

# 論文要旨 Dissertation Abstract

令和 3年 12月 15日

Date (YY/MM/DD): 2021/12/15

専攻 Major 人工環境	学籍番号 Student ID 19TG003	氏名 Name 藤田 美和子
論文題目 Dissertation Title	空調と冷蔵冷蔵設備の相互影響を考慮した食品小売店舗のエネルギー消費に関する研究	
<p>日本の最終エネルギー消費量変化をみると、1973年から2019年の増加割合では全体が1.2倍増に対し、業務部門では2.1倍と増加が顕著である。製造業と比べて業務部門は事業コストに占めるエネルギーコストの割合が低く自発的な省エネ化が進みにくい現状にある。空調や照明については市場が大きいことから省エネルギー機器が開発され消費者に提供されるが、空調等と比較して市場規模が小さい冷設什器は省エネルギー機器のコストが高くなり、コスト競争にさらされている食品小売店舗では採用が難しいことが多い。その結果、冷設什器は省エネルギー機器開発が進みにくい。</p> <p>食品小売店舗の省エネ化には、このような課題があることから、経済産業省は2017年に省エネ法を改正し、冷蔵冷凍ショーケース（以下SC）の一部に対してトップランナー方式を取り入れ、機器の省エネ化を促進している。また、省エネ法では、一定規模以上の事業者（年度で1,500kl以上のエネルギー（原油換算）を使用する事業者）にし対して、年度平均1%の省エネルギーの達成と報告を義務つけている。更にこれとは別に、業種・分野別に中長期的に目指すべき水準（ベンチマーク。業種ごとに上位1～2割の事業者が達成しているエネルギー消費効率。）を設定している。ベンチマーク制度については2018年度から食料品スーパー業が対象となり省エネ化を後押ししている。</p> <p>建築的な観点からは、店舗のエネルギー消費を削減するには空調負荷や冷却負荷（冷蔵冷凍負荷）の低減が必要であり、一般的には建物の断熱強化や換気量・外気導入の抑制が考えられる。しかし、SCは商品の取りやすさから室内空間に対して開放されていることが多く空調負荷と冷却負荷には相互影響があり、単純な空調熱負荷計算では店舗全体のエネルギー消費（空調と冷蔵冷凍）を予測することができない。SCの消費エネルギーはレイアウトや建築的構造、換気空調運用等により影響を受けることから、店舗全体の省エネルギー検討を複雑なものとしているが、省エネルギー性能を備えたSCを採用しつつ、様々な建築面、運用面の配慮を行うことが店舗の省エネルギー化には必須である。</p> <p>また、地球規模の気候変動を抑制するために、脱炭素化を進めることが求められている。これらを実現するには、従来から需要家側で行われている省エネの取組とともに、太陽光発電システム等の再生可能エネルギーの導入拡大が必要となる。再生可能エネルギーは発電量が変動することから、電力需給バランスを別のエネルギーリソースで賄う必要があり、蓄電池等の蓄エネルギー設備の普及が急がれる。しかし、それらの価格は依然として高く、火力発電並の調整電力コストには遠く及ばない。そこで、限界コストが極めて小さい需給調整力としてネガワット（需要家による節電等の省エネルギー制御）が注目されている。</p> <p>食品小売店舗では多店舗展開している事業者が多いため、群制御によって正確な調整力を供出できる可能性がある。夏期にはSCからの冷氣漏洩があり店内温度が低い店舗が多く見られるが、空調制御を工夫すれば、快適性を損なわずにネガワットを数時間供出できる可能性があり、デマンドレスポンス（以下DR）エネルギーリソースとして注目されている。</p> <p>食品小売店舗の省エネルギー化促進や、DRポテンシャルを把握するためには、店舗の消費エネルギーモデルを作成する必要がある。最終的にはエネルギーマネジメントシステムへの実装を目指し、本研究ではSC種別毎の漏洩冷熱や外気流入や外部気象状況により変化する店内温湿度を考慮して前提条件を与える方法を考案する。それらと実験室実験より得られた各種SC特性式から冷却負荷を計算する手法を開発する。開発した冷却負</p>		

(続葉) (Continued)

荷計算手法と空調負荷計算とを組み合わせることで、店舗の空調・SCのエネルギー消費の計算手法確立を目的とする。

第1章では、社会背景や食品小売店舗の省エネルギー推進に関する課題、本研究のねらいを示した。

第2章では既往研究のレビューを行い、本研究の意義を説明した。多くの既往研究は、実測データのビックデータを活用したモデル、SCのエアカーテンの室内空気の流入流出モデル、店内への導入気流の湿度とSCの潜熱のバランスに着目したモデル等のエネルギー消費予測手法であった。本研究で提案するエネルギー計算モデルは、①大量のデータを必要としない積み上げ方式でエネルギー予測を行うことでSC種類の変更や保管温度の変更についても計算可能、②店舗モデルを構成するため5種類のSC冷却特性を実装、③店舗内の建物負荷とSC漏洩熱の顕熱・潜熱のバランスを考慮、④空調負荷計算ツールとの組み合わせ、⑤店舗内の上下温度湿度分布やエリア偏在についての考慮、という特徴をもつことを述べた。

第3章では開放型SCのうち冷蔵多段・冷蔵セミ多段、冷凍多段について、閉鎖型SCとして、冷凍平台、冷凍リーチインの恒温恒湿室実験と、その結果を用いた冷却負荷特性について示した。多段型では冷蔵・冷凍ともにエンタルピ上昇に伴い消費電力が増加しており、エンタルピ変化時の変化量は冷蔵に比べ冷凍が大きいこと、冷凍平台と冷凍リーチインはSCへの空気流入が小さく、冷凍機消費電力はエンタルピ変化に対して明確な変化は見られないこと等、エネルギー消費モデルを構築するために必要な冷却特性を式化した。

第4章では、第3章で示した冷却負荷特性を用いて、食品小売店舗の冷却負荷や冷凍機消費電力の予測手法について提案を行った。冷凍機消費電力の計算結果と実測結果を比較することで計算モデルの妥当性を評価した。またSC漏洩熱量の計算手法を考案し中間期における建物冷房負荷の計算結果と比較して、その妥当性を評価した。モデル店舗におけるSC漏洩熱量を冷却特性より計算し、建物負荷が漏洩熱量とバランスすることで店内温度湿度が決まることを明らかにし、空調とSC冷却負荷の相互影響を計算するために必要な熱バランスの成り立ちを説明した。

第5章では、第3章、第4章で示したSC漏洩熱量と建物空調負荷がバランスすることで店内エンタルピが決定することを利用して、SC冷却負荷と空調負荷を計算する手法を提案した。食品小売店舗の特徴である鉛直方向に強い温度勾配を一般化するための手法も合わせて考案した。空調と冷却に関する消費電力の計算結果と実測結果を比較することで計算モデルの妥当性を評価した。

第6章では、第4章および第5章で示したSC漏洩熱量と建物負荷のバランスを考慮しSC冷却負荷と空調負荷を計算する手法を用い、本手法によって初めて検討が可能となる空調運用変更による省エネルギー効果について述べている。冷房の積極利用による省エネルギー量は、店舗全体を25℃に冷房する場合とSC付近のみを22℃に設定する場合を比較した結果、エネルギー削減量は、冷凍と空調のエネルギー消費の4%と限定的であった。しかし冷却負荷を空調負荷へ移行できるためデマンド抑制制御に利用できる可能性を示唆した。暖房の利用抑制による省エネルギーは25℃設定に比べ、19℃設定とした場合、15~23%と大きな削減が期待できることを示し、鉛直混合率を増加させることで、省エネ性を維持しながら快適性も損なわない制御方法についても提案している。また、本モデルによりデマンドレスポンスポテンシャルについて検討している。ショーケースの運用変更では夏期に店舗あたり3kW~12kW、空調設定温度を冬期22℃~夏期25℃とすれば、店舗あたり10~30kW期待できるとしている。また、冬期にはデマンドレスポンス余地と省エネルギーは相反するが、夏期には冷却負荷が空調負荷に移行できるため、デマンドレスポンス余地と省エネ運用は相反しない場合があることを示した。

第7章では、各章での論点を改めて整理したあと、本研究の課題や制約に触れた上で、今後の研究に対する展望を述べた。

4000字以内 (Within 4000 words in Japanese, or 2000 words in English)