

■ 研究論文 ■

産業連関表を用いた太陽光発電システムの エネルギーペイバックタイムの見積り

Estimation of Energy Payback Time of Solar Power Station Based on Input-Output Analysis

野村 昇*・赤井 誠**・稲葉 敦***
Noboru Nomura Makoto Akai Atsushi Inaba

山田 興一****・小宮山 宏*****
Koichi Yamada Hiroshi Komiyama

(1994年9月6日 原稿受理)

Abstract

The energy pay back time (EPT) of centralized solar power stations was estimated based on input-output analysis. In the estimation, electricity input was calculated considering technological view that is ignored in conventional input-output analysis.

The estimated EPT decreases from 9.36 years to 4.74 years as the annual production scale of photo voltaic module increases from 10MW/y to 100GW/y. Energy for the production of steel used for the base structure of the power station accounted for about a half of the total input energy to the system. Energy required to produce materials used in photo voltaic modules such as the cover glass and aluminum frame was revealed to hold a dominant part of the residual input energy. The results show that the reduction of the amount of materials used for the solar power station is the key to improve the energy performance of the system.

1. 緒言

太陽光発電システムは、再生可能エネルギー利用技術の有力な候補であり、資源の枯渇および地球環境問題の重要性が増している現在、その有効利用が期待されている。しかし、太陽光発電システムは出力に比べ相対的に設備が大型になり、設備建設のための投入エネルギーが大きくなるので、その有効性の検討のため、総投入エネルギーを利用可能な出力エネルギーと比較する必要がある。このための尺度として、毎年システムから得られる正味のエネルギーにより、システム建設時に投入されたエネルギーが回収される期間であるEPT (Energy Payback Time) がしばしば用いら

れる。本研究では、太陽光発電システムのEPTの推定を行い、その有効性の検討を行う。

EPTの推定を行うためには、システムで毎年得られるエネルギーの他に、システム建設時に投入されるエネルギーの総量を求めることが必要となる。エネルギーシステムの構築においては多種類の物資が投入されるので、システムを構築する投入エネルギーを推定するのは容易ではない。投入エネルギーの推定には、積上法と産業連関表を用いる方法の2種類の方法が知られている。積上法は、資源調査所の報告¹⁾などで用いられている方法で、発電システムに投入される物資を製造するのに必要なエネルギーを、その製造過程を廻り一つ々積み上げて行くものである。一方、産業連

* 工業技術院機械技術研究所物理情報部数理工学研究室
主任研究官

** " " エネルギー部熱工学研究室主任研究官
〒305 つくば市並木1-2

*** 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長
〒305 つくば市小野川16-3

**** 東京大学工学部地球環境工学講座教授

***** " 工学系化学システム工学専攻教授
〒113 東京都文京区本郷7-3-1

関表を用いる方法は、Bullard & Herendeen²⁾に依って提案された方法で、生産の波及によるエネルギー消費の波及を産業連関表から計算される逆行列係数を用いて推定する方法である。

積上法を用いると、エネルギー消費の経路を正確に追跡出来れば正確な投入エネルギー量の推定を行うことが出来るが、現実には複雑な経済システムの中で生産される物資へのエネルギー投入の形態を追跡することには限界がある。一方、産業連関表での解析では原理的には生産の誘発を全て含んで計算を行うことができる。

稲葉ら³⁾は、積み上げ法を用いて太陽光発電システムのEPTの推定を行い、その有効性を評価した。その推定に用いられた素材重量などは、化学工学会第1種研究会「CO₂と地球環境問題研究会」(以下CO₂研究会と略す)の報告⁴⁾にまとめられている。また、加藤ら⁵⁾は、この報告を基に積上法により、コスト評価を行っている。本報告では、産業連関表を用いたエネ

ルギー収支の計算を行いその結果を積上法と比較し、産業連関表を用いたエネルギーシステムの評価手法の特徴を考察する。

2. 評価対象とするシステム

CO₂研究会の報告書⁴⁾で想定されたシステムは、太陽電池モジュールを集中配置した発電所を建設し、発電された電力を商用電力系統に接続する方式である。したがって、太陽電池モジュール本体の他に、一般にBOS (Balance of System) と呼ばれる太陽電池モジュールの架台および変電設備がシステムに含まれ、蓄電設備は必要とされない。技術レベル、年間生産規模については、現在開発段階にあるがすぐに実行可能な技術レベルを想定した10MW/年のケースの他に、今後の技術進歩の度合を考慮した、1GW/年、および100GW/年の2つのケースについて試算されている。太陽電池モジュールとして、多結晶シリコン太陽電池モジュールおよびアモルファスシリコン太陽電池モジュール

表1 EPTの計算結果の概略

	CO ₂ 研究会の報告			本研究での試算値			両者の差			
	10MW/y	1GW/y	100GW/y	10MW/y	1GW/y	100GW/y	10MW/y	1GW/y	100GW/y	
シリコンプロセス										
素材	0.247	0.165	0.114	0.58	0.34	0.22	0.33	0.18	0.10	
装置	0.008	0.001	0.001	0.07	0.01	0.01	0.06	0.01	0.01	
ユーティリティ	1.091	0.497	0.316	1.09	0.49	0.31	0.00	-0.01	-0.01	
建屋	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
合計	1.346	0.663	0.431	1.74	0.84	0.53	0.39	0.18	0.10	
基板化										
素材	0.179	0.128	0.074	0.25	0.16	0.09	0.07	0.04	0.02	
装置	0.004	0.002	0.001	0.13	0.05	0.03	0.13	0.05	0.03	
ユーティリティ	0.370	0.155	0.068	0.38	0.16	0.07	0.01	0.00	0.00	
建屋	0.001	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
合計	0.554	0.286	0.114	0.76	0.38	0.19	0.20	0.09	0.08	
セル化										
素材	0.065	0.041	0.027	0.58	0.36	0.25	0.52	0.32	0.22	
装置	0.007	0.003	0.003	0.19	0.05	0.02	0.19	0.04	0.02	
ユーティリティ	0.210	0.104	0.058	0.21	0.10	0.06	0.00	0.00	0.00	
建屋	0.001	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
合計	0.282	0.148	0.089	0.99	0.51	0.33	0.71	0.36	0.24	
モジュール化										
素材	0.628	0.382	0.334	1.14	0.70	0.59	0.51	0.32	0.25	
装置	0.001	0.001	0.001	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
ユーティリティ	0.022	0.018	0.015	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	
建屋	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
合計	0.652	0.401	0.089	1.17	0.73	0.61	0.52	0.33	0.52	
BOS以外										
素材	1.120	0.716	0.334	2.55	1.57	1.15	1.43	0.85	0.81	
装置	0.019	0.007	0.001	0.41	0.12	0.07	0.39	0.12	0.07	
ユーティリティ	1.693	0.774	0.015	1.70	0.77	0.45	0.01	-0.01	0.43	
建屋	0.002	0.001	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
合計	2.834	1.498	0.350	4.66	2.46	1.66	1.83	0.96	1.31	
BOS										
架台	2.268	1.982	1.744	4.07	3.36	2.79	1.81	1.38	1.05	
インバータ等	0.062	0.064	0.067	0.27	0.11	0.04	0.21	0.04	-0.02	
工事	0.596	0.508	0.432	0.36	0.29	0.24	-0.24	-0.22	-0.19	
(BOS計)	2.926	2.555	2.244	4.70	3.76	3.07	1.77	1.20	0.90	
総合計	5.759	4.054	3.259	9.36	6.22	4.74	3.60	2.16	1.48	

ジュールが想定されているが、本報では産業連関表を用いた方法と積上法との相違を明確にすることを目的とし、前者のみを対象とする。

多結晶太陽電池モジュールの製造は、硅石を主原料とし、「水ガラス化」、「析出精製」、「還元」、「脱炭」の各工程を経てSOG (Solar Grade) シリコンを製造し、これをインゴットに「鑄造」した後、切断して「基板化」を行い、基板に不純物を拡散して半導体化する「セル化」、さらにガラスとアルミニウムでできたケースに封入する「モジュール化」の各工程を経ることによりなされる。

EPTはシステムへの投入エネルギー量を年間平均値に換算し、これを年間の正味の発電量で除することで得られる。太陽電池モジュールの製造のための直接的なエネルギーの投入は、太陽光発電モジュールの製造に使用される素材を製造するためのエネルギー、モジュール製造設備、建屋を製造、設置するためのエネルギーおよび製造設備の運転に必要なユーティリティの3つに大別できる。前掲の報告書では、素材の製造エネルギーおよびユーティリティについては、年間の使用量より算出し、設備の製造エネルギーは、耐用年数を10年として年平均の投入エネルギーを算出している。製造設備が収納される建屋についても耐用年数は40年として同様に扱われている。また発電所建設のための投入エネルギーは1年間に製造されるモジュールを使用して毎年1基の発電所が建設されるものとして算出されている。

一方年間の発電量は、太陽電池の稼働時間を1,200時間、太陽電池モジュールの出力を系統に接続するまでの効率を72%として産出電力量が計算される。

CO₂研究会の結果の概要を表1に示す。EPTは、生産規模が大きくなるに従って短くなり、5.8年から3.3年となっている。この結果は、従来の内山⁹⁾などの研究に比べやや短くなっている。さらに、内訳を調べると、BOSに投入されるエネルギーが全体の約半分を占め、BOS以外の部分については、素材およびユーティリティが半分ずつを占め、装置および建屋に対する投入エネルギーは小さいことが分かる。

3. 産業連関表による投入エネルギーの推定法

3.1 産業連関表からEPTを求める手順

産業連関表は、ある範囲（通常は一国の一年間）において生産活動にともない取り引きされた財貨の量を、生産部門を縦方向に、消費部門を横方向に分類して二

次元の表形式にまとめたものである。この表の各列を対応する部門の年間生産高で除すと、各部門の単位生産当たりに必要な財の投入量が得られる。これを投入係数と呼ぶ。これを行列Aと置き、各財の最終需要を並べたベクトルをy、各財の生産額を並べたベクトルをxと書くと、輸出入を考慮しない場合中間投入と最終需要との間に関係 $x = Ax + y$ が成立し、これを解くと、 $x = (I - A)^{-1}y$ となる、 $(I - A)^{-1}$ の第ij要素は、j財を1単位生産するのに必要なi財生産額を表していることになり、これを逆行列係数と呼ぶ。この係数を用いて、太陽光発電システムに投入する資材の生産のために必要になる物資の総量を推定できる。二次エネルギーは、その供給経路を遡ると最終的に一次エネルギーに行き着くので、必要な一次エネルギーの合計を求めることにより投入されるエネルギーの総量が求まる。

産業連関表では、全ての財貨、サービスが調査され、表の形にまとめられており、これから計算されるエネルギー投入の推定は原理的には生産の波及を全て含んでいることになる。特に、工場間の輸送など積上法では捨象される主たるプロセスでない場所でのエネルギー消費も簡単な計算を行うことにより自動的に含まれることになる。しかし、産業連関表では、わずか500程度の部門に全ての産業が分類されており、エネルギー収支分析には精度についての注意が必要である。

3.2 本研究での投入エネルギーの推定法

産業連関表でエネルギー収支を計算するためには逆行列係数を求めることが必要となるが、輸出入、電力

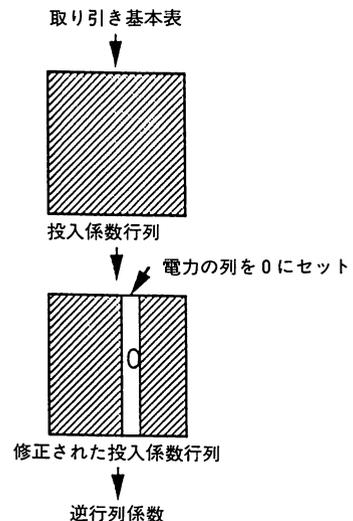


図-1 本研究における電力の取扱い

の扱いにより逆行列係数の補正が必要になる。輸出入を考慮しない $(I-A)^{-1}$ 型の逆行列係数には、国外で生産された物資も、国内で生産されたものと同様な扱いになる。輸出入を考慮した逆行列係数には、国内生産のみの変化を推定するための $(I-(I-M)A)^{-1}$ 型などがあるが、今回の解析では、国外で消費されたエネルギーも国内と同等に扱い、 $(I-A)^{-1}$ 型を用いることにした。

また電力については、商業的な発電方法として、水力、火力、原子力という性格の異なる技術が併存し、他の発電法と異なり火力発電では、化石燃料に生産が波及することになる。産業連関表を用いた通常の分析では、これを一元的に扱うため、電力の換算に電源構成が影響し、積上法との比較が困難である。ここでは図-1に示すように電力から他の産業への波及がないよ

うに投入係数行列の電力に対応する列を全て零に入れ換える修正をした後に逆行列係数を算出した後、電力を一次エネルギーと同等に扱った。

電力の熱量値への換算には、「総合エネルギー統計」¹⁷⁾で示されている2250kcal/kWhという換算係数を用いた。これは発電効率38%に相当する。また、燃料の熱量換算には高位発熱量を用いた。

通常の産業連関表を用いた分析は、フローの解析を目的にしているため、耐用年数1年以上で10万円以上の物件は、固定資本形成として計上され、逆行列係数の計算に反映されない。しかし、今回の計算は、太陽光発電システムを製造するに当たって必要となる投入エネルギーの総量を求める必要があるため、固定資本の形成に必要な投入エネルギーを考慮しないのは計算の一貫性に欠ける。そこで、通常の逆行列係数の計算

表2 産業連関表の適用分類一覧表

投入の分類	産業連関表に対応させた分類名	コスト合計(百万円)		
		10MW/y	1GW/y	100GW/y
炭酸ナトリウム	その他無機化学工業製品	12.3	809.0	54,400.0
鉍酸	硫酸	21.0	1,390.0	93,600.0
石灰石	石灰石	19.2	830.0	56,400.0
アセチレンブラック	カーボンブラック	105.0	6,530.0	413,000.0
レゾール	その他石油化学系芳香族製品	38.8	2,420.0	153,000.0
アルゴン	圧縮ガス、液化ガス	11.6	635.0	42,700.0
ノズル用黒鉛	カーボンブラック	2.7	124.0	7,600.0
黒鉛電極	カーボンブラック	13.7	622.0	38,000.0
シリコンカーバイト砥粒	研磨剤	189.0	12,870.0	675,000.0
切断用ピアノ線	金属線製品	68.0	4,400.0	290,000.0
水酸化カリウム	その他無機化学工業製品	5.5	345.0	24,000.0
イソプロピルアルコール	合成アルコール類	13.5	852.0	59,400.0
DI水	上水道、簡易水道	11.0	691.0	48,200.0
POCl ₃	その他無機化学工業製品	16.4	1,040.0	72,200.0
N ₂ /O ₂	圧縮、液化ガス	10.1	632.5	44,403.0
石英管	その他のガラス製品	11.0	694.0	48,400.0
石英ホルダ	その他のガラス製品	7.3	463.0	32,200.0
TPT	その他無機化学工業製品	4.6	289.0	20,100.0
スクリーン	アルミ圧延製品	28.5	1,795.0	125,100.0
Ag-Alペースト	アルミニウム	151.0	9,540.0	664,000.0
キセノンランプ	電球類	3.4	212.0	14,800.0
ケース	その他金属製品	0.4	22.1	1,540.0
テフロン治具	工業用プラスチック製品	54.6	1,960.0	67,800.0
板ガラス	安全ガラス、積層ガラス	506.0	26,200.0	2,190,000.0
アルミ枠	アルミ圧延製品	97.0	5,280.0	445,000.0
配線材料(銅)	銅電線	7.7	639.0	53,500.0
充填剤(EVA)	工業用プラスチック製品	92.2	7,630.0	638,000.0
テドラ(PVF)	工業用プラスチック製品	12.7	1,050.0	87,800.0
アルミシート	アルミ圧延製品	7.7	634.5	53,104.4
裏面シール(モジュール化)	工業用プラスチック製品	174.0	14,400.0	1,210,000.0
周辺シール(ブチルゴム)	合成ゴム	9.3	770.0	64,400.0
建屋	非住宅新築、非木造	7.3	273.2	17,982.1
製造装置	化学機械	441.6	13,263.1	796,699.7
煉瓦	耐火物	23.6	600.0	34,800.0
重油	重油	5.4	353.6	23,816.0
電力	電力	159.3	7,058.1	403,333.2
上水	工業用水	1.3	48.0	3,202.0
塩素	その他ソーダ工業製品	2.4	160.0	10,700.0
水酸化ナトリウム	か性ソーダ	5.5	363.0	24,400.0
架台	普通鋼型鋳	1,270.0	107,000.0	8,880,000.0
インバータ	開閉制御装置及び配電盤	320.0	12,700.0	507,000.0
制御装置	開閉制御装置及び配電盤	16.6	663.0	26,400.0
設置工事	その他土木建設	424.0	35,600.0	2,960,000.0
(合計)		4,382.04	283,851.14	21,475,980.36

の前に、減価償却費を産業連関表の付帯表で与えられている固定資本形成マトリクスの比率で中間投入部分に割り戻す処理を行った。なお、太陽電池を作るための製造装置については、産業連関表を用いる計算の前に前述したように、別途これを計算している。

以上の計算を、昭和60年の日本の産業連関表の基本分類の表について行った。このとき行部門、列部門で分類が異なるものについては比例配分で分類をそろえ、最終的に部門数は531となった。

これらの手法は、著者らが再生可能エネルギー輸送システムの利用技術を評価するために用いた手法^{8,9)}と同様である。

以上の処理で、コスト100万円当たりの投入エネルギー量を求めることができるので、これを用いて投入エネルギーの総量を推定するためには、太陽光発電システム製造のコストを得る必要がある。今回の計算では、原則的に報告書¹⁾から価格データを引用し、同様に3つの生産規模と技術水準についてEPTの試算を行った。コストは、素材、装置、ユーティリティ、建屋、人件費から成るが、今回は人件費については無視することにし、素材には、報告に掲載されている年間費用をそのまま用いた。

一方、製造装置および建屋については、CO₂研究会の報告ではコストと投入エネルギーと異なる算出法を採用していたが、ここでは資本費などの経済性よりもエネルギー収支を重視しているので、報告書のコストの値をそのまま用いることはせず、設備寿命の期間を

考慮して毎年のコストを算出し直した。また、ユーティリティのうち、電力については電力量が報告で計算されているので、この値を価格に換算することなく上述した手法で算出される中間投入の電力と合算することにした。

本研究で対象とした太陽光発電システムに必要とされる資材および用役とそれらの産業連関表の分類への対応、及びその金額を表2に示す。

4. 試算結果および考察

4.1 推定結果

産業連関表を用いて行ったEPTの計算結果をCO₂研究会の結果と比較して表1に示す。どの生産規模でも積上法と比べ4割程度EPTが長くなる結果が得られた。太陽光発電システムへの投入エネルギーの多くの部分は、BOSと素材製造のために使われるという傾向は、今回の試算でもCO₂研究会の結果と同様である。これは、特に炉を用い熱を大量に消費する製鉄やガラス、電力を大量に消費するアルミニウムに必要な投入エネルギーが大きいことによる。したがって、太陽光発電システムを利用するためには、太陽電池セルの半導体部分の研究開発とともに、システム構成のために必要な、架台、カバーガラスなどの材料の使用量を削減することが重要になる。

ユーティリティについては、両者の推定は殆ど差がない。これは本報告では、その大部分を占める電力量に積上法と同様の値を使用していることによる。また、

表3 セル化の素材投入の詳細

プロセス	投入財	エネルギー投入 (Gcal/year)			EPT		
		10MW/y	1GW/y	100GW/y	10MW/y	1GW/y	100GW/y
テクスチャエッチング	水酸化カリウム	122.88	7,746.83	538,716.20	0.006	0.004	0.003
	イソプロピルアルコール	460.98	29,064.99	2,027,790.00	0.024	0.015	0.010
隣拡散	DI水	75.55	4,750.20	331,695.00	0.004	0.002	0.002
	POCl ₃	730.16	46,302.88	3,214,488.40	0.038	0.024	0.017
	N ₂ /O ₂	1.17	73.84	5,138.67	0.000	0.000	0.000
	石英管	264.36	16,678.90	1,163,197.20	0.014	0.009	0.006
	石英ホルダ	176.16	11,127.28	773,862.60	0.009	0.006	0.004
CVD	DI水	75.14	4,729.73	329,647.50	0.004	0.002	0.002
	TPT	203.91	12,866.86	894,892.20	0.011	0.007	0.005
	裏面エッチング	KOH	120.65	7,613.26	529,811.80	0.006	0.004
裏面電極印刷焼成	IPA	451.52	28,524.25	1,987,234.20	0.024	0.015	0.010
	DI水	73.91	4,668.30	325,552.50	0.004	0.002	0.002
	スクリーン	425.00	26,807.44	1,869,388.00	0.022	0.014	0.010
受光面電極印刷焼成	Ag-Alペースト	4,613.20	291,554.24	20,298,080.00	0.242	0.150	0.104
	N ₂ /O ₂	181.10	11,125.47	793,251.00	0.010	0.006	0.004
	スクリーン	422.02	26,539.96	1,848,584.00	0.022	0.014	0.010
セル特製検査	Ag-Alペースト	2,352.73	148,545.04	10,333,568.00	0.124	0.076	0.053
	N ₂ /O ₂	322.29	20,355.12	1,416,876.00	0.017	0.010	0.007
	ケース	46.98	2,963.97	206,918.80	0.002	0.002	0.001
セル特製検査	ケース	6.76	425.34	29,638.84	0.000	0.000	0.000
	合計	11,126.49	702,463.89	48,918,330.91	0.585	0.361	0.252

表4 モジュール化の素材投入の詳細

	エネルギー投入 (Gcal/year)			EPT		
	10MW/y	1 GW/y	100GW/y	10MW/y	1 GW/y	100GW/y
板ガラス	11,204.36	580,146.60	48,493,170.00	0.589	0.298	0.249
アルミ枠	2,882.84	156,921.60	13,225,400.00	0.151	0.081	0.068
配線材料(銅)	143.90	11,910.96	997,240.00	0.008	0.006	0.005
充填剤(EVA)	2,183.20	180,670.77	15,107,202.00	0.115	0.093	0.078
テドラ(PVF)	300.72	24,862.95	2,079,016.20	0.016	0.013	0.011
アルミシート	227.93	18,856.25	1,578,261.57	0.012	0.010	0.008
裏面シール	4,120.15	340,977.60	28,651,590.00	0.216	0.175	0.147
周辺シール(ブチルゴム)	573.16	47,455.10	3,968,972.00	0.030	0.024	0.020
合計	21,636.26	1,361,801.83	114,100,851.77	1.137	0.701	0.587

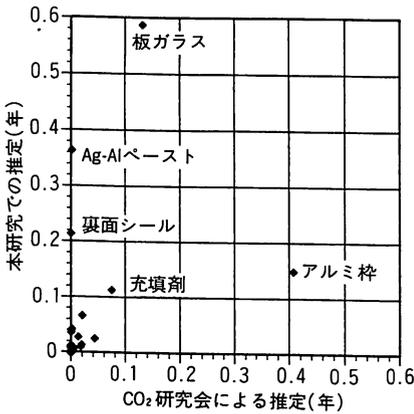


図-2 セル化・モジュール化投入素材EPT

建屋についても値は変化せず、また耐用年数が長いこともあり絶対値が小さく、建屋が全体のEPTに与える影響は小さい。

EPT自体の値に対する影響は小さいが、太陽電池モジュールを製造するための設備製造の投入エネルギーがCO₂研究会の推算と大きく異なった。このことについては4.4節で議論する。

4.2 モジュール製造までの投入の比較

表1からは、10MW/年のケースでは、モジュール製造までのEPTは、投入エネルギー量のCO₂研究会の報告において2.83年が本研究では4.66年であり、その差は1.83年となっている。なかでも、セル化とモジュール化の素材の投入エネルギーの差が1.03年でありこれが両者の差の大きな部分を占める。表3、表4にセル化、モジュール化工程での素材の投入エネルギーの詳細を示す。10MW/年のケースでは、セル化工程で裏面および受光面電極に使用する銀アルミペーストによるEPTが計0.366年、モジュール化工程のガラスが0.589年、アルミ枠が0.151年、裏面シールが0.216年であり、これらの総計は1.32年となり、本研究のセル化およびモジュール化の素材によるEPTである1.72

年の77%を占める。図-2にセル化およびモジュール化の素材の投入エネルギー量をCO₂研究会の結果と今回の試算とを対比して示す。今回の試算では、ガラスによる投入エネルギーが大きい。CO₂研究会でのガラスのコスト見積りは、エネルギー原単位と比べ高すぎるものと考えられる。また、アルミ枠の投入エネルギーの今回の試算は、CO₂研究会のそれより小さいのは、産業連関表を用いた解析では、再生アルミニウムが大部分である我が国の状況が反映されるためである。アルミニウムのエネルギー原単位を地金製造を基礎として通常の積上法で求めることには、再生アルミの使用が考慮されていないことになる。さらに銀アルミペースト、裏面シール材料は、CO₂研究会では投入エネルギーが計上されていない。これは、研究会ではこの部分のエネルギー投入は必ずしも多くないと判断したことによると考えられる。産業連関表を用いた解析では銀アルミペースト、裏面シールは、10MW/年の場合で、それぞれ0.37年、0.22年EPTを延ばす結果となっている。これは、産業連関表を用いた解析では、同じ分類項目内の物資は、エネルギー投入量の見積りが価格に比例するので、銀などの貴金属が含まれる資材は貴金属が高価であるため、投入エネルギーが大きく計算される傾向があることを示している。

4.3 BOSの比較

投入エネルギーの約半分は、BOSへの投入となっている。全体の投入エネルギーのBOSへの投入の比率は、CO₂研究会と今回の試算とでは大差はなかった。その中身について調べてみると、架台、工事については、今回の試算は研究会の報告より大きめの値がでる傾向があり、インバータなどの電気機器については、スケールが小さい時は今回の試算の方が大きめの値が算出され、スケールメリットによりコストが相対的に小さくなる大規模な製造を仮定した場合には小さめの値がでる傾向があった。架台は鉄製でかつ使用量が

大きいので、その投入エネルギーは10MW/年のケースでEPTが4.1~2.8と大きい。今回は、架台のコストに対して普通鋼を適用して投入エネルギーの見積りを行った。産業連関表を用いてエネルギー解析を行う場合、普通鋼は投入エネルギーと比較して単価が安価であるため、これを適用すると架台についての投入エネルギーは大きなものとなる。しかし、架台組み立てのコストが含まれる鉄製品として扱うと10MW/年のケースでは架台の投入エネルギーのEPTは1.3~0.9年となる。コストから投入エネルギーを算出する産業連関表では、各素材をどの部門に割り振るかが重要となる。推定をより正確に行うためには、コストのより詳細な内訳が必要であるが、今回はこれを得ることができなかった。実質的なEPTの値は、普通鋼を用いて推定した値とその他金属製品を用いて推定した値の間中と考えると考えられる。

4.4 装置の製造エネルギー

製造装置を作るための投入エネルギーは、今回の試算においても、CO₂研究会の推定と同様に素材の製造やBOSの投入に比べて無視できるほど小さくなるという結果が得られた。しかし両者の比率をとると10倍以上開きがある。これは、製造装置についての投入エネルギーは、CO₂研究会においては、装置の重量を見積り、その重量の鉄を製造するエネルギーを見積もることにより装置の製造エネルギーを推定しているのに対し、コストは専門家の推定によっているもので、算出根拠が大きく異なることによる。本報告では、装置の

製造エネルギーは化学機械の製造に必要なエネルギーで見積もっている。機械のエネルギー集約度の内訳のなかで、鉄の製造に必要なエネルギーの量を概算して表5に示す。この表は、産業連関表でエネルギー原単位を求めるための基本となる投入係数行列を電力の扱いで行ったように修正し、鉄鋼製品（部門コード2621011~2631099）からの生産の波及がない様にしてエネルギー集約度を計算したものを、通常値と比較したものである。この表から、化学機械を製造するために必要となるエネルギーの半分以上は、鉄を造るため以外に必要なことが分かる。したがって、装置の質量から投入エネルギーを求める方法は、有効な方法であるが鉄を造る以外のエネルギーも無視し得ないことが分かる。

5. 結言

産業連関表を用いて、太陽光発電システムの製造時の投入エネルギーを推定し、集中系統連系型の太陽光発電システムのエネルギーペイバックタイム（EPT）の試算を行った。その際、電力のエネルギー換算については、より換算係数が明確になるように逆行列係数の補正を行った。試算の結果、CO₂研究会により報告されている積み上げ法により大きめな値が得られた。今回計算したEPTがCO₂研究会の報告より大きくなる傾向があったのは、間接的な投入エネルギーが無視し得ないことを示している

また投入エネルギーの主要な部分は、限られた数の素材で占められる傾向があるので、この部分のより精密な見積りを行うことがエネルギーペイバックタイムの推算をより正確にするために重要である。さらに、太陽光発電を実用化するためには、この様な少数のエネルギーを大量に消費する素材の使用量を減らす設計が、太陽電池セルの改良と同等に重要である。

また、装置を作るための投入エネルギーの内、鉄が占めるエネルギーの比率の見積りを行い鉄以外の要素も無視し得ないことが分かった。

参考文献

- 1) 科学技術庁資源調査会報告第38号「エネルギー収支からみた自然エネルギー利用技術の評価手法に関する調査報告」(1982), 科学技術庁資源調査会。
- 2) Bullard, C. W. and Herendeen, R. A ; Energy Impact of Consumption Decisions, Proc. IEEE Vol. 63, No. 3 (1975), 484-493.
- 3) 稲葉敦, 他10名; 太陽光発電システムのエネルギー評価,

表5 鉄へのエネルギー投入を除いたときのエネルギー集約度 (Gcal/Myen)

	通常 の値	鉄波及 カット後の値	カット後 の比率
ボイラー・タービン	13.83	6.52	0.47
原動機	14.08	6.87	0.49
運搬機械	13.60	6.47	0.48
冷凍機・温湿調整装置	13.94	8.23	0.59
ポンプ及び圧縮機	15.16	6.46	0.43
ミシン・毛糸手編機械	13.53	5.65	0.42
機械工具	19.95	11.08	0.56
その他の一般産業機械 及び装置	14.52	7.35	0.51
鉱山・土木建設機械	14.74	7.64	0.52
化学機械	13.32	7.12	0.53
産業用ロボット	11.66	7.03	0.60
金属工作機械	11.67	6.46	0.55
金属加工機械	15.40	6.33	0.41
農業機械	16.07	7.43	0.46
繊維機械	15.57	10.25	0.66
食料品加工機械	14.21	6.50	0.46

- 化学工学会論文集, 19巻5号(1993), 809-817.
- 4) 化学工学会第1種研究会「CO₂と地球環境問題研究会」;
太陽光発電技術の評価(1993).
- 5) 加藤和彦, 他10名; 太陽光発電システムの経済性評価,
化学工学会論文集 第20巻第2号(1994), 261-267.
- 6) 内山洋司, 山本博巳; 発電プラントのエネルギー収支分
析, 電力中央研究所報告(1991), Y900015.
- 7) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課編; 総合エネルギー
統計, 通商産業研究社.
- 8) 赤井誠, 野村昇, 山下巖; エネルギー収支分析に基づく
再生可能エネルギー利用技術の評価, 日本機械学会論文
集 59巻565号B編(1993), 2681-2688.
- 9) 野村昇, 赤井誠, 山下巖; 産業連関表によるエネルギー
原単位および消費構造の推定, 機械技術研究所所報48巻
2号(1994), 34-51.

後援行事ごあんない

「第5回地球環境産業技術動向調査報告会」

1. 主催 (財)地球環境産業技術研究機構,
新エネルギー・産業技術総合開発機構
2. 後援 (財)日本化学会, (財)化学工学会 他
3. 日時
京都 ①平成7年11月8日(水) 13:00~17:00
東京 ②平成7年11月17日(金) 13:00~18:00
広島 ③平成7年11月21日(火) 13:00~17:00
4. 会場 (定員)
京都 けいはんな都ホテル
(京都府相楽郡精華町) (150名)
東京 日本薬学会長井記念ホール (230名)
広島 八丁堀シャンテ (150名)
5. プログラム
①地球再生計画に関する調査
②大規模緑化の構築に関する調査(水資源確保)
③化学工業製品におけるトータルエコバランスの
分析手法に関する調査
④環境にやさしい化学プロセス(エコケミストリー)
に関する調査
⑤生物機能を利用した木質資源の有用生産技術
(リグノバイオプロセス)に関する調査

■問い合わせ先

(財)地球環境産業技術研究機構 企画調査部

〒619-02 京都府相楽郡木津町木津川台9-2, Tel 07747-5-2301 Fax 07747-5-2314