

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

五十嵐 雄哉 貞清 一浩 山田 哲弥
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所)

Development of human location information system for Smart-Workplace

by Yuya Igarashi, Kazuhiro Sadakiyo and Tetsuya Yamada

Abstract

The “Smart-Workplace”, we conceptualized, is a next-generation office with environmental control system that uses ICT for planning ways to save energy and coexist with the work environment. The Smart-Workplace system provides each worker with a better environment than conventional systems. As the base for the Smart-Workplace system, we developed a human location information system, which applies semi-active RFID tags and original ideas to create a high-resolution desk environment. In addition, we implemented the original algorithmic application to correct positional information in the experimental office to prevent a mistake of the facilities control, and realized improvement of satisfaction of the office workers.

概要

筆者らは、ICT活用により省エネと快適性の両立を図る次世代の執務環境である「スマートワークプレイス」を提案した。スマートワークプレイス環境制御システムは、従来の均一・均質なオフィス環境制御とは異なり、必要な時、必要な場所で、必要な人に必要な環境を提供する。この基盤となる、執務者の位置を座席単位で把握する検知技術として、著者らはセミアクティブ型RFIDに着目し、これを応用した位置情報システムを開発した。また、独自の位置情報補正アルゴリズムを実証オフィスに適用し、設備制御の誤動作の原因となる位置情報の誤報・失報を低減することで、執務者の満足感が向上した。

§1.はじめに

ユビキタスネットワーク社会の実現を目指し情報空間と現実空間を結びつけるキー技術として、人やモノの位置を測位する技術は進歩し続けている。特に人の位置情報は、セキュリティ、空調・照明の省エネ制御、個人属性に応じたサービスなどへの活用が期待されており、様々な測位用の無線通信デバイスが開発されている。

筆者らは、無線通信デバイスの活用による執務者位置情報システムを、省エネと執務快適性の両立を図る新しいオフィス環境制御「スマートワークプレイス(以下SWP)」の基盤として開発した。SWP環境制御を実現する座席単位の位置分解能を目標として測位手法を検討し、セミアクティブ型RFIDを活用した測位システムを提案、この有効性を実験により確認した。

また、この執務者位置情報システムをSWP環境制御に適用した際に、位置情報の誤報・失報により設備制御が誤動作する問題が見られたが、これを解決する位置情報補正アルゴリズムを提案した。

§2.スマートワークプレイス

2.1 SWPの背景と概念

近年の無線デバイスの小型化・省電力化により、建築空間における人の位置情報や周辺環境の詳細かつ連続的なモニタリングが可能となった。これらのデバイスから得られるリアルタイムデータは、照明や空調などの室内環境の動的かつ局所的な制御に活用できる。

一方、地球環境問題に対応して、建物の省エネ・CO₂の削減が喫緊の課題となっている。特に、2011年3月に発生した東日本大震災以降、多くのオフィスでは、室内温度を高め、照度設定を暗めに設定するなどの節電対策が実施されている。一般的なオフィスの環境制御は部屋全体やゾーン毎に一括で行われるため、節電対策により全体の環境が一律に悪化し、執務者の快適性および作業効率が低下する恐れがある。省エネで快適なオフィスに対する期待は大きい。

このような技術的背景・社会的要請のもと、筆者らはオフィスの省エネと執務者の快適性を両立させるSWPという新しい概念を提案した。SWPに基づく環

境制御では、個々の座席単位で執務者の位置を検知し、その場所をそれぞれの執務者の好みの明るさや温度になるように照明や空調を制御する。また、執務者がいない場所の制御はOFFとする。こうした制御により、オフィス全体としての省エネを図る(図 - 1)。



図 - 1 SWP 環境制御のイメージ

2.2 SWP 環境制御システムの構成

筆者らは、SWP 環境制御システムを自らが執務する技術研究所本館の一区画(約 320 m²)に構築し、2010 年 10 月より効果の検証を実施している¹⁾。

SWP 環境制御システムは、執務者の位置や電力使用状況、室内環境をモニタリングする空間状況認識システムと、空調、照明、ブラインドなどの設備を個別に制御する設備制御システムで構成する。設備制御システムは、常に空間状況認識システムのデータベースを参照し、執務者のワークスペース内での移動により発生するイベントに対応して、必要な情報をそれぞれのコントローラに伝達する(図 - 2)。

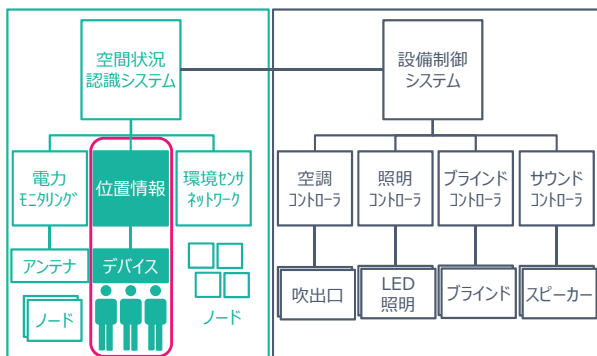


図 - 2 SWP 環境制御システム構成図

§3.SWP のための位置情報

本章では、SWP 環境制御の基盤となる、執務者位置情報システム(図 - 2 囲み部分)の開発に向けた測位手法検討について報告する。

3.1 屋内測位技術の現状と既往開発

個人を特定できる測位技術と位置情報の用途を、位置分解能ごとに分類したものを図 - 3 に示す。

分解能	ピンポイント	デスク	部屋	建物	屋外
技術	パッシブタグ		無線LAN(Wi-Fi)		
			(構内)PHS		GPS
			アクティブタグ		
用途	電界通信	顔認証	個別設備制御	一般設備制御	
		可視光通信		セキュリティ	
				ナビゲーション	

図 - 3 個人を特定する測位技術と用途

屋外ではカーナビなどに代表されるGPS測位が主流である一方、屋内環境では未だ決定的な測位手法は無く、様々な測位デバイスや手法がその目的や用途ごとに使い分けられている。

筆者らはこれまで、屋内空間における位置情報システムとして、構内 PHS を利用した省エネ設備制御システム²⁾やアクティブ RFID タグを利用した施設来訪者管理システム³⁾を開発した(図 - 3 吹き出し部)。これらのシステムの位置情報は 10m~30m 程度、すなわち部屋単位の分解能であった。

3.2 目標とする位置分解能

SWP 環境制御システムは、執務者の周辺をその好みに状態に制御するため、これまで開発した測位システムよりも高い、個人の座席単位の分解能を必要とする。本開発の測位システムでの具体的な目標分解能は、SWP 実証スペースにおける一人分の座席の大きさである 1.6m×1.6m とした(図 - 4)。

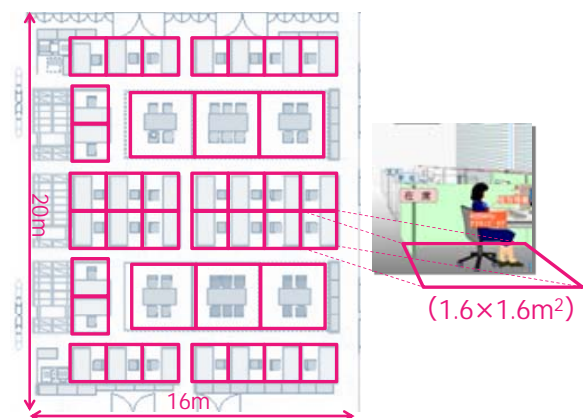


図 - 4 本開発システムの目標分解能

3.3 目標達成のための課題

座席単位の分解能で個人を特定できる測位技術としては、図 - 3 の赤枠囲み部分に示したように、画像による顔認証技術や可視光通信を用いた技術などがある。しかしそのいずれも、太陽光などの外乱の影響を受け

やすく、また速度や精度に問題があるため、個別設備制御への活用は難しい。また、執務者に意識させずに位置検知・設備制御をさせるため、「かざす」行為が伴う近接式のデバイスは使用できない。

これらの理由により、本開発ではまず、無線LANやアクティブ型RFIDによる部屋単位の位置情報を高分解能化する手法を検討した。表-1に無線デバイスによる一般的な測位手法を示す。

表-1 無線デバイスによる測位手法

レンジベース方式	送受信機間の距離や信号の到来方向から、位置を推定する技術	RSSI	電波強度から推定
		TDOA	時間差から推定
		AOA	電波の到来方向から推定
レンジフリー方式	電波の到達可能性のみを利用する		

比較的分解能が高い測位手法とされるレンジベース方式は、送受信機間の距離や信号の到来方向から自己位置を推定する技術である。電波受信強度方式(RSSI)は電波強度が距離減衰する性質を用いているが、オフィス環境では、壁、天井、金属什器等の影響による反射(マルチパス)や人体の水分による減衰によって電波強度と距離の相関が取りづらく、目標とする精度の実現が難しい。電波到達時間差方式(TDOA)や到来方向方式(AOA)も、RSSI同様のマルチパスの問題があり、さらに測定機器が高価となってしまう。



3.4 課題解決のための評価実験

上記の検討を踏まえ、本開発では、電波の到達可能性のみから判断することで、周辺環境の影響を減らすことができ、単純な機器構成で測位できる、レンジフリー方式を採用した。著者らは、レンジフリー方式で受信機を高密度に設置することにより分解能が向上すると仮定し、この実現性を次の実験により評価した⁴⁾。

3.4.1 実験手順

実験機器の仕様と設定を表-2に、実験スペースの平面図を図-5に示す。実験は、個人席30名分、打合せ席4箇所、約400㎡のワークスペースで行った。このスペースに自席がある執務者を対象に426MHz帯アクティブ型RFIDタグを配布した。本実験ではタグからのID情報の発信間隔を180秒に設定した。

表-2 使用機器仕様・設定

 アクティブ型RFIDタグ 30個	電源 3V, ボタン電池 (CR2032) 送信周波数 426.0875MHz 通信距離 見通し50m以上 通信速度 MAX2400bps 定時送信間隔 180秒に設定
 タグリーダ 16台	電源 DC4.5V (ACアダプタ) 受信周波数 426.0875MHz インタフェース LANポート シリアル出力 * 電波強度値RSSIを検知

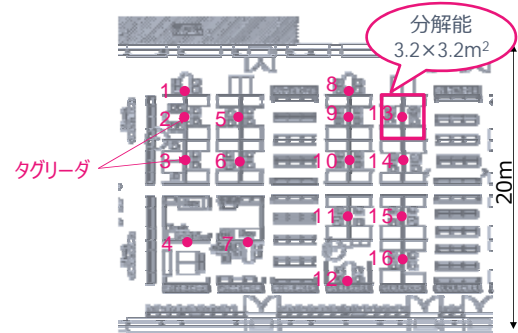


図-5 ワークスペース平面図

アクティブ型RFIDタグリーダを、座席間のパーティション上部16ヶ所に設置し、タグリーダ1台で個人席4席分の位置検知エリアを形成する。これにより、開発目標の4倍、3.2m×3.2mの分解能となる。しかし、本実験で使用したRFIDタグから発せられる電波の到達距離は見通し約50mであり、タグからの一回の発信で複数のタグリーダが受信してしまうために、電波強度のみでは位置が測位できない。そこで、タグリーダのアンテナ部にアッテネータ(減衰器)を取り付ける、一定の電波強度(RSSI値)で取得制限するソフトウェアを用いるなど一台のタグリーダあたりの受信エリアを狭める対策をとった。ただし一方で、エリア限定による受信率低下も避けたいため、一回の発信で複数エリアのタグリーダで受信されることはある程度受け入れる設定とした。本実験では、同一の電波を複数のタグリーダで受信した場合は、その中で電波強度が一番大きなタグリーダの位置を採用している。

3.4.2 実験結果と考察

実験結果の一例として、ある執務者の一日分の実験結果を図-6に示す。縦軸は時刻、横軸は図-5に対応したタグリーダ番号とし、データをプロットした。調査終了後に実施した振り返りインタビューにより、実際にいた場所のデータとそれ以外のデータを区別して表記した。振り返りインタビューとの比較の結果、短時間の打合せや昼休憩など、在席率や打合せスペース利用調査などで参考になる程度の位置情報が得られた。

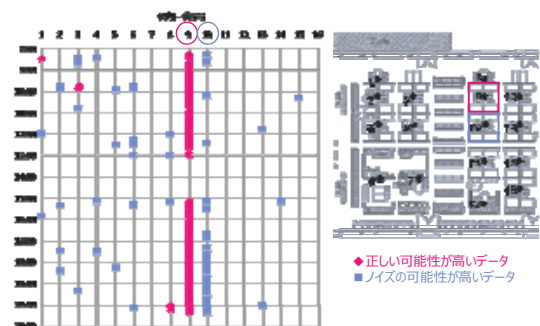


図-6 ある執務者の一日分の位置情報

しかし、執務者が自席(9)で作業している際に隣接エリア(10)と判定されるケースが多く見られるなど、設備制御の誤動作の原因となるノイズデータが多数含まれてしまう。

本実験では、比較的周辺環境の影響が小さい手法であるレンジフリー方式での高分解能を目指したが、ワークスペース環境では無線通信が安定せず、電波取得範囲を適切な大きさに限定することが難しいため、目標とする座席単位の位置分解能での測位は困難であることが分かった。

3.5 課題解決のための新たな提案

3.5.1 セミアクティブ型 RFID の概念

前節までの検討から、本システムで目標とする位置分解能を実現するため、通信距離が大きいデバイスの高分解能化ではなく、新たにデスク単位の位置分解能を持つ無線通信デバイスを探すこととした。

ここで筆者らが注目したのは、医療施設の新生児連れ去り防止や、児童の登下校見守り、老健施設の徘徊監視など、セキュリティ分野での入退室検知システムとして開発された、セミアクティブ型 RFID である。

セミアクティブ型 RFID は約 150kHz の LF 帯と約 950MHz の UHF 帯の異なる波長を持つ 2 種類の電波を利用することが特徴である。位置検知の仕組みを図-7に示す。入退室管理システムでは、1~5m 程度の到達距離を持つ LF 波を発するアンテナを建物や部屋の出入口に設置する。監視対象者が持った電子タグは LF 波の受信をトリガに到達距離の大きい UHF 帯の RFID 波を発信して入退室を知らせる。

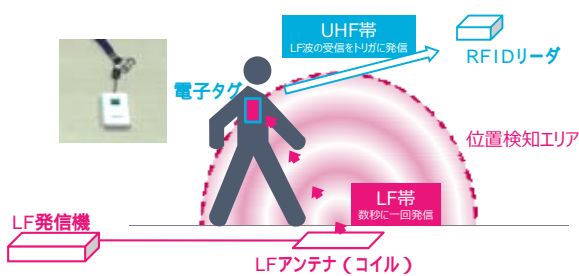


図-7 セミアクティブ型 RFID による位置検知

3.5.2 セミアクティブ型 RFID の評価実験

筆者らは、受信エリアの大きさを LF 波出力により調整できることに着目し、LF アンテナを出入り口ではなく執務スペースに配置して測位することを考え、LF 波送信出力を調整することで、1.6m×1.6m の位置検知エリアを実現できるかを実験により評価した⁴⁾。

実験に使用した機器の仕様と設定を表-3に示す。コイル式の LF アンテナはワークスペースのタイルカーペットと同じ 50cm×50cm サイズのものを作成し床上

に設置、LF 送信機の出力調整により検知エリアの大きさを設定した。

表-3 セミアクティブ型 RFID 機器仕様・設定

セミアクティブ型RFIDタグ	電源 送信周波数 送信距離 送信タイミング 受信周波数	3V, ボタン電池 (CR2032) 950MHz帯 見通し50m以上 LF波受信をトリガとする 125kHz帯
タグリーダ	電源 受信周波数 インタフェース	DC4.5V (ACアダプタ) 950MHz帯 LAN出力
LF送信機	電源 適合規格 送信周波数 送信間隔	AC100V 電磁誘導 125kHz±5% 4秒に設定(SWPシステム)
LFアンテナ(コイルアンテナ)	アンテナ形状 共振周波数 通信距離	ループアンテナ 125kHz 約1~5m (送信出力による)

実験結果を図-8に示す。LF 波の出力調整の結果、タグを胸の高さで所持して座った時と立った時の高さとなる地上 80~140cm で半径 80cm の円柱状となり、目標に近い検知エリアが形成できた。

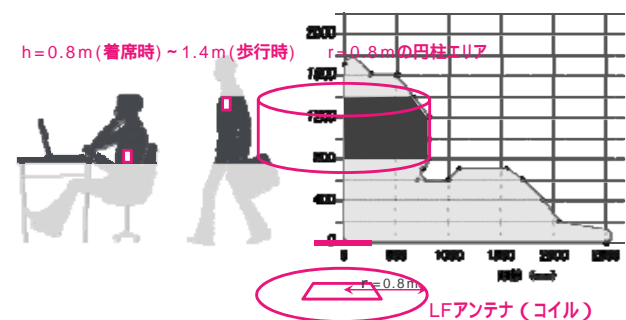


図-8 LF 波受信エリア評価実験

§4.SWP への位置情報システムの実装

4.1 システム概要

本章では SWP 実証スペースに構築した、セミアクティブ型 RFID を用いた位置情報システムについて説明する。システムを構成する機器は前章の実験で用いたもの(表-3)と同様である。

SWP 実証スペースでは、スペース内に自席を持つ執務者 28 名と、打合せをすることが多い執務者 6 名、計 34 名の執務者にセミアクティブ型 RFID タグを配布し、一定時間ごとに位置 ID を持つ LF 波を発信するアンテナを OA フロアとカーペットの間に設置した。本実証システムでは LF 波の発信間隔を 4 秒ごとに設定したが、これは RFID タグの電池寿命と照明制御の際の点灯遅れの利用者負担を考慮して決定した。

執務者がいずれかの検知エリアに入り、所持している電子タグが LF 波を検知すると、タグ ID と位置 ID、

すなわち「誰」「どこ」という情報を持つUHF帯のRFID波が発信される。タグを持つ全執務者の位置情報は、空間状況認識システムサーバ(図-2左部)に集められ、データベース化して管理される。

4.2 設備制御利用での問題点

SWP実証スペースの座席配置と位置検知エリアを示す平面図を図-9に示す。個人用デスクごと、打合せ用テーブルごとに位置情報が得られる理想の検知エリアは図に黄色で示す様に四角形となる。一方、それぞれの座席にLFアンテナを設置した場合の実際の検知エリアは図-9に赤色で示す様に円柱形となる。このため、実際の検知エリアでは、2つの問題が発生する。図-10に水色で表したLFアンテナエリア外となる不感帯は、実際にいるのにいないと判断される失報の原因となる。また、図-10に紺色で表したエリアの重なりは、本来いるはずではない隣接したエリアの位置情報と誤って判断される誤報の原因となる。

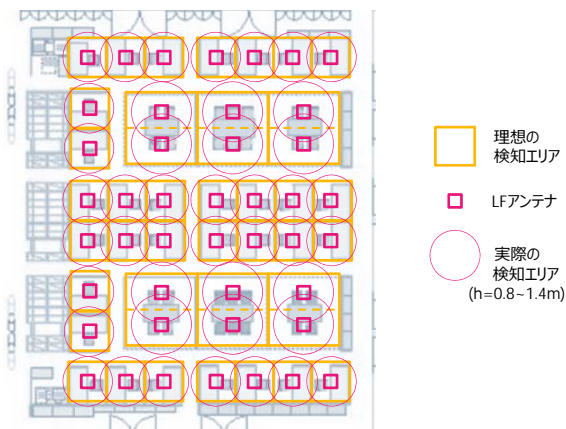


図-9 座席配置と位置検知エリア

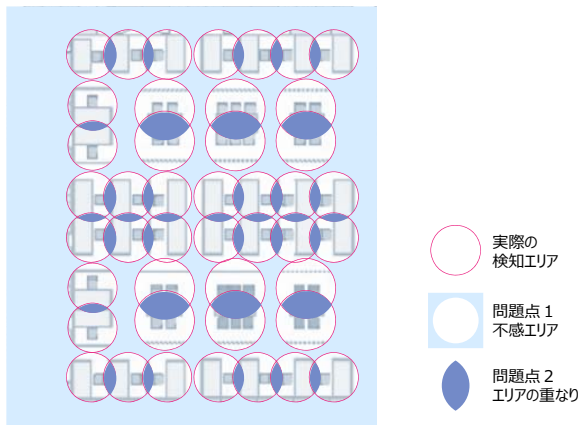


図-10 システムの問題点

SWP実証スペースにおける失報・誤報の頻度を調査するため、ランダム抽出したユーザ2人の2時間分の、電子タグによる位置情報データと、実証スペースに固

定したカメラによる撮影画像データを比較した(図-11)。この結果、画像データがあるがタグデータが取得できない失報が5%、画像には映らないタイミングでタグデータが取得された誤報が1.25%見られた。

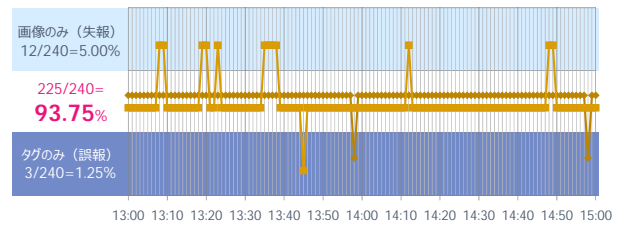


図-11 失報・誤報の発生率

4.3 問題解決のためのアルゴリズムの考案

本システムでは、人体や什器、PC等の電子機器の影響を受ける電波を用いることから、前節で説明した失報や誤報の発生は避けられないものとし、これらを前提とした2種類の位置情報補正アルゴリズムを考案して適用している。

4.3.1 失報対策

不感帯などにより失報が発生する問題への対策として、タイムアウト時間を定め、一定時間データ取得ができない場合は最後にデータ取得したエリアにいたとみなすことで欠落データを補間した(図-12)。

ここで、タイムアウト時間を長く設定すると失報が発生しにくくなるが、位置情報データの即時性が低下する。本システムでは、要求される位置情報の精度や頻度が、活用シーンやサービスによって異なることに着目し、タイムアウト時間を任意に設定できる仕様とした。例えば、リアルタイム位置情報の表示サービスでは即時性が求められるためにタイムアウト時間を30秒と短く設定、在席履歴情報の検索サービスでは正確性が求められるためにタイムアウト時間を5分と長く設定、という使い分けができる。

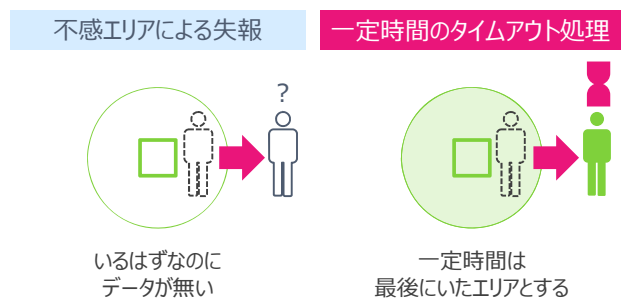


図-12 タイムアウト処理による欠落データの補間

4.3.2 誤報対策

位置検知エリアが重なる領域で誤報が発生する問題に対しては、連続した2回の位置検知信号からユーザ

が一定時間以上同じエリアにいる場合のみ移動判定することで対策した(図 - 13)。

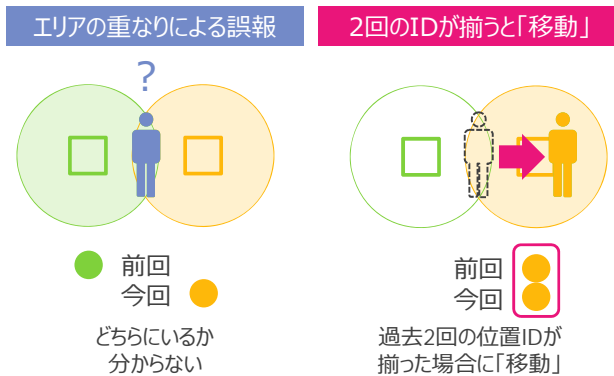


図 - 13 位置検知エリアが重なる場合の判定

この適用により誤報の発生を防ぐことができる一方、位置判定に時間がかかるという問題もある。特に照明制御の場合、点灯までのタイムラグは利用者のストレスとなり、利便性が著しく低下してしまう。

そこで本システムでは、位置検知エリアを、タグを持つ執務者の自席がある個人席エリア(自席)、他の執務者の個人席エリア(他席)、打合せテーブルエリア(共有席)の3つの属性に分類して、それぞれのエリアに合わせた、異なる位置判定を行っている。例として、前回の位置検知エリアと今回の位置検知エリアによって、照明の点灯・消灯を判定する判定表を表 - 4 に示す。

表 - 4 点灯・消灯判定表

前回エリア / 今回エリア	自席	他席	共有席*
自席	点灯	点灯	点灯
他席	制御なし	消灯	消灯
共有席	* 制御なし	消灯	点灯
	*以外		消灯

図 - 4 や図 - 9 に示したように、SWP 実証スペースは個人席と打合せテーブルが非常に近接しているのが特徴である。これは執務者のコミュニケーションの活性化を目的としたレイアウトであるが、その一方で、打合せ席の通過により照明が頻繁に点灯・消灯すると周辺の個人席へ影響するという問題があった。

<参考文献>

- 1) 貞清 一浩 他: “スマートワークプレイスの研究開発 その1~その5”, 日本建築学会学術講演梗概集 A2 (2011), pp.475-484.
- 2) 五十嵐 雄哉 他: “構内 PHS ネットワークを利用した位置情報システム”, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2 (2004), pp.1509-1510.
- 3) 五十嵐 雄哉 他: “無線 IC タグを利用した人の位置情報取得に関する研究”, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A2 (2007), pp.491-492.
- 4) 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 A2 (2010), pp.507-508.

表 - 4 に示した点灯・消灯判定はこの問題を考慮して設定した。個人席の点灯は一回の位置検知で即座に行う一方、共有席の点灯には連続した位置検知を必要とすることで、通過者による照明のちらつき点灯による周辺への影響を減らしている。

4.3.3 対策の効果

2010年10月の実証開始当初は、失報や誤報による照明制御エラーが発生したが、2011年4月までの約半年間にかけて、本章で説明した位置情報補正アルゴリズムの細かな修正や設定変更を複数回実施することで、失報・誤報の発生を徐々に減らすことができた。この効果を示す指標のひとつとして、SWP 執務者 32 人を対象に実施したアンケートの結果を図 - 14 に示す。アンケートは「位置情報に基づく照明制御の満足感」についての5(満足) - 1(不満)の5段階評価であり、実証開始直後の2010年11月時点では平均約2.6であったが、位置情報補正アルゴリズム適用後の2011年9月時点では平均約3.4に上昇している。失報・誤報の減少により徐々に執務者の満足感が高まったことが分かる。

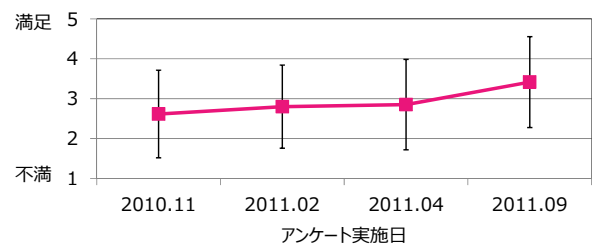


図 - 14 位置情報に基づく照明制御の満足感調査結果

§5.まとめ

省エネと快適の両立を目標とし、執務者個人の位置情報をもとにきめ細やかな設備制御を行うスマートワークプレイス(SWP)のため、セミアクティブ型RFIDを活用することで座席単位の分解能が得られる執務者位置情報システムを開発した。

本システムをSWP環境制御に適用した際に、位置情報の誤報・失報の発生による設備制御の誤動作が問題となったが、これを低減させる独自の補正アルゴリズムを開発し適用することで、執務者の満足感の向上を実現した。