

# 個人の温熱環境嗜好を考慮した空調制御手法の構築と実証

今西 智哉<sup>†</sup> 福田 美桜<sup>†</sup> 西 宏章<sup>†</sup>  
慶應義塾大学 理工学研究科<sup>†</sup>

## 1. はじめに

家庭の省エネ化を実現する Home Energy Management System (HEMS) が近年注目されており、特に家庭における使用電力ピークが夏や冬の冷暖房使用に基づいて発生する Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) へ着目することで、効果的な省エネ化を実現する研究がされている [1]。このような HVAC は、室内の快適性に大きく影響を与える。そのため、HVAC 制御を行う際は室内快適性の適切な評価および維持が重要となる。

室内快適性を考慮する際、Predicted Mean Vote (PMV) などの快適性指標を用いることが多いが、快適性の感じ方には個人差が存在することが知られている [2]。このような個人差は、家庭などのパーソナルスペースでの HVAC 制御時において、特に考慮されるべき要素である。快適性の個人差調査は一般的にアンケートにより行うが、定期的な回答を必要とすることから、普段の生活の中でアンケートを実施することは現実的に難しい。そこで本研究では、ユーザの HVAC 操作に基づいた快適嗜好の調査、そして調査した快適域に基づきユーザの快適性を損なわない範囲で消費エネルギー量を削減する冷暖房操作サジェストシステムについて提案・実証する。

## 2. HEMS の構築

室内環境や冷暖房の操作を検知するため、宮城県栗原市の一般家庭 16 軒、東京都マンションの 1 室、埼玉県戸建て住宅の 1 室に図 1 のような HEMS を構築した。温度・湿度・風速などの室内環境、使用電力量、そしてエアコンと石油ファンヒータの操作情報を取得可能とした。エアコンは専用アダプタおよび iRemocon を用いて操作検知を取得した。また、石油ファンヒータについては専用基板を実装し、温度設定スイッチや灯油残量センサを監視することで稼働状態や使用灯油量を取得可能とした。計測されたすべての情報は Raspberry Pi にて実装した HEMS コントローラへまとめて送信し、1 分ごとに本研究室のサーバ内データベースに保存した。

## 3. 冷暖房操作と快適域

Proposal for Surveying Individual Thermal Comfort Range for HVAC

<sup>†</sup> Tomoya Imanishi, Mio Fukuta, Hiroaki Nishi, Dept. of Syst. Design, Keio University, Yokohama

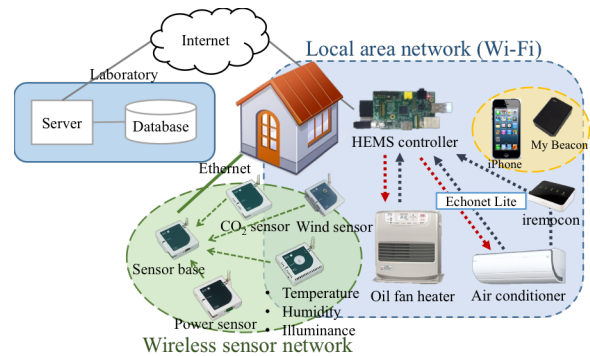


図 1 HEMS 構成

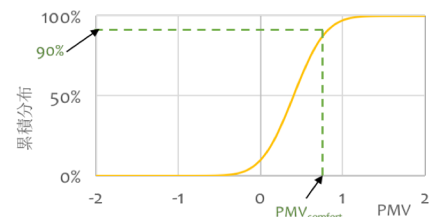


図 2 快適環境の定義

構築した HEMS 環境において、アンケートを用いない、HVAC 操作に基づいた快適嗜好の調査を行う。PMV の快適域の定義は「不快者率が 10%以下」であることから、本研究においては、ある操作についての快適環境閾値  $PMV_{comfort}$  を「累積分布が 0.9 となる環境」とする。この 0.9 という閾値は、ISO が推奨する PMV の範囲 -0.5 から 0.5 において、PPD、すなわち快適と感じる人の人数比が 90%以上となることから定めた。図 2 は冬季のある家庭におけるエアコン OFF 操作に関する快適環境の決定の様子を示したものである。閾値はサジェスト発行可否の判断に用いられ、図 2 の例では現在の環境が快適環境を超えた場合、つまり、ユーザにとって暖かい環境であると判断された場合に、エアコンの使用を停止するようサジェストが発行される。

## 3.2 アンケートから求めた快適域との比較

エアコンの ON/OFF 操作についてそれぞれ快適環境閾値を算出し、冬季の場合は ON 操作の快適環境閾値を快適域の下限值、OFF 操作を上限值とすることで、暖房操作に基づいて快適域を算出することが可能である。こうして求めた快適域を、アンケート調査を実施して推定した快適域と比較したところ、15 軒中 8 軒で二つの手法により求めた快適域が等しくなるという結果を得た。

これらの家庭については冷暖房の操作履歴よりアンケート調査を実施した場合と同様の快適域を得ることが可能であることが分かった。

アンケート調査による快適域と差が確認された残り 7 軒の内 4 軒では、操作が適切ではなく「冷暖房の使い過ぎ」状態であることが確認された。その他、同様にアンケート調査は手間を要するため適切な回答ができていない例が見られた。本システムを用いることで、少なくとも 15 軒中 12 軒は快適性を考慮しつつ省エネルギー達成する余地があることが確認された。

### 3.3 省エネ度の設定

快適性とエネルギー削減量はトレードオフの関係にある。本システムでは、ユーザが省エネ度  $LEVEL_{saving}$  を設定することで、省エネへの意欲に応じて現実的な範囲での省エネ支援を行うことを可能とする。省エネ度は 0(制御なし) - 100 まで選択することが可能で、設定された省エネ度に基づき、省エネサジェストを行う閾値となる  $PMV_{thre}$  が下の式より算出される。

$$Level_{saving} = (1 - Level_{comfort}) * 100$$

$$Level_{comfort} = \int_{-3}^{PMV_{thre}} f(x)$$

この式において、 $f(x)$  はある空調操作に対する確率密度関数、 $x$  は環境を示す。例えば、図 2 で定義した  $PMV_{comfort}$  は、省エネ度を 10 とした際の  $PMV_{thre}$ 、 $LEVEL_{comfort} = 90$  とそれぞれ等しい。

### 4. 快適域を考慮した空調操作サジェスト実験

東京都に構築した HEMS において、2015 年 12 月中旬、暖房(エアコン)操作に基づいて算出した快適域に基づいた空調操作省エネのサジェスト実験を行った。2015 年 11 月下旬から 12 月上旬のエアコン操作データを使用して得たユーザの快適域に基づき、(1)現在の環境が快適域の上限値を超えた場合にエアコン OFF するようスマートフォンにメールでサジェスト、(2)快適域の範囲内にある場合は快適域の環境を下回るまでエアコンの使用を控えるようにエアコンの web リモコン画面に表示、の 2 パターンのサジェスト内容を行った。実験対象者は 1 名で、ユーザはサジェスト通りにエアコンの操作を行った。また、快適性の評価のため 1 時間ごとに快適性に関するアンケート調査を実施した。サジェストなしの場合、サジェストありの場合 ( $LEVEL_{saving} = 10, 20, 30, 40$ ) について実験を行い、比較を行った。

図 3 に省エネ度を変化させてサジェストを行った場合の単位時間当たりのエアコンの消費電力量を示す。サジェストなしに比べ、各省エネ度で 17.1%, 21.6%, 31.2%, 35.0% の使用電力量削減を達成した。また各実験日における快適

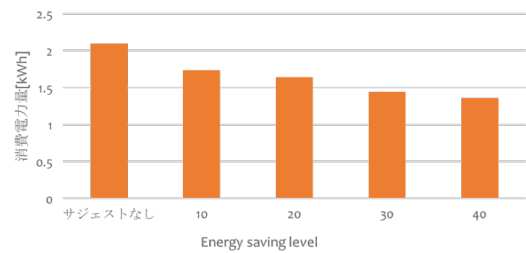


図 3 各設定値における消費電力量の比較

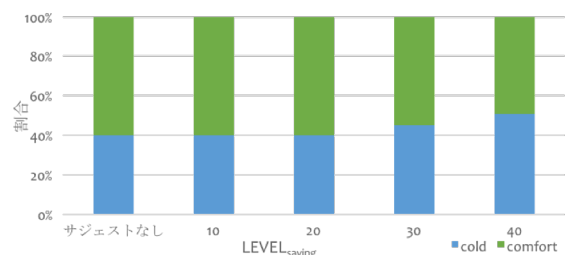


図 4 各設定値における快適性評価の比較

性評価の結果アンケートベースを図 4 に示す。青色は寒い、緑色がちょうど良いとユーザが感じている割合を表す。省エネ度を大きくするに従って寒いと感じたという票の割合が増え、実際に快適性は下がっているが、省エネ度を 10 とし、10%削減をおこなった場合はサジェストなしの場合と変わらず、空調を適切に制御し続ける環境を提供できた。これらの結果から、省エネルギーと快適性保証の両立を達成した。

### 5. まとめ

本論文では、冷暖房の操作履歴に基づきユーザの快適域を推定する手法について提案し、この快適域に基づいた空調サジェスト実験を行った。操作履歴を用いることにより、ユーザに従来の快適性調査のような煩雑なアンケート回答を実施することなく個人の快適性嗜好を調査することが可能となり、調査結果を空調サジェストへ利用することで、ユーザの快適性を損なわず使用エネルギー量を最大 21.6%削減した。

### 謝辞

本研究は、セコム科学技術振興財団研究助成、科研費基盤 B(24360230)(25280033)、国交相住宅・建築物技術高度化の一環としてなされた。

### 参考文献

- [1] M. S. M. Kuzlu, "Hardware Demonstration of a Home Energy Management System for Demand Response Applications," IEEE TRANSACTION ON SMART GRID, VOL.3, NO.4, pp. 1704-1711, DECEMBER 2012.
- [2] M., Fukuta, M., Ito, F., Yamaguchi, H., Nishi, "Construction of HEMS in Japanese cold district for reduction of carbon dioxide emissions," Industrial Electronics Society, IECON 2014-40th Annual Conference of the IEEE, pp. 5338-5343, Dallas, USA