

中国国内における蛍光灯の廃棄処理に伴う環境影響評価

岡山大学	正会員	○哈布尔
岡山大学	非会員	三保 和久
岡山大学	正会員	藤原 健史

1. 背景と目的

日本では LED 照明が普及しつつあるが、途上国では現在でも蛍光灯が数多く使われており生活の必需品である。蛍光灯には水銀が使われており、廃棄時にガラスの外筒が割れると水銀蒸気が大気中に拡散する。水銀蒸気は人体に取り込まれることで健康被害を発生させることから、蛍光灯の処理が大気中の水銀濃度を高めることは望ましくない。さらに、1本の蛍光灯に含まれる水銀量はわずかであっても、蛍光灯は世界中で大量に使用されるため、その全体量は無視できない。現在、世界で最も水銀を生産・消費して

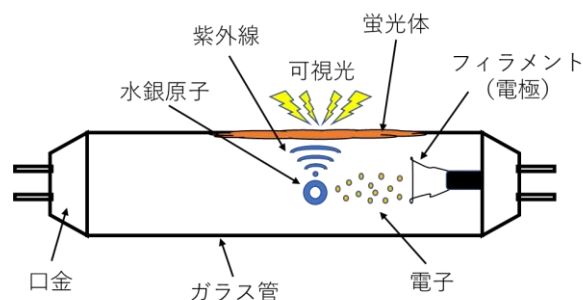


図1 蛍光灯の構造と各構成物質の名称

いる国は中国であるが、蛍光灯の廃棄処理は安全性の点で十分とは言えない。そこで本研究では、LCAの手法を用いて中国国内における蛍光灯の処理方法を個別に評価し、蛍光灯の廃棄までの環境影響を明らかにする。

蛍光灯はガラス管の両端にフィラメントと呼ばれる電極を有し、ガラス管の中にはアルゴン、ネオン、クリプトン等の不活性ガスと水銀が封入されている。また、ガラス管内面には蛍光体と呼ばれる紫外線を可視光に変える重金属の粉末が塗布されている（図1）。

2. 研究方法

本研究では、LCAの手法を用いて蛍光灯の廃棄に伴う環境影響評価を行う。LCAには様々なプロセスがあり、データ収集やインベントリ項目の分類、影響評価に伴う重み付け等の計算などをすべて行うことは困難である。そこで本研究では、LCAに必要なデータベースや世界で作成されている統合化手法を搭載しており、分類化・特性化・正規化・重み付け等の計算を効率的に行うことのできるLCA専門ソフト「SimaPro」を使用する。ReCiPeでは、膨大なLCAの結果を特性化係数や重み付けなどによって、18項目のmidpointと、3つのendpointに変換することで、環境影響カテゴリーの相対的な重大度を表す。midpointは、気候変動や酸性化などの単一の環境問題に焦点を当てている。一方でendpointは、1)人間の健康への影響、2)生物多様性、3)資源枯渇という3つのより高い集約レベルへの環境影響を示している。3つのendpointにはそれぞれ被害評価としての単位が定義されており、人間の健康への影響には保険統計学などで国際的に利用されている(DALY Disability Adjusted Life Year: 障害調整生存年)を、生態系への影響には、特定のエリアにおける特定の時間における種の損失をモデル化した単位である[species.year]を、資源枯渇への影響には被害を貨幣価値に換算した[\$]を用いる。

本研究では、中国国内で廃棄される廃蛍光灯について、その処理方法を「埋立」、「焼却」、「リサイクル」の3種類に分類し、それぞれの過程での環境影響を評価する（目的の設定）。まずは、調査範囲の設定を行う。蛍光灯の一般的なライフサイクルと、今回の調査範囲のシステム境界を図2に表す。また、システム境界の一環として、研究の対象とする蛍光灯の種類を、最も一般的な40W型のものに限定する。

キーワード 蛍光灯, 水銀, 廃棄処理, 環境影響評価, 中国

連絡先 〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1 環境理工学部棟410

TEL 086-251-8845

設定したシステム境界について、「埋立」、「焼却」、「リサイクル」の3種類に分類して詳しく表す。また、それぞれのシナリオのデータは文献から得られたバックグラウンドデータを用いる。さらに、シナリオ内における条件は図3のように設定した。インプットデータとして、蛍光灯を構成する各物質について調べる。日本照明工業会によると、40W型の直管蛍光灯1本を構成する物質と、その質量は表1のようになった。構成物質そのもののインプット・アウトプットや、廃蛍光灯の処分に伴う排出物などの種類・量や、費やされる熱・電気量等のデータは不足データとなっているため、本研究ではSimaProに搭載されているデータベースでこれらの不足データをまかなう。こうして得られたデータを基に、SimaProを使ってインベントリ分析及び影響評価を行う。

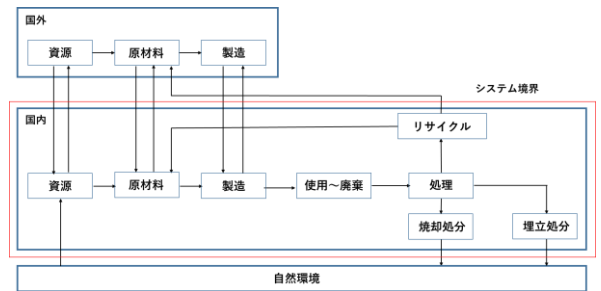


図2 蛍光灯の一般的なライフサイクルとシステム境界

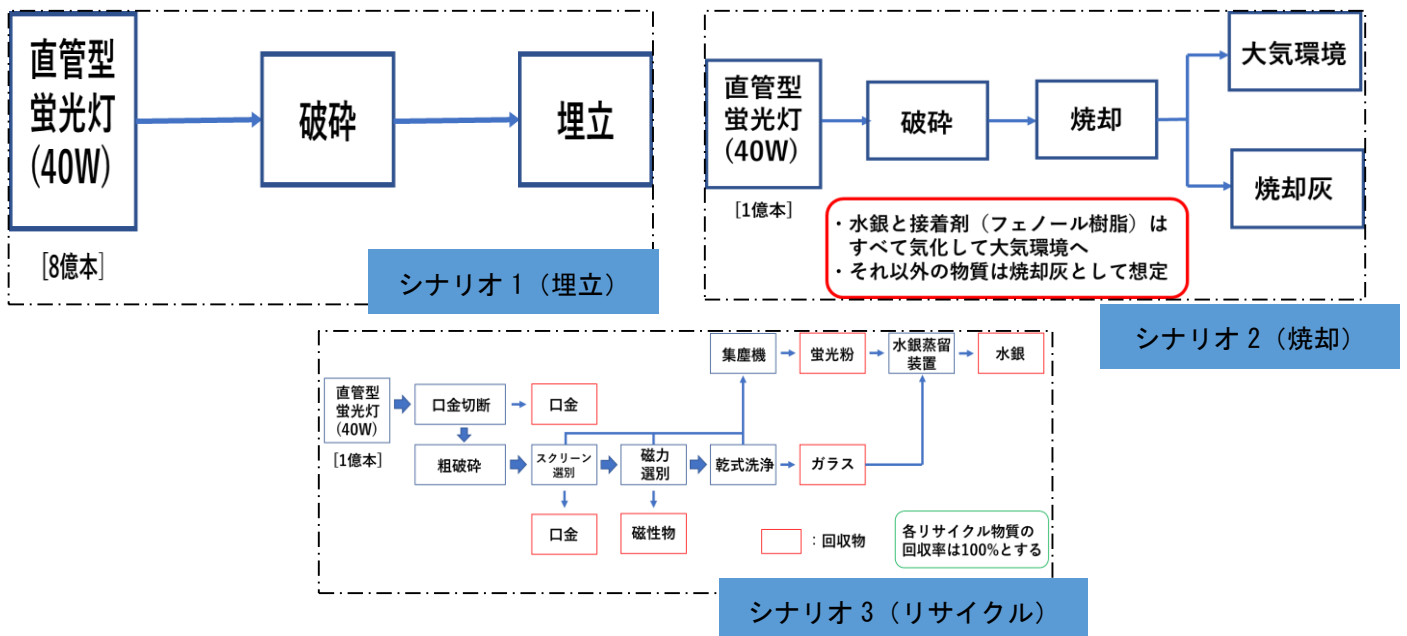


図3 三つのシナリオ

表1 直管蛍光灯（40W型）の各構成物質及びその質量

直管蛍光灯（40W型）			
各構成物質とその質量	1	ガラスパルプ（g）	約 199
		ステム（g）	約 6
	2	蛍光体（g）	約 4
	3	電極（g）	約 1
	4	封入ガス（g）	約 330~660
	5	水銀（g）	10 以下
	6	口金（g）	約 3.5
その他	7	接着剤（g）	約 1.5
	ランプ総質量（g）		約 215
	管径	（mm）	28
	管長	（mm）	1198

3. 研究結果

シナリオ1, 2, 3のLCA結果はそれぞれ次のようになった。ただし、いずれも重量1kgの蛍光灯のライフサイクルとして影響評価を実施した。蛍光灯に含まれる物質がライフサイクル内において影響を与える項目を重み付けによって3つのendpoint（健康への影響・生態系への影響・資源枯渇）に限定し、それぞれについて物質が与える影響の割合を比較した（図4）ところ、健康への影響と生態系への影響において、水銀の影響がほ

ば 100%を占めることが分かった。また、資源枯渇の項目に関しては水銀による影響の割合が過半数を占めた。さらに、三つの endpoint が受ける影響を eco-indicator point (pt) , 以下ポイント、に換算して比較したところ、Human Health のポイントが最も高くなり、大きな影響を受けていることが分かった (図 5) 。シナリオ 2 (S2) では、健康への影響に対して焼却による影響が大多数を占め、残りの二つは重金属類が多くを占めた (図 6) 。続いて、3 つの endpoint をポイントで換算すると、健康への影響が、他の 2 つのカテゴリーよりも遥かに大きいことが分かった (図 7) 。したがって、シナリオ 2 においては、健康への影響が最も大きいと言える。

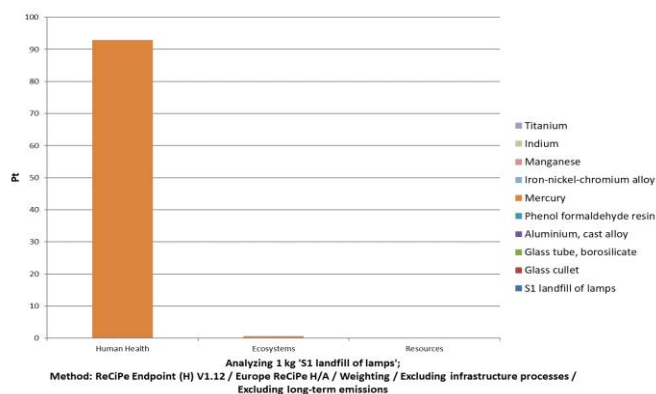
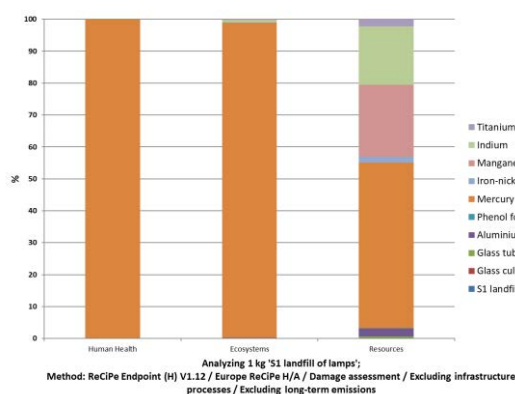


図 4 蛍光灯の埋立処分 (S1) による環境影響 図 5 蛍光灯の埋立処分 (S1) による環境影響

シナリオ 3 では健康への影響については、水銀による影響が最も大きく、それ以外は重金属類が占めた。生態系への影響と資源枯渇については、重金属類による影響が多く見られた (図 8) 。また、3 つの endpoint をポイントで換算すると、S2 と同様に、健康への影響が最も大きく、資源枯渇と生態系への影響がこの順に続いた。3 つのシナリオを比較すると次のような結果となった (図 9) 。

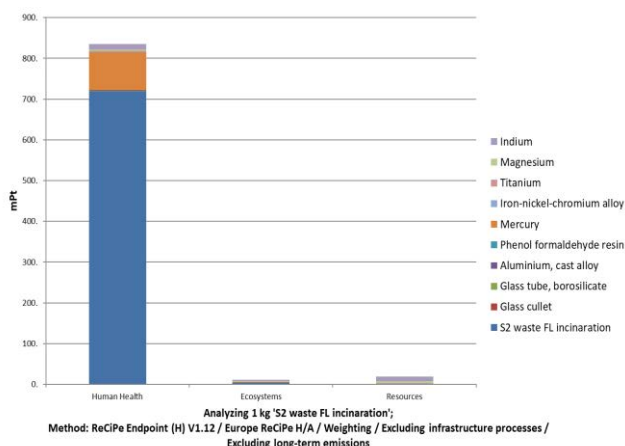
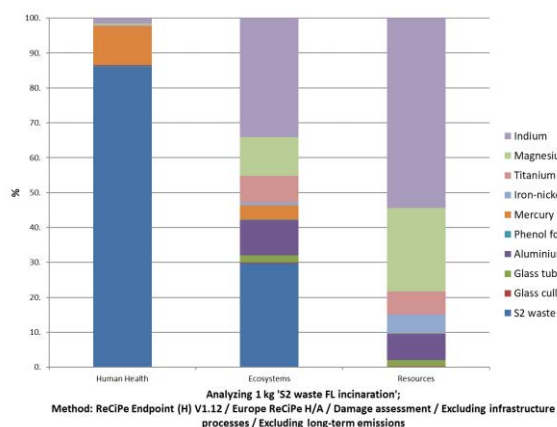


図 6 蛍光灯の焼却処分 (S2) による (% , endpoint) 図 7 蛍光灯の焼却処分 (S2) による (mPt, endpoint)

図 10 より、3 つのインパクトカテゴリーにおいて、シナリオ 1 による影響が非常に大きいことが分かった。特に、健康への影響と生態系への影響に関しては、シナリオ 1 による影響が他の 2 つのシナリオのものよりも遥かに大きい結果となり、シナリオ 2、3 が順に続いた。また、資源への影響に関しては、シナリオ間の差は縮まったものの、依然としてシナリオ 1 による影響が最も大きく (100%)、シナリオ 2 と 3 による影響は同じ (33.7%) となった。また、各シナリオの環境影響を統合化指標で表し比較したところ、シナリオ 1 による環境影響が最も大きく、シナリオ 3 が最も小さいことが分かった (図 11) 。

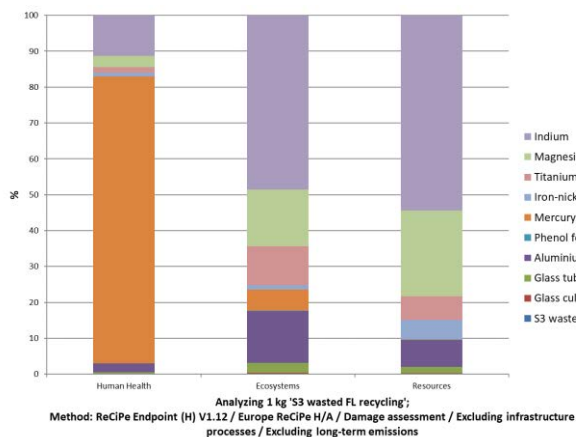


図8 蛍光灯のリサイクル処分 (S3) による (%endpoint)

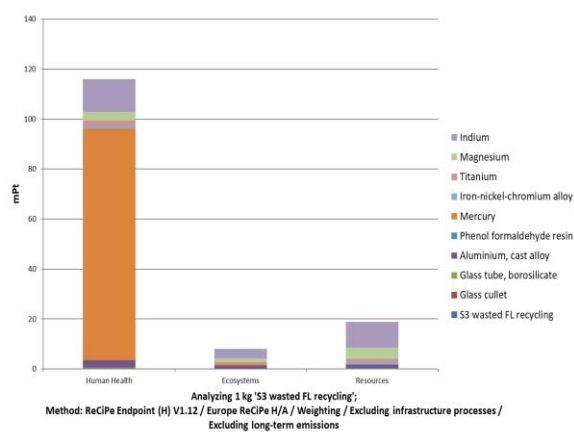


図9 蛍光灯のリサイクル処分 (S3) による

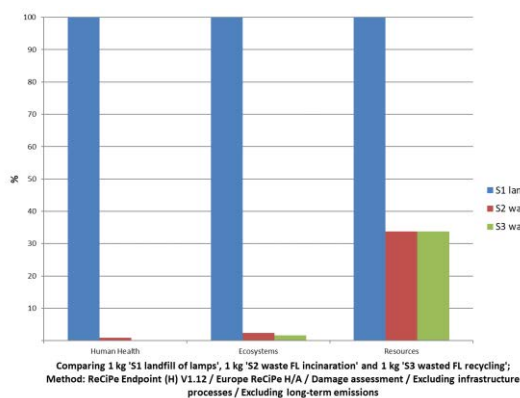


図10 3つのシナリオの環境影響比較

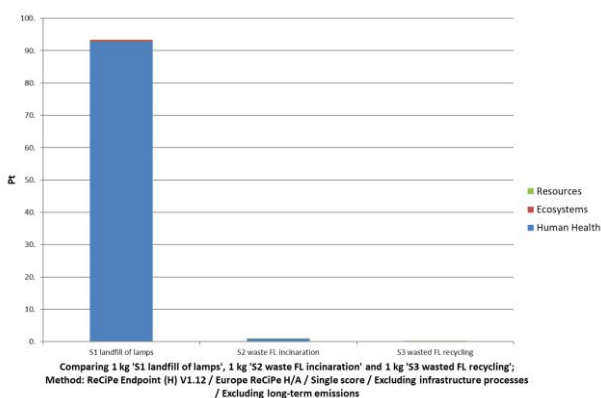


図11 各シナリオの環境影響

4. 考察

健康への影響と生態系への影響において、水銀の影響がほぼ 100%を占めたのは、埋め立てられた土壌から溶出した水銀が河川や海に流出することで水域（生態系）を汚染し、その水域内で水銀が生体濃縮されることで最終的に人間に取り込まれるからであると考えられる。また、資源枯渇の項目に関しても水銀による影響の割合が過半数を占めたのは、水銀の元となる辰砂の採掘に伴う燃料消費や、水銀の精製に伴う燃料消費、輸送する際の燃料消費などによる影響と考えられる。健康への影響に対する焼却の影響が大きかったのは、焼却によって蛍光灯中のフェノール樹脂からダイオキシンなどの有毒なガスが発生して大気中に放出されることで直接人間の体に取り込まれ、雨によって地上や水域に循環することが要因だと考えられる。3つの endpoint をポイントで換算したものが S2 と近似したことから、S3 における環境影響は S2 における環境影響から焼却行為による影響を除いたものと同じだと考えられる。例えば健康への項目については、焼却とは異なり水銀はリサイクルされるため、リサイクルによる影響についてはほとんどなく、処分方法以外のライフサイクルもほとんど同じであるため、結果はシナリオ2から焼却行為を除いたものとなる。資源枯渇の項目に関して、シナリオ2（焼却）とシナリオ3（リサイクル）による影響の度合いが等しくなっているが、これは、リサイクル処理による環境的な観点からの影響は焼却処理によるものよりも小さいものの、リサイクル施設の設置に伴う資源消費や費用の増加による経済面でのマイナス影響を考慮した結果、影響を貨幣価値で換算する資源枯渇の影響項目に対する影響の割合が増加したからだと考えられる。

6. 結論

経済面での価値を考慮すると、一概にリサイクル処理が適切であるとも言いきれない。焼却処理の際に有害ガスを除去する装置などを設置（水銀除去装置等）し、焼却自体の影響を抑える措置などを施せば、焼却処理も環境影響の小さい処理方法だと言える（埋立処分は減らしていくことが望ましい）。