

平成29年度 宮城大学大学院

博士論文

スマートワークプレイスの構築と  
有効性に関する研究

事業構想学研究科博士後期課程

産業・事業システム領域

21355002

貞清 一浩

# 目 次

第 1 章 序論	1
1. 1 研究の目的	2
1. 2 研究の背景	2
1. 3 研究の位置づけ	3
1. 4 研究の動機（仮説）	4
1. 5 研究の進め方	4
1. 6 論文の構成	6
第 2 章 位置情報システムを活用した照明制御システムの有効性	8
第 1 節 ICT 技術を活用したワイヤレスシステムの開発	9
2. 1. 1 はじめに	10
2. 1. 2 位置情報検知システムの開発と適用	12
2. 1. 3 無線センサネットワークシステムの開発と適用	15
2. 1. 4 まとめ	19
第 2 節 照明制御システムの開発と適用	21
2. 2. 1 はじめに	22
2. 2. 2 LED 照明制御システムの概要	22
2. 2. 3 LED 照明灯具の基本性能の確認	23
2. 2. 4 調光率データベースによる照明制御	24
2. 2. 5 相互影響の解消	25
2. 2. 6 必要照度データベースの構築	28
2. 2. 7 LED 照明制御システムの動作検証	32
2. 2. 8 まとめ	33
第 3 節 照明制御システムの検証と視的快適性の向上	34
2. 3. 1 はじめに	35
2. 3. 2 照明制御による省エネルギー性能の検証	35
2. 3. 3 視的快適性向上のための明るさ感制御	36
2. 3. 4 窓面のグレア抑制対策	38
2. 3. 5 まとめ	41

第3章 スマートワークプレイスに適した空間構成のあり方	42
第1節 研究執務スペースにおけるレイアウトコンビネーションの効果	43
3.1.1 はじめに	44
3.1.2 レイアウト変更と調査の概要	45
3.1.3 執務者の満足度への影響	48
3.1.4 事前レイアウトとレイアウト1の比較	49
3.1.5 レイアウト1と2との比較	50
3.1.6 まとめ	52
第2節 執務研究スペースの使われ方の変化	53
3.2.1 はじめに	54
3.2.2 使われ方に関する調査・分析方法	55
3.2.3 コラボレーションの場の使われ方	58
3.2.4 まとめ	61
第4章 IoTの活用による今後のオフィスマネジメントへの展望	63
4.1 はじめに	64
4.2 IoTシステムの概要	64
4.3 無線センシングシステムの検討と評価	66
4.4 IoTシステムへの期待	68
4.5 まとめ	70
第5章 結論と今後の課題	71
5.1 本論文の結論	72
5.2 今後の課題	75
参考文献	76
図表リスト	81

## 第1章 序論

本章では、本研究の目的、本研究が求められている背景、既往研究からみる本研究の位置づけ、研究の動機及び進め方など研究の組立について整理する。。

## 1.1 研究の目的

現在日本では、待ったなしの地球環境保全の観点から要請される省エネルギー対策と、少子高齢化による労働人口の減少への対策としての知的生産性を向上させる新しい働き方を両立させるワークプレイスへの期待が高まっている。本研究では、その課題解決に向けて、リアルタイム執務者位置情報による環境設備制御と知的創造活動を支援するワークプレイスの組み合わせにより、いわゆる賢い（スマートな）ワークプレイスを提案・実証する。

## 1.2 研究の背景

近年の情報通信技術の飛躍的な進展により、人々の生活が大きく変わっている。それに加え、人口減少・少子高齢化の急速な進展、地球環境の持続可能性への脅威の増大などの課題を抱えている現在、従来型の発想や対応から、パラダイムシフトとそれを可能にするイノベーションが社会に求められている。その解決策の一つが、知的生産性の向上であり、その実現に向けての活動や提案が官民共同で行われている<sup>1)</sup>。ここでは、知的生産の場であるワークプレイスにおいて、空間の改善や環境制御の工夫の必要性が提言されている。

ビジネス環境の変化が激しくなると、経営戦略もまた頻繁な見直しと迅速な対応が求められることになる。したがって、新しいサービスやプロダクトの開発を迅速化し、時間とコストを短縮すること、人材やスキルを広く社外まで含めて調達し組織化すること、そして、そうした活動の一環として組織の再編や活動拠点の統廃合などの変化が頻繁に起こるようになる。そうした変化は、当然、組織の活動の場であるワークプレイスの計画にも影響を与えることになる。

一方、労働衛生や人事管理などの労働環境に対する社会の目も厳しくなっており、従来の工場や作業所などの労働環境改善に留まらず、ワークプレイスの労働環境改善にも注目されている。すなわち、環境の対象が作業環境から健康・快適へと移行している。

それに加え、一方、地球環境問題や電力供給問題で建築に対する省エネルギーの要請は非常に高まっている。事務所ビルに占める照明に費やすエネルギーは、ビル全体の約30%を占めており<sup>2)</sup>、このエネルギーを抑えることが省エネルギー推進の一方策であると言える。一般的に事務所ビルの照明制御は、スイッチによる点灯・消灯やビル管理システムによるスケジュール運転によるもので、省エネを進めるためには、LED電灯の積極的な採用<sup>3)</sup>や人感センサを活用した無駄な点灯の防止などが進められている。

このように、ワークプレイスには、知的創造活動の重要性や地球環境問題の深刻化による新しい働き方と省エネルギーを両立できる仕組みへの期待が高まっている。

### 1.3 研究の位置づけ

インターネットの発達により、ワークプレイスでの働き方は、いわゆる事務処理型の業務から新しい価値を創造する知的創造型のワークスタイルに変革しているが、ワークプレイスのレイアウトや環境制御の方式は、1980年代のインテリジェントビルの出現期から大きく変わってはいない。近年になって、ホワイトカラーの生産性が注目され、知的労働者の働き方に着目したワークプレイスの研究が盛んになってきている兆しが見られるようになってきた<sup>4)</sup>。従来では、困難であった個人のワークプレイス内での在席位置情報をリアルタイムに検知することが可能となり、宗本らが行動・環境モニタリングによるワークプレイスの省エネルギーと知的活動の活性化技術開発<sup>5)</sup>を行うなどの動きも出てきた。しかしながら、特にレイアウトにおける「集中の場」と「コラボレーションの場」を対象にした研究は少なく<sup>6),7)</sup>、スペース効率の工場を目的としたフリーアドレスオフィスにおける試み<sup>8)</sup>が行われている程度である。Post Occupancy Evaluation<sup>9)</sup>により、集中と交流の場の持ち方についての評価を行う試みもほとんど行われていない。

一方、ワークプレイスの省エネルギーの取り組みとして、日本では、全般照明方式が広く用いられており、欧米では、標準的な照明方式として広く用いられているタスク・アンド・アンビエント照明 (TAL) 方式が広まっていけない現状がある。TAL方式は、アンビエント照明とタスク照明に分けて照明する方式であり、部屋全体の明るさを確保するアンビエント照明と、個人の作業のための机上面照度を確保するタスク照明の組み合わせによって成立している<sup>10)</sup>。また、TAL方式の組み合わせ要件と部屋全体のエネルギー削減効果については、欧米を始めとし、日本でも研究がおこなわれている<sup>11),12),13),14)</sup>。なお、TALの研究事例については、タスク・アンビエント照明 (TAL) 普及促進委員会報告書<sup>14)</sup>で詳細なレビューが報告されている。TALに関する既往の研究の多くは、アンビエント照明とタスク照明との比率 (A/T比) についての研究や個別のタスク、アンビエントの照明についての報告が主流である。また、センサによる自動調節については特に調光速度による執務者の快適性の研究なども行われている<sup>15),16)</sup>。ところが、本研究で提案するアンビエント照明の負担部分を極端に低減し、エネルギー効率を最大に得ようとする試みは既往の研究からは見つけることができない。

本研究は、知的創造社会における「事業を構想し、展開する場」として、中心的な役割を担うワークプレイスのあり方を追求するものであり、知的創造活動のための「集中の場」と「コラボレーションの場」を持つ空間レイアウトと執務者個人の位置情報をもとにしたきめ細かい環境 (照明) 制御をもつ、まったく新しい (賢い) ワークプレイスを提案・構築し、実務の場として利用しながら、実証的研究を行うことで、さらに新たな事業機会の創出をも目指すという特徴を有している。

#### 1.4 研究の動機（仮説）

情報通信技術、特に無線技術と制御技術を活用し、ワークプレイス内の執務者の個人を特定した位置情報をリアルタイムに取得することで、いわゆる賢い（スマートな）制御が可能なワークプレイスを構築し、その執務者の満足度を向上させる効果を得るとともに、センシングされたデータからオフィスの使われ方を可視化し、さらなる改善に導くための手法を提案する。すなわち、位置情報を検知するシステムをベースに、日常の環境制御を行いながら、オフィスの使われ方を評価できる **On-Going** 型のワークプレイスの構築・評価の手法を提案・実践する。「きめ細かいリソース（エネルギーやスペース）の配分・バランスが省エネルギーと個人の快適性を両立させるという仮説である。また、この仮説の組立には、個人に合わせた環境を提供することが満足度を向上させること、きめ細かい設備制御を行うことで大きな省エネルギー効果を期待できること、および使われ方を学習することでワークプレイスが改善できること、という考え方が前提となっている。この前提の考え方についても仮説検証を行う必要がある。

特に知的創造活動にはコミュニケーションの活性化が不可欠であるとの考え方<sup>4)</sup>も浸透してきており、研究員に必要な集中の場と交流の場の使い方についても合わせて提案する。

また、執務者のリアルタイムな位置情報を取得し、環境制御を行うシステムを提案・実践した報告は見られず、実践の場で架設を検証することが本研究の意義である。

#### 1.5 研究の進め方

本研究では、「スマートワークプレイス制御システムの構築」と「スマートワークプレイスに適した空間レイアウトの構築」の2つの側面から検討を行う。

「スマートワークプレイス制御システムの構築」では、ICT技術を活用した新しいオフィス制御システムの開発では、ワークプレイスにおいて、リアルタイムに相当数の執務者の位置情報を検知可能なシステムを構築・適用するために、利用者負担の少ない位置検知法を考案することから始める。ワークプレイス制御において必要な検知範囲を執務者の執務周辺、すなわち執務机の大きさをベースに確実に検知できることと、検知応答時間も合わせて検証を行う。その後、位置情報検知システムの設計を行い、実際にワークプレイスでの実装を行い、実験環境を整備することにする。

続いて、ワークプレイスのリアルタイム制御が適切に稼働していることを計測するための、無線センサネットワークシステムの構成を検討し、実証ワークプレイスに導入する。この無線センサネットワークシステムにより高密度無線計測が可能なことを確認した後は、室内環境情報の可視化するためのプログラム開発が必要となる。

ワークプレイスにおける執務者のリアルタイムな位置情報検知システムと高密度な環境モニタリングが可能なセンサネットワークシステムを有する環境が整備できた段階で、きめ細かい照明制御を行うシステムの技術的実現性の確認を行う。技術的実現性においては、

省エネ性能の高さで普及している LED 照明灯具の基本性能の確認を実施し、調光率データベースによる照明制御を検討する。この照明制御に必要な照度データベースの構築方法を整理し、LED 照明制御システムの基本構成を設計し、システム開発を目指す。

実務の場に照明制御システムを実装し、その動作検証を行うためには、照明器具を含む大幅なワークプレースの改修が必要となるため、システム実装は比較的長期間の休みが取れる期間に行うこととする。

本研究では実証の段階の被験者へのアンケート調査を予定しており、執務者の位置情報に基づくリアルタイムの照明制御環境下での執務者への視的快適性への不満が見られた場合には、実務上支障が生じる恐れがあるため、順次必要な改善策を検討し、対応することとする。その対応内容についても、本研究の一部としてまとめることとする。

「スマートワークプレースに適した空間レイアウトの構築」では、知的創造型のオフィスレイアウトを目指すため、研究執務スペースにおけるレイアウトコンビネーションの効果を検証するため、執務者の満足度への影響についてレイアウト実験を通じて評価する。

まず、今後のワークプレースに求められる知的創造活動に有効と思われる執務者の業務における「集中作業」と「コラボレーション作業」をワークプレース内で行うためのレイアウトコンビネーションを定義することから始める。

続いて改修前のワークプレースと改修後のレイアウトでの満足度の違いをアンケートにより調査分析により明らかにする。アンケートは、ワークプレース全体、自席、打合スペースにおける使い方や温熱・光・音などの環境因子などを 5 段階評価で継続的に実施することとする。また、使われ方の調査を実施し、自席と打合スペースとのバランスを見るために、改修後のレイアウトを更に変更し、さらなるアンケート調査により、2 つのレイアウトコンビネーションの比較検討を行うこととする。

特に本研究で重視するコラボレーション作業のしやすさを評価するため、ワークプレースのレイアウトの形態による場の使われ方についての分析を行うための調査・分析方法を整理する。レイアウト変更前後におけるコラボレーションスペースの使われ方の変化を把握するには、ワークプレースに実装するネットワークカメラによるインターバル画像から行動観察調査を実施する。

以上、本研究を進めるにあたっては、執務者の位置情報によるワークプレース制御の一連の開発行い、実務の場に実装し、運用しながらデータを収集する。この制御システムを組み込んだワークプレースで実際に執務する被験者の満足度やワークプレースの使われ方をアンケートや観察調査によって分析する。また、現在、飛躍的に産業システムとし期待されている IoT 技術の活用についても、プロトタイプシステムの開発と適用を行うことで、今後の適用可能性についても検証することとする。



筆者が勤務する清水建設株式会社技術研究所では、古くはインテリジェントビルやOAシステムの導入初期の段階から近年のインターネット隆盛の時期まで一貫して施設の情報化に関する研究開発を行ってきた。筆者は、ICT技術、特に無線通信技術を活用することで、オフィス環境を向上させるための本研究開発を2010年5月より開始している。また、この研究開発の期間中、マグニチュード9の東北地方太平洋沖地震が発生し、その影響による電力使用制限など省エネルギーに関する技術についても喫緊の研究開発課題となった。すなわち、筆者らには、生産性の向上を図るオフィスの提案と省エネルギーも両立させる執務者に受け入れられる環境制御システム開発の両方を早急に解決するソリューションの提案が求められている。そこで勤務する約30名の研究員を被験者として、従来の中央監視型のビル管理システムによって制御されていた建物の一部のワークスペースを改修し、高度な制御システムを有する新しいワークスペースを構築し、ワークスペースの構築手法や評価手法の実証的研究を進めている。環境制御の開発費などを含めるとかなりの投資を行うが、今後のオフィスの生産性を向上させるための技術やソリューションは、当社の事業においても、その価値が認められている。

## 1.6 論文の構成

本論文は以下の章立てで構成している。

本章では、本研究の目的、本研究が求められている背景、既往研究からみる本研究の位置づけ、研究の動機などを整理している。

第2章では位置情報システムを活用した照明制御の有効性について述べる。本研究の基礎となる新しいワークスペース制御システムとセンサネットワークシステムの開発経過とシステムの有用性を提示し、スマートワークスペースの照明制御の一連の構築手法について論じている。すなわち、位置情報にもとづくリアルタイム設備制御システムの構築、好みの照度の把握と、それを実現する照明制御方法の提案およびアンケート調査結果によるワークスペースの照明方法の改善と効果検証についてまとめる。

第3章では、スマートワークスペースに適した空間構成のあり方について述べる。ここでは、レイアウトコンビネーションの導入の経緯と計画について解説し、位置情報と満足度調査結果にもとづくレイアウトの効果について考察と環境の満足度、集中・コミュニケーションの満足度および使われ方の変化（コミュニケーション場所）と、執務内容との対応などの評価方法についての実証に基づく検討を行う。

第4章では、IoTの活用による今後のオフィスマネジメントの展望について述べる。ここでは、近年大きな注目を浴びているIoT技術をワークスペースの構成要素として適用の

ための課題と期待される効果について検討する。すべてのものをインターネットに接続し、リアルタイムの情報連携による付加価値の向上を目指す IoT の概念と技術は、本研究の社会実装を進める際に非常に役立つことが期待される。そこで、現段階で実証可能な IoT システムの構成を検討し、特にその入力部分である無線センシングシステムの検討と評価を行い、今後の IoT の施設内活用により期待される効果について検討をすすめる。

第 5 章で本論文のまとめとして、本研究の結論と今後の課題について述べる。

## 第2章 位置情報システムを活用した照明制御システムの有効性

本章では、ワークプレイスにおける省エネルギーと快適性の両立を目指す本研究の基礎となるリアルタイムな執務者の位置情報によるワークプレイス制御システムとセンサネットワークシステムの開発経過とシステムの有用性を提示し、スマートワークプレイスの照明制御の一連の構築手法について論じる。

## 第 1 節 ICT 技術を活用したワイヤレスシステムの開発

本節では、本研究を進めるにあたってのベースとなる無線通信技術の活用について検討する。まず、本研究で提案する執務者のいる場所だけを環境（照明）制御の対象とすることを可能とする執務者の屋内位置情報を検知するシステムの開発を目指す。次に無線センサネットワークシステムの構成・概要を説明するとともに実適用する際の重要な無線 LAN 対応について実地計測により効果を検証する。加えて、高密度無線計測の検証と、室内環境情報の可視化と分析結果を示す。

### 2.1.1 はじめに

ロボット工学の分野から提案された様々なセンサを用いて空間内の事象を捉え、ネットワーク化されたコンピュータやロボットがこれらの情報を知的に利用することにより、人間に適切なサービスを提供する機能を空間が持つことをいう空間知能化<sup>17)\*1</sup>がセンサネットワークやリアルタイム設備制御技術の発達により、実際の建物に実装できるようになってきた<sup>18)\*2</sup>。すなわち、空間がスマート（賢く）になる時代が到来している。

一方、地球環境問題や電力供給問題で建築に対する省エネルギーの要請は非常に高まっている。事務所ビルに占める照明に費やすエネルギーは全体の約 30%を占めており<sup>2)</sup>、このエネルギーを抑えることが省エネルギーの一方策である。その有力な手段として TAL 照明があるが、アンビエント照明は空間を一律・定期的な点灯するため一定の電力消費が必要であり、タスク照明の消し忘れなどさらに削減を進める余地がある。また近年、普及しつつある LED 照明器具は、省エネルギー（高発光効率、長寿命）の側面ばかり注目されているが、その特性として優れている、高指向性、高応答性など<sup>3)</sup>は十分に発揮されていない。本研究では、無線デバイスを活用した空間知能化の技術と LED 照明の高応答性に着目したきめ細かい調光や点灯・消灯制御技術を融合させた新しい制御方法を提案・開発し、それらによって消費電力を最小限に抑えつつ、執務者にとっては快適な環境を実現できることを実証する。本報では 3つの基本的なサブシステム、すなわち、位置情報検知システム、LED 照明制御システム、必要照度データベースからなる局所照明制御システムを開発し、それらを筆者らが執務する実オフィスに適用して適用可能性を検証した。

本研究で提案するシステムは、執務者が作業をしている周辺だけ天井の LED 照明を調光し、その執務者の好みの状態にすること、すなわち、一般事務所での推奨照度 750lx<sup>19)</sup>にこだわることなく、予め登録してある在席者の嗜好の明るさに基づき、常に誰が在席しているかを認識することにより、机上面照度を自動的に調整し、さらに不在の場合には消灯することで、個人の満足を確保するとともに、オフィス全体の省エネルギーを達成できると考えた（図 2.1.1）。この図の場合、左の在席者は明るめの照度を、真ん中の在席者は暗めの照度をそれぞれ好みとしており、それに対応した天井照明の制御となり、不在席の上の照明は消灯している状況を示す。なお、位置情報検知エリアは、誰が在席しているかを判定する検知の範囲をイメージしており、この検知範囲内に入った場合、個人の識別を行う。このようなシステムを構築するためには、対象オフィス内で執務者がどこにいるのか、その位置情報をリアルタイムに検知するシステムとその個人の必要照度データ、さらに局所的に照明を制御するための灯具 1 灯ごとの調光システムの組合せが必要となる（図 2.1.2）。

本照明制御システムを適用した筆者らの執務するオフィスは、事務所ビル（自社ビル）の一部（320 m<sup>2</sup>）である。2010 年 5 月に、コラボレーションやコミュニケーションの活性化と個人の集中作業のシステムを実装した。レイアウト変更後の平面図を図 2.1.3 に示す。



図 2. 1. 1 新しい照明制御システムの動作

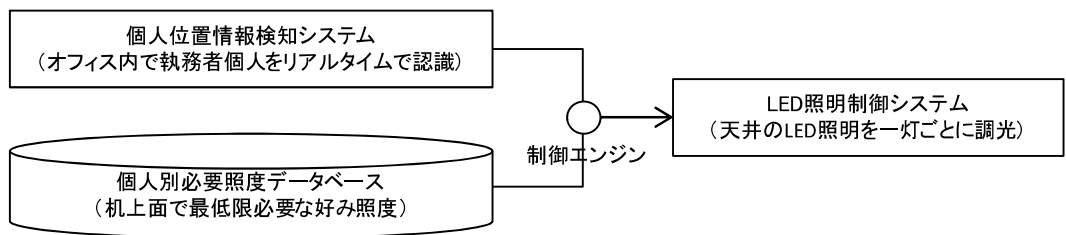


図 2. 1. 2 照明制御システムのブロック図

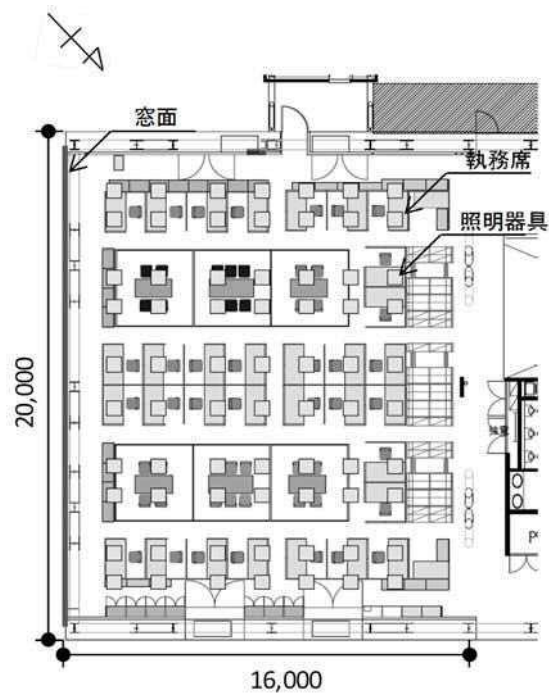


図 2. 1. 3 対象オフィスのレイアウト図

この対象オフィス（以下、スマートワークプレイスと呼ぶ）は、窓面が東南に位置し、日射の遮蔽のために窓面全体にブラインドを設置してある。スマートワークプレイスの執務者は、研究開発を主たる業務とする 24 才から 62 才までの 28 名の研究員であり、年齢構成は、20 代が 4 名、30 代が 6 名、40 代が 8 名、50 代以上が 8 名で、男性 25 名、女性 3 名であった。なお、この人数は、その後の組織変更や退職などにより、若干名の変動があった。4 章で述べる必要照度データベースの構築で 1 年後の比較を行っているが、その時点では、28 名が 25 名となっていた。また、研究員によっては、自席はあるものの、執務時間のほとんどを自席以外で執務するものも、若干名存在している。

### 2.1.2 位置情報検知システムの開発と適用

オフィスの執務者の位置情報を検知する仕組みは幾つか提案されているが<sup>20)21)</sup>、本システムでは、実オフィスに適用することが現実的に可能なコストであることを目標とし、セミアクティブ型 RFID タグを採用した。例えば無線 LAN による測位では、アクセスポイントを密にしても、5m 程度の検知精度が限界である<sup>22)</sup>。局所的な位置情報を取得するために電界通信<sup>23)</sup>の利用も考えられるが、大規模なオフィス全体での位置情報の取得には多大なコストが掛かる。セミアクティブ型 RFID タグは、IC タグの一種であり、電池を内蔵し、外部からの特定の信号を検知した時に、アクティブタグとして機能（電波を発信）する。電池を内蔵しないパッシブタグよりも読み取り可能通信距離が長く、アクティブタグよりも電力消費が少ない特徴を有する。

このセミアクティブ型 RFID タグ（以下、電子タグ）が場所ごとに異なる信号を検知することで、位置情報を取得する方法を開発した（図 2.1.4）。位置 ID を持つ LF (low frequency) 波(125kHz 帯)を一定時間ごとに発信するコイルアンテナ（LF アンテナ）を、床カーペットの下に設置することで、電子タグが LF 波を受信できる範囲（位置検知エリア）を形成した。執務者の持つ電子タグからは、このエリアへの侵入をきっかけに、RFID 波

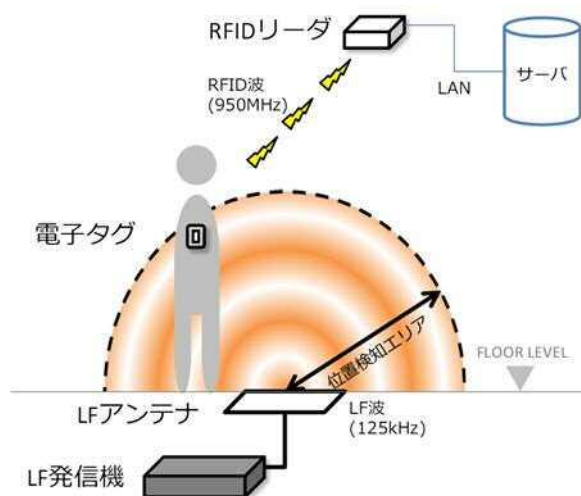


図 2.1.4 位置情報取得システムの構成

(950MHz 帯)が発信される。RFID 波で送信されるデータには、執務者を特定する電子タグの ID、また、場所の移動を判定するために利用する前回と今回の受信 LF 波 ID が含まれている。これを RFID リーダが受信し、それらの情報を取得したサーバが、利用者全員の位置情報をデータファイルに記録する。この一連の動作を一定間隔で繰り返すことにより、対象オフィス内の数十名の移動・滞留において、執務者に IC カードをカードリーダーに接触させるなどの検知のための能動的行為をさせずに、個人を特定しつつ、ほぼリアルタイムで検知することが可能となる。本システムで採用した電子タグおよび LF 発信器の仕様を表 2.1.1 に示す。

電子タグの装着方法としては、執務者の業務や行動を阻害させないため、首からストラップ等を用いてぶら下げることが想定している。この際、執務者の姿勢として立位と椅子座位があることを考えると、タグは、常に高さ 80cm から 140cm 程度の間にある。また、個人の位置の判別には机周囲の大きさ、すなわち 1.6m×1.6 m (半径 0.8m) 程度 (約 2.5 m<sup>2</sup>) の分解能が必要と想定される。

そこで、LF 波の出力を変化させながら、水平・垂直方向に対する検知範囲を確認する調整を行った。図 2.1.5 のように、50cm 四方の正方形の LF アンテナを床に設置し、その中心から x 方向に 25cm ピッチで移動し、そこから検知用の RFID タグを検知不可になる限界まで y 方向に持ち上げ、限界点の高さを記録した。LF 波出力を試行錯誤した結果が図 2.1.6 である。このように、LF 波の出力を制御することにより、求められるような高さ 600~1400mm で半径 800mm の位置検知エリアを形成することができた。

人の移動・滞留を検知する間隔、すなわち検知応答時間は、照明点灯時間に対して執務者が不満を持たない程度で、かつ内蔵電池の消費を抑えるために時間当たりの RFID 波の

表 2.1.1 セミアクティブ型 RFID タグおよび LF 発信器の仕様

セミアクティブ型RFIDタグ		LF発信器	
空中線電力	1mW	通信方式	電磁誘導
電波形式	F1D	周波数	125KHz帯
通信周波数	950MHz帯	電源	AC100V
通信速度	250Kbps	外形寸法	200×230×70(mm)
電源	CR2032×1		
外形寸法	65×36×9.5(mm)		



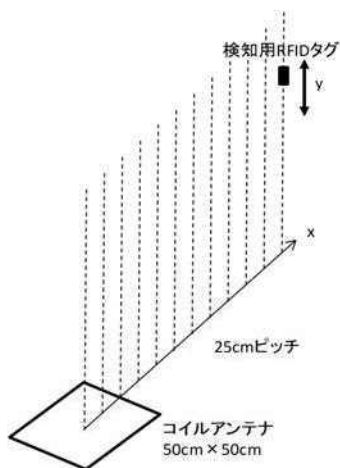


図 2.1.5 アンテナの調整方法

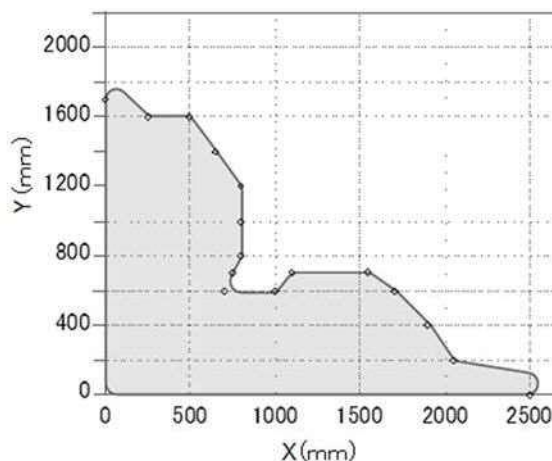


図 2.1.6 検知範囲のプロット

発信回数を少なくする必要がある。照明の点灯時間は、可能であれば着席すると同時に点灯することが望ましいが、電子タグの製品性能として、送信間隔は3秒以上という制限がある。また、採用する電子タグの設計電池寿命のカタログ値は、1時間に1回の発信で約1.5年である（約780,000回発信が可能）。実運用上許容できると思われる1年間を電池交換時期として設定することとし、年間執務日数200日、1日8.5時間勤務、オフィス在席率50%を条件とすると、年間780,000回の発信が可能な発信間隔は、約3.9秒となる。

そのため、電子タグの送信間隔性能もクリアできる送信間隔を4秒に決定し、電子タグ内のファームウェアを設定する。LED照明制御システム全体としての検知から制御までに要する時間は、伝達や制御に要する時間は1秒以内と想定できるため、着席してから最長でも5秒以内に照明が可能であると想定している。

検知空間範囲および検知応答時間を設定した位置情報検知システムをスマートワークプレイスに実装するため、対象エリア全体において個人の執務席（1600×1600mm）の面積で電子タグの検知エリアへの入出を識別させることができるように、LFアンテナを図2.1.7の○印のように配置した。これにより、スマートワークプレイス内のすべての執務席および打合せ机における位置情報検知を行う。

全執務者には、電子タグを常時携帯するように依頼し、運用を開始した。スマートワークプレイス内に設置したディスプレイに常時表示されているリアルタイム位置情報表示画面（図2.1.8）により、対象エリア内での複数人の位置情報検知が最長でも5秒以内に検知されていることが確認できた。

なお、表示画面中の在席・位置情報の図は、対象オフィスの座席レイアウトを表しており、濃い色で表示されている座席には、執務者が在席していることを表している。打合せテーブルの部分には、複数人の氏名を表示している。右上の在席・人数の表示部分には、各座席やテーブルに在席している人数を表示している。

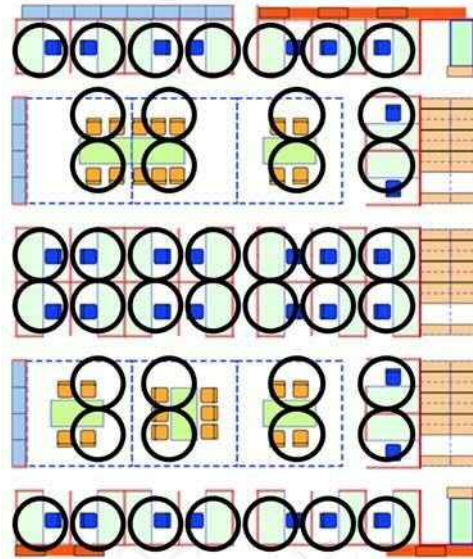


図 2. 1. 7 アンテナの配置図



図 2. 1. 8 リアルタイム位置情報画面

電子タグの内蔵電池の交換時期は、執務者の累計在席時間に依存するものの、2010年5月の運用開始後、最短で電池交換をした執務者でも約1年であった。位置情報検知システムを実オフィスに適用した場合でも、事前の実験と同様に検知範囲、検知時間について運用可能であることを確認し、電池寿命も支障が無いことも合わせて確認できた

### 2. 1. 3 無線センサネットワークシステムの開発と適用

電子タグと同じく無線技術を利用した無線センサネットワークという概念・技術が幅広い分野で注目を集めている。これは「用途に応じた各種センサ」、「センシングしたデータの処理を行う演算装置」、「処理結果を送受信する通信機能」の3要素を備えた小型かつ安価な端末(センサノード)を多数ネットワーク化し空間に配置することで、その空間の状況を認識しようという試みである。昨今のセンサ・通信デバイスの小型・低コスト化によって、今後、このセンサネットワーク技術の様々な分野への応用が広がると考えられている。ここでは、以下の3点を目的とした実証的な研究を実施した。

- ① 一般的なオフィス空間における高密度無線計測の検証
- ② 室内環境情報の可視化と分析
- ③ モニタリングデータによる空調・照明システム制御

ここでは構築したモニタリングシステムの概要について説明した後、①と③の結果について述べる。

図2.1.9にシステムの全体構成を示す。システムは温度・湿度・照度センサを備えたセンサノード(複数)、ゲートウェイノード、データサーバから構成される無線センシングシステムと、それとIPネットワークで接続される空間状況認識システム、設備制御システム等の上位システムから構成される。本研究では無線センシングシステムとして、広く使われている2.4GHzの無線周波数帯を利用した製品の中から、研究開発用のプラットフォームであるCrossbow社製MICA/MOTEシリーズを採用した。図2.1.10にセンサノードの配置を示す。センサノードはオフィス内の個人席のパーティション内に17台、打合せテーブル上に6台の計23台を設置し、5分間隔で連続的に室内環境データを計測するものとした。

本研究で構築したモニタリングシステムによる室内環境計測は、一般的なビル管理システムのセンサや、一時的に計測機器を持ち込んで行う実験計測と比較し、実際の執務環境下における多数かつ高密度な計測を長期間連続で実施することや、人の位置情報、空調・

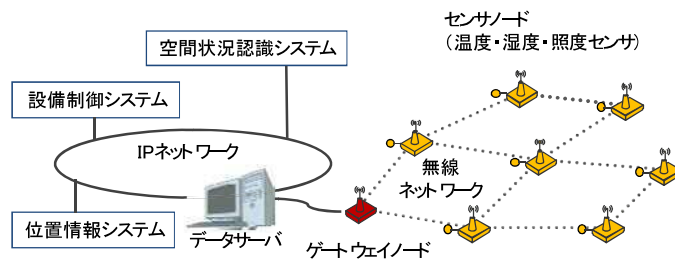


図2.1.9 センサネットワークシステム構成

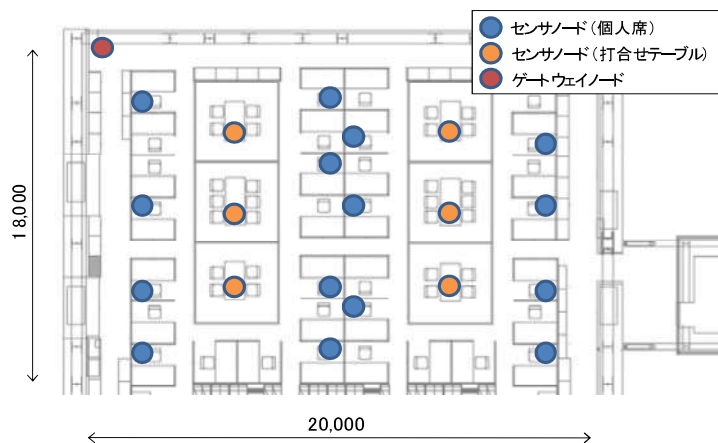


図2.1.10 センサノードの配置

照明設備の稼働記録等、他のデータと組み合わせた複合的な分析が可能であることにおいて特長的であるといえる。

本研究で利用した無線センシングシステムは、無線ネットワークアーキテクチャのうち物理層、MAC 層は IEEE802.15.4 に準拠、ネットワーク層は独自プロトコルを採用し、アドホックかつマルチホップな無線通信を実現している。無線周波数の帯域は、IEEE 802.15.4 で規定されている帯域のうち 2.4GHz 帯であるが、この帯域は様々な無線通信システムおよび高周波機器によっても利用されており、特にオフィス空間においては IEEE 802.11b/11g(無線 LAN)との干渉が実用上大きな問題となる<sup>24)25)</sup>。今回はその問題を回避するためオフィス内の電波環境を実測した上で、利用する無線チャンネルを決定した。

2.4GHz 帯における無線 LAN の帯域幅 22MHz に対し、IEEE802.15.4 の帯域幅は 2～3MHz と比較的狭帯域であり、2400MHz～2483.5MHz の間に 16 個設定されているチャンネルの中から適切な選択をすることで、それらの共存を図ることができる。図 2.1.11 に無線スペクトラムアナライザにより計測したオフィス内の電波強度(1 分間のピークホールド)の実測結果のグラフを示す。2420MHz から 2460MHz にかけて無線 LAN によると思われる強い強度の電波が確認されるが、無線センシングシステムをチャンネル 26 (中心周波数 2480MHz) に設定することで、干渉を回避できていることがわかる。この設定により長期間連続的に安定したデータ取得が可能となった。

一般的なオフィスにおける空調システムでは、室温は壁面に設置されたごく少数のセンサによって計測されている。そのため計測値と実際の執務空間の室温との乖離が発生する可能性がある。また室内における温度ムラを検出し、それに応じたきめ細やかで効率的な空調を行うことは難しい。

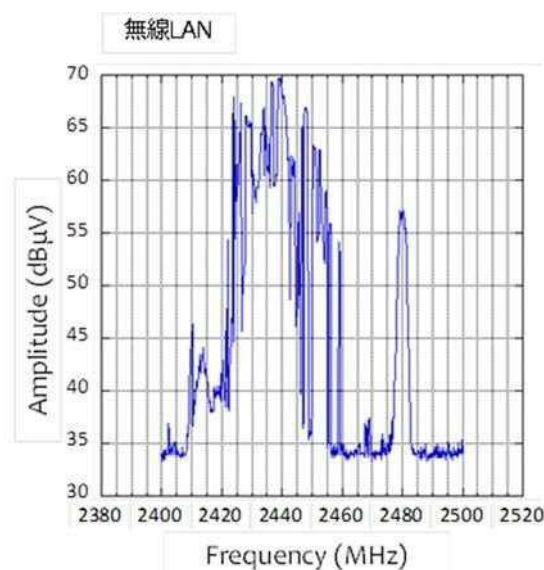


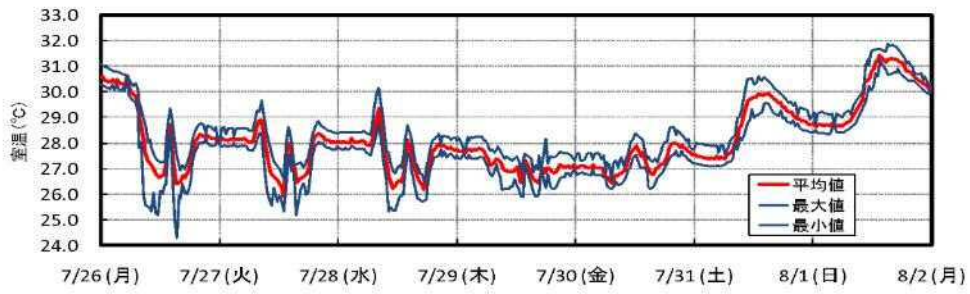
図 2.1.11 ワークプレイス内の電波強度の実測結果



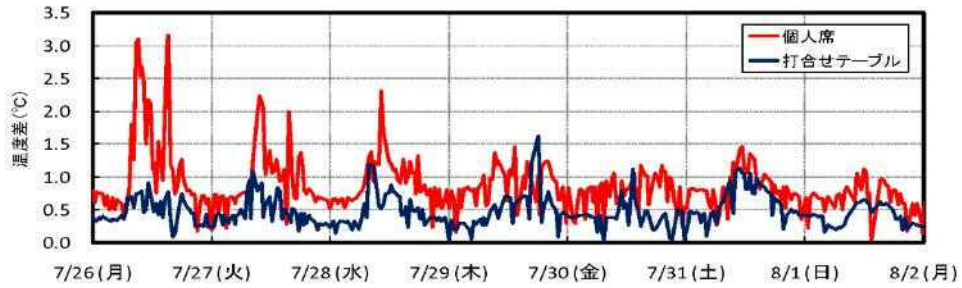
図 2. 1. 12 ワークプレイス内の温度表示画面

本研究で構築したシステムでは、室内環境の詳細なモニタリング可能である。例えば、計測した室内環境のデータは空間状況認識システムによりオフィス内の執務者がウェブブラウザ上でリアルタイムに確認することが可能である。図 2. 1. 12 は温度データの表示例である。

一方、図 2. 1. 13 はある一週間のオフィス内の温度のデータであり、(a)は全 23 台のセンサの平均値と最大・最小値、(b)は個人席と打ち合わせテーブル別の温度差の最大値である。個人席では温度差が最大で 3°C 以上になること、温度差が大きくなるのは平日昼間であり、夜間や休日は小さいこと、そして打合せテーブル付近では比較的溫度差は小さいことなどがわかる。対象としたオフィスでは通常とは異なる空調方式が導入されており、室内の温度差に関してはその作動状況を考慮した詳細な分析が必要であるが、本システムによって室内環境の詳細なモニタリングが可能であることが確認できた。なお、このような分析に関しては、同様にセンサネットワークで収集した室内の温度分布図も必要に応じて出力することができる。



(a)



(b)

図 2. 1. 13 センサネットワークで収集した室内温度推移

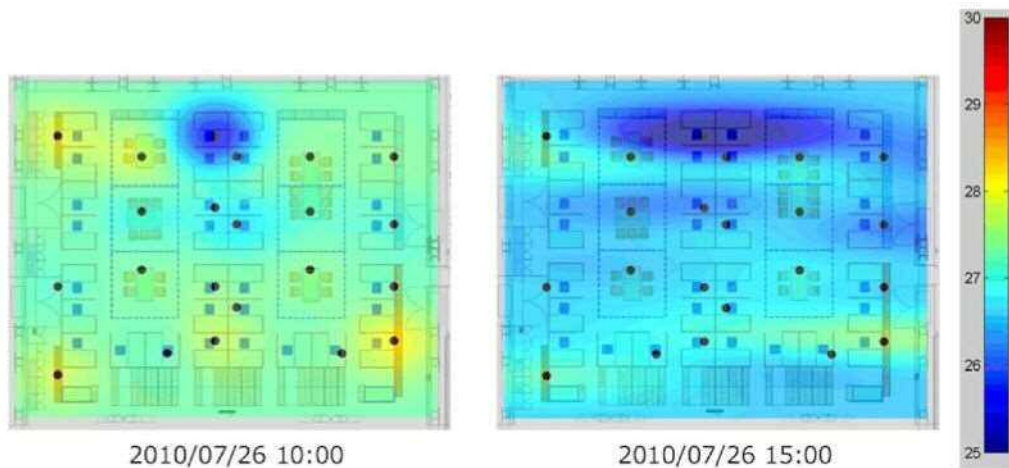


図 2. 1. 14 センサネットワークで収集した室内の温度分布図

#### 2. 1. 4 まとめ

本節では、今後の研究を進めるためのワークプレイスの制御とモニタリングを行う基盤としてのワイヤレスシステム開発と適用を行った。

電子タグを用いた屋内位置情報検知の仕組みの検討、性能検証のための実験からは、執務者個人への個別調光制御を実現するために必要な 1.6m 四方の面積で高さ 80~140cm の空間で個人位置を検知することは、セミアクティブ型 RFID タグと適切な LF 波アンテナの設計および LF 波の出力調整を行うことにより可能であることを確認した。また、対象オブ

イスでの運用により、位置情報検知システムは、4秒の検知サイクルで、28人の位置検知が連続して可能でありセミアクティブ型 RFID の内蔵電池交換時期を含め、実用可能であることも確認した。

無線センサネットワークシステムの実証的研究では、無線 LAN が広く普及している現在のワークプレイスでは、センサネットワークが無線 LAN の影響を受けないための使用チャンネル設定のための事前の無線環境計測が重要であることが分かった。また、本章ではスマートワークプレイスにおける高密度無線計測の検証と、室内環境情報の可視化と分析結果の一例を示した。本研究で構築した無線センサネットワークシステムによって、今回示したように室内環境を詳細に把握することが可能になった。

\*1 橋本らは空間知能化とは、様々なセンサを用いて空間内の事象を捉え、ネットワーク化されたコンピュータやロボットがこれらの情報を知的に利用することにより、人間に適切なサービスを提供する機能を空間が持つことであると定義している。

\*2 長瀧らは RT (Robot Technology) や ICT (Information and Communication Technology) の連携や融合により、建築や都市が人々や地球のために有用な知能化空間のためのグランドデザインを提案している。

## 第2節 照明制御システムの開発と適用

本節では、第1節のスマートワークプレイスに設置した個人の位置情報を把握する位置情報検知システムをベースとした新しい照明制御システムの開発とその効果について検証を行う。本章の中では、執務者個人の好みの机上面照度をスマートワークプレイスで確保するためのLED個別照明の基本性能の検証や制御に必要な調光データベースの構築について報告するとともに、隣接する机上面の照明の相互干渉の解決策や最終的な個人の好みの机上面照度の求め方の提案などを行った。さらに、スマートワークプレイスに実装した後の調光制御の結果について検討を加える。



## 2.2.1 はじめに

本節では、本研究を実施するうえでの仮説、すなわち、個人に合わせた環境を提供することが満足度を向上させること、きめ細かい設備制御を行うことで大きな省エネルギー効果を期待できることを検証するために必要な新しい照明制御システムについて述べる。

前節で検証したように、スマートワークプレイ스에設置した個人の位置情報を把握する位置情報検知システムは、28名の執務者の位置情報を4秒のサイクルで把握することが可能であり、執務者個人の現在の位置情報により、その執務者周辺を照明制御することで、執務者個人の満足度を向上させることと大きな省エネルギー効果を得ることを目的としている。これを実現させるための主要なシステム要素として、LED照明がある。本節では、LED照明の基本的な性能検証を含む、LED照明制御システムの構築と個人に合わせた環境構築のための、個人別の好み照度のデータベース構築および、好み照度のデータベースとLED照明制御システムの組み合わせによる効果について述べる。

## 2.2.2 LED照明制御システムの概要

筆者らが開発している新しいLED照明制御システムでは、従来のゾーン型の照明システムとは異なり、執務者の位置情報により、その場所だけを調光する機能が求められる。その機能を実現するために、本システム(図2.2.1)は、電子タグより取得した執務者の位置情報を管理する位置情報サーバと、そのリアルタイムな位置情報に基づき各灯具の調光率を逐次算出する照明制御サーバおよび各灯具への個別調光制御を行うLED個別調光コントローラにより構成した。さらに各執務席の照明を早く安定的な照度を提供するために、照度センサによるフィードバック型の調光制御ではなく、あらかじめ用意した必要な照度に応じた調光率データベースにより、直接灯具に調光信号を指示するデジタル制御方式としている。将来的に本システムを広く普及させるためには、複数メーカーのLED灯具に対応させる必要があり、照明制御サーバの機能はほとんど変更することなく、LED個別コントロ

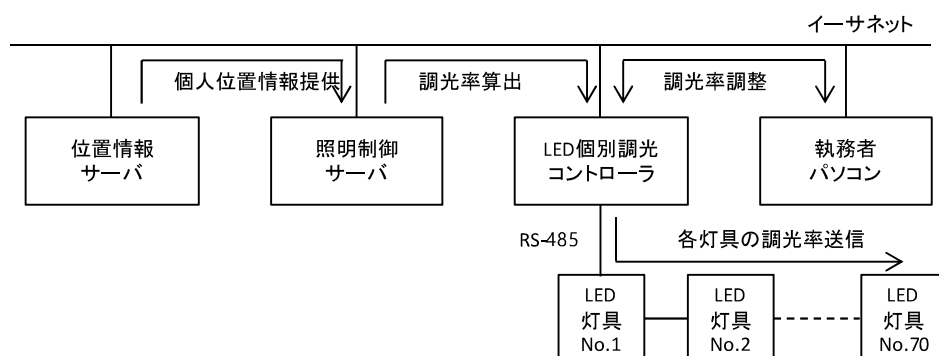


図2.2.1 照明制御システム構成

ーラだけの修正で各メーカーのLED灯具に対応できることが必要である。図中の照明制御

サーバと LED 個別調光コントローラの機能分担は、LED メーカーの仕様に大きく依存する個別灯具の調光機能だけを LED 個別調光コントローラが担当し、位置情報による個人の必要照度から各灯具の調光率を決定する機能は、照明制御サーバで行うことにした。なお、本システムで採用した LED 灯具の場合では、LED 個別調光コントローラとの間の通信は、RS-485 のシリアル通信で信号送信を行った。

### 2.2.3 LED 照明灯具の基本性能の確認

コントローラから調光率をデジタル通信により直接 LED 灯具に送信し、調光制御を行うために必要な照度や消費電力の特性を把握するために、基本性能の確認実験を行った。LED 照明灯具の仕様を表 2.2.1 に、実験条件を図 2.2.2 に示す。実験では 2m の高さに設置した灯具に対して、5~100%の割合で調光率を出力し、その時の照度と消費電力量を計測した。その結果を図 2.2.3 に示す。調光率を変化させたときの照度と消費電力はほぼ線形に変化することが分かる。LED 照明灯具を用いた照明制御では、必要な照度を得るために、各灯具の調光率をデジタル制御すればよいことが分かった。

表 2.2.1 LED 灯具の仕様

項目		
基本仕様	光源	高効率白色LED 576個
	寿命(光量80%まで)	40,000h
	外形寸法(mm)	592 × 592 × 72mm
	質量(kg)	約4.0kg
調光仕様	調光方式	5~100%連続調光
光学仕様	全光束(lm)	3,900lm
	演色性(Ra)	Typical 80
	色温度(K)	4,800K
電气的特性	消費電力	51W (100%時)

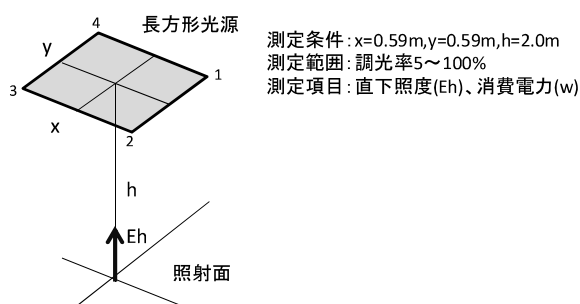


図 2.2.2 実験条件

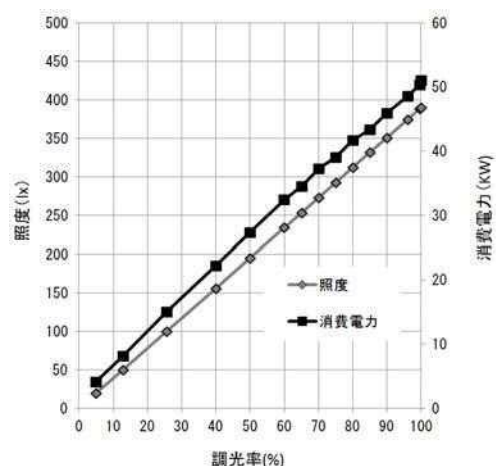


図 2.2.3 調光率と照度・消費電力の測定結果

LED 照明制御システムで制御する照明器具の総消費電力は、各灯の調光率に定格消費電力 (51W) を乗じ、その総和を用いることで算出できる。各灯具への照明制御のログを記録しておくことで、省エネ効果の算出時に利用できる。

さらに、図 2.2.3 の照度測定結果のように 100%調光率の条件で得られた 2m 直下の机上面照度は、390lx であり、逐点法による面光源の計算式(1)、(2)に、使用した灯具の全光束と配光特性 (0 度において 100%) を代入し、直達照度を求めた結果は 2m の直下で 380lx となり計測結果とほぼ一致した。

$$Eh = \frac{L}{2} \left\{ \frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}} \tan^{-1} \frac{y}{\sqrt{x^2 + h^2}} + \frac{y}{\sqrt{y^2 + h^2}} \tan^{-1} \frac{x}{\sqrt{y^2 + h^2}} \right\} \Lambda \quad (1)$$

$$Eh = Eh_1 + Eh_2 + Eh_3 + Eh_4 \quad (2)$$

#### 2.2.4 調光率データベースによる照明制御

LED 照明システムの概要で述べたとおり、本システムは必要な照度に応じた調光率データベースをもとに制御する方式を採用している。しかしながら、対象オフィスに設置した天井のグリッド (600×600mm) と机のグリッド (1600×800mm) が一致していないことにより、必ずしも執務機の直上に LED 灯具が設置されないため、各席において想定必要照度 (300~700lx) を得るためには、対象席近くの灯具を必要により、1~4 灯を点灯・調光させなければならない。また、データベースもすべての席に対応したものを用意する必要がある。まず、各席の実測データを得るため、昼光の影響を受けない夜間にその席の近傍 1 灯で 100%の調光率で得られる照度を机上に設置した照度計で求め、照度が不足する場合には、次に席に近い灯具の調光率を上げてゆき、さらに不足する場合にはまた、次の灯具を点・調光させる調整をおこない、最終的に 700lx に達するまで繰り返した。この作業を 32 席すべてにおいて実施し、すべての席で必要な照度を得るための調光データベースを構築した。

## 2.2.5 相互影響の解消

LED 個別調光制御を実オフィスに適用する場合、対象となる執務機の必要照度を満たすための調光率を決定する際に、前後左右の席の在席状況により、灯具の点灯による相互影響を考慮する必要がある。周辺に誰もおらず、人が着席した場合（図 2.2.4 左）は、他の灯具からの影響は受けず、必要照度（D1）に対応した調光率（P1）による点灯で目標とする机上面照度を実現できる。周囲に 1 人以上在席する場合は、お互いの灯具からの光が相互に影響するので、そのままの調光率では、お互いの机上面照度は高くなってしまう。そこで、各灯具が点灯することにより、各執務席にどれだけ照度の増分があるかをシミュレーションし、予め各灯具の点灯による各席への照度増分をデータベース化しておくことにした。相互に影響する照度分による必要照度との差（再調整率（R1,R2））、図 2.2.4 右）を計算し、これを再度点灯率に乘じ、その結果を灯具の点灯率（ $P1 \times R1$ 、 $P2 \times R2$ ）として出力する。3 人以上の場合も同様にこのルーティンを繰り返すことで、すべての在席状況に対応できる調光率を算出することができる。執務者が着席・離席するイベントが発生する都度、この計算を行い全灯具に対して、相互影響を考慮した調光率を一斉に送信することで、必要照度を確保することを実現した。

各灯具が点灯することで、各執務席に与える照度の増分を算出するために、光環境シミュレーションソフト\*を用いて 1 灯ごとに点灯した時の 32 席に与える照度を求めた。シミュレーションの点灯条件は、①全灯 5%調光、②全灯 100%調光、③窓側 70%奥側 80%調光の 3 パターンである。まず、シミュレーションのために必要なデータとして、対象オフィス内のガラスやパーティションやデスクなどの材料の持つ透過率、拡散反射率および鏡面反射率を、各部材の対象面と反射率既知のキャリブレーションプレート(コニカミノルタ製、CS-A21 反射率 95.6%)の輝度を輝度計 (コニカミノルタ製、LS-100) により測定し、対象面とキャリブレーションプレートの輝度測定値の比より求めた (表 2.2.2.)。さらにこの

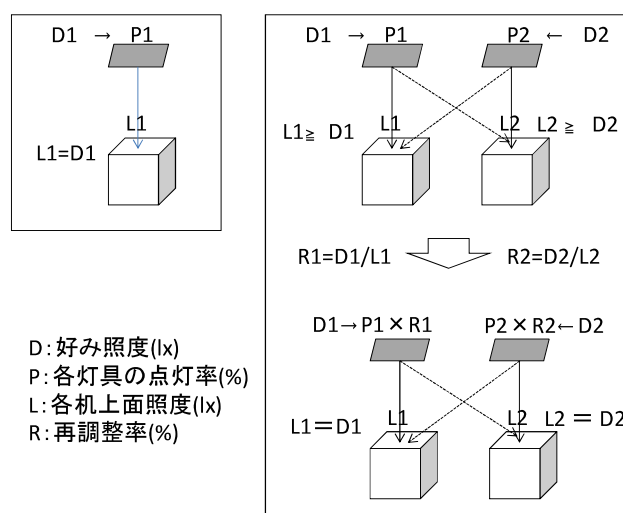


図 2.2.4 相互干渉対策のロジック

反射率などを計測した対象オフィスの構成物体の相対位置関係をモデル化するために、CAD データからシミュレーションモデルを構築し（図 2.2.5）、物体各面の相互反射を考慮した照度計算を行った。このシミュレーションモデルは、物体各面の相互反射シミュレーションから得られた全 32 席の机上面照度と照度計により測定した実測照度を図 2.2.6 にプロットした。決定係数は  $R^2=0.9932$  であり、シミュレーションから得られる照度を用いても、ほぼ正しい照度制御ができることを確認した。そこで、図 2.2.7 に示すシミュレーション結果をもとに、各灯具の点灯による各執務席の照度増分のデータベースとして構築・利用した。

表 2. 2. 2. ワークプレイス内における材料反射率の測定結果

	モデル名称	測定面名称	透過率	拡散反射率	鏡面反射率
1	glass_1	ガラス	80%	0%	0%
2	wall_2	壁	0%	66%	0%
3	partition_a_3	パーティションA (低タイプ)	0%	33%	0%
4	partition_b_4	パーティションB(高タイプ)	0%	33%	0%
5	mb_5	メールボックス	0%	52%	0%
6	movingbookshelf_6	移動書架	0%	53%	0%
7	bookshelf_a_7	本棚A(H:1440)	0%	51%	0%
8	bookshelf_b_8	本棚B(H:1520)	0%	49%	0%
9	roneo_9	引出ラック(H:920)	0%	52%	0%
10	partition_c_10	パーティションC (支柱骨組み)	0%	53%	0%
11	ceiling_11	天井パネル	0%	90%	0%
13	blindbox_13	ブラインドボックス	0%	2%	0%
14	glass_support_14	ガラス支持用横材	0%	62%	0%
15	beam_15	梁(耐火被覆)	0%	20%	0%
16	blace_16	ブレース・柱	0%	62%	0%
17	floor_17	床	0%	2%	0%
18	core_18	コア部(トイレ)	0%	52%	0%
19	personal_desk_19	デスク	0%	53%	0%
20	meeting_desk_20	打合わせデスク	0%	60%	0%
21	firewall_21	防火区画	0%	64%	0%
22	deckplate_22	デスクプレート	0%	20%	20%
23	boundary_23		0%	50%	0%
24	blind_24	ブラインド	0%	73%	4%

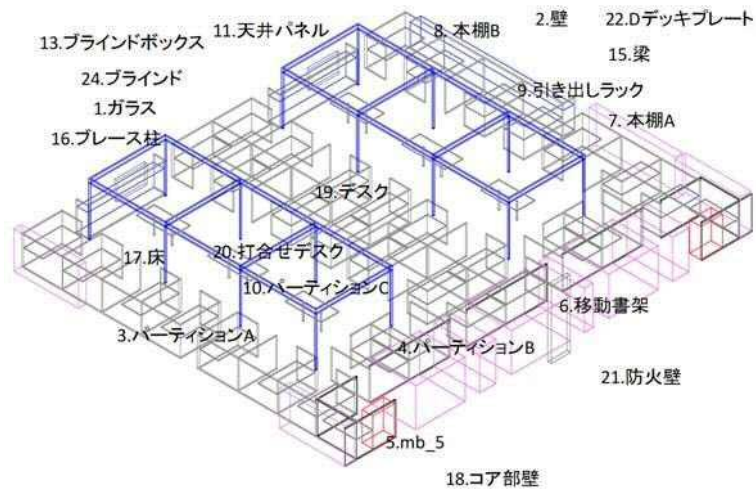


図 2. 2. 5 シミュレーションモデル

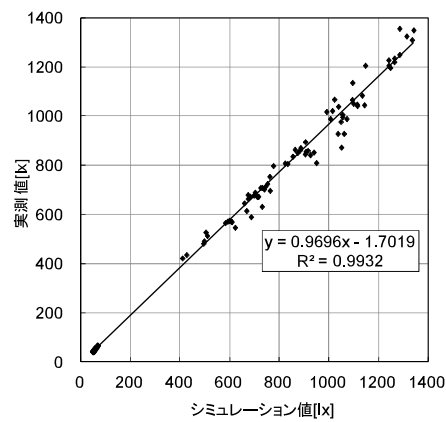


図 2. 2. 6 各机上面照度の比較

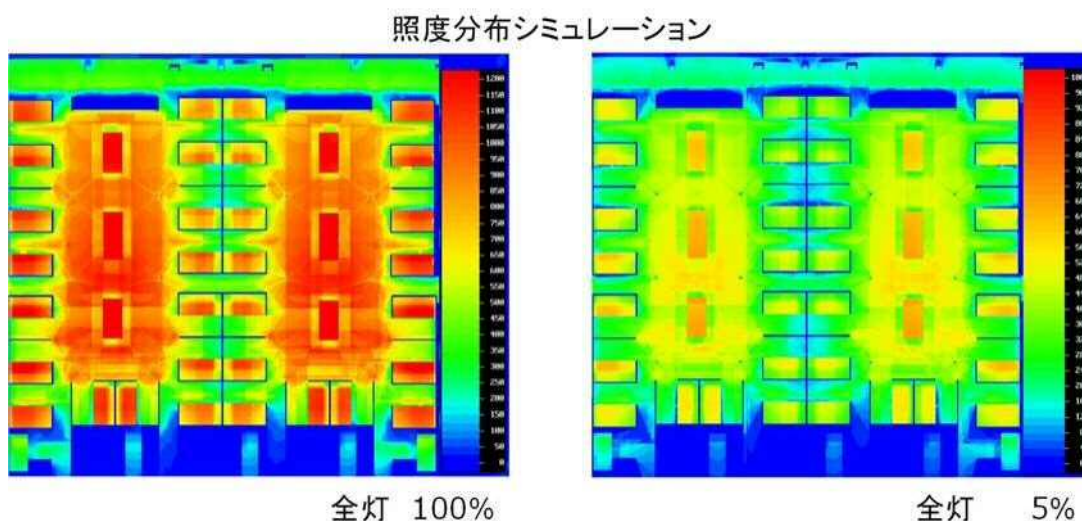


図 2.2.7 シミュレーションにより求めた照度分布図

### 2.2.6 必要照度データベースの構築

照明制御システムの大きな特徴の一つである執務者の必要照度を反映させる照明制御を実現するためには、照明制御システムのブロック図（図 2.2.1）で示した通り、個人別の必要照度データベースを構築する必要がある。しかしながら、個人の必要照度について、通常の場合、執務者に対して必要照度を聞き取り調査しても、何ルクスと答えることは難しい。そこで、事前に各執務者の自席における必要照度を抽出するため、自由に自席上の LED 照明の照度を調整してもらい、その最多頻度の照度を各自の必要照度とすることにした。そのため、各自が簡単に照度調整できる Web ブラウザを用いた GUI（図 2.2.8）を LED 個別調光コントローラに実装した。この GUI では、丸いシンボルが各執務席に対応した照明器具（全 70 灯）の出力を表しており、シンボルの中心には、各灯具の番号が表示されている。このシンボルをクリックすることにより、各自の席上の照明器具の明るさを消灯（0%）から全灯（100%）まで 10%刻みで調整する。左上の合計消費電力に、調整後の対象オフィス全体の照明消費電力を表示している。

各執務者は、イントラネットに接続されている自席のパソコンからこの GUI を用いて調光率を変化させ、照明を好みの明るさになるように約 1 ヶ月間（2010 年 5 月～6 月）自由に調整してもらった。但し、席上のすべての照明はデフォルトで 30%の調光率としており、明るすぎる、暗すぎると感じた時に操作が行われたと判断した。

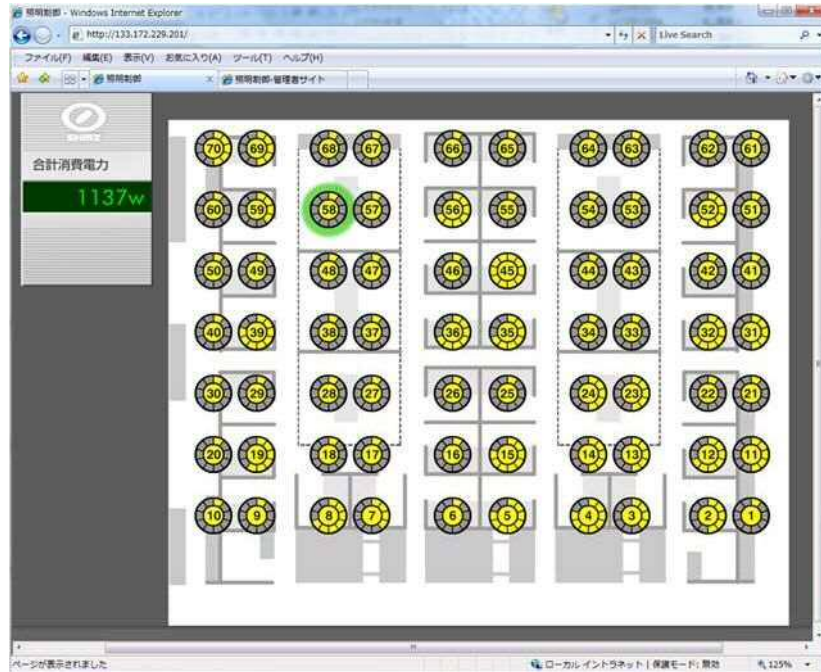


図 2.2.8 照明コントローラ GUI

執務者 A から執務者 AB までの 28 名全員の日中 8 時 30 分から 17 時までの調光操作のログから得られた調光率と操作頻度を図 2.2.9 に示す。横軸は GUI の調光率を机上面照度に変換した照度で縦軸は 1 カ月の間に操作した回数である。

次に各執務者の最大頻度の調光率からシステム実装時の初期の必要照度を導き出すため、期間終了後のある一日の 18 時の段階で調光率の通り調光した状態で机上面照度を照度計により計測した。日中では、窓面からの昼光の影響があるため、特に窓側に近い席では、必要照度より高い机上面照度となる。なお、図 2.2.9 をみると執務者の中には執務者 I,L, P,Y のように、まったく調光制御を行わなかった者もいた。ヒアリングした結果、日中は窓面からの昼光、夕方でも 30% の調光率の照明による机上面照度でとのことであったため、この場合は今回の初期照度として想定した最低値の 300lx を机上面の必要照度とした。

この初期の必要照度をデータベースに登録し 2010 年 6 月から運用を開始した。初期の必要照度が lx 値として数値化されたことにより、各執務者に対して図 2.2.10 の照度設定ツールを新たに開発・実装し、都度各執務者により再設定してもらっている。なお、この設定ツールでは、個人席および打合せ席での必要照度をそれぞれ設定することができ、図左の△(UP)▽(Down)のシンボルをクリックするか数値の入力欄に直接入力することで照度を設定



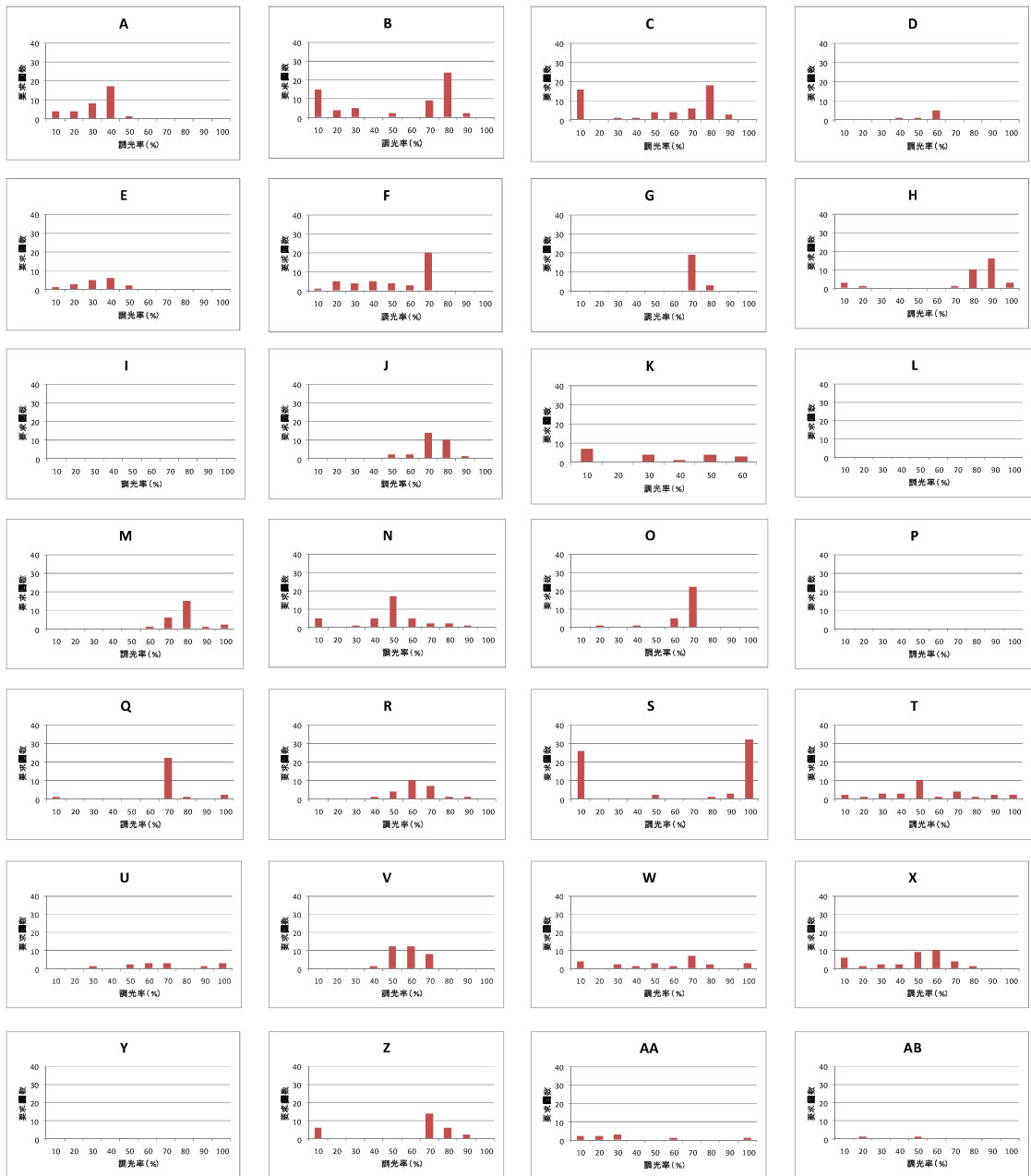


図 2.2.9 被験者の調光率調整頻度

することができる。このようにして求めた執務者 A~AB までの必要照度の初期値と運用開始から約 1 年経過した時点での各執務者の必要照度を図 2.2.11 に示す。図のように、ほとんどの執務者は初期設定値のまま変更をしていない。なお、執務者 I,K,O については、調査期間中に組織変更に伴う異動があったため、1 年後のデータはない。また、このことから、1 ヶ月程度の自由調整のデータから得られた初期設定値を必要照度としてほぼそのまま活用できることが分かった。

なお、執務者の年代別必要照度（図 2.2.12）をみると、年齢 20～30 代と 40～50 代で大きな差が見られる。既往の研究<sup>26)</sup>や基準<sup>27),28)</sup>などによると、20 歳と 50 歳の間には、1.2～1.6 倍の必要照度の差を認めており、対象オフィスの 20 代と 50 代の執務者の必要照度の差 1.28 と一致していることがわかる。



図 2.2.10 照度設定ツール

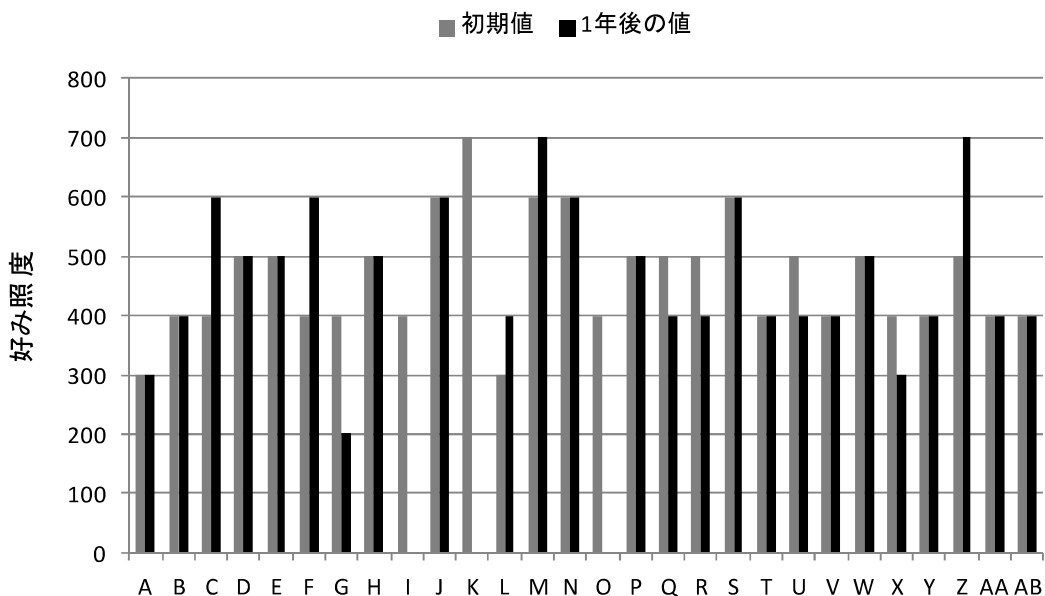


図 2.2.11 執務者の必要照度の推移

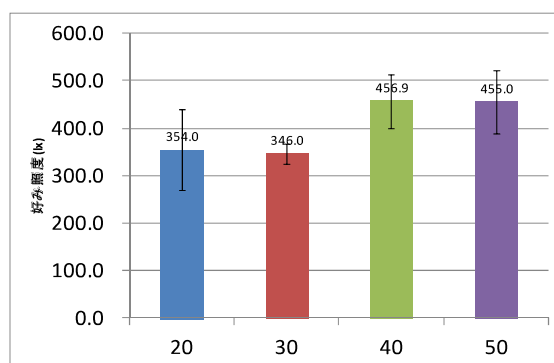


図 2.2.12 年代別の必要照度

### 2.2.7 LED照明制御システムの動作検証

今回、実装した照明制御システムの動作検証として複数人が在席した場合、個人の必要照度が実際に机上面で確保されているかどうか確認のため、昼光の影響を受けない18時に計測を行った。図2.2.13に対象オフィスにおける9名の執務者の必要の照度と実測した机上面照度をプロットする。図右のA~Iはその9名の座席を示している。図左をみると執務者の必要照度と個人の位置情報に基づくLED照明制御の自動調光の結果による机上面照度がほぼ一致していることが分かる。なお、差異の大きい執務者EおよびDの執務机には、資料や本が積まれている状況であったため、机上面照度が低めになったと考えられる。また、実際の天井照明の点灯状況を図2.2.14に示す。

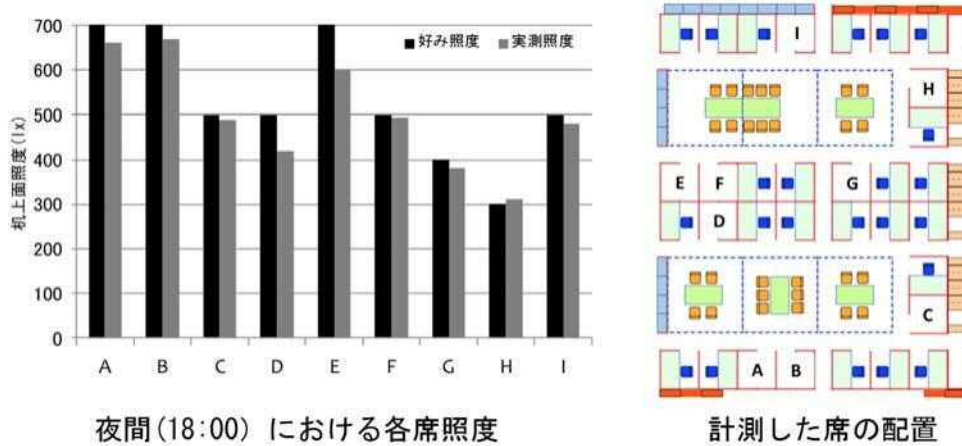


図2.2.13 机上面における必要照度と計測照度



図2.2.14 LED照明の点灯状況

## 2.2.8 まとめ

無線デバイスによるオフィス内位置情報検知と局所制御の空間知能化技術を活用した新しいLED照明制御システムを提案、開発し、筆者らの執務する対象オフィスに実装、運用した結果、以下の結論を得た。

- (1)LED照明制御システムでは、LED灯具の調光率と照度が比例関係である特性を活かし、調光制御に全執務席での計測に基づいた調光データベースを用いることができる。また、対象オフィスで各灯具の点灯による各執務席への照度増分の相互干渉に対しては、光環境シミュレーションの結果をもとに構築した照度の増分データベースから再計算される各灯具の最終的な調光率を各灯具に送信することにより回避でき、目標通りの照度とすることができる。
- (2)必要照度データベースを構築する際には、執務者各自が簡単に操作できるGUIを用意し、1ヶ月程度自由に自席の照度を調光してもらい、その操作ログから得られる調光率と頻度から机上面照度を算出することで必要照度を抽出することができる。また、抽出した必要照度は1年経過してもほとんど変更されていないことから、この必要照度の抽出方法は有効である。
- (3)位置情報を活用した照明制御システムを対象オフィスに適用し、複数の執務者が在席している場合でも、各執務者の必要照度と机上面照度がほぼ一致していることから、本システムの実用性を確認した。

以上のように、本章では、位置情報検知技術による局所照明システムの実証的研究のために、位置情報を活用した照明制御システムの開発を行い、実オフィスに適用可能であることを確認した。

\*光環境シミュレーションソフトは、(株)インテグラ製のINSPIREを使用した。これは、建物の内外を始めとする様々な空間内における照明の設計や、照明が機器に与える影響の解析等に適用可能な三次元照明シミュレーションソフトである。

### 第3節 照明制御システムの検証と視的快適性の向上

前節では、スマートワークプレイスの個人の好みに応じた照明制御システムについて述べた。本節では、その省エネルギー効果と更なるワークプレイスの視的環境向上への対応について実証的検証を行う。省エネルギー効果としては、69%減の31%の照明電力量となった。さらに、終日の比較では78%減の22%の照明電力量となり、人数の少ない早朝や残業時間帯での省エネルギー効果が特に大きいことが分かった。

しかしながら、机上面照度の満足度は得られているが、スマートワークプレイス全体での明るさ感が欠如することや窓面の輝度が高すぎることなどの課題がアンケートなどから明確となった。そこで、ワークプレイス全体の視的快適性の向上のため、明るさ感確保のためのシステムや窓面輝度の減少のためのシステムを新に導入し、導入前後の各種比較により、効果を明らかにした。

### 2.3.1 はじめに

スマートワークプレイスでは、RFID(電波による個人認証)を利用した位置情報に基づいて個人が執務する場所の照明や空調などをその個人の好みに合わせて設備制御することにより、快適な執務空間を提供するとともに、不在場所の照明や空調設備を自動的に停止することで大幅な省エネルギー性能を得ることを目標としている。本節ではスマートワークプレイスの概念に基づいて開発した環境制御システムのうち、LED 照明制御についてシステムの内容と省エネルギー性能について報告するとともに、不均一な照明環境下における視的快適性を向上する工夫を検討した結果について検討を加える。

### 2.3.2 照明制御による省エネルギー性能の検証

本研究で開発したシステムの省エネルギー性能を確認するため、スマートワークプレイス実証スペースと同じ建物で同じ床面積、同様な使い方を行っている従来照明の比較執務室とで、1日の在席状況が同様な日を抽出し、その日の照明電力量を計測し比較した。比較執務室では、Hf照明 66 台を 3 ゾーンに分けたゾーン単位の ON/OFF 制御を行っている。在席人数の推移を図 2.3.1 に、時刻毎の照明電力量の推移を図 2.3.2 に示す。

比較執務室ではゾーン単位での ON/OFF 制御であるため、在席人数が少ない早朝や深夜は 2 ゾーンあるいは 1 ゾーン点灯だが、大部分の時間帯で全点灯であったのに対し、スマートワークプレイスでは在席人数にほぼ対応した推移となっていることが分かる。就業時間帯(9:00-18:00)の積分値では 69%減の 31%の照明電力量となっている。さらに、終日の比較では 78%減の 22%の照明電力量となり、人数の少ない早朝や残業時間帯での省エネルギー効果が特に大きい。

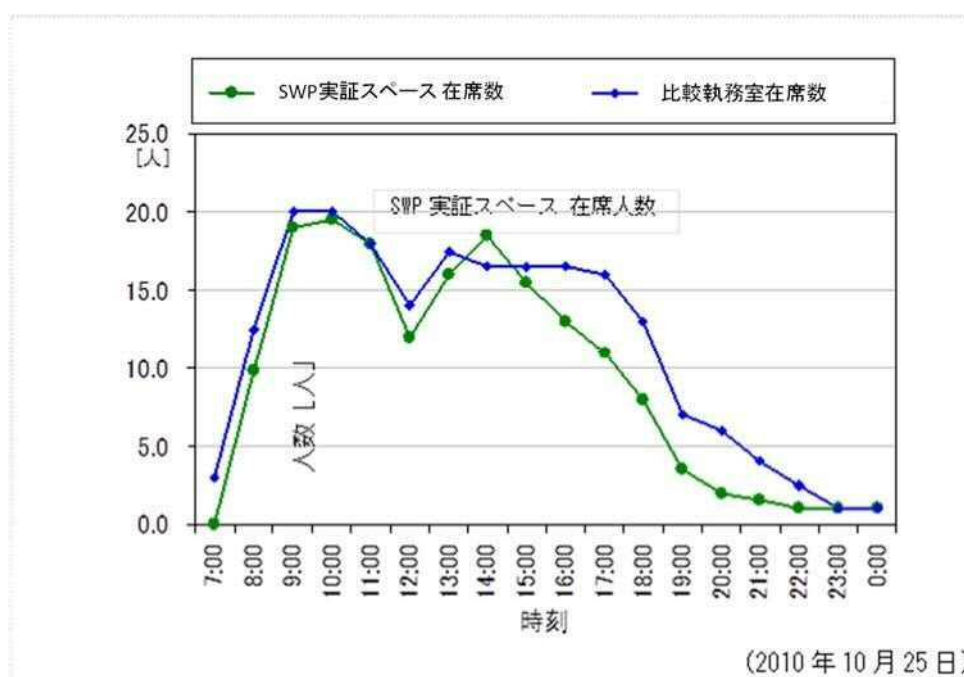


図 2.3.1 在席人数の推移比較

### 2.3.3 視的快適性向上のための明るさ感制御

スマートワークプレイスでは執務者個々に好みの照度環境を提供するが、個人の机上面照度の確保を最優先で制御を行っているため、部屋全体の明るさ感や昼光によるまぶしさなど、新たな課題が生じることとなった。そこで、視的快適性向上技術として室内全体の明るさ感を確保する技術と窓面のグレアを抑制する技術について検討を行った。

明るさ感とは、環境に対して人が感じる明るさの印象である<sup>29)</sup>。従来明るさの尺度として用いられている照度では明るさ感を十分に説明することはできない。なぜなら、明るさ感には視環境の輝度対比、目の順応、視対象の大きさなどの要因が関与しているからである。これらの要因を含めて視環境を解析する方法として、中村ら(2005)はコントラスト・プロファイル法を開発している<sup>30),31)</sup>。コントラスト・プロファイル法では輝度画像を空間周波数成分に分解し、被験者実験で得られた空間周波数毎の評価係数を掛け合わせることで明るさ画像が出力される。明るさ画像は各画素が明るさ尺度値と呼ばれる値を持ち、明るく知覚される部分が視野内の大きな部分を占めていれば空間全体の明るさ感が高く感じられ、少なければ明るさ感が低く感じられる<sup>32)</sup>。

スマートワークプレイスは個人位置情報に基づき人がいる場所のみ照明する仕組みであるため、机上面は個人の好み照度に保たれているが、在席率が低いと室内全体が暗くなり、明るさ感はあまり良好でないことが懸念された(図2.3.3)。上述したように、明るさ感を向上させるには視野中で明るく知覚される領域を増やせば良い。床、壁、天井などの室内を構成する領域を照明することで明るく知覚される領域を増やせるが、照明する面積と立体角の関係から水平面よりも鉛直面である壁を照明する方が効率は良い。そこで、在席率が低くても明るさ感を確保するために壁に近い灯具を30%点灯し、壁面輝度を高く

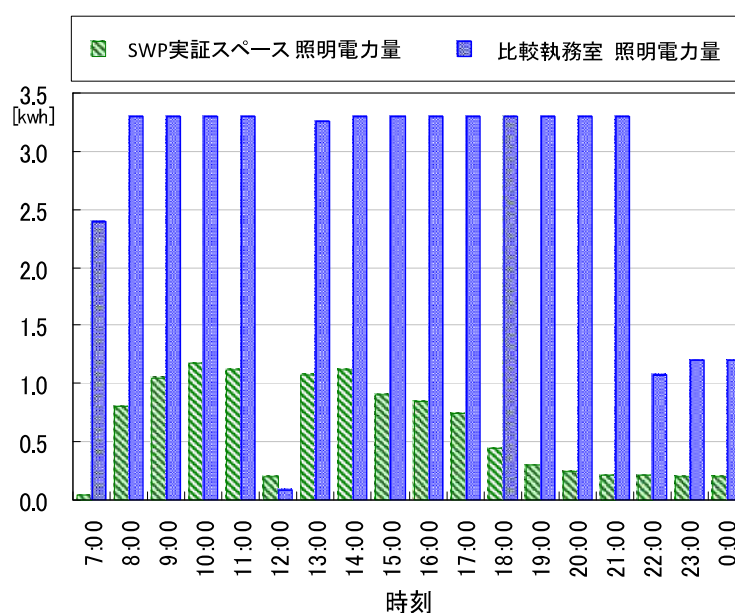


図2.3.2 時刻毎の消費電力量比較

する明るさ感制御を導入した。輝度画像に対しコントラスト・プロファイル法で解析して得られた明るさ画像を示す（図 2.3.4）。左側が明るさ感制御導入前、右側が明るさ感制御導入後である。

明るさ感制御導入前では、日光が届かない部屋の奥（点線で囲った部分）で壁面の輝度が低く明るさ感が低い。一方、明るさ感制御導入後部屋の奥(点線で囲った部分)の明るさ感が向上していることが確認できる<sup>33)</sup>。



明るさ感制御導入前

明るさ感制御導入後

図 2.3.3 ワークスペースの壁面の状況

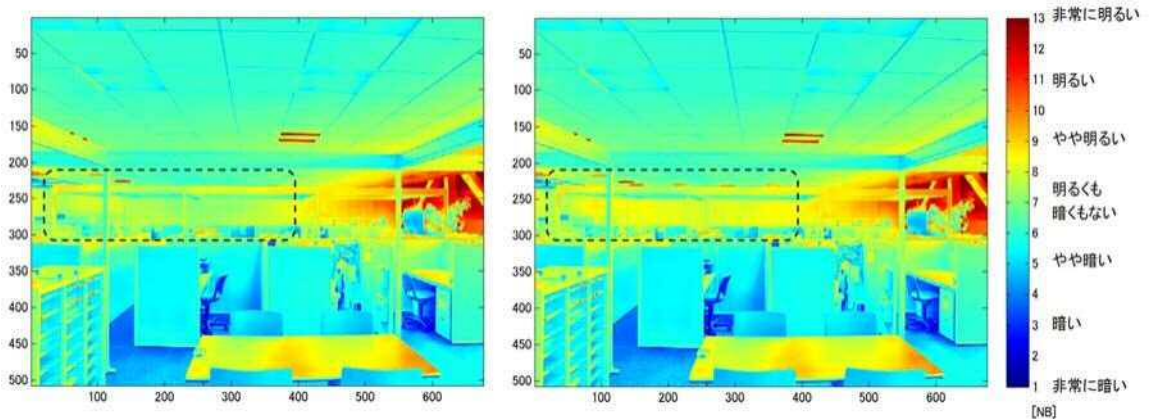


図 2.3.4 明るさ画像(左側：明るさ感制御導入前、右側：明るさ感制御)

実際に執務者が明るさ感の違いを感じているか確認するため、室内全体の光環境に対する満足度について、導入前後に 5 段階尺度によるアンケート調査を実施した。図 2.3.5 に執務者へのアンケート調査結果を示す。明るさ感制御導入前に比べて、導入後の満足度平均値が上昇している傾向があるが、有意ではなかった。満足度向上のために、更なる方策を考えることが必要である。

この照明に必要な電力は 122.4W であり、従来照明に対して就業時間帯で 31%の照明電力量が導入後 35%に増加、終日で 22%が導入後 27%に増加するが、提案する照明制御システムの省エネルギー性能は依然として高いと言える。



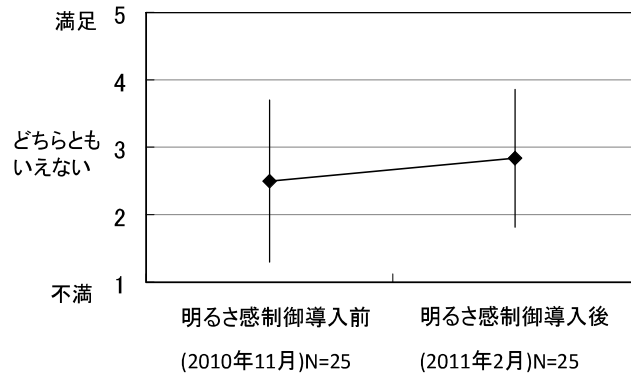


図 2.3.5 光環境に対する満足度

### 2.3.4 窓面からのグレア抑制対策

スマートワークプレイスでは、窓面に昼光導入型ブラインドを導入し昼光照明を行っているが、直射光が窓面に入射する時間帯にブラインド面の輝度が高くなることもあり、快適性の低下が懸念されていた。昼光導入型ブラインドはスラット角度が上から下にかけて順次変化しており、ブラインド上方に入射した光は室奥天井方向へ、下方に入射した光は窓際天井方向へ反射することで昼光照明として機能する<sup>34)</sup>。昼光がブラインドのスラット表面で反射(一次反射)する際に一部の拡散反射光が上部のスラット裏面で反射(二次反射)する(図2.3.6)。この二次反射光が室内側から見たブラインド面の輝度を高める原因となる。そこで、ブラインド面のグレア対策として、二次反射を生じさせるスラット裏面の反射率を低下させる事で、ブラインド面のグレア対策とした。比較対象である通常のブラインドとグレア対策ブラインドとして選定した表と裏のスラット反射率を表2.3.1に示す。グレア対

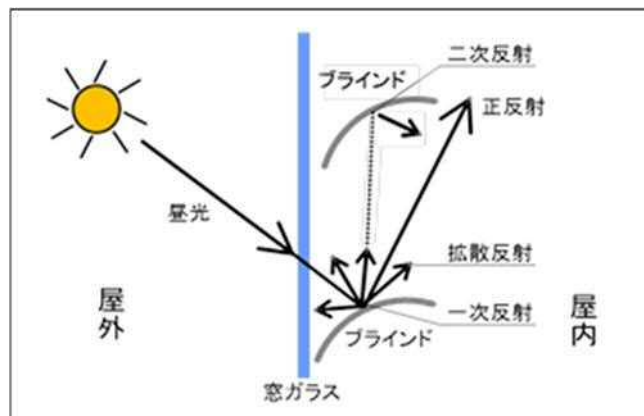


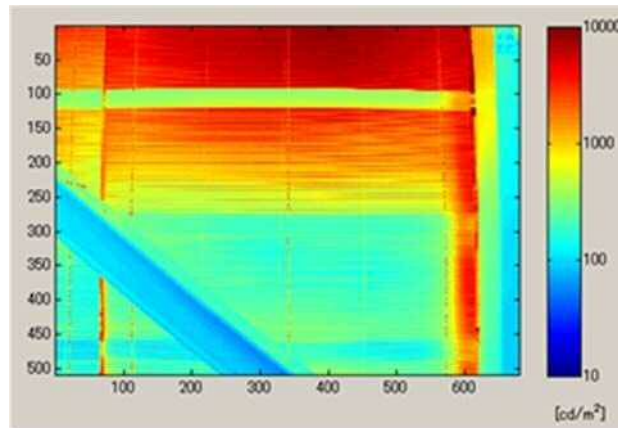
図 2.3.6 ブラインドにおける光の反射模式図

表 2.3.1 ブラインド スラット反射率

	通常ブラインド*	グレア対策ブラインド*
表	63.9%	71.2%
裏	63.9%	36.8%

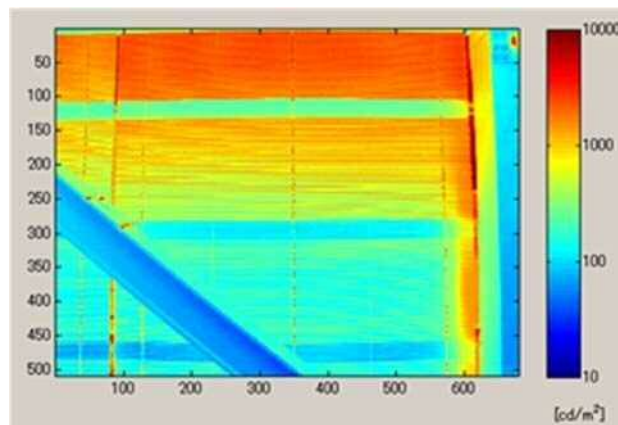
策ブラインドは裏面の反射率が 36.8%の灰色である。

スマートワークプレイスは窓面が南東に向いており、午前中に直射日光が入射する。また、窓ガラスは厚さ 12mm 透明フロートガラスである。グレア対策ブラインド導入前後において対策の効果を確認するために、窓面に対する太陽のプロファイル角度と全天日射量がほぼ同じ条件で輝度画像の計測を行った。図 2.3.7、図 2.3.8 にそれぞれグレア対策前後のブラインド面の輝度画像を示す。対策前では昼光導入のためにスラットが開いているブラインド上部で 3000~6000cd/m<sup>2</sup>と高い輝度を示す。ブラインド下部では直射光を防ぐた



測定日:2012年1月13日 9:33  
太陽高度:24.3° 全天日射量:0.43kW/m<sup>2</sup>  
窓面に対する太陽のプロファイル角度:24.4°

図 2.3.7 ブラインド面の輝度画像(グレア対策前)



測定日:2012年2月3日 9:07  
太陽高度:24.3° 全天日射量:0.45kW/m<sup>2</sup>  
窓面に対する太陽のプロファイル角度:24.4°

図 2.3.8 ブラインド面の輝度画像(グレア対策後)

めにブラインドが閉っており輝度は 100～300 cd/m<sup>2</sup>である。対策後は、ブラインド上部で 1500～3000 cd/m<sup>2</sup>の輝度に低下しており、グレア対策の効果が表れている。

ブラインド面の輝度低下は、室内の昼光照度に影響すると考えられる。窓面中心から水平方向に 2.5m、高さ 1.2m のパーティション上に設置した照度計にて昼光照度を計測した。前述した輝度画像計測後 1 時間の平均照度は対策前の 1404lx に対し、対策後 931lx となった。窓面のグレア対策について執務者がどう感じている確認するため、グレア対策前後にアンケート調査を行った。自席での眩しさが気になる頻度（図 2.3.9）では、グレア対策後に頻度が低下した。一方、昼光照度の低下に対して室内全体の明るさ（図 2.3.10）は対策後で差がない。グレア対策後のブラインド面の輝度低下により、人の順応輝度が低下したことで昼光照度の低下を相殺したことが考えられる。

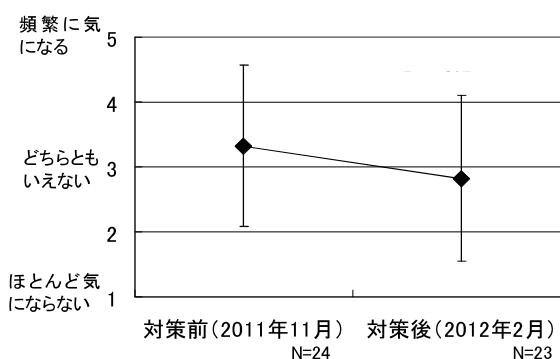


図 2.3.9 自席でのまぶしさが気になる頻度

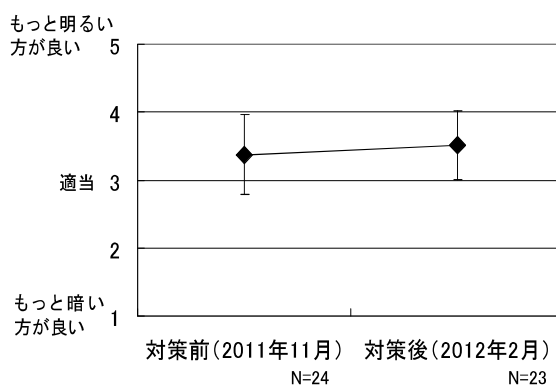


図 2.3.10 室内全体の明るさ

#### 2.3.4 まとめ

スマートワークプレイスの概念は、必要な人に、必要な時、必要な場所で必要な環境を提供することであり、それにより快適性と省エネルギーの両立を図ることを目的としている。この概念に基づいた照明制御システムを開発しスマートワークプレイスに導入した。

RFID を用いた個人の位置情報と好み照度データベースに基づき、人が居る場所のみ照明する制御を導入した結果、執務者の好みの照度を提供しつつ、従来照明に比べて 70%以上照明電力量を低減する大幅な省エネルギー性能を示すことができた。

視的快適性向上技術では、明るさ感制御と窓面のグレア抑制を行った。在席率が低い時に低下が懸念された室内全体の明るさ感に対して壁面を照明する明るさ感制御を行った結果、執務者の光環境満足度の向上傾向を示すことができた。また、窓面のグレア抑制では、ブラインド裏面の反射率を下げることで、執務者がまぶしさを感じる頻度の低下を示すことができた。

照明制御に関しては、執務者の意思と環境状況とが異なる場合の、働きかけや調整の方法にも工夫が必要であると言える。個人の好みは状況に応じて多様であり、かつ我が儘であると考えられるため、予めの設定値でなく、状況に応じた設定、しかもユーザーがストレスなく環境に自らの意思を伝えることが可能となるような仕組みが必要と考えられる。調整可能なシステムは具備しているものの、ユーザインターフェイスのさらなる改良によって対応したい。

### 第3章 スマートワークプレイスに適した空間構成のあり方

本章では、ワークプレイスにおける「集中の場（プライバシーの確保）」と「コラボレーションの場（コミュニケーションのしやすさ）」という、相反する機能を両立させる執務空間の構成を実現させるために、レイアウト変更によるそれぞれの機能に対する執務者の意識や使われ方の変化を捉える。

## 第1節 研究執務スペースにおけるレイアウトコンビネーションの効果

本節では、研究開発業務を行う執務スペースをスマートワークプレイスへと改修(スマート化)する際、まず打合せスペースを囲むように、ローパネル付の個人席を配置したレイアウトを採用し、その有効性について検討した。すなわち、個人席と打合せスペースとの移動を迅速かつ円滑に行える関係に配置することで、相互の有効活用を促進できると考えた。

そこで、個人席を集中配置し、その周囲に打合せスペースを配置したレイアウトに変更し、事前事後それぞれのレイアウトコンビネーションの違いについて検討した。すなわち、個人席と打合せスペースとの配置関係を変化させることで、相互の有効活用にどのような違いが見いだせるかを、それぞれのレイアウト変更前後に、当該スペースの執務者に対してアンケート調査を行い、その結果を比較した。

### 3.1.1 はじめに

スマートワークプレイスとは、IT 技術によって、執務者の位置情報を空間側が取得し、その場の空間環境を当該執務者に相応しい状態になるよう制御するという、筆者等が提案する「賢い(Smart)」執務空間の概念である<sup>35)-53)</sup>。

既述のように、現在、執務スペースの省エネルギーは、例えば、照明であれば、全体の照度を抑え、作業場所のみ部分的に手元灯具で明るくするというタスクアンドアンビエントという考え方が一般的であるが、スマートワークプレイスは、「必要な場所に必要に応じて」という考え方をさらに一歩進め、個人を特定し、その個人の作業や嗜好に適った空間環境を実現するというものである。

スマートワークプレイスでは、オフィスレイアウトについても図3.1.1に示すように、執務者ひとり一人の個人作業や、複数の執務者による共同作業やコミュニケーションといった行動(Activity)と空間のしつらい(Workplace)の組み合わせにより、行動場面(Behavior Settings)に対応できるオフィス(office)を検討する。その結果、執務室としてのオープンスペースには、間仕切りのある会議室や沈黙考ルームと呼ばれるような個室は設けず、ローパネルによる準個室的な個人席と、比較的広い机上面積があり、しかも使い方に応じてロールカーテンで仕切れることもできる共用の打合せテーブルとを設置することで、個人の行動に合わせて環境を制御するという考え方に相応しい空間のしつらいを採用することに至った。

本章の研究は、このような個人席と打合せテーブルの関係について、それらをどのように配置すれば、執務者にとって快適で仕事のしやすいオフィスが実現できるかという課題に問題意識がある。

執務スペース内で、空間のしつらいの配置を実験した既往研究には、過去に山田や井上ら

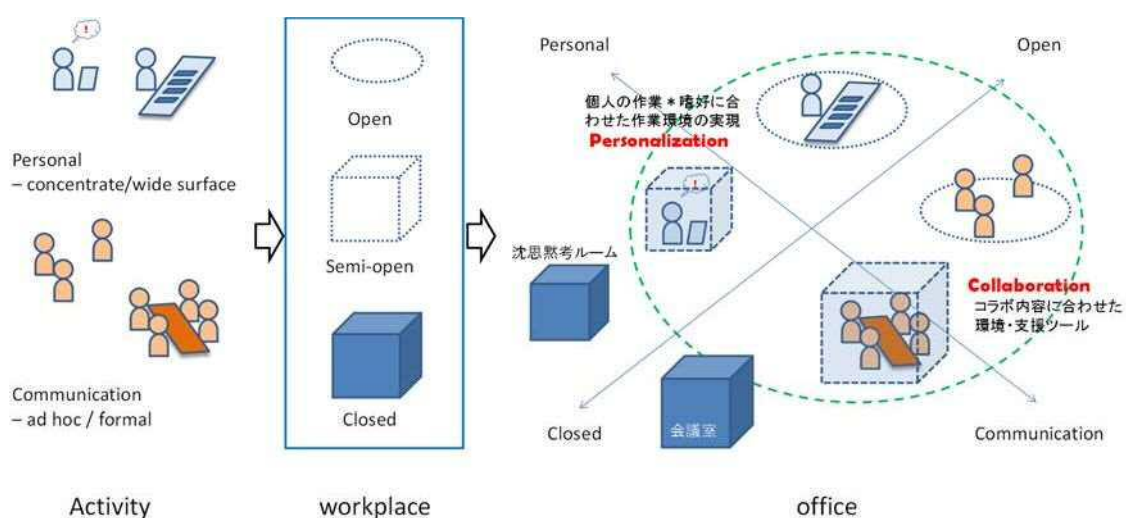


図3.1.1 オフィスづくりの考え方

がフリーアドレス・オフィスを対象に実施した例<sup>54)・57)</sup>や、T.J.Allen と P.G. Garstberger<sup>58)</sup>による Non-territorial office の研究例、また F.Becker と F.Steele<sup>59)</sup>によるコミュニケーションを重視するためのレイアウト提案はあるが、オープンオフィスに配置される個人席と打合せスペースの配置を実験的に検討した例はこれまでにほとんどなく、有益な知見は得られていない。

### 3.1.2 レイアウト変更と調査の概要

今回の一連の改修の概要を図3.1.2に示す。まず、スマート化の第一歩として、既存の、天井蛍光灯によるライン照明(3ゾーン)と、机上のタスクライトによる「タスク&アンビエント照明」を、システム天井による LED 照明の個別制御に変更し、執務者個人が天井照明を WEB 画面から調光できるように 2010 年 5 月に改修を実施した(事前レイアウト→レイアウト1)。

次にレイアウト1のまま、図3.1.3に示した位置情報検知システム(個人が携帯する RFID タグと各席に設置した LF アンテナにより現在位置を検知)により、検知された個人が予め設定した調光値で直上の天井 LED 照明が点灯する制御を 2010 年 10 月に導入した。このように照明が必要な座席の天井照明のみを点灯する制御に変更したことにより、約 75%の照明エネルギーの削減が実現できた。

2010 年 5 月以前の事前レイアウトは、2 席をローパネル(H=1200)で囲んだブース型

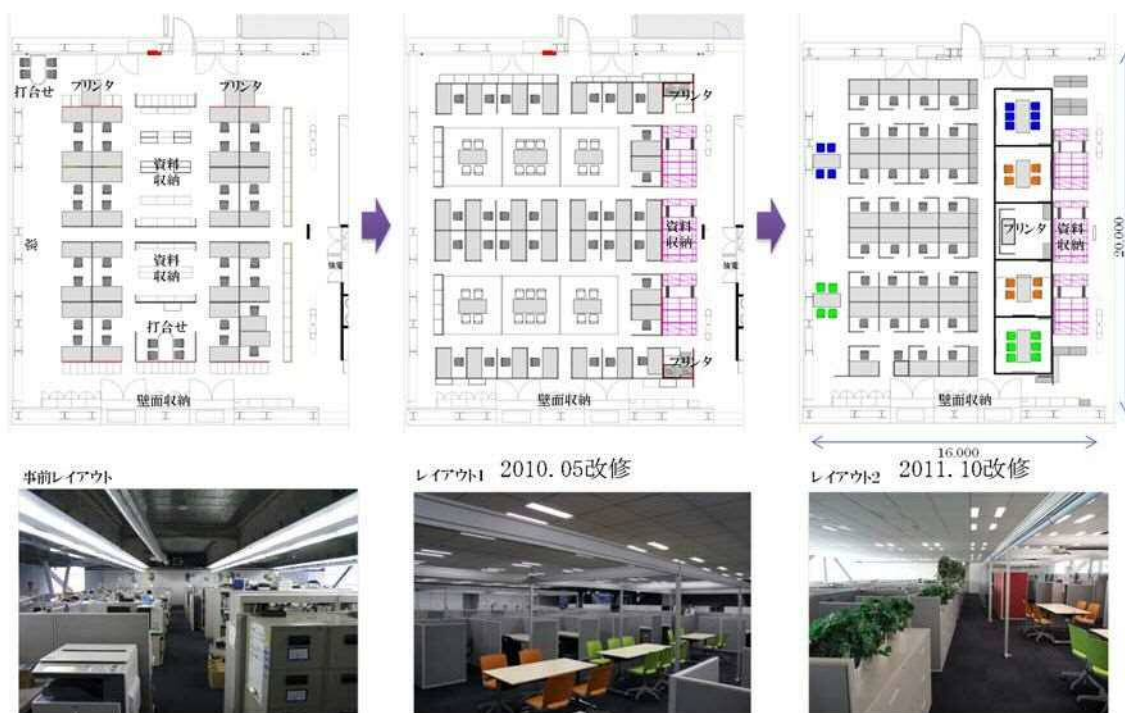


図3.1.2 改修の概要



で、資料収納と個人席とを近づけた個人作業を重視したレイアウトであったが（図3.1.2左）、「スマート化」改修に伴い、執務の作業効率を向上するために、同じローパネルを再配置しつつ、個人席の中央に打合せスペースを配置し、資料収納を周囲の廊下側に配置したレイアウト1（図3.1.2中）へと変更した。

その後、個人席を中央部に集中配置し、個人席部分の窓側（図3.1.2右の左方）と内側（同右方）に打合せスペースを配置したレイアウト2に変更した。この変更は、先述の位置情報による環境制御システムの動作を一般的な対向島型のレイアウトで検証するとともに、個人席と打合せスペースを若干分離することによる個人席でのさらなる集中のしやすさ、また次節で詳細に述べるが二つの配置の異なる打合せスペースを配置することによる、利用者属性によるスペースの使い分けを狙って実施した。

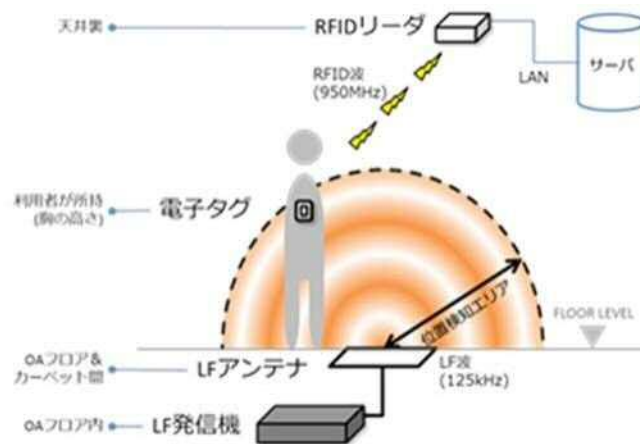


図3.1.3 位置情報検知システム

なお、一連のレイアウト変更では、座席数 32、資料収納量約 8.0fm/人は同じとし、レイアウト 1、2 では事前よりも打合せスペースを増やしている(テーブル数 2→6、席数 8→28)。

執務者に対するアンケート調査は、イントラネットによる Web アンケート(図 3.1.4)として行った。事前レイアウト時点と、レイアウト 1 への改修 5 ヶ月後、照明自動制御を実施した改修 7 ヶ月後、さらにレイアウト 2 への変更後に実施した(表 3.1.1)。アンケートでは、執務スペース全体、自席、打合せスペース等に関する設問を設け、それぞれ 5 段階尺度、また全体満足度、自席全般、打合せスペース全般の設問は 4 段階で回答する形式とした。すなわち、スペース利用の経験頻度(5:頻繁～4:ときどき～3:どちらとも言えない～2:あまり利用しない～1:ほとんど利用しない)や、執務環境としての満足度(5:満足～4:少し満足～3:どちらとも言えない～2:少し不満～1:不満)を尋ねた(断面評価)。また、レイアウト 1、2 への変更後には、事前との比較評価(5:良くなった～4:少し良くなった～3:変わらない～2:やや悪くなった～1:悪くなった)の項目を設定した。

図 3.1.5 は、レイアウト 1、2 のアンケート期間中に、位置情報検知システムによって得られた当該執務スペースにおける各時刻の在室率(各時刻の在籍数に対する在室者数の割合の期間中平均値)である。図 3.1.5 を見ると、1 日を通じた平均在室率の推移には、各レイアウトで大きな変化はなく、また在籍者にも大きな変更はないこと(表 3.1.

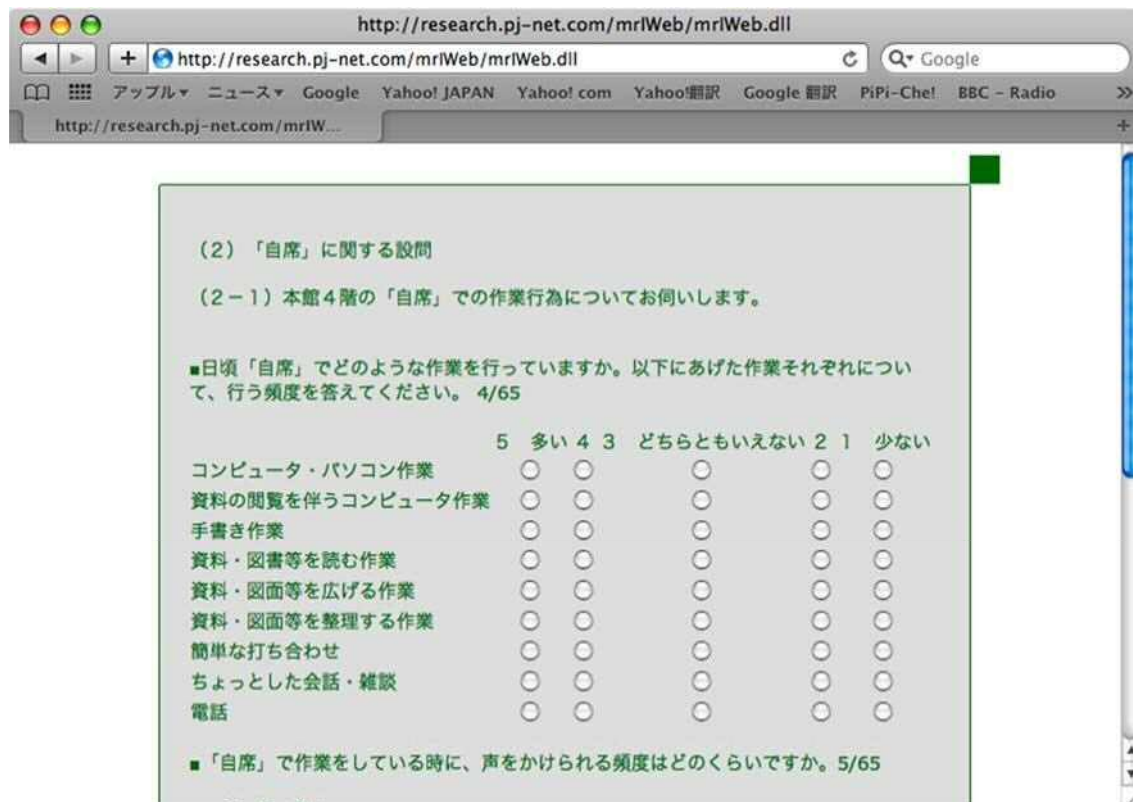


図 3.1.4 WEB によるアンケート調査画面

表 3. 1. 1 アンケート調査の概要と執務スペースの状況

	事前	レイアウト1		レイアウト2
		事後5ヶ月	事後7ヶ月	
回答期間	2010年4月19日 - 4月27日	2010年9月27日 - 10月12日	2010年11月29日 - 12月16日	2012年2月28日 - 3月8日
照明	天井蛍光灯 +タスクライト	天井LED照明のみ		
照明[on/off]	常時点灯	個別に手動on/off	位置情報により 自動でon/off	
照明[照度]	一律	個別に手動調整 (Web経由)	自動調整 (個人が登録)	
回答者数	22/25	26/27	26/27	23/25
管理職数			7/27	7/23

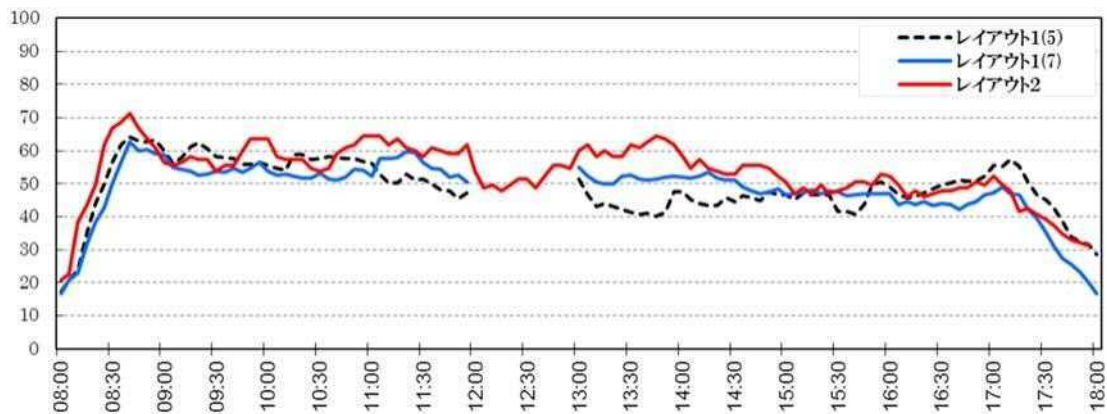


図 3. 1. 5 調査期間の対象スペースの在室率

1)、また業務形態や組織制度上の変更もないことから、一連の改修の前後での仕事のしかた(いわゆるワークスタイル)には大きな変化はなく、業務時間内(8:30~17:10)の在室率は、概ね 40~60%で時刻変動の様子も同様であったと考えられる

但し、次節で述べるように、打合せスペース利用の変化については、相手また組織上の立場によって、打合せスペースの場所の使い方に違いが見られた。なお、対象スペースを利用する組織は、部署長の下に 5 グループ、2 プロジェクトがあり、部署長が 1 グループ長を兼務していた。

### 3. 1. 3 執務者の満足度への影響

得られたアンケート調査結果をもとに、各時点での各項目の平均値を算出して、Mann-Whitney の U 検定を行うことにより、評価の変化を検討、考察した。なお統計分析には、PASW Statistics 18(IBM 社)を使用した。

### 3.1.4 事前レイアウトとレイアウト1の比較

事前レイアウトとレイアウト1との比較結果が、図3.1.6である。なお、先述の通り、自席・全般、打合せ・全般、全体満足度、事前の打合せ・利用頻度は4段階で尋ねているが、前3項目は、図3.1.6にそのまま平均値を、また打合せ・利用頻度は、事後との比較のため5段階に変換して掲載している。

これらを見ると、改修前後で自席・全般、また自席の光環境、温熱環境の満足度が有意に向上していることが分かる(図3.1.6中の赤線で囲った部分)。各個人席が個別にローパネルで囲われ、より作業に集中できるようになったことや、自ら天井照明の調光が可能で、机上面照度を自分の好みに合わせられ、環境に対して能動的に働きかけられるようになったことがその要因と考えられる。とくに照明調光については、改修7ヶ月後の自動調光されるようになった後には、統計的な有意性はないものの、自席および全体で光環境の満足度の平均値が下がっていることから、執務者の主体的な欲求の影響も少なからずうかがえる。すなわち、好みの明るさへの自動調光とは言え、環境への働きかけの能動性や全体の明るさ感との関係を明らかにすべきことが課題であると言える

資料収納については、自席との距離や位置の満足度が下がっているものの有意と言える差はなく、改修による満足度の低下は比較的少なかったと言える。

一方、打合せスペースは、各項目とも満足度の平均値が改修後に上がっている。打合せテーブル机上面の広さはテーブル寸法が小さくなったためと推察され、少し下がっているが、利用頻度や明るさの程度は、有意に向上している。

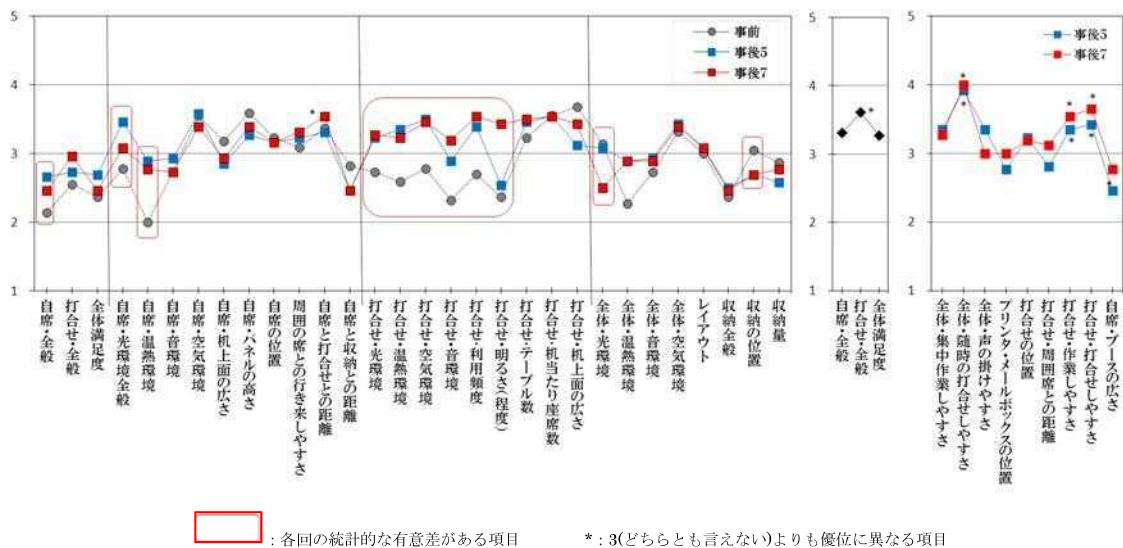


図3.1.6 アンケート結果の各項目の平均値(事前-レイアウト1)

図3.1.6の中央のグラフは、レイアウト1への改修後の事前との比較評価結果(平均値)と、図3.1.6の右側のグラフは、改修後にスペースの利用しやすさが向上した設問項目の結果(平均値)である。これらの項目は、間隔尺度を仮定してWilcoxonの符号付き順位検定を行い、平均値と3(どちらともいえない)との差を検定した<sup>60)</sup>。図3.1.6の中央のグラフを見ると、打合せスペースの満足度は有意に3を超えている。図3.1.6の右側のグラフをみると、随時の打合せのしやすさや、打合せスペースでの作業のしやすさや打合せのしやすさの満足度は有意に高い。また、自席のブースの広さはレイアウト1への改修5ヶ月後は低かったが、7ヶ月後には改善している。

これらのことから、自席と打合せスペースとの使い分けについて、時間経過とともに、効果的な使い方を執務者が工夫するようになったとも考えられる。

このように、予定しない随時の打合せやコミュニケーション等の共同作業のしやすさを意図して計画したレイアウト1のような、レイアウトコンビネーションは、打合せや共同作業といった点で、有効であると結論づけられると考えられる。

### 3.1.5 レイアウト1と2との比較

図3.1.7は、レイアウト1の事後7ヶ月時点と、レイアウト2における各アンケート項目の比較結果である。

図3.1.7を見ると、レイアウト1から2への変更前後で、スペース全体の光環境、自席の音環境が改善したが、打合せスペースの光環境、温熱環境は、有意な差こそないが、執務者の意見として少し悪化したとの報告を受けた。これに対する検討を加える。

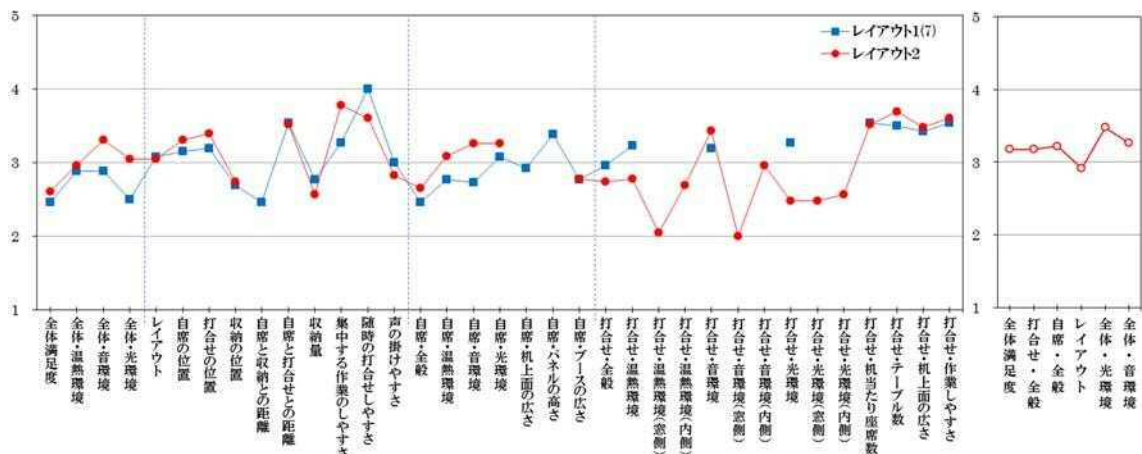


図3.1.7 アンケート結果の各項目の平均値(レイアウト1: 事後7ヶ月-レイアウト2)

レイアウト変更により自席を配置した部分を全体的に窓側(図3.1.2の左方)に移動させたため、昼光により自席の明るさが増し、全体として明るく感じるようになった一方で、内側(図3.1.2の右方)に移動した打合せスペースは窓面から遠く、しかも照明が在席者の存在を検知しての自動点灯であるため、打合せスペースが利用されていない時は点灯せず暗くなっていることが影響していると思われる。

窓側の打合せスペースは、温熱環境の満足度も低い。調査実施が冬季であり、窓が単板ガラスで断熱性能が低いことが大きく影響していると考えられる。

さらに、窓側の打合せスペースは音環境の評価も低いことが見える。原因は推測し難いが、騒音元として考えられるのは、ペリーメータの床部分から出ている空調音であり、その空調音が騒音として影響していると思われる。

レイアウト1、2の変更前後で、集中する作業のしやすさの評価は上がり、随時の打合せしやすさは下がっている。統計的な有意差は認められなかったが、自席に隣接して打合せスペースがあるレイアウト1では随時の打合せはしやすく、集中する仕事はし難い。一方、レイアウト2のようにブース型の個人席が集まっている方が、集中しやすいと考えられる。但し、レイアウト2でも、随時の打合せしやすさは、有意に満足側(3を超える)にあり、距離にして1~2席程度、打合せスペースが自席から離れていても、利用したいときに空いているスペースがある程度に十分な数があれば、随時の打合せがし難いと感じる程度には至らないと思われる。

次に、ワークプレイスにおける組織上の長と一般研究員との差について検討を加えた。図3.1.8がその結果である。管理職と一般研究員では、職務内容に違いがあり、その違いによってワークプレイスに対する満足度の違いの有無を検証することが狙いである。

随時の打合せしやすさは、ともにレイアウト2で下がっているが、声の掛けやすさは、管理職の方が有意に低くなった。また、打合せのテーブル数や座席数、机上面の広さはと

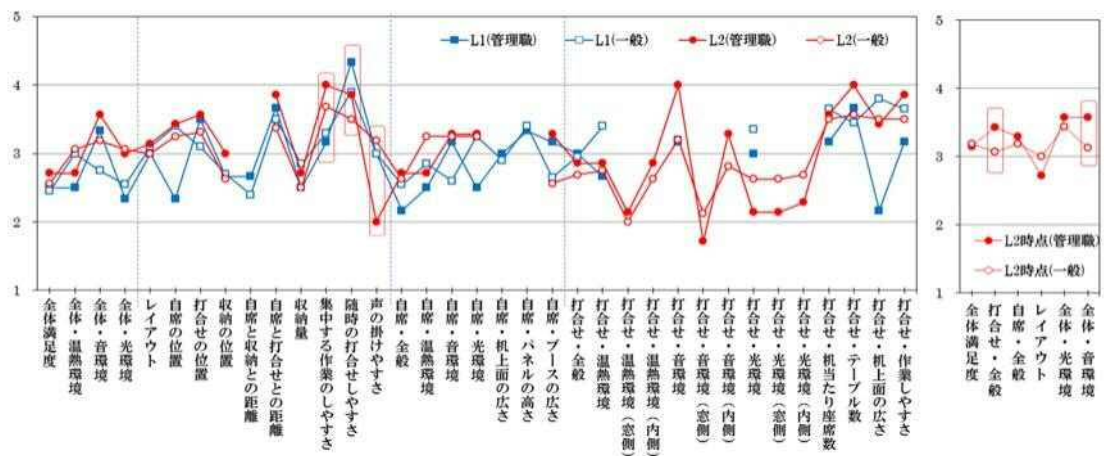


図3.1.8 アンケート結果の各項目の平均値(レイアウト2: 事後7ヶ月-レイアウト2)

くに変更していないため、事前事後で変わらないにも関わらず、管理職の満足度は向上している。スペースの配置がそこでの行為の多様性に影響し、さらに、そのスペースの使い方多様性に関する意識、すなわち、いろいろな作業内容に利用できるという意識に影響している可能性も示唆される。

一方、レイアウトや打合せの位置の評価は変化がないにも関わらず、管理職の自席の位置の評価はレイアウト 2 で向上している。個人席を集めることで、より周囲からの雑音的な影響(周囲が気になる、声を掛けられ易い等)を受けにくくなったことにより、管理職といえども、意識を自席に向けた場合には、打合せしやすさよりも、作業への集中しやすさが、優先されるのであらうと思われる。

### 3.1.6 まとめ

今回の改修で、まず個人席と打合せスペースとを組み合わせたレイアウト 1 は、執務者が有効な使い方を見出すまで、今回の実験では約半年の時間経過を要したが、その効果を確認できた。一方、今回のレイアウトでは収納スペースの配置との関係に課題があることが判った。すなわち、改修に際し打合せスペースの面積規模を確保するため、収納スペースの配置をある程度犠牲にし、集中してスペース全体の片側に寄せたが、自席との距離に課題が残った。これらを解決する工夫が必要と考えられる。但し、社会の技術動向を踏まえた趨勢としては、ペーパーレス化に伴い、個人収納スペースは縮小傾向であると思われる。スペース規模や配置の課題については、今後は小さくなっていくであらうとも思われる。

自席と打合せスペースとの使い分け、すなわちプライバシーとコミュニケーションのバランスから見ると、今回の結果では、レイアウト 2 の方が有利という結果であった。しかし、自席と打合せスペース間の距離や、声を掛けやすい座席の向きといった課題は残っている。

今回は研究執務スペースという個人の知的な集中作業が重要視されるとともに、ある程度の資料量の利用が前提とされ、しかも執務者相互のインタラクティブな創造的コミュニケーションも重要視される執務環境であるため、また組織風土としての個別特殊性もあると考えられ、とくにレイアウト 2 のような比較的閉鎖的な空間が有効ということは、一般的なモデルというまでには議論できない。しかし、オープンでフレキシブルでインタラクティブなオフィス空間のみが創造性に大きく寄与するとまでは言えないと、考えることはできると思われる。組織や業務形態、業務内容、いわゆるワークスタイルによって、相応しいレイアウトコンビネーションを選択することが有効と考えられるが、本研究では、実証的にそのことを示すことができなかつた。今後の大きな課題としたい。

## 第2節 執務研究スペースの使われ方の変化

本節では、執務空間における「コラボレーションの場(コミュニケーションのしやすさ)」について、行動観察調査を用いて分析することで、レイアウトの違いによるコミュニケーションの場としての打合テーブルの使われ方の変化を明らかにする。

また、実務の場としてのワークスペースにおいては、組織活動が日常的に行われているわけであり、特にコラボレーションの場(打合テーブル)の使い方に関する組織の長と一般研究員との違いについても捉えることにする。



### 3.2.1 はじめに

本研究では、作業快適性と省エネルギーの両立をはかる新しいオフィスのあり方の研究・開発の一貫として、スマートワークプレイスでは照明等の設備についての技術開発に加え、個人席と打合せテーブルでの作業のしやすさを両立できるレイアウトを実現するための実験を行っている。

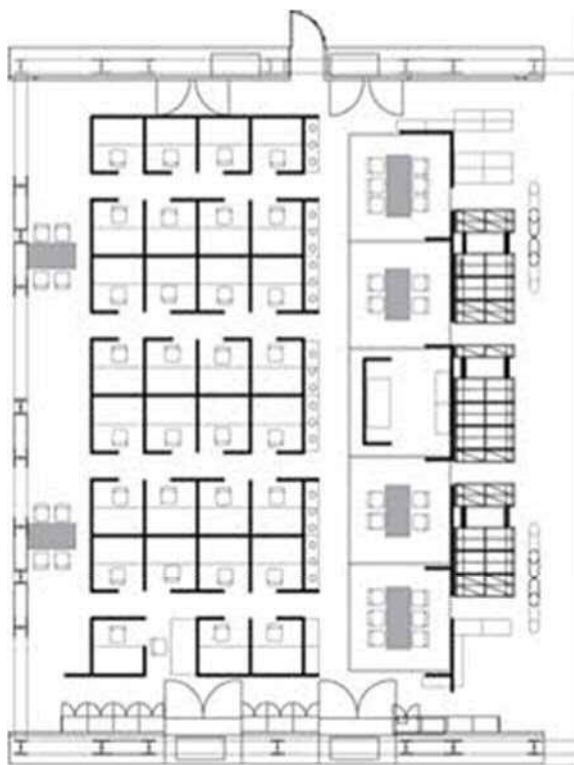
本節では、スマートワークプレイスにおいて実施したレイアウト変更実験による執務者の行動の変化を、行動観察調査を用いて分析することで、レイアウトの違いによって共用の打合せテーブルの使われ方がどのように変化したのかを明らかにする。すなわち、アンケート調査で比較的评价の高かった自席ではなく、コラボレーションの場としての打合せスペースの使われた方を対象として研究を行う。

スマートワークプレイスでの執務は 2011 年 5 月に開始した。レイアウト①は図 3.2.1 のような打合せテーブルを囲んで個人席が配置されたレイアウトに改修したレイアウトである。執務開始後の調査結果をふまえて、2011 年 10 月にレイアウトを変更した。レイアウト②は図 3.2.2 のように打合せテーブルと個人席とを分離し、エリアの通路側に 4 つ、窓側に 2 個のテーブルを配置したレイアウトである。個人席は、所属するグループごとに配置を決めている。また、打合せテーブルはキャスター付きで自由に移動させることができ、隣接するテーブル同士を繋げて大きなテーブルとして利用することも可能である。

なお、レイアウト①とレイアウト②では個人席、打合せテーブルの数は同じだが、執務者については人事異動のため一部変更がある。



図 3.2.1 レイアウト①



窓側の打合せテーブル



通路側の打合せテーブル

図 3. 2. 2 レイアウト②

### 3. 2. 2 使われ方に関する調査・分析

行動観察調査を行うため、天井に設置した 4 台のコンピュータに各 2 台ずつ、計 8 台のウェブカメラを接続した。この 8 台のウェブカメラを用いて、15 秒間隔でインターバル撮影を行った( 図 3. 2. 3)。そして、インターバル撮影で得られた画像から、表 3. 2. 1 の手順に従って 1 分間隔で画像を抽出し、誰が、どこで、何をしているか( 個人作業をしているか、会話・打合せ\*3) をしているか) を読み取った。レイアウト①の期間中に撮影した 2010 年 7 月 28 日、9 月 29 日、2011 年 1 月 25 日の 3 日間、レイアウト②の期間中に

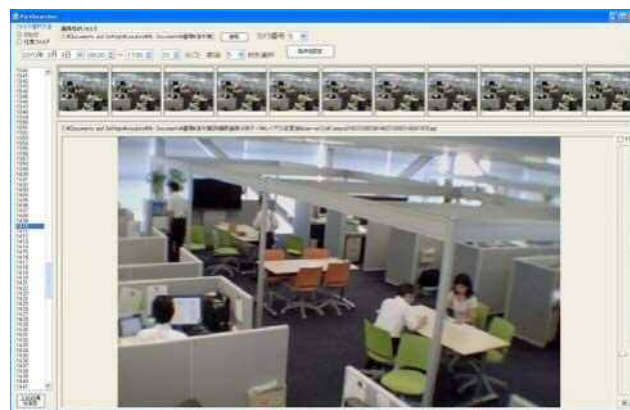


図 3. 2. 3 ウェブカメラによる撮影画像

撮影した 2011 年 12 月 21 日、2012 年 2 月 28 日、3 月 27 日の 3 日間、計 6 日間のデータを対象とし、打合せテーブルの利用状況を分析する。なお、画像のファイル名は、年月時分秒を示す yyyyymmddhhmmsssss.jpg であり、秒の部分は msec で記録される。

表 3. 2. 1 撮影画像のデータ化

分析対象日	レイアウト① 2010 年 7 月 28 日 / 9 月 29 日 / 2011 年 1 月 25 日 レイアウト② 2011 年 12 月 21 日 / 2012 年 2 月 28 日 / 3 月 27 日
時間	8 時 30 分～11 時 59 分 / 13 時～17 時 09 分 ※執務時間は 8 時 30 分～17 時 10 分 (12 時～13 時は昼休み)
画像の抽出方法	1 分間隔で画像を抽出 ※インターバル撮影の時間間隔は 15 秒で設定しているが、コンピューターの処理時間の影響があるため、 $15 + \alpha$ 秒間隔で画像ファイルが作成される。そこで、画像のファイル名 (=ファイルが作成された時刻) に基づき、それぞれの時刻の前後で一番近い時刻に作成された画像を抽出する。 ・例えば、「2010 年 08 月 03 日 00 時 30 分」の画像は、以下のうち「00 時 30 分」に最も近い時刻に作成された ◎ を抽出する。  20100803002930999.jpg 20100803002946948.jpg 20100803003002569.jpg ◎ → この画像を抽出 20100803003018248.jpg 20100803003034205.jpg
画像から読み取る内容	・個人作業をしているか、会話・打合せをしているかを記録。 ※打合せテーブル脇での立話も、テーブルを利用していると見なす。 ※打合せスペースは動線上にあるため、ある時刻の画像の前後 1 コマ (± 約 15 秒) も同時に確認し、前後のいずれのコマにも姿が映っていない場合は、通過する執務者だと見なし、記録しない。

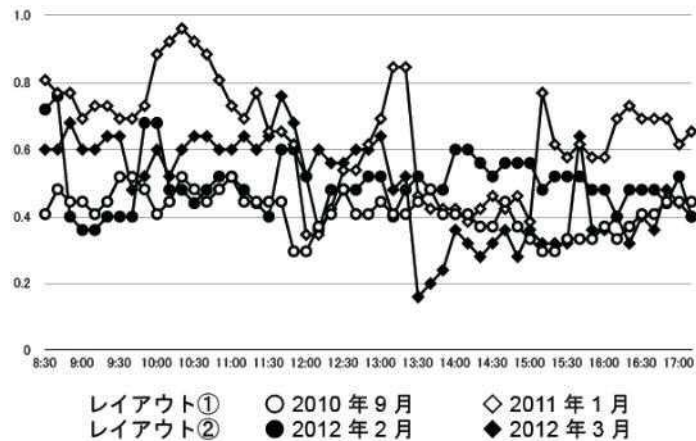


図 3. 2. 4 調査日の在席率



図 3. 2. 5 打合スペースの利用状況

### 3.2.2 コラボレーションの場の使われ方

本節で分析対象とした日は、日や時間帯による増減はみられるが、概ね40～60%の執務者がワークスペース内に在席していた(図3.2.4)。本節では同時に利用されている打合せテーブル数、会話・打合せ人数、会話・打合せの相手、利用の継続時間を分析する。使われ方の対象として、レイアウト変更前と変更後の使われ方の差異を明らかにし、レイアウト変更によるワークスペースにおける執務行動の変化を促す効果を検証する。なお、打合スペースの使用状況を撮影したものを例として図3.2.5に示す。

図3.2.6は変更前のレイアウト①で同時に利用されている打合せテーブル数である。調査日による違いはみられるが、平均すると半分の時間で打合せテーブルは使われていない。

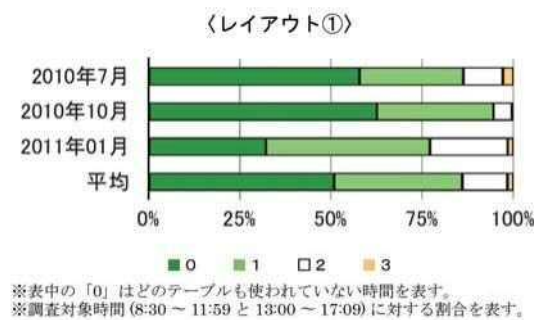


図3.2.6 同時利用のテーブル数

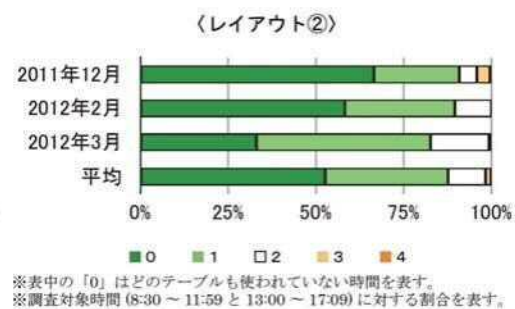


図3.2.9 同時利用のテーブル数

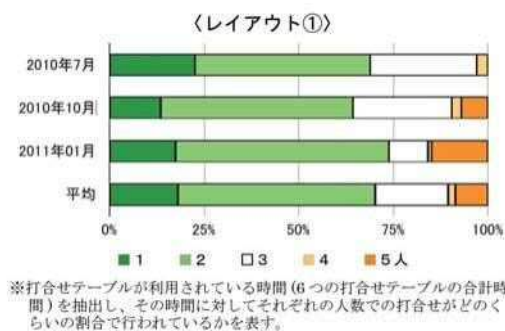


図3.2.7 同時利用テーブル数の時間割合

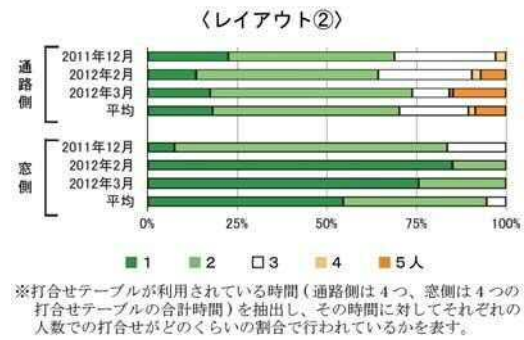


図3.2.10 同時利用のテーブル数

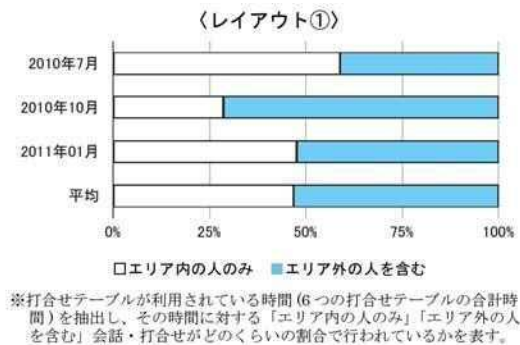


図3.2.8 打合せの相手

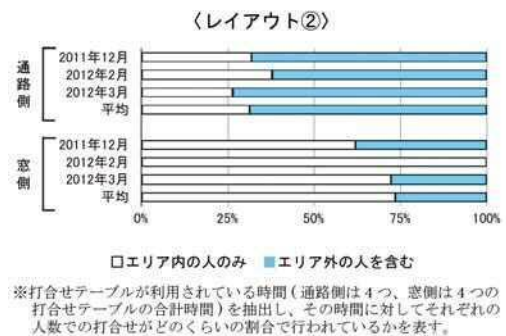


図3.2.11 打合せの相手

約 3 割の時間で 1 個のテーブルが利用されている。図 3.2.7 は会話・打合せの人数ごとのテーブル利用時間の割合である。約 2 割が個人作業、約半数が 2 人での会話・打合せであり、最も多い会話・打合せは 5 人であることがわかる。図 3.2.8 は会話・打合せの相手ごとのテーブル利用時間の割合を示したものである。平均をみると、半数以上の会話・打合せに「エリア外の人」が含まれていることがわかる。

このような利用状況、及び、執務者からの意見をふまえ、レイアウト変更を計画した。レイアウト変更後の図 3.2.9 はレイアウト②で同時に利用されている打合せテーブル数の時間割合を示したものである。平均すると半分の時間では打合せテーブルが使われていないこと、残りの時間のうち約 3 割で 1 個の打合せテーブルが使われていることから、同時に利用されているテーブル数はレイアウト変更前後で大きな違いはみられないことがわかる。

図 3.2.10 は会話・打合せの人数ごとのテーブル利用時間の割合であり、通路側と窓側の打合せテーブルでは異なる傾向がみられる。窓際より通路側の打合せテーブルの方が会話・打合せの人数が多いこと、窓際の打合せテーブルは個人作業のために使われる割合が大きいことがわかる。

図 3.2.11 は会話・打合せの相手ごとのテーブル利用時間の割合である。通路側と窓側の打合せテーブルの使われ方には異なる傾向がみられ、通路側の打合せテーブルでは約 7 割の会話・打合せに「エリア外の人」が含まれているのに対して、窓側の打合せテーブルではその割合は小さくなっている。このことから、レイアウト変更後は、個人席の近くで「エリア外の人」が会話・打合せをするという状況が減ったと考えることができる。

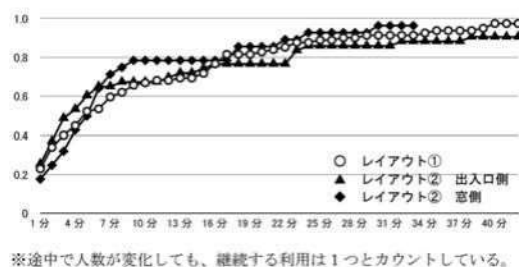
表 3.2.2 は、レイアウト①の打合せテーブル、レイアウト②の通路側の打合せテーブル、窓側の打合せテーブルについて、利用の平均人数、平均時間、最長時間を示したものである。これより、レイアウト変更を行うことによって、通路側の打合せテーブルは、レイアウト変更前より長時間の会話・打合せがなされるようになってきていることがわかる(図 3.2.12)。一方、窓側の打合せテーブルでは、レイアウト変更前より少人数、短時間の会話・打合せがなされるようになったことがわかる。

以上の結果からは、レイアウト変更後の通路側と窓際の打合せテーブルは、それぞれ異なる

表 3.2.2 利用の平均人数・平均時間・最長時間

	レイアウト ①	レイアウト ②	
		通路側	窓側
平均利用人数(人)	2.3	2.0	1.5
平均利用時間(分)	10.8	13.8	8.5
最長利用時間(分)	71	119	34

※表の値は分析対象とした 3 日間の平均である。  
 ※平均利用人数は、打合せテーブルが利用されている時間(6つの打合せテーブルの合計時間)における会話・利用人数の平均を表す。  
 ※利用時間を求める際は、途中で利用人数が変化しても、継続する利用は1つとカウントしている。



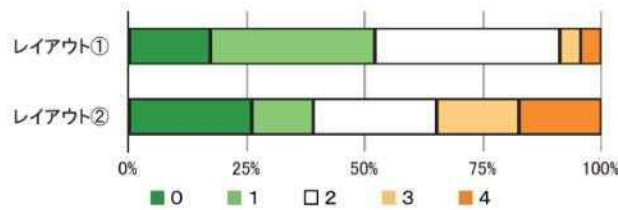
※途中で人数が変化しても、継続する利用は1つとカウントしている。

図 3.2.12 利用の継続時間

る使われ方をされていることが明らかとなった。

また、図3.2.5、図3.2.8 でみたように、レイアウト①、レイアウト②のいずれにおいても、エリア内に設置した6個の打合せテーブルが全て同時に使われている時間帯はなかった。このことは、分析対象とした日において、執務者には利用する打合せテーブルを選択する余地があったことを示している。

そこでここでは、各執務者はどの打合せテーブルをよく利用する傾向があるのかについて分析してみる。図3.2.13をみると、レイアウト①よりレイアウト②の方が、多くの種類のテーブルを利用する執務者の割合が増加していることがわかる。ただし、執務者の職位に注目すれば(表3.2.3)、グループの長(以下、GL)の方が、それ以外の執務者より利用しているテーブルが多いことがわかる。また、GLが利用するテーブル数の平均はレイアウト変更前後で変わらないのに対し、GL以外の執務者ではレイアウト②で利用するテーブル数が増加している。さらに、各執務者が利用している打合せテーブルを詳細にみたものが表3.2.4である。レイアウト変更前後ともスマートワークプレイスは大きく2つのエリアに分かれるが(図3.2.1、図3.2.2のように上下に対象である)、この表をみるとほとんど

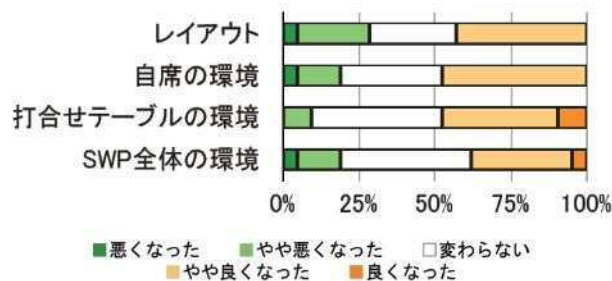


※利用テーブル数は、〈レイアウト①〉〈レイアウト②〉それぞれの調査対象とした3日間を通して各執務者が利用したテーブル数を表す。グラフは、利用したテーブル数ごとの執務者の割合である。

図3.2.13 執務者が利用するテーブル数

表3.2.3 執務者が利用する平均のテーブル数

	全執務者	グループの長	グループの長以外
レイアウト①	1.43	2.33	1.12
レイアウト②	1.87	2.33	1.71



※2012年06月にスマートワークプレイスに席をもつ執務者に対して行った意識調査の結果。回答者は21名。

図3.2.14 執務者によるレイアウト評価

表 3. 2. 4 各執務者の打合テーブルの利用時間（分）

		レイアウト①						
座席位置	執務者	①	②	③	④	⑤	⑥	利用テーブル数
図2下	A	133	1	1	6			4
	B	13		114		1		3
	f		1	73				2
	c	55	1					2
	i	35						1
	g	14						1
	b	1		1				2
	l			1				1
	o							0
	p							0
	q							0
図2上	C					20	129	2
	h						85	1
	E				23	49		2
	D				56	10		2
	e				39	20		2
	k						59	1
	F						42	1
	j						37	1
	a					14	22	2
	d				1	22		2
	m					22		1
n							0	

		レイアウト②						
座席位置	執務者	通路側				窓側		利用テーブル数
		①	②	③	④	⑤	⑥	
図2下	A	117	5					2
	B	129	1	4		10		4*
	f							0
	E							0
	c	20				28		2*
	i	26	32			14		3*
	g	136	12	19		42		4*
	b	14	1	5				3
	l	25						1
	o							0
	p							0
q							0	
図2上	C			32	5	7	41	4*
	h			11	4	6	10	4*
	D	50			2			2
	e						103	1
	k					4	8	2
	F			4	6			2
	j			11		4	2	3*
	a			14	2		20	3*
	d				61			1
	m							0
	n			3	1			2

※表の値は、分析対象とした3日分の合計利用時間（分）を表す。  
 ※テーブル番号①～⑥、執務者名 A、B、C…は図2、3の番号と対応している。なお、大文字の執務者はグループの長を表す。  
 ※レイアウト①と②の間では部署の移動に伴い一部の執務者が入れ替わっている。従って、表3.4では両期間とも執務していた執務者のみを抽出している。  
 ※スマートワークプレイスは大きく2つのエリアに分かれる。執務者にとって近い方のエリアにある打合せテーブルは、表中で網掛けで表記している。

の執務者は自身の席があるエリアにある打合せテーブルのみを使う傾向がある。また、レイアウト②では自身の席にあるエリアに通路側・窓側という2つのタイプの打合せテーブルを使い分けている執務者がいることもわかる。なお、図3.2.14に示した執務者の意識調査の結果からは、打合せテーブルについても、個人席についても、約半数の執務者はレイアウト変更後よりよい執務環境が実現できたと評価していることがわかる。

### 3.2.4 まとめ

本節ではスマートワークプレイスで実施したレイアウト実験の結果を考察してきた。スマートワークプレイスでは「エリア外の人」との会話・打合せが多いことに注目し、打合せテーブルと個人席を分離するというレイアウト変更を行った結果「エリア外の人」との会話・打合せは通路側の打合せテーブルで行われるようになり、一方、窓側の打合せテーブルは個人作業か少数人数での会話・打合せを行う場所となっていた。加えて、通路側では長時間の、窓側では短時間の会話・打合せが行われる割合が多く、使われ方の異なるスペースを実現することができたと言える。

また、執務者は自身の席があるエリア内の打合せテーブルを使う傾向があること、レイアウト後は執務者が利用するテーブル数が増えていること、特に今まで限られたテーブルしか利用していなかったグループの長以外の執務者にこのような傾向がみられることも明らかとなった。

このように使われ方の変化、及び、意識調査の結果から、レイアウト変更により執務者に



よってより好ましい執務環境を実現することができたと考えることができるが、より好ましい執務環境を実現する上では、執務開始後の継続的な調査と、その結果をふまえた環境の改善というプロセスが有効であると言える。

#### 第4章 IoTの活用による今後のオフィスマネジメントの展望

本論文では、これまでに、ICT技術を活用した新しいオフィス制御システムの開発として本研究の基礎となる新しいオフィス制御システムとセンサネットワークシステムの有用性を示した。次いで、研究執務スペースにおける「集中の場」と「コラボレーションの場」相反する機能を有するワークプレイスのレイアウトコンビネーションの効果について検証を行った。

本章では、近年非常に注目を集めているIoT技術を活用したオフィスの使われ方データの収集の可能性の取り組みについて述べる。日常的に時々刻々と蓄積される執務者の位置情報や環境データなどを取り込む仕組みを通じて、今後のオフィスマネジメントへの適用可能性について検討する。

#### 4.1 はじめに

最近、「モノのインターネット」とも呼ばれる IoT (Internet of Things) が大変注目されている。IoT は電気設備の分野でも大きな期待を集めており、BACS/BEMS\*1 への応用も始まっている。IoT とは、コンピュータなどの情報・通信機器だけでなく、世の中に存在する様々な物体(モノ)に通信機能を持たせ、インターネットに接続したり相互に通信することにより、自動認識や自動制御、遠隔計測などを行うことであり<sup>61)</sup>、製造業にとどまらず、ヘルスケアやモビリティなど多くの産業でその導入が加速している。また、IoT の活用のサイクル、すなわち、センサデータの収集、情報の蓄積・データ解析、それに続く制御と連続的なデータの活用と同様のアプローチで、ワークプレイス内で得られるデータをワークプレイスのマネジメントに活用するという井上らの研究も始まっている<sup>62),63)</sup>。

そこで、本章では、スマートワークプレイスで実践しているオフィスの構築手法や使われ方の評価手法にもこの IoT の技術を応用できる可能性について検証してみる。

ワークプレイスにおける本格的な IoT 導入事例については、文献調査等でもみることができないが、IoT を支える無線技術の導入は、比較的容易な状況である。特に、オフィスでの無線活用の可能性は広まっており、昨今の IoT 技術の進展で状況は大きく変化している。

そこで、本章では、ワークプレイスで IoT を活用する際に期待される要件とキー技術となる無線センシング技術について、実際にスマートワークプレイス内にプロトタイプシステムを導入し、IoT システムのワークプレイス内での活用について検討するとともに、IoT データ活用のサイクルを通じたオフィスマネジメントへの展開の可能性について論じる。

#### 4.2 IoT システムの概要

一般的に、IoT システムは大きくサーバ、ゲートウェイ、デバイスの3要素で構成される<sup>41)</sup>。但しデバイスには、直接上位側の通信ネットワークに接続できないものも数多くあり<sup>42)</sup>、そのため、センサ側の通信ネットワークを通じて、ゲートウェイに接続する形態をとることがある。これらを整理すると下記の①～⑤に分解することができる。

##### ①デバイス (センサ)

小型・低価格で多様な種類のセンシングデバイスが登場し、モノ・人・場・環境やその動きなどのセンシングが容易かつ安価に行う事ができるようになった。また無線接続が可能なセンサも増えており、センサ設置場所の自由度も上がっている。人体に取付けるセンサや画像情報をセンサとして利用するような事例もある。

##### ②センサ側通信ネットワーク

センサが利用する BLE\*3、EnOcean\*4 等の無線通信 (あるいは有線) にて、IoT-GW 等上位機器との通信を行う。この部分に関しては、必ずしもインターネットプロトコルに準拠しているわけではない。

### ③IoT ゲートウェイ (IoT-GW)

センサからの情報を上位側ネットワークに乗せるための情報の加工をおこなう。センサ種類によっては、IoT-GW を経由せず、直接的に上位側ネットワークと通信を行うものもある。

### ④上位側通信ネットワーク

有線 LAN の利用に加え、無線 LAN、LPWA (low power wide area) 等の無線技術の活用も検討されている。システムをオンプロミスで利用する場合もあるが、今後多くの場合は、データベースをクラウド利用する可能性があり、その際には外部通信回線を利用する。

### ⑤サーバ部 (データベース)

センサからの多量のデータを蓄積・処理するための大容量のストレージと高速処理が可能な性能が求められる。データの蓄積機能に加えて、データ分析機能が必要となる。分析に際しては必要に応じて AI (人工知能) の活用が脚光を浴びている。

### ⑤サーバ部 (出力制御)

分析結果を基に、データ可視化表示、制御 (設備制御) への反映、別サービスへの展開といった次工程への出力制御が実施される。

また、IoT システムは、従来の統合型のシステムとの違いがあると考えられる。これは、IoT システムを設計する際の、システムの核となる部分の検討においてデータベースの検討が非常に大きな部分を占めた。すなわち、図 4.1 のように、従来の施設内のシステムは、それぞれのシステムに求められている機能を実現させることが最優先で、その結果 (サマライズされたデータ) を統合システムによって、横断的にその関係性を導くものであり、水平統合型システムと言えよう。一方、IoT システムでは、図 4.1 右のように、データベースを中心にし、それぞれの機能実現を担当するシステムは、そのデータベースの上位に位置するという、垂直統合型のシステムとすることができよう。

垂直統合型のシステムの利点は、いわゆる生データに近い状態で、人やモノおよび環境などのデータを蓄積することで、そのデータ間の新しい相互関係を見出す可能性を持っていることである。データ分析により、新たな付加価値を生み出すことが期待される。

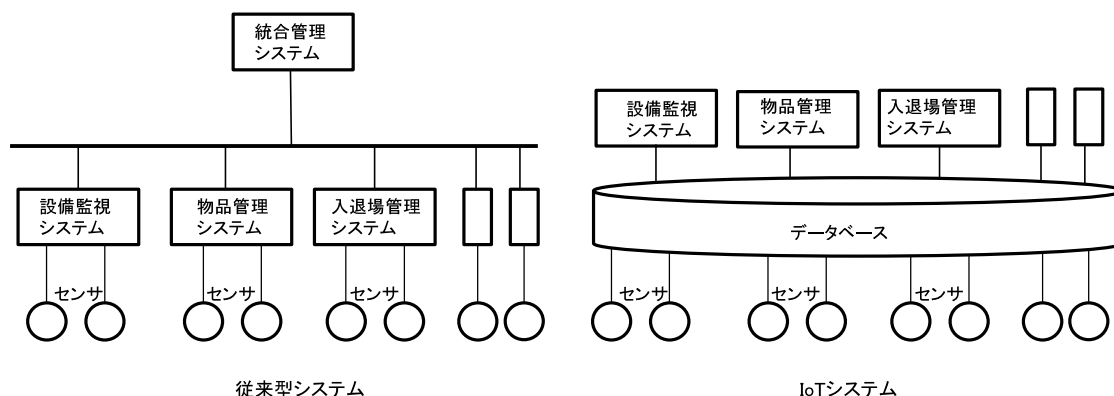


図 4.1 従来型システムと IoT システムの違い

### 4.3 無線センシングシステムの検討と評価

IoT を施設内で活用していく際には、センシングの自由度の点からセンサの無線化がキー技術の一つになると考えられる。今回、ワークプレイス内における無線センシングによるデータ収集性能を検証するための実験を実施してみる。

図4.2の構成を基本とし、センサ側と上位側の通信ネットワークはいずれも無線通信を用いて今回の実験では、スマートワークプレイス内に、約50個の無線センサを図4.3のように実際の空間に配置し、センサ位置の自由度の高いワイヤレスセンシングシステムを構築した。図中の上位側ネットワーク層のデータベースに蓄積されたセンシングデータからワークプレイス内の温度分布の状況を可視化したものを図4.4に示す。このように、温度データを欠損なく取得できることを確認した。無線センサを数多く配置することで、広く面的にその場の環境データを収集していることを確認した。また、無線センサの活用は、通常の施設に固定されたセンサ、すなわち、ワークプレイスの設計段階から計画された位置からのデータ収集ではなく、建物の建築段階で設計された意図と、運用によりレイアウト変更されたワークプレイスでの新たなデータ収集を可能とすることを合わせて確認した。

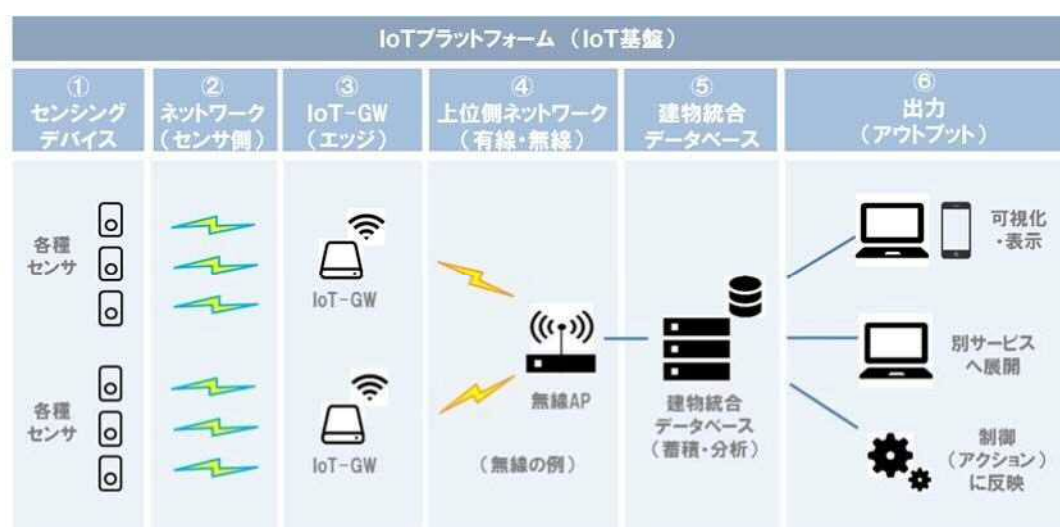


図4.2 IoTシステムの構成要素



図 4.3 センサの設置状況

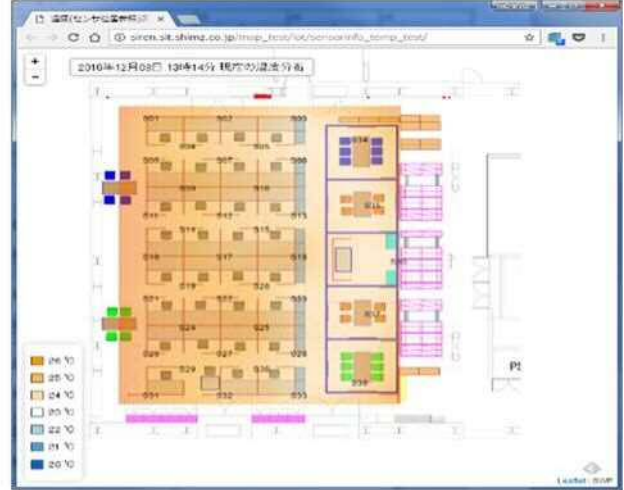


図 4.4 ワークプレイス内の温度分布

今回の IoT プロトタイプシステムの検証では、ワークプレイス内の人の動線把握のための情報収集に新たな取り組みを始めている。図 4.5 に示すように、スマートワークプレイスの出入り通路に人感センサを配置した。今回のプロトタイプシステムで使用した人感センサの仕様を表 4.1 に示す。図 4.6 は、スマートワークプレイス内の 6 つの通路を執務者がどのくらいの頻度で通過しているかを IoT システムでモニタリングした事例である。この通過頻度のセンシングに利用したのは、前述した無線温度センサと同様、太陽電池を搭載した無線の人感（赤外線）センサである。人感センサであるため、センサのそばにいる人間などに反応する可能性もあり、必ずしも正確な通過量を把握できるとは限らない。しかしながら、7 つの通路に同じように設置した状況から、それぞれの通路の使われ方の傾向を把握することは可能である。すなわち、ある 1 週間の時間帯別のスマートワークプレイスからの入退の状況をプロットにより、それぞれの時間帯における各通路の通過量を見ると、図 4.5 における比較的執務席に近い通路 3 と 4 の頻度が高いことがわかる。このように、従来カメラ画像や人手による観察調査などで通過量を調査していたものが、無線の人感センサを取り付けるだけで、簡単におおよその通過量を把握することができる。

表 4.1 人感センサの仕様

検知方式	焦電型赤外線方式
検知距離	最大5m
検知角度	水平±47度以内、水平±41度以内
無線方式	EnOcean

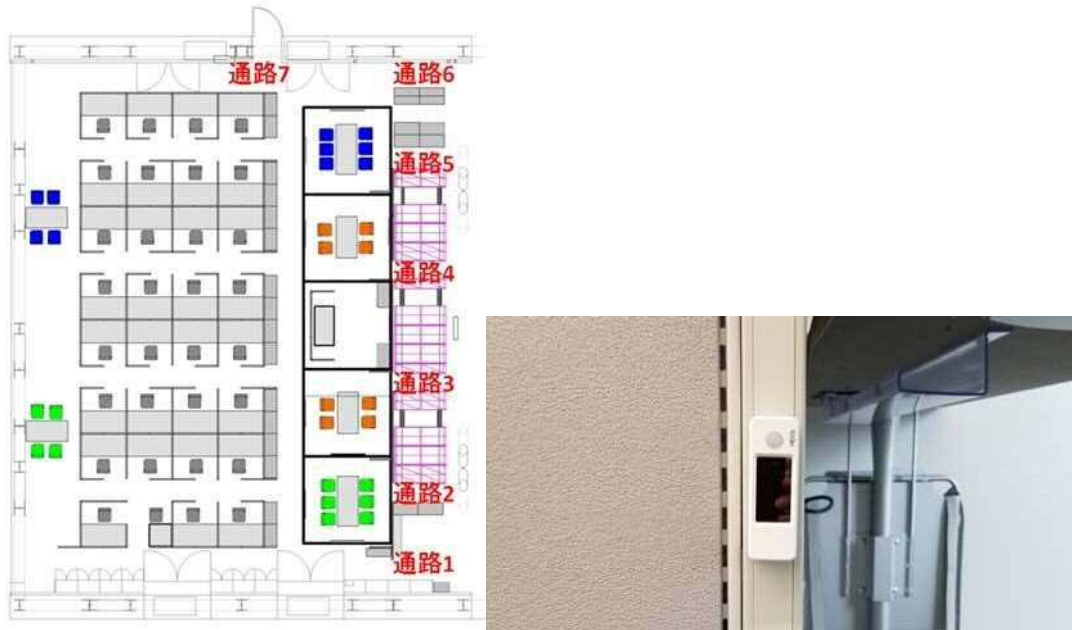


図 4.5 ワークプレイス内の通路と設置した人感センサ

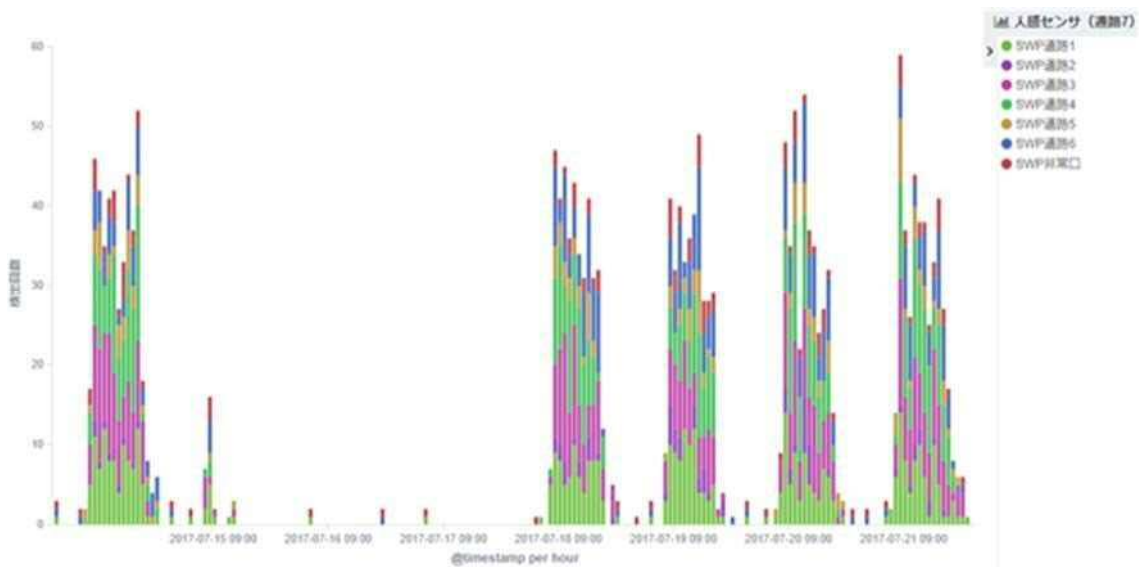


図 4.6 通路の通過頻度

#### 4.4. IoT システムへの期待

無線センサを用いる IoT システムを施設内やワークプレイス内で活用することで、配線工事や電源工事が不要となり、かつ面的に人、もの、環境のデータを収集・蓄積・可視化できることを確認した。しかしながら、本プロトタイプシステムを実用化するためには、その導入コストを上回る効果を示す必要がある。すなわち、日々蓄積される計測データ、制御デ

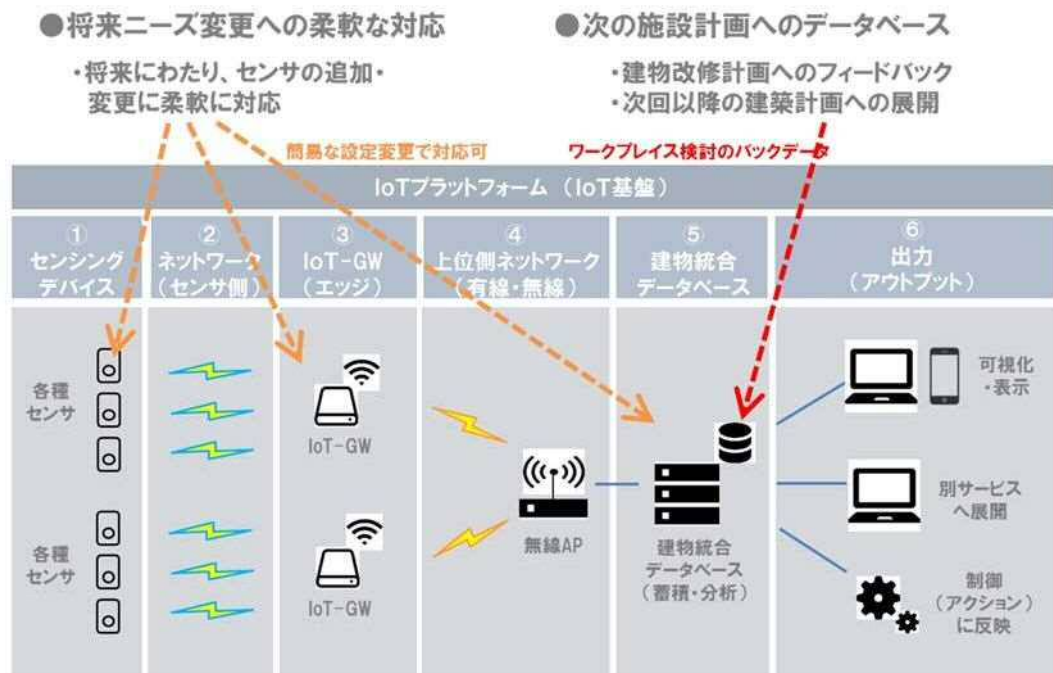


図 4.7 IoT システムのオフィスマネジメントへの活用

ータおよび執務者の移動データなどを分析し、それに基づくマネジメントにより、ワークプレイスにおける付加価値を提案・実証することが必要である (図 4.7)。そこで、今後の展望と期待を含めて、ワークプレイスに関する事項を検討してみる。

#### ①建物管理・予防保全の高度化

建物やオフィスの設備機器の故障の早期検知や予測がより実施しやすくなる。またエネルギー利用量をより多くの箇所でセンシングし、建物内のエネルギー利用状況の傾向把握・分析を行うことで、更なる施設エネルギー効率運用に展開できる。蓄積されたセンシングのデータは、不具合分析や今後のオフィスマネジメントの管理項目としてフィードバック活用できる。これらの取組により、施設の品質確保、性能維持、ライフサイクルコスト低減の更なる高度化が期待できる。

#### ②施設運用の高付加価値化

センシング範囲を建築環境のみならず、建物利用者や機器・備品等の位置、場の状態などに広げることで、施設利用状況をより具体的に把握することができる。これらの情報は建物用途の特性にあわせて有効に活用できる。

例えばオフィス利用者の位置情報は、会議室・トイレ・共用スペースの利用率把握や動線管理に活用できる。

またそれら複数のセンサ情報を一元的に扱うことで、データ間の新たな相関関係を把握し、新たな施設サービスの構築などが期待できる。防災目的や快適性・健康といった新たな分野も有望な適用先であろう。



### ③建物に要求される機能変更への柔軟な対応

建物に要求される機能・性能は時間の経過とともに変化し、それに伴い管理すべき項目は変更され、センシングすべき対象も変化していく。データベースを中心とした今回の柔軟にセンサを追加・変更できる IoT システムによって対応可能と思われる。

また今後新たなセンシングデバイスの登場も想定される。このような建物の管理者、利用者による建物ニーズ変化に柔軟に対応し、システム拡張・変更を容易に行えるシステムが求められる。

### ④建物の改修計画や建築計画への活用

施設内 IoT センサにより大量に蓄積された建物利用情報データを、建物改修計画や建替えの際の建築計画に積極的に反映することができる。ワークプレイスのレイアウトや什器の使い方、通路の通行頻度などのデータを分析することで、より効果的な使われ方を行う条件整理に有効な手法となる。

## 4.5 まとめ

IoT を活用したプロトタイプシステムをスマートワークプレイス内に構築した。その結果、有線のセンサを配置する手間もなく、またセンシングしたいところに自由に移動できる無線センサと有用性が確認できた。さらに、センサの追加、切り離しが自由にできる IoT-GW、各種センサから送られてくるデータ長の異なるデータを格納できるデータベースの機能の検証を行った。その結果、特にデータベースに分散処置型のマルチ対応検索エンジンを利用したことで、センサ情報を容易に可視化できることを確認した。また、単に温度分布の可視化などにとどまらず、ダイナミックな人の移動なども IoT センサを活用することで、容易に把握できることも合わせて確認した。

また、今回の実オフィスでの検証を踏まえ、今後の IoT システムに期待するところをまとめてみた。①建物管理・予防保全の高度化、②施設運用の高付加価値化、③建物に要求される機能変更への柔軟な対応、④建物の改修計画や建築計画への活用は、オフィスマネジメントにおいて、期待されていることであり、今後さらに研究開発を進める必要がある。

\*1 BACS(Building Automation Control System)/BEMS(Building Energy Management system) 一般的にビル管理システムと呼ばれる。

\*2 たとえば、センサ類や家電、照明器具など、コミュニケーション用のインターフェイスを有しないデバイス

\*3 Bluetooth Low Energy の略、Bluetooth の一部で、バージョン 4.0 から追加になった低消費電力の通信モード

\*4 EnOcean とは光や温度、振動など比較的微弱なエネルギーを集めて電力に変換する「エネルギーハーベスト技術（環境発電技術）」の 1 つで、変換した電力で無線通信する国際規格 (ISO/IEC 14543-3-10)。300 社以上の企業が採用している

## 第5章 結論と今後の課題

本章では、これまで述べてきた本研究のいくつかの課題についての結論をまとめるとともに、本研究では解決に至らなかった課題について今後の研究への期待を込めて整理する。

## 5.1 本論文の結論

本研究では、近年の情報通信技術の飛躍的な進展により、人々の生活が大きく変わっている現在、オフィスをより快適なものとするため、この情報通信技術、特に無線技術と制御技術を活用し、いわゆる賢い（スマートな）ワークプレイスを構築し、その直接的な効果を得るとともに、センシングされたデータからオフィスの使われ方を可視化し、さらなる改善に導くための手法を提案することにより、スマートワークプレイスの有効性について論じた。

また、ワークプレイスの計画で考慮しなければならない、ワークプレイスにおける「集中の場（プライバシーの確保）」と「コラボレーションの場（コミュニケーションのしやすさ）」という、相反する機能を両立させる執務空間の構成を実現させるために、レイアウト変更によるそれぞれの機能に対する執務者の意識や使われ方の変化を捉えるを行った。

さらに、近年非常に注目を集めている IoT 技術を活用したオフィスの使われ方データの収集の可能性の取り組みについて述べ、日常的に時々刻々と蓄積される執務者の位置情報や環境データなどを取り込む仕組みを通じて、今後のオフィスマネジメントへの適用可能性について検討を加えた。

本論文における、各章・節での検討内容と結論を以下にまとめる。

第1章では、本研究の目的、研究の背景、既往の研究に基づく研究の位置づけ、本研究を進めるにあたっての動機（仮説）、さらに実務の場を対象とした実証的研究の進め方および本論文の構成について整理した。

第2章では位置情報システムを活用した照明制御の有効性について述べた。本研究の基礎となる新しいワークプレイス制御システムとセンサネットワークシステムの開発経過とシステムの有用性を提示し、スマートワークプレイスの照明制御の一連の構築手法について論じている。すなわち、位置情報にもとづくリアルタイム設備制御システムの構築、好みの照度の把握と、それを実現する照明制御方法の提案およびアンケート調査結果によるワークプレイスの照明方法の改善と効果検証について検討した。

第2章第1節で ICT 技術を活用した新しいオフィス制御システムの開発として本研究の基礎となる新しいオフィス制御システムとセンサネットワークシステムの開発経過とシステムの有用性を示した。執務者個人への個別調光制御を実現するために必要な面積と高さの空間で個人位置を検知することは、セミアクティブ型 RFID タグと適切な LF 波アンテナの設計および LF 波の出力調整を行うことにより可能であることを確認した。また、対象オフィスでの運用により、位置情報検知システムは、4 秒の検知サイクルで、執務者全員

の位置検知が連続して可能であることや内蔵電池交換時期を含め実運用可能なシステムであることを確認した。

第2章第2節では、個人位置情報による好みの机上面照度を提供するシステム開発について報告した。その結果、LED照明制御システムでは、LED灯具の調光率と照度が比例関係である特性を活かし、調光制御に全執務席での計測に基づいた調光データベースを用いることができること、対象オフィスで各灯具の点灯による各執務席への照度増分の相互干渉に対しては、光環境シミュレーションの結果をもとに構築した照度の増分データベースから再計算される各灯具の最終的な調光率を各灯具に送信することにより回避でき、目標通りの照度とすることができること、必要照度データベースを構築する際には、執務者各自の調光操作ログから必要照度を抽出することができることが分かった。このことから、位置情報検知技術による局所照明システムの実証的研究のために、位置情報を活用した照明制御システムの開発を行い、実オフィスに適用可能であることを確認した。

第2章第3節では、省エネルギー効果と更なるワークプレイスの視的環境向上への対応について実証的検証を行った。省エネルギー効果としては、就業時間帯(9:00-18:00)の積分値では69%減の31%の照明電力量となった。さらに、終日の比較では78%減の22%の照明電力量となり、人数の少ない早朝や残業時間帯での省エネルギー効果が特に大きいことが分かった。しかしながら、机上面照度の満足度は得られているが、スマートワークプレイス全体での明るさ感が欠如することや窓面の輝度が高すぎることなどの課題がアンケートなどから明確となった。そこで、ワークプレイス全体の視的快適性の向上のため、明るさ感確保のためのシステムや窓面輝度の減少のためのシステムを新に導入し、導入前後の各種比較を実施し、その対策効果を明らかにした。

第3章では、スマートワークプレイスに適した空間構成のあり方について述べた。ここでは、レイアウトコンビネーションの導入の経緯と計画について解説し、位置情報と満足度調査結果にもとづくレイアウトの効果について考察と環境の満足度、集中・コミュニケーションの満足度および使われ方の変化(コミュニケーション場所)と、執務内容との対応などの評価方法についての実証に基づく検討を行った。

第3章第1節では、このワークプレイス環境制御システムを導入したスマートワークプレイスのレイアウトの基本的な考えであるレイアウトコンビネーションの導入の経緯とその効果について考察した。

今回の改修で、まず個人席と打合せスペースとを組み合わせたレイアウト1は、執務者が有効な使い方を見出すまで、ある程度の時間経過が必要ではあるが、その効果を確認できた。一方、今回のレイアウトでは収納スペースの配置との関係に課題があることが判った。すなわち、改修に際し打合せスペースの面積規模を確保するため、収納スペースの配置をある程度犠牲にし、集中してスペース全体の片側に寄せたが、自席との距離に課題が残った。これらを解決する工夫が必要と考えられる。但し、社会の技術動向を踏まえた趨

勢としては、ペーパーレス化に伴い、個人収納スペースは縮小傾向であると思われ、スペース規模や配置の課題は、今後は小さくなっていくであろうとも思われる。

第3章第2節では、前節での執務スペースをスマートワークプレイスへと改修(スマート化)する際、まず打合せスペースを囲むように、ローパネル付の個人席を配置したレイアウトを採用し、その有効性についての検討結果を受けた形で、その打合せスペースがレイアウトの変更により、その使われ方がどのように変化したかの調査・分析結果を報告した。

スマートワークプレイスでは「エリア外の人」との会話・打合せが多いことに注目し、打合せテーブルと個人席を分離するというレイアウト変更を行った結果「エリア外の人」との会話・打合せは通路側の打合せテーブルで行われるようになり、一方、窓側の打合せテーブルは個人作業か少人数での会話・打合せを行う場所となっていた。加えて、通路側では長時間の、窓側では短時間の会話・打合せが行われる割合が多く、使われ方の異なるスペースを実現することができた。

また、執務者は自身の席があるエリア内の打合せテーブルを使う傾向があること、レイアウト後は執務者が利用するテーブル数が増えていること、特に今まで限られたテーブルしか利用していなかったグループの長以外の執務者にこのような傾向がみられることも明らかになった。

第4章では、近年非常に注目を集めているIoT技術を活用したオフィスの使われ方データの収集によるこれからのワークプレイス・プログラミングへの適用可能性について述べた。プロトタイプシステムの開発。試験的運用を通じて、容易にデータを可視化できることを確認した。特にデータベースに分散処置型のマルチ対応検索エンジンを利用したことは有用であり、可視化したデータも比較的静的な温度データ以外にも、ダイナミックな人の移動などにも対応することができた。

IoTに対する取り組みは、まだ始まったばかりであり、結論付けるほどの実証データを有していないが、比較的早い段階でワークプレイスへの導入が始まると考えられる。

しかしながら、今回の実オフィスでの検証を踏まえ、今後のIoTシステムには、オフィスマネジメントへの活用として、①建物管理・予防保全の高度化、②施設運用の高付加価値化、③将来ニーズ変更への柔軟な対応、④建物運用のデータベースとしての活用などが期待できると言えよう。

## 5.2 今後の課題

以上、現在の社会の抱えている労働力不足の解決の一つの方法であるオフィスの生産性の向上のための ICT 技術を活用したワークプレイスの構築・評価手法の提案を行ったわけであるが、今回の実証実験は小規模・少人数という規模での検証であるため、一般解として疑問が残ることは歪めない。しかしながら、過去の文献調査を通じて、執務者の位置情報により環境制御を局所的に行うようなシステムは見出すことはできず、さらにこの環境下で、一般執務者が長期にわたり被験者となっている実験は貴重である。また、その間にレイアウト変更とそれに伴うシステム変更も実施しており、そこから得られた知見は今後のワークプレイス研究において重要なものとなると考える。

残された課題としては、スマートワークプレイスに関しては、今回のアンケート調査から見られた環境制御に対する執務者による選択の余地の与え方の検討を加えることや、IoT 技術を活用し、本論文で提案する制御システムを安価に実現し、より一般的なオフィスに導入・その運用データを収集することにより、スマートワークプレイス制御の有効性を一般的なものとしたい。

またレイアウトコンビネーションにしても、今回は研究執務スペースという個人の知的な集中作業が重要視されるとともに、ある程度の資料量の利用が前提とされ、しかも執務者相互のインタラクティブな創造的コミュニケーションも重要視される執務環境であるため、また組織風土としての個別特殊性もあると考えられ、比較的閉鎖的な空間が有効ということは、一般的なモデルというまでには議論できない。組織や業務形態、業務内容、いわゆるワークスタイルによって、相応しいレイアウトコンビネーションを選択することが有効と考えられるが、実証的にそのことを示すことは大きな課題であることも分かった。

今後は、情報通信技術の活用とオフィスレイアウトの組み合わせにより、利用者の満足度を向上させるだけでなく、省エネルギーも同時に達成させることの大きな可能性や、ワークプレイス内環境を制御するためのシステムから得られるデータをもとに、オフィスの使われ方を可視化し、さらにその評価によるオフィス改善のサイクル、すなわち、知的創造社会の事業構想の第一線の間であるオフィスを快適で生産性の高いものとするためのオフィスマネジメントの手法が確立され、オフィス資源の有効活用が図られることに期待したい。

## 参考文献リスト

### 第1章

- 1) ニューオフィス推進協議会：クリエイティブオフィスレポート 2.0,2008.7
- 2) (財)省エネルギーセンター編,2010 年度版省エネルギー便覧
- 3) LED 照明推進協議会編,LED 照明ハンドブック,2011
- 4) 国土交通省 知的生産性研究委員会報告書,2011
- 5) 宗本：行動・環境モニタリングによるワークプレイスの省エネルギーと知的活動の活性化技術開発 <http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/sendou/H21houkokusho/06.pdf>
- 6) サンドストロム,E., サンドストロム,M. (黒川正流監訳) :仕事の場の心理学 オフィスと工場  
の環境デザインと行動科学, 西村書店, 1992
- 7)Gabor NAGY, Kunio FUNAHASHI, Takeshi SUZUKI, Michihiro KITA, Bin LI:OFFICE  
LAYOUT AND WORKPLACE ENCLOSURE AS MEDITORS TO WORKERS' PRIVACY  
AND COMMUNICATION AFFECTING PRODUCTIVITY, J Archit Plann., AIJ,No.582 pp53-  
63, 2004.8
- 8) 山田哲弥, 井上誠, 嶋村仁志：フリーアドレス・レイアウトにおける領域操作の効果, 日本建  
築学会計画系論文集, No.486, pp.69-78, 1996.8.
- 9) Preiser, Wolfgang F.E., Rabionowitz, Harvey Z., White, Edward T.: Post Occupancy  
Evaluation, Hutchinson & Ross Inc. 1987
- 10) Bean AR, Hopkins AG: Task and background lighting, Lighting Res Techol., 12(3),pp.135-  
139, 1980
- 11) McKennan GT, Parry CM: An investigation of task lighting for office, Lighting Research  
and Technology, (16), pp.171-190, 1984
- 12) Tabuchi Y, Matsushima K, Nakamura H: Preferred illuminances on surrounding surfaces  
in relation to task illuminances in office room using task-ambient lighting, Journal of Light  
and Visual Environment, 19(1), pp.28-39, 1995
- 13) Yamakawa K, Watanabe K, Inanuma M, Sakata H: a study on the practical use of a task  
and ambient lighting system in an office: Journal of Light and Visual Environment, 24(2),  
pp.15-25, 2000
- 14) タスク・アンドアンビエント照明 (TAL) 普及促進委員会:2012
- 15) 井上容子, 石原美香：快適性を保証する照明光の調節速度に関する研究（その1）－調色速  
度について－, 照明学会全国大会講演論文集, pp272-273,2011.9
- 16) 石原美香, 井上容子：快適性を保証する照明光の調節速度に関する研究（その2）－調色速  
度について－, 照明学会全国大会講演論文集, pp272-273,2011.9

## 第2章

- 17) 橋本秀紀, 新妻実保子, 佐々木毅, 空間知能化—インテリジェント・スペース, 日本ロボット学会誌, Vol.23 No.6, pp.674-677,2005
- 18) 長瀧慶明, 渡邊朗子, 佐藤貢一, 清水友理, 森川泰成, ICT を用いた知能化空間形成技術に関する研究-その 1 知能化空間のグランドデザイン-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-2,pp.421-422,2008
- 19) 照明基準総則 (JIS Z 9110-2010)
- 20) 五十嵐雄哉,ワークプレイスにおける人の位置情報活用システムの構築,日本建築学会大会学術講演梗概集, A-2,pp.507-508,2010
- 21) 奥山 敏, 森 信一郎, 小川章弘 : 屋内ロケーション管理技術, FUJITSU, No64, Vol.1. pp.63-73, 2013
- 22) 櫻木伸也, 峰野博史, 神田準史郎, 石渡要介, 水野忠則, 屋内環境向け無線 LAN ナビゲーションを想定した位置・方向推定に関する検討(MBL-1【位置情報の測位と利用】), 情報処理学会研究報告. UBI, [ユビキタスコンピューティングシステム] 2008(18), pp.41-47, 2008-02-27
- 23) 美濃谷直志, 人体近傍電界通信, セラミックス 45(5), pp.407-411, 2010-05-01
- 24) J. A. Gutierrez, et al.: "Low-Rate Wireless Personal Area Networks – Enabling Wireless Sensors with IEEE 802.15.4 -", IEEE Press
- 25) 鄭 立: “ZigBee 開発ハンドブック”, リックテレコム
- 26) Illuminating Engineering Research (USA) : Annual Report1976, Project 30B-75, Visual Performance Effects of Age dynamic Visual Studies.
- 27) (社) 照明学会編 : 照明ハンドブック, 1978
- 28) (社) 照明学会編 : オフィス照明基準、照明学会技術基準 JIEC-001, 1992
- 29) 藤野雅史, 中村芳樹, 井上修作, 岩井彌: “照明設計ツールとしての輝度・明るさ変換システムの構築”, 日本建築学会環境系論文集, No.597, pp.13-17, 2005
- 30) 中村芳樹, 江川光徳: “均一背景をもつ視対象の明るさ知覚”, 照明学会誌, Vol.88, No.2, pp.77-84, 2004
- 31) 中村芳樹, 江川光徳: “コントラスト・プロファイルを用いた明るさ知覚の予測”, 照明学会誌, Vol.89, No.5, pp.230-235, 2005
- 32) 中村芳樹: “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, Vol.90, No.2, pp.97-101, 2006
- 33)空間の明るさ評価研究調査委員会: “「空間の明るさ感」検討のためのリファレンスデータ”, 照明学会研究調査報告書 JIER-108,2010
- 34)登石久美子, 奥山博康, 野部達夫, 矢川明弘, 多井慶史: “昼光導入型ブラインドの省エネルギー性能に関する研究”, 2003 年度日本建築学会学術講演梗概集, pp.237-238, 2003



### 第3章

- 35) 貞清一浩, 山田哲弥, 五十嵐雄哉: スマートワークプレイスの開発 その1: スマートワークプレイスの概念と制御システム, 2011年度日本建築学会学術講演梗概集 A2, pp.475-476, 2011.8.
- 36) 五十嵐雄哉, 貞清一浩: スマートワークプレイスの開発 その2: ワークプレイスにおける人の位置情報システムの活用, 2011年度日本建築学会学術講演梗概集 A2, pp.477-478, 2011.8.
- 37) 白石理人, 五十嵐雄哉, 國分誠, 貞清一浩: スマートワークプレイスの開発 その3: 無線センサネットワークによる室内環境モニタリング, 2011年度日本建築学会学術講演梗概集 A2, pp.479-480, 2011.8.
- 38) 古川慧, 大塚俊裕, 伊藤清, 山田哲弥, 貞清一浩: スマートワークプレイスの開発 その4: 個人の位置情報と好みに基づく照明制御手法の開発, 2011年度日本建築学会学術講演梗概集 A2, pp.481-482, 2011.8.
- 39) 大塚俊裕, 伊藤清, 古川慧, 山田哲弥, 貞清一浩, 中村芳樹: スマートワークプレイスの開発 その5: 個人の位置情報と好みの照度に基づく照明制御を行う執務室における省エネルギー性能と光環境評価, 2011年度日本建築学会学術講演梗概集(環境工学), pp.481-482, 2011.8.
- 40) 古川慧, 大塚俊裕, 伊藤清, 田中康裕, 山田哲弥, 貞清一浩: スマートワークプレイスの開発 その6: 昼光導入型ブラインドを利用した省エネ快適制御, 2012年度日本建築学会学術講演梗概集(環境工学), pp.1275-1276, 2012.9.
- 41) 大塚俊裕, 伊藤清, 古川慧, 山田哲弥, 貞清一浩, 中村芳樹: スマートワークプレイスの開発 その7: 昼光導入型ブラインドにおけるグレア対策, 2012年度日本建築学会学術講演梗概集(環境工学), pp.1277-1278, 2012.9.
- 42) 貞清一浩, 大塚俊裕, 伊藤清, 古川慧, 白石理人, 五十嵐雄哉: スマートワークプレイスの開発 その8: シナリオに基づく照明制御システム, 2012年度日本建築学会学術講演梗概集(情報システム), pp.81-82, 2012.9.
- 43) 斎藤知生, 大塚俊裕: スマートワークプレイスの開発 その9: 環境条件に基づく学習型省エネルギー照明制御, 2012年度日本建築学会学術講演梗概集(情報システム), pp.83-84, 2012.9.
- 44) 山田哲弥, 田中康裕: 研究執務スペースにおけるコンビネーションレイアウトの有効性 — スマートワークプレイスに関する研究 その1, 2011年度日本建築学会大会学術講演梗概集 E1, pp.593-594, 2011.8.
- 45) 田中康裕, 山田哲弥: ワークプレイスにおける執務者の行動と観察調査についての考察 — スマートワークプレイスに関する研究 その2, 2011年度日本建築学会大会学術講演梗概集 E1, pp.595-596, 2011.8.
- 46) 五十嵐雄哉, 田中康裕, 貞清一浩, 山田哲弥: ワークプレイスにおける電子タグを用いた執務者位置情報のデータストア手法の考察 — スマートワークプレイスに関する研究 その4, 2012年度日本建築学会大会学術講演梗概集 E1, pp.731-732, 2012.9.
- 47) 田中康裕, 山田哲弥, 五十嵐雄哉: 研究執務スペースにおける共用打合せテーブルの使われ方 — スマートワークプレイスに関する研究 その5, 2012年度日本建築学会大会学術講演梗概集 E1, pp.733-734, 2012.9.

概集 E1, pp.733-734, 2012.9.

48) 山田哲弥, 田中康裕: 研究執務スペースにおけるレイアウトコンビネーションの効果 — スマートワークプレイスに関する研究 その 6, 2012 年度日本建築学会大会学術講演梗概集 E1, pp.735-736, 2012.9.

49) 五十嵐雄哉, 貞清一浩, 山田哲弥: スマートワークプレイス構築のための位置情報システムの開発, 清水建設研究報告, No.90, pp.113-118, 2013.2.

50) 大塚俊裕, 古川 慧, 五十嵐 雄哉, 貞清 一浩, 山田 哲弥: 位置情報を活用した照明制御と視的快適性向上技術の検討, 清水建設研究報告, No.90, pp.119-124, 2013.2.

51) 五十嵐雄哉, 貞清一浩, 田中康裕, 山田哲弥: ワークプレイスにおける執務者位置情報システムの開発 — スマートワークプレイスに関する研究 その 1, Design シンポジウム 2012 講演論文集, pp.169-172, 2012.10.

52) 貞清一浩, 五十嵐雄哉, 田中康裕, 山田哲弥: 個人位置情報を活用した環境制御システムの開発 — スマートワークプレイスに関する研究 その 2, Design シンポジウム 2012 講演論文集, pp.173-176, 2012.10.

53) 貞清 一浩, 山田哲弥: 位置情報を活用した照明制御システムの開発—空間知能化技術による局所照明システムの実証的研究(その 1), 日本建築学会計画系論文集, No.686, pp.949-956, 2013.4.

54) 山田哲弥: 執務空間における領域に関する研究—空間共用の建築計画的考察, 東京大学学位論文, 1996.3.

55) 山田哲弥, 井上誠, 嶋村仁志: フリーアドレス・レイアウトにおける領域操作の効果, 日本建築学会計画系論文集, No.486, pp.69-78, 1996.8.

56) 嶋村仁志, 山田哲弥, 杉山武, 岩田美成: 研究執務スペースのフリーアドレス化に関する研究 その 1: 折畳移動機を用いたフリーアドレス・オフィスのユーザー満足度評価による効果分析, 日本建築学会計画系論文集, No.509, pp.129-134, 1998.7.

57) 山田哲弥, 嶋村仁志, 岩田美成, 杉山武: 研究執務スペースのフリーアドレス化に関する研究 (その 2): 折畳移動機によるフリーアドレス・オフィスにおけるコミュニケーションの量と場所の変化, 日本建築学会計画系論文集, No.528, pp.119-124, 2000.2.

58) Allen, T.J., Gerstberger, P.G.: A field experiment to improve communications in a product engineering department; The nonterritorial office, Human Factors, vol.15, No.5, pp.487-498, 1973.

59) Becker, F., Steele, F.: Workplace by Design – Mapping the High-Performance Workplace, Jossey-Bass Publishers, 1995.

60) 喜田安哲: データ分析と SPSS2 展開編, 北樹出版, 2006.3.

#### 第4章

61)特集：IoT時代に対応するスマートな BACS/BEMS,電気設備学会誌 2017年3月号, p150-187(2017)

62)井上誠、山田哲弥、貞清一浩：オフィスにおける既存情報の活用可能性と課題 建築プログラミングで用いる情報収集の方法に関する研究 2014年度日本建築学会大会（近畿）学術講演梗概集 E-1 建築計画、pp.819-820、2014年

63)千葉大生、井上誠、山田哲弥、貞清一浩：与条件把握のための調査における既存蓄積情報の利用 建築プログラミングで用いる情報収集の方法に関する研究（その2） 2015年度日本建築学会大会（関東）学術講演梗概集 E-1 建築計画、pp.767-768、2015年  
テム), pp.81-82, 2012.9.

## 図リスト

### 第2章

図2.1.1	新しい照明制御システムの動作	11
図2.1.2	照明制御システムのブロック図	11
図2.1.3	対象オフィスのレイアウト図	11
図2.1.4	位置情報取得システムの構成	12
図2.1.5	アンテナの調整方法	14
図2.1.6	検知範囲のプロット	14
図2.1.7	アンテナの配置図	15
図2.1.8	リアルタイム位置表示画面	15
図2.1.9	センサネットワークシステム構成	16
図2.1.10	センサノードの配置図	16
図2.1.11	ワークプレイス内の電波強度の実測結果	17
図2.1.12	ワークプレイス内の温度表示画面	18
図2.1.13	センサネットワークで収集した室内温度推移	19
図2.1.14	センサネットワークで収集した室内温度分布	19
図2.2.1	照明制御システム構成	22
図2.2.2	実験条件	23
図2.2.3	調光率と照度・消費電力の測定結果	24
図2.2.4	相互干渉対策のロジック	25
図2.2.5	シミュレーションモデル	27
図2.2.6	各机上面照度の比較	27
図2.2.7	シミュレーションにより求めた照度分布図	28
図2.2.8	照明コントローラ GUI	29
図2.2.9	被験者の調光率調整頻度	30
図2.2.10	照度の設定ツール	31
図2.2.11	執務者の必要照度の推移	31
図2.2.12	年代別の必要照度	31
図2.2.13	机上面における必要照度と計測照度	32
図2.2.14	LED 照明の点灯状況	32
図2.3.1	在席人数の推移比較	35
図2.3.2	時刻毎の消費電力量比較	36
図2.3.3	ワークプレイスの壁面の状況	37

図 2.3.4	明るさ画像(左側：明るさ感制御導入前、右側：明るさ感制御)	37
図 2.3.5	光環境に関する満足度	38
図 2.3.6	ブラインドにおける光の反射模式図	38
図 2.3.7	ブラインド面の輝度画像(グレア対策前)	39
図 2.3.8	ブラインド面の輝度画像(グレア対策後)	39
図 2.3.9	自席でのまぶしさが気になる頻度	40
図 2.3.10	室内全体の明るさ	40

### 第 3 章

図 3.1.1	オフィスづくりの考え方	44
図 3.1.2	改修の概要	45
図 3.1.3	位置情報検知システム	46
図 3.1.4	WEB によるアンケート調査画面	47
図 3.1.5	調査期間の対象スペースの在室率	48
図 3.1.6	アンケート結果の各項目の平均値(事前－レイアウト 1)	49
図 3.1.7	アンケート結果の各項目の平均値(レイアウト 1－レイアウト 2)	50
図 3.1.8	アンケート結果の各項目の平均値(レイアウト 2－レイアウト 2)	51

図 3.2.1	レイアウト①	54
図 3.2.2	レイアウト②	55
図 3.2.3	ウェブカメラによる撮影画像	55
図 3.2.4	調査日の在席率	56
図 3.2.5	打合スペースの利用状況	57
図 3.2.6	同時利用のテーブル数	58
図 3.2.7	同時利用テーブル数の時間割合	58
図 3.2.8	打合せの相手	58
図 3.2.9	同時利用のテーブル数	58
図 3.2.10	同時利用のテーブル数	58
図 3.2.11	打合せの相手	58
図 3.2.12	利用の継続時間	59
図 3.2.13	執務者が利用するテーブル数	60
図 3.2.14	執務者によるレイアウト評価	60

### 第 4 章

図 4.1	従来型システムと IoT システムの違い	65
図 4.2	IoT システムの構成要素	66

図 4. 3	無線温度センサの設置状況	67
図 4. 4	温度のコンターマップ（平面図）	67
図 4. 5	ワークプレイス内の通路と設置した人感センサ	68
図 4. 6	ワークプレイス通路内の通行頻度	68
図 4. 7	IoT システムのオフィスマネジメントへの活用	69

## 表リスト

### 第2章

表 2.1.1	セミアクティブ型 RFID タグおよび LF 発信器の仕様	13
表 2.2.1	LED 灯具の仕様	23
表 2.2.2	室内における材料反射率の測定結果	27
表 2.3.1	ブラインド スラット反射率	38

### 第3章

表 3.1.1	アンケート調査の概要と執務スペースの状況	48
表 3.2.1	撮影画像のデータ化	56
表 3.2.2	利用の平均人数・平均時間・最長時間	59
表 3.2.3	執務者が利用する平均のテーブル数	60
表 3.2.4	各執務者の打合テーブルの利用時間（分）	61

### 第4章

表 4.1	人感センサの仕様	67
-------	----------	----

## 謝辞

本論文は、筆者が清水建設株式会社技術研究所でプロジェクトリーダーとして担当した新しいワークプレイス研究のプロジェクトの成果をもとに、宮城大学大学院事業構想学研究科産業システム専攻博士後期課程に在籍し、学術的に取りまとめたものである。同専攻教授井上誠先生には指導教官として論文化の機会を与えていただき、ご指導いただいた。ここに深謝の意を表す。同専攻教金子孝一先生、時苗耕司先生には副査として、多くのご助言を頂くとともに、論文の構成についてのご指導を頂戴した。ここに深謝の意を表す。

また、清水建設株式会社技術研究所長の石川裕氏には、プロジェクト設置の機会を与えて頂いた。同技術研究所リサーチフェローの桂豊氏には、プロジェクト遂行中から多くのアドバイスを頂戴した。同技術戦略室主査の山田哲弥氏には、プロジェクトの遂行中から本論文のとりまとめまでの長期にわたり、多くのアドバイスを頂戴した。ここに深く感謝の意を表します。

本論文の対象である前例の全くないスマートワークプレイスを非常に厳しいスケジュールと会社の大きな期待のプレッシャーの中、苦勞を共にし、作り上げたプロジェクトメンバーである、同技術研究所未来創造技術センターの白石道人氏、大塚俊裕氏、五十嵐雄哉氏、古川慧氏、同技術研究所施設基盤技術センター伊藤清氏、同エネルギー基盤技術センター佐藤和浩氏および退職され現在東北復興で活躍されている田中康裕氏に対して深く感謝の意を表します

最後に筆者の研究としてのまとめに対して、激励を頂戴した前技術研究所長の矢代嘉郎氏、故松本洋一氏、故田蔵隆氏に感謝申し上げます。