環境評価試験室

特集

遠藤　行雄（えんどう　ゆきお）　中山　伸一（なかやま　しんいち）　松本　悟史（まつもと　さとし）

1　まえがき

近年，コンビニエンスストア（CVS）業界では，収益改善のためのイニシャルコスト，ランニングコストの低減および省エネルギー推進を主とした環境問題への取組みが重要課題となっている。京都議定書の発効により日本に義務づけられた温室効果ガスの削減目標は，CVS 業界の省エネルギーへの取組みをさらに加速していくであろう。

このような状況の中，富士電機は空調機，ショーケースを含む CVS 店舗全体の省エネルギーシステムを評価・試験できる環境評価試験室を導入したので，その概要について紹介する。

2　環境評価試験室

2.1　必要性

CVS チェーンの省エネルギーに関する要求は，機器単体の性能から店舗全体の総合プランへと移行しており，機器メーカーからは店舗全体を制御するシステム商品の発表が相次いでいる。しかし，その総合的な性能評価をフィールドテストで行おうとすれば，少なくとも四季の 1 年間を要するばかりでなく，その立地環境や，気象条件の違いまで考慮した網羅的なテストの実行は不可能といえる。さらに実際に営業している店舗ではショーケースや空調室内機などの機器を自由に入れ替えて試験することはできないという問題もある。したがって，試算した省エネルギー効果を正確に検証することには大きな困難があった。

これを正面から解決する方法の一つは，実際の店舗をすっぽり覆い，全国各地の春夏秋冬，昼夜にわたる外気温湿度や日照を模擬できる試験設備を導入することである。富士電機はそのような環境評価試験室を導入して省エネルギー効果を検証するシステムを構築した。

2.2　概　要

環境評価試験室の外観を**図 1** に，内部の店舗の様子を**図 2** に示す。また，環境評価試験室の構成を**図 3** に示す。

図 1　環境評価試験室の外観

図 2　環境評価試験室の店舗内部

概略仕様と機能を説明する。

(1)　外部環境設定機能

①　店舗外部の温度湿度設定範囲

温度 0 ～ 40 ℃，湿度 20 ～ 80 % RH

②　日射の影響の模擬

日射が店舗に与える熱量をヒータで定量的に模擬する

遠藤　行雄

店舗管理システムの開発設計に従事。現在，富士電機リテイルシステムズ株式会社商品企画本部第二商品企画統括部商品技術部課長補佐。

中山　伸一

冷凍機制御の研究に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社機器技術研究所副主任研究員。日本冷凍空調学会会員，日本機械学会会員。

松本　悟史

熱・流れを中心とした数値解析業務に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社機器技術研究所。工学博士。

図３　環境評価試験室の構成

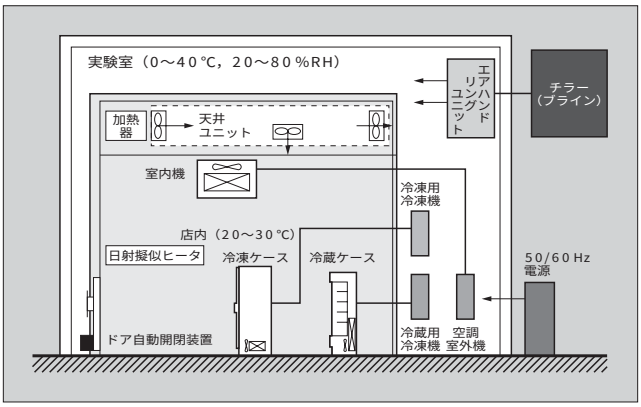
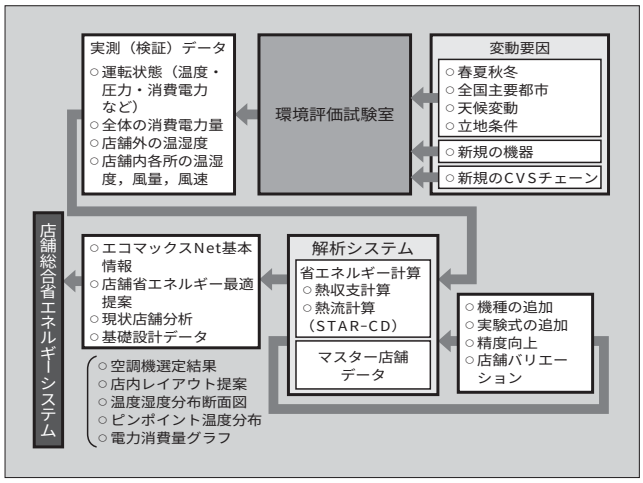


図４　環境評価試験室による省エネルギー検証システム



ことができる。

(2)　店舗内部環境の模擬

CVS チェーンはそれぞれ独自の標準店舗形態によって全国展開を行っているが，環境評価試験室では検討対象の店舗形態に合わせた自由なセッティングが可能である。

①　空調機，冷凍機，ショーケース，棚などは実物を設置して運転することができる。

②　ドア自動開閉装置により，店舗での人の出入りの影響を模擬することができる。

③　店舗内の店員や買物客の人体からの発熱を擬似人体負荷装置で模擬することができる。

(3)　データロギング機能

空調機，冷凍機，ショーケースの運転状態（温度，圧力，消費電力など），店舗全体の消費電力量，店舗外の温湿度，店舗内各所の温湿度，風量，風速など約 300 点を測定して，記録することが可能である。

(4)　全国代表都市の気象データ設定機能

環境評価試験室には全国各地の気象データが蓄積されており，代表都市での月ごとの代表値を設定して計測・試験することができる。このようにして年間にわたる店舗全体の試験データをわずか数日間で収集することが可能となった。

2.3　環境評価試験室による省エネルギー検証システム

環境評価試験室を軸とした省エネルギー効果を検証する流れを説明する（**図４**）。

環境評価試験室と対を成す解析システムは店舗の熱負荷モデルに基づいて，店舗総合省エネルギー制御システムの基本制御データを与えたり，CVS 本部に提案するチェーン全体の省エネルギー対策の枠組みを提供したり，新しいショーケースの基礎設計データを生み出すところである。

解析システム内では，店舗を構成する機器は，ほぼすべてが要素として部品化されており，機器を入れ替えたり，内部レイアウトを変更したりする場合も，これら部品の換装という形でシミュレーションすることができる。

新しいショーケースが試作されれば環境評価試験室で特性が実測され，その分析されたデータは検証済みの新たなモデルとして解析システムに追加登録される。また，解析システムの予測と実測値の間に誤差があれば分析され，修正されて精度の向上が図られる。

各地域の気象統計データが更新されれば，解析システムのデータも更新される。こうして，富士電機の省エネルギー検証システムや店舗総合省エネルギー制御システムは環境評価試験室を基盤として発展・成長していく。

3　熱収支分析

CVS の空調機，ショーケース用冷凍機の最適選定を行うには店舗の熱収支を分析する。つまり店舗の熱負荷，ショーケースの熱負荷を正確に把握する必要がある。しかし，実店舗計測では環境が不安定で要因の特定が難しく精度の高い熱負荷分析ができないので，選定した空調機や冷凍機が最適とはいえない面があった。そこで環境評価試験室を用いて，店舗熱収支分析を行っている。

3.1　CVS 店舗の熱収支

店舗内には**図５**に示すようにフライヤなどの調理機器，業務用冷蔵庫，ショーケース，照明機器，空調室内機，換気扇などが設置されている。発熱負荷として働くのは主に換気による熱侵入，日射による熱侵入，壁面からの熱侵入，照明発熱，人体発熱，調理による発熱である。これら発熱負荷を空調機からの冷気とショーケースの漏れ冷気で冷却し，店内を一定温度に保つことが熱収支を取ることである。

3.2　熱収支の計算例

店外温度 32 ℃・湿度 73 % RH，店内温度 25 ℃・湿度 53 % RH としたときの熱収支計算結果例を以下に記す。

発熱負荷は合計 33 kW である。内訳は，**図５**に示すよう，換気による熱侵入 18.1 kW，日射による熱侵入 7 kW，照明発熱 2.2 kW，人体発熱 2 kW（10 人分），壁面からの熱侵入 1.3 kW，調理機器 2.3 kW である。

換気による熱侵入は，環境評価試験室で実測した換気扇風量と店内外の空気エンタルピー差から求めた。換気扇のようにダクトが使用されている箇所では仕様から追った計

図５　環境評価試験室の熱収支の計算例

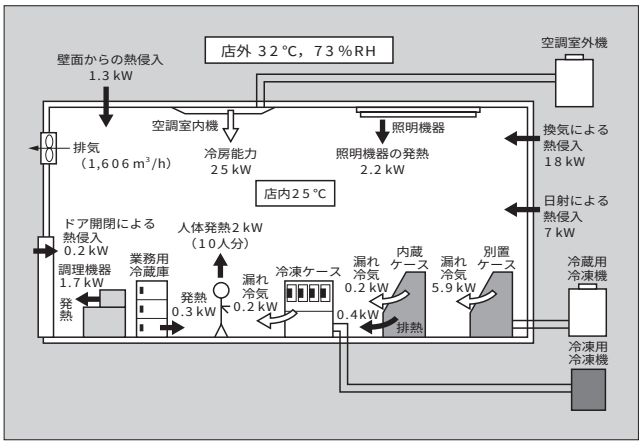


図６　店舗レイアウト例

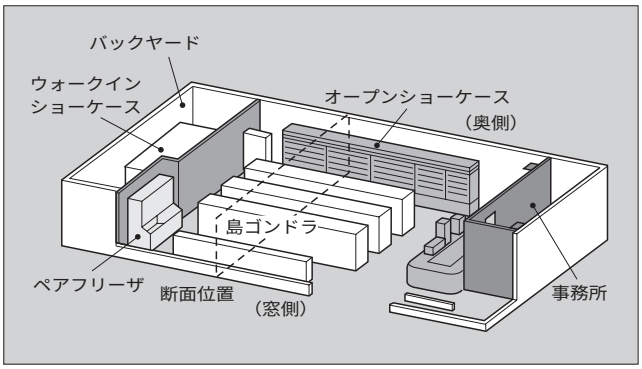


図７　解析結果（高さ 1.5 m の水平断面温度分布）

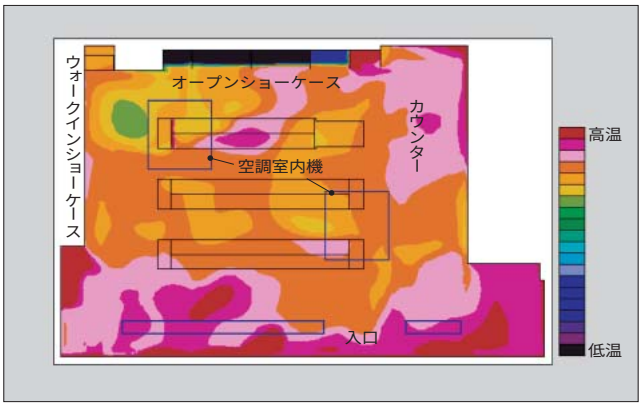
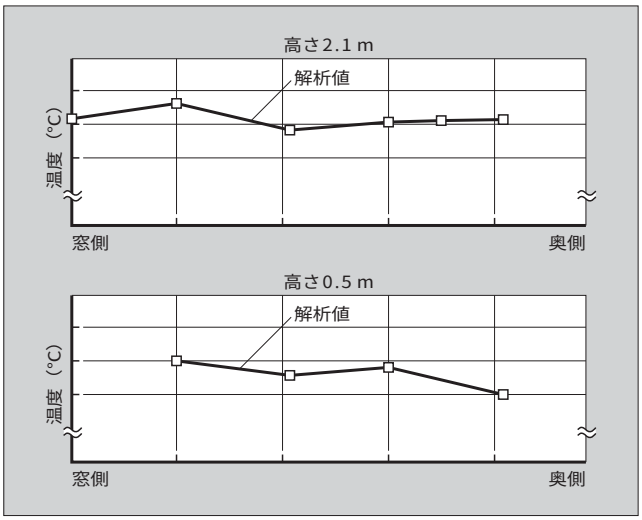


図８　温度のスポット値の出力例



算結果と実際に測定した風量がかけ離れていることが多い。店舗内外の温湿度差が大きい季節には実測値を基礎にして制御しないと熱収支が崩れてエネルギーロスを招く可能性がある。

壁面からの熱侵入は，実験により壁面の熱還流率を求め，店舗内外温度差に基づき算出した。ショーケース漏れ冷気は**図５**に示す計算例では冷凍ケース，冷蔵ケース合わせて 8 kW である。したがって，ショーケース漏れ冷気を考慮すると，空調機に必要な冷房能力は 25 kW となる。

最終的には環境評価試験室でこの結論を検証する。

4　熱・流れ解析

店舗機器レイアウトの最適化を図るための熱・流れ解析について説明する。環境評価試験室導入後は店舗の三次元熱・流れ解析を行う際にそこでの計測結果を加工して境界条件に利用することが可能となった。これによって飛躍的に精度を高めることができた。

4.1　解析ソフトウェアとモデル

図６に本解析に使用した店舗レイアウトを示す。内部はエアコン，オープンショーケース，島ゴンドラ，カウンターおよびその上のスチーマ，天井のダクトなどの形状を再現する。内部空気には自然対流を考慮し，湿度による熱の流出入への影響を考慮するために湿度を計算対象に加える。物性値にも湿度依存性を考慮する。エアコンからの吹出し，吸込み，オープンショーケースのエアカーテン，スチーマの発熱，ウォークイン冷蔵庫の冷却，ダクトにおける空気の吸込みなどを境界条件として与え，日射の影響，天井照明機器の発熱なども考慮する。

異なる季節条件，機器の入替え，内部レイアウトの変更に自由に対応するべく要素の部品化を進めており，本解析モデルの総要素数は約 75 万要素である。解析には熱・流れ解析汎用プログラム「STAR-CD」を用いる。

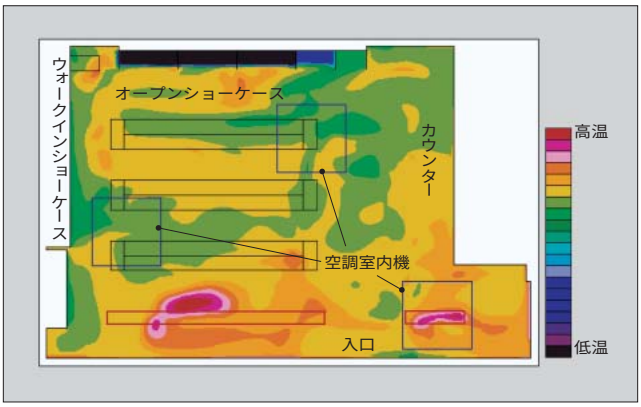
4.2　解析結果

図７に解析結果の例を示す。本図は高さ 1.5 m の水平面における温度分布である。このほか解析結果の速度ベクトル図，湿度分布図などを任意の位置で出図し，また各位置のスポット値を出力することができる。**図８**に温度のスポット値のグラフを示す。本図は**図６**に示した断面における温度分布である。

4.3　店舗レイアウトのバリエーション検討

図９に別店舗形状に適用した例を示す。空調機ダクトの数と位置を変更したものである。変更後の店舗レイアウトでは変更前と比較して空調室内機を１台増設している。そ

図９　空調室内機位置の変更例



の結果，換気性能が向上しており，店舗内の温度分布のばらつきも小さくなっている。店舗内，特に売場スペースにおいて温度の一様性が保たれていることは，良い店舗構造の条件の一つである。したがって，この場合は変更後のレイアウトのほうが変更前よりも優れているといえる。このようにして最適な店舗機器レイアウトの評価を進め，環境評価試験室で検証をする。

5　省エネルギープランの提案

環境評価試験室を利用した省エネルギープランの提案方法について述べる。

まず，提案先の現行店舗における店舗レイアウト・機器構成での実測定を行い，次に提案内容に沿った導入後の店舗レイアウト・機器構成での省エネルギー効果を解析システムにより算出する。このとき部品化されていない機器を引き続き使用する場合は，測定データを基にモデル化して登録する。店舗総合省エネルギーシステムを採用するのであれば，最適運転サービスが可能なように基本情報を構成する。

このようにして提案内容をブラッシュアップしていき，最も優れた提案内容を環境評価試験室で検証する。

季節の変わり目のように外気変動の大きい時期には，仕様から予測される結果と実測データとの乖離（かいり）が激しくなる傾向にあった。環境評価試験室の導入により状態を再現させてモデルを改良していった結果，このような時期でも大きく消費電力を削減することができるようになった。

6　あとがき

環境評価試験室と省エネルギー検証システムについて述べてきたが，環境評価試験室はデータ収集だけでなく，熱収支や熱・流れ解析での店舗比較検証でもメリットが大きい。店舗デザインの提案を省エネルギーについて導入効果検証済みとして紹介できる価値は高いと思われる。

今後は，CVS だけでなくスーパーマーケット機器の試験などにも範囲を広げ有効利用を目指す所存である。

参考文献

(1)　立原敦ほか．サッポロファクトリーにおける積雪寒冷都市型アトリウムの環境・エネルギー計画．空気調和・衛生工学．vol.69, no.12, p.53-p68.

e-Front runners

＊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。