

ふく射熱輸送特性と波長選択性の 太陽熱光起電力発電システム効率への影響

Effects of radiative heat transfer and spectral control on solar-thermophotovoltaic system efficiency

東北大院工 ○小桧山朝華, 清水信, 湯上浩雄

Graduate School of Engineering, Tohoku Univ., A. Kohiyama, M. Shimizu, H. Yugami

E-mail: a_kohiyama@energy.mech.tohoku.ac.jp, h_yugami@energy.mech.tohoku.ac.jp

太陽熱光起電力 (Solar-thermophotovoltaic: Solar-TPV) 発電システムでは太陽光によって太陽光選択吸収材料 (アブソーバ) と波長選択エミッタが加熱され、エミッタからの波長選択性熱ふく射によって光電変換セルが発電を行う¹⁻³。太陽光をいったん熱に変換することで、安価な単接合太陽電池を用いても多接合太陽電池に匹敵する高効率な発電が期待できる。近年、発電効率 (= システム効率: η_{system}) は大幅に向上してきており⁴、我々も平板一体型のアブソーバ/エミッタを用いて $\eta_{\text{system}} = 5.1\%$ を実現している¹。しかしながらこれら実験的な η_{system} は未だ低く、潜在的な高い η_{system} に近づくためにはシステム全体を俯瞰した研究が必要不可欠である。また、高い η_{system} を得るためには高い光電変換効率 (η_{PV}) を得ることが重要となる。つまりエミッタが光電変換セルにおける損失を最小限とする狭帯域熱ふく射スペクトル (= 高 Q 値) を有していることが望まれる。さらに Solar-TPV システムでは、アブソーバ/エミッタへの入射光をできる限り損失なくエミッタからのふく射熱へ変換すること、つまり高い効率でふく射熱を輸送することも重要となる。よって高い η_{system} を得るにはアブソーバとエミッタが高いふく射熱輸送特性及び波長選択性を有することが重要といえる。我々はアブソーバ/エミッタにおけるエネルギー変換効率を抽出効率 ($\eta_{\text{extraction}}$) として定義している。これより $\eta_{\text{system}} = \eta_{\text{extraction}} \times \eta_{\text{PV}}$ と記述でき、 $\eta_{\text{extraction}}$ と η_{PV} に基づいたシステム全体の設計指針構築を可能としている¹。本研究はアブソーバとエミッタのふく射熱輸送特性及び波長選択性が $\eta_{\text{extraction}}$ と η_{PV} 及び η_{system} に与える影響を検討した。

Fig. 1 に高い波長選択性を有する理想的エミッタと中赤外域のふく射が生ずる金属エミッタの Q 値に対する η_{PV} の計算結果を示す。GaSb セル ($E_g = 0.67 \text{ eV}$) を使用した場合の詳細平衡モデルに基づき η_{PV} を算出した。計算においてエミッタの放射率スペクトルを Fig. 2 に示すようにローレンツ関数より表し、ある Q 値を有する 1500 K の熱ふく射スペクトルとした。ローレンツ関数におけるベースライン (ϵ_{base}) を 0 及び 0.15 と仮定することで、選択的熱ふく射の波長域以外においてふく射を生じない理想的エミッタ ($\epsilon_{\text{base}} = 0$) と、高温金属の中赤外域の放射率特性を有する金属エミッタ ($\epsilon_{\text{base}} = 0.15$) を仮定した。理想的エミッタの場合、Q 値増大に伴い η_{PV} は向上し、 $Q > 20$ において $\eta_{\text{PV}} > 45\%$ が期待できることが明らかとなった。一方で金属エミッタを用いた場合、 η_{PV} の Q 値依存性が変わり、 $Q = 5$ において最大の η_{PV} が得られることが明らかになった。また、 $Q > 5$ においては Q 値増大に伴い η_{PV} が大幅に低下した。これは中赤外域のふく射が生じていることによって、Q 値増大に伴いエミッタからの全ふく射に対する光電変換セルにおける損失の割合が大きくなるためと考えられる。よって、中赤外域のふく射が生ずるエミッタにおいては、高い η_{PV} を得るための最適な Q 値があることが明らかとなった。また、エミッタからの中赤外域のふく射によって η_{PV} が大幅に低下すること、中赤外域のふく射抑制が η_{system} の向上には重要であることが示された。その他 $\eta_{\text{extraction}}$ 及び全体の η_{system} に与えるアブソーバ/エミッタのふく射熱輸送特性と波長選択性の影響については、当日詳細を報告する。なお本研究は科学技術振興機構先端的低炭素化技術開発 (JST-ALCA) の支援を受けた。

References [1] Kohiyama *et al.*, *App. Phys. Express* **9** (11), 112302 (2016). [2]

Shimizu *et al.*, *J Photon Energy* **5** (1), 053099 (2015). [3] 小桧山他, 2016 秋季応物 15p-B4-12 [4] Bierman *et al.*, *Nat. Energy* **1**, 16068 (2016). [5] Shockley *et al.*, *J. Appl. Phys.* **32** (3), 510 (1961).

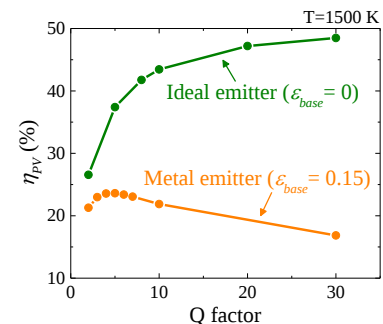


Fig. 1 Calculated photovoltaic conversion efficiency vs Q factor of emitter.

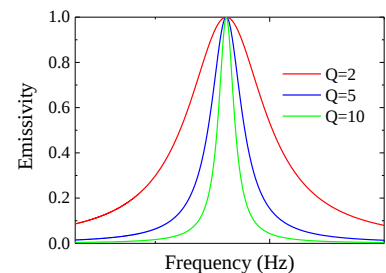


Fig. 2 Emission spectra of ideal emitter.