

学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名	藤田 美和子
学位の種類	博士（環境学）
学位記番号	環情博甲第2259号
学位授与年月日	令和3年12月31日
学位授与の根拠	学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項
学府・専攻名	環境情報学府 人工環境専攻
学位論文題目	空調と冷凍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（Study on energy consumption of grocery store considering interacting effects of space conditioning and refrigerating equipment）
論文審査委員	主査 横浜国立大学 教授 鳴海大典 横浜国立大学 教授 本藤祐樹 横浜国立大学 教授 安本雅典 横浜国立大学 准教授 吉田 聡 横浜国立大学 准教授 田中稲子

論文及び審査結果の要旨

業務用施設の中でも特に食品小売店舗はエネルギー原単位が大きく、省エネ化を進める必要がある。省エネルギー検討には、エネルギー消費モデルを作成する必要があるが、冷凍冷蔵ショーケース（以下 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、また空調負荷と冷却負荷には相互影響があるため、単純な空調熱負荷計算では店舗のエネルギー消費（空調と冷蔵冷凍）を予測することができない。また、店内の鉛直方向、水平方向の温度分布も大きく、モデル作成には様々な考慮が必要となる。このような現状を鑑み、本論文では未だ一般化がなされていない店舗の空調・SCのエネルギー消費の計算モデル確立を試みている。本論文は、序論（第1章）、既往の研究レビュー（第2章）および研究の総括（第7章）を含めて7章から構成される。

第3章では代表的な5種類のSCを対象として恒温恒湿実験を行ない、その結果を用いた冷却負荷特性等について示している。開放多段型では冷蔵・冷凍ともにエンタルピ上昇に伴い消費電力が増加し、エンタルピ30kJ/kgから50kJ/kg変化時の変化量は冷凍1.16kW、冷蔵0.93kWと冷凍が大きいこと、閉鎖型の冷凍平台と冷凍リーチインは庫内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際に必要な冷却特性を定式化している。

第4章では、第3章で示したSC冷却負荷特性を用いて、食品小売店舗のSC冷却負荷や冷凍機消費電力の予測手法について提案している。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提案した計算モデルの妥当性を示している。また、中間期では建物負荷とSC漏洩熱量とが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ている。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、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ている。

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。しかしながら、SC 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。SC 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ている。

以上のように、本論文は、恒温恒湿実験、実在店舗計測と解析、シミュレーションによる予測手法の確立等、多くの実験データ・計測データや検討をもって構成されている。多様な SC の冷却特性式と合わせて考案された、建物負荷と SC 漏洩熱、空調機器負荷のバランスに着目した予測モデルは、今まで提案されておらず、学術的な価値は高い。また、本モデルのロジックはエネルギーマネジメントシステムに組み込まれる予定であり、実用上の利用価値も高い研究であると評価できる。本論文の成果は、査読付きの論文誌 2 編、査読付きの国際会議論文 1 編、および多数の口頭発表などを通して公表され、いずれも高く評価されている。

以上から、本論文は博士（環境学）の学位論文として十分な価値を有すると審査委員全員一致で判断し、令和 3 年 11 月 8 日（月）、ZOOM によるオンラインで 10 時 30 分から 11 時 45 分まで博士論文公聴会を開催した。また、同日 11 時 45 分から引き続き ZOOM によるオンラインで、全審査委員出席のもと、同君の博士論文に関する審査会を開催した。始めに、同君より博士論文「空調と冷凍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 (Study on energy consumption of grocery store considering interacting effects of space conditioning and refrigerating equipment)」の概要と、博士論文に関連する学術論文等の公表状況などについて説明があった。これに引き続き質疑応答を行った。審査員からは博士論文に関する質問、一般専門知識に関する質問などがあり、学力および博士号取得資格の確認を行った。発表論文については、学術論文（正論文）が 2 編、全文査読付国際会議論文が 1 編採録されていることから、博士号取得の資格を十分に満たしていることを確認した。外国語については、本人が国際会議において、全文査読付の講演論文を執筆するとともに、英語で発表していることから、十分な学力を有すると判断した。また、履修単位が修了要件を満たしていることを確認した。なお、提出された論文に対して、iThenticate により剽窃、盗用の不正行為を確認したが、専門用語や短い一般的な現象の定義表現を除き、剽窃や盗用に該当するものは無いことを確認した。

以上の論文審査委員会の結論に基づき、本論文を博士（環境学）の学位論文としての価値があるものとして環境情報学府教授会に付議することを決定した。その後、環境情報学府学務委員会での確認を経て、令和 3 年 12 月 6 日（月）に開催された環境情報学府教授会において審議を行い、無記名投票により、藤田美和子氏に博士（環境学）の学位を授与することを決定した。

注 論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。