

## 設計リサイクル研究サブグループ

### 電球型蛍光灯（CFL）のリユース性の検討

#### 要約

ボーダーレスサプライチェーンの手始めとして CFL を取上げ、リユースの可能性を検討した。

CFL は白熱電球と比べて電力消費を大幅に減らせるため、インバータ回路を内蔵してこれを使い捨ててもまだ割安となる。そのため世界的な利用の広がりを見せている。

CFL は電子回路基板と蛍光放電管および金属のソケットの寿命が異なる部分に分割できること、小型軽量で手作業にも向くため、特に回路基板部分のリユースによる資源活用の効果が期待できる。

CFL を本提案の分離型にすれば、蛍光管のみを交換して使う点灯回路内蔵の照明器具と異なり、器具本体の主要部にある傘の機能と、蛍光管に合った点灯回路機能を別々に出来、自由度が広がる。

過去5年間の市場のサンプルを分解して調べたところ、いずれも大同小異で変化も少ない。つまり、CFL は他の進歩の急な情報機器とはちがって、回路構成も使用する部品類もいずれも殆ど同じであり、ここ数年間に大きな変化も見られない。また、回路基板の収納や放電管の支持の方法も基本はみな同じであり、全体にリユース性を高めるための改良とその標準化を妨げる技術的条件は見当たらない。

電子回路基板には種々のレアメタルが使われており、廃棄物からの各々の回収は多くの産業界から期待されるものであるが、処理技術とコストおよび市況に左右されてその実績は偏ったものとなっている。

リサイクルの困難な状況であるだけに、基板部分のリユースはレアメタル資源の確保のためにも有効である。

温暖化対策に世界各地で低効率の白熱球を CFL へ置換える声が上がリ、普及が加速しつつある。省電力の効果は電力総需要の数%を見込まれ、温暖化ガス排出削減も大いに期待されている。その結果として近々大量の電子回路基板の廃棄物が排出されることになるため、対策としてリサイクルが難しく寿命はある電子回路部のリユースの意味は大きい。

結論として CFL を給電用のソケット部分と、電子回路部分、および蛍光放電管部分とに分け、それぞれを標準仕様のインタフェースでつなぐようにする、オープンアーキテクチャを提案する。これら3部分は誰でも簡単に差替えができるようにしたもので、それだけ寿命のある部分は廃棄せずに利用を続けることができる。また、リユース事業の場でも標準仕様に沿って再処理することにより広い市場を見込むことができる。

標準仕様のインタフェースを逆流通システムに導入することにより、先進志向と安価志向の二つのビジネスモデルを描いた。

**設計リサイクル研究サブグループ**  
**電球型蛍光灯（CFL）のリユース性の検討**

— 目次 —

**（１） 研究開発目標**

- 1.1 ボーダーレスサプライチェーンのひな形
- 1.2 市場サンプルの収集と分解、測定分析
- 1.3 CFLの国際的な動向調査、主な統計データの抽出
- 1.4 新しいCFLのエコデザインをつくる

**（２） 研究実施内容及び成果**

**2.1 リユース性の机上検討**

残寿命の有効活用

技術の進歩による残寿命の価値の減少

リユースによる市場の変化

**2.2 グローバルビジネスモデル**

照明ランプの特殊性すなわち低い効率がもたらすもの

ビジネスモデル 1

ビジネスモデル 2

**2.3 市場サンプルの収集と分析**

サンプルの収集

手作業による分解

主要部品のサイズ

個々の測定

全体の傾向、

電气的特性

実装方法

## 2.4 CFLの国際的な動向調査、主な統計データの抽出

白熱球を禁止する案の動き

## 2.5 新しくエコデザインしたCFLをつくる

### (3) 研究開発成果の社会的含意、特記事項など

人々の参加で効果を上げる温暖化対策

CFLのリユースがもたらす資源の有効活用のひろがり

CFLのリユースで技術に慣れ親しむこと

### (4) 研究成果の今後期待される効果

温暖化対策の推進

産業廃棄物の低減

再利用処理チェーンの稼働

家庭内の照明改善

類似研究の国内外の動向

成果の今後の展開見込

科学技術や社会への考えられる波及効果

文献

## 電球型蛍光灯（CFL）のリユース性の検討

**（１） 研究開発目標****1. 1 ボーダーレスサプライチェーンのひな形**

推進のためのひな形として、電球型蛍光灯（CFL）をとりあげ、その可能性を検討する。

CFL の特徴として以下の三点に着目する。

- ・手作業に向いたサイズであり、比較的容易にリユースのためのラインの立ち上げが出来ると思定される。
- ・寿命の異なる電子回路部と蛍光管から構成され、これらの適切な分離方法の普及により比較的容易に電子回路部のリユースによる資源活用の効果が期待できる。
- ・炭酸ガスの削減に効果が期待され始めており、白熱電球から CFL への置き換えが世界的な話題となり、[8][9][10]、このことから、CFL の普及に伴う大量の電子回路基板などの廃棄が想定される。

**1. 2 市場サンプルの収集と分解、測定分析**

現行商品サンプルを集め、その代表的な姿や特徴を捉え、現行の製造と販売の要点を抽出する。

サンプルを手作業で分解し、電子回路部の取出しと、蛍光管の安全な切り分け方を調べ、また電子部品の仕様を調べ、電気的動作特性を測定する。

リユースを推進して行く上で障害となる事柄を抽出し、研究成果としてそれらを解決するエコデザインを描き出す。

**1. 3 CFL の国際的な動向調査、主な統計データの抽出**

温暖化対策に白熱球禁止案も出されていることから、国際的な世論とエネルギー消費の動向を調べる。また根拠とすべき統計データを抽出する。[5][6]

**1. 4 新しい CFL のエコデザインをつくる**

白熱球とのコスト比較はすでに多くの調査が行われ、CFL が温暖化対策にも、家庭の支出についても圧倒的に有利であることが判明してきている。本研究は安価なリユース品により、CFL への置き換えを更に促進させると共に、その先にある電子回路部分の産業廃棄問題への取り組みも視野に入れたデザインを検討する。

その際、省エネのみならず、家庭やオフィスでより快適な照明環境を手軽につくれるような仕掛けとすることを並行して検討する。[18]



入手した CFL サンプルの一部(2002-2007年)

## (2) 研究実施内容及び成果

### 2.1 リユース性の机上検討

リユースの採用と推進にあたっては、以下の仮説から出発し、検討結果をまとめた。すなわち、

#### 残寿命の有効活用

残寿命のあるモノのリユースは製造されたモノの資源活用として最大の効率をあげ得ると考えられる。この効率を損なう要因としては、リユースに係るコストであるが、そのコストを低減するためには、リユースの製造完成と販売から利用までに必要な情報が完備していること、リユースの作業効率を上げるための設計がなされ、そのための追加コストが小さいことが求められる。部品の情報と管理には、すでに開発が進み実用化検討の段階にあるミューチップが考えられる。[14]

ここで残寿命が見込まれ、それを活用するために製造の当初からユーザがリユースの選択もするという前提をとるならば、リユースを想定しない設計と比較して、そのために生ずる追加のコストは、それが全体から見て付加の規模である限り、それはリサイクルして新たに一から全部を製造するコストよりは十分に低くすることができる。

リユースに必要な全ての情報は最初の製造の際に揃っており、リユースに必要な効率的な部品類の配置や分離方法とそれらの作業も、最初の製造の場面で最も良く分かっている。だから効果的なリユースには、かかる情報の管理と活用が必要である。

#### 技術の進歩による残寿命の価値の減少

パソコンに代表されるように、情報機器分野ではメモリの急速な進歩に牽引されて、まだ物理的な寿命が十分にある機材が放置され、性能アップした新しい機材とソフトウェアが消費されている。この場合、残寿命はあるが、その価値が急速に低くなったために、リユースするよりは不使用保存または廃棄にして新機種に買換えが合理的とされている。

しかしこの場合でも、進歩の遅い部分についてはリユースの選択の余地は残される。つまり、メモリやCPUなど、進歩の著しい部分を交換し、本体ケースや電源部などを継続使用することがこれに該当する。

CFL の場合、蛍光管の点灯に必要な制御と電力供給のためのエネルギーを扱うことを宗とするインバータ回路部分は、情報処理を宗とする回路とは異なり、その進歩は比較的緩慢である。したがってこの回路部分のリユースでは、残寿命の有効活用が見込める。たとえば、回路部分の寿命が10年、蛍光管の部分が3年とすると、回路部分のリユースで計3回の利用は見込むことができる。

#### リユースによる市場の変化

(新規製造量の減少の可能性と製造品の単価、製造の利益などの変化)

CFLは従来の白熱電球にほぼそのまま置き換えることができ、コンパクトにまとまって便利であるから、その経済性と合わせてめざましい普及を見せている。その世界的な普及の予想ゆえに産業廃棄物の増大が懸念される。

リユース品が市場に出回るために、新規製造品の需要が縮小する懸念が常に問題となる。資源の無駄を減らす観点からはリユース品の市場を阻止することは主旨に反する。

新規製品を買うことの出来るユーザが資源の無駄を減らすことに協力するためにリユース品も買う場合、リユース品が安いとして、このユーザは利用するランプを増やすことや、効率や好みに応じた交換をすることができよう。製造側はこのような新たな需要に対応して市場をつくっていくことができる。すなわち、無駄な廃棄を増やさない方法としてリユース性を高める仕掛けを活かすことにより、ユーザが自由に回路部分と蛍光管を組み合わせ使用することができるようになり、CFLの利用が更に広がることになろう。

また、安価なリユース品ならば買うユーザと、リユースの事業により新たに雇用が生まれて携わる人により、リユース品の市場がつくられる場合、ここには新規製造品を圧迫することはない。

なお、次々に生まれて開発される改善案は第三のインタフェースにより、リユース品に応用させるようにすることができる。これにより、従来品を丸ごと廃棄することなく、新しい製品と同等の機能を得て利用することができる。

リユースに際しては、もとの製品に関わった人の権利が問題となる。それらの権利の主張に関する情報を管理し、継承していく仕組みとルールが必要である。[12][13]

ここで電子回路基板のリサイクルにふれておくと、昨今のレアメタルへの関心の高まりに対して、その動きは鈍い。その理由としてリサイクルは銅や金の他、それぞれのメタルごとの市況に左右されること、またそれらを扱う企業がそれぞれ独自の処理技術により専門化し、結果として回収出来ている資源には大きな偏りが生じている。社会的なニーズ、一步譲るとしても産業界のニーズに広く適合した動きをすることが困難な状況である。かかる状況は改善していかなくてはならないが、それはリサイクルの場合であり、本テーマではリサイクルよりもリユースが省資源であることを再確認したい。

## 2.2 グローバルビジネスモデル

以下は二つのモデル、すなわち先進的新規志向と、安価志向と、これらを並行させることにより廃棄を減らし利用効率を高く維持するモデルを描いたものである。

### 照明ランプの特殊性すなわち低い効率がもたらすもの

照明ランプ類は電気エネルギーを光放出へ変換する効率がとても低いため、照明に要するコストは、電球や蛍光灯などの製造に係るエネルギー資源コストよりも、その寿命時間に消費する電気エネルギーのコストが圧倒的に大きい。そのため白熱球をやめて蛍光灯への声は世界的な運動に広がってきている。電球型蛍光灯はインバータ電子回路基板を内蔵することにより、従来からの白熱球と同じ利便性を提供するように設計され、それが消費者に受け入れられている。その構造全体は回路の構成も含めてここ数年間、基本的には変わっていないが、その実際の性能は格段に向上してきている。点灯の応答の速さ、明るさのアップ、その立ち上がり、色あいなどが改善され、更には従来弱点だった点滅回数についても寿命の延長が進んで

きている。それらの進歩が白熱球からの置き換えを後押ししていると考えられる。

以上から、電球型蛍光灯の価格は日本では消費者価格が1000円以上でも十分に白熱球よりお買い得と計算され、電子回路を蛍光管の短い寿命と一緒に廃棄するコスト負担が可能になっている。しかしこれはあくまで非効率な白熱球の電気消費量をもとに比較されて出ている計算であって、蛍光灯間の競争となれば、その基礎となるコストは全く別の値となる。つまり、点灯回路内蔵の器具に蛍光管部分だけを差しして使う従来の直管やサークル管の蛍光灯と、点灯回路なしのソケットに回路内蔵の蛍光灯を差し込んで使う方法との比較である。前者は点灯回路の寿命だけ長く使えてコスト有利である。インバータ回路は成熟してきており、その性能向上は大幅には見込めない。後者では、点灯回路が日進月歩であるなら蛍光管の寿命ごとに買い替えができ、それなりのメリットがある。また、蛍光管の特性にぴったり合った制御で差があるなら、そのような専用回路内蔵の方法に利点はあろう。しかしこれらは大きな進歩が継続して達成されていくのでない限り、蛍光管のみ差し替えて済む方法が安上がりであり、環境負荷も小さいからインバータ回路部分の再利用は十分に検討すべき課題である。

そこで、両者の利点つまり進歩と省資源とを併せ持つ方法として、点灯回路部分と蛍光管とを切り離して、標準の接続環境を整えることを提案したい。これにより、従来の方法つまり蛍光灯のコストメリットを得、かつ制御の合った組み合わせも得られる方法が得られる。

かかる仕組みによれば、消費者が自分で必要や好みに応じて点灯回路も蛍光管も自由に取り換え、組合せを選べるのみならず、その標準仕様を活用して、リユース事業、リサイクル事業の明快な分担と円滑化をはかることができる。従来からの点灯回路内蔵の照明器具よりも自由度が高く、廃棄のロスが少ないことも明らかである。

さらに、より省資源、省エネルギー、より快適な照明環境をつくるために、点灯回路の機能更新や拡張ができるようにする外部制御用インタフェースを用意する。この方法により、現用の点灯回路で、新しい機能やより効率の高い新製品と同等の環境が得られるようにし、電子回路基板の寿命を延ばして利用することができる。

このように、再利用と新製品とが競争して利用者の選択の幅がひろがり、利便性が高く、しかも省資源、省エネの仕組みをつくることができる。またその仕組みにより、グローバルに地域ごとの状況に合った事業と消費を継続させていくことができる。

ちなみに、以前の使い捨てカメラは10000円ほどのポケットカメラとの比較でビジネスデザインがされたようだが、店頭では新品とリユース品とが異なる価格で並べられた。これはビジネスの広がりを示す例として参考となろう。ポケットカメラはコストダウンが進んで3000円ほどのものが出て、使い捨てとの選択ができるようになり、使い捨てでもコストダウンを進め、リユース事業が活躍した。

## ビジネスモデル 1

現行のCFLの姿そのままに、使用済みを各自治体の方法で廃品回収し、解体処理できる事業者がグローバルに協力して最適な処理を分担してすすめる。その力学は各々得意とする専門技術と市況に影響される利益に基づくが、加えて国際的な温暖化対策からの評価の目もここに及ぶ。当面は国際的合意であるバーゼル条約や、RoHS,WIEEE各EU指令などのルールの下に可能な方法を選択する。

蛍光管はフィラメントの塗布酸化物が寿命を決める要素で、そのほかに蛍光塗料の劣化やガラス管内面の変色などがある。破碎による方法のほか、両端を切り落としてガラス管は再利用もあろう。ガラスと水銀や蛍光物質などを回収し、新しい蛍光管をつくる。

回路基板はリード線を切り離して動作チェックし、仕様を識別して二次品とする。

再アSEMBルする事業者は整形プラスチックケースにエジソンキャップを付け、蛍光管を接着材で固定し、回路を納めてケースを閉じる。ここが管と回路の仕様の整合を担う。このアSEMBル事業者は個々の製品の仕様情報を整理したデータベースに基づいてアSEMBルする。

## ビジネスモデル 2

現行のCFLをもとに、キャップ、経路、管を切り離した標準仕様をつくり、各企業が競争と協力関係をもってグローバルにリサイクル、リユースのサプライチェーンを組織し稼働させる。そこには最終利用者の賢い選択も加わる。

利用者は標準化された仕様に基づいて、自在に管や回路を差し替え、組み合わせて利用できる。寿命で交換するほかに、照明器具のサイズ、形状に合ったキャップや回路部を選び、また管で色合いを変えるなどができる。なお、回路部分は再生品もあり、安価に手に入れることができる。こうして白熱球よりも効率の高いCFLが先進諸国だけでなく、途上国にも利用者を増やして電力消費を抑えつつより明るい照明環境を得ていくことができる。更に、再生品の処理事業は手作業で小規模でも可能であり、グローバルに諸地域で逆流通のサプライチェーンに参加することができる。

ここにデザインする3つのインタフェースにより、各部分の寿命を最大限に使うことができると共に、自在な組み合わせによりより省エネかつ快適な環境をつくり、維持していくことができる。

## 2.3 市場サンプルの収集と分析

### サンプルの収集

現在のインバータ回路内蔵型の電球形蛍光灯を良く目にするようになった2002年頃から、市中で目に止まったサンプルを集めた。その頃から欧州のたとえばドイツのDIY店などでは、U字型の細長いものが格安品として1ユーロ前後で山積みとなっている光景があった。これらは現在のものと比較すれば明るさも落ちるし、すぐに駄目になるものも少なくなかった。しかし、その頃から有名メーカー品は3ユーロほどで十分に使えるものが出ていた。その頃はU字型のものがほとんどであった。その頃日本国内では安売りで知られる量販店でも1000円以上であり、欧州のCFLの立ち上がりは中国や東欧に支えられてきたことがうかがえる。米国ではかなり遅れて昨年の2006年あたりから突然現れたごとく、WALMARTなどの店頭に見られるようになったが、その後の進展は目覚ましく、ちょうど100W電球の置き換えになる20Wほどのスパイラル型のCFLが4個パック、10個パックで店頭で山積みとなり、同じ頃から米国企業ブランド品が欧州でも欧州ブランドに並んで見られるようになった。米国ではスパイラルがほとんどであり、米国で見るとこのまとめ買いで単価約1ドルのランプは5年ほど前の欧州の格安品とは大きく異なり、動作は安定し、明るさ、色ともに良く、十分に実用になると見える。つまり白熱球との価格差が少なくなり、点滅回数で寿命が短くなるとしても、まだ消費者としてはおつりがくると見込まれる。頻繁な点滅なしの利用でCFLの寿命がほぼ表示通りとすれば、23WのCFLが単価3ドルで寿命が6000h、対して100Wの白熱球が50cで1000h、電気代が10c/KW程



U字型の欧州製品（10W）（2002年）  
内部はチップ部品を使い、管のリード線をバネで基板のランドに接触させている。



U字型（13W）日本製（2006年）



米国のスパイラル型（10W）（2007年）

度では、日本の両者比較例と同様の結論が出よう。なお、放電管を直線ではなく、らせんなどに曲げて全体を小さくまとめると、それだけ放射されるべき光が近接する管に妨げられて、照明効率の低下をもたらすが、小型化の方法としては日本も含めてスパイラル型が増えてきている。



これが世界の CO2 削減に大きく貢献することは消費者個人の心にも良いものをもたらすことは十分に想像できる。

欧州のスパイラル型例 (25W) (2007年)

## 手作業による分解

インバータ回路基板を収納しているスリーブ状のプラスチックケースは、ちょうど箱の身と蓋からなり、身のほうにはスクリーキャップがつながり、ふたには穴が開けられて蛍光管の先が差し込まれ、接着材で固定されている。そこで、この身と蓋の合わせ目あたりを切って開くと回路基板がとりだせる。

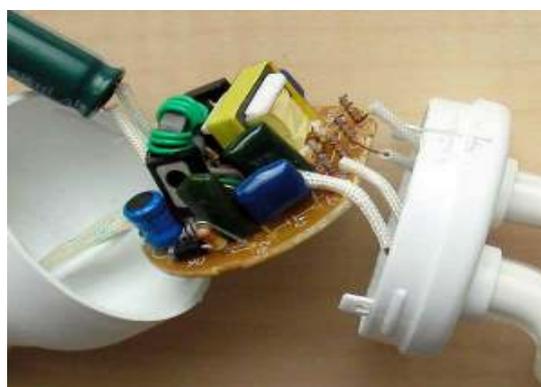
なお、道具は帯鋸などの代りにミニルータと称する、厚さが0.5mmほどの薄い円板のグラインダを高速回転させるものも使える。

身と蓋を合わせて閉じるあたりに回路基板が固定される。身と蓋はプラスチックケース表面の凹凸により強固に接合され、容易には開けられないようになっている。基板はケースの内側につくられた筋状の突起部分によりケース内に水平に固定される。基板上的部品のうち、最も大きいものは AC 電源から DC を得るための電解コンデンサであり、これはちょうどスクリーキャップの内側へ押し込まれるように収納されている設計が多い。次に大きいのが放電のための電力を供給するトランス、フィラメント電流用のフィルムコンデンサであり、これらは電解コンデンサの足元あたりに置かれる。その他の抵抗やコンデンサ類はチップ部品が使われているものもある。従来の個別部品を基板に差してつくられたものは基板サイズが比較的小さく、CFL の外観はケースの直径が小さく細身であるのに対し、チップ部品を使ったものは基板サイズが大きくなり、ケースの直径は大きくて、全体に太った形になる。

放熱のために蛍光管を差し込んだ蓋の中央や、身のスクリーキャップを嵌めた首のあたりに穴を設けているものも多い。

キャップと回路部の電気接続はすべてが半田付けであるが、蛍光管のリード線と回路基板との接続は半田付、ワイヤラップ、ばね式接触、リード線押し込み式などが見られ、着脱が容易なばね式や RoHS 対応をうたった半田なしのリード線押し込み式は有望な方式である。ここに標準仕様を設定すれば、エンドユーザ自身が管の取り換えが出来るようになり、回路部と管の組合せもできるようになる。

蛍光管をケースの蓋部分で固定する方法はシリコンゴムや硬質の接着材が使われているが、その様子は穴と管の隙間を埋めて固定するというものではなく、かなりラフであたりに大量に充填されている。スパイラルの場合、管の先端部分が二本並行に垂直に差し込まれているものと、先端部分はスパイラルの延長のまま蓋に斜めに差し込まれているものがある。いずれも管を差し込む部分の穴に適切なスリーブ状のガイドを施



ケースの嵌め合わせ構造の例

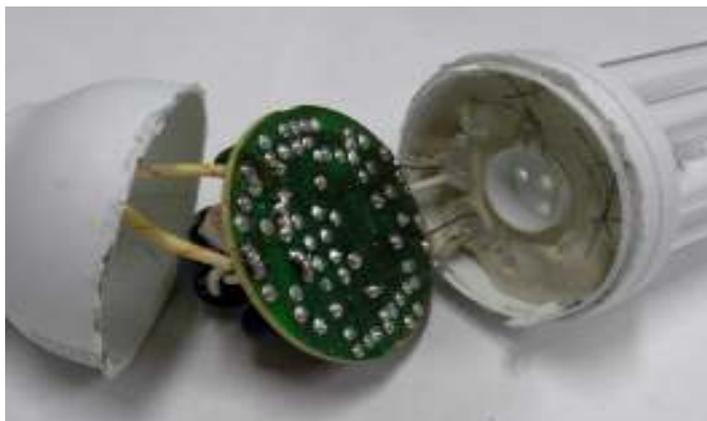
せば、接着材はごくわずかで済むことになる。またこの穴の寸法や形状とともに、接着材の種類を決めれば、リユース作業と資源の無駄を減らす効果が上がる。

蓋と身の部分の嵌め合い方法は、円周に様に凹凸を設けたものと、一部分だけを周囲から切り分けて、レバー状にした部分の変形を利用してツメを噛ませて止めるものがある。どちらもしっかりと止められているが、一般の利用者による分解は想定されていないため、外からは外し方を分るようにした様子はない。リユースのためには、手作業でもオートメーションでも、安全確実な分解の方法が分かるように設計することが必要である。この嵌め合いの仕様を標準化して、外側に簡単な印を付ければ、このリユースの第一条件は満たされる。

## 主要部品のサイズ

蛍光管の放電に要する電力の供給のために使われる電解コンデンサとトランスの小型化には限界がある。しかし、現状を見ると、それば必ずしも表記のワット数とは関係なくばらばらについている。つまり部品の採用条件として、小型化の追求にもまして、供給の確実なこと、つまり汎用の標準品であり、安価で入手も容易、などの条件が含まれていると想定される。したがって部品のサイズによる回路部全体のサイズの制約はまだ緩いものと考えられ、なお一層の小型化が可能であり、その方向に進むであろう。興味ある例としては、ポルトガルで見られた中国製のスパイラル型は最も小型であり、その回路部分は従来部品を基板に手作業でぎっしりと差し込んだものであった。

欧州で需要の多いと見られるシャンデリア用の水雷球型にするには、インバータ部分のサイズを思い切って小さくする必要がある。使用する部品は現状より一層の小型化が必要である。幸いにシャンデリア用は部品が下に配置されるから、温度上昇の条件は、取り付けを逆さにする、吊下げないし天井埋め込み式よりは楽になる。



灯りケースの嵌め合わせ、管の固定方法の例



管の固定方法の例



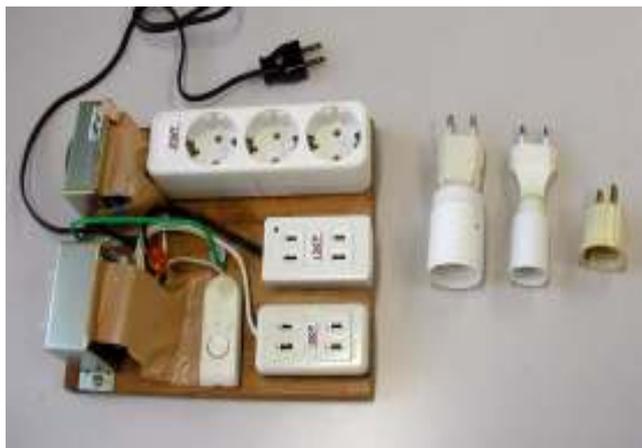
回路基板の小型化の例、

## 動作状態の個々の測定

### テストベッド

電源は AC100V ラインよりトランスで絶縁し、日本国内用 100 V、米国用 120V、欧州用 230V を用意、

測定装置は PC に USB 接続して動作する2ch、10 MHz 帯域幅の PicoScope # 3224オシロ、これにより DC 供給電圧波形、放電駆動電圧波形、放電駆動電圧の周波数スペクトラムを採取した。各測定結果は JPEG 画像として保存している。



なお、本研究の要旨はリユース性の検討であり、そのため現状の把握としてはおおまかな姿を抽出することであり、それに基づいてリユース性の高いエコデザインを描き出すことである。そのため、分析はメカニズム、エレクトロニクス共に概観を宗とした。本研究は照明効率を高めるような検討はなく、照度を測る環境などは省いている。

以下に CFL の標準構造を示す。どの CFL もみなエジソン以来のスクリーキャップ部分と、インバータ回路基板部分と、蛍光管とからなり、回路を納めたプラスチックケースがキャップと回路と管とを結合する方法で一体化している。

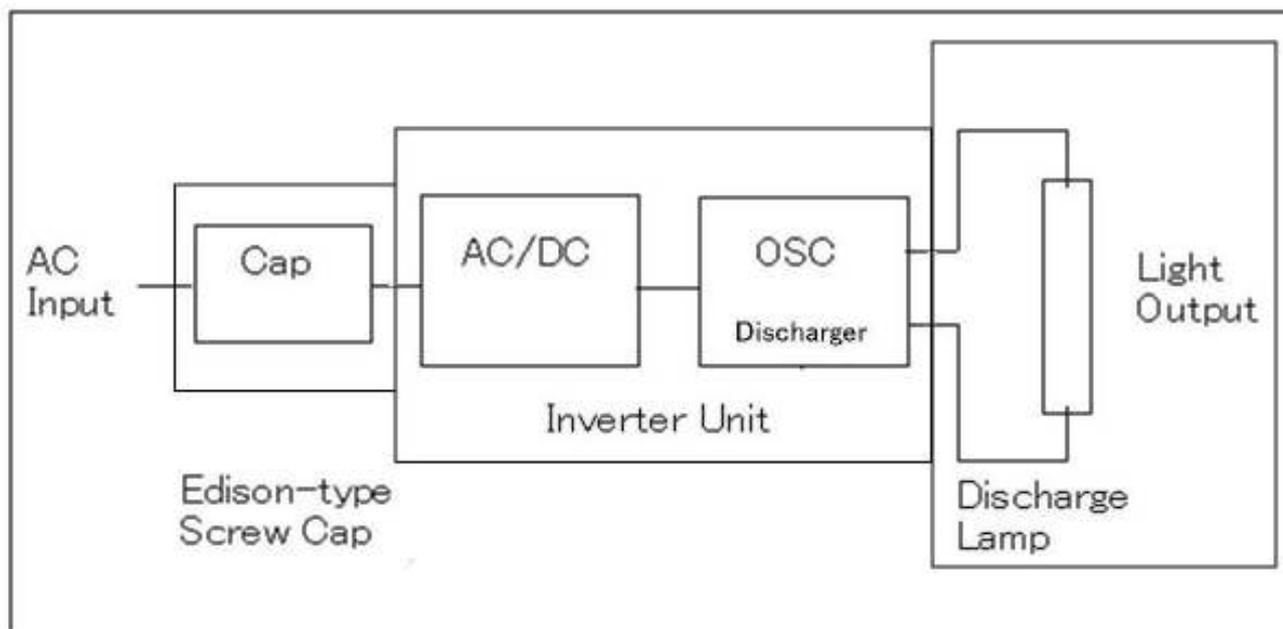


Fig.1 CFL structure

インバータ回路部分はいずれも以下のような波形が観測されるが、商用 AC 入力を両波整流して平滑する DC 出力回路と、小型のトランスを用いて蛍光管を放電させる、点灯と放電を制御する部分を持つ数10kHzの発振回路からなる。前者には部品として最も大きな容積を持つ電解コンデンサがあり、これを小型にするために多くのサンプルでその DC 出力は図のように脈流を呈している。この電解コンデンサの容量が低下すると脈流のディップは大きくなり、明るさの低下とちらつきにつながる。動作中の温度上昇がアレニウスの法則に示されるように、[15][16] コンデンサの寿命に大きく係るので、コンデンサの耐温度特性と容量の設計余裕が回路基板の性能維持の寿命を左右する要因となる。後者では容積の大きな部品としてコア入りのトランスがある。その寿命はコイルの絶縁で決まるが、効率向上が主要課題なので発熱の増加はなく、寿命が特に短くなる理由は考えにくい。ロスの低減と共に、放電管の寿命を延ばす点灯制御など、機能の良さがリユースの繰り返しに耐える寿命を支える。

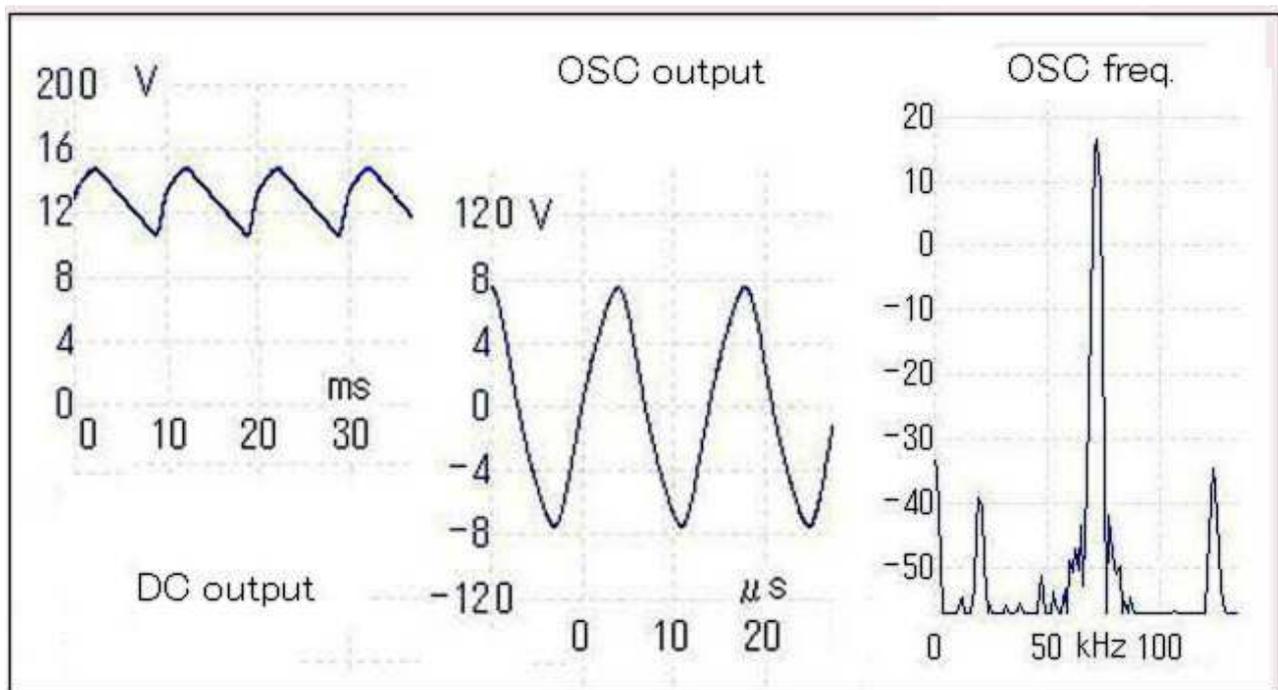


Fig.2 CFL waveforms

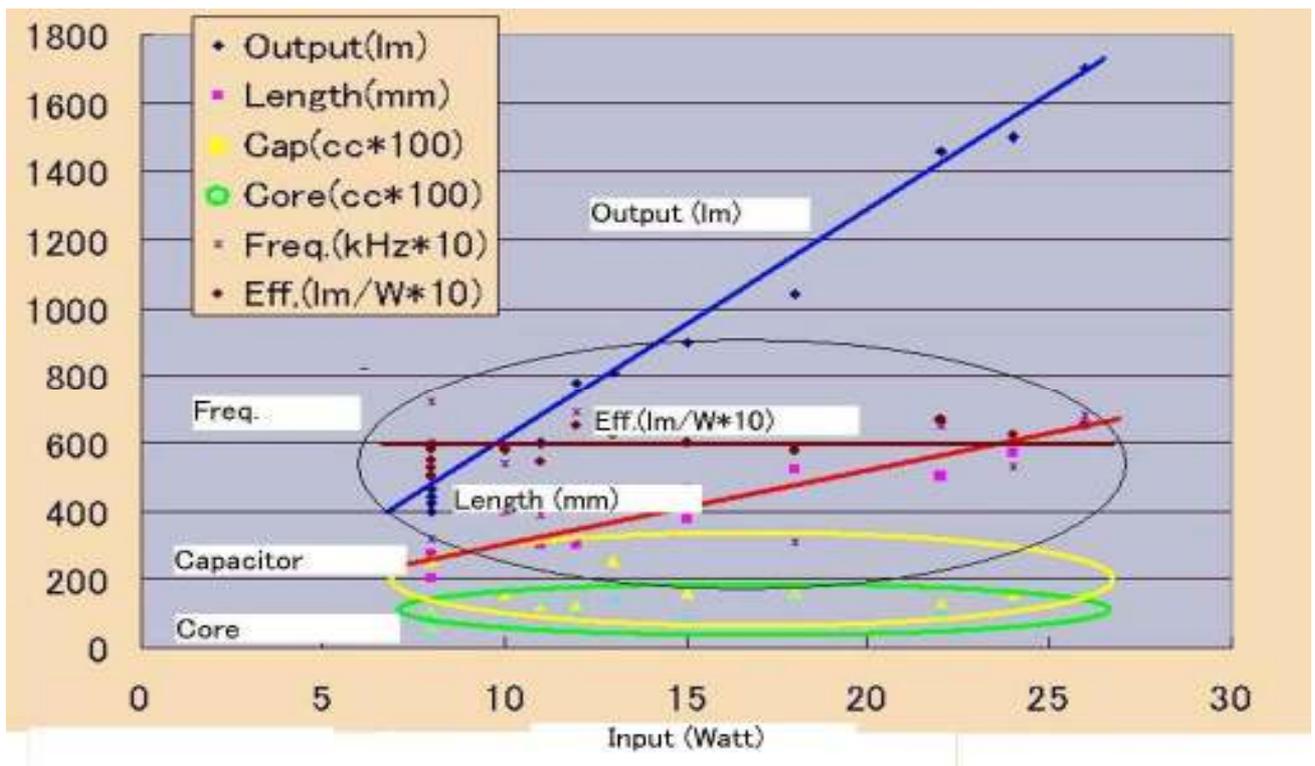
## 全体の傾向、

### 電气的特性

リユース性の検討から、実装されている部品の様子を見たところでは、そのサイズなどにかかなりのばらつきが見られた。そこからは小型化やコスト削減について、まだまだ余裕があると解釈でき、個々にかかなりの改善見込めるとの感触が得られる。また見方を変えると、管のワット数の違いにかかわらず、ほぼ同じサイズの部品が使用される場合があることは、部品の共通化によるコストダウンもあり得ること、更には異なるワット数の管を差し替えられる設計にも通じるものである。

サンプルの測定結果をまとめると、以下のグラフのようになる。主な部品である電解コンデンサとトランスの大きさなどはおおよそ以下の通り。

Fig.3 CFLs vs Watt



電解コンデンサの体積	0.1 cm <sup>3</sup> /W	(被覆を含めた外寸である)
トランスの体積	0.07 cm <sup>3</sup> /W	(これはコアのたてよこたかさを掛けたものである)
放電駆動周波数	20 ~ 80kHz	カタログ上の照明効率やトランスの測定サイズには 明確な関係は見られない)
放電駆動電圧	270V/m	(放電管長さ 1m あたりの電圧 op 値である)
効率	60lm/W	(ほぼ 60lm/W 前後である)

## 実装方法

### 放電管のリード線と基板回路との接続方法

半田付けが多いが、ワイヤラッピングも見受けられる。

RoHS 対応への動きでは[19]、バネを基板のランドへ圧着させる方法や、リード線をランドの穴へ押し込める方法などが見られる。これらは管と回路の分離が良く、リユースに向けた方法である。



管リードと基板の接続方法、例 1

### プラスチックケースの蓋と身の嵌合せ方法

いずれも表面に凹凸を設けて嵌め、ドライバなどでこじ開けようとする程度では開かないように堅固につくられている。接着材は使わないものが多いので、リユースのための分解作業には、形状の統一ないし仕様の公開があれば容易であろう。



## 外形

ほとんどの CFL は白熱電球よりもインバータ回路部分が膨らんでいるので、小型の照明器具の中には差し込めないものがあり得る。しかし、プラスチックケースが殆ど膨らまない形のものもつくられていて、差し替えは可能である。

チップ部品を使ったものは基板面積が大きくなりやすく、それだけケースの外径も大きく、太った姿になるが、一方高さを低くできて、外形は平板になり、CFL 全体の長さを短いものにできる。

従来部品では手作業とおぼしき方法で小さな基板に部品を束ねて差し、外径を小さくまとめたものがある。

管リードと基板の接続方法、例 2



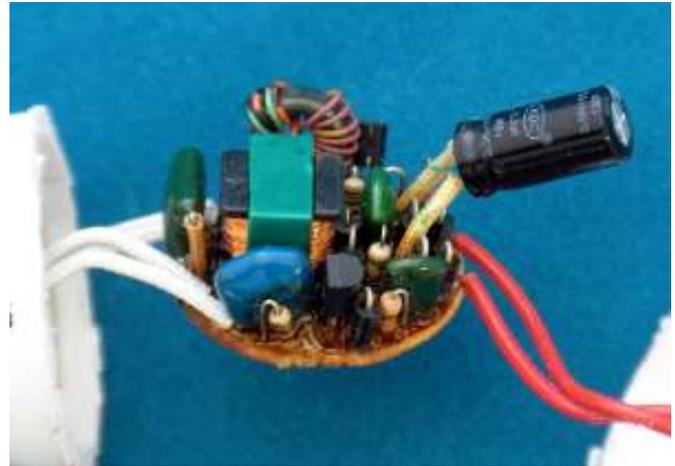
管リードと基板の接続方法、例 3

## 2.4 CFLの国際的な動向調査、主な統計データの抽出

### 白熱球を禁止する案の動き

蛍光灯の利用が進んでいる日本と異なり、豊かな生活の出来る欧米では、このはなはだ効率の悪い白熱球をエジソン以来ながらくその色合いに親しんできたがために、温暖化対策の国際的な動きが活発化して以来、急にその非効率な利用が問題視されはじめた。

最初に流された情報はカリフォルニアからで、今年2007年1月、2012年までに全廃する案を[8]、オーストラリアからは2月に[10]、議会で2010年までに白熱球を禁止にもっていこうというニュースが流された。続いてカナダや欧州の中から同様の声があがってきた。アルゴア氏もノーベル賞受賞のスピーチの



手作業の高密度実装の例

中で白熱球から CFL へと言及しているのは周知の通り。世界的な温暖化対策の広がりの中ではしごく当然にそれは始まったが、それを後押しするものとして最近の蛍光灯の品質改善の成果がある。三波長型や電球色の蛍光材料の進歩が不自然だとして嫌った人たちに自然な色合いを経験させ、インバータ内臓の電球型蛍光灯の進展が蛍光灯の大きな欠点である点灯の遅さをほぼ解決して白熱球愛好者達を説得することができつつある。ただし、最近インターナショナルヘラルドトリビューン紙が問いかけた CFL のだめ押しへの質問に対する米国の読者の声からは[9]、市場の品質がいまだにかなり悪いものがあることが伺え、また、割ったときの水銀の健康への害を極度に恐れる声もあり、こうした声が出ている以上、強制的な置き換えへの動きには慎重さを必要とするだろう。家庭内で蛍光灯を使ったことのない人たちが、水銀が入っていると聞くだけで恐れる様子が紙面から伝わってくる。日本国内では、国内メーカーの電球型蛍光灯の品質は安定しており、そのレベルは高く、品質がために CFL に反対する声はあまり大きな問題としては出そうにない。日本ではむしろ残された課題として点灯後の立ち上がりの微妙な推移への対応や、点滅回数の問題、更には調光機能や夜間の自動点灯機能など、一層の品質改善により、快適さや省エネの性能アップを期待され、それはメーカーの新たな市場競争上の課題ともなる。[7][11][18]

無論、壊した時のための安全策と、産業廃棄の際の安全な対応は並行して十分に検討されていくことを想定する。

## 2.5 新しくエコデザインした CFL をつくる

リユースを前提としたデザインは、第一に部分の切り分けが明解で分離と結合が容易であることだ。それはまたエンドユーザ(消費者)が家庭やオフィスで簡単に交換したり、組合せを変えたり自由に出来ることにつながる。

現在市場に出回っている CFL は、切り分けはエジソン以来世界中で使われているスクリューキャップ型ソケットと、円筒型プラスチックケースに納められたインバータ回路基板部分、それから同ケースに接着剤で固定されたU字型ないし螺旋型にまとめられたガラスチューブの蛍光管に分けられる。

これら3つに分けられる部分の寿命はおおまかに数10年、10年、数年とかなり異なるから、これらを2つの切り口で簡単に分離し、結合できるようにすれば良い。全自動の処理システムでは、マシンリーダブルのマークや分解のための情報が入口で用意され、手作業を含むサイトでは目視で識別できる印と、簡単な工具で分解できる設計であること。エンドユーザ自身が簡単に交換できるようにするためには、特別な説明なしに着脱ができ、判り易くかつ確実なこと、その際に安全な絶縁対策があること、仕様が異なる場合の組合せに自動識別ができることなどが必要である。無論交換や組合せの際に互換性が確保されており、そのための仕様が標準となっていることが必要である。またリユース処理の場のためにはケースの分解や復元の方法も標準化されていること、部品の仕様と取り扱いのための情報が整っていることが必要であり、それらは国際標準となっていることもほとんど必要となろう。

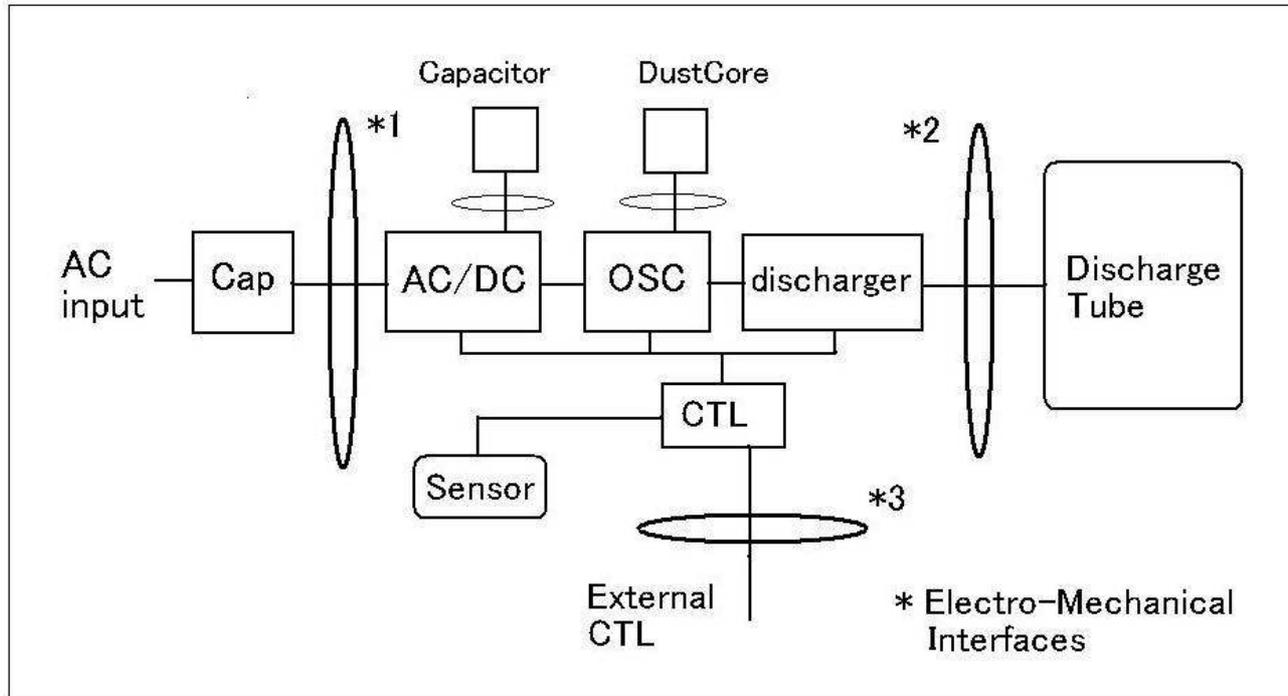


Fig.4 A reusable CFL design

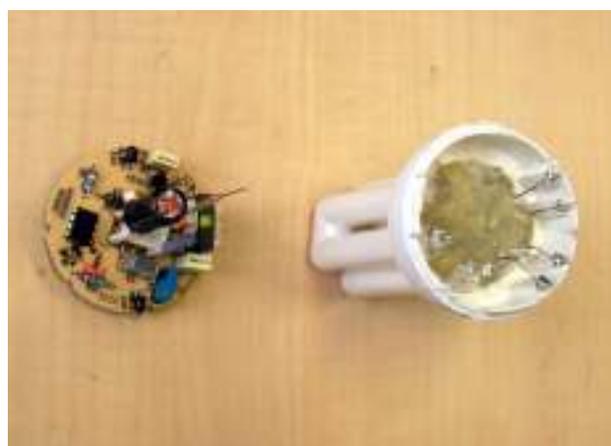
第一のインタフェース(\*1)は旧来のエジソン型ソケットまたは次世代のソケットとインバータ回路基板とをつなぐためのもので、現在はリード線の半田付である。今後よりスマートなソケット仕様がつくられることも想定した、エジソンタイプにも互換な接続仕様を決めて、誰でも簡単に交換できるようにするもの。

第二のインタフェース(\*2)は回路基板と放電管をつなぐためのもので、現在はリード線の半田付のほかにバネで接触させるもの、穴にリード線を押込むものなどがある。省資源かつ簡単で確実な方法を決めて標準仕様とし、誰にも差し替え可能なものとする。この際、インバータ能力と放電管の容量の整合のための識別機能を用意する。この詳細は今後の放電管の進歩に応じて追加できることを考慮しておく必要がある。

第三のインタフェース(\*3)は外部から制御できるようにするためのもので、すでに想定されているニーズとして、光センサにより昼夜に応じて自動点消灯する機能や、人体を検出してする機能、明るさを適宜絞る調光機能などがある。これらの機能を内蔵する方法は簡便さが期待されるが、外部へ置く方法は省資源と自由度に利点がある。

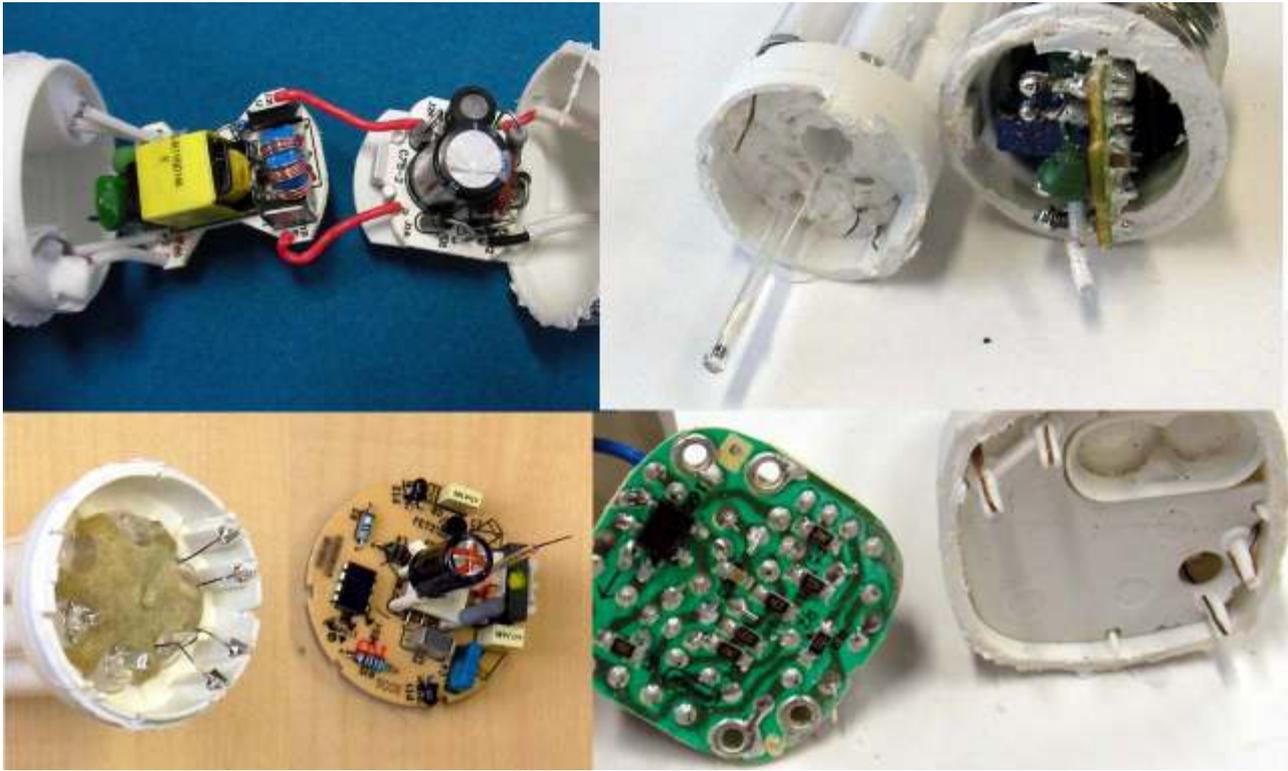
この他に、特に電解コンデンサの寿命はトランスの効率がリユースの障害となる場合には、これら部品だけを交換できるようにすることも有効である。

このような標準のインターフェースの詳細は本研究以降の課題となるが、その目的は要するにかかる機能と寿命が異なる部分を明快に切り分け、産業界でも各家庭でも誰もが扱えるようにし、より安価で省エネであり、快適な生活の出来る CFL をつくり、上手に利用できるようにしていくことである。



すでに市場ではメーカーそれぞれに独自の工夫をこらし、付加機能をこの小さなスペースへ実装する試みが始まっている。

調光機能や光センサを内蔵した例



様々な内部接続の方法が試みられている。

### (3) 研究開発成果の社会的含意、特記事項など

#### 人々の参加で効果を上げる温暖化対策

温暖化対策に多くの人々が参加し、その効果を実現していくとともに、その意味と効果を共有する心が伝わること。一般ユーザも家庭内の照明環境の工夫で参加できるし、手作業を含めて、リユースチェーンに参加する人々も同じ心を通わせることができること。

#### CFLのリユースがもたらす資源の有効活用のひろがり

CFLのリユースを手始めとしたボーダーレスサプライチェーンの広がりを通じて、他の家電品や電子機器、更には自動車などについても資源の有効活用を促すことに通じる。

#### CFLのリユースで技術に慣れ親しむこと

CFLの組合せや交換を通じて、各家庭内でより快適な利用環境が日常の工夫によりつくれることを、産業技術面はもとより、社会心理の面からも波及効果として期待できること。特に昨今のパソコンに代表される技術のかたまりのブラックボックス化の問題への答えとして期待されることとして、メーカー側と利用者側に知識の乖離を埋め、使い難さを軽減し、機能の無駄や無駄な廃棄などを低減させることが期待される。つまり、人々が個々人の好みと工夫によりモノの廃棄を減らし、快適な住環境をつくり、もって循環型社会への歩みを実感しつつ進めることができる。

## (4) 研究成果の今後期待される効果

### 温暖化対策の推進

安価なリユース商品が普及することにより、白熱電球から効率の良い CFL への置き換えが世界に広く促進され、それだけ電力消費を抑えることができ、炭酸ガス排出量も低減させることができる。

CO<sub>2</sub> 排出量低減の計算は種々あるが、簡単な理解のために 2006 年のデータで仮に将来は全人口約 66 億の一人ずつに 100W の白熱球の利用を想定すれば、一日 8 時間の利用としてその電力総量は年に約 1.9 兆 kWh、全電力約 16 兆 kWh の 12%ほどにもなるが、20W の CFL ならば 2%強で済み、総電力需要の一角が削減できる計算になる。リユースによって促進されるであろう白熱球から CFL への置換えは照明用電力の削減で約 8 億トンの CO<sub>2</sub> 削減になり、全排出量 230 億トンの約 4% の削減になる。

### 産業廃棄物の低減

インバータ回路部分のリユースにより、電子回路の産業廃棄物を減らし、環境負荷を軽減することができる。

簡単のために約 20g の回路部分を管の寿命から 2 年ごとに 66 億個廃棄すると、年間の廃棄量は約 66 キロトンとなるが、これをリユースで 10 年間使えば 1/5 の約 13 キロトンに軽減される。

### 再利用処理チェーンの稼働

手作業ベースの比較的簡便な工場も含めた再利用のための産業チェーンを稼働させることができ、ボーダーレスサプライの連携を進めやすくなる。

### 家庭内の照明改善

家庭内でも寿命の管の交換や好みの組合せなどが簡単にでき、省エネでかつ快適な照明環境をつくることができる。

## **類似研究の国内外の動向**

CFL を白熱球と比較した調査例はたくさん見かけるが、CFL の次の姿を描いた例はまだ見られない。

この研究内容の成果は研究終了の本年 11 月のすぐ翌月に、おそらく世界初の提案として EcoDesign2007 にて発表した。

## **成果の今後の展開見込**

技術と普及に一步抜き出した日本国内メーカーを中心におき、日本のユーザーをモデルの対象として新しい仕様の国際標準化を進め、応用製品の開発に着手し、欧米企業をリードしつつ、中国をはじめとする諸地域との連携でボーダーレスサプライチェーンを形成していく。[1]

## **科学技術や社会への考えられる波及効果**

エネルギーの有効利用に必要な電子制御回路装置を[2]、産業に携わる多くの人々が手にして理解を深め、一人一人が省エネ意識を持って技術に支えられた社会を上手に生きていくようにできること。

## 文献

- [1] H.Hayashi, "Incubating Industry using recycling and remanufacturing scheme", JST-study, 7 Oct.2005  
— 本研究 「ボーダーレスサプライチェーン構想」 の骨子を紹介
- [2] 林秀臣、「特講」住みよい世界を作るための電子機器実装技術の課題、IEICE,CQ2007-53  
— 廃棄を減らし、リサイクルを進めて豊かなくらしを問いかけた
- [3] Kitamura,M, A CFL goes through the BorderLess Supply Chain, JST-study internal document, Jul.2007 — 本研究の英語版を要約したもの
- [4] 喜多村政賛、電球型蛍光灯、(JST-study report 研究の設計リサイクル G、内部資料) 11.2006  
— 本研究計画の日本語サマリー
- [5] Dow,K. Downing,T.E., The Atlas of Climate Change. Univ. of California Press, 2006  
— 温暖化の仕組みと影響について広く集めたデータを絵本にしたもの
- [6] 世界の電気、日本の電気、電気事業連合会広報、EnergyNote,Vol.8, Feb.2006  
— 照明用など用途別に世界の需要をまとめたもの
- [7]Takano,S and Obata,E, An Evaluation of the Commercial Energy System on Industry Association Table - many sectors of the economy and the growth rate of GDP , Univ.Muroran-Tech,vOL55,2005-  
— 京都プロトコル計画達成に産業界個別の努力と共にその連携が必要と分析する、
- [8] Woodall, B., California May Ban Conventional Lightbulbs by 2012、SGW-org, 31 January 2007  
— カリフォルニアが世界で一番乗りの姿勢を示そうとしたニュース、 その後の議論では省エネよりも水銀を恐れる声があった。
- [9] Kanter,J Do low light energy bulbs work?, Biz of Green, International Herald Tribune 3,Oct,2007  
— 温暖化対策に庶民は CFL で良いかのため押しを問いかけた、読者の声には CFL の故障の不満あり
- [10] Turnbull to pull plug on light bulbs, ABC news online 20,Feb.2007  
— オーストラリアで白熱球禁止の案のニュース、他に先駆けた議会のマニフェスト案を伝えた
- [11] 諸富芳徳ほか、家庭の照明による電力消費について(京大) 、日本 LCA 学会要旨集、12.2005  
— ランプ効率の向上や住宅床面積の増加などに対して、照明用電力消費は見積以上の増加となっていることを紹介
- [12] Kitamura,M Copyright Infomation Rev 4.0 ,DAVIC 1.4 Specification,March 1998  
— 権利の主張にはその内容を配信コンテンツに添付することをおそらく世界初に標準案としたもの
- [13] 喜多村政賛、著作権処理システムの研究、IPA 公募研究、98.10.22  
— 消尽しない権利の継承が Value Chain 上で安全かつ円滑に行われる仕組みを示したもの
- [14] 田村 健 新時代を築く電子タグシステム (伊藤忠商事 RFID 導入資料) Oct. 2004  
— ミューチップ導入のための説明資料
- [15] 金子武弘 最近の家電品包装、電機 2005-9 社、日本電機工業会  
— 電子機器の保存と寿命について解説
- [16] 三洋半導体(株) 信頼性ハンドブック (2007 onWeb)  
— 部品の寿命に関し、アレニウスの法則を解説
- [17] 日本工業標準調査会、ISO の組織、COPOLCO,DEVCO

— 国際標準化のすすめと手続きの説明

[18] 小沢孝ほか、ネットワークサービス品質の構成概念に関する一考察、EIC 大会 2007、B-11-20

— 基本機能の需要を満たすだけでは進まない消費者の姿を紹介

[19] よくわかる WEEE&RoHS 指令、日本電子（株）応用研究センター、日刊工業 2004

— EU の両指令について具体例をあげて解説している

[20] 日本鉱業協会、非鉄金属製錬の有する現状リサイクル技術情報整理及び循環型社会の更なる構築に向けた活用策等の検討（2004.3）

— 電子回路基板のレアメタル資源回収など解説あり

5. 研究実施体制

6. 成果の発信やアウトリーチ活動など

7. 結び