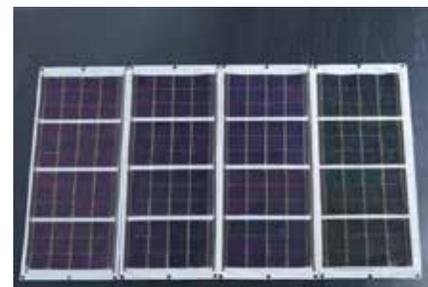
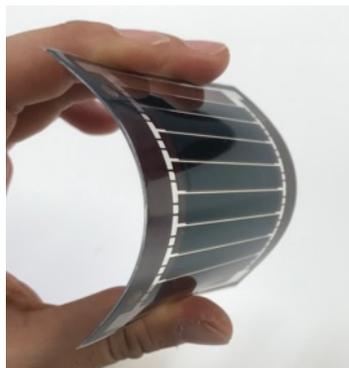
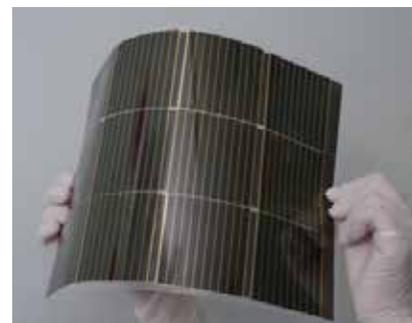
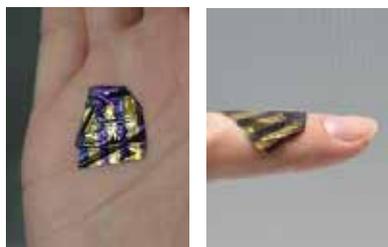




# 実用化に向けた ペロブスカイト太陽電池の開発研究



# 再エネ型の経済社会の創造：2050年カーボンニュートラルの実現には ペロブスカイト太陽電池の社会実装が必要不可欠

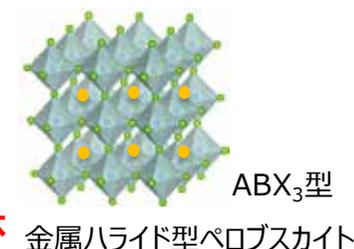
電力の再生可能エネルギー比率(再エネ比): 2020年19.8%(水力7.8%, 太陽光7.9%)  
 今後の目標値: 2030年には36~38%, 2050年には50~60%にしたい!(経産省, 資源エネルギー庁)

**「カーボンニュートラル社会」の実現には、  
「ペロブスカイト太陽電池」の社会実装が鍵**

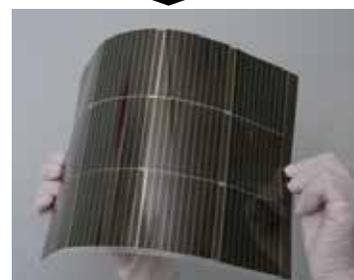
カーボンニュートラルに向けた動き  
 電源の脱炭素化(再エネ化)  
 2050年には50~60%を再エネで賄う必要  
 (ESG経営・投資の観点からも重要性増大)



**本研究**  
 塗布で作製できる半導体  
 GaAsに匹敵する優れた特性

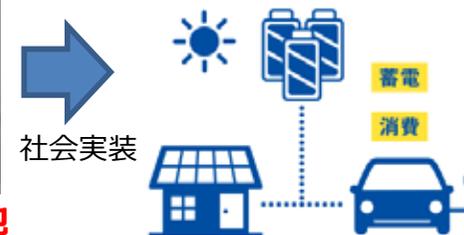


**金属ハライド型ペロブスカイト半導体**



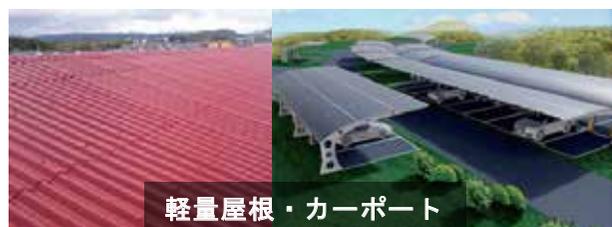
**ペロブスカイト太陽電池**

**オフグリッド電力社会  
 (電力の地産地消)**



日本は国土面積当たりの太陽電池導入量は主要国で1位  
 しかし、太陽電池の設置のための**適地が不足している**  
 → 耐荷重の小さい工場屋根、ビルの壁面、高速道路の防音壁、法面等への導入が必要  
 → “設置場所の制約を克服する”柔軟・軽量・高効率な (>20%効率) 太陽光発電 (**新型太陽電池**) の**社会実装**が強く求められる

**ペロブスカイト太陽電池の普及が変える再エネ型経済社会 (>20%)**

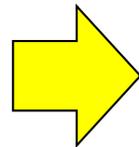
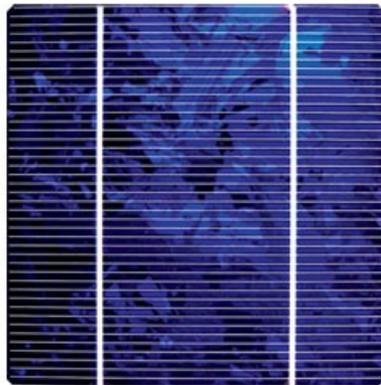


**給電要らずのEVなど(>30%)**

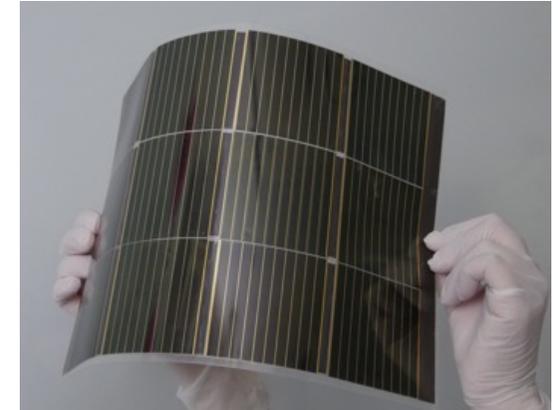
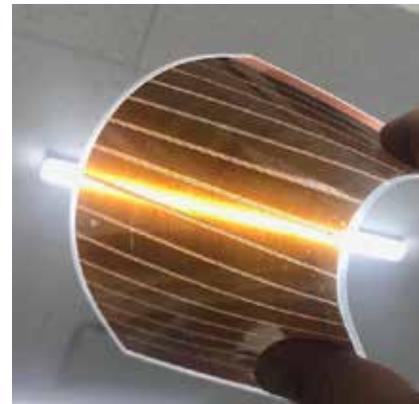


# 次世代型太陽電池：ペロブスカイト太陽電池

## 従来：シリコン太陽電池



## 印刷で塗って作れる太陽電池



電力固定価格買取制度後、広く普及



### シリコン インゴット

原料の製造に高温・エネルギーを必要とし  
CO<sub>2</sub>も多く排出

高い光電変換効率(PCE) ~26%  
(パナソニック、カネカなど)  
高い耐久性、長寿命デバイス  
製造コストが高い。

**重い**  
62.5 g/W

**朝夕、曇り、  
室内光など  
低照度に弱い**

## ペロブスカイト太陽電池



各層を塗り重ねて作製

**軽い**  
< 2.5 g/W

厚さ：数百 nm  
髪の毛の100分の1

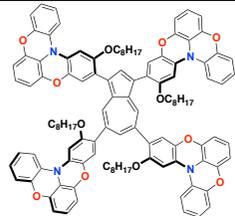


**低照度でも  
高効率発電**

- 1) 印刷技術で作製できる  
→ 低コストで製造
- 2) フィルム状の太陽電池  
→ 軽い&曲がる

# 我々のペロブスカイト太陽電池の開発研究：これまでの実績

## 1) 独自の高純度化材料 & 半導体材料を開発



材料化学

高純度化前駆体材料の開発 独自の有機半導体材料

実績：ペロブスカイト太陽電池分野で、  
必須の標準材料として世界中で利用

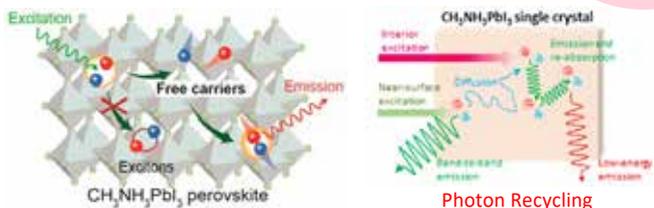
*Chem. Lett.* **2014**, *J. Am. Chem. Soc.* **2015**,  
*J. Am. Chem. Soc.* **2023**, etc.

Top1%高被引用論文多数

## 2) ペロブスカイトの特異な物性を解明

直接遷移型光吸収、フリーキャリアの発生  
フォトンリサイクリング現象の発見

先端分光学

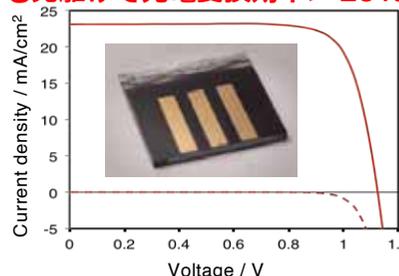


*J. Am. Chem. Soc.* **2014**, *IEEE J. Photovoltaic* **2015**,  
*J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *J. Phys. Chem. Lett.* **2015**, etc.

Top1%高被引用論文多数

## 3) 独自の塗布成膜技術を開発

国内でも先駆けて光電変換効率 > 20% を達成、23.6% 世界最高値



塗布型無機  
材料化学

逆型構造 Sn-Pb デバイスで  
光電変換効率  
世界最高値 (23.6%)  
を達成 (2021)

実績：高品質ペロブスカイト層の作製の鍵となる  
塗布成膜技術 (ノウハウ) を開発

*Angew. Chem., Int. Ed.* **2018**, *Nature Commun.* **2020**,  
*Energy. Environ. Sci.* **2022**, *Adv. Mater.* **2023**, etc.

Top1%高被引用論文多数

## 4) 実用化に向けた取り組み

京大発ベンチャーを設立 (2018年)  
(株) エネコートテクノロジーズ (設立者)



産学連携

「フィルム太陽電池研究コンソーシアム」設立 (代表)



共同研究  
国内企業30社以上

関連する学術論文 > 90 報、総説・解説論文・著書等 ≥ 20 報  
特許出願 ≥ 60 件、基調・招待講演 100 回以上、  
マスメディア 50 回以上



若宮淳志 (京都大学)

専門：材料化学、構造有機  
化学、ペロブスカイト太陽電池

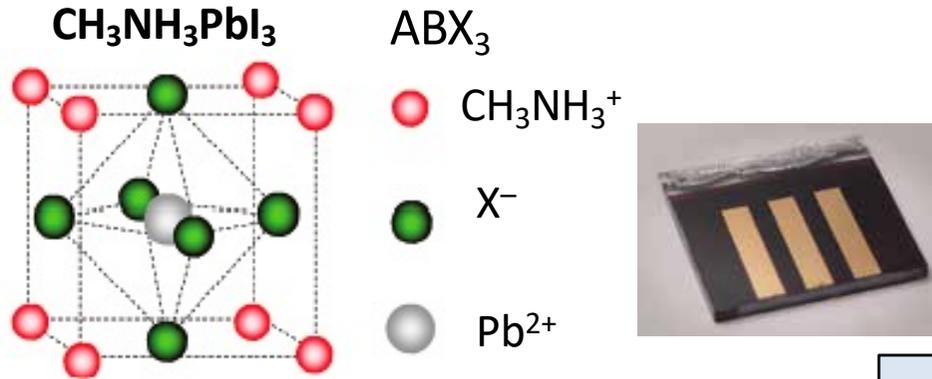
2003年京都大学大学院工学研究科  
博士後期課程修了 (博士 (工学))

2018年 京大発ベンチャー  
(株) エネコートテクノロジーズを設立、  
取締役、最高技術責任者 (兼任)  
JST-COI、JST-ALCA (未来社会創  
造事業)、NEDO等でPJを牽引

文部科学大臣表彰 (若手科学者賞)  
野副記念奨励賞、イノベティブPV賞、  
化学技術賞、JACIステップアップ賞、  
GSC賞文部科学大臣賞、  
市村地球環境学術賞、  
日本化学会 学術賞  
文部科学大臣表彰 (科学技術賞)  
など受賞

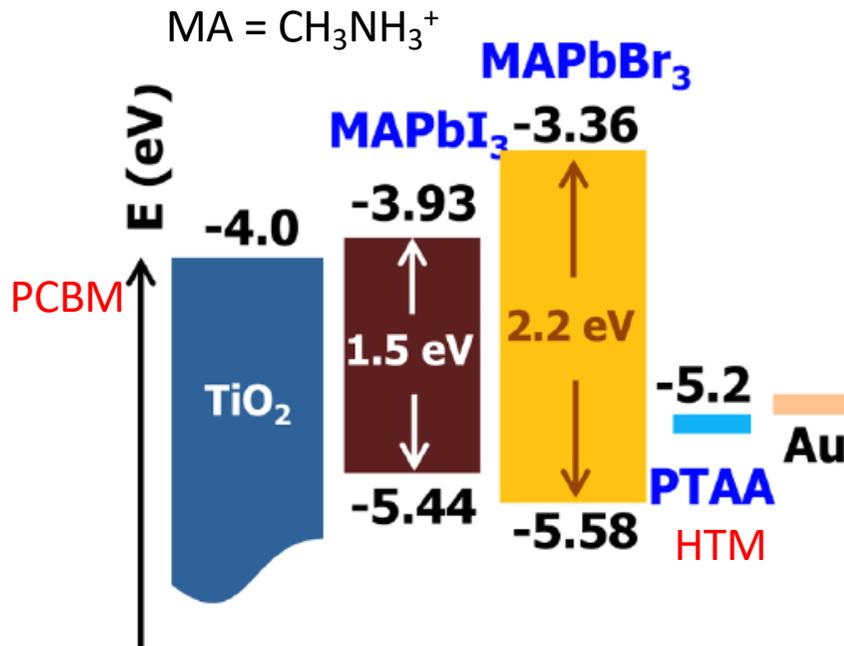
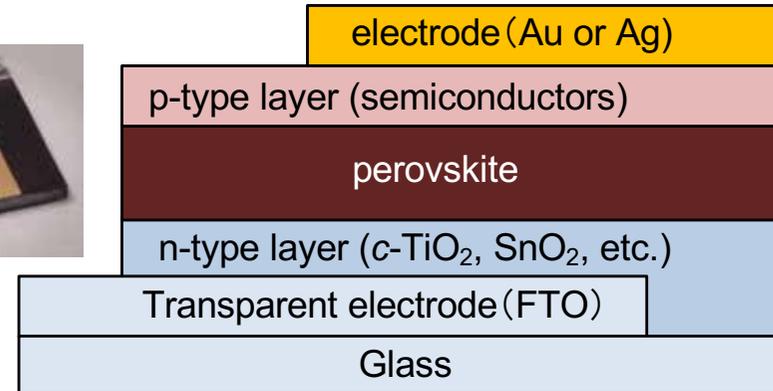
# ペロブスカイト太陽電池：研究背景

## 金属ハライド型ペロブスカイト半導体を光電変換材料に用いた太陽電池

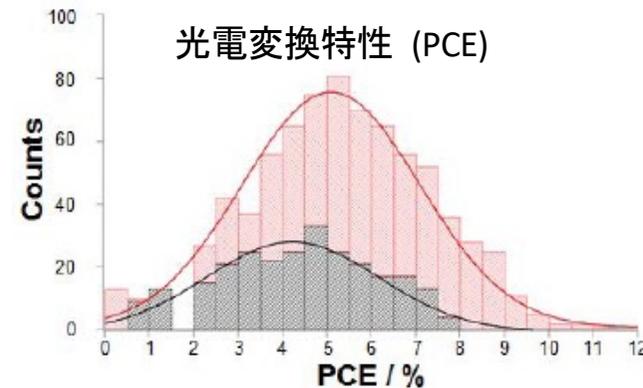


T. Miyasaka, et al. *J. Am. Chem. Soc.*, **2009**, *131* 6050.  
 H. J. Snaith, et al. *Science*, **2012**, *338*, 643.

### Printable solar cells



初期の課題: 同様に作製しても太陽電池特性のバラツキが著しく大きい



H. J. Snaith, T., et al. *Science*, **2012**, *338*, 643.

独自の高純度化ヨウ化鉛 (PbI<sub>2</sub>) を開発

東京化成工業 (TCI) より販売 (2014年~)

本太陽電池分野の**必須の標準材料**として世界中で広く**利用**されている  
(再現性良く高効率デバイスを作製するための鍵材料として広く普及)



# Reagent for Perovskite Solar Cells: Purified Lead(II) Iodide

## Advantages

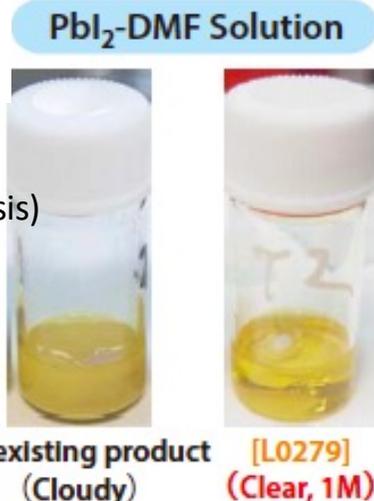
- Lead(II) iodide with extremely low water quantity for preparing a concentrated clear DMF solution.
- Fabricates efficient perovskite solar cell devices (PCE > 10%) with high reproducibility.

## Comparison of an existing product and [L0279]

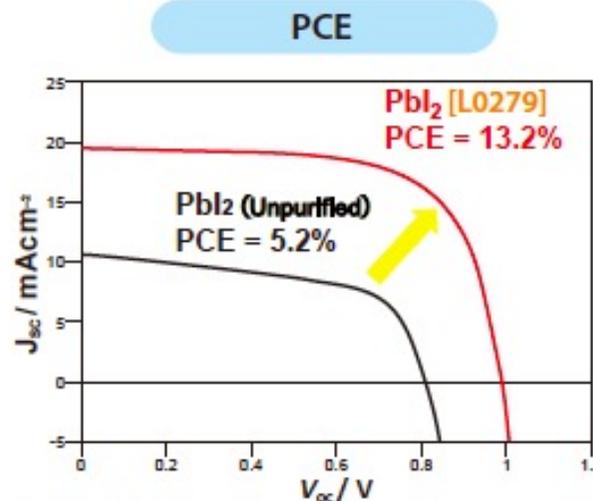
残りの0.001%の  
不純物を疑う

99.999%  
(trace metal basis)

H<sub>2</sub>O:  
2000 ppm



H<sub>2</sub>O:  
<100 ppm

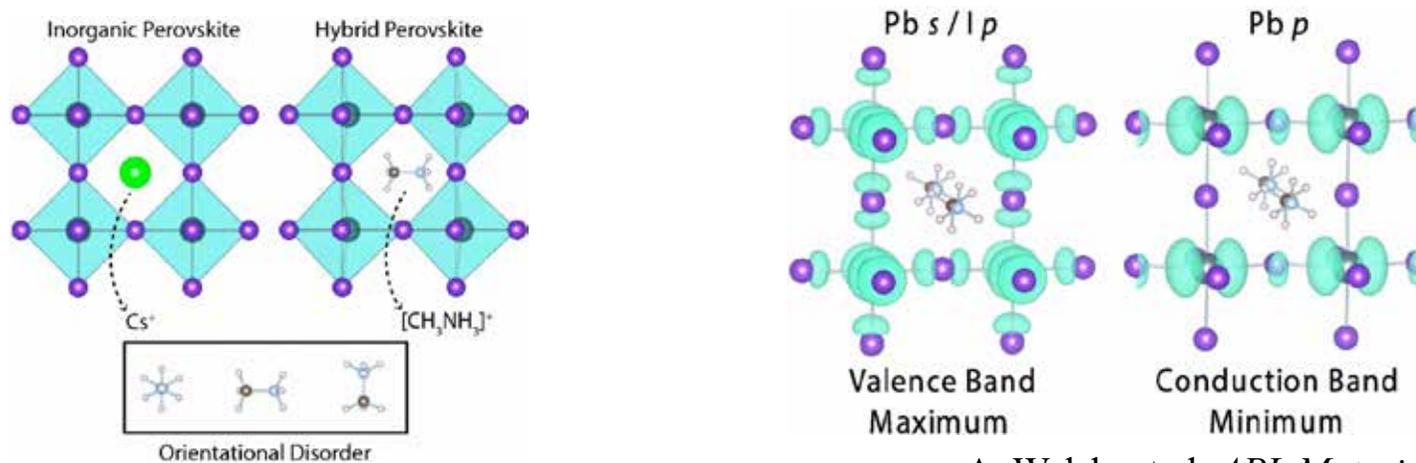


高被引用文献

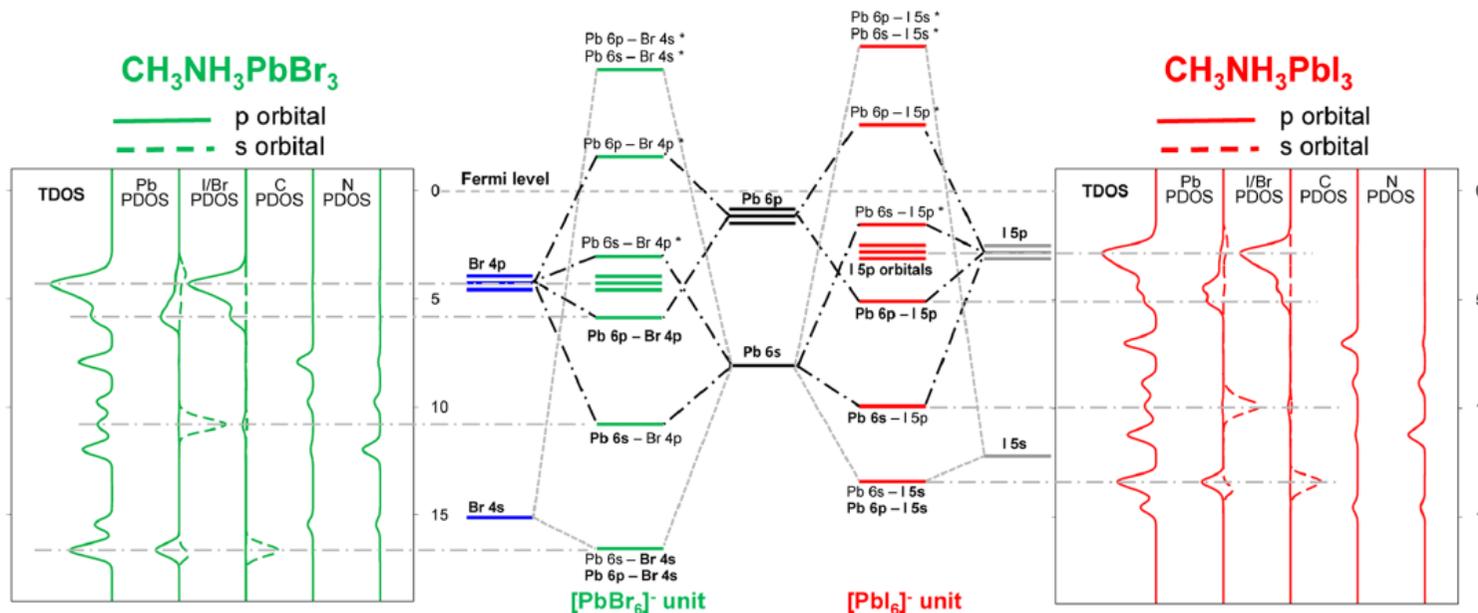
A. Wakamiya, et. al. *Chem. Lett.* **2014**, *43*, 711. (Top1%高被引用論文)、  
若宮淳志他、特許第6362868号

# Perovskite (ABX<sub>3</sub>) バンド構造形成の本質

バンド構造: Bサイト(Pb, Sn)とXサイト(ハライド)の軌道の三次元的ネットワーク



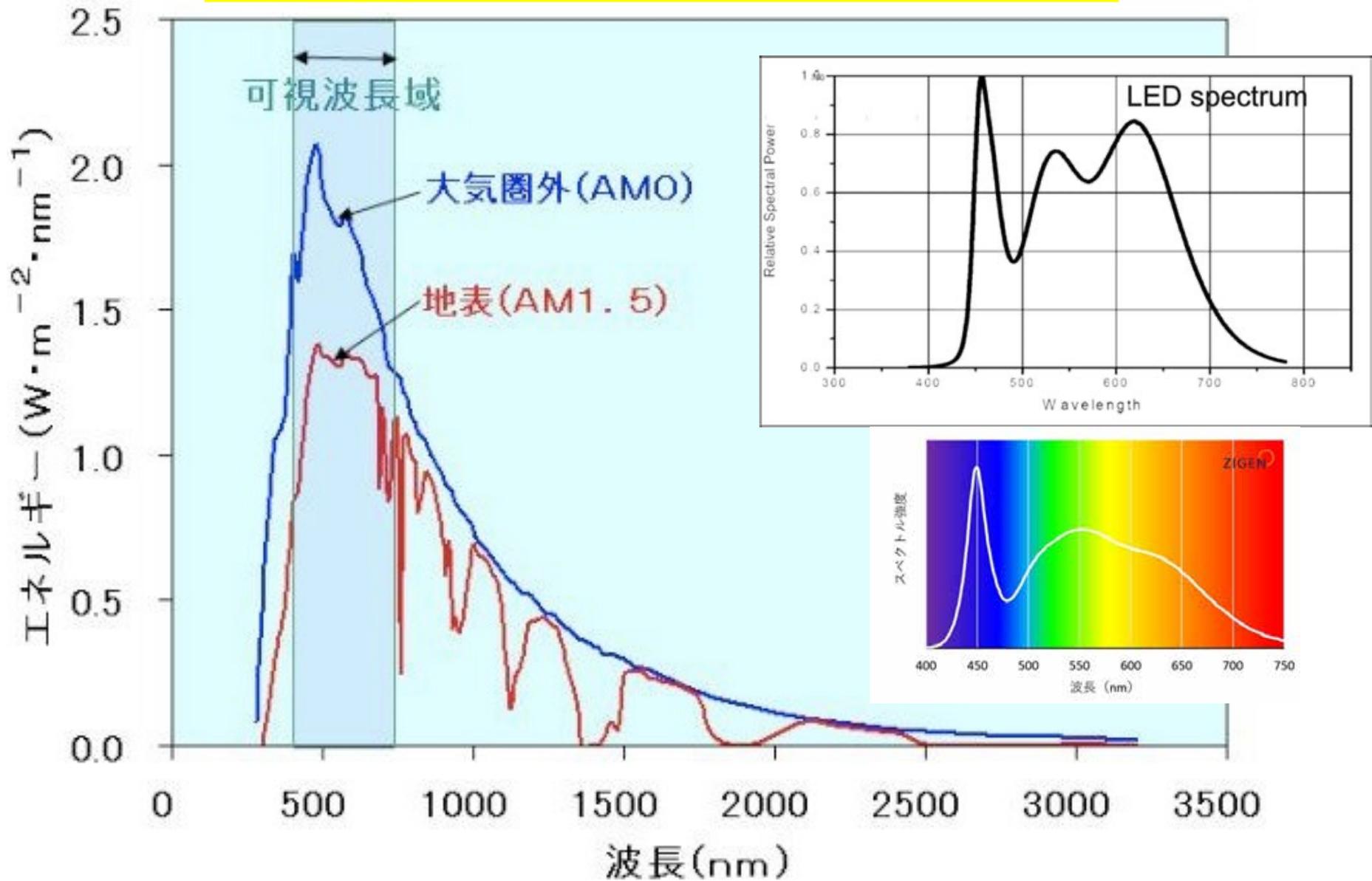
A. Walsh, et al. *APL Materials*, 2013, 1, 04211.



B. Philippe, et al. *J. Phys. Chem. C*, 2017, 121, 26655.

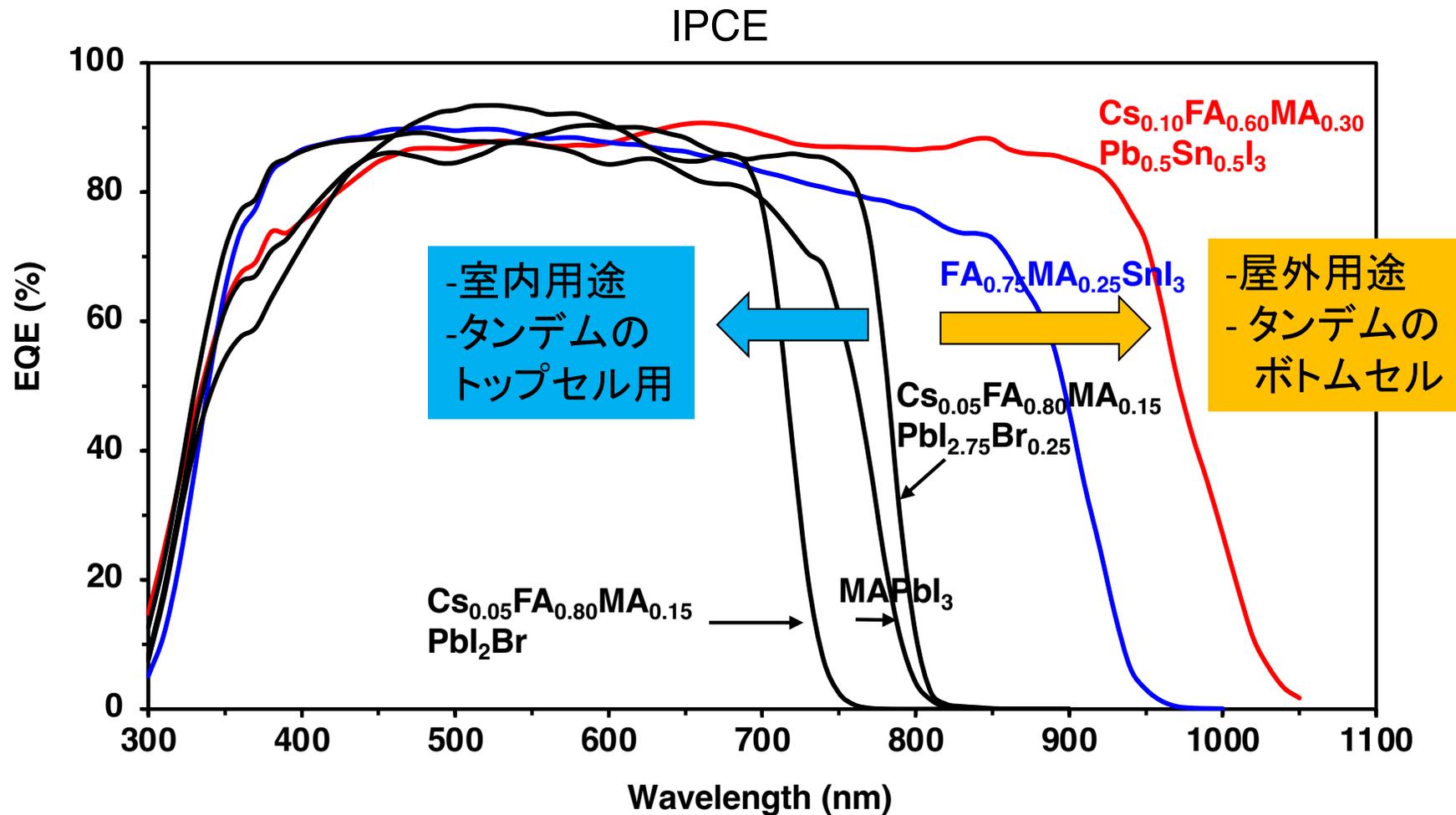
# 発電に利用する光の波長

太陽光のスペクトル：エネルギーの半分は赤外領域



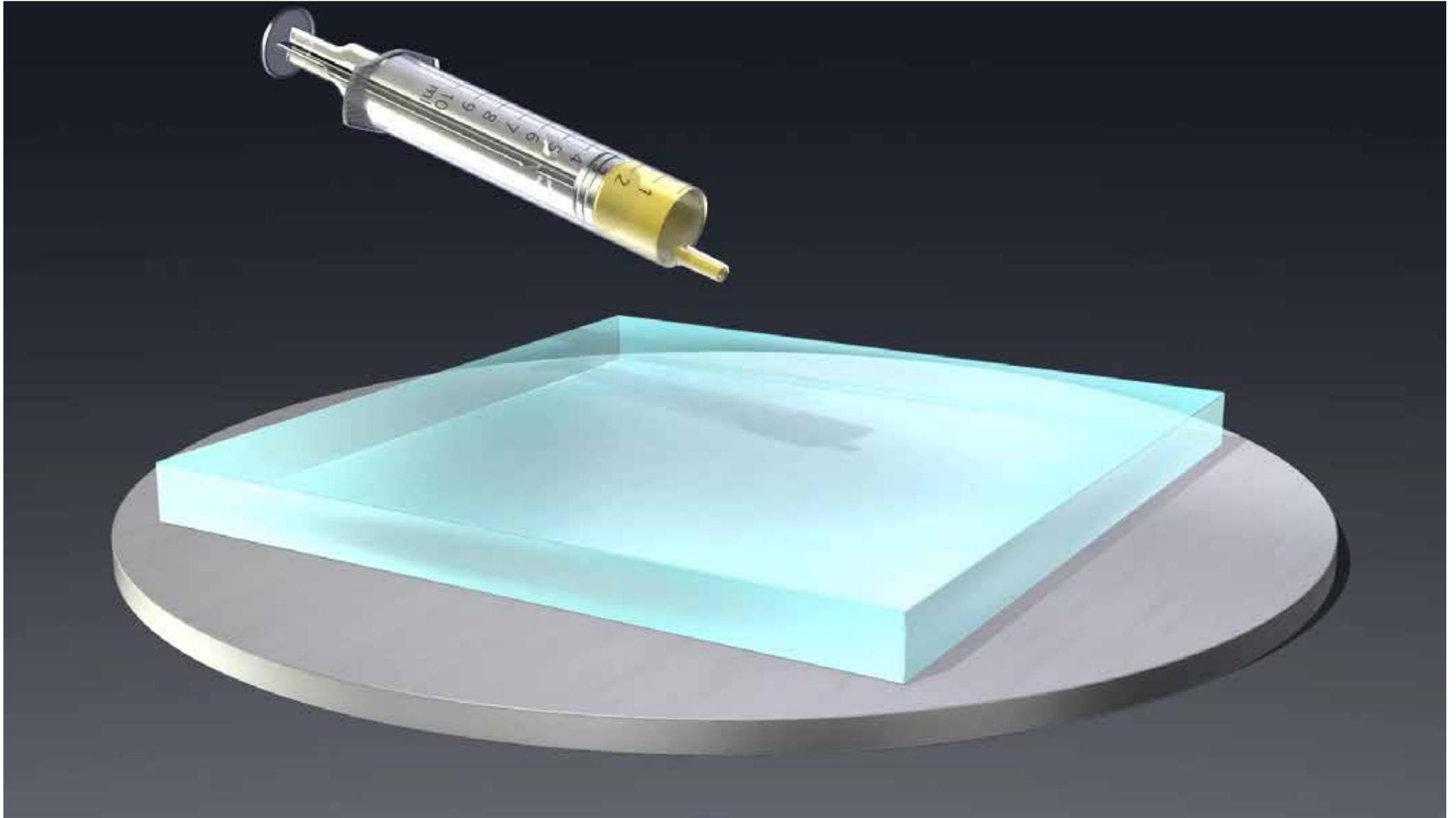
# Bandgap Tuning by Perovskite Component

Pb 系	{	$\text{Cs}_{0.05}\text{FA}_{0.80}\text{MA}_{0.15}\text{PbI}_2\text{Br}$	750 nm (1.65 eV)
		$\text{MAPbI}_3$	800 nm (1.55 eV)
Sn 系	{	$\text{Cs}_{0.05}\text{FA}_{0.80}\text{MA}_{0.15}\text{PbI}_{2.75}\text{Br}_{0.25}$	810 nm (1.53 eV)
		$\text{FA}_{0.75}\text{MA}_{0.25}\text{SnI}_3$	940 nm (1.32 eV)
Pb-Sn 系	{	$\text{Cs}_{0.10}\text{FA}_{0.60}\text{MA}_{0.30}\text{Pb}_{0.5}\text{Sn}_{0.5}\text{I}_3$	1050 nm (1.24 eV)



# 塗布・乾燥過程で3次元のペロブスカイト構造が組み上がる ～化学のドラマ（0.2秒～数十秒）～

---

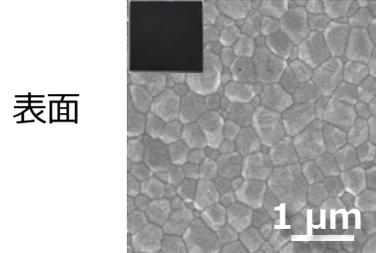


# ペロブスカイト層の品質：デバイス特性に重要 「塗布・乾燥の成膜過程の制御技術が鍵」

塗布・加熱乾燥の0.2秒～数十秒でペロブスカイト構造が形成  
電子顕微鏡像（膜厚は数百nm：髪の毛の100分の1）

塗って作れるが、高品質膜の成膜には  
化学の知見に基づくノウハウが重要

◎緻密で平坦性の高い膜



◎均一で大きなグレイン

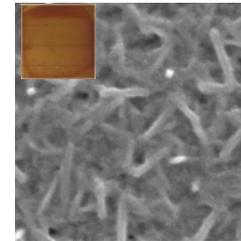


温度・溶媒・  
添加剤・手法

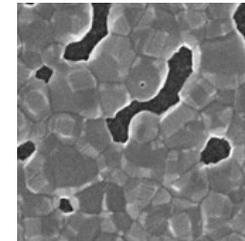


塗布成膜条件  
わずかな違い

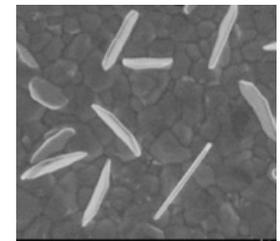
×形成が不完全



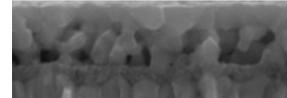
×ピンホールの形成



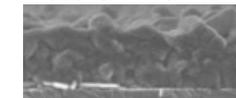
△異物が混在・析出



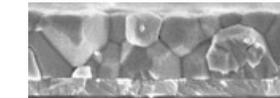
×内部に空洞



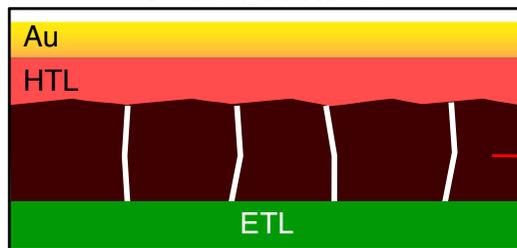
×表面平坦性が悪い



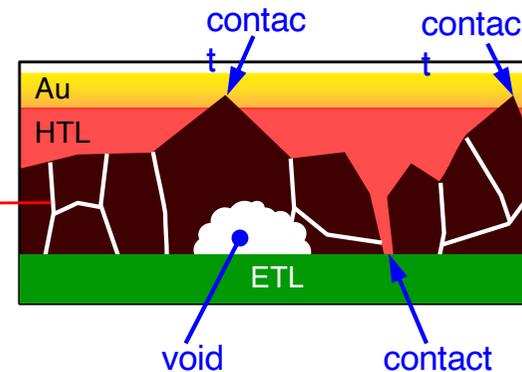
△石垣状のグレイン



求める積層構造



ペロブスカイト層



製造法の開発：小セルから大面積均一塗工技術開発へ

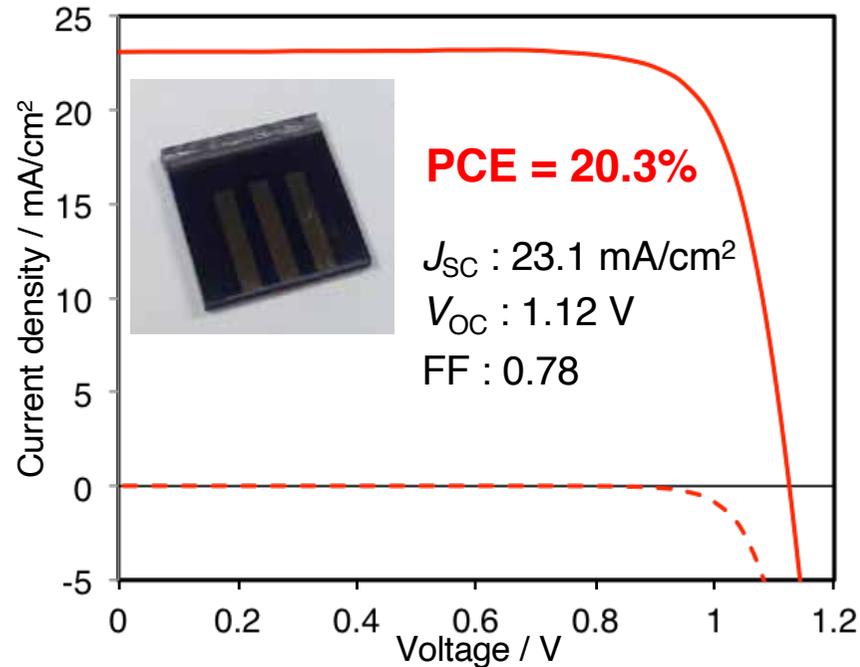
# Device Performance: PCE > 20% (2016)

Patent 2016

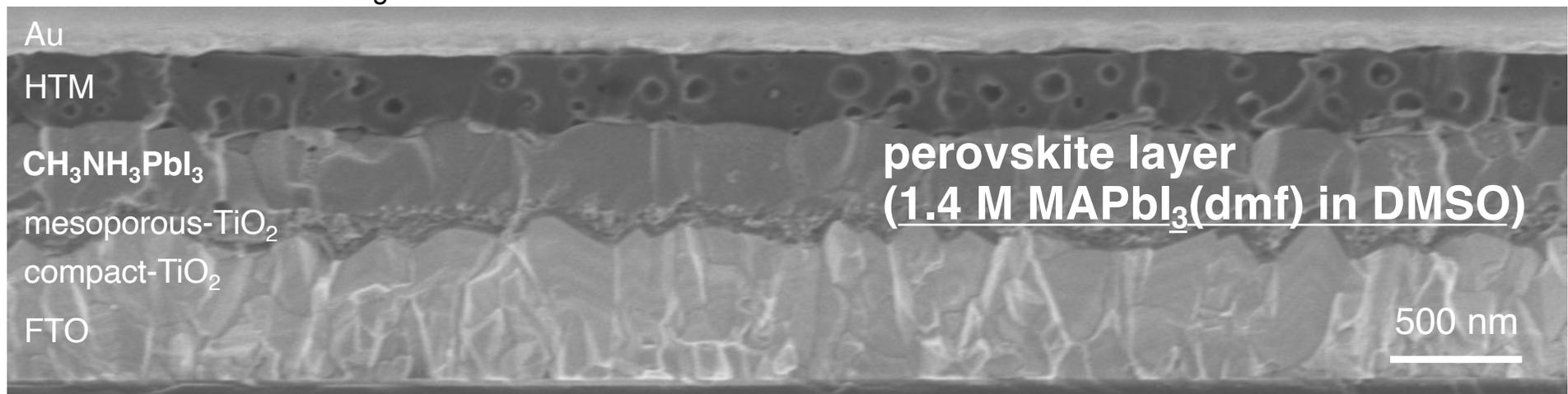
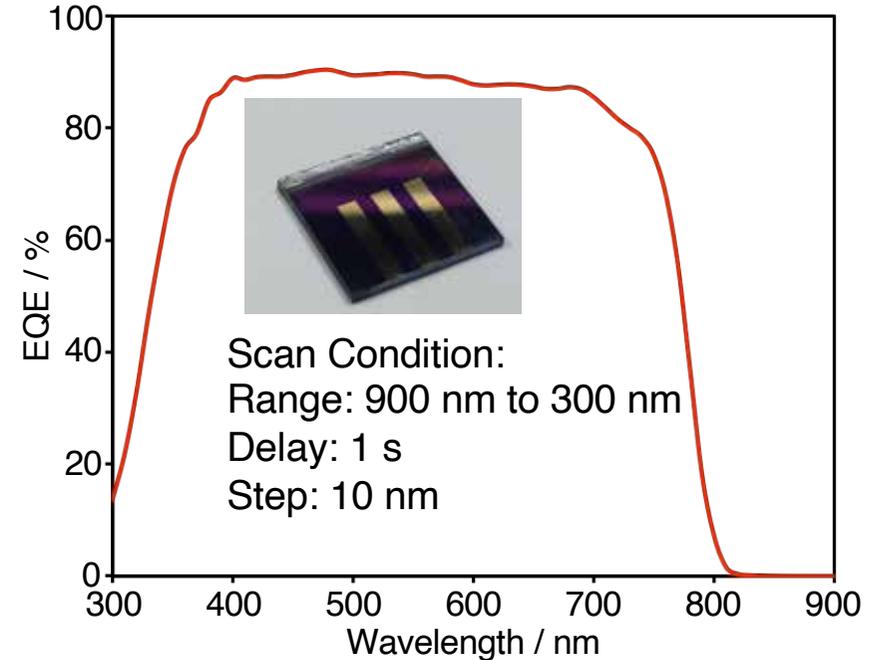
*Angew. Chem., Int. Ed.* **2019**, 58, 9389.

*Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2019**, 92, 1972.

### J-V curve



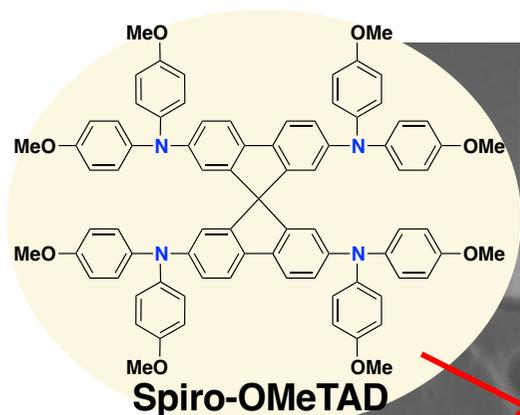
### IPCE spectrum



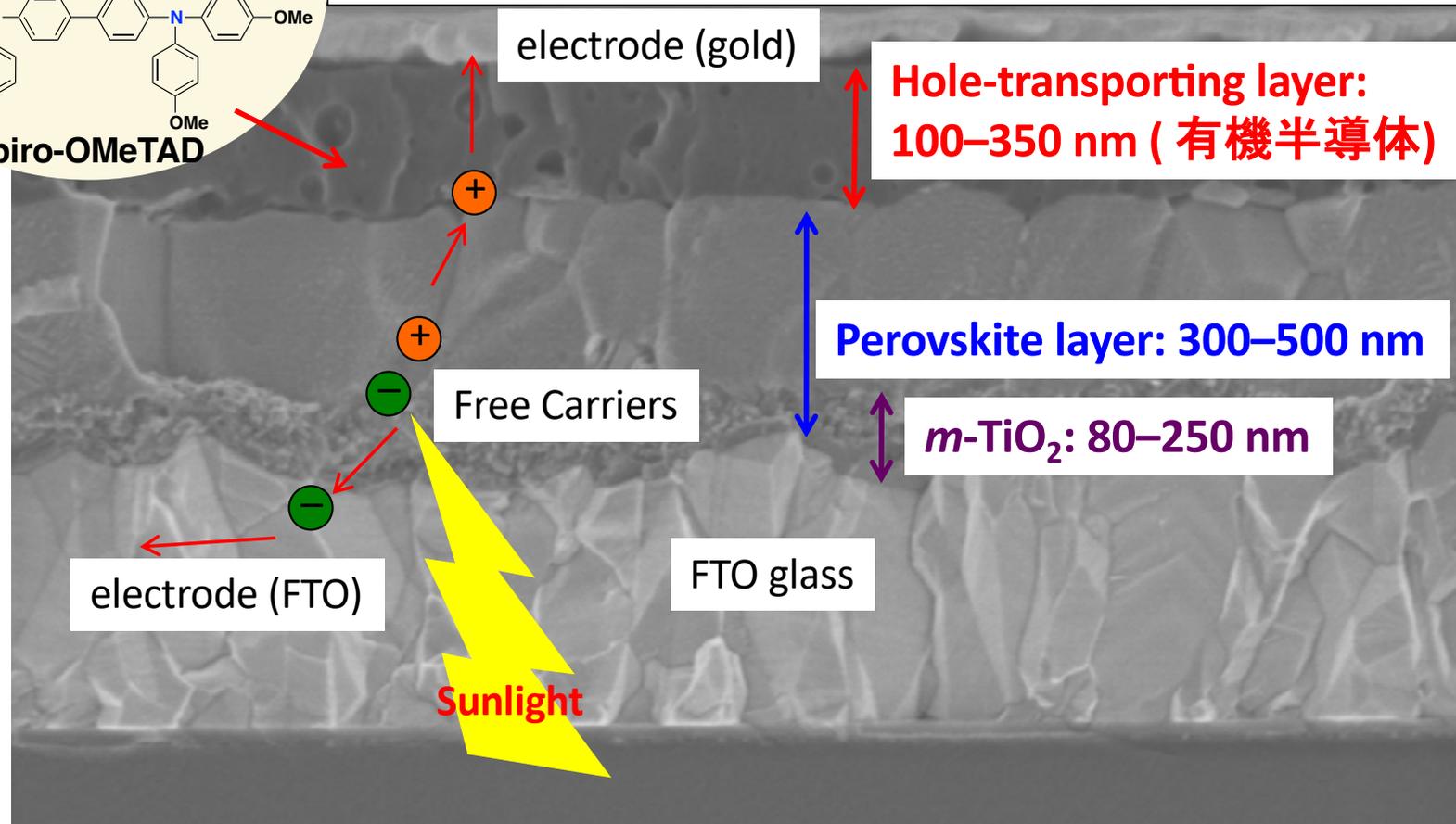
Cross-sectional SEM image (x 20000)

# 高性能ペロブスカイト太陽電池の構造（断面SEM像）

PCE > 20%セルの断面構造（Pat.2016）



Development of **Excellent Organic Semiconductors** is a key for highly efficient solar cells !



*J. Am. Chem. Soc.* **2014**, *136*, 11610.  
*J. Phys. Chem. Lett.* **2015**, *6*, 482.

*IEEE J. Photovoltaic* **2015**, *5*, 401.  
*J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *137*, 10456. etc.

# 電荷回収層材料の開発



T. Nakamura



M. Truong



H.-A. Lin

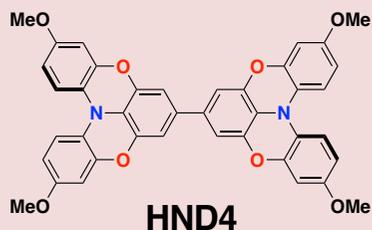


Y. Segawa

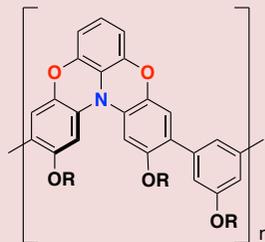


K. Itami

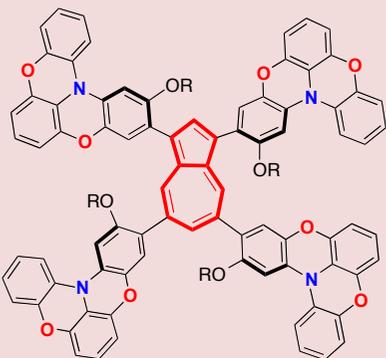
## p 型半導体材料



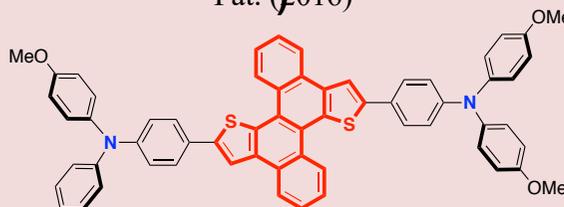
*Angew. Chem. Int. Ed.* (2014)



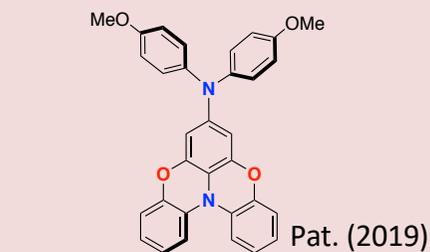
Pat. (2016)



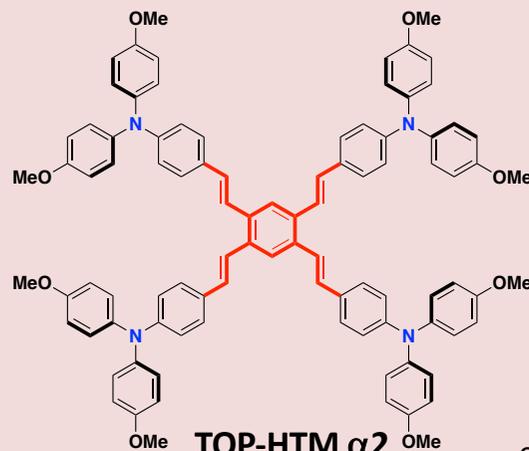
*JACS* (2015), *Chem Eur. J.* (2019)



*Mater. Chem. Front.* (2018)

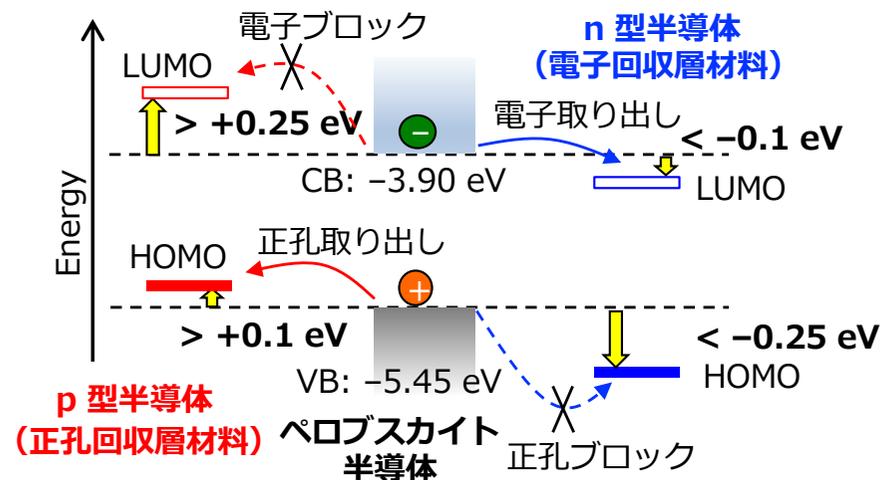


*ACS Appl. Energy Mater.* (2021)

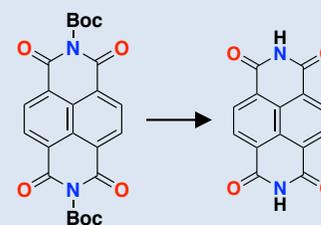


*ACS Appl. Mater. Interfaces* (2020)

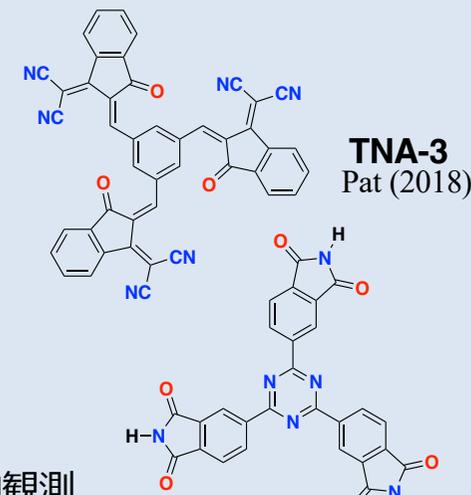
## 電荷回収層材料に必要な電子構造



## n 型半導体材料



*Chem. Mater.* (2019)  
Pat. (2017)



pMAIRSにより分子配向観測  
長谷川 健 教授 (京大)共同研究

*ChemPlusChem* (2019)

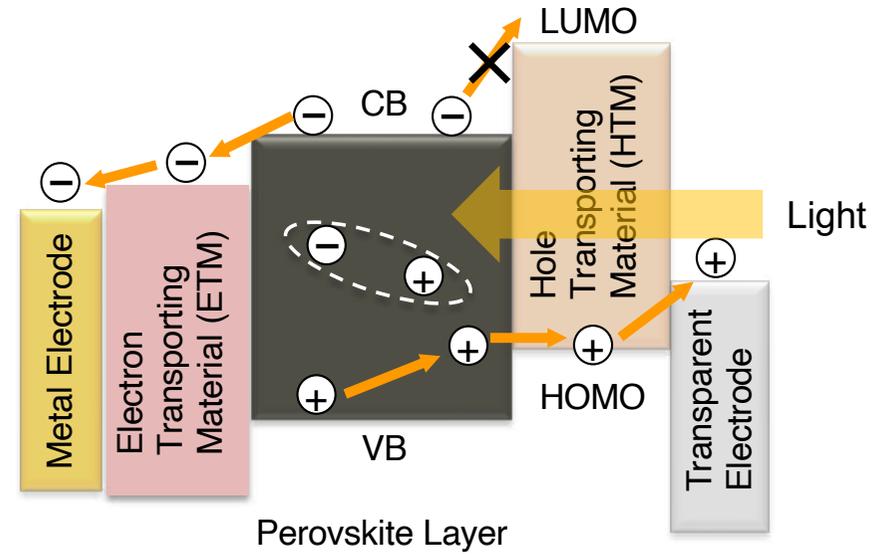
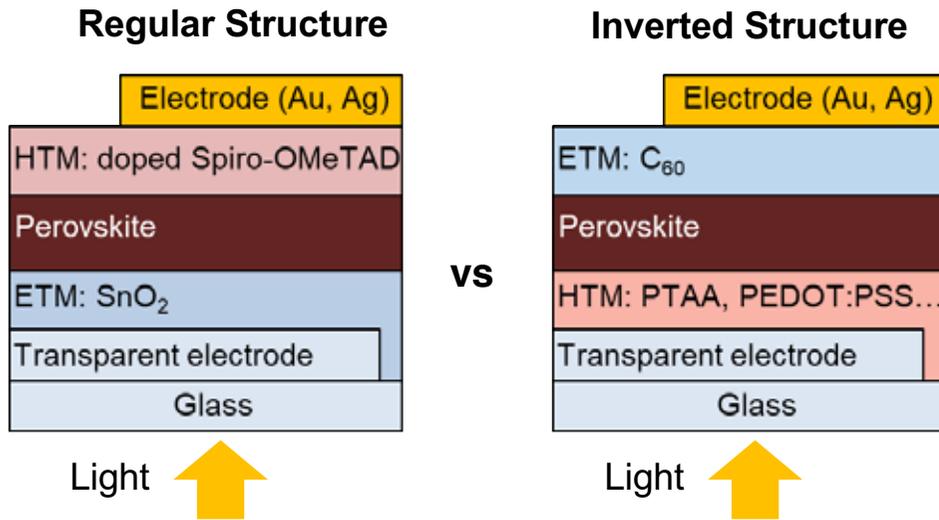
ペロブスカイト太陽電池高性能化のための分子設計指針を提唱

*J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *137*, 15656.

(Top1% 高被引用論文) 14

# 電荷回収層材料の分子設計の考え方

## Perovskite Solar Cells

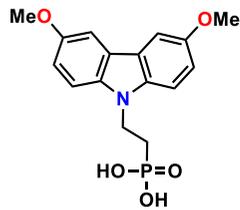


## Hole-Transporting Materials for Inverted Structure

### - New Monolayer Materials

Thin layer, Dopant free, High Transparency

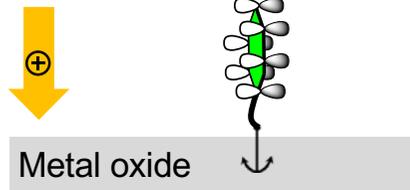
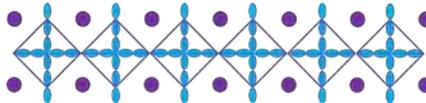
Small molecule



MeO-2PACz

PCE ~ 20%

Perovskite

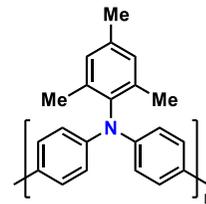


Monopodal

### - Conventional Bulk Materials

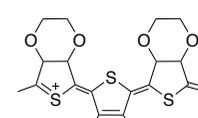
Thick layer, Dopant (Oxidant), Low transparency

Polymers



PTAA

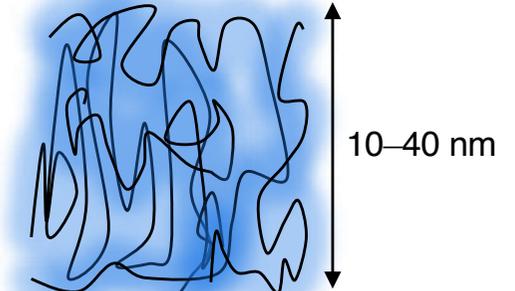
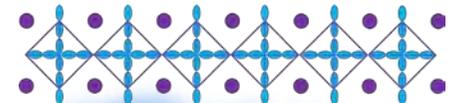
PCE ~ 23%



SO<sub>3</sub><sup>-</sup> SO<sub>3</sub>H SO<sub>3</sub>H

PEDOT:PSS

Perovskite



Metal oxide

V. Getautis, S. Albrecht, et al, *Adv. Energy Mater.* **2018**, 8, 1801892.

V. Getautis, S. Albrecht, et al, *Science* **2020**, 370, 1300.

A. K.-Y. Jen, et al,

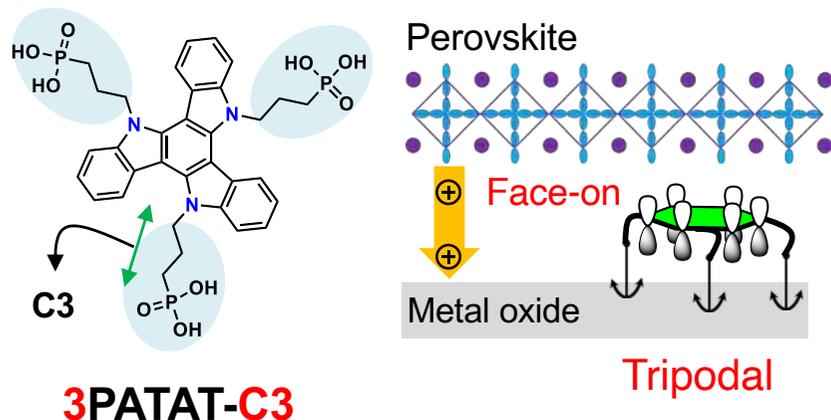
*J. Am. Chem. Soc.* **2020**, 142, 20134.

# 単分子膜材料: マルチポッド型分子「PATAT」の開発

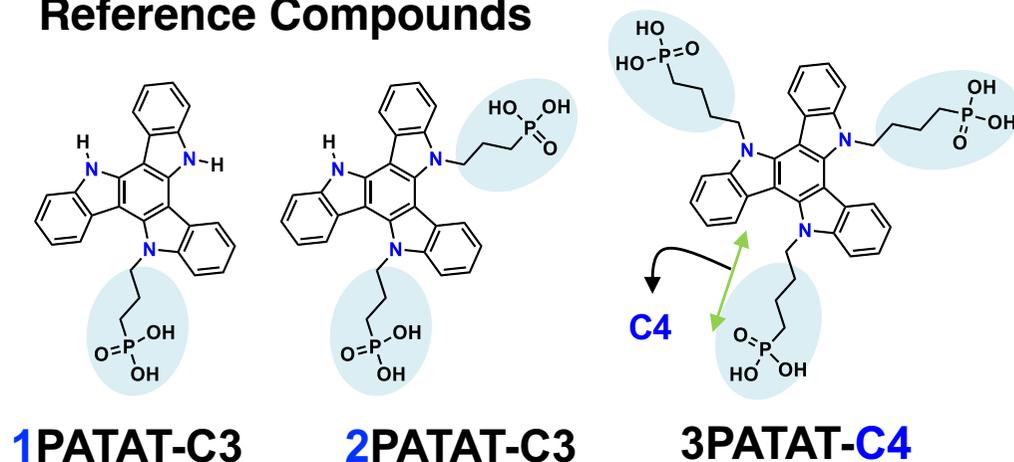
Idea: Tripodal Monolayer Materials

Model Skeleton: Phosphoric Acid-Triazatruxene

Target Compound

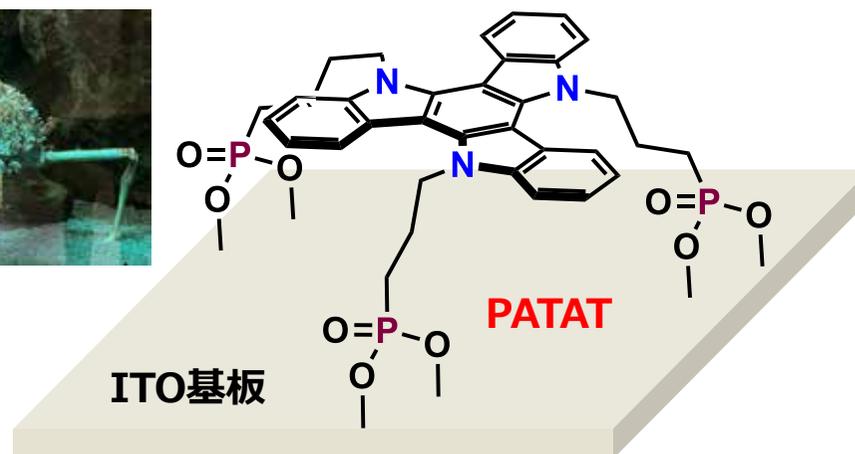
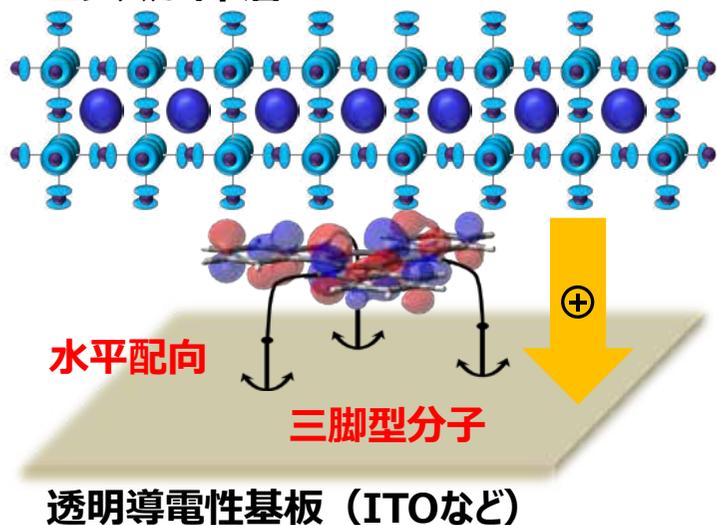


Reference Compounds



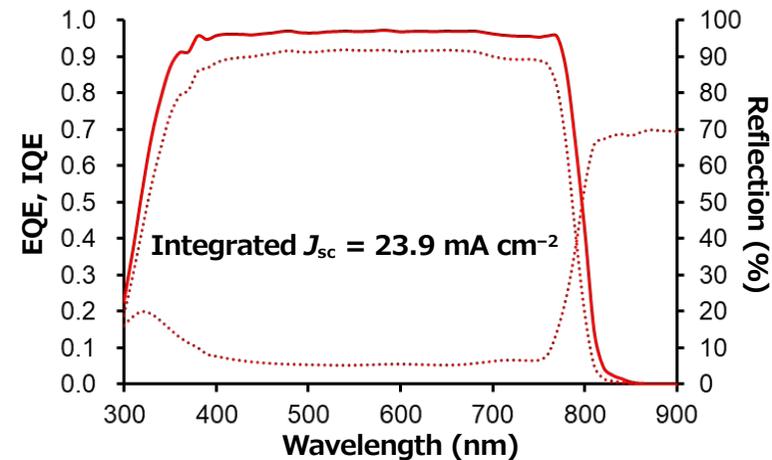
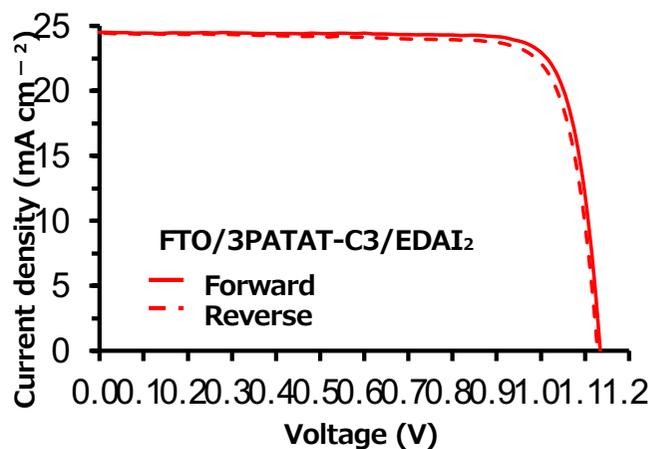
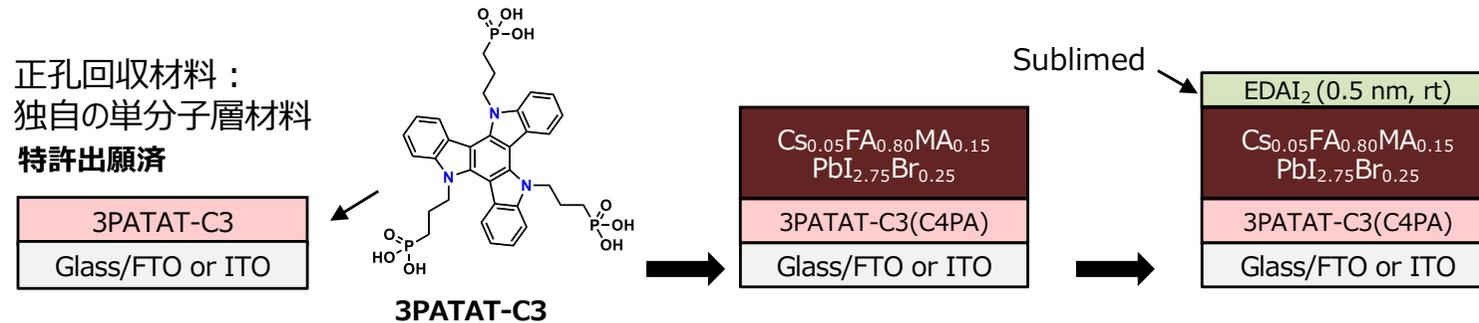
多脚型構造(マルチポッド型): 金属酸化物基板(ITOなど)へのアンカー骨格を複数導入する

ペロブスカイト層



# 多脚型単分子正孔回収材料 (PATAT) を用いた ペロブスカイト太陽電池：高効率&高耐久

M. A. Truong, A. Wakamikia, et al. *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145*, 7528.



Forward scan	$J_{sc}$ ( $\text{mA/cm}^2$ )	$V_{oc}$ (V)	FF	PCE (%)
FTO/3PATAT-C3	24.3	1.06	0.81	21.0
FTO/3PATAT-C3/EDAI <sub>2</sub>	24.5	1.13	0.83	23.0
AIST 認証値 (MPPT)	$I_{pmax}$ (mA)/ $J_{sc}$	$V_{pmax}$ (V)/ $V_{oc}$	FF	Eff(da)(%)
FTO/3PATAT-C3/EDAI <sub>2</sub>	2.164/23.9	0.950/1.102	0.792	21.02

# Certification (AIST)

M. A. Truong, A. Wakamiya, et al. *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145*, 7528.

**Certified device performance: 21.0%**

連続光照射耐久性 >1700 h

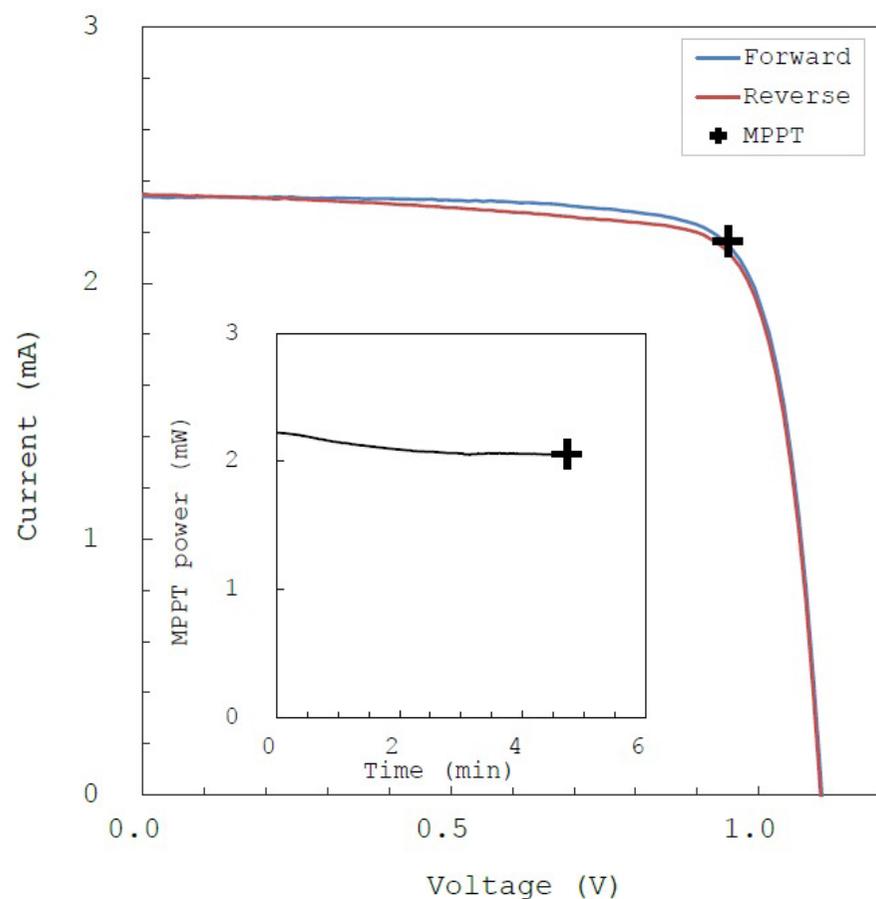


ミンアン助教

## I-V CURVE

IEC60904-3:2019 0.0978cm<sup>2</sup> (designated area) LACS

Date : 21 Dec 2021  
Sample No. : No.18-2\_211220\_Pb\_01  
Repeat Times : 1



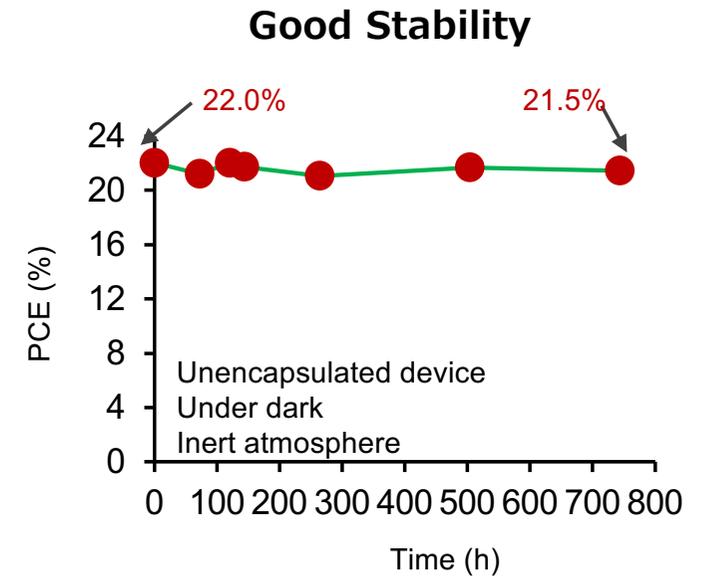
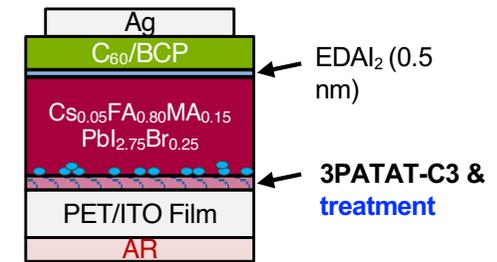
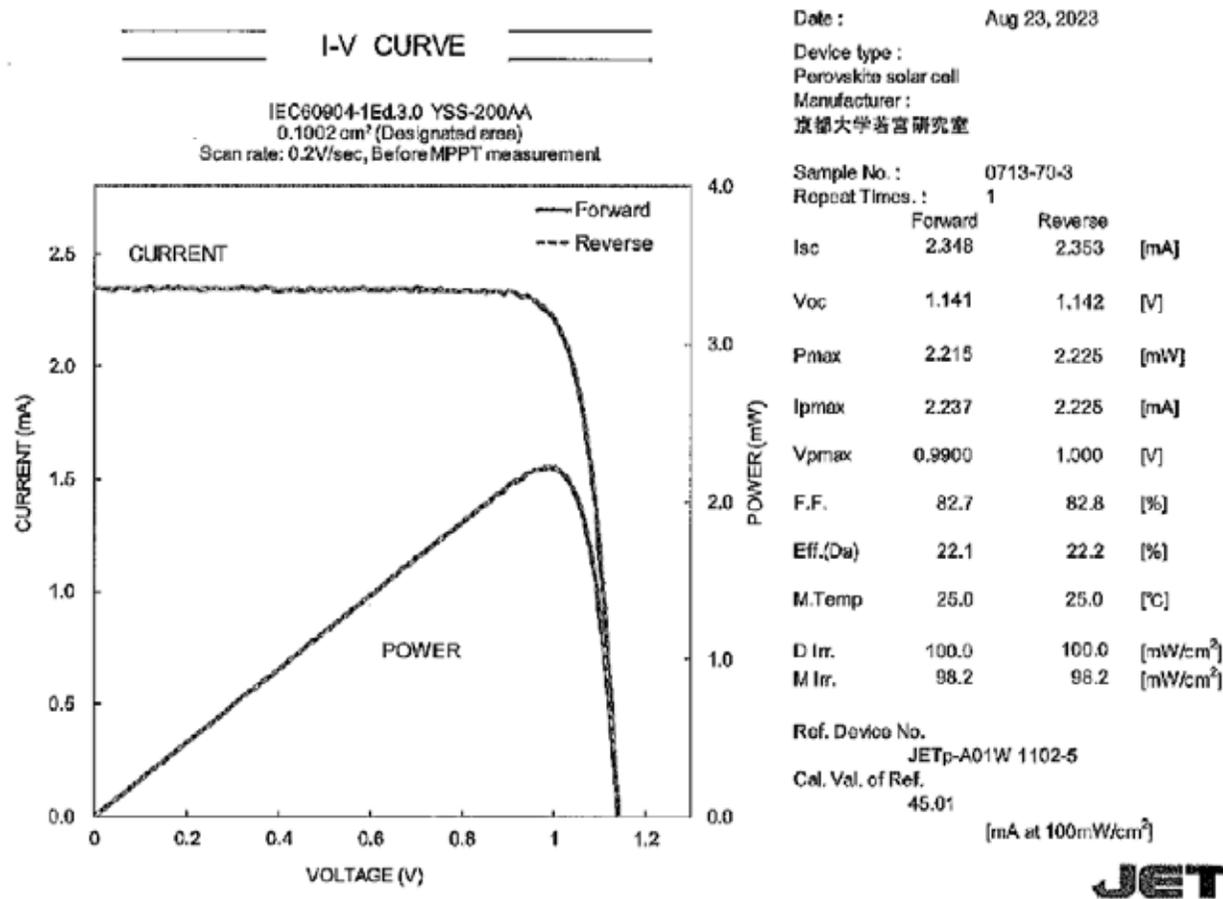
Scan Mode	Forward	Reverse	MPPT <sup>+</sup>
I <sub>sc</sub> (mA)	2.338	2.347	-
V <sub>oc</sub> (V)	1.102	1.100	-
P <sub>max</sub> (mW)	2.042	2.016	<b>2.056</b>
I <sub>pmax</sub> (mA)	2.160	2.133	<b>2.164</b>
V <sub>pmax</sub> (V)	0.946	0.946	<b>0.950</b>
F.F. (%)	79.2	78.1	-
Eff (da) (%)	20.88	20.61	<b>21.02</b>
DTemp. (°C)	25.0	25.0	<b>25.0</b>
MTemp. (°C)	25.1	25.1	<b>25.1</b>
DIrr. (mW/cm <sup>2</sup> )	100.0	100.0	<b>100.0</b>
MIrr. (mW/cm <sup>2</sup> )	99.9	99.9	<b>99.9</b>
Ref.Device No.	CSI03+KG5-2t		
Cal.Value	54.40 (mA)		

+: After MPPT 4.7 min  
Total Illumination Time : 4.7 min



# フィルム型ペロブスカイト太陽電池

## Film Cell: Certified PCE 22.2% (JET)

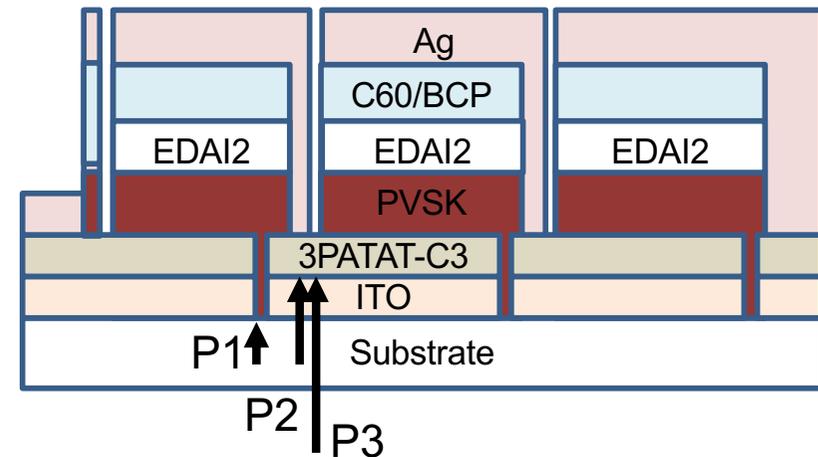
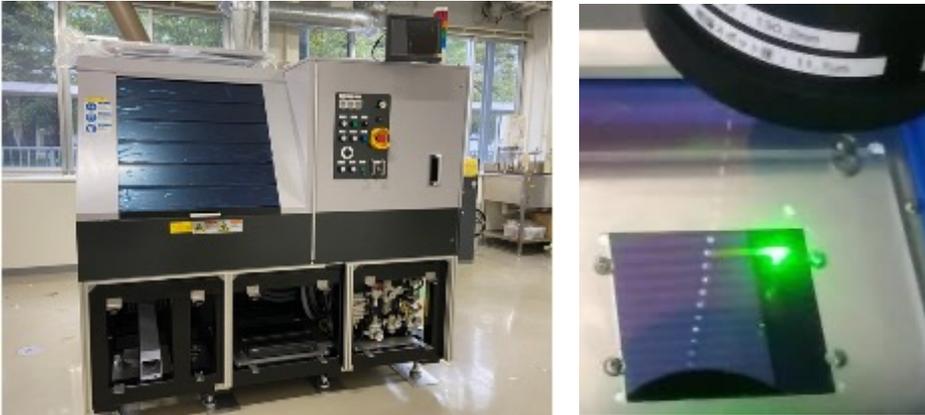


2023. August

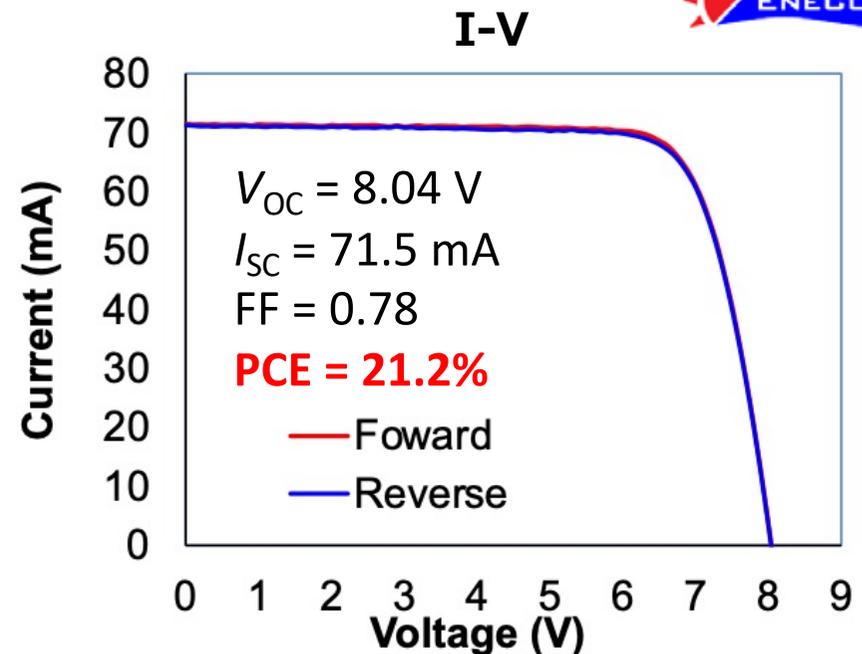
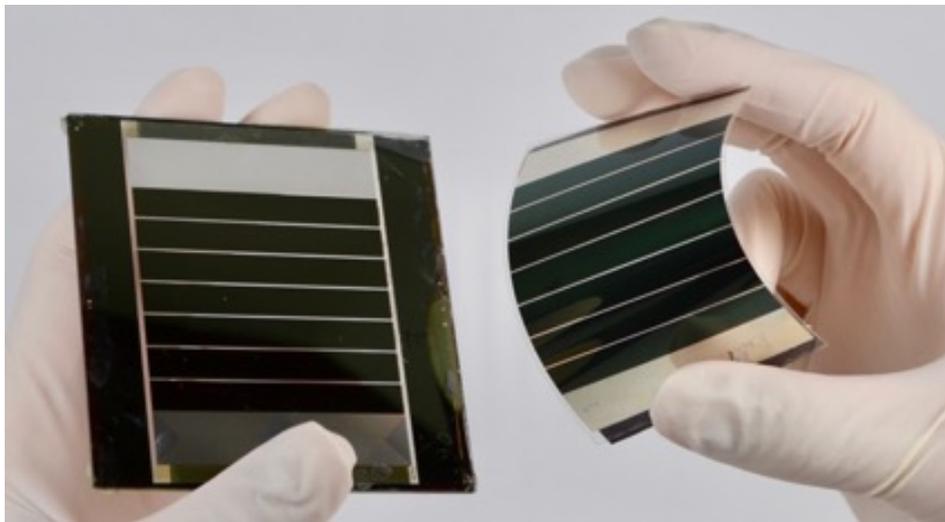
# フィルム型モジュール：21.2%（世界最高値）を達成！

NEDO グリーンイノベーション(GI)基金事業

レーザー加工機（ペロブスカイト太陽電池用に開発）

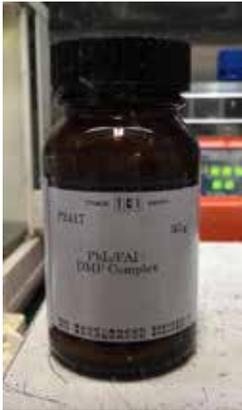


フィルム型ペロブスカイト太陽電池モジュール



# 低照度（屋内）でも高い発電効率

*J. Mater. Chem. A.* 2019, 7, 16947.

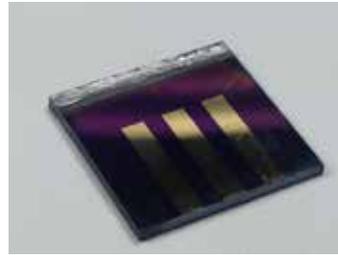


FAPbI<sub>3</sub>-DMF

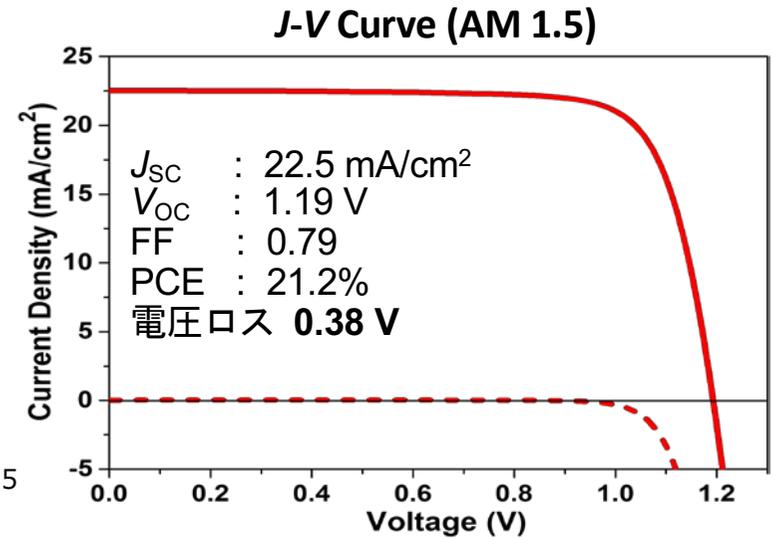


国際特許

PCT/JP2016/87529.

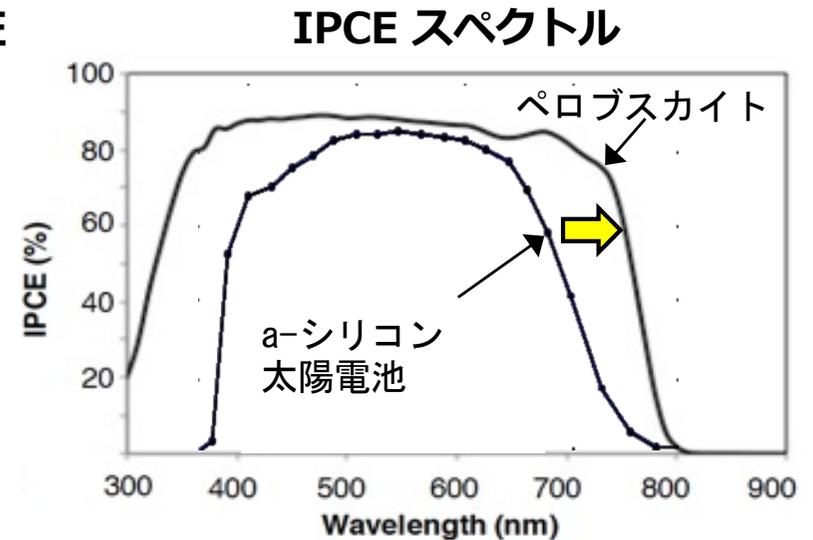


混合イオン型ペロブスカイト  
Cs<sub>0.05</sub>MA<sub>0.15</sub>FA<sub>0.80</sub>PbI<sub>2.5</sub>Br<sub>0.5</sub>



## 低照度（200 lx～1000 lx @LED）での光電変換特性

太陽電池	照度 lx	$J_{sc}$ / $\mu$ A $\cdot$ cm <sup>-2</sup>	$V_{oc}$ /V	FF	Pmax
ペロブスカイト	1000	135	0.90	0.78	93.9 $\mu$ W/cm <sup>-2</sup>
ペロブスカイト	200	28	0.85	0.73	17.6 $\mu$ W/cm <sup>-2</sup>
a-シリコン	200	17	0.63	0.68	7.3 $\mu$ W/cm <sup>-2</sup>



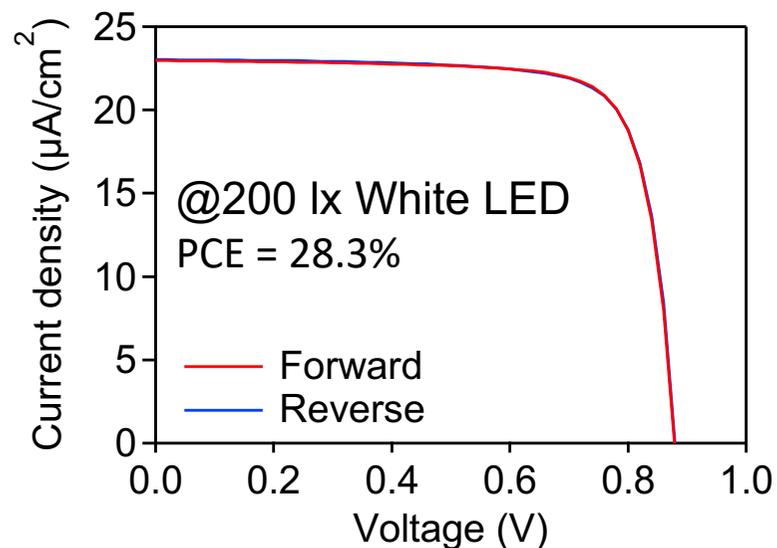
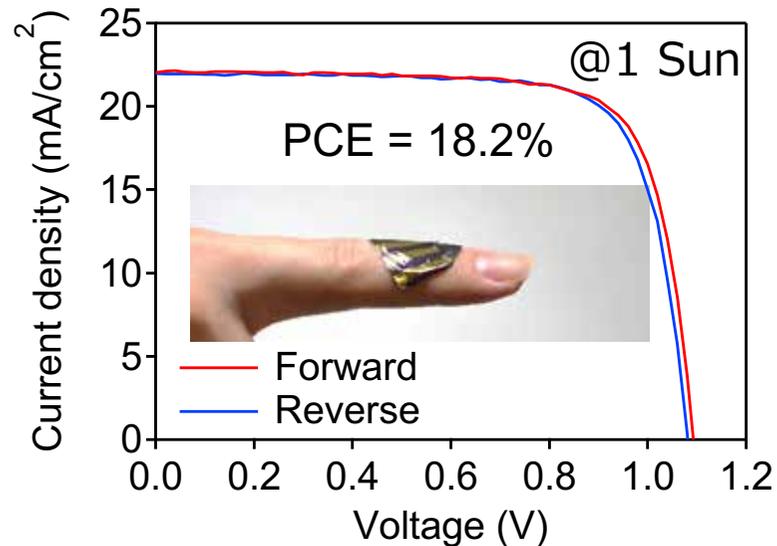
低照度（室内光）でも高効率で発電 ( $P_{max} > 17.6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) :  
従来太陽電池の **2倍以上**の出力！

# 超薄膜ペロブスカイト太陽電池モジュール

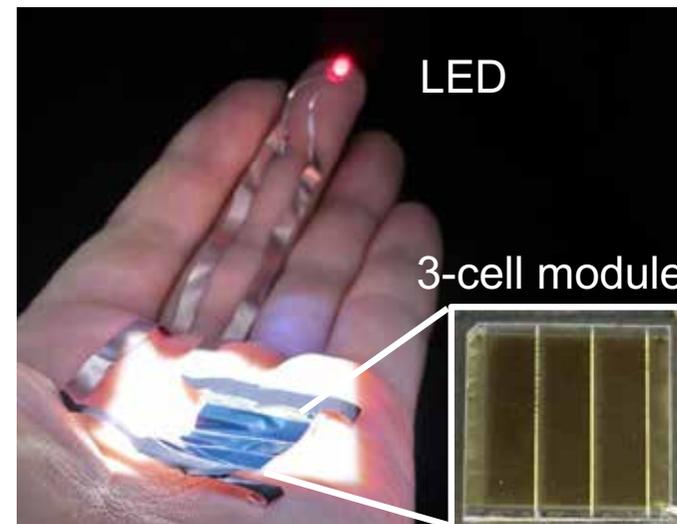
Deposition of ITO in Ultra-thin PEN film  
Realized **24 W/g (0.04 g/W)**

N. Ohashi, A. Wakamiya, et al.  
*Solar RRL*. 2023, 7, 2300221.

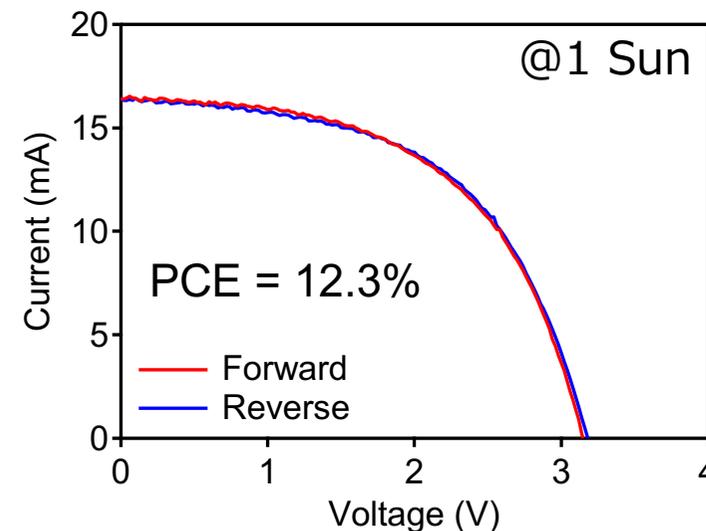
## 0.1 cm<sup>2</sup> Ultra thin Cells



## 2.3 cm<sup>2</sup> Ultra thin module



N. Ohashi



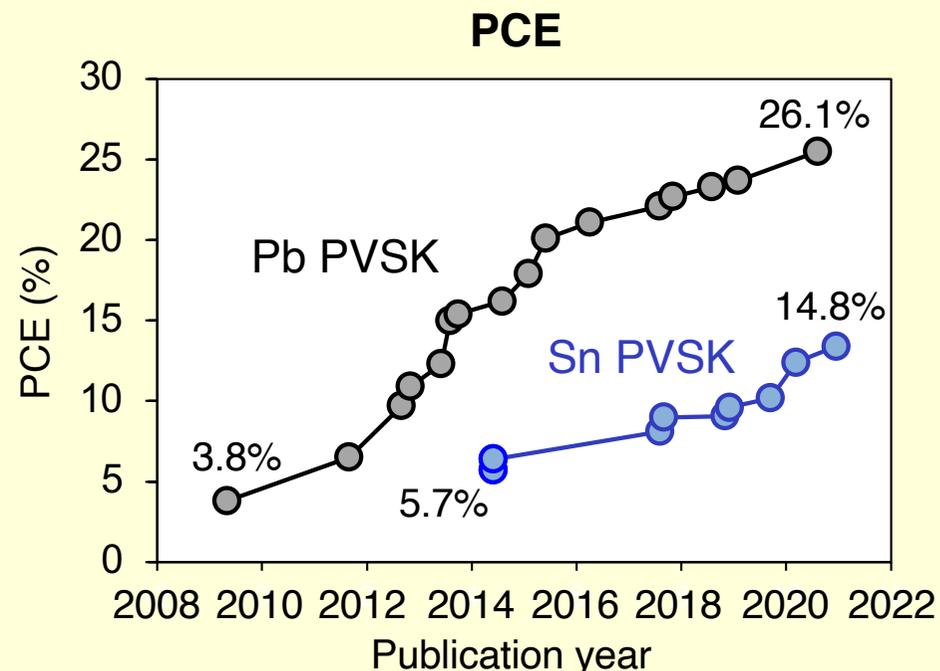
# Pb-Free Perovskite Solar Cells



× Toxicity  
**RoHS**  
compliant

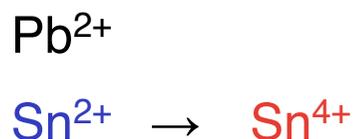
✓ Environmental Friendly  
× Low PCE & Reproducibility

S. Hayase, et al. *Nano Energy* **2020**; PCE = 13.2%  
Z. Bian, Z. Liu, et al., *Matter* **2021**; PCE = 13.4%  
Z. He, et al., *Adv. Mater.* **2021**; PCE = 14.8%



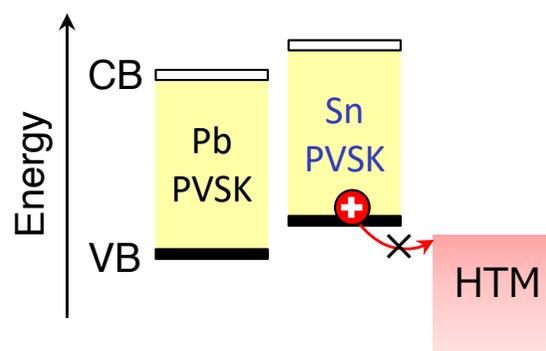
## Bottleneck Issues on Sn-based Perovskite Solar Cells

### Easily Oxidation

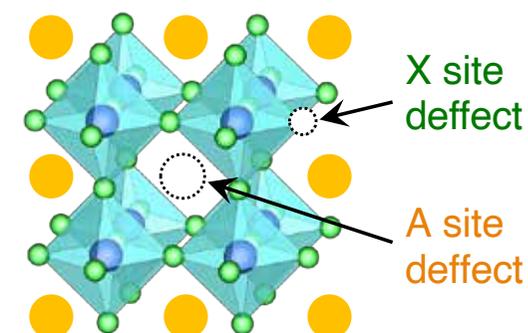


“Semiconductor” to “Metallic”  
properties by doping effects

### Shallower Valence Band

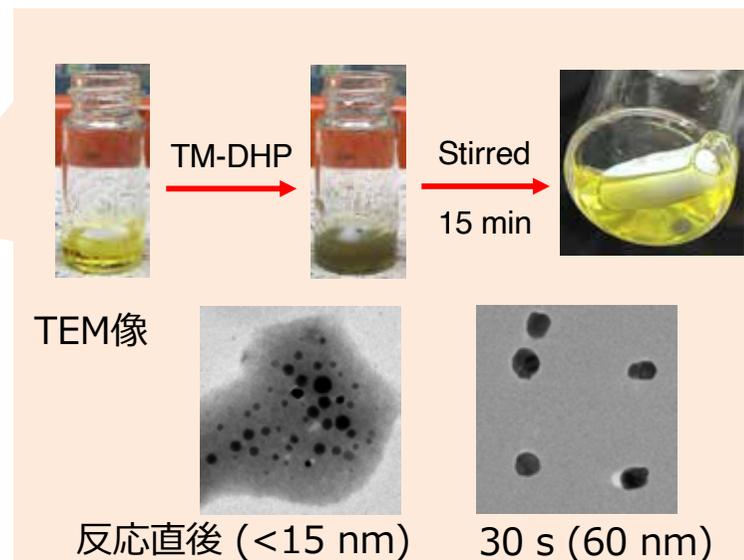
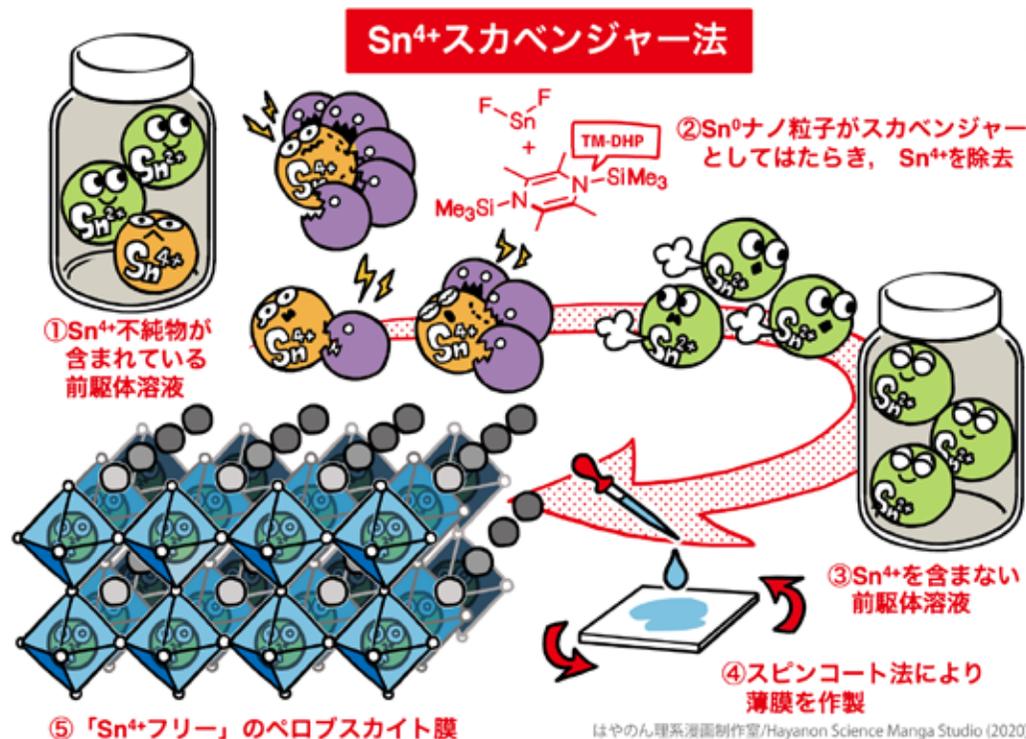


### Rapid Crystallization Process

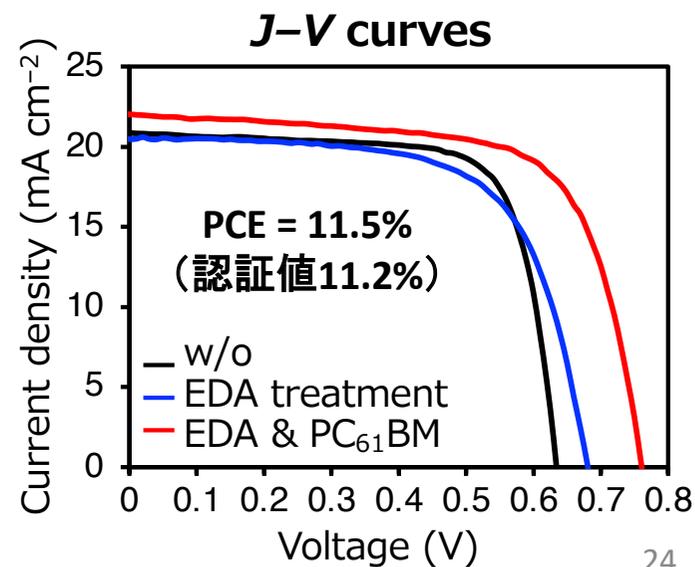
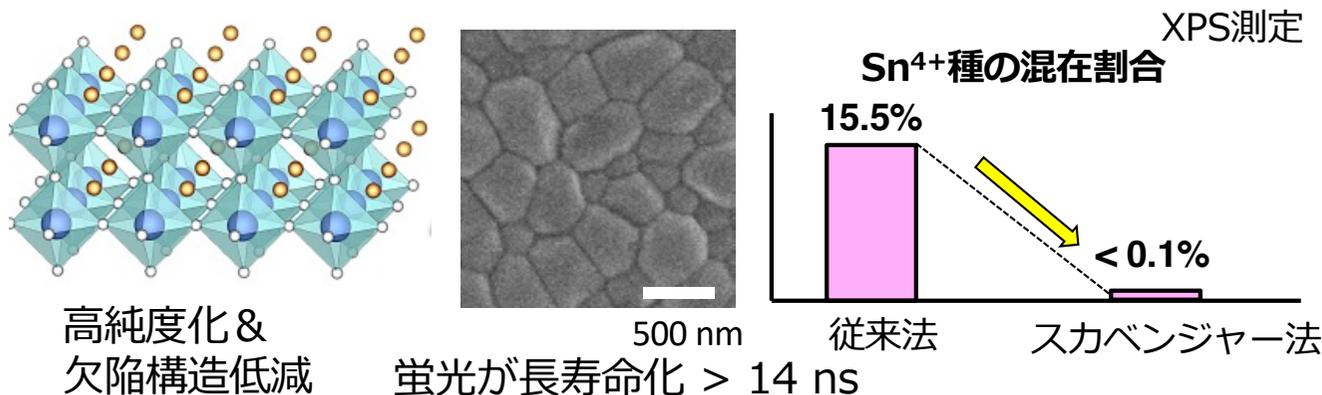


# Sn<sup>0</sup> ナノパーティクルの発生を利用した Sn<sup>4+</sup>スカベンジャー法

国際特許出願、*Nat. Commun.* 2020, 11, 3008.

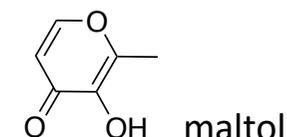
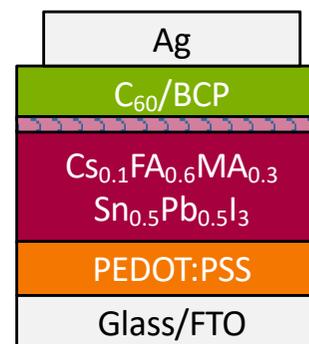


## Sn<sup>4+</sup>フリーの Sn ペロブスカイト薄膜の作製を初めて実現



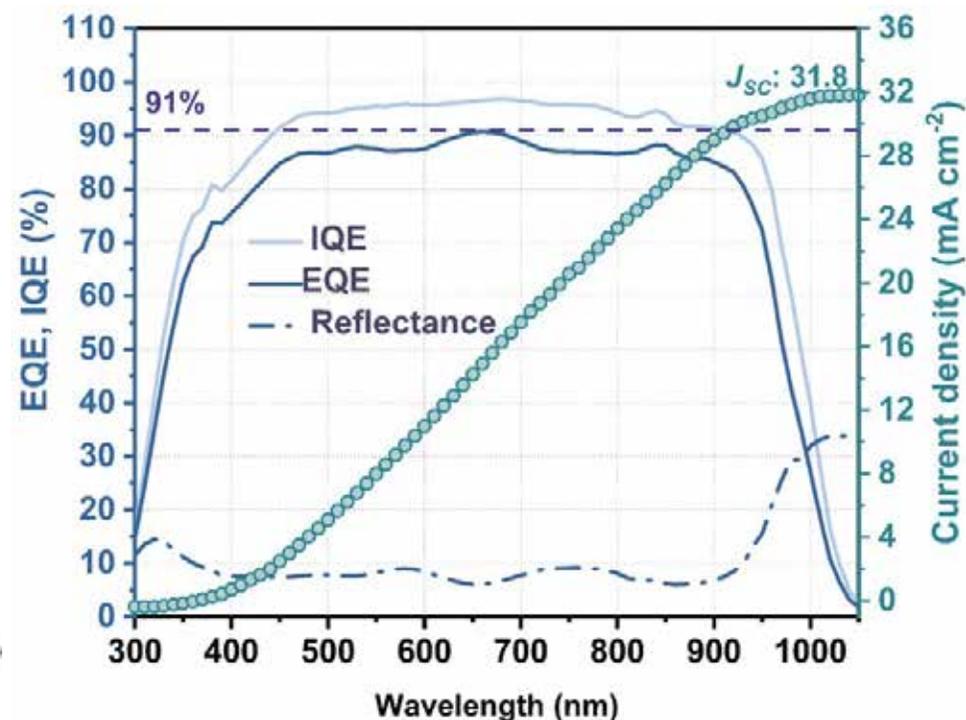
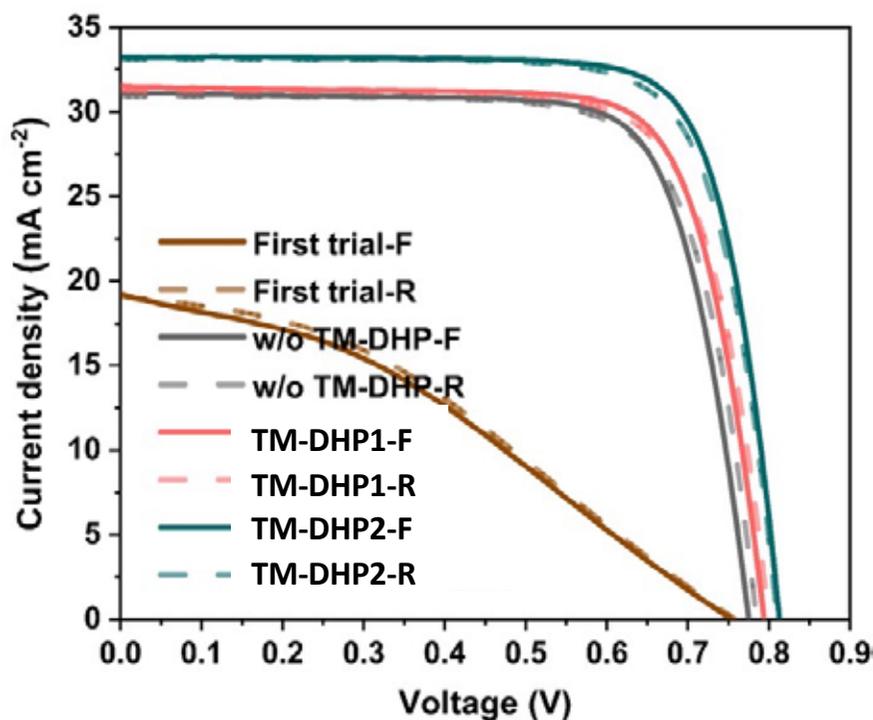
Sn-Pbペロブスカイト半導体の高純度化：蛍光寿命  $>7 \mu\text{s}$  !!  
1050 nmまでの超波長領域で光電変換

Sample	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF	PCE (%)
First trial-F	19.2	0.75	0.35	5.05
First trial-R	19.1	0.76	0.36	5.22
w/o TM-DHP-F	31.1	0.78	0.75	18.2
w/o TM-DHP-R	30.9	0.78	0.74	18.1
TM-DHP1-F	31.6	0.79	0.76	19.0
TM-DHP1-R	31.3	0.80	0.75	18.7
TM-DHP2-F	33.3	0.81	0.78	21.0
TM-DHP2-R	33.1	0.81	0.76	20.5



S. Hu

大塚



# 界面パッシベーション技術

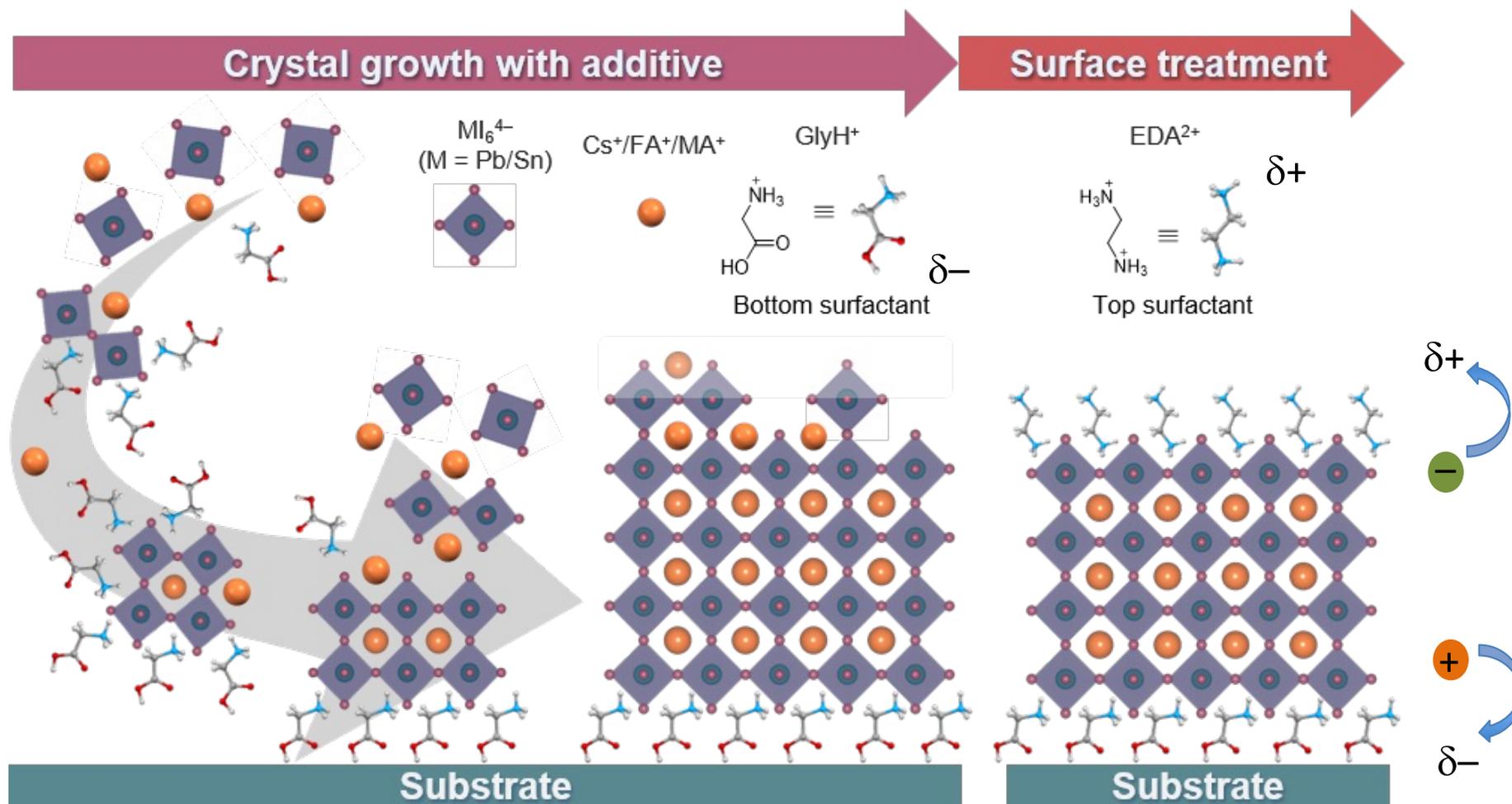
S. Hu, K. Marumoto, K. Tajima, Y. Kanemitsu, A. Wakamiya, et al. *Energy Environ. Sci.* **2022**, *15*, 2096.

Top 0.1% 高被引用論文

光電変換効率 **23.6%** (**23.1%** 認証) を達成 (Snを含むデバイスの世界最高値)

可視光～近赤外領域 (~1050 nm) までの広帯域で光電変換: 内部量子収率 ~100%

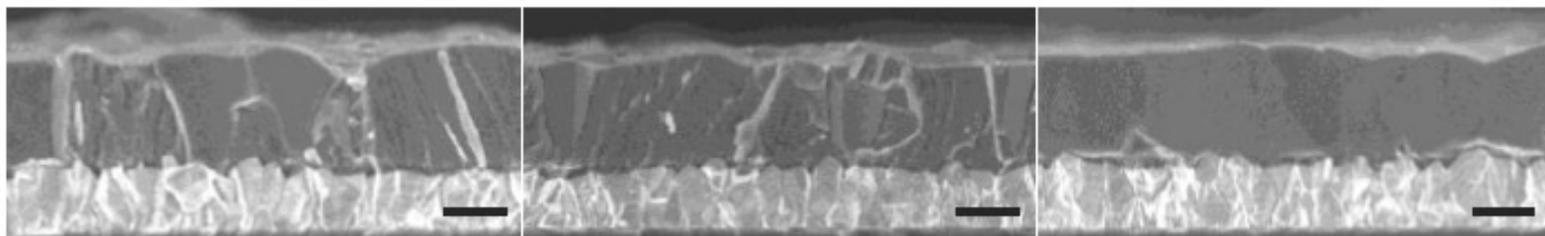
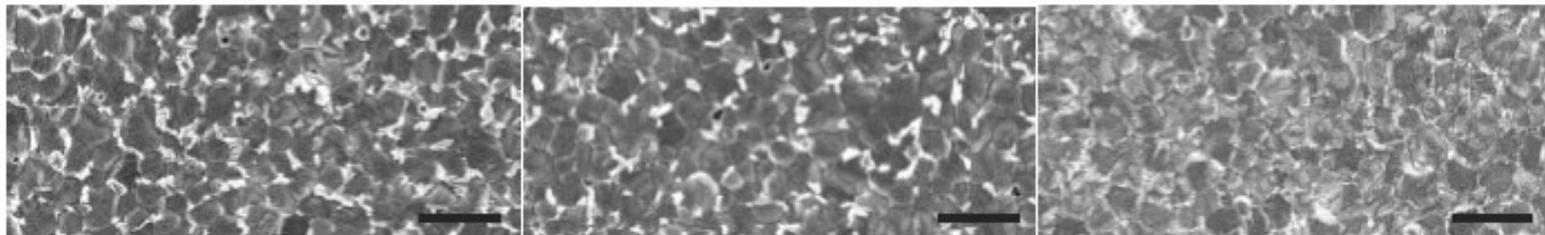
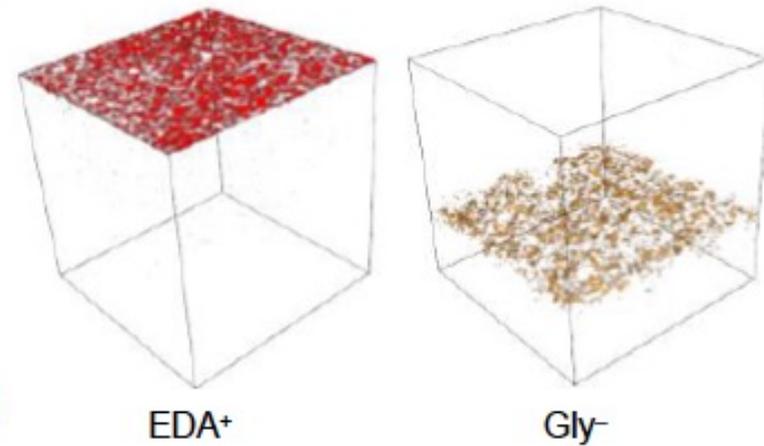
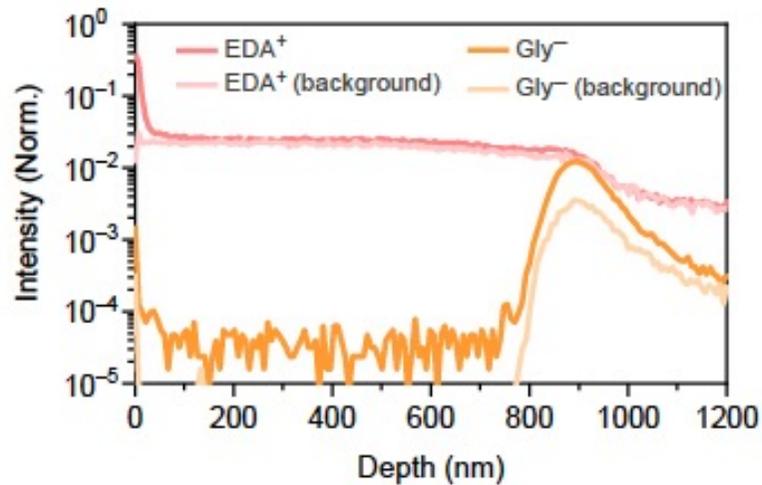
開放電圧 **0.91 V**: 理論限界のわずか -0.06 V を実現



# 各イオンの分布: ToF-SIM

Sn-Pb

K. Matsuda @ Toray Research Center



Thickness = 870 nm

Control

Thickness = 830 nm

EDAl<sub>2</sub>

Thickness = 860 nm

EDAl<sub>2</sub> + GlyHCl

# Performance of Solar Cells: Inverted Structure

Sn-Pb

S. Hu, K. Marumoto, K. Tajima, Y. Kanemitsu, A. Wakamiya, et al. *Energy Environ. Sci.* **2022**, *15*, 2096.

$J_{SC} = 32.4 \text{ mA/cm}^2$ ,  $V_{OC} = 0.89 \text{ V}$ ,  $FF = 0.82$ ,  $PCE = 23.6\%$  (世界最高値)

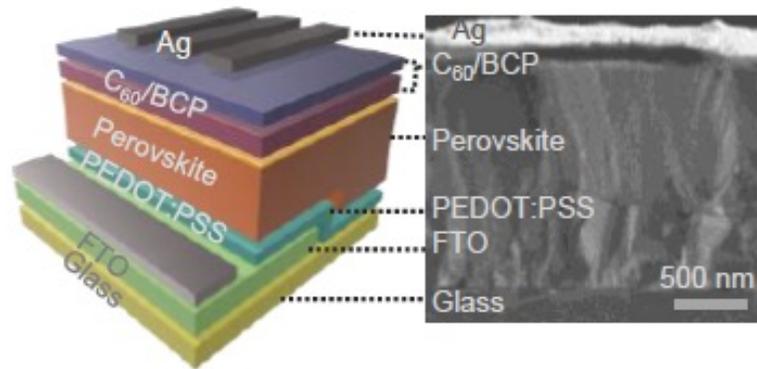
$J_{SC} = 33.1 \text{ mA/cm}^2$ ,  $V_{OC} = 0.88 \text{ V}$ ,  $FF = 0.70$ ,  $PCE = 21.0\%$  ( $1 \text{ cm}^2$ )

オールペロブスカイトタンデム型のボトムセルとして有望

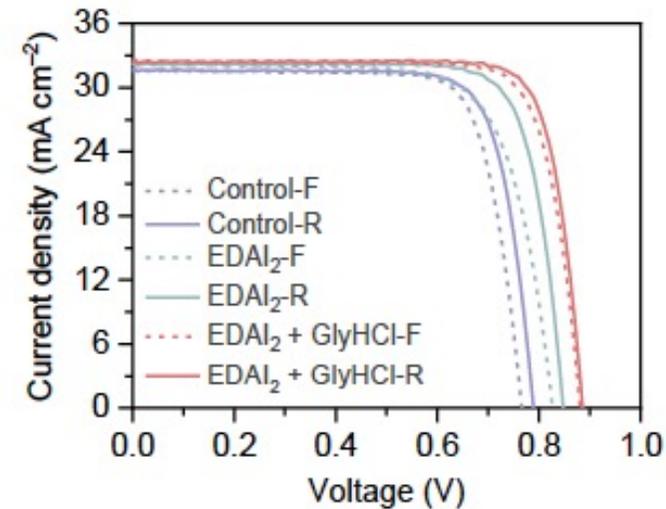


S. Hu

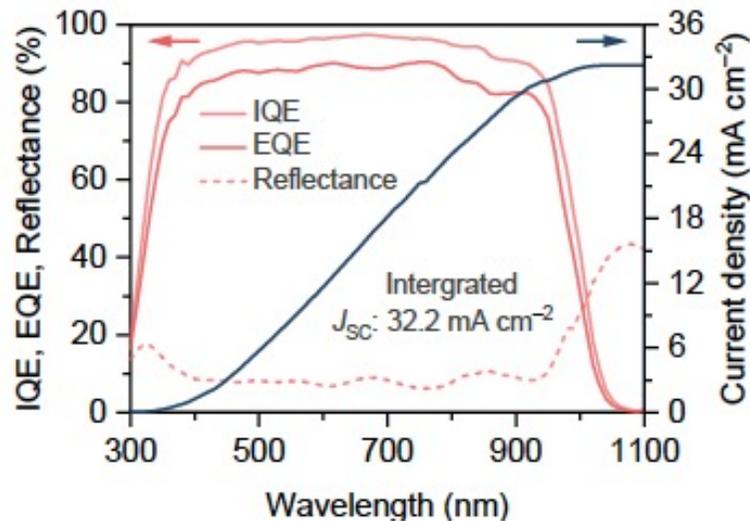
a



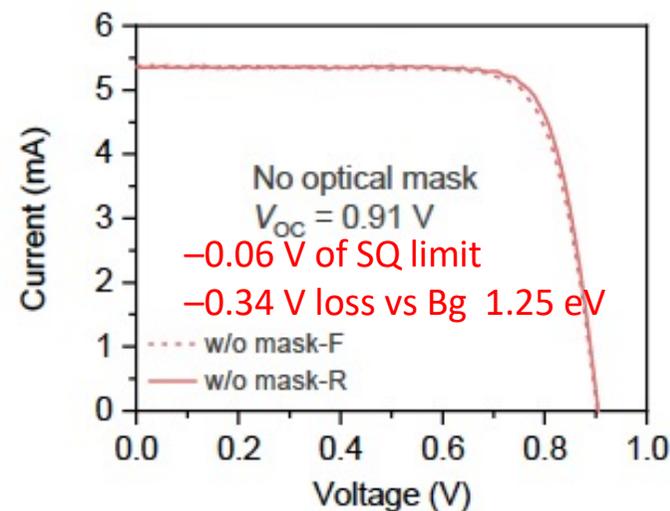
b



c



d





JST Project  
未来社会創造事業

Sn-Based Perovskite Solar Cells

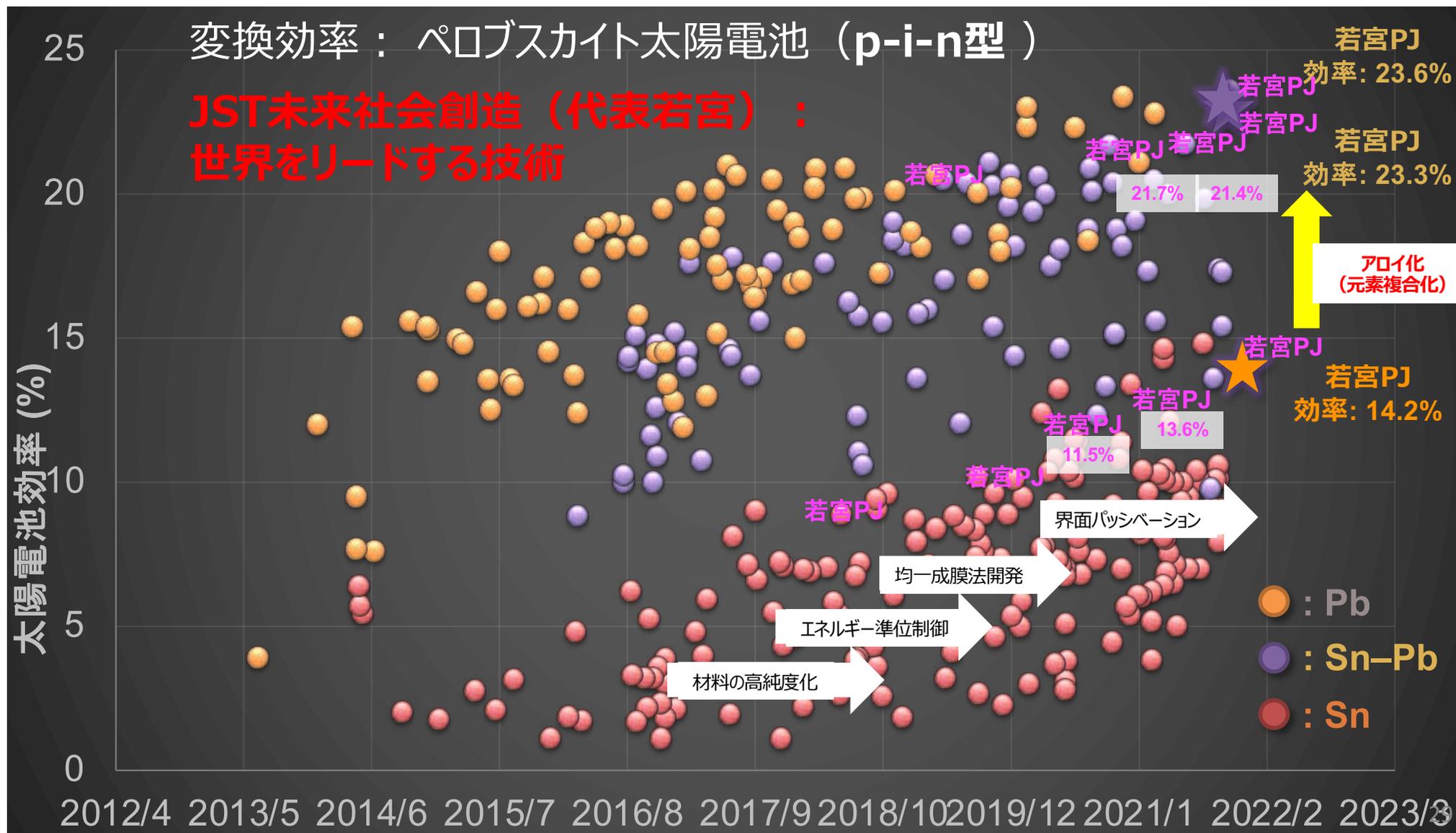


A. Wakamiya



S. Hayase

H. Ohkita  
A. Saeki  
K. Marumoto  
Q. Shen  
H. Yoshida  
S. Iikubo



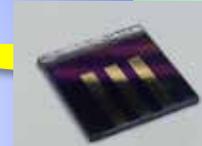
# 社会実装に向けた取り組み

基礎から実用化まで：これまでの研究成果をもとに、大学発ベンチャーを設立



## 京都大学

高純度化前駆体材料の開発  
半導体材料開発  
物性解明  
成膜方法の開発



>20%の光電変換効率  
デバイス作製法開発



## Applications

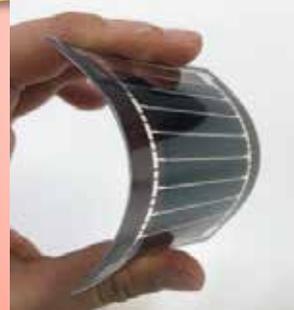
車載用電源など



各種IoTセンサー用電源

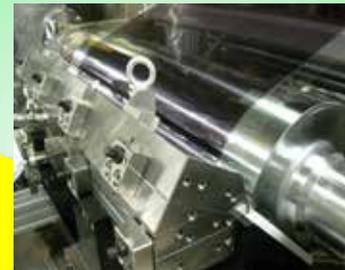


災害時用  
発電テント

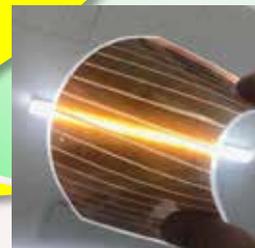


Module

## 企業との共同研究



R to R Printing



Film PV



## 京都大学発ベンチャーの設立



(株) エネコートテクノロジーズ  
2018.1.11.

J-Startup に選定 (2023.4.)

9年間PJ  
2013~2021

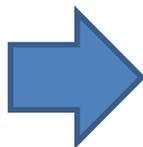
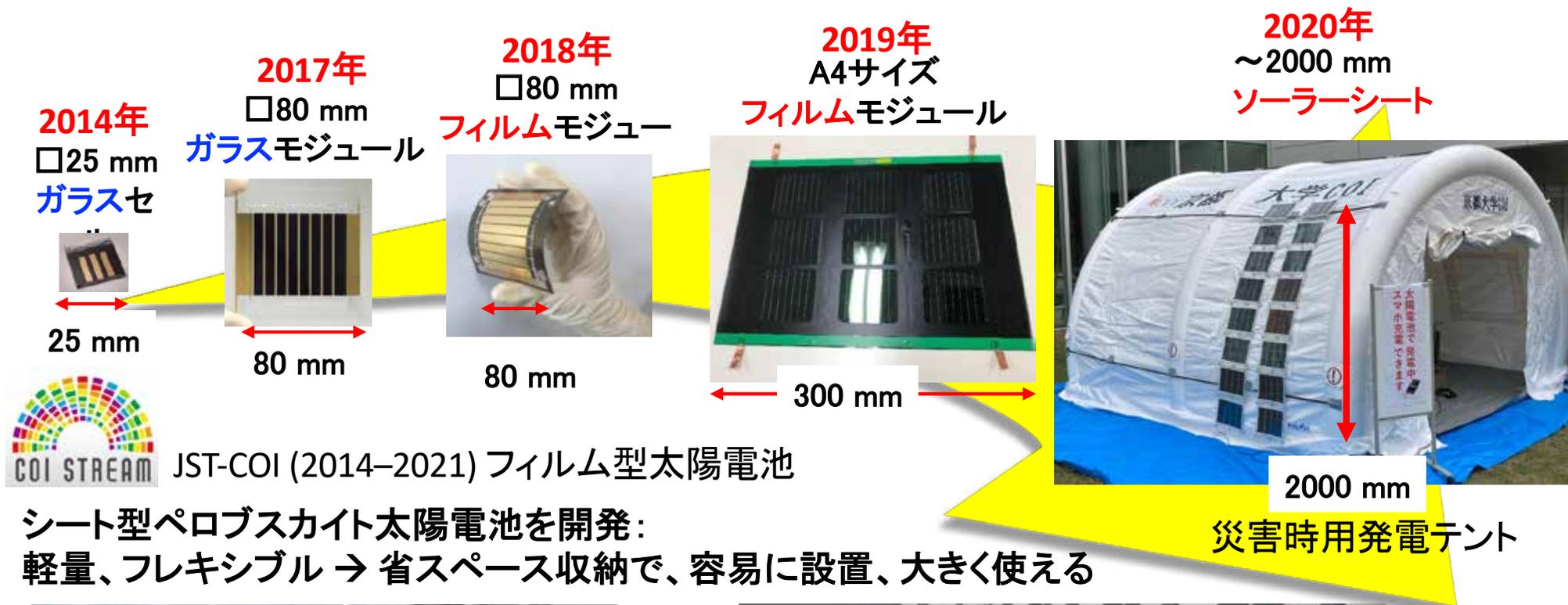
## JST-COI PJ

尾池工業  
AGC  
SAKATA INX  
太陽工業  
Techno Smart  
プラスコート  
フジプレミアム  
堀場製作所, etc.



## Kyoto University

# 京都大学でのフィルム型太陽電池の開発



小さく畳めて大きく使える

# 「どこでも電源<sup>®</sup>」として社会実装：エネルギーの未来を変える

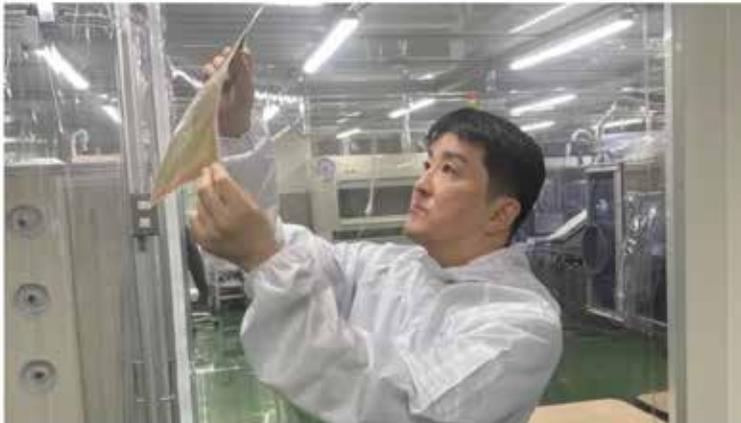


# BBC News Channelで紹介！！：エネコート New Tech Economy Japan (August 2022)

vimeo BBC News Channel <https://vimeo.com/744139081>

## Japan's push into 'deep tech' innovation

26 September



Naoya Kato aims to get his company's solar panels on sale in three or four years

By Mariko Oi  
BBC News, Kyoto



Enecoat Technologies wants its solar panels to produce as much energy as standard ones

Start-ups such as this are called "deep tech". They are small firms who are merging high-tech engineering innovation with scientific discovery. The hope is that it will lead to the development of transformational products.

But a successful product launch in this sector takes time. As a result, private venture capital funds that lend money to entrepreneurs may be more cautious to invest in them.

That is where Kyoto University plays a crucial role. It may be **best known for producing more Nobel prize winners than any other university in Asia (11 in total)**, but it also finances new start-ups by students and researchers through its two venture capital funds.

Enecoat Technologies is one of the beneficiaries, and has received a total of 500m yen (\$3.6m; £3m). The money came from a \$300m fund that the university received from the Japanese government back in 2015 to encourage entrepreneurship.

## ペロブスカイト普及へ東京都庁が一役 マクニカや京大発ベンチャーのエネコートと協定

2023年6月19日発表

自治体初「ペロブスカイト太陽電池」を用いた  
空気質モニタリングソリューションの実証事業を  
開始



- ・サイズ  
縦：88mm 横：151mm 高さ：25.5mm
- ・センサー群：  
光音響方式CO2、温湿度、照度
- ・通信  
Bluetooth Low Energy



マクニカ常務取締役  
佐藤 剛正氏

東京都知事  
小池百合子氏

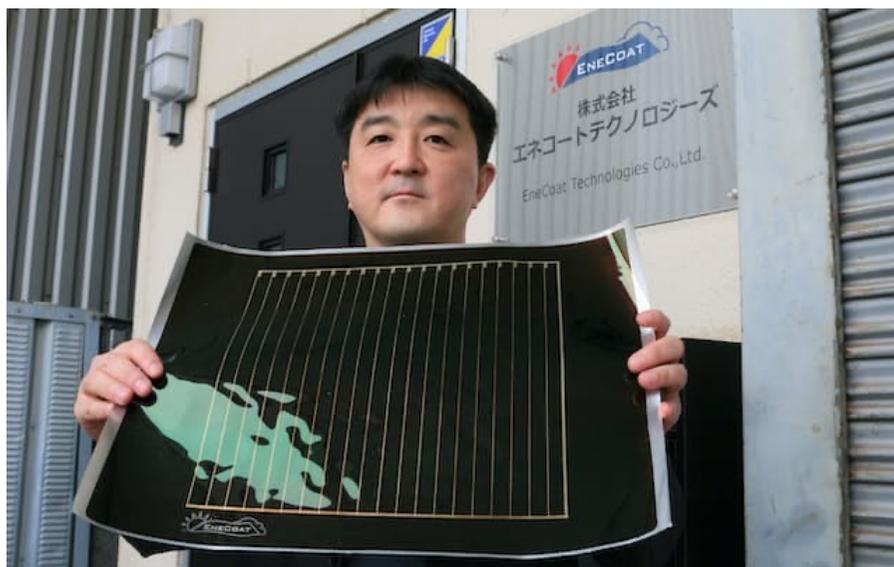
エネコート CEO  
加藤尚哉氏

# 日本経済新聞

日本経済新聞 2023年6月27日

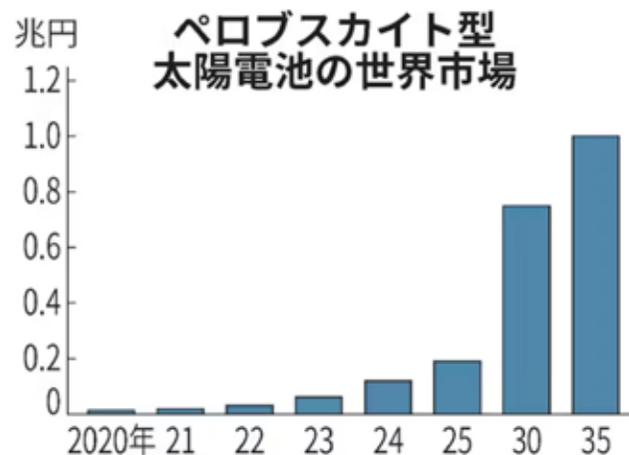


## 次世代太陽電池、30年EB搭載へ トヨタ・京大発振興 組む



エネコート CEO 加藤尚哉氏  
30 cm 角 (G2サイズ) フィルムモジュールの試作品

エネコートとトヨタは5月に車載向けパネルの共同開発を始めた。太陽電池においてシリコンに代わる材料として注目を集めるペロブスカイトの成分などを見直し、現在はシリコンとほぼ同程度の発電効率を最大で5割高める。トヨタがペロブスカイト型太陽電池で外部企業との共同開発を明らかにするのは初めて。



(注) 23年以降は予測

(出所) 富士経済

給電要らずのEVなど(>30%)



ペロブスカイト太陽電池  
プリウスに搭載予定

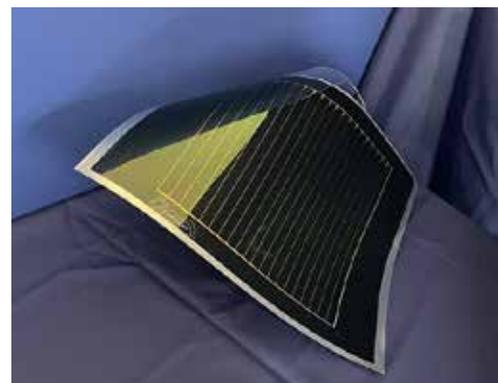
## 三井不動産レジデンシャル・京大・エネコートテクノロジーズ、住宅用ペロブスカイト太陽電池の共同研究を開始

住まい

ベンチャー共創

テック

すまいとくらしの様々な空間で手軽に発電できる  
住宅用ペロブスカイト太陽電池の共同研究を開始  
産学連携でペロブスカイト太陽電池の実用化を加速



※1 世界最高効率：Snを含むペロブスカイト太陽電池としても世界最高効率となる23.6%を2022年4月に発表（S. Hu, A. Wakamiya, et al. Energy Environ. Sci. 2022, 15(5), 2096-2107,京大プレス発表：<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2022-04-13-1>）。また、最近では、フィルム基板を用いたペロブスカイト太陽電池モジュールでも世界最高効率となる21%を達成している。

2023年10月17日

三井不動産レジデンシャル株式会社  
国立大学法人 京都大学  
株式会社エネコートテクノロジーズ

三井不動産レジデンシャル株式会社(本社:東京都中央区、代表取締役社長:嘉村 徹、以下、「三井不動産レジデンシャル」)と国立大学法人 京都大学(京都市左京区、以下「京都大学」)発のスタートアップでペロブスカイト太陽電池の開発を手掛ける株式会社エネコートテクノロジーズ(本店:京都府久世郡、代表取締役:加藤 尚哉、以下、「エネコートテクノロジーズ」)は、この度、住宅におけるペロブスカイト太陽電池の活用に関する共同研究を開始しましたのでお知らせします。本研究は、京都大学 若宮 淳志教授の研究室とも連携し、産学連携でペロブスカイト太陽電池の実用化を加速するものです。

## 日揮HD、曲がる太陽電池で「発電所」ビルや店の壁に

### 曲がる太陽電池で「発電所」

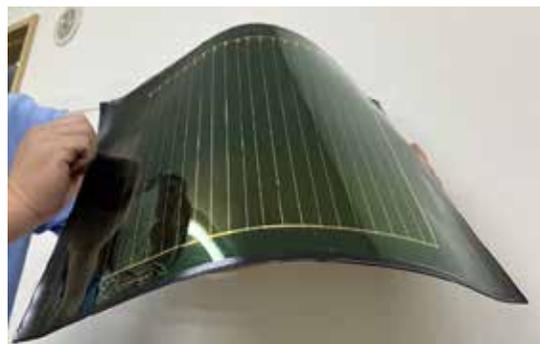
日揮HD、北海道で実証 壁など設置

日揮ホールディングス（HD）は2026年をメドに、折り曲げられる次世代太陽電池「ペロブスカイト型太陽電池」で電力事業を始める。従来のシリコン製では不可能だった壁面や耐久性の弱い屋根にも置ける「どこでも発電所」の新市場を

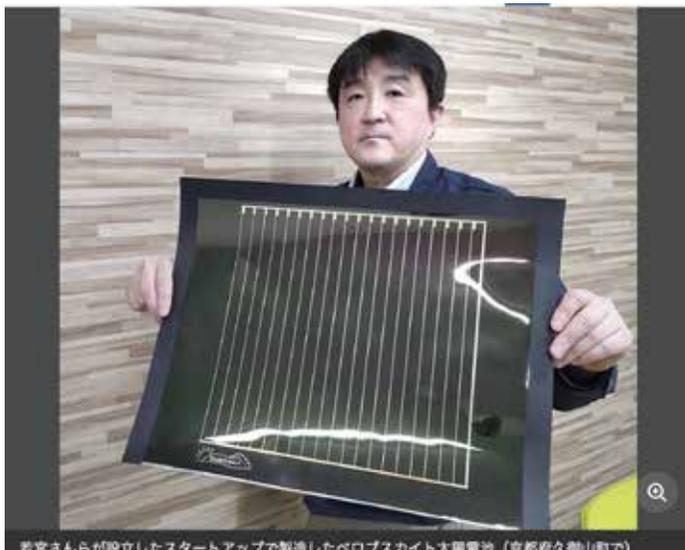
開拓する。太陽光発電が普及して、大規模開発の適地が少なくなってきた。設置場所を増やせる次世代の太陽電池の用途拡大は、再生可能エネルギーの主力電源化に向けた後押しとなる。まずは24年に北海道苫

小牧市で発電効率や耐久性などを実証実験する。26年をメドに他社の物流倉庫や工場を活用して大規模発電に乗り出す。30年に数百億円規模の売上高を目指す。出資先の京大発スタートアップ、エネコートテクノロジーズ（京都府久

御山町）が開発するペロブスカイト型太陽電池を使う。太陽電池を置く工場や倉庫以外に、送電線を通じて電気を届けることも検討する。電力小売事業者として経済産業省への登録申請が必要となる。28年までに発電コストを既存の太陽電池を下回る水準にする。大量発注で調達費を下げ、プラント建設の知見を用いて簡単に取り付けられる工法を開発する。



## まるでシール、ノーベル賞級の発明...日本発の次世代太陽電池「ペロブスカイト」



若宮さんが設立したスタートアップで製造したペロブスカイト太陽電池（京都府久美山町で）

エネコート加藤CEO

### 課題は耐久性

一方、京都大化学研究所の若宮淳志教授はムラが非常に少ないペロブスカイトの膜を作ることに成功。変換効率20%超を実現し、性能面でもシリコン太陽電池に追いついた。18年にはスタートアップ（新興企業）を設立。今年6月にトヨタ自動車と、10月には三井不動産レジデンシャルと共同研究の開始を発表し実用化にまい進する。

ペロブスカイト太陽電池は、従来はパネルが重くて設置できなかった倉庫や工場の屋根、ビル壁面、車体などで発電でき、広大な敷地は不要になる。

課題は耐久性だ。シリコン太陽電池は20～30年もつとされるが、ペロブスカイト太陽電池のフィルムは傷などに弱く劣化しやすい。それでも現在の寿命は10～15年に延びているという。

中国や欧州では量産が始まっており、世界の市場は22年の320億円から、35年には1兆円に達するとの試算もある。若宮さんは「この技術は電力問題のゲームチェンジャーになり得る」と自信をみせる。

## Collaborators

Prof. Y. Kanemitsu (Kyoto Univ.)  
Prof. H. Ohkita (Kyoto Univ.)  
Prof. A. Saeki (Osaka Univ.)  
Prof. K. Marumoto (Tsukuba Univ.)  
Prof. T. Sasamori (Tsukuba Univ.)  
Dr. K. Tajima (RIKEN)  
Dr. K. Nakano (RIKEN)  
Mr. K. Matsuda (TORAY)  
Dr. P. Zhao (IMS)  
Prof. M. Ehara (IMS)

Dr. T. Handa (Kyoto Univ.)  
Dr. T. Yamada (Kyoto Univ.)  
Prof. Y. Yamada (Chiba Univ.)  
Prof. T. Hasegawa (Kyoto Univ.)  
Prof. Y. Shimakawa (Kyoto Univ.)  
Prof. K. Itami (Nagoya Univ.)  
Prof. H. J. Snaith (Oxford Univ.)  
Prof. H. Bolink (Valencia Univ.)  
etc.

資本金9000万円、従業員>45名  
シリーズB資金調達完了 (24億円)

J-Startup KANSAI に選定 2020  
Japan「ビジネス大賞」受賞 2021  
モーニングピッチ 2022 ファイナリスト  
(全国206社のベンチャーから7社)  
ゼロエミチャレンジ企業 認定 (経産省)  
第21回GSC賞ベンチャー企業賞  
京都市ベンチャー目利き委員会 Aランク認定  
J-Startup に選定 2023

若宮：設立者、取締役 (兼任)  
最高科学責任者 (CSO)

## Group Photo with the members of EneCoat Technologies (2022)



# Acknowledgement

Manufacture of Device



Project leader

Pb-Free PSCs



Project leader

EneCoat Technologies, Co. Ltd.



Co-founder & CSO

Start-up company for manufacturing perovskite modules



## Students

R. Hashimoto (D3)  
T. Tiancheng (D2)  
A. Hasegawa (D1)  
W. Liu (M2)  
Y. Miyake (M2)  
F. Harata (M2)  
S. Hira (M2)  
Y. Adachi (M1)  
C. Sakamoto (M1)

**Staffs** Dr. R. Murdey , Dr. T. Nakamura, Dr. M. A. Truong, Dr. N. Ohashi, Dr. C.-Y. Chen,  
Dr. R. Tsuji, A. Shimazaki, Y. Iwasaki, Y. Matsushige, M. Haramatsu