商業施設における照明用電力消費量の削減に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON THE POTENTIAL OF REDUCING ENERGY CONSUMPTION FOR LIGHTING IN COMMERCIAL FACILITIES

湯浅和博 ——— * 1 藤田尚史 ——— * 2

Kazuhiro YUASA ——— * 1 Naofumi FUJITA ——— * 2

キーワード：
商業施設, 照明, 電力消費量, 削減可能性, 印象評価実験

Keywords:
Commercial facilities, Lighting, Electric consumption, Potential of reduction, Impression measurement

Commercial facility is one of the building use with much energy consumption. The aim of this paper is to clarify the reduction possibility of power consumption for lighting through subject's evaluation experiment. The method of making the environment which illuminated darkly in false using the grasses type filters was proposed, and results of basic experiments including transmittance of the filters, relationship between brightness and illumination, relationship between illumination and power consumption were shown. Students subject's evaluation experiment in supermarket was conducted and the reduction possibility of power consumption lighting was clarified.

1. はじめに

商業施設は、民生業務部門においてエネルギー消費量の大きい建物用途の一つであり、EDMC のエネルギー・経済統計要覧¹⁾によれば、デパート・スーパーと卸小売の合計は21.1%を占めると報告されている。地球環境問題、エネルギー使用の合理化に関する法律の改正等の影響も大きく、スーパーマーケット、コンビニエンスストア等においても省エネルギー対策の強化が進められている。

商業施設のエネルギー消費量に関する既往研究には以下の報告等がある。韓ら²⁾は総合スーパーマーケットのエネルギー消費を実測し、床用途別のエネルギー需要特性を分析した上で原単位作成手法を提案している。陳ら³⁾は福岡市と北九州市において店舗を含む複数の建物用途の空調設備とエネルギー消費の実態調査を行い、空調熱源方式、エネルギー消費原単位の特性を示している。山口ら⁴⁾は商業施設を業態別に分類し、業態別の一次エネルギー消費原単位の統計的有意差を検討している。その他、スーパーマーケット、コンビニエンスストアの省エネルギー化に向けた研究として、岩本ら⁵⁾、中野ら⁶⁾、田中⁷⁾、白石ら⁸⁾の報告がある。著者ら⁹⁾もショッピングセンターのエネルギー消費の調査を行い、照明用エネルギー消費量は空調とともに大きいこと等を報告している。

商業施設では利用客の安全性、快適性に加え、店舗自体や商品に対して良い印象を持たせる環境形成が重要であり、照明の果たす役割は大きい。照明用の電力消費量の削減に関しては、商業施設を含めて様々な建物用途で取り組みがなされており、以下の報告等がある。望月ら¹⁰⁾はオフィスにおけるタスク・アンビエント照明について学生被験者による評価実験を行い、行為によって好まれる照明環境が異なること等を示している。北谷ら¹¹⁾は昼光利用をしている庁舎の竣工後の運用実態と照明用エネルギー消費量について報告している。三木ら¹²⁾は住宅のリビング・ダイニングを対象に多灯分散照明の被験者評価実験を行い、照明パターンと電力消費の関係について

検討している。

著者らの既往研究¹³⁾ではコンビニエンスストアの照明設備に対する経営者と利用者の意識の違いを示し、照明の明るさの低減率に関して画像を用いた評価実験を行い、照明用電力量の削減可能性を検討した。本研究では、実空間における照明の明るさの低減に関する評価方法を検討し、スーパーマーケットにおける学生被験者の評価実験を通して、照明用電力消費量の削減可能性を明らかにすることを目的としている。用いた評価方法は、光環境を検討する上で精度は不十分ではあるが、商業施設等の実空間において実際に照明設備を変えて実験を行うことが困難な場合に、疑似的に容易に行うための方法として提案した基礎的段階のものである。

2. 照明の明るさの評価方法に関する基礎的実験

2.1 実験概要

本研究では、実空間における照明の明るさの低減を評価するため、図1に示すような評価用フィルタを作成した。評価用フィルタ（以下、フィルタ）は市販のメガネ型オーバーグラス（S社製）とフィルム（E社液晶保護フィルム）を用い、オーバーグラス表面^{注1)}に貼り合わせるフィルムの枚数を0、2、4枚と変えて透過光量の異なる3種類を作成した。

図1 評価用フィルタ（オーバーグラスにフィルムを貼ったもの）

¹⁾ 東京工業大学大学院理工学研究科建築学科専攻 准教授・工博
(〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

²⁾ 竹中工務店 工修

¹¹⁾ Assoc. Prof., Dept. of Arch. and Build. Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

¹²⁾ Takenaka Corporation, M. Eng.

次に、フィルタを通して疑似的に照明の明るさを低減した環境と、実際に照明の明るさを低減した環境の対応を確認するために、フィルタの入射光量の透過率、フィルタを通して見た明るさと照度の関係、空間の水平面照度と光源ランプの消費電力の関係に関する基礎的実験を行うこととした。各実験の概要を表1に示す。なお、空間の明るさの尺度について、本研究では照度を指標に用いて検討を行うこととした。

2.2 フィルタの入射光量の透過率に関する実験

実験装置の詳細を図2に示す。450 mm×300 mm×300 mmの箱内に照度計（T社一般型A級照度計）を設置し、その上部に調光型スタンドライトを取り付けた装置を暗室に設置した。3種類のフィルタをそれぞれ照度計の受照面にかぶせたときの照度を測定し、基準照度（フィルタをかぶせる前の照度）に対する割合を算出し、この値を入射光量の透過率^{注2)}とした。基準照度はJIS規格の「照度基準【商店・百貨店・その他】」¹⁴⁾を参考に、表1中に示した通り、75～3000 lxの範囲で11段階を設定した。なお、光源のランプには60 W型の白熱灯を用いている。

基準照度とフィルタをかぶせた時の照度の関係を図3に示す。図中のプロットは、基準照度ごとに3回の測定を行った平均値を示している。3種類のフィルタ全てにおいて基準照度とフィルタをかぶせた時の照度の間に高い相関関係が確認された。図中の近似直線の傾きを各フィルタにおける入射光量の透過率とすると、オーバーグラスのみの場合では92.3%、レンズ面にフィルム2枚を貼った場合では80.9%、フィルム4枚を貼った場合では71.4%となった。

2.3 フィルタを通して見た明るさと照度に関する実験

実験装置の詳細を図4に示す。前節で用いた450 mm×300 mm×300 mmの箱にスタンドライト（白熱灯60 W型）を取り付けたものを2つ並べて、間についたて、側面に開口を設けた。被験者はフィルタを用いて箱Aを見た後、フィルタ無しで箱Bを見る。被験者に、フィルタを通して見た箱Aの内部の明るさを調光によって箱Bに再現してもらい、調光による水平面照度の低減率を算出した。箱Aの基準照度は500、1000、1500 lxの3段階とした。なお、被験者は正常色覚を有する学生男女5名である。

各基準照度における3種類のフィルタの照度の低減率を図5に示す。オーバーグラスのみの場合を例にすると、基準照度が1500 lxの場合には被験者5名の平均低減率は92%、1000 lxでは94%、500 lxでは90%となり、これらの平均値は92%となった。同様に、オーバーグラスとフィルム2枚では83%、オーバーグラスとフィルム4枚では74%となった。なお、被験者による違いとして、被験者①が低めの照度値を、被験者⑤が高めの照度値を回答している等のばらつきが見られるが、低減率の平均値に対して-5%から+9%の範囲となっている。

照度の低減率は2.2節の透過率と比較するとやや小さいが、オーバーグラスのみの場合ではほぼ同じ、オーバーグラスとフィルム2枚または4枚の場合でも2～3%程度である。このことから、本実験の設定範囲内では、フィルタを通して対象空間を側方から見た時の鉛直面の光量の低減率は、水平面照度の低減率とほぼ同じと考えられ、フィルタの入射光量の透過率に置き換えることが可能と判断した。

表1 照明の明るさの評価方法に関する基礎的実験の概要

フィルタの入射光量の透過率に関する実験		
手順	暗室において箱の中央に照度計を置き、調光により基準照度に調節する。3種類のフィルタを照度計の受照面にかぶせたときの各照度を測定し、かぶせる前の基準照度に対する割合である入射光量の透過率を算出する。	
基準照度	75lx、100lx、150lx、200lx、300lx、500lx、750lx、1000lx、1500lx、2000lx、3000lxの11段階	
フィルタを通して見た明るさと照度に関する実験		
手順	暗室において箱Aの中央に照度計を置き、調光により基準照度に調節する。次に箱Aの中をフィルタを通して覗いた後、箱Bの中をフィルタを通さずに覗き、箱Aと同じ明るさに感じられるまで箱Bの明るさを調光し、両方の箱の水平面照度を測定する。	
基準照度	500lx、1000lx、1500lxの3段階	被験者 正常色覚を有する男女5名（男性3名、女性2名）
空間の水平面照度とランプの消費電力に関する実験		
手順	暗室において箱の中央に光源から鉛直方向への距離が300mmとなるように照度計を置いて、光源となるランプの消費電力を変えた時の水平面照度を測定し、ランプの消費電力と空間の水平面照度との関係を把握する。	
使用ランプ	ランプには白熱灯を用い、消費電力は10W、20W、40W、60W、80W、100Wの6段階

図2 フィルタの透過率に関する実験装置詳細

図3 基準照度とフィルタをかぶせた時の照度の関係

図4 フィルタを通して見た明るさに関する実験装置詳細

図5 基準照度におけるフィルタの照度の低減率

2.4 水平面照度とランプの消費電力に関する実験

実験装置の詳細を図6に示す。光源ランプの消費電力^{注3)}を変えた時の空間の水平面照度の変化の割合を測定する。光源ランプには10、20、40、60、80、100 W型の6種類の市販の白熱灯を用いた。また、光源と照度計の受照面との距離は300 mmとした。

ランプの消費電力と水平面照度の関係を図7に示す。60 W型以下の場合には照度値が近似直線の下側に少しずれているが、実験装置の精度、ランプの発光効率の違い等によるものと考えられる。3章の印象評価実験で対象とした実店舗で使用されている光源ランプの詳細を把握することはできていないが、100 W型以下の範囲において、ランプの消費電力と照度はほぼ1次の相関関係として扱って良いと判断した。従って、フィルタを通して見たランプの消費電力の低減可能割合は、水平面照度の低減割合によって、また2.3節の結果より照度500～1500 lxの範囲ではフィルタの入射光量の透過率によって推定可能と考えられる。

3. 実空間の照明の明るさに関する印象評価実験

3.1 実験概要

実空間を対象とした印象評価実験の概要を表2に、代表点水平面照度の測定概要を表3に、平面略図と代表点水平面照度および商品棚付近の水平面照度を図8に示す。対象とした商業施設は都内に立地する延床面積1500 m²程度のスーパーマーケットで、出入口以外に外光は入らない空間である。被験者は正常色覚を有する20代の学生男女20名であり、実験は2011年1月下旬の昼間に実施した。内容は、被験者がフィルタを装着して買い物をし、店舗内照明の明るさについて5段階評価を行うもので、照明環境の「好ましさ」と買い物行為を行うための「十分さ」を評価項目とした。具体的な実験手順は以下の通りである。

- ①被験者はフィルタを装着した状態^{注4)}で図8中のレジ付近から店舗内全体の明るさの印象を評価する。
- ②弁当、ドリンク、生活雑貨売場の順に、各地点で商品棚付近に寄った時の明るさの印象、その点から見た売り場全体の明るさの印象を評価する。
- ③手順①と同じ場所で、フィルタを外した状態で再度、店舗内全体の明るさの印象を評価する。

上記①～③を3種類のフィルタごとに行ったが、その際、フィルタの装着順序は被験者ごとにランダムに変更した。また、図8中の各売り場の代表点A、B、Cの照度は、それぞれ1080 lx、818 lx、751 lxであった。

なお、実験終了後、全被験者に本実験に対する意見、感想を記述してもらった。フィルタに関連するコメントを表4にまとめて示す。透過率の減少に伴った光沢感や鮮やかさの減少があること、また、今回の対象店舗では、透過率80.9%と71.4%の差は、透過率92.3%と80.9%の差ほど大きく感じられないこと等が指摘された。今後、同様の実験を行う際の参考としたい。

3.2 明るさの「好ましさ」と「十分さ」

印象評価実験から得た店舗・売り場全体の明るさの「好ましさ」に対する結果を図9に、「十分さ」に対する結果を図10に示す。基本的にはフィルムの透過率の低下に伴い評価値が下がっているが、「好ましさ」の生活雑貨売り場では評価値2の回答割合がフィルム2枚より4枚の場合に減少した。3種類のフィルタの装着順序によって

図6 水平面照度とランプの消費電力に関する実験装置詳細

図7 ランプの消費電力と水平面照度の関係

表2 印象評価実験の概要

実験内容	実店舗において、メガネ型フィルタをつけて買い物をし、店舗内の照明の明るさに対する十分さと好ましさを印象を評価し、照明用電力消費量の削減可能性を検討する。					
対象店舗	目黒区大岡山にあるスーパーマーケット1店舗					
実験期間	2011年1月22日(土)～27日(木) 10:00～15:00					
回答者	正常色覚を有する20代の大学生20名(男性13名、女性7名)					
評価項目	5段階評価	1	2	3	4	5
	十分さ	十分でない	やや十分でない	どちらでもない	やや十分である	十分である
	好ましさ	好ましくない	やや好ましくない	どちらでもない	やや好ましい	好ましい
対象エリア	店舗全体			弁当・ドリンク・生活雑貨売り場		
フィルタの装着	「あり」「なし」の2評価			「あり」の1評価		
備考	対象エリアのうち昼光の影響を受けない地点において評価					

表3 代表点水平面照度の測定概要

測定内容	店舗内における通路と商品棚付近の代表点における水平面照度を測定する。
対象店舗	目黒区大岡山にあるスーパーマーケット1店舗
測定点	通路は、通路の中央の床からの高さが900mmの地点 商品棚付近は、A、B、C点の棚から100mm離れた、床からの高さが900mmと1500mmの地点

図8 通路の代表点水平面照度および商品棚付近の水平面照度

表4 実験終了後の被験者のコメント

フィルタ	コメント内容
ガラスのみ (透過率92.3%)	裸眼、メガネ使用等、通常の見え方と変わらない。 弁当売り場では、光沢が強く感じられる商品がある。
ガラスとフィルム2枚 (透過率80.9%)	裸眼、ガラスのみのフィルタと比較して明らかに暗い。 店舗全体の明るさは落ち着いた感じを受ける。 遠方の売り場を見た際、天井付近を中心に暗さを感じる。 商品に対する光沢感がなくなり、鮮やかさが減少したように感じる。 生活雑貨売り場では、商品棚の下段が暗く、表示が読みづらい。
ガラスとフィルム4枚 (透過率71.4%)	フィルム2枚の場合より少しだけ暗く感じる。 全体的に光沢、鮮やかさが感じられず、均一な感じを受ける。 商品のインパクトが落ちたように感じる。 遠方の売り場を見た際、天井付近を中心に暗さを感じる。 生活雑貨売り場では、商品棚の下段が暗く、表示が読みづらい。 照明直下の商品棚では暗さを感じない。

直前のフィルタの印象が影響したこと等が考えられ、実験手順について改善すべき点と思われる。

「好ましき」に対しては、全売り場において評価値3～5の回答が85 %以上を占める結果となった。評価値1は無く、評価値2は弁当売り場のフィルム4枚で5%、店舗全体で相対的に照度が低いドリンクと生活雑貨売り場でも15 %以下である。一方、「十分さ」に対しては「好ましき」より厳しい評価となった。実験終了後の被験者の感想には、売り場によっては商品を選別する際に不自由さを感じたこと等があり、評価値2の回答がドリンクと生活雑貨売り場ではフィルム4枚の場合に30～35%、弁当売り場でも10%となった。しかし、ガラスのみ、フィルム2枚では評価値2は15 %以下に留まっており、照度低減の可能性が十分にあると考えられる。

3.3 照明用電力消費量の削減可能性

3.2 節において、より厳しい評価となった「十分さ」に対して、評価値が1または2と回答した割合に基づいて閾値を設定する。例えば、図9の店舗全体においては、閾値10%であればフィルム2枚(透過率80.9%)、閾値30%であればフィルム4枚(同71.4%)に対応する照度まで低減可能であると判断する。

閾値を10、20、30%とした場合の各売り場の水平面照度値を図11に示す。現状の照度が1080 lxである弁当売り場では閾値によらず771 lxまで低減できる結果となり、他の売り場とは異なっている。閾値20%の場合でみると、弁当売り場では1080 lxから771 lx、ドリンク売り場では818 lxから662 lx、生活雑貨売り場では751 lxから608 lxまで低減可能となり、20～30 %の照明用電力消費量の削減に繋がるものと判断できる。

4. まとめ

本報では、実空間の照明の明るさの低減に関する評価方法として、オーバーグラスとフィルムによって作ったメガネ型フィルタを用いて疑似的に照明の明るさを落とした環境を作り出す方法を提案し、その基礎的実験として、フィルタの入射光量の透過率、フィルタを通して見た明るさと照度の関係、水平面照度と光源ランプの消費電力の関係を把握した。また、このフィルタを用いて、スーパーマーケット内の実空間を対象として、買い物行為を行う際の照明の明るさの「好ましき」と「十分さ」に対する印象評価実験を行い、照明用電力消費量の削減可能性を示した。

今回の実験方法については、光順応のコントロール、輝度の考慮等を含めて光環境の視点から不十分な点が多く、今後、フィルタ自体の改良とともに検討を進め、実用的な評価方法としての確立を目指す。また、様々な商業空間における実験を行い、統計的分析についても検討する必要がある。

注

- 1) 用いたオーバーグラスは眼鏡の上から装着できる十分な大きさがあり、透明部分のほぼ全域にフィルムを貼っている。作成時には著者がフィルタを装着して、正面や側面からの透過光に違和感がないことを確認しているが、フィルムを貼れていない部分の透過光が存在し評価に影響する可能性がある。
- 2) 使用した市販フィルムの透過率を乗じることでフィルタの透過率は計算されるが、オーバーグラス自体の透過率が不明であったこともあり、実験で算出することとした。実験装置については、箱内部の反射光がフィルタ側面から入り込む可能性もあり改善の余地がある。

図9 店舗・売り場全体の明るさの「好ましき」に対する評価

図10 店舗・売り場全体の明るさの「十分さ」に対する評価

図11 閾値に基づく各売り場の水平面照度

- 3) 本実験においてランプの消費電力は調光器による指示値であり、測定値ではない。図7の測定結果における近似直線とのずれを生じた一要因となった可能性がある。
- 4) 被験者は図8中のレジ付近でフィルタを装着し、目が慣れたのを確認した後、評価を行った。光順応に対しては検討が不十分であり、今後、本実験方法の確立に向けて詳細な検討が必要である。

謝辞

本研究を進めるにあたっては、印象評価実験において実空間を利用させて頂きましたスーパーマーケットの関係各位に、また、被験者として東京工業大学の学生の方々にご協力を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) EDMC エネルギー・経済統計要覧、日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット編、省エネルギーセンター、2011.3
- 2) 韓瑋巧、尾島俊雄：床用途に基づく総合スーパーマーケットのエネルギー需要量の予測手法に関する研究、日本建築学会環境系論文集、第580号、pp.77-84、2004.6

- 3) 陳超、渡辺俊行、龍有二、赤司泰義：福岡市と北九州市における各種建物のエネルギー消費特性に関する調査研究、日本建築学会計画系論文集、第 485 号、pp.41-49、1996.7
- 4) 山口容平、他 14 名：非住宅建築物の環境関連データベースに基づく小売業態分類別商業施設一次エネルギー消費原単位の比較、日本建築学会環境系論文集、第 681 号、pp.889-897、2012.11
- 5) 岩本麻利、原英嗣、尾上佳宏、尾島俊雄：首都圏専門スーパーのエネルギー消費原単位に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、D2、pp.1259-1260、2005.9
- 6) 中野隆司、坂本雄三：コンビニエンスストアの省エネルギー化に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、D2、pp.191-192、2004.8
- 7) 田中優里香、菊田弘輝、羽山広文：環境配慮型コンビニエンスストアの開発に向けた調査研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、D2、pp.1339-1340、2010.9
- 8) 白石かおり、下田吉之、鳴海大典、村上周三、山口容平：低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言、日本建築学会大会学術講演梗概集、D1、pp.1003-1004、2010.9
- 9) 湯浅和博、藤井晴行：ショッピングセンターのエネルギー消費特性に関する実態調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、D1、pp.853-854、2011.8
- 10) 望月菜穂子、宇治川正人、平手小太郎、安岡正人：オフィスにおける行動と好まれる照明、日本建築学会計画系論文集、第 479 号、pp.17-25、1996.1
- 11) 北谷幸恵、鈴木大隆、福島明：昼光利用建物の光環境と運用に関する実態調査、日本建築学会技術報告集、第 21 号、pp.149-152、2005.6
- 12) 三木保弘、戸倉三和子、浅田秀男、松下進：小型高効率ランプを用いた多灯分散照明の提案とリビング・ダイニングにおける被験者評価及び省エネルギー性評価、日本建築学会環境系論文集、第 603 号、pp.9-16、2006.5
- 13) 青木俊樹、湯浅和博：照明設備からみたコンビニエンスストアの省エネルギー化の可能性、日本建築学会大会学術講演梗概集、D1、pp.727-728、2008.7
- 14) 日本工業標準調査会：照度基準【商店・百貨店・その他】、JIS Z9110
- 15) 本井杏奈、湯浅和博：夏期におけるショッピングセンターの環境に関する調査 商業施設の環境・エネルギー消費に関する調査研究（第 1 報）、日本建築学会大会学術講演梗概集、D1、pp.673-674、2012.9

[2013 年 6 月 13 日原稿受理 2013 年 9 月 26 日採用決定]