

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06321

研究課題名(和文) 在席検知制御によるオフィスの変動照明の設計法

研究課題名(英文) A study to design changing illuminance of office lighting controlled with human occupation

研究代表者

宗方 淳 (Munakata, Jun)

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：80323517

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：在席検知技術を用いることで自動的に変動するオフィス照明について、在室者の注意を妨げることのない調光設定方法を検討した。本検討は実験室内で様々な設定によって照明を増減光させ、室内でオフィス作業を遂行中の被験者の知覚や認知との関係を検討した。検討された照明の要因は、照度比・変化速度・照明の位置・照明光色と内装色などの多岐に渡った。その結果、最も在室者への影響の少ない照度比・変化速度をに加えて、実際の空間において配慮の必要な範囲に関する知見を得た。また、調光の予告の認知や照度と光色と内装色の組み合わせに対する選好が変化知覚への影響も発見した。更に生理量に対する影響と消費エネルギーへの影響も検証した。

研究成果の概要(英文)：This study was conducted in order to find adequate settings to control office lighting which is dimmed in accordance with the occupation of workers nearby. With several experiments, we studied how workers perceive the change of indoor lighting environment with several factors such as level of the illuminance before and after the change, speed of the change, position of the changing luminaire, and color of the light and interior. We also studied physiological effect of changing illuminance and the effect of changing illuminance with several settings on energy saving.

研究分野：建築環境工学，建築環境心理学

キーワード：オフィス照明 制御 変動 知覚 認知

1. 研究開始当初の背景

オフィス照明の消費電力エネルギー削減に有効であると考えられる方法の一つに人感センサー等による在席検知技術による不在者席周辺の照明の消灯あるいは減光がある。一方本手法の問題点として突然の消灯・減光は周囲の在室者の集中力の妨げになることがある。この不満が頻出すると僅かな減光にとどめる対策が採られて、結果的に省エネルギーへの寄与が少なくなってしまう。そこで、瞬時に設定値に減光する代わりに、歩いてどの時間をかける連続調光が望ましいとされているが、どのような設定であれば良いかという点については明確な指針や知見が無かった。変動する照明に対する在室者の知覚に関しては国内外に幾つかの既往研究があり、筆者らも本課題に先立つ科研費研究(基盤B「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」H24~26年度、代表者:岩田利枝)の一環として、変動照明の知覚に取り組み、照度比と変化率の組み合わせを変えた検討を行い、在室者の知覚が少ない望ましい設定を検討してきた。以上のような研究成果の蓄積はあるものの、実際のオフィスに適用するには不十分であるのが研究開始当初の状況であった。

2. 研究の目的

本研究では上述した先行研究を発展させて知見を深め、実際の照明設計に資する知見を蓄積するために、変動照明に対する知覚についての特性をさらに検討した。当初掲げた目的は以下の3点である。

変動照明の知覚特性を明らかにする。

他者の行動を伴う照明環境変化に対する認知特性を明らかにする。

照明電力削減効果の大きい変動照明設計法を提案する。

3. 研究の方法

中心となる研究方法は、調光可能な照明器具が設置されたオフィス環境を模した実験室を設定し、様々な変動照明の状況を作成した。この実験室において被験者にオフィス作業を模した課題(PCによる情報検索と紙面への筆記)を実験時間中に課し、その間に照明を様々な設定でランダムなパターンと間隔で調光させる。被験者が作業中に空間内あるいは机上の明るさの変化に気付いたらその都度アンケートに記入する形式で申告させて、知覚率と変動の設定との対応を検討する。また、被験者の反応は主観申告に加えてNIRSという近赤外光を用いた技術による脳血流推定手法も用いることとし、主観申告に因らずに在室者の変動照明知覚を知る手法も検討した。実験の設定として操作したものは、明るさの変化そのものの量だけではなく、光色や内装色、光源の位置などを操作した。更に設定された条件に対する好き嫌い等の心理評価も行っている。また、照明電力削減効

果については、シミュレーションによる検証によった。

4. 研究成果

研究の着眼点に対応した内容ごとに成果を並べる。

開始照度及び調光曲線が変動照明の知覚に及ぼす影響

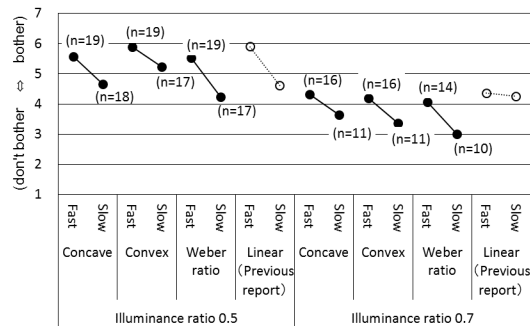
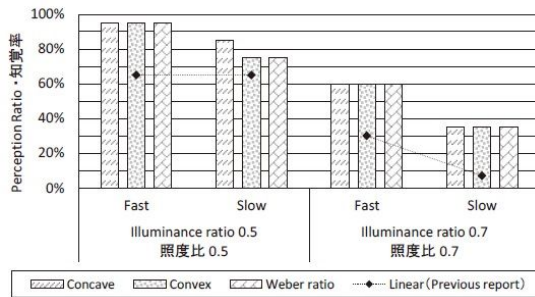
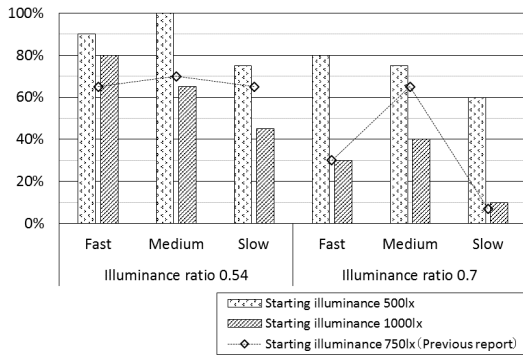
照明の変動に対する執務者の「変化の知覚」と「変化の許容」の基礎的知見を得ることを目的に、先行研究の結果を踏まえた上、より実空間における変動条件を想定し、開始照度と調光曲線による実験を行った。

開始照度においては、500lxと1000lxでの知覚率と気になる度を検討した。また、変動照明の調光方式を従来の一般的な直線の変化から変えて、瞬時の変化量と照度値の比を一定としたWeber曲線としたもの、および下に凸と上に凸とした二次関数曲線によるものの3水準の設定を比較した実験を行った。

その結果、開始照度レベルによる検討では、作業中の被験者の知覚は照度比と変化率の以外に開始照度の影響を受けることがわかった。室内空間と机上面の明るさの両方において同じ照度比、変化率であっても開始照度1000lxパターンの方は知覚率が低くなる傾向が確認できた。明るさ変化に対する許容範囲を検討した「気になり度」については、開始照度500lxパターンにおいても変化率の影響が現れ、明るさ変化の「気になり度」は変化率の影響を受けやすい傾向が確認できた。

調光曲線による検討では、本実験の設定条件内では調光曲線が執務者の明るさ知覚に与える影響は小さく、照度比や変動時間の方が知覚を決定づける要因であると言える。先行研究の線形変化結果と比較すると、照度比0.7で線形変化の知覚率が他のパターンの知覚率を下回った。明るさ変化の「気になり度」については、照度比が高く変動時間が長いパターンがより気にならないという結果になった。また僅かではあるが、ウェーバー曲線の気になり度が他の調光曲線の気になり度を下回り、特に変動時間が長いパターンでその差が著しく現れた。

以上より、開始照度と終了照度が極端に違う設定を用いることが一般的なオフィスにおいては、変動照明の設定は調光曲線の違いよりも、照度比や調光速度のほうが知覚率に大きな寄与があるといえる。室全体の照明を一樣に変化させる、という本実験条件の範囲での結論として、開始照度が一般的なオフィス照度である750lxで照度比0.5(終了照度が開始照度の半分)の場合は速度に因らず知覚率が高いため、照度比は0.7で調光速度を遅い設定とすることが望ましい。調光曲線も一般的な線形のもので良い、といえる。



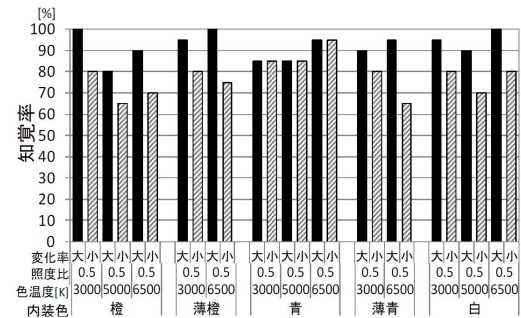
照明光色が変動照明の知覚に及ぼす影響

今日、オフィス照明の光色や内装色は従来の「(昼)白色照明と白色内装」という画一のものだけではなく、サーカディアン照明を導入した低色温度の照明や様々な内装色によるインテリア等の多様なデザインが考えられる。そこで、変動照明の検討において、光色と内装色を要因として取り入れた実験を行った。

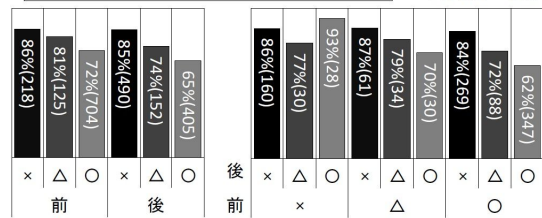
比較した光源光色は 3000K, 5000K, 6500K の三水準とした。内装色は他の実験で統一されていた全面白色に加え、床上 1.5mまでを有彩色の布で覆う形で操作した。布の色は、光源色の上下の光色と対応させた青系と橙系の 2 色相についてそれぞれ反射率 (反射率 65% 程度の濃と同 72% 程度の薄) の異なる 2 パターンを用いた。

色の濃い内装色 (青・橙) の場合、変動照明の知覚率は 6500K と青内装、及び 3000K と橙内装というように光源色と内装色が同系統の場合は異系統の組み合わせよりも多く近くされる傾向がみられた。一方、色の薄い内装色では同系統異系統の組み合わせに因らず 6500K のほうが知覚率が高かった。

上記の結果の解釈の一環として、内装色と光色の組み合わせに対する好ましさの影響も検討した。これは、変動知覚の実験とは別に、変化前後の照度で、光色と内装色を組み合わせさせた環境の好ましさを被験者に評価させたものである。前後の好ましさ評価の組み合わせごとに知覚率を比較したところ、変化前が「好ましくない」変化後が「好ましい」場合が最も知覚率が高く、逆に変化前後ともに「好ましい」場合は知覚率が最低となった。以上のことから、有彩色内装及び光源での変動照明の知覚は単なる照度やその変化速度だけではなく、その状況に対する好ましさに対する認知も影響していることが示された。



×: 好ましくない, △: どちらでもない, ○: 好ましい ()内はデータ数



変動照明の位置と変化の予告の影響

実際のオフィスにおける変動照明は席を外した執務者近傍の照明のみが調光されることから、変動照明の知覚のパラメーターには在室者と変化する照明器具の位置関係も含まれる。更に、実際のオフィスで照明が変動する際にはその直前の在室者の離席行動があり、この行動が在室者に対して変化の予告となると考えられる。そこでこれらの要因を含めた検討を行った。

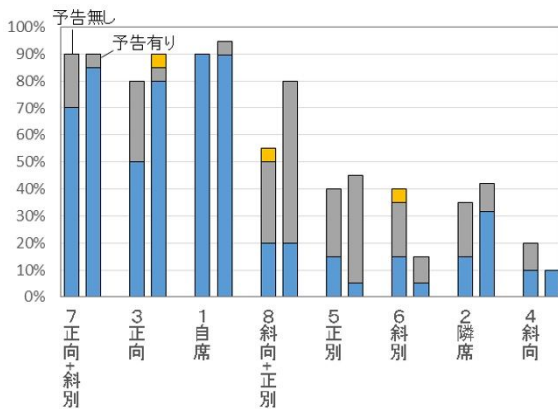
実験室内には 3 行×2 列の机が配置された状況を設定する。このうちの 2 行分の 4 席は 4 つの机が同じ島を構成し、もう 1 行分は別島のレイアウトとなる。照明器具の配置は行ごとに 3 組の器具を設置した場合と、個々の机ごとに 6 台の器具を設置する二種類のパターンとした。実験は行ごとの照明器具が変動する場合と、机ごとの照明器具が変動する場合に分けて別途実験を行った。更に、照明の変動は、他の実験と同様に自動的にランダムなパターン・間隔で調光させる場合に加えて、各照明器具の下に LED 電球を用いた「信号」を配置し、当該照明器具が減光する約 10 秒前にその信号が消灯する条件も設定した。この信号の仕組みは被験者には事前に周知してあり、その影響の有無を検討するものとし

た。

なお、在室者の離席行動の影響の検証は、本来は実オフィスでの実証的な検討が望ましいが、その場合は離席者と在室者の関係や属人的な要因の影響が分離できないため、本検討では純粋な信号情報のみで実験を行った。

結果として、被験者席の行の向かい正面の席の位置の照明の変動に対する知覚率が高い一方で、更に離れた島の照明の変動の知覚は大幅に小さいことが示された。また、席毎に変動させた場合は隣の席の照明の変動に対しても知覚率が小さいものとなった。

信号の影響については、知覚率の大きい向かい正面の照明変動の場合は信号による予告は知覚率を上げる効果がある一方で、被験者席から離れた別島の場合は、むしろ信号による予告があると知覚率が低下した。これは、本来、別島の照明の変化による被験者席の机上の明るさの変化が小さいことに加え、遠く離れた席の照明の変化であるという被験者の認知が加わることで、自身の机上の明るさの知覚が低下する、という構造があると考えられる。



生理量を用いた変動照明の知覚

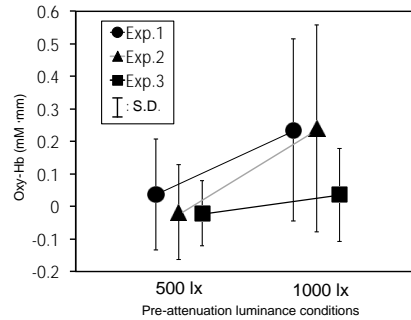
以上の検討は被験者の主観的な申告により明るさ変化の知覚（気付き）を検証してきた。申告の際は変化を近くした被験者に限りその変化に対する気になり度合いも評価させているが、無知覚の場合でも変動する照明が在室者に無意識的な影響を及ぼし、結果的に生産性を下げる等の効果がある可能性もある。そこで、主観申告に因らない変動照明の影響を検討するために、NIRS（近赤外光を用いた技術による脳血流推定手法）を用い、減光する変動照明に対する心理・生理的影響について検討した。

その結果、1000lx から 700lx へ減光する場合に集中しやすいと評価され、脳血流の酸素化ヘモグロビン量が減光前よりも増加し、その変化が前頭前野の広範にわたることが明らかになった。また 12.5lx/s の緩やかな減光では、主観的には明るさの変化は気にならないことがわかり、増光時にも同様の結果が得られた。一方、減光時間 1sec の急速な減光では集中しにくいと評価され、作業後に脳

血流量が漸増することが明らかになった。

図は左前頭前野側部の酸素化ヘモグロビンの変化量を示している。12.5lx/s の緩やかな減光 (Exp. 1, 2, 1000lx から 700lx への減光 [グラフ右側]) では、減光後の酸素化ヘモグロビン量が増加しているが、500lx から 350lx への減光 (12.5lx/s) や、減光時間 1sec の急速な減光 (Exp. 3) では変化が認められない。

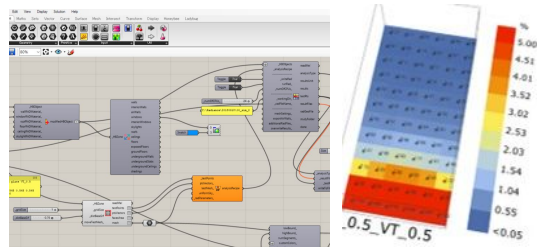
以上により、減光は必ずしもストレス状態を生むとは言えず、緩やかな減光は主観的には集中しやすく、生理的には前頭前野の脳血流量を増加させることがわかった。



変動照明による省エネルギー効果

省エネルギーの側面から変動照明の調光方法を検討するため、シミュレーションツールを用いて調光時の光環境の再現とそれに伴うエネルギー消費の試算を試みた。

その結果、米国ローレンスバークレー国立研究所開発の光環境シミュレーションソフト Radiance による対象空間の再現と光変動の予測、3DCAD ソフト Rhinoceros のプラグインで環境解析プログラムの Ladybug+Honeybee による Radiance との連動による数値計算、米国エネルギー省が開発・公開している熱負荷計算プログラム Energy plus を用いて照明消費エネルギー計算する流れによって照明の調光方法ごとの消費エネルギーの相違を検討できることが確認できた。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

佐野奈緒子, 秋田剛, 宗方淳: 照明の照度減衰に対する前頭前野の脳血流量の変化に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 83 巻, 第 745 号

鄭新源, 國分詠美子, 宗方淳: 照明の変動

知覚における開始照度と調光曲線の影響に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 82 巻, 第 742 号, pp. 977-984, 2017.12

関根諒, 山川莉加, 宗方淳: 変動照明の位置が執務者の明るさ変化の知覚に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 82 巻 第 737 号, 635-642, 2017.7

Jun Munakata, Factors in workers' perception of automated dimming control of office lighting, Proceedings of The Fifth International Conference on Human-Environment System, #20117, Oct.29-Nov.2, 2016

[学会発表](計 8 件)

山川莉加, 宗方淳: 明るさ変化知覚における色温度及び内装色の影響に関する研究, 平成 29 年度照明学会全国大会, # 06-18, 2017.9

佐野奈緒子, 秋田剛, 宗方淳: 増光する照明に対する執務者の脳血流量の変化, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), 2017.8, 103-104,

山川莉加, 関根諒, 宗方淳: 変動する照明の位置が明るさの知覚に及ぼす影響に関する研究, その 3 明るさ変化の予告を含めた検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), 2017.8, 531-532,

関根諒, 山川莉加, 宗方淳: 変動する照明の位置が明るさの知覚に及ぼす影響に関する研究 その 2 異なる照度変化量での検討 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), 2016.8

山川莉加, 関根諒, 宗方淳: 照明の照度変動知覚における色温度の影響に関する研究 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), 2016.8

佐野奈緒子, 宗方淳, 秋田剛, 長谷川甫, 菊地優: 変動照明環境下での作業者の脳血流量に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), 2016.8

菊地優, 宗方淳, 秋田剛, 佐野奈緒子, 長谷川甫: 照度変動による作業者の脳血流量に関する研究 - 電球色 電球色 照明 環境での照度費及び変化率が脳等に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), 2016.8

長谷川甫, 宗方淳, 秋田剛, 佐野奈緒子, 菊地優: 照度の違いによる作業者の心理量と脳血流量に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), 2016.8

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

秋田 剛 (AKITA, Takeshi)
東京電機大学・未来科学部・教授
研究者番号: 40318168

鄭 新源 (JEONG, Sinwon)
東京理科大学・工学部・助教
研究者番号: 70599521

(3) 連携研究者

佐野 奈緒子 (SANO, Naoko)
東京電機大学・未来科学部・研究員
研究者番号: 80376508