

# フランス リヨン市における 家庭向け省エネ暖房制御技術

Energy-Saving Heating Control Technology for Residences as Part of Lyon Smart Community Project in Lyon, France

矢野 亨 黄 静君 今原 修一郎

■ YANO Toru ■ HUANG Chingchun ■ IMAHARA Shuichiro

東芝は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) から受託した「フランス・リヨン再開発地域におけるスマートコミュニティ実証事業」において、新設された通称“HIKARIビル”に当社が開発したHEMS (Home Energy Management System) であるOMOTENASHI HEMS™を導入した。

このHEMSは、居住者の快適性を損なわない範囲で省エネを実現する設定温度算出機能と、居住者の行動を推定して更に省エネな設定温度に変更する自動制御機能から成る暖房制御技術を搭載している。2016年12月と2017年1月にそれぞれの評価実験を行った結果、設定温度算出機能で23.6%の、自動制御機能で18.6%の省エネを達成できた。

Toshiba has been selected by New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) as a contractor for the Lyon Smart Community Project in the Lyon Confluence redevelopment district, France, and has introduced its latest home energy management system (HEMS), called OMOTENASHI HEMS™, into a newly constructed building named the Hikari Building.

OMOTENASHI HEMS™ incorporates a heating control technology effective for energy saving with the following functions: (1) a temperature calculation and setting function to ensure the comfort of residents and save energy, and (2) an automatic control function to change the room temperature by predicting the behavior of residents. We conducted verification tests in December 2016 and January 2017, and confirmed that these functions achieve an energy saving rate of 23.6% and 18.6%, respectively.

## 1 まえがき

フランスは、2015年の最終エネルギーの消費量がEU (欧州連合) 内で2位であり、2030年までに2012年に比べて20%削減することを目指している<sup>(1)</sup>。2015年時点で家庭部門の最終エネルギーの消費量は全体の約26%を占めており<sup>(2)</sup>、家庭部門の省エネはこの目標を達成するために重要である。また、EUでは、新設ビルの正味の消費エネルギーを、再生エネルギーを利用してほぼゼロとするnZEB (nearly Zero Energy Building) 化が、2020年までの目標として掲げられており、フランスでもビルの省エネ化に向けた規制が施行されている。このようななか東芝は、リヨン再開発地域における新設ビル (通称HIKARIビル) で、建物が消費するエネルギー量よりも建物が生み出す再生可能エネルギー量を大きくするPEB (Positive Energy Building) 化を目指してきた<sup>(3)</sup> (図1)。

当社は、PEBを実現するために、HIKARIビル住宅部分の36世帯向けに、独自のOMOTENASHI HEMS™を開発した。このHEMSは、以下のような暖房制御技術を搭載している。

- (1) 設定温度算出機能 居住者の快適性を損なわない範囲で省エネを実現する設定温度を算出する。
- (2) 自動制御機能 居住者の行動を推定することで、更に省エネになる設定温度に変更する。

ここでは、このHEMSのシステム構成と、暖房制御技術に

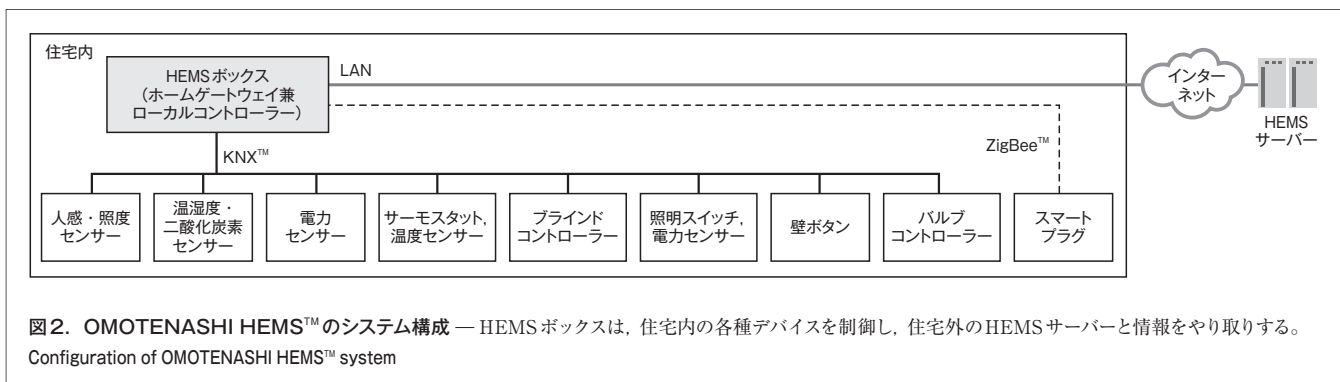


ついて述べる。

## 2 OMOTENASHI HEMS™のシステム構成

図2はこのHEMSのシステム構成の模式図である。システムを構成する各デバイスは、欧州のビルと住宅の制御用通信プロトコルであるKNX™に準拠 (一部はZigBee™に準拠) している。住宅内には、次のデバイスを設置している。

- (1) KNX™に対応したデバイス
- (2) ZigBee™に対応したスマートプラグ



### (3) HEMS ボックス

住宅内での照明、ブラインド、及び暖房の制御は全てKNX™に対応したデバイスで実現されている。また、住宅内の分電盤各回路の消費電力量を全て計測している。スマートプラグをコンセントと家電の間に設置し、個々に家電の消費電力量の計測とオン/オフ制御を行う。

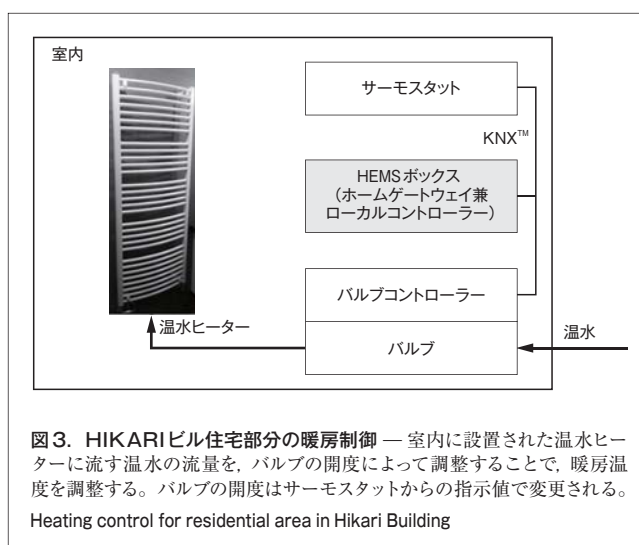
分電盤キャビネット内に分電盤各回路と接続した照明スイッチ及びブラインドコントローラーを設置しており、壁ボタンで操作できる。また、室内にサーモスタットを設置し、暖房を制御する。住宅の各部屋に人感センサーを設置し、この検知情報に基づいて、HEMSボックスの行動推定エンジンにより、その部屋に人がいる/いない（在室/不在室）を推定する。暖房制御技術はこの行動推定の結果を利用している。

HEMSボックスは住宅内のデバイスから得られたデータをデータセンターに設置されているHEMSサーバーに送信する。HEMSサーバーは、次の機能を持つ。

- (1) 住宅内のデータを蓄積するデータベース機能
- (2) Web 機能
  - ・蓄積データの見える化
  - ・機器の遠隔操作
  - ・自動制御機能の推薦
- (3) Web 機能を実現するための演算機能

HIKARIビルの住宅の暖房は、地下の機械室から供給される暖房用温水を利用した集中型暖房である。暖房用温水は各住宅に設置されたヒーターに流れて室内の暖房に使われる。図3は暖房用温水制御の模式図である。室内にあるサーモスタットとバルブコントローラーはKNX™で接続されており、サーモスタットに入力された設定温度とサーモスタットで計測された室温に基づいてバルブの開度が計算され、その値がバルブコントローラーに送信されて、バルブの開度が制御される。HEMSボックスとサーモスタットの間でも信号のやり取りが可能であり、サーモスタットの設定温度及び実行モードをHEMSボックスから変更できる。サーモスタットの温度設定モードは次の4種類である。

- (1) コンフォートモード



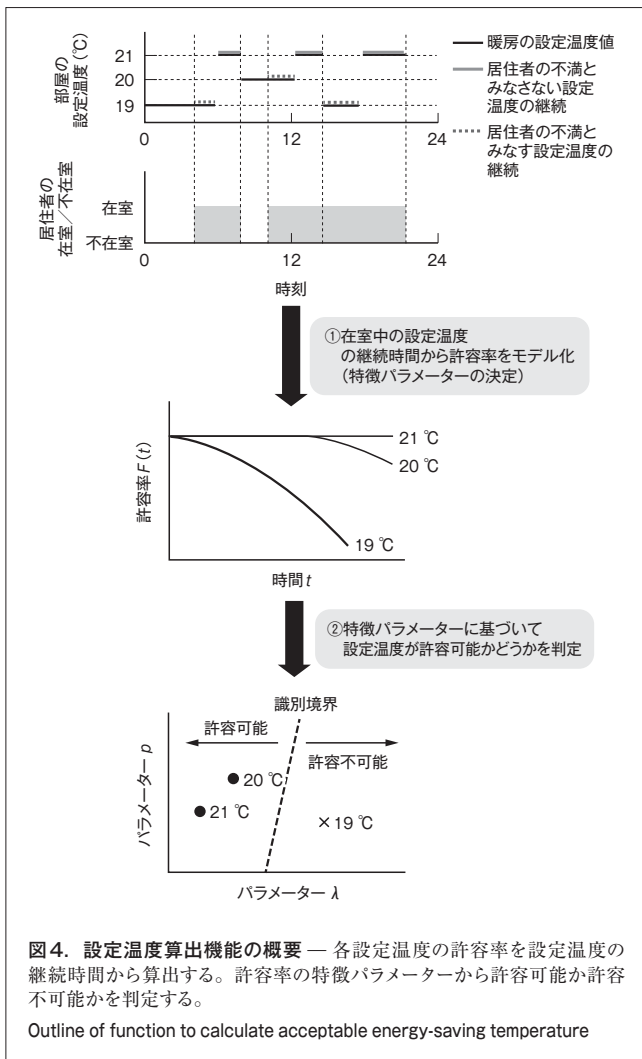
- (2) スタンバイモード（コンフォートモードより2℃低い）
  - (3) リデュースモード（コンフォートモードより4℃低い）
  - (4) フロストプロテクションモード（凍結防止用のモードで、設定温度を固定値の10℃にする）
- 暖房制御ではサーモスタットの設定温度とモードを操作する。

## 3 暖房制御技術

ここではOMOTENASHI HEMS™に搭載した暖房制御技術の設定温度算出機能と自動制御機能の詳細を述べる。

### 3.1 設定温度算出機能

空調の制御対象となる空間の設定温度データから居住者の在室時のものだけを抽出して統計モデルを算出し、更にこの統計モデルの特徴パラメーターを用いて許容可能な温度を推定する機能であり<sup>(4)</sup>（図4）、HEMSサーバーで実現する。暖房制御において、在室時に設定温度がより高く変更されることを、居住者の不満の表れと捉え、設定温度の変化を生存時間解析<sup>(5)</sup>でモデル化する。対象とする空間の設定温度ごとに、当該温度になってから別の温度に設定変更されるまでの継続時間を生存時間解析における生存時間、設定温度の変更を



イベントとみなす。設定温度  $t$  での許容率  $F(t)$  をワイブル分布 (式(1)) によってモデル化し、その特徴パラメーターであるスケールパラメーター  $\lambda$  と形状パラメーター  $p$  を決定する (図4の①)。

$$F(t) = \exp(-(\lambda t)^p) \quad (1)$$

$\lambda > 0, p > 0$

これらの特徴パラメーターと識別境界との位置関係によって、許容可能か許容不可能かを決定する (図4の②)。

算出された許容可能な設定温度の中で、もっとも低い温度を選択することで、快適性を損なわない範囲で省エネな温度に設定できる。許容可能な設定温度よりも低い温度に HEMS サーバーから変更し、その後の設定温度変更履歴からその温度が許容可能かどうかを判定する。許容可能と判定された場合、更なる省エネを実現できる。このようにして居住者の温熱感覚と省エネのバランスを取ることが可能になる。

### 3.2 自動制御機能

居住者の行動を推定することで、更に省エネになる設定温度に変更する機能である。行動推定エンジンの判断結果に基

表 1. 暖房自動制御機能

Automatic heating control function

自動制御機能	動作
A	不在室時にサーモスタットをスタンバイモードにする
B	不在室時にサーモスタットをリデュースモードにする
C	調理時にサーモスタットをスタンバイモードにする

づいて、表 1 に示す 3 種類の制御を HEMS ボックスが実行できる。自動制御機能 A と B は各部屋に設置されているサーモスタットごとに実行可能であり、自動制御機能 C はキッチンに隣接したリビングルームのサーモスタットだけを対象とする。

自動制御機能 A では、不在室と判断した場合、その部屋のサーモスタットをスタンバイモードに変更する。自動制御機能 B では、不在室 (住宅の全ての部屋で不在室) と判断した場合、その住宅の各部屋のサーモスタットをリデュースモードに変更する。自動制御機能 C では、居住者が調理中でかつリビングルームは不在室と判断した場合、リビングルームのサーモスタットをスタンバイモードに変更する。

この HEMS は、居住者が不在室から在室になったと判断した場合に、居住者の快適性に考慮してサーモスタットのモードをコンフォートモードに変更する自動制御機能を持っているが、この動作は省エネにつながらないため評価実験は行わなかった。

## 4 評価実験

以下の評価実験では、各ヒーターの温水量を調節するバルブの開度が消費した熱量と比例するという仮定に基づいて省エネ率を算出した。

### 4.1 設定温度算出機能の評価実験とその結果

設定温度算出機能の評価するために、2016 年 12 月に以下の実験を行った。

- (1) 居住者に設定温度を 1 週間自由に設定してもらい、その履歴から居住者の快適性を損なわない範囲の設定温度の最低値  $T_a$  を算出する。
- (2) 1 週間の間に設定温度を HEMS サーバーから  $T_a - 1$  °C (下限値は 18 °C) に毎日変更し、その後の設定温度の変更履歴から居住者にとって  $T_a - 1$  °C が快適性を損なわない範囲にあるかどうかを判定する。

実験期間中の在宅状況と住民参加意思に配慮したうえで、36 世帯中 23 世帯で設定温度算出機能の省エネ性の評価を行うことができた。評価結果を表 2 に示す。設定温度は評価できた世帯の平均で 0.7 °C 低下することを確認した。23.6 % の省エネ率という結果が得られ、設定温度算出機能の有効性を確認できた。



表2. 設定温度算出機能の評価結果

Result of evaluation of function to calculate acceptable energy-saving temperature

設定温度の低下 (平均)	省エネ率
0.7℃	23.6%

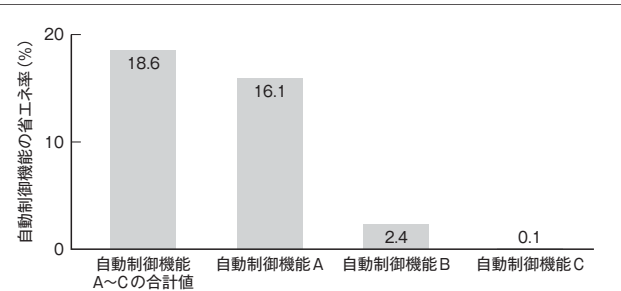


図5. 暖房自動制御の評価結果 — 暖房自動制御全体の省エネ率のほとんどが自動制御機能Aによって与えられる。

Results of evaluation of automatic heating control function

## 4.2 自動制御機能の評価実験とその結果

自動制御機能の評価実験を2017年1月に実施した。

36世帯のうちの18世帯で自動制御機能を利用可能、残りの18世帯で利用不可能(サーモスタットに対する手動操作とWeb画面からの遠隔操作は可能)に設定し、自動制御機能の有効性を確認した。

図5に、自動制御機能A~Cの省エネ率とその合計値を示す。自動制御機能A~Cの合計で省エネ率は18.6%となり、そのうちの大部分は自動制御機能Aによって実現されたことがわかる。自動制御機能Bは1割程度の寄与であるが、自動制御機能Cの寄与はほとんどない。自動制御機能Aの寄与度が大きい原因は、Bに比べて利用率が高いことと、HIKARIビルでは高齢者の割合が多く、在宅はしていても不在室の時間が長いことにあると考えられる。自動制御機能Cは調理中の時間帯だけを対象としており、この機能が動作している時間は長くないため寄与度が低い。

居住者が不在宅の場合だけでなく、不在室の場合にも部屋の設定温度をこまめに低くすることで、全体として20%近い省エネを実現できることがわかる。

## 5 あとがき

PEB化実証実験が行われたHIKARIビルの住宅部分の36世帯向けに、当社独自のOMOTENASHI HEMS™を開発し、設定温度算出機能と自動制御機能の二つの暖房制御機能を搭載した。各機能の評価実験を行い、その有効性を確認した。OMOTENASHI HEMS™はHIKARIビルの住民からも

好評で、実証実験後も継続して利用される予定である。

設定温度算出機能は住宅だけでなくオフィスでも利用可能であり、HIKARIビルのオフィス部分で夏季の冷房及び冬季の暖房運転時に実験を行い、省エネ率が25%を超えることを確認した。今後は、家庭向けに開発したこの技術を、オフィスなどでも実用化できるように最適化する開発を進めていく。

## 文 献

- IEA. "Energy Policies of IEA Countries - France 2016 Review". IEA. <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/energy-policies-of-iea-countries---france-2016-review.html>>. (accessed 2017-04-24).
- Eurostat. "Final energy consumption by sector". Eurostat. <<http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdpc320&plugin=1>>. (accessed 2017-04-24).
- 西村信孝 他. フランス リヨン市におけるスマートコミュニティ実証事業の取組み. 東芝レビュー. 70, 2, 2015, p.17-21.
- 矢野 亨 他. フランス実証実験データに基づく許容可能な温度推定方式の評価. 2017年電子情報通信学会総合大会講演論文集. 名古屋, 2017-03, 電子情報通信学会, 2017, AI-4-6.
- 赤澤宏平 他. サバイバルデータの解析 — 生存時間とイベントヒストリデータ. 近代科学社, 2010, 169p.

- KNXは、KNX Associationの商標又は登録商標。
- ZigBeeは、ZigBee Allianceの商標又は登録商標。



矢野 亨 YANO Toru, Ph.D.

技術統括部 研究開発センター システム技術ラボラトリー研究主務、博士(工学)。データマイニング技術、空調制御技術、及びHEMSの研究・開発に従事。電気学会会員。System Engineering Lab.



黄 静君 HUANG Chingchun

インフラシステムソリューション社 事業開発センター 総合エンジニアリング部。フランス リヨンスmartコミュニティ実証事業において、住宅及びビル中央監視制御システムのシステム設計と開発に従事。Business Development & Promotion Center



今原 修一郎 IMAHARA Shuichiro

技術統括部 研究開発センター システム技術ラボラトリー主任研究員。データマイニング技術の研究・開発に従事。情報処理学会、人工知能学会、電気学会会員。System Engineering Lab.