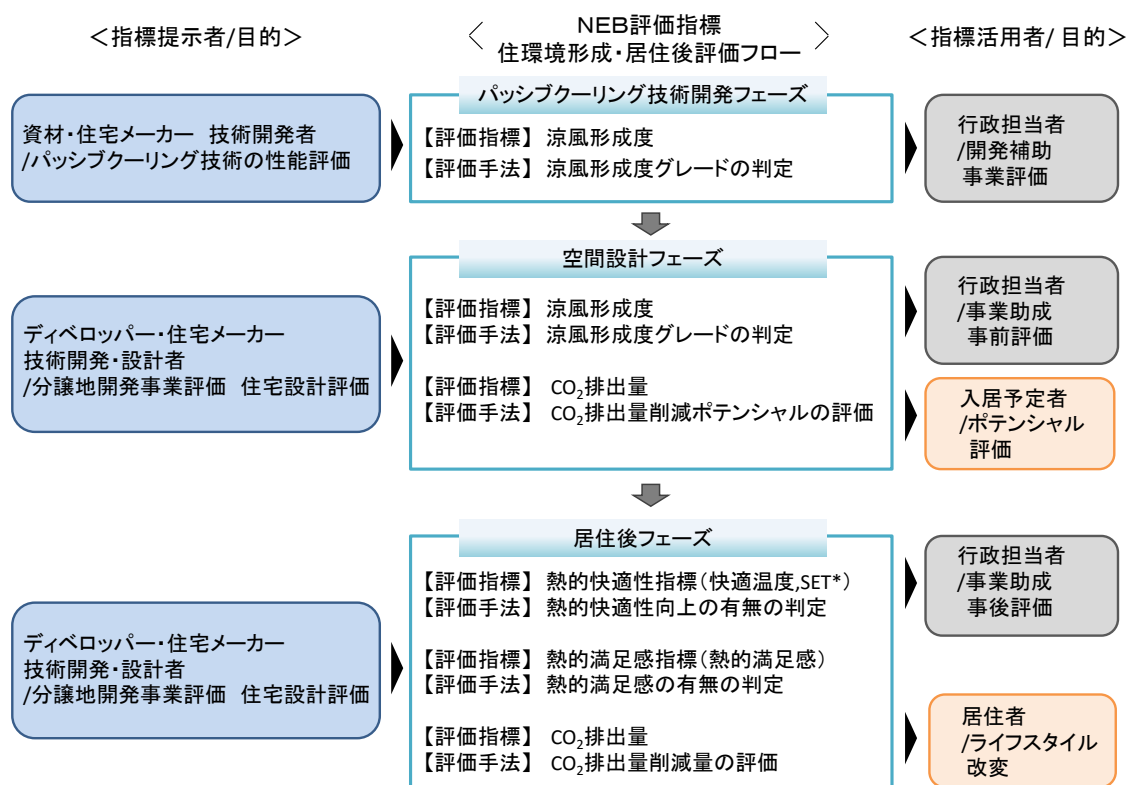


図 7-1-1 パッシブクーリング技術を適用した住環境の形成・居住後の
各フェーズにおける NEB/EB 評価指標の利用方法

13.1.2. NEB 評価指標の評価手法及び評価基準

① 質の高いパッシブクーリング技術を用いた空間の導入・利用のための評価指標の構築

パッシブクーリング技術を用いた空間において散水を実施することで温熱環境は一定程度改善されるが、居住者が散水の効果を実感し、快適と感じるためには一定規模の涼風が生成されることが重要となる。

そこで、パッシブクーリング技術の技術開発者や、パッシブクーリング技術を導入する事業者、パッシブクーリング技術を導入した空間を設計する設計者が、涼風の生成程度を確認するために「涼風形成度」評価指標を構築した。また本指標を活用することで、行政担当者は効果の高い技術や空間に対して開発補助や事業助成等を実施することを想定する。

構築した「涼風形成度」評価指標の算出手順は以下に示す通りであり、測定により評価指標の説明変数を算出した後、評価基準に基づく判定を行う。また測定方法については、第6章6.3にとりまとめた。

【評価指標の説明変数①】気温低下量の算出

熱的快適性向上に寄与する気温低下量（流入気温－空間内気温）の10分間平均値を算出する。有効数字は小数点第1位までとする。

$$\Delta \overline{T_a} = \overline{T_{out}} - \overline{T_{in}}$$

$\Delta \overline{T_a}$ ：気温低下量[°C]、 $\overline{T_{in}}$ ：対象空間内の10分間平均気温[°C]、 $\overline{T_{out}}$ ：外部代表地点の10分間平均気温[°C]

【評価指標の説明変数②】気温の乱れの算出

パッシブクーリング技術を導入した空間内では間欠的に2～3°C低い冷気が頻出する等気温の乱れ（空間内気温の標準偏差）が大きく、居住者の熱的快適性向上に寄与することが明らかとなったことから気温の乱れの10分間平均値を算出する。有効数字は百分率の小数点第1位までとする。

$$T_b = \left(\sqrt{\frac{1}{N} \sum (\overline{T_{in}} - T_i)^2 / \overline{T_{in}}} \right) \times 100$$

T_b ：気温の乱れ[%]、 $\overline{T_{in}}$ ：対象空間内の10分間平均気温[°C]、 T_i ： i 秒時の対象空間内の気温、 N ：データ数

【評価指標・評価基準】涼風形成度グレードによる評価

気温の乱れ及び気温差の 10 分平均値を 2 日以上にわたって 6.3 に示す気象条件に該当する日中において測定し、60 以上（10 時間分）のデータ数を確保する。そして

- ・ 気温低下量 1.0℃以上，気温の乱れ 1.0%以上を「Grade I」
- ・ 気温低下量 1.0℃以上，気温の乱れ 1.0%未満を「Grade II」
- ・ 気温低下量 1.0℃未満，気温の乱れ 1.0%以上を「Grade III」
- ・ 気温低下量 1.0℃未満，気温の乱れ 1.0%未満を「Grade IV」

として各データ点を分類し、最もデータ点数の多い Grade をその空間の Grade として判定する。なお、最も点数の多い Grade が同数の場合は Grade の高い方（すなわち I > II）を採用するものとする。

【評価手法】涼風形成度グレードの判定

評価手法は、Grade I から順に涼風形成度による熱的快適性向上の効果が大きいものとして以下の通り評価する。

Grade I（気温の低下大，気温の乱れ大）		熱的快適性向上効果大
Grade II（気温の低下大，気温の乱れ小）		
Grade III（気温の低下小，気温の乱れ大）		
Grade IV（気温の低下小，気温の乱れ小）		熱的快適性向上効果小

【評価例】涼風形成度 Grade I の算定例

Grade の表現方法としては、下図に示すように気温の乱れを横軸，気温の低下量を縦軸として、散布図を作成する等して各 Grade の分布状況を明示する。下図例では Grade I となる点が最も多いことから対象空間は「涼風形成度 Grade I」の空間と評価される。

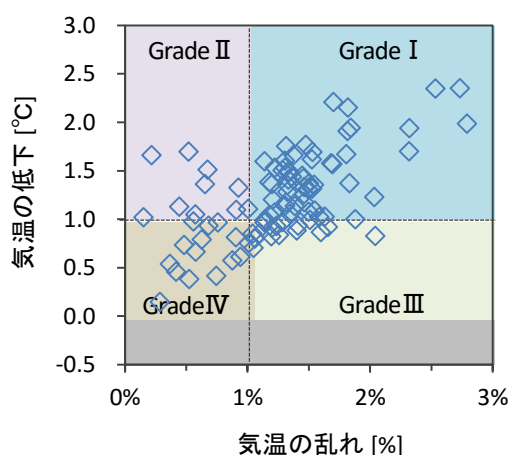


図 7-1-2 涼風形成度評価結果の例（Grade I と判定された空間）

本手法によって定められるグレードは、既往研究等にも基づいた一定の根拠があるものではあるが、今後、公的機関や学会で委員会等が組織され、評価基準が定められることで、質の高い空間の普及や市場の拡大にも寄与すると考えられる。

② 温熱環境改善がもたらす熱的快適性に関する NEB 評価指標の提示

パッシブクーリング技術を導入した空間の温熱環境改善が実際に利用者の熱的快適性向上に寄与するかを評価する手法について、温冷感申告（TSV）と被験者近傍気温による快適温度（暑くも寒くもないと感じる気温）により評価する方法と、TSV を目的変数とし、被験者近傍の標準新有効温度（SET*）を説明変数とした単回帰式を作成した上で SET* の快適域により評価する方法を提示した。

本手法は技術開発者や事業者等がパッシブクーリング技術を導入した空間について実際に熱的快適性向上に寄与する程度の評価に利用することや、行政担当者が助成事業等の事後評価に利用することを想定している。また居住者は評価指標の基準値を利用して窓の開放や散水等を実施することで、冷房を極力使用しなくても快適なライフスタイルの改変に利用することを想定している。

○快適温度による評価

以下に示す通り快適温度を評価指標とし、散水の有無等の各パターンごとの快適温度の平均値を評価基準とする。

【評価指標】気温と温冷感申告結果に基づく快適温度の算出

6.4 に示した測定条件及び測定方法に則り、10 分間の平均気温と 7 段階評価尺度による温冷感申告（1（寒い）～7（暑い））に基づき快適温度を下式により算出する。温冷感申告値はばらつきがでるように測定時の屋内外温度域が 5℃以上となることが望ましい。なお、有効数字は小数点第一位までとする。

$$T_c = T + (4 - \text{TSV})/\alpha$$

【評価基準】散水有無別等の快適温度平均値 $\overline{T_c}$ の算出

算出した快適温度を散水の有無等のパターンごとにとりまとめ、快適温度の平均値 $\overline{T_c}$ を算出する。各パターンの延べ被験者数 n は 30 点以上を基本とする。有効数字は小数点第一位までとする。

$$\overline{T_c} = \sum_{n=1}^n T_{c,n}/n$$

T_c : 快適温度 (℃) T : 被験者近傍気温 (℃) TSV: 7 段階温冷感尺度(-) α : 回帰係数 (=0.50)

$T_{c,n}$: 各被験者の快適温度 (℃) n : 各パターンの延べ被験者数

【評価手法】散水有無別の快適温度平均値を用いた判定

散水有と散水無の快適温度 $\overline{T_c}$ を評価基準として、中間期または夏季のいずれかで散水有が散水無よりも快適温度が 1.0℃以上高くなった場合に「熱的快適性向上効果有り」と判定する。

【評価例】

算出した各パターンごとの快適温度平均値を評価基準として、事業者や行政担当者等は散水による効果の有無を確認する。また居住者においては下図に示すような快適温度の基準値と屋外の温度をみながら、窓の開閉・散水有無の判断を実施することで冷房を極力使用しなくても快適に過ごせるライフスタイルの改変に利用する。

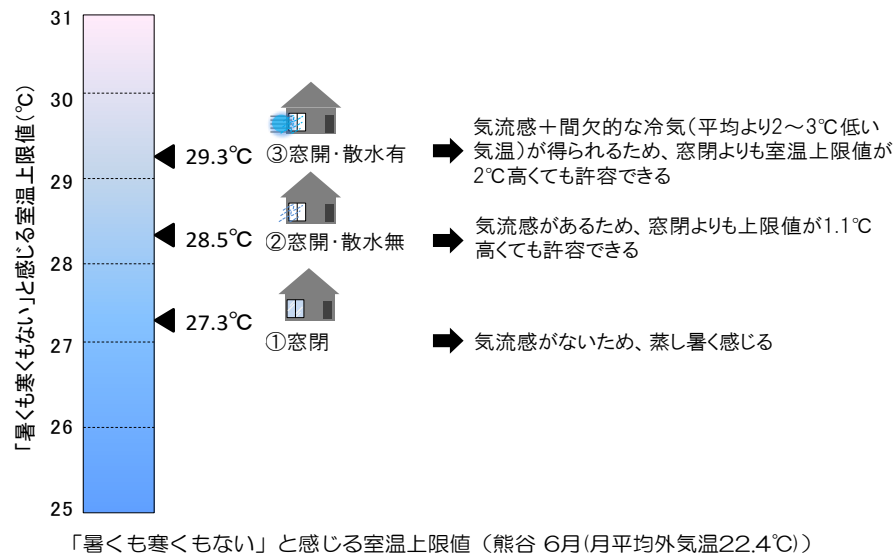


図 7-1-3 窓の開閉・散水有無別の快適温度算出結果例

今回の結果は一事例であり、同一のパッシブクーリング技術を用いた空間であっても季節や都市によって異なる結果が得られることから快適温度を算出した際には「都市名・測定月名・月平均外気温」を明示するようにする。また快適温度の評価基準を作成する際には統計的に必要な被験者数や温冷感申告結果の裏付けとなる温熱生理測定も同時に行うことが望まれる。

○温冷感申告（TSV）と標準新有効温度（SET*）を用いた快適域による評価

以下に 7 段階尺度による温冷感申告（TSV）と標準新有効温度（SET*）を用いて散水の有無別等の各パターンごとの快適域を算出する方法を示す。

【評価指標】SET*及びTSVによる単回帰式の作成

温冷感申告実施時における 10 分間平均値の SET* を以下のパラメータに基づき算出する。SET* の算出式は複雑であるためここには明記しないが、第 2 章 2.3 に記載したロジックに基づき算出する。また算出までの手順及び測定方法は第 6 章 6.4 に示す通りである。

SET* 算出に必要なパラメータ…気温(℃) 相対湿度(%) 風速(m/s) 平均放射温度(℃)
着衣量(-) 代謝量(-)

そして算出した SET* と TSV の関係をパターンごとにとりまとめ、表計算ソフト等を用いて SET* を説明変数とし、TSV を目的変数とした単回帰式を下式のように作成する。各パターンの延べ被験者数は 30 点以上を基本とする。ここで a, b は単回帰式の係数である。

$$TSV = aSET^* + b$$

【評価基準】窓の開閉別・散水有無別 SET* 快適域（TSV=3～TSV=5）の算出

作成した各パターンの単回帰式に基づき、TSV の「やや涼しい～やや暖かい」に相当する TSV=3 及び TSV=5 の SET* を下式の通り算出する。本数値が SET* による快適域の上下限界を示しており、各パターンごとに算出することで快適域の拡大の有無を明らかにすることができる。

$$SET^* = (3 - b)/a \quad \dots (TSV=3(\text{やや涼しい}))$$

$$SET^* = (5 - b)/a \quad \dots (TSV=5(\text{やや暖かい}))$$

TSV: 7 段階温冷感尺度(-) SET*: 標準新有効温度(℃) a, b: 回帰式の係数

【評価手法】

散水有と散水無の快適域の上下限界を評価基準として、中間期または夏季のいずれかで SET* が 0.5℃ 以上高くなった場合に散水による「熱的快適性向上効果有り」と判定する。

【評価例】

散水有と散水無の快適域を評価基準として、事業者や行政担当者等は散水による効果の有無を確認することが可能である。また居住者においては下図に示すような体感温度の基準値をみながら、窓の開閉・散水有無の判断を実施することで、冷房を極力使用しなくても快適に過ごせるライフスタイルの改変に利用可能である。

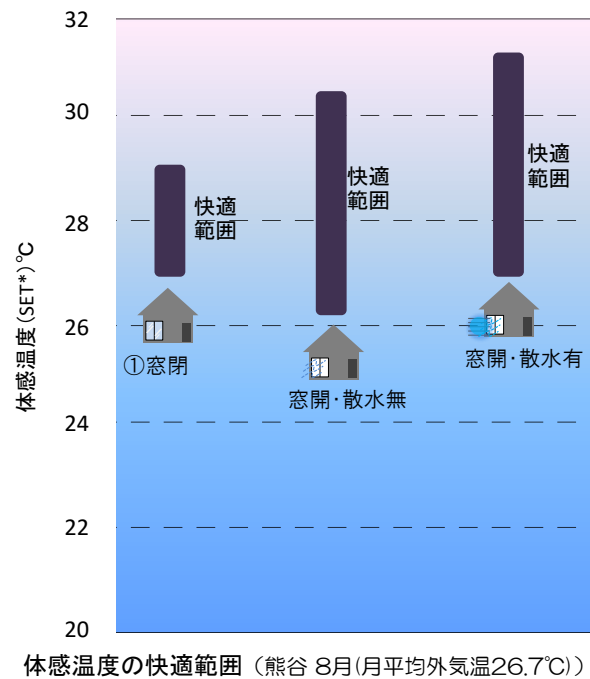


図 7-1-4 窓の開閉・散水有無別の SET*算出結果例

この結果は快適温度と同様に一事例であり、同じパッシブクーリング技術を用いた空間であっても季節や都市によって異なる結果が得られることから「都市名・測定月名・月平均外気温」を明示するようにする。また快適温度と同様に評価基準を作成する際には統計的に必要な被験者数や温冷感申告結果の裏付けとなる温熱生理測定も同時に行うことが望まれる。

③CO₂排出量及び熱的満足感の評価

前述の NEB 評価指標を明らかにするとともに、以下のような手法でパッシブクーリング技術を利用した空間による CO₂排出量の削減効果及び熱的な満足感の評価を実施する。CO₂排出量の削減効果は設計段階では開発技術者や設計者が 6.5 に示すような数値解析を用いて事前評価を行い、居住後段階では測定結果により事後評価に用いる。また熱的な満足感は事業者等が居住後段階で評価を実施することで事後評価に用いる。また行政担当者は事前・事後評価結果に基づき助成等の実施や事後評価検証を実施する。

○CO₂排出量による評価

6.5 に示した数値解析結果に基づき冷房負荷を算出した上で、使用を想定するエアコン機器の性能や散水時間に基づく上水の使用量を算出した結果より CO₂ 排出量を算出する。

【評価指標】

$$X = \frac{H}{COP} \times \eta + W \times \beta$$

X: CO₂ 排出量[kg-CO₂/year] H: 冷房負荷[kWh/year] COP: 家庭用エアコン機器成績係数[-]
η: 電力 CO₂ 排出係数[kg-CO₂/kWh] W: 上水使用量[m³/year] β: 上水 CO₂ 排出係数[kg-CO₂/m³]

【評価基準】

パッシブクーリング技術の導入前後の CO₂ 排出量を基準として評価する。

【評価手法】

パッシブクーリング技術の導入前と導入後の CO₂ 排出量を比較し、CO₂ 排出量の削減量を評価する。

【評価例】

右図の例では、散水によって冷房時間が削減されたことで冷房用電力が減少し、CO₂ 排出量が削減されている。また散水による CO₂ 排出量増加分もわずかであり、全体としてみた場合でも CO₂ 排出量は削減される。

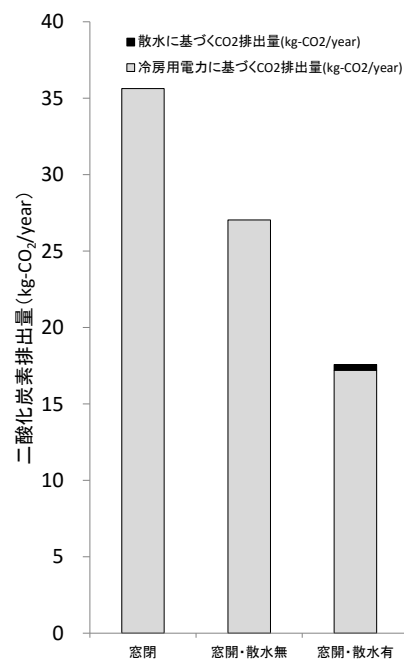


図 7-1-5 二酸化炭素排出量算出結果例

○熱的快適性と熱的満足感・総合的満足感の関係性の把握

パッシブクーリング技術を導入した空間について、居住者等の利用者が熱的な満足感とともに総合的な満足感も得られているかどうかも重要である。そこで事業者や開発者等が事後評価として、居住者アンケートを夏季終了後早い時期に実施することで、満足感が得られているかを確認する。また行政担当者等は助成等による効果を事後評価として確認する。

【評価例】

埼玉県熊谷市にある住宅地を調査した事例においては、居住者アンケートを夏季終了後早い時期に実施した結果から、図 7-1-6 に示すようにパッシブクーリング技術を用いた空間の熱的快適性と熱的満足感、また図 7-1-7 に示すように熱的満足感と総合的な満足感の間に関係性が見られ、熱的快適性の向上が居住生活における満足感の向上にも寄与することが明らかになった。他の事例においてもこのような結果を居住後のアンケート調査において得ることができれば、導入したパッシブクーリング技術を用いた空間は居住者の満足感向上にも寄与する技術であると評価できる。

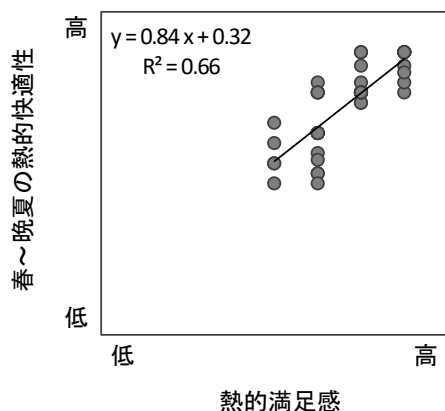


図 7-1-6 熱的快適性と熱的満足感の関係

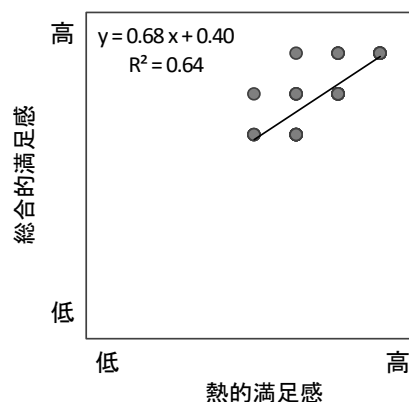


図 7-1-7 熱的満足感と総合的満足感の関係

13.2. まとめ

本業務は、新たな低炭素ライフスタイルを提案し普及していくため、エネルギー消費量のような従来の指標に加え、地域の生活様式・気候の特性等を踏まえ先人の知恵や伝統技術等も活かした生活の豊かさに着目した NEB (Non-energy-benefit) 評価指標の確立を目的とするものである。具体的には、“「涼」を呼ぶまちづくり” をテーマとしたゼロエネルギー住宅街区において、パッシブクーリング技術の導入・利用によるライフスタイルの変化と環境効果の評価を行った。

第 1 章では、屋外熱環境の悪化によって空調用エネルギー消費量が増大すると同時に居住者の快適性や健康性が阻害されている中で、夏季における水の蒸発冷却を利用したパッシブクーリング技術が近年注目され、ミストや保水性舗装、壁体などの等様々な種類のものがみられるようになってきていることを示した。その上で、設置空間や利用（散水）方法によって異なる冷却効果や、その効果を享受することによって得られる快適感や満足感に関する評価方法が確立されておらず、省エネルギー効果や NEB について十分にとりまとめられていないことを指摘した。

第 2 章では、パッシブクーリング技術の導入・利用によって得られる NEB を体系的に整理した上で、本業務で取り扱う NEB の範囲を提示した。そして新たに提示する指標として、①パッシブクーリング技術を利用した空間において涼風の形成程度を表すための指標②パッシブクーリング技術を導入した空間における熱的快適性の向上程度を明らかにする NEB 評価指標③熱的快適性向上の結果としてもたらされるライフスタイルに関する指標④居住者の満足感に関する指標の 4 つを対象にすることを示し、このうち②と④を NEB の評価指標として明らかにすることとした。

第 3 章では、第 2 章で提示した各指標の有効性を明らかにするために実施した温熱環境調査、入居者アンケート調査、エネルギー消費量計測結果の概要を示し、温熱環境測定結果から間欠的な冷気が得られる空間の基準として、流入気温に対して気温差 1℃以上、気温の乱れが 1%以上となる空間と定義した。また入居者アンケート結果から熱的満足感と総合的な満足感に相関があることを示した。さらに入居者アンケート結果では、屋外のパッシブクーリング技術に加え、屋内のトップライトやシーリングファンなどの排熱通風を促す技術に対する熱的満足感の評価が高かったことから、屋内外の手法を組み合わせた利用を推奨することにより、今後さらに居住者の熱的快適性と熱的満足感を高めることができるものと期待される。空調（冷房）用エネルギー消費量計測結果からは、消費量に 3 倍程度の差があることを示し、その要因の一つとして冷房の利用頻度が高まる冷房開始外気温度に 3℃程度の差がみられることを明らかにした。

第4章では、昨年度の結果を踏まえて NEB 評価指標を季節別・屋内外別に新たにとりまとめ、快適温度が散水の有無によって約 1℃高くなることを示した。また SET*の快適域も散水の有無によって上下限值が 1℃程度高くなることを示した。これらの結果を踏まえて、第3章で提示した平均外気温が 1℃低下することと合わせて、散水をしない場合と比較して現状よりも 2℃高い温度で冷房を開始すると、冷房時間が約 30%削減される可能性があることを数値解析により示した。また屋外滞在可能時間については、6.9%増加する可能性を示した。またこれらの結果について既往研究との比較を行い、効果の妥当性を示すとともに今後の NEB 評価指標の改良可能性として人間の温熱心理・生理の両面からも調査を行い、温熱心理による調査結果を実証していく方法を示した。

第5章では、第4章で示した冷房時間の削減に寄与する散水を実施する場合の最適な気象条件について整理を行った上で、散水により冷房時間が削減されることで得られる CO₂ 排出量削減分と散水による CO₂ 排出量増加分を合計した場合、冷房時間削減分の方が大きく約 27%CO₂ 排出量が削減される可能性があることを示した。

第6章ではパッシブクーリング技術の普及に向けたロードマップを作成するとともに、パッシブクーリング技術による NEB を得るためには、居住者の効果的な利用が不可欠であることから、HEMS 等によるパッシブクーリング技術の利用促進・事後評価手法に関する課題について整理した。そして、構築した各評価指標及び評価手法と涼風が形成されるパッシブクーリング空間の EB 効果を各地域、各建物で数値解析により定量的に示す方法を解説資料としてとりまとめた。

以上より、一定規模以上の涼風が形成されるパッシブクーリング技術を導入した空間には熱的快適性の向上、CO₂ 排出量削減効果があり、居住者の満足度も総じて高いことが明らかとなった。また居住者の熱的快適性向上は健康性向上にも寄与すると考えられることから、パッシブクーリング技術の普及は行政・社会、事業者、市民といった各ステークホルダーに広範な NEB をもたらすものである。

第 7 章 結論・まとめ

20.1. 構築した NEB 評価指標及び評価手法について

20.1.1. 構築した NEB 評価指標の利用方法

本業務は、居住生活におけるエネルギー消費量を削減しつつも、快適性との両立により豊かな暮らしを実現するライフスタイルへと転換していくために、戸建住宅地においてパッシブクーリング技術を活用することによる居住者の熱的快適性の評価指標（以下、熱的快適性指標）を提案するものである。

パッシブクーリング技術は、地域・気候特性を踏まえた自然のポテンシャルをうまく活用しようとする手法であり、本業務ではその1つとして打ち水等に代表される蒸発冷却手法を用いる。そして蒸発冷却機能を有するパッシブクーリング技術の導入による屋内外の熱環境および居住者の熱的快適性の向上について、評価方法および評価事例を示しながら、居住者の熱的満足感との関係を示し、本指標の有意性について記述している。

図 7-1-1 に今回提示した NEB/EB 評価指標を活用してパッシブクーリング技術の開発段階から、開発したパッシブクーリング技術を適用した住環境の設計および居住者のライフスタイル評価を実施する流れを示す。まずパッシブクーリング技術の開発フェーズでは資材メーカーや住宅メーカーが涼風形成度評価を用いながら製品の開発を行う。行政は、涼風形成度評価にもとづき、より高い効果が期待されるパッシブクーリング技術に開発補助などを行うことが望まれる。

空間設計フェーズでは、住宅メーカーやディベロッパーの技術者・設計者が涼風形成グレードを用いて、期待される快適時間や快適空間の拡大を予測する。また数値解析により CO₂ 排出量の削減ポテンシャルを予測し、入居予定者等とも評価結果を利用しながら設計を行う。また行政担当者は、NEB/EB 評価結果に基づき事業助成などを行う。

居住後フェーズでは、NEB/EB の検証として熱的快適性の実測評価や、熱的満足感のアンケート調査を行う。また CO₂ 排出量の削減量を評価することにより、当初予測した NEB/EB が発現していることを確認し、事後評価を行う。また居住者は NEB 評価指標による基準値を、冷房を極力使用しなくても窓の開放や散水等を実施することで快適に暮らせるライフスタイルの改変に利用する。

次項以降では、各評価指標の評価手法及び評価基準について記述する。

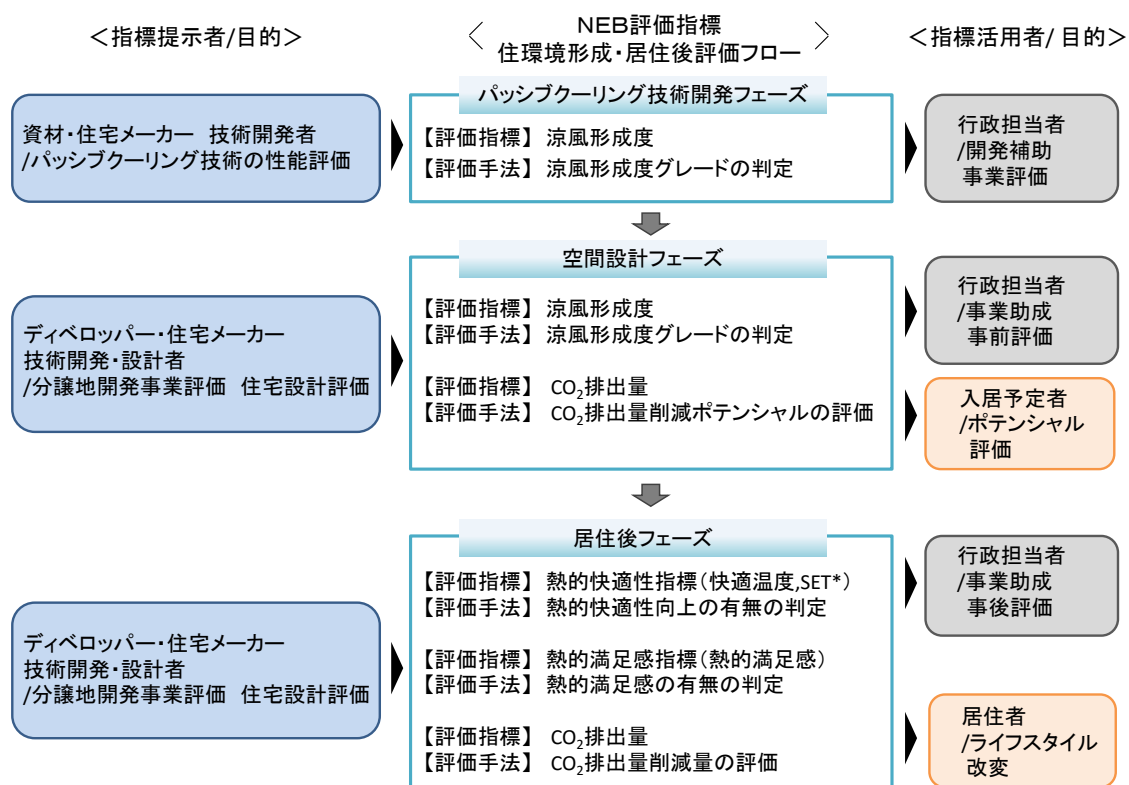


図 7-1-1 パッシブクーリング技術を適用した住環境の形成・居住後の
各フェーズにおける NEB/EB 評価指標の利用方法

20.1.2. NEB 評価指標の評価手法及び評価基準

① 質の高いパッシブクーリング技術を用いた空間の導入・利用のための評価指標の構築

パッシブクーリング技術を用いた空間において散水を実施することで温熱環境は一定程度改善されるが、居住者が散水の効果を実感し、快適と感じるためには一定規模の涼風が生成されることが重要となる。

そこで、パッシブクーリング技術の技術開発者や、パッシブクーリング技術を導入する事業者、パッシブクーリング技術を導入した空間を設計する設計者が、涼風の生成程度を確認するために「涼風形成度」評価指標を構築した。また本指標を活用することで、行政担当者は効果の高い技術や空間に対して開発補助や事業助成等を実施することを想定する。

構築した「涼風形成度」評価指標の算出手順は以下に示す通りであり、測定により評価指標の説明変数を算出した後、評価基準に基づく判定を行う。また測定方法については、第6章6.3にとりまとめた。

【評価指標の説明変数①】気温低下量の算出

熱的快適性向上に寄与する気温低下量（流入気温－空間内気温）の10分間平均値を算出する。有効数字は小数点第1位までとする。

$$\Delta \overline{T_a} = \overline{T_{out}} - \overline{T_{in}}$$

$\Delta \overline{T_a}$ ：気温低下量[°C]、 $\overline{T_{in}}$ ：対象空間内の10分間平均気温[°C]、 $\overline{T_{out}}$ ：外部代表地点の10分間平均気温[°C]

【評価指標の説明変数②】気温の乱れの算出

パッシブクーリング技術を導入した空間内では間欠的に2～3°C低い冷気が頻出する等気温の乱れ（空間内気温の標準偏差）が大きく、居住者の熱的快適性向上に寄与することが明らかとなったことから気温の乱れの10分間平均値を算出する。有効数字は百分率の小数点第1位までとする。

$$T_b = \left(\sqrt{\frac{1}{N} \sum (\overline{T_{in}} - T_i)^2 / \overline{T_{in}}} \right) \times 100$$

T_b ：気温の乱れ[%]、 $\overline{T_{in}}$ ：対象空間内の10分間平均気温[°C]、 T_i ： i 秒時の対象空間内の気温、 N ：データ数

【評価指標・評価基準】涼風形成度グレードによる評価

気温の乱れ及び気温差の 10 分平均値を 2 日以上にわたって 6.3 に示す気象条件に該当する日中において測定し、60 以上（10 時間分）のデータ数を確保する。そして

- ・ 気温低下量 1.0℃以上，気温の乱れ 1.0%以上を「Grade I」
- ・ 気温低下量 1.0℃以上，気温の乱れ 1.0%未満を「Grade II」
- ・ 気温低下量 1.0℃未満，気温の乱れ 1.0%以上を「Grade III」
- ・ 気温低下量 1.0℃未満，気温の乱れ 1.0%未満を「Grade IV」

として各データ点を分類し、最もデータ点数の多い Grade をその空間の Grade として判定する。なお、最も点数の多い Grade が同数の場合は Grade の高い方（すなわち I > II）を採用するものとする。

【評価手法】涼風形成度グレードの判定

評価手法は、Grade I から順に涼風形成度による熱的快適性向上の効果が大きいものとして以下の通り評価する。

Grade I（気温の低下大，気温の乱れ大）		熱的快適性向上効果大
Grade II（気温の低下大，気温の乱れ小）		
Grade III（気温の低下小，気温の乱れ大）		
Grade IV（気温の低下小，気温の乱れ小）		熱的快適性向上効果小

【評価例】涼風形成度 Grade I の算定例

Grade の表現方法としては、下図に示すように気温の乱れを横軸，気温の低下量を縦軸として、散布図を作成する等して各 Grade の分布状況を明示する。下図例では Grade I となる点が最も多いことから対象空間は「涼風形成度 Grade I」の空間と評価される。

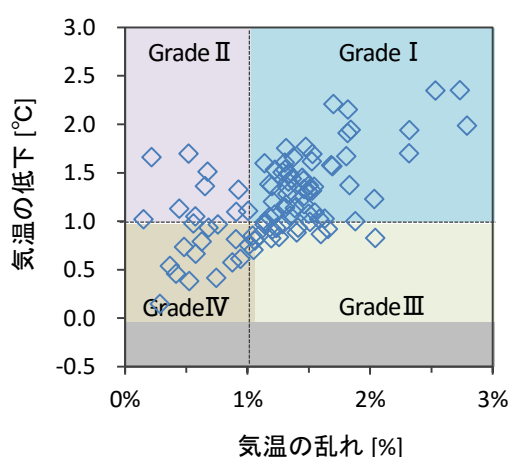


図 7-1-2 涼風形成度評価結果の例（Grade I と判定された空間）

本手法によって定められるグレードは、既往研究等にも基づいた一定の根拠があるものではあるが、今後、公的機関や学会で委員会等が組織され、評価基準が定められることで、質の高い空間の普及や市場の拡大にも寄与すると考えられる。

② 温熱環境改善がもたらす熱的快適性に関する NEB 評価指標の提示

パッシブクーリング技術を導入した空間の温熱環境改善が実際に利用者の熱的快適性向上に寄与するかを評価する手法について、温冷感申告（TSV）と被験者近傍気温による快適温度（暑くも寒くもないと感じる気温）により評価する方法と、TSV を目的変数とし、被験者近傍の標準新有効温度（SET*）を説明変数とした単回帰式を作成した上で SET* の快適域により評価する方法を提示した。

本手法は技術開発者や事業者等がパッシブクーリング技術を導入した空間について実際に熱的快適性向上に寄与する程度の評価に利用することや、行政担当者が助成事業等の事後評価に利用することを想定している。また居住者は評価指標の基準値を利用して窓の開放や散水等を実施することで、冷房を極力使用しなくても快適なライフスタイルの改変に利用することを想定している。

○快適温度による評価

以下に示す通り快適温度を評価指標とし、散水の有無等の各パターンごとの快適温度の平均値を評価基準とする。

【評価指標】気温と温冷感申告結果に基づく快適温度の算出

6.4 に示した測定条件及び測定方法に則り、10 分間の平均気温と 7 段階評価尺度による温冷感申告（1（寒い）～7（暑い））に基づき快適温度を下式により算出する。温冷感申告値はばらつきがでるように測定時の屋内外温度域が 5℃以上となることが望ましい。なお、有効数字は小数点第一位までとする。

$$T_c = T + (4 - \text{TSV})/\alpha$$

【評価基準】散水有無別等の快適温度平均値 $\overline{T_c}$ の算出

算出した快適温度を散水の有無等のパターンごとにとりまとめ、快適温度の平均値 $\overline{T_c}$ を算出する。各パターンの延べ被験者数 n は 30 点以上を基本とする。有効数字は小数点第一位までとする。

$$\overline{T_c} = \sum_{n=1}^n T_{c,n}/n$$

T_c : 快適温度 (℃) T : 被験者近傍気温 (℃) TSV: 7 段階温冷感尺度 (-) α : 回帰係数 (=0.50)

$T_{c,n}$: 各被験者の快適温度 (℃) n : 各パターンの延べ被験者数

【評価手法】散水有無別の快適温度平均値を用いた判定

散水有と散水無の快適温度 $\overline{T_c}$ を評価基準として、中間期または夏季のいずれかで散水有が散水無よりも快適温度が 1.0℃以上高くなった場合に「熱的快適性向上効果有り」と判定する。

【評価例】

算出した各パターンごとの快適温度平均値を評価基準として、事業者や行政担当者等は散水による効果の有無を確認する。また居住者においては下図に示すような快適温度の基準値と屋外の温度をみながら、窓の開閉・散水有無の判断を実施することで冷房を極力使用しなくても快適に過ごせるライフスタイルの改変に利用する。

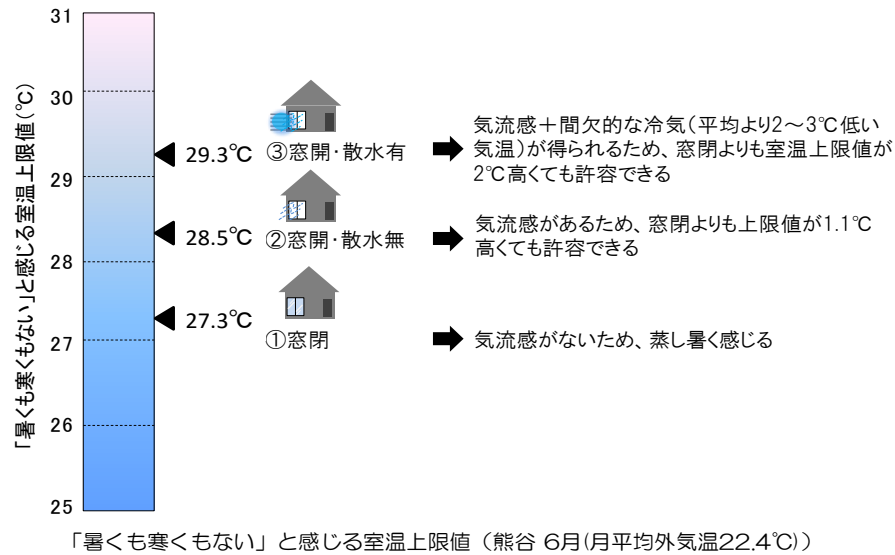


図 7-1-3 窓の開閉・散水有無別の快適温度算出結果例

今回の結果は一事例であり、同一のパッシブクーリング技術を用いた空間であっても季節や都市によって異なる結果が得られることから快適温度を算出した際には「都市名・測定月名・月平均外気温」を明示するようにする。また快適温度の評価基準を作成する際には統計的に必要な被験者数や温冷感申告結果の裏付けとなる温熱生理測定も同時に行うことが望まれる。

○温冷感申告（TSV）と標準新有効温度（SET*）を用いた快適域による評価

以下に 7 段階尺度による温冷感申告（TSV）と標準新有効温度（SET*）を用いて散水の有無別等の各パターンごとの快適域を算出する方法を示す。

【評価指標】SET*及び TSV による単回帰式の作成

温冷感申告実施時における 10 分間平均値の SET* を以下のパラメータに基づき算出する。SET* の算出式は複雑であるためここには明記しないが、第 2 章 2.3 に記載したロジックに基づき算出する。また算出までの手順及び測定方法は第 6 章 6.4 に示す通りである。

SET* 算出に必要なパラメータ…気温(℃) 相対湿度(%) 風速(m/s) 平均放射温度(℃)
着衣量(-) 代謝量(-)

そして算出した SET* と TSV の関係をパターンごとにとりまとめ、表計算ソフト等を用いて SET* を説明変数とし、TSV を目的変数とした単回帰式を下式のように作成する。各パターンの延べ被験者数は 30 点以上を基本とする。ここで a, b は単回帰式の係数である。

$$TSV = aSET^* + b$$

【評価基準】窓の開閉別・散水有無別 SET* 快適域（TSV=3～TSV=5）の算出

作成した各パターンの単回帰式に基づき、TSV の「やや涼しい～やや暖かい」に相当する TSV=3 及び TSV=5 の SET* を下式の通り算出する。本数値が SET* による快適域の上下限界を示しており、各パターンごとに算出することで快適域の拡大の有無を明らかにすることができる。

$$SET^* = (3 - b)/a \quad \dots (TSV=3(\text{やや涼しい}))$$

$$SET^* = (5 - b)/a \quad \dots (TSV=5(\text{やや暖かい}))$$

TSV: 7 段階温冷感尺度(-) SET*: 標準新有効温度(℃) a, b: 回帰式の係数

【評価手法】

散水有と散水無の快適域の上下限界を評価基準として、中間期または夏季のいずれかで SET* が 0.5℃ 以上高くなった場合に散水による「熱的快適性向上効果有り」と判定する。

【評価例】

散水有と散水無の快適域を評価基準として、事業者や行政担当者等は散水による効果の有無を確認することが可能である。また居住者においては下図に示すような体感温度の基準値をみながら、窓の開閉・散水有無の判断を実施することで、冷房を極力使用しなくても快適に過ごせるライフスタイルの改変に利用可能である。

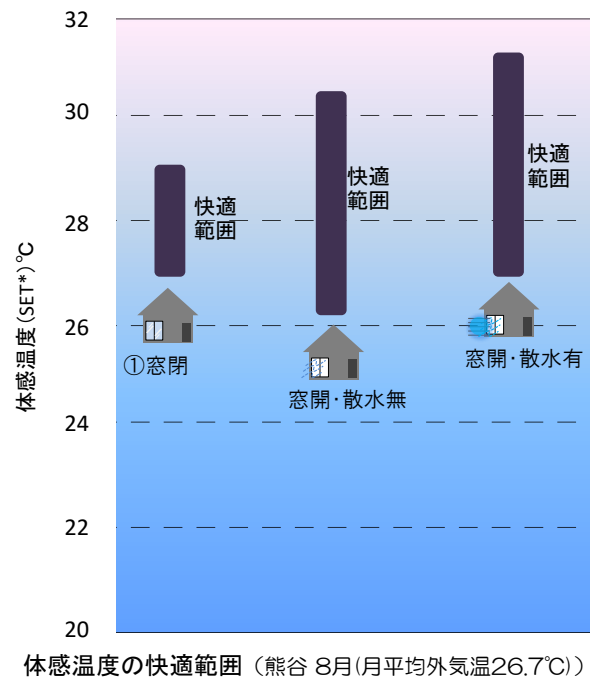


図 7-1-4 窓の開閉・散水有無別の SET*算出結果例

この結果は快適温度と同様に一事例であり、同じパッシブクーリング技術を用いた空間であっても季節や都市によって異なる結果が得られることから「都市名・測定月名・月平均外気温」を明示するようにする。また快適温度と同様に評価基準を作成する際には統計的に必要な被験者数や温冷感申告結果の裏付けとなる温熱生理測定も同時に行うことが望まれる。

③CO₂排出量及び熱的満足感の評価

前述の NEB 評価指標を明らかにするとともに、以下のような手法でパッシブクーリング技術を利用した空間による CO₂排出量の削減効果及び熱的な満足感の評価を実施する。CO₂排出量の削減効果は設計段階では開発技術者や設計者が 6.5 に示すような数値解析を用いて事前評価を行い、居住後段階では測定結果により事後評価に用いる。また熱的な満足感は事業者等が居住後段階で評価を実施することで事後評価に用いる。また行政担当者は事前・事後評価結果に基づき助成等の実施や事後評価検証を実施する。

○CO₂排出量による評価

6.5 に示した数値解析結果に基づき冷房負荷を算出した上で、使用を想定するエアコン機器の性能や散水時間に基づく上水の使用量を算出した結果より CO₂ 排出量を算出する。

【評価指標】

$$X = \frac{H}{COP} \times \eta + W \times \beta$$

X: CO₂ 排出量[kg-CO₂/year] H: 冷房負荷[kWh/year] COP: 家庭用エアコン機器成績係数[-]
η: 電力 CO₂ 排出係数[kg-CO₂/kWh] W: 上水使用量[m³/year] β: 上水 CO₂ 排出係数[kg-CO₂/m³]

【評価基準】

パッシブクーリング技術の導入前後の CO₂ 排出量を基準として評価する。

【評価手法】

パッシブクーリング技術の導入前と導入後の CO₂ 排出量を比較し、CO₂ 排出量の削減量を評価する。

【評価例】

右図の例では、散水によって冷房時間が削減されたことで冷房用電力が減少し、CO₂ 排出量が削減されている。また散水による CO₂ 排出量増加分もわずかであり、全体としてみた場合でも CO₂ 排出量は削減される。

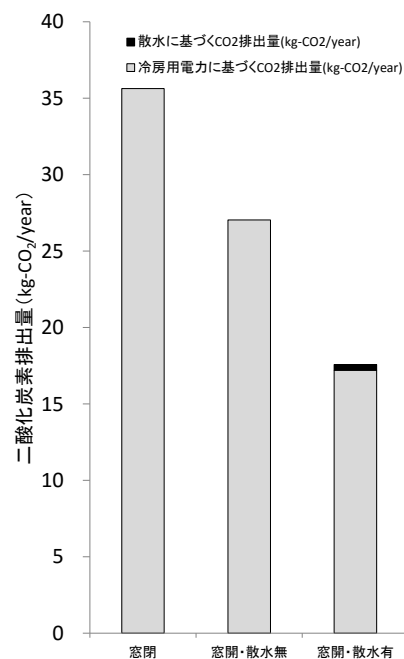


図 7-1-5 二酸化炭素排出量算出結果例

○熱的快適性と熱的満足感・総合的満足感の関係性の把握

パッシブクーリング技術を導入した空間について、居住者等の利用者が熱的な満足感とともに総合的な満足感も得られているかどうかも重要である。そこで事業者や開発者等が事後評価として、居住者アンケートを夏季終了後早い時期に実施することで、満足感が得られているかを確認する。また行政担当者等は助成等による効果を事後評価として確認する。

【評価例】

埼玉県熊谷市にある住宅地を調査した事例においては、居住者アンケートを夏季終了後早い時期に実施した結果から、図 7-1-6 に示すようにパッシブクーリング技術を用いた空間の熱的快適性と熱的満足感、また図 7-1-7 に示すように熱的満足感と総合的な満足感の間に関係性が見られ、熱的快適性の向上が居住生活における満足感の向上にも寄与することが明らかになった。他の事例においてもこのような結果を居住後のアンケート調査において得ることができれば、導入したパッシブクーリング技術を用いた空間は居住者の満足感向上にも寄与する技術であると評価できる。

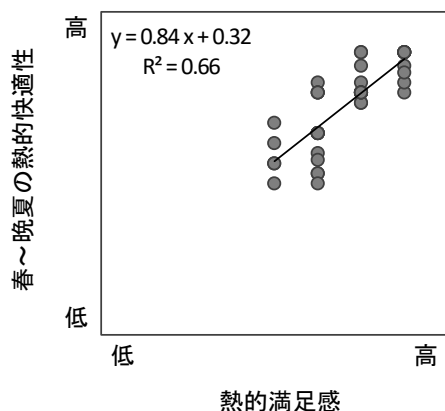


図 7-1-6 熱的快適性と熱的満足感の関係

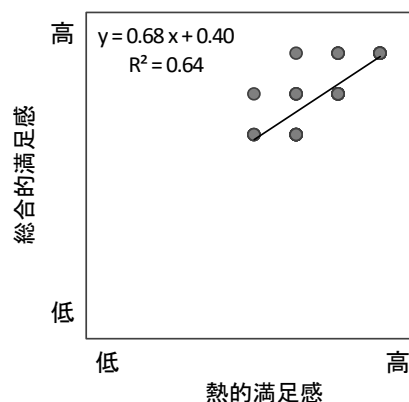


図 7-1-7 熱的満足感と総合的満足感の関係

20.2. まとめ

本業務は、新たな低炭素ライフスタイルを提案し普及していくため、エネルギー消費量のような従来の指標に加え、地域の生活様式・気候の特性等を踏まえ先人の知恵や伝統技術等も活かした生活の豊かさに着目した NEB (Non-energy-benefit) 評価指標の確立を目的とするものである。具体的には、“「涼」を呼ぶまちづくり” をテーマとしたゼロエネルギー住宅街区において、パッシブクーリング技術の導入・利用によるライフスタイルの変化と環境効果の評価を行った。

第 1 章では、屋外熱環境の悪化によって空調用エネルギー消費量が増大すると同時に居住者の快適性や健康性が阻害されている中で、夏季における水の蒸発冷却を利用したパッシブクーリング技術が近年注目され、ミストや保水性舗装、壁体などの等様々な種類のものがみられるようになっていることを示した。その上で、設置空間や利用（散水）方法によって異なる冷却効果や、その効果を享受することによって得られる快適感や満足感に関する評価方法が確立されておらず、省エネルギー効果や NEB について十分にとりまとめられていないことを指摘した。

第 2 章では、パッシブクーリング技術の導入・利用によって得られる NEB を体系的に整理した上で、本業務で取り扱う NEB の範囲を提示した。そして新たに提示する指標として、①パッシブクーリング技術を利用した空間において涼風の形成程度を表すための指標②パッシブクーリング技術を導入した空間における熱的快適性の向上程度を明らかにする NEB 評価指標③熱的快適性向上の結果としてもたらされるライフスタイルに関する指標④居住者の満足感に関する指標の 4 つを対象にすることを示し、このうち②と④を NEB の評価指標として明らかにすることとした。

第 3 章では、第 2 章で提示した各指標の有効性を明らかにするために実施した温熱環境調査、入居者アンケート調査、エネルギー消費量計測結果の概要を示し、温熱環境測定結果から間欠的な冷気が得られる空間の基準として、流入気温に対して気温差 1℃以上、気温の乱れが 1%以上となる空間と定義した。また入居者アンケート結果から熱的満足感と総合的な満足感に相関があることを示した。さらに入居者アンケート結果では、屋外のパッシブクーリング技術に加え、屋内のトップライトやシーリングファンなどの排熱通風を促す技術に対する熱的満足感の評価が高かったことから、屋内外の手法を組み合わせた利用を推奨することにより、今後さらに居住者の熱的快適性と熱的満足感を高めることができるものと期待される。空調（冷房）用エネルギー消費量計測結果からは、消費量に 3 倍程度の差があることを示し、その要因の一つとして冷房の利用頻度が高まる冷房開始外気温度に 3℃程度の差がみられることを明らかにした。

第4章では、昨年度の結果を踏まえて NEB 評価指標を季節別・屋内外別に新たにとりまとめ、快適温度が散水の有無によって約 1℃高くなることを示した。また SET*の快適域も散水の有無によって上下限值が 1℃程度高くなることを示した。これらの結果を踏まえて、第3章で提示した平均外気温が 1℃低下することと合わせて、散水をしない場合と比較して現状よりも 2℃高い温度で冷房を開始すると、冷房時間が約 30%削減される可能性があることを数値解析により示した。また屋外滞在可能時間については、6.9%増加する可能性を示した。またこれらの結果について既往研究との比較を行い、効果の妥当性を示すとともに今後の NEB 評価指標の改良可能性として人間の温熱心理・生理の両面からも調査を行い、温熱心理による調査結果を実証していく方法を示した。

第5章では、第4章で示した冷房時間の削減に寄与する散水を実施する場合の最適な気象条件について整理を行った上で、散水により冷房時間が削減されることで得られる CO₂ 排出量削減分と散水による CO₂ 排出量増加分を合計した場合、冷房時間削減分の方が大きく約 27%CO₂ 排出量が削減される可能性があることを示した。

第6章ではパッシブクーリング技術の普及に向けたロードマップを作成するとともに、パッシブクーリング技術による NEB を得るためには、居住者の効果的な利用が不可欠であることから、HEMS 等によるパッシブクーリング技術の利用促進・事後評価手法に関する課題について整理した。そして、構築した各評価指標及び評価手法と涼風が形成されるパッシブクーリング空間の EB 効果を各地域、各建物で数値解析により定量的に示す方法を解説資料としてとりまとめた。

以上より、一定規模以上の涼風が形成されるパッシブクーリング技術を導入した空間には熱的快適性の向上、CO₂ 排出量削減効果があり、居住者の満足度も総じて高いことが明らかとなった。また居住者の熱的快適性向上は健康性向上にも寄与すると考えられることから、パッシブクーリング技術の普及は行政・社会、事業者、市民といった各ステークホルダーに広範な NEB をもたらすものである。

「資料編」

1.入居者アンケート用紙

エムスマートシティ熊谷 ご入居者さまアンケート

このアンケートは、当住宅に住まわれる 20 歳以上の成人の方全員にご依頼しております。ご家族の中に複数居られる場合は、お手数ですが本アンケート用紙をコピーの上、各人 1 部ずつご記入頂けますようお願い申し上げます。

① ご記入者の基本情報

- ・性別（男・女）
- ・年代（20 代、30 代、40 代、50 代、60 代、70 代、80 代以上）
- ・家族人数（大人（20 歳以上）____ 人、子供（6 歳以上）____ 人、乳幼児（6 歳未満）____ 人）
- ・転居前居住形態（戸建住宅、アパート、マンション、その他_____）
- ・転居前居住地域（熊谷市内、埼玉県内、埼玉県外、差支えなければ市町村名：_____）

② 当住宅地の選択理由

➤ 当住宅地を選んで頂いた理由として、いいと思った項目のうち、1 番目：◎、2 番目：○、をそれぞれ 1 つずつ数字に付けて下さい。

またその他いいと思った項目に△を付けて下さい（複数回答可）。

※（）内は補足説明として、具体的な部品名等を記載しています。

1. 駅からの距離、 2. 価格、 3. 補助金（熊谷市 ZEH^{*}、省 CO2 先導事業）、 4. 住宅メーカー、 5. 耐震性、 6. 住宅地の説明方法、 7. メディア等の掲載内容、 8. 敷地、 9. 間取り、 10. まちなみ、 11. まちのコンセプト（むすぶ、ひらく、はぐくむ、涼を呼ぶまちづくり）、 12. 省エネ技術（建物の断熱性、樹脂サッシ）、 13. 創エネ技術（太陽電池、燃料電池エネファーム）、 14. 涼を呼ぶまちの取り組み（樹木の多さ、クールルーパー、保水性舗装、散水システム）、 15. 涼風制御システム（トップライト、シーリングファン）、 16. 通風計画（2 方向開口、らんま^{**}）、 17. HEMS^{***}（enecoco サービス）、 18. まちの気象台、
19. その他 _____

* ZEH:ゼロエネルギーハウスの略。高断熱性能、高性能設備機器と制御機構等を組み合わせ、住宅の年間の1次エネルギー消費量が正味（ネット）で概ねゼロとなる住宅。

** らんま：換気、排熱を目的として部屋と廊下との境目に設けられた建具（ドアの上の開口部）。

*** HEMS：ホームエネルギーマネジメントシステムの略。太陽光発電量、売電・買電の状況、電力使用量、電力料金などを一元管理する仕組み。

③満足感

➤当住宅地に住まうことについて、現時点での満足感として合うものに○をつけて下さい。



④当住宅地における「涼を呼ぶまちづくり」の取り組みに対する感想

➤当住宅地では、涼を呼ぶまちづくりとして街区および住宅内外にパッシブクーリング手法（自然エネルギーを活用して涼しさを得る手法）を取り入れています。下記の項目のうち、効果を期待するものに○を付けて下さい。（複数回答可）

・公園および街区全体

1.夏季主風向を考慮した街区計画、 2.サクラの既存樹の保全、 3.公園の足水、 4.公園の井水を使った打ち水システム、 5.日射反射率を高めた街道路路、 6.宅地形状と住宅の配置、

7.まちの气象台からのアドバイス

・住宅の外構・造園

1.宅地内の中高木、 2.生垣、 3.低木や芝生、 3.クールルーバー、 4.保水性舗装（アプローチ部分）、 5.保水性舗装（駐車場部分）、 6.保水性舗装用散水システム、 7.樹木用ミスト

・住宅内部

1.断熱性・気密性、 2.間取り、 3.通風、 4.日射遮蔽、 5.樹脂サッシ+Low-E ガラス、 6.トップライト（天窓）、 7.シーリングファン、 8.涼風制御システム*（自動判断機能）

*涼風制御システム:住宅内外および住宅内部の上下温度差から判断して、自動でトップライト、シーリングファン、エアコンが作動するシステムのこと

⑤夏、涼しく住まうために実際にやってみたい／やってみたいと思うこと

➤戸別に導入可能なパッシブクーリング手法のうち、実際にやってみたいと思うこと。次ページへ ➤
か？やってみたいと思うことに○、やってみたいと思うものに×、わからないものに△を
付けて下さい。(全回答)

[○×△]

- _____ 1. 窓開けによる自然風の取り込み
- _____ 2. 涼風制御システム(自動判断機能)の稼働
- _____ 3. トップライトの開閉(涼風制御システムではなく、自己判断による)
- _____ 4. シーリングファンの稼働(涼風制御システムではなく、自己判断による)
- _____ 5. 保水性舗装用散水システムを使った散水(ダイヤル式タイマー制御)
- _____ 6. 樹木用ミストシステムを使った散水(ダイヤル式タイマー制御)
- _____ 7. 散水ホースによる打ち水(手動)
- _____ 8. 雨水タンクの水を使った打ち水
- _____ 9. 庭木のお手入れ(植木の追加植栽、剪定、殺虫等)
- _____ 10. ガーデニング(草花の植栽等)
- _____ 11. つる植物等による緑のカーテンの育成
- _____ 12. すだれ、日除けネット等の設置
- _____ 13. クールルーパーへの散水
- _____ 14. まちの気象台からのアドバイスを実施
- _____ 15. その他 _____

上記のうち、特にやってみたいと思う項目とその理由：

上記のうち、特にやってみたいと思う項目とその理由：

⑥転居前住居で行っていたこと

➤当住宅地に転居する前(直前)のお住まいにおける、住まい方についてお伺いします。

時期は夏(7月～9月)を対象とし、居室に関する項目についてはリビング(もしくはリビング

ングを含む間仕切りがない空間) について該当するものに○を付けて下さい。

・ **エアコンの利用頻度**

1.毎日エアコンをつける、 2.決まった時間帯にエアコンをつける、 3.暑いと感じた時だけエアコンをつける、 4.エアコンはほとんどつけない、 5.その他 _____

・ **窓の開閉**

1.一日中開けている、 2.主に在宅時・起床時に開ける、 3.主に夜間就寝中に開ける、
4.外出中も開けておく窓がある(小窓含む)、 5.夏の間はほとんど開けない、 6.通年ほとんど開けない、 7.その他 _____

・ **窓前の日除け対策等**

1.緑のカーテンをつけていた、 2.日除けネットをつけていた、 3.すだれを付けていた、
4.雨戸・シャッターをおろしていた、 5.カーテンを閉めたままにしていた
6.その他 _____

・ **庭木やバルコニーのプランター等への散水**(無い場合は無記入)

1.毎日散水していた、 2.週3日以上散水していた、 3.自然の降雨に任せていた
4.植栽以外の場所にも散水(打ち水)していた、 5.午前中の散水が多かった、 6.午後
～夕方の散水が多かった、 7.その他 _____

・ **庭もしくは住宅周りですること**

1.子供が遊ぶ、 2.子供と遊ぶ、 3.お茶、ランチなどの飲食、 4.読書、 5.日光浴、
6.昼寝、 7.庭木の手入れ、 8.ガーデニング、 9.日曜大工、 10.洗車、 11.トレー
ニング、 12.夕涼み、 13.その他 _____

アンケートは以上です。ご協力ありがとうございました。

(株)ミサワホーム総合研究所

自由記入内容

⑤夏、涼しく住まうために実際にやってみたい／やってみたいと思うこと

特にやってみたい		特にやってみたいくない	
項目	理由	項目	理由
1	風向等考えられて作られた街なみ・建物なのでそれらを有効に活用したい。また、窓の位置も隣の家とのバランス等考えられて作られていて、視線を気にせず思いきり開けられるところが良いと思う	5	水道代が気になるため。わざわざ外に出てダイヤルを回すのが面倒。夏はエアコンがあれば十分
1	涼風になるか	6	水道代がかかると思うから
1	お金もかからず簡単にできるから	7	散水システムで自動でやりたい
1	クーラー無しでも涼しく過ごしたい	7	雨水タンクの打ち水で十分
1	涼を呼ぶまちの取り組みとしてエアコン無しでもやっていけるか興味があるため	7	大変そうで水道代も心配
1	一番エコで実用的であるため	11	虫が発生したら嫌
2	部屋の中の温度がどのくらい快適になるか	12	景観が悪い(ミサワに合わない)
4	より空気の循環が良くなりそうだから	14	日中、家を空けることが多く、頻繁に行うことができない
4	少し使ってみて良かった		
7	楽しそうだから		
8	楽しそうだから		
10	涼が得られるか不明だが興味があるため		
11	効果がありそうだから		
13	風通しが良さそうなので効果を実感してみたい		

項目

①窓開け	⑧雨水タンク打ち水
②涼風制御システム	⑨庭木のお手入れ
③トップライト開閉	⑩ガーデニング
④シーリングファン	⑪緑のカーテン育成

⑤保水性舗装用散水システム	⑫すだれ、日除けネット
⑥樹木用ミスト	⑬クールルーバー
⑦散水ホース打ち水	⑭まちの气象台アドバイス

2.夏の住まい方アンケート調査票

エムスマートシティ熊谷 ご入居者さまアンケート

このアンケートは、当住宅に住まわれる20歳以上の成人の方全員にご依頼しております。
ご家族の中に複数居られる場合は、お手数ですが本アンケート用紙をコピーの上、各人1部ずつご記入頂きますようお願い申し上げます。

② ご記入者の基本情報

- ・性別（男・女）
- ・年代（20代、30代、40代、50代、60代、70代、80代以上）
- ・2015年4月～8月の平均在宅時間（平日：約____時間、休日：約____時間）

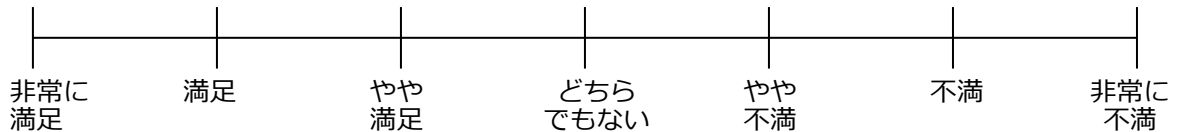
③ この夏の屋内・屋外環境の快適性

➤この春（4月～5月）、初夏（6月～7月上旬）、盛夏（7月中旬～8月下旬）の間の屋内・屋外環境の快適性について、主に暑さ・寒さの感覚として合うものに○をつけてください。

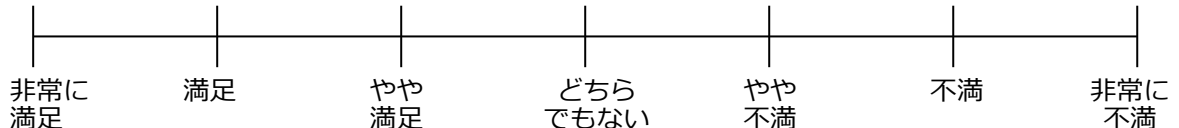
- ・春（4月上旬～5月下旬）



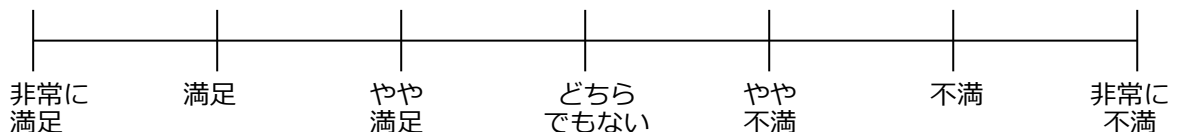
- ・初夏（6月上旬～7月上旬）



- ・盛夏（7月中旬～8月下旬）



- ・晩夏（9月上旬～9月下旬）



③ 当住宅地における「涼を呼ぶまちづくり」の取り組みに対する感想

「涼を呼ぶまちづくり」として街区および住宅内外にパッシブクーリング手法（自然エネルギーを活用して涼しさを得る手法）を取り入れています。下記の項目のうち、左の欄に 1 度でも利用／実施したものに○を付けてください。また右の欄に、涼しくなる効果が感じられたものについて○を付けてください（複数回答可）。

		利用／実施したもの	涼しさを感じられたもの
公園・街区全体	1. 東からの風		
	2. 公園を抜けてくる風		
	3. 公園の足水		
	4. 公園の井水を使った打ち水システム		
	5. 日射反射率を高めた街区道路の表面温度低下		
	6. まちの気象台からのアドバイスに従った行動		
住宅の外構・造園	1. 宅地内の中高木による木陰や涼風の生成・効果		
	2. 生垣による木陰や涼風の生成		
	3. 低木や芝生による表面温度低減		
	4. クールルーパーによる日射遮蔽		
	5. クールルーパーへの散水による涼風の生成		
	6. 保水性舗装（アプローチ部分、駐車場部分）への打ち水（手動）		
	7. 保水性舗装（アプローチ部分、駐車場部分）・樹木への散水システム（ミストスプレー）		
住宅内部	1. 住宅の断熱性・気密性の高さ		
	2. バルコニーなどによる日射遮蔽		
	3. 樹脂サッシ+Low-E ガラスによる遮熱・断熱		
	4. トップライト（天窗）による排熱		
	5. シーリングファンによる排熱促進		
	6. 涼風制御システム*（自動判断機能）		
	7. 窓開放による風の取り込み		

*涼風制御システム:住宅内外および住宅内部の上下温度差から判断して、自動でトップライト、シーリングファン、エアコンが作動するシステムのこと

④ その他の取組み・効果

➤質問項目以外に、独自に実施された取組みがあったら教えてください。(自由回答)

例:シャッターを閉めていた、高低差を意識して開ける窓を選んでいた、除湿器を使用した等

⑤ 窓の開閉について

➤この春、初夏、盛夏の窓の開放状況について、各季節合うものに1つずつ○をつけてください。

・春(4月～5月)

- 1.ほとんど開けている、 2.主に在宅時・起床時に開ける、 3.主に夜間就寝中に開ける、
- 4.外出中も開けておく窓がある(小窓含む)、 5.春の間はほとんど開けない、

・初夏(6月～7月上旬)

- 1.ほとんど開けている、 2.主に在宅時・起床時に開ける、 3.主に夜間就寝中に開ける、
- 4.外出中も開けておく窓がある(小窓含む)、 5.初夏の間はほとんど開けない、

・盛夏(7月中旬～8月下旬)

- 1.ほとんど開けている、 2.主に在宅時・起床時に開ける、 3.主に夜間就寝中に開ける、
- 4.外出中も開けておく窓がある(小窓含む)、 5.盛夏の間はほとんど開けない、

⑥ 屋外での過ごし方について

➤植栽や保水性舗装への散水頻度について、合てはまるものに○をつけてください。(複数回答可)

- 1.毎日散水した、 2.週3日程度散水した、 3.自然の降雨に任せた
- 4.植栽のみに散水した、 5.植栽以外にも散水(打ち水)した
- 5.午前中の散水が多かった、 6.午後～夕方の散水が多かった、 7.その他_____

➤庭もしくは住宅周りですることについて、合てはまるものに○をつけてください。

- 1.子供が遊ぶ、 2.子供と遊ぶ、 3.お茶、ランチなどの飲食、 4.読書、 5.日光浴、
- 6.昼寝、 7.庭木の手入れ(剪定・殺虫など)、 8.ガーデニング(草花の植栽など)、
- 9.日曜大工、 10.洗車、 11.トレーニング、 12.夕涼み、 13.その他_____

➤従前の生活に比べ、当住宅地への転居後、庭やテラス、公園など、屋外で過ごす時間は変わりましたか？

1. 増えた、 2. 少し増えた、 3. 変わらない、 4. 少し減った、 5. 減った

⑦ まちの气象台「SORA-MOYO」について

➤まちの气象台「SORA-MOYO」のホームページおよび生活アドバイスを利用していますか？

該当するものに○を付けてください。

これまでのホームページの総閲覧回数

(なし 、 1回 、 10回未満 、 10回以上 、 定期的に)

生活アドバイスの登録

(はい 、 いいえ)

生活アドバイスの利用

(なし 、 1回 、 10回未満 、 10回以上 、 定期的に)

⑧ 冷房機器の設置状況

既設のリビング／ダイニング、主寝室以外に追加したエアコン、扇風機などの冷房機器がありましたらご記入ください。

・リビング／ダイニング (エアコン、 扇風機、 日除け、 その他)

・和室 (エアコン、 扇風機、 日除け、 その他)

・キッチン (エアコン、 扇風機、 日除け、 その他)

・主寝室 (エアコン、 扇風機、 日除け、 その他)

・子供部屋 (エアコン、 扇風機、 日除け、 その他)

・その他居室 （ エアコン、 扇風機、 日除け、 その他 ）

⑨ 各居室のエアコン使用状況

エアコンが付いている居室について、使用期間、頻度、時間帯についてご記入ください。

エアコンが付いていない居室もしくはほとんど使わない場合には空欄としてください。

	使用期間 開始時期～終了時期	使用頻度 1 週間内の使用日数	使用時間帯 開始時間～終了時間
リビング/ダイニング	月 旬～ 月 旬	日	: ~ : : ~ :
和室	月 旬～ 月 旬	日	: ~ : : ~ :
主寝室	月 旬～ 月 旬	日	: ~ : : ~ :
子供部屋	月 旬～ 月 旬	日	: ~ : : ~ :
その他居室	月 旬～ 月 旬	日	: ~ : : ~ :

エアコンの設定モードとして、概ね決まっている場合はご記入ください。

都度異なる場合は、使用方法をご記入ください。

	設定モード/温度
リビング/ダイニング	
和室	
キッチン	
主寝室	
子供部屋	
その他居室	

⑩ エアコン使用時の快適性・満足感

➤ エアコンの利用に対する満足感として合うものに○をつけてください。

非常に満足	満足	やや満足	どちらでもない	やや不満	不満	非常に不満
-------	----	------	---------	------	----	-------

⑪ 当住宅地に対する満足感

・ 当住宅地に住まうことについて、現時点での満足感として合うものに○をつけてください。

非常に満足	満足	やや満足	どちらでもない	やや不満	不満	非常に不満
-------	----	------	---------	------	----	-------

アンケートは以上です。ご協力ありがとうございました。

(株)ミサワホーム総合研究所

3.温冷感アンケート調査票

屋内外の快適性アンケートへのご協力をお願い

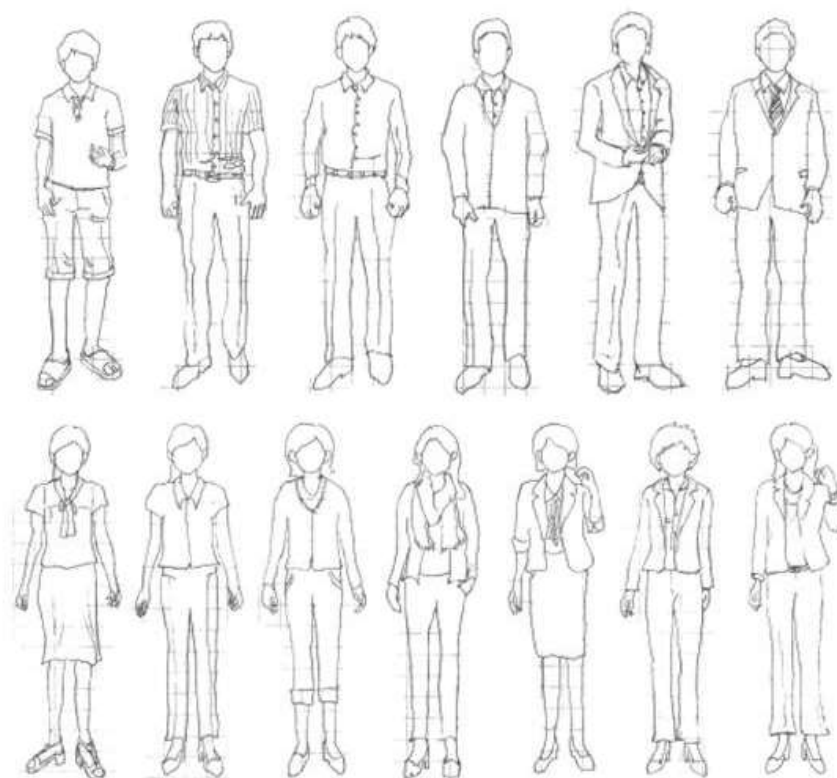
現在、エムスマートシティ熊谷における屋内外空間の温熱環境快適性に関するアンケート調査を実施しております。お手数をおかけしますが、**5分間着座の状態**にて下記アンケートへの記入にご協力くださいますよう、宜しくお願い致します。また皆様から頂いた情報は、全て統計分析を行った状態で利用されます。

•あてはまるものに○をしてください。

年齢: 10代 20代 30代 40代 50代 60代

性別: 男 女

•回答時の服装に最も近いものを下図よりお選びください。



1. 回答日時についてご記入ください。

()月()日 時 分から5分間

2. 回答場所を下記よりお選びください。

和室 集会室 PCルーバー前 ベンチ

3. 今、あなたは「暑さ寒さ」をどのように感じていますか？（○をしてください。）

寒い 涼しい やや涼しい 暑くも寒くもない やや暖かい 暖かい 暑い

4. 今、あなたは「暑さ寒さ」をどのようにして欲しいですか？（○をしてください。）

もっと暖かく 少し暖かく このままで良い 少し涼しく もっと涼しく

5. 今、あなたは「暑さ寒さ」を許容できますか？（○をしてください。）

許容できる 許容できない

6. 今、あなたは気流を感じますか？（○をしてください。）

感じない やや感じる 感じる 非常に感じる

7. 今、あなたはこの場所の「湿度」をどのように感じていますか？（○をしてください。）

非常に乾いている 乾いている やや乾いている どちらでもない やや湿っている 湿っている 非常に湿っている

8. 今、あなたはこの場所の「湿度」をどのようにして欲しいですか？（○をしてください。）

もっと加湿して欲しい 少し加湿して欲しい このままで良い 少し除湿して欲しい 除湿して欲しい

9. 今、あなたは総合的にこの場所でどのように感じていますか？（○をしてください。）

非常に不快 不快 やや不快 どちらでもない やや快適 快適 非常に快適

10. 今、あなたは総合的にこの場所に満足していますか？（○をしてください。）

非常に不満 不満 やや不満 どちらでもない やや満足 満足 非常に満足

11. 自由記入欄（この場所等についてコメント等あれば自由に記入してください。）

()

『涼』を呼ぶパッシブクーリング技術活用等による
ライフスタイルと満足感に関する効果の検証

平成 28 年 3 月

株式会社ミサワホーム総合研究所



この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針
における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印
刷用の紙へのリサイクルに適した材料〔Aランク〕
のみを用いて作製しています。

『涼』を呼ぶ。パッシブクーリング技術活用等によるライフスタイルと満足感に関する効果の検証

平成28年3月

(株)ミサワホーム総合研究

