

最終処分を考慮した太陽光発電の LCA

環境計画研究室 古橋弘至

1. はじめに

エネルギー価格の高騰、地球温暖化問題への対応の重要性が高まる中、輸入依存度が低く、しかも CO2 排出量の少ない新エネルギーへの期待が高まっている。新エネルギーの中で、特に大きな伸びを示しているのが太陽光発電である。

こうしたなか、太陽光発電システム(PV システム)の廃棄に関わる環境評価の現状を知るため、既存の PV システムにおける LCA(Life cycle assessment)をレビューした。LCA とは、製造から廃棄に至るまでの費用・負荷の計上である。しかし、既存の PV システムの LCA では廃棄における費用・負荷の計算が十分とはいえない。例えば、廃棄過程の計算内容がリサイクルまでにとどまっており、最終処分における計算がなされていない。

太陽光パネルの耐用年数は一般に 20~25 年と長く、廃棄物の量は数年先から加速度的に増える。環境省によると、2030 年に年間 25 万~70 万トンが廃棄される見通しが発表された。また最終処分場の残余年数は 13.6 年分しかない。全国産業廃棄物の排出量のうち 4.8% が最終処分量だが、その量は前年度より 0.4% 増加している。近い将来、加速度的に増える PV システムの廃棄量が現在でさえ逼迫している最終処分場に追い打ちをかける恐れがある。

本研究では廃棄における費用・負荷の計上を既存の PV システムにおける LCA に新たに追加することにより、製造から廃棄までの LCA を実施した。また、これにより見積られる廃棄物量が、逼迫している最終処分場へ及ぼす影響も評価した。

2. 研究方法

LCA において重要となることの費用・負荷の計上範囲の設定である。そこで本研究における境界線を図 1 に示す。また PV システム、LCA の数値は Garcia(2009)を主に参考にした。これらの数値は日本においても適用可能だと判断した。

本研究における LCA では、PV システムの寿命を 20

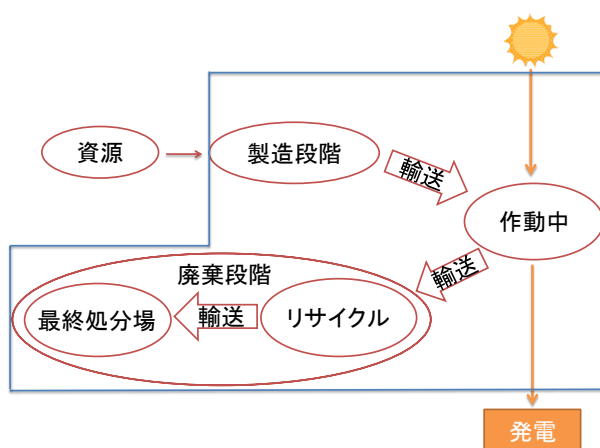


図 1 本研究の LCA, LCCA 費用・負荷計上範囲

年とした。リサイクル対象となる機器は、PV モジュールフレーム、架台、ケーブル、それぞれのリサイクル率を 35%、50%、90%、43%とした。これらはその製品の何%が廃棄品からリサイクルされて製造されたかを示す数値である。リサイクル製品については、リサイクルに関わる消費エネルギーを考慮に入れた。リサイクル率分を除いた重量を新製品として製造されるものとした。リサイクル率を有する機器の製造におけるエネルギー消費原単位は、新製品からの製造と廃棄品からの製造と二つを有することとなる。

作動中のエネルギー消費量は少なく、また PV システム自体で生産される電力で補われるので、作動中に消費されるエネルギーは考えないものとした。

PV システムの各構成機器の輸送距離について、PV モジュール、インバータとチャージレギュレータの製造場所から作動場所への輸送距離は 370km とした。架台とケーブルの製造場所から作動場所への輸送距離は 50km とした。作動終了後の PV システムは全て、リサイクルのために中間処理場に輸送されると想定した。作動場所から中間処理場への距離は 50km とした。中間処理場から最終処分場までの距離は 69km とした。

2.1 製造からリサイクルのライフサイクルエネルギー

ライフサイクルエネルギーにおいて参考とする PV システムの構成機器を表 1 に示す。

廃棄品のリサイクル段階における工程は、リサイクルから製品の製造までを考慮した。この工程の消費エネルギー原単位は、製造段階において考慮した、リサイクル資源から製造される消費エネルギー原単位と同じとした。Garcia(2009)の報告における 4.2kWp システムの各構成機器の消費エネルギー原単位を表 2 に示す。輸送における消費エネルギー原単位は 0.41MJ/t・km とした。

表 1 4.2kWp PV システムの構成材料と重量

構成機器	素材	重量(kg)
PVモジュール	単結晶シリコン, EVA*, TEDLAR**	400
PVモジュール フレーム	アルミニウム	60
チャージレギュレータ	Mixed	5
インバータ	Mixed	25
架台	亜鉛メッキ鋼	562.07
ケーブル	銅	44.05
合計		5920.12

*ethylene-vinyl acetate 酢酸ビニル
**ポリビニールフッ化物フィルム

表 2 製造時消費エネルギー原単位

構成機器	新製品	リサイクル製品
PVモジュール	13.19MWhth/kWp	-
PVモジュール フレーム	41.7kWhth/kg	2.08kWhth/kg
チャージレギュレータ	277kWhth/kWel	-
インバータ	277kWhth/kWel	-
亜鉛メッキ鋼板	9.72kWhth/kg	2.5kWhth/kg
ケーブル	19.44kWhth/kg	13.9kWhth/kg

2.2 最終処分場のライフサイクルエネルギー

最終処分場における LCA は管理型処分場を仮想した。最終処分場の使用期間は 17 年とした。最終処分場のエネルギー消費量は、各施設電力使用量、各施設・重機の燃料使用量、各施設における土木・建築工事、浸出水処理施設維持、重機製造、それらの合計とした。

仮想最終処分場を廃棄 PV システムで満たしたと考えて、廃棄に関わるエネルギー消費量などを求めた。1kWp あたりで廃棄される重量と容量を換算する必要があることから、対象となる廃棄物の比重を、Garcia(2009)で使用された 4.2kWp の PV システムに適用し、廃棄容積を算出した。その結果、1kWp の PV システムにおける廃棄物量は、0.06 m³/kWp、0.16 t/kWp となった。

2.3 最終処分場への影響

2.1 で得られた PV システム廃棄量が、年々逼迫している最終処分場に及ぼす影響をみるために PV システム廃棄量を予測した。PV システムの将来普及を Bass モデルにて予測し、製品寿命を考慮して廃棄物量を求めた。得られた廃棄物量予測のグラフを図 2 に示した。予測した廃棄量を用いて、平成 22 年度に発表された最終処分残余容量(m³)に及ぼす影響を評価した。また最終処分場残余容量を残余年数で除した値を、最終処分場の年間廃棄物受け入れ可能容量とした。これを用いて、毎年度の PV システムの廃棄量が年間廃棄物受け入れ可能容量を占める割合を算出した。

3. 結果と考察

3.1 PV システムのライフサイクルエネルギー

計算結果は 1kWp あたりの PV システムに換算して各段階のエネルギー消費量を比較した。2.1 で製造か

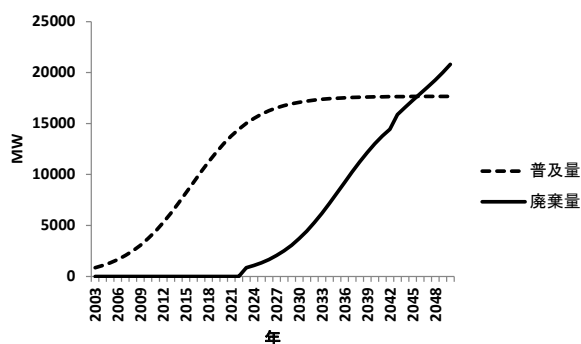


図 2 普及量と廃棄量予測

表 3 各段階における消費エネルギー

段階	1kWpあたり(MWhth)
製造	14.68
輸送	0.01
リサイクル	0.51
廃棄	0.15
合計	15.34

ら廃棄までの全消費エネルギーを、その PV システム自体の年間発電量で除することにより算出される値が Energy pay back time(以下 EPBT)である。製造から廃棄までに消費したエネルギーを何年で回収することができるかという目安となる値である。各段階での消費エネルギーを表 3 に示す。

製造から廃棄までの全消費エネルギーは 15.34 MWh_{th}であった。EPBT は次式で算出される。

$$EPBT = E_{EMB.th} \eta_{th-el} / E_{USE.el} \quad (1)$$

$E_{EMB.th}$ は製造から廃棄までの全消費エネルギー。 η_{th-el} は熱電気変換効率=35%。 $E_{USE.el}$: PV システム年間生産エネルギーである。Garcia(2009)を参考にすると 1kWp システムあたりの年間発電量を 1.20MWh_{th}/年とした。式(1)より、EPBT は 4.47 年となった。

最終処分における消費エネルギーは製造から廃棄までの全消費エネルギーの 0.96%となった。リサイクル段階と廃棄段階を合わせた割合は、Garcia(2009)での廃棄段階のエネルギーの 2 倍に近い値となった。本研究では廃棄に関わる消費エネルギーを詳細に求めたが、結果として、PV システム全体の LCA における廃棄工程に関わるエネルギー量は小さいものであった。

3.2 最終処分場への影響

PV システム廃棄量予測を行い、2050 年までの累積廃棄量が、現時点の最終処分残余容量の約 0.8%を占める結果を得た。また単年でみると、PV システム廃棄量は最終処分場における年間受け入れ可能容量の 1%にも満たなかった。この結果より、廃棄される PV システムが最終処分残余容量に及ぼす影響は小さいものであることがわかった。

4. まとめ

最終処分における消費エネルギーは全消費エネルギーに対して 0.96%となった。そのほか、コストおよび二酸化炭素排出量の LCA を行ったが、最終処分の全体に対する影響は 0.18%、0.31%と評価された。PV システムの廃棄量を予測し、2050 年までの累積廃棄量が、最終処分残余容量の約 0.8%を占める結果を得た。PV システムの廃棄について、廃棄に関わるエネルギー消費量、コストおよび二酸化炭素排出量は僅かであり、また、最終処分場へ及ぼす量的な影響も小さいことを確認した。

参考文献

Garcia, R., Miguel, C., Martinez, R., (2009). Life cycle assessment study of a 4.2 kWp stand-alone photovoltaic system. Solar Energy , No.83, pp.1434-1445