

2023年度成果報告会  
プログラムNo.36

# 太陽光発電主力電源化推進技術開発／ 太陽光発電の新市場創造技術開発／ 多接合型等を対象とした太陽電池の開発 (Cu2Oタンデム型太陽電池の開発)

発表日：2024年2月2日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 株式会社 東芝 山本和重

(株) 東芝、(国研) 産業技術総合研究所、(国研) 物質・材料研究機構

問い合わせ先 株式会社 東芝 E-mail:kazushige.yamamoto@toshiba.co.jp TEL:044-549-2131

## 1. 目的

1. Siと同じ実用サイズ(125×42mm)のCu<sub>2</sub>Oトップセルで高透過率化とタンデム化の開発に取り組み、4端子タンデムで高効率発電を実証する
2. Cu<sub>2</sub>Oトップセルの長寿命開発に取り組み、耐熱性または耐光性を確認する

## 2. 期間

2023年7月31日 ~ 2025年3月31日 ※研究開始は昨年2023年10月

## 3. 最終目標

1. 4端子Cu<sub>2</sub>O/Siタンデム型セルで効率27%達成  
(タンデム効率27%達成に必要なCu<sub>2</sub>Oトップセル効率は9-10%と予想)
2. Cu<sub>2</sub>Oセル単体で耐熱試験2,000h、または耐光試験1,000hクリア  
(効率維持率90%以上。セルサイズは40mm角以上)

## 4. 成果・進捗概要

1. 実用サイズに大型化したCu<sub>2</sub>Oトップセルの効率が8.0%まで向上
2. 耐熱試験で2,300時間実証し、最終目標クリア

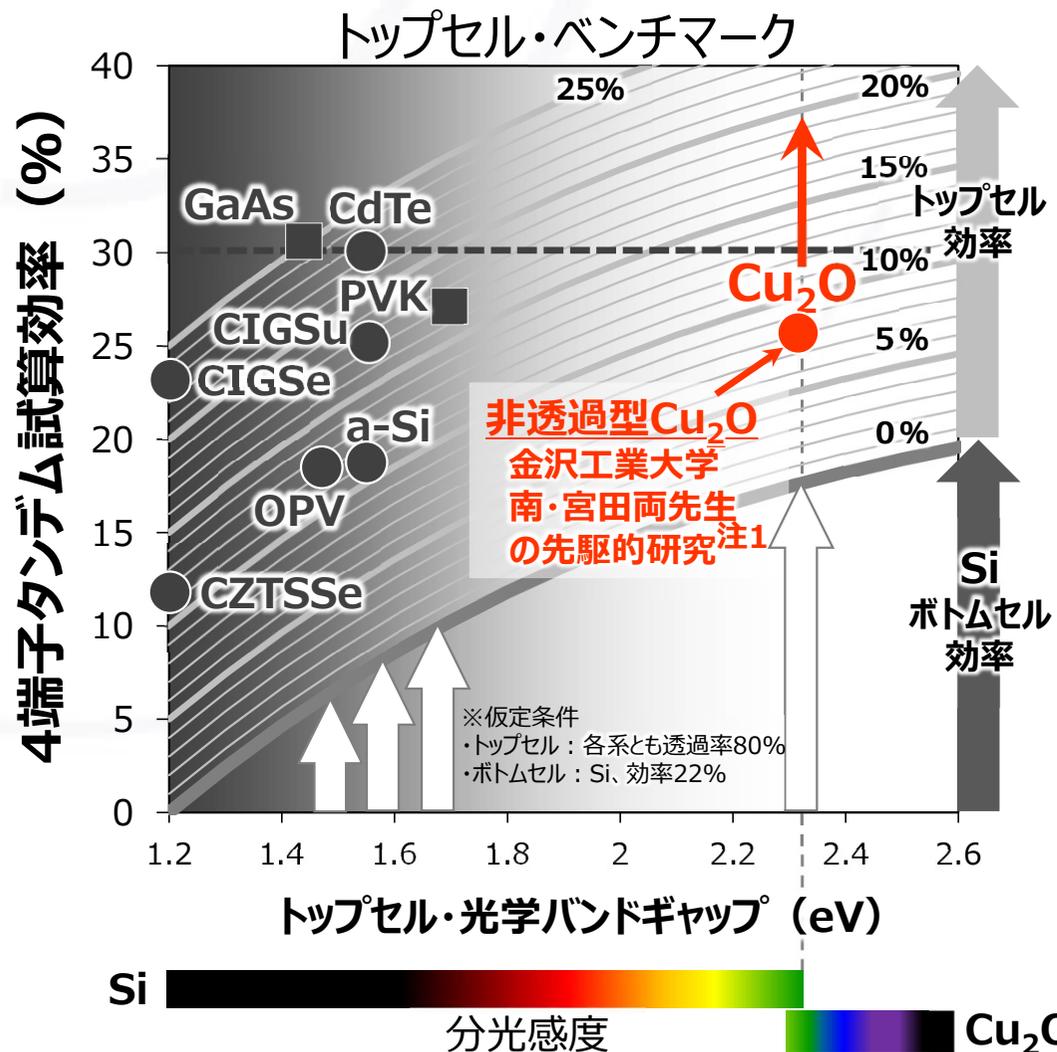
✓ 2050年カーボンニュートラル実現に向けて、東芝は国プロ共同機関と連携して、EVなど電動モビリティに搭載するCu<sub>2</sub>Oタンデム型太陽電池を開発して、「運輸の電動化」に貢献



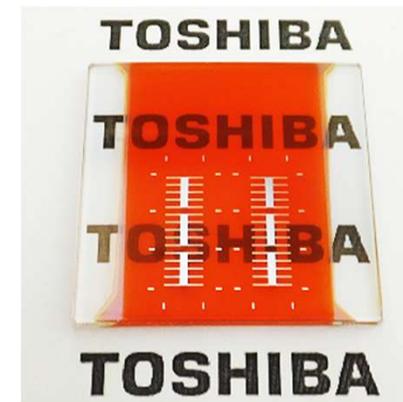
# Cu<sub>2</sub>O選定理由

注1：酸化物半導体を用いた高効率太陽電池（南・宮田）／ 応用物理第86巻第8号（2017）

## ✓ 効率、コスト、SiボトムセルとのマッチングでCu<sub>2</sub>Oを選択



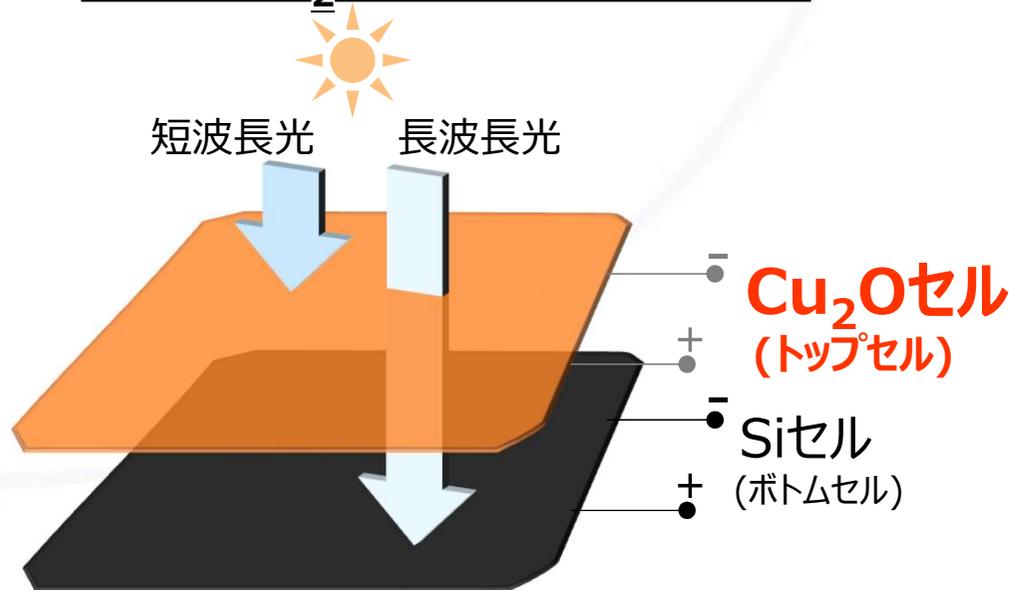
- ・効率30%台を狙える
  - ・低コスト
  - ・技術完成度の高いSiでより多く発電
- 透過型Cu<sub>2</sub>O太陽電池



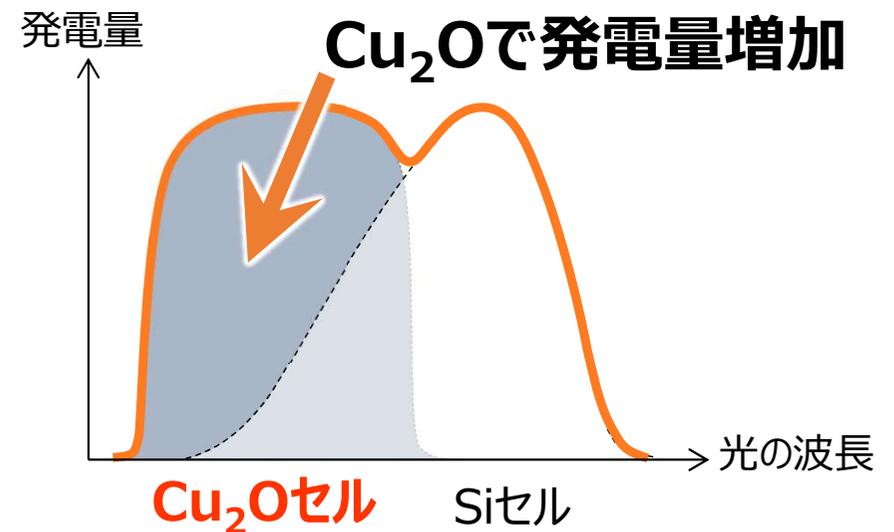
# 4端子Cu<sub>2</sub>Oタンデム：高効率発電の仕組み

- ✓ 発電波長がCu<sub>2</sub>OとSiで相補的。Siボトムセル効率~20%
- ✓ Cu<sub>2</sub>Oセル効率10%で、タンデム効率30%が実現可能と予想

## 4端子Cu<sub>2</sub>Oタンデム型太陽電池



## Cu<sub>2</sub>OとSiの発電波長（模式図）



# 開発成功時のインパクト：充電なしEVの実現



\*引用：太陽光発電システム搭載自動車検討委員会中間報告書  
[https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_100909.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100909.html)

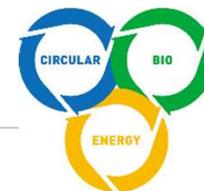
- ✓ 無充電走行の航続距離を試算\*すると、目標効率30%で  
1日39km、年間1万4千km
- ✓ 近距離ユーザーにとって、自宅での充電は不要

## Cu<sub>2</sub>Oタンデム搭載EVのイメージ図



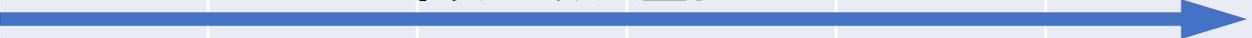
## 無充電走行の航続距離の試算

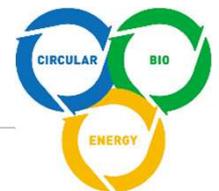
- ✓ 太陽電池：目標効率30%、設置面積3.33m<sup>2</sup>
    - ・PV出力 1kW ※基準太陽光の強度：1,000W/m<sup>2</sup>
    - ・1日のPV発電量 3.1kWh（年間 1.1MWh）
  - ✓ EV：電費 12.5km/kWh（2030年想定値）
- ↓
- ✓ 1日の航続距離 = PV発電量 × EV電費
  - ・目標効率30% → **39km**  
(年間1万4千km)



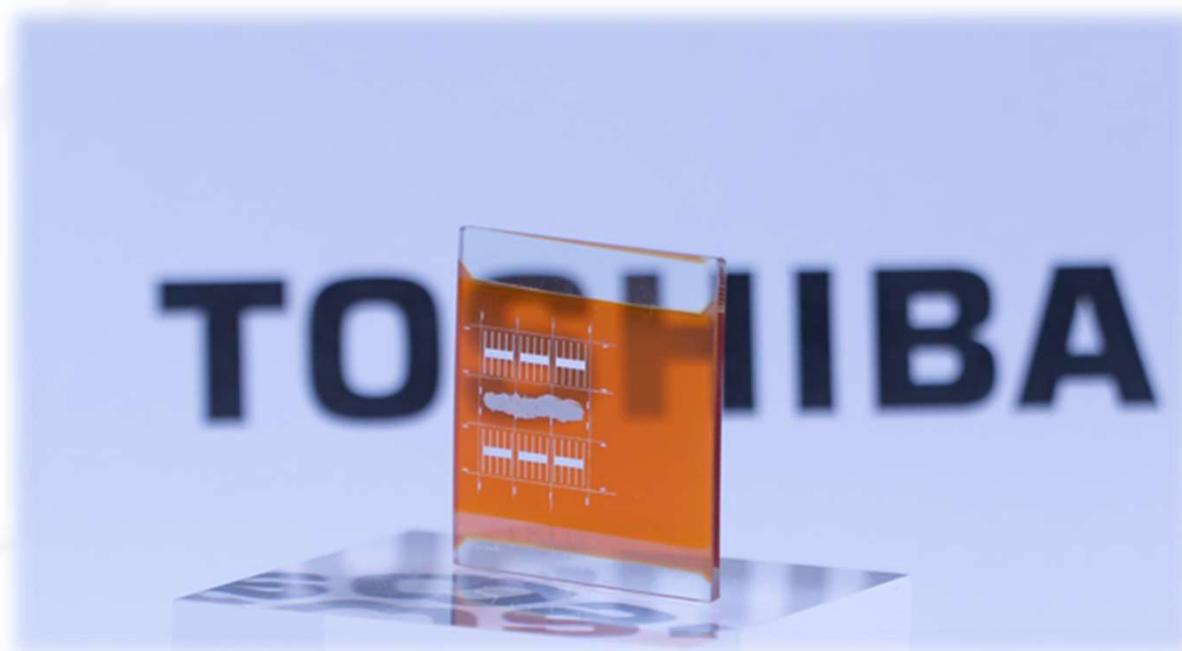
# これまでの開発経緯

- ✓  $\text{Cu}_2\text{O}$ トップセルと4端子タンデムの研究開発を、東芝社内開発と国プロ(NEDO先導研究プログラム)で取り組んできた
- ✓ 以降のスライドで、本国プロの進捗と合わせて説明

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年
<b>主要成果</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<math>\text{Cu}_2\text{O}</math>セル透明化</li> <li>・効率4.4%</li> </ul>		世界最高 効率8.4%	10.3%	10.5%	
<b>東芝社内開発</b>			トップセル大型化 			
<b>NEDO先導研究Pg</b>			トップセル高効率化 			
<b>本国プロ</b>					<ul style="list-style-type: none"> <li>・タンデム化</li> <li>・長寿命化</li> </ul> 	



- ✓ 小型セルを用いたCu<sub>2</sub>Oトップセルの高透過率と高効率化の研究開発



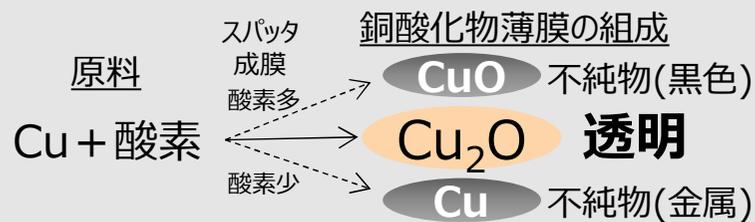
25mm角基板上に作製したCu<sub>2</sub>O小型セル（セルサイズ10×3mm）

# Cu<sub>2</sub>O太陽電池のブレークスルーポイント

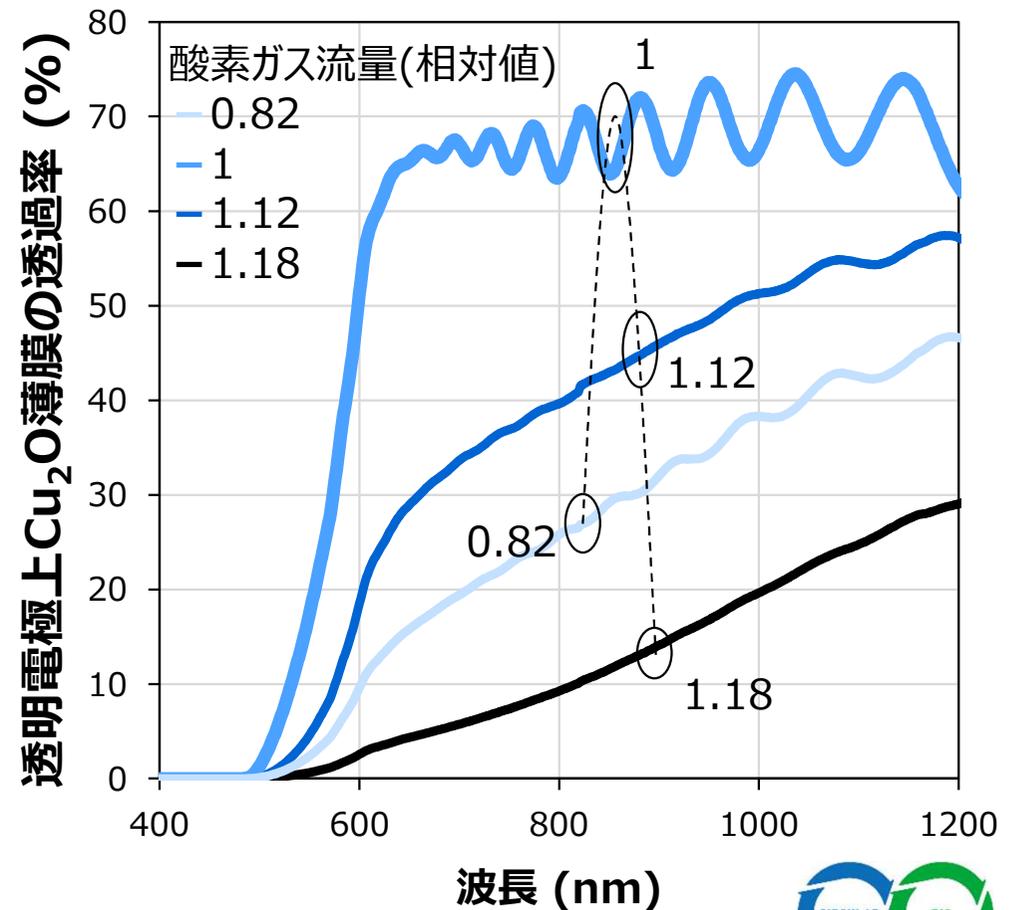
✓ Cu, CuO不純物の制御条件を発見し、Cu<sub>2</sub>Oの透明化に成功

## Cu<sub>2</sub>O成膜の課題 高透過率の実現

・薄膜形成→不純物が生成して低透過率



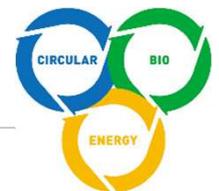
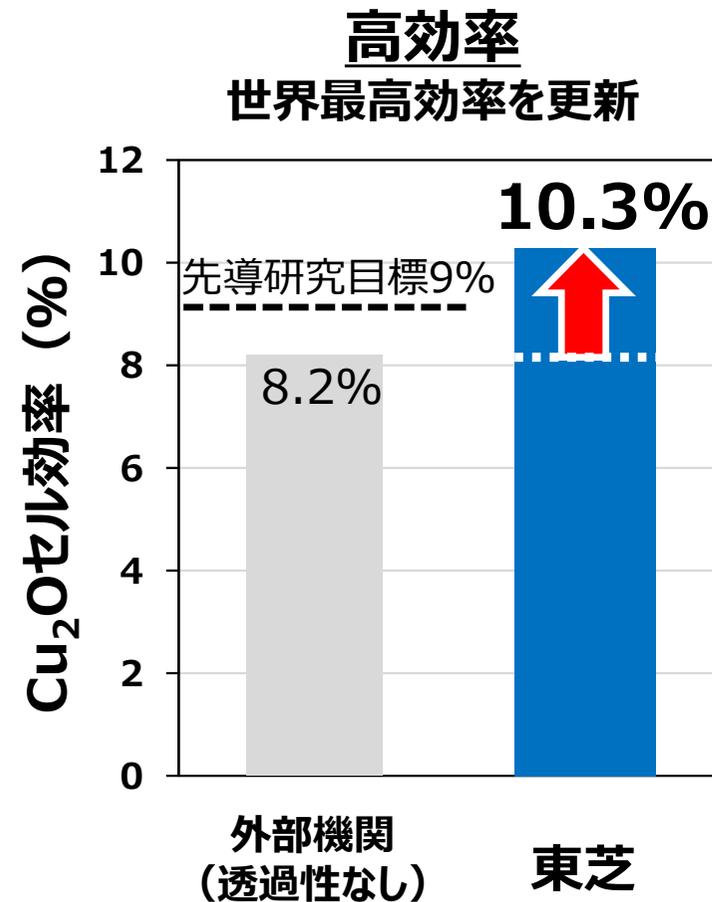
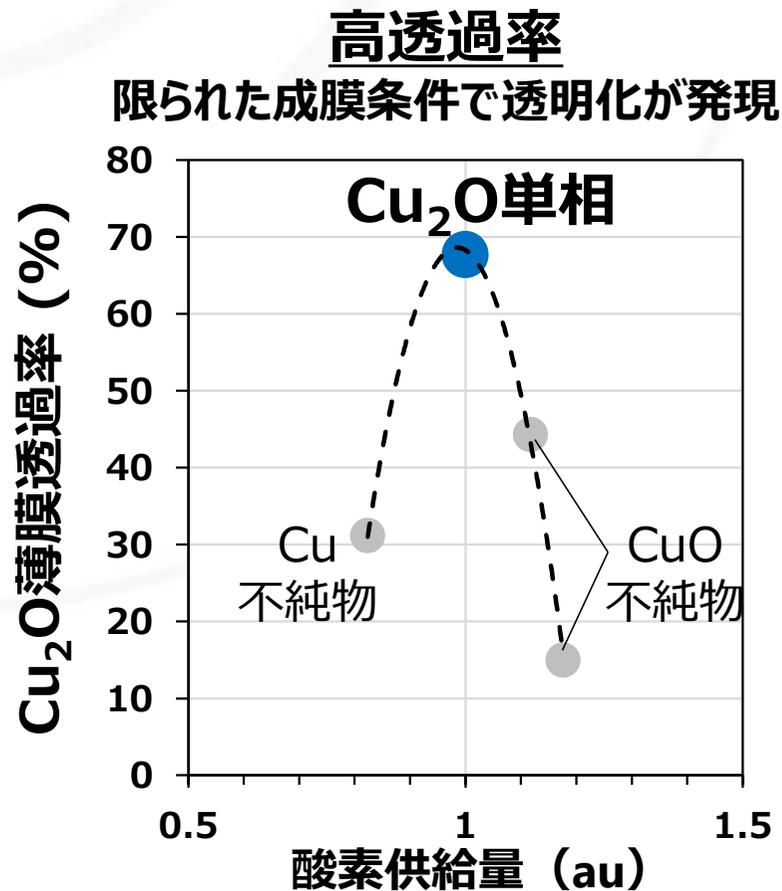
・銅箔の熱酸化→厚すぎるため低透過率



# 先導研究成果：高透過率と高効率の達成

\*2023年11月、東芝社内開発で10.5%に更新

- ✓ 小型セルながら、高透過率と、世界最高効率**10.3%**達成\*
- ✓ これら技術を、本国プロのタンデム開発に活用



## ✓ 実用サイズに大型化したCu<sub>2</sub>Oタンデム型太陽電池の研究開発

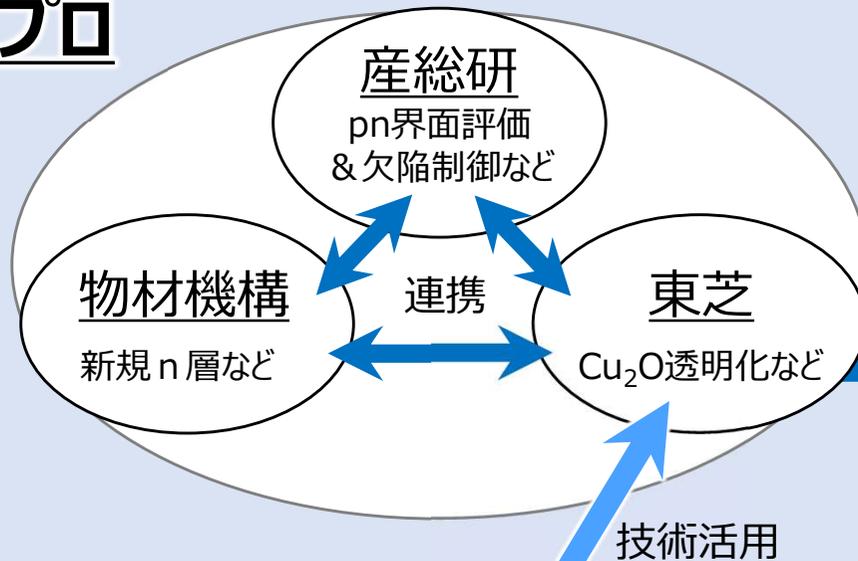


Cu<sub>2</sub>OモジュールとSiモジュールを重ねたタンデムの配線なしモック  
1つのCu<sub>2</sub>OセルはSiセルと同じ実用サイズ125×42mmまで大型化した

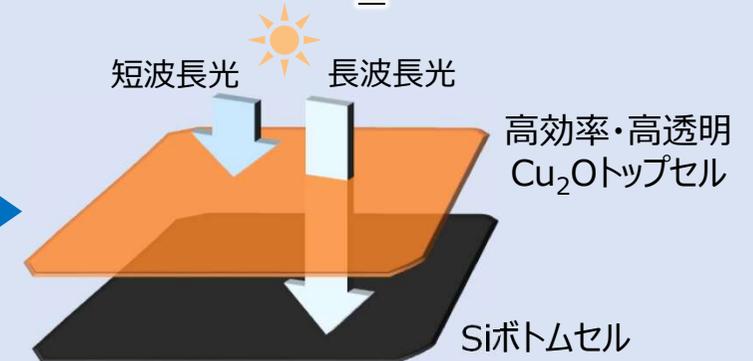
# 最終目標

- ✓ 高効率タンデム実証 (効率27%)
- ✓  $\text{Cu}_2\text{O}$ 寿命確認 (寿命20年相当 : 耐熱2,000h、または耐光1,000h)

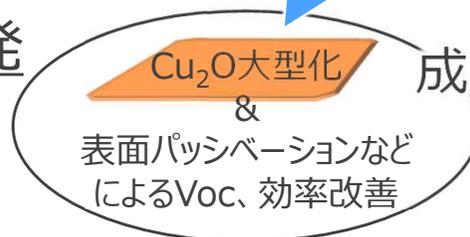
## 本国プロ



## 成果 : 実用サイズ 高効率 $\text{Cu}_2\text{O}$ タンデムセル



## 東芝社内開発



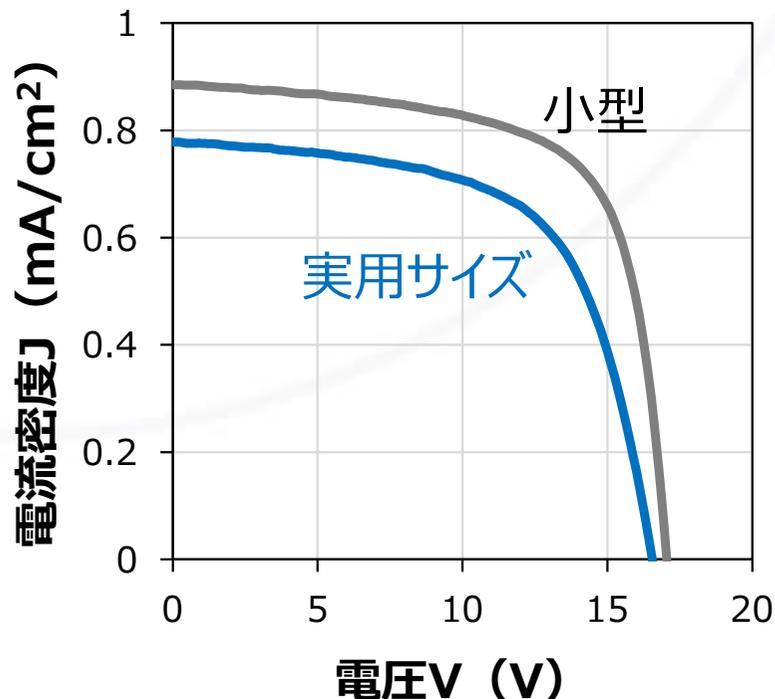
成果 : 実用サイズ  
高効率 $\text{Cu}_2\text{O}$ トップセル



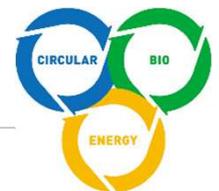
# 成果 1 : 実用サイズセルで発電確認

- ✓ 小型セル開発の技術を活用し、効率8.0%まで向上
- ✓ 小型セルと比べて、FFとJscが一割低い
- ✓ JV解析結果はCu<sub>2</sub>Oバルク層の欠陥増加を示唆。原因は成膜条件ズレ

**JV特性 (セルサイズ125×42mm、14直列アレイセル構造)**



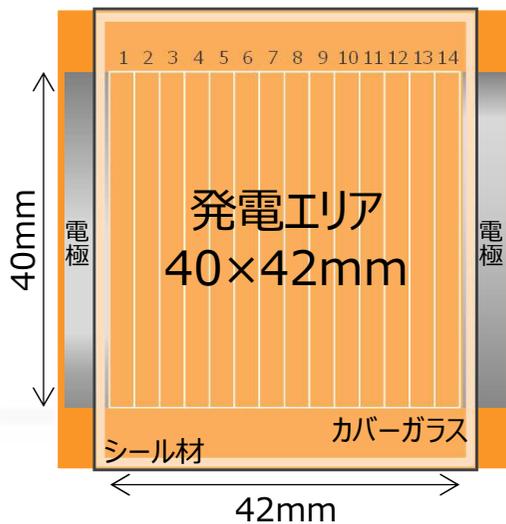
	実用サイズセル	小型セル
効率(%)	8.0	10.3
Voc(V)	16.6	1.21 (14直セル換算 16.9)
JSC(mA/cm <sup>2</sup> )	<b>0.78</b>	12.39 (14直セル換算 0.89)
FF	<b>0.62</b>	0.68



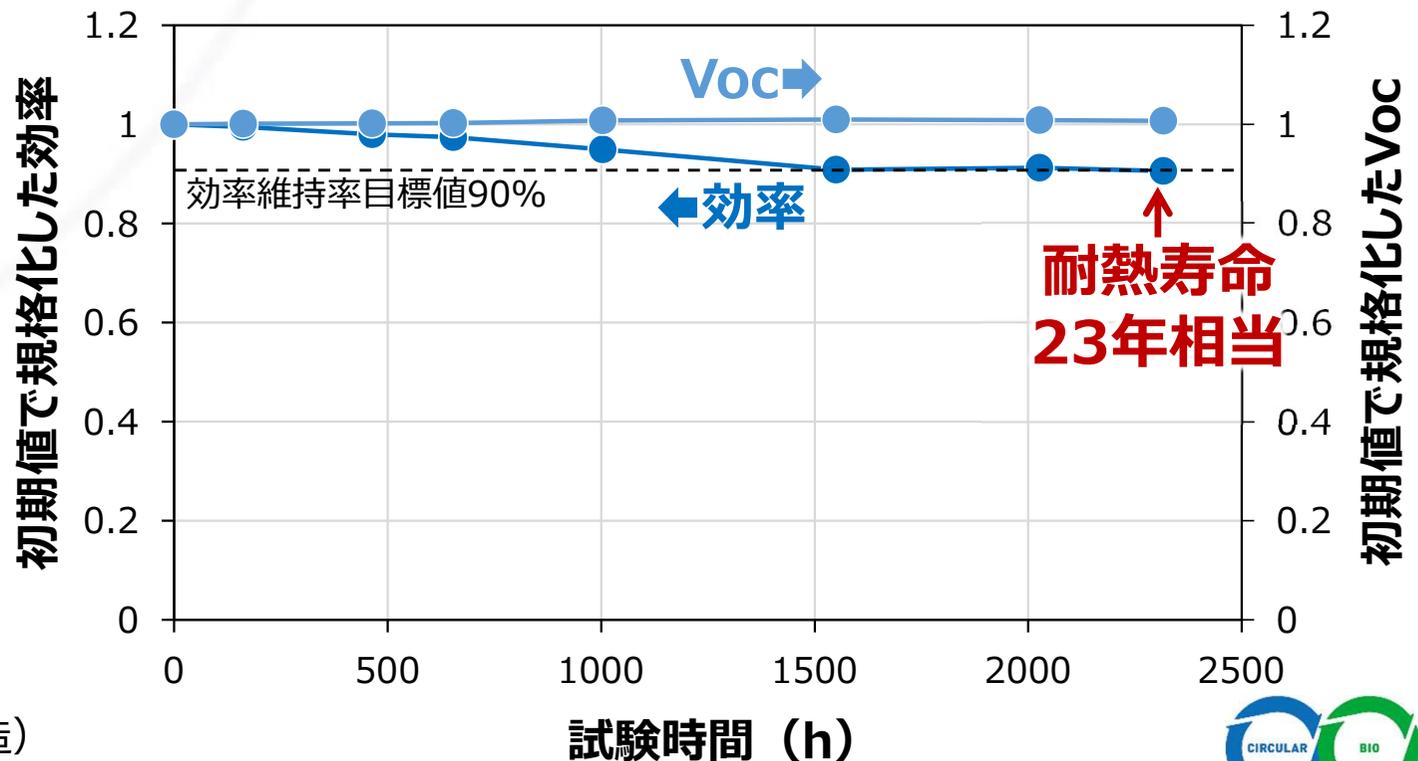
# 成果 2 : 耐熱試験で最終目標クリア

- ✓ 耐熱試験で2,300時間実証
- ✓ 効率低下の原因はAZO高抵抗化によるRs増加 → 課題は封止
- ✓ Voc変化なし → セル内部のpn界面や発電層に劣化は見られない

## 耐熱試験結果 (セルサイズ40×42mm、14直列アレイセル構造)



耐熱試験に用いた  
40×42mm14直セルの模式図  
(発電エリア外周をシールした中空構造)



# まとめ、今後の方針

## ✓ 成果

1. 実用サイズの $\text{Cu}_2\text{O}$ トップセルが効率8.0%まで向上
2. 耐熱試験で2,300時間実証。最終目標クリア

## ✓ 今後の方針

### 1. $\text{Cu}_2\text{O}$ トップセル効率改善

原因は $\text{Cu}_2\text{O}$ バルク欠陥と予想。成膜条件を適正化

### 2. $\text{Cu}_2\text{O}$ トップセルの更なる寿命改善

耐熱劣化の原因はAZO高抵抗化と予想。封止構造を改良  
耐光劣化は試験結果が出次第、課題抽出と対策立案

### 3. Siとのタンデム化

最重要である、 $\text{Cu}_2\text{O}$ 透過率改善と、4端子タンデムの作製に着手  
現状実力把握、課題抽出、対策立案を進める

