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）

DEVELOPMENT OF LIGHTING CONTROL SYSTEM BY LOCATION INFORMATION Empirical study on personal lighting control system by ambient intelligence technology Part 1

貞 清 一 浩*, 山 田 哲 弥**
Kazuhiro SADAHIYO and Tetsuya YAMADA

In this paper, we developed the lighting control system by location information and applied to operating workplace in our office for empirical study. The lighting control system is composed by the location information detection system, the LED lighting control system, and the favorite illuminance level data base. As a result of the application, the following conclusions were obtained. The location information can be gotten at narrow area by using semi-active tag and designing the low-frequency antenna in the office. The lighting control that uses adjusted lighting ratio database by illuminance level simulation is effective. The illuminance level of office worker's favor can be analysed by the log which individual freely adjusted the illuminance level on the desk. Finally, we confirmed operation verification of the lighting control system by location information.

Keywords : Ambient intelligence, Location information, Lighting control, Energy consumption, LED lighting

空間知能化, 位置情報, 照明制御, 省エネルギー, LED 照明

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¹⁾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²⁾。

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³⁾、このエネルギーを抑えることが省エネの一方策である。その有力な手段としてタスクアンドアンビエント照明があるが、アンビエント照明は空間を一律・定期的に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（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⁴⁾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木目細かい調光や点灯・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。本報ではその 1 として、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。

筆者らの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 750lx⁵⁾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、常にだれ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を達成できると考えた（図 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

* 清水建設技術研究所高度空間技術センター グループ長

Manager, Center for Sophisticated Space and Facility Engineering, Institute of Technology, Shimizu Corporation
General Manager, Center for Sophisticated Space and Facility Engineering, Institute of Technology, Shimizu Corporation, Dr. Eng.

** 清水建設技術研究所高度空間技術センター
センター所長・博士(工学)

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。

図 1 新しい照明制御システムの動作

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）。

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

図 2 照明制御システムのブロック図

務所ビル（自社ビル）の一部（320 m²）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

図 3 対象オフィスのレイアウト図

両立、空間利用の効率化を目的としたレイアウト変更に合わせて本

システムを実装した。レイアウト変更後の平面図を図 3 に示す。この対象オフィスは、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。このオフィスの執務者は、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. 位置情報検知システムの開発と適用

2. 1 利用者負担の少ない位置検知法

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⁶⁾、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⁷⁾。局所的な位置情報を取得するために電界通信⁸⁾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

図 4 位置情報取得システムの構成

表 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)		

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(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リーダーが受信し、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人の移動・滞留を執務者に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1に示す。

2. 2 検知空間範囲の制御

電子タグの装着方法として、執務者が首からストラップ等を用いてぶら下げを想定した。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×1.6m(半径0.8m)程度(約2.5㎡)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5のように、50cm四方の正形状の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。

図5 調整方法

図6 検知限界のプロット図

2. 3 検知応答時間の検討

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、かつ内蔵電池の消耗を抑えるために時間当たりのRFID波の発信回数を少なくする必要があります。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った。また、採用した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年であり、(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した。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秒以内と想定できたため、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た。

2. 4 位置情報検知システムの実装

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対象オフィスに実装するため、対象オフィス全体において個人

図7 LFアンテナの配置図

図8 リアルタイム位置情報表示

図9 照明制御システム構成

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7の○印のように配置した。これにより、対象オフィ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。対象オフィ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を確認した。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

表2 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
電気的特性	消費電力	51W (100%時)

図10 実験条件

図11 調光率と照度・消費電力の測定結果

ーブルに在席している人数を表示している。
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を確認できた。

3. LED 照明制御システムの開発と実装

3. 1 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照明制御方法において、LED 照明制御システムには、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9）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 個別コントローラだけの修正で各メーカーの LED 灯具に対応す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間の通信は、RS-485 のシリアル通信で信号送信を行った。

3. 2 LED 照明灯具の基本性能の確認

調光率をデジタル通信により直接 LED 灯具の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、基本特性の確認実験を行った。LED 照明灯具の仕様を表2に、実験条件を図10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11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。

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、各灯具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11の照度グラフのように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。

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

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

3.3 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、必ずしも執務机の直上に 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、夜間に具体的にはその席の近傍 1 灯で 100% の調光率で得られる照度を机上に置いた照度計で求め、それで不足する場合には、次に席に近い灯具の調光率を上げてゆき、それでも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 を得るまで繰り返した。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。

3.4 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、対象となる執務机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 13 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ふ。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 13 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×R1, P2×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

表 3 室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 (H1440)	0%	51%	0%
8.bookshelf.b.8	本棚B (H1520)	0%	49%	0%
9.roneo.9	引出ラック (H920)	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	ガラス支持用機材	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	デッキプレート	0%	20%	20%
23.boundary.23	境界	0%	50%	0%
24.blind.24	ブラインド	0%	73%	4%

図 13 シミュレーションモデル

図 14 各机上面照度の比較

図 12 相互干渉対策のロジック

図 15 照明コントローラ GUI

えすことで、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^{注3)}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

図 16 被験者の調光率調整頻度

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3)。さらにこの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14)、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15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、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。

4. 必要照度データベースの構築

筆者らが考案した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)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

図17 照度の設定ツール

図18 執務者の必要照度の推移

図19 年代別の必要照度

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15)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。

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16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16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17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18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19)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⁹⁾や基準^{10) 11)}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。

5. LED照明制御システムの動作検証

今回、提案、開発、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 20 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。

図 20 机上面における必要照度と計測照度

6. 結論

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) 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。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、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を実証した。
- (2) 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。
- (3) 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。
- (4) 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。

7. おわりに

本論では、空間知能化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。続報では、このシステムを適用した結果としての省エネ効果および執務者の快適性に与える影響を検証する。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、清水建設技術研究所スマートワークプロジェクトのメンバー皆様に心から感謝いたします。また、被験者をお願いし、ご協力頂いた高度空間技術センターの皆様に感謝します。

注

注1) 光環境シミュレーションソフトは、(株) インテグラ製の INSPIRER 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用ソフトウェアである。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) (財) 省エネルギーセンター編, 2010 年度版省エネルギー便覧
- 4) LED 照明推進協議会編, LED 照明ハンドブック, 2011
- 5) 照明基準総則 (JIS Z 9110-2010)
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) Illuminating Engineering Research (USA) : Annual Report 1976, Project 30B-75, Visual Performance Effects of Age dynamic Visual Studies.
- 10) (社) 照明学会編: 照明ハンドブック, 1978
- 11) (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

(2012年 8 月10日原稿受理, 2012年12月25日採用決定)