



## PRESS RELEASE

岡山大学記者クラブ

文部科学記者会

科学記者会

御中

令和 5 年 12 月 26 日

岡 山 大 学

### 次世代太陽電池・ペロブスカイト太陽電池の 欠点を補完する画期的な添加材“ベンゾフェノン”を発見！ ～性能と耐環境性の向上により、再生可能エネルギーの発展に貢献～

#### ◆発表のポイント

- ・ペロブスカイト太陽電池<sup>(1)</sup>の性能と耐環境性を向上する添加剤“ベンゾフェノン (BP)<sup>(2)</sup>”を発見しました。
- ・BP を添加したペロブスカイト太陽電池において、室温・湿度 30%の環境で 700 時間経過後も 90%の性能を保持する高い安定性を実現しました。対照的に、BP を添加しなかった場合、電力変換効率 (PCE) は急速な劣化を示し、同じ条件下で 300 時間以内に初期値の 30%しか維持できませんでした。

岡山大学大学院環境生命自然科学研究科の Hytham Elbohy 外国人客員研究員（日本学術振興会外国人特別研究員、Damietta University (エジプト) 助教)、学術研究院環境生命自然科学学域 (工) の鈴木弘朗助教、西川亘助教、林靖彦教授らは、Southern University of Science and Technology (中国) の Aung Ko Ko Kyaw 准教授と共同で、次世代太陽電池として期待されているペロブスカイト太陽電池の性能と安定性を向上する添加剤分子として“ベンゾフェノン”を発見しました。

今回の研究成果は、2023 年 9 月 12 日に米国化学会 (American Chemical Society) 発行の学術雑誌「ACS applied materials & interfaces」に掲載されました。

ペロブスカイト太陽電池は、従来のシリコン太陽電池に比べて、作製工程が容易で、フィルム状の柔軟な太陽用電池が作製でき、発電効率が同程度であることから、安価で様々な場所に活用できる太陽電池として期待されています。しかし、ペロブスカイト材料の環境安定性が低いことが大きな課題でした。今回の研究では、ベンゾフェノンという分子を添加剤として用いることで、ペロブスカイト太陽電池の性能と安定性を向上することに成功しました。高性能・高安定性のペロブスカイト太陽電池は、今後エネルギーハーベスティングや Internet of Everything (IoE) の発展に大きく寄与します。

#### ◆研究者からのひとこと

この研究は、高い性能と安定性を兼ね備えたペロブスカイト太陽電池の実現につながるもので、クリーンエネルギー技術の発展に寄与します。再生可能エネルギー技術に革新をもたらし、持続可能な社会の実現を目指していきたいです。(Elbohy)

分子の添加という簡易な手法により、ペロブスカイトの高い安定性を実現できることは驚くべき発見です。この研究によりペロブスカイト太陽電池の社会実装が進むことを期待しています。(鈴木)



Elbohy



鈴木助教

外国人客員研究員



## PRESS RELEASE

### ■発表内容

#### <現状>

ペロブスカイト太陽電池は、光吸収層に有機無機ペロブスカイト材料を用いた太陽電池です。代表的な有機無機ペロブスカイトには、メチルアンモニウムヨウ化鉛 ( $\text{MAPbI}_3$ ) やホルムアミジンヨウ化鉛 ( $\text{FAPbI}_3$ ) があります。有機無機太陽電池はシリコン太陽電池と同程度の発電効率 (~25%) を示し、かつ作製プロセスが容易、フレキシブルといったメリットがあることから、シリコン太陽電池に代わる次世代の太陽電池として期待されています。一方で、空気中の水分と反応し、容易に性能が低下する欠点があり、耐環境性能の向上が大きな課題となっています。

#### <研究成果の内容>

本研究では、低分子添加剤である BP が、ペロブスカイト太陽電池の性能と安定性に及ぼす影響を調べました。具体的には、 $\text{FAPbI}_3$  のペロブスカイト前駆体溶液に BP を導入し、ITO<sup>(3)</sup>/PEDOT:PSS<sup>(4)</sup>/BP: $\text{FAPbI}_3$ /PC<sub>60</sub>BM<sup>(5)</sup>/BCP<sup>(6)</sup>/Ag の積層構造を持つ太陽電池を作製しました (図 1a)。2 mg/mL の最適濃度で BP を添加することで、太陽電池の出力特性 (電流-電圧特性) に現れるヒステリシス<sup>(7)</sup> を抑制するとともに、太陽電池の PCE を BP 添加無しの 13.12% から 18.84% へと大幅な向上に成功しました (図 1b、c)。特筆すべきことに、BP ベースの太陽電池は、相対湿度 30% の大気中、25°C で 700 時間保存した後も、初期 PCE の 90% 程度を維持しました (図 1d)。対照的に、BP を添加しなかった場合、PCE は急速な劣化を示し、同じ条件下で 300 時間以内に初期値の 30% しか維持できませんでした。

次に、BP の添加がペロブスカイト薄膜の表面形状と結晶性にどのような影響を与えるかを調べました。走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて、BP を添加したペロブスカイト薄膜と添加しなかったものを比較しました (図 2a)。BP を添加しなかった場合は、太陽電池の性能を阻害する多数の結晶粒界 (GB)<sup>(8)</sup> が観測されました。一方で、2 mg/mL の BP を添加した場合は、結晶が大きく GB の少ない、より滑らかで緻密なペロブスカイト薄膜が得られました (図 2b)。この膜質の向上により、太陽電池の性能と環境安定性が向上すると考えられます。

BP 添加によるペロブスカイト太陽電池の性能と安定性の向上は、ペロブスカイト膜の粒界不動態化に起因すると考えられます。X 線回折による構造解析から、BP の添加によって光に対して不安定な  $\delta$  相から、安定な  $\alpha$  相  $\text{FAPbI}_3$  への構造変化が促進されたことが明らかになりました (図 2c)。このメカニズムとして、酸素ドナーであるルイス塩基<sup>(9)</sup> を有する BP 分子と、 $\text{FAPbI}_3$  中の  $\text{Pb}^{2+}$  および  $\text{FA}^+$  の分子間相互作用によるものであると考えています (図 2d)。これにより、励起キャリア<sup>(10)</sup> のトラップ<sup>(11)</sup> による再結合<sup>(12)</sup> が効果的に抑制され、性能と安定性が向上したと考えられます。これらの結果から、BP 分子はペロブスカイト太陽電池の性能と環境安定性を向上させる有望な添加剤であることが示されました。

PRESS RELEASE

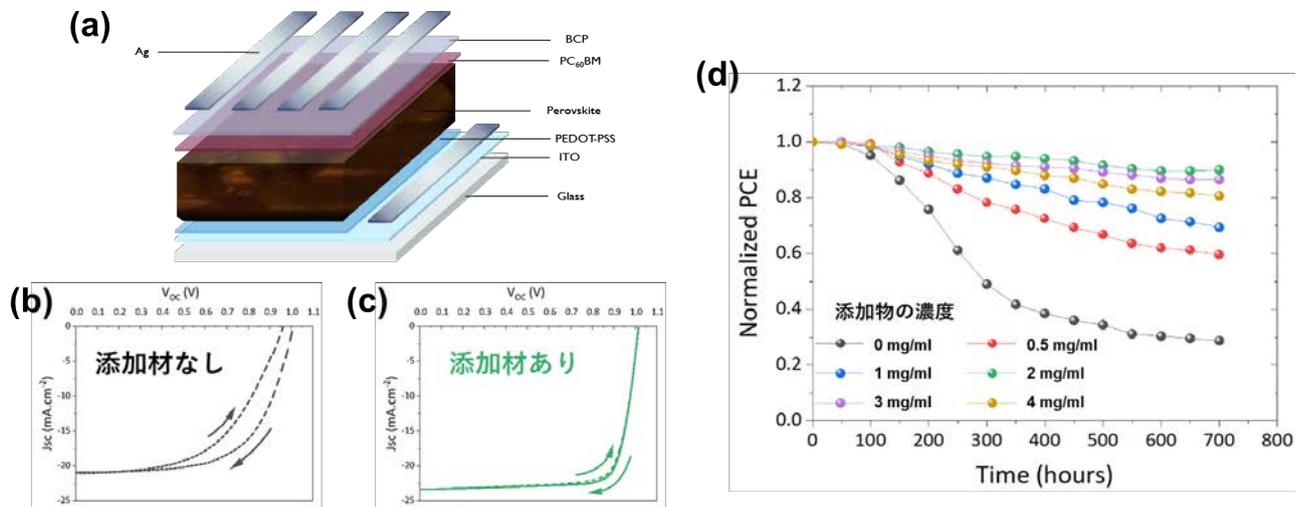


図 1. (a) ペロブスカイト太陽電池の模式図。(b,c) 添加材(b)ありと(c)なしの場合のペロブスカイト太陽電池の出力特性。(d) 電力変換効率 (PCE) の劣化特性。

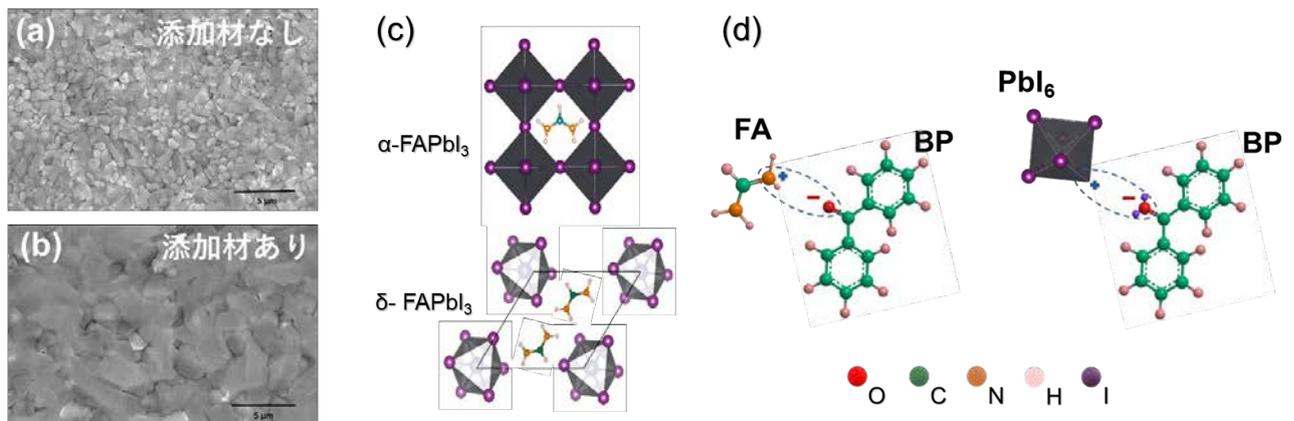


図 2. (a,b) 添加材(a)ありと(b)なしの場合のペロブスカイト薄膜表面の SEM 像。(c)  $\alpha$  相および  $\delta$  相の  $\text{FAPbI}_3$  の結晶構造の模式図。(d) 添加剤 BP がペロブスカイト結晶に及ぼす影響の模式図。

<社会的な意義>

本研究でペロブスカイト太陽電池の電力変換効率と耐環境性を向上できたことは、再生可能エネルギー技術を前進させるだけでなく、気候変動、エネルギー問題、交通技術、経済発展、環境保全など、広い範囲の社会的課題の解決に貢献します。これらの進歩は、多くの人々の生活の質を向上させ、より持続可能で平等な未来を創造します。



## PRESS RELEASE

### ■論文情報

論文名 : Benzophenone: A Small Molecule Additive for Enhanced Performance and Stability of Inverted Perovskite Solar Cells

掲載紙 : *ACS Applied Materials and Interfaces*

著者 : Hytham Elbohy, Hiroo Suzuki, Takeshi Nishikawa, Thiri Htun, Kosei Tsutsumi, Chiyu Nakano, Aung Ko Ko Kyaw, and Yasuhiko Hayashi

DOI : 10.1021/acsami.3c09835

URL : <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsami.3c09835>

### ■研究資金

本研究は、日本学術振興会外国人特別研究員（FY2021 JSPS Postdoctoral Fellowship）の支援を受けて実施しました。

### ■補足・用語説明

(1) ペロブスカイト太陽電池 : 有機無機ペロブスカイト材料（代表的なものに  $\text{MAPbI}_3$ ）を吸収層に用いた太陽電池です。シリコン太陽電池の代替として期待されています。

(2) ベンゾフェノン (BP) :  $\text{C}_{13}\text{H}_{10}\text{O}$  で表わされる有機化合物です。

(3) ITO : 酸化インジウムスズの略称。透明導電膜として用いられます。

(4) PEDOT:PSS : ポリエチレンジオキシチオフェンとポリスチレンスルホン酸の分散体の略称です。ペロブスカイト太陽電池のホール輸送層として用いられます。

(5)  $\text{PC}_{60}\text{BM}$  : フェニル  $\text{C}_{61}$  酪酸メチルエステルの略称です。ペロブスカイト太陽電池の電子輸送層として用いられます。

(6) BCP : バソクプロインの略称。有機層-金属界面の特性を向上させるためのバッファ層として用いられます。

(7) ヒステリシス : ここでは太陽電池の出力特性（電流-電圧特性）が往復スイープで一致しない現象を指します。ヒステリシスの大きさはペロブスカイト層におけるキャリアのトラップの多さを反映しています。一般的にヒステリシスが小さい方が太陽電池としての性能が良いとされています。

(8) 結晶粒界 (GB) : 結晶同士が接している界面。GB が少ない方がペロブスカイト層の膜質が良いと言えます。



## PRESS RELEASE

(9) ルイス塩基：電子対を供与する物質はルイス塩基として定義されています。

(10) 励起キャリア：物質に光を当てた際に生じる自由に動くことのできる電子やホールのことを指します。

(11) トラップ：ここではペロブスカイト層における、GB や欠陥に励起キャリアが捉えられる現象を指します。

(12) 再結合：励起キャリアのホールと電子対が再び結合する現象を指します。

### <お問い合わせ>

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域（工）

助教 鈴木 弘朗

教授 林 靖彦

(電話番号) 086-251-8133

(FAX) 086-251-8133



岡山大学は持続可能な開発目標(SDGs)を支援しています。

