

Graduate School of Creative Science and Engineering  
Waseda University

# Doctoral Thesis Synopsis

## 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

December, 2016

夏季オフィスにおいて居住者の行動変容を促したものとして、2005年のクールビズがある。日本ではそれ以降軽装による冷房エネルギー消費量削減が浸透してきたが、さらに東日本大震災（以下、震災とよぶ）直後の電力供給力不足により2011年夏季に特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、震災に起因する節電経験が、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、今後の省エネルギーオフィス、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た。

室内環境設定を実験的に変更させて震災当年に行った東京都内の大規模な節電オフィス実測調査により、机上面照度低減は冷房温度緩和よりも不満が少なく節電効果が大きいこと、温度が知覚空気質に影響を与えることを定量的に示した。節電対策および節電意識に関して、東京・名古屋・大阪の比較を行った。節電経験により室内環境に対する認識が変化し居住者の行動変容が促され、震災後は極端に暑いオフィスが減少し、照明やOA機器などの内部発熱を減少させる行動が増加したことを、2003年から2013年のオフィス実測結果を取り纏めて示した。また、内部負荷が低減されたオフィスにおいて、過大な機器容量を持つ空調システムの非効率運転が行われていることを実測調査により指摘し、新たに生じた室内環境制御方式の問題に言及した。さらに、実測調査により示された知覚空気質の問題に関して、未解明であった呼吸・皮膚由来の生体化学物質臭気の違いに関する被験者実験を行った。皮膚由来の臭気が呼吸由来よりも強いことを解明した。さらに環境温度およびオゾン濃度の上昇により助長されることを示し、オフィスの必要換気量に関する新たな知見を得た。

本論文は7章で構成しており、各章の要旨は以下の通りである。

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・調査などについて概観した。

第2章では、震災直後の2011年夏季に東京都内の5棟・7フロアの節電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考究した。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、計22の環境設定条件についてオフィス内の物理環境測定および合計2046部のアンケート調査、消費電力量の解析を行った。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がわかった。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を効果的に削減できることを定量的に明らかにした。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、大規模実測で示した。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た。

第 3 章では、震災後 2 年間の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 3 地域（東京・名古屋・大阪）を選出し各地域の執務者 400 名（計 1200 名）を対象とした WEB アンケート調査を行った。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ることを示した。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た。しかし、3 地域で節電意識は異なり、東京電力管轄内で節電の影響を直に受けた東京の執務者は、節電に対してより肯定的であった。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の感じ方や満足度により大きな影響を与える可能性が示唆された。震災後の計画停電と節電経験により、東京電力管内の居住者の意識変化が観察された。

第 4 章では、震災前後のオフィス内環境質の変化を明らかにするため、2011 年度以降 3 年間の継続調査データに、2003 年度以降の既往データを加え、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た。震災後は震災前に比べ、机上面照度の平均値が 751 lx から 390 lx まで低下していた。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ていた。これらの行動に加え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。室内 CO<sub>2</sub> 濃度は震災前後で変化はみられず 710ppm 程度であった。震災以降 3 年間の継続調査より、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%程度を占めた。クールビズ衣服の採用や昼休みの消灯などの執務者の負担になりにくい対策は継続され、その実践率は高まった。震災直後に 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、我慢のない節電対策への行動変容が震災後定着したことがわかった。一方、オフィスの温熱・空気環境は光・音・空間・ICT 環境に比較して執務者の満足度に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た。

第 5 章では、震災後の内部負荷低減オフィスにおける空調機の運転状況の把握を目的に、震災後に竣工した、一般的なビル用マルチパッケージ型空調システムの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）が導入された省エネルギー設計オフィスの実測調査を行った。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、物理環境測定およびアンケート調査、消費電力量の解析を行った。OA 機器の年間一次エネ

ルギー消費量は、95MJ/m<sup>2</sup>、LED照明は520lx程度で運用され同235MJ/m<sup>2</sup>であり、従来型オフィスの平均値（OA：369MJ/m<sup>2</sup>、照明：363MJ/m<sup>2</sup>）と比べ十分に小さかった。対象建物では158W/m<sup>2</sup>と比較的小さい冷房機器が選定されていたが、通常運転時の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。室内環境は概ね設定通りに制御され、1°Cの設定温度低下で、不満足者率が15%減少した。設定温度変更に加え、空調運転制御の改善により消費電力量が削減されたが、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例が確認され、空調機の湿度設定が主原因であることがわかった。内部負荷低減オフィスでは外調機の運転方法が合計消費電力量に与える影響が大きいため、適切な容量の機器を選定し、機器毎の部分最適化のみではなくシステム全体としての省エネルギー運転方法を考案する必要性を示した。

第6章では、知覚空気質環境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た。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た。チャンバー内の環境設定は、室温23°Cで給気中のオゾン活性炭フィルターにより除去した室温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、活性炭フィルターを設置しない室温23°Cオゾン有条件の計3条件を設けた。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。その結果、呼吸条件は空条件と統計的な有意差がないが、皮膚条件は臭気強度が有意に高く受容度を低下させた。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。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た。温度上昇等により皮脂の分泌が促進されること、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と考えられた。

第7章では、各章の研究結果を総括した。震災後の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た。低減した内部負荷に対応した建築設備容量の決定が重要であることを示した。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、これは高い室温下および高オゾン濃度下で助長されることを示した。本研究により、今後のオフィスの省エネルギー化と効果的な室内環境制御に関する重要な知見を得た。

## 早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 對馬 聖菜 印

(2016年 12月 8日 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論文○	<u>Sayana Tsushima</u> , Shin-ichi Tanabe, Kei Utsumi, Workers' awareness and indoor environmental quality in electricity-saving offices, Building and Environment, Elsevier, Vol. 88, pp. 10-19, 2015. 6
論文○	岩橋優子, 田辺新一, <u>對馬聖菜</u> , 西原直枝, 平岡雅哉, 菰田英晴, 田淵誠一「節電対策が快適性・知的生産性・省エネルギー性に与える影響 —東日本大震災後の節電環境下におけるオフィス実態調査に関する研究—」, 日本建築学会環境系論文集, 一般社団法人日本建築学会, Vol. 79 No. 704, pp. 901-908, 2014. 10
論文○	<u>對馬聖菜</u> , 田辺新一, 西原直枝「東京・名古屋・大阪の地域別の節電対策および節電意識の実態調査」, 日本建築学会環境系論文集, 一般社団法人日本建築学会, Vol. 79 No. 695, pp. 83-92, 2014. 1
論文	田淵誠一, 平岡雅哉, 菰田英晴, 岩橋優子, <u>對馬聖菜</u> , 田辺新一「節電対策が電力消費量削減に与える影響 東日本大震災後の節電環境下におけるオフィス実態調査に関する研究」, 日本建築学会環境系論文集, 一般社団法人日本建築学会, Vol. 78 No. 692, pp. 793-798, 2013. 10
論文○	Shin-ichi Tanabe, Yuko Iwahashi, <u>Sayana Tsushima</u> , Naoe Nishihara, Thermal comfort and productivity in offices under mandatory electricity savings after the Great East Japan earthquake, Architectural Science Review, Taylor and Francis Ltd., Vol. 56 Issue1, pp. 1-10, 2013. 1
講演 国際学会	<u>Sayana Tsushima</u> , Gabriel Bekö, Rossana Bossi, Shin-ichi Tanabe and Pawel Wargocki 「Measurements of Dermal and Oral Emissions from Humans」, Proceedings of the Indoor Air 2016, Ghent, Belgium, 288, 3-8 July 2016
講演 国際学会	Shuhei Takahashi, Shin-ichi Tanabe, <u>Sayana Tsushima</u> , Anri Itoh, Gen Aoki, Eriko Kuzuu, Jinho Yang, Masahiro Tanaka, Hisataka Kitora 「The effects of changing air conditioning operation and working conditions on energy consumption in a suburban office」, Proceedings of the Indoor Air 2016, Ghent, Belgium, 484, 3-8 July 2016
講演 国際学会	<u>Sayana Tsushima</u> , Kei Utsumi, Shin-ichi Tanabe, Masaya Hiraoka, Shin-ichi Hiromoto, Hideharu Komoda and Seiichi Tabuchi 「Indoor Environmental Quality and Workers' Productivity in Electricity-Saving Offices -through the Experience of the Great East Japan Earthquake in 2011-」, Proceedings of the Healthy Buildings EUROPE 2015, Eindhoven, The Netherlands, 420, 18-20 May 2015
講演 国際学会	Kei Utsumi, <u>Sayana Tsushima</u> , and Shin-ichi Tanabe 「Workers' Sensation, Comfort for Indoor Environments in Offices Prior and Subsequent to the Earthquake -through the Experience of the Great East Japan Earthquake in 2011-」, Proceedings of the Healthy Buildings EUROPE 2015, Eindhoven, The Netherlands, 486, 18-20 May 2015
講演 国際学会	<u>Sayana Tsushima</u> , Shin-ichi Tanabe, Naoe Nishihara, Masaya Hiraoka, Shinichi Hiromoto, Hideharu Komoda, Seiichi Tabuchi 「Workers' Awareness and Indoor Environmental Quality in Power-Saving Offices」, Proceedings of the Indoor Air 2014, Hong Kong, HP0661, 7-12 July 2014
講演 国際学会	<u>Sayana Tsushima</u> , Shin-ichi Tanabe, Yuko Iwahashi, Naoe Nishihara, Masaya Hiraoka, Shinichi Hiromoto, Hideharu Komoda, Seiichi Tabuchi 「Comfort, Productivity, and Energy Conservation in Extreme Power-Saving Conditions: The

## 早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演 国際学会	Case of Office Buildings during the Summer after the Great East Japan Earthquake」, Proceedings of the CLIMA 2013, Prague, Czech Republic, 18 June 2013 Shin-ichi Tanabe, Yuko Iwahashi, <u>Sayana Tsushima</u> 「Thermal Comfort and Productivity in Offices under Mandatory Electricity Savings after Great East Japan Earthquake」, Proceedings of 7th Windsor Conference, Windsor, UK, 12 April 2012 基調講演
講演 国際学会	Shin-ichi Tanabe, Yuko Iwahashi, <u>Sayana Tsushima</u> 「Indoor Environment and Productivity in Offices under Mandatory Electricity Savings after the Great East Japan Earthquake」, Proceedings of the Healthy Buildings 2012, Brisbane, Australia, 12 July 2012
講演 シンポジウム	田辺新一, 岩橋優子, <u>對馬聖菜</u> 「この夏をどう過ごしたか」, 第7回建築設備シンポジウム「環境建築の最新性能について考える」, 主催: 建築工学委員会 建築設備運営委員会, 建築会館ホール, 2011.10.20
講演 シンポジウム	田辺新一, 岩橋優子, <u>對馬聖菜</u> 「再興－再興－快適性とエネルギー」, 環境設備デザインの再興とSAIKO（最古・再考・Psycho、最高）－温熱環境を選択させる意義とその可能性－シンポジウム, 主催: 建築工学委員会、建築設備運営委員会、環境選択型空調設計小委員会, 建築会館ホール, 2011.12.6
講演 国内学会	<u>對馬聖菜</u> , 伊藤安里, 他4名「郊外の業務ビルの経済的観点を踏まえたZEB化に向けた検討 その3:空調設定温度変更(冬季)」, 日本建築学会大会, 41119, 福岡大学, 2016.8.24
講演 国内学会	<u>對馬聖菜</u> , 高橋周平, 他6名「郊外の業務ビルの経済的観点を踏まえたZEB化に向けた検討 その1:空調設定温度変更」, 日本建築学会大会, 41147, 東海大学, 2015.9.4
講演 国内学会	<u>對馬聖菜</u> , 田辺新一, 西原直枝, 平岡雅哉, 弘本真一, 菰田英晴, 田淵誠一「東日本大震災後の節電環境下における夏季オフィスの快適性・知的生産性・エネルギー消費量（第3報）2012年夏季の調査結果」, 空気調和・衛生工学会大会, A-22, 信州大学, 2013.9.26
講演 国内学会	<u>對馬聖菜</u> , 西原直枝, 田辺新一「東京・名古屋・大阪の地域別の節電対策および節電意識の実態調査」, 日本建築学会大会, 41164, 北海道大学, 2013.8.30
講演 国内学会	<u>對馬聖菜</u> , 田辺新一, 岩橋優子, 西原直枝, 他4名「東日本大震災後の節電環境下における夏季オフィスの快適性・知的生産性・エネルギー消費量（第2報）各環境満足度とエネルギー消費量」, 空気調和・衛生工学会大会, B-37, 北海道大学, 2012.9.6
講演 国内学会	<u>對馬聖菜</u> , 岩橋優子, 西原直枝, 田辺新一, 他4名「東日本大震災後の節電環境下における夏季オフィスの快適性・知的生産性・エネルギー消費量 その2:室内環境と満足度」, 日本建築学会大会, 41664, 名古屋大学, 2012.9.14
講演 国内学会	高橋周平, <u>對馬聖菜</u> , 葛生恵理子, 伊藤安里, 青木現, 田辺新一, 田中宏昌, 木虎久隆「郊外の業務ビルの経済的観点を踏まえたZEB化に向けた検討 その2:ワークスタイル導入における省エネルギー性」, 日本建築学会大会, 41148, 東海大学, 2015.9.4
講演 国内学会	田中宏昌, 高橋周平, <u>對馬聖菜</u> , 葛生恵理子, 他5名「郊外の事務所ビルにおけるZEB化に向けた空調運用に関する検討（その1）設定温度変更時の室内環境・快適性・空調消費電力量」, 空気調和・衛生工学会大会, C-3, 大阪大学, 2015.9.16
講演 国内学会	高橋周平, 田辺新一, <u>對馬聖菜</u> , 葛生恵理子, 他5名「郊外の事務所ビルにおけるZEB化に向けた空調運用に関する検討（その2）ワークスタイル導入における省エネルギー性」, 空気調和・衛生工学会大会, C-4, 大阪大学, 2015.9.16
講演 国内学会	内海慧, <u>對馬聖菜</u> , 他3名「震災前後のオフィスにおける執務者意識と執務環境 その1:60調査事例の比較」, 日本建築学会大会, 40026, 神戸大学, 2014.9.13
講演	田辺新一, <u>對馬聖菜</u> , 他5名「震災前後のオフィスにおける執務者意識と執務環境

## 早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
国内学会 講演	その2：震災後3年間の継続調査」，日本建築学会大会，40026，神戸大学，2014.9.13
国内学会 講演	内海慧， <b>對馬聖菜</b> ，加藤駿，原田尚侑，田辺新一「震災前後の執務空間における執務者心理に関する研究」，空気調和・衛生工学会大会，C-35，秋田大学，2014.9.5
国内学会 講演	平岡雅哉，弘本真一，菰田英晴，田渕誠一，田辺新一， <b>對馬聖菜</b> 「個別分散型ヒートポンプパッケージの高度利用に関する研究 その13 東日本大震災前後のエネルギー特性の評価」，空気調和・衛生工学会大会，G-54，信州大学，2013.9.27
国内学会 講演	田辺新一，岩橋優子， <b>對馬聖菜</b> ，西原直枝，他4名「東日本大震災後の節電環境下における夏季オフィスの快適性・知的生産性・エネルギー消費量 その1：調査概要と節電意識」，日本建築学会大会，41665，名古屋大学，2012.9.14
国内学会 講演	菰田英晴，平岡雅哉，弘本真一，田渕誠一，田辺新一，岩橋優子， <b>對馬聖菜</b> ，西原直枝「東日本大震災後の節電環境下における夏季オフィスの快適性・知的生産性・エネルギー消費量 その3:エネルギー性の評価」，日本建築学会大会，41666，名古屋大学，2012.9.14
国内学会 講演	平岡雅哉，弘本真一，菰田英晴，田渕誠一，田辺新一，西原直枝， <b>對馬聖菜</b> ，岩橋優子「東日本大震災後の節電環境下における夏季オフィスの快適性・知的生産性・エネルギー消費量 その4:対象建物の電力量消費量評価」，日本建築学会大会，41667，名古屋大学，2012.9.14
国内学会 講演	田辺新一， <b>對馬聖菜</b> ，岩橋優子，西原直枝，他4名「東日本大震災後の節電環境下における夏季オフィスの快適性・知的生産性・エネルギー消費量（第1報）節電意識と物理環境測定結果」，空気調和・衛生工学会大会，B-36，北海道大学，2012.9.6
その他 講演	Mari Nagoshi, <b>Sayana Tsushima</b> , 他3名「Verifying the Validity of Facade Design Strategy through Optimization of Digital Modeling Tools」, Proceedings of the Healthy Buildings EUROPE 2015, Eindhoven, The Netherlands, 471, 18-20 May 2015
国際学会 講演	高橋周平， <b>對馬聖菜</b> ，伊藤安里，他4名「再生可能エネルギーを活用したアースビル立川の省エネルギー性能に関する研究 その3 中間期・冬期の室内環境に関するアンケート調査」，日本建築学会大会，41561，福岡大学，2016.8.26
国内学会 講演	藤澤順太， <b>對馬聖菜</b> ，伊藤安里，他3名「オフィスビルにおける健康性能を考慮した建物環境評価指標に関する研究」，日本建築学会大会，40577，福岡大学，2016.8.26
国内学会 講演	高橋周平，田辺新一， <b>對馬聖菜</b> ，他2名「再生可能エネルギーを活用したアースビル立川の省エネルギー性能に関する研究 第4報 冬季の室内環境測定および快適性に関するアンケート調査」，空気調和・衛生工学会大会，H-70，鹿児島大学，2016.9.16
国内学会 講演	藤澤順太， <b>對馬聖菜</b> ，伊藤安里，高橋周平，久保隆太郎，田辺新一「執務者の健康を考慮した建物環境性能評価に関する研究（その1）日本における健康評価指標の提案および実オフィス評価」，空気調和・衛生工学会大会，I-11，鹿児島大学，2016.9.14
国内学会 講演	伊藤安里， <b>對馬聖菜</b> ，高橋周平，他3名「執務者の健康を考慮した建物環境性能評価に関する研究（その2）日本オフィスを対象としたWELL認証評価項目の適用と健康向上度分析」，空気調和・衛生工学会大会，I-12，鹿児島大学，2016.9.14
国内学会 講演	高木 正尚，佐藤 秀幸，他7名（申請者は9番目）「省エネルギーで決適な空調制御手法の研究開発：アクティブスウィング制御の実証試験結果について」，空気調和・衛生工学会東北支部3回学術・技術報告会論文集3，75-78，2014.3.18
国内学会 講演	名越まり， <b>對馬聖菜</b> ，加藤駿，原田尚侑，田辺新一「3次元モデリングツールを用いた窓装置の検討」，日本建築学会大会，40207，神戸大学，2014.9.12
国内学会 講演	名越まり，田辺新一， <b>對馬聖菜</b> ，加藤駿，原田尚侑「デジタルモデリングツールを用いた窓装置の検討」，空気調和・衛生工学会大会，G-31，秋田大学，2014.9.14