

店舗における省エネルギーの施策

Energy-Saving Measures for Stores

宮越 智也 MIYAKOSHI, Tomoya

水澤 竜也 MIZUSAWA, Tatsuya

コンビニエンスストアをはじめとする店舗において、さらなる省エネルギー（省エネ）が求められている。その一方で、店舗内の快適性と両立も必要とされている。そこで、予想平均温冷感申告（PMV：Predicted Mean Vote）と呼ばれる指標を用いて、店舗内環境の解析を実施した。解析の結果、夏季の空調の温度設定を制御することが有効であることが分かった。また、冬季の低温の外気を利用してショーケースの負荷を低減する外気導入システムを開発した。熱流体解析ソフトウェアを用いて解析した結果、標準的な店舗に設置されるショーケースで 1.84 kWh の消費電力量を低減できる。

Retail outlets such as convenience stores have been further required to save energy. Meanwhile, store comfortability is also needed. Fuji Electric's store environment analysis using an index called predicted mean vote (PMV) suggested the effectiveness of controlling the temperature setting of air conditioners during the summer. We have also developed an outside air intake system to reduce the load on showcases by using cold outdoor air during the winter. The results of using thermal fluid analysis software showed that the system can reduce the power consumption of showcases installed in typical stores by 1.84 kWh.

1 まえがき

社会的要請の強まる地球温暖化対策に貢献するため、コンビニエンスストア業界でもさまざまな省エネルギー（省エネ）に取り組んでおり、店舗運営においてもさらなる消費電力量削減が求められている。店舗での省エネ施策として空調を弱めることが考えられるものの、その結果として店舗内の快適性を損ない、来客数、売上げに影響することが懸念され、簡単には採用できない。富士電機ではこれまで、ショーケースなどの機器単体の高効率化の追求や空調効率を改善する正圧化制御システムを開発し、店舗の消費電力量削減に貢献してきた。そして、さらなる省エネに貢献するため、機器・システムの個別最適ではなく、快適性まで考慮した店舗全体の消費電力量を削減する総合的な省エネに向けた取組みを始めている。

本稿では、ショーケースなどの機器、正圧化制御システムに加えて、空調、換気まで含めた運用方法に着目し、店舗全体の視点から省エネと快適性を両立する施策について述べる。

2 店舗における省エネルギーの課題

図1に店舗の代表的な設備別消費電力量の割合を示す。⁽²⁾富士電機が省エネに貢献できる空調設備、冷凍冷蔵設備、加熱保温設備が7割以上を占めている。これまでに消費電力量の大きかった冷凍冷蔵設備であるショーケースの効率化を進めてきており、加熱保温機器と同等にまで消費電力量を削減している。さらに、店舗内の気圧を店舗外の気圧よりもわずかに高い圧力を保つことで空調設備の運転効率を改善する正圧化制御システムを開発した。現在の消費電力量の割合の違いは、図1のように冷凍冷蔵設備 25%、

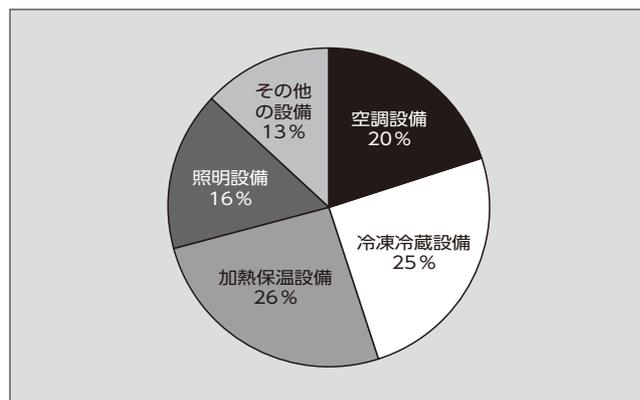


図1 設備別消費電力量の割合

加熱保温設備 26% が空調設備 20% と同程度となっている。

これまでは前述のような個別最適化を追求してきたものの、熱機器は互いの消費電力に影響を与える存在である。つまり、さらなる省エネのためには、これらの機器やシステムの運転条件を協調させて店舗全体の最適化に取り組む必要がある。

店舗全体として消費電力量を削減するためには全体の熱収支を見える化する必要がある。そこで図2に示した富士電機三重工場の敷地内に設置した実験用模擬店舗を利用し、実際の店舗の熱収支を調査した。図3は6月のある一日における店舗への侵入熱量を時系列に表したグラフである。店舗への侵入熱量は夜間と昼間で3倍以上も変化することが確認できる。さらに、店舗への侵入熱量は一日の変化だけでなく、季節による変化も大きい。このような外部環境の変化に応じた省エネ施策を検討する必要がある。



図2 実験用模擬店舗の外観

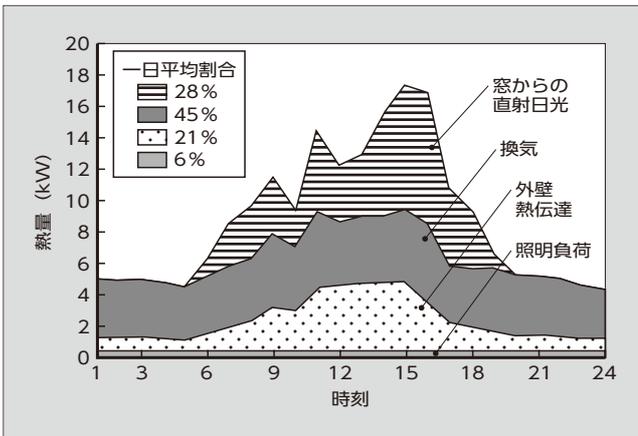


図3 店舗への侵入熱量の割合

③ 省エネルギーと快適性を両立させるための検討

3.1 店舗全体のモデル化

店舗全体の消費電力量や店舗内の快適性は、外部環境である季節や天気の影響を大きく受ける。図2の模擬店舗は屋外に設置されているのでそれらの影響を制御することができないため、省エネ施策の効果を模擬店舗で計画的に実証することが難しい。そこで、店舗全体をモデル化してシミュレーションを活用することにした。図4に店舗室内解析に用いたモデルを示す。図2の模擬店舗と同じように空調やショーケース、雑誌棚などを配置した。また、空調設定値や正圧化制御システムの換気量のほかに、空調運転台数も変更できるようなモデルとしている。さらに、外的な環境要因として、外気温と日射量を変更して解析できる。

3.2 快適性の評価指標 PMV

省エネと快適性の両立を検討するためには快適性の評価指標を導入する必要がある。そこで、本稿では予想平均温冷感申告 (PMV: Predicted Mean Vote) と呼ばれる指標を用いた。PMVはファンガーが導出した快適方程式を基に発表したものであり⁽³⁾、1994年に国際標準となっている。PMVは体感温度ではなく温冷感を指標にしたことが特徴的で、温冷感を決定する環境側の4要素〔空気

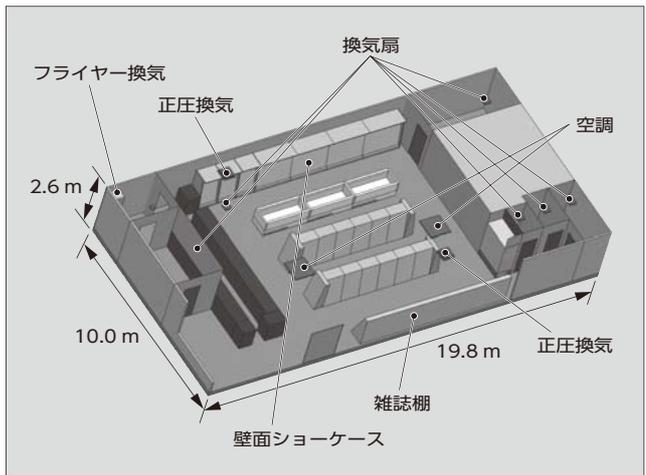


図4 店舗室内解析に用いたモデル

温度 (°C)、相対湿度 (%)、風速 (m/s)、熱放射 (°C)) に、人間側の2要素〔代謝量 (met)、着衣量 (clo)〕を加えて算出するものである。PMVの評価尺度は、温熱環境に不満足や不快さを感じる人の割合を示した予測不快者率 (PPD: Predicted Percentage of Dissatisfied) に基づいている。表1に温冷感に対するPPDとPMVを示す。PMVでは、PMV=0の状態を中立とし、PMV=±3では99%もの人が不快に感じるとされている。

3.3 解析による省エネルギーと快適性の相関評価

(1) 解析条件

3.1節で述べたモデルを用いて、熱流体解析ソフトウェアによる解析を行った。解析条件には実験計画法を用いて因子割付けを行い、各因子の影響を求めた。表2に解析パラメータの条件を示す。ここで、空調の吹出角度とは天井と水平に吹出す場合を0°とし、空調の運転台数とは通常2台稼働しているものをそれぞれ独立して動かすことを示している。また、制御因子については基準となる値も記載した。PMVの算出には、人間側の要素では、屋外からの来客の服装を想定し、夏季では一般的な夏服を表す着衣量として0.6cloとし、冬季では防寒着を着た状態を表す着衣量として2.0cloとした。代謝量は夏季も冬季も立った姿勢の場合を表す1.4metとした。省エネとPMVを評価するために感度分析によって、各因子が空調、換気、冷凍設備を合計した総合消費電力 (省エネ性) と店舗内空間

表1 温冷感に対するPPDとPMV

| 温冷感 | PPD (予測不快者率) (%) | PMV (予想平均温冷感申告) |
|-------|------------------|-----------------|
| 暑い | 99 | +3 |
| 暖かい | 75 | +2 |
| やや暖かい | 25 | +1 |
| 中立 | 5 | ±0 |
| やや涼しい | 25 | -1 |
| 涼しい | 75 | -2 |
| 寒い | 99 | -3 |

表2 解析パラメータの条件

| | 因子 | 解析条件 (基準) |
|------|---------------|----------------------------------|
| 制御因子 | 空調設定温度 (°C) | 22、25、28 (基準: 25) |
| 環境要因 | 空調吹出風量 (m³/h) | 1,200、1,620、1,800 (基準: 1,620) |
| | 空調吹出角度 (°) | 20、40、60 (基準: スイング) |
| | 空調運転台数 | 1台、2台 (基準: 2台) |
| | 正圧化換気量 (m³/h) | 1,000、1,400、1,800 (基準: 自動) |
| | 外気温 (°C) | 夏季 28、32、36 冬季 0、5、10 |
| | 日射 | 日射なし、遮光、日射あり |

を平均した PMV (快適性) に与える影響度を明らかにし、省エネ制御を行うための方法を検討した。

(2) 解析結果

図5に夏季条件の総合消費電力と PMV の感度分析結果を、図6に冬季条件の総合消費電力と PMV の感度分析結果を示す。左側縦軸と黒色のプロットは総合消費電力であり小さい方が望ましい。また、右側縦軸と灰色のプロットは PMV であり、これは 0 に近いほうが良い。

夏季条件において、制御因子の空調吹出角度に着目すると、吹出角度が大きいほど消費電力は小さく、PMV は大きくなっており、省エネと快適性の両立が難しいことが分

かった。PMV の傾きが大きいいため、快適性を高めるためには空調吹出角度を小さく保つことが効果的と分かった。また、空調設定温度と正圧化換気量では消費電力と PMV の傾向が同じとなり、省エネと快適性を両立できることが分かった。空調設定温度を下げることで消費電力も PMV も小さくすることができており、一般的に認識されている空調設定温度を上げることで省エネになる傾向とは異なっている。これは、店舗では空調よりもショーケースの消費電力が大きいためであり、空調設定温度を下げることで冷凍設備の消費電力が改善され、総合消費電力が下がることが要因であると考えられる。

冬季条件では、制御因子は消費電力と PMV の傾向が同じであり、省エネと快適性が両立しやすいことが分かった。正圧化換気量に着目すると換気量を増加させるほどに省エネになる。これは夏季と同様に外気によってショーケース周辺の温度が下がり、冷凍設備の消費電力が下がったことが要因であると考えられる。

この解析では屋外からの来客を想定しているため、店舗内に常駐する店員や移動手段の異なる来客では PMV に差が表れることが予想できる。これらの検証は今後の課題である。

3.4 冬季の省エネルギーと快適性を両立させる施策案

夏季条件の解析から、ショーケース周辺の温度を下げることで、店舗全体の消費電力削減に有効であることが分

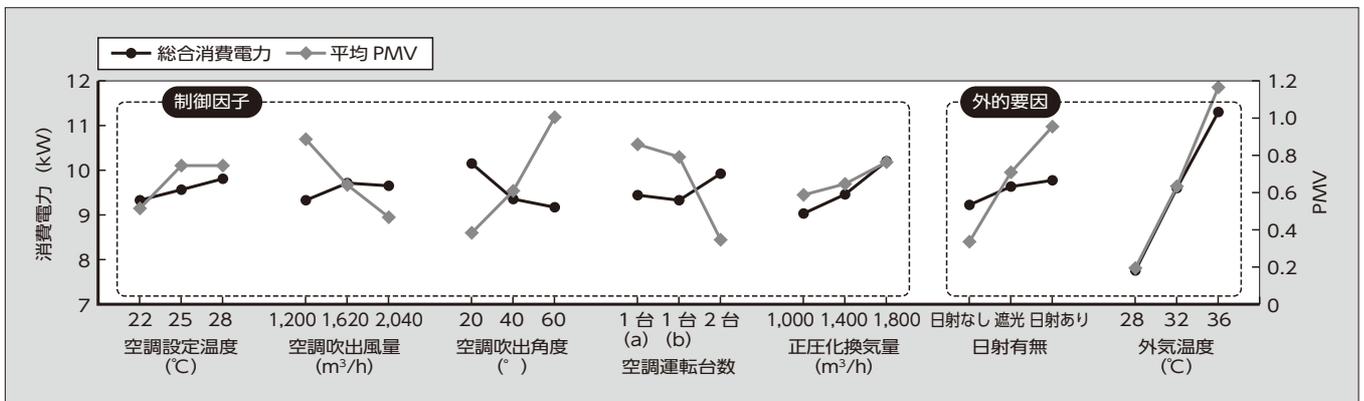


図5 夏季条件の総合消費電力と PMV の感度分析結果

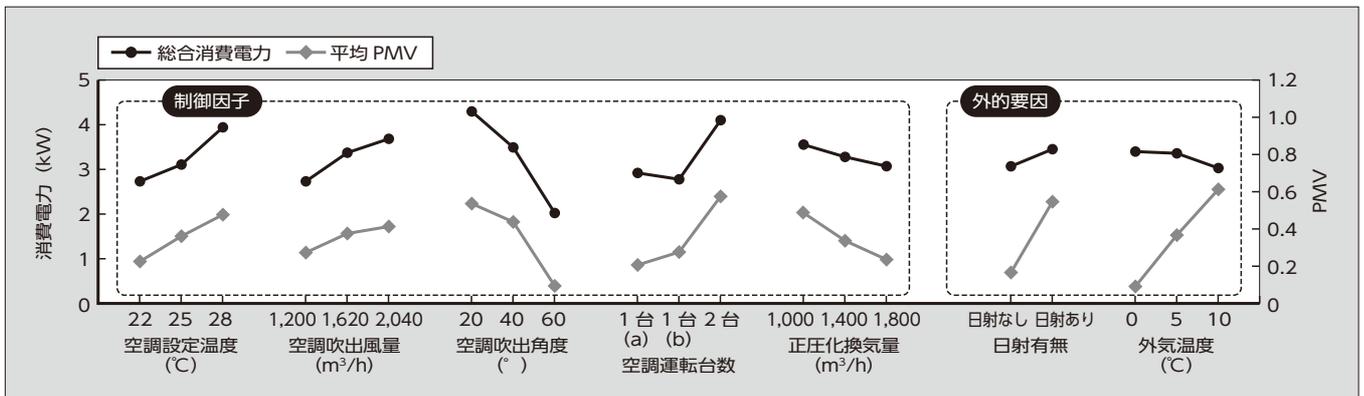


図6 冬季条件の総合消費電力と PMV の感度分析結果

かった。このことから、冬季における省エネの施策として、換気により低温の外気を有効に利用する方法として外気導入システムを検討した。図7に外気導入システムの概要を示す。冬季の低温の外気をショーケースの上方から下方に向かって吹き出すようにすることで、エアカーテンが店舗内の空気に触れて温められることを抑え、結果的にエアカーテンに供給する空気の冷却に要するエネルギーを減らす効果を期待した。

外気導入システムの省エネ効果を熱流体解析ソフトウェアを用いて計算した。図8に吹出風量に対する3尺ショーケース1台当たりの消費電力量を示す。外気温度を5℃とし、外気の吹出風量を変化させてショーケースにかかる熱負荷を計算し、ショーケース1台当たりの消費電力量を算出した。外気導入の吹出風量が増加するほど消費電力量が減少することが分かった。図6で示している正圧化換気量が最大風量である1,800 m³/hの場合では、0 m³/hと比較して、消費電力量を0.23 kWh 低減ができることが

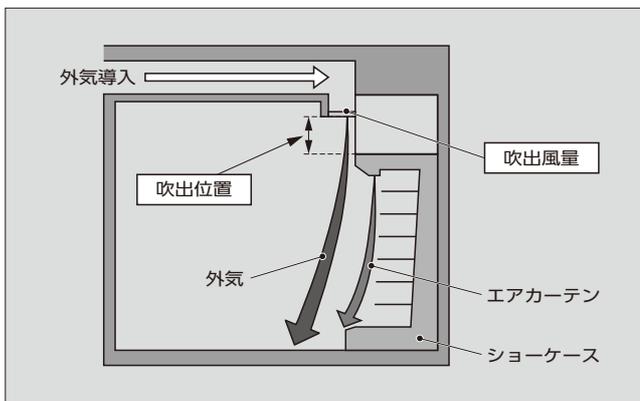


図7 外気導入システムの概要

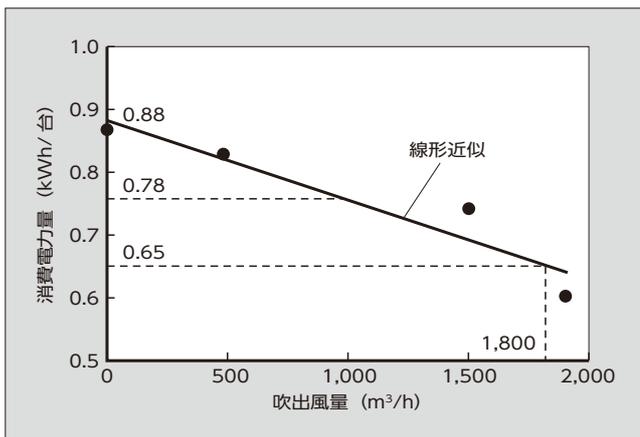


図8 吹出風量に対する3尺ショーケース1台当たりの消費電力量

分かった。店舗形態によりショーケースの構成が異なるが、標準的な店舗で設置される24尺分で1.84 kWhの消費電力量を低減できる。

4 あとがき

本稿では、店舗における省エネルギー（省エネ）の施策について述べた。空調や換気が快適さと省エネに与える影響を明らかにするとともに、夏季には空調の温度設定、冬季では外気を有効活用することで省エネと快適さを両立する可能性を見出した。今後は、これらの解析で得た知見を実験用模擬店舗での長期評価にて実証し、快適性を加味したコンビニエンスストアの省エネ設計指針を確立する所存である。

参考文献

- (1) 寺脇宏幸ほか. 店舗全体の省力化と省エネルギー化を実現する店舗空調ソリューション. 富士電機技報. 2019, vol.92, no.1, p.31-35.
- (2) 経済産業省. 2021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. “チェーンストア業界のカーボンニュートラル行動計画フェーズ「低炭素社会実行計画」(2020年目標)”. https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyuu_kankyo/ryutsu_wg/pdf/2021_001_05_02.pdf, (参照 2022-08-09).
- (3) P.O.Fanger, Thermal comfort, Danish Technical Press, 1970.
- (4) 公益社団法人 日本冷凍空調学会. 最近気になる用語. “66. PMVとPPD指標”. <https://www.jsrae.or.jp/annai/yougo/66.html>, (参照 2022-08-09).



宮越 智也

店舗省エネルギーシステム技術の開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部先端技術研究所エネルギー技術研究センター熱エネルギー技術研究部主任。



水澤 竜也

店舗省エネルギーシステム技術の開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部先端技術研究所エネルギー技術研究センター熱エネルギー技術研究部主任。博士（工学）、日本伝熱学会、電気化学会、日本機械学会会員。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。