

絶縁電線における LCA

LCA Study for Insulated Wires

水野 晃一*
Koichi Mizuno

蛭川 寛*
Hiroshi Hirukawa

概要 近年、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨問題などの地球規模での環境問題が顕在化しており、これからの製品開発にはライフサイクルにわたる環境影響への配慮が求められている。現在、環境影響評価手段の一つとしてライフサイクルアセスメント(LCA:Life Cycle Assessment)の手法が標準化されつつあり、本報ではケーススタディとして絶縁材料として軟質ポリ塩化ビニル(PVC)ロンパウンド、ポリエチレン(PE)、架橋ポリエチレン(XLPE)の3種類の材料を使った絶縁電線についてのLCAを行った。結果として通電時の送電ロスによる環境負荷が製造の段階と比較して桁違いに大きいことが判明した。

1. はじめに

1998年の国連の人口統計によると現在の地球人口はおよそ59億人と言われている。しかしその人口も1960年には30億人と現在の半分であった。実に40年では倍の人口となったことになる。推定によると2050年には89億人を越す人がこの地球上に存在することになる。

この急激な人口の増加とそれによる経済活動の増大はそのまま二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの環境への排出量を増大させている。このままの状態が続くとすると2100年には2の気温上昇と50cmの海面上昇が予測されている¹⁾。

このような地球温暖化の進行を少しでも食い止めようと1992年に気候変動枠組み条約が採択され、2000年までに先進国の温室効果ガスの排出量を1990年の水準に戻すという目標のもと、さまざまな取組が国際的にも、また我が国においても進められてきている。

1997年12月には第3回締約国会議が京都で開かれ、二酸化炭素をはじめとする6種類の温室効果ガスの人為的な排出を1990年(一部1995年)を基準年とし、2008年から2012年の間に5%の削減を取り決めた。ここで日本には6%の削減が求められている。

更に地球温暖化問題だけでなくオゾン層破壊、酸性雨問題、などの地球規模での環境問題も顕在化している。また重金属や環境ホルモンなどの極微量の合成化学物質による生体への作用も問題視されている。

これからは単に機能のみでなく資源採取から廃棄に至るライフサイクルにわたる環境影響の考慮が求められる。そういった影響評価手段の一つとしてLCAの手法が標準化されつつある。1997年6月にISO 14040「Environmental management-Life

cycle assessment-Principles and framework」が制定されその枠組みがさだめられた。本報ではその枠組みにそって絶縁電線のLCAを行った。

2. LCA について

2.1 LCAの概略

LCAについては様々なレポートや解説書が出版されておりここで深く触れることはしないが概略について説明する。

ISO 14040におけるLCAとは図1に示すように構成要件として「目的及び調査範囲の設定」、「インベントリ分析」、「影響評価」、及び「結果の解釈」、を含まなければならないと規定されている。

第1段階としては調査の目的とその範囲を明確にしなくてはならない。どこまでをシステムに取り入れるかは調査の目的によっても変わってくるため慎重な検討が必要となる。またそのためには調査対象システムのもつ機能を明確に定める必要がある。

第2段階ではインベントリ分析を行う。インベントリ分析とは製品システムに関連する入力及び出力をまとめ、定量化する作業である。

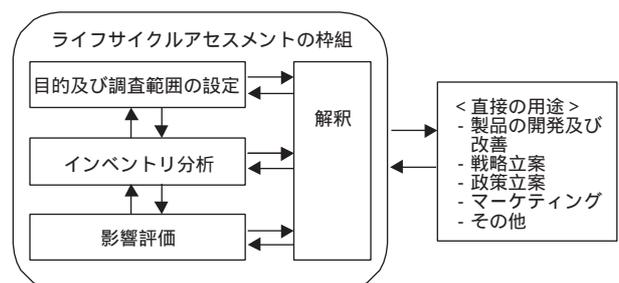


図1 LCAの構成段階
Steps of LCA

* 平塚研究所 第一開発室

第3段階の影響評価はインベントリ分析の結果をもとに対象製品からの環境負荷が社会にどのような影響を与えているかを明らかにするものである。社会影響は、人、場所、時間により大きさが違うため、定量化するのは困難であり、統一された方法はまだない。

更に結果の解釈が構成要件としてあげられている。

この報告書にまとめた絶縁電線でのLCAにおいてもこの規格にできるだけ沿ったかたちで調査を行った。

2.2 日本におけるLCAプロジェクト

1995年から1997年に通産省の指導を受けて活動してきたLCA日本フォーラムの提言を受け、平成10年度より5年間の計画で「製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発LCAプロジェクト」がスタートした。このプロジェクトの目的は我が国において共通に使用できるLCAの手法、データベース、ネットワークを開発することであり、活動予算は5年間で8億5千万円が認可された。このプロジェクトが計画通りすすめば、現状のLCAを行ううえでの問題となっている信頼できるパブリックデータがない点が解消されることとなり、調査の信頼性及び普遍性の向上が期待できる。

3. 絶縁電線の環境影響調査

ケーススタディとして絶縁電線を取り上げ、LCA手法に沿って環境影響調査を行った。

評価にあたっては資源環境技術総合研究所を中心として開発が進められているLCAソフトウェアである「NIRE-LCA, Ver.2」を使用した。その結果を以下に報告する。

3.1 目的及び調査範囲の設定

3.1.1 調査の目的

電線の絶縁材料として使用している軟質ポリ塩化ビニル(PVC)コンパウンドとポリエチレン(PE)、架橋ポリエチレン(XLPE)の3種類の材料を使った絶縁電線についてのLCAを行うことで絶縁材料による環境負荷性の違いを確認し、絶縁材料選定及び開発における手掛かりとする。

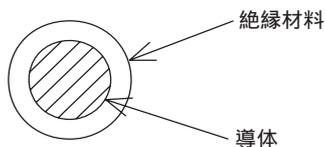


図2 絶縁電線の構造
Construction of insulated wire

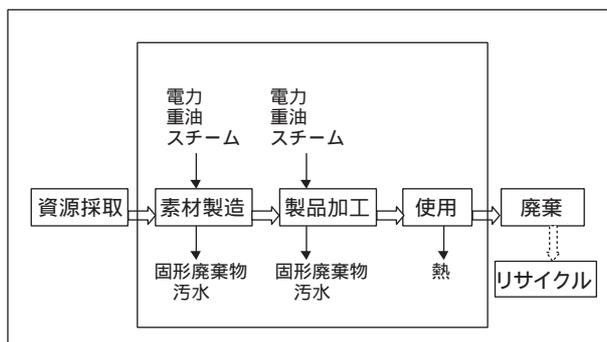


図3 システム境界
System boundary

3.1.2 調査範囲の設定

(1) 機能及び機能単位の設定

電線に要求される機能としては第一に電気エネルギーを伝えることが挙げられ、その程度は許容電流値として表される。電線における許容電流値は絶縁材料として用いる高分子材料の耐熱性によって決定される。JCS 第168号E(1995)に「電力ケーブルの許容電流」として許容電流値の求め方が記載されており、ここではPVC 60、PE 75、XLPE 90がそれぞれの材料の常時許容温度として規定されている。

また電線の機能としては許容電流値以外にも難燃性や耐油性、耐候性等の耐環境性、低誘電損失特性などが要求される場合もある。

今回のケーススタディではそれらの要求機能のうち許容電流値を評価対象となる製品間で合わせ環境負荷性を比較することとした。つまり許容電流値を機能単位とし、それ以外の機能については考慮しないこととした。

対象とした電線の種類は600Vクラスのビニル絶縁電線(IV)、ポリエチレン絶縁電線(IE)、架橋ポリエチレン絶縁電線(IC)の3種で、機能としての許容電流値を気中1条の布設で25Aとした。JCS 第168号Eに従って求めた導体径はIVでは2.0mm、IEで1.7mm、ICで1.5mmである。絶縁厚はいずれも0.8mmを考えた。(図2)

(2) システム境界の設定

図3のようにシステムの境界を設定する。

基本的には評価に使用したLCAツールであるNIRE-LCAのインベントリデータのシステム境界に従った。つまり、海外における資源採掘の段階は含めず輸入する原料については輸送(タンカーの燃料消費)からをシステムに取り入れてある。電力についても同様で、石炭火力の石炭、石油火力の石油についてのタンカー輸送の段階からをシステムにとりいれている。

ただし、PVCコンパウンドの充填剤として用いる炭酸カルシウムについては国内での採掘の段階からの資源消費を考慮している。

川下側は基本的に製品である絶縁電線の使用の段階までとした。

3.2 インベントリ分析

3.2.1 インベントリデータの収集

インベントリデータはNIRE-LCAに登録されているデータベース^{2)・3)}に足りない部分を補って使用した。特に絶縁に使う樹脂材料については比較のデータを信頼おけるものとするために可能なかぎり出典を統一するように努めた。

低密度ポリエチレン、PVCコンパウンドに用いるPVC樹脂、PVC可塑剤の製造に投入される資源は同一の文献⁴⁾を参照した。ただし、PVCコンパウンドでの充填剤として用いた炭酸カルシウムについては公開された信頼性あるデータがないので独自に製造社からデータを採取した。

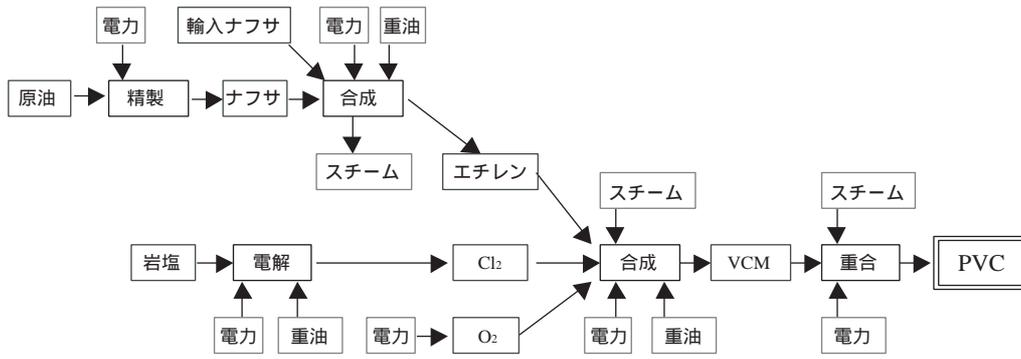


図4 PVC樹脂の製造工程
Process of PVC manufacture

3.2.2 素材製造段階でのインベントリ

(1) 導体材料のインベントリ

銅は輸入された銅鉱石を選鉱した銅精鉱と銅スクラップから粗銅を製造，更に電解によって得られた電気銅を圧延する工程でのインベントリ評価である。電線の導体とするには更に粗線を引く工程，伸線の工程があるが，ここではそれらについては省略した。

(2) PVCコンパウンド材料のインベントリ

PVCコンパウンドはPVC樹脂に可塑剤，充填剤，安定剤及びその他の添加剤を配合したコンパウンドとして電線被覆に用いる。ここでは軟質PVCコンパウンドをPVC樹脂と可塑剤のDOP(Dioctyl phthalate)，充填剤の炭酸カルシウムの3種類の配合物としてインベントリ評価を行うこととした。

a) PVC樹脂のインベントリ

PVC樹脂のインベントリデータの構成を図4に示す。これらを順次積み上げていくことでインベントリデータとした。原油，ナフサ，岩塩の輸入の海上輸送からシステムに取り入れている。PVCの原料である塩素は輸入した岩塩から電解によって得られる。その際に投入，排出される資源を図5に示す。ここでは同時に苛性ソーダが併産される。苛性ソーダ自体も工業的に非常に有用な化学物質であるため，この段階でのインベントリをすべて塩素の製造側のみに負担させることは適当でない。こういったインベントリデータの割り付けの方法はコストや重量比に応じて配分する等幾つかの考え方があるがここでは基本的に重量比に対応した配分をした。また，別の例として塩素を苛性ソーダの副生物として考えた場合にどれほどの差が出てくるかを評価してみた。

図6で製造にかかるインベントリを重量比配分して塩素製造側にも負担した場合(PVC1)と塩素を苛性ソーダの副生物として考えて塩素製造の際の投入資源及び環境負荷がないものとした場合(PVC2)とでPVC樹脂のインベントリを比較した。このようにインベントリデータの配分の違いによってPVC1では樹脂1kgあたり炭酸ガスがおよそ1.1kg排出されるのに対しPVC2では0.9kgとおよそ20%の差が出てくる。

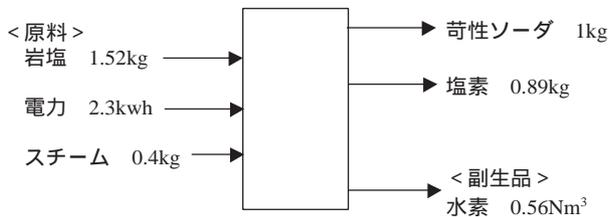


図5 塩素の製造インベントリ
Inventory of chlorine

b) DOPのインベントリ

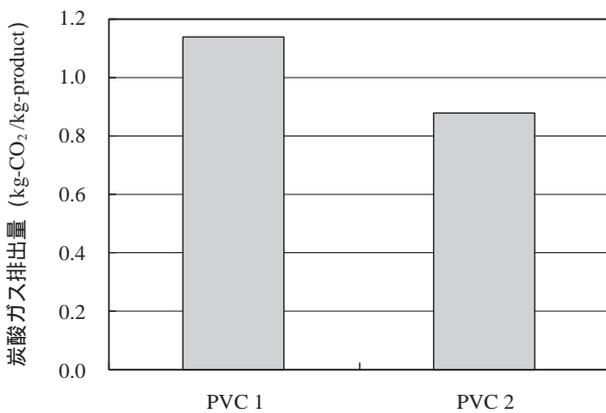
PVCコンパウンドに使用される可塑剤としては最も一般的なフタル酸系の可塑剤であるDOPについてインベントリ調査を行った。データの構成を図7に示す。DOPは無水フタル酸とオクタノールを合成して得られる。そしてそのオクタノールと無水フタル酸はそれぞれプロピレン，キシレンからそれぞれ合成される。ここでもシステムの境界は原油及びナフサの輸入の段階においた。

c) 炭酸カルシウムのインベントリ

炭酸カルシウムはすべて国内の採掘によってまかなわれている。インベントリデータは採掘，粉碎，分級の各段階のものを直接製造メーカーから採取した。

(3) PVCコンパウンドとしてのインベントリ

PVC樹脂，DOP，充填剤の炭酸カルシウムのインベントリデータ更にコンパウンドに加工する際の電力量を積み上げ，PVCコンパウンドのインベントリデータとした。これら配合剤の割合でインベントリ結果が変わってくる。こ



PVC1: Cl₂インベントリをNaOHと重量比配分
PVC2: Cl₂をNaOHの副生物とする

図6 配分による炭酸ガス排出量比較
Allocation effect for CO₂ emission

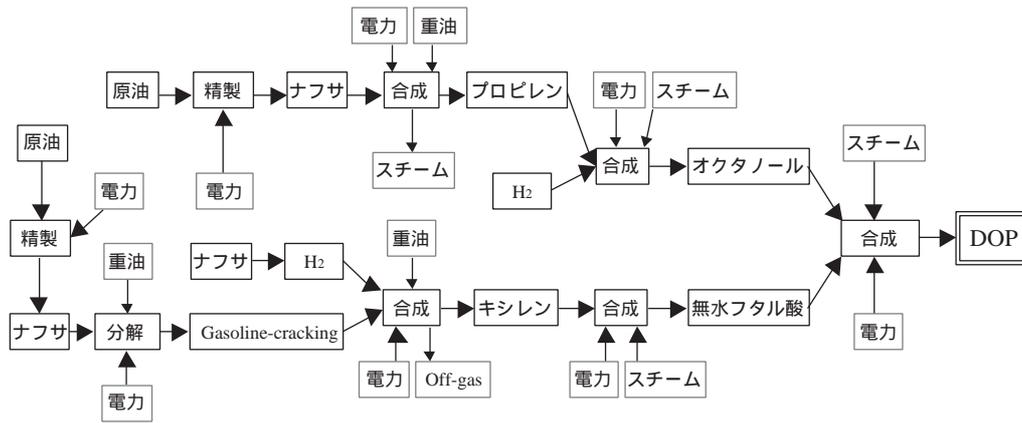


図 7 DOP の製造工程
Process of DOP manufacture

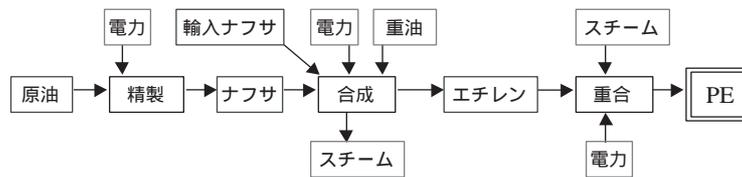


図 8 PE の製造工程
Process of Polyethylene manufacture

表 1 PVC コンパウンドの配合剤割合
Formulation of PVC compound

	PVC-C1	PVC-C2	PVC-C3	PVC-C4
PVC樹脂	100	100	100	100
DOP	50	50	50	50
CaCO ₃	30	70	30	30
リサイクル材割合	-	-	10%	30%
混練電力量 (kwh/kg)	0.08	0.08	0.07	0.05
炭酸ガス排出量 (kg-CO ₂ /kg-product)	1.2	0.98	1.1	0.83

ここでは表1に示すように充填剤をPVC樹脂100に対して30phr 配合した場合 (PVC-C1) と70phr 配合した場合 (PVC-C2), 更にリサイクル材を10%混合した材料の場合 (PVC-C3), 30% 混合した場合 (PVC-C4) とを考えた。PVCコンパウンドは樹脂の中では比較的リサイクルし易く、廃電線として回収される68千トン/年のうち31%にあたる21千トンが再利用されている⁵⁾。現在は必ずしも電線として再利用しているわけではないが、その量は電線被覆材として年間使用される量のおよそ10%にあたる。炭酸ガスの排出量は充填剤の量を30phrから70phrに増やすことでも18%程度おさえることが可能となる。リサイクル材を使用した場合の削減効果は10%用いたPVC-C3と30%用いたPVC-C4でそれぞれ炭酸ガス排出量で8%と31%の削減ができることがわかる。

(4) PEにおけるインベントリ

PEインベントリデータの構成を図8に示す。ここでは電線被覆用に用いるPE材ということで低密度ポリエチレン (LDPE) を考えている。ポリエチレンはエチレンを重合することで合成している。エチレンは輸入された原油を元に国内で精製されたナフサと輸入したナフサから分解精製さ

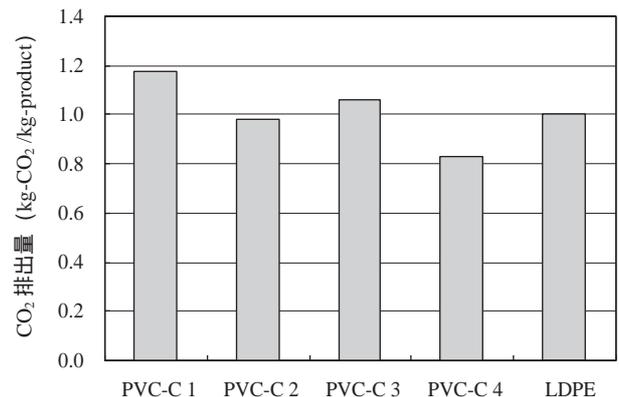


図 9 被覆材による炭酸ガス排出量
Comparison of CO₂ emission among various materials

れる。システムの境界は輸入原油の輸送段階と輸入ナフサの輸送段階においている。

3.2.3 被覆材の環境負荷性の比較

電線被覆材料としてのPVCコンパウンドとPEの環境負荷性について考察を行った。環境負荷性の評価基準としては製造段階で排出される有害化学物質や使用済み材料の処理段階で環境に放出される有害物質なども考慮すべきではあるが一般的なデータの入手が難しいことから、ここでは炭酸ガスの排出量を評価基準として、両者を比較した。

図9は材料1kgあたりの製造の際に排出される炭酸ガスの量を比較したものである。

PVCコンパウンドは充填剤の増量やリサイクル材の使用で炭酸ガスの排出量を低減でき、その程度によってはLDPEよりも低く抑えることが可能である。

表2 絶縁電線1kmあたりの構成材料と製造電力
Material weight and electricity consumption of 1km insulated wire

	IV2.0mm	IE1.7mm	IC1.5mm
Cu (kg)	28	20	16
PVCコンパウンド (kg)	9.9	-	-
混練電力量(kwh/kg)	0.08	-	-
PE (kg)	-	5.8	5.3
電力 (kWh/km)	8.7	8.7	14.7

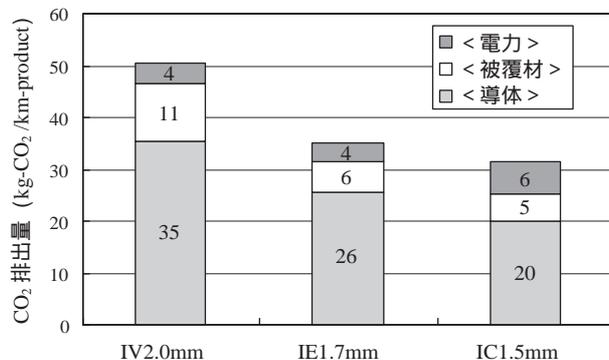


図10 絶縁電線製造段階での炭酸ガス排出量
CO₂ emission in production of insulated wire

3.2.4 絶縁電線製造でのインベントリ

ここまで調査した各材料のインベントリデータをもとに絶縁電線の製造の段階までのインベントリデータを積み上げた。それぞれの絶縁電線を1km製造する際の必要材料量と製造時に消費する電力量を表2に示す。ここで言う電力は押し出し被覆時の必要電力のことで被覆材の製造にかかる電力は被覆材の中に取り込まれているため含まない。

算出したインベントリデータの比較をおこなったのが図10であり、製造の各プロセスの排出の寄与の比較も行った。

導体の製造における炭酸ガスの排出が割合としては多く、IV、IEの製造では全体の7割に達している。ICは電子線での架橋時に使われる電力が製造時の電力に加わっているため他と比較して製造電力の割合が大きくなっている。

当然ではあるがサイズが大きい電線ほど使用材料が多いため炭酸ガスの排出量も多くなっている。

3.2.5 使用段階でのインベントリ

使用時のインベントリデータを考えてみた。使用時には導体は通電により発熱する。その発熱分はロスとなって空中に放散してしまう。同じ電流を流す場合には導体の抵抗の少ない径の大きい導体のほうが径の小さいものよりも発熱が少なくなる。一日8時間24Aの電流を通電し、10年間使用する状態を考えその際の炭酸ガス排出量を比較したのが図11である。

発熱によるロスが製造の段階と比較して格段に大きいことがわかる。炭酸ガスの低減を目的とする場合には材料製造時の排出量の少ない絶縁材料を選択するより、導体の抵抗の少ない径の大きい導体を選択するほうが効果が大きいことがわかる。

3.3 影響評価

3.3.1 評価手法について

環境影響評価は様々な手法が提案されているがここでは「NIRE-LCA, Ver.2」によって評価計算をおこなっており、その方法⁶⁾に従った。環境負荷係数の決定の手法を表3に示す。

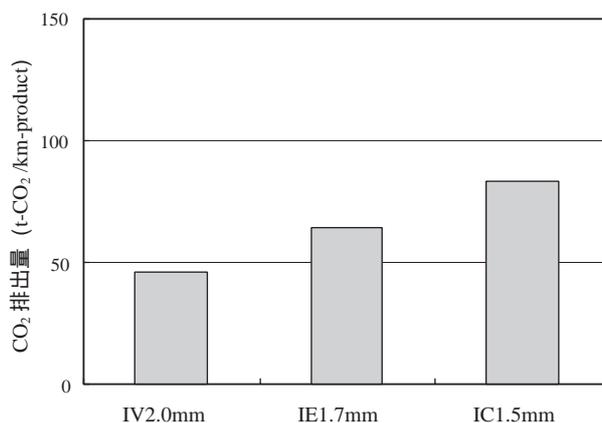


図11 電線使用段階(10年間)での炭酸ガス排出量
CO₂ emission of insulated wire during 10 years use

表3 評価の分野と負荷係数の決定手法の概略
Classification of assessment and decision of load coefficient

評価分野	負荷係数の決定手法	単位
資源の消費	世界の資源埋蔵量の逆数 × 10 ¹²	1/kg
エネルギーの消費	燃料の高位発熱量	MJ/kg
地球温暖化	温暖化指数, GWP(CO ₂ =1)	-
オゾン層の破壊	オゾン層破壊指数, ODP(CFC11=1)	-
酸性雨	酸性化指数, AP(SO ₂ =1)	-
湖沼の富栄養化	富栄養化指数, NP(PO ₄ ³⁻ =1)	-
大気汚染	排出基準値の逆数	mg/Nm ³
水質汚濁	排出基準値の逆数	1/mg
総合(基準値比較)	大気(SO ₂ =1), 水質(COD=1)	-

表4 絶縁電線における環境影響指数の比較
Load index number of insulated wire

	IV2.0mm	IE1.7mm	IC1.5mm
エネルギー消費	728000	1010000	1300000
鉱物資源消費	246	271	308
固形排出物	0.344	0.478	0.615
湖沼の富栄養化	0.0206	0.0287	0.0369
オゾン層破壊	-	-	-
温室効果	49900	69400	89300
酸性雨	140	194	250
水質汚濁	0.00816	0.0114	0.0146
大気汚染	1885	2621	3374

3.3.2 評価結果

インベントリデータに負荷係数を掛けて算出したのが表4に示した環境指数である。この指数はそれぞれの絶縁電線の製造及び使用の段階のインベントリ結果から求めたものである。

3種類の絶縁電線の比較では使用時の環境負荷が製造段階と比較して大きいためインベントリの結果をそのまま反映し、ICの環境負荷が最も大きい結果となっている。

ここでは製品の機能として許容電流を選択し比較を行ったが電線に要求される機能は他にも柔軟性、難燃性、耐環境性など様々であり、当然それによって結果も変わってくるが予想される。

4. まとめ

3種類の絶縁電線の環境影響評価を行った結果、機能として許容電流を考え、炭酸ガスを環境負荷性の指標として評価してみた場合には、製造段階での環境負荷よりも使用時の発熱ロスによる環境への影響がずっと大きいことがわかった。この結果からサイズの大きい導体を使うほど環境への負荷が少なくなる。また、目的に掲げた「LCA評価結果を現時点での材料選択の手掛かりにすること」に対してはPVCもPEも炭酸ガスの排出に限って言えば大きな違いがないことがわかった。特にPVCはその配合やリサイクルの有無によっても環境負荷性が大きく変わってくる。環境の負荷の少ない電線の材料としてどちらが優れているかは、それ以外の有害物質の有無やリサイクル性を考えたトータルな判断が必要となる。

LCAの手法はまだ確立されたものではなく、信頼できるデータベースの整備もこれから始まるようとしている段階である。今回はそういった状況の中で絶縁電線を取り上げ、資源環境技術総合研究所で開発したLCA評価ソフトウェアを使ってLCAのケーススタディを行うことでこの技術が我々の製品開発において有効な手法となるのか、また現状ではこういった点が課題になっているのかを知ることができた。

参考文献

- 1) The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC Second Assessment Report
- 2) エネルギー使用合理化手法国際調査小委員会;ライフサイクルアセスメントにおける基礎素材の製造データ,(社)産業環境管理協会,環境管理,31,6,p72~84,(1995)
- 3) エネルギー使用合理化手法国際調査小委員会;冷蔵庫のライフサイクルインベントリー-代替フロン使用による環境排出物の量的変化の分析,(社)産業環境管理協会,環境管理,31,7,p91~97,(1995)
- 4) (株)シーエムシー;「'94日米化学品の価格とコスト」
- 5) (社)電線総合技術センター;「電線用ゴム・プラスチック材料のリサイクル」調査研究会最終報告書,p41-44
- 6) 資源環境技術総合研究所;「NIRE-LCA,Ver.2」操作マニュアル-002