

Graduate School of Creative Science and Engineering
Waseda University

Doctoral Thesis Screening Results Report

Thesis Theme

Behavior change as a result of post-earthquake
energy shortages and the consequences for
indoor environment and comfort of office employees

震災による節電要請後の行動変容とその連鎖
—オフィスビルの室内環境と快適性—

Applicant name

Sayana TSUSHIMA

對馬 聖菜

Department of Architecture Research on Architectural Environments

February, 2017

東日本大震災(以下、震災とよぶ)による電力危機で全国的に節電が要請され、特に 2011 年夏季に東京電力管内の国民は強制的な節電を経験した。本論文では、節電経験が居住者の行動変容を促しオフィスの省エネルギーと快適性に与えた影響に関して定量的に評価し、今後の建築物の省エネルギー対策、広くは地球温暖化対策に資する知見を得ることを目的としている。節電状況下の東京の複数オフィスの実測調査および東京・名古屋・大阪の実態比較調査を行い、さらに 2003 年から 2013 年までの調査結果の綿密な分析を行うことによって、居住者の行動変容がオフィスの省エネルギーと快適性に与えた影響について定量的に論じている。行動変容により内部負荷が低減したオフィスにおける新たな省エネルギー対策の必要性を指摘している。また、温度上昇や換気量低減時に問題となる在室者の生体発散物質が室内知覚空気質に与える影響に関して被験者実験を行い、これまでにない室内環境制御の可能性を論じている。本論文は、さらなるオフィスの省エネルギーと効果的な室内環境制御に関して考究された貴重な研究であり、今後の建築環境の進展に大きく貢献することが期待される。

本論文は 7 章で構成され英語で記述されている。以下に審査の要旨を述べる。

第 1 章では、本研究の目的を述べるとともに、研究背景や関連する既往研究などについて概観し、本研究の意義を明らかにしている。

第 2 章では、2011 年夏季に東京都内にある 5 棟・7 フロアのオフィスの実測調査により、快適性や知的生産性を損なわずに高いエネルギー削減効果をもたらす節電手法を明らかにしている。調査対象のうち 5 フロアでは照度・温度・外気導入量を変化させ、様々な環境設定条件についてオフィス内の大規模な物理環境測定、執務者を対象としたアンケート調査および消費電力量の解析を行っている。机上面照度 200~650lx の範囲では照明の減光は執務者の満足度に大きな影響を与えないが、室内温度が 27°C を超えると不満足者率が著しく増加することを示している。冷房設定温度を上げるよりも机上面照度を低下させる方が不満足者を増加させずに消費電力量を効果的に削減できることを定量的に明らかにしている。二酸化炭素濃度 600~1200ppm の範囲において、空気質満足度は外気導入量のみならず室内温度と負の相関を持ち、室温上昇は知覚空気質を悪化させることを、実測で示している。また、執務者の 89%は節電に対して肯定的だが、節電に伴い快適性が低下することは受け入れられず 72%が不便・不都合だと感じていること、そして 2010 年の夏と比較して 2011 年には自己申告による生産性が平均で 6.6%低下したことを示している。強制節電状況下でしか得られない知見であり貴重な研究である。

第 3 章では、日本各地の節電手法と節電意識の把握を目的に、オフィス数が多く節電目標値が異なる東京・名古屋・大阪の執務者計 1200 名を対象とした WEB アンケート調査を行っている。全 3 地域で「空調設定温度の緩和」の節電対策が 60%以上実践されていたが、同時に最も業務の妨げになっていたことを確認している。また、東京都内の実測調査で得られた知見と同様に、机上面の明るさが執務者の満足度に与える影響は小さいが、温熱・空気環境に対する不満

足者率は総じて高いことを示している。しかし、3地域で節電意識は異なり、強制的な節電が求められた東京の執務者は節電に対してより肯定的であったことを明らかにしている。また、3地域で温冷感や執務環境申告温度は同程度であったが、節電に対して肯定的な群は否定的な群よりも環境満足度が有意に高く、性別や年代などの属性の違いよりも、節電意識などの心理面の相違が室内環境満足度により大きな影響を与える可能性を指摘している。節電意識が満足度を与える影響が観察された研究成果として、高く評価できる。

第4章では、震災によるオフィス内環境質の変化を明らかにするため、2011年から2013年までの継続調査データに、震災前の既往調査データを加え、首都圏の夏季オフィス実測60事例、アンケート3692部のデータを用いて分析を行っている。震災後は震災前に比べ、机上面照度の平均値が751lxから390lxまで低下し、加えて、発熱の少ないOA機器の積極的な導入により内部負荷が減少したことを示している。また、過度な室温緩和が控えられ、室内温度27°C以下のオフィスが約15%増加したことを確認している。室内平均二酸化炭素濃度は震災前後で変わらず710ppm程度であったと報告している。震災以降は節電意識が大きく高まり、節電に対して肯定的だと回答した人は継続して全体の90%程度を占めており、クールビズ衣服の採用や昼休み消灯などの執務者負担が低い対策は継続され実践率が高まったことを示している。2011年に6.6%低下した自己申告による生産性は、2012・2013年夏の平均はそれぞれ+0.6%、+0.2%とほぼ回復したことから、我慢の少ない節電対策が定着したと考察している。一方、オフィスの温熱・空気環境は光・音・空間・ICT(Information and Communication Technology)環境に比較して執務者の満足度を与える影響が大きい、現状の満足度が低いため、効果的な改善方法を見出す必要があることを指摘している。

第5章では、内部負荷低減による室内環境、空調設備運転状況の把握を目的に、2012年に竣工したビル用マルチパッケージ型室内負荷処理空調機(循環機)および外気負荷処理空調機(外調機)が導入されているオフィスビルの実測を行っている。室内設定温度27°Cの通常空調運転条件に加え、26°C設定条件と外調機の運転制御条件を設け、物理環境測定、アンケート調査および消費電力量の解析を行っている。OA機器の年間一次エネルギー消費量は95MJ/m²、LED照明は520lx程度で運用され同235MJ/m²であり、従来型オフィスの平均値(OA:369MJ/m²、照明:363MJ/m²)と比べ十分に小さかったことを確認している。また、対象建物では循環機・外調機合わせて158W/m²と比較的小さい冷房機器が選定されていたが、平均運転負荷率は循環機・外調機ともに30%未満と小さかったことを示している。空調消費電力量は、設定温度変更および空調運転制御の改善により削減されたが、外調機の停止や過剰な稼働により外調機と循環機の運転バランスが崩れ消費電力量が増加した時間帯が確認され、空調機の湿度設定が主原因であることを明らかにしている。内部負荷低減オフィスでは、外調機の運転方法が消費電力量に与える影響が大きく、システム全体として最適運転方法を考案する必要性を示した、価値ある研究として認められる。

第 6 章では、知覚空気質に関して未解明であった呼吸および皮膚由来の生体発散物質臭気の違いやオゾンによる影響を明らかにする被験者実験を、デンマーク工科大学内のツインチャンバーにて行っている。換気量を一定にし一方のチャンバーに被験者 5 名を入室させ、鼻口を覆うマスクを装着し皮膚からの発散のみを行った皮膚条件、呼気のみを別のチャンバーに送った呼気条件、鼻口を覆うマスクを装着しない全身条件、生体発散物質を含まない空条件を設定している。チャンバー内の環境設定は、室温 23°C で給気中のオゾンを除去した室温 23°C オゾン除去条件を基準とし、室温 28°C オゾン除去条件、室温 23°C オゾン有条件の計 3 条件を設けている。両チャンバーの空気を 23 名がチャンバー外から知覚空気質評価を行った結果、呼吸条件は空条件と統計的な有意差がないが、皮膚および全身条件は臭気強度が有意に高く受容度を低下させたことを示している。室温 28°C 条件では基準と比較し、皮膚由来の生体発散物質に対する臭気強度は有意に上昇し、オゾン有条件でも基準条件より僅かに臭気強度が増し受容度が低下したことを確認している。同時に行った化学分析により、皮膚由来の生体発散物質は呼気のそれよりもノナナール・デカナール等の嗅覚閾値の低いアルデヒド類および皮脂に代表される高分子物質の濃度が高いことを示している。温度上昇等により皮脂の分泌が促進され、皮脂がオゾンにより酸化されアルデヒド類が生成されることが、皮膚由来の生体発散物質による知覚空気質悪化の主原因であると示唆している。生体発散物質が知覚空気質に与える影響に関するメカニズム解明の基盤となる研究として国際的にも高く評価できる。

第 7 章では、各章の研究結果を総括している。

本論文では、震災による節電経験により室内環境に対する認識が変化し、それに伴う執務者の行動変容により、快適性を低下させずにオフィスの省エネルギーが促進されたことを定量的に示し、さらに低減した内部負荷に対応した省エネルギー対策が必要であることを示している。また、皮膚由来の生体発散物質が呼吸由来のものよりも知覚空気質を低下させ、さらに高い室温下および高オゾン濃度下で助長される可能性を示しており、これらは今後の省エネルギー性と質を両立した室内環境制御に関する重要な知見である。本論文は今後の建築環境学の発展に大きく寄与するものであり、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

2017 年 2 月

審査員 主査 早稲田大学理工学術院 教授

工学博士(早稲田大学) 田邊 新一

早稲田大学理工学術院 教授

工学博士(早稲田大学) 長谷見雄二

早稲田大学理工学術院 教授

博士(工学)早稲田大学 高口 洋人

デンマーク工科大学建設工学科 准教授

Ph.D.(Technical University of Denmark) Pawel Wargocki