

スマートハウス向け天井通知システムの評価

櫻井 爽太郎^{1,a)} 平井 重行^{†1,b)}

概要：スマートな住宅環境での一手法として、プロジェクタを用いて天井を情報化ディスプレイとして用い、日常生活での家電・インターネットサービス等の視覚的な通知を行うシステムを提案している。我々は、その天井通知システムについて開発を行ってきた。これは宅内でスマートフォンなどの携帯端末を持ち歩くわけではない環境で、通知元との距離や複数の通知の発生によって、ユーザが通知に気付かなかったり、忘れてしまったりする中、天井を活用し、音だけでなく視覚的な表現で通知を行うものである。本稿では、天井通知システムの概要と、本システムを用いて行なった評価実験の結果および考察について述べる。

1. はじめに

住宅での日常生活では、電子レンジや洗濯機などの家電や給湯暖房機などの報知音、インターフォンの呼び出し音などによるイベント通知が溢れている。これらの通知は宅内の離れた場所にいると聞こえない場合があるほか、複数同時に発生した通知などは忘れてしまう場合がある。スマートフォンなどのモバイル端末や、メガネ型、リストバンド型などのウェアラブル端末で通知する方法もあるが、常に身につけているとは限らない。高村らは、天井を情報化ディスプレイとして通知を表示するシステムを提案している [1][2]。これは宅内で発生したイベントを報知音などの聴覚的な通知と共に、プロジェクタなどを用いて天井をスクリーン化し、アニメーション表示による視覚的な通知を行うものである。受信したイベントはシステム内で保持され、以後は ToDo リストとしても使用できる。これらの通知は見上げないと見えない位置に表示される。天井を用いる利点として、壁や床に比べて、家具や装飾品などの遮蔽物が少なく、通知空間が広いため視覚的な通知場所として活用しやすい点と、日常生活で視線に入りにくい点のため、表示物のちらつきによる作業の妨害になりにくい点が挙げられる。我々は、天井を情報化ディスプレイとして用いて、住宅内で発生する様々なイベントを管理し、聴覚的・視覚的に通知する天井通知システムについて開発を行ってきた [3]。

本稿では、以下の関連研究について述べた後に、天井通知システムの概要について述べる。その後、システムの評

価実験として、主な機能である「通知」と「ToDo リスト表示」に着目し、本システムを用いた際の慣れの程度についての計測実験と、実際の住環境を想定した状況下における本システムに対する印象実験を行なった結果について述べる。

2. 関連研究

本章では、天井を利用した研究の他、天井以外の周辺環境も利用した、プロジェクションによる住環境への情報提示に関する研究について述べる。

2.1 天井を利用した研究

Tomitsch らは、様々な天井の構成や特性を調査し、その中で天井の利用に着目した情報提示手法として、ユビキタスコンピューティングアプリケーションをいくつか提案し、そのフレームワークを作成している [4]。Ceilign Interaction[5] では、天井で視覚情報提示を行う際の、人間の知覚特性や人間工学的な属性を調査し、パソコンのスクリーンの拡張、ワークフローの共有、パソコンの通知ポップの表示など、インタラクティブに天井を利用するシナリオ例を挙げている。Hands-UP[6] では、天井をディスプレイ化し、寝室のベッドに横たわりながら、腕のジェスチャなどでインタラクティブに操作を行うシステムとして、Kinect を用いたプロトタイプを例として示している。

2.2 プロジェクションによる天井以外の住環境への情報提示

MeetAlive[7] では、対面で行うグループ会議の補助を目的として、複数台のプロジェクタとデプスカメラを組み合わせることで、会議室の全方向の壁や天井、机などを情報化

¹ 京都産業大学大学院 先端情報学研究科

^{†1} 現在、京都産業大学 情報理工学部

^{a)} i1888060@cc.kyoto-su.ac.jp

^{b)} hirai@cc.kyoto-su.ac.jp

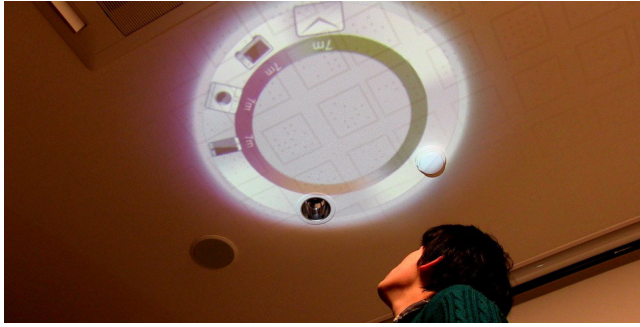


図 1 システム利用の様子

ディスプレイとして利用し、室内にいる全員がそれぞれのコンピュータ内のコンテンツの共有などを行えるシステムを提案している。RoomAlive[8]では、周囲の環境を複数台のプロジェクタでのプロジェクションマッピングによってディスプレイ化し、部屋の外観をトロンテマや沼地の川などに変更し、ユーザ自身が投影物に対して叩く、銃で撃つ、などのアクションを行い、それを検知することで、拡張されたゲーム体験をしているような感覚に浸ることができるシステムについて述べている。LightSpace[9]では、デブスカメラとプロジェクタを用いて、オブジェクトの配置や操作をインタラクティブに行える環境を提供している。Yangらは、天井に設置した複数台のプロジェクタを用い、それぞれパン、チルト、ズーム、フォーカスのコンピュータ制御によって様々なプロジェクションマッピングによる演出を空間的に再構築可能なシステムについて述べている[10]。Pinhanezらは、回転ミラーを利用することでLCD/DLPの投影方式のプロジェクタの光を、壁や床などの様々なサーフェスに向ける仕組みとして、Everywhere Displayプロジェクタを提案している[11]。IllumiRoom[12]では、インタラクティブな体験の向上を目的として、Kinectを用いてテレビを含む物理環境をスキャンし、プロジェクションマッピングによってゲームの視野の拡張などの補強・拡張するシステムを提案している。WorldKit[13]では、デブスカメラとプロジェクタを利用し、周辺環境に対して触れることによる文字や絵の描画や机の上の物体に関する情報提示といったインタラクションを行っている。Augmented Reality Kitchen[14]では、キッチンでの複雑で危険な操作を、安全、簡単、かつ効率的な調理の支援を行うために、キッチン周辺の物や壁などにプロジェクションマッピングによって情報を投影し、複数のタスク間の調整などを行うシステムについての設計と初期評価を行なっている。

3. 天井通知システム

本章では、天井通知システムの概要やその構成について述べる。

表 1 各イベントを表す描画デザイン

温め完了	洗濯完了	扉閉め忘れ	電話	インターホン

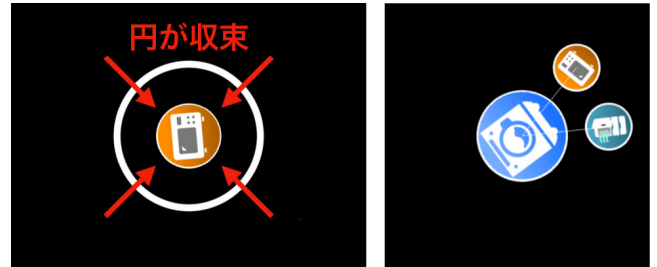


図 2 (左) 通知アニメーションデザイン、(右) 通知情報と ToDo リストの描画デザイン

3.1 システム概要

天井通知システムの利用の様子を図 1 に示す。宅内で発生する様々なイベント情報を受信すると、それらを通知音による聴覚的な通知と共に、各住人の頭上付近の天井に対して、プロジェクタなどを用いた視覚的な通知を行う。イベント情報の例として、電子レンジ、洗濯機などの完了通知、インターホンの呼び出し通知、冷蔵庫の扉閉め忘れ、ガスの元栓閉め忘れなどの異常検知やその継続状態が挙げられる。また、メール受信や SNS、カレンダー情報など、インターネットサービスを用いた様々なイベント情報も扱う。受信したイベント情報は、通知後も通知対象ユーザに紐付けて保持・管理することで ToDo リストとして扱う。

4. 評価実験

本章では、天井通知システムの有用性を検証するために行なった初期的な評価実験について述べる。本実験では、家庭内で起こりそうなイベントとして、電子レンジの温め完了、洗濯機の洗濯完了、冷蔵庫の扉閉め忘れ、電話、インターホン、の 5 つを用い、天井通知システムの主な機能である「通知」「ToDo リスト表示」の 2 つについて、評価実験を行なった。本実験は、被験者に天井通知システムに慣れてもらうと共に、システムへの慣れの程度を測定する一時実験、十分慣れてもらった被験者に実際の住環境を想定した状況の中でシステムを利用してもらい、印象評価を行う二次実験の 2 つに分けて行なった。実験場所はどちらも、京都産業大学の実験住宅 E ホームのリビングルームにて行なった。

4.1 デザイン

本実験で用いた各イベントを表す描画デザインを表 1 に、通知・ToDo リストの描画デザインを図 2 に示す。イベントを表す描画デザインは、現状のシステムの仕様上、ユー

ザの視線の方向が分からないため、天井を見上げた際の天地問題を考慮し、円形のアイコンとし、通知時には通知表示位置でアイコンを自転させて表示する。通知時は、先行研究で提案された周辺視野での気付きによる通知手法を利用し、円が外側からユーザ直上の通知表示位置に対して収束していくようなデザインを用いる [2]。ToDo リストは、未対応イベントとして保持している対象のイベントのアイコンを、通知アイコンを中心として、その外周に円環状に配置し、回転させて表示する。通知アイコンの自転速度、および、ToDo リストの回転速度は初期設定として、利用する各被験者毎にイベント判別がしやすい速度を設定する。

4.2 表示への慣れに関する実験

天井通知システムの評価実験で有用な情報を得るため、被験者には本システムでの通知とToDo リスト機能を体験してもらい、慣れてもらった。その際、どの程度体験すれば慣れるかを測定するために、システムに対する慣れの特性調査実験を複数日にかけて実施した。また、初回の実験開始時に、イベント毎の通知アイコンの自転速度 (5 種類)+ToDo3 つ時の ToDo リストの回転速度 (1 種類) の計 6 種類を、被験者がイベントを判別しやすい速度に設定してもらう。

4.2.1 実験手法

天井通知システムの「通知」「ToDo リスト表示」のそれぞれの機能について、以下の手順で実験を行なった。

- (1) 被験者には、宅内で起こるイベントとそれらを表すアイコンについて事前に見て憶えてもらう。
- (2) 指定の座席に座ってもらい、実験者からの合図があるまでペンを持った状態で正面を向いて待機してもらう。
- (3) 実験者からの合図の後に上を見上げてもらい、天井に表示されている表示物を回答用紙から記入してもらう。
- (4) (2) と (3) の内容について、「通知」は 7 回、「ToDo リスト」は 8 回繰り返す。

通知は 5 種類のイベントの中から出現回数が均等になるように通知を行なった。ToDo リストは 5 種類のイベントから重なりと出現回数の偏りがないように 14 個の ToDo を選び、提示する。実験終了後、通知・ToDo リストを天井で見ることにに対して、それぞれ慣れの程度や機能を体験して感じたことに関するアンケート調査を行なう。慣れの程度は、被験者が通知・ToDo リストを天井で見ることにに対して、「慣れた」「慣れてない」を直感的に回答してもらう。その際、「慣れてない」を選んだ場合、「まったく慣れていない」を 0、「慣れた」を 100 とした時の慣れの程度を 100mm の直線を用いた VAS(ビジュアルアナログスケール)を用いて回答してもらう。

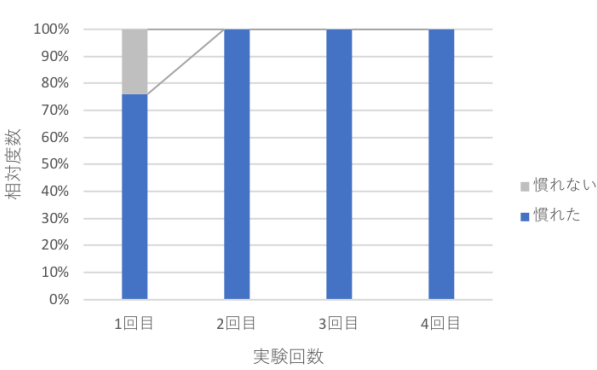


図 3 天井で通知を見る事に慣れるまでの実験回数毎の被験者数のヒストグラム

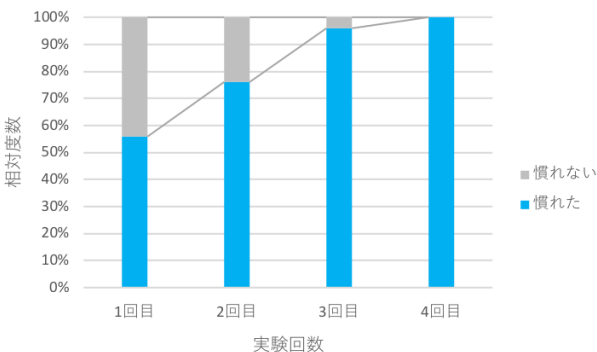


図 4 天井で ToDo リストを見る事に慣れるまでの実験回数毎の被験者数のヒストグラム

表 2 ToDo リスト表示機能に対して慣れるまでに 3 回以上の実験を行なった被験者の VAS 値

被験者	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目
A	45	71	86	100
B	63	86	100	-
C	35	74	100	-
D	41	38	100	-
E	33	24	100	-
F	24	42	100	-

4.2.2 実験結果

20～50 代の被験者 25 名（大半が 20 代前半大学生，男性 22 名，女性 3 名）に対して調査を行った結果について述べる。図 3，4 より，通知，ToDo リストに対して慣れた人の割合が実験を重ねる毎に増えていることがわかる。また表 2 より，慣れるまでに 3 回以上の実験を行なった被験者も，実験毎にほとんどの被験者が前回より高い VAS 値を回答している。これらのことから，1 日におおよそ 7～8 回の通知・ToDo リストの確認を行える場合は通知は 2 日，ToDo リストは 3 日程度で本システムに慣れることができると考えられる。

4.3 統制状況下における認知実験

一次実験で天井通知システムに慣れたと回答した被験者



図 5 (a) 映画視聴 (b) 読書 (c) 計算

に、実際の住環境を想定した状況下にてシステムを利用してもらい、その後、アンケート調査にて、通知・ToDo リスト表示機能に対する印象評価を行った。

4.3.1 実験手法

被験者には以下のタスクのうち、どれか 1 つを 30 分間行なってもらう中で複数回の通知を送った。各タスクを行っている様子を図 5 に示す。

- (1) 映像視聴：映像作品を視聴する。
- (2) 読書：書籍を読書する。
- (3) 計算：用意された計算問題を解く。

被験者にはなるべく集中した状態でタスクに取り組んでもらうため、(1) と (2) はなるべく被験者の好むものを用意、または持参してもらった。(1) は正答率に対して褒美を用意し、被験者にその旨を伝えた。通知音は、実際の環境では工事の音などで聞こえない場合があることを想定し、通知音が鳴る場合と鳴らない場合で分け通知を行った。その際、通知音ありとなしの通知の順番の違いで評価が変わる順序効果を考慮し、音ありとなしのパターンを被験者毎に入れ替えながら行なった。被験者には、通知に気が付き、天井を見上げて通知があった場合は手をあげてもらふことと、通知時に音が鳴るとは限らないこと、通知を受け取った時に何かアクションを行ってもらうことはないが、何の通知が来たかは意識してもらうことを伝えた。タスク終了後、被験者に気づいた通知について何が起こったかを尋ね、その後に ToDo リストで送った通知を全て確認してもらった。実験終了後は、以下の項目について天井通知に対する印象のアンケート調査を行なう。(A) では、通知音がありとなしの場合で、気づいたきっかけを選択肢で、気づかなかった、音、周辺視野、その他、の 4 つの中から答えてもらう。他の質問では、はい、いいえの 2 択か、記述での回答をしてもらう。

- (A) 通知に気づいたきっかけは何か？
- (B) 音は必要だと思うか？
- (C) (B) の理由は何か
- (D) 天井で通知を受けることに関してどう感じたか
- (E) 天井で ToDo リストとして発生したイベントを確認できることにどう感じたか

4.3.2 実験結果

20～50 代の被験者 18 名（大半が 20 代前半大学生、男性

表 3 通知音の有無によるタスク別の通知に気づいた割合

	通知音あり	通知音なし
映像視聴	100 %	100 %
読書	100 %	50 %
計算	100 %	0 %

表 4 通知音は必要と思うか

	はい	いいえ
映像視聴	67 %	33 %
読書	100 %	0 %
計算	100 %	0 %

表 5 通知・ToDo リストに対するポジティブ・ネガティブな意見の割合

	通知	ToDo リスト
ポジティブ	61 %	83 %
ネガティブ	39 %	11 %

表 6 通知に対する主な意見とその割合

	主な意見	
ポジティブ	便利	27 %
	作業の妨げにならない	27 %
ネガティブ	集中が切れる	43 %
	音がないと気づけない	43 %

表 7 ToDo リストに対する主な意見とその割合

	主な意見	
ポジティブ	便利	47 %
	通知の見逃しを防げる	53 %
ネガティブ	タスク数の増加への懸念	100 %

15 名、女性 3 名）に対して調査を行った結果について述べる。各タスク毎に通知音の有無での通知に対する気づきを表 3 に、通知音が必要かどうかに対する回答を表 4 に示す。通知に対する気づきでは、通知音がある場合は全被験者がタスクに依らず気付いた。通知音がない場合では、映画視聴タスクを行なっている被験者は全員が通知に気付いた。一方で、こちらの想定とは異なり、読書タスクを行なっている被験者の半数が通知に気付いた。これは、読書中の本の位置や姿勢によって天井が周辺視野に入る場合があるためであると考えられる。通知音が必要かについては、読書・計算タスクを行なっている被験者は、通知音がなければほとんどの被験者が気付かなかったため、必要と答えた。一方で、映画視聴タスクは必要かどうかで回答が別れた。不

必要と回答した被験者からは、通知音が映像内のものと誤認してしまった、音がなくとも十分気付ける、といった意見が得られたことから、周辺視野の気づきによる天井での通知は、音によって作業の妨げになるような場合に有効な通知手法の1つになると考えられる。また、通知・ToDo リスト表示機能に対する意見について、表5, 6, 7のような結果が得られた。通知はタスクによってポジティブな意見とネガティブな意見が分かれており、映像視聴や読書タスクでは、便利、作業の妨げにならない、といった意見がある反面、計算タスクでは、他のタスクと比較して作業に対する集中度が高く、視点も低くなることから、音がないと気づけない、音があると集中が切れるといった意見が得られた。ToDo リストは、全体的に便利、通知の見逃しを防げる、といったポジティブな意見が多く得られた。一方で、タスク数が今後増加することで、表示物の見づらさに可能性を示唆する意見も得られた。

4.4 考察

表示への慣れに関する実験および統制状況下における認知実験から得られた結果からの考察について述べる。本実験において、通知音を用いずに周辺視野の気づきによる通知で、一部のタスクに対して、通知効果が見られたことなどから、天井を用いてある程度の通知が可能であると言える。これらは、スマートホンやウェアラブル端末を用いて通知を行うことも可能であるが、それらを持ち歩いていない場合に活用できる通知手法の1つになると言える。また、イベント管理や通知の見逃し防止などに対して高評価な意見を多く得られたことから、ToDo リスト表示機能の利便性が高いと言える。しかし、本実験で用いている描画デザインでは、用いるイベント数が増えると、それに伴って描画デザインが複雑化するため、複数個のタスクを表示する際の見やすいデザインを検討する必要がある。

5. 議論

本章では、天井通知システムを実用化する上でのインタラクションデザインについて議論する。

5.1 表示位置

天井へ表示する通知情報や ToDo リストの表示位置について述べる。本システムで住人に視覚的に提示する情報は、住人の頭上付近の天井に表示され、住人を追従していく。本システムでは天井を用いる利点として、照明や空調設備などを除けば遮蔽物が少なく、視覚提示場所として確保できる空間が広く存在することが挙げられる。また、現状のシステムでは住人の位置情報は宅内での二次元的な座標のみしか扱えないが、住人の視線の向きや首の角度なども検出できるようになれば、それらに合わせた住人一人一人が見やすい位置に表示するといったことも可能である。

しかし、遮蔽物がまったくないわけではないという、複数人での利用を考えた場合、住人同士の表示物が重なり合わないようにする必要があるため、遮蔽物の位置や住人の位置関係から、システムによる表示位置の調整などを行う必要性がある。

5.2 表示時間

本システムは常に通知情報や ToDo リストなどを表示するわけではなく、通知時や、住人が ToDo リストを確認する時など、住人が必要なタイミングで天井にこれらの情報を提示する。下や真正面などの作業を行なっている場合、通知の確認等で上を向いた後も、再び視線を戻すことで、表示物が周辺視野に入っていなければ、これらが持続的に表示されていることによる作業の妨害が起りにくい。ただし、被験者が仰向けの姿勢をとっている場合や、他の住人の表示物が同じ部屋の天井に存在する場合は、長い時間表示していると、ちらつきによる作業妨害などに繋がる可能性がある。

6. おわりに

本稿では、我々が開発を行なった天井通知システムにおける「通知」「ToDo リスト表示」機能について、本システムを用いた際の慣れの程度についての計測実験と、実際の住環境を想定した状況下における本システムに対する印象実験を行なった結果について述べた。

今後は、様々な描画デザイン、サウンドデザインを比較検証することで、天井での通知・ToDo リスト表示に適したデザインの調査や、同じ部屋における複数人の利用に対しての有用な表示位置などの調査を行なっていくことで、天井通知システムの有用性を検証していくことで、住宅のスマートハウス環境の将来像の1つとして、本研究システムを世の中に提案、普及させていきたい。

参考文献

- [1] 高村未知, 平井重行: ユビキタス住宅における天井通知システムの提案, HIS2014 論文集, 1504P (2014)
- [2] 高村未知, 平井重行: スマートハウスでの天井通知システムとそのデザイン, 情報処理学会第 77 回全国大会講演論文集, 6ZA-06 (2015)
- [3] 櫻井爽太郎, 平井重行: スマートハウスでの天井通知システムの構成と実装, 情報処理学会インタラクション 2019 論文集, ポスター発表 3P-79 (2019)
- [4] Tomitsch M: Interactive Ceiling - Ambient Information Display for Architectural Environments. PhD thesis, Vienna University of Technology (2008)
- [5] Wimmer R, Bazo A, Heckner M, Wolff C: Ceiling Interaction: Properties, Usage Scenarios, and a Prototype, In Blended Interaction (Workshop) at CHI2013 (2013)
- [6] Oh J, Hahm C, Jung Y, Sin H, Cho Y, Lee J: Hands-Up: Motion Recognition using Kinect and a Ceiling to Improve the Convenience of Human Life, CHI EA '12 CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Comput-

ing Systems Pages 1655-1660

- [7] AR Fender, H Benko, A Wilson: MeetAlive, ISS ' 17 Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces Pages 106-115
- [8] Brett Jones, Rajinder Sodhi, Michael Murdock, Ravish Mehra, Hrvoje Benko, Andrew Wilson, Eyal Ofek, Blair MacIntyre, Nikunj Raghuvanshi, Lior Shapira: RoomAlive: magical experiences enabled by scalable, adaptive projector-camera units, UIST ' 14 Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology Pages 637-644
- [9] Wilson, A.D. and Benko, H.: Combining multiple depth cameras and projectors for interactions on, above and between surfaces. UIST ' 10 Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology Pages 273-282
- [10] Yang, R., Gotz, D., Hensley, J., Towles, H., & Brown, M. S. (2001, October): Pixelflex: A reconfigurable multi-projector display system. In Proceedings of the conference on Visualization'01 (pp. 167-174). IEEE Computer Society.
- [11] Pinhanez, C. (2001, September): The everywhere displays projector: A device to create ubiquitous graphical interfaces. In International Conference on Ubiquitous Computing (pp. 315-331). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [12] Jones, Brett R., et al: IllumiRoom: peripheral projected illusions for interactive experiences. CHI ' 13 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems Pages 869-878
- [13] Xiao, Robert, Chris Harrison, and Scott E. Hudson: WorldKit: rapid and easy creation of ad-hoc interactive applications on everyday surfaces. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2013.
- [14] Bonanni, L., Lee, C. H., & Selker, T. (2005): Counter-Intelligence: Augmented reality kitchen. In Proc. CHI (Vol. 2239, p. 45).