



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	積雪寒冷地域におけるコンビニエンスストアの店内温熱環境及び電力消費特性に関する研究
Author(s)	菊田, 弘輝; 田中, 優里香; 金子, 亮平 他
Citation	日本建築学会環境系論文集, 77(677), 583-590 https://doi.org/10.3130/aije.77.583
Issue Date	2012-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/53619
Type	journal article
File Information	AIJ.JEE.677.583-590.pdf



積雪寒冷地域におけるコンビニエンスストアの 店内温熱環境及び電力消費特性に関する研究

INDOOR THERMAL ENVIRONMENT AND ELECTRICITY CONSUMPTION CHARACTERISTICS OF CONVENIENCE STORES IN SNOWY AND COLD REGIONS

菊田 弘輝*, 田中 優里香**, 金子 亮平***, 羽山 広文****

*Koki KIKUTA, Yurika TANAKA, Ryohei KANEKO
and Hirofumi HAYAMA*

The Revised Law Concerning Energy Conservation Law was enforced, therefore it is necessary for convenience store (CVS) to reduce primary energy consumption. The aim of this study is to clarify the indoor thermal environment and electricity consumption characteristics of CVS in snowy and cold regions. The effects on temperature distribution by the differences in each temperature settings for merchandise management or air-conditioning system, etc. is analyzed. Ratio of electricity consumption and annual energy consumption per unit area are shown, and the valuation method of energy efficiency applicable to CVS is proposed.

Keywords: Convenience store, Prediction model of electricity consumption, Temperature distribution,
Ratio of electricity consumption, Air-conditioning load
コンビニエンスストア, 電力消費予測モデル, 温度分布, 電力消費比率, 空調負荷

1. はじめに

平成20年度省エネ法改正に伴い, これまでの事業所単位から事業者単位(企業単位)のエネルギー管理が義務付けられている。一定の要件を満たすフランチャイズチェーンは省エネ法の適用を受けるため, 企業努力が一層求められている。その1つのコンビニエンスストア(CVS)は国内で約4万5千店舗¹⁾展開され, 一次エネルギー消費原単位は用途別で飲食店に次いで大きいことが報告されている²⁾。現在, 照明設備のインバータ化・調光制御・省エネタイプのIH調理器具等多くのCVSで標準化され, 低炭素社会の実現に向けて環境配慮型店舗や循環型店舗の開発が実験的に行われている。特に3.11の東日本大震災以降, 節電・省エネ意識の高まりから, スマートメーター・LED照明・太陽光発電等が新築・既存問わず積極的に導入され始めている。

このようなCVSを取り巻く環境の変化に対し, 学術的な取り組みとして製造・販売・流通等の商学や経営学, 立地・防犯等の地理学や社会学が先行している。一方, 環境工学における取り組みは未だ少ない状況ではあるが, 非住宅建築物の環境関連データベース^{3)~4)}, 坂本らのCVSの省エネルギー化に関する研究^{5)~7)}, 小松らのCVSの冷暖房負荷に関する研究^{8)~9)}等で報告されている。

そこで, 本研究では既往研究では扱われていない積雪寒冷地域を対象とし, CVSの店内温熱環境及び電力消費特性を明らかにすることを目的とする。具体的には, ①建築・設備仕様や運用状況を統計的に整理し, 電力消費量に対する要因分析に基づくCVSの電力消費予測モデルを作成する。②CVS特有の商品管理上の各設定温度や空調方式等の違いが及ぼす温度分布への影響を分析する。③CVS特有の電力消費比率と年間エネルギー消費原単位を示し, CVSに適用可能なエネルギー効率の評価方法を提案する。④地域性と実行性を考慮した上で, 空調負荷に焦点を当てて建築的対応かつ運用改善による削減効果を定量化する。ちなみにCVSは独立店舗・ビルイン・店舗兼住宅の3つの店舗形態に分類することができ, 最も一般的な独立店舗を中心に報告し, 季節区分は夏期を6~9月, 冬期を11~4月とする。

2. エネルギー調査

2.1 調査概要

札幌市内に立地するCVS(S社)の256店舗を対象に, 建築・設備仕様や運用状況, 電力消費量を調査した(表1)。本調査はGoogleストリートビュー機能, S社が管理するデータ, 設計事務所が保管する図面, 店舗オーナーへのアンケートに基づいて実施している。

* 北海道大学大学院工学研究院 助教・博士(工学)

** 北海道電力㈱

*** 北海道大学大学院工学院 修士課程

**** 北海道大学大学院工学研究院 教授・博士(工学)

Assist. Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

Hokkaido Electric Power Co., Inc.

Graduate Student, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.

Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

2.2 建築・設備仕様

店舗形態では独立店舗が54[%]で最も多く、以下ビルインが24[%]、店舗兼住宅が22[%]を占めていた。正面方位（開口面積の大きいファサード方位）は立地条件に左右され、全方位で偏りなく分布していた。正面方位に位置する扉は自動ドアよりも手動ドアの方が多く、戸建住宅で普及する玄関フードのような熱的な干渉空間は一部のビルインに限られている。

築年数では10年以下の比較的新しい店舗が64[%]で多く、CVS特有の出店・閉店サイクルが影響していた（図1）。主構造では独立店舗で一般的なS造が最も多く、2×4パネルとトラスを使用することで200[m²]程度で柱のない木造も近年増加している。

売場・店舗面積は120～179[m²]・160～219[m²]の範囲に集中しており、これは戸建住宅の平均延床面積の1.5倍程度に相当する（図2）。断熱・開口仕様では全国画一の標準仕様が幅広く適用され、断熱仕様は積雪寒冷地域の水準に達しておらず、開口仕様ではシングルガラス＋アルミサッシが78[%]を占めていた。空調・受電方式ではダクト接続型・低圧受電が多く、天井カセット型による省エネタイプ＋個別制御の導入も近年増加している（図3）。

2.3 運用状況

アンケート調査に基づく空調設備運用について、設定温度では中央値が本部推奨値（冷房：25[°C]、暖房：21[°C]）に対し、2[°C]程度異なっていた。特に夏期の14～18時は低く設定され、店舗間の差が最大で8[°C]に達していた（図4）。運転モードでは特に中間期に各店舗で大きな違いが見られ、冷房＞送風＞運転なし＞ドライ＞暖房の大小関係を示した。また、夜間に冷房から送風または運転なしへ変更する店舗が比較的多かった（図5）。

更に省エネ活動について、夏期のブラインド開閉は日射遮蔽性能の低いシングルガラスで有効であるが、ファサードの開放性を理由に実行できないと回答する店舗が3割程度を占めていた。一方、中間期の扉開閉は冷房や送風等に係る電力消費量の削減に繋がるが、商品管理上を理由に実行性は更に低かった（図6）。

2.4 電力消費量

積雪寒冷地域におけるCVSの場合、エネルギー消費の大半は動力系（冷凍・冷蔵や空調等）の電力消費、電灯系（レジ販売や照明等）の電力消費、融雪用（ロードヒーティングや除排雪）の灯油消費である。ただし、立地条件や店舗形態等に応じて融雪エリアは大きく異なるため、本研究でのエネルギー消費量は融雪用を除く動力系と電灯系の電力消費量とする。

全店舗（n=177）と独立店舗（n=102）を対象に、店舗面積を基準とした単位床面積当たりの月間電力消費量を箱髭図の形で表記している（図7）。全店舗の電力消費量は各店舗で大きくばらつき、冬期に最高値が最低値の3倍程度に達しており、これは積雪寒冷地域におけるCVSの重要な課題である。独立店舗に限定すると、全店舗よりも各

表1 調査データ概要

項目	有効データ数n	内容
店舗	256	札幌（2010/8/21時点）
店舗形態	231	独立店舗、ビルイン、店舗兼住宅
正面方位	231	開口面積の大きいファサード方位
築年数	206	
主構造	181	S造、木造、RC造、SRC造
売場・店舗面積	195・195	事務所・倉庫等を含まない延床面積・含む延床面積
断熱・開口仕様	114・120	天井、壁、床仕様・窓仕様
空調・受電方式	205・208	ダクト接続型、天井カセット型・高圧受電、低圧受電
空調設備運用	48(最大)	設定温度、運転モード等
省エネ活動	50(最大)	ブラインド開閉、扉開閉等
電力消費量	199	2009/4～2010/3(各月)

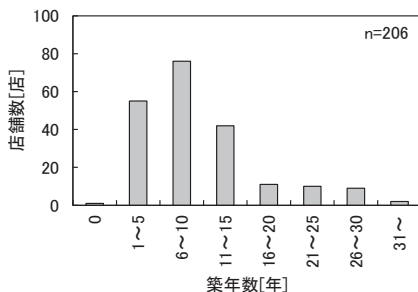


図1 築年数

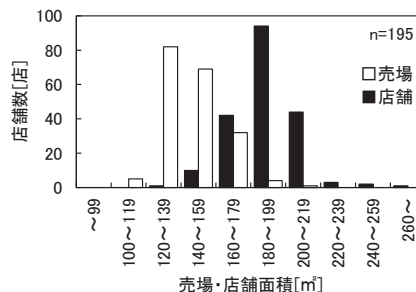


図2 売場・店舗面積

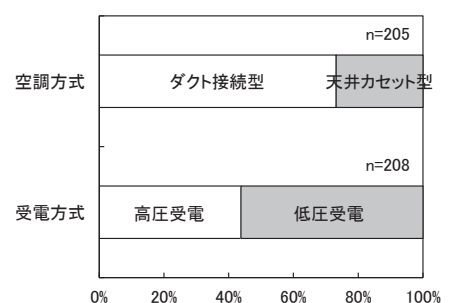


図3 空調・受電方式

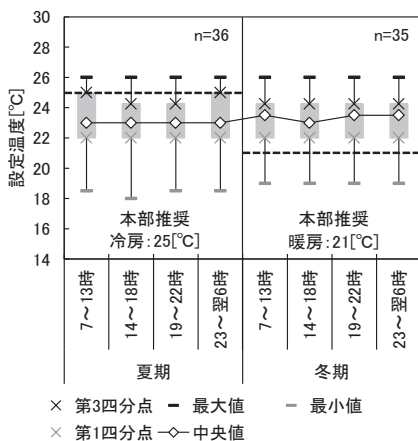


図4 設定温度

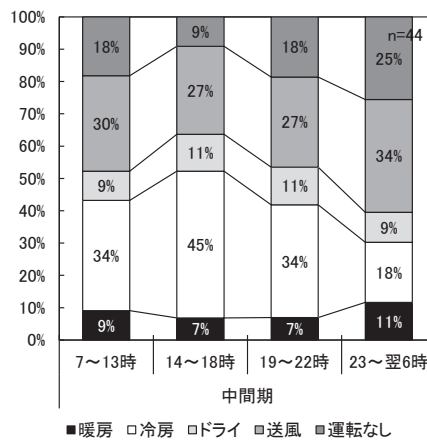


図5 運転モード

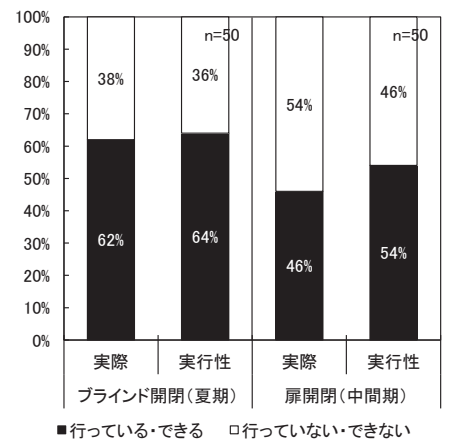


図6 省エネ活動

店舗のばらつきは抑制され、冷暖房のピーク月となる8月の平均値は92[kWh/㎡・月]、1月の平均値は96[kWh/㎡・月]であった。また、2009年度の年間電力消費量は平均で1034[kWh/㎡・年]、店舗間の差は最大で487[kWh/㎡・年]であることが確認された。同じく独立店舗を対象とした年間電力消費量に対し、築年数では全体の相関は弱かったが、築8年以下の場合に最も強い相関を示し、年数に応じて電力消費量の増加が確認された(図8)。対照的に店舗面積の増加に伴う電力消費量の減少が確認され、150[㎡]の場合に約1144[kWh/㎡・年]、200[㎡]の場合に2割減の930[kWh/㎡・年]であった。

2.5 電力消費量に対する要因分析

電力消費量は各店舗で大きく異なることがわかり、続いてその要因を分析した。年間及び月間(冬期・夏期)の電力消費量を対象とし、これを目的変数とする重回帰分析を行った。これまでの建築・設備仕様や運用状況を説明変数とし、空調・受電方式のみダミー変数を用いている。

まず説明変数の影響度を把握するため、多重共線性を考慮しながら重回帰分析を行い、そこから得られる標準偏回帰係数を検証した(図9)。年間電力消費量では全店舗(Y1)と独立店舗(Y2)共に店舗面積(X2)が最も影響する要因であり、以下窓仕様(X3)・空調方式(X4)・受電方式(X5)の順に影響度が大きかった。それに対して月間電力消費量では冬期(Y3)と夏期(Y4)共に有意な説明変数として外気温(X1)が加わり、その他にも店舗面積・窓仕様が主な要因であることが確認された。

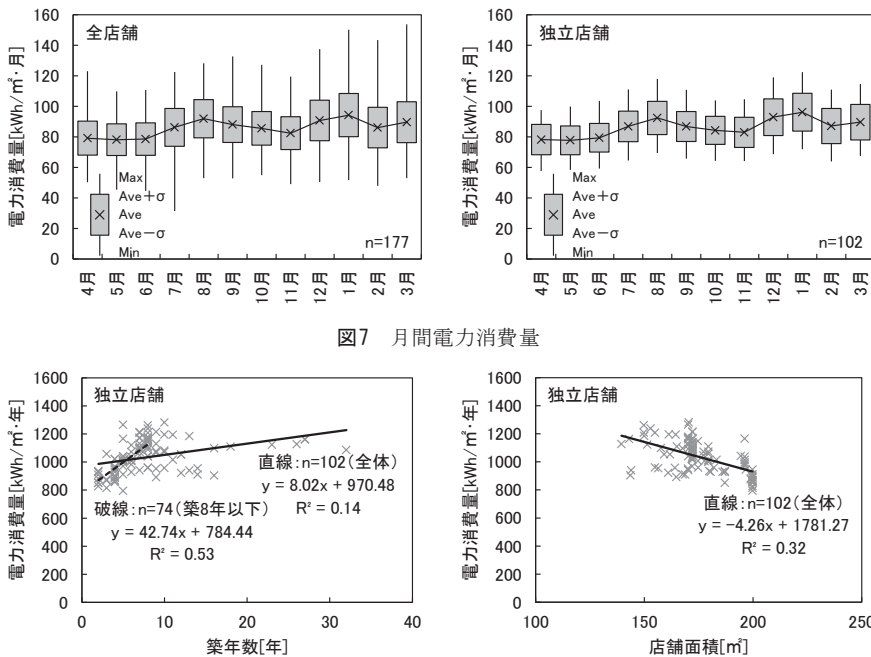


図7 月間電力消費量

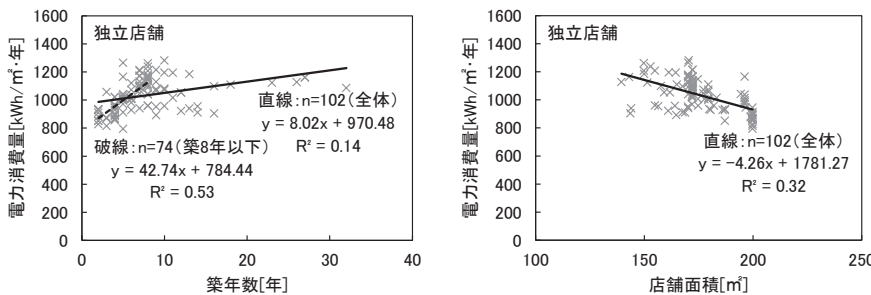


図8 築年数・店舗面積と年間電力消費量の関係

2.6 電力消費予測モデルの作成

電力消費量に対する要因分析に基づくCVSの電力消費予測モデルを作成した。自由度調整済み決定係数及び判定結果から判断すると、Y2とY3の予測精度が比較的高く、説明変数に応じた偏回帰係数を用いて重回帰式が立てられる(表2)。

$$Y2 = -4.60X2 - 229.96X3 + 157.40X4 + 62.79X5 + 1734.52 \quad (1)$$

$$Y3 = -1.28X1 - 0.42X2 - 20.15X3 + 18.62X4 + 5.02X5 + 150.19 \quad (2)$$

これらの式に基づき、標準仕様から寒冷地仕様へ順次転換を図っていく際には、窓仕様の性能向上は重要である。しかし、ファサードの透過性の観点から高価な真空ガラスが一部で導入され、建設コストの増加に繋がっている。今後、各店舗への波及効果が期待されるLow-Eペアガラス等も選択肢に加え、電力消費量の削減に努めていく必要がある。

3. 実測調査

3.1 調査概要

エネルギー調査を踏まえ、標準仕様かつ寒冷地仕様双方の独立店舗を対象に、店内温熱環境及び電力消費特性を調査した。対象店舗は札幌市内に立地する標準仕様の店舗N、寒冷地仕様の店舗Sの2店舗である(表3)。なお電力消費量に対する要因分析で影響度が大きく、店内温熱環境への影響が大きいと推測される窓仕様・空調方式の違いを重視して両店舗を選定した。特に店舗Sでは木造、Low-Eペアガラス、天井カセット型が導入され、空調機の暖房能力(低温)

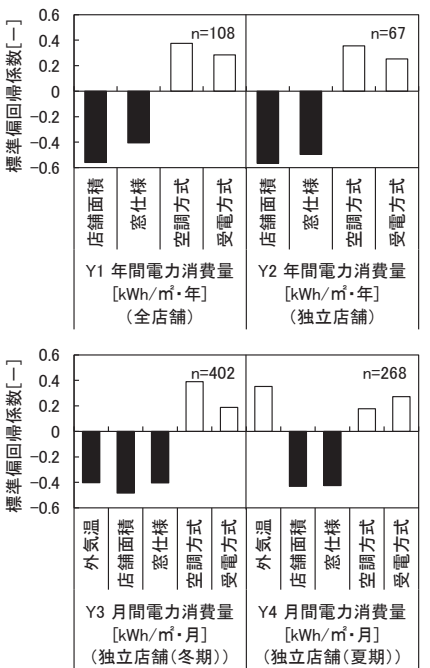


図9 標準偏回帰係数

表2 偏回帰係数

	偏回帰係数								自由度 調整済み 決定係数	対象	サンプル 数
	X1 外気温 [℃]	X2 店舗面積	X3 窓仕様 [㎡・K/W]	X4 空調方式 [-]	X5 受電方式 [-]	定数項					
Y1 年間電力消費量[kWh/㎡・年]		-4.13 **	-210.99 **	102.56 **	65.82 **	1693.98 **	0.52 **	全店舗	108		
Y2 年間電力消費量[kWh/㎡・年]		-4.60 **	-229.96 **	157.40 **	62.79 **	1734.52 **	0.68 **	独立店舗	67		
Y3 月間電力消費量[kWh/㎡・月]	-1.28 **	-0.42 **	-20.15 **	18.62 **	5.02 **	150.19 **	0.66 **	独立店舗(冬期)	402		
Y4 月間電力消費量[kWh/㎡・月]	2.44 **	-0.34 **	-18.87 **	7.55 **	6.48 **	93.85 **	0.58 **	独立店舗(夏期)	268		
備考	ダミー変数:空調方式(ダクト接続型=1, 天井カセット型=0), 受電方式(高圧受電=1, 低圧受電=0) 判定: **1[%]有意, *5[%]有意 冬期: 11~4月, 夏期: 6~9月										

は店舗Nよりも優れている。この空調機は外気低温時に十分な性能を発揮する寒冷地向けのパッケージエアコンであり、通年エネルギー消費効率（参考値）は5馬力140型で4.9、6馬力160型で3.6である。

2009/8～2011/11の期間中、店内と空調/天井吹き出し口に温湿度計、事務所内の分電盤に電力量計（パルス出力）を設置し、全て10分間隔で測定した^{注1)}（図10）。空調/天井吹き出し口に關連して両店舗の空調方式について説明する。店舗Nのダクト接続型では1[台]の室内機に6[本]の空調ダクトが接続され、5[本]は直接、1[本]は途中で3[本]に分岐して空調吹き出し口に繋がっている。店舗Sの天井カセット型では2[台]の室内機の内、冷房時に店内入口（No. 19）の室内機、暖房時に店内奥（No. 17）の室内機が主に運転されている。また、空調と

連動したファンにより店内入口（No. 19）から吹出される冷温風の一部がレジ内（No. 20）の空調吹き出し口から店内へ供給されている^{注2)}。

3.2 店内温熱環境

3.2.1 各月の店内温度特性

各月で温度差（計12[点]）が最大であった日の店内温度を箱髭図の形で表記している（図11）。CVSの場合、商品管理上の各設定温度の違いにより温度分布への影響が懸念される中、店舗Nの温度差は8[℃]前後かつ最大で10[℃]以上、店舗Sの温度差は5[℃]前後であることが確認された。このような比較的狭い空間での温度分布の偏在は冷蔵・冷凍や加温・調理で用いられる機器が多数混在するCVS特有の店内温熱環境であると言える。

表3 店舗概要

店舗	店舗N	店舗S
竣工年	2000年	2010年
所在地	札幌市東区	札幌市南区
店舗形態	独立店舗	独立店舗
正面方位	北	東
主構造	S造	木造
売場・店舗面積	116.3[m ²]-177.3[m ²]	147.0[m ²]-200.0[m ²]
開口仕様	シングルガラス	Low-Eペアガラス
空調・受電方式	ダクト接続型・高圧受電	天井カセット型・高圧受電
空調機	室外機:2[台] (室内機:1[台])	室外機:2[台] (室内機:2[台])
冷房能力[kW/台]	12.5	12.5 (5.7～14.0)
暖房能力[kW/台]	14.0	14.0 (5.0～20.1)
冷房消費電力[kW/台]	4.01	4.01
暖房消費電力[kW/台]	3.83	3.83
低温	6.62	6.62

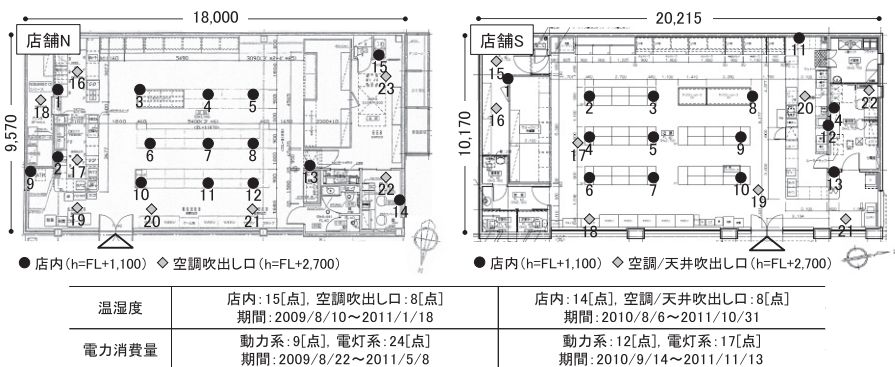


図10 測定概要

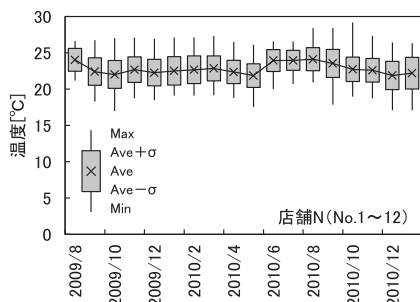


図11 各月の店内温度特性

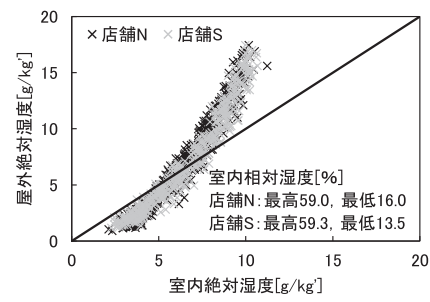
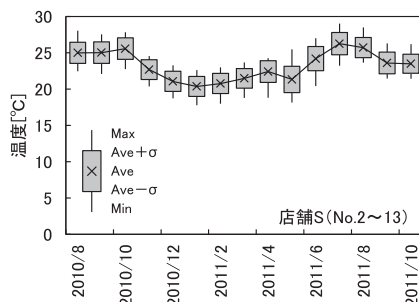
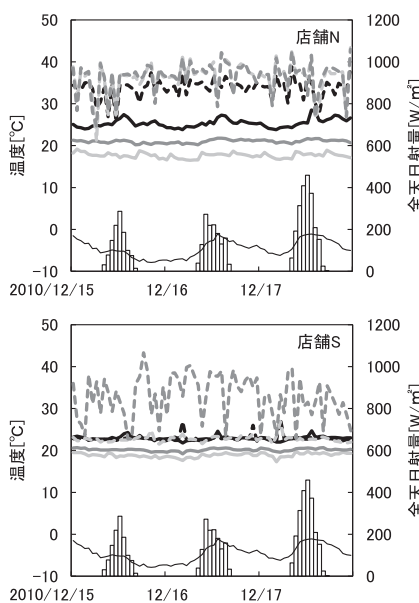
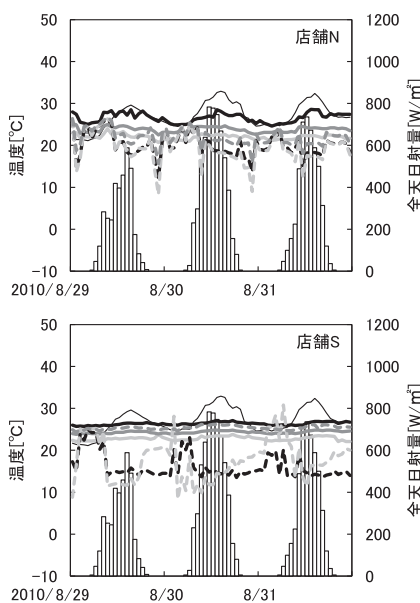
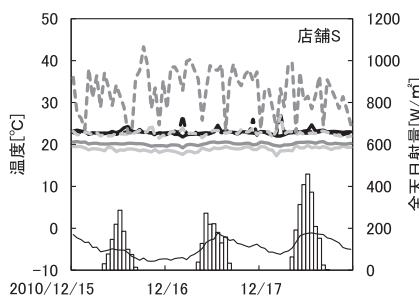
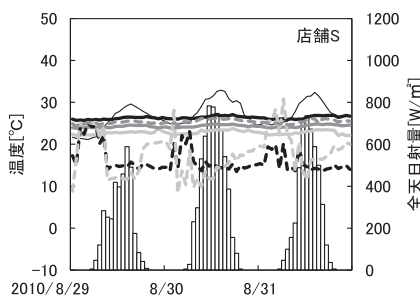


図12 絶対湿度



□ 水平面
 — 屋外
 — No.11レジ内
 — No.37アイスケース付近
 — No.7店内中央
 - - - No.16レジ内
 - - - No.19店内入口
 - - - No.21店内奥
 ※破線:空調吹き出し口



□ 水平面
 — 屋外
 — No.12レジ内
 — No.87アイスケース付近
 — No.4店内中央
 - - - No.20レジ内
 - - - No.19店内入口
 - - - No.17店内奥
 ※破線:空調吹き出し口

図13 代表日の店内温度変動

店舗N		2010/8/29～8/31	2010/12/15～12/17
屋外	最高	32.9	-1.1
	平均	27.0	-4.6
	最低	21.1	-7.9
No.11レジ内	最高	28.6	28.5
	平均	26.6	25.4
	最低	24.6	23.8
No.37アイスケース付近	最高	24.0	19.2
	平均	22.0	17.7
	最低	20.7	16.5
No.7店内中央	最高	25.2	21.8
	平均	23.8	21.0
	最低	22.5	20.2
店舗S		2010/8/29～8/31	2010/12/15～12/17
屋外	最高	32.9	-1.1
	平均	27.0	-4.6
	最低	21.1	-7.9
No.12レジ内	最高	27.1	24.7
	平均	26.3	22.9
	最低	25.7	21.8
No.87アイスケース付近	最高	23.8	19.8
	平均	22.8	18.9
	最低	22.1	17.3
No.4店内中央	最高	24.8	20.7
	平均	24.3	20.2
	最低	23.8	19.2

店舗Sの平均温度は20～26[℃]を推移しており、ばらつきも小さく季節に応じて変動していた。それに対して店舗Nの平均温度は22～24[℃]で店舗Sに比べ夏期に低く冬期に高かった。これは極端に温度の高いあるいは低い場所が形成され、その偏在に対応した空調により平均温度が下がったあるいは上がったためである。従って、基本的な仕様の違いに加え、空調制御の違い（店舗N：一括制御、店舗S：個別制御）も影響していたと考えられる。

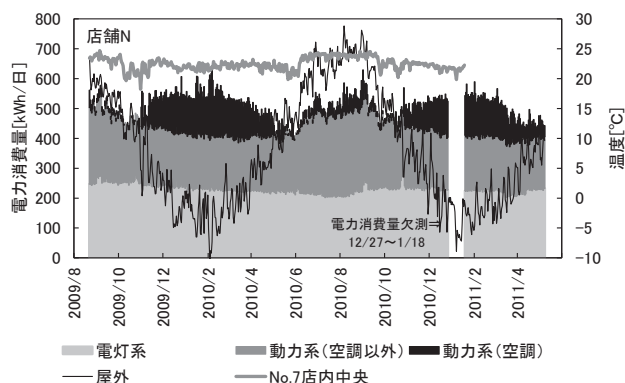
測定期間中の絶対湿度は夏期に屋外＞室内、冬期に屋外＜室内の大小関係を示したが、冬期に相対湿度が10[%]台まで低下しており、一時的に低湿度環境が形成されていた（図12）。

3.2.2 代表日の店内温度変動

店内温度はレジ内で最も高くアイスケース付近で最も低かった（図13）。この傾向は両店舗かつ両代表日で共通しており、特に店舗Nのレジ内（No.1）では2010/8/31の13時に最高で28.6[℃]に達し

表4 系統一覧

店舗N		店舗S	
【動力系】		【動力系】	
機器	分類	機器	分類
リーチンチルドケース アイスクリームケース ドリンク	冷蔵・冷凍	チルドウォークイン冷凍機 冷凍リーチン 栄養ドリンクケース アイスクリームケース(大) アイスクリームケース(小) アイランドチルドケース	冷蔵・冷凍
H&Cケース フライヤー		マルチケース(ヒーター) フライヤー	
空調機 空調機	空調		
【電灯系】		【電灯系】	
機器	分類	機器	分類
低温リーチン オープンケース ウォークイン	冷設照明・ファン	空調機 空調機	空調
リーチン・オープンケース照明			
温水器	レジ販売	低温リーチン(ファン・ヒーター) オープンケース(ファン・ヒーター) ウォークイン(ファン・ヒーター) 冷凍冷蔵照明	冷設照明・ファン
カウンターコンセント(肉まんヒーター) カウンターコンセント(おでんウォーマー奥) カウンターコンセント(冷蔵庫・フライモのウォーマー) カウンターコンセント(おでんウォーマー入口) カウンターコンセント(プリンナー・夏期:缶ウォーマー) カウンターコンセント(電気ポット) 電子レンジ1 電子レンジ2 電子レンジ3 フライヤー換気扇・冷凍庫		温水器	
		A-1カウンター什器 B-1カウンター什器 C-1カウンター什器 E-1バックカウンター什器 B-2電子レンジ 業務用冷凍庫	
		事務所調理室照明	
		サインボード 店内照明(奥側) 店内照明(入口側)	
店内照明(前) 店内照明(中) 店内照明(奥) 事務所・倉庫照明 店頭看板 サインボード	照明	ヒーター ATM	サービス
ATM M・COPY			
	電灯その他		電灯その他
		備考: 電灯その他=電灯全体ー(冷設照明・ファン+レジ販売+照明+サービス)	



ていたため、従業員にとって暑い店内温熱環境であったと推測される。また、店舗Sの空調吹出し口温度はレジ内（No.20）と店内入口（No.19）では夏期に15[℃]前後、店内奥（No.17）では冬期に約40[℃]で個別制御され、店舗Nに比べ良好な店内温熱環境が形成されていた。

3.3 電力消費特性

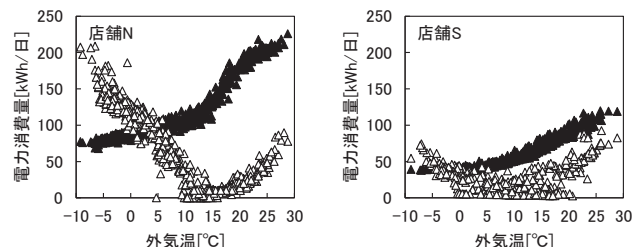
3.3.1 外気温と電力消費量の関係

通常CVSの電力系統は200[V]動力系と100[V]電灯系に分けられ、本研究では動力系を「冷蔵・冷凍、加温・調理、空調」、電灯系を「冷設照明・ファン、レジ販売、照明、サービス、電灯その他」に分類した（表4）。

その中で特にリーチンチルド（アイス・ドリンク類を除く冷凍・冷蔵）と空調機（空調）の電力消費量は外気温に応じて増減していた（図14）。リーチンチルドは外気温の上昇で2倍以上、更に15～20[℃]で急激に増加していた。空調機は30[℃]の冷房条件下と10[℃]の暖房条件下で比較した場合、店舗Sでは同程度であったのに対し、店舗Nでは約2倍の差が生じていた。

3.3.2 系統別の電力消費量

電灯系の電力消費量は比較的軽微な季節変動であり、店舗Nでは250[kWh/日]前後、店舗Sでは200[kWh/日]前後を推移していた^{注3)}（図15）。その電灯系に季節変動を伴う動力系を空調と空調以外に分けて積算すると、店舗Nでは夏期のピーク時（2010/9/1）に629[kWh/日]、冬期のピーク時（2010/2/6）に626[kWh/日]を記録していた。対照的に店舗Sでは夏期のピーク時（2011/9/1）に580[kWh/日]で店舗Nよりも僅かに少なかったのに対し、積雪寒冷地域で懸念される冬期のピーク電力は店舗Nの7割程度に抑えられていた。ちなみに2[台]合わせた暖房消費電力のカタログ値が7.52[kW]において、ピーク消費電力は5.94[kW]であった。



▲リーチンチルド △空調機 ▲リーチンチルド △空調機

図14 外気温と電力消費量の関係

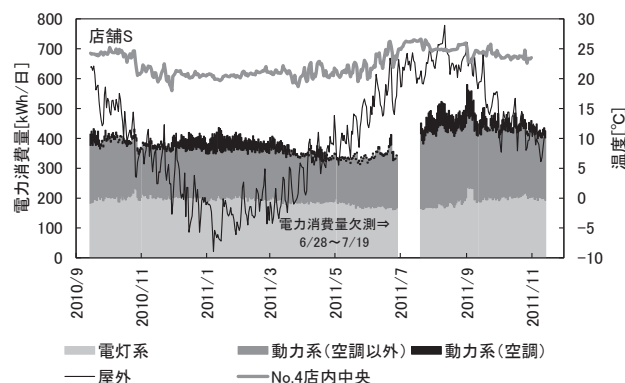


図15 系統別の電力消費量

3.3.3 系統別・分類別・機能別の電力消費比率

1月・8月及び年間の電力消費比率を示し、これまでの系統別・分類別に加え、本研究では新たに必要機能と一般機能の機能別に分けて分析した^{注4)} (図16, 図17)。必要機能とは、CVSの運営上、安全な商品管理に必要な設備「冷蔵・冷凍、加温・調理、冷設照明・ファン、レジ販売」、一般機能とは、それ以外の設備「空調、照明、サービス、電灯その他」である。

店舗Nでは1月・8月の電力消費量が95[kWh/㎡・月]前後（動力系：電灯系=6:4）であった。しかし、冷凍・冷蔵と空調は互いに变化しており、1月の一般機能と必要機能は50[%]前後で並んでいた。一

方、店舗Sでは8月は店舗Nと同じ傾向であったが、1月は空調の違いで動力系が約7[%]少なかった。その結果、年間の電力消費比率は系統別では動力系が僅かに上回り、分類別では空調が全体に影響を与え、機能別では必要機能が全体の2/3程度を占めることがわかった。

3.3.4 年間エネルギー消費原単位

年間エネルギー消費量と消費原単位を示し、両店舗の位置付け把握するため、独立店舗（n=102）と住宅（2006年）¹⁰⁾を合わせて比較した（図18）。なお住宅のエネルギーと合わせて二次エネルギー換算とした。店舗Nは独立店舗の平均的な消費原単位（約3.7[GJ/㎡・年]）、店舗Sはその3割減（約2.6[GJ/㎡・年]）に位置しており、CVS

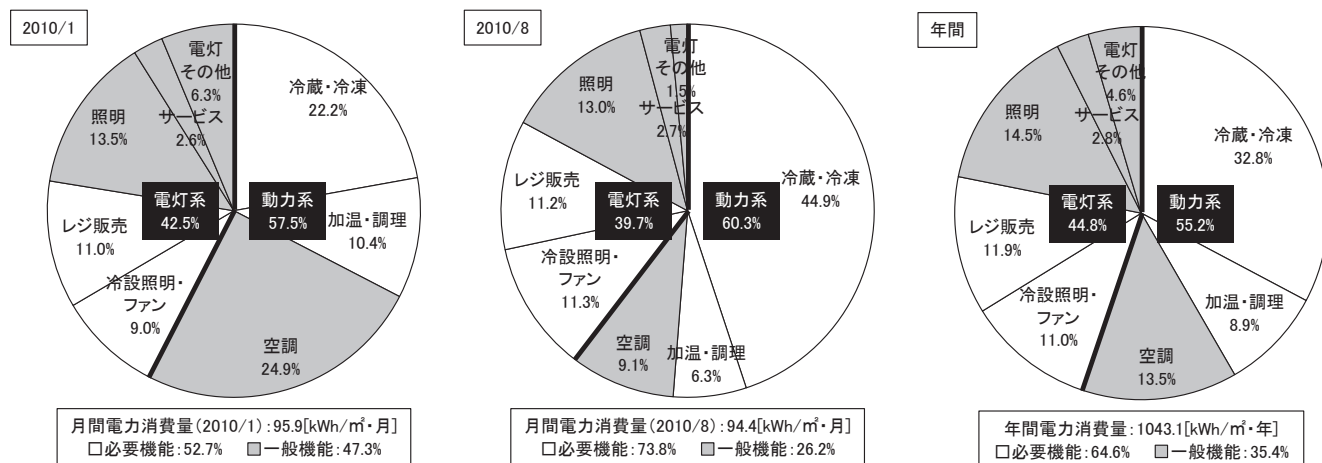


図16 系統別・分類別・機能別の電力消費比率 (店舗N)

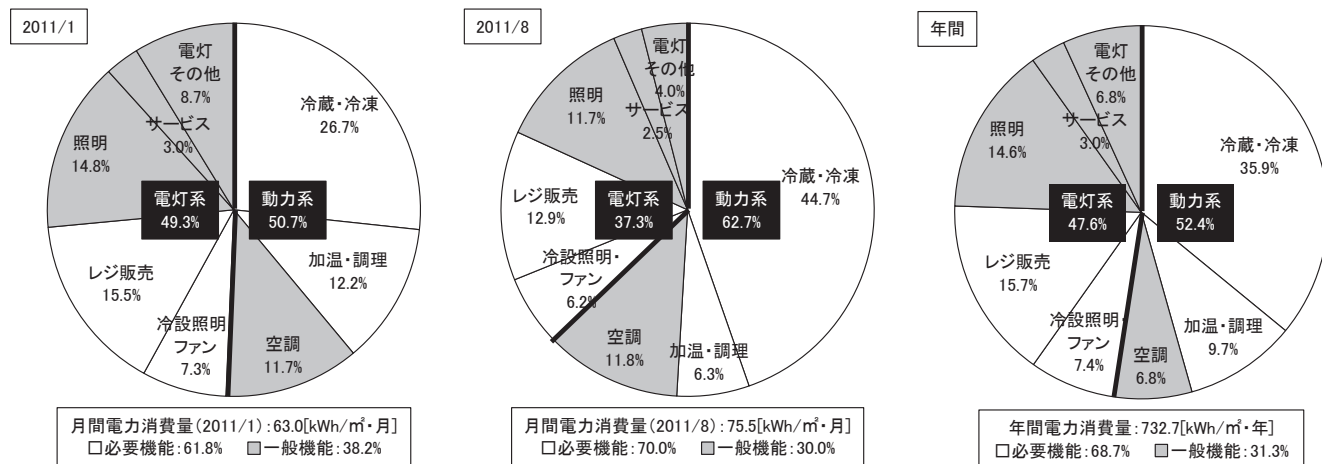


図17 系統別・分類別・機能別の電力消費比率 (店舗S)

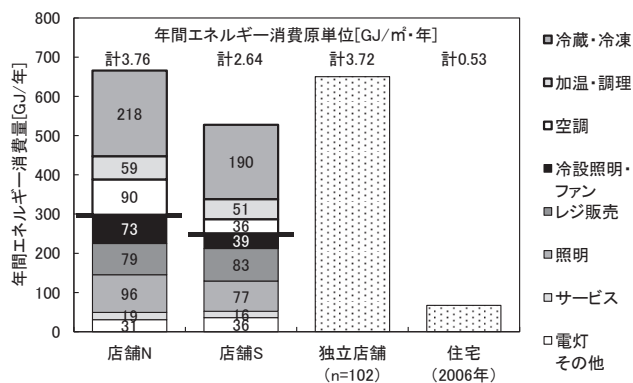


図18 年間エネルギー消費量と消費原単位

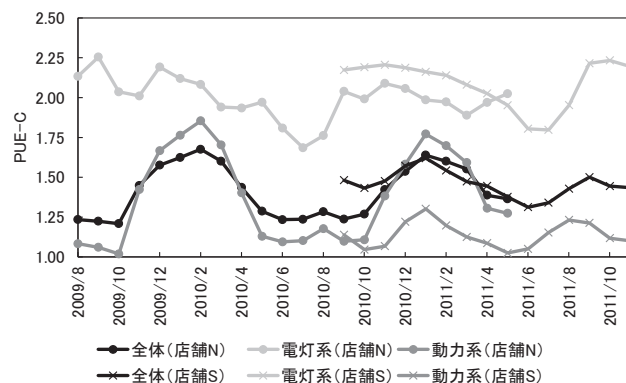


図19 エネルギー効率 (PUE-C)

の消費量は住宅の8～10倍、消費原単位は5～7倍に相当していた。ただし、一次エネルギー換算あるいはCO₂換算の場合、CVSと住宅が消費するエネルギー種別（電力・ガス・灯油等）の違いにより一段と両者の差が大きくなると考えられる。

3.3.5 エネルギー効率

更なる省エネを追求するためには、特に既存のCVSが省エネ性の高い店舗または低い店舗なのかを判断する必要がある。一般的に消費原単位が平均に比べ大きければ、省エネすべき店舗として位置付けられるが、各店舗で異なる来客数や売上を考慮すると、本当に省エネすべき店舗かどうかを判断することは難しいと考えられる。そこで、絶対的な消費原単位と合わせてPUE（Power Usage Effectiveness）¹⁰⁾を参考に相対的な効率で評価することを試みた。

PUEとは、一般的にデータセンター（DC）に適用されるエネルギー効率を表す指標の1つである。「PUE=DC全体の電力消費量/DC内のIT機器の電力消費量」と定義されている。PUEが1に近いほど、DC内のIT機器以外（主に空調）の電力消費量の割合が少なく、エネルギー効率の良いDCを意味する。従って、その効率が大きければ、DC内のIT機器以外での省エネ化を一層図るべきということが明確になるため、PUEは消費原単位とは違った役割を果たす。

そして今回新たに「PUE-C=CVS全体の電力消費量/CVS内の必要機能の電力消費量」¹⁵⁾を定義し、CVSに適用可能なエネルギー効率の評価方法を提案した（図19）。PUE-Cが1に近いほど、CVS内の一般機能（主に空調、照明）の電力消費量の割合が少なく、エネルギー効率の良いCVSを意味する。PUEと同様、その効率が大きければ、CVS内の一般機能での省エネ化を一層図るべきということが明確になる。両店舗を比較した結果、店舗Nでは冬期の動力系PUE-C¹⁶⁾が非常に大きく、店舗Sでは電灯系PUE-C¹⁶⁾が若干大きかった。全体PUE-C（一般機能の省エネ化指標）は季節に応じて変動しながら1.2～1.7の範囲になり、ピークをむかえる冬期を中心に積雪寒冷地域におけるCVSとしての対策が求められる。今後、スマートメーター等で詳細にデータを収集し、地域毎の平均的なPUE-Cを明確にすることで各店舗に必要なエネルギー削減に向けた対策を打つことが可能になる。

表5 基準モデルの計算条件

項目	条件	室1(売場)	
参考	店舗N	室容積	464.81[m ³]
計算地点	札幌	内部発熱	照明: 2592[W/h] 在室者: 1031.6[人/日] 機器: 893.5[W/h]
プログラム	SMASH for Windows Ver.2.1		
気象データ	SMASH用気象データ		
計算期間	1/1～12/31	換気回数	1.21[回/h](機械+自然換気)
冷房期	6/5～9/5	設定温度	冷房: 25[°C], 暖房: 21[°C]
中間期	5/1～6/4, 9/6～10/9	室2(屋根裏)	
暖房期	10/10～4/30	室容積	185.92[m ³]

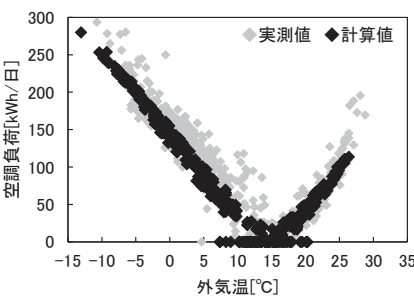


図20 実測値と計算値の比較

4. 数値シミュレーション

4.1 シミュレーション概要

一連の調査を踏まえ、数値シミュレーションでは空調負荷に焦点を当てて建築的対応かつ運用改善による削減効果を定量化した。店舗Nを参考に基準モデルを作成し、売場（24時間空調）と屋根裏の2室モデルを想定した（表5）。また、エネルギー調査で示した本部推奨値より冷房は25[°C]設定、暖房は21[°C]設定とし、内部発熱等は店舗Nのデータに加え、既往研究^{5)～7)}に基づいている。熱負荷計算プログラムは「SMASH for Windows Ver.2.1」を使用した。その前提として実測値と計算値の整合性を確認する必要がある。その際に、空調負荷で両者を比較するため、店舗Nの電力消費量に対して外気温に応じた成績係数を乗じて得られたものを実測値とした。その結果、店舗Nと基準モデルの空調負荷は概ね一致していたため、整合性は十分に取れていると判断した（図20）。

4.2 空調負荷削減効果

空調負荷削減に向けた対策は地域性と実行性を考慮した上で、断熱・開口・換気・運用・総合の5つの対策13パターン（a～m）を設定した（表6）。断熱及び開口対策では暖房負荷が削減された一方、逆に冷房負荷は増加したが、結果的に全負荷増減率は暖房負荷並みに減少した（図21）。特にLow-Eペアガラス（e）を導入した場合、基準比の約75[%]に到達しており、既存のCVSにとって有効な対策の1つであると言える。換気対策では熱交換換気（h）を導入することで約17[%]の削減効果をもたらし、運用対策では冷暖房期間（k）の短縮に比べ設定温度（j）の変更が効果的であった。最終的に各対策を

表6 空調負荷削減に向けた対策

基準モデル	項目	断熱仕様
	外壁	厚さd=35[mm], 熱伝導率λ=0.021[W/m・K](平面部) d=35[mm], λ=0.041[W/m・K](嵌込部)
	屋根	d=25 & 35[mm], λ=0.038 & 0.026[W/m・K]
	床下	d=25[mm], λ=0.038[W/m・K]
	基礎	
対策	項目	断熱仕様・その他
	a 外壁	d=100[mm], λ=0.038[W/m・K]
	b 屋根	d=100[mm], λ=0.038[W/m・K]
	c 土間床	d=50[mm], λ=0.040[W/m・K](床下・基礎)
	d	a+b+c
開口	e 窓	U=2.33[W/m ² ・K], SC=0.67[—](Low-Eペアガラス相当)
	f 窓	U=1.4[W/m ² ・K], SC=0.74[—](真空ガラス相当)
換気	g 排熱換気	換気回数: 10[回/h](室温24[°C]以上 & 外気温20[°C]以下)
	h 熱交換換気	熱交換効率: 70[%]
	i	g+h
運用	j 設定温度	冷房: 25[°C]→28[°C], 暖房: 21[°C]→20[°C]
	k 冷暖房期間	冷房: 92日→62日, 暖房: 202日→192日
	l	j+k
総合	m	d+f+i+l

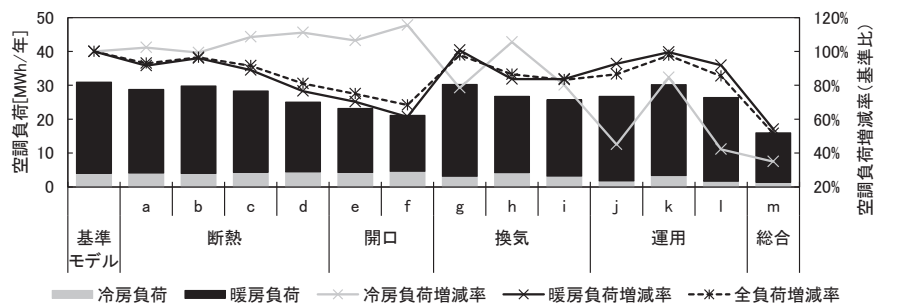


図21 空調負荷削減効果

全て総合（m）した場合、約50[%]の削減効果を期待することができ、積雪寒冷地地域における優先すべき対策が示唆された。

5. まとめ

積雪寒冷地地域におけるCVSの店内温熱環境及び電力消費特性を明らかにすることを目的とし、以下に示す知見が得られた。

- 1) 建築・設備仕様や運用状況を統計的に整理し、断熱・開口仕様では全国画一の標準仕様が幅広く適用され、運転モードでは特に中間期に各店舗で大きな違いが見られた。
- 2) 独立店舗（n=102）を対象とした2009年度の年間電力消費量は平均で1034[kWh/㎡・年]、店舗間の差は最大で487[kWh/㎡・年]、築8年以下では年数に応じて電力消費量の増加が確認された。
- 3) 電力消費量に対する要因分析に基づくCVSの電力消費予測モデルを作成し、独立店舗を対象とした年間及び月間（冬期）の重回帰式では予測精度が比較的高かった。
- 4) CVS特有の商品管理上の各設定温度や空調方式等の違いが及ぼす温度分布への影響を分析し、店舗Nの温度差は8[℃]前後かつ最大で10[℃]以上、店舗Sの温度差は5[℃]前後であることが確認された。
- 5) CVS特有の電力消費比率を示し、系統別では動力系が僅かに上回り、分類別では空調が全体に影響を与え、機能別では必要機能が全体の2/3程度を占めることがわかった。
- 6) CVS特有の年間エネルギー消費原単位を示し、店舗Nは独立店舗の平均的な消費原単位、店舗Sはその3割減に位置しており、CVSの消費量は住宅の8～10倍、消費原単位は5～7倍に相当していた。
- 7) CVSに適用可能なエネルギー効率の評価方法を提案し、全体PUE-Cは季節に応じて変動しながら1.2～1.7の範囲になり、これを基に各店舗に必要なエネルギー削減に向けた対策が明確になる。
- 8) 地域性と実行性を考慮した上で、空調負荷に焦点を当てて建築的対応かつ運用改善による削減効果を定量化し、各対策を全て総合した場合、約50[%]の削減効果を期待することができる。

謝辞

平成22～23年度科学研究費補助金（若手研究（B））「地域性と実行性を考慮した環境配慮型コンビニエンスストアの開発」（研究代表者：菊田弘輝）、平成22年度財団法人トステム建材産業振興財団研究助成「積雪寒冷型コンビニエンスストアにおける建築的対応による熱負荷低減手法の検討」（申請者：菊田弘輝）を受けて本研究を実施しました。また、㈱セブン-イレブン・ジャパン、㈱KGプランニング、北海道ガス㈱には多大なご協力を頂きました。記して謝意を表します。

注

- 注1) 期間中の電力消費量の最大誤差（＝実測値－メーター指針値）は店舗N（2009/11～2010/10）では155[kWh/月]、店舗S（2010/11～2011/10）では79[kWh/月]となり、これは全体の1[%]未満に相当し、測定精度に問題はないと判断した。
- 注2) No. 15, 16, 18, 21の天井吹き出し口は循環ファン用、No. 22の空調吹き出し口はルームエアコンである。
- 注3) 店舗オーナーや従業員に通常勤務を要請したが、東日本大震災の影響で2011/3/11～2011/3/31に亘って全店舗に節電要請が為され、その後は各店舗で自主的に節電を心掛けている。
- 注4) 必要機能と一般機能の仕分けはCVS各社で当然異なるが、基本的に必要機能にはCVS本来の商品管理及び販売に関するものとする。
- 注5) PUE-Cとは、Power Usage Effectiveness for Convenience Storeの略称である。
- 注6) 動力系PUE-C＝CVS全体の動力系の電力消費量／CVS内の動力系の必要機能の電力消費量（主に空調の省エネ化指標）
電灯系PUE-C＝CVS全体の電灯系の電力消費量／CVS内の電灯系の必要機能の電力消費量（主に照明の省エネ化指標）

参考文献

- 1) 社団法人 日本フランチャイズチェーン協会：コンビニエンスストア統計調査月報 2011年11月度、2011. 12
- 2) 一般社団法人 日本サステナブル建築協会：非住宅建築物の環境関連データベース検討委員会 平成21年度 報告書、907頁、2010. 3
- 3) 齋藤卓磨ら：非住宅（民生業務部門）建築物の環境関連データベース構築に関する研究 その45 関東地方のコンビニにおけるエネルギー消費の傾向に関する研究（平成21年度調査）、日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅰ、pp. 1161-1162、2010. 9
- 4) 鈴木雄介ら：非住宅（民生業務部門）建築物の環境関連データベース構築に関する研究 その72 小売店舗の業態別エネルギー消費特性の分析、日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅰ、pp. 1009-1010、2011. 8
- 5) 中野隆司、坂本雄三：コンビニエンスストアの省エネルギー化に関する研究 エネルギー消費特性に関する実測調査、日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ、pp. 191-192、2004. 8
- 6) 中野隆司、瓦口泰一、坂本雄三、小林雅和：コンビニエンスストアの省エネルギー化に関する研究 その2 制御導入前・導入後のCVS空調消費電力量予測モデルの作成、日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ、pp. 359-360、2005. 9
- 7) 瓦口泰一、中野隆司、坂本雄三、小林雅和：コンビニエンスストアの省エネルギー化に関する研究 その3 CVS空調消費電力量予測モデルを利用した建物仕様検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ、pp. 361-362、2005. 9
- 8) 鈴木直樹、小松義典：小型物販コンビニエンスストアのファサードデザインが冷暖房負荷に及ぼす影響、日本建築学会東海支部研究報告集 No. 43、pp. 381-384、2005. 2
- 9) 福井智浩、小松義典：小型物販施設における周辺建物の影響を考慮した太陽光発電可能量の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ、pp. 1315-1316、2010. 9
- 10) ㈱住環境計画研究所：家庭用エネルギーハンドブック、2009
- 11) <http://www.thegreengrid.org/Global/Content/white-papers/The-Green-Grid-Data-Center-Power-Efficiency-Metrics-PUE-and-DCiE>、2012. 1. 6参照

（2012年1月6日原稿受理、2012年4月4日採用決定）