

多店舗展開企業の省エネに貢献する店舗向けエネルギー消費シミュレーター

Energy Consumption Simulator Promoting Efficient Energy Saving for Individual Stores of Retail Chains

金川 桂子 KANAGAWA Keiko 酢山 明弘 SUYAMA Akihiro

コンビニエンスストアなどの多店舗展開企業では、環境問題や経費削減への対応から、省エネ推進が経営課題の一つになっている。このため、地域の気候や設備機器などが異なる条件を考慮し、それぞれの店舗の実情に応じた店舗ごとの消費電力量を試算できるツールが求められている。

そこで、東芝グループは、地域の気象条件を考慮し、空調機や要冷機器などの店舗設備機器の消費電力量を算出する店舗向けエネルギー消費シミュレーターを開発した。全国展開するコンビニエンスストアをモチーフに、コンビニエンスストアを模擬した試験室や実店舗での測定データとシミュレーション結果を用いた精度検証を行って、その有用性を確認した。また、夏季の空調機の設定温度による消費電力量の低減検討を行い、地域によって最適な設定温度が存在することを明らかにした。

Retail chains operating retail outlets such as convenience stores in Japan have recently been facing various management issues, including how to reduce their environmental burden and operating expenses through saving energy in each of their stores. In this context, attention is being increasingly focused on tools to estimate energy consumption according to the actual situation of individual stores, taking differences in the regional climate and installed equipment into consideration.

The Toshiba Group has developed an energy consumption simulator for convenience stores that can simulate the energy consumption of store equipment, including air-conditioning, ventilation, heat source, and condensing units, considering the seasonal and daily variations in the climate of each region. We have conducted accuracy verification tests using data obtained in a test room and at various actual convenience stores and confirmed the effectiveness of this simulator. The results of an investigation into reducing the energy consumption of air-conditioning equipment in the summer season have shown that an optimal air-conditioning setting temperature exists for each store according to the conditions of each region.

1. まえがき

2015年にパリで開催されたCOP21（国連気候変動枠組条約第21回締約国会議）において、我が国は、2030年度に温室効果ガスを2013年度比で26%削減するという目標値を提出した⁽¹⁾。更に、国連総会でSDGs（Sustainable Development Goals：持続可能な開発目標）が採択され、企業の社会的責任として省エネを含む環境活動の推進が求められている。

ファミリーレストランやコンビニエンスストアなどの多店舗展開企業も、様々な改善による省エネに取り組んでいる。特に、フランチャイズ制を導入している企業では、電気料金を本部が負担するケースも多く、各店舗の省エネ推進は、経営に直結する重要な課題である⁽²⁾。

店舗におけるこれまでの省エネは、設備機器そのものの高効率化に頼り、店舗全体の省エネ検討は余り行われていなかった。そこで、東芝グループは、地域ごとの気象条件を考慮し、店舗内の温度、湿度、及び気圧の変化により、空調機や要冷機器などの店舗設備機器の消費電力量を算出

できる店舗向けエネルギー消費シミュレーター（以下、店舗シミュレーターと呼ぶ）を開発した。

今回、コンビニエンスストアを模擬した試験室や実店舗を使用して、店舗シミュレーターの精度検証を行い、更に、活用事例として、空調機の設定温度が店舗の消費電力に与える影響をシミュレーションで確認した。ここでは、これらの詳細について述べる。

2. 店舗シミュレーターの概要と特長

店舗シミュレーターは、地域の気温や、湿度、気圧、日射量データといった外気条件と、店舗内の在室人数などの店内条件を入力し、店舗内の温度、湿度、気圧、及び店舗内設備の消費電力量を算出するソフトウェアである。利用者が指定した時間幅での計算を繰り返すことで、1日の店舗内の温度、湿度、気圧、及び各設備機器の消費電力量の変化を算出し、制御方法の改善などに役立てられる。

店舗シミュレーターは、空間モジュール、機器モジュール、及びエネルギー管理システム(EMS)モジュールから構成されている(図1)。

ここで、店舗シミュレーターの特長である空間モジュールと機器モジュールについて、図2を用いて説明する。

空間モジュールは、店舗空間の熱量、水蒸気量、及び空気質量の収支計算を行うモジュールである。店舗空間を、図2(a)に示すように、エリア①～⑤に分割し、ある演算時刻 t に、隣接するエリア及び外気からの流入や、エリア内の機器などで発生する、熱量や、水蒸気量、空気質量などを、エリアに流入する状態量として積算し、次の演算時刻 $t+1$ の温度、湿度、及び気圧を計算する(図2(b))。エリアごとに計算するため、店舗空間の温度や湿度の分布も表現できる。

機器モジュールは、店舗設備機器である要冷機器、空

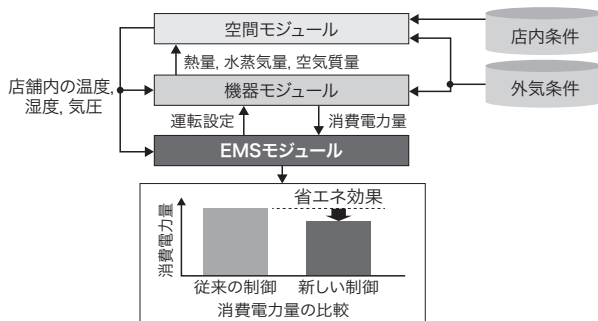
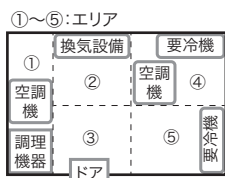


図1. 店舗シミュレーターのブロック図

モジュール化された設計で、店内に設置する設備機器や外気条件の変更だけで店舗の消費電力量が算出でき、制御方法の改善などに役立てられる。

Block diagram of energy consumption simulator for retail stores



(a) エリアの設定

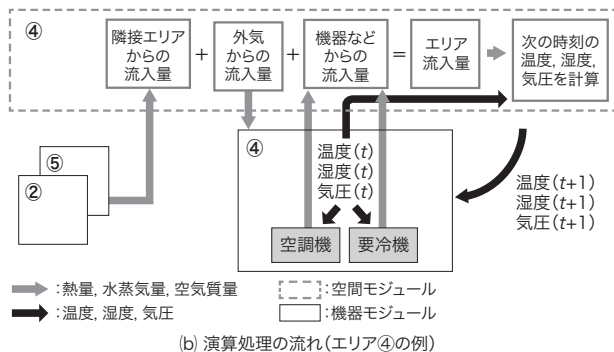


図2. 店舗シミュレーターの処理概要

隣接するエリア及び外気からの流入やエリア内の機器などで発生する状態量を積算し、次の時刻の温度、湿度、気圧を計算する。

Outline of processes of energy consumption simulator for retail stores

調機、換気設備から成る機器モデル群である。各モデルはそれぞれの仕様に応じた機器特性を持ち、機器が設置されたエリアと、外気の温度、湿度、気圧を入力として、同エリアに発生する熱量、水蒸気量、空気質量、及び機器の消費電力量を出力する。これらの入出力項目を統一することにより、機器の変更による店舗内の温度、湿度、気圧、及び店舗の消費電力量の変化を、エリアに設置する機器を選択するだけでシミュレーションできる。

3. 店舗シミュレーターの精度検証

精度検証を行うため、店舗シミュレーターで算出したシミュレーション結果を、試験室及び実店舗での実測データと比較評価した。

3.1 試験室実測データによる精度検証

東芝キャリア(株)が所有するコンビニエンスストア試験室(図3)は、標準レイアウトのコンビニエンスストアを模擬している。外気条件として温度と湿度を設定することができ、これらを変更することで、店舗内の温度と湿度の分布と、消費電力量の実測データが得られる。店舗内の温度と湿度に影響する機器は、空調機のほか、冷蔵・冷凍ショーケースなどの要冷機器や、換気設備などがある。この試験室をモチーフとして、店舗シミュレーターに設定した。

店舗内を六つのエリアに分け、外気条件は夏季を想定して温度32℃、湿度60%とし、店舗内の空調機の設定温度を25℃とした。

図4に、各エリアの温度を示す。実測データとシミュレーション結果は、どちらもショーケース側が窓側より温度が低くなり、同傾向を示した。試験室の店舗内には調理機器や人などの熱源がないため、要冷機器からの冷気漏れにより冷気だまりが発生して気温が下がり、空調機が冷房運転から送風運転に切り替わったが、この現象は、店舗シミュレーターでも再現できた。その結果、どの温度も店舗内の空調機の設定温度である25℃よりも低い値になった。



図3. 標準レイアウトのコンビニエンスストアを模擬した試験室

様々な条件下で、店舗内の温度、湿度、気圧、消費電力量を実測できる。

Test room simulating convenience store

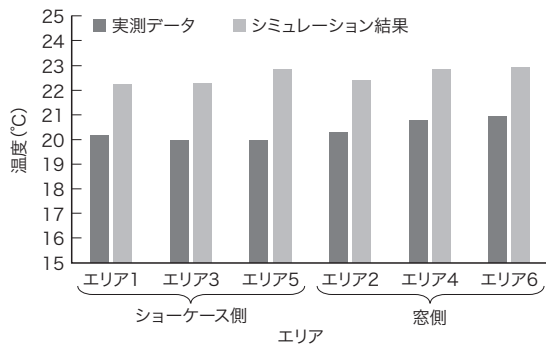


図4. 試験室のエリア別温度の実測データとシミュレーション結果の比較

実測データとシミュレーション結果の温度分布の傾向が一致し、各エリアの温度分布を再現できることを確認した。

Comparison of measured and simulated temperature of each area in test room

しかし、実測データとシミュレーション結果では、各エリアの温度に約2°Cの乖離(かいり)がある。店舗シミュレーターでは、要冷機器モデルに商品が陳列されている状態から作成した特性式を使用した。試験室ではショーケースに商品が陳列されていない状態で試験を行った。このため、ショーケースからの冷氣漏れや店舗内の気流などの違いが発生し、店舗内温度の差になったと考えられる。

図5に、試験室の各設備機器における1時間当たりの消費電力量を示す。設備機器は、空調機、要冷機器、照明、換気設備ほかを比較した。これらの合計が店舗全体の消費電力量に相当する。実測データとシミュレーション結果の消費電力量は、合計値で約3%の差があるものの、全体によく一致していることが分かる。

3.2 実店舗データによる消費電力量の精度検証

次に、全国13地域の夏季(7~8月)における実店舗の

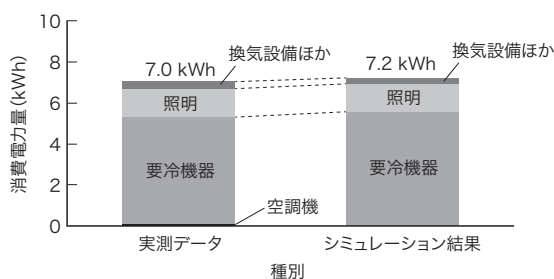


図5. 試験室内の各設備機器における1時間当たり消費電力量の実測データとシミュレーション結果の比較

実測データとシミュレーション結果の消費電力量の傾向が一致し、各機器の消費電力量も精度良く算出できることを確認した。

Comparison of measured and simulated energy consumption of each item of equipment in test room during one-hour period

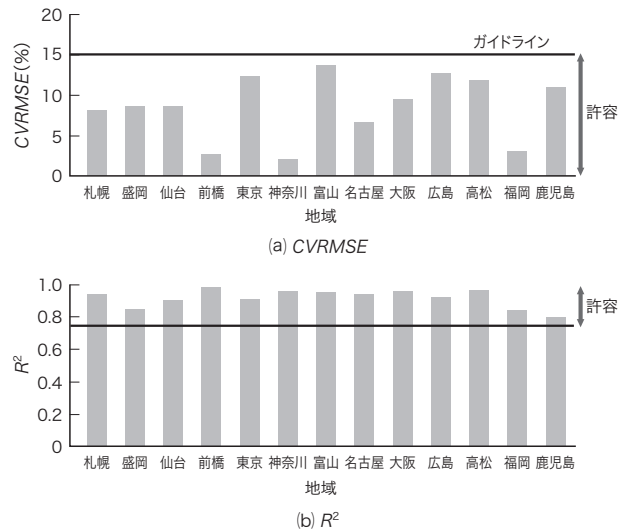


図6. 13地域の夏季の実店舗データとシミュレーション結果に基づく消費電力量の精度評価結果

13地域とも目標精度を達成する評価結果が得られ、地域ごとの気象データを用いて、様々な地域の評価ができることを確認した。

Results of evaluation of accuracy achieved by simulation of energy consumption targeting convenience stores in 13 areas during summer season

月別消費電力量の実測データと、店舗シミュレーターで算出したシミュレーション結果とを比較評価した。

気象条件は、同期間、同地域における気象庁のデータを利用し、空調機の運転モードや設定温度などは実店舗の運用に合わせた。照明や調理器具など、機器モジュールとして定式化していない機器に関しては、実店舗における年間消費電力量に、稼働時間を考慮して算出した平均消費電力量を使用した。また、変動要因となる店舗内の在室人数は実測したCO₂(二酸化炭素)濃度を用いて時間ごとに算出し、熱負荷として与えた。

評価指標としては、回帰分析で用いられるCVRMSE(相対平均二乗誤差)とR²(決定係数)を用い、CVRMSEは15%以下、R²は0.75以上を誤差の許容範囲とするガイドライン⁽³⁾を設定した。

図6(a)(b)に、13地域における夏季の消費電力量の比較評価結果を示す。全国13地域の平均で、CVRMSEは10.9%、R²は0.84であり、店舗シミュレーターによる消費電力量の値が妥当であることが確認できた。

4. 店舗シミュレーターの活用事例

オープンショーケースに代表される要冷機器の消費電力量は、店舗の消費電力量の約30%を占め、店舗内及び外気の温度と湿度が高いほど増加する。このため、オフィスや住宅と異なり、空調機の設定温度を上げても店舗の消費電力

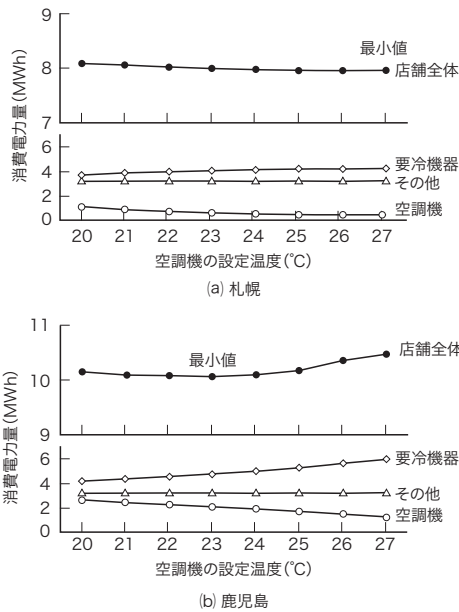


図7. 空調機の設定温度と消費電力量の関係

同じ設備機器でも、地域の気象条件に合わせた空調機設定温度の最適化で、省エネ化が図れることを確認した。

Relationship between air-conditioning setting temperature and overall energy consumption of convenience stores

量が減少するとは限らない。

そこで、店舗シミュレーターを用いて、最も消費電力量が多い、夏季の空調機の設定温度が店舗の消費電力量に与える影響を確認した。店舗のレイアウトや、各機器の構成、機能などは同じである。図7に、札幌と鹿児島夏の夏における、空調機の設定温度と、主な機器の1か月当たり平均消費電力量との関係を示す。

札幌は、平均気温が19.7℃と低いため、27.7℃の鹿児島に比べて全体的に空調機の消費電力量は小さい(図7(a))。空調機の設定温度を上げると空調機の消費電力量が下がっていくが、要冷機器の消費電力量は増加した。店舗全体の消費電力量は、設定温度が27℃のとき最小となったが、より低い設定温度との差は僅かであり、空調機設定温度が店舗全体の消費電力量に及ぼす影響は小さいことが分かる。

一方、鹿児島は、空調機の設定温度を上げると空調機の消費電力量の減少分以上に要冷機器の消費電力量が上昇し、店舗全体の消費電力量は空調機の設定温度が23℃前後のときに最小になることが分かった(図7(b))。

このように、地域特有の外気条件によって空調機の設定温度による省エネ効果が異なる。これは、特に、外気温による空調機の消費電力量が示す割合の差と、要冷機器の消費電力量に影響する湿度が関係していると考えられる。

要冷機器の消費電力量は、高湿度であるほど増加する傾向にある。店外の湿度が高いほど、店舗内への水蒸気流入量は多く、空調機の除湿量との兼ね合いで店舗内の湿度が決まるが、空調機は設定温度を上げるほど除湿量が減少する。札幌に比べて外気の湿度が高い鹿児島では、空調機の設定温度を高くすると、店舗内の湿度が上がって要冷機器の消費電力量が増加し、店舗全体の消費電力量の増加につながったと考えられる。

5. あとがき

店舗シミュレーターの開発により、指定した外気温、外気湿度、日射量などの条件下で、空調機、要冷機器、換気設備などの運転設定に対する、店舗内の温度、湿度、気圧、及び機器の消費電力量を算出することが可能になった。試験室や実店舗で取得した実データと比較して、シミュレーションの精度が十分であることを確認した。また、活用例として、空調機の設定温度と消費電力量の関係についてシミュレーションを行い、地域により最適な設定温度が異なることを示し、この店舗シミュレーターの有用性を示した。

今後、多店舗展開企業向けなどを対象に、店舗で消費される電力量を削減するため、全国の気象条件に適した店舗内機器の連携制御などに活用していく。

文献

- (1) 環境省. 「地球温暖化対策計画」の閣議決定について. 報道発表資料. <<https://www.env.go.jp/press/102512.html>>, (参照 2020-04-01).
- (2) 日本フランチャイズチェーン協会 (JFA). “コンビニエンスストアにおける地球温暖化対策の取組み ～低炭素社会実行計画2016年度実績報告～”. 2017年度第1回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会 流通・サービスワーキンググループ. 東京, 2018-01, 経済産業省, 2018, 資料5-1, 20p. <https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/ryutsu_wg/pdf/h29_001_05_01.pdf>, (参照 2020-04-01).
- (3) Ruiz, G. R. ; Bandera, C. F. Validation of Calibrated Energy Models: Common Errors. Energies. 2017, 10, 10, 1587. <<https://www.mdpi.com/1996-1073/10/10/1587/pdf>>, (参照 2020-04-01).



金川 桂子 KANAGAWA Keiko
東芝キャリア (株) 技術統括部
コアテクノロジーセンター
Toshiba Carrier Corp.



酢山 明弘 SUYAMA Akihiro, Ph.D.
東芝インフラシステムズ (株) インフラシステム技術開発センター
システム制御・ネットワーク開発部
博士 (工学) 情報処理学会・人工知能学会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.