

触媒懇談会ニュース

触媒学会シニア懇談会

注目される太陽光パネルペロブスカイト

中條哲夫

1、はじめに

太陽光パネルを2025年10月1日(203号)に書いた。内容は今後増大するソーラーパネルの廃棄物に対してリサイクルの重要性を示した。廃棄物には有価物が含まれている。特定の物質の回収だけではなく再利用には数多い構成物の回収精製プロセスが必要である。それぞれが新しい技術で工業規模にない。各々設備投資が要る。リサイクル技術を世界に先駆けて先行を期待する。

宮坂先生はシリコン太陽光に代わるペロブスカイトを世界に先駆けて報告している。これは鉛(Pb)の化合物を含んでいる。最近の精力的研究でペロブスカイト太陽電池の回収精製も進歩し文献ではリサイクルが可能である。実証プラントはこれからである。

ペロブスカイト太陽電池はシリコンに比べ利点がある。材料が安価である。しかし、鉛の問題が気掛かりだった、しかし、対策技術は準備されている。更に製造工程がシンプルである。シリコンに比べエネルギー消費は圧倒的に少なく済む。当然環境への影響も小さい。

尚、シニア懇談会世話人代表からの勧めもあり、今回は最後に近況報告も加えて書いた。

2、ペロブスカイトの発端

宮坂先生のペロブスカイトの報告は2009年に始まる。光電極にペロブスカイトを沈着させ基本的性能が発現した事を報告している。I-Vカーブ、光子-電子変換効率と構造解析が記載されている。

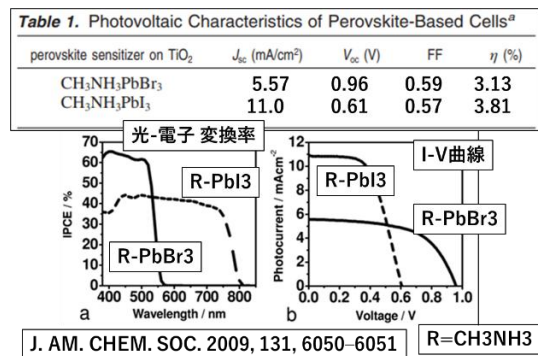


図1 ペロブスカイト Photovoltaic 特性

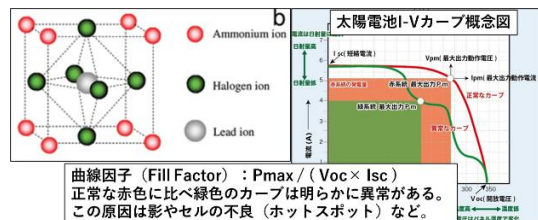


図2 構造解析//曲線因子(FF)説明

I-V 曲線から FF は算出され 0.7 以上が正

常とされているが、ここでは0.57-0.59であった。また、変換効率の3.81%は当時の無機増感剤、量子ドットに比べ相当高い値である。有機増感剤は吸収係数が小さく吸収幅も狭いので限界と言われていた。そこで無機系の量子ドットの研究へ向かった。そんな中でこの報告は画期的である。セル寿命の改善が課題と記載されている。

3. ペロブスカイトの性能とリサイクル

最近の総説に発電効率とリサイクルに関してのまとめがあった。

Renewable and Sustainable Energy Reviews
207 (2025) 114980

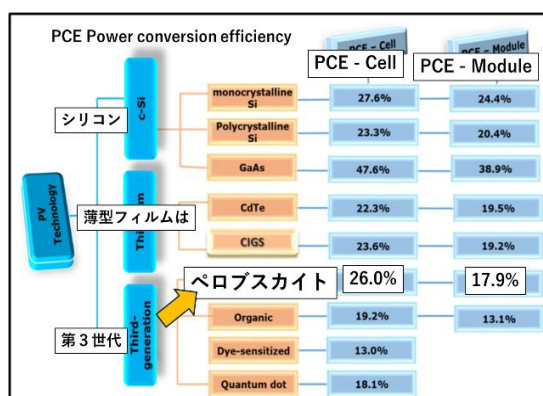


図3 ペロブスカイトの性能

ペロブスカイトの発電効率は、2013年に14%だったが2020年には26%にまでブレークアップしたと言う報告がある。セル発電効率18.2%と考慮すると10年以上の寿命が期待される。Roll-to-rollの製造法も可能だ。

次に懸案の鉛の回収について記述する。

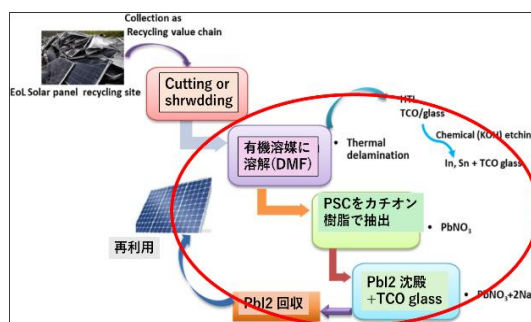


図4 ペロブスカイトパネルリサイクル

図4は主に鉛の回収と再利用を示している。解体したモジュールは有機溶媒に溶かしイオン交換樹脂に吸着させる。鉛を脱着させるため硝酸で洗い流す。硝酸鉛はヨウ化ナトリウムを加えて鉛を回収する。実は他の材料も有価物なので回収していきにくい。「ペロブスカイトの鉛PbI₂は回収出来て環境影響も小さい」との意味である。

もう少し丁寧に説明したのが図5である。

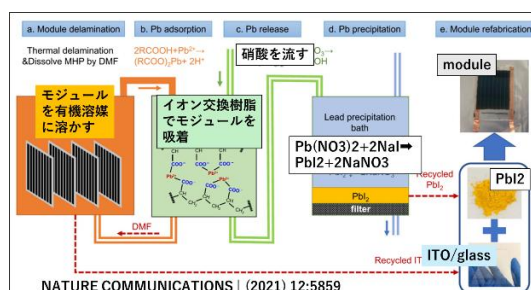
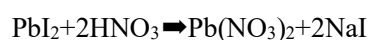


図5 モジュールから鉛(Pb)を回収

極性有機溶媒 DMF(ジメチルホルムアミド)は溶解力があり構成物を溶かす。次にイオン交換樹脂に構成物(含む PbI₂)を吸着させ、硝酸鉛で溶解させる。以下は図5の通りである。



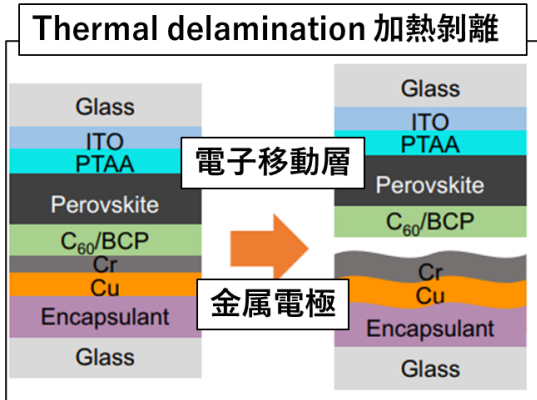


図6 モジュールの構成例と加熱剥離

図6はペロブスカイトモジュールの構成例を示している。図4に戻ると鉛の回収の他に電子移動層の回収も表記されている。略号が紛らわしいが ITO(InSnO₂)の回収も重要で再利用する事で相当コストを下げる。図4の TCO は透明導電酸化物をあらわし酸化インジウムスズ ITO やフッ素をドーブしたスズ酸化物 FTO を総称している。

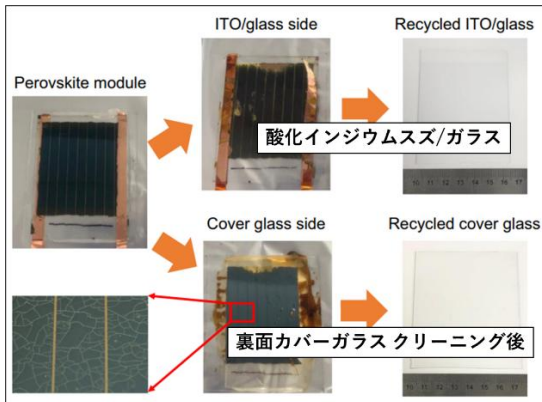


図7 酸化インジウムスズの回収

4. ペロブスカイトの利点

Renewable & Sustainable Energy Reviews 186 (2023) 113652

薄型フィルムは形態としてペロブスカイトも含むとも言えるが、シリコンに比べ、主

要なメリットは「安価材料なのでコストを抑えられる事」と「スプレー式等の平易な製法で出来る事」である。この文献の表3には 1) 安価な製法、2) 潜在能力として高い効率、3) 耐久性のあるバンドキャップ等とある。

シリコンとペロブスカイトを比較検討した文献がある。 *Materials 2024, 17, 5787*

シリコンの製造プロセスでの大きなエネルギー消費が種々の評価を下げている。例としてチョクラルスキー (Czochralski) 法があげられる。特に、脚注にあるように用いた石英に含まれる微量の酸素であってもシリコン品質が悪化する。純度はセブン-ナインである。図8はインターネットより入手した情報である。

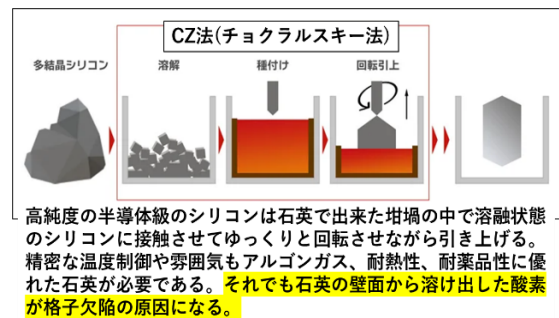


図8 単結晶シリコンの製法

更に文献によると、セルを作成する際、結晶の乱れた部分は素子として性能を発現しない為、その部分は排除するとある。そのため、大量の廃棄物を排出することになる。

The main reason for such a high level of adverse impact on the environment is the very energy intensive process of manufacturing photovoltaic cells from monocrystalline silicon, using the Czochralski method. It also produces a large amount of post-production waste during the cutting of the cells, from a round shape to one close to a rectangular shape. (3.1.1. Impact Categories 12/36page)

図9 シリコン製造工程の問題

図 10 では、二つの太陽光発電システムを 3つの軸で評価している。LCA(ライフサイクル評価)の観点で、1) IMPACT World+ 2) IPCC2021 モデル、3) CED モデルを使っている。

IMPACT World+は 3つの軸があり人への影響 DALY、生物への影響 PDF、環境にかかったコスト EUR からなる。IPCC2021 は温暖化排出ガスである(GHG)。CED は原料の発掘から運搬や製造工程、発電の運転維持、回収再利用、最終的廃棄物処理までの必要なエネルギー総量を表す。他の文献との相対値は矛盾していない。

図 11 は 3軸での評価のまとめである。埋め立てとは 1 回限りで再利用しない場合でペロブスカイトに対してシリコンは 1.9 倍程度数値が高い。リサイクルすると環境影響、温暖化ガスともに同様だが CED である積算エネルギー量は 1.34 倍と差が小さくなる。これはシリコンのエネルギー多消費特性に起因すると想像出来る。

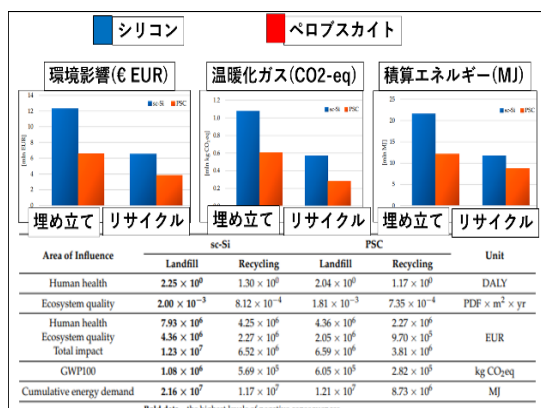


図 10 システム評価：3つの軸で評価

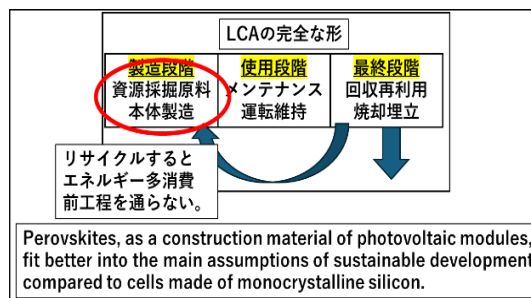


図 11 ペロブスカイトの優位性

図 9 でも触れたように製造工程でのエネルギーの消費は大きく、製造工程での省エネが課題となる。

5. 最後に

ペロブスカイトを調べながら本体の鉛が気になったが、スマートな回収技術もあることを知り安堵した。シリコンとのタンデムが有効との文献も多い。これに関しては、今回は触れなかった。

近況報告

「はじめに」で書いたように簡単な近況報告をします。2023 年夏に倒れて入院し 2024 年初めでやっと退院出来ました。身体障害者です。エンドレスのリハビリですが不自由さ感じたことを書き留めます。

1, 今まで忘れていた「感謝」の気持ちが一杯です。家族、知り合い、関係者の皆様。このシニア懇談会ニュースをサポートしてくださる皆様。文献調査を許可してくれている産総研の皆様。

2, 自然の恵みに目を向けるようになりました。春から秋先にかけて早朝散歩しました。何気なく伸びる草花にも心惹かれます。

3, 最近、左手のピアニスト「館野泉」さんを、知りました。超前向きで多数の図書を見

つけました。「絶望している暇はない」が端的に表しています。高齢でも今も現役。ピアノが私の人生。左手で弾いているではなく身体全体で演奏している、と。

4, 俳句の真似事

もくれんの 春を呼び込む 新芽かな
ひまわり(日向葵)は 背筋伸ばして 明日
目指す

(日付) 2025年10月29日