

# 省エネルギーに繋がる居住者の移動を促すための空間設計と誘導システムの開発

## Development of a Space Designing and a Guidance System Encouraging Occupants to Use Energy-saving Spaces

野崎 尚子 Naoko Nozaki\*1 黒木 友裕 Tomohiro Kuroki\*2 菊池 卓郎 Takuro Kikuchi\*3  
藤原 邦彦 Kunihiko Fujiwara\*1 安藤 邦明 Kuniaki Andou\*4

### 梗概

本開発は、自席の設備がパーソナル化された執務室から、ユーザーの好みの環境が形成されたエネルギー消費が少ない空間にワーカーを誘導し、居住域の省CO<sub>2</sub>を持続的に達成するとともに、場所の移動で様々な環境刺激を知覚することによる知的生産性等の向上を目標としている。そのためには、①環境条件が緩和されても移動したくなる魅力的で快適な空間、②移動するきっかけとしての情報、以上の2つの技術開発が必要であると考えられる。本報では、平成25・26年度に実施した技術開発の成果について報告する。

キーワード：ワークスペース、行動、満足度、快適性、知的生産性

### Summary

This development guides the office workers to the spaces that have comfortable environment with low energy consumption from own seat in the office with a personal facilities. It aims for sustainable reduction of carbon dioxide emission and the improvement of the workplace productivity at the same time. Two technology developments of 'attractive and comfortable divergent community spaces' and 'guidance system to show the space information' are necessary. Results of the study in 2013-2014 are reported in this paper.

Keywords: workspace, behavior, satisfaction, comfort, workplace productivity

## 1 はじめに

近年、建築物のハード的側面から省CO<sub>2</sub>技術が確立・実証され、多くの業務ビルに導入されてきた。また、オフィス環境においては執務空間の環境条件緩和などの省エネルギーと、快適性・知的生産性向上との両立の観点から多くの研究が取り組まれている<sup>1)</sup>。空調されたオフィス単室利用時の執務環境に関する研究は多くみられる一方で、オフィスワーカーの行動や1日の業務スケジュール、勤務スタイルに着目し、建物内外の様々な空間の執務利用や建物内の滞在場所を変える環境選択行動を対象とした研究は少ない。建物内で空間・環境の選択の自由度を拡張した際の環境緩和度合やオフィスワーカーの行動、心理、生理を把握し、空間仕様や動線仕様、環境制御設定条件に反映することは、省エネルギーと快適性や知的生産性との両立を実現する上で重要になると考える。

また、このような自由度拡張の考え方から、ワークスペースを屋外・半屋外に構築する動きが見られる。季節や時間帯にもよるが、屋外・半屋外といった空間は自然の状態ですら十分に快適な時間帯が存在し<sup>2)</sup>、また非制御空間と認識されているために、快適範囲が制御空間と比較して広がるという研究成果も見られる<sup>3)</sup>。このようなワークスペースを整備し、ワーカーが場所を選択することが習慣化すれば、快適性を維持し満足度を向上させながら建物全体のエネルギー消費を低減することが可能となる。さらに、多様な空間の物理環境から受ける刺激は創造的思考に影響を与えると考えられており<sup>4)</sup>、有効なワークスタイルとして認識されれば急速に普及することが見込まれる。

前述のような空間は本社ビルにおいて積極的に採用されてきたが、テナントビルでの適用は成されてこなかった。多く

\*1 技術研究所 研究員 Researcher, Research & Development Institute

\*2 技術研究所 環境計画部 環境設備グループ長 Group Leader, Research & Development Institute

\*3 技術研究所 研究主任 博士(学術) Associate Chief Researcher, Research & Development Institute, Ph.D.

\*4 大阪本店設計部 主任 Chief, Design Department, Osaka Main Office



## 2.2.2 行動観察調査

テナントオフィスビルの共用空間という、半公共的な執務空間の設計手法確立に向けた基礎的な研究として、利用者数の推移と利用の空間分布特性を把握するための調査を実施した。定点カメラにより屋内CSを撮影し、取得した画像を目視で分析する方法を採用した。なお、椅子や4人用机は自由に移動させての使用を許可しているが、大机等は移動不可とした。

什器変更前の同じ条件下で比較すると、平成26年度の期間①の屋内CSの日積算利用者数は約250人/日、12～13時の昼休みを除く9～17時の平均滞在者数は12.5人であり、平成25年度<sup>6)</sup>の日積算利用者数約50人/日、平均滞在者数約1.0人と比較して大幅に増加し、ワーカーの屋内CS利用の定着が明らかになった。また、平成26年度内で比較すると、Fig. 2のどの期間でも昼休みの時間帯をピークとする山なりの変動傾向を示し、午前と比較して午後利用者数が多いことが分かった (Fig. 3)。屋内CSのような場所は午後のほうが混雑可能性が高く、利用者を増やすためには午前にワーカーにとって意義のある環境や用途を提供する必要があることが示唆された。

選択される座席は、什器の形が全て同一であった什器変更前には、壁の近さ、外部の景色の見え方といった空間的特性の差異による影響が大きく、リニューアル後は什器種類の追加やパーティションの導入により空間的特性の差異が緩和され、什器の違いによる座席選択への影響が支配的になる傾向がみられた。

物理環境と行動特性に関しては、各机に設置した測定器の気温・照度の平均値と平均滞在者数には関連性がみられるのに対し、平均滞在時間にはみられなかった。よって、利用開始後の滞在時間は物理環境以外の要素が強く影響し、「屋内CSを利用する (しない)」という意思決定の際に温熱・光環境がより顕著な影響を及ぼす可能性が推測された。また、気温と平均滞在者数と比較して、照度と平均滞在者数との間にはより強い関連性がみられることから、利用の意思決定の際に、気温等に起因する温冷感よりも日当たりのような視覚情報が動機づけになることが推測された。これらの行動特性は、今後の空間仕様設計に反映させることが可能な知見である。

## 2.2.3 アンケート調査

行動観察調査と同様、アンケート調査は、第1回目は什器変更前に、第2・3回目は什器変更後に実施し、什器の変更による満足度の変化等を把握した。アンケートは屋内CS利用者が設置場所から自由に取ることができ、全ての項目の記入が完了したら同フロア (1階) のカフェに持参すると500円のチケットと交換する方法で回収した。

最も重視する座席の選定理由は「周囲の利用者との距離」であり、その満足度は高かった。1人利用が多く、約半数が休憩・気分転換として屋内CSを利用していたが、業務目的としてはフォーマルコミュニケーションが多く見られた。週1回以上利用しているワーカーが過半数となった一方で、アンケート時が初めての利用という回答も1割程度見られ、ユーザーの利用頻度に合わせた空間も提供していくことが求められる。

Fig. 4に「屋内CSができたことによる変化」に関する結果を示す。「ビルの満足度」「働きやすさ」「ビルのイメージ」はスペース解放時から向上側の回答割合が高く、さらに割合が高まった。「仕事に対するモチベーション」は約1年間の運用期間を経て大きく向上した。これは、想定していた「ワークスタイルとしての共用空間の活用」が定着し、仕事への影響が特に大きく表れたためであると考えられる。

## 2.3 屋外コミュニティスペース

### 2.3.1 スペース概要

建物南側の屋外空間において、緑地とエントランスに近く、かつ屋内CSからの視認性が確保された場所に屋外CSを設置した。外観をPhoto 3に示す。本研究では、屋外CSの利用者が各々で環境を調節することが可能な設えとして、手動でスラット角を調節できる可動アルミルーバーを採用した。ルーバーの角度を調節する目的としては、①日射遮蔽②防風③視線制御を想定した。各ブースが同一時刻に異なる環境となるよう、天井面と

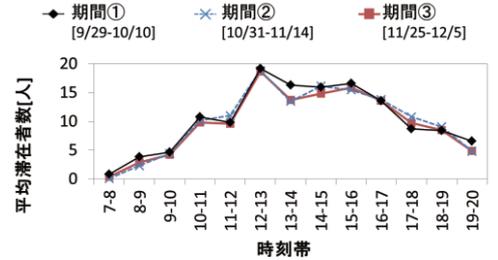


Fig. 3 屋内コミュニティスペースの行動観察結果  
Activity observation in indoor community space

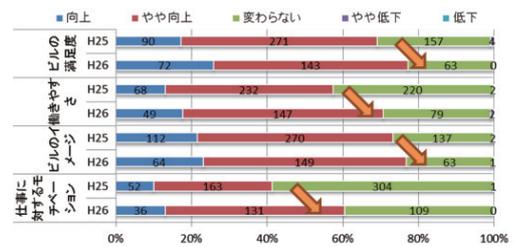


Fig. 4 屋内コミュニティスペースのアンケート結果  
Questionnaire survey in indoor community space



Photo 3 屋外コミュニティスペース  
Outdoor community space

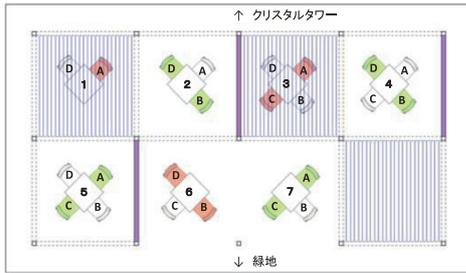


Fig. 5 ルーバー配置図  
Arrangement plan of louver fin



Fig. 6 屋外コミュニティスペースの調査期間  
Investigation period in outdoor community space

壁面へランダムにルーバーを配置した。配置図をFig. 5に示す。また、屋内CSと同様に、「屋外Newワークスペース」であることを看板に明記して開放し、土日祝日は閉鎖した。一方で、公開空地に設置したため極端な利用制限は設けなかった。調査期間をFig. 6に示す。

### 2.3.2 行動観察調査

公開空地上で実施することから、クリスタルタワーのワーカー以外が付近を通行したりスペースを利用したりすることが想定されたため、プライバシー保護の観点から定点カメラによる撮影は実施せず、行動観察員が記録用紙に記入する方法でデータを取得した。雨天時は行動観察を中止した。

行動観察実施期間の9～17時の総利用者数は269人であり、着席時間は5分未満が最も多く4割を占めた。一部の座席で着席頻度が高く、かつ「10～15分」「15～30分」と比較的まとまった時間での利用が見られた。それらの座席の共通点は屋外CSの階段近傍でアクセスしやすいことと、東側にルーバーが設置され周囲の視線を遮ることが可能なこと、机1台に対し座席が4脚配置されていることが挙げられる。更なる利用を促すために、利用方法の明示と同時に、利用者数の増加のために継続的な周知による利用の習慣化を図る必要がある。物理環境に関しては、ワーカーが滞在した時間の平均SET\*は21℃であり、10～12月の実験のためやや寒い側の温熱環境下であったことが分かった。

### 2.3.3 アンケート調査

屋外CS利用者が自由に取ることができる場所に設置し、屋内CSアンケートと同じ方法で回収した。朝から雨天の日はアンケートを設置せず、途中から降雨があった場合はただちにアンケート用紙を回収し、その日のアンケートは中止した。

座席を選ぶ際に重視するのは「気温が適度」「風が当たらない」といった物理環境に関する理由が上位であり、満足度の高い選択肢は「開放感がある」であった。屋外CSの利用を促進するためには、屋外の物理環境を情報として発信することも有効であると考えられる。また、「開放感」「空気が新鮮」「自然（太陽や風、空の変化）を感じる」が屋外CSの良い点として挙げられ、屋内CSとの差別化のために活用すべき点であることが明らかとなった。

## 3 分散型コミュニティスペースにおける知的生産性の検証

### 3.1 被験者実験の目的および概要

本研究では、休憩等の行為だけでなく、打合せや単独での執務が可能な場所として分散型CSを提案している。これらのスペースは物理環境の変動が大きいので、ワークスペースとして活用する際に知的生産性がどのように変化するかを定量評価する必要がある。分散型CSにおいて知的生産性が向上するというエビデンスが得られればこのようなスペースと誘導システムの市場は大きく拓けると考えられ、「仕事は自席でするもの」という旧来のスタイルから脱し、多様な環境刺激の下で生き生きと働くワークスタイルの将来が見えてくる。

本研究では知的生産性をFig. 7のようにモデル化した。このモデルでは各執務者は知的生産性の（潜在的）能力を持っており、これをどこまで発揮できるか、すなわち知的生産性のパフォーマンスをどこまで高められるかが重要となる。ここで、知的生産性のパフォーマンスを変化させるものに内的要因と外的要因があるが、作業環境は外的要因として執務者の心理的变化を促し、それが集中力やモチベーションに影響を与える因子となる。このモデルに基づき、外的要因を起点とした一連の流れを可能な限り定量評価するため、本研究では、環境測定、アンケートによる心理評価、タスクによる知的生産性評価を行なった。知的生産性に影響を与える要素を主観評価項目として「機能性」「環境特性」「空間の印象」の3要素に分類できる<sup>7)</sup>という考え（Fig. 8）に従い、これらが全体的な作業のしやすさや総合満足度にどのように影響するかをアンケートにより把握した。知的生産活動は「情報処理」「取

束的思考」「拡散的思考」「リラックス」「リフレッシュ」「フォーマルコミュニケーション」「インフォーマルコミュニケーション」の7つのbehaviorに分類され、前3者で時間割合は過半となる<sup>8)</sup>。そのため、タスクは収束的思考と拡散的思考を評価可能なものをそれぞれ考案しタイムテーブルに従って被験者に課した。

平成25年度の被験者実験は、4つのワークスペース（以下WSと記述）における知的生産性を客観的に評価するとともに、各スペースの持つ機能性や環境特性、快適性等の主観評価とも関連付け、分散型CSの設計に資する知見を得ることを目的とした。平成26年度は、特に屋外のWSでの知的生産性に焦点を絞り、平成25年度同様の評価を実施するとともに、環境調節機能や景観などの差から座席選択や、紙面・PCといった作業媒体の違いがどう影響を及ぼすか、という視点を追加して検証した。

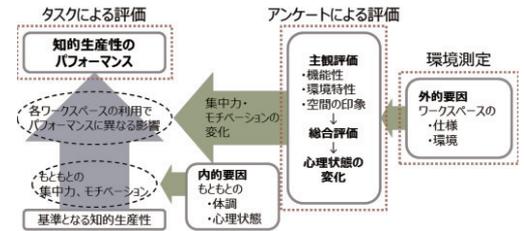


Fig. 7 知的生産性モデルとその検証項目  
 Model of workplace productivity and its verification items

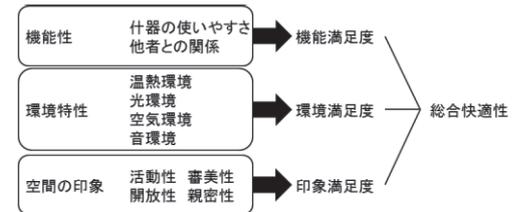


Fig. 8 知的生産性に影響を与える3要素  
 3 elements affect workplace productivity

### 3.2 四つのスペースにおける知的生産性の評価

#### 3.2.1 スペース概要

20階通常WSは一般的な執務空間を想定し、21階共用WSは執務空間付近のプライベート性の高い共用執務空間を想定した。1階共用WSと屋外WSは公共性の高いオープンな執務空間を想定した。20階通常WSと21階共用WSの温熱環境は安定しており、外界からの刺激による変動が小さい傾向にあった。1階共用WSや屋外WSでは、温熱・光環境の変動範囲が広いものの、10・11月でも快適性が高い温熱環境が出現し、時間帯によっては十分執務が可能であることが分かった。

#### 3.2.2 快適性に関する主観評価

機能性、環境特性（光、温熱、空気、音）、空間の印象の6項目について、理想とするオフィスでの重要度を調査し、各満足度との相関を確認した。21階通常WSの機能性と屋外WSの温熱環境において改善の必要性が明らかとなった。また、音に対する感じ方は個人差が大きいため一概には言えないが、4つのWSそれぞれでの音環境に関しても場合により改善の余地があることが読み取れた。

#### 3.2.3 知的生産性の評価

タスクの成績は総じて実施場所やその場所の温度、風速といった物理環境とほとんど相関がなかった。また、機能性、環境特性、空間の印象に対する主観評価とも相関がなかった。4つのWSにおいて平均的には同等のパフォーマンスが発揮された。ただし、被験者を個別に見た場合、例えば拡散的思考タスクはオープンな執務空間においてパフォーマンスが高い、などという、パフォーマンスを発揮できる場所に被験者ごとの差異が見られた。オフィスの内外に多様なスペースを設けてその利用を促すことは、居住者の選択の幅を広げるだけでなく、知的生産のパフォーマンスを向上する可能性があることが示唆された。

### 3.3 通常オフィスと屋外コミュニティスペースにおける知的生産性の評価

#### 3.3.1 スペース概要

通常オフィス空間を想定した20階WSと屋外コミュニティスペース（以降、ワークスペースの比較のため屋外WSと記す）を対象とした。

#### 3.3.2 快適性に関する主観評価

2種のタスクを両WSで実施した後にどちらの空間が好ましいかを回答させたところ、収束的思考タスク（以下収束TASKと記述）では圧倒的に20階WSが好まれるのに対し、拡散的思考タスク（以下拡散TASKと記述）では半数弱の被験者が屋外WSのほうが好ましいと回答した。また屋外WSが好ましいと回答した被験者の中には、温熱・風環境が快適といえない環境下であった場合も多かった。厳しい環境にも関わらず拡散TASKで屋外WSが好ましい理由としては、緑が見える、開放的な場所のほうが取り組みやすい、集中しやすい等の意見が挙げられた。屋外WSのように様々な刺激があるほうが想像力を掻き立てられ、拡散的な思考を必要とする作業に取り組みやすかった可能性が考えられる。一方で、拡散TASKであっても静かで落ち着く20階WSを好む場合も多く、好みの場所には個人差があるが屋外WSにも一定の利用価値があることが確認できた。

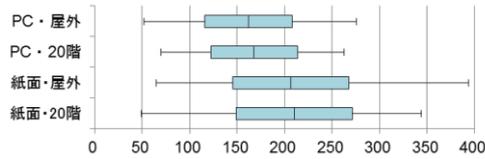


Fig. 9 収束的思考タスクの媒体および場所による成績の差  
 Differences in performance between medium and place of convergent task

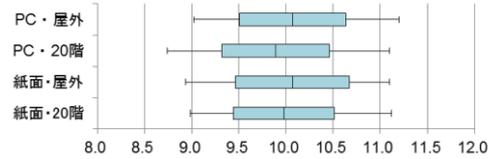


Fig. 10 拡散的思考タスクの媒体および場所による成績の差  
 Differences in performance between medium and place of diffusion task  
 ※回ごとに問題の難易度が異なるため基準化した得点を示す

### 3.3.3 知的生産性の評価

収束TASKはPCより紙面において成績が良く、屋外WSにおける環境特性からネガティブな影響を受けやすいため20階WSのほうがわずかに得点が高かった (Fig. 9)。一方、拡散TASKは収束TASKとは逆に、20階WSよりも屋外WSにおいてパフォーマンスを発揮する弱い傾向が見られた (Fig. 10)。拡散TASKに対しては、屋外WSの視覚をはじめとする多様な刺激がパフォーマンスに良い影響をもたらした可能性が考えられる。また、収束TASKでは媒体の紙面やPCと常に対面して回答することになるが、拡散TASKでは対面の頻度が低いため作業を阻害するような風速、照度などの影響が出にくく、媒体の違いによる成績差が生じにくかったと考えられる。

## 4 分散型コミュニティスペースへの誘導システムの開発と実験結果

### 4.1 システム概要

平成25年度に、空間の利用を効率化・促進する情報提示システムのロジック構築を行なった。情報提示のタイミングと誘導通知システムが満たすべき要件を整理し、システムを設計した。また、ワーカーが誘導通知を受けて実際に分散型CSに誘導されたことを検知するために、分散型CS単位での位置情報の検出方法を開発した。さらに、カメラ画像分析による空席状況把握システムと、集音マイク音声を用いたスペース活性度の評価指標を構築した。

平成26年度には、携帯端末を用いたOBPエリア内の在不在検出方法を改善した。Wi-FiとGPSへの位置情報の要求頻度を最適化することで位置検出エラーの発生を回避するとともに、過剰なバッテリー消費を改善した。また、空席状況センシング方法のバリエーションを増やすために、安価かつカメラを用いない距離センサーを利用した技術を開発し、目標精度以上の性能を確認した。また、分散型CSの状況をセンシングして、携帯端末を持つユーザーの位置情報に応じて情報発信することができる誘導システムを実証建物に構築した。実験建物のシステムネットワーク図をFig. 11に示す。

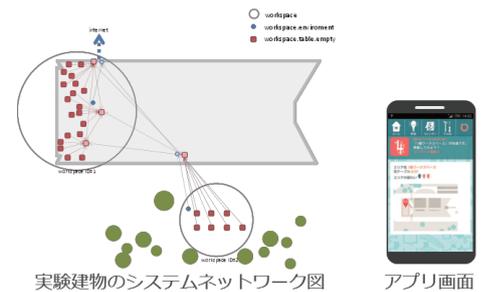


Fig. 11 実験建物のシステムネットワーク図  
 Figure of system network

### 4.2 実験結果

誘導システムの使用感のフィードバックを得ることと、分散型CSの利用率を計測する目的で、被験者実験を行なった。被験者はエレベータ等にポスターを掲示してクリスタルタワーのワーカーから募集した。被験者へは説明会を開催し資料を用いて実験の主旨とアプリの使い方を伝えたが、分散型CSを利用することを被験者に強要してはいない。

屋内CSの利用率は、被験者別の利用状況を分析すると一部の被験者が集中して利用する傾向があった。約3割の被験者は一度も利用していなかった。また、実験期間中に情報提供を中止する期間を設けて、情報提供が分散型CSの利用率に与える影響を評価したところ、情報提供の無い期間の平均的な利用率は情報提供のある期間に比べて低下する傾向が見られた (Fig. 12)。アンケートの分析結果からは、概ね良好な使用感の印象であったことが確認できた。

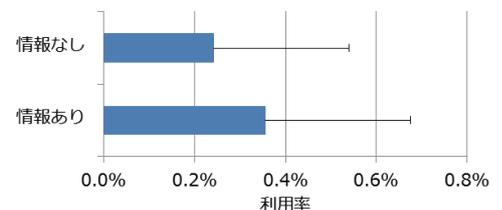


Fig. 12 情報提供の利用率への影響  
 Influence on user rate by guidance system

## 5 まとめ

省エネルギーと知的生産性向上を目的とし、通常のワークスペースから分散型CSへのワーカーの移動を促す実験を実建物をフィールドとして実施した。このために必要な分散型CSの仕様や誘導システムについて検証し、展開に資するデータを得ることができた。

オフィスに求められる価値が多様化していく中、本研究はそのひとつの方向性を示すものである。適切な評価とフィードバックにより価値を向上し、普及に貢献したい。

## 謝辞

本研究は環境省「平成25・26年度CO<sub>2</sub>排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」の委託事業（技術開発課題名「省エネルギーに繋がる居住者の移動を促すための空間設計と誘導システム構築」）の一環として実施した。

## 参考文献

- 1) 例えば、西原直枝ほか3名：コールセンターにおける中程度の高温環境が作業効率に与える影響の評価-2004年と2012年の比較-, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集（秋田）, 第8巻, pp.29-32, 2014.09
- 2) 安藤邦明ほか3名：大丸有地区の屋外アメニティ空間における温熱環境と利用状況の調査, 第24回アーバンインフラ・テクノロジー推進会議, 2012.11
- 3) 中野淳太ほか9名：O駅及び非空調駅の熱的快適域の比較 大規模空調空間を有する駅の熱的快適域に関する研究 その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）, D-2, pp.319-320, 2012.09
- 4) 樋口祥明ほか5名：人にやさしい空間 物理環境が創造的思考に与える影響に関する研究 その1:創造的思考モデルと物理環境の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）, D-2, pp.1263-1264, 2010.09
- 5) <http://www.takenaka.co.jp/news/2014/11/04/index.html>
- 6) 竹中工務店：平成25年度CO<sub>2</sub>排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業（省エネルギーに繋がる居住者の移動を促すための空間設計と誘導システム構築）委託業務成果報告書, pp.37-42, 2014.03
- 7) 窪内佑子ほか4名：都市のオープンスペースにおける利用者の環境評価に関する研究（その3）冬期アンケート調査の概要及び利用者の構成, 日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）, D-1, pp.873-874, 2004.08
- 8) 国土交通省：知的生産性研究委員会報告書-知的生産性に優れた空間の設計と評価-（平成24年度）, pp.12-17, 2013.03