

高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発／先端複合技術型シリコン太陽電池、高性能CIS太陽電池の技術開発／結晶Si太陽電池をベースとした複合型太陽電池モジュールの開発

足立 大輔

(株)カネカ、(国研)産業技術総合研究所、  
(国)京都大学、(国)東京工業大学

2019年10月17日

問い合わせ先  
(株)カネカ 太陽電池・薄膜研究所  
TEL:(072) 653-8229

# 事業概要

## 1. 期間

開始:2015年7月

終了:2020年2月

## 2. 最終目標

- ① 高効率バックコンタクトヘテロ接合結晶Si太陽電池の開発  
モジュールでの変換効率:24%(実用サイズモジュール)  
発電コスト14円/kWh
- ② 結晶Si太陽電池をベースとした複合型太陽電池※の開発  
セル変換効率                      30%  
モジュール変換効率              27%

## 3.成果・進捗概要

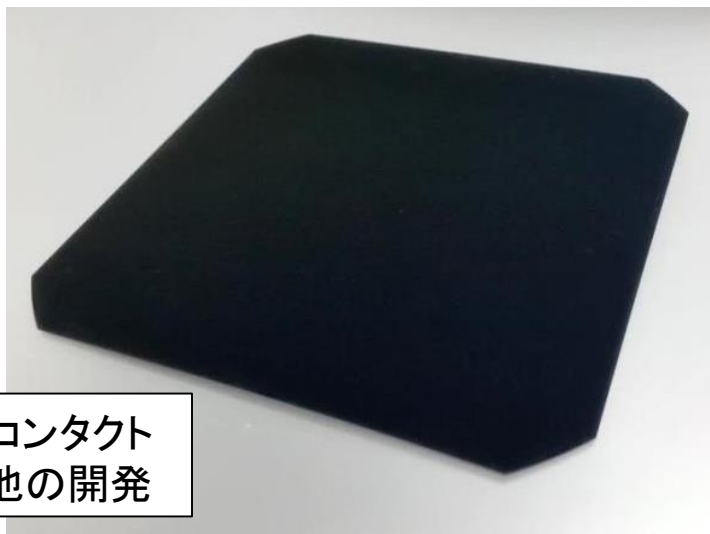
- ① 結晶シリコン太陽電池でセル効率26.7%、モジュール効率24.5%を達成  
(いずれも世界最高)
- ② 複合型太陽電池がバックコンタクトヘテロ接合結晶Si太陽電池単セルより変換効率が向上し得ることを確認した。バックコンタクトヘテロ接合結晶Si太陽電池技術が活用できる三端子構造を検討。

※結晶Si太陽電池をベースとした複合型太陽電池: 結晶Si太陽電池と非Si系太陽電池とを組み合わせた太陽電池

## 事業概要

### 目的

本研究開発テーマでは、発電コスト14円/kWhを実現する太陽電池モジュールを2020年までに実用化するための技術開発の観点から、「開発項目① 高効率バックコンタクトヘテロ接合結晶Si太陽電池の開発」を実施し、この開発成果を活用し、2020年までの実用化と、2025年までに7円/kWhを実現する要素技術の確立を目的に、結晶Si太陽電池と非Si系太陽電池とを組み合わせた太陽電池であり、更なる高効率化が見込まれる「開発項目② 結晶Si太陽電池をベースとした複合型太陽電池の開発」を実施する。

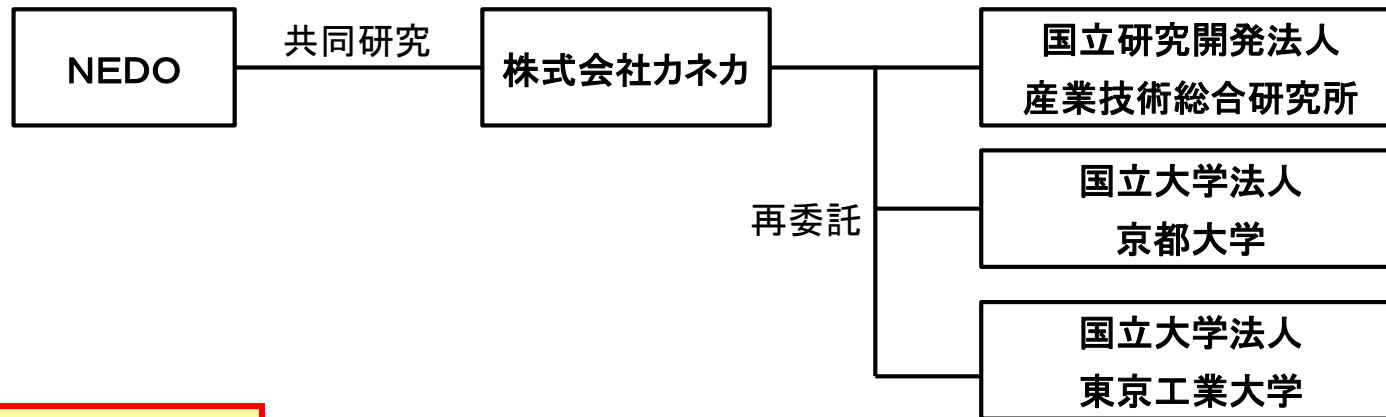


開発項目① 高効率バックコンタクトヘテロ接合結晶Si太陽電池の開発

高効率バックコンタクトヘテロ接合結晶Si太陽電池の外観

## 事業概要

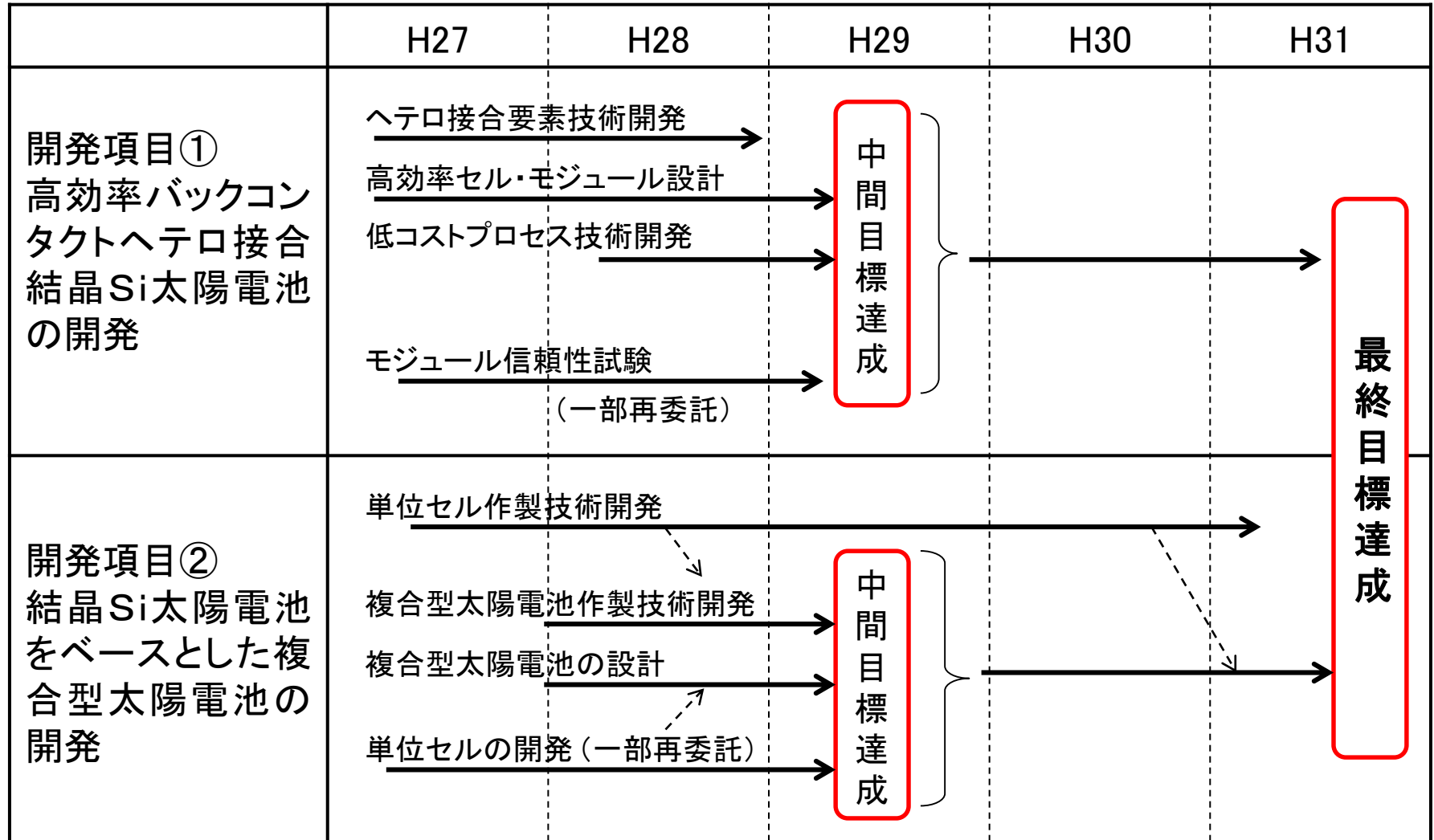
### 体制図



### 開発項目

| 機関名                       | 役割   |
|---------------------------|--|
| カネカ                       | ① 高効率バックコンタクトヘテロ接合結晶Si太陽電池の開発<br>② 結晶Si太陽電池をベースとした複合型太陽電池の開発             |
| 産業技術総合研究所、<br>京都大学、東京工業大学 | ① 高効率バックコンタクトヘテロ接合結晶Si太陽電池の開発<br>② 結晶Si太陽電池をベースとした複合型太陽電池の開発<br>(いずれも一部) |

# 開発スケジュール



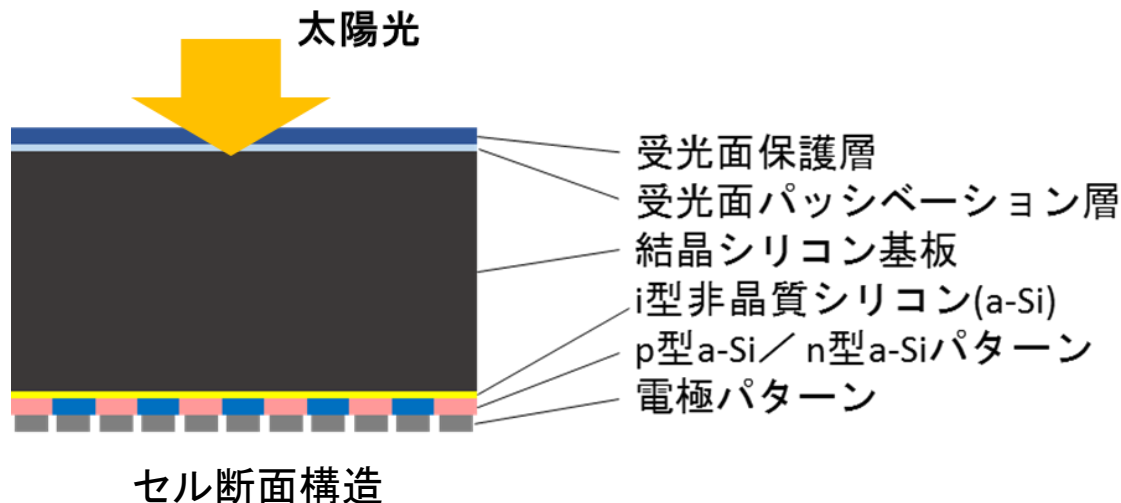
## 研究開発成果

### 開発項目① 高効率バックコンタクトヘテロ接合結晶Si太陽電池の開発

#### バックコンタクト構造の利点

バックコンタクト構造は、電力を取り出すための電極を太陽電池の裏側にのみ形成した構造。

電極を裏面に集約することで、受光面での光吸収や反射が抑制でき、両面電極構造よりも変換効率を高めることが可能。



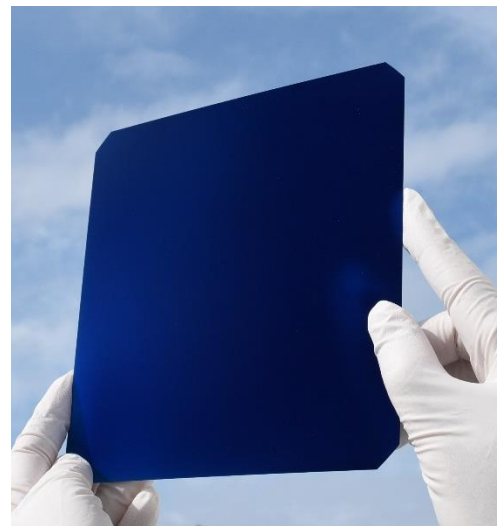
#### 各部の主な開発方針

|                   |                          |
|-------------------|--------------------------|
| 受光面保護層            | 低光反射率/光吸収                |
| 受光面パッシベーション層      | 低キャリア再結合速度(長ライフタイム)/低光吸収 |
| i 型非晶質シリコン (a-Si) |                          |
| 電極                | 界面抵抗、ライン抵抗の低減、高反射率       |

ヘテロ接合部の  
特性改善が重要

## 高効率化の取り組みの成果 － セル変換効率の記録更新 (26.7%) －

| 達成時期     | 面積<br>(cm <sup>2</sup> ) | Voc<br>(mV) | Jsc<br>(mA) | F.F.<br>(%) | Eff.<br>(%)        | 測定                 |
|----------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------------------|
| 2016年7月  | 238.9                    | 742         | 42.3        | 81.7        | 25.6 <sup>1)</sup> | Total area         |
| 2016年7月  | 180.4                    | 744         | 42.2        | 83.8        | 26.3 <sup>1)</sup> | Designated<br>area |
| 2016年11月 | 179.7                    | 740         | 42.5        | 84.7        | 26.6 <sup>2)</sup> |                    |
| 2017年3月  | 79.0                     | 738         | 42.8        | 84.9        | 26.7 <sup>3)</sup> |                    |



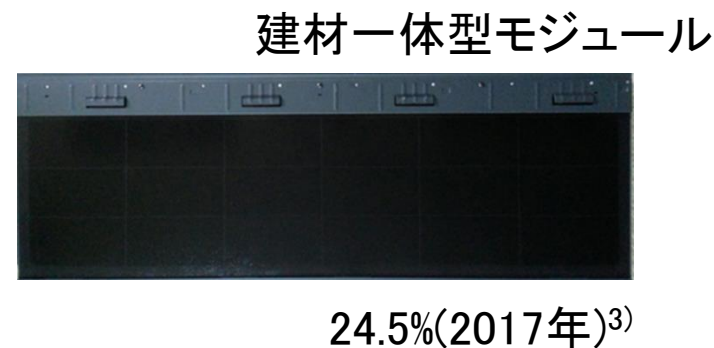
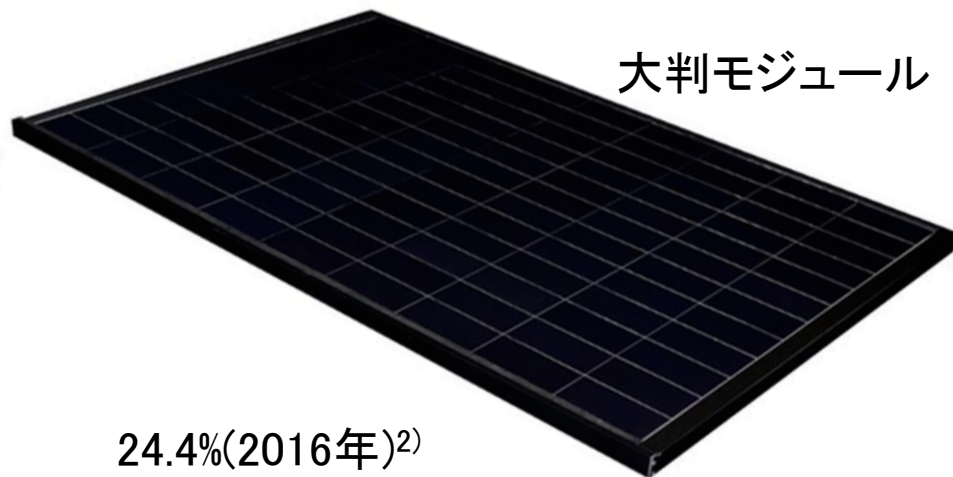
パッシベーション技術の改善等により  $J_{sc}$ 、FFにおいて高い値を得た。  
2017年度以降、実用プロセスの開発を重点化。

<sup>1)</sup> M.A. Green *et al.*, Solar cell efficiency tables (version 49), Prog. Photovoltaics: Res. Appl. 25, 3 (2017)

<sup>2)</sup> M.A. Green *et al.*, Solar cell efficiency tables (version 50), Prog. Photovoltaics: Res. Appl. 25, 668 (2017)

<sup>3)</sup> K. Yamamoto *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 57, 08RB20 (2018).

# 結晶シリコン太陽電池モジュールで世界最高変換効率24.5%を達成



※ 国立研究開発法人産業技術総合研究所にて測定。  
指定面積測定(Designated area (da) measurement)による。

## モジュール信頼性試験

| 試験方法(試験条件)                      | 構造             | 暫定基準値         | 結果 |
|---------------------------------|----------------|---------------|----|
| 高温高湿試験<br>(85°C/85%RH, 6,000時間) | 1セル<br>ミニモジュール | Pmax保持率:95%以上 | 合格 |

一般的に実施されるモジュール信頼性試験を通過することを確認。  
屋外に太陽電池モジュールを設置し、実発電量(温度係数等)を確認中。

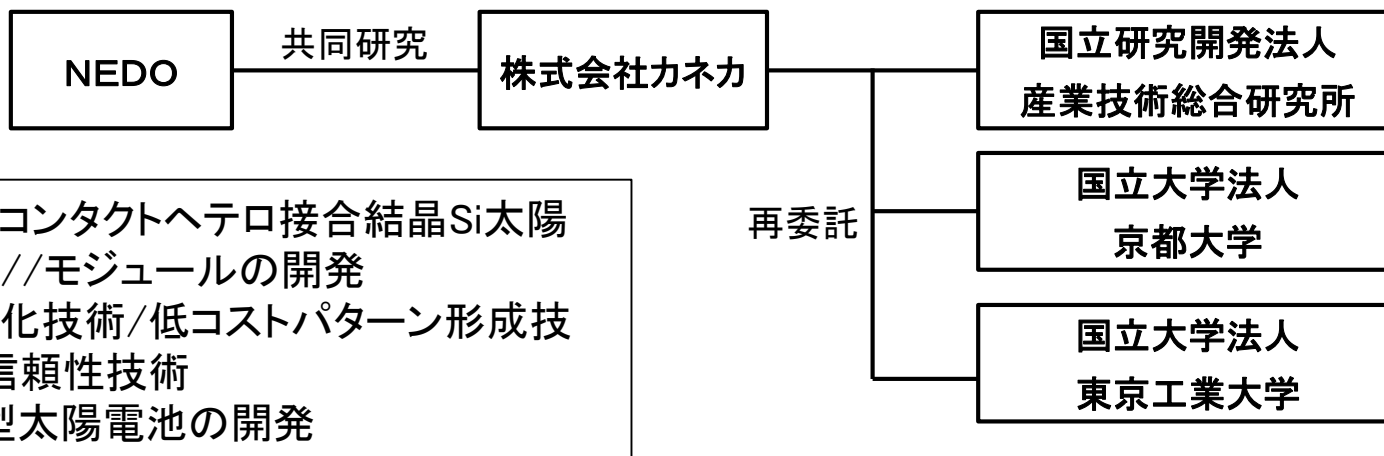
<sup>2)</sup> M.A. Green, *et al.* Solar cell efficiency tables (version 50), Prog. Photovoltaics: Res. Appl. 25, 668 (2017)

<sup>3)</sup> K. Yamamoto *et al.*, Jpn, J. Appl. Phys. 57, 08RB20 (2018)



## 量産技術開発の加速

「結晶Si太陽電池をベースとした複合型太陽電池モジュールの開発」



技術成果(バックコンタクトヘテロ接合結晶Si太陽電池)の量産技術開発の加速

高効率太陽電池の製造技術実証

「低コストヘテロジャンクションバックコンタクト太陽電池の小規模量産実証」

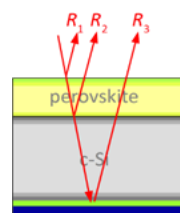
- ・量産実証活動を実施
- ・低コストパターン形成技術や高変換効率化技術等の量産実証

# 複合型太陽電池の開発

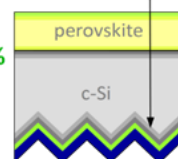
## 複合型太陽電池構造の設計 (シミュレーション)

- ペロブスカイト太陽電池(トップセル)とシリコン電池(ボトムセル)の界面形状の最適化
- バックコンタクト結晶Si太陽電池技術を適用した三端子構造

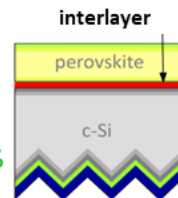
界面形状最適化  
(電流最大化)



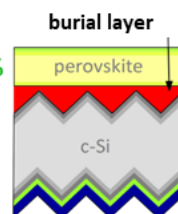
+5.1%



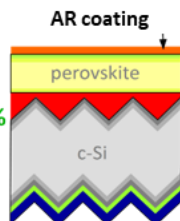
+2.4%



+3.1%

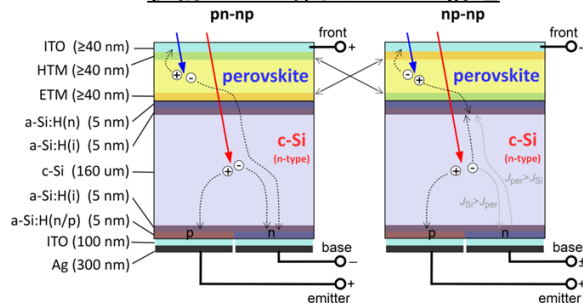


+4.5%



R. Santbergen, K. Yamamoto et al.,  
*Optics Express* **24**, A1288 (2016)

## 検討した三端子タンデム構造



## 三端子構造

主なシミュレーション条件

1sunでの要素セルの変換効率

トップセル: 22.7%

(Efficiency tables 51, 2018)

HJBCセル: 24.9%

[43th IEEE PVSC (2016)での報告値]

シミュレーション結果: トップセルの効率+HJBCセルの効率=タンデムセルの効率

| タンデム構造 | ペロブスカイト層の膜厚        |                     |                    |
|--------|--------------------|---------------------|--------------------|
|        | 50 nm              | 200 nm              | 1000 nm            |
| pn-np  | 6.8 + 17.8 = 24.6% | 14.8 + 13.1 = 27.9% | 21.3 + 9.0 = 30.3% |
| np-np  | 8.1 + 17.2 = 25.4% | 16.6 + 12.9 = 29.5% | 23.0 + 9.0 = 32.0% |

R. Santbergen, K. Yamamoto et al., *IEEE J. Photovoltaics* **9**, 446 (2019).

現在、複合型太陽電池の変換効率向上の取り組みを進めている。

## まとめ

### 開発項目① 高効率バックコンタクトヘテロ接合結晶Si太陽電池の開発

発電コスト目標2020年14円／kWhと、2025年7円／kWhの実現に向けた技術開発を実施。

### 高効率、高信頼性技術開発

- ・ シリコン太陽電池で変換効率世界最高記録を更新  
セル変換効率26.7%、モジュール変換効率24.5%まで到達。
- ・ 信頼性試験では、ミニモジュールでのDH試験(6000時間)等を実施。屋外での実発電量を確認中。
- ・ 実用技術開発に重点的に取り組んでいる。

### 今後の予定

- ・ 発電コスト目標2020年14円/kWhと2025年7円/kWhの実現に向け、高効率と高信頼性を兼ね備えた太陽電池の低コスト化技術開発に引き続き取り組む。
- ・ 株式会社カネカでは、今回の成果を活用した高効率太陽電池の製品化を計画しており、製品の実用化に向け開発を進める。