

HEMS 環境におけるスマートフォンを用いた活動量の推定と 空調制御への利用

伊東未奈子[†] 西宏章[†]

本論文では室内快適性と電力削減の両立を目的とした空調機制御手法を提案する。提案手法は快適性指標 PMV の要素の一つである活動量を, iPod touch や iPhone 用アプリケーションを用いて 3 軸方向の加速度から推定する。センサネットワークを用いた HEMS 環境を一般家庭に構築し, 空調制御実験を行い, 提案手法によって算出された PMV の正確性を確かめるとともに, ユーザの快適性を損なうことなく空調の稼働時間を削減し, 電力量の削減効果が期待できる結果を得ることができた。

A Practical Case Study of HVAC Control with MET Measuring Using a Smartphone in HEMS Environment

Minako Ito[†] and Hiroaki Nishi[†]

This paper proposes a HVAC control method that considers the tradeoff between environmental amenity and energy conservation. The proposed method uses an iPod touch or iPhone application to obtain accurate measurements of both the MET value and the predicted mean vote (PMV). The accuracy of the PMV values after incorporation of MET estimates was confirmed experimentally. A HEMS experiment was conducted and a reduction in energy consumption was observed, demonstrating the usefulness of both the application and the proposed HVAC control method.

1. はじめに

エネルギー需要は世界的に年々増加傾向であり, それに伴う地球温暖化と二酸化炭素の削減への注目が集まっている。特に, 日本では 2011 年の東北地震により深刻な電力不足を経験し, 省エネルギーと再生可能エネルギー資源の利用の必要性がより一層強調されている。省エネルギーの観点から, 需要家の電力使用量や室内環境等を統合的に管理するシステム EMS (Energy Management System) の需要が高まっている。

デマンド制限の維持, もしくはデマンド抑制の要求を受けたとき, EMS は電力消費量の調整のために電気機器類を制御する必要がある。この場合, HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) 機器は, パワーオン・オフ制御, インバータ制御, 温度・風量の設定によって様々な制御レベルに調整することができることと, ピーク電力は主に夏の暑い日や冬の寒い日の空調利用によるものであり, 全体消費電力のうち空

調の割合が大きいことから, 制御対象として適切であると言える。

初期の EMS は大規模なビルでの電力・コスト削減が目的であり, 室内環境の快適性については考慮されていなかった[1][2][3] が, 近年の EMS では, 快適性指標 PMV を用いた HVAC 機器の制御が広く研究されており, ビルや一般家庭に実際に導入されている[4][5][6]。EMS はシステムが実装される場所に応じていくつかの種類が存在し, ビルに実装される場合, BEMS (Building Energy Management System) と呼ばれる。一般家庭に実装される場合には, HEMS (Home Energy Management System) と呼ばれる。しかしながら, 以上の研究では PMV の重要な要素の一つである活動量は考慮されておらず, 定常状態を想定している。より電力消費量を削減するためには, ビルや家庭内のユーザの正確な PMV と活動量を用いた HVAC 機器の制御が重要である。

本論文では, スマートフォンを用いたリアルタイムな活動量推定手法の提案と, 提案手法を用いた実 HEMS 環境での室内快適性を指標とした空調制御によ

[†]慶應義塾大学
Keio University

る消費電力量削減を目的とする。本論文の構成を以下に述べる。第2章では、室内快適性指標 PMV と活動量の単位である MET (Metabolic Equivalent) について述べる。第3章では、スマートフォンに実装した活動量測定アプリケーションを紹介する。構築した HEMS 環境と空調制御システムについてはそれぞれ第4章、第5章で述べる。第6章では実験結果を述べ、消費電力量と快適性について評価を行う。最後に、第7章にて結論を述べる。

2. 快適性指標

2.1. 室内快適性指標 PMV

PMV は、熱的快適性に関する4要素(気温、相対湿度、輻射、気流)のすべてと活動量、着衣量を含めた6要素での評価が可能であり、ISO7730の標準的温熱指標や米国空調学会(ASHRAE)の室内の快適温熱環境設定のための基準として採用されており、室内環境の評価や空調制御基準としてよく用いられる[7][8]。PMV は温冷感を-3 から+3 の7段階で表し、ISO では $-0.5 < PMV < 0.5$ を快適範囲としている。PMV は以下の式で表される。

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \times (M - W - E_d - E_s - E_{re} - C_{re} - R - C) \quad (1)$$

1式において、M:活動量、 E_{re} :呼吸による潜熱損失量、W:機械的仕事量、 C_{re} :呼吸による顕熱損失量、 E_d :不感蒸泄量、R:放射熱損失量、 E_s :皮膚面よりの蒸発熱損失量、C:対流熱損失量であり、単位はすべて W/m^2 である。従来の PMV に基づく空調制御は、活動量については実際の値ではなく固定値を用いている。居住者は室内で動くため、活動量は変化し、固定値を用いた PMV 評価では十分でないといえる。そこで、本論文では活動量を考慮した PMV 評価について検討し、制御への利用を行う。

2.2. 活動量

上記のように、PMV 指標は一般的に室内環境の評価に用いられている。PMV の要素のひとつに活動量があり、身体活動量は MET (Metabolic Equivalent) という運動強度を示す単位で測られる。MET は身体活動時のエネルギー消費量が安静時の何倍に相当するかで表され、安静時の活動量を $58.2 W/m^2$ として、これを1METとする。1MET以下となる場合以外は、単位は、METs と表記される。MET は全米スポーツ医学会(ACSM)で推奨されている指標であり[9][10]、日本では厚生労働省が「健康づくりのための運動基準・指針2006」や「日本人の食事摂取基準 2010 年版」におい

て身体活動レベルを推定するために必要な各身体活動の強度を示す指標として用いている。エネルギー消費量の測定法には、直接熱エネルギーとして体内で生産したエネルギーを測定する直接法や、エネルギー生産のために消費した酸素量と発生した二酸化炭素量、または尿中に排出された窒素量によりエネルギー生産量を推定する間接法などがある。ただし、これらの手法はチャンバーやダラスバックなど専用の環境や機器を必要とし、日常生活において活動量を測定することは困難である。

日常的に活動量を測定する場合には、一般に活動量計を用いる。小型の活動量計を身に付けることで、内蔵の加速度センサから人間の動きを検知し、活動量を算出する。加速度センサは比較的安価であり、日常生活動作に制限を加えることなく身体活動量および強度を評価できるため、加速度を用いた活動量の推定は広く研究されている。本論文では空調制御が目的であり、リアルタイムな活動量の測定と利用が必要であるため、スマートフォンを活動量の測定のためのモバイルターミナルとして用いる。スマートフォンを使う利点は以下のとおりである。

- 三軸加速度センサ、ジャイロスコップを内蔵しており、ユーザの動作による加速度を検知することができる。
- 3G 回線や Wi-Fi ネットワークを利用してサーバとの通信が可能のため、リアルタイムに PMV 評価に活動量を反映することができる。
- スマートフォンは現在一般的に広く普及しており、ユーザは普段持ち歩くものであるため、専用の機器を別途用意したり、装着したりする必要がない。

3. 活動量測定アプリケーション

加速度測定のためのアプリケーションは、iPhone・iPod touch シリーズ用に設計した。どちらも Wi-Fi 対応機種であるため、本実験においてローカルネットワーク内の HEMS ゲートウェイと接続することができる。活動量の計算には、三軸方向のそれぞれの加速度の積分値の合計値 IMA_{tot} と身体活動によるエネルギー消費の線形近似を用いる。本手法は Bouten ら[11]によって提案され、2式で表される。また、3式から活動量 $K[METs]$ を求める。

$$IMA_{tot} = \int_{t=t_0}^{t_0+T} |x_t|dt + \int_{t=t_0}^{t_0+T} |y_t|dt + \int_{t=t_0}^{t_0+T} |z_t|dt \quad (2)$$

$$K = a \times \text{IMA}_{\text{tot}} + b \quad (3)$$

2式において、 x_t , y_t , z_t は3軸それぞれの加速度値、 T は測定周期、 t_0 は測定開始時間である。事前研究[12]において、日常生活における様々な動作について検証実験を行い、3式の係数 a , b を決定した。本実験では正確性とバッテリーの持続性を考えてサンプリング周波数を 10Hz とする。

プログラムには Objective-C 言語、開発環境には Mac OS X v10.7, Xcode4.5, Interface Builder10.8を用いた。加速度の測定には、ソフトウェア開発キット(SDK)に iOS4.0 から用意されている Core Motion フレームワークを用いる。このフレームワークは、3軸加速度センサ及びジャイロスコプから得られるデータにアクセス、処理し、モーションイベントとしてアプリケーションに転送する。本アプリケーションでは、Core Motion から送られるモーションイベントのうち、デバイスの姿勢、回転速度、重力方向、ユーザがデバイスに与えた加速度の測定値をカプセル化した CMDeviceMotion オブジェクトを用いて 3 軸方向の動的加速度を取得する。また、マネージャクラスである CMMotionManager クラスを用いてデータの取得タイミングなどの設定や管理を行う。

メイン画面には加速度と活動量を表示するラベルと停止・再開ボタンがあり(図 1)、ボタンが押された場合にアプリケーションはセンサデータの受信を停止または再開する。その際にデバイスごとに割り当てた ID、現在時刻をサーバに送信し、アプリケーションの利用状況の管理をサーバ側で行う。測定中は 30 秒ごとに活動量を計算し、随時サーバに送信する。本アプリケーションはマルチタスクに対応しており、バックグラウンド動作が可能である。また、本アプリケーションは電力消費を十分に抑え、一日以上連続動作することができる。

Apache HTTP サーバや PHP web アプリケーション(サーバプログラム)との通信はすべて HTTP の POST リクエストを使用し、非同期通信を行う。サーバプログラムは、アプリケーションからデータを受信すると PostgreSQL データベースに各データを格納する。

4. 実 HEMS 環境における推定システムの構築

東京都内の一般家庭に HEMS 環境を構築した。システム構成を図 2 に、部屋の見取り図とセンサ・空調の位置を図 3 に示す。リビングルームの空調は三菱 PLA AA, そのほかの部屋の空調は三菱 MSZ-VS22K である。すべての空調は本研究室内の HEMS サーバにより、HA 端子を用いて制御を行うことができる。

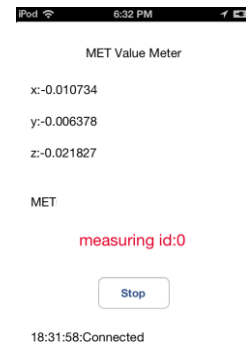


図1 メイン画面
Fig.1 Main screen

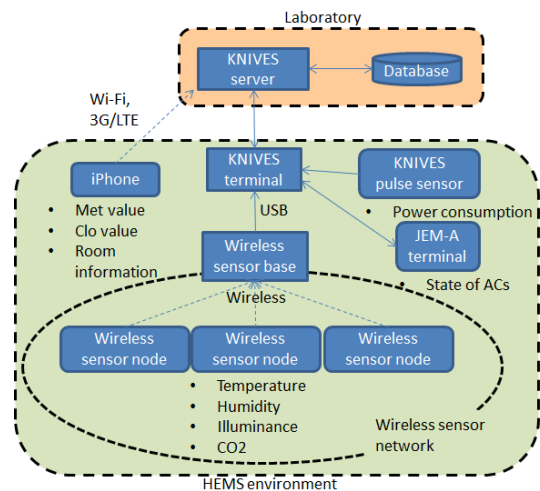


図 2 システム構成図

Fig.2 Configuration of the system

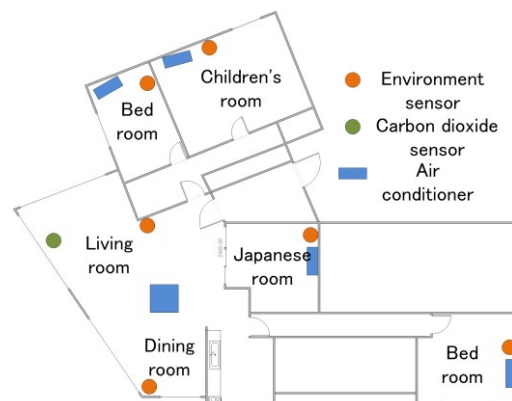


図 3 見取り図と空調・センサの配置

Fig.3 Floor plan and the location of sensors and AC

HEMS ゲートウェイには、慶應義塾大学西研究室で提案する多目的コントローラ KNIVES[13][14][15] を用いる。KNIVESはLinux モジュールとコントロールモジュールから構成される。KNIVES と環境センサを図 4, 5 に示す。各部屋に設置された環境センサは温度、湿度、照度を測定し、毎分環境データを KNIVES に送信する。全体の電力消費量を測定するために KNIVES は分電盤に接続された電力センサと直接通信を行う。電力消費量は 5 秒ごとに計算される。KNIVES は電力センサ、HA 端子、無線環境センサのベースモジュールとそれぞれ通信し、これらの情報を XML ベースの通信プロトコルでサーバに送信する。サーバは送信された情報をパースし、活動量と同様にデータベースに蓄積する。さらに、サーバ上で空調の制御命令を形成し、同様に XML ベースの通信プロトコルで KNIVES に送信される。



図 4 KNIVES
Fig.4 KNIVES



図 5 Sii Co. Ltd 環境センサ
Fig.5 Wireless sensor

5. 空調制御アルゴリズム

5.1. 予測アルゴリズム

空調を ON または OFF したとき、部屋全体の温度が温まる、または冷えるには時間がかかる。つまり、ON、OFF 制御に対し室内温度は遅れが生じる。したがって PMV を快適な域に保ちながら制御を行うには PMV 変化の予測を行う必要がある。

PMV を予測するアルゴリズムとして、線形的な予測手法を用いる。現在時刻における PMV を $PMV(t)$ 、予測間隔を δt 、時間 δT 先の PMV を予測するとき、PMV 予測値 $PMV'(t + \delta T)$ は 4 式で表される。

$$PMV'(t + \delta T) = PMV(t) + (PMV(t) - PMV(t - \delta t)) \times \delta T \quad (4)$$

この手法を用いて予測間隔ごとに PMV の予測を行い、PMV が 2.1 節で述べた快適範囲 ($-0.5 < PMV < 0.5$) に収まるよう空調の制御を行う。

5.2. 制御アルゴリズム

制御アルゴリズムをアルゴリズム 1 に示す。このアルゴリズムは冬季の暖房使用時を対象としている。まず、

各ユーザの iPod touch アプリケーションの稼働状態から在宅中であるかを判定する。次に、在宅中の場合には δt 後の PMV の予測値 PMV' を計算し、空調の稼働状態を HA 端子を用いて取得する。空調が ON の状態ならば、全ての在宅中のユーザについて $PMV' > -0.5$ かつ一人以上のユーザについて $PMV' < 0.5$ の場合に空調を OFF にする。空調が OFF の状態ならば、一人以上のユーザについて $PMV' < -0.5$ の場合に空調を ON にする。

空調制御と動作状態の確認には一般的な空調が備える HA 端子を用いて、空調の ON/OFF をトグル式で制御する。したがって、特殊な媒体を必要とせず、一般的な空調であれば同様に制御可能な方法を選択する。この手法では ON/OFF がトグルで変化するため、制御前の状態を逐次確認する必要がある。また、ユーザによる手動での ON/OFF 切り替えを受け付けるため、制御フラグを用いて、アルゴリズムによる制御判定の際に現在の空調動作がシステムによるものであるか、もしくはユーザの入力によるものであるかを確かめる必要がある。空調が ON であった場合、制御フラグを 0 とする。もし空調がシステムによって制御され、OFF に切り替えられた場合には 1 を代入する。もしユーザが手動で空調を OFF した場合には、制御フラグは 1 のままである。この制御フラグを用いて空調が手動で OFF に切り替えられた場合には、システムは次に手動で ON になるまで空調の制御を停止する。

また、空調の頻繁な ON/OFF は正常な動作に支障をきたすため、ON/OFF の間隔を最低 3 分とした。本文の HEMS 環境における制御判定の条件を表 1 にまとめる。PMV の予測間隔 δt は 1 分とし、実環境での空調動作と室内温度変化の検証実験結果から、予測先時間 δT を決定した。

アルゴリズム 1 制御アルゴリズム

Algorithm 1 AC control algorithm

- 1: set n to the number of people
- 2: **if** AC is ON **then**
- 3: set control flag = 0;
- 4: **if** every $PMV'[id=1 \dots n] > -0.5$
 && $PMV'[id] < 0.5$ **then**
- 5: turn off AC;
- 6: set control flag = 1;
- 7: **end if**
- 8: **else if** control flag == 1 **then**
- 9: **if** $PMV'[id] < -0.5$ **then**

```

10:   turn on AC;
11: end if
12: end if

```

表 1 制御判定条件

Table.1 Control judgment conditions

ON/OFF	δT [分]	閾値
OFF 制御	3	0.5
ON 制御	6	-0.5

6. 実験結果

6.1. PMV モニタリング

4 章に示した実 HEMS 環境において, 実際の生活における PMV の変化について, 活動量を考慮する場合と固定値を用いる場合の比較を, アンケートを用いて行った. HEMS 内には 4 人家族が住んでおり, それぞれが iPod touch を所有している. 各ユーザは在宅中提案アプリケーションを起動した iPod touch をズボンの前ポケットに入れ, 30 分ごとに提案アプリケーションのアンケート画面からアンケートに答える. アンケートには現在の部屋情報, 行動を選択するピッカーと PMV を申告するスライダーが用意されており, 送信ボタンを押すとユーザの入力結果がサーバへ送信される. (図 6)

図 6 アンケート画面

Fig.6 Questionnaire screen

実験期間は 2012 年 11 月の 5 日間である. 活動量の固定の PMV は環境センサの情報のみから求めた PMV であり, 活動量は座位で作業中を想定し, 1.3METs とした[9]. PMV の計算において, 3 式の活動量 K [METs]と 1 式の M [W/m^2]の変換には 5 式を用いた. 実験の結果, 料理中や家事中に特に活動量が大きくなった.

$$M = 58.2 \times K \quad (5)$$

図 7 に実際に主婦のアンケートから得られた PMV と計算結果を比較した結果を示す. 昼以降の測定開始時, つまり帰宅したばかりの間は推定値よりもアンケート結果が低くなった. これは屋外の天気の影響が大きいと考えられる. しかし, その他の時間帯では, アンケート結果との差が平均してそれぞれ活動量固定の場合が 0.52, 活動量を変量とした場合が 0.27 となり, 提案アプリケーションを用いることでより実際の PMV に近い値を得ることが分かる.

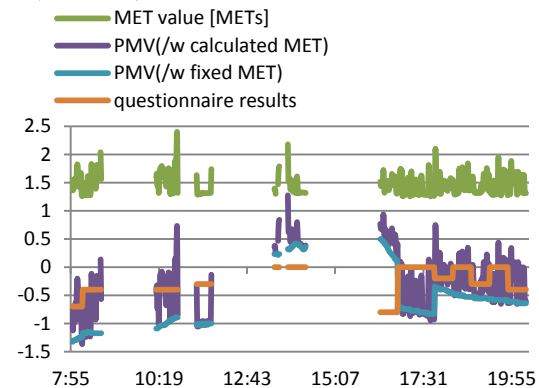


図 7 PMV モニタリング実験結果

Fig.7 Results of PMV monitoring experiment

6.2. 空調制御

2012 年 12 月から 2013 年 1 月にかけて以下の 3 つの手法について空調制御実験を行った.

- 従来手法: 活動量を固定で扱った PMV を指標として制御を行う.
- 提案手法: 提案アプリケーションを用いて推定された活動量を考慮した PMV を指標として制御を行う.
- 制御なし

本実験では制御対象をリビング・ダイニングルームとし, 快適性と電力量の 2 つの観点から実験結果を評価した. 期間中 HEMS 内のユーザ 4 人は日常生活を送るため, 日によって, また時間帯によって, リビング・ダイニングルームの滞在人数や空調の利用状態は異なる.

まず, 快適性について検討, 考察を行う. 図 8 に従来手法の制御を行った日の PMV 変化と制御状態を示す. 図中のすべての PMV は, 4 分間の移動平均値を示している. 事前研究として行ったユーザの申告 PMV と提案アプリケーションを用いて推定した PMV の比較実験の結果から, 移動平均の窓長を決定した[12]. PMV (id1) ~ PMV (id4) は各ユーザの PMV を表し

ている。また、空調稼働状態をONのとき1、OFFのとき0で表している。この日は12時14分にOFF制御が行われた。活動量固定のPMVは快適な域にある一方で、各ユーザのPMVは0.5を超えることがあった。

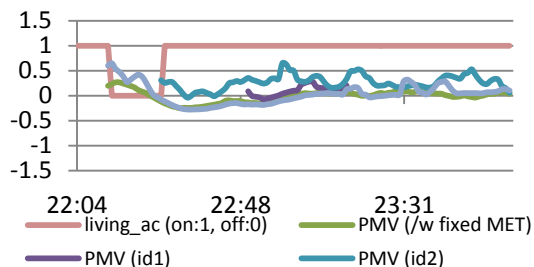


図 8 2012 年 12 月 29 日の実験結果(従来手法)
Fig.8 Results obtained using the conventional method on December 29, 2012

また従来手法の日の空調稼働時間削減率は1%未満であり、ほとんど制御が行われない、という結果になった。例えば図9の日は従来手法の日であったが一度も制御が行われなかった。しかし、ユーザのPMVが1.5近くなった時にはユーザ自身で空調をOFFにし、PMVが-0.5を下回ったときにONにした。このことから活動量固定のPMVよりも活動量を変量としたPMVの方がよりユーザの温冷感に近いことが分かる。また、PMV予測を用いればON、OFFをユーザが手動でおこなうよりもより早いタイミングで実施することができるため、PMVはより快適域に収まると考えられる。したがって、活動量を固定値としたPMV評価では不十分であり、冬場には空調を効かせ過ぎていることがあると言える。

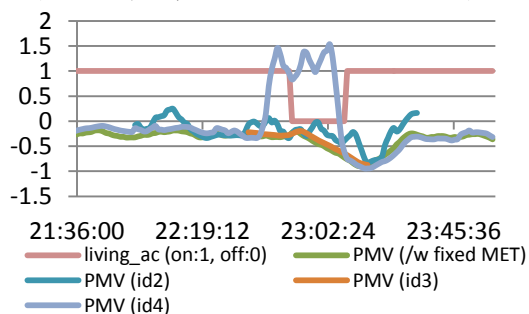


図 9 2013 年 1 月 5 日の実験結果(従来手法)
Fig.9 Results obtained using the conventional method on January 5, 2013

図10に提案手法の制御を行った日のPMV変化と制御状態を示す。提案手法はより細かく制御を実施し、各ユーザのPMVは快適な状態を保っていることがわ

かる。提案手法を行った日全体でみると、一日平均18回OFF制御が行われ、空調稼働時間を約20%削減した。

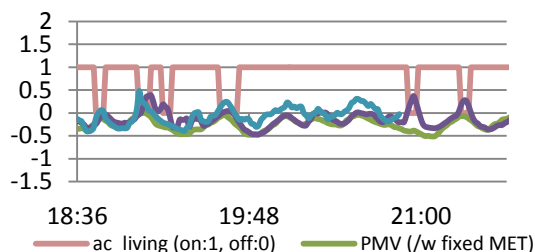


図 10 2013 年 1 月 2 日の実験結果(提案手法)
Fig.11 Results obtained using the proposed method on January 2, 2013

次に電力消費量について評価を行う。表2に各制御手法の実験結果をまとめる。一般家庭において空調利用の電力消費への影響は大きい一方で、空調利用時間や利用状態は日によって様々であり、異なる2日間について比較を行うのは難しい。したがって、空調の利用時間当たりの空調の積算電力量について比較を行った。その結果、提案手法は制御なしと比較して19% (200Wh)、従来手法に対して14% (135Wh)の削減率となった。これは冬季実験のみの結果であり、夏季の冷房使用時期には快適性を優先した結果になると考えられる。

表 2 各手法の実験条件と電力消費量

制御手法	制御なし	従来手法	提案手法
空調利用時間[分]	613	595	623
平均気温[℃]	5.2	5.0	5.2
1日当たりの平均電力消費量[kWh]	10.3	9.23	8.78
1時間当たりの平均電力消費量[kWh]	1.03	0.96	0.83

7. 結論

本論文では加速度情報から活動量を推定し、ワイヤレスにサーバと通信することでユーザの活動を監視するスマートフォン用アプリケーションとシステムを提案した。また、活動量を考慮したPMVに基づく空調制御手法を提案し、KNIVESをプラットフォームとしてセンサネットワークを用いて構築したHEMS環境において、空調制御実験を行った。提案手法によって算出された

PMV の正確性を確かめるとともに、ユーザの快適性を損なうことなく空調の稼働時間を削減し、電力量の削減効果が期待できる結果を得ることができた。本実験は ON/OFF 制御のみを行ったが、今後、温度・風量調節やインバータ出力の制御などより細かい制御が必要だと考えられる。

謝辞

この研究は、文部科学省 社会システム改革と研究開発の一体的推進気候変動に対応した新たな社会の創出に向けた社会システムの改革プログラム「グリーン社会 ICT ライフインフラ」、環境省 地球温暖化対策技術開発・実証研究事業「大学キャンパスの省 CO2 化に向けたキャンパスエネルギーマネジメントの実証研究」、文部科学省科学技術研究費補助金基盤研究 B「機能維持性を高める建物・複数機器の協調制御」(24360230)ならびに「コンテンツベース・スマートコミュニティインフラの構築と展開」(25280033)、の一環としてなされた。

参考文献

- [1] C. Roesener, P. Palensky, M. Weihs, B. Lorenz, and M. Stadler, “In-tegral Resource Optimization Network - A New Solution on Power Markets”, 3rd IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN2005), pp. 578-583, Aug. 2005
- [2] E. Hirst, “Price-Responsive Demand in Wholesale Markets: Why Is So Little Happening”, The Electricity Journal, Vol. 14, Issue 4, pp.25-37, May. 2001
- [3] H. Najmeddine, K. E. K. Drissi, C. Pasquier, C. Faure, K. Kerroum, A. Diop, T. Jouannet, and M. Michou, “State of Art on Load Monitoring Methods”, Power and Energy Conference (PECon 2008) IEEE 2nd International, pp. 1256-1258, Dec. 2008
- [4] C. Duan, X. Ding, F. Shi, X. Xiao, and P. Duan, “PMV-Based Fuzzy Algorithms for Controlling Indoor Temperature”, 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), pp. 1492-1496, 2011
- [5] E. Donaisky, G. H. C. Oliveira, R. Z. Freire, and N. Mendes, “PMV-Based Predictive Algorithms for Controlling Thermal Comfort in Building Plants”, Control Applications (CCA 2007), pp. 182-187, 2007
- [6] T. Shen, T. Togoshi, and H. Nishi, “Implementation and Substantiation of Energy Management Systems for Terminal Buildings”, in Proc. IEEE ETFA '11, pp. 1-4, 2011
- [7] Y. Epstein, Y. Shapiro, and S. Brill, “Role of Surface Area-to-Mass Ratio and Work Efficiency in Heat Intolerance”, Journal of Applied Physiology, Vol. 54, No. 3, pp. 831-836, 1983
- [8] P. R. Höppe, “Heat Balance Modeling”, Cellular and Molecular Life Sciences, Vol. 49, No. 9, pp. 741-746, 1993
- [9] <https://sites.google.com/site/compendiumofphysicalactivities/>
- [10] Ainsworth et al, “2011 Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and MET Values”, Medicine & Science in Sports & Exercise, Vol. 48, No. 8, pp.1575-1581, August. 2011.
- [11] C. V. C. Bouten, K. T. M. Koekkoek, M. Verduin, R. Kodde, and J. D. Janssen., “A Triaxial Accelerometer and Portable Data Processing Unit for the Assessment of Daily Physical Activity”, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 44, No. 3, pp. 136-147, 1997
- [12] M. Ito and H. Nishi, “Real-time METs Estimation for Effective Indoor Amenity Control in HEMS”, the 22nd IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), pp. 1-6, May. 2013
- [13] T. Handa, C. Roesener, J. Ichimura, and H. Nishi, “KNIVES: Network based Demand and Supply Control System – Enhancement for Network and Environmental Affinity –”, 5th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN 2007), pp. 1171-1176, Jun. 2007
- [14] T. Handa, A. Oda, T. Tachikawa, Y. Watanabe, J. Ichimura, and H. Nishi, “Table-Based Scheduling Method for Distributed Demand Side Management”, Industrial Electronics (IECON), pp. 2748-2753, 2008
- [15] T. Nakabe and H. Nishi, “Environmental-Amenity Aware Controller for Demand Side Management”, 8th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), pp. 798-803, 2010