

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360240

研究課題名(和文) オフィスの節電照明の変化実態把握と新しい省エネルギー光環境への展開

研究課題名(英文) Analysis of office lighting under power-saving policies for the development of a new energy-saving office lighting

研究代表者

岩田 利枝 (Iwata, Toshie)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：80270627

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では東日本大震災後の首都圏節電下のオフィスの光環境の実態の記録を残すとともに、そこからオフィス照明の基本要件を抽出し、省エネルギー照明手法の開発を行った。節電によって、照明のエネルギー削減はランプや器具の効率の向上の他に、必要照度を下げる、照射面積を小さくする、照射時間を短くすることによる効果が大きいことが示された。これらは「光環境の質を落とす」と考えられ触れられてこなかった方法である。照明の基本要件の見直しから着手し、照射面積・時間、昼光利用を考え、人の視覚特性を利用した「不均一・変動照明」による照明手法の提案を行い、これらに基づいた新しい照明基準作成の準備を行った。

研究成果の概要(英文)：This study records office lighting under power-saving policies enacted in the aftermath of the Great East Japan Earthquake. From the real situation investigated, basic requirements of office lighting are extracted and a new energy-saving lighting method is developed. The office lighting under the power-saving policies shows that strategies for reducing energy for office lighting includes not only lamps or luminaires with higher efficiency but also a lower illuminance, a smaller illuminated area and a shorter lighting duration. They had been avoided due to a possibility to deteriorate quality of lighting environment. This study proposed a “non-uniform and non-stable” lighting environment based on human visual properties using daylight, which can reduce energy consumption. This brings us to the starting line for new office lighting standards.

研究分野：建築環境工学

キーワード：光環境 省エネルギー オフィス 照度 不均一照明 変動照明 昼光照明 輝度

1. 研究開始当初の背景

地球環境の視点からも建築における運用エネルギー削減は重要な課題である。しかし、2011年3月の震災まで、照明分野は空調などの他の運用エネルギーと比べ、エネルギー削減が進まない状況が続いていた。省エネルギーをランプや器具の効率を上げることで達成しようとするため、過剰な照度を減らすといった光環境そのものを見直す努力が疎かになっていたことは否定できない。

2011年3月の福島原子力発電所事故により東京電力管轄内は電力供給力不足となり首都圏では節電が余儀なくされた。大規模な消灯・減灯が実施されたが、この節電照明に対し意外なほど「やればできる」「慣れれば大丈夫」の声も高かった。しかし、一方オフィスでは生産性の低下が懸念され、光環境の質を落とさない省エネルギー照明への要求が高まった。

2. 研究の目的

本研究では2011年3月以降の首都圏節電下のオフィスの光環境の実態の記録を残すとともに、そこからオフィス照明の基本要件を抽出し、省エネ照明手法の開発を行う。節電によって、照明のエネルギー削減はランプや器具の効率の向上や昼光利用といった手法の他に、必要照度を下げる、照射面積を小さくする、照射時間を短くすることによる効果が大きいことが示された。これらは今まで「光環境の質を落とす」と考えられ触れられてこなかった方法である。

本研究では照明の基本的要件の見直しから着手し、照射面積、照射時間、昼光利用を考え、人の視覚特性を利用した「不均一・変動照明」による省エネルギー光環境の提案を行う。これらの結果から質を損なわない省エネルギー光環境を導くための基準作成の準備へと展開する。

3. 研究の方法

研究計画の基本的な流れは、まず(1)節電時の照明に関する実態の把握を行い、(2)経年変化から執務者の意識変化を明らかにした。(1)の実態把握は、節電対策の調査、執務者による環境評価、照度・輝度分布等の光環境実測、エネルギー削減量の測定から成り、(2)は1950年代から現在までの文献調査を中心に行った。

これらによって節電照明による知見を明確にした上で、光環境の基本要件を抽出し、ヒトの視覚特性を考えたエネルギー削減手法として、(3)空間的不均一、(4)時間的変動、(5)昼光照明による視環境について検証を行った。それぞれ光環境の質(明視性、雰囲気、生産性)の確保のための条件を実験により明らかにし、シミュレーションで省エネルギー効果を確認した。最後は研究のまとめとして(6)提案するエネルギー削減手法を考慮した新しい基準作成の準備を行った。

4. 研究成果

(1) オフィスの節電照明環境の実態と基本要件の抽出

節電対策の実施内容とその効果を明らかにすることを目的に、2011年は全国のオフィスビル61件、2012年は45件、2013年は2011年と2012年の両方から回答を得た16件を対象に管理者アンケートを実施した。また、節電照明環境下におけるオフィス執務室の光環境評価を明らかにすることを目的に、執務者アンケートを実施した。加えて、実際のオフィス執務室の照度分布、輝度分布、照明消費電力量を定量的に把握するため、2011年は関東に所在する14件、2012年は関西に所在する5件のオフィスビルについて実測調査を行った。

管理者アンケートの結果より、節電対策として「間引き点灯」「不在時・不在箇所の消灯」「点消灯のスケジュール管理」に次いで、「自然光の積極的利用」を行うオフィスが多く、「照明器具の更新」や「調光制御」はあまり実施されていないことがわかった。また、節電対策実施前は机上面照度750~1000lx設定の物件が多かったのに対し、節電対策実施以降は300~500lx設定の物件がほとんどで、机上面照度1000lx以上の物件は節電対策実施によりなくなった。

照明の節電手法に変更のなかった9件のオフィス執務者によるアンケートを2011年夏季と2013年夏季とで比較した結果、机上面周りの明るさ評価は両年でほぼ同じ傾向であったが、執務空間全体の明るさ評価は2011年夏季は「明るい」「どちらでもない」「やや暗い」の評価がほぼ同数であったのに対し、2013年夏季は「どちらでもない」の評価が最も多くなった。執務空間全体の明るさ評価と満足度の関係について見ると(図1)、2011年と2013年とでほぼ同様の傾向を示し、2013年には「やや暗い」と感じる場合でも、過半が「どちらでもない」~「非常に満足」と評価している。明るければ明るいほどオフィス執務室の光環境として満足するわけではないことが示された。

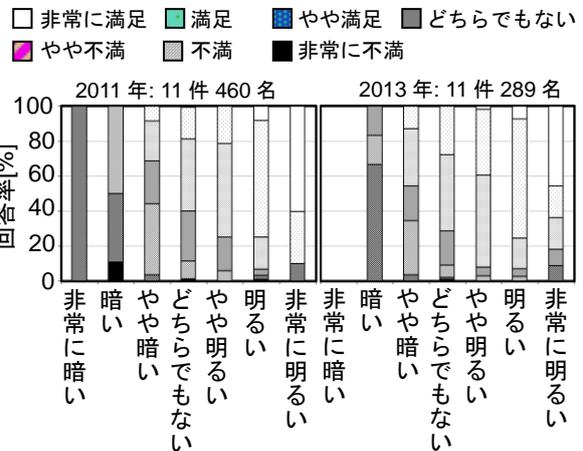


図1 執務空間全体の明るさ評価と満足度

(2) 照度の変遷と執務者の意識変化

オフィスの照度の変遷を明らかにするため JIS 照度基準の前身である屋内照明基準の制定された 1953 年から 2013 年までに実際に竣工した 485 物件の照度データを文献調査より収集した。調査対象文献は建築設備士技術者協会出版の建築設備士、照明学会出版の新編照明のデータブック、照明学会誌とした。

結果を図 2 に示す。1970 年代前半までは、JIS 照度基準を実態が大幅に上回っていた。基準値の範囲内に収まったのは 1980 年前後である。その後 1990 年頃までは基準範囲内で増加していたが、1998 年頃から現在まではほぼ基準範囲の上限を維持している。以上のことから、我が国のオフィスの照度は、当初は蛍光灯の普及に伴い急激に上昇した実態が、石油ショック等により低下し、次第に JIS の基準に従って設計されるようになったものと考えられる。

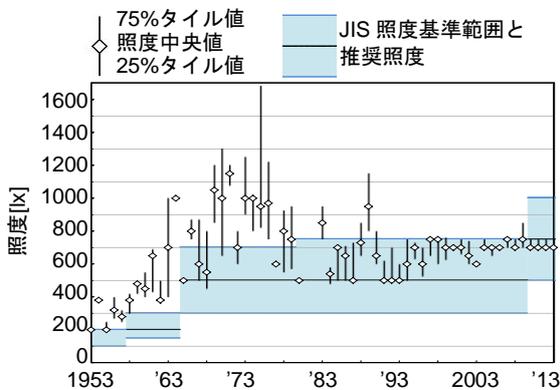


図 2 オフィス照度の変遷

一方、執務者の明るさに対する意識（満足度）は震災前後で変化があることが調査結果から得られており、必ずしも一定ではない。そこで、執務者側の照度に対する意識の変化の調査するため、1950 年から 2013 年までに建築学会・照明学会で発表された論文・記事から、実際のオフィスの執務者を対象とした調査や実験により照度に対する執務者の評価に言及した事例を 28 件収集した。

1964 年から 2010 年まで基準の下限値であった照度 300lx は 1955 年の調査では評価が高いものの、80 年代から評価が下がり始め 90 年代には中間値（「明るくも暗くもない」「普通」）以下の評価となった。

各時代の JIS の照度基準の推奨値と評価を比べると、必ずしも評価が中間値以上になってはいない。1964 年から 2010 年までの推奨値であった照度 500lx は、1986 年まで常に中間値以上の評価を得ていたが、1994 年以降は評価が中間値以下となった。この間にも要求水準が上昇したと推測される。一方で、現在の推奨値である 750lx 以上での評価は常に肯定側の評価である。

また、2010 年代の調査では震災前のデータであるにもかかわらず JIS の推奨照度以下で評価が中間値以上を得ているものもあり、オ

フィスの明るさに対する評価が照度で一律に決まらなくなってきている可能性も示唆された。

(3) 空間的不均一照明の質の確保

省エネルギー照明では均一性を重視した全般照明方式から不均一性を活かした照明設計への転換が必要となる。ここでは不均一全般照明と、タスク・アンビエント照明 (TAL) の作業性等について検討を行った。

照度の均一性を示す指標として用いられている「均斉度 (最低照度/平均照度)」は必ずしも空間全体の照明の不均一性に対応した指標とはなっていない。そこでオープンオフィス環境を模した実空間において、照明環境の不均一性に関する被験者実験を行った。机上面照度 300~750 ルクス の 5 条件、照明点灯条件は 3 条件とし、各条件化で被験者は 2~4 週間過ごし、照明環境を評価した。

パス解析の結果から照明環境の不均一性は空間満足度に負の影響を及ぼすことが示され、不均一性の許容限界を探る必要があることが確認された、また、壁・作業面輝度の平方根、および水平面照度から得られる変動係数を評価尺度とすることで照明環境不均一性を説明できることが示唆された。

TAL については、従来の TAL 方式における空間の陰鬱さをなくすために、アンビエント照明に間接照明を採用した TAL 方式の評価を行った。実際の小規模オフィスにおいて、間接照明を採用した TAL 方式の実証実験を行い、消費エネルギーの 40% の削減を実証した。

また、縮尺 1/10 のオフィス模型を用いて、全般照明方式、直接照明を調光した TAL 方式、直接照明を間引いた TAL 方式、間接照明の TAL 方式の 4 つの照明条件を比較した。結果を図 3 に示す。3 つの TAL 方式を比較すると、間接照明の TAL 方式の快適性が高いという傾向が見られ、作業環境に適していると言えた。しかし、天井面の明るさの均一性に関しては、間接照明の TAL 方式が最も低い値となり、これは、アンビエント照明の照度が高すぎたことが原因だと考えた。今後、天井や室内空間全体の明るさの均斉度の評価構造と、作業性及び快適性との関係についてさらに研究する必要がある。

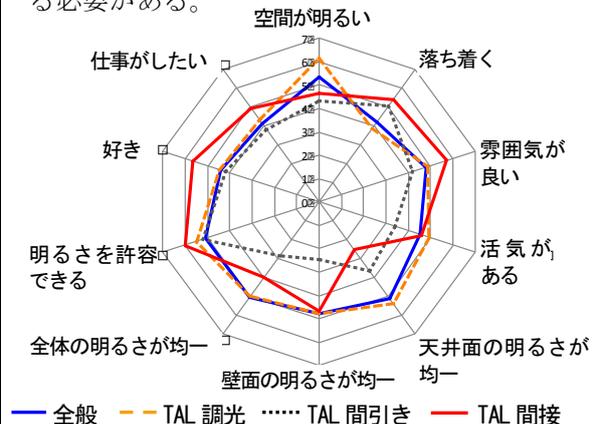


図 3 模型による印象評価

(4) 変動照明の質の確保

従来の日本のオフィス執務室は、日中、夜間を問わずに常時一定の照明環境に設定することが多かったが、人間の生理・省エネルギーの観点から、時間的変動が許容される照明手法を見出す必要がある。

執務空間の照度を一日を通して連続的に低下させることで、執務者の作業効率・視覚疲労にどのような影響を与えるか検証した。日中(9時~18時)の曝露光量は、机上上面照度の積算値で $3,200 \text{ lx} \cdot \text{h}$ 一定とし、照度変動2条件と終日一定の3条件に、PC画面の輝度2条件を組み合わせた6条件を、作業効率・視覚疲労・光環境主観評価により評価した。被験者には8名の男子大学生を用いた。

結果、午前中は 500 lx で一定、午後から照度を徐々に下げた条件で最も視覚疲労が軽減され、作業効率も向上した。また、照度を低下させた条件では被験者の7割以上が明るさの変化に気づいたが、オフィス照明環境としての許容度には影響せず、許容度はむしろ向上する傾向にあった。

一方、今日のオフィスでは人感センサーによる在席連動制御を導入して節電を図ることも多い。このようなオフィスでは、執務者の離席に伴い、瞬時にある範囲の照度が減光されると、他の在室者はその変化に気づき集中力の妨げになる可能性がある。このような不満に対処するため、変動の設定を調節し減光量を少なくすると、結果的に期待していたよりエネルギー削減量も小さくなってしまう。そこで、照明の減光を瞬時に行う代わりに時間をかけて減光させることで、在室者にその変化を気づかれないようにすることができれば、集中力の妨げの防止とエネルギー削減の両立が可能になると考えられる。

このような変動照明の最適な設定を見出すために一連の実験を行った。照明の設定は開始照度と終了照度の関係(照度比)と変動に要する秒数(変動時間)の2要因で決まる。また、その他の条件として、執務者の作業のタイプ、変動させるアンビエント照明と執務者の位置関係、窓からの日光の存在、および変動させる照明にタスク照明も含めるか等を取り上げた。

結果として、最も執務者の知覚率が小さくなる設定としては、開始照度 750 lx から40秒程度で終了照度 450 lx まで減光させるのが最適であることが判明した。この設定は、空間内に日光光源がある場合や、アンビエント照明のみの変化だけではなく、タスク・アンビエント照明で双方が同時に変動する場合も同様であった。また、照明の位置と気づきの関係としては、グレアインデックスの算出法に準じた形式で、視野内の照明器具の位置を判断する手法を用いることで、気づきやすい位置の判断をすることが適切であると考えられた。

(5) 昼光照明の質の確保

オフィスの節電照明環境の実態調査で示されたように、日光利用によるオフィスの照明用電力削減効果が期待できる。しかし、直射日光による冷房負荷の増大や執務者にまぶしさを与える可能性もあり、ブラインドを効果的に用いることが求められる。近年オフィスでは自動制御ブラインドを用いることが多くなったが、適切なスラット角制御ができていない場合が多い。

現在の日射遮蔽角や一定のオブセット角(保護角)制御では不快グレア抑制と眺望の確保に不十分であることを指摘し、不快グレア評価指標PGSVを基に、さらに屋外対向建物や庇の影響を考慮したスラット角制御を提案した。

その結果、通常スラットを閉めるほど窓面平均輝度は下がると考えられていたが、周辺建物や庇などの影響により、スラットを開けた状態の方がグレア感予測値が下がる場合があることを示した。このように、窓周辺遮蔽物を考慮することで、ブラインドのスラットを過剰に閉める必要がなくなり、より有効な日光利用が可能になった。

提案したブラインドの制御方法を用いて天井反射型日光アンビエント照明手法の照明用電力削減効果について年間シミュレーションを行い、天井入射照度および照明用電力削減率を示した(図4、図5)。日光利用により、1日のアンビエント照明電力削減率は夏至69%、冬至42%となり、年間では天井反射率70%の場合で約44%アンビエント照明電力の削減が可能であることを確認した。

E_{dn} : 法線面直射日光照度、 E_{sh} : 全天空照度

夏至 $E_{dn}=72900[\text{lx}]$ 、 $E_{sh}=33700[\text{lx}]$

冬至 $E_{dn}=35500[\text{lx}]$ 、 $E_{sh}=25400[\text{lx}]$

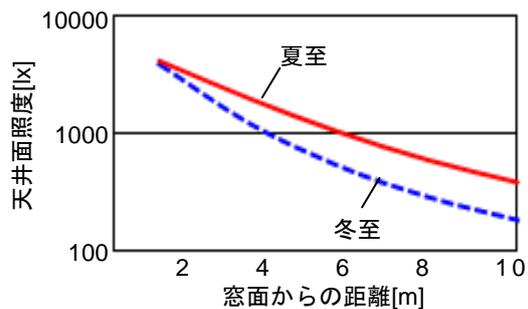


図4 1日の電力消費量(夏至、冬至)

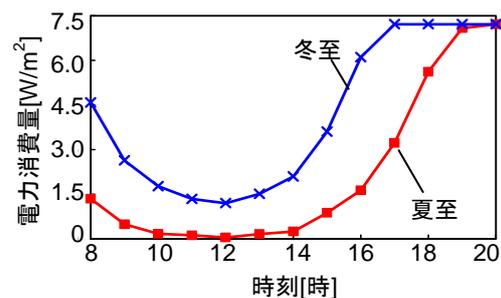


図5 1日の電力消費量(夏至、冬至)

(6) 照明基準への展開

以上の結果を基に、従来の照度基準が中心であった照明基準に、本研究で検討した空間的不均一照明、時間的変動照明、昼光照明を組み込んだ新しい照明基準の作成・提案に向けて、作業空間における明るさ感に関する一連の検討と、照明環境の代表的な指標である照度と輝度の関係の整理を行った。

まず昼光を含めた多様な空間において、明るさ感に関する評価実験を行い、空間の明るさ感に関する評価式について検討を行った。また、その妥当性を確認した。

既存の照明計画に用いられている照度値と空間の輝度分布の関係については探索的検討として、照明シミュレーションを用いて行った。天井高、机上面から照明器具までの距離を一定にした条件で、室の面積を5種類想定し、計算対象室とした。それぞれの室毎に、光束法による平均机上面照度値を11水準設定、各条件の下で、7種類の照明手法(ダウンライト少灯、ダウンライト多灯、ペンダント、ライン、ユニット、スクエア、間接照明)を適用した。内装の反射率として天井面3水準、壁面3水準、床面2水準を設定し、照明シミュレーションソフトを用いて、各面の平均輝度や標準偏差の他、0.1mグリッドの輝度分布における輝度値の中央値などを求めた。

結果としては、室面積36m²・平均机上面照度500lx条件での検討により、照明方式による有意な差をほとんどの項目で検出し、壁面反射率や床面反射率による影響を見出した。同一の照明方式で目標の平均机上面照度が異なる場合、平均机上面照度の値が高くなると、輝度分布の各値のばらつきが大きくなった。また室面積が異なる場合、低照度値の方が照度均斉度のばらつきが大きいが、輝度分布のばらつきは高い照度値の方に現れることなどを確認した。さらに輝度分布の各値と平均机上面照度値の関係式を導出した。

(7) まとめ

本研究では節電時のオフィスにおける省エネルギー照明と執務者の評価の実態を分析し、経年変化による執務者の意識変化を明らかにした。そこから抽出された空間的不均一、時間的変動、昼光照明の視環境的問題について検討し、新しい省エネルギー照明手法の提案を行った。さらにこの基準化に向けて輝度基準を導くための方法を開発した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

① 國分詠美子、鈴木晴翔、鄭新源、宗方淳、照明の変動知覚における照度比と変化率の影響に関する研究、日本建築学会環境系論文集、査読有、第80巻、2015、407-414
DOI : 10.3130/aije.80.407

② Sakura KANO, Daisuke ITO, Etsuko MOCHIZUKI, Toshie IWATA and Yoshiki NAKAMURA, Pilot Study of Reconsideration of the Lighting Environment in Train Stations under the Restriction of Power Use due to the Aftermath of the Great East Japan Earthquake, Journal of Light & Visual Environment, 査読有、38, 2014, 12-21
DOI : 10.2150/jlve.IEIJ140000495

③ 谷口智子、岩田利枝、伊藤大輔、窓周辺遮蔵物を考慮した不快グレア指標 PGSV に基づく自動ブラインド制御に関する研究、照明学会誌、査読有、98、2014、211-217
DOI : 10.2150/jiej.98.211

④ 望月悦子、吉澤望、岩田利枝、宗方淳、平手小太郎、明石行生、2011年の節電対策がオフィス照明環境に与えた影響 東日本大震災に伴うオフィスの節電照明環境の実態 その1、日本建築学会環境系論文集、査読有、第78巻、2013、9-16
DOI : 10.3130/aije.78.9

〔学会発表〕(計 30 件)

① 関根諒、國分詠美子、宗方淳、変動する照明器具の位置が明るさ知覚に及ぼす影響に関する研究、日本建築学会大会、2015年9月4日～6日、東海大学(神奈川県・平塚市)

② 山崎成、鈴木直行、望月悦子、吉澤望、全般照明方式によるオープンオフィス照明環境の不均一性評価指標に関する検討、日本建築学会大会、2015年9月4日～6日、東海大学(神奈川県・平塚市)

③ 山本果奈、明石行生、照明方式が空間の明るさの均一さの評価に及ぼす影響、日本建築学会大会、2015年9月4日～6日、東海大学(神奈川県・平塚市)

④ Toshie Iwata, Tomoko Taniguchi, Daisuke Hirai, Ryohei Mase, Tsuyoshi Ito, A daylight responsive dimming systems without indoor photosensor in an office with PGSV-based blind control, 28th Session of CIE (International Commission of Illumination), 2015.7.2, マンチェスター(イギリス)

⑤ Miki Kozaki, Kotaro Hirate, Basic research on the relationship between illuminance value and spatial distribution of luminance - Exploratory data analysis using lighting simulation -, 28th Session of CIE (International Commission of Illumination), 2015.7.2, マンチェスター(イギリス)

⑥ Jun Munakata, Perception of illuminance simultaneous change of task and ambient lighting, 28th Session of CIE (International Commission

of Illumination), 2015.6.30, マンチェスター (イギリス)

⑦山本果奈, 明石行生, タスク・アンビエント照明による作業環境の質の向上、照明学会ヤングウェブフォーラム、2015年3月5日、東海大学 (東京都・港区)

⑧成島雄一, 宗方淳, 岩田利枝, 谷口朋子, 望月悦子, オフィス照明環境と執務者評価の変遷に関する研究、日本建築学会大会、2014年9月12日、神戸大学 (兵庫県・神戸市)

⑨國分詠美子, 鈴木晴翔, 宗方淳, 照明の変動知覚における照度比と変化率の影響に関する研究、日本建築学会大会、2014年9月14日、神戸大学 (兵庫県・神戸市)

⑩加納さくら, 望月悦子, 吉澤望, 神農悠聖, 岩田利枝, 東日本大震災以後のオフィス照明の節電手法と執務者光環境評価の変化、照明学会全国大会、2014年9月5日、埼玉大学 (埼玉県・さいたま市)

⑪望月悦子, 大震災から2年9ヶ月 光環境はどう変わったか、日本建築学会シンポジウム「大震災から2年9ヶ月ー環境工学はどう変わったか」、2013年12月3日、建築会館 (東京都・港区)

⑫ Koto Mihashi, Tomoko Taniguchi, Toshie Iwata, Daylight ambient lighting system with glareless blind control for sustainable office lighting, Energy for Sustainability 2013, 2013年9月10日, コインブラ (ポルトガル)

⑬宗方淳, オフィスの明るさ感と光環境満足度の関係の変化に関する考察、日本建築学会大会、2013年8月30日、北海道大学 (北海道・札幌市)

⑭石井千恵子, 望月悦子, 日中の照度変動が作業効率と視覚疲労に与える影響、日本建築学会大会、2013年8月29日、北海道大学 (北海道・札幌市)

⑮田中寛, 鈴木直行, 望月悦子, 吉澤望, オフィス空間における天井照明による空間的不均一性の許容範囲に関する研究、日本建築学会大会、2013年8月29日、北海道大学 (北海道・札幌市)

⑯ Chieko Ishii, Etsuko Mochizuki, Combined effects on sleeping quality of lighting environment in the daytime and that in the nighttime, CIE Centenary Conference "Towards a New Century of Light", 2013.4.15, パリ (フランス)

⑰ Naoyuki Suzuki, Nozomu Yoshizawa, Etsuko

Mochizuki, Hiroshi Tanaka, A study on the permissible range of non-uniformity by ambient lighting in a workplace, CIE Centenary Conference "Towards a New Century of Light", 2013.4.15, パリ (フランス)

⑱ Nozomu Yoshizawa, Etsuko Mochizuki, Toshie Iwata, Light Environment in Japanese Office Buildings After the 3.11 Earthquake -Field Measurements on Illuminance Levels and Occupants' Satisfaction, SLL/CIBSE International Lighting Conference, 2013.4.12, ダブリン (アイルランド)

⑲ Chieko Ishii, Etsuko Mochizuki, Suitable Lighting Environment from a Viewpoint of Circadian Rhythm, The 7th Lux Pacifica 2013, The 7th Lux Pacifica 2013, バンコク (タイ)

[図書] (計 1件)

①今井正次, 櫻井康宏, 明石行生, 中居孝幸, 大月淳, 吉田伸治, 設計力を育てる建築計画100選 (第2.4章に「全般照明方式とTAL方式」を執筆)、共立出版、2015年、360ページ

[その他]

ホームページ

<http://iwatalab.web.fc2.com/kaken2012B.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩田 利枝 (IWATA, Toshie)
東海大学・工学部・教授
研究者番号：8027062

(2) 研究分担者

吉澤 望 (YOSHIZAWA, Nozomu)
東京理科大学・理工学部・教授
研究者番号：40349832

望月 悦子 (MOCHIZUKI, Etsuko)
千葉工業大学・工学部・教授
研究者番号：80458629

平手 小太郎 (HIRATE, Kotaro)
東京大学・工学研究科・教授
研究者番号：70165182

宗方 淳 (MUNAKATA, Jun)
千葉大学・工学研究科・教授
研究者番号：80323517

明石 行生 (AKASHI, Yukio)
福井大学・工学研究科・教授
研究者番号：10456436