

# 卒業論文

LCA を用いた電力量計の環境負荷の評価

1p ~ 45p 完

平成 15年 2月7日 提出

指導教官 酒井 信介 教授

10209 松田 良平

# 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>6</b>
1.1	背景	7
1.2	LCA手法の概要	8
1.2.1	インベントリ(LCI)分析手法	8
1.2.2	産業連関表を用いたインベントリ分析	9
1.2.3	LCAにおける感度解析の必要性	9
1.3	本研究の目的	11
1.4	本論文の構成	11
<b>第2章</b>	<b>電力量計のLCA</b>	<b>12</b>
2.1	緒言	13
2.2	目的と範囲の設定	14
2.2.1	目的の設定	14
2.2.2	調査範囲の設定	14
2.3	インベントリ分析	15
2.3.1	ライフサイクルフロー	15
2.3.2	ライフサイクルフローの簡略化	17
2.3.3	データ	19
2.3.4	定式化	21
2.4	結果	22
2.5	考察	24
2.6	結言	25
<b>第3章</b>	<b>感度分析</b>	<b>26</b>
3.1	緒言	27
3.2	計算式	28
3.3	結果	30
3.4	考察	32
3.5	結言	34
<b>第4章</b>	<b>結論及び将来の課題</b>	<b>35</b>

付録 A 付録	37
付録 B あとがき	42
B.1 謝辞 . . . . .	43

# 目 次

2.1	OneWay のライフサイクルフロー	15
2.2	Reuse のライフサイクルフロー	16
2.3	簡略化したライフサイクルフロー	17
2.4	リユース一回	21
2.5	n と $k_1$ を変えた時の $\text{CO}_2$ 排出量の変化	24
3.1	リユース回数 n 感度 $S_n$	30
3.2	良品率 $k_1$ の感度 $S_{k_1}$	31
3.3	良品率 $k_2$ の感度 $S_{k_2}$	31
3.4	n=1、2 の時の $S_{k_1}$ と $S_{k_2}$ の比較	32
3.5	n=3、4 の時の $S_{k_1}$ と $S_{k_2}$ の比較	33

# 表目次

2.1	電力量計の構成素材	19
2.2	原単位 1	19
2.3	原単位 2	20
2.4	構成素材と原単位の対応	20
2.5	OneWay の CO <sub>2</sub> 排出量	22
2.6	Reuse の各単位プロセスごとの CO <sub>2</sub> 排出量	22
2.7	Reuse の十年あたりの CO <sub>2</sub> 排出量	23
A.1	k <sub>1</sub> 、n を変化させた時の CO <sub>2</sub> 排出量	38
A.2	リユース回数 n の感度 S <sub>n</sub>	39
A.3	良品率 k <sub>1</sub> の感度 S <sub>k1</sub>	40
A.4	良品率 k <sub>2</sub> の感度 S <sub>k2</sub>	41

# 第1章 序論

## 1.1 背景

近年、地球温暖化などの環境問題が解決しなければならない重要な課題となっており、その際に把握される必要性があるのが環境負荷である。その環境負荷を評価する方法としてLCAが注目を集めてきた。LCAとは原材料調達から設計・製造、使用、リサイクル、そして最終的な廃棄処分（製品のライフサイクル）にわたって、製品の使用する資源やエネルギーと製品が排出する環境負荷を定量的に推定・評価しさらに製品の潜在的な環境影響を評価する手法である。

現在全国に電力量計は8000万～9000万台あり、その環境負荷は多大なものとなる。その環境負荷を低減するにあたって、LCAを用いて現状の電力量計のライフサイクル全般にわたるCO<sub>2</sub>排出量を把握し、その上でリサイクル等によってCO<sub>2</sub>排出量をどの程度低減できるかを明らかにすることが必要である。

## 1.2 LCA手法の概要

ISO14040ではLCAの実施手順として以下の4つの項目が挙げられている。(参考文献 [1],[2],[3])

1. 目的と範囲の設定  
目的とは、調査の用途、実施する理由、およびどこに結果を伝えるか、ということであり、範囲とは、機能単位やシステム境界等、調査を行うに当たっての前提条件全般である。この段階が不明確であると、LCAにより得られた結果の客観性そのものが疑われることとなる。
2. インベントリ分析  
インベントリ分析とは、対象となる製品やシステムについて、作り、使われ、処分される過程で消費するエネルギーや、使う資源、排出物などの物質を集計し、分析することである。
3. インパクト評価  
インベントリ分析で得られた結果を、「地球温暖化」や「オゾン層破壊」などの環境影響項目に分類し、各項目ごとに環境影響の程度を評価する。
4. 結果の解釈  
インベントリ分析や影響領域の結果から得られる結論をまとめ、その結論をもとに目的と照らし合わせた形で何らかの提案をする過程である。

### 1.2.1 インベントリ (LCI) 分析手法

インベントリ分析には、大別して積み上げ法(プロセス法)と産業連関分析法の2つあがある。

1. 積み上げ法  
積み上げ法とは、ライフサイクルをその各段階毎のプロセスに分解し、各プロセスごとの環境負荷データを収集し、ライフサイクルの全てのプロセスについて合計するという手法である。  
環境負荷の度合が各プロセスごとに明確で、その後の改善方法を検討することが容易である反面、各プロセスごとの調査項目に限界があり、過小評価になりがちである。
2. 産業連関分析法  
産業連関分析法とは、政府から発行(日本では、総務省を中心に5年毎に調査、発行)される「産業連関表」を使い、部門間の金額ベースを基準に、原材料やエネルギーがどのようにして調査対象製品に分配されてきたのかをたどって分析していく方法である。  
全ての産業を網羅しているため、ある製品ごとに直接・間接の波及効果を含め



たインベントリが比較的容易に算出できる。しかし、産業連関表に取り入れられている項目が約 500（部門）と少ないために、個々の工業製品や技術を分析するには不十分であり、新技術のような産業連関表に取り入れられてない分野のものに関しては分析ができない。

### 1.2.2 産業連関表を用いたインベントリ分析

産業連関表自体は、1年間に取引された集計データに過ぎないが、逆行列計算を行うことにより、あらゆる産業への「間接的な生産波及効果」を算出することができる。このように、個々の製造プロセスごとの環境負荷を実態調査するのではなく、日本の産業構造から割出した平均値により、客観的な評価を行うことができる。

以下に産業連関表の長所と短所をまとめる。

#### 長所

- 国内における全産業の情報が網羅されており、間接的波及効果を考慮した評価が可能。
- データの信頼性、透明性に優れる。
- 投入材料/エネルギーの数量のみで算出可能。
- 詳細な工程分析が不要。

#### 短所

- 国外情報が評価の中に入らないため国外で製造される製品の環境負荷の評価ができない。
- 国内の平均データのため企業間における素材ベースでの比較ができない。
- 数百種類の分類に限られるため詳細部品への展開ができない。
- 単独では、精細な環境影響評価には至らない。
- 5年ごとの統計データのため、新産業/新素材は分析できない。

### 1.2.3 LCA における感度解析の必要性

従来の産業関連表を用いたインベントリ分析では以下のような問題点があった。

- 研究機関が公表している排出原単位を利用してインベントリ分析を行うのみ。

- 環境負荷排出量の大きい部門（産業）の特定はできるが、改善すべき方向は知ることができない。

具体的な例として、産業連関法を用いてインベントリ分析を行った結果、発電産業のCO<sub>2</sub>排出量が大きいことがわかったとする。次のステップとして、インベントリ分析の結果を踏まえて、環境負荷排出量の改善を図ることになるが、その際、最終的な結果からだけでは、

「発電産業のCO<sub>2</sub>排出量が大きい 発電産業での化石燃料消費を少なくすれば良い」

という直接的な分析はできるが、

「電力を大量に使用する産業は 例えばアルミ精錬産業？」 「アルミ素材を大量に使用する産業は ??」

のように、間接的な波及効果を含めた改善評価を行うことは困難である。このような問題の解決のためには、各要素が環境負荷量に及ぼす影響の程度、すなわち感度を算出することが、有効であると考えられる。

## 1.3 本研究の目的

本研究の目的は、まずは現状の電力量計の一台十年使用時のCO<sub>2</sub>排出量がどのようになっているかを把握することである。またリユースが行われずに廃棄されている時のCO<sub>2</sub>排出量を求めて、現状の電力量計の一台十年使用時のCO<sub>2</sub>排出量と比較することにより、リユースの効果を確かめることも目的である。最終的にはどのように現状の設計やリサイクルシステムを改善することが環境負荷低減にとって効率がよいのかを明らかにする。

## 1.4 本論文の構成

本論文の構成を以下に挙げる。

第一章 序論では、LCAについて概説し、本研究の目的を示す。

第二章 電力量計のLCAでは、LCAの手法を用いて現状の電力量計の一台十年使用時のCO<sub>2</sub>排出量がどのようになっているかを把握したものを示す。またリユースされない時のCO<sub>2</sub>排出量とリユースされる時のCO<sub>2</sub>排出量を比較することによりリユースの効果を明らかにする。

第三章 感度分析では、リユースの回数と良品率の感度を求めて、得られた結果を分析したものを示す。

第四章 結論及び将来の課題では、本研究で得られた結果を総括する。

## 第2章 電力量計のLCA

## 2.1 緒言

電力量計について LCA の 4 つの手順の内、目的と範囲の設定とインベントリ分析と結果の解釈を行った。インパクト評価は対象気体を CO<sub>2</sub> に限定したので省略した。LCA を行うにあたっての電力量計のライフサイクルフローとしては、一度使用してリユースせずに廃棄する OneWay と多くの電力量計に当てはまるフローである 2 回リユースしてから廃棄する Reuse の二種類を定義した。まずは、Reuse の CO<sub>2</sub> 排出量を求めることで電力量計の現状を把握し、二種類のフローの CO<sub>2</sub> 排出量を比較することにより、現在行われているリユースがどの程度環境負荷を低減しているかが明らかにする。なお Reuse のフローでは電力量計が修理工場に行く前段階と修理後の試験の段階で良品率というものが発生する。良品率とはどれくらいの割合の電力量計が廃棄されずにリユースされる方向へ進むかを表している。修理後の良品率は 98.5% というデータが関西電力から得られたが、修理前の良品率ははっきりとしたデータが得られなかったので今回は 95% と仮定した。

## 2.2 目的と範囲の設定

第一章の手法の概要で示した目的と範囲の設定を行った。

### 2.2.1 目的の設定

(1) インベントリ分析の調査の用途

まず、CO<sub>2</sub> 排出量削減のための電力量計の製品・製法等の改善点を挙げる。それから、現在行われているリサイクルシステムについて分析する。

(2) インベントリ分析の実施理由

電力量計のライフサイクル全般にわたる環境負荷量を把握するために行う。

(3) 結果提供対象者

関西電力に結果を提供する。

### 2.2.2 調査範囲の設定

(1) 調査項目の設定

対象となる環境影響項目は「地球温暖化」とし、対象となる気体は温暖化の大きな原因となる CO<sub>2</sub> に限定する。

(2) 機能単位

一台の電力量計の十年間使用時。

(3) 仕様

現在最も広く使われている機械式単三/30A のものとする。

(4) 調査範囲

調査範囲は関西で、関西での電力量計の製造データを入手した。

## 2.3 インベントリ分析

### 2.3.1 ライフサイクルフロー

OneWay と Reuse のライフサイクルフローを図 2.1 と図 2.2 に示す。四角で囲んでいるところは単位プロセスを、まるで囲んでいるところは単位プロセスではなく場所を示す。OneWay と Reuse の違いは輸送 7 ~ 輸送 10 の間の修理工程が存在するかどうかである。修理工程の前に発生する良品率を  $k_1$ 、修理工程後に発生する良品率を  $k_2$  とする。つまり Reuse のフローにおいて輸送 6 と輸送 7 とに分かれるところの関西電力営業所で発生する良品率を  $k_1$ 、輸送 7 から最終確認に至るまでの修理工程のうち試験の部分で発生する良品率を  $k_2$  とする。なお、良品率とはリユース可能と判断される電力量計の割合を示していて、リユース不可能と判断されるものはフローに示される通り廃棄される。各単位プロセスの説明はライフサイクルフローの簡略化で具体的に述べる。

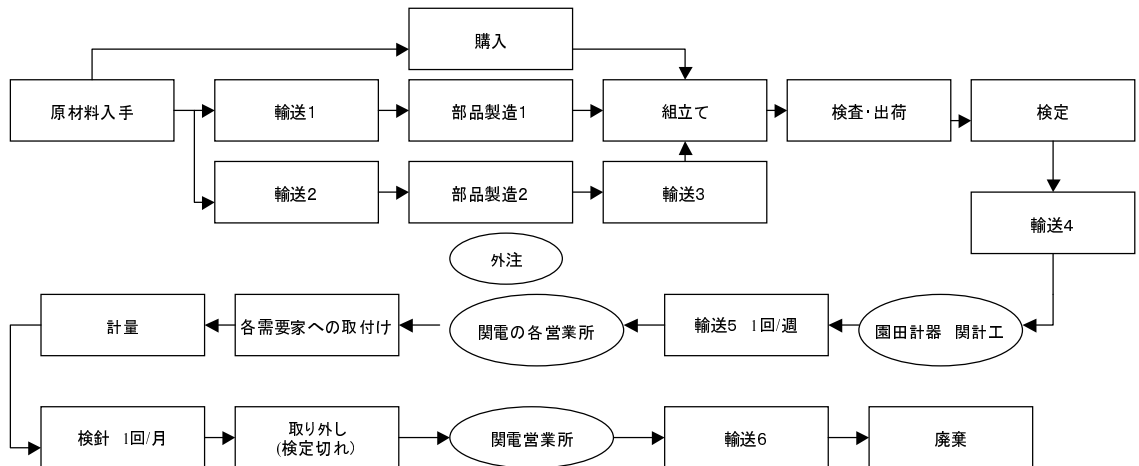


図 2.1: OneWay のライフサイクルフロー





### 2.3.2 ライフサイクルフローの簡略化

ライフサイクルフローを  $\text{CO}_2$  排出量を求めるために簡略化したものを図 2.3 に示す。前述のライフサイクルフローのいくつかの単位プロセスを合わせた部分のデータがない部分をひとつの単位プロセスとしてまとめた。アルファベットは  $\text{CO}_2$  排出量を表す。

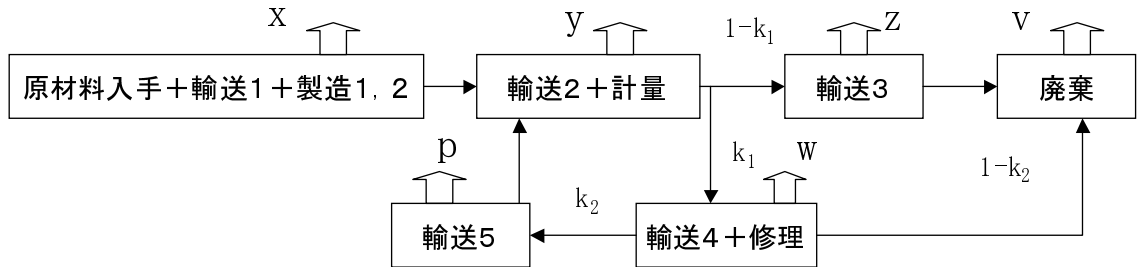


図 2.3: 簡略化したライフサイクルフロー

図にある各単位プロセスの説明を以下に示す。なお以下の説明にない単位プロセスの  $\text{CO}_2$  排出量は 0 とした。

- 原材料入手

文字通り原材料の入手である。後に示す構成素材がプロセスの出力として存在する。構成素材とそれに対応する原単位から  $\text{CO}_2$  排出量が求まる。

- 輸送 1

Reuse のフローのうち輸送 1～3 を仮にまとめたものと輸送 4 を足し合わせたものに相当する。輸送 1～3 をまとめたものは 2t トラックで 100km、輸送 4 は 4t トラックで 130km 輸送したことに仮にした。輸送に関してはトラックの積載量と輸送距離はデータが得られた部分と得られなかった部分がある。原単位にあるトラックの単位重量と単位距離あたりのエネルギー消費量と軽油の原単位から  $\text{CO}_2$  排出量が求まる。

- 製造 1

Reuse のフローのうち部品製造 1、組立て、検査・出荷、検定をあわせたものに相当する。兵庫県にある東光精機の佐用工場等で製造 1 は行われている。ひと月あたり使用されている電力は 63000kwh で、水道は 270m<sup>3</sup> で、製造数は 2 万台である。

- 製造 2

Reuse のフローのうち部品製造 2 に相当する。東光精機の佐用工場が外注している部品の製造である。CO<sub>2</sub> 排出量は製造 1 の部品の質量と CO<sub>2</sub> 排出量の比を参考にした。

- 輸送 2

Reuse のフローのうち輸送 5 に相当する。4t トラックで 80km 輸送したことにした。

- 計量

電力量計の使用である。消費電力は 3w/h である。10 年間動き続ける。

- 輸送 3

Reuse のフローのうち輸送 6 に相当する。走行距離はほとんどなく、CO<sub>2</sub> 排出量は 0 とした。

- 廃棄

データが得られなかったので、CO<sub>2</sub> 排出量は仮に 0 とした。

- 輸送 4

Reuse のフローのうち輸送 7~9 の合計に相当する。合計で 180km、2t トラックで輸送したことにした。

- 修理

Reuse のフローのうち洗浄、塗装、部品交換、再組立て、試験、検定を合わせたものに相当する。大阪府にある関西計器工業等で行われている。使用電力はひと月あたり 23238kwh である。

- 輸送 5

Reuse のフローのうち輸送 10 に相当する。2t トラックで 20km 輸送したことにした。

### 2.3.3 データ

ここでは電力量計のCO<sub>2</sub>排出量を求めるのに用いたデータを列挙する。。電力量計の構成素材を表 2.1 に、単位プロセスのうち輸送と製造と計量と修理のCO<sub>2</sub>排出量を求めた時に用いた原単位を表 2.2 に示す。(参考文献 [4],[5]) また原材料入手のCO<sub>2</sub>排出量を求めた時に用いた原単位を表 2.3 に、構成素材の原単位としてどの材料の原単位を当てはめたかについてを表 2.4 に示す。なお良品率に関しては、 $k_1$  の値は正確な値が入手できず 95 %と仮定し、 $k_2$  の値は 98 . 5 %という値が得られた。

表 2.1: 電力量計の構成素材

構成素材	g
ケイ素鋼板	320
鋼板	102.8
ホルマール線	271.1
合成樹脂	33.8
黄銅	173.7
アルミ	220.7
ステンレス	2.4
人造宝石	0.2
MK鋼	35.2
鋼	608.6
フェノール樹脂	92.2
合成ゴム	28.7
ガラス	850.8

表 2.2: 原単位 1

電力	415 g/kwh
水	0. 59 k g/m <sup>3</sup>
トラック	1074. 2kcal/t・km
軽油	289. 5g/Mcal

表 2.3: 原単位 2

部門	g-CO2/g
熱間圧延鋼材	1.39
銅	2.61
合成樹脂	3.14
アルミ	8.27
素鋼	1.38
フェノール樹脂	3.04
合成ゴム	4.95
ガラス	1.9

表 2.4: 構成素材と原単位の対応

構成素材	部門
ケイ素鋼板	熱間圧延鋼材
鋼板	熱間圧延鋼材
ホルマール線	銅
合成樹脂	合成樹脂
黄銅	銅
アルミ	アルミ
ステンレス	素鋼
人造宝石	
MK鋼	素鋼
鋼	素鋼
フェノール樹脂	フェノール樹脂
合成ゴム	合成ゴム
ガラス	ガラス

### 2.3.4 定式化

電力量計一台を十年間使用した際の環境負荷  $E$  つまり  $\text{CO}_2$  排出量の値を導出した。リユース回数を  $n$  とする。 $k_1$ 、 $k_2$  は良品率、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $v$ 、 $w$ 、 $p$  は各プロセスにおける  $\text{CO}_2$  排出量である。式は以下ようになった。

$$E = \frac{1 - k_1 k_2}{1 - (k_1 k_2)^{n+1}} x + y + \frac{k_1 \{1 - (k_1 k_2)^n\}}{1 - (k_1 k_2)^{n+1}} w + \frac{k_1 k_2 - (k_1 k_2)^{n+1}}{1 - (k_1 k_2)^{n+1}} p + \left\{ \frac{1 - (k_1 k_2)^n}{1 - (k_1 k_2)^{n+1}} (1 - k_1) + \frac{1 - k_1 k_2}{1 - (k_1 k_2)^{n+1}} (k_1 k_2)^n \right\} z + \frac{1 - k_1 k_2}{1 - (k_1 k_2)^{n+1}} v \quad (2.1)$$

導出過程をこれから簡単に示す。まずリユース回数が1回の時について図2.3をもとに考えた。その時のフローを図2.4に示す。アルファベットは  $\text{CO}_2$  排出量を表す。

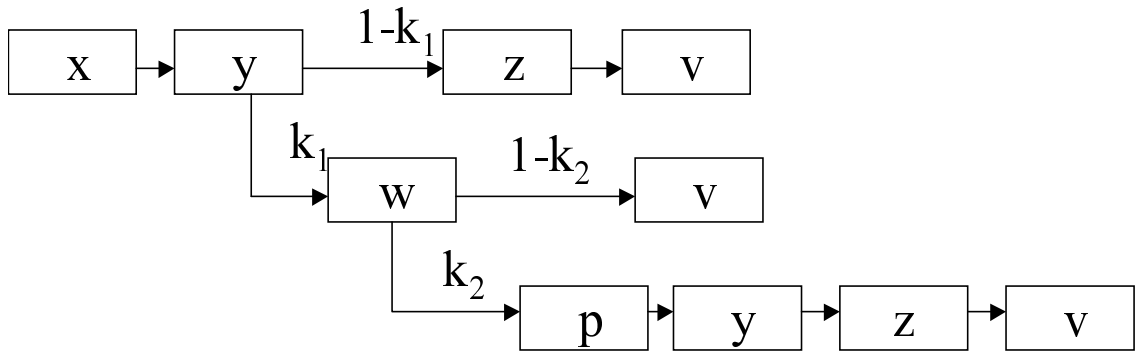


図 2.4: リユース一回

これらの排出量を足し合わせた総排出量  $E'$  は以下のような式になる。

$$E' = x + (1 + k_1 k_2) y + (1 - k_1 + k_1 k_2) z + v + k_1 w + k_1 k_2 p \quad (2.2)$$

求める環境負荷は十年使用時のものなのでこの式全体を計量を表す  $y$  の係数でわったものが一回リユースしたときの  $\text{CO}_2$  排出量となる。同様にリユース回数二回のときの総排出量の式を求めると以下のような式になった。

$$E' = x + (1 + k_1 k_2 + k_1^2 k_2^2) y + (1 - k_1 + k_1 k_2 - k_1^2 k_2 + k_1^2 k_2^2) z + v + (k_1 + k_1^2 k_2) w + (k_1 k_2 + k_1^2 k_2^2) p \quad (2.3)$$

二つの式を参考に  $n$  回リユースした時の総排出量を求めて  $y$  の係数で式全体を割った。

## 2.4 結果

OneWay の CO<sub>2</sub> 排出量は環境負荷の式に良品率  $k_1=0$  を代入して求め、Reuse の CO<sub>2</sub> 排出量は、 $k_1=0.95$  と仮定し、 $k_2$  は得られたデータにある値  $0.985$  を代入して求めた。OneWay と Reuse の電力量計一台十年あたりの CO<sub>2</sub> 排出量を各単位プロセスごとに分けたものと各排出量の全体に占める割合を表 2.5 と表 2.7 にそれぞれ示す。また Reuse での各単位プロセスの十年あたりに換算していないそのままの CO<sub>2</sub> 排出量を表 2.6 に示す。表からもわかるように計量の CO<sub>2</sub> 排出量の割合が 9 割を超えている。

表 2.5: OneWay の CO<sub>2</sub> 排出量

プロセス	CO2排出量g	%
原材料入手	6,611	5.56
輸送1	196	0.16
製造	1,315	1.11
製造(補完)	1,728	1.45
輸送2	68	0.06
計量	109,062	91.66
輸送3	0	0.00
廃棄	0	0.00
合計	118,980	100

表 2.6: Reuse の各単位プロセスごとの CO<sub>2</sub> 排出量

プロセス	CO2排出量g
原材料入手	6,611
輸送1	196
製造	1,315
製造(補完)	1,728
輸送2	68
計量	109,062
輸送3	0
廃棄	0
輸送4	153
修理	26
輸送5	17

表 2.7: Reuse の十年あたりの CO<sub>2</sub> 排出量

プロセス	CO2排出量g	%
原材料入手	2,351	2.09
輸送1	70	0.06
製造	468	0.41
製造(補完)	615	0.55
輸送2	68	0.06
計量	109,062	96.72
輸送3	0	0.00
廃棄	0	0.00
輸送4	100	0.09
修理	17	0.01
輸送5	11	0.01
合計	112,762	100.00

## 2.5 考察

環境負荷  $E$  を求める式に不確定である  $k_1$  を 0% から 95% まで 5% ずつ変えた値を代入した。リユース回数  $n$  は 1 回から通常の 2 倍である 4 回まで変化させた。この時の  $\text{CO}_2$  排出量を図 2.5 に示す。図よりリユース回数を増やせば増やすほどリユースの  $\text{CO}_2$  排出量削減への効果は小さくなっていくといえる。なお参考として環境負荷  $E$  の値を表にしたものを付録 A に示す。

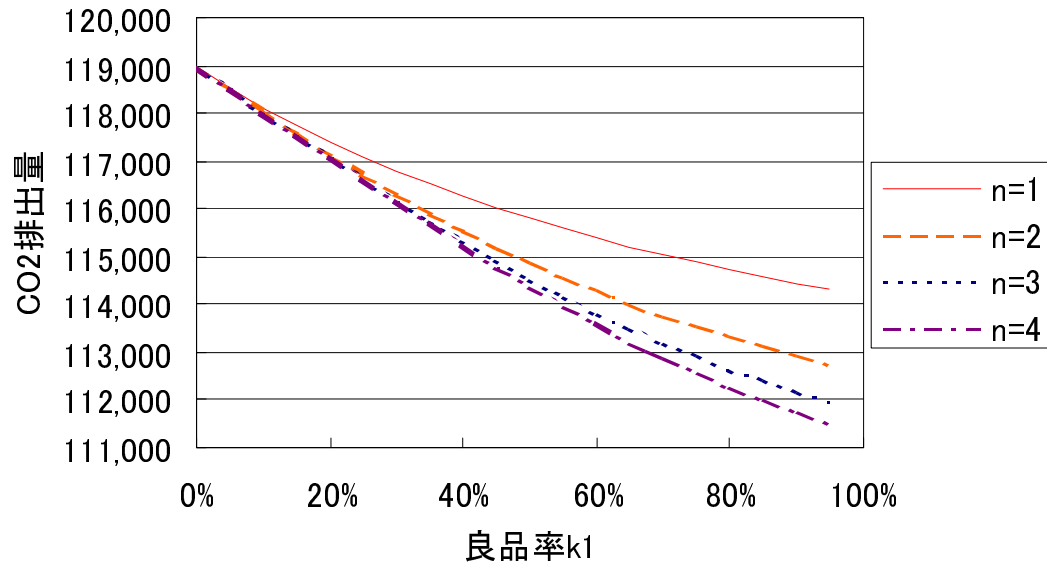


図 2.5:  $n$  と  $k_1$  を変えた時の  $\text{CO}_2$  排出量の変化



## 2.6 結言

電力量計の CO<sub>2</sub> 排出量のうち 9 割以上が計量時に排出されている。またプロセスが OneWay の場合と Reuse の場合では CO<sub>2</sub> 排出量は約 6200g だけ Reuse の方が少なく、これは全体の 5~6% に相当しリユースの効果は十分あると考えられる。ただしリユースの効果が高いのはあくまで  $k_1$  の値を推定で高く設定したからであって  $k_1$  の値が低い時は図 2.5 に示されているように効果はほとんどない。

## 第3章 感度分析

### 3.1 緒言

現在電力量計は通常 2 回リユースされてから廃棄されるというリサイクルシステムをとっている。このリサイクルシステムを変更することは可能である。今回は変更点として良品率  $k_1$ 、 $k_2$  とリユース回数  $n$  を考えた。 $k_1$ 、 $k_2$ 、 $n$  を変更することがどれだけ環境負荷低減に影響を与えるかを明らかにし、どのように変更するのが適切なのかを明らかにするためそれぞれの感度を求めた。感度を求めたことにより例えば  $k_1$  と  $k_2$  どちらの変更が効果があるかなどの比較ができる。

### 3.2 計算式

以下に  $n$ 、 $k_1$ 、 $k_2$  が微小量変化した時の  $\text{CO}_2$  排出量の変化の割合を表す感度  $S_n$ 、 $S_{k1}$ 、 $S_{k2}$  を示す。

$$S_n = \frac{\partial E}{\partial n} \cdot \frac{n}{E} \quad (3.1)$$

$$S_{k1} = \frac{\partial E}{\partial k_1} \cdot \frac{k_1}{E} \quad (3.2)$$

$$S_{k2} = \frac{\partial E}{\partial k_2} \cdot \frac{k_2}{E} \quad (3.3)$$

なお感度を求めるのに使用した、(2.1) 式を  $n$ 、 $k_1$ 、 $k_2$  でそれぞれ偏微分した式を以下に記す。

$$\frac{\partial E}{\partial n} = \frac{1}{(1 - k_1^{n+1} k_2^{n+1})^2} [\{(1 - k_1 k_2)(k_1 k_2)^{n+1} \log k_1 k_2\}x + \{k_1(k_1 k_2 - 1)(k_1 k_2)^n \log k_1 k_2\}w + \{(k_1 k_2)^{n+1}(k_1 k_2 - 1) \log k_1 k_2\}p - \{(k_1 k_2 - 1)k_1(k_1 k_2)^n \log k_1 k_2\}z + \{(1 - k_1 k_2)(k_1 k_2)^{n+1} \log k_1 k_2\}v]$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial k_1} = & \frac{1}{(1 - k_1^{n+1} k_2^{n+1})^2} [\{-k_2 + (n+1)k_1^n k_2^{n+1} - nk_1^{n+1} k_2^{n+2}\}x + \{1 + nk_1^{n+1} k_2^{n+1} - (n+1)k_1^n k_2^n\}w + \\ & \{k_2 + nk_1^{n+1} k_2^{n+2} - (n+1)k_1^n k_2^n\}p + \{-1 - nk_1^{n+1} k_2^{n+1} + (n+1)k_1^n k_2^n\}z + \\ & \{-k_2 + (n+1)k_1^n k_2^{n+1} - nk_1^{n+1} k_2^{n+2}\}v] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial k_2} = & \frac{1}{(1 - k_1^{n+1} k_2^{n+1})^2} [\{-k_1 - nk_1^{n+2} k_2^{n+1} + (n+1)k_1^{n+1} k_2^n\}x + \{-(n+1)k_1^{n+2} k_2^n - nk_1^{n+1} k_2^{n+1} + \\ & nk_1^{2n+2} k_2^{2n+2} - (n+1)k_1^{2n+2} k_2^{2n}\}w + \{k_1 + nk_1^{n+2} k_2^{n+1} - (n+1)k_1^{n+1} k_2^n\}p + \\ & \{-(n+1)k_1^{n+2} k_2^n + nk_1^{n+1} k_2^{n-1} + k_1^{2n+2} k_2^{2n}\}z + \{-k_1 - nk_1^{n+2} k_2^{n+1} + (n+1)k_1^{n+1} k_2^n\}v] \end{aligned}$$

### 3.3 結果

感度は、リユース回数  $n$  を 1 回から本来のシステムの 2 倍である 4 回まで変化させ、不確定な良品率  $k_1$  を 0 % から 95 % まで 5 % ずつ変化させて、それぞれ場合に対応する値を求めた。なお良品率  $k_2$  の値は関西電力から得られたデータにある 0.985 を代入した。 $n$  の感度  $S_n$  を図 3.1 に示す。 $k_1$  の感度  $S_{k_1}$  を図 3.2 に示す。 $k_2$  の感度  $S_{k_2}$  を図 3.3 に示す。図 3.1 をからわかるようにリユース回数  $n$  が増えるほど  $n$  の感度の絶対値は下がり  $\text{CO}_2$  低減の効果は薄れていく。また図 3.2 より  $k_1$  の感度  $S_{k_1}$  の絶対値が最大となるのは  $k_1$  の値が 75 % のあたりである。 $k_2$  の感度  $S_{k_2}$  の絶対値は  $k_1$  の値が 80 % あたりから急に大きくなっている。なお参考として  $n$  の感度  $S_n$  と  $k_1$  の感度  $S_{k_1}$  と  $k_2$  の感度  $S_{k_2}$  を表にしたものを付録 A に示す。

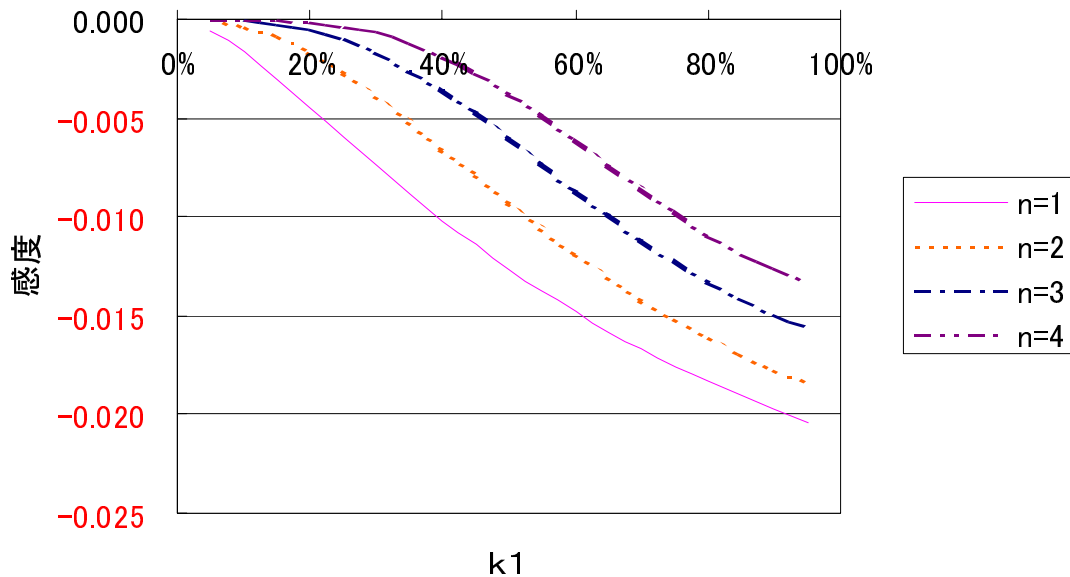


図 3.1: リユース回数  $n$  感度  $S_n$

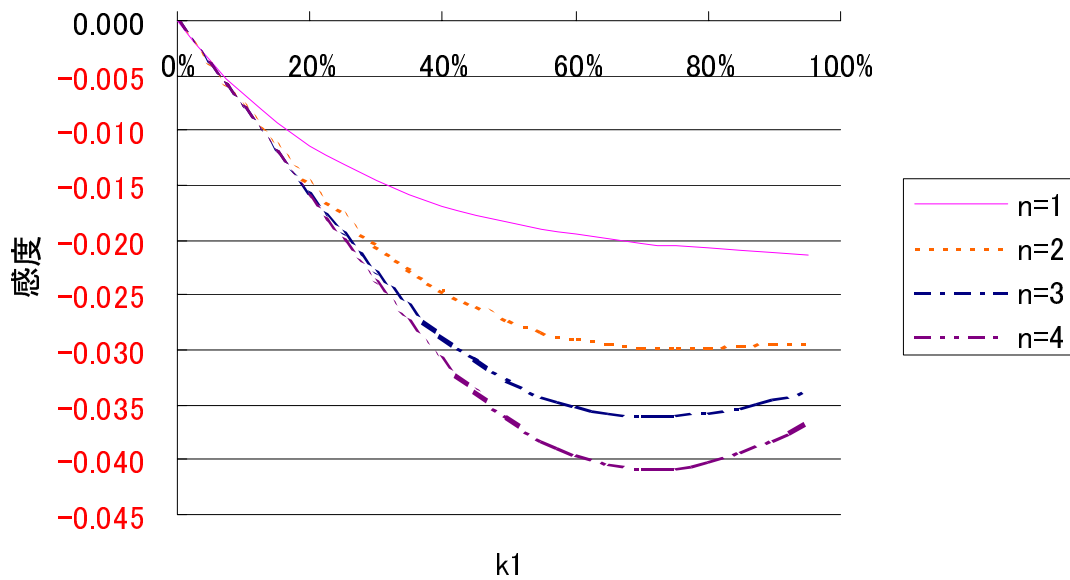


図 3.2: 良品率  $k_1$  の感度  $S_{k_1}$

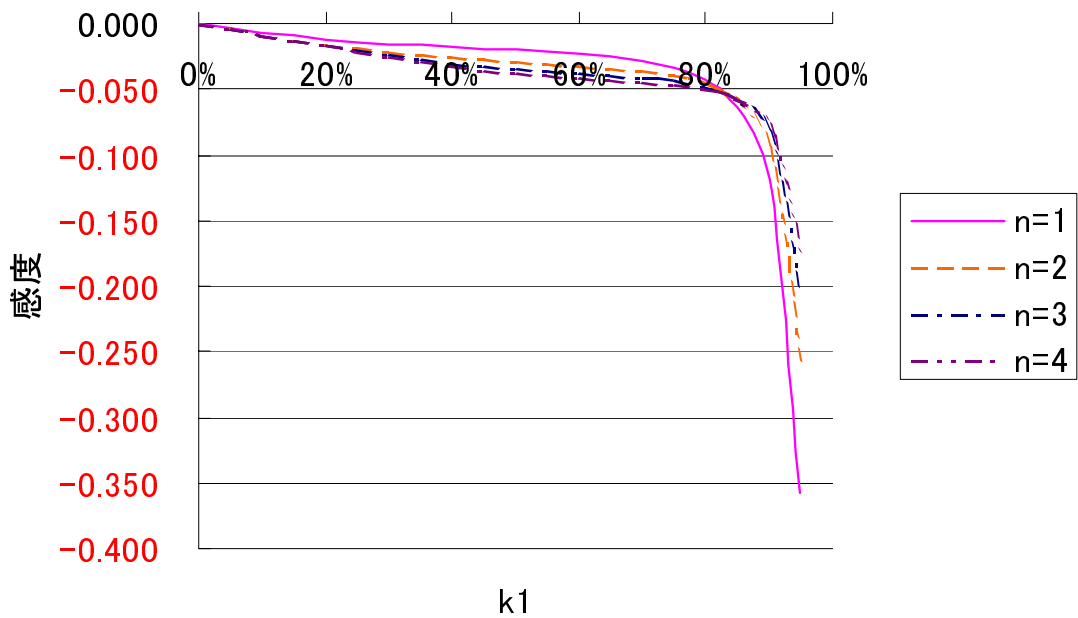


図 3.3: 良品率  $k_2$  の感度  $S_{k_2}$

### 3.4 考察

$n=1, 2$ の時の $S_{k_1}$ と $S_{k_2}$ を比較したものを図3.4に示す。 $n=3, 4$ の時の $S_{k_1}$ と $S_{k_2}$ を比較したものを図3.5に示す。どちらの図を見てもわかるように $k_1$ の値が80%を越えたあたりから $k_2$ の感度 $S_{k_2}$ の絶対値の方が明らかに大きいので、良品率 $k_1$ の値より良品率 $k_2$ の値を改善した方が $\text{CO}_2$ 削減の効果はあることがわかる。

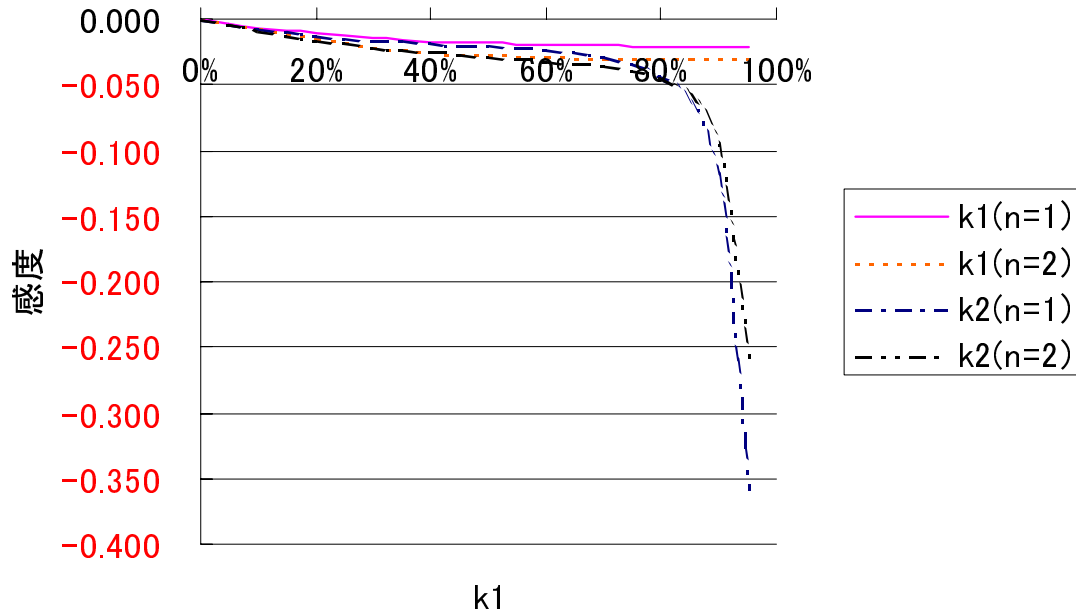


図 3.4:  $n=1, 2$ の時の $S_{k_1}$ と $S_{k_2}$ の比較



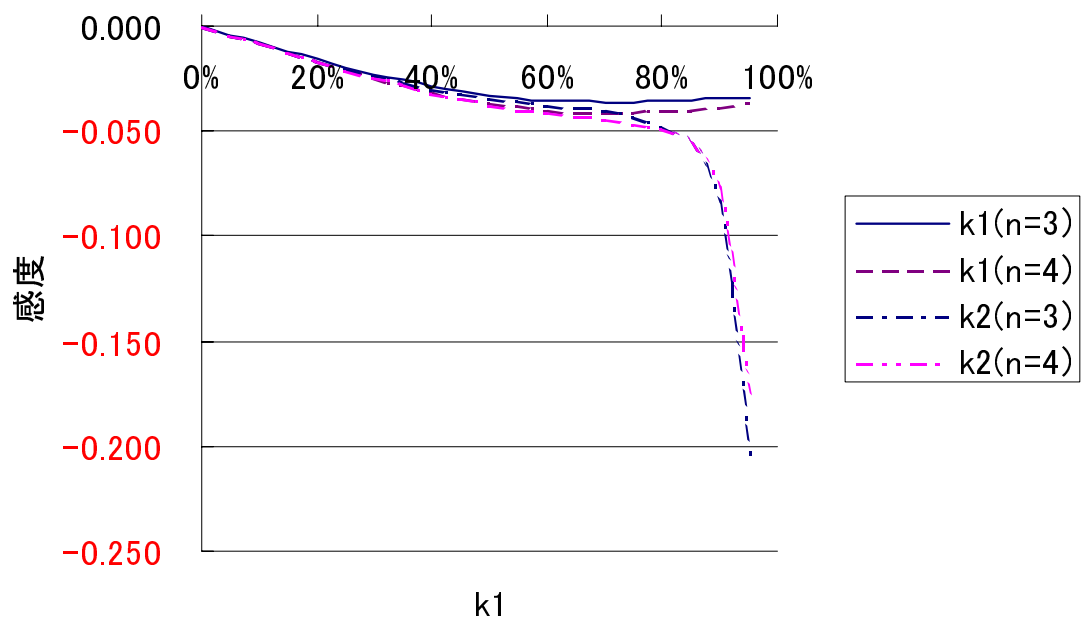


図 3.5:  $n=3$ 、 $4$  の時の  $S_{k_1}$  と  $S_{k_2}$  の比較

### 3.5 結言

リユース回数が増えれば増えていくほど  $n$  の感度  $S_n$  の絶対値は下がる。つまり値を増やすのを  $n$  だけに限定した場合リユースの回数を増やしていく度に  $\text{CO}_2$  排出量削減への効果は小さくなっていく。

リユース回数が増えれば増えていくほど修理前の良品率  $k_1$  の感度  $S_{k_1}$  の絶対値は上がる。この点ではリユース回数を増やしていく意味はあると思われる。

また修理前の良品率  $k_1$  の感度  $S_{k_1}$  と修理後の良品率  $k_2$  の感度  $S_{k_2}$  を比較するとリユース回数  $n$  の値によらず  $k_1$  が 80 % あたりで急に  $k_2$  の感度  $S_{k_2}$  の絶対値の方が大きくなる。よって良品率  $k_1$  が 80 % を越えたら  $k_1$  よりも良品率  $k_2$  のほうを改善した方が効率が良いといえるだろう。ただ良品率  $k_2$  は 98.5 % あるので改善の余地は少ない。

## 第4章 結論及び将来の課題

本研究では以下の結論が得られた。

- 電力量計のライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出量のうち 9 割以上が計量時に排出されている。計量時の消費電力を抑えることで電力量計のライフサイクルにおける CO<sub>2</sub> 排出量を削減できると考えられる。
- 現在実際に行われているリサイクルシステムは CO<sub>2</sub> 排出量低減に十分効果があると考えられる。ただしこれはほとんどの電力量計が修理に回される、つまり修理前の良品率が高いと推定しているので十分効果があり、良品率が低い時はあまり効果はない。
- 値を増やすのをリユース回数  $n$  に限定した場合リユース回数を増やしていくほどリユース回数を増やすことによる環境負荷低減への効果は少なくなっていく。ただ修理前の良品率の感度は上がるのでその点ではリユース回数を増やす意義がある。
- 良品率  $k_1$  が 80 % を越えたときは  $k_1$  を改善するより  $k_2$  を改善した方が効果がある。ただし良品率  $k_2$  は 98.5 % あるので改善の余地は少ない。

次に今後の課題を示す。

現在全国に 8000 万 ~ 9000 万台ある電力量計の検針を人が行っているが、検針のための自動車などでの移動も含めた環境負荷は多大なものとなる。そこで情報技術を活用した遠隔検針システムの導入が検討されている。ゆえに今後は遠隔検針システムの導入が人による検針よりも環境側面から見て望ましいか否を定量的に明らかにすることが求められる。

# 付録A 付録

表 A.1:  $k_1$ ,  $n$  を変化させた時の  $\text{CO}_2$  排出量

E	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k_1$											
	0%	118,980	118,980	118,980	118,980	118,980	118,980	118,980	118,980	118,980	118,980
	5%	118,527	118,506	118,505	118,505	118,505	118,505	118,505	118,505	118,505	118,505
	10%	118,115	118,038	118,030	118,029	118,029	118,029	118,029	118,029	118,029	118,029
	15%	117,738	117,581	117,558	117,555	117,554	117,554	117,554	117,554	117,554	117,554
	20%	117,392	117,138	117,090	117,081	117,079	117,079	117,079	117,079	117,079	117,079
	25%	117,073	116,714	116,630	116,610	116,605	116,604	116,603	116,603	116,603	116,603
	30%	116,779	116,308	116,180	116,143	116,133	116,129	116,128	116,128	116,128	116,128
	35%	116,506	115,923	115,743	115,684	115,663	115,656	115,654	115,653	115,653	115,653
	40%	116,252	115,558	115,322	115,233	115,199	115,186	115,181	115,179	115,178	115,178
	45%	116,016	115,215	114,918	114,796	114,743	114,720	114,710	114,706	114,704	114,703
	50%	115,795	114,891	114,533	114,373	114,298	114,261	114,244	114,235	114,231	114,229
	55%	115,589	114,588	114,168	113,968	113,866	113,813	113,784	113,769	113,761	113,757
	60%	115,395	114,303	113,825	113,583	113,452	113,378	113,336	113,311	113,297	113,288
	65%	115,213	114,036	113,502	113,219	113,058	112,961	112,902	112,865	112,841	112,827
	70%	115,041	113,787	113,201	112,879	112,686	112,565	112,487	112,435	112,400	112,376
	75%	114,879	113,553	112,920	112,561	112,340	112,194	112,096	112,027	111,978	111,944
	80%	114,727	113,335	112,659	112,268	112,019	111,851	111,732	111,646	111,583	111,535
	85%	114,582	113,131	112,417	111,997	111,725	111,536	111,399	111,297	111,220	111,159
	90%	114,445	112,940	112,193	111,750	111,457	111,251	111,100	110,984	110,893	110,821
	95%	114,315	112,762	111,987	111,523	111,216	110,997	110,833	110,707	110,607	110,525

$dE/dn \cdot n / E_n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k1										
0%	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
5%	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
10%	-0.002	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
15%	-0.003	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
20%	-0.004	-0.002	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
25%	-0.006	-0.003	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
30%	-0.007	-0.004	-0.002	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
35%	-0.009	-0.005	-0.003	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
40%	-0.010	-0.007	-0.004	-0.002	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
45%	-0.011	-0.008	-0.005	-0.003	-0.001	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
50%	-0.013	-0.009	-0.006	-0.004	-0.002	-0.001	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000
55%	-0.014	-0.011	-0.007	-0.005	-0.003	-0.002	-0.001	-0.001	-0.000	-0.000
60%	-0.015	-0.012	-0.009	-0.006	-0.004	-0.003	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001
65%	-0.016	-0.013	-0.010	-0.007	-0.005	-0.004	-0.003	-0.002	-0.001	-0.001
70%	-0.017	-0.014	-0.011	-0.009	-0.007	-0.005	-0.004	-0.003	-0.002	-0.002
75%	-0.018	-0.015	-0.012	-0.010	-0.008	-0.006	-0.005	-0.004	-0.003	-0.003
80%	-0.018	-0.016	-0.013	-0.011	-0.009	-0.007	-0.006	-0.005	-0.004	-0.004
85%	-0.019	-0.017	-0.014	-0.012	-0.010	-0.009	-0.007	-0.006	-0.006	-0.005
90%	-0.020	-0.018	-0.015	-0.013	-0.011	-0.009	-0.008	-0.007	-0.007	-0.006
95%	-0.020	-0.018	-0.016	-0.013	-0.011	-0.010	-0.009	-0.008	-0.007	-0.007

表 A.2: リューズ回数  $n$  の感度  $S_n$

表 A.3: 良品率  $k_1$  の感度  $S_{k_1}$

$dE/dk_1 * k_1/n$	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k_1$											
0%		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5%		-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
10%		-0.007	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008
15%		-0.009	-0.011	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012
20%		-0.011	-0.015	-0.016	-0.016	-0.016	-0.016	-0.016	-0.016	-0.016	-0.016
25%		-0.013	-0.018	-0.020	-0.020	-0.020	-0.020	-0.020	-0.020	-0.020	-0.020
30%		-0.015	-0.020	-0.023	-0.024	-0.024	-0.024	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025
35%		-0.016	-0.023	-0.026	-0.028	-0.028	-0.029	-0.029	-0.029	-0.029	-0.029
40%		-0.017	-0.025	-0.029	-0.031	-0.032	-0.033	-0.033	-0.033	-0.033	-0.033
45%		-0.018	-0.026	-0.031	-0.034	-0.035	-0.036	-0.037	-0.037	-0.037	-0.037
50%		-0.018	-0.027	-0.033	-0.036	-0.038	-0.040	-0.041	-0.041	-0.041	-0.041
55%		-0.019	-0.028	-0.034	-0.038	-0.041	-0.043	-0.044	-0.045	-0.045	-0.046
60%		-0.020	-0.029	-0.035	-0.040	-0.043	-0.045	-0.047	-0.048	-0.049	-0.049
65%		-0.020	-0.029	-0.036	-0.040	-0.044	-0.047	-0.049	-0.051	-0.052	-0.053
70%		-0.020	-0.030	-0.036	-0.041	-0.045	-0.048	-0.050	-0.052	-0.054	-0.055
75%		-0.021	-0.030	-0.036	-0.041	-0.045	-0.048	-0.051	-0.053	-0.055	-0.057
80%		-0.021	-0.030	-0.036	-0.040	-0.044	-0.047	-0.050	-0.052	-0.055	-0.056
85%		-0.021	-0.030	-0.035	-0.039	-0.043	-0.046	-0.048	-0.051	-0.053	-0.055
90%		-0.021	-0.029	-0.035	-0.038	-0.041	-0.044	-0.046	-0.048	-0.050	-0.052
95%		-0.021	-0.029	-0.034	-0.037	-0.039	-0.041	-0.043	-0.044	-0.046	-0.047



$dE/dk^2 * k^2 / E$	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k1											
0%		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5%		-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
10%		-0.007	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008
15%		-0.009	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012
20%		-0.012	-0.015	-0.016	-0.016	-0.017	-0.017	-0.017	-0.017	-0.017	-0.017
25%		-0.013	-0.018	-0.020	-0.021	-0.021	-0.021	-0.021	-0.021	-0.021	-0.021
30%		-0.015	-0.021	-0.023	-0.024	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025
35%		-0.017	-0.023	-0.027	-0.028	-0.029	-0.029	-0.029	-0.029	-0.029	-0.029
40%		-0.018	-0.025	-0.029	-0.032	-0.033	-0.033	-0.033	-0.034	-0.034	-0.034
45%		-0.019	-0.027	-0.032	-0.035	-0.036	-0.037	-0.038	-0.038	-0.038	-0.038
50%		-0.020	-0.029	-0.034	-0.037	-0.039	-0.041	-0.041	-0.042	-0.042	-0.042
55%		-0.022	-0.030	-0.036	-0.039	-0.042	-0.044	-0.045	-0.046	-0.046	-0.046
60%		-0.023	-0.032	-0.037	-0.041	-0.044	-0.046	-0.048	-0.049	-0.050	-0.050
65%		-0.025	-0.033	-0.039	-0.043	-0.046	-0.049	-0.050	-0.052	-0.053	-0.054
70%		-0.028	-0.035	-0.040	-0.044	-0.047	-0.050	-0.052	-0.054	-0.056	-0.057
75%		-0.034	-0.039	-0.043	-0.046	-0.049	-0.052	-0.054	-0.056	-0.057	-0.059
80%		-0.043	-0.045	-0.047	-0.049	-0.051	-0.053	-0.055	-0.057	-0.059	-0.060
85%		-0.063	-0.058	-0.057	-0.056	-0.057	-0.058	-0.059	-0.060	-0.061	-0.062
90%		-0.118	-0.095	-0.084	-0.078	-0.074	-0.072	-0.070	-0.069	-0.069	-0.069
95%		-0.358	-0.257	-0.205	-0.175	-0.154	-0.139	-0.129	-0.120	-0.114	-0.109

表 A.4: 良品率  $k_2$  の感度  $S_{k_2}$

## 付 録B あとがき

## B.1 謝辞

本研究を進めるにあたり、酒井教授、泉講師、電力中央研究所の本藤さん、そして酒井研究室の皆様には大変お世話になり、感謝しています。関西電力総合技術研究所の野上さん、上村さん、データの提供ありがとうございました。不出来な私がこうして卒論を完成させるに至ることができたのも本当に皆様のおかげです。ありがとうございました。

## 参考文献

- [1] LCA 実務入門編集委員会編, ”LCA 実務入門”, 社団法人 産業環境管理協会, 1998
- [2] 丹野史朗, ”摂動法を用いた産業連関分析の感度解析”, 東京大学修士論文, 2000
- [3] 明神光浩, ”LCA を用いた電力構成別環境負荷の評価”, 東京大学卒業論文, 2001
- [4] 本藤祐樹、森泉由恵、外岡豊, ”1995 年産業連関表を用いたエネルギーおよび温室効果ガス原単位の推計”, 電力中央研究所, 2002
- [5] 運輸省運輸政策局情報管理部編, ”運輸関係エネルギー要覧”, 1998

以上

1～45 ページ 完

卒業論文

平成15年 2月7日 提出

10209 松田 良平