

No.01 ー太陽光発電材料ー

調査責任者 一般社団法人日本化学工業協会

1. 調査の目的

太陽電池は、太陽光のエネルギーを半導体の原理を利用して直接電気エネルギーに変える装置であり、電力を直流から交流に変えるパワーコンディショナーや屋根に設置するための架台などを含めて、太陽光発電システムと呼ばれる。

太陽光発電システムはどのような場所でも発電が可能で、規模を自由に選べるシステムであり、一般の住宅に導入することも可能であることから、さらなる普及が期待される。また、化石資源の枯渇や地球温暖化といった環境問題が顕在化しつつあり、これらの問題を解決するための重要な技術として、「太陽光発電」には大きな期待がよせられている。本事例は太陽光発電の CO₂ 排出削減貢献量を定量的に把握するために eLCA による評価を行った。

①CO₂ 排出削減貢献の内容

化石燃料を使用しないため発電時に CO₂ の排出がない。

②太陽電池の種類と特徴

- ・ 結晶シリコン系:現在の主流、高い変換効率を実現、最も多く流通
- ・ 薄膜シリコン系:低コスト
- ・ 化合物半導体系:シリコン未使用、さらなる低コスト・変換効率向上を期待

③発電効率(太陽光エネルギーを電気エネルギーに変換する効率)

- ・ 現在:結晶シリコン系でのモジュール効率¹⁾ ~16%程度
- ・ 将来:2025年の目標 -NEDOの技術開発ロードマップ-

結晶シリコン系 25%

化合物系 40%

④太陽光発電システムに使用される化学製品例

太陽電池はモジュールを構成する材料のうち、多結晶シリコン、バックシート(樹脂)、封止材(樹脂)が主たる化学品であり、これらの材料を算定の対象とした。

- ・ 多結晶 Si、Si ウェハ、SiH₄ ガス
- ・ 太陽電池用封止材(エチレン酢酸ビニルコポリマー、フェノール樹脂)
- ・ 太陽電池用バックシート(ポリフッ化ビニル、PET)
- ・ 各種薬品(洗浄液、レジスト剥離剤)
- ・ ジエチル亜鉛、BCl₃、CVD 材料

- ・ インバータ向けセラミックス基板、ヒートシンク

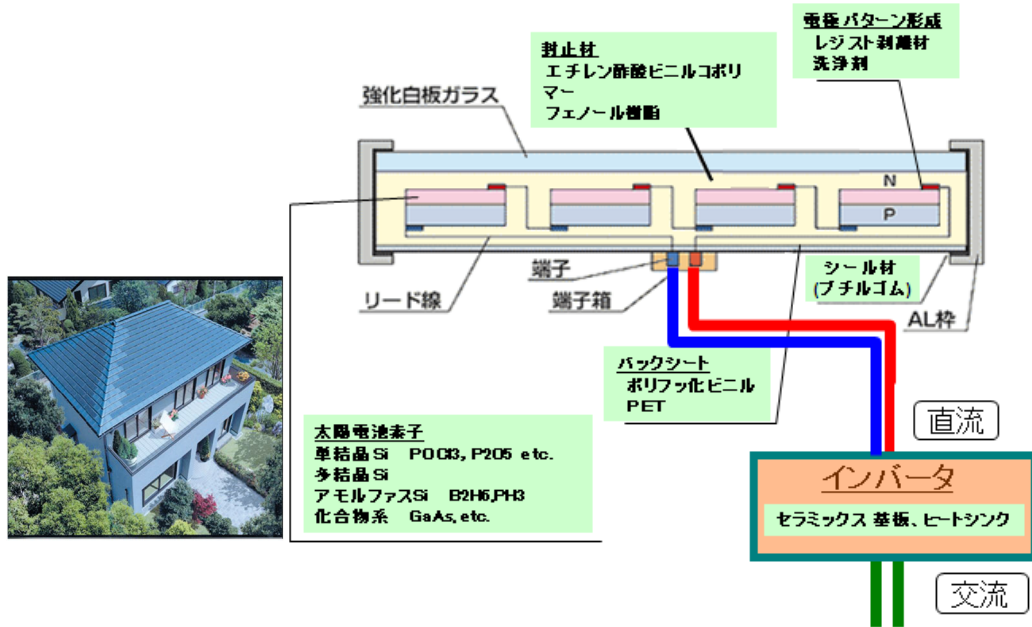


図 1-1. 太陽光発電システム構造例

2. バリューチェーンにおけるレベル

本事例は太陽光発電と公共電力(全国の平均)との比較評価を行ったものである。本事例のバリューチェーンを下图に示す。

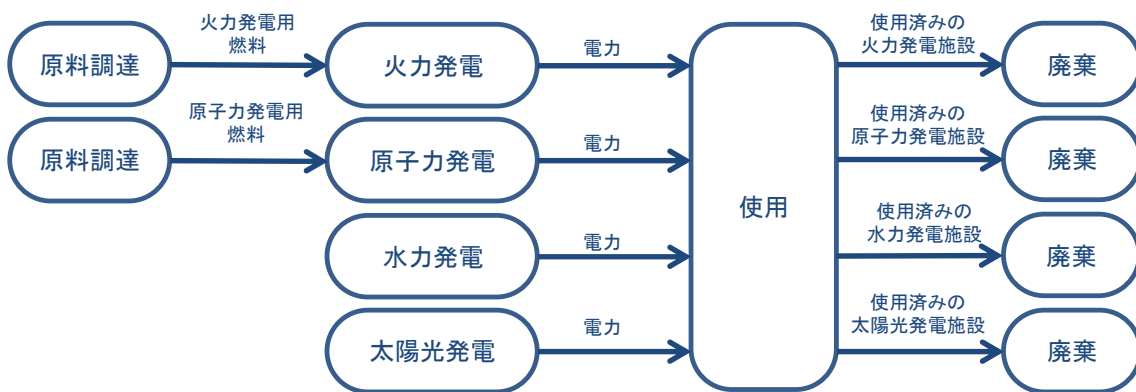


図 1-2. 本事例のバリューチェーン

3. 製品の比較

本事例は、電力を生産する際の CO₂ 排出を評価したものである。評価対象製品は太陽光発電による電力の生産、比較製品は公共電力(全国の平均)による電力の生産である。どちらの発電もライフサイクルを考慮して CO₂ 排出量を算定している。評価対象製品の太陽光発電は発電時に CO₂ が発生しないため、公共電力(全国の平均)と比べて排出される CO₂ が少なくなる。

株式会社日本資源総合システムの「日本市場における 2030/2050 年に向けた太陽光発電導入量予測(2019~20 年版)」によると、2018 年の年間導入量²⁾は 7,460MW である。同報告書では、現状で想定されている技術開発、導入施策、エネルギー政策が進む状況を想定した場合の 2030 年における年間導入量は 7,800MW(DC ベース)と予測している。「8. 今後の予測」を参照)

表 1-1. 評価対象製品と比較製品

評価対象製品	比較製品
太陽光発電によって生産された電力	公共電力(全国平均)

本事例による CO₂ 排出削減貢献量は、評価対象製品が存在しなければ比較製品を使い続けていたとみなし、「評価対象製品が普及したことによって、比較製品を使い続けた場合よりも削減された CO₂ 排出量」を表現している。

4. 機能単位

4.1 機能及び機能単位の詳細

本事例は太陽光発電によって生産された電力と公共電力(全国平均)の比較であり、発電方式に違いがあるため、ライフサイクルにおける CO₂ 排出量に差が生じる。発電された電力の機能は同じであり、機能単位は電力 1kWh とした。

太陽光によって発電された電力を使用することによって便益を受けるユーザーは電力の利用者である。

・機能

電力の生産(発電)

・機能単位

電力 1kWh の発電(東京)

・便益を受けるユーザー

電力の利用者

4.2 品質要件

評価対象製品は太陽光発電システムを用いて電力の生産を行うものである。現在、結晶シリコン系でのモジュール効率は16%程度¹⁾であり、NEDOの技術開発ロードマップでは2025年の目標として結晶シリコン系のモジュール効率25%、化合物系40%を掲げている。

比較製品は公共電力(全国の平均)とし、電気事業分野の「自主的枠組みの概要」及び「電気事業における低炭素社会実行計画」³⁾(平成27年7月17日公表)に基づく2015年時点での2030年目標値である0.37kg-CO₂/kWhとした。

4.3 製品のサービス寿命

評価対象製品である太陽光発電システム使用期間は20年⁴⁾であることから、サービス寿命を20年とした。比較製品である公共電力は日本全体の電源ミックスを表しており、国内では電力が常時供給されている状態であることから、特定のサービス寿命という概念は適用せず、太陽光発電と同じ期間分に設定した。

4.4 時間的基準と地理的基準

CO₂排出量の算定に用いたデータは2009年(NEDO報告書⁵⁾発行年)のデータを使用した。CO₂排出削減貢献量は、対象年(2030年)1年間に製造された製品をライフエンドまで使用した際のCO₂排出削減貢献量として算定された。

対象地域は日本の東京とした。

比較製品である電力のCO₂排出係数は2030年目標値(日本)を用いた。

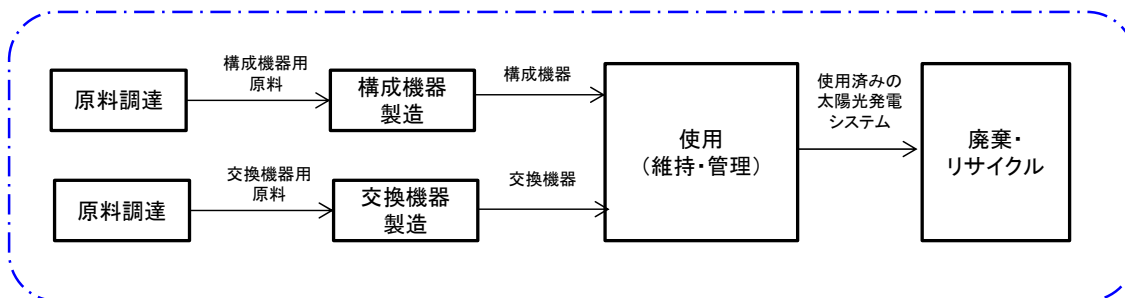
5. 算定の方法論

5.1. 境界の設定

評価対象製品の太陽光発電は、多結晶シリコン太陽電池による発電システムの原料・製造・使用・保守(部品交換)と廃棄までの排出全てをシステム境界に含む。廃棄は、撤去・回収した太陽電池モジュールからアルミフレームと端子ボックス(結線用ケーブル含む)を除去し、再生業者によってリサイクルを行う。その他のモジュールは産業廃棄物処理とし、その中間処理を経て再生可能な材料はリサイクル、そうでないものは最終埋立処分とした。

比較製品の公共電力は、「電気事業における低炭素社会実行計画」³⁾における目標値を用いているが、システム境界については詳細が不明のため記載していない。

【評価対象製品のシステム境界】



注: 本図ではプロセス間の輸送を省略している。

CO₂ 排出量を考慮しているプロセス
 システム境界

図 1-3. システム境界

5.2 前提条件

・CO₂ 排出係数(kWh あたりの発電に伴い排出された CO₂ 排出量)

評価対象製品である太陽光発電システムの CO₂ 排出係数は NEDO 報告書⁵⁾に基づき 1kWh あたり 0.047kg-CO₂ とした。比較製品である公共電力の CO₂ 排出係数³⁾は 0.37 kg-CO₂/kWh とした。

○太陽光発電: 0.047kg-CO₂/kWh⁵⁾

(多結晶 Si 太陽光発電システムの公共・産業用 10kW システムにおいて、モジュールのリサイクル促進ケースにおける CO₂ 排出原単位)

○公共電力 : 0.37 kg-CO₂/kWh³⁾

・日射量条件

日射量の条件となる対象地域は東京とした。

表 1-2. 太陽光発電システムによる発電電力量⁵⁾

	多結晶 Si
システム電力(kW)	10.0
モジュール電力(W)	186
モジュール枚数	54
年間日射量(東京)(kWh/m ² /年)	1,342
システム出力係数	0.79
年間発電量(kWh/システム/年)	9,932

・太陽光発電システム使用年数

太陽光発電システムの使用年数は太陽光発電協会の自主ルール⁴⁾に基づき 20 年とした。

5.3 主要パラメータ

CO₂ 排出量に与える影響が大きい主要パラメータは、各電力の CO₂ 排出係数と太陽光発電システムのサービス寿命である。

5.4 不確実性と将来的進展シナリオの統合

日本における太陽光発電の導入予測に基づき、2030 年度まで急激な変化はおこらないものとして想定し、CO₂ 排出削減貢献量を算定した。

6. 貢献の度合い(重要性)

太陽光発電システムに使用される多結晶 Si 等の化学製品は太陽光を電力に変換する重要な機能を有し、CO₂ 排出削減に貢献している。ただし、CO₂ 排出削減貢献量は化学産業だけに帰属しておらず、原料調達から電力の利用者を通じたバリューチェーン全体に帰属している。

貢献度合い		化学製品と最終製品の関係
○	基本的 (Fundamental)	その化学製品は、最終製品を用いて GHG 削減貢献を可能にする上で重要な要素である。
	必要不可欠 (Extensive)	その化学製品は重要な要素の一部であるとともに、最終製品を用いて GHG 削減貢献を可能にするためにその化学製品の特性・機能が必要不可欠である。
	実質的 (Substantial)	その化学製品は GHG 削減貢献に直接的な貢献をしていないが、最終製品による削減貢献量に影響なく容易に置き換えられるものではない。
	間接貢献 (Minor)	その化学製品は GHG 削減貢献に直接的な貢献をしていないが、基本的又は広範囲に貢献している製品の製造プロセスで用いられている。
	貢献対象外 (Too small to communicate)	その化学製品は、最終製品を用いた GHG 削減貢献量に変化を及ぼさずに置き換えが可能である。

7. CO₂ 排出量の算定結果

評価対象製品と比較製品の CO₂ 排出量を以下に示す。

評価対象製品 1kWh 当たりの CO₂ 排出量は 0.047kg-CO₂、比較製品は 0.37kg-CO₂ である。

・太陽光発電による電力 1kWh 当たりの CO₂ 排出削減貢献量

評価対象製品と比較製品の CO₂ 排出量の差から算出した太陽光発電による電力 1kWh 当たりの CO₂ 排出削減貢献量は 0.323kg-CO₂ である。

表 1-3. 太陽光発電による電力 1kWh 当たりの CO₂ 排出量と CO₂ 排出削減貢献量

	評価対象製品 太陽光発電 (公共・産業用 10kW)	比較製品 公共電力
原料調達～廃棄段階 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /kWh)	0.047	0.37
CO ₂ 排出削減貢献量 (kg-CO ₂ /kWh・20 年)	▲0.323	

注: 比較製品は電気事業分野の「自主的枠組みの概要」及び「電気事業における低炭素社会実行計画」³⁾(平成 27 年 7 月 17 日公表)の 2030 年目標値。

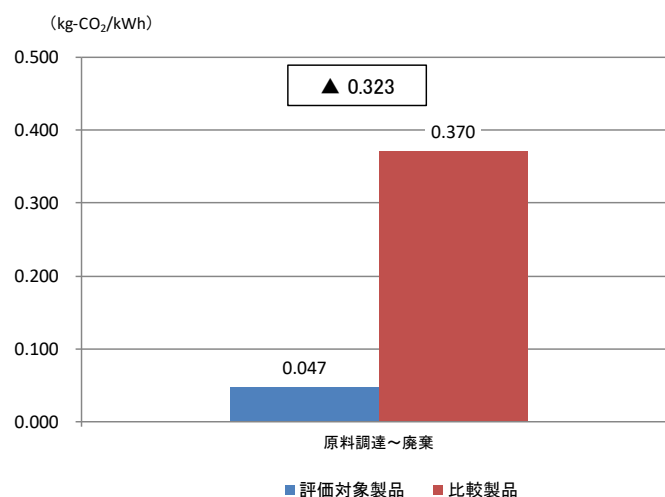


図 1-4. 太陽光発電による電力 1kWh 当たりの CO₂ 排出量と CO₂ 排出削減貢献量

8. 今後の予測

太陽光発電システムの 2030 年における CO₂ 排出削減貢献量は、以下の設定に基づいて算定した。

①太陽光発電の市場規模(見込) 2030 年 7,800,000kW

株式会社日本資源総合システムの「日本市場における 2030/2050 年に向けた太陽光発電導入量予測(2019～20 年版)」²⁾によると、現状で想定されている技術開発、導入施策、エネルギー政策が進む状況を想定した場合に、2030 年における市場規模は 7,800,000kW (DC ベース)と見立てている。

②太陽光発電の出力 1kW 当たりの発電量 902kWh/年、18,040kWh(20 年間)

NEDO 報告書⁵⁾によると出力 10kW の多結晶 Si での年間日射量は 1,342kWh/m²/年であり、東京の日射量は 1,219 kWh/m²/年であるため、東京での出力 1kW あたりに換算すると年間発電量は 902kWh となる。

多結晶 Si システムの年間発電量:9,932kWh/システム/年

年間日射量(条件) :1,342kWh/m²/年

東京の年間日射量 :1,219kWh/m²/年

東京における年間発電量 :9,022kWh/システム/年

(9,932kWh/システム/年 × 1,219kWh/m²/年 ÷ 1,342 kWh/m²/年 = 9,022 kWh/システム/年)

システム出力 :10kW

出力 1kW あたり :902kWh/kW/年

(9,022kWh/システム/年 ÷ システム出力 10kW = 902kWh/kW /年)

③太陽光発電による電力 1kWh 当たりの CO₂ 排出削減貢献量 0.323kg-CO₂/kWh

④CO₂ 排出削減貢献量

太陽光発電による電力 1kWh 当たりの CO₂ 排出削減貢献量 × 20 年間の発電量 × 市場規模
 = 0.323kg-CO₂/kWh × 18,040kWh/kW × 7,800,000kW
 = 45,450 × 10⁶kg-CO₂
 = 45,450kt-CO₂

表 1- 4. 2030 年に導入される太陽光発電システムによる CO₂ 排出削減貢献量

1) 2030 年の市場規模	数量	単位
・2030 年の市場規模(見込)	7,800,000	kW
・太陽光発電の出力 1kW 当たりの生涯発電量【20 年間】	18,040	kWh
・太陽光発電による電力 1kWh 当たりの CO ₂ 排出削減貢献量	0.323	kg-CO ₂ /kWh
2) CO ₂ 排出削減貢献量(2030 年、20 年使用分)	▲4,545	万 t-CO ₂

太陽光発電システムのライフサイクルでの CO₂ 排出量は 0.047kg-CO₂/kWh、出力 1kW 当たりにおける 20 年間の発電量は 18,040kWh、市場規模(見込)は 7,800,000 kW であることから、太陽光発電システムの CO₂ 総排出量は 661 万 t-CO₂ (0.047 kg-CO₂/kWh × 18,040kWh/kW × 7,800,000kW = 6,613kt-CO₂)となる。

9. 調査の限界と将来に向けた提言

本事例は公共・産業向けの出力 10kW タイプの多結晶シリコン太陽光発電システムで生産された電力を評価しており、2030 年の市場規模(見込)に基づいて CO₂ 排出削減貢献量を算定したものである。したがって発電の方法や出力規模が異なるシステムについては個別の評価が必要であり、その結果によっては CO₂ 排出削減貢献量の算定結果が異なる。

10. 課題

①システム境界の設定

本事例では、電気事業分野の「自主的枠組みの概要」及び「電気事業における低炭素社会実行計画」の 2030 年における CO₂ 排出係数の目標値を比較製品に選定しており、化石燃料の生産に伴う CO₂ が含まれていないと想定される。したがって、評価対象製品と比較製品のシステム境界が揃っていないため、今後はシステム境界の設定も同じレベルに揃えるべきである。

②比較製品の選定

本事例では、比較製品を公共電力(全電源の平均)としている。再生可能エネルギーによる発電は火力発電の代替技術であるという見方もあり、比較製品は火力発電に選定すべきであるという意見もある。発電技術は、原子力発電、水力発電、廃棄物発電など様々な方法が存在するため、何を比較製品に選定するかによって、CO₂ 排出削減貢献量も変わってしまうため、比較製品の選定基準については今後の課題である。

参考文献

- 1)「2030 年に向けた太陽光発電ロードマップ(PV2030) に関する見直し検討委員会」報告書(太陽光発電ロードマップ PV2030+)、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、2009 年 6 月
- 2)日本市場における 2030/2050 年に向けた太陽光発電導入量予測(2019~20 年版)、p.40、株式会社日本資源総合システム
https://www.rts-pv.com/report/schedule/201809_3787.html
- 3)電気事業分野の「自主的枠組みの概要」及び「電気事業における低炭素社会実行計画」、平成 27 年 7 月 17 日公表
- 4)表示に関する業界自主ルール、太陽光発電協会、平成 22 年度
- 5)NEDO 委託業務報告書:太陽電池発電システム共通基盤技術開発
「太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究」、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、2009 年 3 月

※著作権の帰属について

本著作物の著作権は著作者に帰属し、著作物の一部または全部を無断で複写・複製・転記載することを禁じる。なお本著作物の著作者は一般社団法人日本化学工業協会とする。