

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289203

研究課題名(和文) 利用者特性に即した多目的最適化による空間性能の経時的すりあわせ調整に関する研究

研究課題名(英文) Research on the method of life cycle based multi-purpose optimization and customization of spatial performance of a building

研究代表者

野城 智也 (Yashiro, Tomonari)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：30239743

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：建築の計画・設計時点で企図した建築空間の居心地と、実際の居心地の間には乖離がある。本研究は、センサーから収集したデータを解析する技術を基盤に、それぞれの居住者の特性にあわせて、設備を含む建築の使い方を最適化することで、空間性能を経時的にすりあわせ調整して乖離を緩和していく技術にかかわる知見を得ることを目的とした。その結果、センシングに基づいた建築・設備の自動制御、組み込みソフトウェアによるユーザーの学習支援、及び自動制御・学習支援の組み合わせにより、すりあわせ調整していくための手順を明らかにし、そのシステムの枠組を構築することができた。

研究成果の概要(英文)：There are significant gaps between intended function and performance of a building and those which are actually enjoyed by residents and users. This research project aimed to facilitate to develop the knowledge on the method to mitigate the gap by continuously optimizing use method of building, based on the sensing data analysis. The research has clarified the framework of the method and system by which residents and users could enjoy the benefit of iterative optimization process based on machine learning as well as learning by using.

研究分野：建築生産、ライフサイクル・マネジメント、サステナブル建築

キーワード：多目的最適化 すりあわせ スマートハウス エネルギーマネジメント 利用者特性 使用価値

1. 研究開始当初の背景

図1に示すように、人は建築に何らかの操作をすることによって、自らに必要な機能を引き出し、居心地、使い心地という使用価値を得ている。

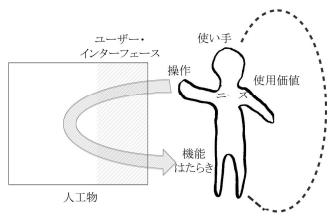


図1 建築から機能を引き出す

建築の計画・設計時点で想定される環境条件や使われ方と、実際の環境条件や使われ方との間には差異があり、結果として、計画・設計で企図した建築空間の居心地と、実際の居心地との間には乖離がある。そのため、人々は様々な調整行動をとることによって、よりよい居心地を得ようと試行錯誤を繰り返している。この住みこなし、使いこなしのプロセスは、利用者個人、利用者集団がもっている選好、行動特性、顕在的・潜在的な要求条件に、建築空間性能を経時的に「すりあわせ調整」していくプロセスであるとみることができる。「すりあわせ調整」は、建築の住み心地、使い心地を改善するうえで重要にもかかわらず、これを支援する技術的な手段が乏しかった。

2. 研究の目的

「多種多様な観測データを継続的に収集・分析し、多目的最適化手法を用いつつ、建築利用者特性に即した空間性能の調整目標を設定したうえで、目標達成にむけて、空間性能を経時的にすりあわせ調整していく技術」を実現・汎用するための学術的理論基盤を形成することを目指し、以下のことがらについて知見を得ることを目的とした。

- a. 観測データ等をもとに利用者特性（選好、行動特性、潜在的な要求条件）を推定する手法
- b. 利用者特性に即した建築空間性能の調整目標を設定するための多目的最適化手法
- c. 設定された建築空間調整目標に経時的に「すりあわせ調整」していくための手順

3. 研究の方法

建築のエネルギー・マネジメント・システム、スマートハウス、3Dスキャンを用いた住宅履歴書や施設運営管理にかかわるケーススタディを通じて、以下のようなプロセスで研究を進めた。

居住者の行動のセンシング情報(室内外環境計測データ、機器作動記録、エネルギー使用データ、利用者行動記録)をもとにした利用者特性の読み解き

空間性能調整行動による経時的「すりあ

わせ調整」の実態を情報モデルとして記述

「すりあわせ調整」プロセスの多目的最適化問題としての定式化

4. 研究成果

観測データ等をもとに利用者特性を推定する手法、利用者特性に即した建築空間性能の調整目標を設定するための多目的最適化手法を検討し、利用者特性については、評価指標群の線形和として捉えるよりも、卓越的评价指標を利用者特性の代表指標として取り扱うこととした。これらの検討をふまえ、以下に示すように、設定された建築空間調整目標に対して経時的に「すりあわせ調整」していくための手順の道筋に関する知見をとりまとめた。

(1) 期待機能・実機能の乖離

建築設計者が想定している使用価値と、ユーザーが得ている使用価値の間には乖離は図2のように表現できる。利用者特性に即した多目的最適化による空間性能の経時的すりあわせ調整とは、この乖離を埋めて個々のユーザーが望む使用価値を実現出来るような何らかの率直的な取り組みの総称である。

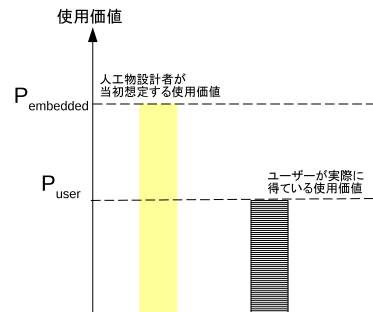


図2 設計者が設定する使用価値と、ユーザーが実際に得る使用価値の相違

このような乖離を埋める経時的「すりあわせ」は、以下のいずれか方法を通じて行われると考えられる。

センシング + 分析推論 + 自動制御による調整

ソフトウェア提供によるユーザーの実践学習(learning by doing)支援

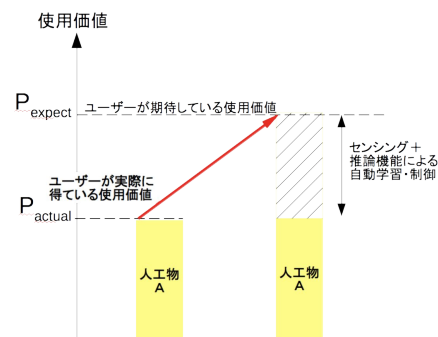


図3 経時的すりあわせ調整方式1：センシング + 分析推論 + 自動制御による調整

(2) すりあわせ調整方式 1 : センシング + 分析推論 + 自動制御 (機械学習的方法)

図 3 に示すように、人工物にセンサーを埋めこんで、使用状態や使用条件・環境条件に関するデータを収集し、そのデータを分析して推論し、人工物の運用状態を自動的に制御することにより、利用者特性にあわせて「すりあわせ調整」を進めていく。本研究において検討した観測データ等をもとに利用者特性（選好、行動特性、潜在的な要求条件）を推定する手法を踏まえ、図 3 における「ユーザーが期待している使用価値」とは、利用者特性をあらゆる指標の組み合わせとして仮説的に表現される。図 3 においてセンシングをもとに環境状況が推論されるとともに、その指標の組み合わせをもとに、その環境状況が「ユーザーが期待している使用価値」とどれだけ乖離しているかが評価できる。この乖離を埋めるために、以下のようなヒューリスティックな手順で「すりあわせ」ができる。

センシングにより環境状況を推定する。

「ユーザーが期待している使用価値」との環境状況との乖離を評価する。

建築や設備による特定の操作によって、その環境状況、及び「ユーザーが期待している使用価値」との乖離がどの程度変動したのかを評価する。

その変動値をもとに、特定操作の内容・量を変更し、 の手順を繰り返し、乖離を最小化する建築、設備の操作にかかわるパラメーターの組み合わせを探索的に求めていく。

このような方法には、次のように課題が内在する。

「期待している使用価値」を記述する指標それぞれが許容範囲内に収まる（乖離が許容範囲に収まる）解を得ることはできるが、それは、ありうるパレート解の一つに過ぎず、「乖離最小」は保証できない。何故なら、得られる解は、探索を開始する初期状態（初期値）に依存するからである。

仮説的に設定された利用者特性をあらゆる指標の組み合わせが、「ユーザーが期待している使用価値」をあらわしている根拠に乏しい。

本研究では、 の課題については解決することができなかった。 の課題については、次項のような調整方式により解決することを試みた。

(3) すりあわせ調整方式 2 : ソフトウェア提供によるユーザーの実践学習支援

図 4 に示すように、建築設計者などがソフトウェアを提供し、ユーザーが使いながら学習することで、経時的すりあわせ調整を進め目標とする使用価値を得ようとする方策である。その、すりあわせ調整は次のようなプロセスによる。

センシングにより環境状況を推定する。

居住者、ユーザーは建築や設備に特定の操作を加え、その結果、環境状況がどのよう

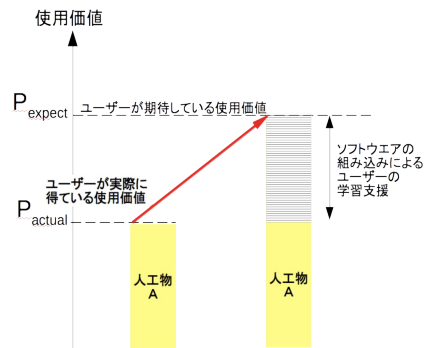


図 4 経時的すりあわせ調整方式 2 : ソフトウェア提供によるユーザーの実践学習 (learning by doing) 支援

に変動したのかをソフトウェアを解して認識する。

その特定の操作により、自らが望む状況（ユーザーが期待している使用価値）との乖離がどの程度変動したのかを認識する。

その変動値をもとに、特定操作の内容・量を変更し、 の手順を繰り返し、自らが受け入れられる程度にまで乖離が小さくなるまでヒューリスティックな探索を継続する。

このような、すりあわせ調整方法においては、利用者特性を評価指標群の組み合わせとして explicit に記述しなくてよく、居住者個々が異なる基準によって調整ができることになる。しかしながら、このようなすりあわせ調整方式は、ユーザーが実践学習するだけの時間のゆとり、意志、能力の三条件全てもっていることが前提となる。これらの三条件が揃うのは限定的なケースであると考えざるを得ない。

(4) 二つの調整方式の統合

以上のように考えると、センシング + 分析推論 + 自動制御、ソフトウェア提供によるユーザーの実践学習支援という二種類の、すりあわせ調整方法を組み合わせる用いることが、工学的には有効であると考えられる。

それは、図 5 の概念図に示すように、建築、設備への操作と、組み込みソフトウェアへの操作を組み合わせることになる。

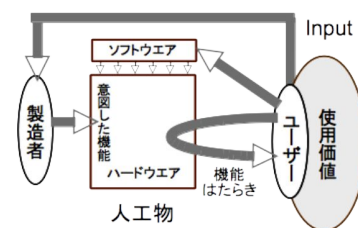


図 5 二つのすりあわせ調整方式の統合に関する概念図

(5) 統合的経時的すりあわせ調整のためのシステムの枠組

そこで、本研究では、図6に示すような、センシング+分析推論+自動制御、及びソフトウェア提供によるユーザーの実践学習支援という二種類のすりあわせ調整方法を組み合わせるためのシステムの枠組を構築した。

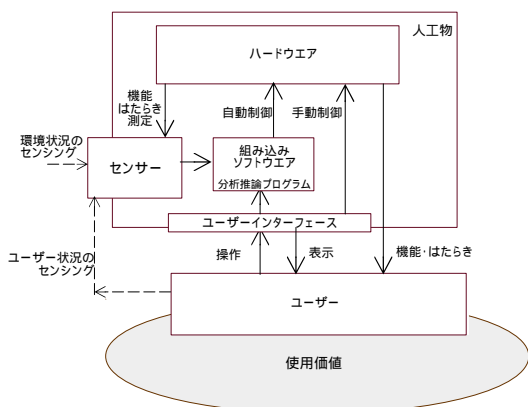


図6 統合的経時的すりあわせ調整のためのシステムの枠組

ここで建築（人工物）には、組み込みソフトウェア、センシング、分析推論プログラム、自動制御機構が組み込まれている。

図6において、操作 演算機構（data processor）表示が組み込みソフトウェアによる学習支援をあらわす。また、演算機構 制御 モノ 機能 測定結果 演算機構が、センシング+分析推論+自動制御にあたる。

ユーザーは、インターフェースを通じてソフトウェアを操作し、その操作内容に基づいてデータ・プロセッサが作動し人工物が制御され、何らかの機能・はたらきがユーザーに提供される。ユーザーは、ユーザー・インターフェースに表示される内容と自らの操作内容と、得られる機能・はたらきを比較考量して、学習をしつつ操作を調整し、自らに好ましい機能・はたらきを探索していく。

このプロセスと並行して、組み込みソフトウェア側にも人工物の機能・はたらきに関する情報がフィードバックされ、予め埋めこまれたアルゴリズムに従って制御が調整される。このようにユーザーと、組み込みソフトウェアとの間での「共創」によって、機能・働きが探索的に調整され、自らにとって好ましい使用価値が獲得できるようになると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計11件)

1. Tomonari Yashiro, Ryoza Ooka, Bumpei Magori, Hiroshi Sako, Hiroyuki Shida (2013) Smart Energy Management System for Zero Energy Buildings, 査読有, Proceedings of the SB 13 Singapore-Realising Sustainability in the

Tropics, pp448-453

2. Fatma Kassim Mohamed, Tomonari Yashiro (2013) Household energy prediction in developing countries, 査読有, Proceedings of the SB 13 Singapore-Realising Sustainability in the Tropics, pp135-141

3. Voon Yau Chew, Tomonari Yashiro (2013) Demonstrating Application of Energy Resilience Assessment Model, 査読有, Proceedings of the SB 13 Singapore-Realising Sustainability in the Tropics, pp38-45

4. 馬郡文平, 野城智也 (2013) スマートシティにおける建物の環境調和技術の統合手法に関する研究 - 柏の葉キャンパス駅前街区複合開発計画を対象として, 査読有, 日本建築学会建築生産シンポジウム論文集, vol. 29, pp77-82

5. 横山茂紀, 野城智也 (2013) 木造住宅新築時における改修工事を見据えた3Dスキニングの測定手法及び利用可能性に関する研究, 査読有, 日本建築学会建築生産シンポジウム論文集, vol. 29, pp 179-184

6. Tomonari Yashiro (2014), Conceptual framework of the evolution and transformation of the idea of the industrialization of building in Japan, Construction Management and Economics, 査読有, vo. 32:1-2, pp16-39 10.1080/01446193.2013.864779

7. 上坂麻実, 馬郡文平, 野城智也 (2014). 既存住宅におけるゼロエネルギー化を目指した改修及び効果検証. 日本建築学会技術報告集, 査読有, 20(46), pp1023-1028.

8. Bumpei Magori, Tomonari Yashiro, Hiroshi Sako (2014) Development research of real-time monitoring and optimized control for energy conservation and CO2 reduction of existing buildings, Proceedings of World Sustainable Building Conference (SB14), Barcelona, 査読有, pp555-561

9. Fatma Kassim Mohamed, Tomonari Yashiro (2014). Methodology for energy demand prediction in developing countries-a Tanzania case study. Advances in Building Energy Research, 査読有, 8(2), pp148-160 10.1080/17512549.2013.865544

10. 森下有, 横山茂紀, 馬郡文平, 野城智也 (2014) 三次元スキャンと建築情報のユーザーに関する研究, 日本建築学会建築生産シンポジウム論文集, 査読有, vol. 30, pp123-128

11. 北見恭子, 渡邊恭平, 森下有, 馬郡文平, 野城智也 (2015) 三次元スキャンを用いた大規模複合施設の外構再計画に関する研究 日本建築学会建築生産シンポ

ジウム論文集, 査読有, vol.31, pp89-94

〔学会発表〕(計1件)

1. 上坂麻実, 野田直利, 野城智也(2013)生活支援サービスのための情報運用の枠組に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集, 査読無, 発表番号: 建築社会システム NO.8100, pp199-200

〔図書〕(計1件)

1. 野城智也(2015), イノベーション・マネジメント: プロセス・組織の構造化から考える, 東京大学出版会, 全427頁

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕: 特になし

6. 研究組織

(1)研究代表者

野城 智也 (YASHIRO TOMONARI)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号: 30239743