

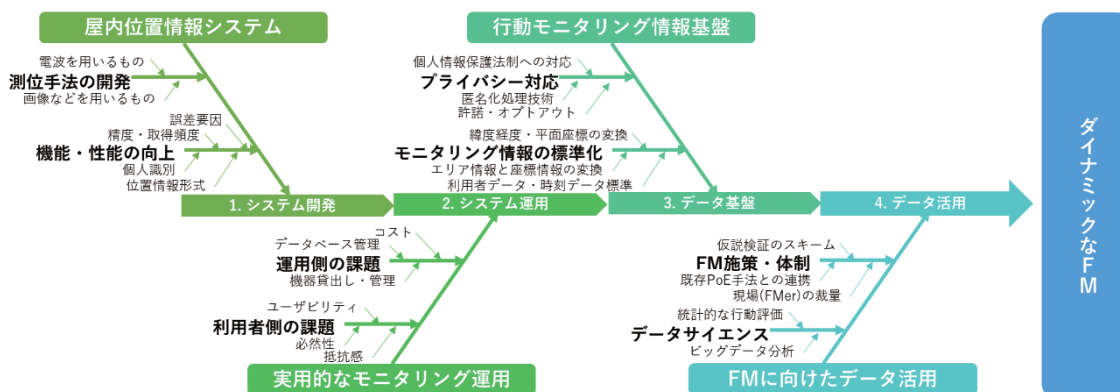
いがらし ゆう や
 氏 名 五十嵐 雄哉
 授与学位 博士(工学)
 学位授与年月日 令和2年9月25日
 学位授与の根拠法規 学位規則第4条第1項
 研究科, 専攻の名称 東北大学大学院工学研究科(博士課程) 都市・建築学専攻
 学位論文題目 ダイナミックなファシリティマネジメントのための
 屋内位置情報システムとその分析基盤の研究
 指導教員 東北大学准教授 本江 正茂
 論文審査委員 主査 東北大学准教授 本江 正茂
 東北大学教授 石田 壽一 東北大学教授 小野田 泰明

論文内容要旨

本研究では、近年の社会の変化に伴う空間利用の複雑化や想定外の事象の発生に対して、スピード感を持って柔軟に対応することが可能な新しいファシリティマネジメント(以下、FM)として「ダイナミックな FM」を提案する。

ダイナミックな FM では、施設に標準的に備えられた屋内位置情報システムにより、施設利用者の行動を常時モニタリングすることで、時系列データの蓄積、予期せぬ事象の発生のリアルタイム把握、過去に遡った利用者行動の追跡、などが可能になる。また、従来の FM 標準業務サイクルで用いられる PDCA サイクルとは異なり、一方向の手順に拘らない OODA ループをフレームワークに採用することで、計画外の事象に対する柔軟で迅速な対応が可能となる。

本研究では、このダイナミックな FM の実現に向けて、その基礎技術となる屋内位置情報システムを活用した施設利用者行動の常時モニタリングについての課題を明らかにし、その解決に取り組んだ。



まず、ダイナミックな FM に資する行動モニタリングシステムについて「測位手法」「システム運用」「情報基盤」「データ活用」の4ステップからなる機能要素モデルを作成し、各機能要素の目標を定めた。次に、屋内位置情報システム、およびシステムの活用に関する既往研究を、その技術発展の段階に沿ってレビューし、各機能要

素の目標に対する評価を行った。屋内位置情報分野の新技术が創出される際の、①新たな測位手法が必ずしも高精度とは限らない、②複数の要素が複雑なトレードオフ関係にある、③情報技術の発展が契機となる、という特徴から、今後の行動モニタリングシステムに向けた下記の課題が明らかになった。

第1の課題は、機能要素モデル2ステップ目「システム運用」の評価方法の不在である。現状の屋内測位技術にはデファクトスタンダードと呼べるものは無く、多様な屋内位置情報システムから、用途や対象にあったものを選択する必要がある。システム運用も多様な特徴があり、コスト、利用者負担、運用者負担などに影響する、システム選択の重要な要素である。一方で、システム運用は対象施設や用途に合わせて決められることが多く、その体系的な評価方法が確立されていない。

第2の課題は、機能要素モデル3ステップ目「情報基盤」が確立されていないことである。施設の耐用年数に比べて情報技術の発展のサイクルは短く、施設が使われ続ける期間中にもより良い行動モニタリング技術が次々と登場することが予想される。特定のモニタリング技術の寿命を超えてデータを長期的に活用するためには、形式の異なるモニタリング情報を標準化できる情報基盤が求められる。

これらの課題に対して、本研究では、「システム運用の実践的評価」と、「行動モニタリング情報基盤の検討」の2つのアプローチで取り組んだ。

「システム運用」の実践的な評価方法の確立を目指し、第3章では、著者らが開発した4種の屋内位置情報システムについて運用評価を行った。これらのシステムは、別々の時期に開発されたものであり、開発時点での技術的背景や、用いられる測位技術、開発目的がそれぞれ異なる。以下、各システムの開発背景を含めた研究開発の取り組みについて説明し、それぞれのシステムで常時モニタリングを行う場合の運用評価を示す。

第1のシステムは、「スマートワークプレイス位置情報システム」(2010～)である。このシステムでは、2種類の異なる特徴を持つ通信を活用するセミアクティブ型RFIDを採用することで、従来のRFID測位では難しかった、測位精度と実証規模を両立させるという課題を解決した。また、このシステムは、省エネと快適性を両立した執務環境の個別制御システムの一機能として開発したものであり、筆者らが実際に執務するオフィスでのシステムの実証運用を9年間にわたり行った。本システムの運用手法は「日常ユーザにタグなどを貸し出す運用」に分類されるが、この場合、一律で同じデバイスを貸与するため施設利用者全員を対象とするシステムが構築しやすい。一方で、貸与したデバイスの日常的な管理や電池交換は利用者負担、利用者が入れ替わる場合の貸出し管理は運用者負担となり、これらの負担が大きいことが課題である。

第2のシステムは、「IMES位置情報システム」(2011～)である。IMESはスマホが普及する以前に登場した測位技術のひとつであり、GPSとの互換利用による屋内外シームレスな位置情報を実現できる技術として期待が高い手法であった。著者らは、このIMES方式を用いた屋内外シームレスな位置情報システムの実証環境を研究

施設内の一部に構築し、技術的な実証とサービスシステムの実証を行った。本システムの開発時にはスマホの普及率がまだ低かったため、オフィスにおいて業務用のスマホが貸与されることを想定しており、その運用方法は「日常ユーザの業務用端末を利用」に分類される。業務用スマホを利用する場合には、デバイスの管理を業務用端末としての管理と一元化できることから、運用負担の軽減が期待できる。

第3のシステムは、「Bluetoothによる行動モニタリングシステム」(2015~)である。このシステムは安価なBluetoothビーコンが国内で発売されたことを契機に開発されたものである。開発時にはスマホの普及状況が70%を超えていたため、本システムは私有端末の活用(BYOD)を前提としたモニタリング調査システムとして開発し、教育施設でのモニタリング調査実証を実施した。本システムの運用は、「日常ユーザの私有端末を利用する運用」に分類されるが、この最も大きな特徴は、利用者デバイスの管理負担が軽減されることであり、この効果は導入施設や利用者の規模が大きいほど効果的なものとなる。また、利用者としても自分のスマホを持ち歩くことや充電することは自然な行為であるため、行動モニタリングに対する抵抗感を感じずに自然な行動となることが期待できる。一方で、利用者自身が行動モニタリングのためにアプリを立ち上げる必要があり、確実なモニタリングのため、デバイスがいずれかのBLEビーコンの信号を受信次第、アプリ立ち上げを促す通知メッセージを出す機能を実装することで対応した。

第4のシステムは、「BluetoothとPDRによる音声ナビゲーションシステム」(2016~)である。本システムは第3のシステムとほぼ同時期に開発したものであり、建物設置機器と利用者デバイスは同じあるが、スマホに搭載されたセンサを活用することで、できる限り高精度な測位を実現した。本システムは、視覚障がい者、車いす利用者、健常者、それぞれの属性に合わせた音声案内を提供するシステムとして、研究施設での視覚障がい者を対象とした実証実験、商業施設での一般公開実験を実施した。本システムではオープンな施設の不特定ユーザを対象とするため、運用方法は「不特定ユーザのスマホでサービスアプリをダウンロード」とした。この場合、行動モニタリングデータはアプリ起動中のもののみとなり、取得できるデータは一部となる。一部のデータを元に統計的に全体を推定することで全体としての利用者行動の傾向を知る活用方法が考えられる。

これらの4種のシステムの運用評価を元に、常時モニタリングに向けた運用方法について整理することにより、以下の知見を得た。

利用者デバイスについては、施設側がデバイスを貸与する運用と、私有のデバイスを活用する運用が考えられる。デバイスを貸与する運用の場合には、確実にデータ取得できる可能性が高まる一方で、運用負担や利用者負担が大きいことが課題となる。私有デバイスを活用する運用の場合には、規模が大きくなるほど運用負担軽減の効果は高まる一方で、確実なデータが得られにくいことが課題となる。また、モニタリングを目的としないシステムからのデータ取得を考えた場合、元のシステムが行動データを取得するタイミングにより、活用できる行動モニタリング情報の性質が変わる。また、元のシステムが運用終了した場合にモニタリングできなくなるリスク

も考慮しなくてはならない。最終的なデータ活用の際に、確実な数を知りたいのか、全体的な傾向を知りたいのか、をあらかじめ想定した上でシステム運用方法を選択することが重要である。

「情報基盤」に対する取り組みとして、第4章では、新しい手法が登場し続ける屋内位置情報システムで得られた行動モニタリングデータの長期的な活用、および、モニタリング以外を目的としたシステムで得られたデータの活用、の2点を目指した行動モニタリング情報基盤の機能について検討を行った。

行動モニタリング情報基盤では、屋内空間情報だけではなく、利用者情報、時刻情報を組み合わせた「誰が」「いつ」「どこ」の情報を統合し、分析対象に合わせて変換する機能が求められる。具体的には、「誰が」に関する機能として、利用者IDのマージ、匿名化加工、利用者属性変更対応、「いつ」に関する機能として、タイムスタンプ統合、時間分解能変更、スケジュール対応、「どこ」に関する機能として、FM分析では必須となる建築平面図に合わせた共通座標基盤への統合、分析対象ごとのエリア対応、用途変更対応、に整理できる。

次に、上記の機能を満たす行動モニタリング情報基盤のデータ仕様を検討した。複数の異なる形式の行動モニタリングデータを取扱うために、共通する座標基盤上に、測位手法ごとのエリア区分や分析対象の領域区分をレイヤーとして管理し、データ活用時に必要なレイヤーを選択し重畳してモデル化できる仕様とした。この仕様に対して、複数の異なる測位手法の位置情報システムを同時に使用し比較する実験のデータを用いたケーススタディを行った。提案するデータ仕様を用いることで、異なる形式で得られる位置情報同士が実際に比較可能であることが確認できた。

検討した行動モニタリング情報基盤を元に、アンケート調査、環境モニタリング、電力モニタリング、セキュリティゾーニングなど、利用者行動と関連するFMの他領域と連携することで、ダイナミックなFMの対象範囲が広がることを期待できる。

本研究では、ダイナミックなFMの基礎技術として、屋内位置情報システムによる施設利用者行動の常時モニタリングを目指した。行動モニタリングシステムの機能の中で、これまで整理されていなかったシステム運用と情報基盤について、実際のシステム開発やケーススタディの実践を通じて知見を得ることができた。今後は、得られたモニタリング情報を活用するためのデータ分析手法など、残された課題に取り組みたい。

また、提案したダイナミックなFMが実現し、複数の異なる施設で運用されるようになると、各種モニタリング情報や施策の適用効果データがアーカイブ化される。アーカイブ情報の有効活用には、個別施設のFMで用いられる表現の一般化が課題となるが、この課題が解決できると、新たな法則の発見、利用者行動のモデル化、シミュレーション、ビッグデータ活用など、個別性の高い領域であったFMの世界が広がることを期待できる。

論文審査結果の要旨

本論文は、近年の社会の変化に伴う空間利用の複雑化や想定外の事象の発生に対して、施設に標準的に備えられた屋内位置情報システムにより、施設利用者の行動を常時モニタリングすることで、時系列データの蓄積、予期せぬ事象の発生の実タイム把握、過去に遡った利用者行動の追跡を行い、計画外の事象に対する柔軟で迅速な対応が可能とする「ダイナミックなファシリティマネジメント (FM)」の実現を目指し、その基礎技術となる屋内位置情報システムを活用した施設利用者行動の常時モニタリングについての課題を明らかにし、その解決に取り組むものである。

まず、行動モニタリングシステムについて「測位手法」「システム運用」「情報基盤」「データ活用」の4ステップからなる機能要素モデルを作成し、各機能要素の目標を定めた上で、屋内位置情報分野の既往研究を技術発展の段階に沿ってレビューし、(1)機能要素モデル第2ステップ「システム運用」における評価方法が不在であること、および(2)機能要素モデル第3ステップ「情報基盤」が確立されていないことを明らかにした。

ついで、「システム運用」の実践的な評価方法の確立へむけて、自身で開発した4種の屋内位置情報システムについて運用評価を行った。これらの4種のシステムの実証実験における評価を元に、常時モニタリングに向けた運用方法について整理し、利用者デバイスの貸与または私有品利用との違いが大きいこと、他システムからのデータ流用上の問題、最終的なデータ活用イメージの重要性などの知見を得た。

さらに、「情報基盤」に対する検討として、新しい手法が登場し続ける屋内位置情報システムで得られた行動モニタリングデータの長期的な活用、およびモニタリング以外を目的としたシステムで得られたデータの活用、の2点を目的とする行動モニタリング情報基盤の機能について検討を行った。屋内空間情報だけではなく、利用者情報、時刻情報を統合し、分析対象に合わせて変換する機能を整理した上で、上記の機能を満たす行動モニタリング情報基盤のデータ仕様を検討した。この仕様に対して、複数の異なる測位手法の位置情報システムを同時に使用し比較する実験のデータを用いたケーススタディを行い、提案するデータ仕様を用いることで、異なる形式で得られる位置情報同士が実際に比較可能であることを確認した。

以上、本論文は、屋内位置情報システムによる施設利用者行動の常時モニタリングのシステムとその情報基盤を理論的に構築し、具体的に実践した上で、それがファシリティマネジメントにとって有効な形で適用できることを実証的に明らかにした論文であり、都市・建築学の発展に寄与するところが多い。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。