

降灰地域太陽電池モジュールの解析

千葉 恭男¹, 佐藤 梨都子¹, 平山 齊², 川畑 秋馬², 吉村 幸雄³, 増田 淳¹
¹ 産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター モジュール信頼性チーム,
² 鹿児島大学, ³ 鹿児島県工業技術センター

研究の目的

屋外に設置された太陽電池モジュールは、常にモジュール表面の汚れによる発電量の低下が問題になる。世界的に見ても、砂漠地帯に設置された太陽電池モジュールの汚れの問題は深刻である^[1-4]。このような背景から、鹿児島県霧島市にある鹿児島県工業技術センター(以下、工技C)に各種モジュールを設置し、国内におけるモジュール表面の汚れに対する発電量の評価を実施している。今回、将来的に発生することが予想される劣化に対する知見を予め取得することを目的とし、工技Cに長年設置していた太陽電池モジュールの解析を実施したので報告する。

実験

約27年間工技Cに設置されていた多結晶シリコン太陽電池モジュールを取り外し、屋内測定として、ソーラーシミュレータ(日清紡社製 PVS 1222i, STC条件: 25°C, AM1.5G, 1SUN)によるI-V測定と、エレクトロルミネッセンス(EL)測定(アイテス社製)を行った。また、降灰地域特有のモジュールの変化を見出すために、ガラスおよびフレームの解析を行い、封止材の解析も行った。

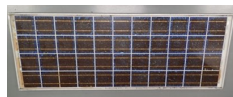


図1 解析した太陽電池モジュールの外観

表1 解析した太陽電池モジュールの銘板値

種類	多結晶
出力	58.7 W
最適動作電圧	20.3 V
最適動作電流	2.89 A
寸法	1216x447x36 mm

結果と考察

解析した太陽電池モジュールの特性

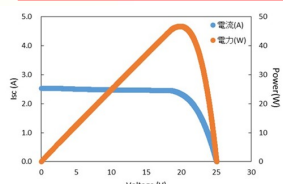


図2 太陽電池の1回目測定時のI-V特性

表2 5回測定したI-V特性の平均値

Nameplate	Isc (A)	Voc (V)	FF (%)	Eff. (%)	Pmax (W)	Vpm (V)	Ipm (A)
Average (five times)	2.53	25.10	0.735	8.50	46.66	19.89	2.35

- 銘板値に対するPmaxは**79.5%**まで低下。
- 設置後から単調に特性が劣化していたと仮定すると、**平均0.76%/年**の劣化率。

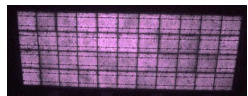


図3 解析した太陽電池モジュールのEL像

- 発光していない部分はほとんど見られず、概ねセルの状態は**良好**。

ガラス表面の付着物の分析

IC定性分析

表3 アニオンのIC定性分析結果

成分	検出量 (ng/cm ²)
F ⁻	2
Cl ⁻	5
NO ₃ ⁻	<0.4
Br ⁻	<0.4
NO ₂ ⁻	8
PO ₄ ³⁻	<0.8
SO ₄ ²⁻	60

表4 カチオンのIC定性分析結果

成分	検出量 (ng/cm ²)
Li ⁺	<0.2
Na ⁺	20
NH ₄ ⁺	10
K ⁺	1
Mg ²⁺	3
Ca ²⁺	6

- アニオン成分で検出された**F⁻, Cl⁻**および**SO₄²⁻**は、坂元[5]により報告されている桜島火山灰の水溶性成分と一致。

- **ICおよびICP-MS分析結果**: ⇒ガラス表面には**桜島の火山灰成分が付着している**ことを示唆。

ICP-MS定性分析

元素	検出量 (ng/cm ²)	元素	検出量 (ng/cm ²)	元素	検出量 (ng/cm ²)
Li	<0.02	Zn	90	Sb	<0.02
Be	<0.02	Ge	<0.02	Te	<0.02
B	0.06	As	0.02	Cs	<0.02
Na	30	Ba	0.4	Ta	<0.02
Mg	4	Pb	0.02	Re	<0.02
Al	30	La	0.02	W	<0.02
K	8	Pr	<0.02	Ir	<0.02
Ca	20	Y	<0.02	Pt	<0.02
Sc	<0.02	Zr	<0.02	Au	<0.02
Ti	1	Nb	<0.02	Pi	0.02
V	0.06	Mo	<0.02	Sm	<0.02
Cr	0.05	Ru	<0.02	Gd	<0.02
Mn	0.2	Rh	<0.02	Bi	0.03
Fe	10	Pd	<0.02	Th	<0.02
Co	<0.02	Ag	<0.02	U	<0.02
Ni	0.04	Cd	<0.02	Er	<0.02
Cu	0.09	In	<0.02	Tm	<0.02
		Sb	0.06	Yb	<0.02

- 軽元素から**重元素**の金属元素を検出
- 坂元により報告されている桜島火山灰中の水溶性重金属元素[6]のうち、**Cu, Zn, Pb**が検出された。

ガラスのSIMS分析

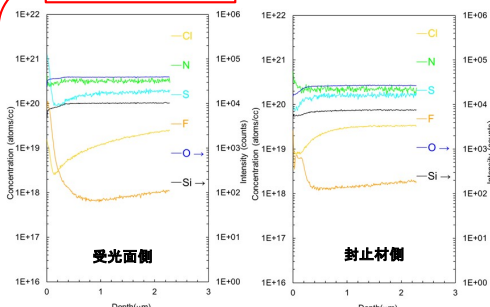


図4 ガラスのSIMS分析(負イオン)

- 受光面側の**S**と**F**の濃度は、封止材側よりも高い傾向が見られる。
- **F⁻, SO₄²⁻**は、付着物のIC定性分析からも検出。

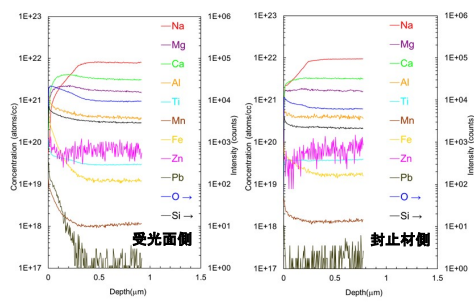


図5 ガラスのSIMS分析(正イオン)

- 受光面側の**Al, Ti, Mn, Fe, Zn**および**Pb**の濃度は、封止材側よりも高い傾向が見られる。
- 桜島火山灰中の水溶性重金属元素[6]のうち、**Zn, Pb**の濃度の変化を確認

- ⇒ガラス表面は付着物の影響を強く受けていることを示唆

フレームのSEM観察

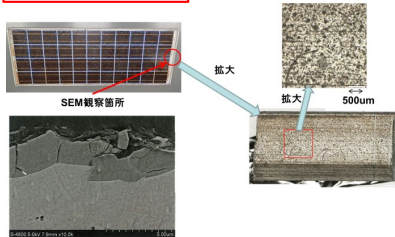


図6 フレームのSEM像

- フレーム表面には**窪み**があり、**ざらついた様子**
- 断面SEMから、クラックや、層構造の膜厚の不均一さも見られた。

封止材のFT-IR分析

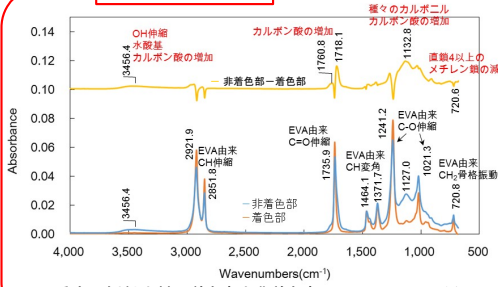


図7 受光面側封止材の着色部と非着色部のFT-IR-ATRスペクトル比較

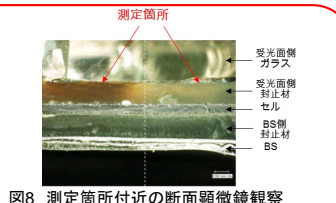


図8 測定箇所付近の断面顕微鏡観察

- 非着色部では、着色部と比較して**水酸基**や**カルボン酸**が増加し、直鎖4以上の**メチレン鎖**成分が減少していた。
- 受光面側では、非着色部で着色部よりも**EVA**の劣化が生じていると考えられる。

結論

- 降灰地域に設置していた太陽電池モジュールの解析を実施した。
- I-V特性は、Pmaxは銘板値の**79.5%**に、年劣化率は**0.76%/年**と試算された。
- ガラス表面には、**桜島火山灰の水溶性成分**を検出した。
- ガラスのSIMS分析では、**桜島火山灰の水溶性成分の影響**を確認した。
○ガラス表面は**付着物の影響を強く受けている**ことが示唆された。
- フレームのクラックや、表面のざらつきを確認した。
- 封止材の劣化の様子を確認した。

【謝辞】本研究の一部は、一般社団法人日本電機工業会からの受託研究として実施した。

参考文献

- [1] A. Massi Pavan et al., Sol. Energy 85, 1128–1136 (2011).
- [2] M. García et al., Prog. Photovolt.: Res. Appl. 19, 211–217 (2011).
- [3] F. A. Mejia and J. Kleissl, Sol. Energy 95, 357–363 (2013).
- [4] M. Vivar et al., Sol. Energy 84, 1327–1335 (2010).
- [5] 坂元隼雄, Nature of Kagoshima, 39, 177–189, (2013).
- [6] 坂元隼雄, Nature of Kagoshima, 40, 237–246, (2014).