

# 携帯電話の LCA 分析

A Life Cycle Assessment of Mobile Phones

武蔵工業大学

環境情報学部 環境情報学科 伊坪研究室

竹嶋 厚美、藤波 岳史、山田 妃佐子

Atsumi Takeshima, Takeshi Fujinami, Hisako Yamada

Department of Environmental and Information Studies, Faculty  
of Environmental and Information Studies

Musashi Institute of Technology

## 目次

1. 序論
  - 1.1 社会的背景
  - 1.2 携帯電話の LCA 既存研究
2. 目的と調査範囲
  - 2.1 目的
  - 2.2 調査範囲
    - 2.2.1 調査範囲の設定
    - 2.2.2 調査対象
  - 2.3 携帯電話の構成
  - 2.4 輸送シナリオ
  - 2.5 使用シナリオ
3. インベントリ分析
  - 3.1 液晶ディスプレイ
    - 3.1.1 液晶ディスプレイの構造
    - 3.1.2 液晶ディスプレイ製造工程
    - 3.1.3 液晶ディスプレイのインベントリ
    - 3.1.4 液晶ディスプレイのインベントリ結果
  - 3.2 SAW 高周波フィルタ
    - 3.2.1 SAW 高周波フィルタの構造
    - 3.2.2 SAW 高周波フィルタ製造工程
    - 3.2.3 SAW 高周波フィルタのインベントリ
    - 3.2.4 SAW 高周波フィルタのインベントリ結果
  - 3.3 ビルドアップ多層プリント基板
    - 3.3.1 ビルドアップ多層プリント基板の構造
    - 3.3.2 ビルドアップ多層プリント基板製造工程
    - 3.3.3 ビルドアップ多層プリント基板インベントリ
  - 3.4 半導体類
    - 3.4.1 半導体類の構造
    - 3.4.2 半導体の製造工程
    - 3.4.3 半導体類インベントリ
      - 3.4.3.1 半導体類 インプット
      - 3.4.3.2 半導体で消費されるエネルギー
    - 3.4.4 半導体類インベントリ結果
    - 3.4.5 機構部品
  - 3.5 梱包材
  - 3.6 携帯電話 1 台のインベントリ
4. 影響評価
5. 解釈

6. 結論

7. 参考文献

## 1. 序論

### 1.1 社会的背景

モバイル情報端末として、現在携帯電話は私たちの生活に欠かすことの出来ないものとなっている。下記のグラフのように、ここ数年で携帯電話の累計契約者数は急速にその数を伸ばしており、今や若者からお年寄りの世代まで幅広く普及している。契約者総数は2006年度に入ってからすでに9043万3000台となっており、10人のうち7人の割合で携帯電話を保持する時代となった。その背景には多機能型携帯電話の登場やサービスの向上といった市場メカニズムが存在する。2001年、NTTドコモが先駆けて第三代と称される携帯電話サービス「FOMA」を提供したことをはじめとし、軽量小型化・機能・サービス内容等を充実させてきた。携帯電話の買い替え寿命が他の家電製品に比べて短いのは、このような機能を携帯電話に次々に付加していくためと考えられる。

その機能に大きな効果を発揮していると考えられる資源として、携帯電話には希少金属の金・銀・銅・パラジウムなどが含まれており、その資源枯渇に対する影響力は大きいものであると懸念されている。また、これまでは携帯電話は他の電化製品と比べて非常に小型であるがゆえに使用される電力は小さいと軽視されてきた。しかし近年これだけ携帯電話が多くの人々に利用されていることから、その製造・組み立て・使用段階における総電力量は膨大なものであると予想される。

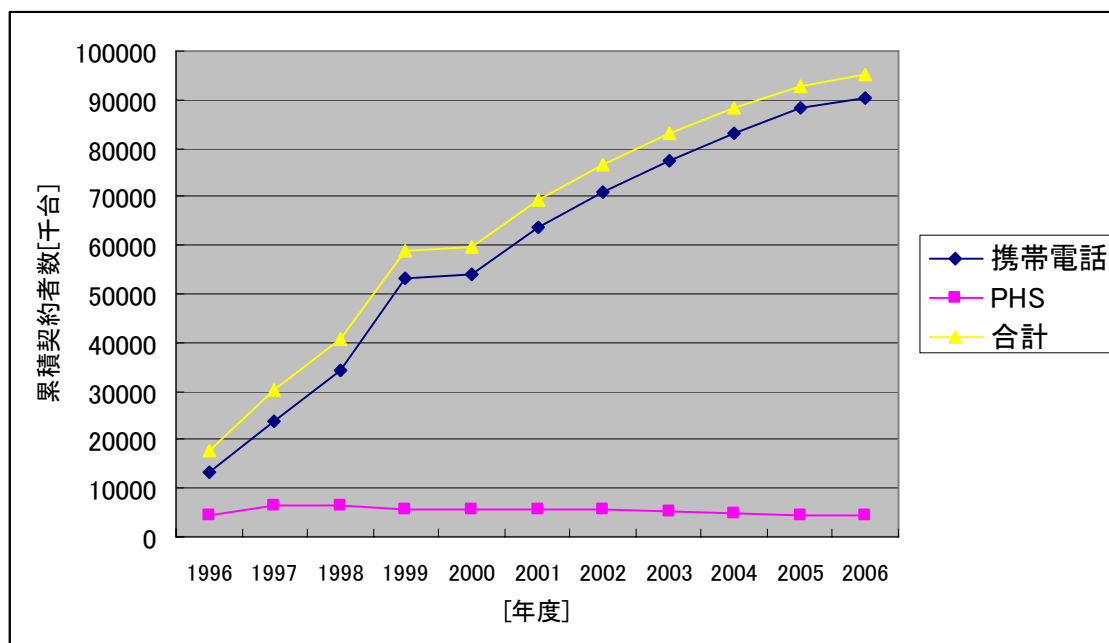


図1-1 携帯電話・PHSの累計契約者総数

(<http://www.tca.or.jp/japan/database/daisu/>より)

## 1.2 携帯電話のLCA 既存研究

携帯電話の環境負荷分析は近年注目を浴びており、様々な企業および研究者の方々がその分析を行っている。その理由として、携帯電話は非常に小型化した家電製品ではあるが、普及台数が非常に膨大であることから環境負荷に大きく影響が出ているのではないかという懸念とともに、携帯電話の中の部品に使用されている希少金属が資源枯渇に大きく寄与し、また経済的見地からも重要視されているからであると考えられる。

携帯電話の既存研究として（独）産業技術総合研究所の山口博司さんの行った携帯電話LCI分析結果論文<sup>1)</sup>が、非常に参考となった論文のうちの1つである。この論文の中では特に携帯電話の製造・組み立て段階における重要な部品の製造電力およびCO<sub>2</sub>排出量の分析に関して詳しく解析されており、その結果として携帯電話1台の製造につき半導体部分であるSi-LSI、GaAs ICの製造電力が最もCO<sub>2</sub>を排出していることがわかった。また、液晶ディスプレイに関しては重量カバー率99.6%を達成しており、その結論として液晶ディスプレイ全体の34%の電力をクリーンルーム運転に使用していることがわかり、液晶ディスプレイの素材よりも製造工程の電力消費の削減が効果的であると指摘している。しかしこの携帯電話のLCI分析ではまだ解析されていない部品等も含まれている。

東京理科大学理工学部経営工学科の森俊介教授らによる携帯電話のLCA分析では、製品の製造・組み立て・輸送・使用・廃棄リサイクル段階までのライフサイクルを網羅して解析されていた。この論文では携帯電話に含まれる貴重金属素材についても視野に入れて分析されている。また携帯電話のタイプ別の環境影響比較が行われており、ストレートタイプと折りたたみタイプの携帯電話とでは、消費エネルギー、CO<sub>2</sub>排出量共に折りたたみタイプがストレートタイプの1.4倍であるとして、今や主流となっている折り畳みタイプが今後さらに製造台数を増やすことによって環境負荷はますます増加すると示唆している。使用段階においては、多機能化した携帯電話の使用による消費電力は、その機能の充実と累計加入者数の増加と共に今後増加するであろうという指摘をしている。この論文ではエネルギー消費量およびCO<sub>2</sub>排出量のみの評価であったので、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>なども考慮に入れた、より現実的評価を今後の課題であるとした。

表 1-2 企業の取り組み状況

会社名・大学名	対象年度	対象製品	調査範囲	表示方法	備考
松下電器	2005	半導体		グラフ(数値)	HP
京セラ	2004	携帯電話(ストレート・折りたたみ)	製造～廃棄	グラフ(%・数値)	HP
富士通	2002	携帯電話(ストレート)			論文
NTTドコモ		携帯電話	携帯の消費電力		HP
東芝	2004	携帯電話(折りたたみ)	製造～廃棄	グラフ(%)	HP
JEITA	2003	半導体		出版物	HP

## 2. 目的と調査範囲

### 2.1 目的

上記でも述べたように、近年の携帯電話は急速に普及しており、私たちの生活に欠かすことの出来ない必需品になりつつある。しかしその半面で携帯電話の内部には実に様々な部品や材料が使用されており、携帯電話を製造するのに排出する CO2 による地球温暖化や資源枯渇への寄与につながるのではないかと懸念されている。

そこで本研究においての目的を大きく 3 つにしぼり、進めていくこととする。

まず一つ目は、携帯電話に含まれる希少金属を網羅し、計算に反映させることで、既存研究とどのように違った値が算出されるのかを比較することである。実際に、携帯電話 1 台当たりで使用されている希少金属はかなり微小なものであり、カットオフされた既存研究も少なくない。しかし現在市場に並べられている、あるいは使用されている携帯電話の台数は増加傾向であり、その累計台数レベルでの希少金属量を考えると、その量は無視できるものではないはずである。そこで今回は金、銀、銅、パラジウム等の物質を計算に反映させることで、資源枯渇の環境負荷影響も網羅した研究とすることを目的とする。

二つ目に、CO2 排出量と資源枯渇の環境影響のインパクト評価を行い比較することである。携帯電話が環境に及ぼしうる影響として地球温暖化と資源枯渇の問題は非常に重要である。そこでここでは最新の LIME を使用することによってより整合性のとれたインパクト評価を行い、現状の環境負荷を算出することを目的とする。

三つ目は、携帯電話 1 台の環境影響の変化と、生産量の変化を時系列で比較することである。携帯電話は、先にも述べたように、他の家電製品と比較しても買い替え寿命が非常に短い。よって次々に新たな機能を有した携帯電話が登場しているのである。そこで、本研究では半導体の性能を旧式と新式とで別々に環境負荷を算出し、また製造台数との変化を考慮し、時系列で比較検討を行うことを目的とする。

### 2.2 調査範囲

#### 2.2.1 調査範囲の設定

下記の図（図 2-1）に示すように、本研究での調査範囲は素材製造から使用までの段階を調査範囲としている。廃棄・リサイクル段階は情報収集困難なため、今回の調査範囲からはずした。

LCA 計算ソフトは JEMAI-LCA、統合化手法は LIME を使用した。また、希少金属である金、銅に関しては、エコインベントのデータを使用している。

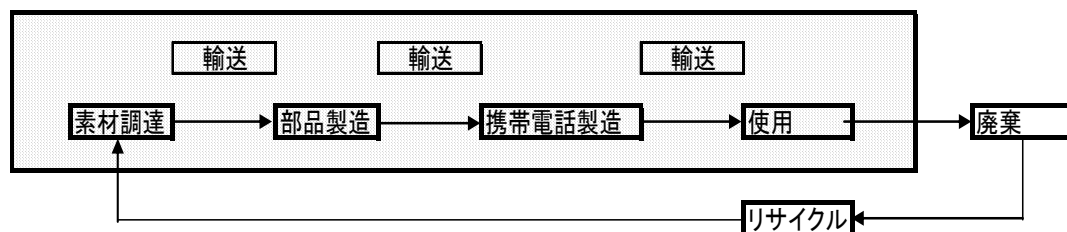


図 2-1 本研究におけるライフサイクルフロー

## 2.2.2 調査対象

本研究で評価対象としている携帯電話は、ストレートタイプ（カメラなし）である。製造年度は 1998 年、重量は 86.5g とする。これは既存研究の対象製品と比較しやすいよう、このような設定となっている。

また、充電器などの付属品は対象に含めないこととしている。



図 2-2 評価対象

## 2.3 携帯電話の構成

下の図は、大まかな携帯電話の構成を示している。以下で、部品ごとの説明をする。

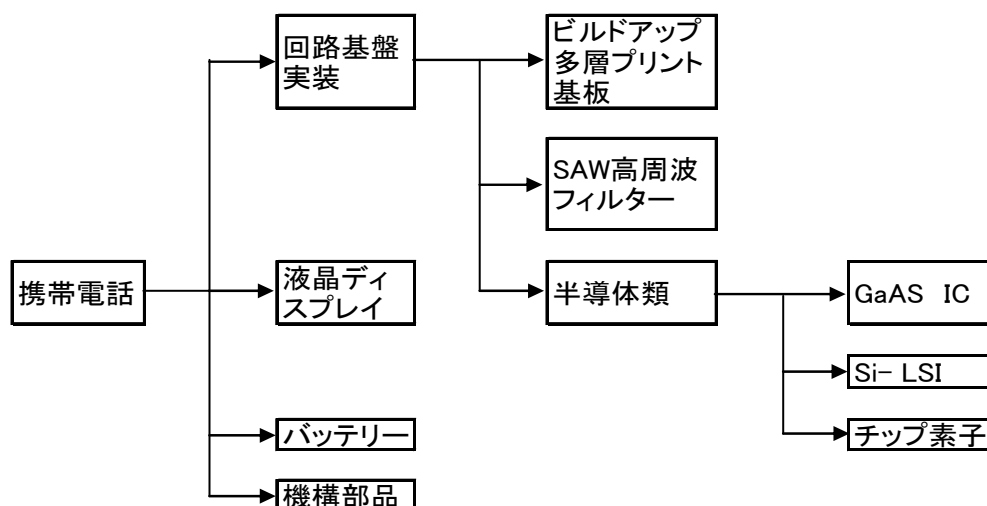


図 2-3 携帯電話の構成

## 2.4 輸送シナリオ

輸送段階のシナリオについては既存研究<sup>2)</sup>に即したデータ（下記）に基づいて計算を行った。

- ・ 輸送距離：100km
- ・ 積載率：60%
- ・ 車両の種類：2tトラック

## 2.5 使用シナリオ

使用段階のシナリオについても、既存研究<sup>3)</sup>に即したデータ（下記）に基づいて計算を行った。なお、携帯電話 1 台の使用年数は 1.5 年とする。

(通話時+待機時の電力消費量) / 充電効率+充電器ロス=0.247(kwh/台/年)

表 2-5 使用シナリオ

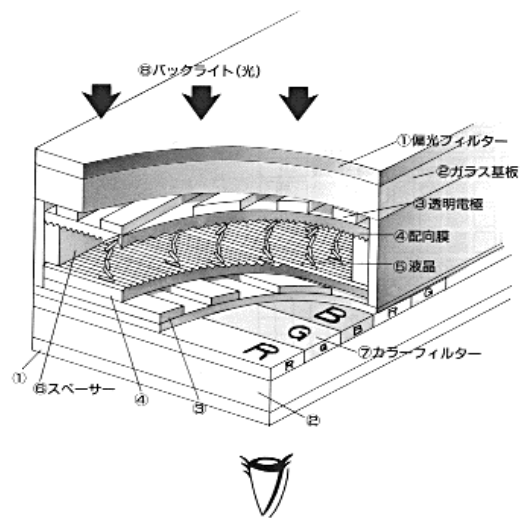
	消費電流(A)	電源電圧(V)	通話時間(分/日)
通話時	0.265	3.6	10
待機時	0.002	3.6	1430
	充電効率(%)	充電器ロス(Wh/台/年)	
充電時	80	96.7	

### 3. インベントリ分析

#### 3.1 液晶ディスプレイ

##### 3.1.1 液晶ディスプレイの構造

カラー液晶ディスプレイの構造は、それぞれの構成要素がサンドイッチのように層状になっている。右図のように上から①偏光フィルタ、②ガラス基板、③透明電極、④配向膜、⑤液晶、⑥スペーサー、④配向膜、③透明電極、②ガラス基板、①偏光フィルタ、⑧バックライトという構造になっている。それぞれの役割について以下に詳しく示す。



##### ① 偏光フィルタ

出入りする光をコントロールする。

図 3-1 液晶ディスプレイの構造 (SHARP HP)

##### ② ガラス基板

電極部からの電気がほかの部分に漏れないようにする。

##### ③ 透明電極

液晶ディスプレイを駆動するための電極。

##### ④ 配向膜

液晶の分子を一定方向に並べるための膜。

##### ⑤ 液晶

液体のビーズ

##### ⑥ スペーサー

液晶物質をはさむ 2 枚のガラス基板に、均一なスペースを確保する。

##### ⑦ カラーフィルタ

赤、緑、青のそれぞれのフィルタをかけ、色を表示する。

##### ⑧ バックライト

ディスプレイの背後から光を当て、画面を明るくする。

液晶ディスプレイはこのような構造になっている。



### 3.1.2 液晶ディスプレイ製造工程

液晶ディスプレイの製造工程はTFTを有する下部基盤の製造であるTFT工程、カラーフィルタを有する上部基盤の製造であるCF工程、上部、下部基盤を合わせて液晶パネルを組み立て、液晶を封入する工程であるLCD組立工程、液晶ディスプレイ全体を組み立てる工程の4つから成り立っている。

TFT工程はガラス基盤上にゲート電極、透明電極、アモルファスシリコン膜、ソース・ドレイン電極を保護膜にスパッタリング、フォトエッチング、ドライエッチングなどのプロセスにより形成する。CF工程はガラス基盤上にブラックマトリックス、RGBのカラーフィルタ、保護膜、透明電極などを印刷、蒸着、スパッタリングなどのプロセスにより形成する。LCD組み立て工程は上下の基盤に配向膜を塗付し、ラビング、ビーズ散布、組み立て、液晶封入を行う。液晶ディスプレイ全体を組み立てる工程は偏光板、バックライトユニット、制御回路などを取付け、全体を組み立て、調整・検査等を行う。今回参考にした既存研究では液晶ディスプレイ全体を組み立てる工程を除く3つの工程についてLCI分析を行っている。

### 3.1.3 液晶ディスプレイのインベントリ

液晶ディスプレイを製造する際のインプットは表のようになる。液晶ディスプレイ1P製造するのに必要なインベントリは論文(山口博司)より表3-1のようになることがわかった。インジウムについてはこの論文では対象となっていなかったが、私たちの評価目的を達成するためにはインジウムは重要になるだろうと考え、インジウムを含めた評価を実施した。液晶ディスプレイ1P製造するのに使われるインジウムの量は、山口博司さんにヒアリングしたところ2インチの液晶ディスプレイに使用されるインジウムの量は $5.00E-06$ kgとわかり、この値を使用した。

表3-1 液晶ディスプレイのインベントリ

インプット	kg
coal for coke reserves	0.000125
coal for elect. reserves	0.0898
Cu reserves	1.23E-06
LNG reserves kg	0.0464
oil reserves	0.1513
Pb reserves	6.77E-07
U reserves	6.07E-06
water hydro	67.9576
インジウム	5.00E-06
	kWh
electricity kWh	1.677

### 3.1.4 液晶ディスプレイのインベントリ結果

液晶ディスプレイのインベントリ結果から液晶ディスプレイ 1P 製造すると、1.4726kg の CO<sub>2</sub> が排出されることがわかった。

製造時の電力使用量は液晶ディスプレイ 1 個あたり 1630Wh であり、そのうち 530Wh (全体の約 34%) はクリーンルームの運転によって消費されている。液晶ディスプレイを 1 個造ることにより排出される CO<sub>2</sub> は 748g であることが、既存研究 (山口 2003) よりわかっている。

表 3-1 液晶ディスプレイ インベントリ結果

	No	名 前	単位	全体
raw	1	coal for coke reserves	kg	1.25E-04
	2	coal for elect. reserves	kg	0.1798
	3	Cu reserves	kg	1.23E-06
	4	LNG reserves kg	kg	0.1011
	5	oil reserves	kg	0.2529
	6	Pb reserves	kg	6.77E-07
	7	U reserves	kg	1.22E-05
air	1	CH <sub>4</sub>	kg	3.25E-05
	2	CO <sub>2</sub>	kg	1.4726
	3	methane	kg	4.31E-09
	4	N <sub>2</sub> O	kg	5.98E-05

### 3.2 SAW 高周波フィルタ

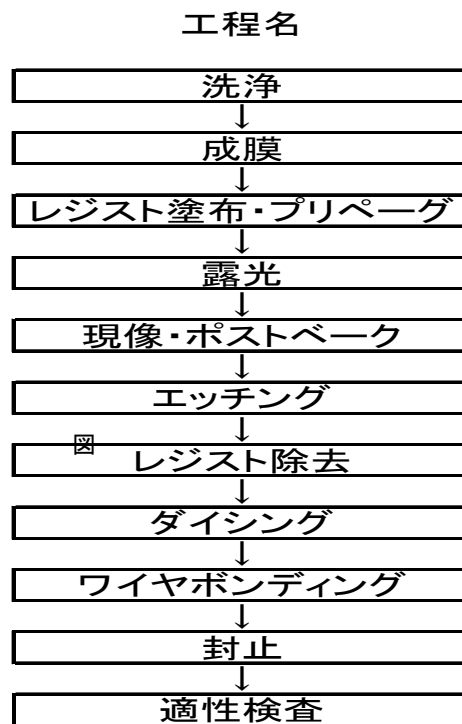
SAW フィルタとは、圧電性結晶の表面を伝搬する弾性波を介して、ある特定の周波数の信号のみを通すことを利用したフィルタで、雑音を除去してクリアな音声を実現し電話機に必須の部品である。

#### 3.2.1 SAW 高周波フィルタの構造

アルミナセラミックの基盤の中に SAW チップを下部より取り付け密封する。

#### 3.2.2 SAW 高周波フィルタ製造工程

表 3-2 で示すように、SAW 高周波フィルタは製造される。単結晶ウェハに Al, Al 合金膜をスパッタリング製膜し、フォトマスクを用いる紫外線光露光により現像・ポストベーキングを経てフォトレジストを除去し、電極パターンを形成する。フォトレジストプロセスはクリーンルーム内で行われる。その後ウェハをチップに裁断する、ダイジング、チップをアルミナセラミック基板に接着するダイボンディングを行い、配線を取り出し、キャップ封止をして特性検査を行い完成する。



3-2 SAW 高周波フィルタ製造工程(山口博司)

### 3.2.3 SAW 高周波フィルタのインベントリ

SAW 高周波フィルタは表 3-2 のようなインプットによって製造される。

No	名 前	単位	全体	No	名 前	単位	全体
1	Al reserves	kg	3.50E-06	13	Ni reserves	kg	1.42E-05
2	coal for coke reserves	kg	3.38E-06	14	oil reserves	kg	0.0075
3	coal for elect. reserves	kg	0.0065	15	Pb reserves	kg	5.63E-08
4	cryolite(氷晶石)	kg	1.20E-07	16	silicasand(硅砂)	kg	7.34E-07
5	Cu reserves	kg	2.01E-06	17	U reserves	kg	4.37E-07
6	Cu scrap	kg	2.84E-07	18	water cooling	kg	0.0444
7	dolomite(ドロマイト)	kg	2.14E-07	19	water hydro	kg	4.8979
8	Fe reserves	kg	2.03E-06	20	water process	kg	0.0136
9	fluorite(CaF <sub>2</sub> )	kg	8.87E-05	21	water pure	kg	8.33E-06
10	limestone(石灰石)	kg	1.50E-05	22	Zn reserves	kg	3.14E-07
11	LNG reserves kg	kg	0.0033	23	使用済み鉛蓄電池	kg	1.44E-08
12	NaCl	kg	6.17E-05				

表 3-2 SAW 高周波フィルタのインベントリ(山口 2003)

### 3.2.4 SAW 高周波フィルタのインベントリ結果

SAW高周波フィルタの素材構成は右の表のようになっている。SAW高周波フィルタの携帯電話 1 台に対する構成比は 0.04%と微小だが、製造時に使用される電力は 78.5Whであり、SAW高周波フィルタを 1 個造ると、51.4gのCO<sub>2</sub>を排出することが既存研究<sup>1)</sup>によりわかっている。

表 3-2 SAW 高周波フィルタインベントリ結果

	No	名 前	単位	全体
raw	1	Al reserves	kg	3.50E-06
	2	coal for coke reserves	kg	3.38E-06
	3	coal for elect. reserves	kg	0.0065
	4	Cu reserves	kg	2.01E-06
	5	Fe reserves	kg	2.03E-06
	6	LNG reserves kg	kg	0.0033
	7	Ni reserves	kg	1.42E-05
	8	oil reserves	kg	0.0075
	9	Pb reserves	kg	5.63E-08
	10	U reserves	kg	4.37E-07
	11	Zn reserves	kg	3.14E-07
air	1	CH <sub>4</sub>	kg	1.17E-06
	2	CO <sub>2</sub>	kg	0.0514
	3	methane	kg	6.42E-12
	4	N <sub>2</sub> O	kg	1.11E-06

### 3.3 ビルドアップ多層プリント基板

プリント基板とは、正式にはプリント配線板と言い、集積回路、抵抗器、コンデンサー等の電子部品を実装し、その部品間を接続して電子回路を構成する配線を形成した板状またはフィルム状の部品である。主に、基材に対して絶縁性のある樹脂を含浸した基板上に、銅箔など導電体で回路配線を構成する。

#### 3.3.1 ビルドアップ多層プリント基板の構造

ウエハース状に絶縁体とパターンを積み重ねたもの。部品の実装密度が上がり、回路結線が複雑になると両面では回路配線を収容しきれないため層を増やすことで対応する。表面以外の層は直視できないため保守性は劣る。高性能コンピュータなどでは数十層におよぶ場合もある。

#### 3.3.2 ビルドアップ多層プリント基板製造工程

プリント基板は図 3-3 のように製造される。ビルドアップ多層プリント基板はプリント基板を何層にも重ねたもの。

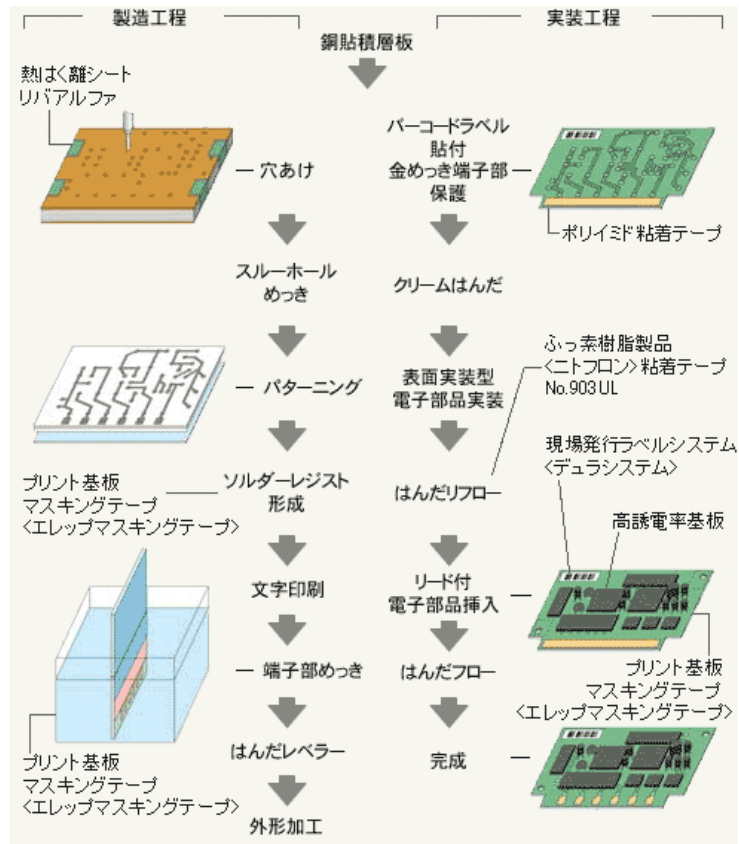


図 3-3 プリント基板製造工程 (NITTO DENKO HP)

### 3.3.3 ビルドアップ多層プリント基板インベントリ

表 3-3 ビルドアップ多層プリント基板インベントリ

No	名 前	単位	全体	No	名 前	単位	全体
1	coal for coke reserves	kg	0.0014	13	NaCl	kg	0.0236
2	coal for elect. reserves	kg	0.0295	14	oil reserves	kg	0.0852
3	Cu reserves	kg	1.53E-04	15	Pb reserves	kg	3.16E-05
4	Cu scrap	kg	7.93E-04	16	silicasand(硅砂)	kg	0.0018
5	dolomite(ドロマイト)	kg	4.79E-04	17	soda ash(天然ソーダ灰)	kg	2.00E-04
6	Fe reserves	kg	0.0013	18	U reserves	kg	2.00E-06
7	Fe scrap	kg	7.08E-04	19	water cooling	kg	0.59
8	feldspar(長石)	kg	7.14E-05	20	water hydro	kg	22.3
9	fluorite(CaF2)	kg	3.97E-06	21	water process	kg	0.409
10	limestone(石灰石)	kg	0.0034	22	Zn reserves	kg	6.11E-05
11	LNG reserves kg	kg	0.0188	23	Zn scrap	kg	9.12E-06
12	Mn reserves	kg	8.47E-06	24	電炉ダスト	kg	2.40E-04

### 3.3.4 ビルドアップ多層プリント基板インベントリ結果

表 3-3 ビルドアップ多層プリント基板インベントリ結果

	No	名 前	単位	全体
raw	1	coal for coke reserves	kg	0.0014
	2	coal for elect. reserves	kg	0.0295
	3	Cu reserves	kg	1.53E-04
	4	Fe reserves	kg	0.0013
	5	LNG reserves kg	kg	0.0188
	6	Mn reserves	kg	8.47E-06
	7	oil reserves	kg	0.0852
	8	Pb reserves	kg	3.16E-05
	9	U reserves	kg	2.00E-06
	10	Zn reserves	kg	6.11E-05
air	1	CH4	kg	5.36E-06
	2	CO2	kg	0.388
	3	N2O	kg	3.90E-05

### 3.4 半導体類

携帯電話には Si LSI と GaAs IC の二種類の半導体が使われている。純粋なシリコン結晶は電気がやや流れにくいという性質を持っている。半導体製品の多くがシリコンを主原料としている。GaAs を利用したものは Si よりも高速で動作し、消費電力も約 3 分の 1 と少なく、小型化も容易という特徴がある。IC とは、トランジスタ、抵抗、コンデンサ、ダイオードなどの素子を集めて基板の上に装着し、各種の機能を持たせた電子回路で、1 チップに収められた素子数が数千～数万程度のものを LSI と呼ぶ。

#### 3.4.1 半導体類の構造

半導体は様々な電子部品を積み重ねて全体として 1 つの回路に統合してあるという構造になっている。

#### 3.4.2 半導体の製造工程

一般的な半導体の製造工程を紹介する。半導体製造工程は複雑で工程数も数百と多い。半導体製造工程は前工程と後工程の 2 つに分けられ、前工程はウエハープロセスとも呼ばれ、半導体チップに分割する以降の後工程とは全く異なるプロセスになっている。

#### 3.4.3 半導体類インベントリ

携帯電話 1 台に搭載されている半導体は Si LSI と GaAs IC の 2 種類である。論文(山口博司)より携帯電話 1 台に搭載されている半導体の個数は Si LSI 8 個と GaAs IC 8 個であることがわかった。

### 3.4.3.1 半導体類 インプット

それぞれの物質は半導体の中では以下のように用いられている。

表 3-4 半導体のインプット

	重量(g)	用途
金	0.02	端子や部品の接点に多く含まれる
銀	0.14	コンデンサーの外側などに多く含まれる
パラジウム	0.01	コンデンサーの内部の電極に使われている

※ 金の値はエコインベントのデータを使用

### 3.4.3.2 半導体で消費されるエネルギー

今回は評価目的の1つとして携帯電話1台の環境影響の変化と生産量の変化を考慮し、時系列で比較することによってあげている。旧式半導体である 350nm 配線幅半導体と新式である 180nm ロジック製品の半導体の2種類のデータを比較する。

#### 350nm配線幅半導体 (旧式)

350nm 配線幅半導体とは具体的には車載されているマイクロコンピュータに利用されているもので、今回対象となっている携帯電話に使われている半導体である。評価対象としている 1998 年の携帯電話には、この半導体に近い性能のものが使われていたであろうと推測できるため、この半導体を携帯電話に利用されている半導体として計算に反映させることとした。電力は既存研究 (山口 2003) を参考にしている。

Si LSI 0.25kwh・・・①

GaAs IC 0.5179kwh・・・②

①、②より

$0.25kwh + 0.5179kwh = 0.7679kwh$ ・・・③

半導体は 8 セットあるので携帯電話 1 台分の半導体を製造する際に消費する電力は  $0.7679kwh \times 8 \text{ 個} = 6.5752kwh$  と求められる。

#### 180nmロジック製品の半導体 (新式)

180nm 半導体とは、実際には次世代メモリに利用されている半導体であり、現在市場に出ている携帯電話の半導体の性能に近いと推測できるため、新式携帯電話の半導体として計算に反映させることとした。チップ 1 枚あたりの消費電力は以下に記す。

ウエハ 1 枚あたりの有効チップ数 440 個/ウエハ・・・①

前工程使用エネルギー 413.64kwh/ウエハ・・・②

①、②より

1 前工程で使用されるエネルギー  $413.64\text{kwh} \div 440 \text{ 個} = \text{約 } 0.94\text{kwh} \dots \textcircled{3}$

後工程使用エネルギー

素子 1 個あたり使用するエネルギー  $\text{約 } 21.5\text{wh} \dots \textcircled{4}$

③、④より

$\text{約 } 0.94\text{kwh} + \text{約 } 21.5\text{wh} = \text{約 } 0.96\text{kwh}$  と求められる。

半導体類については 2 種類のデータを用いて LCA 分析を行った。

### 3.4.4 半導体類インベントリ結果

グラフを見てわかるように両者とも半導体による CO2 排出量が大部分を占めており、素材製造が 90% 近くを占めている。両者の値の差は半導体の電力消費量の違いに由来しており、半導体の性能が向上するに連れ、CO2 排出量も増加すると考えられる。

表 3-4 旧式半導体インベントリ結果

	No	名 前	単位	全体
raw	1	coal for elect. reserves	kg	0.0448
	2	Cu reserves	kg	0.0022
	3	LNG reserves kg	kg	0.0269
	4	oil reserves	kg	0.0501
	5	U reserves	kg	2.99E-06
air	1	CH4	kg	7.99E-06
	2	CO2	kg	0.5774
	3	N2O	kg	1.46E-05

表 3-5 新式半導体インベントリ結果

	No	名 前	単位	全体
raw	1	coal for elect. reserves	kg	0.0522
	2	Cu reserves	kg	0.0022
	3	LNG reserves kg	kg	0.0314
	4	oil reserves	kg	0.0585
	5	U reserves	kg	3.49E-06
air	1	CH4	kg	9.33E-06
	2	CO2	kg	0.637
	3	N2O	kg	1.70E-05



### 3.4.5 機構部品

機構部品の図、表のようになっている。

機構部品の構成ではケースが21.3%と携帯電話1台に占める割合が1番大きい。表に挙げた部品で機構部品の70%をカバーしている為、ネジやマイクなどの部品はカットオフした。

表 3-4 機構部品の重量

部品	重量(g)	1台に占める割合(%)
ケース	18.8	21.3
ディスプレイ窓	4.2	4.8
キーボタン	3.9	4.4
バックライト	3	3.4
スピーカ	2.9	3.2
バッテリーカバー	2.6	2.9
アンテナ	2.4	2.7
シールド板	1.7	1.9
IFコネクタ	1.6	1.8
バイブレータ	1.5	1.7
フレキシブル配線	1.3	1.5
合計	43.9	49.7

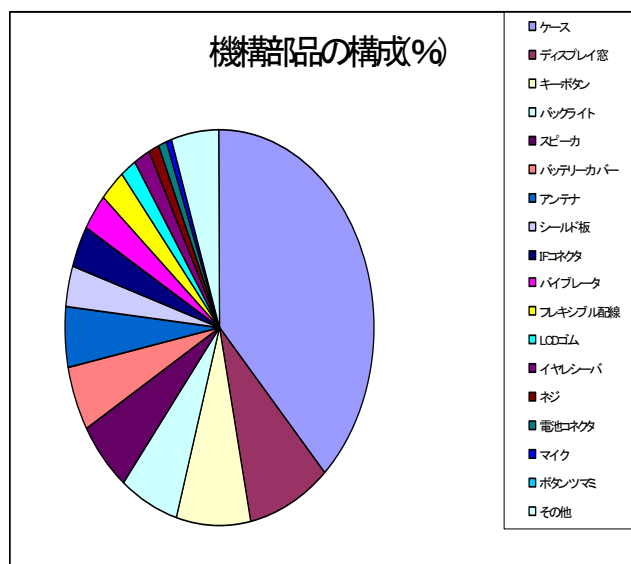


図 3-4 機構部品の構成

### 3.5 梱包材

対象の携帯電話の梱包材のデータを入手することができなかつた為、折りたたみの携帯電話の梱包材を実際に計測し、これを梱包材として代替する。

箱(ダンボール) 150 g

説明書(古紙) 400 g

### 3.6 携帯電話1台のインベントリ

携帯電話は以上のような部品から構成されており、これらの部品を組み立て携帯電話1台を製造することができる。

携帯電話1台を組み立てる際に消費するエネルギーは論文(情報通信ネットワーク2003)よりデータを入手した。

エネルギー	単位	値
電力	kwh	2.9
A重油	L	0.18

携帯電話を1台組み立てるにはこれだけのエネルギーが必要である。

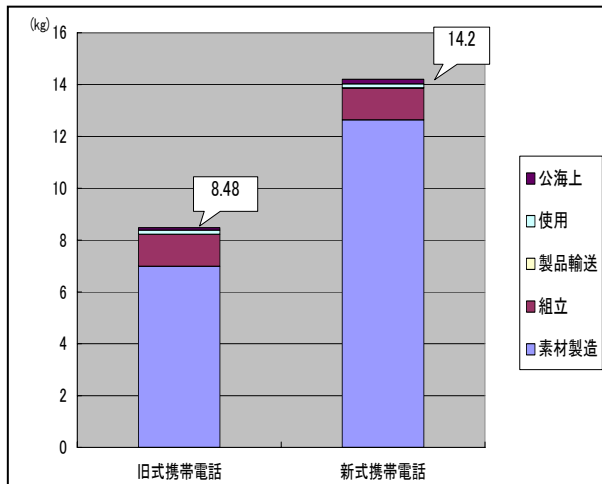


図 3-6-1 半導体別によるインベントリ結果

計算したところこのような結果になった。左のものが 350nm 半導体を使用した旧式携帯電話の結果で、右のものが 180nm 半導体を使用した新式携帯電話の結果です。350nm 半導体を使用した旧式携帯電話は 8.48kg、180nm 半導体を使用した新式携帯電話は 14.2kg となっている。グラフを見てわかるように、両者とも半導体による CO2 排出量が大部分を占めており、素材製造全体では 90% 近くを占めております。両者の値

の差は半導体の電力消費量の違いに由来しており、半導体の性能が向上していくに連れ CO2 排出量も増加すると予想される。

あるメーカーの同じ機能を持つ携帯電話との比較をした。メーカーのデータは使用、素材製造のみ公表されていた為、組み立て、輸送段階は省かれている。8.48kg、10.45kg と双方類似した結果が得られた。

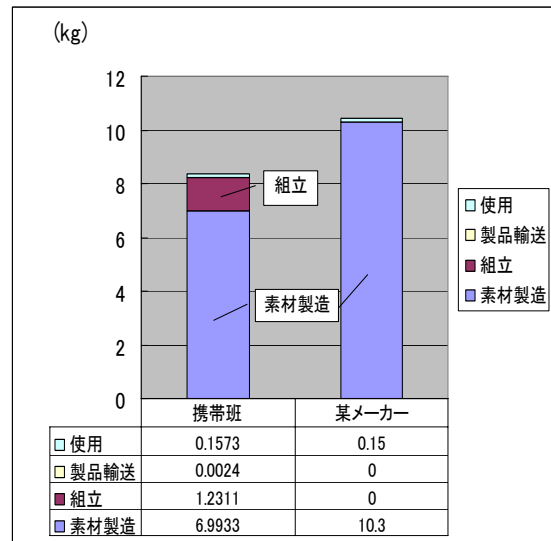
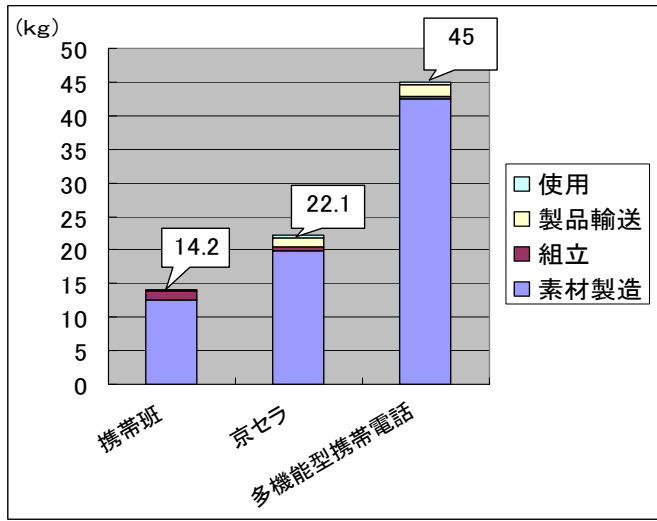


図 3-6-2 同じ機能を持つ携帯電話のインベントリ結果 1



京セラで行われた LCA 結果との比較を実施した。対象製品はストレートタイプのカメラなしであり、本研究の新式携帯電話と類似した結果が得られた。結果は 14.2kg と 22.1kg であった。多機能型携帯電話とは折りたたみ式でカメラ、web 機能、カラー液晶等が搭載されている携帯電話のことであり 45kg の二酸化炭素を排出している。先程も述べたように多機能化することによって二酸化炭素排出量も増加すると考えられる。

図 3-6-3 同じ機能を持つ携帯電話のインベントリ結果 2

#### 4. 影響評価

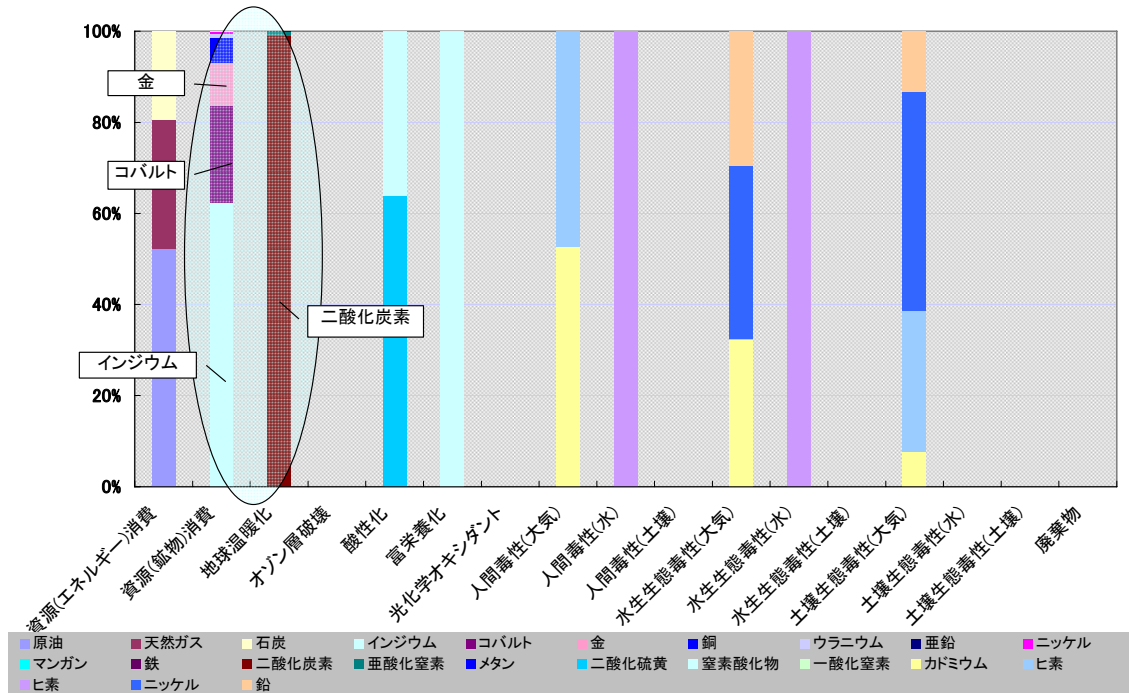


図 4-1 特性化結果 (新式)

LIME を用いた環境影響評価を実施した。本研究では目的にあるように地球温暖化と資源 (鉱物) 消費の 2 点について着目していきたい。図 4-1-1 は特性化結果を表した

ものであり、対象としている 2 種類の半導体の内、180nm 製品を搭載している携帯電話の結果である。

地球温暖化の面から見ていくと二酸化炭素が 98%程度を占めており、その大半はインベントリ結果でも述べたように素材製造段階の特に半導体製造によって排出されている。

資源（鉱物）消費に注目するとインジウムが 60%、コバルトが 20%、金が 10%を占めるという結果が得られた。インジウムは液晶ディスプレイに 0.005g、コバルトはバッテリーに 3.1g、金は半導体とフレキシブル配線に合わせて 0.65g 含まれている。特にインジウムと金は極微量ながら鉱物資源消費に大きく影響していることが分かる。

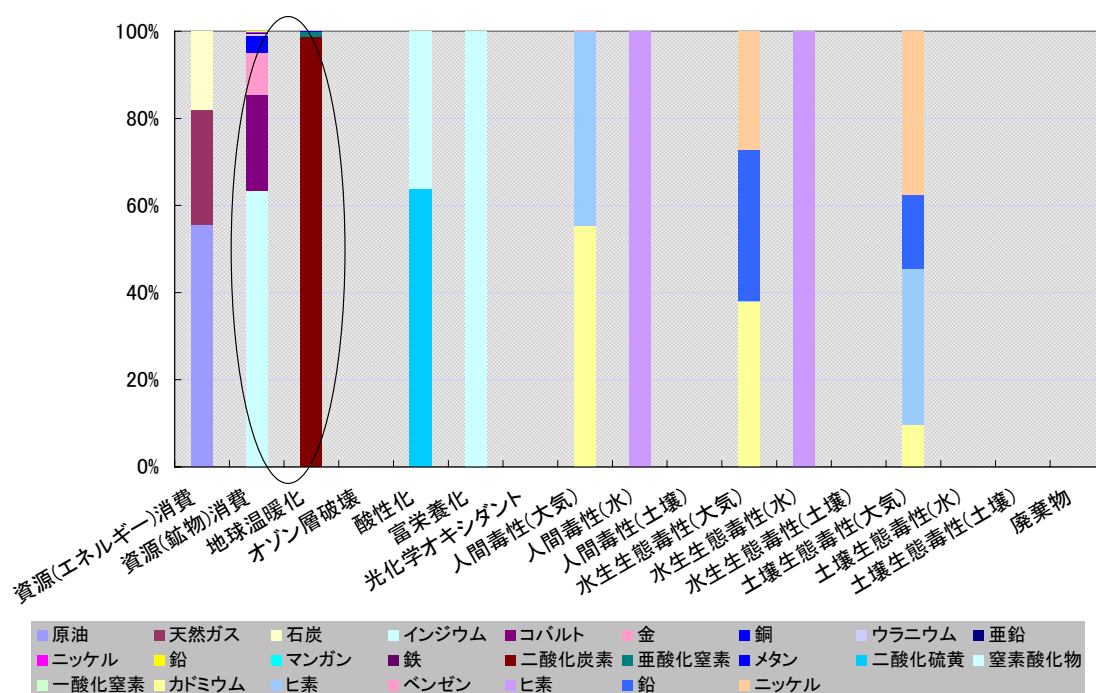


図 4-1-2 特性化結果 (旧式)

この図は 2 種類の半導体の内、350nm 半導体を搭載している携帯電話の結果を表したものである。図 4-1-1 と比較すると分るようにカテゴリー毎の物質の占める構成は非常に類似している。そのため、以降の結果については 180nm 半導体を搭載している携帯電話の結果のみを記載する。

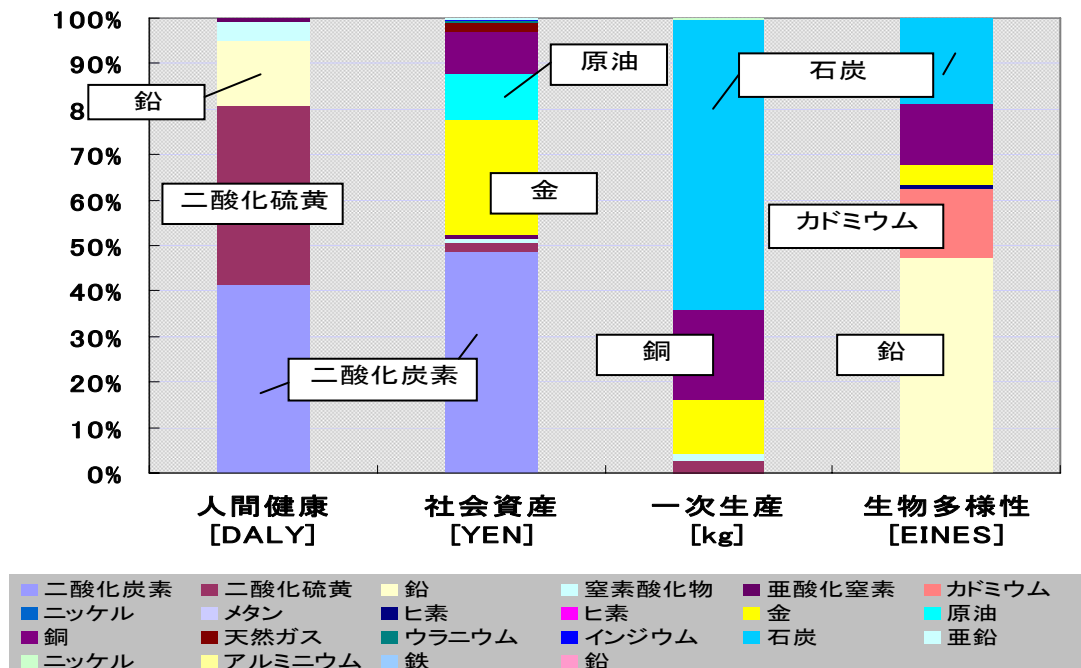


図 4-2-1 被害評価 (物質毎)

この図は物質毎の被害評価を表したものであり、人間健康、社会資産、一次生産、生物多様性の4項目について着目している。

人間健康は<sup>注1)</sup> DALYで表しており、二酸化炭素・二酸化硫黄がそれぞれ40%、続いて鉛が15%を占めている。二酸化硫黄の排出源を細かく見ていくと半導体製造から5.3g、液晶ディスプレイ製造から1.2g、原料輸入する際に公海上で1.2g排出されていた。また、鉛の排出源はバッテリーから0.25g、ビルドアップ多層プリント基板から0.032g、液晶ディスプレイから0.002g排出されており、バッテリーだけで全体の80%以上を占めていた。

社会資産では二酸化炭素が50%、金が25%、原油が10%となっており、二酸化炭素がここでも大きなウエイトを占める結果となっている。

一次生産では石炭が64%、銅が20%、金が12%となっており、火力発電によるエネルギー使用が石炭が結果に反映された要因ではないかと考えられる。また銅は半導体に35g、フレキシブル配線に12.3g、バッテリーに7g その他機構部品にも微量に含まれている。

生物多様性は<sup>注2)</sup> EINESで表しており、鉛が47%、石炭が19%、カドミウムが15%となっている。カドミウムは液晶ディスプレイに含まれているインジウムを生成する副産物として排出されている。

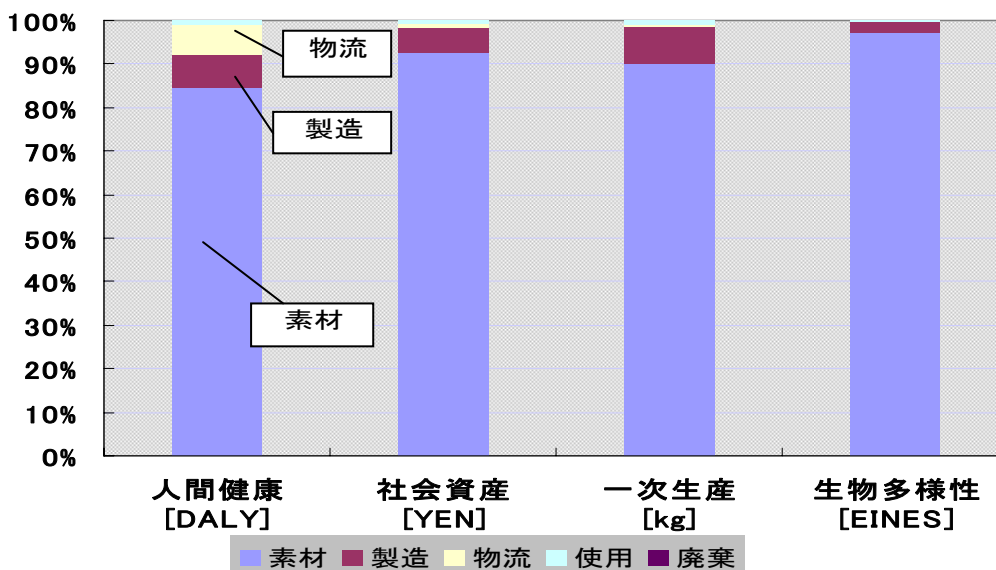


図 4-2-2 被害評価 (プロセス毎)

プロセス毎に示してみたが、素材製造が大半を占める結果で 4 項目ともにほとんど違いが見られない。人間健康の製造・物流が多少大きく見られるのは、製造時の電力消費による二酸化炭素排出と輸送中の二酸化硫黄排出の影響が表れていると推測される。

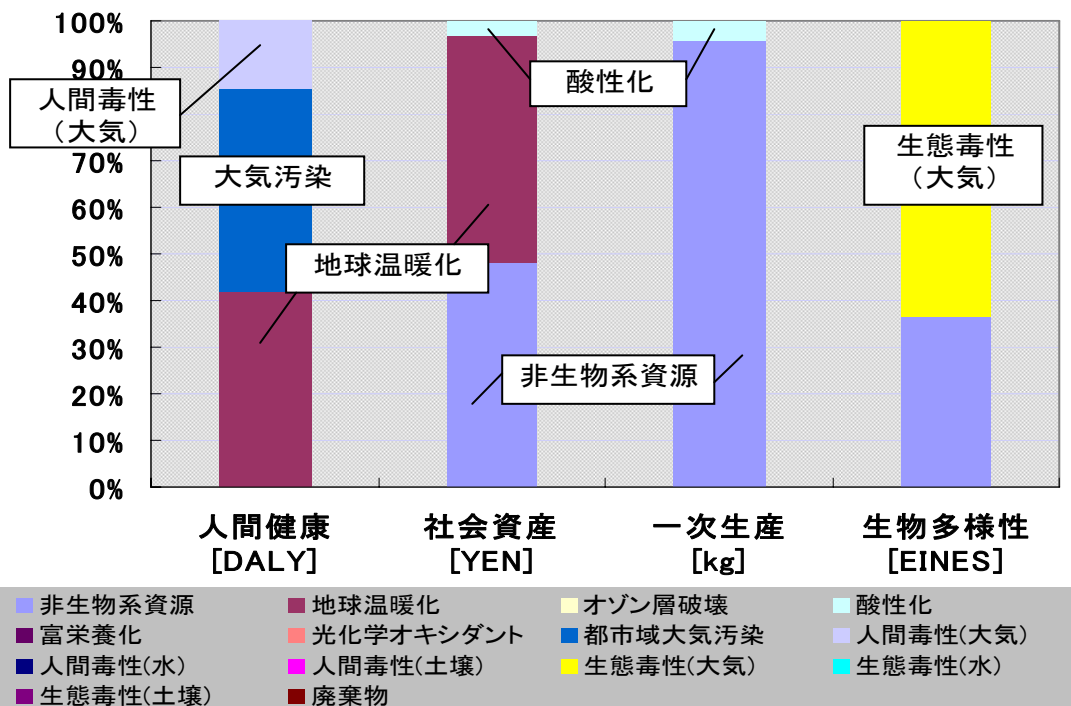


図 4-2-3 被害評価 (カテゴリー毎)

カテゴリー毎に示した。人間健康では大気汚染が 44%、地球温暖化が 42%、人間毒性（大気）が 15%といった結果が得られた。カテゴリー毎で見ると大気汚染が地球温暖化を上回る結果となった。その要因として温室効果ガスの排出が二酸化炭素のみである地球温暖化に対して、大気汚染では二酸化硫黄以外にも微量ながら窒素酸化物や亜酸化窒素の排出が見られ、総合的に大気汚染が上回ったためである。

社会資産では地球温暖化が 49%、非生物系資源が 48%、酸性化が 3%となった。詳しい内訳は図 4-2-1 を見てもらいたい。

一次生産では当然の事ながら非生物系資源が大半の 96%を占めており、微少ながら酸性化も表れている。

生物多様性では生態毒性（大気）が 63%、非生物系資源が 36%を占めており、大気中への鉛・カドミウムそして微量ながらヒ素の影響によるものである。

注 1：DALY とは障害調整生存年のことであり、特に発展途上国における健康損失を含め、世界の健康損失の状態を定量的に計ることを目的として開発された。

注 2：EINES とは絶滅種数増分期待値のことであり、環境負荷の発生による絶滅時間の変化を生物種ごとに算定した上で、それらを積算したものである。

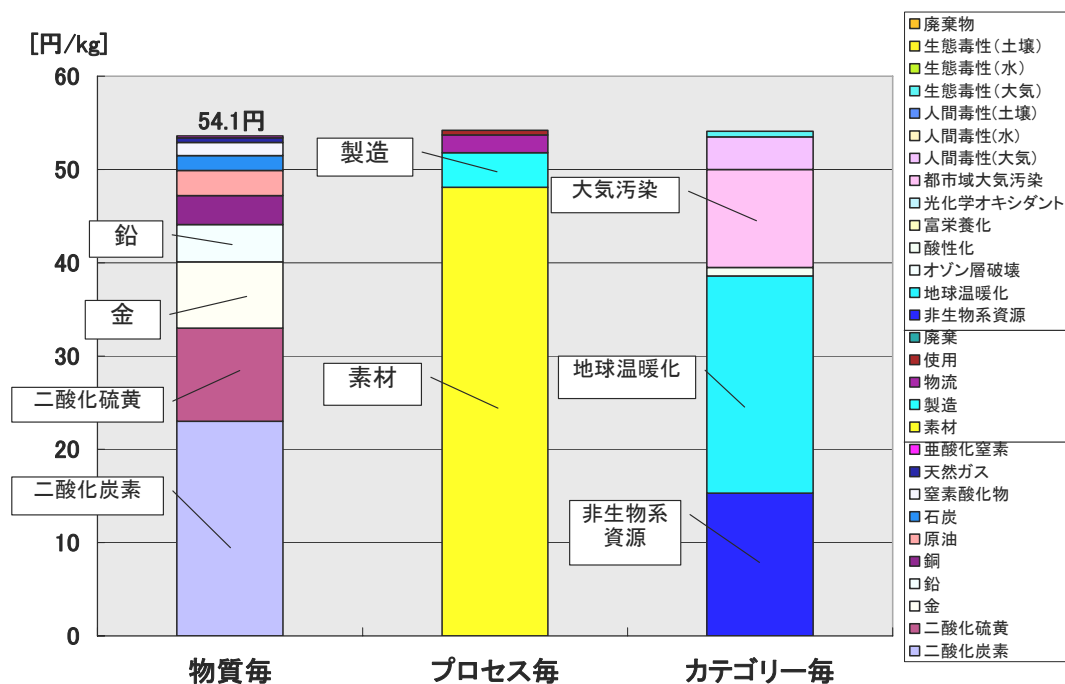


図 4-3 統合化結果

最後に統合化結果を物質・プロセス・カテゴリー毎に図として示した。それぞれについて詳しく見ていきたい。

物質毎では二酸化炭素が 23 円で約 43%、続いて二酸化硫黄が 10 円で約 18%、金が 7 円で約 13%、鉛が 4 円で約 7%といった結果が得られた。プロセス毎では素材製造段階が 48 円で 89%、続いて製造段階が 3.7 円で 7%、輸送段階が 2 円で 3.5%といった結果が得られた。

カテゴリー毎では地球温暖化が 23 円で約 43%、非生物系資源が 15 円で約 28%、大気汚染が 11 円で約 19%といった結果が得られた。

これらの結果から以上のような考察ができる。

- ①二酸化炭素の排出が環境影響に大きく寄与しており、また人間健康・社会資産の面でその影響が現れている。
- ②金や銅などの希少金属はたとえ微量であっても社会資産・一次生産の面に大きく影響を与えている。
- ③今回、本研究の目的として挙げていなかった大気汚染が予想以上に大きな影響を与えており、特に二酸化硫黄の排出を軽視することはできない。
- ④特性化で鉱物資源枯渇に大きく寄与していたインジウムが、その後の結果に反映されない点について疑問が残る。

## 5. 解釈

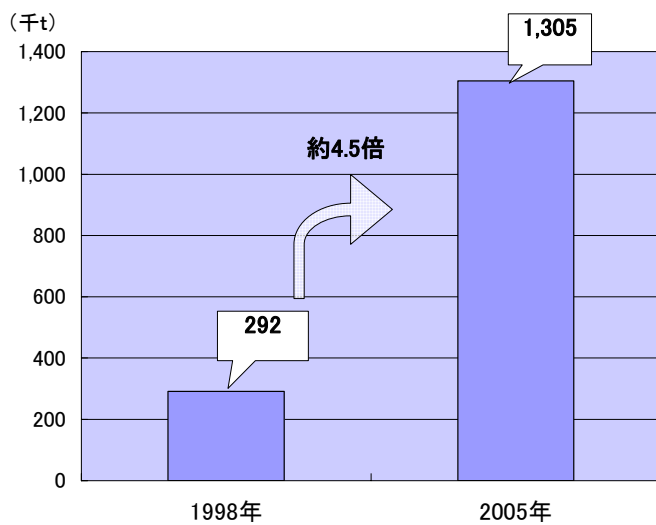
本研究では時系列で携帯電話の環境影響の変化を比較することを目的としている。そこで、新旧 2 種類の携帯電話に搭載されている半導体のデータを入手できたことから、350nm の半導体を搭載した携帯電話の環境影響を 1998 年時の代表値に、また 180nm の半導体を搭載した携帯電話の環境影響を 2005 年時の代表値とそれぞれ仮定し、その比較をすることで携帯電話の環境影響の変化を時系列で表すことにした。

また、代表値に 1998 年時と 2005 年時の日本国内の携帯電話加入者数を掛けることによって、1998 年時の国内に排出される携帯電話全体の環境影響と 2005 年時の国内に排出される携帯電話全体の環境影響を比較・評価することにした。なお、ここでは二酸化炭素の排出量と LIME による統合化結果のみグラフに表し、解説する。

表 5-1 国内携帯電話加入者数の推移

	1998 年時	2005 年時
国内携帯電話加入者数 (人)	34,397,000	88,157,000
1 台当りの二酸化炭素排出量 (kg)	8.48	14.8
1 台当りの統合化結果 (円)	37.7	54.1



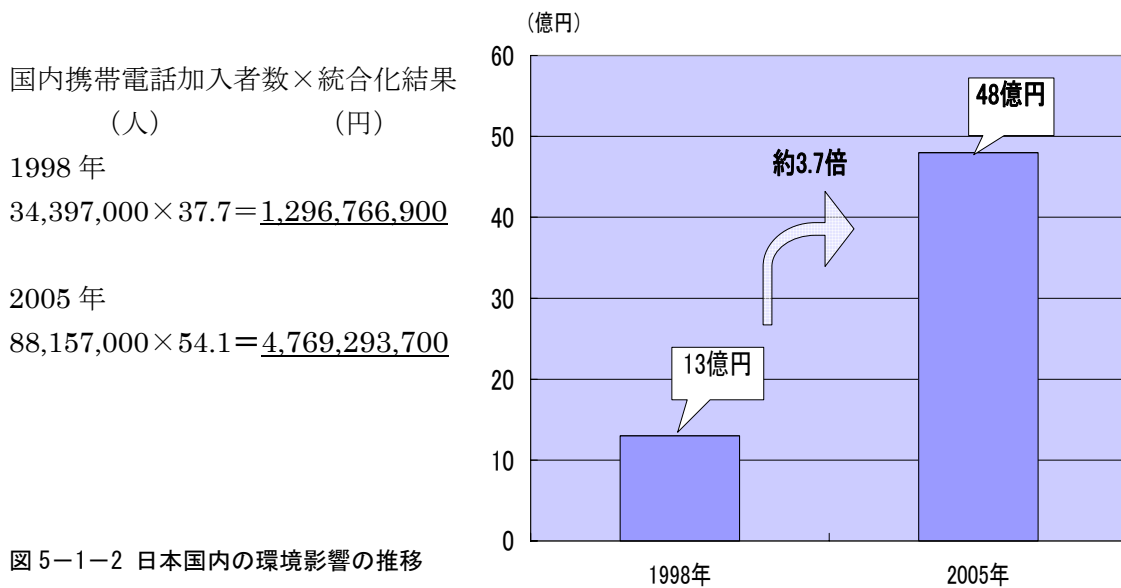


国内携帯電話加入者数×排出量  
 (人) (kg)

1998年  
 $34,397,000 \times 8.48 = \underline{291,686,560}$

2005年  
 $88,157,000 \times 14.8 = \underline{1,304,723,600}$

図 5-1-1 日本国内に排出される二酸化炭素の推移



国内携帯電話加入者数×統合化結果  
 (人) (円)

1998年  
 $34,397,000 \times 37.7 = \underline{1,296,766,900}$

2005年  
 $88,157,000 \times 54.1 = \underline{4,769,293,700}$

図 5-1-2 日本国内の環境影響の推移

以上の結果から携帯電話の急速な普及に伴い、二酸化炭素の排出量を代表とした環境影響も確実に上昇していることが分かる。日本国内で 2002 年度に排出された二酸化炭素は約 12 億トンであり、その 0.1%程が携帯電話を製造・使用することによって排出されているといったことになる。この結果を受けて微少であると感じるが、実際数ある製品・サービスの中で全体の 0.1%を占めていることは非常に大きなことである。そして、携帯電話の普及率はほぼ飽和状態に達しようとしているが、環境負荷は携帯電話の機能が向上するに連れて増加することが分かっており、今後ますます携帯電話による環境影響は増えていくと予想される。

また、この結果は本研究の LCA 結果を基に計算したものである。現在普及している携帯電話の多くは折りたたみでカメラ等が搭載されている多機能携帯電話であるため、

本研究の対象製品にはカメラ等が搭載されておらず過小評価の可能性も残る。

## 6. 結論

携帯電話はあらゆる家電製品と比べても非常に重量が小さく、使用段階での消費電力量が小さいことが大きな特徴であるが、その反面、製造段階における消費電力量が大きいことがこの研究からも明らかである。携帯電話の部品の中でも、最も電力を必要とするのが半導体類であるため、携帯電話の重量と環境負荷との相関関係は低いことがわかる。しかし携帯電話が多機能になるにつれ半導体の性能があがり、その影響で製造段階における消費電力が肥大化する傾向にある。さらに、近年の携帯電話の普及台数は、先にも述べたように、生活必需品といっても過言ではないほどの台数であり、その総合的な環境負荷を考えてみると地球温暖化に大きく影響している。普及台数は今後増加傾向を示すと考えられることから、しばらくは環境影響も増加傾向であると推測される。

また資源枯渇への影響に関しては、インパクト評価により、地球温暖化よりも寄与率は低いことがわかった。しかし携帯電話の中には希少金属が少なからず含まれていることは事実であり、携帯電話の普及台数から考えてみても、それらの希少金属を決して軽視することはできない。携帯電話は、買い替え周期が非常に短いことも他の家電製品と比べて大きく違う点であり、その短いサイクルで希少金属が次々に使用され廃棄されていくことは、今後資源枯渇に大きく寄与していくものと考えられる。よって携帯電話のリサイクルのシステムを今後積極的に確立していくべきではないだろうか。

以上のようなことから今後の課題として3点を挙げる。

一つ目は、本研究で対象外とした廃棄・リサイクル段階を含めたLCA分析を行うことである。これにより、希少金属の評価をさらに厳密に行うことが出来、資源枯渇への影響を詳しく見ることが出来るだろう。

二つ目は、半導体の環境効率を上げることである。現状としては、半導体の性能に対して消費電力量が大きく増加していることから、性能を下げずに環境負荷を抑える半導体の製造手法が今後求められると考えられる。

最後に、半導体の評価の信頼性をさらに向上させることである。半導体は携帯電話のLCA分析の中でも大きな柱となっている部品である。よって半導体の評価の信頼性を上げることが、携帯電話のLCA分析の信頼性を上げることにつながるのである。

以上

## 7. 参考文献

- 1) 「携帯電話の電子部品生産時の CO<sub>2</sub> 換算環境負荷評価例」 (独)産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント研究センター 山口博司・稲葉敦
- 2) 「機能と市場を考慮した携帯電話のライフサイクル分析」 東京理科大学工学部経営工学科 宇都奈央美 森俊介 堂脇清志
- 3) 「携帯電話の LCI データの概要」 情報通信ネットワーク産業協会 平成 15 年 1 月 30 日
- 4) 「半導体 LCA ワーキンググループ活動報告書 2002～2003 年度」 JEITA
- 5) 「Proposal of LCA system for electronic products」 shigeyuki Miyamoto NEC Corporation
- 6) 「A Life Cycle Inventory Analysis Of Cellular Phones」 Hiroshi Yamaguchi
- 7) 京セラ 環境報告資料  
[http://www.kyocera.co.jp/ecology/report/pdf2005/56\\_61.pdf](http://www.kyocera.co.jp/ecology/report/pdf2005/56_61.pdf)
- 8) 「ライフサイクル環境影響評価手法」 伊坪徳宏 稲葉敦
- 9) 液晶ディスプレイの構造と作り方  
[http://www.sharp.co.jp/products/lcd/tech/s2\\_3.html](http://www.sharp.co.jp/products/lcd/tech/s2_3.html)