

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560712

研究課題名(和文)冷設什器と空調機器の相互影響を考慮した食品小売店舗設計に関する研究

研究課題名(英文) A Study on the Energy Prediction Method of Food Retail Stores in Consideration of the Mutual Influence of Refrigerated Facilities and Air-conditioning Equipment

研究代表者

鳴海 大典 (Narumi, Daisuke)

横浜国立大学・環境情報研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80314368

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：食品小売店舗の省エネルギー改修に関する詳細計測調査結果から、45%のエネルギー消費削減が可能であることを示した。また、アンケート調査結果から、消費者影響が懸念される対策に関しても消費者は概ね肯定的な印象を持つことを示した。冷設什器のエネルギー消費予測モデルを構築した結果から、対策の一例としてリーチインケースへの置き換えにより、冷凍機動力が69%削減される一方、防露ヒータの増加を考慮した冷設什器全体では42%の削減と見積もられた。店舗全体では、空調機動力が大幅に増加する一方で、冷凍機動力や霜取りヒータの削減により、年間電力消費量の削減効果は27%になることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Firstly, this study tried a detailed evaluation about the effect of energy conservation retrofitting for a grocery store upon energy consumption and consumers' purchase behavior. Concerning the energy consumption, the retrofitting could reduce 45% a year. In addition, consumers had an affirmative impression for the retrofitting that would give a bad influence to consumers. Secondly, we focused on the cold refrigerating showcase (refrigeration equipment), we attempted to quantitative evaluation of energy conservation measures related to the cold refrigerating showcase. Consequently, by adopting closed reach-in type showcase instead of open multi-stage type as a cold leakage countermeasure, energy consumption of refrigerating machine was reduced 69% in July average. For the annual savings of the entire store considering the air conditioning load was 27%, while the consumption of the air conditioner was greatly increased, since the refrigerating machine and defrosting heater was reduced.

研究分野：建築環境工学

キーワード：食品小売店舗 エネルギー消費量 省エネルギー 冷設什器 熱収支 負荷計算 消費者選好 アンケート調査

## 1. 研究開始当初の背景

民生業務部門のエネルギー消費量は1990年以降増加の一途を辿り、中でも小売業の増加傾向が顕著であることから、小売店舗における省エネルギー推進が重要課題である。しかしながら、特に中小規模の小売店舗におけるエネルギー消費実態は十分に把握されておらず、効果的な省エネルギー施策を検討するためにはエネルギー消費構造の把握が不可欠な状況にある。省エネ法の改正に伴い、300m<sup>2</sup>以上の建築物に対して省エネ措置の届け出が義務づけられたことで、多数の中小規模小売店舗が新たに規制対象となった。従って、中小規模小売店舗におけるエネルギー消費構造の把握は効果的な施策設計のために必須であり、データベース構築と詳細評価を行なう意義は大きい。

この点に関して、研究代表者は環境省地球環境研究総合推進研究プロジェクト「低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言」において、中小規模の業務施設に関するエネルギー消費実態の解明に取り組んだ。このプロジェクトを通して、特に食品小売店舗におけるエネルギー消費密度の高さや冷設什器（冷凍冷蔵設備）に起因する種々の問題点を示すと共に、早急なる改善に向けた取り組みの必要性を指摘した。冷設什器に対する配慮はエネルギー消費削減効果が見込めるだけでなく、局所冷気の解消による快適性の向上や食品保存環境の改善などにもつながるなど、多面的な効果が期待できる対象である。上述の研究プロジェクトでは種々の商業建築を対象に問題発掘型の検討を行なったが、本研究では最も大きな問題を抱える食品小売店舗を対象として、冷設什器と空調機器の相互影響を考慮した新たな店舗設計に関する提案を引き続き実施したいと考えた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、冷設什器を有する中小規模の食品小売店舗を対象として、空調設備と冷凍冷蔵設備が連携した新たな店舗設計を提案すると共に、利用者の購買意欲に影響を及ぼさない省エネルギー対策を選択するための店舗改修指針を提案することで、ハードのみならずソフト面からも効果的な省エネルギーを可能とするモデル店舗のあり方を示すことである。

冷設什器を有する食品小売店舗に関しては、我が国を始めとして世界的にも多くのストックが存在する一方で、上述のようにエネルギー消費密度が顕著に高いにも関わらず、冷設什器に起因する様々な問題が放置されている。本研究で建築と設備（空調と冷設）の相互影響を考慮した店舗設計の提案にまで踏み込んだ検討を行なうことは、食品小売業界全体にインパクトを与えるものであり、その意義は非常に大きいと考えられる。研究内容は以下3項目に大別される。

### 1) 食品小売店舗における省エネルギー改修のエネルギー消費削減効果

食品小売店舗における省エネルギー改修によるエネルギー消費削減効果を評価するために、京阪神地区に店舗展開する事業者の省エネルギー改修事例について詳細な比較評価を試みる。

### 2) 省エネルギー対策の消費者影響に関する評価

省エネルギー対策が店舗消費者に与える影響を把握することを目的として、上述の省エネルギー改修店舗において消費者意識アンケート調査を行う。

### 3) 冷設什器の省エネルギー対策が食品小売店舗のエネルギー消費に与える影響

食品小売店舗の冷設什器に着目し、冷設什器のエネルギー消費予測モデルを構築するとともに、冷設什器に関わる省エネルギー対策の効果について定量的な評価を試みる。

## 3. 研究の方法

### 1) 食品小売店舗における省エネルギー改修のエネルギー消費削減効果

2012年11月に省エネルギー改修を実施した中規模総合店舗である店舗A（大阪府豊中市）を対象として、改修前後のエネルギー消費量の比較を行った。ただし、空調機については2008年に既に改修が実施されており、前後の詳細な比較が困難なことから、2011年に空調機のみでの改修を行った店舗B（兵庫県神戸市）の結果を引用した。店舗Bは店舗Aと同一用途・規模の食品小売店舗である。表-1に対象店舗の概要を示す。

改修は主に売場照明、冷凍機、冷ケースを対象としている。売場照明については、改修前の2灯式FLR型蛍光灯に対して、改修後は同じく2灯式直管型LEDへの変更に加え、開店時間帯に50%減光を実施した。全体の設備容量に大きな違いはない。冷凍機については、改修前のCOP:0.95（各機器の能力按分平均）に対して、改修後はCOP:1.25（同）に冷凍効率が向上した。全体の設備容量は32%減少した。冷ケースについては、改修後はオーバーキャノピー照明の採用（棚照明の削減）や一部でリーチインケースの採用に加え、設定温度の見直しを実施した。改修前後で設備容量に大きな違いはない。空調機の改修については店舗Bの実績を引用するが、2008年の空調機改修について、改修前のCOP:2.84（各機器の能力按分平均）に対して、改修後はCOP:4.06（同）に空調効率が向上した。全体の設備容量は11%減少した。

### 2) 省エネルギー対策の消費者影響に関する評価

調査対象店舗は上述の店舗Aとし、省エネルギー改修直後の消費者意識について調査を行った。調査方法はアンケート調査票を店舗で直接配布し、郵送回収する方法とした。調査日は2013年2月25日であった。調査サンプル数に関しては、200人の配布に対して

118 人の回答を得た。

### 3) 冷設什器の省エネルギー対策が食品小売店舗のエネルギー消費に与える影響

店舗 C (兵庫県神戸市) を対象として、室内外熱環境や冷設什器庫内熱環境、エネルギー消費量に関する長期計測を実施した。表-2 に調査対象店舗の概要を示す。

2012 年 7 月から当該店舗において計測を開始し、2013 年 10 月までの約 1 年間継続的に計測を行った。また、同店舗において冷設什器庫内と室内との空気交換率 (換気回数) や冷設什器の熱収支を詳細計測することで、冷設什器の冷却負荷の予測モデルを構築した。冷設什器庫内空気と店舗室内空気の換気回数については、短期的に実施した CO<sub>2</sub> の濃度減衰実験に基づいて評価した。冷設什器の熱収支に関しては、什器各部の温湿度 (庫内・吹き出し・吸い込み) に関する長期計測と循環風量に関する短期計測、上述の換気回数の計測結果に基づいて評価した。さらには、構築した予測モデルを用いて、冷設什器における冷却負荷ならびに電力消費量の削減対策の一例として、多段型をリーチイン型に全て変更した場合の電力消費量を予測した。

表-1 店舗 A・B の概要 (省エネ改修調査)

項目	店舗A	店舗B
開店年	1976年	1995年
改修年	2012年11月	2002年3月
延床面積	3,091.72㎡	2,410㎡
売場面積	1,656㎡	1,345㎡
店舗形態	1階: 食品売場	1階: 食品売場
	2階: 衣料品売場	2階: 衣料品売場
営業時間	1階: 9:00 ~ 21:00	9:30 ~ 21:00
	2階: 9:30 ~ 20:00	
空調機	電気式ビルマルチ	電気式ビルマルチ
ショーケース冷凍能力	86.78kW	86.65kW

表-2 店舗 C の概要 (冷設什器調査)

所在地	開店年	売場面積	店舗面積	営業時間	計測期間
兵庫県神戸市	2006年	261㎡	383㎡	9:00 ~ 22:00	2012/7 ~ 2013/10

## 4. 研究成果

### 1) 食品小売店舗における省エネルギー改修のエネルギー消費削減効果

冷凍機に関しては年間で 48% 削減した。この要因としては冷凍機のインバーターおよび高効率化に加えて、冷凍ケースのリーチイン化による冷気漏れ防止、設定温度の見直しなどの冷ケース側の対応が挙げられる。冷ケースに関しては年間で 43% 削減した。冷ケースの電力消費先は照明、防露ヒータ、ファンに大別されるが、削減要因としては、照明のオーバーキャノピー化 (LED 照明) が支配的と考えられる。照明に関しては年間で 62% 削減した。定格消費からは 50% の削減が見込まれたが、これに調光による効果が加わったと考えられる。空調機に関しては年間で 37% 削減した。この要因としては空調機のインバーター化が挙げられる。各用途を合計した電力消費量に関しては、年間で 45% の削減となった。改修前後の時刻別電力消費について、年間ピーク消費に近い条件で比較すると、改修前には 11 時に 310kW のピークを示す一方で、

改修後には 13 時に 165W を示し、47% 削減した (図-1)。

以上のように、本項では食品小売店舗の省エネルギー改修前後において、用途先別の詳細計測により用途別の省エネルギー効果を示すとともに、典型的な省エネルギー改修により 45% の年間消費量や 47% のピーク電力削減が可能であることを示した。

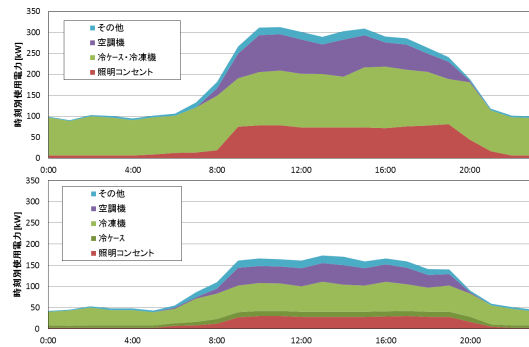


図-1 改修前後の特別電力消費 (ピーク日)



図-2 評価対象とした省エネルギー対策

### 2) 省エネルギー対策の消費者影響に関する評価

前項で示した年間 45% の消費量削減効果には「売場照明の減光」や「冷ケース棚照明の撤去」、「飲料ケースの 10 設定」、「冷凍ケースのリーチイン化」など、消費者への影響が懸念される改修項目も含まれている。本項では、省エネルギー対策の消費者影響を把握することを目的として店舗利用者に対するアンケート調査を実施した。印象評価の対象とした省エネルギー対策を図-2 に示す。

店舗 A で実施された省エネルギー対策の認知率を図-3 に示す。最も認知率が高い対策は「売場照明の減光」であり、約 6 割の店舗利用者が認知しており、続いて「冷凍ケースドア設置 (リーチイン化)」の 5 割強であった。一方で、認知率が低いのは「バックヤードのエネルギー管理」や「閉店時ナイトカバー設置」であり、1 割に満たなかった。「飲料ケースの 10 設定」については認知率が 15% 程度であり、認知率が低いことがわかった。省エネルギー対策に対する利用者の評価はいずれも良好であり、全ての対策で 8 割以

上の利用者が「良い」と評価した。店舗利用者への悪影響が予想された「売場照明の減光」や「冷ケース棚照明の撤去」、「飲料ケースの10℃設定」、「冷凍ケースドア」の設置なども「悪い」との回答はほとんど見られず、省エネルギーへの取組みが肯定的に受け入れられていた。

更なる省エネルギー対応として、飲料の常温販売については約2割が否定的であったが(図-4)、飲料ケースの冷却停止による電力料金削減の全てを販売価格に還元した場合、調査対象店舗では平均16%の値下げが可能であり、常温販売でも省エネルギーと売上げ維持の両立は実現可能と評価された。

以上のように、本項では省エネルギー対策の消費者影響を把握することを目的としたアンケート調査から、悪影響が予想された改修項目に関しても肯定的に受け入れられており、飲料の非冷化などのより一層の取り組みも可能であることを示した。

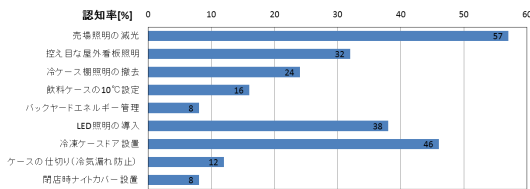


図-3 省エネルギー対策実施の認知率

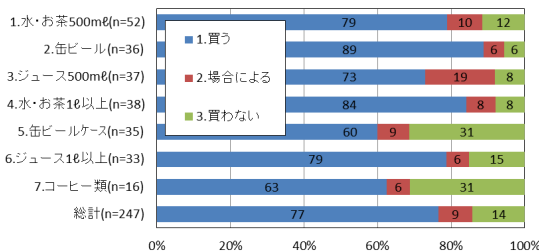


図-4 飲料常温販売による購入意思変化

### 3) 冷設什器の省エネルギー対策が食品小売店舗のエネルギー消費に与える影響

図-5に店舗全体(店舗C)の月別・用途別の電力消費特性を示す。冷房電力消費量はわずかであり、冷凍冷蔵設備の冷却負荷に影響を与えていると推察される。年間では冷設什器に関わる消費量(冷凍機を含む)が全体の84%を占める一方で、空調設備や店舗照明は僅か4%にとどまった。空調用途のうち冷房の占める割合は6%であり、圧倒的に暖房用途の占める割合が大きくなった。店舗照明やショーケース電灯、その他用途の季節変化はごくわずかであった。

表-3にケース形状ならびに設定温度帯別の換気回数の計測結果を示す。ケース形状や設定温度によって換気回数に違いが確認でき、多段式では設定温度が低い場合や吹出し角度がより水平に近い場合(セミ多段)に換気回数が大きな値を示した。また、鉛直陳列の多段型と比較して平台型やリーチイン型

では3分の1から4分の1程度の極端に小さな値を示す結果となった。

図-6に設定温度帯別に比較した多段型の日積算熱収支の評価結果を示すと、冷却負荷となる各熱量の合計は設定温度が低いほど大きく、8設定に対して-20設定は3倍ほどの大きさとなった。-20設定では常時防露ヒータが稼働しており、その影響が他の条件と比較して顕著に現れている。什器の庫内設定温度により合計熱負荷量や全体に対する侵入熱の比率が大きく異なり、設定温度が下がるほど合計熱負荷量が増加するが、いずれの温度帯においても侵入熱が半分以上を占めた。

以上の測定結果を基にして冷設什器の冷却負荷ならびに電力消費に関する予測モデルを構築した。設定温度帯別に求めた店舗全体の冷却負荷量の予測精度に関して、概ね精度良く再現しており、日積算では2.4%ほど予測値が小さくなった。電力消費に関しては各冷凍機の合計予測値が632kWh/dayであるのに対して、実測値は644kWh/dayであり、予測誤差は1.9%に抑えられた。

図-7に什器変更が店舗全体の電力消費量に与える影響について夏季(7月平均)の結果を示す。多段型では冷凍機の動力と霜取りヒータが大きい値を示し、リーチイン型への変更によりこれらが大きく削減される一方で、リーチイン型では防露ヒータや空調機が大きく増加する結果となった。空調機については多段型の5.9kWh/dayに対してリーチイン型では87.3kWh/dayと15倍であった。全体では多段型の1,057kWh/dayに対してリーチイン型では743kWh/dayとなり、30%の削減になると評価された。什器変更が店舗全体の年間電力消費量に与える影響については、空調機は9.6MWh/yearの増加、ケース電灯は3.2MWh/yearの増加、冷凍機は9.0MWh/yearの削減となり、リーチイン化による年間を通した店舗全体電力消費量の削減効果は27%になることが示された。

以上のように、本項では冷設什器の対策による省エネルギー効果を評価可能とする予測モデルにより、冷凍機の削減や冷設什器の増加、さらには空調機の相殺を考慮した結果として、店舗全体では年間で27%削減が可能であることを示した。

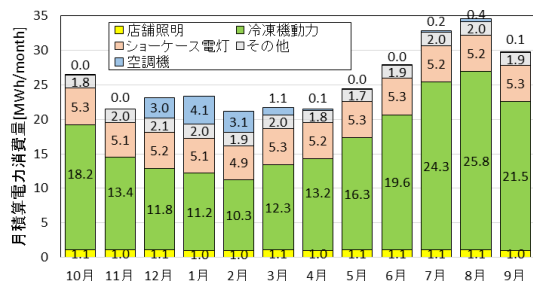


図-5 用途別電力消費量(月別)

表-3 条件別の換気回数計測結果

ケース形状	設定温度	用途	平均換気回数 [回/h]
セミ多段型	9	日記	51.9
多段型	8	日記	34.5
多段型	2	鮮魚	36.1
多段型	-20 以下	冷蔵	41.1
リーチン型	-20 以下	冷蔵	16.0
平台型	-20 以下	冷蔵	10.0

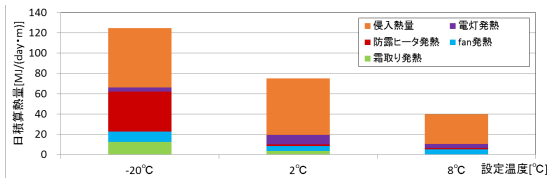


図-6 多段型の日積算熱収支評価結果(7月)

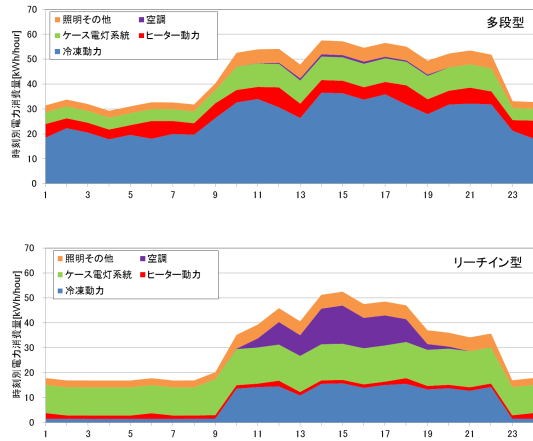


図-7 什器変更が全体電力消費量に与える影響(夏季)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

- 1) 鳴海大典：冷設什器の省エネルギー対策が食品小売店舗のエネルギー消費に与える影響、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2015年、査読無
- 2) 鳴海大典：食品小売店舗における冷設什器の省エネルギー対策に関する定量評価、日本建築学会学術講演梗概集 D-2、2015年、査読無
- 3) 鳴海大典：食品小売店舗における省エネルギー改修のエネルギー消費削減効果と消費者影響、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.153-156、2014年、査読無
- 4) 木皿吉則、鳴海大典：小売店舗の省エネルギー対策に対する利用者意識に関するアンケート調査、日本建築学会学術講演梗概集 D-1、2013年、査読無

〔学会発表〕(計4件)

- 1) 鳴海大典：冷設什器の省エネルギー対策が食品小売店舗のエネルギー消費に与える影響、空気調和・衛生工学会学術講演会、2015年9月、大阪府 大阪大学

2) 鳴海大典：食品小売店舗における冷設什器の省エネルギー対策に関する定量評価、日本建築学会大会学術講演会、2015年9月、神奈川県 東海大学

3) 鳴海大典：食品小売店舗における省エネルギー改修のエネルギー消費削減効果と消費者影響、空気調和・衛生工学会学術講演会、2014年9月、秋田県 秋田大学

4) 木皿吉則、鳴海大典：小売店舗の省エネルギー対策に対する利用者意識に関するアンケート調査、日本建築学会大会学術講演会、2013年9月、北海道 北海道大学

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鳴海 大典 (NARUMI, Daisuke)  
横浜国立大学大学院環境情報研究院  
准教授  
研究者番号：80314368

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし