

# スマートスタック/面積電流整合/低倍率集光を組み合わせた多接合太陽電池(SMACモジュール)の光学設計

馬場将亮<sup>1</sup>、牧田紀久夫<sup>2</sup>、水野英範<sup>3</sup>、高遠秀尚<sup>3</sup>、菅谷武芳<sup>2</sup>、山田昇<sup>1</sup>

<sup>1</sup>長岡技術科学大学 大学院工学研究科

<sup>2</sup>産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 先進多接合デバイスチーム

<sup>3</sup>産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター 太陽光チーム

## 研究の目的

### スマートスタック (SS)

スマートスタック(SS)は金属ナノ粒子を利用した接手法  
 ・高い光透過性(光学損失 < 2%)  
 ・低い接合抵抗 (< 1 Ω・cm<sup>2</sup>)  
 フレキシブルな太陽電池設計が可能 [1, 2]

### 面積電流整合 (ACM)

面積電流整合技術(ACM)は2端子多接合太陽電池の電流整合技術  
 ボトムセルをトップセルより大きくすることによって電流整合  
 太陽光の一部は直接ボトムセルに入射 [3]

### 低倍集光 (LC)

太陽光集光は太陽電池の面積を削減する技術  
 低倍集光技術(LC)は太陽光追尾が不要  
 SSとACMを用いた太陽電池に対する集光器の最適化は新しいアプローチ

### 高効率低コスト 太陽電池モジュール

### SMAC module

Smart stacking with Areal current matching and Concentration [4]

## 光学解析

年間の直達光分布(東京南向き, 傾斜角35° 設置)  
 拡張AMeDAS気象データを基に算出

年間の94%の直達日射が入射角60° の範囲に分布  
 半角許容入射角60° 程度のレンズを設計

最適設計したレンズ  
 材料: シリコン  
 幾何学的集光倍率: 2X

角度特性解析モデル

半角許容入射角がβ = 0° の際、トップセル、全セル面積に対してそれぞれ59°, 60°  
 トップセルに対する光学効率を低く抑える事によって、広い半角許容入射角を実現

## 年間効率解析

光学損失  $E_{opt\_loss}$  (1時間ごとの日射を基に計算)

$$E_{top\_opt} = E(h) \times \eta_{opt\_top}(\alpha, \beta)$$

$$E_{bot} = E(h) \times \eta_{opt\_bot}(\alpha, \beta)$$

$$E_{opt\_loss} = GTI - \sum_{h=1}^{24 \times 365} (E_{top\_opt} + E_{bot})$$

電極損失  $E_{e\_loss}$  (トップセルの表面の13%が電極  $A_{act} = 0.87$ )

$$E_{top} = A_{act} \times E_{top\_opt}$$

$$E_{e\_loss} = \sum_{h=1}^{24 \times 365} ((E_{top\_opt} + E_{bot}) - (E_{top} + E_{bot}))$$

電流不整合損失  $E_{mis\_loss}$  ( $E_{bottom} / E_{top} = 0.38$ で電流整合)

$E_{bottom} / E_{top} < 0.38$  の場合

$$E_{mis\_loss} = \sum_{h=1}^{24 \times 365} ((E_{top} + E_{bottom}) - (\frac{E_{bottom}}{0.38}))$$

$E_{bottom} / E_{top} > 0.38$  の場合

$$E_{mis\_loss} = \sum_{h=1}^{24 \times 365} ((E_{top} + E_{bottom}) - ((E_{top} \times 0.38) + E_{top}))$$

エネルギー収集効率  $\eta_{collection}$

$$\eta_{collection} = \frac{GTI - E_{opt\_loss} - E_{e\_loss} - E_{mis\_loss}}{GTI}$$

モジュール化にともなう損失を考慮したエネルギー収集効率  $\eta_{collection}$  を定義

太陽軌道

E	[kJ/m <sup>2</sup> ]	1時間ごとの日射量
$\eta_{opt\_top}$	[-]	トップセルに対する光学的効率
$\eta_{opt\_bot}$	[-]	ボトムセル(接合部を除く)に対する光学的効率
$E_{top\_opt}$	[kJ/m <sup>2</sup> ]	トップセルに入射する日射
$E_{bot}$	[kJ/m <sup>2</sup> ]	ボトムセルに直接入射する日射
$E_{top}$	[kJ/m <sup>2</sup> ]	電極損失を考慮したトップセルに入射する日射
$A_{act}$	[-]	トップセルの電極面積を差し引いた面積の割合
GTI	[kJ/m <sup>2</sup> ]	傾斜面における年間日射量

年間積算エネルギーの入射角依存性(東京, 南向き)

エネルギー収集効率の設置傾斜角, 方位角依存性

年間のエネルギー収集効率: 75.7% (東京南向き35° 設置)  
 傾斜角, 方位角を変化させた際の効率の低下はそれぞれ2.5%, 0.5%以下

## 結論

- 東京南向き35° 設置の直達光日射分布から入射角60° の範囲に94%の日射が存在することが明らかとなった。そこで、入射角が約60° のレンズを設計し、年間解析を行った。年間解析の結果、エネルギー収集効率75.7%となった。
- 設計したレンズの設置傾斜角, 設置方位角特性を評価した。傾斜角, 方位角を変更した結果、エネルギー収集効率の低下はそれぞれ2.5%, 0.5%以下であった。

## 参考文献

- [1] H. Mizuno et al., *Appl. Phys. Lett.*, 101, 191111 (2012).
- [2] K. Makita et al., *27th EUPVSEC*, 78-80 (2012).
- [3] J. Yang et al., *IEEE J. Photovoltaics*, 4, 1149-1155 (2014).
- [4] M. Baba et al., *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, 25, 255-263 (2017).