



住宅での使用実態を考慮した家庭用光源商品の切り替え対策の環境的・経済的評価

田畑, 智博
文, 多美

(Citation)

環境科学会誌, 25(5):367-377

(Issue Date)

2012

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001713>



一般論文

住宅での使用実態を考慮した
家庭用光源商品の切り替え対策の環境的・経済的評価田畑 智博^{*†}・文 多美^{**}

摘 要

本稿では、ライフサイクルアセスメント、ライフサイクルコストの各手法を用いて各種光源商品の比較を行うとともに、住宅の光源商品を LED 光源に切り替えた場合の環境的・経済的評価を行った。

対象とする照明光源商品は、白熱電球、電球形蛍光灯ランプ、電球形 LED ランプ、環形蛍光灯ランプ、直管蛍光灯ランプ形 LED ランプである。本来であれば、環形蛍光灯ランプからの切り替えは環形の LED ランプを用いるが、2011 年 12 月時点において該当する商品数が少なかったため、直管蛍光灯ランプ形 LED ランプのデータを代用した。まず、光源商品の販売データを用いて、光源商品別のライフサイクル CO₂ を算出した。このとき、商品機能として各光源商品の定格寿命および全光束を統一した。

その結果、電球形 LED ランプは、白熱電球に比べて約 78% の CO₂ 削減効果がみられた。一方、直管蛍光灯ランプ形 LED ランプについても同様に評価を実施したが、環形蛍光灯ランプからの切り替えによる効果は殆どみられなかった。次に、名古屋市を対象として光源商品の使用実態を調査するとともに、これを踏まえた、LED 光源への切り替えによる CO₂ 削減効果とコスト低減効果を試算した。その結果、CO₂ 排出量は一戸あたり年間 41 ~ 73kg、コストは 年間 2,160 ~ 3,800 円の削減が可能であった。また、居住室の使用時間の短縮による CO₂ 排出量の変化量を評価した結果、環形蛍光灯ランプは、LED 光源に切り替えるよりも使用時間を短縮した方が、CO₂ 削減効果が高いことがわかった。

以上より、光源商品の種類によって、光源の切り替え、使用時間の短縮等の対策の実施方法が異なってくる事が明らかになった。

キーワード：低炭素、光源商品、LED、ライフサイクルアセスメント、ライフサイクルコスト

1. はじめに

2009 年における温室効果ガス排出量のうち、家庭部門からの排出は、全体の約 15.0% を占めている¹⁾。最も排出量が多いのは産業部門であるが、京都議定書の基準年である 1990 年比で約 19.5% の減少がみられる。これに対し、家庭部門は基準年からみて約 26.9% 増加している。このことから、家庭での低炭素化対策の推進が急がれている。

家庭における低炭素化対策としては、省エネ、創

エネ、ライフスタイルの転換等、様々な方法がある。特に、CO₂ 排出量が多い用途を見極め、優先的に対策を実施することが重要である。これを勘案すると、省エネ型の自家用乗用車、エアコン、冷蔵庫等への経済的な導入促進対策は、合理的であるといえる。一方、照明用途は、家庭の需要電力量の約 16.2%²⁾ を占めており、冷蔵庫やテレビよりも需要電力量が大きい。そのため、白熱電球等に代表される従来型の光源商品についても、省エネ型の光源商品に切り替えによる対策が非常に重要である。この

2011 年 12 月 21 日受付、2012 年 4 月 16 日受理

* 神戸大学、〒 657-8501 兵庫県神戸市灘区鶴甲 3-11

** (独) 産業技術総合研究所、〒 739-0046 広島県東広島市鏡山 3-11-32

† Corresponding author: tabata@people.kobe-u.ac.jp

うち、白熱電球について論じると、国内の大手メーカーは、白熱電球の製造を中止したり、製造中止を予定している。しかし、2011年12月時点では、まだ国内外で白熱電球を製造しているメーカーが存在し、量販店等でも多く販売されている。切り替えにかかる対策は、未だ途上にある。また、電球形LEDランプに代表される光源商品は、従来型に比べて未だ高価である一方、現状では一部の自治体を除き、自家乗用車や省エネ家電のような経済的な導入促進対策は殆ど実施されていない。そのため、光源商品の切り替えによるCO₂排出量とコストへの影響を見極め、どのような対策を実施すべきかを検討することが重要である。

これに対し、光源商品の環境的・経済的評価に関する研究としては、業務用途での光源商品を比較した研究^{3,4)}、光源商品や照明器具の環境影響を評価した研究^{5~7)}、白熱電球から電球形LEDランプへの切り替えに対する消費者の価格受容性を評価した研究⁸⁾等、幾つかの研究事例がみられる。しかしながら、家庭では、居住室や廊下等の様々な用途に応じて各種の光源商品が使用されているのに対し、多くの研究事例では商品単体の評価に留まっていたり、家庭での光源商品の使用実態に即した評価は殆ど行われていない。また、電球形LEDランプや直管蛍光ランプ形LEDランプ等の次世代光源商品が広まりつつあるが、これらに対する評価事例はまだ少ない。

そこで本研究では、ライフサイクルアセスメント(LCA)、ライフサイクルコスト(LCC)の各手法を用いて各種光源商品の比較評価を行うこと、住宅の光源商品の設置状況や使用数量に関する使用実態を把握したうえで、照明光源商品のLED光源への切り替えに伴う環境的・経済的評価を行うこと、を研究の目的とする。本研究を通じて、LCA、LCCの観点からみた商品光源の切り替え対策の効果を明らかにするとともに、よりよいCO₂、コスト削減対策について検討することをめざす。

本研究では2段階に分けて評価を実施する。先ず前段では、近年の光源商品のデータを用いるとともに、データのばらつきを考慮したLCA、LCCを実施する。これは、LED光源に対する近年の技術開発の進展度合いを踏まえ、可能な限り最新のデータを使用することが必要であると考えたためである。また、LCAの実施においては、商品機能を統一して光源商品間の比較を合せて実施する。詳細は後述するが、光源商品の比較において、全光束などの商品機能が統一されずにLCAが実施されている事例があり、LCAの観点から評価を実施した場合にど

のような結果が得られるかを明らかにする必要があると考えたためである。

次に、前段で得られた光源商品に関するLCA、LCCの結果を用いて、住宅における光源商品の切り替えに伴うCO₂削減効果、コスト削減効果を試算する。住宅における光源商品の使用実態は、アンケート調査を用いて明らかにする。また、感度解析として、光源商品の使用時間を変更した場合の結果の変化についても考察する。

2. 研究方法

2.1 LCA, LCCの実施手順

光源照明商品の切り替えによるCO₂削減効果を評価するため、本研究ではLCA手法のインベントリ分析を用いる。また、ライフサイクル全体で発生するコストを評価するため、LCC手法を用いる。

先ず、LCA実施の目的は、住宅用途向けの光源商品のライフサイクルCO₂(LCCO₂)を算出し、光源間での比較を行うことである。本研究で対象とする光源商品は、電球(白熱電球、電球形蛍光ランプ、電球形LEDランプ)と蛍光ランプ(環形蛍光ランプ、直管蛍光ランプ形LEDランプ)の5種類である。このうち、前者は、白熱電球から電球形蛍光ランプ、もしくは電球形LEDランプへの切り替えを想定する。後者は、シーリングライトに使用されている環形蛍光ランプから、直管蛍光ランプ形LEDランプへの切り替えを想定する。本来であれば、環形蛍光ランプの切り替えは同じく環形のLEDランプとするのが自然である。しかし、2011年12月時点において、シーリングライト向けのLEDランプは販売数が限られており、十分なデータを得ることができないと判断した。そのため、今回は、主に業務用に販売されている直管蛍光ランプ形LEDランプのデータを、環形のLEDランプに代用して評価した。なお、本稿では、光源商品の切り替えのみを対象とし、灯具の交換等は、評価の対象外とする。

LCA実施に係るシステム境界を図1に示す。電球や蛍光ランプは、神戸市をはじめ多くの自治体で不燃ごみとして処理されていることを踏まえ、廃棄された光源商品は、全て埋め立てされると仮定した。対象とする環境負荷は、CO₂とする。機能単位は、電球の場合は、60W形相当、口金E26の電球1個あたりとし、その使用にかかるLCCO₂とする。蛍光ランプの場合は、居住室の面積によりシーリングライトの大きさや蛍光ランプの消費電力が変わるため、蛍光ランプ1個あたりとするのは不適切と考えた。そのため、機能単位は、居住室1室あ

たりでの蛍光灯の使用にかかる $LCCO_2$ とする。なお、1室あたりの平均量数は、「価格.com⁹⁾」のシーリングライトに関する商品掲載情報をもとに、10量と仮定した。

LCCの実施手順は、LCAの場合と同様に、住宅用途向けの光源商品のLCCを算出し、光源間での比較を行う。システム境界はLCAの場合と同じであるが、LCCでは、光源商品の購入、使用、交換に係るコストを対象とする。廃棄に係るコストは無視する。これは、千葉市¹⁰⁾が実施した2005年度の家庭ごみ計量調査の結果では、電球、蛍光灯が含まれる不燃ごみや有害ごみの割合は、ごみ全体のうちの2.2～2.4%と非常に小さかったことから、無視しても構わないと判断したためである。LCC実施にかかる各種設定は、LCAと同じである。

以上の設定をもとに、白熱電球と蛍光灯をLED光源に切り替えた場合の CO_2 削減効果を、インベントリ分析により明らかにする。次に、住宅種別（戸建住宅、集合住宅）での用途別（居住室、廊下等）の照明使用数量や使用時間の違いに着目し、名古屋市を対象とする照明利用の実態を調査する。この結果をもとに、照明切り替え効果を試算するとともに、居住室の使用時間を短縮した場合の、 CO_2 削減効果の変化を評価する。

2.2 光源商品のデータ整理

光源商品の各種データを表1に示す。表1は、「価格.com」に掲載されている電球、蛍光灯の各商品掲載情報を抽出し整理したものである。白熱電球、電球形蛍光灯、電球形LEDランプは、2010年4月時点の掲載情報を用いた。また、環形蛍光灯、直管蛍光灯形LEDランプは、2010年12月時点の掲載情報を用いた。電球は、60W形、口金E26のタイプを対象としてデータを抽出した。同様に、電球形蛍光灯、電球形LEDランプは60W形相当とした。但し、直管蛍光灯形LEDランプは業務用途の蛍光灯のデータを用いているため、販売価格は掲載しなかった。

表1において、白熱電球、電球形蛍光灯、電球形LEDランプは1個あたりのデータである。また、環形蛍光灯は1室あたりのデータである。なお、直管蛍光灯形LEDランプは1室あたりのデータに変換するため、直管蛍光灯形LEDランプと環形蛍光灯の全光束を合わせることとした。これを、全光束の比を直管蛍光灯形LEDランプの質量と定格消費電力に乘じることで各種データを補正した。

上記に挙げた光源商品は、同じ光源であっても個

別商品の性能に違いがあるため、販売価格や定格消費電力等の各種データにばらつきが発生する。これを考慮するため、中央値と四分位数を用いることで、各光源商品のばらつきを表現した。各光源商品の定格寿命は、それぞれの商品で一般的に使用されている数値を使用した。また今回は消費電力を算出するために定格消費電力を用いたが、商品別の実際の消費電力を踏まえた評価も必要であり、今後の課題である。

表1のうち、全光束は光の明るさを表す。電球形LEDランプの全光束は、白熱電球に比べて約59%低い数値となっている。また、直管蛍光灯形LEDランプは、環形蛍光灯と比べて約40%低い。その一方、定格寿命をみると、電球形LEDランプは白熱電球に比べて約20倍長く、直管蛍光灯形LEDランプは環形蛍光灯に比べて約3.3倍長い。販売価格では、電球形LEDランプは中央値の場合、白熱電球と比べて約9.2倍高い。

なお、電球形蛍光灯の質量と定格消費電力は、中央値と第1四分位数ともに同じ数値となっている。これは、商品別で仕様が殆ど変わらなかったためである。

2.3 インベントリ分析

LCAでは、製品比較を行う場合、可能な限り公平に評価するために商品機能を統一してLCAを実施する必要がある。ここでは、商品機能として定格寿命と全光束を用いた。前者については、白熱電球と電球形蛍光灯の定格寿命は、電球形LEDランプの数値に統一し、ライフサイクル内で複数回の電球交換と廃棄を行うものとした。後者については、全光束は白熱電球の数値に統一した。これに伴い、電球形蛍光灯と電球形LEDランプの質量、販売価格、消費電力に、白熱電球との全光束の比を乗じることで、各種データを、全光束を統一した場合に補正した。蛍光灯については表1において

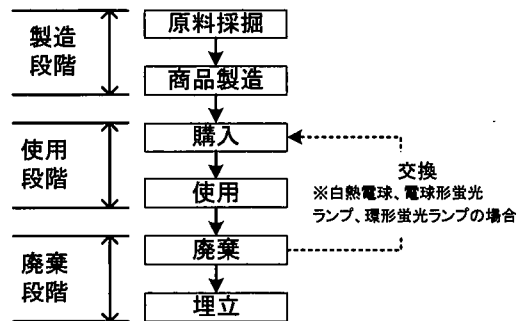


図1 システム境界

補正方法を説明済みであるので、ここでは省略する。

次に、ライフサイクルの各段階における CO₂ 排出量の算出方法を説明する。

2.3.1 製造段階

製造段階の CO₂ 排出量は、各光源商品の質量に、原材料の CO₂ 排出原単位を乗じて算出した。各光源商品の質量は、表 1 に掲載した数値を用いた。原材料の CO₂ 排出原単位は、JEMAI-LCA Pro ((社)産業環境管理協会) に格納されている数値を用いた。本稿では、白熱電球と電球形蛍光ランプは、質量比でガラスが多く使用されていると仮定し、ガラス 1kg あたりの CO₂ 排出原単位 (1.1kg) を代表値として用いた。また、電球形 LED ランプと直管蛍光ランプ形 LED ランプは、質量比で鉄が多く使用されていると仮定し、鉄 1kg あたりの CO₂ 排出原単位 (2.3kg) を代表値として用いた。

なお、製造段階の算出に代表値のみを原単位として用いた理由は、後述の LCCO₂ の算出結果において、製造段階の結果が使用段階に比べて極めて小さく、詳細に検討する必要がないと考えたためである。

2.3.2 使用段階

使用段階の CO₂ 排出量は、各光源商品の消費電力に、電力使用あたりの CO₂ 排出原単位を乗じて

算出した。各光源商品の消費電力は、表 1 に掲載した数値を用いた。電力 1kWh 使用あたりの CO₂ 排出原単位は、2010 年度における主要 10 電力事業者の販売電力量から CO₂ 排出係数の荷重平均を算出し、その値 (0.47kg¹¹⁾) を用いた。

2.3.3 廃棄段階

廃棄された光源商品は、全量が埋め立てに回ると想定する。廃棄段階の CO₂ 排出量は、各光源商品の質量に、埋め立てにかかる CO₂ 排出原単位を乗じて算出した。各光源商品の質量は、表 1 に掲載した数値を用いた。廃棄物 1kg あたり埋め立て時の CO₂ 排出原単位は、H-IWM¹²⁾ により算出した原単位 (0.27kg) を用いた。

2.4 LCC によるコスト試算

電球購入時のコストは、表 1 に掲載した販売価格を用いた。光源商品の定格寿命は、電球形 LED ランプ、直管蛍光ランプ形 LED ランプのそれに統一しているため、白熱電球、電球形蛍光ランプ、環形蛍光ランプは、複数回の交換が発生する。また、全光束についても LCA の場合と同様に統一し、それに合わせて各光源商品の価格を補正した。

光源商品使用時のコストは、各光源商品の消費電力に、消費電力あたりの電力量料金を乗じて算出

表 1 光源商品別のデータまとめ

		全光束 [lm]	質量 [kg] *1	定格寿命 [時間]	定格消費電力 [W] *1	光源効率 [lm/W]	販売価格 [円] *1
白熱電球		800	0.02	2,000	58.0	13.3	320
電球形	中央値	780	0.06		12.0	65.0	850
蛍光ランプ	第 1 四分位数	740	0.06	6,000	12.0	61.0	555
	第 3 四分位数	810	0.07		13.0	65.0	988
電球形 LED	中央値	330	0.1		5.7	58.8	2,944
ランプ*2	第 1 四分位数	235	0.1	40,000	4.0	47.4	2,203
	第 3 四分位数	425	0.2		7.3	75.4	3,700
環形蛍光	中央値	2,100	0.2		58.0	84.3	—
ランプ*3	第 1 四分位数	1,600	0.2	12,000	30.0	60.6	—
	第 3 四分位数	2,340	0.3		70.0	90.0	—
直管蛍光	中央値	1,250	0.3		16.0	80.9	—
ランプ形	第 1 四分位数	773	0.3	40,000	9.9	72.6	—
LED ランプ	第 3 四分位数	1,800	0.4		20.0	91.3	—

*1: 白熱電球、電球形蛍光ランプ、電球形 LED ランプは、電球 1 個あたりのデータである。環形蛍光ランプ、直管蛍光ランプ形 LED ランプは、居住室 1 室あたりのデータである。

*2: 各メーカーで同じ消費電力の商品でも、光色の違いにより全光束は変わる。しかし、定格消費電力、質量、耐久時間等に違いはなかったため、光色を混在させて計算を行った。

*3: 商品により形状が異なるが、今回は丸型シーリングライトに使用可能な商品を対象とし、形状を混在させて計算を行った。

した。電力量料金は、東京電力の従量電灯 B の第 2 段階料金 (22.9 円 / kWh) を用いた¹³⁾。

2.5 照明使用実態に関するアンケート調査

住宅における光源商品の使用数量や使用時間を調査した事例としては、大阪府¹⁴⁾が府内で実施したアンケートがある。しかし本アンケートでは、戸建住宅と集合住宅の区別がなく、住宅種別による使用実態を明らかにしているとはいいがたい。また、調査年度が 2004 年度と古いため、電球形 LED ランプが普及し始めた最新の実態を把握する必要があると考えた。そのため、名古屋市を対象として、住宅種別による光源商品の使用実態を明らかにするための Web アンケートを実施した。

アンケートは、(株)マクロミルへの依頼のもとに行った。アンケートの項目は、性別、世帯数、世帯年収等の回答者に関する属性のほか、居住する住宅の種別、間取り、光源商品別の使用数量、使用用途、使用時間である。アンケートの実施期間は、2010 年 12 月 21 日から 12 月 22 日の二日間であり、名古屋市内に在住する男女、計 618 名より回答を得

た。

表 2 に、回答者の属性を示す。性別および年齢は、可能なかぎり各階層で均等になるようにした。このうち、住宅種別でサンプル数をみると、戸建住宅は 268 (全体の約 43%)、集合住宅は 338 (同約 55%)、その他住宅 (長屋建住宅等) は 12 (同約 2%) となった。また、間取りは、3K ~ 4LDK の間取りが多く、全体の約 56% を占めている。これは即ち、回答者は比較的間取りが大きい住宅に居住している割合が高く、2LDK 以下の間取りが比較的小さい住居に居住している割合が少ないといえる。そのため、本調査結果をもとにして得られる最終結果が過大評価になる可能性もあるが、今回は本調査の結果を適用して以降の計算を行った。

表 3 に、住宅種別用途別の光源商品の平均設置数を示す。大体の傾向として、居住室、台所では蛍光灯の使用割合が高く、浴室・洗面所、トイレ、廊下、階段では、白熱電球の使用割合が高い。また、電球形蛍光灯の設置割合も、浴室・洗面所、トイレ、廊下、階段で高い。電球形 LED ラン

表 2 回答者の属性

項目		回答数（回答割合）			
		合計	戸建住宅	集合住宅	その他住宅*
性別	男性	298	113（38％）	180（60％）	5（2％）
	女性	320	155（48％）	158（49％）	7（2％）
年齢	12 ～ 19 歳	62	27（44％）	33（53％）	2（3％）
	20 ～ 29 歳	99	25（25％）	71（72％）	3（3％）
	30 ～ 39 歳	99	39（39％）	59（60％）	1（1％）
	40 ～ 49 歳	99	36（36％）	61（62％）	2（2％）
	50 ～ 59 歳	99	59（60％）	39（39％）	1（1％）
	60 歳以上	160	82（51％）	75（47％）	3（2％）
	世帯数	1 人	101	16（16％）	83（82％）
2 人		157	53（34％）	101（64％）	3（2％）
3 人		150	68（45％）	77（51％）	5（3％）
4 人		133	70（53％）	62（47％）	1（1％）
5 人以上		77	61（79％）	15（19％）	1（1％）
世帯年収	300 万円未満	106	25（24％）	78（74％）	3（3％）
	300 万～ 500 万円未満	146	59（40％）	83（57％）	4（3％）
	500 万～ 800 万円未満	132	65（49％）	66（50％）	1（1％）
	800 万円～ 1,000 万円未満	74	39（53％）	33（45％）	2（3％）
	1,000 万円以上	50	26（52％）	24（48％）	0（0％）
	無回答	110	54（49％）	54（49％）	2（2％）
間取り	1R ～ 1LDK	75	8（11％）	65（87％）	2（3％）
	2K ～ 2LDK	84	11（13％）	67（80％）	6（7％）
	3K ～ 3LDK	190	39（21％）	147（77％）	4（2％）
	4K ～ 4LDK	156	100（64％）	56（36％）	0（0％）
	5K 以上	113	110（97％）	3（3％）	0（0％）

*: 長屋建住宅等を含む。

ブは、用途により設置割合が異なるので一概にはいえないが、2010年12月時点において、全住宅の5%程度に普及しているといえる。住宅種別での光源商品設置数をみると、戸建住宅の方が、集合住宅よりも設置数は多い。なお、集合住宅の場合で、玄関外側と庭は共同スペースに当たるため、使用数量をゼロとした。

口とした。

表4に、住宅種別用途別の光源商品の平均使用時間を示す。戸建住宅、集合住宅ともに、居住室の使用時間は約5.1時間である。それ以外の用途では、戸建住宅の方が、集合住宅よりも光源商品の使用時間がやや長い傾向にある。

表3 住宅種別用途別の光源商品の平均設置数

	全体	蛍光ランプ			白熱電球	電球形蛍光 ランプ	なつめ電球	電球形LED ランプ
		合計	環形	直管				
＜戸建住宅＞								
居住室＊	5.2	4.1	3.5	0.5	0.5	0.4	0.0	0.2
台所	2.3	1.8	0.5	1.4	0.2	0.1	0.0	0.1
浴室・洗面所	2.1	0.8	0.4	0.4	0.7	0.5	0.1	0.1
トイレ	1.7	0.3	0.2	0.1	0.8	0.4	0.1	0.1
廊下	2.8	0.6	0.4	0.2	1.2	0.7	0.2	0.2
階段	1.7	0.3	0.2	0.1	0.7	0.5	0.1	0.1
スタンド灯	1.1	0.6	0.1	0.5	0.2	0.2	0.0	0.1
常夜灯	1.0	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1
足元灯	0.5	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
玄関内側	1.5	0.6	0.4	0.2	0.5	0.3	0.0	0.1
玄関外側	1.2	0.4	0.2	0.3	0.4	0.3	0.0	0.0
庭	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
＜集合住宅＞								
居住室＊	4.0	3.2	2.9	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1
台所	1.7	1.3	0.4	0.9	0.2	0.1	0.0	0.0
浴室・洗面所	1.9	0.4	0.2	0.2	0.9	0.4	0.1	0.1
トイレ	1.1	0.1	0.1	0.0	0.6	0.3	0.0	0.1
廊下	2.1	0.5	0.3	0.2	1.0	0.5	0.1	0.1
階段	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
スタンド灯	0.7	0.5	0.0	0.4	0.1	0.1	0.0	0.1
常夜灯	0.4	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0
足元灯	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
玄関内側	1.3	0.3	0.2	0.1	0.6	0.3	0.1	0.1
玄関外側	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
庭	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

単位：個/戸

*：居住室は、居間、茶の間、寝室、客間、書斎、応接間、仏間、食事室等を対象とする。

表4 住宅種別用途別の光源商品の平均使用時間

	居住室	台所	浴室・洗面所	トイレ	廊下	階段
戸建住宅	5.1	2.9	1.5	1.0	1.3	1.2
集合住宅	5.1	2.6	1.3	0.9	0.9	0.6
	スタンド等	常夜灯	足元灯	玄関内側	玄関外側	庭
戸建住宅	0.8	2.1	1.0	1.5	2.6	0.8
集合住宅	0.7	1.2	0.6	1.0	0.0	0.0

単位：時間/戸・日

3. 結果と考察

3.1 光源商品別の LCCO₂ の結果

表5と表6に、光源商品の LCCO₂ の結果を示す。各表は、ライフサイクルステージ別での CO₂ 排出量を、中央値、第1四分位数、第3四分位数で表現している。ライフサイクルステージ別での CO₂ 排出量の傾向では、使用段階での排出量が圧倒的に多く、全排出量の約99.8%を占めている。このことから、光源商品を対象とした評価では、生産段階と廃棄段階はあまり検討する必要はなく、使用段階でのプロセス改善が重要であることがわかる。

まず、光源商品間の LCCO₂ を比較する。表5の電球商品の結果についてみると、中央値でみた場合、電球形蛍光ランプは、白熱電球に比べて CO₂ 排出量が約79%（削減量は 21.6kg-CO₂/個・時間）少なくなった。これに対し、電球形 LED ランプは、白熱電球に比べて約78%（削減量は 21.4kg-CO₂/個・時間）少なくなった。また、結果を幅でみた場合、電球形蛍光ランプよりも電球形 LED ランプの方が、CO₂ 削減効果が高いケースもみられた。電球形蛍光ランプと電球形 LED ランプの中央値での CO₂ 削減効果が殆ど変わらなかった理由は、全光束を統一したことが一つの要因である。一般的には、電球

形 LED ランプは電球形蛍光ランプよりも省エネ効果が高いとされている。しかし、本結果では、計算条件により、結果が同等もしくは逆転する場合があることが伺えた。

次に、表6の蛍光ランプ商品の結果についてみると、中央値でみた場合、直管蛍光ランプ形 LED ランプの CO₂ 排出量は、環形蛍光ランプに比べて約1.5%少なく（削減量は 0.5kg-CO₂/室・時間）、殆ど変わらない結果となった。これは、直管蛍光ランプ形 LED ランプの全光束を統一した場合、両者の消費電力が殆ど変わらなかったためである。但し、電球形 LED ランプと同様に結果のばらつきが大きく、第1四分位数でみた場合は、環形蛍光ランプよりも約35%小さくなった。一方、第3四分位数でみた場合は、逆に約18%大きくなった。

今回の結果では、業務用途の直管蛍光ランプ形 LED ランプのデータを代用しているため、一概に結論を述べることはできない。これに関連して、日本電球工業会¹⁵⁾は、直管蛍光ランプ形 LED ランプは性能面、安全面で蛍光ランプと比べて未成熟であると2009年に報告している。今後、LED 照明光源の急速な普及が予想されるため、性能面および CO₂ 排出面での更なる技術向上が期待される。

表5 電球商品別の LCCO₂

		合計	製造段階	使用段階	廃棄段階
白熱電球		27.4	1.2×10^{-2}	27.4	3.1×10^{-3}
電球形蛍光 ランプ	中央値	5.8	1.1×10^{-2}	5.8	2.9×10^{-3}
	第1四分位数	5.8	1.1×10^{-2}	5.8	3.4×10^{-7}
	第3四分位数	6.3	1.3×10^{-2}	6.3	3.4×10^{-7}
電球形 LED ランプ	中央値	6.0	1.9×10^{-2}	6.0	2.3×10^{-3}
	第1四分位数	4.6	1.7×10^{-2}	4.6	9.8×10^{-4}
	第3四分位数	8.4	2.5×10^{-2}	8.4	9.8×10^{-4}

単位：g-CO₂/個・時間

表6 蛍光ランプ商品別の LCCO₂

		合計	製造段階	使用段階	廃棄段階
環形蛍光 ランプ	中央値	36.4	1.9×10^{-1}	36.2	1.2×10^{-3}
	第1四分位数	34.3	2.6×10^{-3}	34.3	6.4×10^{-4}
	第3四分位数	38.2	2.1×10^{-2}	38.2	5.2×10^{-3}
直管蛍光 ランプ形 LED ランプ	中央値	35.9	8.8×10^{-2}	35.8	1.0×10^{-2}
	第1四分位数	22.1	3.2×10^{-2}	22.1	3.6×10^{-3}
	第3四分位数	45.1	3.6×10^{-1}	44.7	4.1×10^{-2}

単位：g-CO₂/室・時間

3.2 室内用途別の光源使用状況を加味した LCCO₂, LCC の結果

前節で得られた結果を踏まえ、住宅で使用されている白熱電球と環形蛍光灯ランプを、電球形 LED ランプと直管蛍光灯ランプ形 LED ランプに切り替えることを想定した場合の、CO₂ 削減量を試算した。ここでは、各光源商品の LCCO₂ (中央値) を、名古屋市でのアンケート調査により得られた住宅種別用途別の白熱電球、蛍光灯ランプの使用数量と照明使用時間に乗じて、年間の CO₂ 排出量を算出した。

図 2 に、LCCO₂ からみた住宅種別の切り替え効果を示す。各グラフで、「現状」は、白熱電球と環形蛍光灯ランプを使用している場合、「切り替え」は電球形 LED ランプと直管蛍光灯ランプ形 LED ランプに切り替えた場合である。結果として、戸建住宅と集合住宅で、それぞれ一戸あたり年間で約 73kg と約 41kg の CO₂ 排出量を削減できることがわかった。これは、我が国の 2009 年における一世帯あたりの CO₂ 排出量 (4,852kg¹¹⁾) の約 0.8 ~ 1.5% に相当する削減量である。切り替えを日本全体で実施した場合、大まかではあるが約 310 万 t の CO₂ が削減可能である。削減効果は決して大きいとはいえないが、着実に CO₂ 削減を実施することは重要であり、その対策としての光源商品の切り替えは意義があるといえる。

光源商品の切り替えによる CO₂ 削減効果は、白熱電球から電球形 LED ランプへの切り替えの場合が最も大きかった。一方、環形蛍光灯ランプから直管蛍光灯ランプ形 LED ランプへの切り替えによる削減効果は、年間約 2 ~ 3kg 程度であった。

なお、電力の CO₂ 排出係数は、今回は主要 10 電力事業者の加重平均地を用いた。しかし、2011 年 3 月に発生した東日本大震災およびそれに伴う福島第一原子力発電所事故により、電源構成に占める火

力発電所の割合の増加が懸念されている。これを踏まえ、電力の排出係数が変化したときの CO₂ 削減量についても若干の考察を行った。2010 年度における各電力事業者の排出係数として、最も係数が小さいのは関西電力の 0.34kg/kWh、最も係数が大きいのは沖縄電力の 0.93kg/kWh である。もし、日本における排出係数が 0.34 ~ 0.93 kg/kWh まで変動した場合、日本全体での切り替えによる CO₂ 削減効果は、約 220 ~ 615 万 t となる。当然ながら、排出係数が大きくなるほど切り替えによる削減効果も大きくなるが、日本における CO₂ 排出総量も大きくなるため、再生可能エネルギーへのシフトによるエネルギー供給側からの排出削減にも取り組む必要がある。

図 3 に、LCC からみた住宅種別の切り替え効果を示す。結果として、白熱電球から電球形 LED ランプへの切り替えにより、約 72% のコストの低減がみられた。これにより、戸建住宅と集合住宅でそれぞれ、一戸あたり年間約 3,800 円と約 2,160 円の削減効果がみられた。LCC については電球のみ対象としたが、電球形 LED ランプへの切り替えは、コストの観点からも有利であるといえる。

3.3 照明使用時間が LCCO₂ に及ぼす影響の評価

続いて、照明使用時間の減少が CO₂ 削減効果にどのような影響をおよぼすかを評価するため、感度解析を行った。チャレンジ 25 キャンペーン¹⁶⁾ は、2011 年 12 月現在、朝型生活の促進により夜間の CO₂ 排出量を減らすための試みとして、「朝チャレ!」を実施している。そして、この試みの一つとして、1 日 1 時間早寝することが提案されている。本稿ではこれを踏まえ、照明の使用時間を 1 時間削減した場合の、CO₂ 排出量の変化量を試算した。具体的には、居住室の 1 日あたり平均使用時間は、表 4 をもとに 5.0 時間と設定し、これを 30 分

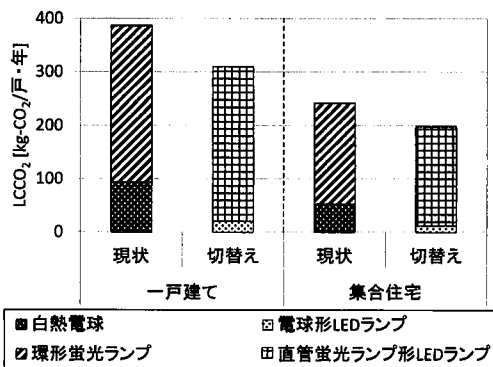


図 2 光源商品の切り替えによる LCCO₂ の変化

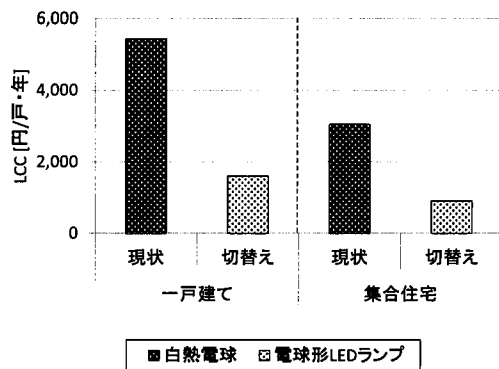


図 3 光源商品の切り替えによる LCC, コストの変化

ずつ短縮させるものとした。これに伴い、廊下、階段、スタンド灯、足元灯の使用時間も、就寝時間に関連して相対的に短縮させるものとした。その他の用途の照明は、就寝時間に関係なく使用されると考え、使用時間は短縮しなかった。

図4に、戸建住宅を対象とした、使用時間の減少によるCO₂排出量の変化量を示す。結果として、居住室の使用時間を1時間短縮した場合、白熱電球と電球形LEDランプは約10.9%の削減(削減量は、10.2kg-CO₂/年と2.2kg-CO₂/年)がみられた。電球形LEDランプは、白熱電球に比べて約78%のCO₂削減効果がみられるが、使用時間を短縮することでその効果を高めることができる。一方、環形蛍光ランプと直管蛍光ランプ形LEDランプは、使用時間を短縮することで、約14.3%の削減(削減量は、41.7kg-CO₂/年と41.3kg-CO₂/年)がみられた。前述のLCCO₂の結果と感度解析による結果から勘案すると、環形蛍光ランプは直管蛍光ランプ形LEDランプに切り替えるよりも、使用時間を短縮した方が、CO₂削減効果が高いということが伺えた。

コストの変化量について、使用時間を1時間短縮した場合、白熱電球と電球形LEDランプは約10.9%の削減(削減量は、591円/年と174円/年)がみられた。なお、結果の図は図4と同じであるので省略する。

4. 結 論

本稿では、光源商品別のLCCO₂とLCCを算出して比較評価を行うとともに、名古屋市での住宅種別での光源商品の使用数量と使用時間の実態を調査した。続いて、調査結果をもとに電球、蛍光ランプのLED光源への切り替えによるCO₂削減効果

とコスト削減効果を試算した。以下に、本研究で得られた知見を記す。

- (1) 名古屋市でのアンケート調査により、住宅種別の光源商品使用実態を調査した結果、大体の傾向として、居住室、台所では蛍光ランプの使用割合が高く、浴室・洗面所、トイレ、廊下、階段では、白熱電球の使用割合が高かった。電球形LEDランプは、2010年12月時点において、全住宅のおおよそ5%程度に普及しているといえる。
- (2) 光源商品別のLCCO₂とLCCを算出した結果、中央値でみた場合、電球形LEDランプは、白熱電球に比べてCO₂排出量が約78%少なくなった。一方、直管蛍光ランプ形LEDランプは、中央値でみた場合、環形蛍光ランプに比べてCO₂排出量は約1.5%少なくなった程度であった。但し、第3四分位数でみた場合は、逆に約18%大きくなった。
- (3) 住宅種別での光源商品の使用実態を踏まえ、白熱電球と蛍光ランプをLED光源に切り替えることを想定した場合、CO₂排出量は戸建住宅と集合住宅でそれぞれ、一戸あたり年間約73kgと約41kg削減可能であった。これは、我が国の2009年における家庭のCO₂排出量の約0.8～1.5%に相当する。同様に、コストは、戸建住宅と集合住宅でそれぞれ、一戸あたり年間約3,800円と約2,160円の削減可能であった。
- (4) 照明使用時間の減少がCO₂削減効果に及ぼす影響を試算した結果、居住室の使用時間を1日1時間短縮させた場合、白熱電球と電球形LEDランプは約10.9%の削減がみられた。同様に、環形蛍光ランプと直管蛍光ランプ形LEDランプは約14.3%の削減がみられた。

以上の知見より、白熱電球から電球形LEDランプへの切り替え効果は高いことがわかった。また、環形蛍光ランプは直管蛍光ランプ形LEDランプに切り替えるよりも、使用時間を短縮した方が、CO₂削減効果が高いことが伺えた。このように、光源商品の種類によって、光源切り替え、使用時間の短縮等の対策の実施方法が異なってくることが明らかになり、これを踏まえた光源商品に関する低炭素化対策の検討が必要になることがわかった。

今後の課題として、今回は定格消費電力を用いてLCAを実施したが、家庭での光源使用に伴う実際の消費電力量を用いたより精度の高い結果を導出すること、LED照明では希少資源が使用されていることを踏まえ、CO₂以外の環境インパクトに関する評価を実施すること等が挙げられる。また、英国等の研究では、白熱電球から発生する熱が居住空

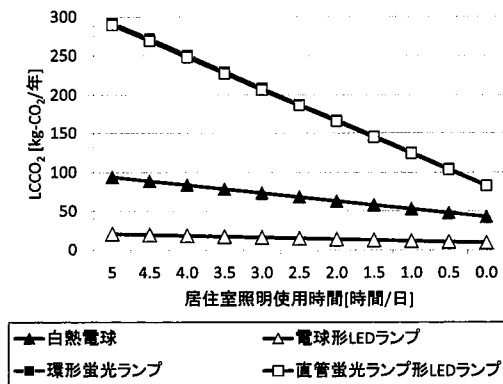


図4 照明使用時間の短縮によるLCCO₂の変化(戸建住宅の場合)

間を温めており、照明切り替えが結果として、暖房負荷の増加に影響を与えているという指摘もある¹⁷⁾。そのため、住環境からみた照明の切り替え効果の是非についても検討することが、今後の検討課題として挙げられる。

謝 辞

本研究の一部は、環境省環境研究総合推進費（E-0806）により実施された。ここに記して、謝意を表します。

文 献

- 1) 国立環境研究所, 温室効果ガスインベントリオフィス, <http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>, (accessed 2011-12-15).
- 2) 資源エネルギー庁編著 (2005) 平成 16 年度電力需給の概要. 中和印刷, 353 pp.
- 3) 滝澤 聡 (2009) 照明の適正使用の支援. 照明学会誌, 93, 757-763.
- 4) 中山和美 (2009) 計画実施例. 照明学会誌, 93, 764-771.
- 5) 椎野 徹・上野貴由・大西 宏・荒木文章 (1998) 白熱電球・蛍光灯の LCA への取り組み. 照明学会誌, 82, 825-827.
- 6) 四ツ柳眞彦・佐藤滋洋 (1998) 照明器具における LCA. 照明学会誌, 82, 828-829.
- 7) Weltz, T., Hischer, R., Hilty, L.M. (2010) Environmental impacts of lighting technologies- Life cycle assessment and sensitivity analysis. Environ. Impact Assess. rev., 31, 334-343.
- 8) 田畑智博・白川博章・河尻耕太郎・井原智彦 (2010) 低炭素型製品に対する消費者の価格受容性の評価 - 電球形 LED ランプを事例として. 環境情報科学論文集, 24, 463-468.
- 9) 価格 .com, <http://kakaku.com/>, (accessed 2011-12-15).
- 10) 千葉市 (2006) 千葉市一般廃棄物 (ごみ) 処理基本計画策定調査報告書 (資料編). 69 pp.
- 11) 環境省, 算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧, <http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/material/itiran.pdf>, (accessed 2011-12-15).
- 12) 松藤敏彦 (2005) 都市ごみ処理システムの分析・計画・評価. 技報堂出版, 97 pp.
- 13) 東京電力, 従量電灯料金, <http://www.tepco.co.jp/e-rates/individual/menu/home/home02-j.html>, (accessed 2011-12-15).
- 14) 大阪府 (2004) 「大阪府 LED 光源機器開発推進計画事業」報告書. 174 pp.
- 15) 日本電球工業会 (2009) LED 照明の正しい普及促進のために, http://www.jelma.or.jp/05tisiki/pdf/guide_ledel_03.pdf, (accessed 2011-12-15).
- 16) チャレンジ 25 キャンペーン, 朝型生活にチャレンジ朝チャレ!, <http://www.challenge25.go.jp/asachalle/>, (accessed 2011-12-15).
- 17) Department for Environment Food and Rural Affairs (2010) BNXS05: The Heat Replacement Effect, <http://efficient-products.defra.gov.uk/spm/download/document/id/579>, (accessed 2011-12-15).

Environmental and Economic Valuations of Conversion Measure of Lighting Bulbs Using Household Data

Tomohiro TABATA* and Dami MOON**

(* Kobe University, 3-11 Tsurukabuto, Nada-ku, Kobe, Hyogo 657-8501 Japan

** National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST),
3-11-32, Kagami-yama, Higashi-hiroshima, Hiroshima 739-0046, Japan)

Abstract

In this study, the life cycle assessment and life cycle cost were applied for comparison with lighting bulbs and the economic and environmental valuations of the effect of converting traditional lighting bulbs to low-carbon-type lighting bulbs. When an incandescent bulb was converted to a LED lighting bulb, CO₂ emission was decreased by 78%. However, when a fluorescent bulb was converted to a LED fluorescent bulb, there was no decrease in CO₂ emission. Next, the effect of both types of conversion on the household's CO₂ emission and cost was calculated. As a consequence, annual CO₂ emission per household decreased from 73 to 41 kg, and the annual cost decreased from 3,800 to 2,160 JPY. Further, sensitivity analysis was performed by shortening the time for which an occupied compartment was used. The results showed that the effect of converting an incandescent bulb on the reduction in CO₂ is higher than the effect of converting a fluorescent bulb.

Key Words: Low carbon, lighting bulb, LED, life cycle assessment, life cycle cost