

■ 研究論文 ■

太陽光発電システムのライフサイクルアセスメント

Life Cycle Assessment for Solar Photovoltaic Energy Systems

稲葉 敦*・近藤 康彦**・小林 光雄***・喜多 浩之****・高橋 伸英*****

Atushi Inaba Yasuhiko Kondo Mitsuo Kobayashi Kouji Kita Nobuhide Takahashi

野田 優****・松本真太郎*****・森田 英基****・小宮山 宏*****

Suguru Noda Shintaro Matsumoto Hideki Morita Hiroshi Komiyama

(1994年9月29日 原稿受理)

Abstract

Recently, life-cycle analysis of industrial products has been used extensively to assess the environmental impact resulting from their production. The purpose of this paper is to identify the causes of difficulty in creating life-cycle inventories, the necessary basic data for determination of environmental impacts and resource consumption, when using the bottom-up approach for life-cycle analysis. As an example, a life-cycle inventory of the solar photovoltaic system was prepared in this paper, assuming that the photovoltaic modules were manufactured in Japan and that the power plant using these modules was built in Indonesia. This example will show that the bottom-up approach can clearly identify the main sources of emissions, but that the collection of the necessary process data was very difficult.

1. 緒言

近年、地球環境を維持する観点から、各種工業製品の製造に必要な原材料の採掘からその製品の廃棄に至るライフサイクルでの排出物を算定し、環境への影響を評価する手法が「ライフサイクルアセスメント (LCA)」として話題になっている。LCAでは、まず排出物量および資源使用量の一覧表を書き出すことが必要である。これはライフサイクルインベントリー (LCI) と呼ばれる。一般に、工業製品は、各種素材の集合体として製造されることが多く、その素材の採掘まで含めたLCIの作成には多くの困難が伴うことが予想される。

本報告では、著者らが既にエネルギーペイバックタイムの評価を行った太陽光発電システムのライフサイ

クルインベントリーを作成し、LCAの実施上の問題点を明らかにすることを目的とする。

2. 対象とする太陽光発電システム

わが国で太陽光発電モジュールを製造し、インドネシアで使用することを前提とした計算を行う。今後、発展途上国のエネルギー需要を自然エネルギーで供給することが重要となると考えられ、特にインドネシアは石炭や天然ガスの供給国としてわが国との関係が深まることが予想される¹⁾ためである。

各種の太陽光発電セルが開発されているが、ここではLCIの問題点を抽出することを目的とし、多結晶シリコンによる太陽光発電のみを取り扱う。

日本での太陽光発電モジュールの生産規模は10MW/年とし、1年間に生産されるモジュールを用いて、

* 資源環境技術総合研究所 エネルギー資源部燃料物性研究室室長

** " " " 研究官

*** " " ガス化研究室主任研究官

**** 東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻

***** " " " 教授

〒113 東京都文京区本郷7-3-1

インドネシアに太陽光発電所1基を建設する。インドネシアの日射量は年平均4.5kWh/日であり²⁾、これはわが国の約1.37倍に相当する。1基あたりのインドネシアでの年間発電電力量は、システム効率をわが国と同様^{3,4)}0.72と仮定すると、 1.183×10^7 kWh (42.6TJ)となる。

3. 計算手法

システム全体での環境汚染物質の排出量および資源の投入量を知るためには、システム構築までの各段階での排出量および投入量を詳細に知る必要がある。

ここではまず、モジュールの製造および集中型発電所建設に関するデータを「CO₂と地球環境問題研究会」の報告書³⁾および稲葉ら⁴⁾から引用し、対象とした太陽光発電システムの構築に必要な素材量およびエネルギー量を算出した。次に、その素材の製造工程でのエネルギー収支および物質収支を、主として文献により調査した。文献により入手できないデータは関連企業の協力により聞き取り調査を行った。

CO₂の排出については、セメント製造時のCO₂の排出などエネルギー以外からの排出はそのつど考慮した。その他の排出物は、エネルギーの使用によるものとみなし、使用量に比例するものと仮定して、主としてBUWALのデータ⁵⁾から排出原単位を引用することにより算出した。この仮定は、化石系燃料については工程ごとのボイラーの相違を問わないことを意味する。また、電力については、わが国およびインドネシアの平均電源構成に基づき、燃料種ごとの発電による排出を比例配分した。

LCIの作成には、資源環境技術総合研究所が開発し

たライフサイクルアセスメント用ソフトウェア「NIRE-LCA」^{6,7)}を使用した。「NIRE-LCA」は、工程ごとに製品1単位を基準に書かれたデータを、引用された必要量に依り、自動的に比例計算し、積算するソフトウェアである。

4. 太陽光発電システムの物質およびエネルギー収支

モジュールの製造に必要な素材とエネルギー

表1の第1列にモジュール1m²を製造するためのモジュール化工程での入力を示す。モジュールの素材としての、ガラス、アルミニウム、銅、プラスチックとともに、セルを入力として扱っている。電気は、モジュール化に使用されるエネルギーである。「PV-plant」のデータには、SOGシリコン製造からモジュール製造までの装置および工場立屋の製造に必要な鉄およびセメントの量が一括して記されている。装置および立屋に必要な鉄およびセメントの量は、それぞれ10年、および40年の耐用年数を仮定し、さらに1年間に製造されるモジュール面積で除することによりモジュール1m²あたりそれぞれ、0.641kg/m²、0.141kg/m²と算出した。

これらの入力は、「参照するもの」として取り扱われており、それらを単体量製造する工程における入出力データを別途用意し、必要量に応じて比例計算される。

表1の第2列に、セル1m²を製造するためのセル化工程での入力を示す。セル化工程で使用される銀・アルミニウムペーストなど使用量が比較的小さいものは、「原材料」として記載し、その製造工程は考慮し

表1 太陽光発電システムに関する物質およびエネルギー収支

項目名	モジュール化		セル化		基板化		SOG		発電所	
原材料			Ag・Alペースト スクリーン POCl ₃ TPT	0.027 kg 0.010 kg 0.0085kg 0.0105kg	ピアノ線	0.615kg	硫酸 石灰石 アルゴンガス 水	9.91 kg 9.06 kg 0.275kg 217 kg		
参照するもの	セル ガラス アルミニウム 銅 プラスチック PVプラント 電気	0.82 m ² 7.99 kg 1.9 kg 0.0913kg 1.58 kg 1 P 8.04 MJ	基板 KOH イソプロピル アルコール	0.797 kg 0.3156kg 0.778 kg	SOG SiC	1.92 kg 3.8 kg	珪石 ソーダ灰 カーボンペレット	4.36 kg 2.57 kg 1.83 kg	モジュール 銅 プラスチック セメント(インドネシア) 鉄	8.46m ² 44.1 kg 26.5 kg 211.5 kg 440.69kg
大気圏排出物			電気	93.9 MJ	電気	208 MJ	電気 重油	132 MJ 165 MJ	電気(インドネシア) 軽油(インドネシア)	2034 MJ 2720 MJ
固体排出物					SiC Fe Si	3.8 kg 0.615kg 0.917kg		CO ₂	24.5 kg	
製品	モジュール	1 m ²	セル	1 m ²	基板	1 kg	SOG	1 kg	発電所	10 ⁻⁴ 基

ないものとした。

同様に、表1の第3列には基板1kgを製造するための基板化工程での入力、また、第4列にはSOGシリコン1kgを製造するための入力、また、第5列には多結晶シリコン1kgを製造するための入力、また、第6列には多結晶シリコンは、現状では半導体用に製造されたものを使用しているが、ここでは太陽光発電用にSiO₂をカーボンペレットを用いて還元する冶金的プロセス⁸⁾を採用している。

モジュールのインドネシアへの輸送

モジュールをインドネシアに海上輸送するためのエネルギーは、ボーキサイトのインドネシアから日本への輸送エネルギーの2倍として、4.18MJ/m²を仮定した。

インドネシアでの太陽光発電所の建設

表1の第5列に太陽光発電所の建設の入出力を示す。また、セメント以外の資材は、インドネシアでの製造に関するデータが得られなかったため、日本で製造しインドネシアに輸送して使用することを仮定した。したがって、鉄、銅、プラスチックについては、日本からの輸送エネルギーが必要となる。軽油は、建設の際の工事中用重機によるエネルギー使用である。

5. 使用するデータ

5.1 各素材の製造のプロセスデータ

LCIのためには、表1に「参照するもの」として記載された素材の製造に関するデータが必要である。使用したデータの詳細およびデータ作成時に著者が留意した点については、稲葉ら⁹⁾を参照されたい。

カーボンペレットおよび石油化学製品

カーボンペレットの原料となるカーボンブラックは、天然ガスの熱分解により収率90%、熱効率80%で得られるものとした。レゾールは、ホルマリンとフェノールを等モル使用すると仮定した。ホルマリンは、37%のメタノール溶液として算出した。フェノールの原料となるベンゼンおよびプロピレンの製造および他の化学製品の入出力は主として化学便覧¹⁰⁾から引用した。Cl₂およびNaOHの製造は、イオン交換膜法と隔膜法をそれぞれ87%、13%と仮定し、そのユーテリティー¹⁰⁾を比例配分した。石油化学製品の原料となるナフサは、国内の石油精製で35%が、残り65%は中東から輸入される¹¹⁾ものとした。

ガラスおよびソーダ灰

わが国では、工業的に製造されるソーダ灰(工業灰)が約80%で、残り約20%がアメリカから輸入される¹²⁾。

工業灰の製造には、岩塩、石灰石、コークス、アンモニウムが投入される¹³⁾。岩塩、天然灰は輸入されている。

セメント

セメントはモジュール製造設備の立屋の建設およびインドネシアでの発電所の建設に必要とされる。したがって、わが国とインドネシアでの製造に関する入出力がそれぞれ必要となる。わが国のデータは文献¹⁴⁾から得た。インドネシアのデータは、セメント産業全体のエネルギー統計値¹⁵⁾を生産額比¹⁶⁾で配分したものである。

鉄、銅およびアルミニウム

鉄¹⁶⁾、銅¹⁷⁾、アルミニウム¹⁸⁾の製造に関する入出力はそれぞれ文献値を基に作成した。鉄のエネルギー投入量は、特殊鋼製造の投入エネルギー量を一般鋼¹⁹⁾の1.27倍と仮定し、それぞれの生産量¹⁹⁾を基準に比例配分して平均値を求めた。

日本の銅鉱石の国内生産は全体の2%であり¹⁷⁾、銅精鉱の輸入量全体の44%をインドネシア周辺国が占めている²⁰⁾。ここでは、全てがインドネシアから輸入されるものとして、鉄鉱石と同等の輸送エネルギーを仮定した。粗銅の精錬では硫酸が副製品として得られるが、その量が不明確であるのでここでは無視した。産出国における銅精鉱の製造エネルギーは考慮されていない。

アルミニウムの地金は、ほとんどが輸入されている。アルミニウムの製造には大量の電気が必要とされるので、生産される国での電源構成が問題となる²¹⁾。これを考慮することは困難であるので、ここでは、わが国で地金が製造されることを仮定した。

5.2 海上輸送および採掘に関するデータ

化石燃料および日本での素材製造に必要な輸入原料の海上輸送、ならびに、インドネシアに発電所を建設するために日本から輸送する素材の輸送エネルギーは、輸出国からの輸送距離とその量を基準に平均化されている²¹⁾。

化石燃料、岩塩およびボーキサイトの採掘に関するデータはBUWAL⁵⁾から引用した。その他の資源の採掘に関する物質およびエネルギー収支のデータを得ることは困難であったので、ここでは無視した。

5.3 エネルギーの使用による排出データ

化石燃料の使用による排出

化石燃料の燃焼に係わる入出力のうち、SO₂の排出量以外はBUWALのデータ⁵⁾を引用した。SO₂は、科

学技術庁編「アジアのエネルギー利用と地球環境」²²⁾から引用した燃料種別のSO₂排出係数と各燃料中の硫黄含有量から発電部門以外の工業部門での生成量を求め、これに脱硫率を考慮することで排出量を求めた。わが国の脱硫率は84%²³⁾、インドネシアは0%を仮定した。

燃料を製造する石油精製およびガス精製の入出力データにはBUWALの値⁵⁾を使用したので、ヨーロッパでの代表値と考えられる。天然ガスからLNGを製造するためのエネルギー1kgあたり8.38MJを仮定した。これは、LNGの発熱量54.4MJ/kgの15.4%に相当する。石炭、原油、精製ガスの発電量は、BUWAL⁵⁾と同様、それぞれ29.31, 41.0, 46.0MJ/kgを採用した。

また、石油からのコークスおよびコークス炉ガスの製造および燃焼に関する入出力はBUWAL⁵⁾を参考に著者らが作成した。

海上輸送および建設重機の燃料使用に関する入出力もBUWAL⁵⁾より引用した。LNGの輸送には、1kgあたり重油0.0015kg、LNG0.076kg²⁴⁾を仮定した。

電力の利用による排出

電力1MJを製造するための排出は、燃料種別のそれぞれの発電による排出を電源構成により比例配分した。表2に電源構成を示す。

それぞれの燃料による電力1MJを製造するための排出は、燃料の発電量と各国の発電効率により燃料使用量を求め、排出量が燃料使用量に比例するものとして算出した。表3に、日本とインドネシアの発電効率を示す。

日本の電源構成は、平成6年電気事業審議会による1992年度実績値²⁵⁾を用いた。インドネシアの電源構成および両国の効率は、OECD/IEAのエネルギーバランス表²⁶⁾を用いて算出した。OECD/IEAのエネルギーバランス表には、石炭、石油、ガスの発電への使用量とその発電電力量、および電力全体での自己消費が計上されている。電力全体での自己消費を発電電力量により比例配分し、石炭、石油およびガスによる発電効率を算出した。地熱発電は相対的に少ないのでここでは無視した。

日本の燃料の重量あたりのCO₂排出量は、湯浅ら²⁷⁾によるCO₂排出原単位を用いた。インドネシアCO₂排出および両国のSO₂以外の排出は、BUWALのデータ⁵⁾を引用した。SO₂については、化石燃料の燃焼による排出と同様、文献^{22,23)}を基に、脱硫率を日本では87.9%、インドネシアでは0%とした。日本の石炭、

原油、LNGの発熱量は、湯浅ら²⁷⁾による25.9, 41.0MJ, 54.4MJをそれぞれ用い、インドネシアの石炭、石油、精製ガスの発熱量は、BUWAL⁵⁾と同様、それぞれ29.31, 41.0, 46.0MJ/kgを採用した。

水力発電では、1MJの電気を得るために100kgの水が必要であるものとし、排出はないものとした。原子力発電のデータはBUWAL⁵⁾およびPRE²⁸⁾から引用した。原子力発電の入力は全て原材料として記載され、これ以後データベースを検索することはない。排出データは、水圏排出物を含み、火力発電に比べて詳細なデータとなっている。

発電の排出量はほとんどBUWAL⁵⁾から引用しているため、ヨーロッパでの平均的燃料および技術を各国に適用する場合と考えることができる。SO₂以外は、日本とインドネシアで使用する燃料の性状の相違、および発電効率以外の各国の技術の差による排出物処理の相違は考慮されていない。

4. 作成されたライフサイクルインベントリとその問題点

以上のデータを用いて、インドネシアに太陽光発電所1基を建設するための投入原材料と排出物を求めた結果を表2および表3に示す。作成されたこれらの表に含まれる主な問題点を示す。

(1) 資源採掘のデータの取り扱い（無限ループの回避）

火力発電用の化石資源を採掘する際に電気を使用する。その電力生産には、また化石資源の採掘が必要とされる。したがって、ここで採用した投入物を上流側に逐一追跡するツリー状の処理では、無限ループとなる場合がある。本試算では、資源採掘に使用されるエネルギーは、全て原材料として取り扱い、無限ループを回避した。そのために、表2では採掘に必要なエネルギーが原材料として算出されている。この採掘に使用されるエネルギーを原材料とする処理は、同時に、採掘場所が数ヶ国にわたる場合にそれぞれの国情を反映しなければならない複雑さも回避している。無限ループの処理は、積み上げ法が持っている本質的な問題点である。

本試算では、化石燃料以外の資源の採掘に必要なエネルギーとして、岩塩の採掘に非特定エネルギーが考慮されているだけなので、エネルギーのほとんどは化石燃料の採掘に必要なエネルギーである。表2からは、採掘時の必要エネルギーは、採掘される化石燃料の約4%になる。

表2 太陽光発電システム1基あたりの投入原材料 ($\times 10^4$)

化石燃料		
石油	544.424	kg
石炭	446.865	kg
天然ガス	149.879	kg
エネルギー		
重油	1141.473	MJ
ガス	430.740	MJ
電気	256.953	MJ
非特定エネルギー	149.805	MJ
石炭	22.0482	MJ
軽油	0.234604	MJ
資源		
水	132245.	kg
鉄鉱石	601.405	kg
石灰石	338.228	kg
珪石	152.252	kg
銅精鋼	144.489	kg
岩塩	70.2329	kg
ボーキサイト	67.3822	kg
クレイ	34.9922	kg
ドロマイト	11.4912	kg
天然ソーダ灰	8.16023	kg
KCl	2.9772	kg
長石	2.02786	kg
ウラン鉱石	0.00508058	kg
工業製品		
硫酸	105.2	kg
石膏	7.54097	kg
ピアノ線	3.4003	kg
アルゴン	2.91928	kg
酸化鉄	2.07013	kg
スラグ	1.38892	kg
Ag-Alペースト	0.188942	kg
アンモニウム	0.0979227	kg
TPT	0.0728406	kg
スクリーン	0.0711713	kg
POCl ₃	0.0586887	kg

(2) 使用量の少ない素材の取り扱いとデータの精度

投入原材料は、LCIを完全に行えば、採掘される化石燃料と資源だけになるはずである。しかし、使用量の少ない工業製品まで完全に網羅することは困難である。したがって、使用量の少ない工業製品を原料として扱ったために、表2に工業製品が原材料として現れている。

(3) 副製品の処理

表2では、硫酸が原材料として大きな値になっている。この硫酸は、SOGシリコンの製造に使用される。硫酸は、通常、銅の精錬および石油の脱硫で副製品として製造される。通常のLCIの手法としては、ある製品の製造プロセスが副製品を有する場合、製品の重量により、原単位を比例配分する。しかし、製品の重量または価値が著しく違うプロセスでは、重量基準の配

表3 太陽光発電システム1基あたりの排出物 ($\times 10^4$)

大気圏排出物		
CO ₂	4039.13	kg
CxHy	18.7344	kg
SO ₂	11.4151	kg
NOx	11.2380	kg
CO	2.82187	kg
Particle	2.02610	kg
N ₂ O	0.702632	kg
Organics	0.0279839	kg
アルデヒド	0.0186561	kg
NH ₃	0.00932696	kg
dust	0.00675954	kg
SOx	0.00411669	kg
NO ₂	0.00340168	kg
HF	0.000024858	kg
水圏排出物		
DS	6.93092	kg
Cl	1.21251	kg
COD	0.595425	kg
NO ₃	0.391637	kg
SO ₄	0.11779	kg
oil	0.0940515	kg
others	0.00554203	kg
SS	0.0027963	kg
Fe	0.00242276	kg
BOD	0.00227963	kg
CaF ₂	0.00218876	kg
F	0.00218031	kg
NH ₃	0.00101091	kg
Na	0.000357563	kg
固体排出物		
固体廃棄物	281.008	kg
スラグ	206.55	kg
赤泥	38.3043	kg
SiC	21.01	kg

分が不適切な場合もある。本試算では、硫酸は廃棄物に近いものであると判断し、副製品としての硫酸に原単位を分配せず、使用する場合も原材料として扱うことにした。副製品の処理は、LCIの手法の大きな問題点の一つである。

(4) 水資源の消費量

表2の原材料のうち、水は最大の量を占めている。ここでは、水力発電および化学工業製品の製造の原料となる水だけが計算されているが、水力発電での使用量が圧倒的に大きい。さらに、原料に水を用いるものは、その水を得るためにどの程度エネルギーがかかるのか不明であったので、水はエネルギーなしで得られるとしている。また、各産業で冷却水として使用される水は含まれていない。今後、水力発電とユーティリティとしての水を分割することが必要であろう。

表4 太陽光システム1基あたりのCO₂とSO₂の排出量

	CO ₂ (×10 ⁴ kg)	SO ₂ (×10 ⁴ kg)
総排出量	40391.3	11.4151
日本でのモジュールの製造	1969.05	2.5108
モジュールの製造	1957.19	2.4951
PV-Plant	11.86	0.0157
モジュールの輸送	3.71	0.0408
インドネシアでの発電所建設	2066.39	8.8635
鉄の製造	895.36	1.2470
銅の製造	34.70	0.1515
プラスチックの製造	86.92	0.2079
セメントの製造	181.03	0.3580
素材の日本からの輸送	17.09	0.1880
建設用重機の使用	283.23	0.4693
電気	568.06	6.2418

(5) 排出データの作成

表3に示された大気圏への排出物では、化石燃料の使用によるCO₂が大きな値となる。また、炭化水素類(C_xH_y)が、SO₂、NO_xと並ぶ排出量となっている。しかし、本試算では、CO₂およびSO₂以外の化石燃料の燃焼による排出は、BUWALのデータ⁵⁾を引用したにすぎない。BUWALのデータは、排出物として、NO_x、CO等の大気圏排出物や、多くの水圏排出物が記載されているが、エネルギー利用技術の相違や排出対策設備の相違などにより排出量が異なるはずである。したがって、CO₂およびSO₂以外の排出物の精度は低いと考えられる。

また、ディーゼルエンジンの排出物とその量についてのデータが入手困難であるため、工事中重機の燃料軽油の消費による排出も輸送用トラックのデータで代用している。

今後、エネルギー利用に伴う排出量のデータを整備する必要がある。その時、実在する個々の機器の特性を考慮し、LCAの一般的データとして作成する必要がある。

5. CO₂とSO₂の排出量の評価

本試算で得られた排出物のうち、文献^{22,23)}を用いて検討を加えているCO₂およびSO₂の排出について考察する。

表4に、太陽光発電所1基あたりのCO₂とSO₂の排出量の内訳を示す。CO₂の排出量は、日本でのモジュール製造とインドネシアでの発電所建設がほぼ等量となる。モジュールのインドネシアへの輸送およびモジュール製造設備の製造による排出は少ない。発電所建設のCO₂排出の内訳を見ると、建設に必要な素材の製造

で約58%が、建設時の電力使用により約27%が排出される。これに対して、SO₂は総排出量の約77%が発電所の建設のために排出され、その約70%が発電所建設の電力使用によるものである。これは、SO₂の排出について、インドネシアでは脱硫装置が設置されていないと仮定したことが大きく影響している。

本試算では、CO₂の総排出量は4.039×10⁷kgとなるが、この発電所の耐用年数を30年とすると、総発電電力量は1278.3TJとなり、発電電力量あたりのCO₂排出量は、31.6t-CO₂/TJ (31.1g-C/kWh)となる。本試算で用いたデータを使用して、インドネシアと日本の電源構成に基づきCO₂排出量を算出すると、日本では148.8t-CO₂/TJ、インドネシアでは281.5t-CO₂/TJとなる。太陽光発電システムの導入によるCO₂排出削減が期待される。

内山らは、エネルギー収支に基づいてわが国での太陽光発電システムのCO₂排出原単位を計算しており、運用のための排出も含め、耐用年数30年で、52.4g-C/kWhと報告している²⁰⁾。インドネシアに設置することで、約2/3の排出となるが、これにはインドネシアの日射エネルギーを日本の1.37倍と仮定したことが大きく影響している。上述したように本試算では、発電所建設のためのCO₂排出量が総排出量の約半分となることが示されており、日射エネルギーの相違も含め、発電所の立地についてさらに検討することが必要である。日本とインドネシアの立地の相違によるCO₂排出量の相違を次報²⁹⁾で検討する。

表4に示すように、LCIの手法は、どの素材の製造に起因する排出であるか明確に示すことができ、仮定の相違による排出量への影響を分析することが容易である長所を持っている。

6. 結言

わが国で多結晶シリコン太陽光発電モジュールを製造し、インドネシアに集中型発電所を建設することを前提として、LCIの手法により環境への排出量を算出した。

その結果、CO₂については、モジュールの製造段階と発電所の建設段階の排出量がほぼ等量となること、モジュールおよび基礎資材のインドネシアへの輸送による排出は全体の中でごくわずかであることなどが分かった。また、SO₂の排出量は、インドネシアでの発電所建設による排出が全体の約3/4を占める。これは、インドネシアの化石燃料による発電で脱硫が行われて

いないと仮定したことが大きく影響している。

LCIの大きな長所は、どの段階での排出であるか明確にすることができ、各製造段階が排出に及ぼす寄与を把握しやすいことである。しかし現状では、基礎データが入手困難である場合が多い。今後、ライフサイクルアセスメントを実用的なものにするためには、工場、企業単位でデータを整備し公開することが必要である。さらに、燃料種やエネルギーならびに原料の取扱方法、および単位系を統一し、データの出典、年度の明記等の規格化をすることが有益である。これらのデータ整備、規格化は世界各国の産業について行われるのが望ましい。各国の政府、産業界、研究機関等の研究者が協力し、自由に、簡便に、正確なライフサイクルアセスメントを行える環境を整えることが望まれる。

また、本試算には発電所の廃棄に関するデータが含まれていない。発電所の耐用期間を考えると、30年後の処理を想定することは困難である。また、ここで示した10MW級1基の発電量なら、全インドネシアの発電量の0.03%にすぎず、太陽電池発電所建設による電源構成の変化、および導入による素材の生産工程の変化は無視できる。しかし、長期間に大規模導入すれば、電源構成が変化し、また、使用する資材の生産工程も変化する可能性がある。現状のLCIの手法は、現在の産業構造の下で考え得る短期間に使用が終了する小規模生産製品に対する手法であると言える。太陽光発電システムのような、大規模で長期的視野を必要とするエネルギー技術に適用するために、今後、長期的な、また、大規模生産技術に対応する手法の開発が望まれる。

引用文献

- 1) 西山孝; 発展途上国インドネシアの資源を考える, エネルギー・資源, 15巻, 4号(1994), 393-398.
- 2) 平成5年度太陽エネルギー国際共同開発可能性調査(インドネシア)調査報告書(1994), p. 5, 財団法人エンジニアリング振興協会.
- 3) 太陽光発電技術の評価I(1993), CO₂と地球環境問題研究会(代表:小宮山宏).
- 4) 稲葉敦, 島谷哲, 田畑総一, 河村真一, 渋谷尚, 岩瀬嘉男, 加藤和彦, 角本輝充, 小島紀徳, 山田興一, 小宮山宏; 太陽光発電システムのエネルギー評価, 化学工学論文集, 19巻, 5号(1993), 809-817.
- 5) OEKOBILANZ VON PACKSTOFFEN STAND 1990, Schriftenreihe Umwelt Nr.132, herausgegeben vom Bundessamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, Februar (1991).
- 6) 小林光雄, 稲葉敦, 中山哲男; ライフサイクルアセスメントソフトウェア“NIRE-LCA”の開発, 日本エネルギー学会誌, 73巻, 12号(1994), 1075-1079.
- 7) 小林光雄, 稲葉敦, 中山哲男; “NIRE-LCA”によるアルミニウムの製造に及ぼす電源構成の影響, 日本エネルギー学会誌, 74巻, 1号(1995), 46-52.
- 8) 坂口康彦, 深井真, 荒谷復夫, 石崎正人, 河原哲郎, 吉谷川貢; シャフト式アーク炉を用いた炭素還元による高純度シリコンの製造, 鉄と鋼, 第77年, 10号(1991), 1656-1663.
- 9) 稲葉敦, 近藤康彦, 小林光雄, 喜多浩之, 高橋伸英, 野田優, 松本真太郎, 森田英基, 小宮山宏; 太陽光発電システムのライフサイクルインベントリ, 資源と環境, 4巻, 4号(1995), 321-334.
- 10) 化学便覧(応用化学編[1])(1986), 日本化学会.
- 11) 石油化学工業の現状(1992), 石油化学工業協会, p. 4.
- 12) ソーダ工業の現況(1993), p. 4, 日本ソーダ工業会.
- 13) ソーダハンドブック(1975), p. 89, 日本ソーダ工業会.
- 14) セメント・コンクリート, 534号(1991), p. 23.
- 15) INDUSTRIAL STATISTICS 1991, Survey of Manufacturing Industries Large and Midium(1992), Government of Indonesia.
- 16) 工藤拓毅; 日本エネルギー学会誌, 72下(1993), p. 501.
- 17) 銅および銅合金の基礎と工業技術(1988), p. 1, 日本伸銅協会.
- 18) 平成4年資源統計年報(1993), 通産統計協会.
- 19) 山本全作; 鉄と鋼, 80巻, 1号(1994), N-4.
- 20) 日本貿易月報1992年12月(1992), p. 177, 日本関税協会.
- 21) private communications.
- 22) アジアのエネルギー利用と地球環境(1992), 科学技術庁科学技術政策研究所編.
- 23) 安藤淳平; 世界の排煙浄化技術(1990), 石炭技術研究所.
- 24) 内山洋司, 山本博己; 発電プラントの温暖化影響分析—電力中央研究所報告Y91005(1992), 電力中央研究所.
- 25) 電気事業審議会需給部会中間報告, 平成6年6月.
- 26) Energy Statistics and Balances of Non-OECD countries(1992), OECD/IEA, Paris.
- 27) 湯浅俊昭, 高橋勝; 地球環境問題と電源構成, エネルギー経済, 17巻, 8号(1991), 27-39.
- 28) Simapro, the software tool to analyse and develop environmentally sound products(1993), Pre Consultants, Bergstraat 6, 3811 NH Amersfoort, The Netherlands.
- 29) 稲葉敦, 近藤康彦, 小林光雄, 喜多浩之, 高橋伸英, 野田優, 松本真太郎, 森田英基, 小宮山宏; 太陽光発電システムの導入によるCO₂削減効果, エネルギー・資源, 16巻, 5号(1995), 72-77.