

異なる環境における人への影響度を考慮した知的照明システムの提案

Intelligent Lightin System Considering it's Influence to Person in Different Enviroments

三木 光範*1 戸松 祐太*2 廣安 知之*3
Mitunori Miki Yuta Tomatsu Tomoyuki Hiroyasu

*1同志社大学理工学部 Faculty of Science and Engineering, Doshisha University
*2同志社大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Doshisha University
*3同志社大学生命医科学部 Faculty of Life and Medical Sciences, Doshisha University

The Intelligent Lighting System realized at different location using the distribution optimization algorithm . This system repeats two times of intensity of luminous for one second, and this system does not make person feel a flicker at laboratory. But I don't know that this system does not make person feel a flicker at different enviroments. I tested how much intensity of illuminance and luminace a person feels a flicker with, and based on the result, I suggest a system deciding quantity of intensity of luminance change.

1. はじめに

近年、オフィスにおける光環境を改善する事で人の知的生産性が向上する事が報告されている [大林 06] . このような背景から、個々のユーザが求める明るさを提供できる知的照明システムが提案している [三木 05] . この知的照明システムは、照明が制御アルゴリズムに従い光度を変更することで、場所ごとに異なる照度を実現できる . 現在この知的照明システムは白色蛍光灯を用いた実環境においての検証がなされており、その有効性が確認されている . しかし、LED 照明や管長の短い蛍光灯などの異なる光源下での検証は行なわれていない . そのため、本研究では、異なる光源環境においての人への影響、その中でもちらつきを考慮した照度の収束性の検討を行なう . 検討を行うにあたって、まず、人がどの程度の明るさの変化でちらつきを知覚するかの検証実験を行ない、その実験結果を基にちらつきを考慮した照度収束の検討を行なう .

2. 知的照明システムの概要

知的照明システムとは、マイクロプロセッサを搭載した複数の照明器具、照度センサ、および電力計を1つのネットワークに接続し、それぞれの照明器具の協調動作によって利用者の要求する照度を提供するシステムである . 知的照明システムでは、利用者が照度センサに目標照度を設定するだけで、照明や照度センサの位置情報を必要とすることなく、照明が自律的に判断し、必要な場所に必要な照度を提供することができる .

3. ちらつきの知覚実験

知的照明システムは、白色蛍光灯をもちいた実環境においての検証がなされているが、異なる光源下において人はちらつきを感じる可能性がある . そこで、まずどのような状況で、どの程度の明るさで変化した場合にちらつきを知覚するかを検討する . オフィスを想定した場合、紙面作業や読書時に机上面の明るさの変化、またパソコン作業時など視野に照明が入り、その照明の明るさの変化などでちらつきを知覚すると考えら

れる . 予備実験より、人は机上面の明るさの変化よりも視野に照明が入った場合の方がちらつきを知覚し易い事が分かった . そこで、ちらつきを感じる明るさの変化量についての検証のために以下のような実験を行った .

- 照明が視野に入った際の光度のちらつきの知覚実験
- 照明に着目した際の光度によるちらつきの知覚実験

3.1 視野に照明が入った際のちらつき実験

3.1.1 実験概要

照明が視野に入った際の光度のちらつき実験は、パソコン作業時など視野に照明が入った際に、どの程度の照明の明るさの変化、つまり光度の変化によりちらつきを知覚するかの検討を行う事が目的である . また、光度変化が増光した場合と減光した場合で、ちらつきの知覚に違いがあるかの検討することも本実験の目的である .

3.1.2 実験環境

実験室は図1で示すように15台の白色の照明を用いる .

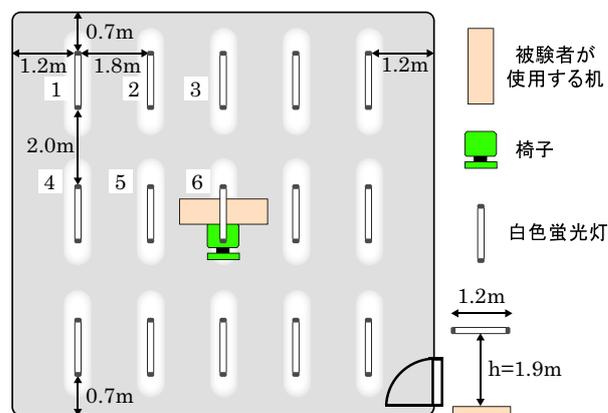


図 1: 実験環境

連絡先: 戸松祐太, 同志社大学大学院工学研究科, 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6130

本実験では、被験者は図1の6番の照明の下に座り、1から6番の照明を見る。この6灯の照明の中からランダムに光度を変更する照明を選ぶ。本実験において、光度を変化させない照明は同一光度で点灯している。実験開始前の照明は全て設定光度で点灯しており、この設定光度は1400[cd]（蛍光灯の最大光度値）、500[cd]（蛍光灯の最小光度値）、および950[cd]とした。なお、設定光度が1400[cd]時には減光、950[cd]時には増光と減光、500[cd]時には増光パターンの光度変化を行う。つぎに蛍光灯の光度変化パターンについて述べる。

3.1.3 照明の光度変化パターン

本実験では、設定光度値から瞬時に下がり徐々に元の光度値に復帰する光度変化（減光変化）と、設定光度値から瞬時に上がり徐々に元の光度値に復帰する光度変化（増光変化）に対してのちらつきの知覚特性を検討する。図2に減光変化を示す。図2でのT1は設定光度値を示しており、蛍光灯は2秒間この光度値で点灯を行う。また、T2は設定光度値から瞬時にL分の光度変化を行ってから、人がちらつきを知覚出来ない光度変化で設定光度値まで復帰させる光度履歴を示している。図1の1, 2, 3, 4, 5, および6番の照明の中からランダムに光度変化をする照明を選択する。光度変化を行った照明が設定光度値まで復帰した際に、光度変化をしていない照明の中から次に光度変化する照明をランダムに選択する。1から6番の照明が光度変化を行うと、またこれら6灯の中から光度変化をする照明をランダムに選択する。Lは6灯の照明が全て光度変化を行う周期を2回繰り返した際に、約5cdの増加をおこなう。

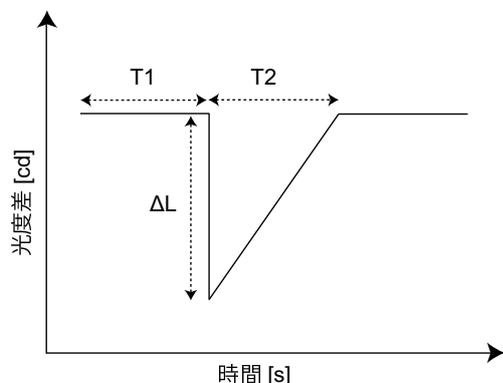


図2: 減光時の光度変化

3.1.4 実験結果

本実験は20代の男女8名の被験者を用い、各試行に対して3回実験を行った。各試行に対して8名の被験者の全データ（ちらつきを知覚した際の光度変化値）の平均、最大値、および最小値を図3に示す。また、各試行において設定光度を基準とした際の光度変化の割合を示したものを表1に示す。図3を見ると設定光度値が下がる程、ちらつきを知覚する光度変化値も下がっている事が分かる。次に、設定光度値が950[cd]の増光、減光変化の部分を見ると、増光変化が減光変化より若干ちらつきを知覚しやすいということが分かる。しかし、表1を見ると増減光での差が1%になっている事から、増減光によるちらつきを知覚する割合はあまり変化しないと言える。

各照明に対する前被験者のちらつきを知覚した光度変化量をプロットしたものを図4に示す。図4を見ると、照明によりちらつきを感じる光度差に大きな差はない。つまり、照明配置によりちらつきを知覚する光度差は影響されないと考えられる。

次に実験中に各照明で何回ちらつきを感じたかの回数を示した表を表2に示す。表2を見ると、ちらつきを感じた回数が照明毎に異なっている事が分かる。1, 2, および4番の照明は光度変化に気づいた回数が大きくなっており、6番の照明は光度変化に気づく回数が低くなっている。これにより、遠くの照明では光度変化に気づき易く、近くの照明や、真上の照明での光度変化は気づき難いということがいえる。

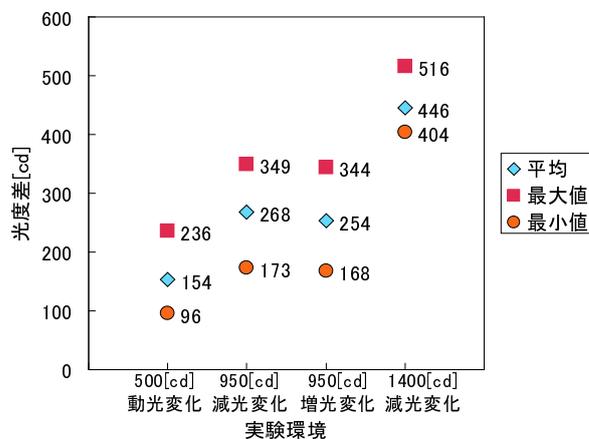


図3: 各試行に対するちらつきを感じた光度差

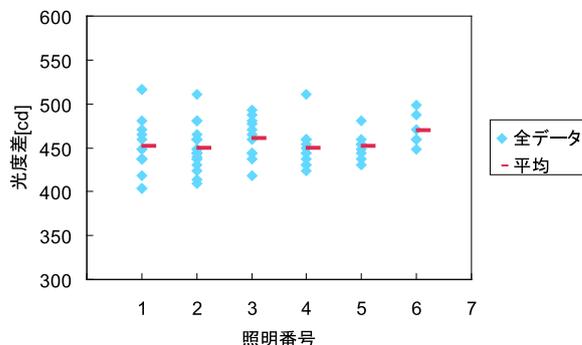


図4: 各照明毎でのちらつきを感じた光度差

表1: 設定光度を基準とした際の光度変化の割合 (%)

	平均 [%]	最小値
1400[cd]: 減光変化	32	29
950[cd]: 増光変化	27	18
950[cd]: 減光変化	28	18
500[cd]: 増光変化	30	19

3.2 照明に着目した際のちらつきの知覚実験

3.2.1 実験概要

本実験は、実環境において照明を直接見た際に、どの程度の光度変化で人はちらつきを知覚するかの検討を行うことが目的である。つまり、ちらつきを知覚する最小の光度変化を調べる事が目的である。

3.2.2 実験環境

実験環境は、視野に照明が入った際の光度のちらつき実験と同様の図1を用いた。被験者は図1の6番の照明の下に座り、3番の照明を見る。被験者が見ている3番の照明の光度値を変

表 2: ちらつきを感じた回数 (回)

	1400[cd]	950[cd]	950[cd]	500[cd]
	減光変化	増光変化	減光変化	増光変化
照明番号 1	11	13	14	16
照明番号 2	16	13	6	9
照明番号 3	7	8	8	3
照明番号 4	10	8	9	10
照明番号 5	6	8	10	10
照明番号 6	4	4	7	5

化させる。本実験において、光度を変化させない照明は同一光度で点灯している。実験開始前の照明は全て設定光度で点灯しており、設定光度値は 900[cd]、670[cd]、および 460[cd] である。

3.2.3 照明の光度変化パターン

本実験では、ある光度値から瞬時に光度を変化させ、瞬時に元の光度値に戻す光度刺激に対してのちらつきの知覚特性についての検討を行う。なお、視野に照明が入った際のちらつき知覚実験の結果より、光度の増減光によるちらつきの知覚度に関して大きな差異見られなかったため、増光変化の光度変化パターン (図 5) を被験者に与える。図 5 は、設定光度が 0.5 秒間続き、その後瞬時に L 分の光度の変化を行い、その変化した光度が 0.5 秒間続く。その後に変化した光度値から元の設定光度値に戻るといった光度変化を示している。また、設定光度から L の光度変化をという周期を 5 回繰り返した際、約 5[cd] 増加させる。

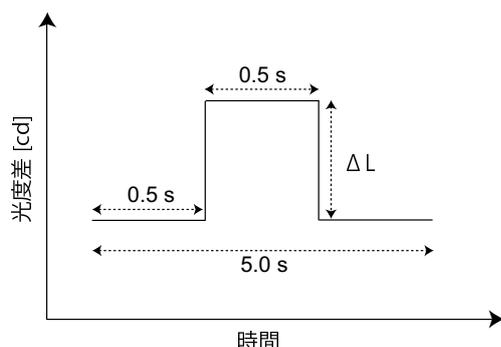


図 5: 照明の光度変化

3.2.4 実験結果

本実験は、20 代の男女 6 名の被験者を用い、各設定光度に対して 3 回実験を行った。各設定光度に対して 6 名の被験者の全データ (ちらつきを感じた際の光度変化量) の平均、最大値、および最小値を図 6 を示す。また、各設定光度を基準とした際の光度変化の割合を示したものを表 3 に示す。図 6 を見ると視野に照明が入った際のちらつき実験と同様に設定光度が下がるにつれて、ちらつきを知覚する光度変化量が下がっているのが分かる。また、表 1 と表 3 から、視野に照明が入った際より照明を凝視した際の方がちらつきを知覚しやすい事が分かる。

3.3 2つの実験からの考察

2つの実験より、ちらつきを知覚する光度変化は設定光度値により相対的に変化する事が分かる。設定光度に対するちらつきを感じた際の光度変化量の比率において、2つの実験データ

の中で一番低かった値を表 4 に示す。表 4 より照明に着目した際の実験の方が、ちらつきを知覚しやすいということが分かる。

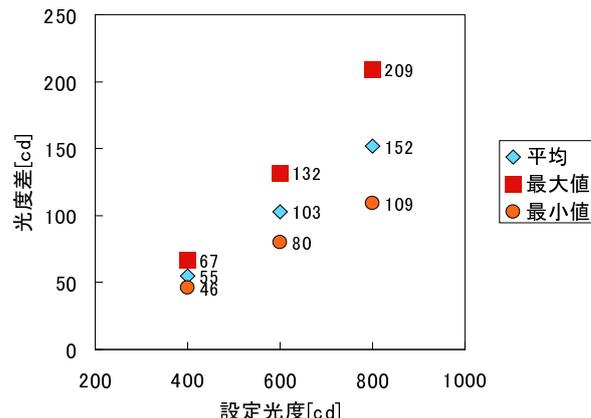


図 6: 各設定光度に対するちらつきを感じた光度差

表 3: 設定光度を基準とした際の光度変化の割合 (%)

	平均 [%]	最小値
900[cd]	17	12
670[cd]	15	12
460[cd]	11	10

表 4: 設定光度に対する光度変化量の比率

	割合 [%]
照明を凝視した際	10(設定光度:460[cd])
視野に照明が入った際	18(設定光度:950[cd])

4. ちらつきを考慮した照度の収束性の検討

4.1 調光アルゴリズムにおける光度変化に用いる固定近傍

知的照明システムにおいて、各照明は約 0.5 秒毎に自身の光度を繰り返し変化させ、その都度評価を行うことで、最適な光度を探索する。この光度変化の範囲を近傍幅という。現在、この近傍幅はもっとも明るく点灯している時の光度値を基に決定し、常に一定の値である (以後、固定型近傍)。しかし、ちらつきの知覚実験により、ちらつきを知覚する光度変化量は照明の現在の光度値に依存する事が分かった。そのため、固定型近傍では光度値が低い場合にちらつきを知覚する可能性がある。そこで、照明の光度値によって近傍幅を変更する可変型近傍幅を提案する。知的照明システムは、一般的に使用されている白色蛍光灯 (最大光度値が 1400[cd]) を用いた場合ちらつきを感じない。そこで、最大点灯光度値を小さくした環境において、固定型近傍の知的照明システムと可変型近傍の知的照明システムの評価実験を行う。

4.2 実験概要

本実験は一般に使用されている白色蛍光灯の最大点灯光度 (1400[cd]) を 1/4 にした環境において行う。実験環境は図 1 の照明の最大点灯光度を 1/4 にした環境である。固定型近傍の知的照明でもっとも用いられている近傍幅は、照明の最大点灯光度値に対して 3% と 6% である。つまり、本実験での近傍幅は 12[cd] と 20[cd] となる。本実験では、固定型近傍とし

て 20[cd] と 12[cd] を近傍幅として使用するものと、可変型近傍として現在光度の 9 % と 17 % を近傍幅として使用するもの計 4 種類の近傍設計手法の比較検討を行った。可変型近傍の近傍幅は、ちらつきの知覚実験結果の表 4 の値より低い値になるように 9 % と 17 % とした。図 1 の 6 番の照明の下に目標照度を 250[lx] に設定した照度センサ設置し、照度収束の実験を行った。実験に用いたアルゴリズムは知的照明システムの基本的なアルゴリズムである山登り法を用いた。[三木 05] 照度収束の実験中に人がどの程度のちらつきを知覚したかについての測定を行った。被験者は 7 名であり、各近傍幅での知的照明システムを 5 分間動作させ、その間に何回ちらつきを知覚したかの測定を行った。なお、知的照明システムは 5 分間に 600 回光度変化を繰り返す。

4.3 実験結果

7 名の被験者が 5 分の間に各近傍幅（固定型近傍では 20[cd] と 12[cd]、可変型近傍では 9 % と 17 %）におけるちらつきの知覚回数を表 5 に示す。表 5 を見ると、可変型近傍の 9 % ではほとんどの被験者がちらつきを知覚していない。また、可変型近傍の 17 % と固定型近傍の 12[cd] では、ちらつきを知覚する回数がほぼ同程度である事が分かる。また、固定型近傍の 20[cd] では他の近傍よりちらつきを知覚する回数が大幅に大きくなっている。

可変型近傍 9 % と固定型近傍 12[cd] の照度収束履歴を図 7 に、可変型近傍 20 % と固定型近傍 20[cd] の照度収束履歴を図 8 に示す。図 7 を見ると、可変型近傍の 9 % と固定型近傍の 12[cd] では同程度の照度収束時間である事が分かる。

表 5: 5 分の間にちらつきを感じた回数 (回)

	可変		固定	
	9 %	17 %	12[cd]	20[cd]
被験者 1	1	10	11	29
被験者 2	0	5	7	13
被験者 3	0	8	9	9
被験者 4	0	7	4	15
被験者 5	0	3	4	8
被験者 6	0	3	5	7
被験者 7	0	8	3	10
被験者 8	0	9	7	20
被験者 9	0	4	2	7

4.4 考察

上記より、可変型近傍の 9 % と固定型近傍の 12[cd] では同程度の照度収束時間である。しかし、ちらつきを知覚する回数は可変型近傍の 9 % の方が低くなっている。また同様の事が、可変型近傍の 17 % と固定型近傍の 20[cd] でも言える。ちらつきの知覚実験より、照明の現在の光度値が低い程、ちらつきを知覚する光度変化量は低くなる事が分かった。固定型近傍では照明の最大点灯光度値をから近傍幅を決定している。そのため、照明の現在の光度値が低い時に、ちらつきを知覚する可能性が出てくる。しかし、可変型近傍では、現在の光度値を基に近傍幅を決定しているため、ちらつきを知覚する可能性は少なくなる。

次に可変型近傍の 17 % でちらつきを感じている被験者が存在する理由について述べる。この 17 % は、視野に照明が入った際の光度のちらつき実験の結果を基にした数値である。そのため、本実験において被験者が照明を直接見た際にちらつきを知覚したと考えられる。

本実験から、可変型近傍と固定型近傍では同程度の照度収束時間であったが、可変型近傍の方が固定型近傍よりちらつきを知覚しない事が分かった。このことより、可変型近傍お知的照明システムの有効性が示された。

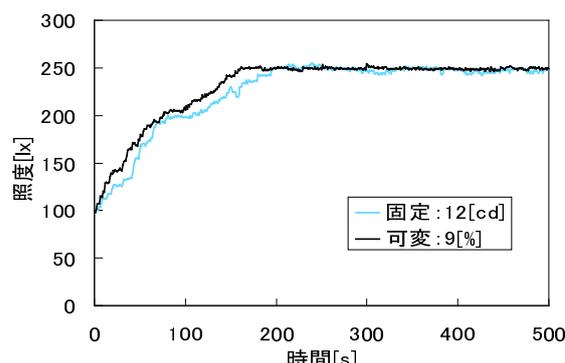


図 7: 照度履歴

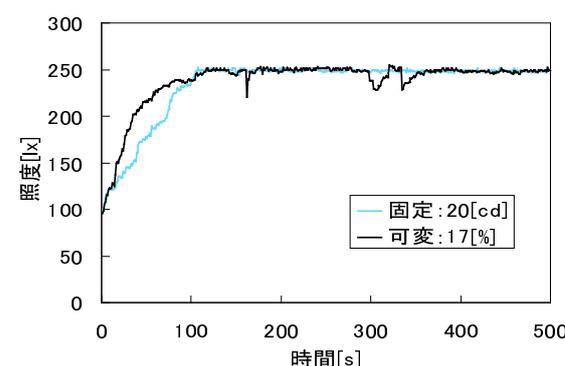


図 8: 照度履歴

5. まとめ

本研究では、異なる光源下における知的照明システムの人への影響および照度収束性について検討を行った。まず、人がちらつきを知覚する明るさの変化量についての検証を行った。その結果、人は照度の変化よりも光度の変化に対して知覚し易いという事が分かり、また、照明を直視した際と視野に照明が入った際の、ちらつきを知覚する最低の光度変化の定量化を行うことが出来た。そのちらつきを知覚する最低の光度変化量を基に可変型近傍の提案を行った。この可変型近傍とは現在の光度値により、光度の近傍幅を変更するものである。提案手法の検証の結果、低光度照明の環境下において、人にちらつきを知覚させず、かつ固定型近傍と同程度の時間で照度が収束した。このことにより、可変型近傍の有効性を示した。

参考文献

- [大林 06] 大林史明ら, オフィスワークのプロダクティビティ改善のための環境制御法の研究 - 照明制御法の開発と実験的評価, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006, 2006.
- [三木 07] 三木光範, 知的照明システムと知的オフィス環境コンソーシアム, 人工知能学会誌, Vol.22, No.3, pp.399-410, 2007.