

特集 竹中技術研究所リニューアルプロジェクト 人の多様性に配慮した研究施設リニューアルの計画と評価

Renewal Project of TAKENAKA Research & Development Institute

Planning and Evaluation of Renewed Research Facilities in Consideration of Human Diversity

Summary

Society has a wide variety of needs owing to the complexity of social issues. In this light, corporate technology research institutes are expected to “create new value” to solve social issues through the effective use of various advanced technologies. Recent years have seen increasing interest in wellness, and it has become desirable for each person to be healthy and motivated to work and to be able to work by interacting with colleagues inside and outside the company to improve intellectual productivity and creativity. Toward this end, the main concepts for the renewal of the workplace of the Technical Research Laboratories 25 years after its establishment were (1) creation, for the improvement of creativity, and (2) open innovation, for the promotion of various exchanges. During the renewal, these two concepts as well as green environmental policies were implemented through a workshop involving multiple working groups of researchers. For fostering creation, the activity-based working (ABW) style was introduced. This is an advanced work style in which workplaces are selected according to the nature of work to promote exchanges among researchers in different fields. Further, for fostering open innovation, a space was established for disseminating technology to the outside world and for utilizing and cocreating resources within the laboratory. At the same time, in consideration of the environment, efforts were made to improve the energy-saving performance, and “SHIRA-BE” was established as an R&D and demonstration field for biodiversity conservation and green infrastructure.

Chapter 2 provides an overview of the renewal plan. To create a cohesive and open space, the walls of the existing courtyard were removed and a roof light was installed; further, two different stairs connecting the first and third floors and a bridge connecting the north and south living rooms were added. The zoning concept was arranged to reveal important work activities of researchers and to provide a suitable space for each activity. A variety of spaces with different compositions, furniture planning, and color schemes were created to provide flexibility in choosing a workplace. In terms of equipment, multiple types of personal lighting and air-conditioning devices were installed to suit the diverse needs of people. Further, to provide a degree of freedom of choice in terms of the environment, different types of work environments were created. Y-shaped electric louvers that can be adjusted according to the season and the time of day were installed in the roof light in the courtyard. A building plan was established in consideration of energy savings via heat insulation and heat use. This building plan also considered the use of natural light, the use of lighting fixtures to ensure brightness, and a brightness control system that considers human comfort; overall, the lighting environment was planned so as to provide a combination of comfort and energy conservation. In addition, to increase the degree of freedom in choosing workplaces, various information and communications technology (ICT)-based display systems were installed to display the indoor environmental conditions (e.g., temperature, illuminance) and available seats.

Chapter 3 describes the performance and evaluation of the work environment. First, the measurement results of the indoor thermal environment and lighting environment and the results of the questionnaire survey are presented. As a result, various comfortable thermal and lighting environments were established. Further, the questionnaire survey revealed that workers had a higher satisfaction level with the environment after its renovation. Next, the evaluation results of a desktop personal fan, a heat radiation device at the feet, and furniture with an air-conditioning function as personalized thermal environment control devices are presented. The equivalent temperature adjustment range was shown for each device, and it was found that each device could satisfy different comfort preferences.

Chapter 4 describes efforts to improve the workplace productivity of workers. First, details of the workplace after renovation and the personality traits of workers are explained. Next, the daily seat selection tendency of workers in the ABW office is analyzed. As a result, it was found that the higher the degree of satisfaction with seat selection, the higher was the productivity of workers. Correlations were observed among the job position, degree of openness of selected seat, distance to main flow line, age, brightness, personality (cooperation), and degree of openness. Further, the questionnaire survey revealed that workers gave the workplace a higher rating in terms of environmental satisfaction, office activities, and productivity after its renovation.

Finally, future expectations for the evolved ABW workplace are described.

Keywords: ABW(activity based working), diversity of environment, thermal environment, light environment, productivity, personality characteristic

1 はじめに Introduction

樋口 祥明 Masaaki Higuchi*1

竹中技術研究所は、建設会社の研究所として60年以上にわたり専門特化した研究を深耕してきた。近年、SDGs、ESG投資等への広範な対応が求められている。社会情勢が目まぐるしく変化する中、社会課題が複雑化、それに伴い社会ニーズも多様化している。また、Society5.0を目指した各種先端技術が進化しており、その技術を有効活用した社会課題の解決が求められている。建設単体からまちづくり総合エンジニアリングへと会社の方向性が示される中、技術研究所には「新価値創造」に対する期待が高まっている。これに対し、技術研究所では、専門分野横断・社内外リソースの融合により、多様な研究開発の推進・加速を目指し、種々の施策を実施してきた。研究企画・遂行プロセスの見直し、研究開発組織体制の整備に加えて、竣工後25年を経た技術研究所執務スペースのリニューアルを実施した。

一方、社会ではウェルネスへの関心が高まるとともに、健康でいきいきと働くための「働き方改革」が叫ばれている。個人がモチベーション高く働くこと、社内外の仲間と交流しながら働くこと、それによって得られる知的生産性や創造性の向上が求められている。

上記観点を踏まえ、①Creation：創造性の向上、②Open Innovation：多様な交流促進、をリニューアルコンセプトとした。リニューアルに際し、働く場を自ら考えるというプロセスを重視し、研究員が参加する複数のワーキンググループを組織した。先進的なワークプレイスの視察、14回にもわたるワークショップを開催し、「研究所のありたい姿」についても議論を重ね、「人と環境の共生による豊かな未来の創造」をスローガンとし、プロジェクトゴールを示すキャッチフレーズに「まだ見ぬ未来を夢見ながら、自由に発想して、真っ白なキャンバスに自分たちが考える未来を描いてゆく『Future Design CANVAS』」を掲げることとした。ここには「『新価値創造力』を高めて社会課題を解決し、社会のあらゆるニーズに応える」という想いが込められている。その後「オフィスアクティビティカードを用いたコンサルティング手法」を活用しながら、活発な議論を重ね、最終的に2つのコンセプトおよび環境配慮に対する方針を以下に定めた。

①Creation：創造性の向上：ワークプレイスの改善

異分野の知を融合するため、研究分野ごとにゾーニングされていたレイアウトから、「交流」を促す空間に変更する。異分野の研究員の交流促進のため、仕事の内容に合わせて場所を選択するワークスタイル「ABW（Activity Based Working）」をさらに発展させた形で導入する。

②Open Innovation：多様な交流促進

社外に対する技術の発信、共創のタネを見出すために、ショールーム・ディスカッションスペースを整備する。
研究所内リソースを活用し「新価値創造」を目指す、共創エリアを設ける。

③環境コンセプトの推進（環境との共生）

省エネルギー性能の向上、働く人の健康配慮・知的生産性・創造性向上への配慮を行なう。

生物多様性保全、グリーンインフラなどの研究開発や実証フィールドとして、「調の森 SHI-RA-BE」を整備する。

「ABW」導入に際し、単純に仕事の内容で場所を選択してもらうという従来の概念から一歩進めたコンセプトを取り入れた。当社が10年以上前から行なってきた「人」に着目した研究成果から、人に対する多様で変化に富む環境刺激の重要性も取り込んだ執務空間づくりを目指した。以下にその詳細について述べる。

人は、勤務時間の中でいろいろな仕事をする。集中作業といっても、集中度は変化しており、一定の環境を提供するという従来の考え方で良いのか？「人にやさしい空間の研究」^{1~6)}の研究はその疑問から始まった。多様な人の状況に応じて適度な環境刺激の変化を感じさせてることで、積極的な快適性や個人個人のパフォーマンス向上を目指すべきという観点で研究を進めてきた。日々・時々刻々、仕事の内容や行動が変わるが、好みや個性も人によって異なり、気分や体調も変化する。光や熱などの環境刺激に対する感度も違うことを踏まえた対応が必要になる。非常に難しい研究課題であり十分なエビデンスが得られたわけではないが、大きく2つの知見が得られた。

- ・変動する多様な環境刺激が「人」に対して良い影響をもたらすことがある

*1 技術研究所 専門役 博士(工学) Executive Manager, Research & Development Institute, Dr. Eng.

・環境を自己選択することで、満足度が向上する

一方、創造性発揮の仕組みについて、脳科学の知見から考えると、異なる知識や情報同志の新たな結合が新しいアイデアにつながると言われている。そのため、種々の情報を脳にインプットしておくこと、新しいことを考える意欲をもって新結合を考え続けることが重要となる。新結合を考え続けた上で、脳が「良いね！」と感じたときが、ひらめきのタイミングだと言われている。そのタイミングは、何かの刺激で突然現れる。何気なく散歩をしているとき、トイレに入っているとき、…。

それらを踏まえて、今回のリニューアル計画では、「ABW」で実現できる異分野コミュニケーションの増加（情報インプット増加）と、働く場の自己選択による自己効力感の向上（モチベーション維持向上）に加えて、多様な環境刺激の変化を感じる空間づくり、を主眼とすることにした。Next「ABW」に向けて、①仕事の内容ではなく、その人の性格・好み・気分や体調など、人の状態に応じて、働く場所を自己選択してもらうこと、②自然の影響を受ける多様な場を提供できること、吹抜けや、天井の低い空間、視線の通り方等、空間の変化を感じられること、を設計者に具現化してもらうこととした。

参考文献

- 1) 上原茂男, 加藤信介, 樋口祥明, 高橋幹雄, 石川敦雄, 他：人にやさしい空間の研究（その1～10），日本建築学会大会，pp.1～20，2008年9月
- 2) 上原茂男, 加藤信介, 樋口祥明, 高橋幹雄, 石川敦雄, 他：人にやさしい空間の研究（その11～24），日本建築学会大会，pp.71～98，2009年9月
- 3) 樋口祥明：環境品質向上、「建設オピニオン」2月号特集 環境負荷低減に向けた新技術，建設公論社，2010年2月
- 4) A. Ishikawa, S. Kato, M. Higuchi, et.al. : Assessment of Creative Performance Based on Intuitive and Subconscious Evaluation, IAQVEC 2010, 2010. 8.
- 5) 樋口祥明：体内時計の科学と産業応用 第20章 体内時計のリズムに配慮した空間設計と省エネルギー，シーエムシー出版，pp.170-176，2011年5月
- 6) 田邊学司, 監修：三浦俊彦, 萩原一平：「なぜ脳は「なんとなく」で買ってしまうのか？－ニユーロマーケティングで変わる5つの常識」，ダイヤモンド社，pp.63-67，2013年7月

2 リニューアルの計画概要

Outline of Renovation Plan

入江 祥太 Shota Irie^{*1} 岡田 真幸 Masayuki Okada^{*2} 畠中 健 Ken Hatanaka^{*3}

2.1 建築概要

Building Overview

本計画は、1993年に竣工した竹中技術研究所の改修プロジェクトである。建築概要をTable 1に示す。Society5.0に向かう社会で描き出される新しい価値を創造するために、研究所においては多分野の知見を融合した領域横断型の迅速な研究・開発が求められている。本計画では「一体感のある空間の創出」や「研究員のアクティビティに応じたゾーニング」を目指し、研究者と一体となって計画にあたった。

Table 1 建物概要
Building overview

設計施工	竹中工務店
敷地面積	65,000.08m ²
建築面積	19,591.30m ²
延床面積	39,150.88m ²
増築面積	420.09m ²
改修面積	6,275.00m ²
階数	地下1階 地上4階
構造	鉄筋コンクリート造
工期	2018年7月～2019年9月

2.1.1 一体感のある空間の創出

研究者自らが働く環境を自由に選択し、異分野の研究者が自然な交流の中で刺激を受け、健康で創造的な研究に取り組むことのできるワークプレイスを目指した。既存の研究室は約48m×8mの細長いボリュームが中庭を挟んだ構成となっており、研究分野別にグルーピングされた、研究員の「集中」に特化したゾーニングとなっていた。改修計画では全ての分野の研究者を研究棟中央エリアに集め、研究員の「交流」を促すゾーニングへと仕立て直した。既存中庭の外壁を取り払い、ルーフライト・自動制御ルーバーをかけて内部化し、さらに、1, 2階をつなぐシアター状の大階段を交流のためのマグネットポイントとして設えた。2階吹抜け中央には南北にわたるブリッジ、さらに3階をつなぐ吊り階段を設け、平面的、断面的につなげることでワークプレイスを一体化した。

ワークショップで抽出された研究員のアクティビティをそれぞれの空間の中に落とし込み、「集中」や「交流」に合わせた家具、什器のプランニング、カラースキームを含めて多様な場を創出した。



Photo 1 改修前の研究室と中庭
Workplace and courtyard before renovation

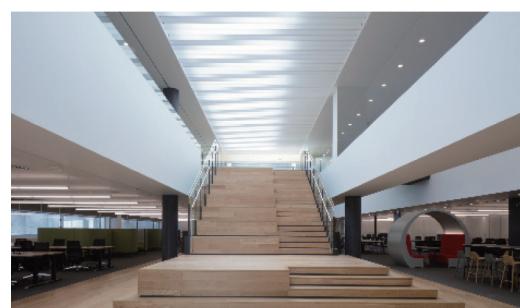


Photo 2 改修後の一体化した研究室と大階段
Grand staircase integrated with workplace after renovation

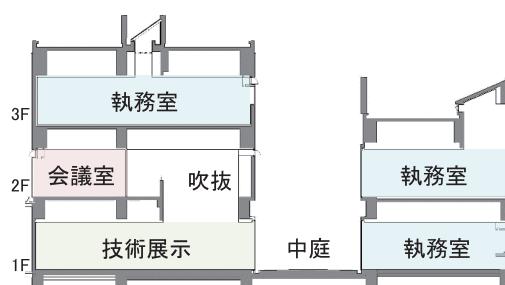


Fig. 1 改修前の断面図
Cross-section of building before renovation

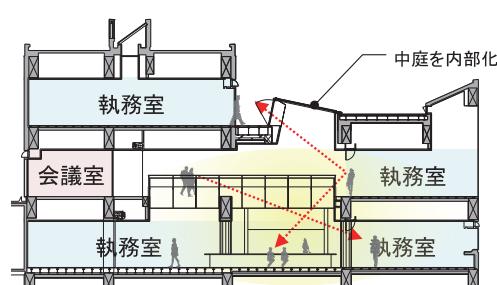


Fig. 2 改修後の断面図
Cross-section of building after renovation

*1 東京本店 設計部 主任 Chief, Design Department, Tokyo Main Office

*2 ワークプレイスプロデュース本部 課長 博士(工学) Manager, Workplace Produce Department, Dr. Eng.

*3 東京本店 設計部 主任 Chief, Design Department, Tokyo Main Office

2.1.2 研究員のアクティビティに応じたゾーニング

改修前のワークプレイスは、研究分野別に5室に分かれた分散型のゾーニングとなっていたことから、専門分野の異なる研究員同士の交流は限定的であった。リニューアル後は全研究員を研究棟中央エリアに集めることで、部門の垣根を取り払うとともに、各研究員が自分の好みや気分、行動に応じて働く場所を自由に選択するABWを導入した。ワーカーが自由に執務環境を選択することは、環境満足度や生産性向上にもつながるとされている。働く場をその都度選択することで研究員の「流動性」を高め、異分野の研究員とのコミュニケーションの活性化を目指した。



Fig. 3 想定アクティビティとワークプレイス
Assumed activities and workplace

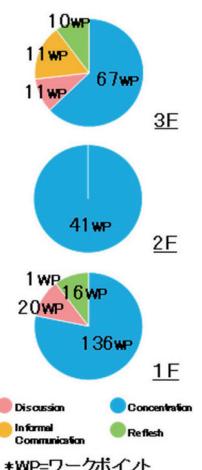


Fig. 4 ワークポイント
Number of office seats

要件整理ではプロブレム・シーキングの方法論を適用した¹⁾。研究所の「ありたい姿」を実現するために、ワーキショップを通じて研究員にとって重要な執務行動（=アクティビティ）を顕在化、空間との対応をはかり、明快なゾーニングコンセプトへ整理した²⁾。それらを受けて、空間・環境の多様性を踏まえた家具レイアウトにより、選択性の高い多様な場（ABW）をプランニングしている（Photo 3～7）。研究員が執務を行なうスペースは主に1階と3階とした。1階には、8つある研究部門それぞれの拠点となる「部門ベース」を配置するとともに、ABWのためのソロワークブース、カフェスペース、打合せブースなどを配置した。中央には、交流のためのマグネットポイントとなる大階段を設けた。3階には、集中作業向けのデスクや共用PCエリアを中心に、屋外テラスに面したオープンミーティングスペースやカフェカウンターなど、多様な空間を設けている。

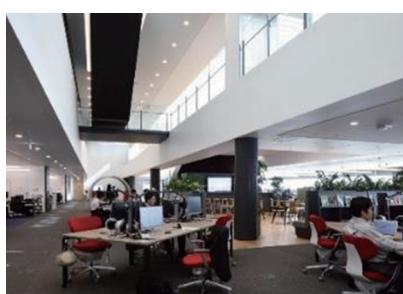


Photo 3 明るく開放的なABWワークプレイス
Bright and open ABW workspace

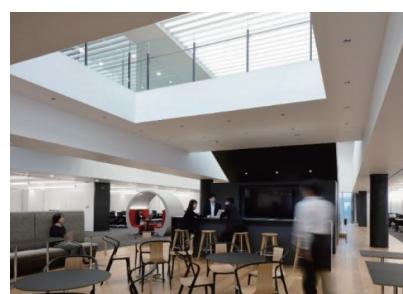


Photo 4 多目的に利用できるカフェ
Cafe area used for multiple purposes



Photo 5 部門ベース
Department-dedicated area



Photo 6 自然を感じながらリラックスワークできる屋外空間
Outdoor space for relaxing and feeling nature

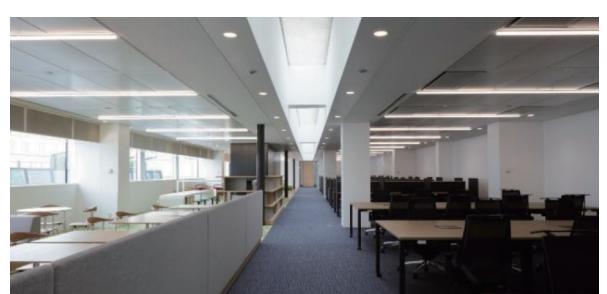


Photo 7 外に開いたミーティングスペースと内に閉じた集中環境
Open meeting space and enclosed environment for concentrated work

2.1.3 社外に技術を発信する展示ゾーン

エントランス近くにあった管理棟2階・3階を技術展示ゾーンに機能更新した。2階は体験型を含む最新技術を展示了した「i-farm」とし、ピクチャーレールとライティングダクトを直交させることで、種々の展示に対応できる天井システムとした（Photo 8）。3階には会社概要などを示す大型ディスプレイと多くの緑を配したグリーンラウンジ（Photo 9），当社保有技術や研究員の専門性などを理解いただくことで交流を深めるアーカイブルoungeも設置した（Photo 10）。2階と3階の回遊性を高めるために、階段を新設している。また、共創のタネにつながることを期待して、改修の全体像を紹介する3D疑似体験システム「Giken Watch」（Photo 11）、研究員紹介用の「曼荼羅」（Photo 12、13）等、ITを活かしたシステムも整備した。

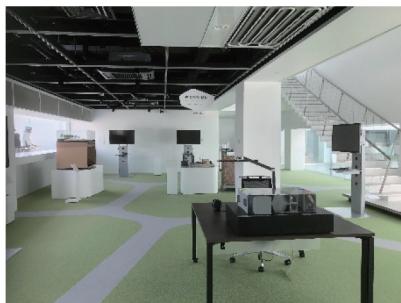


Photo 8 展示スペース「i-farm」
Exhibition space 「i-farm」



Photo 9 グリーンラウンジ
Green lounge



Photo 10 アーカイブルounge
Archive lounge



Photo 11 改修空間紹介システム「Giken Watch」
Renewal space introduction system



Photo 12 研究員情報表示システム「曼荼羅」
Researcher information display system



Photo 13 研究員情報表示詳細画面
Researcher information: detail screen

2.1.4 社内外の研究者が集う共創ゾーン

研究棟西棟には、スタートアップ・大学・パートナー会社・お客様企業の研究員とともに、技術研究所が保有する実験・分析設備などの研究資源をフル活用するための執務スペースとして共創ゾーンを設けた。3階共用部にはキッチンや多様な家具を配し（Photo 14）、ワークスペースとしての活用に加えて、ワークショップなどでの活用も可能となっている（Photo 15）。セキュリティ区分され占有可能な大小4つのプロジェクトルームも用意している。2階にはソロワーク・ミーティング等を行なうスペースに加え、仮眠スペースも設けた。1階は約200名収容のホールとして再整備を行なった（Photo 16）。3面のスクリーンは個別に使えるようにし、複数のセミナーやピッチイベントにも対応可能となっている。



Photo 14 共創ゾーン：3階カフェスペース
Co-creation zone: Cafeteria



Photo 15 共創ゾーン：3階
Co-creation zone: Workplace



Photo 16 多目的ホール：1階
Multipurpose hall

2.2 環境・設備概要

Overview of Environment and Equipment Plan

本改修に導入した建築設備技術の概要をFig. 5に示す。「人の多様性に合わせたワークプレイス」、「自然エネルギー利用と快適性の両立」、「明るさ感配慮照明制御」、「ICT 活用によるワークスタイル推進」の4つの設備技術の導入、および「みんなで使い・育てる印西の森」という生物多様性保全などの研究フィールドの整備により、新価値創造力向上への寄与を追求した。

2.2.1 人の多様性に合わせたワークプレイス

人の多様性に配慮した環境・設備計画を実現するため、アントビエントとタスクの領域を意識した計画とした。アントビエント領域は少ないエネルギー投入で快適な空間が得られるよう外壁、床、開口部の断熱を強化し、空調システムは1階：床吹出空調方式、2～3階：放射空調および調湿外気処理ユニットによる潜熱・顯熱分離空調方式として、空間特性に合ったアントビエント空間の温熱環境を創出した。タスク領域は執務者が自由に温熱、光環境を調節できるようタスクファン、タスク照明、放射デバイスで構成されるパーソナル環境制御システム（Photo 17, 18）を導入した。

また吹抜け空間など温度差が生じやすい空間においても快適性を維持しながら身体近傍空間の温熱環境を制御し、ユーザーの温度嗜好性に広く対応するため、空調家具（Photo 19）を開発した。人を囲む天蓋からの対流・放射と座面等の接触面における熱移動により身体近傍の温熱環境を制御するパーソナル空調機である。

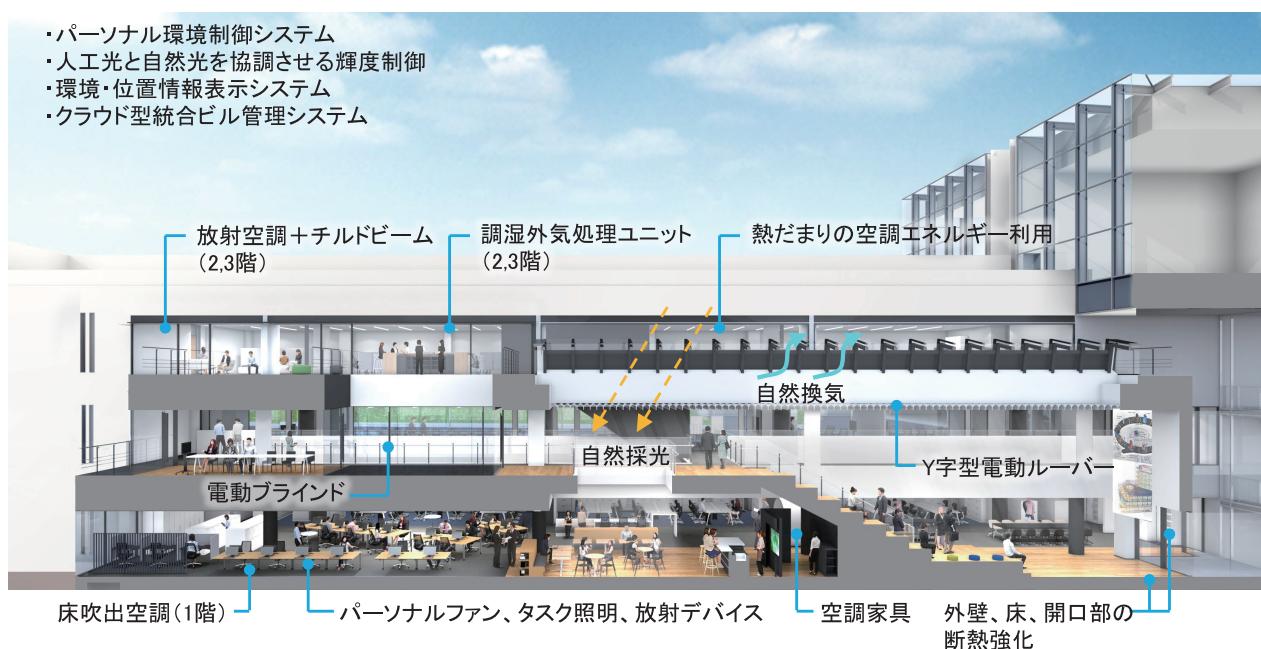


Fig. 5 改修に導入した建築設備技術
Building equipment technology introduced for renovation



Photo 17 パーソナル環境制御システム
Personal environmental control system



Photo 18 放射デバイス
Radiant air conditioning device

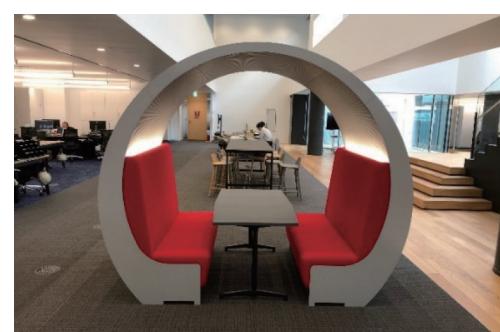


Photo 19 空調家具
Air-conditioned furniture

2.2.2 自然エネルギー利用と快適性の両立

コミュニケーション促進オフィスでよく計画される吹抜け一体空間を環境装置化するため、本改修で新たに開発したY字型電動ルーバーをトップライト下に設置した。ルーバー角度を季節や時刻に応じて変更することで、トップライトを利用した自然採光や自然換気を積極的に行なう計画とした。またY字型電動ルーバーの上部空気層にて太陽熱集熱を行なうシステムを導入し、集熱空気をデシカント空調の再生や冬季の床吹出空調に活用している。太陽熱利用をコントロールし、心地よい外部の刺激を室内で体感すると同時に、自然光を輝度制御することで快適性への配慮も行なった。

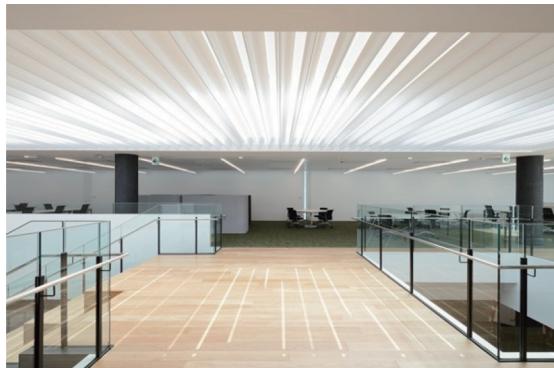


Photo 20 Y字型電動ルーバーによる自然エネルギー利用
Efficient use of natural energy with Y-shaped electric controlled louvers

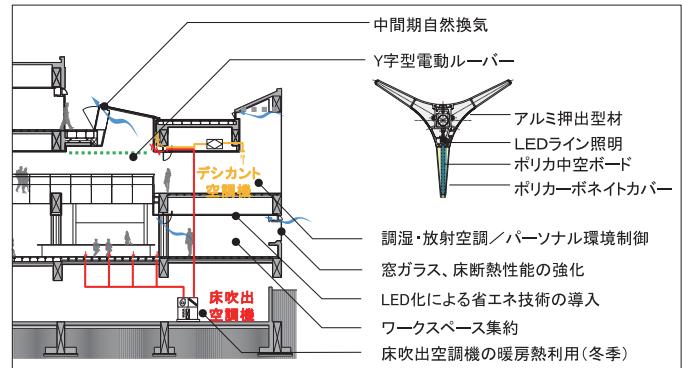


Fig. 6 Y字型電動ルーバー断面詳細図
Detailed cross-section of Y-shaped electric controlled louvers

2.2.3 明るさ感配慮照明制御

設計段階より光環境のシミュレーションを実施し、自然光を取り入れながら、極端な輝度比が発生しない光環境づくりに配慮した。自然光が届きにくいエリアには上下配光型の吊り下げ照明 (Fig. 7, Photo 21) を開発し配置することで天井面の輝度を向上させた。機能面では上下方向別、および個別に調光調色可能な通信機能付きとし、ユーザー好みの色温度に個別に設定することも可能な仕様としている。従来グリッド照明にみられた下方配光の反射による天井面の輝度の確保とは異なり、本器具は室内の床面や什器の反射率の影響を受けにくくとも特長といえる。天井・壁面の目標平均輝度を設定し輝度制御することで、省エネルギーと執務者の快適性を両立させる光環境を実現した。

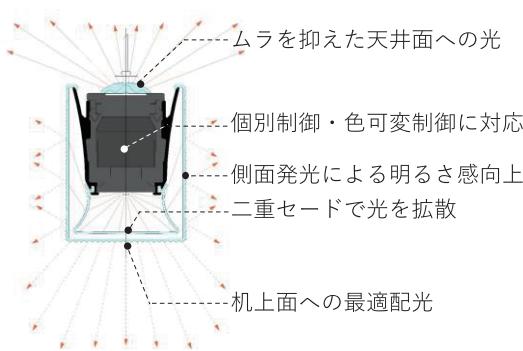


Fig. 7 上下配光型の吊り下げ照明
Pendant illumination fixture emitting light up and down



Photo 21 吊り下げ照明が設置された執務室
Workspace with pendant illumination fixture

2.2.4 ICT 活用によるワークスタイル推進

室内環境情報（温度・湿度・照度・騒音値）を重ね合わせた表示システムを導入し、オフィスエリア出入口のモニターや、執務者のスマートフォン上で各種情報を可視化することで座席選択のサポートを可能とした (Fig. 8)。また個人の正確な座席位置情報を把握するため、机に貼られたNFCタグにスマートフォンをかざすことで、座席登録を行なうシステムを導入し、ABW環境においても個人の居場所が把握できるようにした。さらに座席登録を行なうことで、座席に紐づいたパーソナル機器の操作画面がスマートフォン上に起動し、操作することができる (Fig. 9)。またパーソナル機器の運転は座席情報と連携しており、執務者が離席または退席すると、自動で運転を停止する機能を備えている。パーソナル機器の運転は、執務者が各個人の好みにカスタマイズ可能な仕様としている。設定を保存することでどの席を利用してても、好みの運転強度で起動させることができる。

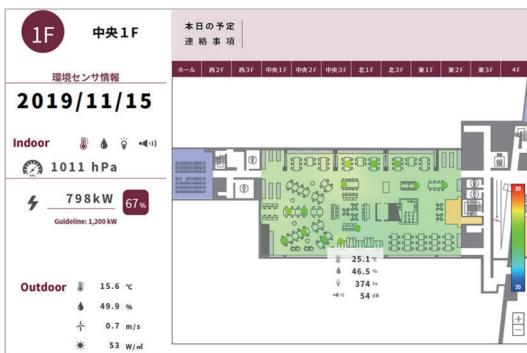


Fig. 8 室内環境情報表示画面
Indoor environment information on signage



Fig. 9 パーソナル機器の操作画面例
Example of remote control screen of personal device

2.2.5 みんなで使い・育てる印西の森

敷地北西部に生物多様性保全などの研究開発ができる実証フィールド「調の森 SHI-RA-BE」を整備した(Fig. 10, Photo 22, 23)。印西地域の里山や水辺の景観を調査し、生態系や特徴をフィールドに反映することで、地域のエコロジカルネットワークを強化している。社内外の専門家や地域住民と協働しながら、豪雨時の雨水の適切な処理による都市型水害リスクを低減するレインズケープの実証、貴重な水草の保全、鳥やトンボなどの飛来に関するモニタリング、無農薬野菜の栽培や養蜂など、新たな取り組みを始めている。

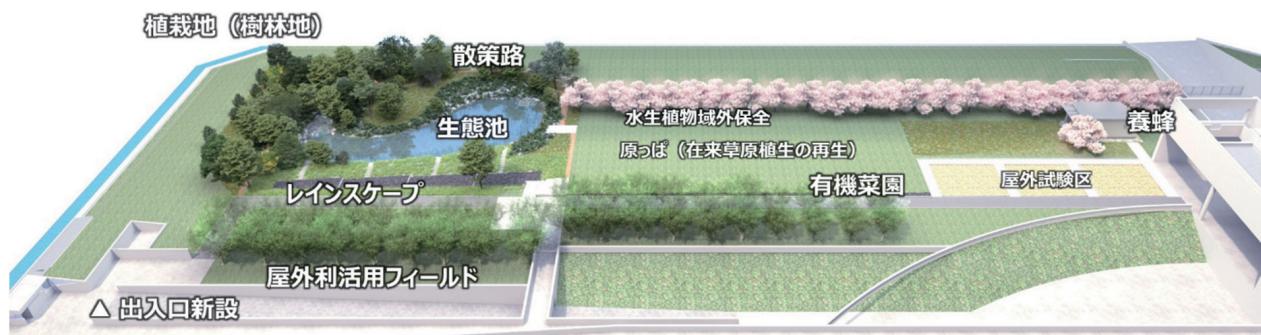


Fig. 10 調の森 SHI-RA-BE
Demonstration field for research and development such as biodiversity conservation



Photo 22 調の森：南東より望む
Demonstration field SHI-RA-BE: View from southeast



Photo 23 調の森：北西より望む
Demonstration field SHI-RA-BE: View from northwest

参考文献

- 1) William M. Pena (著), Steven A. Parshall (著), 溝上裕二 (訳) :「プロブレム・シーキング-建築課題の発見・実践手法-」, 彰国社, 2003年6月
- 2) 岡田真幸, 岩崎太子郎, 大川徹, 米谷紗恵子, 高橋祐樹 :「ワークプレイス計画において執務行動に着目したプロブレム・シーキング手法の拡張に関する試行 改修計画における「FACTSの収集と分析」「CONCEPTSの発見と試行」について」, 日本建築学会大会学術講演梗概集 建築計画, pp.527-528, 2017年8月

3 執務環境の実績・評価

Work Environment Performance and Evaluation

和田 一樹 Kazuki Wada^{*1} 菊池 卓郎 Takuro Kikuchi^{*2} 田中 規敏 Kitoshi Tanaka^{*2}

3.1 溫熱環境

Thermal Environment

3.1.1 測定概要

改修後の温熱環境改善効果の検証および多様性評価を目的に、執務エリアの温熱環境測定を行なった。Fig. 1に1階から3階の平面プランおよび改修後の温熱環境評価位置を示す。評価位置の他、屋外環境の変動を室内に取り入れる窓面や中庭、トップライトの位置も併記した。各階の代表的なワークプレイス（図中記号：Wp），打合せやりフレッシュ，個人作業にも使える共用エリア（図中記号：Com）において、FL + 600mmの温湿度・風速・グローブ温度、FL + 100mmと1,100mmの温度を5分間隔で測定し、温熱環境評価を行なった。

本節では、冬季である2月の標準勤務時間帯データ（平日8:30から17:15）を対象とし、解析を行なった。

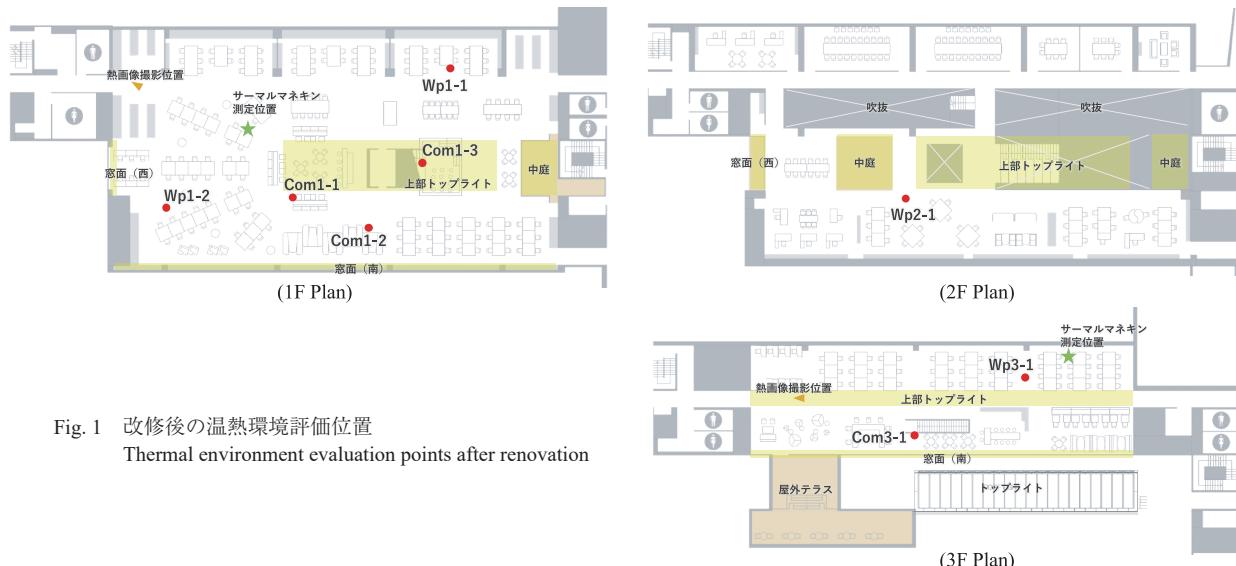


Fig. 1 改修後の温熱環境評価位置
Thermal environment evaluation points after renovation

3.1.2 湿り空気線図による熱的快適域

改修後の測定データを、ASHRAE55-2017基準の湿り空気線図による熱的快適域の評価に基づきプロットした。ワークプレイス（Wp）の結果をFig. 2に、共用エリア（Com）の結果をFig. 3に示す。

ワークプレイスにおいては、概ね着衣量1.0cloの快適範囲にあり、相対湿度も40～50%RHに分布する。共用エリアにおいては、特に昼光などの屋外環境の影響を受けやすい3階において暖かい側にプロットされている時間が多かった。改修後においては、概ね熱的快適域に分布する環境下で、執務者の作業や好みに応じて働く場を選択できる状況にあると考えられる。

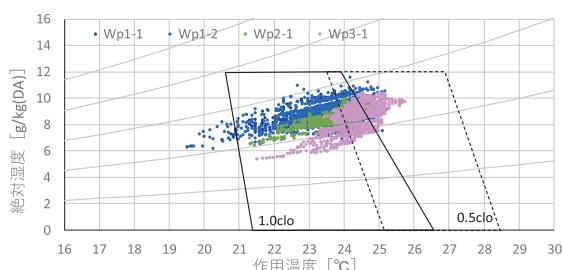


Fig. 2 ASHRAE55基準の熱的快適域 (ワークプレイス)
Thermal comfort zone of ASHRAE55 -Workplace-

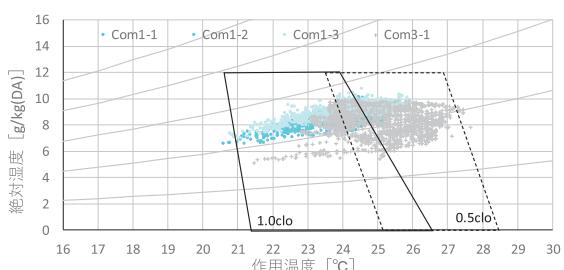


Fig. 3 ASHRAE55基準の熱的快適域 (共用エリア)
Thermal comfort zone of ASHRAE55 -Common areas-

*1 技術研究所 建築環境部 環境設備グループ長 Group Leader, Research & Development Institute

*2 技術研究所 建築環境部 環境設備グループ 主任研究員 Chief Researcher, Research & Development Institute

3.1.3 等価温度

Fig. 4に改修前後の標準勤務時間帯における各測定点の等価温度出現頻度を箱ひげ図で示す。暖房環境で気流速が0.1m/s未満の時間帯が多いことから、Bedfordの等価温度を用いて評価を行なった。また、ワークプレイス(Wp)は白色、共用エリア(Com)は灰色で区別し、図中には空気温度と放射温度が等しく、静穏気流(0.1m/s)、着衣量1.0clo、代謝量1.2MetにおけるPMVが ± 0.5 に相当するラインも併記した。

改修後のワークプレイスの等価温度は概ねPMVが ± 0.5 相当の範囲内にあり、中央値はやや暖かい側の温熱環境が形成されている。一方、改修前の等価温度は出現する幅が大きく、やや寒い側の温熱環境が形成されていた。本改修では、窓や床スラブの高断熱改修も実施しており、空調時間外の温度低下が抑制されたことも要因と考える。また、改修後において昼光や屋外環境の影響を受けやすい共用エリアでは出現する等価温度の幅がやや広い傾向にあった。

次に標準勤務時間帯における等価温度の時間推移について分析を行なった。ワークプレイス(Wp)と共用エリア(Com)に分け、時間帯別の箱ひげ図としたものをFig. 5に示す。

ワークプレイス、共用エリアとともに6時の空調開始後、蓄熱負荷の除去や日射熱取得に伴って等価温度は8時台から12時台にかけて上昇傾向にある。ワークプレイスにおいては、始業時にやや寒いデータ、午後にやや暖かいデータも確認できるが、ほぼ全ての時間帯において快適な等価温度の範囲内にあることがわかる。共用エリアにおいては、ほぼ全ての勤務時間帯でワークプレイスに比べて暖かい側の環境で、かつばらつきも大きいことがわかる。執務者が働く場を選べる本研究施設において、冬季は大半の時間帯で快適な等価温度の範囲を保つつつ、やや暖かい場所も選択できる環境が形成されていると考えられる。

3.1.4 上下温度差

Fig. 6に改修前後の標準勤務時間帯における上下温度差出現頻度を箱ひげ図で示す。上下温度差は座位を想定し、FL+1,100mmと100mmの温度差とした。

改修後の上下温度差は、局所不快感評価で不満足者率が5%未満となる3K以内であり、改修前に比べて大幅に改善された。Fig. 7は改修後の代表点(Fig. 1に撮影点併記)における熱画像であり、床温度の低下も見られない。

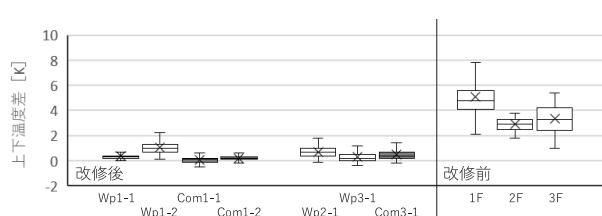


Fig. 6 上下温度差の出現頻度（標準勤務時間帯）
Frequency of vertical temperature difference during standard working hours

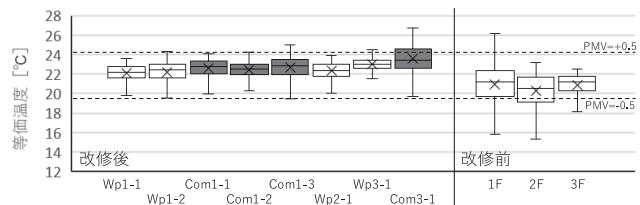


Fig. 4 等価温度の出現頻度（標準勤務時間帯）
Frequency of equivalent temperature during standard working hours

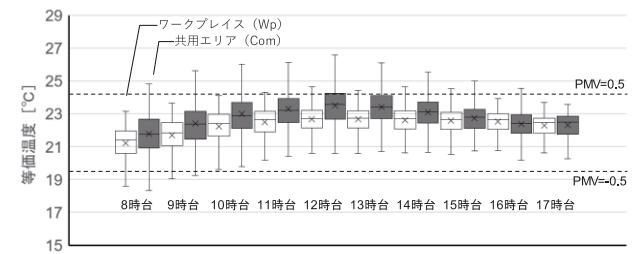


Fig. 5 等価温度の時間推移（標準勤務時間帯）
Changes in equivalent temperature during standard working hours

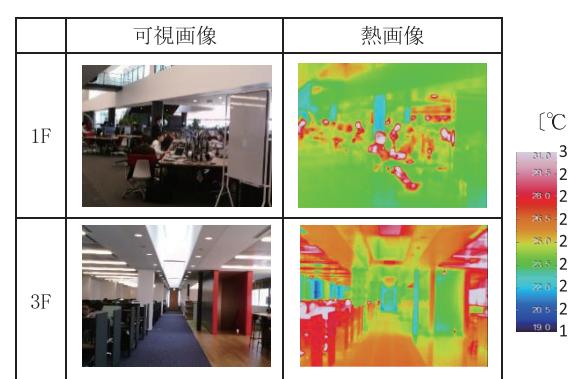


Fig. 7 改修後ワークプレイス熱画像
Workplace surface temperature after renovation

3.1.5 サーマルマネキンによる部位別等価温度

床吹出空調方式の1階、天井放射冷暖房方式の3階のワークプレイスにおいて、サーマルマネキンを用いた部位別等価温度評価を行なった。Fig. 1に示した代表座席にサーマルマネキンを着座させて測定を行なった(Photo 1)。

サーマルマネキン測定条件をTable 1に示す。サーマルマネキンはPT Teknik社製、文献¹⁾のサーマルマネキン6を

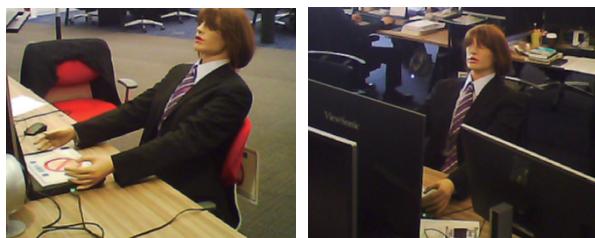


Photo 1 サーマルマネキン測定状況（左：1F、右：3F）
Thermal manikin measurement -Leftside:1F, Rightside:3F-

用い、着衣はスーツ着用（革靴、靴下、トランクス、スラックス、半袖下着、長袖シャツ、ネクタイ、長袖ジャケット）、コンフォート制御での測定とした。Fig. 5の等価温度の時間推移から、ワークプレイスにおいては12時から13時の等価温度が安定していたため、この時間帯でサーマルマネキンが定常となったデータにて評価を行なった。周囲気温は1階で24.5°C、3階で24.8°Cと3階の方がやや高い状況であった。

Fig. 8にサーマルマネキン等価温度の測定結果を示す。ここでは、空調システム等の違いが部位別等価温度に与える影響を評価するため、1階の測定データを標準条件として、3階の測定データと比較した。下半身の等価温度に違いはみられないものの、天井放射冷暖房方式である3階の方が上半身（頭、顔、腕、手）の等価温度が高い傾向であり、暖かい天井の影響を受けていると考えられる。また、背中の等価温度は3階の方が2°C程度低いが、これはワークプレイスによる椅子の違いである。Photo 1にある1階の椅子は座面・背もたれがウレタン製であるのに対し、3階の椅子は背もたれがメッシュで通気性がある。

部位別に等価温度を評価すると、全身の等価温度がほぼ同じでも、空調システムや椅子の違いが局所的な温熱環境特性の違いを生じさせていることが確認できた。

3.1.6 アンケート評価

Table 2に改修前後のアンケート調査の概要を示す。改修工事の竣工は2019年9月末、主たるオフィス空間の利用は2019年4月からであり、改修後の評価は使用開始から約1ヶ月後の調査である。光環境、温熱環境、空気質環境、音環境、視環境、ICT環境および空間環境に対して各種感覚・満足度等を7段階（気流感のみ片側4段階）で回答後、上記の総合満足度を7段階で回答してもらった。ここでは、温熱環境の結果を報告する。

Fig. 9～11に温冷感、乾湿感、気流感の評価結果を示す。温冷感については寒い側の回答が減少し、暑い側の回答が増加している。1階床部・窓部の断熱改修、吹抜け空間の床吹出空調化、中庭の内部化等により、温湿度条件が良くなつたことに起因しているといえる。乾湿感については乾燥している側の評価が減少しており、調湿システムの効果がみられる。気流感についてもやや感じる以上の評価は減少しており、放射空調、床吹出空調およびABWによる自由な席選択の影響と考えられる。

Fig. 12に温熱環境の満足度評価、Fig. 13に不満要因を

Table 1 サーマルマネキン測定条件
Thermal manikin measurement conditions

測定場所	1F（床吹出空調）	3F（天井放射冷暖房）
測定日時	2020/2/7 12時台	2020/2/12 13時台
周囲気温	24.5°C	24.8°C
使用マネキン	PT Teknik社製 22分割	
マネキン着衣	革靴、靴下、トランクス、スラックス、半袖下着、長袖シャツ、ネクタイ、長袖ジャケット	
マネキン制御	コンフォート制御	

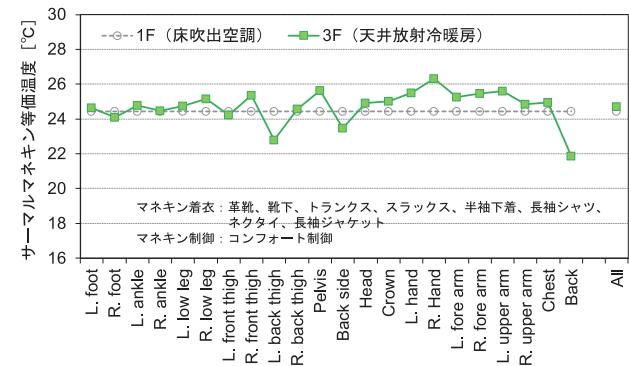


Fig. 8 サーマルマネキン等価温度
Thermal manikin equivalent temperature

Table 2 アンケート調査概要
Summary of questionnaire survey

	期間	執務形態		有効回答
		固定席	ABW席	
改修前	2018年2月7日～16日	203	27	88
改修後	2020年2月7日～21日	23	188	148

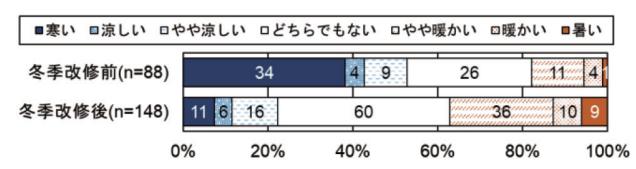


Fig. 9 温冷感申告
Thermal sensation vote

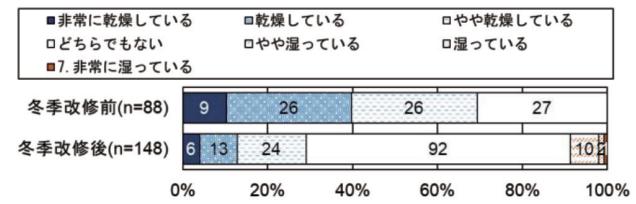


Fig. 10 乾湿感申告
Humidity sensation vote

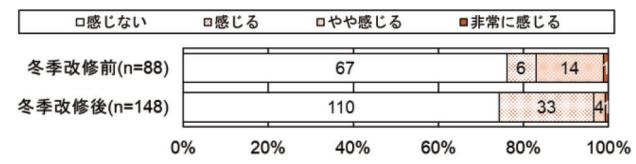


Fig. 11 気流感申告
Airflow sensation vote

示す。温度、湿度、気流に関する不満側の回答は減少し、満足側の回答が増加している。温冷感、乾湿感、気流感の評価結果と合致しており、改修の効果があったと評価できる。これは、寒い、乾燥している、風の当たり、上下温度差等の要因の不満割合減少からも確認できる。空調の調節性についても、不満側の回答は減少し、満足側の回答が増加している。冬季の利用は少ないと思われるがタスクファンの設置、局所的ではあるが吹出風量変更可能な座席（空調家具）の設置、ABWによる席選択の自由度が影響していると考えられる。上記結果を受けて温熱環境の総合評価においても、不満側の回答は減少し、満足側の回答が増加していた。

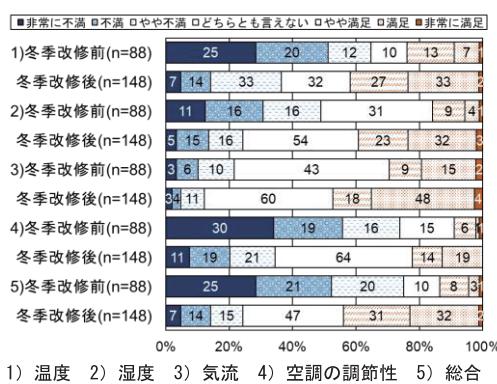


Fig. 12 溫熱環境満足度
Satisfaction with thermal environment

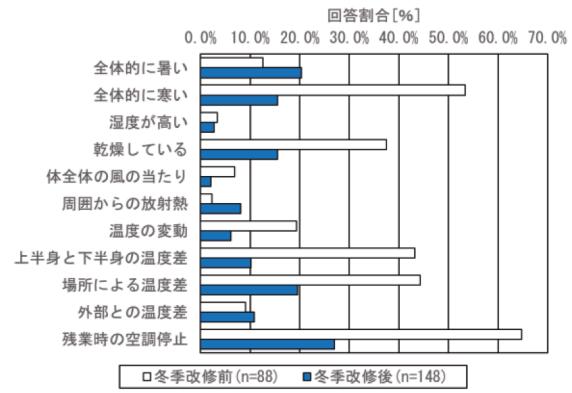


Fig. 13 溫熱環境の不満要因
Dissatisfaction factor of thermal environment

3.2 光環境

Light Environment

3.2.1 測定概要

改修後の光環境改善効果の検証およびその多様性評価を目的に、執務エリアの光環境測定を行なった。Fig. 14および15に改修前後の平面図と水平面照度測定点を示す。照度は改修前2018年5月7日～23日、改修後2020年3月1日～3月31日の期間に測定した。測定季節は改修前後とも冬季とは異なるが、南窓、中庭、トップライトからの自然光の影響を受けた変動の傾向は把握できると考えた。

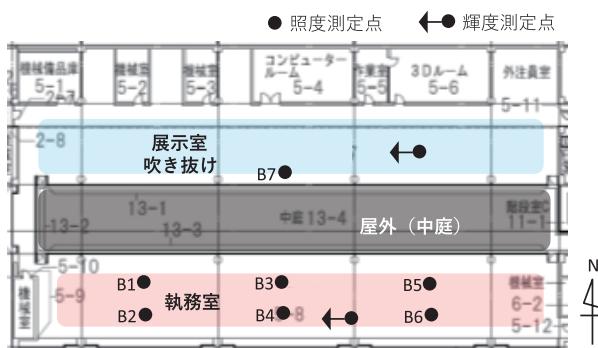


Fig. 14 改修前の水平面照度測定点
Illuminance measurement points before renovation

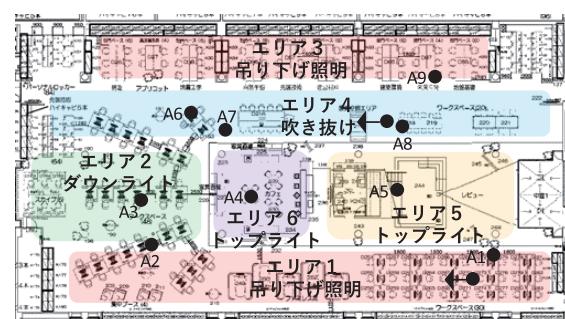
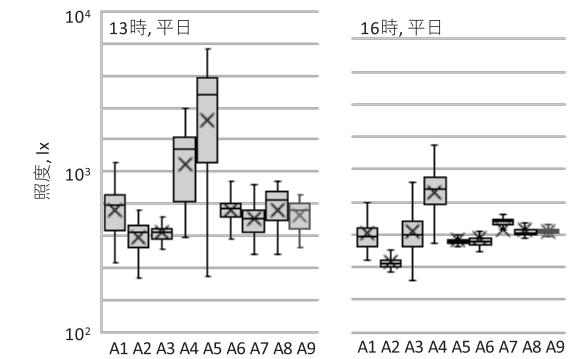
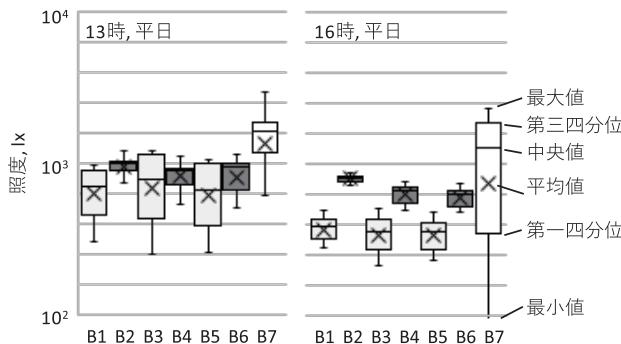


Fig. 15 改修後の水平面照度測定点
Illuminance measurement points after renovation

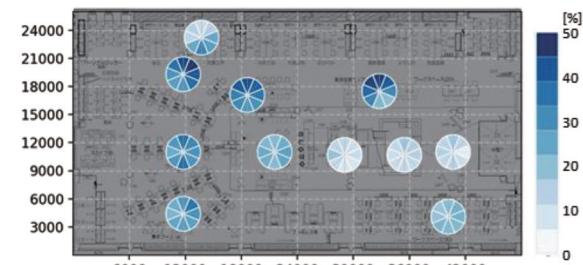
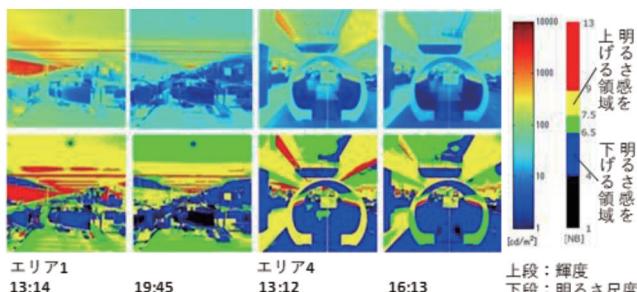
3.2.2 照度の変動範囲

Fig. 16および17に改修前後の測定期間中の平日13時、16時をサンプルとした水平面照度の変動範囲を示す。改修前後とも時刻と天候によって照度が変動している。改修前は通路/中庭側（B1, 3, 5）か、執務席/南窓側（B2, 4, 6）かでその傾向が異なった。南窓は手動ブラインドがほぼ全閉で使用されており、自然採光の影響は小さかった。改修後はトップライトが真上にあるエリア5のA4,5で水平面照度が高く、変動が大きくなっていた。エリア4のA6, 7, 8, 9では変動が小さく天候の影響が小さかった。改修後は水平面照度の平均値や変動範囲について、エリアによるばらつきが大きくなっている。設計時の狙い通り座席選択によって得られる環境の多様性が増したと考えられる。



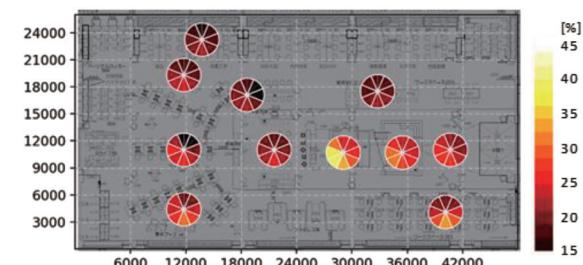
3.2.3 明るさ

代表的な視点の明るさ尺度²⁾ の分布をFig. 18に示す。エリア1のアンビエント照明は前述の吊り下げ型で、天井面の明るさが向上した。展示室だった吹抜けのあるエリア4はトップライトからの光が壁面の上部を照らし、明るさが向上した。次に、各エリアを代表する地点での8方位の明るさ感の指標をFig. 19に示す。ここでは明るさ感を下げるNBの範囲を4.0～6.5として³⁾、それが視野内を占める領域率を明るさ感の指標とした。13時の結果のみを示す。エリアと視線によってその領域率が大きく異なっていたことが分かる。



3.2.4 まぶしさ

Fig. 19と同じ地点におけるまぶしさの指標をFig. 20に示す。ここではグレア光源に対して任意の視線方向で利用可能なDGP⁴⁾ を用い、最もDGPの高かった13時の結果を示す。DGPが40%以上であれば、まぶしさが妨げになるとされる。通過動線の視点を除いて全ての視点と視線において40%を下回った。またDGPの比較的高い視点でも、視線を窓に正対する方位から45°以上ずらすことによってDGPが小さくなかった。データは示していないが、窓に正対する視線におけるPGSV⁵⁾ も通過動線を除いた測定点で不快と感じ始める値を下回った。

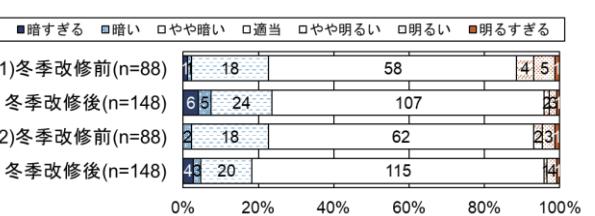


3.2.5 アンケート評価

ここでは、前節述べたアンケート調査の中から、光環境、視環境のアンケート結果を報告する。

Fig. 21に明るさ感の評価結果を示す。机上面・室全体の明るさ感は、改修前後で暗い側の回答に大差なく、明るい側の回答が減少、適当の回答が増加している。

Fig. 22に光環境満足度の評価結果を示す。自然光の入り具合・照明の質・調節性において、満足側の回答が増加している。総合的にも満足側の回答が微増している。



1) 机の明るさ 2) 室全体の明るさ

Fig. 21 明るさ感

Brightness sensation vote

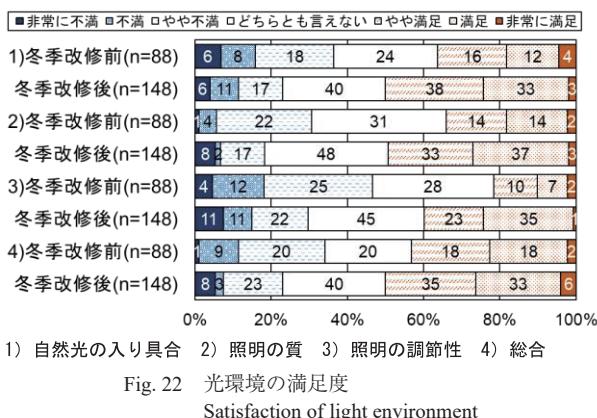


Fig. 22 光環境の満足度
Satisfaction of light environment

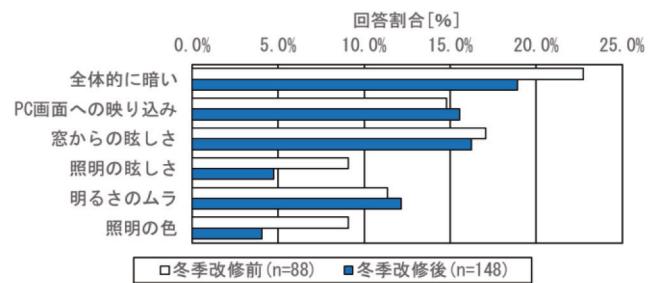


Fig. 23 光環境の不満要因
Dissatisfaction factor of light environment

Fig. 23に光環境不満要因の評価結果を示す。全体的に暗い、照明の眩しさ、照明の色等の要因において、不満回答の割合が減少している。これは、吊り下げ型照明器具による天井面の明るさ増加、中庭の内部化において導入したトップライト直下空間の明るさ増加、グレア防止に配慮した照明器具による器具輝度の低減、色温度可変型照明器具の採用等によるものと考えられる。また、窓際を避けたレイアウトにより極端な高照度の執務環境が軽減されたことに加えて、ABW採用において個々人の席選択の自由度が増加したことにより、光環境も考慮した自己選択が可能になったことも影響している可能性がある。

Fig. 24に視環境満足度の評価結果を示す。オフィス内からの外の眺望については、改修後に不満側の回答が大きく減少し、満足側の回答が増加している。改修前は窓際席が多くブラインドがほぼ全閉で使用されていたのに対し、改修後は窓際席を減らしたことや、ブラインドの自動制御導入により、ブラインドの開放時間が増加したことによるものと思われる。他人からの視線については、主動線に背を向ける座席が限定されることから、改修前後の評価に大差はなかった。

3.3 パーソナライズされた温熱環境調整機器 Personalized Thermal Sensation Control Devices

3.3.1 パーソナライズされた温熱環境調整機器の配置

本改修では、ABWを採用することで執務者が働く場所を選択できることに加え、個人調節可能な様々なタイプの温熱環境調整機器（以降、パーソナル機器）を採用し、個人により異なる快適性や嗜好に配慮した。採用したパーソナル機器の配置ゾーニングをFig. 25に示す。

以降では、パーソナル機器による人体への冷却・加熱効果を評価するため、サーマルマネキンを用いた部位別等価温度評価を行なった結果を報告する。なお、パーソナルファンは冷却効果、放射デバイスおよび空調家具は冬期における暖房効果の結果を示す。

3.3.2 卓上型パーソナルファン

最も簡易に導入が可能な採涼手法の一つとして、Photo 2の卓上型パーソナルファンを多くの座席に配した。これらは風量を個別にOFF／弱／強／急冷の4段階に調節でき、気流速度増加による冷却効果を得られる。設備的には最もシンプルであり、後付けも容易である。

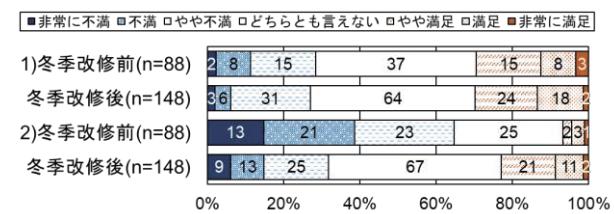


Fig. 24 視環境の満足度
Satisfaction of visual environment



Fig. 25 パーソナル機器の配置ゾーニング
Zoning of personalized thermal sensation control devices



卓上型パーソナルファン①



卓上型パーソナルファン②

Photo 2 卓上型パーソナルファン
Desktop personal fan

Table 3 卓上型パーソナルファンの測定条件
Measurement conditions of desktop personal fan

測定日	2019/9/11			
運転モード	OFF (標準条件)	弱	強	急
風量	—	36m ³ /h	58m ³ /h	78m ³ /h
風速※	—	0.5m/s	1.0m/s	1.3m/s
周囲温度	25.0°C	24.5°C	25.0°C	24.6°C
マネキン着衣	革靴、靴下、トランクス、スラックス、半袖下着、半袖シャツ			

※吹出口から50cm離れた点での最大残風速

1階の座席 (Fig. 25 : 測定点①)において、卓上型パーソナルファン①の4段階の風量別にサーマルマネキンによる等価温度評価を行なった。測定条件をTable 3に示す。パーソナルファンは最大風量が78m³/h、吹出口から50cm離れた顔付近の風速が約1.3m/sである。サーマルマネキンはPT Teknik 社製、文献¹⁾のサーマルマネキン6を用い、着衣は夏期服装を想定し、革靴、靴下、トランクス、スラックス、半袖下着、半袖シャツとし、コンフォート制御での評価とした。測定中の室温は24.5°C～25.0°Cであり、全ての運転モードにおいてマネキン表面温度が定常状態に達したデータにて評価を行なった。サーマルマネキン等価温度の測定結果をFig. 26に示す。ファンOFFを標準条件として等価温度を算出した。図より、特に気流の当たる上半身(顔、胸、腕、前太腿)を冷却していることが確認でき、全身の等価温度を比較すると、急運転時は、22.6°Cであり、パーソナルファンを使用しない場合に比べて最大2.4°Cの等価温度低下を期待できる結果となった。なお、左腕が右腕よりも等価温度が小さいが、これはパーソナルファンを左側に設置したためである。

3.3.3 放射デバイス

改修前に実施した環境調査より、1階は上下温度差が大きく、特に冬期における足元の冷えが温熱環境の不満要因であったことから、改修後は床断熱、床吹出空調化に加えて1階の一部の座席下部や窓面付近の座席には、Photo 3に示す放射デバイスを設置した。これは、2階、3階の居室のアントエント空調に使用した水式天井放射冷暖房パネルと同様のパネルを使用しており、冷温水二方弁によるON-OFF制御で運転する。

1階の北側座席 (Fig. 25 : 測定点②)において、机下に設置した放射デバイスによる効果の評価を行なった。測定条件をTable 4に示す。放射デバイスのパネル表面は33～34°Cであり、室温よりも約10°C高かった。マネキンの着衣は冬期を想定し、スーツ姿(長袖ジャケット、ネクタイ、長袖シャツ、半袖下着、スラックス、トランクス、靴下、革靴)とした。ここでは、放射デバイスがない測定点①の座席を標準条件として比較した。

測定結果をFig. 27に示す。足元を放射デバイスで暖房することで、下半身の等価温度が約1°C高く、足元の冷えを不快に感じる執務者には有効であると考える。

Table 4 放射デバイスの測定条件
Measurement conditions of radiant heating device

測定日	2020/2/7	2020/2/6
測定場所	放射デバイスなし 測定点①(標準条件)	放射デバイスあり 測定点②
周囲温度	24.5°C	24.6°C
パネル表面温度	—	33～34°C
椅子材質	座面：ウレタン 背もたれ：ウレタン	座面：ウレタン 背もたれ：メッシュ
マネキン着衣	革靴、靴下、トランクス、スラックス、半袖下着、長袖シャツ、ネクタイ、長袖ジャケット	

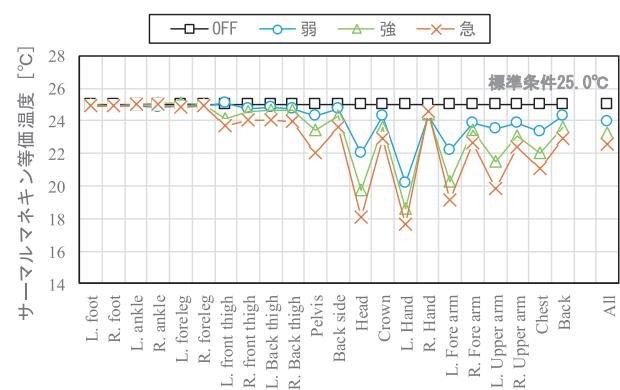


Fig. 26 卓上型パーソナルファンによる等価温度の変化
Equivalent temperature of desktop personal fan



Photo 3 放射デバイス
Radiant heating device

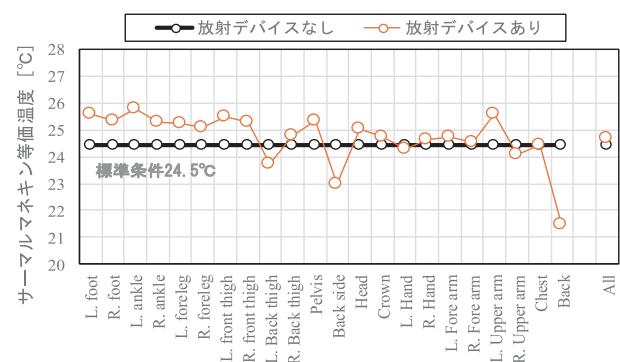


Fig. 27 放射デバイス(足元)による等価温度の変化
Equivalent temperature of radiant heating device near foot

3.3.4 空調家具

空調家具の概要をFig. 28に示す。空調家具は、人を囲む天蓋からの対流・放射と座面等の接触面における熱移動により身体近傍の温熱環境を制御するパーソナル空調機である。特に、吹抜け空間など温度差が生じやすい空間においても快適性を維持しながら身体近傍空間の温熱環境を制御し、ユーザーの温度嗜好性に広く対応できることをねらって開発した⁶⁾。

空調家具は、内部に仕切りを設けることで座面系統（赤）と天蓋系統（青）の流路を分けており、床接続部に設置した複数のファンやモータダンパー（以下、MD）を備えている。これにより、OAフロア内の空調空気を家具内部に取り込み、各系統へ別々に制御した風量を供給することができる。また、家具側面にファン付きMDを備えており、座面系統のみ室内空気を混合して吹き出すことができる。空調家具は、最大4人（2人席×2）まで座ることができ、2人席ごとに制御可能である。Fig. 29に示す空調家具の運転モードの通り、天蓋だけの使用、あるいはソファと組み合わせて使うなどの運転モードが4パターンある。

中庭に面した吹抜け空間に設置された空調家具（Fig. 25：測定点③）にて温熱環境計測を行なった。設置場所および測定点をFig. 30に示す。測定場所は、東面と南面の一部が大きなガラス面である天井高さ14mの吹抜け空間であり、空調は床吹出空調方式を採用している。このような上下温度差が生じやすい空間では、空調家具のような局所空調方式が身体近傍のみを効率的に空調できると考えられる。測定はFig. 29に示す4つ運転モードそれぞれに対して実施した。各計測は、3時間以上連続運転し、サーマルマネキンで計測する皮膚温および顎熱損失量の変動が周期定常に達するまで計測した。なお、同じ吹抜け空間に設置される木製椅子に着座した作用温度18.1°Cの状態を標準条件とした。

各モード測定時における室内環境測定結果をTable 5に、身体部位別のサーマルマネキン等価温度をFig. 31に示す。図より、空調家具を使用した場合には座面と接する部位（大腿部、臀部、腰、背中）の等価温度が高くなることがわかる。しかし、各モードの測定は計測日が異なるためアンビエント環境の作用温度などに差が生じており、この等価温度を使用してモード間の比較を行なうことは適切ではないと考える。例えば、Fig. 31で示した等価温度は空調能力としては最も大きいはずのモード4がモード3よりも小さく評価されている。

そこで本研究では、空調家具は局所空調という特徴からアンビエントの作用温度が3°C程度変化してもマネキン周囲の温度分布および表面熱伝達率は同程度であると仮定し、アンビエント環境の差を除外するためにサーマルマ

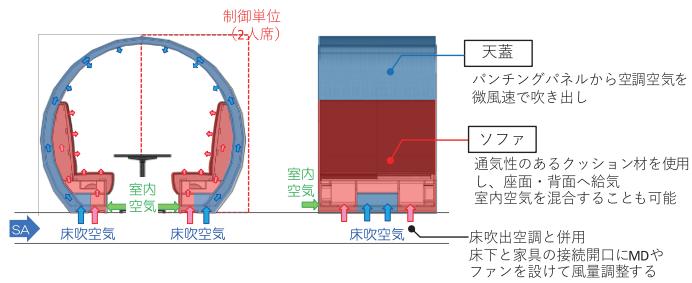


Fig. 28 空調家具の概要
Air-conditioned furniture

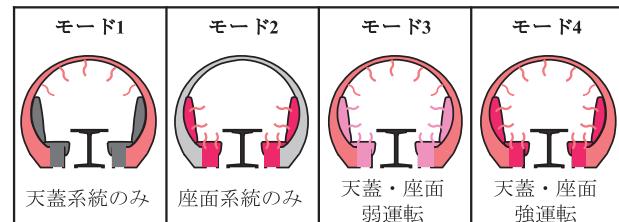


Fig. 29 空調家具の運転モード
Operation modes of air conditioned furniture

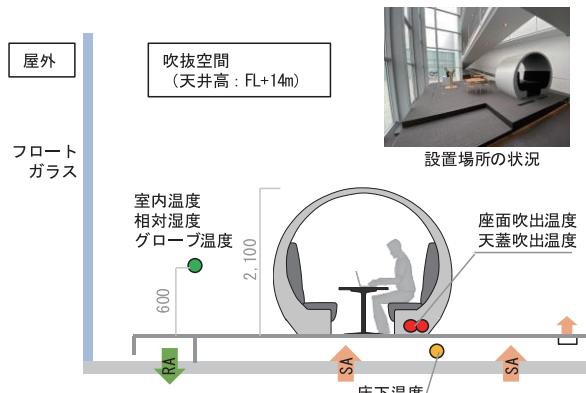


Fig. 30 空調家具の測定概要
Measurements of air conditioned furniture

Table 5 各運転モード測定時の室内温熱環境
Indoor thermal environment of each operation mode

条件 (計測日)	空気温度 (°C)	平均放射 温度 ^{*1} (°C)	作用温度 ^{*2} (°C)	床下温度 (°C)	座面吹出 温度 天蓋吹出 温度(°C)	天蓋吹出 温度(°C)
木製椅子 (1/7)	17.6 (0.2)	18.5 (0.1)	18.1 (0.1)	33.8 (4.1)	33.3 (3.4)	33.5 (3.5)
モード1 (1/16)	18.9 (0.3)	19.9 (0.2)	19.4 (0.2)	33.5 (5.0)	32.9 (2.9)	33.3 (4.2)
モード2 (1/9)	19.3 (0.2)	20.2 (0.1)	19.8 (0.1)	33.0 (4.9)	32.9 (4.0)	32.9 (2.2)
モード3 (1/9)	20.3 (0.4)	21.5 (0.5)	21.0 (0.4)	33.5 (5.1)	33.5 (3.9)	33.4 (4.3)
モード4 (1/15)	18.3 (0.5)	19.6 (0.4)	19.0 (0.4)	34.1 (4.1)	33.9 (3.5)	34.0 (3.4)

*1…平均放射温度はグローブ温度の計測値より算出

*2…作用温度は対流熱伝達率3.8W/m²、放射熱伝達率4.7W/m²として算出
()内は標準偏差を示す。

ネキン等価温度と作用温度の差を空調効果として各モードを比較することとした。サーマルマネキン等価温度と作用温度の温度差を比較した結果をFig. 32に示す。これを見ると、空調効果が最も大きいと考えるモード4の全身等価温度が全ての運転モードで最も高く、アンビエント作用温度よりも5°C程度高い環境を形成できていることがわかる。また、天蓋系統のみのモード1と座面系統のみのモード2の全身等価温度を比較すると、モード2の方が0.9°C高くなっています。身体により近い座面を温めることで効果的に人体への暖房効果が得られることがわかる。なお、天蓋のみを利用するモード1でも座面と接する部位の等価温度が高いが、これは木製椅子と空調家具のソファ部の熱抵抗の違いに加え、MDの気密性がそれほど高くないため全閉状態であっても座面系統に床下の空調空気が漏気し、座面が暖められるためである。

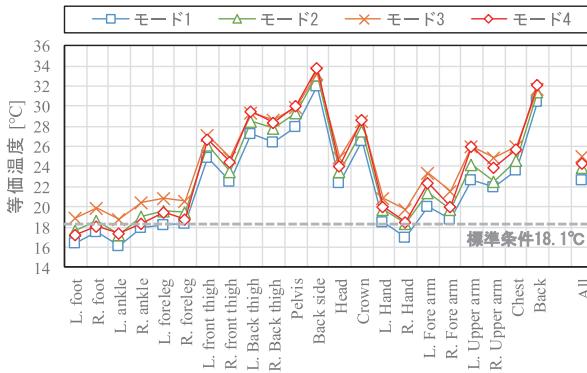


Fig. 31 空調家具による等価温度の変化
Equivalent temperature of air conditioned furniture

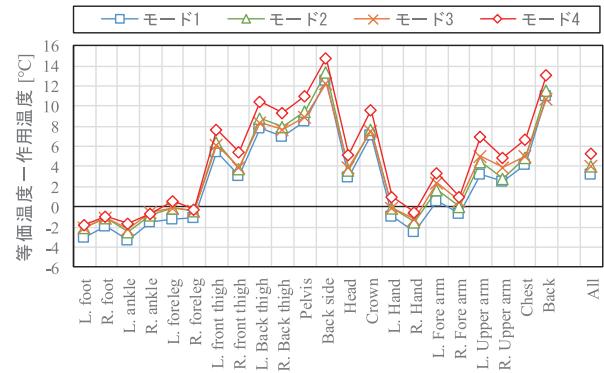


Fig. 32 等価温度と作用温度の温度差
Difference between equivalent temperature and operative temperature

参考文献

- 日本建築学会：日本建築学会環境基準AIJES-H0005-2015サーマルマネキンを用いた室内温熱環境評価法規準・同解説、丸善出版、2015
- 中村：ウェーブレットを用いた輝度画像と明るさ画像の双方向変換－輝度の対比を考慮した明るさ知覚に関する研究（その3）、照明学会誌、9, pp.97-101, 2006
- 「空間の明るさ感」検討のためのリファレンス・データ、照明学会、2010
- Wienold, J. and Christoffersen, J.: Evaluation Methods and Development of a New Glare Prediction Model for Daylight Environments with the Use of CCD Cameras, Energy and Buildings, 38 (7), pp.743-757, 2006
- Tokura, M. and Iwata, T.: Development of a Method for Evaluating Discomfort Glare from a Large Source, Experimental study on discomfort glare caused by windows part 3, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering, 489, pp.17-25, 1996
- 和田ら：ワークプレイスの多様化に対応した温熱環境制御手法に関する研究（その1）～（その4）、日本建築学会大会学術講演梗概集、2018-2019

4 執務者の知的生産性向上に向けた取り組み Efforts to Improve Workplace Productivity

徳村 朋子 Tomoko Tokumura^{*1} 高橋 祐樹 Hiroki Takahashi^{*2} 黒木 友裕 Tomohiro Kuroki^{*3}

4.1 改修の概要と執務者の特性

Outline of Renovation and Personality Traits of Workers

4.1.1 ABWにおける知的生産の考え方

オフィスにおいては、多種多様な執務者が存在し、それらが知的生産につながる行動¹⁾をとっている。竹中技術研究所改修後のワークプレイスでは、研究員の大多数を固定席のないABW対象者に設定し、知的生産性向上を目指して空間の多様化と場所選択の便宜を図った。

ABWの導入にあたっては、執務者の多様なパーソナリティや執務行動について実態を調査^{2) 3) 4)}しつつ、ワークショップ等を通じて意見を集め、設計のエビデンスとした。ABWにおける知的生産の考え方をFig. 1に示す。

エビデンスに基づいて構築されたオフィスは、2019年4月より運用段階に移った。この段階でより重要なのはABWが執務者に与える影響を実際のフィールドで検証し、さらに改善へフィードバックすることである。知的生産活動の継続的な改善を目指して検証したい主要な項目は、①座席の選択の実態や②オフィス内の各行動における満足度の変化等であり、次節以降で詳しく示す。

4.1.2 執務席・エリアの特徴

改修後のワークプレイスの特徴として、

- ・旧研究棟を分断していた屋外吹抜け空間に屋根をかけて屋内化し、上下と南北につながった一体的な大空間としたこと
- ・集中ブース、カフェスペース、ソファーキー、屋外エリアなど多様な執務席・エリアを用意したこと
- ・個人の所有物を収納する専用のロッカー、棚を集約したこと

があげられる。Fig. 2にABW執務者が主として利用する中央棟1階、3階の平面図を示す。なお、1階「部門専用エリア」と3階「共用PCエリア」は特定の研究員に専有的に利用されるABW対象外のエリアである。執務者1人あたりの床面積(執務空間)は改修前の10.2m²に対し、改修後9.3m²となった。

1) 什器等の仕様

各エリアに配されている座席の什器等の仕様をTable 1に一覧で示す。集中を意図した座席には、パーテイションが使用されている。パーテイションで区切られていない座席では、1人が専有可能な机面積は付近の在席状況により変化する。機能面では、外付けモニタや調節可能な机・椅子を一部の座席で用意している。

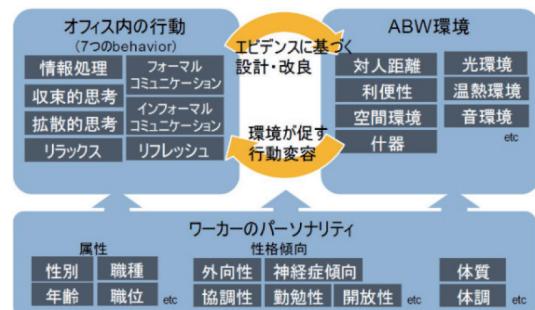


Fig. 1 ABWにおける知的生産の考え方
Conceptual diagram of workplace productivity at ABW

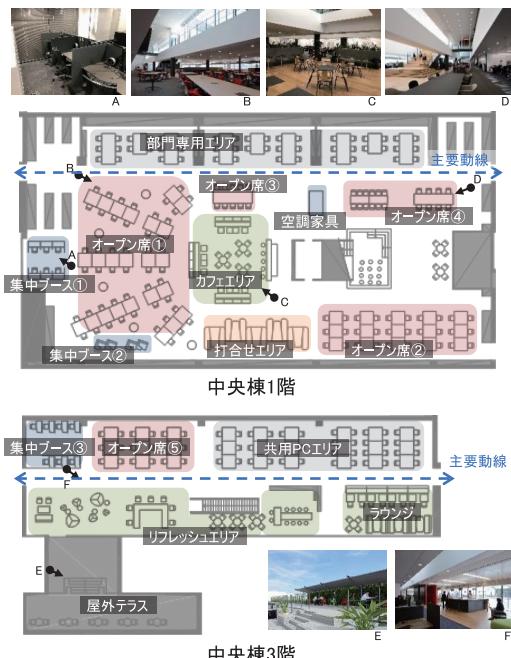


Fig. 2 ワークプレイス平面図
Layout of workplace (after renovation)

Table 1 各エリアの什器等の仕様
Specification of furniture in each area

	席数	机面積 [m ²]	モニタ	机の調節性	椅子の調節性	パーテイション高さ [mm]		
						前	後	横
1階	集中ブース①	6	0.84			○	1670	1670
	集中ブース②	4	0.13				0	1250
	空調家具	2	0.32			前・上・下を包囲	0	
	オープン席①	48	0.98	○	○	0	0	0
	オープン席②	30	0.91	○	○	0	0	0
	オープン席③	10	0.56			0	0	0
3階	オープン席④	20	0.38			0	0	0
	カフェエリア	12	0.36			0	0	0
	集中ブース③	7	0.66	○	○	1400	1400	1400
	オープン席⑤	18	0.98	○	○	1670	1670	1670
	リフレッシュエリア	10	0.56			0	0	0
	ラウンジ	17	0.25			0	0	0
	屋外	5	0.25			0	0	0

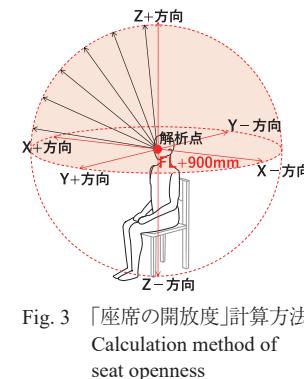
*1 技術研究所 主任研究員 Chief Researcher, Research & Development Institute

*2 技術研究所 研究主任 博士(工学) Associate Chief Researcher, Research & Development Institute, Dr. Eng.

*3 技術研究所 主任研究員 Chief Researcher, Research & Development Institute

2) 「座席開放度」

空間の多様性の一例として、各執務席の「座席開放度」を算出した。Fig. 3に示すように座席開放度は各席における視野の広がりを示す指標として考案した⁵⁾もので、解析点をFL+900mmに設け上方の半球状の範囲に10°ピッチで放射状に飛ばした光線が遮蔽物に当たるまでの距離の平均値から算出される。



フロアごとに対象全座席の座席開放度を算出し、標準化処理した数値をFig. 4に示す。集中ブースでは低く、オープン席、リフレッシュエリア、ラウンジでは高い傾向にあった。オープン席③・④は上部に吹抜けがあるため特に高いが、中には集中ブースよりも座席開放度の低いオープン席もあり、座席開放度に対する個人の好みに幅広く対応していると言える。

3) 主要動線までの距離

各執務エリアにおける座席から主要動線までの距離をエリアごとにまとめたものをFig. 5に示す。主要動線の位置はFig. 2中に図示した。集中ブース②、オープン席②、屋外テラスは15m以上であるが、その他の座席は概ね15m以下となっている。

4.1.3 環境・設備

Photo 1に各エリアの執務席写真を示す。座席を自由に選択させるにあたり、空間としての多様さだけでなく、各座席での環境調節性についても重視した。パーソナルファン、机下の放射パネル、空調家具、タスクライトなどが導入されており、例えば「あの席に座りたいが、暑そうだからこちらにしよう」といった消極的な座席選択を減らす効果を狙った。

4.1.4 運用・ルール

ABW導入によって研究員の日々の働き方は大きく変わることになる。毎日自由に身軽に席を選択する前提として、書類の削減・ペーパレス化が実施された。研究員には個人用のロッカーや収納棚が与えられるが、ペーパレス化を前提にその容量は従来の64%程度とした。ロッカー付近にはデジタルサイネージが置かれ、他の研究員の着席状況や座席周りの環境情報が表示されており、出社時の座席選択の参考となるよう配慮されている。机にはNFCタグ^{注1)}が取り付けられており、着席時に自身の席選択を登録するルールとなっている。

4.1.5 執務者の性格特性

執務者自身のパーソナリティはワークスタイルに影響を与える要因であり、ABWを考える上で十分に把握する必要がある。ここでは、改修前後に実施したアンケートによって明らかになった性格特性5因子（ビッグファイブ）⁶⁾を示す。アンケートは10の質問からなる簡易版⁷⁾を用いて、改修前の2017年10月と改修後の2019年7月に実施した。回答はそれぞれ114, 113名から得た。

改修前・改修後のそれぞれ全回答者からの回答結果をFig. 6に示す。改修前後とも協調性や開放性がやや高く、神経症傾向がやや低い傾向がある。前後を比較すると勤勉性にわずかな上昇が見られたものの、その他も含め有意差はなかった。回答時の執務環境や状況が、回答に与える影響は十分小さかったと判断して解析を行なった。

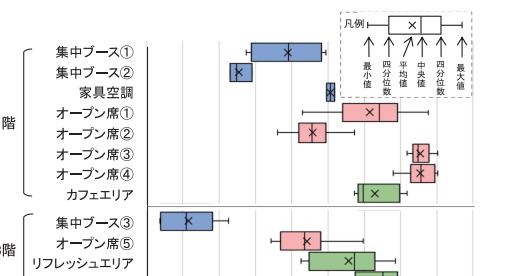


Fig. 4 「座席の開放度」の分布
Distribution of seat openness

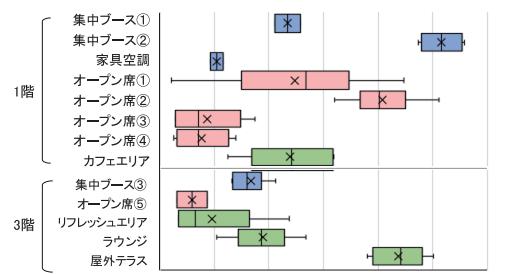


Fig. 5 各座席から主要動線までの距離
Distance from each seat to main traffic line



Photo 1 各エリアの執務席
Workspaces in each area

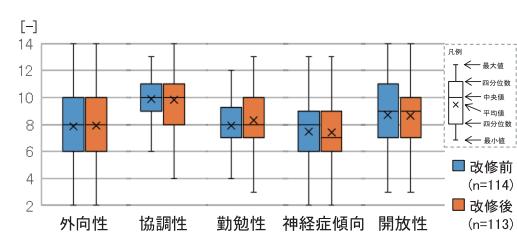


Fig. 6 執務者の性格特性分布
Worker personality trait distribution

4.2 ABW オフィスでの執務者の座席選択

Seat Selection of Workers at ABW Office

ABWオフィスにおける執務者の席選択行動については報告事例が少なく、まだ明らかとなっていない部分が多い。本節ではABWオフィスにおける執務者の座席選択に着目し、執務者の座席選択状況と座席空間環境のより詳細な把握のため、行動調査および座席空間調査を行なった結果を述べる。

4.2.1 座席選択調査概要

中央棟1階および3階（4.1.2節 Fig. 2 平面図に詳細を示す）では、執務者が執務する席を自由に選択可能である（1階「部門専用エリア」と3階「共用PCエリア」を除く）。執務者が自由に席を選択できるエリア（以下、ABWエリア）で働く執務者およびABWエリアを対象として、行動調査を行なった。調査概要をTable 2に示す。

調査期間中、90分ごとにオフィスのABWエリア内を巡回し、目視によって各座席の在席状況を記録した。さらにABWエリアで働く執務者を対象にアンケート調査を実施した。

退勤時に1日を振り返ってTable 2に示す調査項目について回答させ、執務者の所属グループ・職位などの属性や座席選択、席選択重視項目、業務内容および業務に対する満足度、業務の扱い（主観業務効率）を調査した。

4.2.2 各エリアの在席率

Fig. 7に各フロアの調査期間中の在席率示す。目視によって把握した各座席の在席情報をもとに、フロアごとの座席数に対する在席者の割合を算出した。ただしカフェスペースやラウンジスペースは机面積が小さく複数の机や座席を個人が占有している状況が見受けられたため、座席数を一部補正^{注2)}した上で在席率の算出を行なった。対象エリア全体（1階、3階）の在席率は、ピーク時でも60%程度であり、比較的座席に余裕のある状態であることが分かった。1階に比べて3階は在席率が低い傾向にあった。また調査期間中の日ごとの在席率に大きな変動は見られなかった。

Table 3にPhoto 1で示した各エリアの平均在席率を示す。オープン席①・②は座席数が最も多く一般的な執務を、オープン席③・④は短時間の執務を想定したエリアである。集中ブース①・③は執務が主である一方、集中ブース②は椅子机一体型家具で、休息・休憩など様々な用途で利用可能である。エリア別にみると、集中ブース②やオープン席④、リフレッシュエリア、ラウンジの在席率が低い一方、集中ブース①やオープン席①・②・③・⑤は在席率が高い傾向にあった。

Fig. 8は執務エリアと滞在時間の関係を示す。多くのエリアの平均滞在時間は6~8時間であったが、オープンスペース④やラウンジ、カフェエリアは利用時間が平均より短い傾向にあった。カフェエリアは昼休憩の時間は昼食目的の利用が優先となるため、午前中の利用が多く、滞在時間が特に短く2~3時間であった。

執務者が会社時に選択した座席で一日中業務を行なう傾向により、長時間の執務が行ないやすい席を選択している可能性が示唆された。

Table 2 座席選択調査概要
Overview of survey on seat selection

日時	座席空間環境調査	行動調査
	2019年10月10日～10月24日	
調査対象	1階・3階	ABWエリアの執務者（1F、3F）
調査方法	実測調査	アンケート用紙 (毎日・退勤時に記入)
調査目的	座席空間環境の把握	執務者の座席選択重視項目の把握
調査項目	1.在席率 (90分ごとに1日6回 目視による調査) 2.物理環境 (室内空気温度、相対 湿度、机上面照度) 3.空間環境	1.属性（役職、性別、 所属） 2.選択した座席 3.座席滞在時間 4.業務内容 5.好みの席かどうか 6.座席選択重視項目 7.総合満足度（業務） 8.主観業務効率

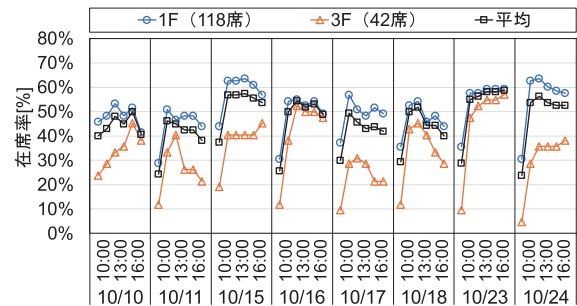


Fig. 7 各フロアの在席率
Seat occupancy rate of each floor

Table 3 各エリアの平均在席率
Average seat occupancy rate of each area

エリア	10/10	10/11	10/15	10/16	10/17	10/18	10/23	10/24
1F	家具空調	100%	0%	83%	0%	83%	0%	0%
	集中ブース①	64%	81%	89%	58%	58%	53%	83%
	オープン席①	60%	61%	75%	68%	65%	61%	71%
	オープン席②	54%	46%	68%	51%	58%	63%	71%
	オープン席③	44%	42%	53%	53%	53%	31%	39%
	オープン席④	23%	11%	8%	12%	6%	8%	18%
3F	集中ブース②	8%	4%	21%	21%	4%	0%	25%
	カフェエリア	7%	6%	15%	9%	9%	7%	0%
	オープン席⑤	63%	43%	69%	65%	40%	61%	72%
	集中ブース③	40%	33%	33%	64%	21%	26%	55%
	リフレッシュエリア	4%	21%	25%	17%	8%	13%	8%
ラウンジ	0%	4%	0%	8%	10%	10%	27%	2%
	0%	4%	0%	8%	10%	10%	27%	2%

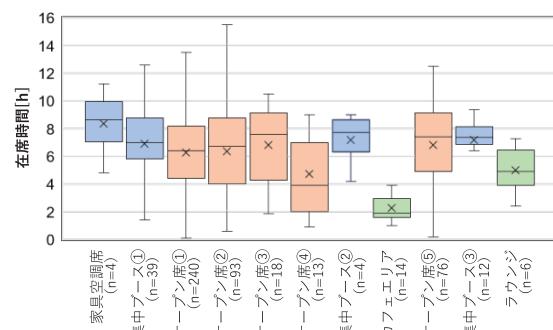


Fig. 8 執務エリア別の滞在時間
Continuous occupancy time of each area

4.2.3 執務者の属性が座席選択に与える影響

1) 職位が席選択に与える影響

Fig. 9に職位と座席開放度の関係を、Fig. 10に職位と主要動線までの距離を示す。主要動線（詳細をFig. 2に記す）は出入口から出入口を結ぶ線とし、各座席から主要動線までの家具上を通らない最短歩行距離を算出した。ライン長（組織管理者）である執務者の方が、座席開放度の高い席を選択し、また主要動線に近いエリアに着席している傾向が確認された。役職に就く執務者は、部下をまとめる立場にあるということから、グループメンバーの状況などを確認するため、周りを見渡せる開放性の高い空間を選択していると考えられる。

2) 性格特性が席選択に与える影響

執務者の性格特性と座席選択の関係性を把握するため、好みの席に座れていると回答した執務者の回答データを抽出し、各性格属性の評価点数を用い、13段階評価を5段階（2-4点：低群2, 5-7点：低群1, 8点：中群, 9-11点：高群2, 12-14点：高群2）に再分類した。

Fig. 11に協調性と座席開放度の関係を示す。協調性が極端に高い執務者が、座席開放度の低い席を好んで選択している傾向にあった。協調性はネガティブ関係コーピングと相関があり、ネガティブ関係コーピングの得点が高いほど、ストレスフルな人間関係に対して、その関係を放棄・崩壊しようと努力する⁸⁾ため、協調性の高い執務者は、他者とのやり取りを遮断するような開放度の低い座席を求めている可能性が考えられる。

Fig. 12に外向性と混雑率の関係を示す。外向度が低くなるほど隣接席の在席率の低い座席を好んで選択している傾向にあった。外向度の低い執務者は隣席間隔が遠く、人通りが少ないような非相互的な空間を求めている傾向にあることが示唆されている⁹⁾ことから、外向性の低い執務者に対しては、隣接席との距離を離した座席を用意することによって、満足度が向上する可能性が考えられる。

4.3 改修前後の執務行動満足度や知的生産性の推移

Trends of Workers' Satisfaction and Workplace Productivity Before and After Renovation

4.3.1 アンケート調査概要

本節では、改修前後の各種満足度や知的生産性に関するアンケート調査結果の推移と、執務者の年齢や性格特性検査尺度得点に基づく分析結果について示す。

アンケート調査は、改修前（2018年2月）、改修施設入居3ヶ月後（2019年7月、以下改修後①）、同10ヶ月後（2020年2月、以下改修後②）の3回実施した。Table 4に各回の調査回答者数を、Table 5に調査項目を示す。調査方法はWeb形式とし、短期的な変化が小さいと予想された性格特性は、改修後①では実施しなかった。

4.3.2 改修前後の主観評価の推移

1) 視環境・空間環境

Fig. 13に視・空間環境の要素別の満足度の推移を示す。a) 他人からの視線、b) 収納スペースに関しては、改修前と比較し、改修後①で満足度回答が減少した。改修後にパーティション付きの執務席を減らしたこと、および収

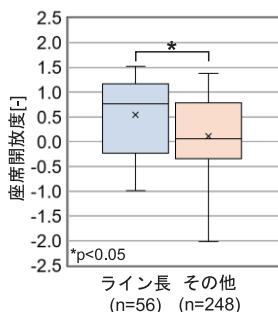


Fig. 9 職位と座席開放度
Job position and selected seat openness

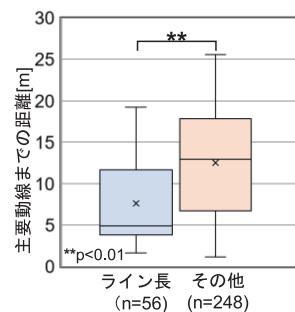


Fig. 10 職位と主要動線までの距離
Job position and distance to main traffic lane

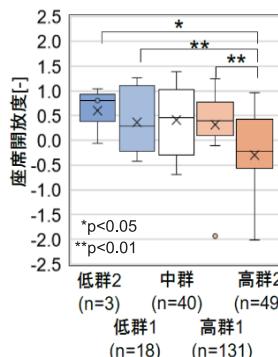


Fig. 11 協調性と座席開放度
Agreeableness and selected seat openness

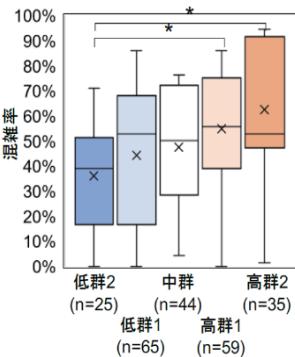


Fig. 12 外向性と混雑率
Extraversion and congestion rate

Table 4 アンケート調査回答者数
Number of respondents to each questionnaire

	改修前 (2018/02)	改修後① (2019/07)	改修後② (2020/02)
回答者数	88	113	148
職種	研究職	76	97
	事務職	12	16
性別	男性	75	93
	女性	13	20

Table 5 アンケート調査項目
Details of each questionnaire

調査項目	改修前 (2018/02)	改修後① (2019/07)	改修後② (2020/02)
属性	○	○	○
性格特性	○	-	○
室内環境満足度	○	○	○
オフィス内行動のしやすさ	○	○	○
コミュニケーション満足度	○	○	○
知的生産性	○	○	○

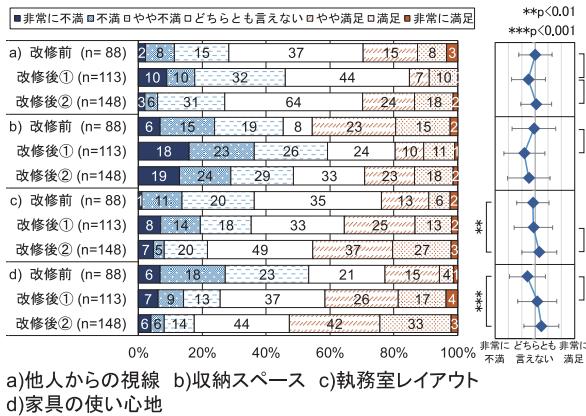


Fig. 13 視・空間環境 要素別の満足度
Satisfaction of each environmental factor

納スペースを $5.1\text{fm}^3/\text{人}$ ^{注3)}から $3.3\text{fm}^3/\text{人}$ に削減したことの影響と考えられる。ただし、a) 他人からの視線、c) 執務室レイアウトに関しては、改修後①と比較し同②で満足側回答が増加した。改修後①と同②の間に施設側の変化がなかったことから、施設の特性を理解し使いこなせるようになったこと（以下、慣れ）の影響が考えられる。d) 家具の使い心地については、改修前と比較して改修後①、同②とも評価が高まった。

2) オフィス内行動（ビヘイビア）

Fig. 14に、オフィス内行動のしやすさの推移を示す。個人で行なうことの多いa) 情報処理、b) 情報探索・加工、c) 集中は、改修前と比較し改修後①で満足側回答が減少したが、同②で増加した。個人業務に適した働き場を見つけるのに時間を要した結果と考えられる。一方で、d) 知識創造、f) インフォーマル・コミュニケーション、g) リラックス、h) リフレッシュは、改修前と比較し改修後①や同②で満足側回答が増加した。交流促進と空間の多様性を重視した施設改修の結果と考えられる。

結果として、Fig. 15に示すオフィス内行動の総合満足度は、改修前と比べ改修後①、同②の順に満足側回答が増加した。

3) 知的生産性

Fig. 16に、働き場の自己選択実現度の推移を示す。改修前や改修後①と比較し、同②で実現度が高い側的回答が増加した。Fig. 17に、改修前と比較した仕事の効率の変化の推移を示す。改修後②で高まった側の回答が増加した。ABW導入直後は大きな変化がなかったものの、新しいワークスタイルへの「慣れ」の期間を経てそれぞれ向上したものと考えられる。

Fig. 18に、働き場の自己選択実現度と改修後の仕事効率の関係を示す。改修後①・②とも、働きたい場所で作業できていると感じている執務者ほど、仕事の効率が高まる傾向があり、その程度は改修後②でより顕著となった。働き場の自己選択実現度と仕事の効率には正の相関があると言え、その傾きは働き場への慣れにより大きくなると考えられる。

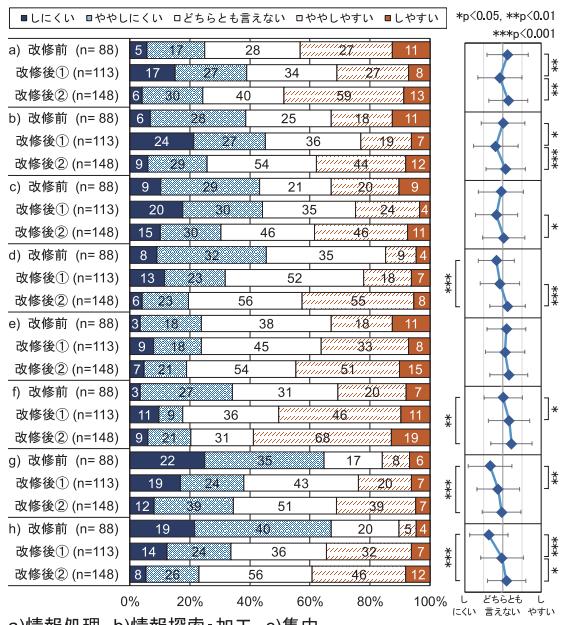


Fig. 14 各種オフィス行動のしやすさ
Difficulty of performing office activities

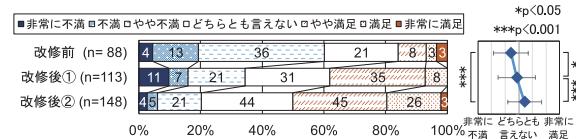


Fig. 15 オフィス内行動 総合満足度
Overall satisfaction of office activities

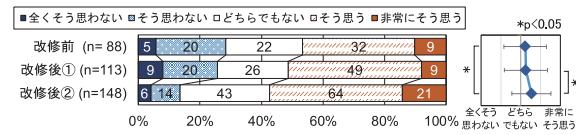


Fig. 16 働きたい場所で作業できているか（働き場自己選択実現度）
Whether occupants were able to sit at their desired seats

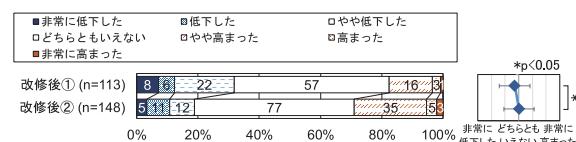


Fig. 17 改修前と比較した仕事の効率の変化
Workplace productivity before and after renovation

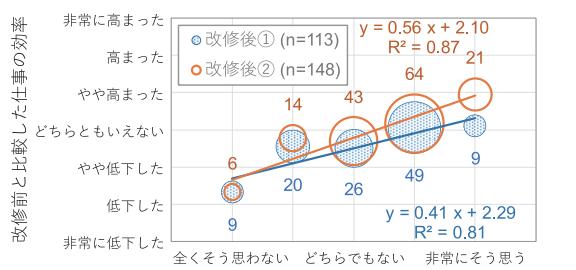


Fig. 18 働き場自己選択実現度と改修後の仕事の効率の関係
Relationship between seat selection and workplace productivity

注釈

- 注1) NFCとは、Near Field Communicationの略称で、13.56MHzの周波数を利用する近距離無線通信技術のこと。各執務席に貼り付けてあるICチップを内蔵したNFCタグを、NFCのリーダ機能を有するスマートフォンで読み取ることで座席登録を行なうシステムとした。
- 注2) 椅子の数に関わらずテーブル毎に1席とカウントした。
- 注3) fm : ファイルメータ。文書量の単位。当該文書を鉛直に積み上げた時の高さをメートルで示したもの。

参考文献

- 1) 国土交通省、知的生産性研究委員会報告書（平成24年度）、2013年3月
- 2) 高橋ら：「これからのワークスタイルに対応したActive Designに関する研究」（その1）～（その3）、日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅰ、2017年9月
- 3) 篠山ら：「これからのワークスタイルに対応したActive Designに関する研究」（その4）～（その6）、日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅰ、2018年9月
- 4) 杉野ら：「これからのワークスタイルに対応したActive Designに関する研究」（その7）～（その9）、日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅰ、2019年9月
- 5) 徳村ら：「これからのワークスタイルに対応したActive Designに関する研究」（その10）VR空間での執務席選択実験、日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅰ、2019年9月
- 6) Goldberg, L : An alternative “Description of Personality” : The big-five factor structure, Journal of Personality and Social Psychology 59, 1990
- 7) 小塩ら：「日本語版Ten Item Personality Inventory (TIPI-J) 作成の試み」、日本パーソナリティ心理学会、第21巻、2012年
- 8) 遠藤ら：「Big Fiveパーソナリティが対人ストレスコーピングに及ぼす影響」、江戸川大学紀要、第27巻、2017年
- 9) 佐藤ら：「ワーカーの個人属性とオフィス内環境選好の関係」、日本建築学会計画系論文集、第82巻、2017年
- 10) 黒木ら：「これからのワークスタイルに対応したActive Designに関する研究」（その11）～（その15）、日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅰ、2020年9月

5 おわりに Conclusion

樋口 祥明 Masaaki Higuchi^{*1}

竹中技術研究所リニューアルにおいて、「人」に関するこれまでの研究開発成果を踏まえた新しい働き方の提案と、それを具現化する設計の考え方、ワークプレイス実現の手法等を実践してきた。本研究報告では、それらの概要を報告するとともに、設計に資する「人」の移動計測や各種アンケート評価等の事前調査結果、実運用時における各種環境、空間活用の実態、「人」の移動計測や各種アンケート評価等について、継続的な調査結果を報告した。

リニューアルにより、場所による空間の多様性、物理環境の多様性が狙い通りに実現されていることを確認した。それに加えて、空間の使われ方に関して、「人」の性格や職務役割によって座席の選択性に異なる傾向がみられることが、等新しい知見も得られた。このような研究はまだ緒についたばかりであり、今後さらなる知見を得るために、働く人の声も踏まえた各種改善を行なうとともに、その効果検証等、実験フィールドとして活用する。ここで得られたデータを、今後の新しい働き方の提言、それらの働き方を実現するための設計資料の整備に活かしていく。

さらに、「調の森 SHI-RA-BE」を活用した社外との連携、共創スペースと既存の研究リソースを活用したオープンイノベーションの推進など、新たなチャレンジに取り組み、リニューアルされた新しい技術研究所で、未来に向けて夢のある研究開発を推進し、創造性豊かな成果を創出していきたい。

今回のリニューアルでは、そこで働く人に着目して進めてきたが、自然の影響を受ける空間を作っていくと、外気の変動によらず均一な環境を作っていくことに比べると、環境制御に使うエネルギーを少なくできる可能性も見えてくる。人が多様な空間をうまく使うことで、省エネルギー効果が生まれることが期待できるが、空間の多様性や環境に変化があると、自分にふさわしい働く場の自己選択が難しくなる。場の選択に必要な情報を適切なタイミングで提示することも必要になるが、多くのセンサーによる情報が得られ十分な活用ができるSociety5.0の時代にはそれも可能になってくる。その時、「ABW」を進化させた、次世代型「ABW」として、多様な人が気持ちよく働ける、一人ひとりの状態に応じて場所を自己選択する「Personality Based Working」が真に実現できると考える。さらには、いろいろなことを感じて、考えて、行動するもとになる、脳活動に注目して、脳が気持ち良いと感じることを中心に働く場所を自己選択する「Brain Centric Working」を提案したい。Next「ABW」として、「BCW」を目指して！

*1 技術研究所 専門役 博士(工学) Executive Manager, Research & Development Institute, Dr. Eng.