

バイオフィリックデザイン要素としての自然換気と室内緑化が 居住者の快適性と知的生産性に及ぼす影響

Impact of Natural Ventilation and Indoor Greenery as Biophilic Design Elements
on Occupants' Comfort and Workplace Productivity

大阪大学 先導的学際研究機構

The University of Osaka, Institute for Open and Transdisciplinary Research Initiatives

山中 俊夫

Toshio Yamanaka

キーワード：被験者実験（Subject Experiment）、伝統的町家（Traditional Town House）、RC 造集合住宅（RC-constructed Apartment Buildings）、事務室（Office Room）、心理生理反応（Psychophysiological Response）

1. はじめに

近年、居住者の快適性と健康を維持、向上させるために、自然的要素である植物や自然素材、自然光などをデザイン要素として活用するいわゆる「バイオフィリックデザイン」がオフィスなどに取り入れられる例が多く見られている。

本稿では、我が国の伝統的住宅や現代的住宅をはじめ、オフィスなどの作業空間において側窓による自然換気や室内緑化によって得られる自然環境要素が居住者の快適性や知的生産性にどのような影響を与えるのかについて、被験者を用いて行った実験の例を紹介し、今後のバイオフィリックデザインのあり方について考える。

2. 伝統的町家及び RC 造集合住宅（社員寮）における自然換気時の在室者の快適性と知的生産性

2.1 被験者実験の概要と環境特性

外部風や温度差による浮力を利用した換気技術はいわゆる自然換気と呼ばれ、我が国の建築、とくに住宅の環境制御にとってきわめて重要な手法であった。そのことから建築学や建築環境工学では古くから数多くの研究が行われてきた。また 1990 年代から省エネルギーのための技術として着目され事務所建築でも自然換気が導入されるようになったが、近年特に欧州で **Ventilative Cooling** として活用されるに至っている。一方、近年建築の評価軸としてウェルネスが取り入れられたこともあり、バイオフィリアの考え方に立脚したバイオフィリックデザインが注目されるようになった。そのような流れのなかで室内緑化がオフィス等で取り入れられるようになったが、室内緑化に加えて、窓等の開口部を通した自然換気、いわゆる通風は室外の自然的要素を取り入れる重要な環境制御手法であると考えられる。ゆえに、本章では伝統的町家で重要文化財「適塾」（大阪市中央区北浜）と RC 造集合住宅と見立てた某社員寮（大阪府吹田市山手町）を対象として、住宅構造の差異と自然換気の有無によって形成される室内環境の違いが在室者の快適性や知的生産性にどのような影響を与えるのか、被験者を用いた実験によって明らかにすることを試みた結果について紹介する。

実験期間は 2022 年 10 月 24 日から 11 月 24 日の一ヶ月間で、対象とする建物の平面図と実験風景の写真を図 1 及び図 2 に示している。図 1 の町家は木造 2 階建てで 1845 年に移築された江戸時代の建築であり、中庭に面した書斎において実験を行った。実験時は常に障子・襖を適度に開放し、風通しと採光に配慮した。一方図 2 の RC 造社員寮は 5 階建てで、当時空き室だった南端の部屋を利用して実験を行った。なお、いずれの部屋も東側に窓を有している。

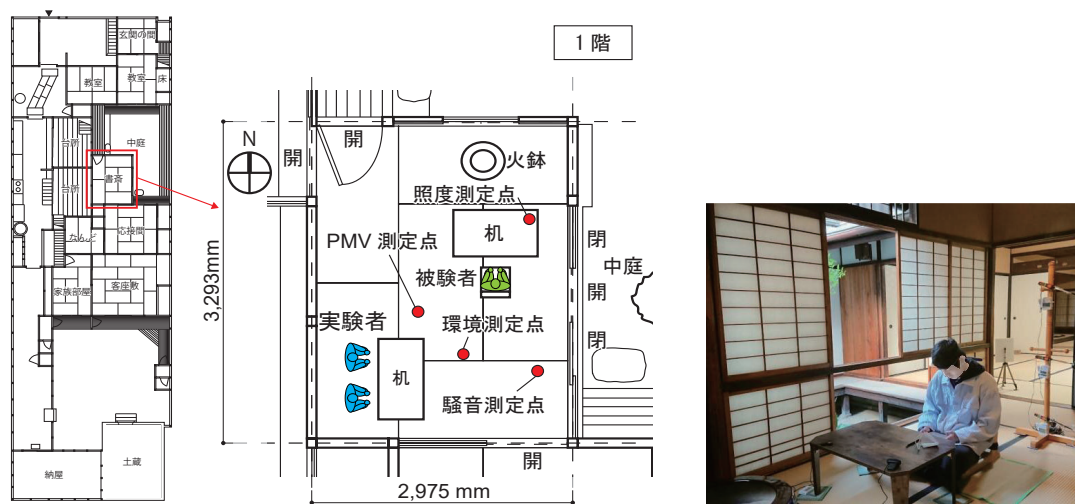


図1 伝統的町家（T）平面図と実験風景

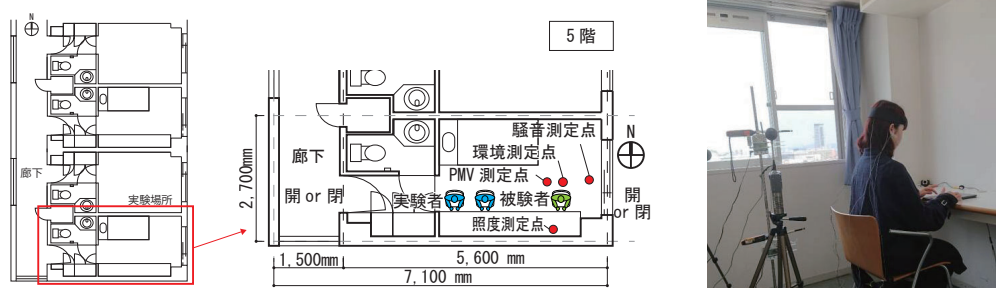


図2 集合住宅に見立てたRC造社員寮（A）住戸平面図

被験者は、大阪大学の学生で実験当時 21 歳～23 歳の 4 名（女性 3 名、男性 1 名）を適切な報酬を払って参加してもらった。脳波測定も行ったため、脳波の測定が問題なくできた被験者を採用した。

実験条件は表 1 に示す通り、町家で窓開放の 1 条件、社員寮（集合住宅）で窓開放と閉鎖の 2 条件の計 3 条件とし、それぞれの条件を「Top」、「Aop」、「Acl」として表した（表 1 参照）。実験は 1 人に対して Top を 4 回、Aop と Acl を 2 回ずつの計 8 回行ったが、同じ被験者に対しては同じ条件が連続しないように計画した。いずれの実験においても、在室者の環境要素（温湿度、照度、騒音レベル、風速、PMV）の測定を行い、生理量として脳波、心拍、胸部温度を測定した。

表 1 実験条件

実験条件	実験室	窓開閉	実験回数
Top	町家	開（自然換気）	4 回 / 人
Aop	集合住宅	開（自然換気）	2 回 / 人
Acl	集合住宅	閉	2 回 / 人

Top: 伝統的町家・窓全開
Aop: RC 造集合住宅（社員寮）・窓全開
Acl: RC 造集合住宅（社員寮）・窓閉

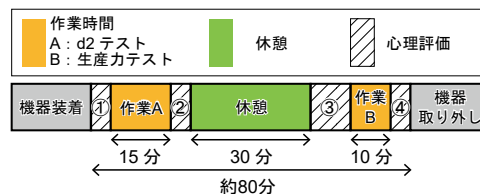


図3 実験スケジュール

1 名の被験者に対する 1 回の実験のスケジュールを図 3 に示す。図中の①から④では、アンケート形式で心理評価を行い、作業 A、B で知的生産性（d2 テスト、生産力テスト）の測定を行った。アンケート評価は、空間の環境特性 24 項目、空間の印象 10 項目、総合評価 6 項目、許容度 2 項目、重要度 3 項目で、7 段階或いは 4 段階のカテゴリー尺度と自由記述によって行った。

図 4 に、実験時における室内環境要因の経時変化（室内温度、相対湿度、風速、PMV、騒音レベル、照度）を示す。被験者によって実験の日時が異なることから、それぞれの実験条件におけるデータを示している。

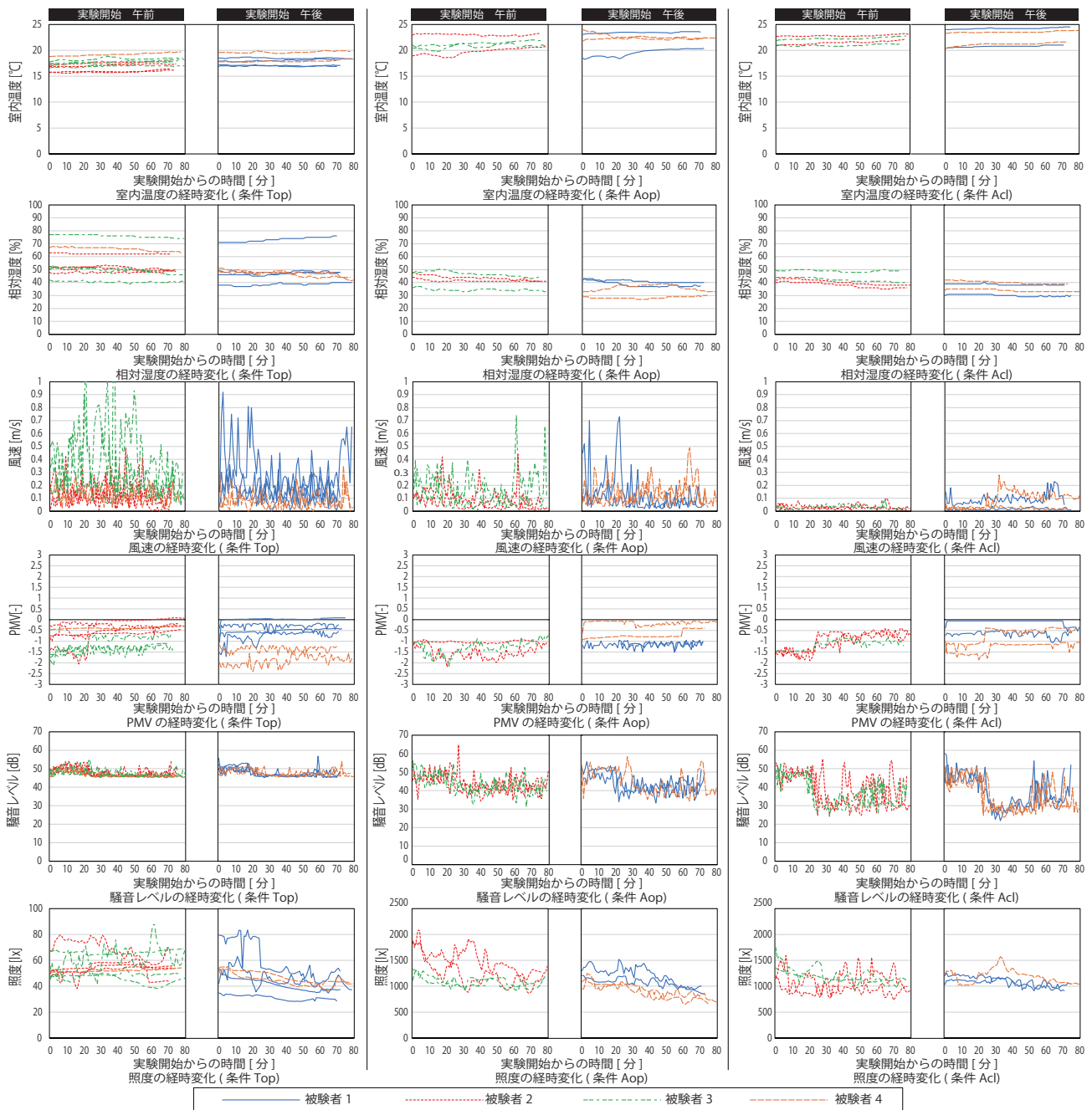


図 4 実験時室内環境要因の経時変化（室内温度、相対湿度、風速、PMV、騒音レベル、照度）

図 4 に見られる各環境要素の経時変化の特徴は以下の通りである。

- 温度： 実験中の変化は少ないが、Top では 20℃以下で Aop、Acl より低い。
- 相対湿度： Aop では何日か高湿度であるが、他は概ね 40～50%であった。
- 風速： 概して Aop より Top での風速が高く、変動も大きい。Acl では静穏である。
- PMV： Aop では幅があるが、全体的に-1.5～0 であり、やや寒い側の評価となっている。
- 騒音レベル： 都心に位置する町家の Top では暗騒音が大きい。Aop、Acl では概して低い。
- 照度： Top では 50～80 lx と低くこれは周辺の高層ビルの影響と思われる。Aop、Acl では 1000～2000lx と明るい、窓前が開けており、照明器具の効果と思われる。

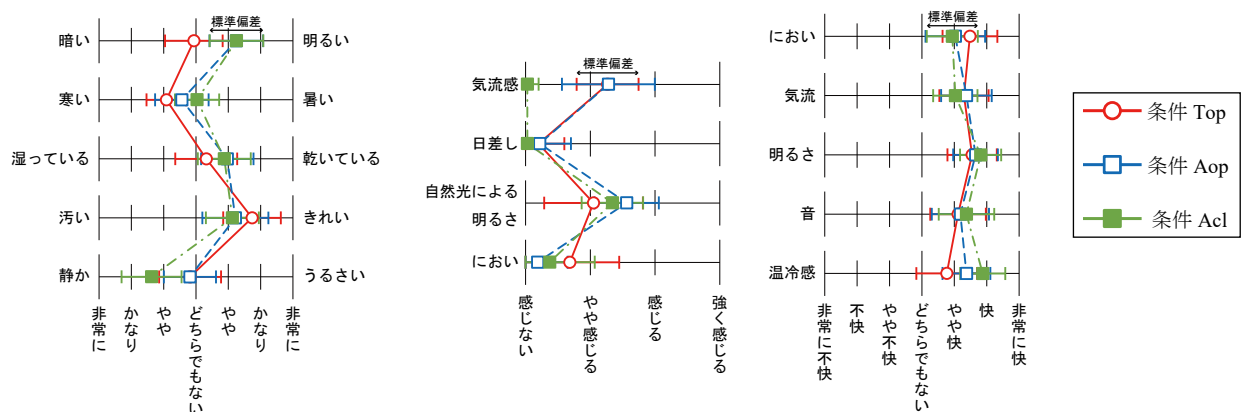
2.2 環境特性が快適性に及ぼす影響

各室内条件における環境特性の差異が在室者の快適性に及ぼす影響について検討を行うために、3 条件における在室者の心理評価アンケートの結果から代表的と思われる評価結果を以下の図 5、6 に

示す。

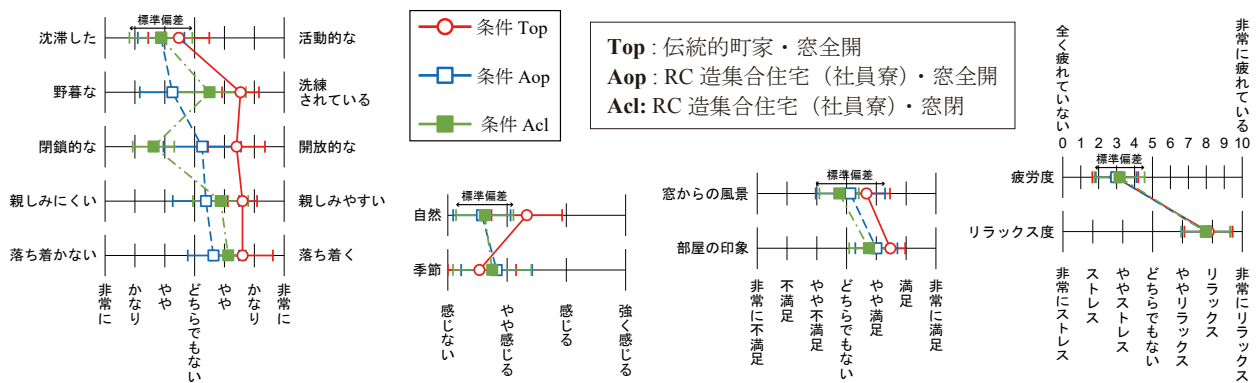
図 5 (a)より、Top では Aop、Acl と比較してやや暗く、より寒く湿っている側であるが、空気質に関しては「きれい」と評価されている。また、当然ながら、Acl では窓の閉鎖効果により静かな環境と言える。図 5 (b)より、いずれも日差しはなく、窓を開けると気流感はやや感じられ、自然光の明るさは A (集合住宅) の方が感じる傾向にある。Top ではにおいを感じる傾向がある。図 5 (c)から、いずれの条件でも快適と評価されており、Top での「におい」も不快なものではないことがわかる。

図 6 (a)の空間の印象評価では、活動性、審美性、開放性、親密性、滞在性のすべてにおいて、Top が高く、伝統的町家の持つ空間の印象が高評価であることを示している。図 6 (b)で Top での自然感が高く、図 6 (c)での窓からの風景と部屋の印象の満足感の高さと合わせて考えると、窓を開放したときの伝統的町家の快適性に室内と窓からの風景の印象が大きく関わっているものと考えることができよう。



(a) 主環境要素に対する評価 (b) その他の環境要素 (c) 各環境要素による快適感評価

図 5 環境に対する感覚評価と快不快感

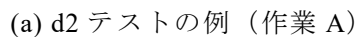


(a) 空間の印象評価 (b) 自然感と季節感 (c) 風景・部屋の満足度 (d) 現在の状態

図 6 様々な印象評価と疲労度・リラックス度

2.3 環境特性が知的生産性に及ぼす影響

本被験者実験では、アンケート評価に加えて作業時間を設け、図 7 に示す 2 種類の知的生産性テストを行っている。作業 A は d2 テスト²⁾と呼ばれるもので、集中力と反射神経の測定を意図しており、作業 B は生産力テスト³⁾と呼ばれるもので、拡散的思考つまり創造的作業効率を測定する意図で用いられているものである。d2 テストは紛らわしい文字並びから d に 2 つのダッシュが付いた文字を選ぶテストで、通例達成率とミス率で評価され、ここでは習熟度を補正した上で利用した。生産力テスト³⁾は、「新しい〇〇を考えてください」という問いに対して、被験者に制限時間 10 分で回答させ、「新奇性」と「適切性」をそれぞれ 0 (全くない) ~ 4 (非常にある) の 5 段階で採点し、2 者の和でその回答の「創造性」を示すものとした。なお、図 9 に示す方法により、個人差を考慮して基準化した。



(b) 生産力テストの例（作業 B）

図7 知的生産性テスト

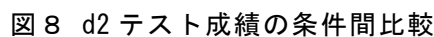
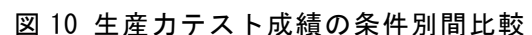


図9 テスト成績の基準化方法



結果を図 8 及び図 10 に示す。図 8 より、d2 テストの達成率は Acl が最も高く、Aop、Top の順に低くなることからわかる。このことは、集中力が必要な作業の場合は、自然換気による気流感や外部音は作業の妨害になることが示唆される。一方で、Top のミス率は Acl の次に低いことから、伝統的町家の場合は、RC 造集合住宅より集中力が保持されると言えるかもしれない。また、図 10 の生産力テストでは、被験者による差異が大きく、条件による差異について明らかな傾向は得られていない。

本章での実験と検討により、伝統的町家建築では、窓を開けることにより、開放的で多くの自然的要素と障子・畳・真壁などの洗練されて落ち着いた印象の効果により、現代の RC 造住宅に比較して高い満足感が得られることが明らかになった。しかし、知的生産性に関しては、集中力が必要な作業に対しては、むしろ静穏で風を感じない方が作業がはかどると思われ、窓を閉めた RC 造の集合住宅の方が高くなった。ただし、窓を閉めた条件下で RC 造住宅と伝統的町家の比較を行うことが、今後の検討課題の一つであると考えられる。

3. 自然換気と室内緑化がオフィス空間における在室者の心理評価と知的生産性に及ぼす影響

3.1 被験者実験の概要と環境特性

前章では、伝統的町家と現代の RC 集合住宅を取り上げて、バイオフィリア要素を多く得られる自然換気時の在室者の快適性と知的生産性について、実験的検討を行った結果について紹介した。本章では一般的な事務室を対象として、バイオフィリア要素として室内緑化を追加し、自然換気と室内緑化が在室者の快適性や知的生産性に及ぼす影響について検討した例を紹介する。

大阪大学大学院工学研究科（大阪府吹田市）に立地する 9 階建て RC 建造物の 7 階において、図 11 に示す会議室に 4 名が在室している状況を想定した実験空間を作成し、2023 年 10 月 10 日～11 月 2 日に被験者実験を行った。なお同室内には、パーティションを介して実験者 2 名が在室した。同室はほぼ南面しており、実験時には室内側ベネチアンブラインドは使わないが、日射は外部のバルコニーと鉄骨部材によってほぼ遮蔽される。図 11 には被験者席のうちの一つから見た視野（等距離射影）の例を示すが、この場合（等距離射影図上での面積率）の緑視率は約 5%であった。

窓は左右両端がはめ殺しになっており、中央部が引き違い窓であり、自然換気を行う場合は左右の開口が等面積（左右それぞれ約 500mm づつ）となるように開放するとともに、廊下側のドアを可能な限り開放した。ただし、ASHRAE Standard 55-2020 を参考として自然風が強く室内の風速が被験者近くで 1.0m/s を超える場合には、廊下側の扉を調節し、1.0m/s 以下になるように制御した。また、室には天井に熱交換換気扇が設置されており、窓の開放にかかわらず、弱運転（換気量約 50m³/h）で常時運転した。実験条件は自然換気の有・無と室内緑化の有・無で計 4 条件とし、各実験条件と室内写真及び条件記号を図 12 に示す。なお自然換気時（NV、NV-g）も換気扇は運転している。

1 回の実験は 8 時 50 分から 16 時 50 分の間で、4 つの時間帯を設定し、表 2 の通り実験条件と被験者を割り当てた。被験者は大阪大学の学生 92 名を（18 歳～27 歳、男性 53 人、女性 39 人）採用し、各被験者（着衣約 0.5 clo）は 4 つの実験条件のうち 1 条件のみに参加した。実験としては、2 章の実験と同様に環境条件の計測、心理評価アンケート、知的生産性テスト等を行った。

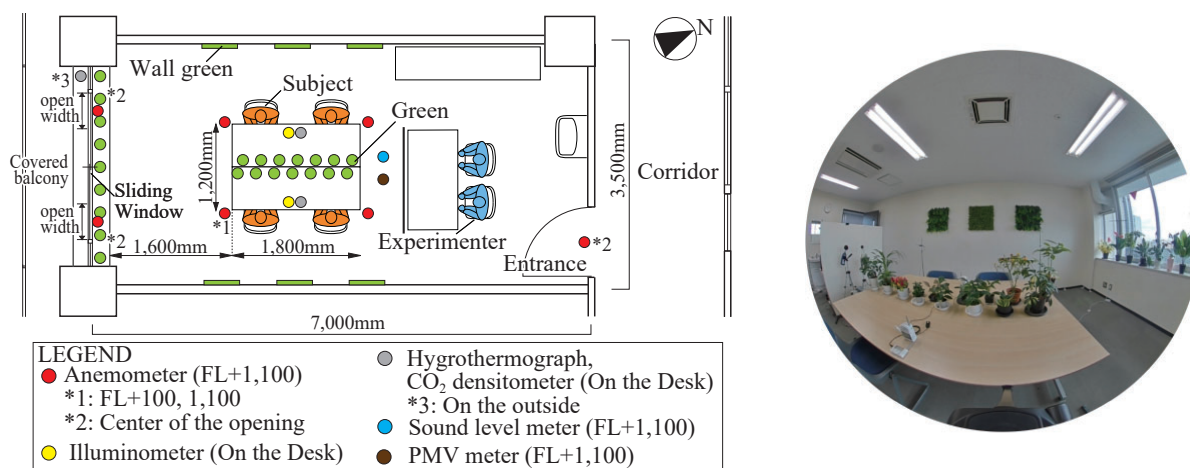


図 11 実験空間平面図と被験者からの視野（魚眼レンズ）



図 12 実験条件と室内写真及び条件記号

表2 各実験条件における参加者数の時間割り当て

Case	Number of experiments	Number of All participants	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4
			8 : 50~10 : 20	10 : 40~12 : 10	13 : 20~14 : 50	15 : 20~16 : 50
MV	8	21	13	8	-	-
MV-g	8	25	11	14	-	-
NV	7	24	4	8	12	-
NV-g	6	22	3	8	8	3

表 3 各実験でのパネル数

条件名	窓条件	緑化条件	パネル数
MV	閉	無し	21
MV-g	閉	有り	25
NV	開	無し	24
NV-g	開	有り	22

表5 各条件における物理環境の平均値と標準偏差

	PMV (-)	室内温度 (°C)	パネル周り平均風速 (m/s)	室内照度 (lx)	騒音レベル (dB)
MV	0.0±0.3	25.7±0.9	0.0±0.0	1340±12	45.7±4.4
MV-g	0.1±0.3	26.0±0.8	0.0±0.0	1041±76	45.5±3.8
NV	-0.3±0.1	25.8±0.3	0.4±0.1	1756±77	47.6±3.5
NV-g	0.0±0.1	26.4±0.3	0.2±0.1	1116±37	47.0±3.0

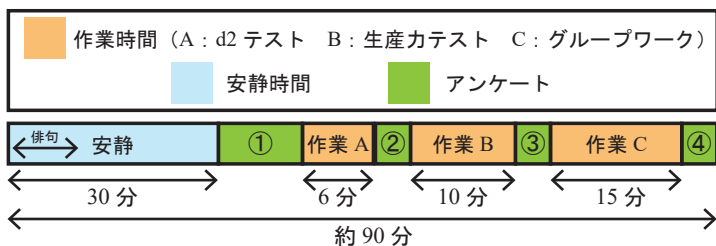


図 13 実験スケジュール

知的生産性の評価は d2 テストと生産力テストに加えて俳句作成とグループワークを加えた。実験スケジュールを図 13 に示す。

環境条件については、図 14 に実験時間帯ごとの経時変化を示している。複数回の実験を行った条件については、平均値として示している。なお、代表的な物理環境要素についての条件別平均値を表 5 に示す。図 14 の詳細な考察は紙面の制約で省略するが、窓開放による室内風速の増加、午前中実験の温度と PMV の変化トレンド、窓閉鎖時の CO₂ 濃度の上昇、机上面照度の一日の変化などに各条件の特徴が読み取れる。

作業 C	問題：日本に新しい視点を設けるとしたら、いつ、どのような日にするか
------	-----------------------------------

表 4 作業内容

作業	作業内容
俳句	下記の季語のいずれかを含む俳句を作成 紅葉、まつたけ、さんま、新米、 すずむし、ぎんなん、稲刈り
作業A	d2テスト ：点が2個付いたdの文字のみに斜線を引く
作業B	生産力テスト ：新しい皿、ノート、てぶくろを考える
作業C	グループワーク お題：日本に新しい祝日を設けるとしたら、いつ、どのような日にするか

3.2 環境特性が在室者の心理評価に及ぼす影響

図 16 に自然換気による差が大きかった心理評価の例を、図 17 には室内緑化による差が大きかった心理評価の例を示している。また、図 15 に各図の見方を示す。右方向の変化が自然換気の効果であり、上方向への緑のプロットの位置変化が室内緑化の効果となる。

図 16(i)(ii)より、適切な自然換気により、温冷感評価がよくなり、気流が在室者にとって快適な状態になることがわかる。ただしこのことは外気温度や風速に依存することは言うまでもない。また(iii)(iv)より、自然換気によって開放的な印象が高まり、気流、音、温湿

また、図 17 からは、自然を感じる効果としては、自然換気以上に室内緑化の効果は大きく、その家
原因は主として視覚的效果であることが読み取れる。なお自然換気をしていない場合には、室内緑化
による光環境から自然を感じていることがわかり、視覚的情報に加えて、光環境の変化が心理的に自
然を感じさせていると推定することができる。

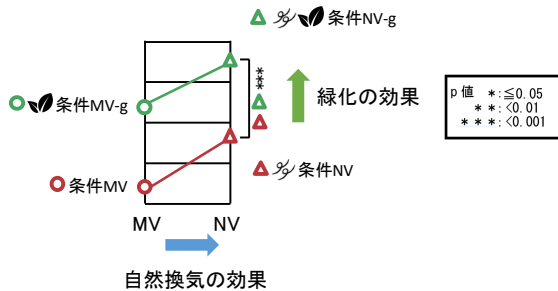


図 15 図の見方

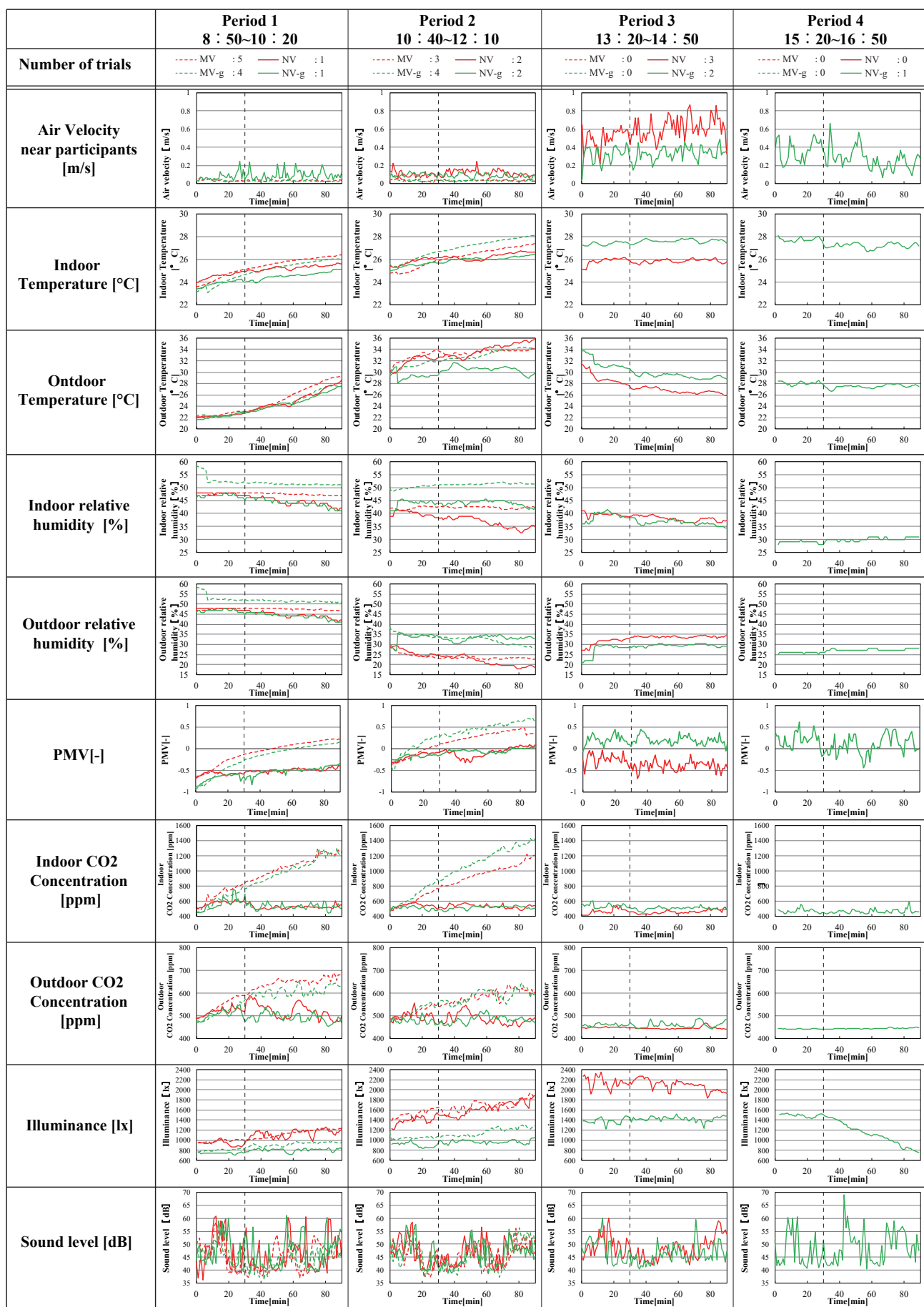


図 14 実験時間帯ごとの各環境要素データの経時変化

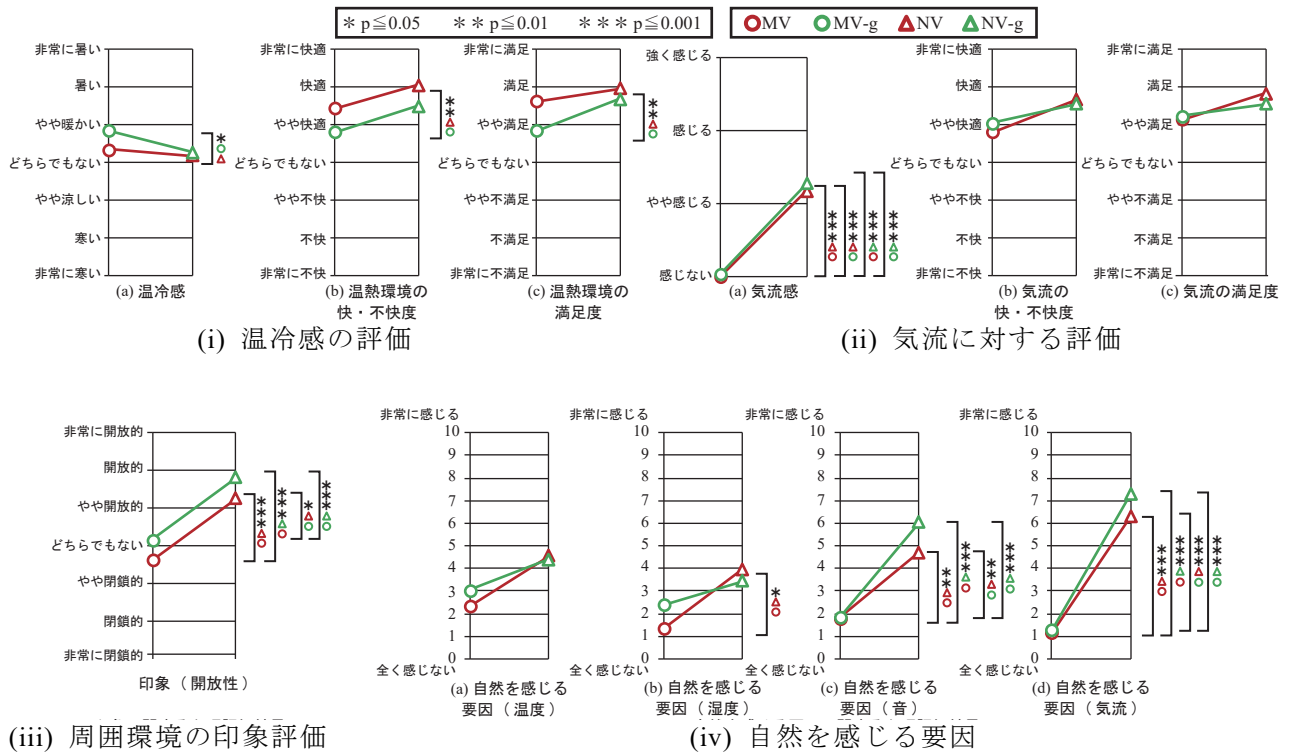


図 16 自然換気による差が大きかった心理評価

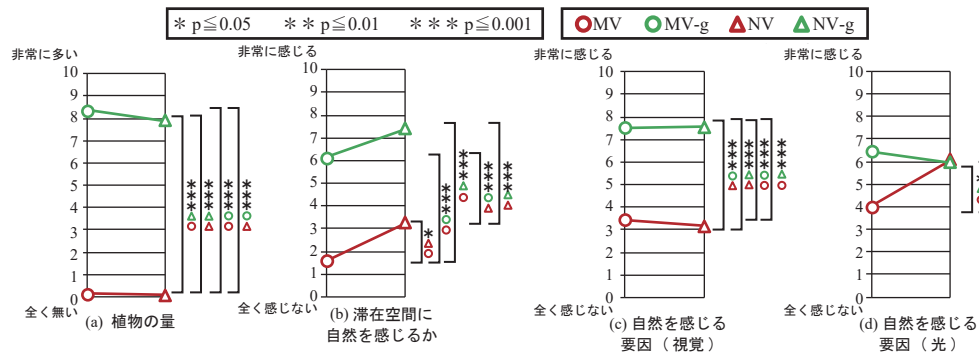


図 17 室内緑化による差が大きかった心理評価

3.3 環境特性が在室者の知的生産性に及ぼす影響

知的生産性に関して、図 18 に作業中の作業性と集中度を示す。同図より、いずれの条件においても、作業性はよく、作業に集中しやすかったことがわかる。

4 種類の作業に対して、各条件でのスコアの平均値と標準偏差を図 19 に示す。図より、いずれの作業でも明確な差は見られないものの、生産力テスト（作業 C）において、自然換気と室内緑化の両方がある条件 (NV-g) で顕著な差が見られた。アイデアを考えるという拡散的思考を行う場合には、自然を感じさせる自然換気や室内緑化はプラスの影響を与えるものであると言える。

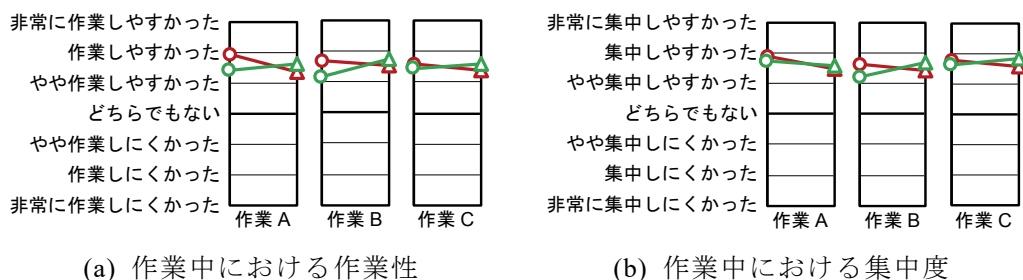


図 18 作業中の作業性と集中度評価結果

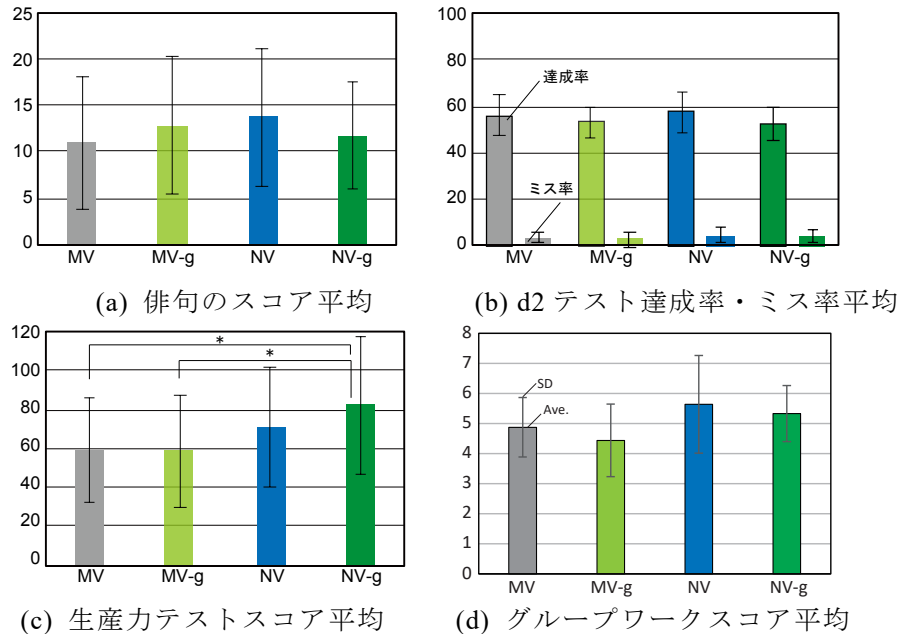


図 19 各作業成績の平均

4. まとめ

本稿で紹介した検討結果から得られた特記すべき知見としては以下の通りである。

伝統的町家と RC 造集合住宅での在室者の快適性と知的生産性について：

- 伝統的町家建築では、窓を開けることにより開放的で多くの自然的要素と障子・畳・真壁など、洗練されて落ち着いた印象の効果により、現代の RC 造住宅の室内より高い満足感が得られる。
- 知的生産性に関しては、集中力が必要な作業に対しては、むしろ静穏で風を感じない方が集中できると思われ、窓を閉めた RC 造の集合住宅の方が高かった。

RC 造会議室での在室者の快適性と知的生産性について：

- 生産力テストにおいて、自然換気と室内緑化のある条件で顕著な効果が見られ、拡散的思考を行う場合には、自然を感じさせる自然換気や室内緑化は顕著なプラスの影響を与える。

参考文献

- 1) 菅野ら：窓と観葉植物を併用した室内での心理・生理的效果に関する被検者実験 第 1 報 実験概要と生理量の測定結果、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、2021. 9
- 2) Brinckenkamp, R., Zillmer, E.: d2 Test of Attention, Hogrefe & Huber Publishers, 1998
- 3) 黒木ら：高層オフィスビルにおける分散型ワークスペースの知的生産性・快適性に関する研究（その 3）各ワークスペースでの知的生産性，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.47-48, 2014
- 4) 皆川：俳句への興味・関心が俳句の情緒的意味の評定に及ぼす影響－創作経験の少ない鑑賞者を対象とする S D 法による検討－，鳴門教育大学情報教育ジャーナル 5, pp.67-70, 2008

関連する既発表梗概の例

- 1) 例えば、宗，山中，崔，竹村，小林，大野，長續：自然換気時の RC 集合住宅と伝統的町家における居心地に関する研究（その 4）環境の差異による作業効率への影響に関する検討，空気調和・衛生工学会大会講演論文集，第 4 巻，pp.65-68, 2023.09
- 2) 例えば、長續，山中，崔，山澤，小林，射矢：自然換気及び室内緑化が在室者の快適性・知的生産性に及ぼす影響（その 4）作業成績と心理評価の関係に関する検討，空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集，第 6 巻，pp.265-268, 2024.09

本稿で紹介した研究を行うに当たり、ご尽力頂いた共著者及びご協力頂いた関係各位に深謝申し上げます。