

ACインピーダンス測定を利用したモジュールリーク電流回路の性状解析とモデリング

背景と実験

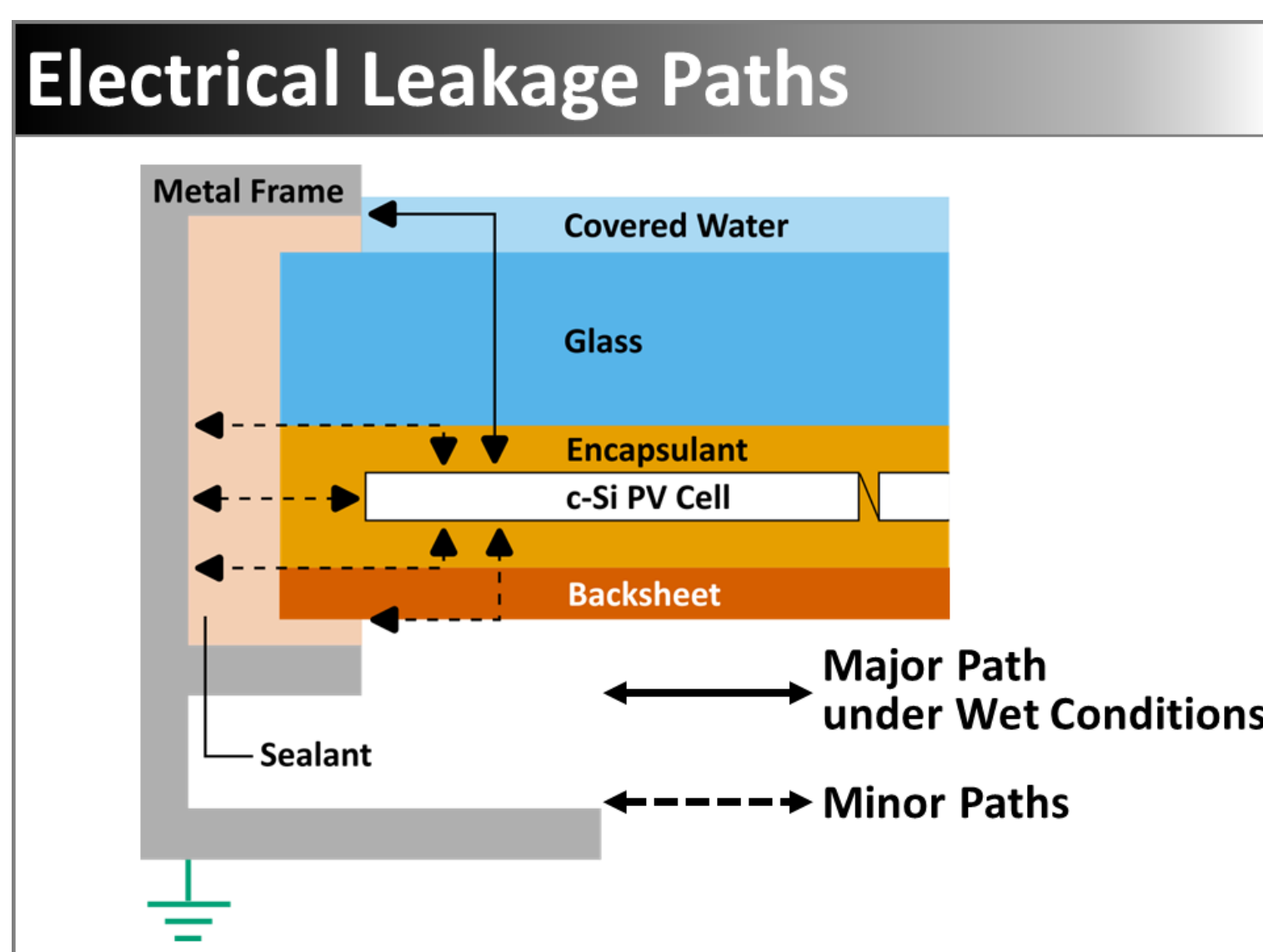
Motivation

Enhancement of Electrical Leakage Current within a PV Module

→ Insulation Breakdown in PV System

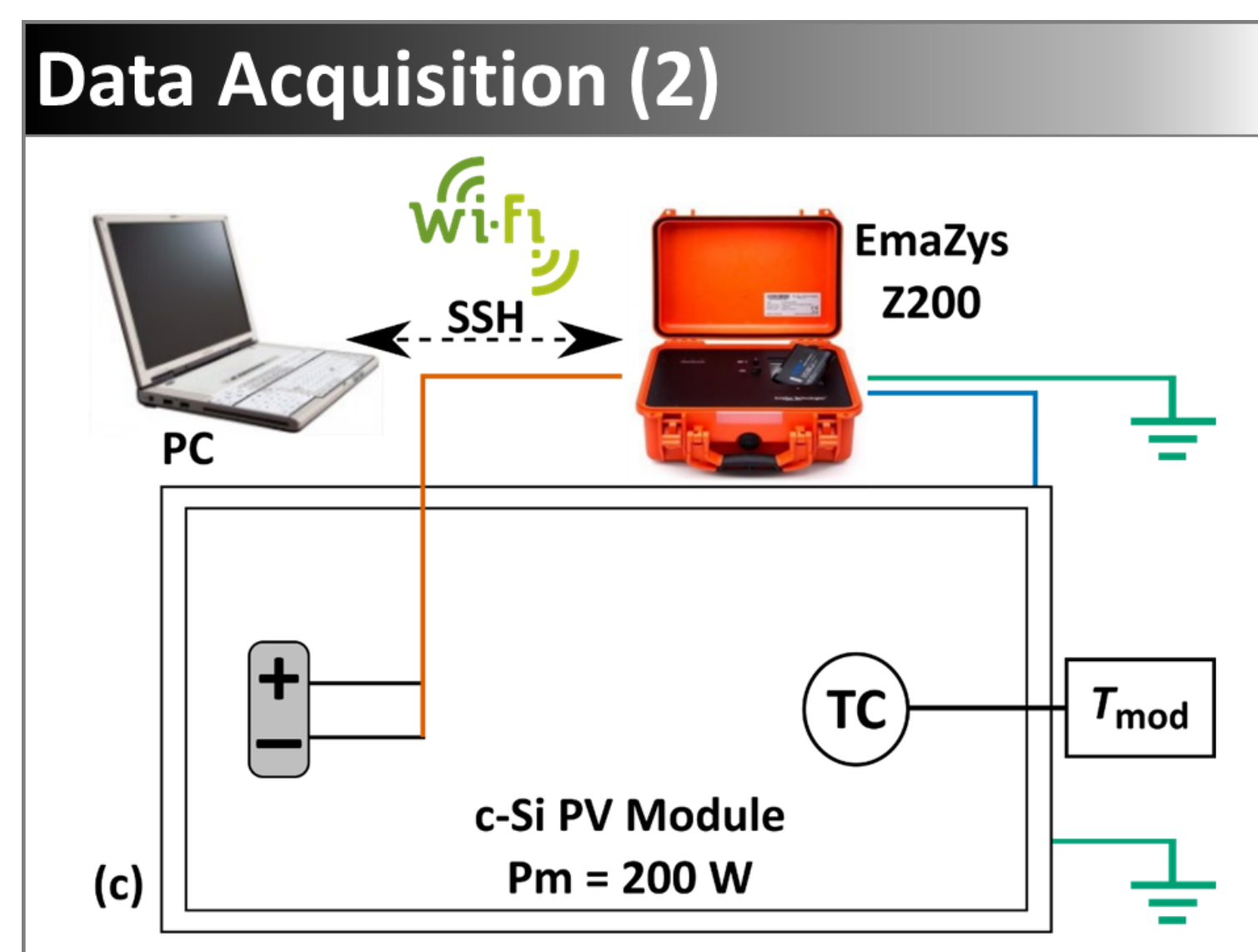
- Electrical Safety Hazard (Electric Shock / Arc Flash)
- Performance-Loss Risk
 - PID (Potential-Induced Degradation)
 - Inverter Tripping (like "Morning Dew")

We attempt to elucidate the mechanism of electrical leakage within a PV module, to identify the mitigation measures for these hazards.



Data Acquisition (1)

AC impedance spectral data (180 Hz to 95 kHz) were obtained every 10 min using the EmaZys Z200 PV Analyzer connected to the short-circuited PV cables and the grounded frame.



概要

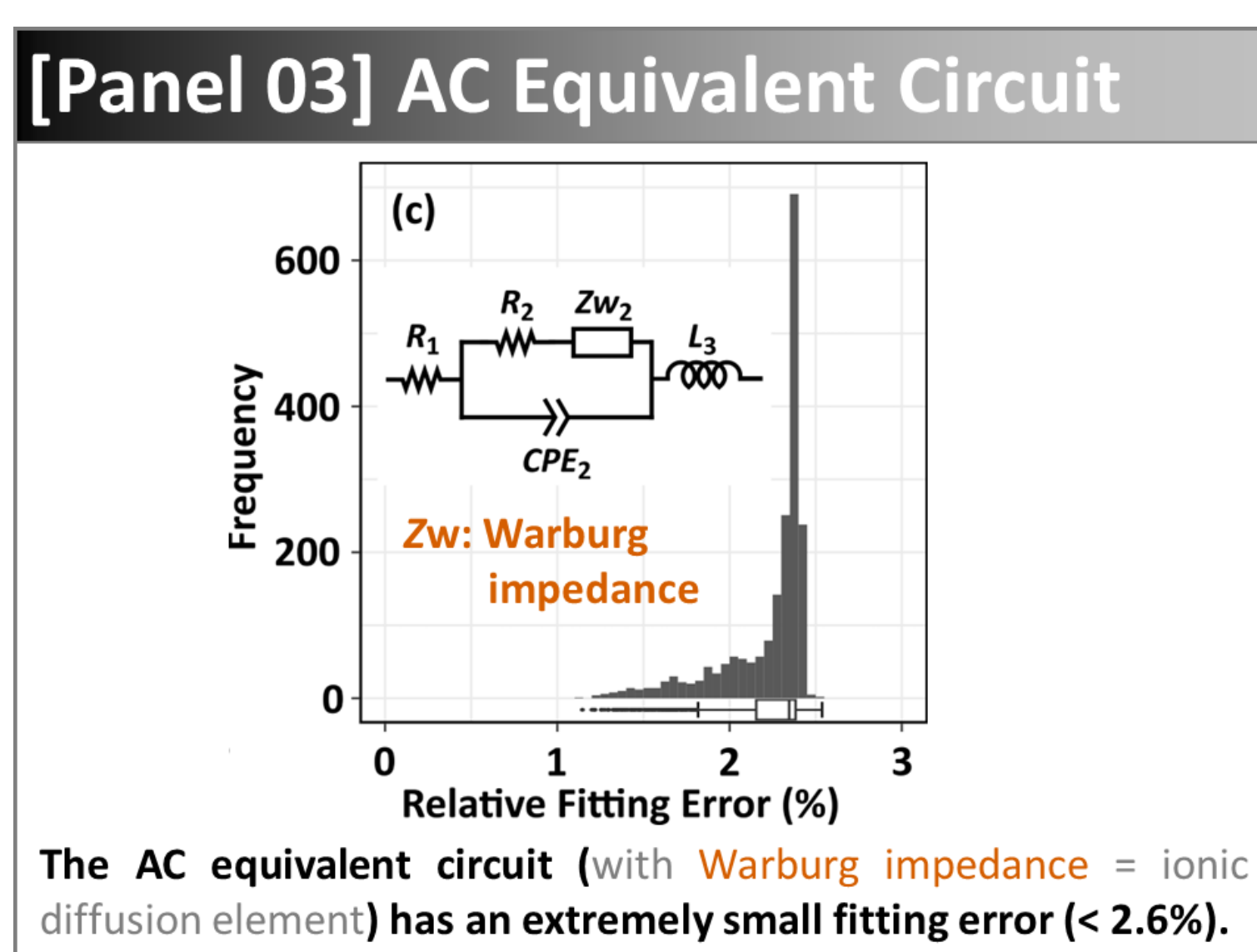
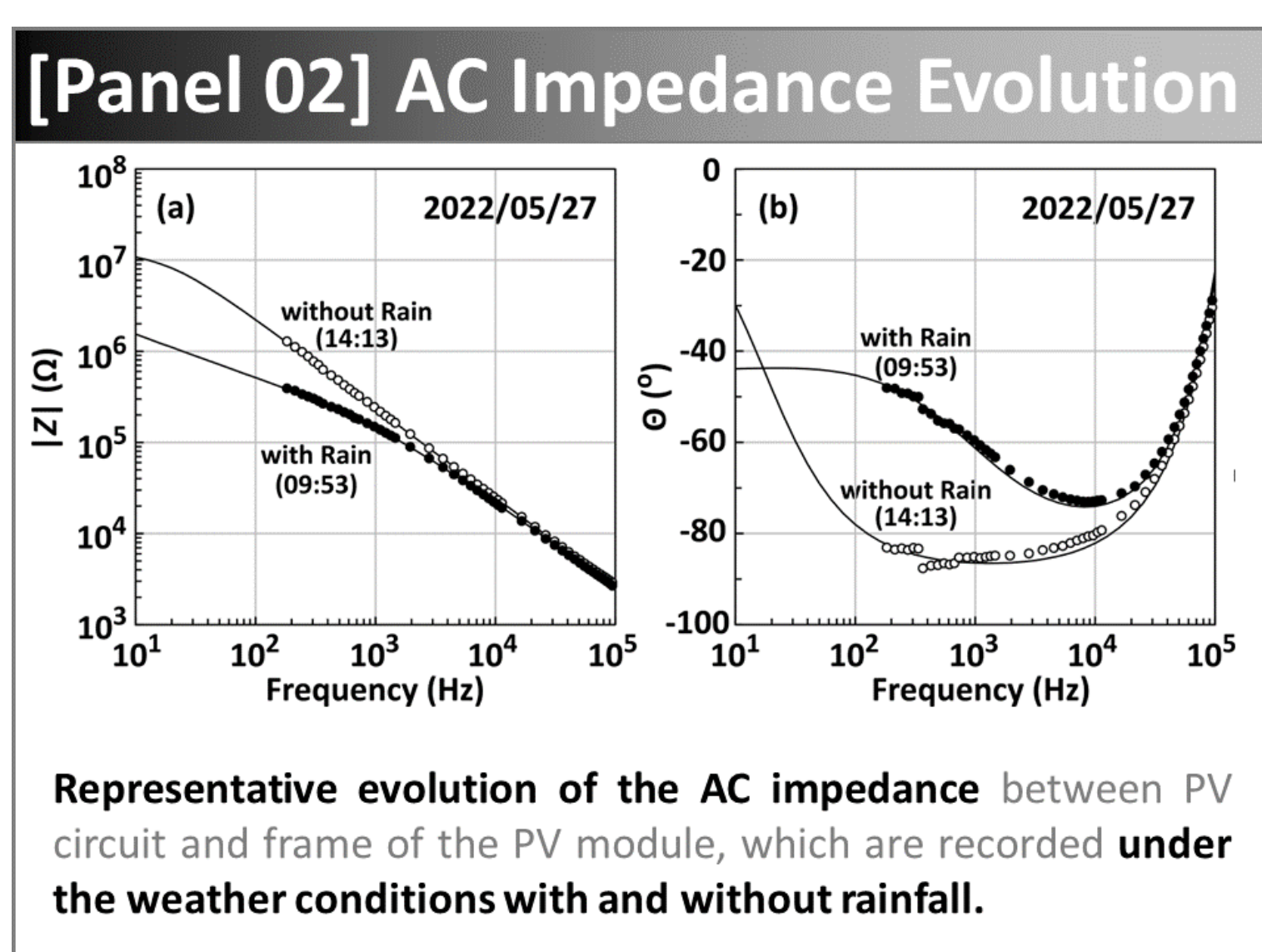
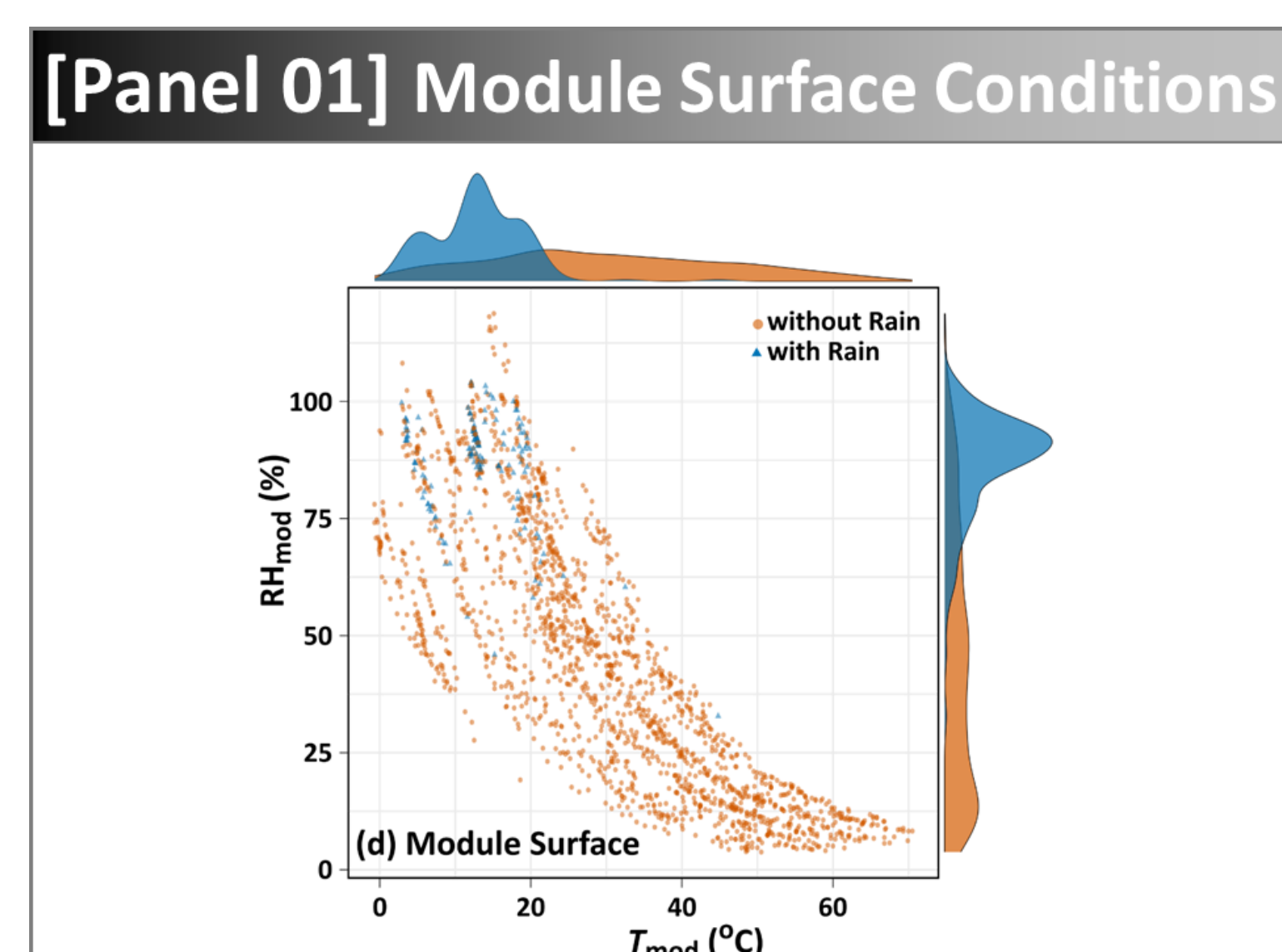
本検討では、交流インピーダンス分光法を用いて屋外設置PVモジュールのリーク電流回路を調査し、その電気絶縁回路特性を明らかにした。

多くの気象条件下で得たデータを解析した結果、交流等価回路モデルには、従来の単純並列回路（抵抗素子||コンデンサ素子）とともに、ワールブルグ・インピーダンス素子（イオン伝導素子）も存在することが明らかになった【パネル01~04】。

これらの素子特性の気象条件依存性は異なっており【パネル05~09】、抵抗特性はモジュール表面状態と深く関係するが、ワールブルグインピーダンスとコンデンサの特性にはPVモジュール内部構成材の湿潤状態も関係していた。これらから、乾湿両方の気象条件下におけるACインピーダンスパラメータ特性を予測することができた【パネル10~12】。

これらは、電気的絶縁抵抗低下が関連するPVモジュールの性能低下や安全リスクに関する懸念に対処する上での基盤的知見と考えられる。

結果



[Panel 04] AC Impedance Model

Warburg Constant (σ)

$$\sigma = \frac{RT}{n^2 F^2 \alpha \sqrt{2}} \left(\frac{1}{\beta \sqrt{D}} \right)$$

Warburg Impedance

$$Z_w = \frac{\sigma}{\sqrt{\omega}} (1 - j)$$

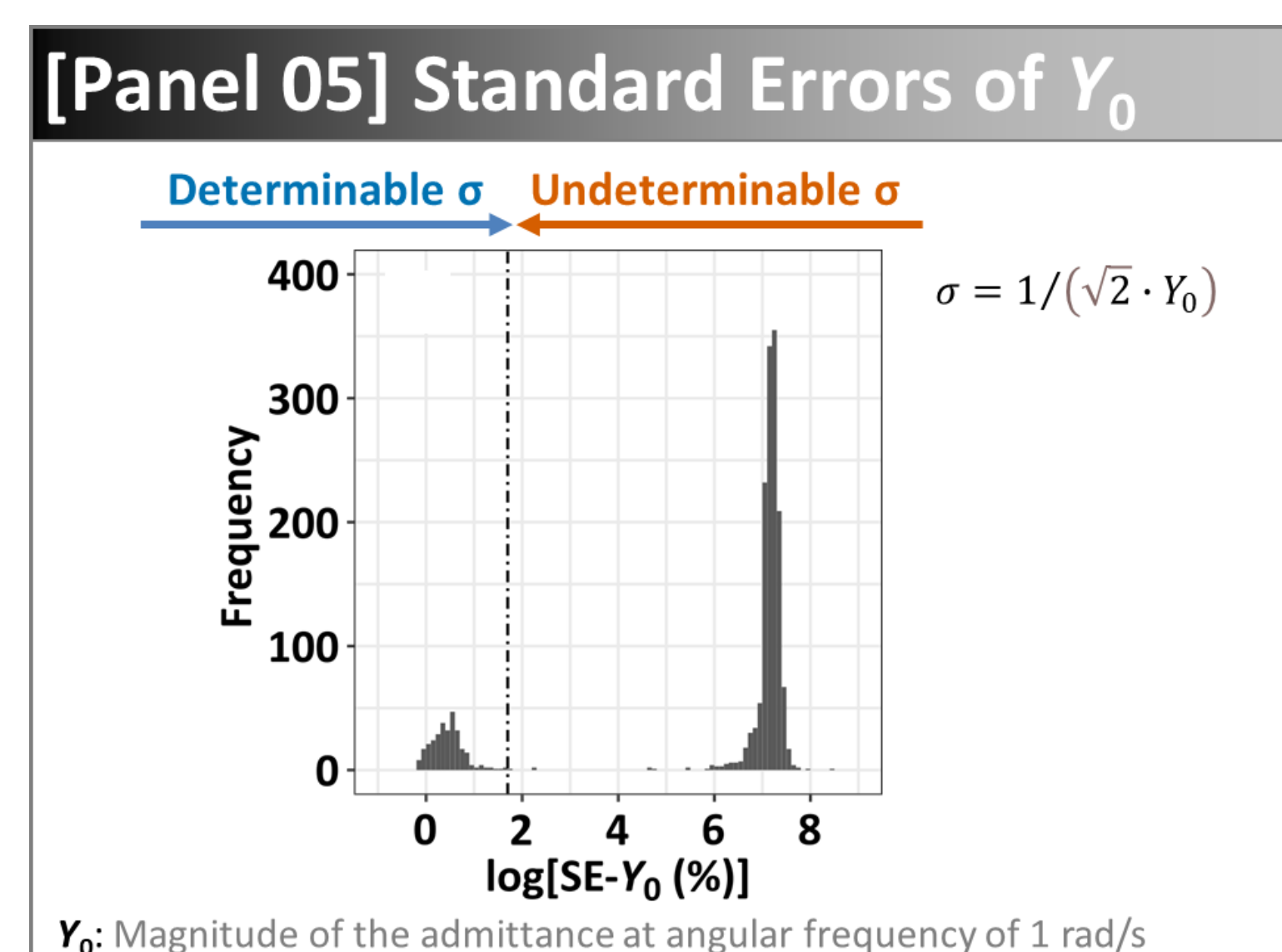
Full Impedance

$$Z = R_1 + \frac{R_2 + \frac{\sigma(1-j)}{\sqrt{\omega}}}{1 + j\omega C^* \left[R_2 + \frac{\sigma(1-j)}{\sqrt{\omega}} \right]} + j\omega L_3$$

Full Impedance (when $\sigma = 0$)

$$Z = R_1 + \frac{R_2}{1 + j\omega C^* R_2} + j\omega L_3$$

Legend:
 R: Ideal gas constant
 T: Absolute temperature
 F: Faraday constant
 ω : Angular frequency
 n: Valency
 α : Geometric area involving in the reaction
 β : Concentration of the electrolyte
 D: Diffusion coefficient



[Panel 06] Dew Point Depression (DPD)

Ambient Temperature: $T_{amb} \rightarrow$ Sat. Water Vapor Press.: $P_{s,amb}$
 Module Temperature: $T_{mod} \rightarrow$ Sat. Water Vapor Press.: $P_{s,mod}$

Relative Humidity on the Surface of Module: RH_{mod}

$$RH_{mod} = \frac{RH_{amb} \times P_{s,amb}}{P_{s,mod}}$$

Dew Point around Module: $T_{d,mod}$

$$T_{d,mod} = \left[1 - \frac{T_{mod} \cdot \ln(RH_{mod}/100)}{L/R_w} \right]$$

Dew Point Depression (DPD) = $T_{mod} - T_{d,mod}$
 DPD_{2.5} means the conditions with DPD < 2.5 K

[Panel 07] Confusion Matrix (1)

		Confusion Matrix			
		P	N	Sum	Determinability of σ
Rainfall	P	TP	FN	TP+FN	Determinability of σ
	N	FP	TN	FP+TN	
DPD _{2.5}		Sum	TP+FP	FN+TN	ALL

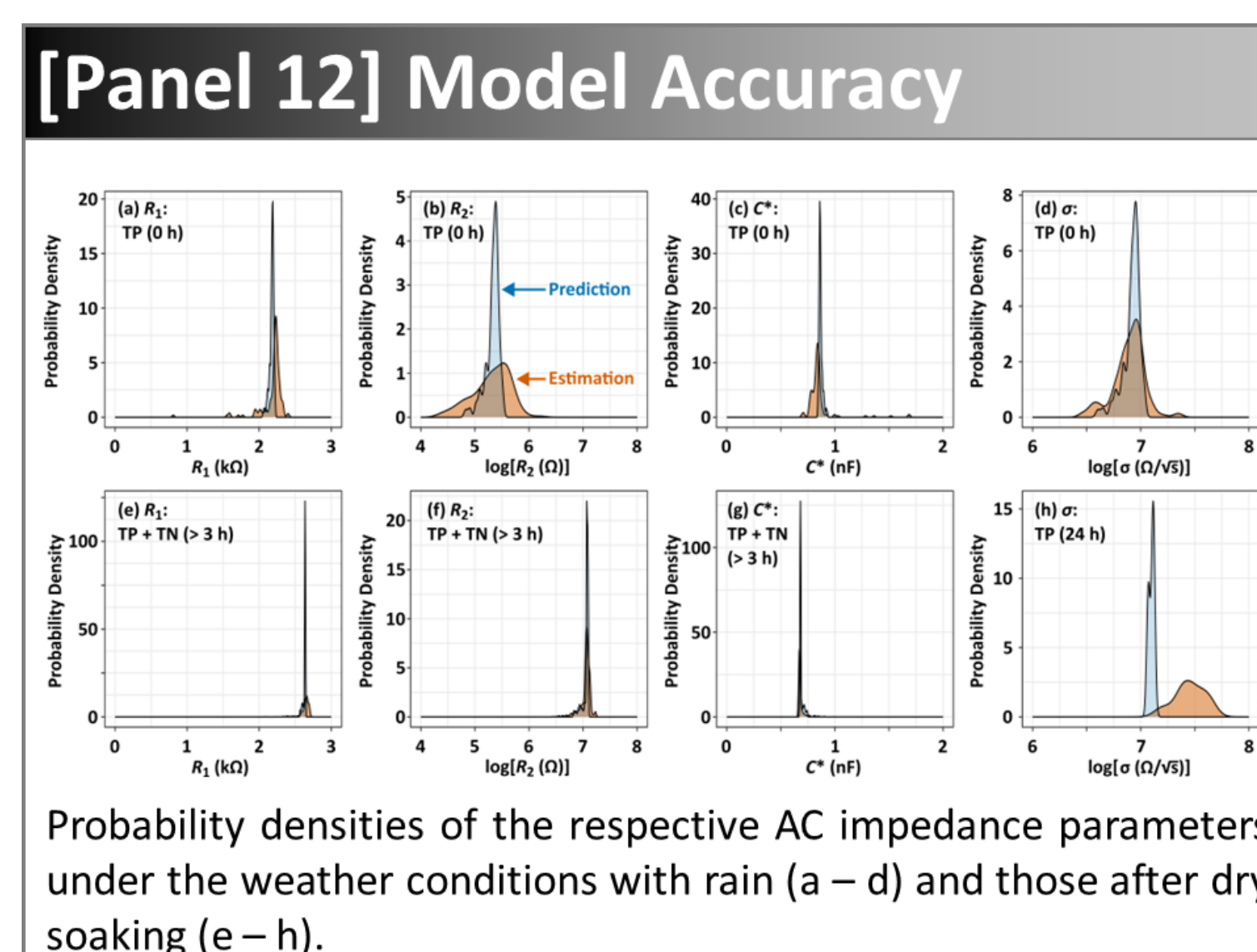
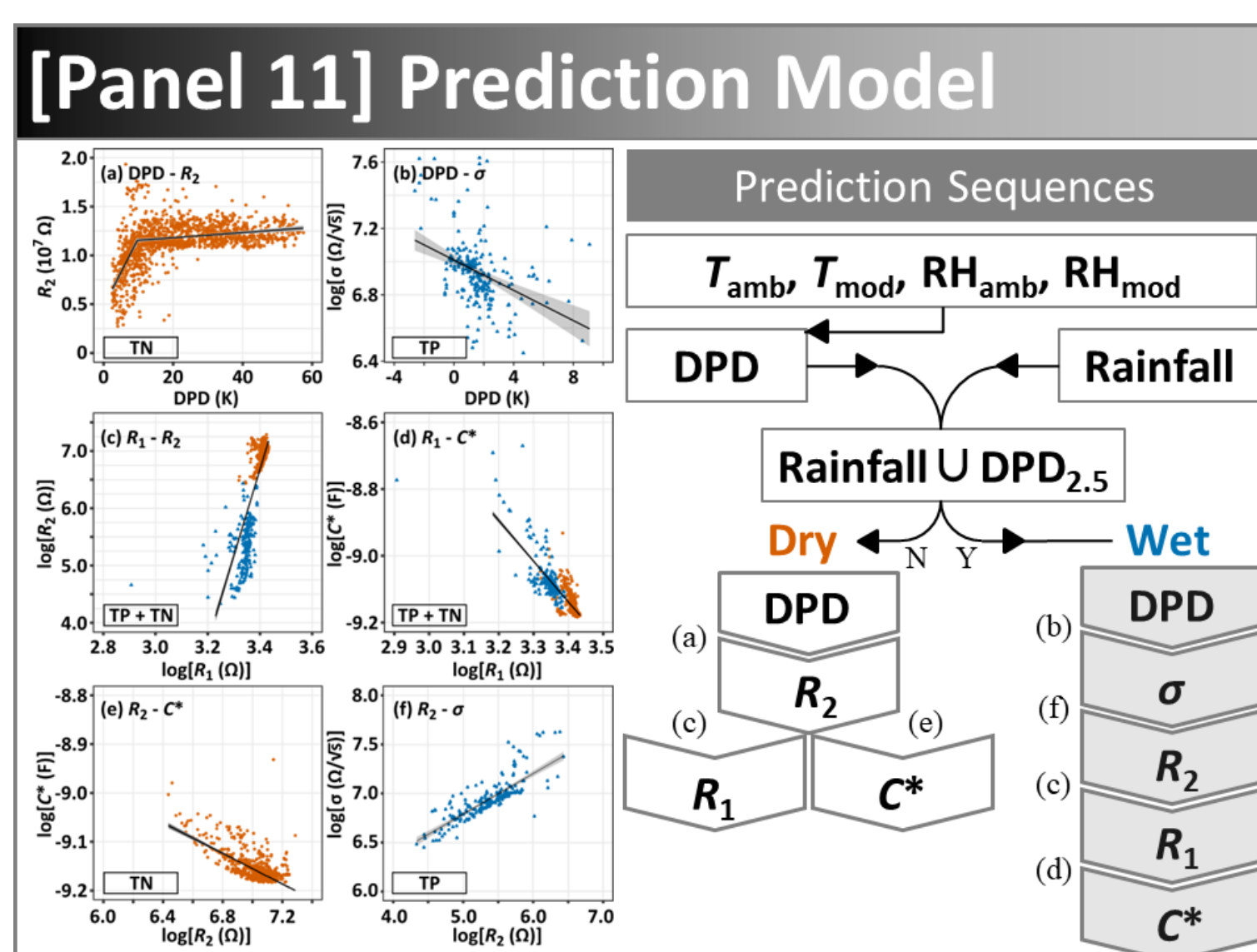
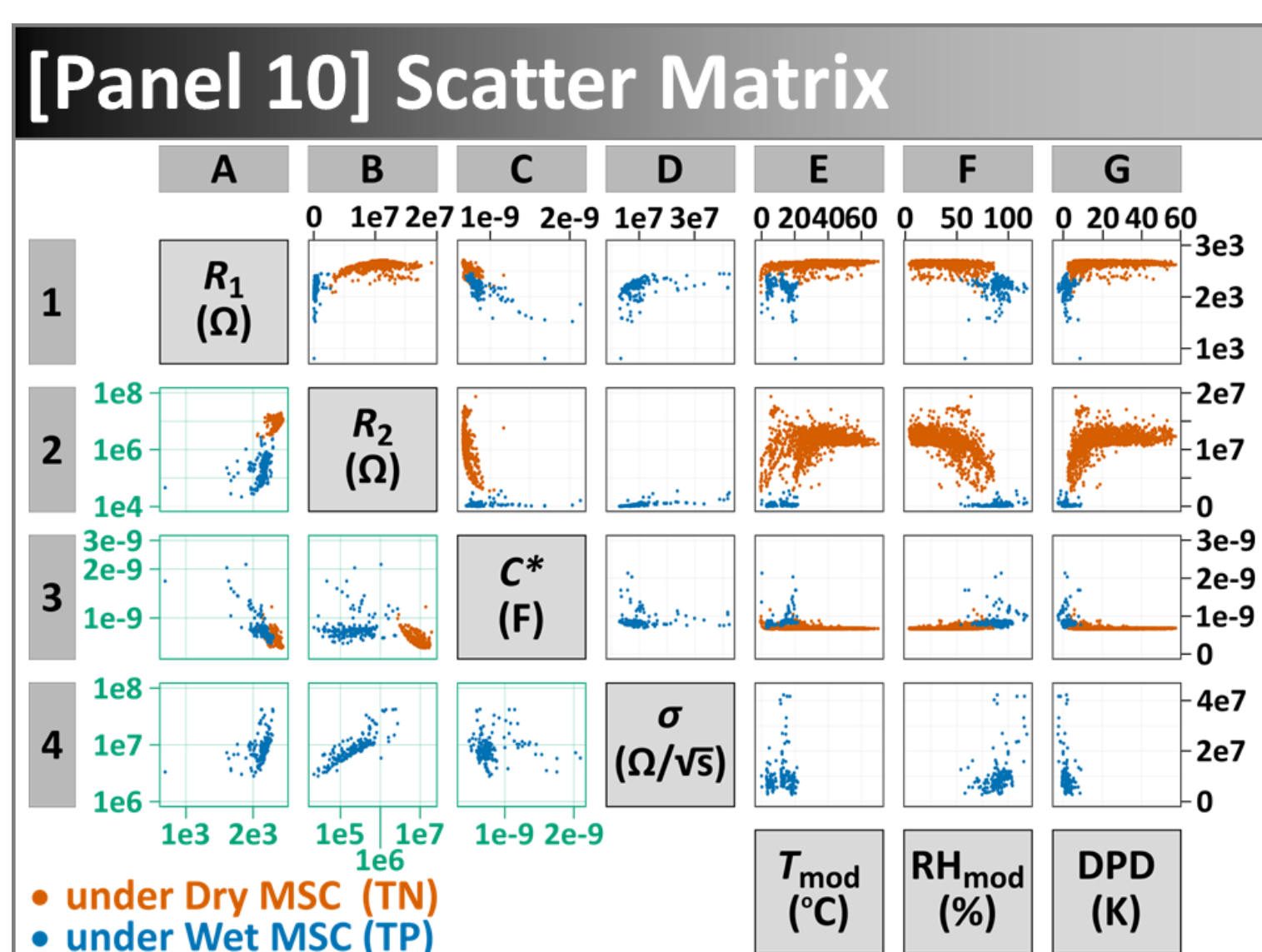
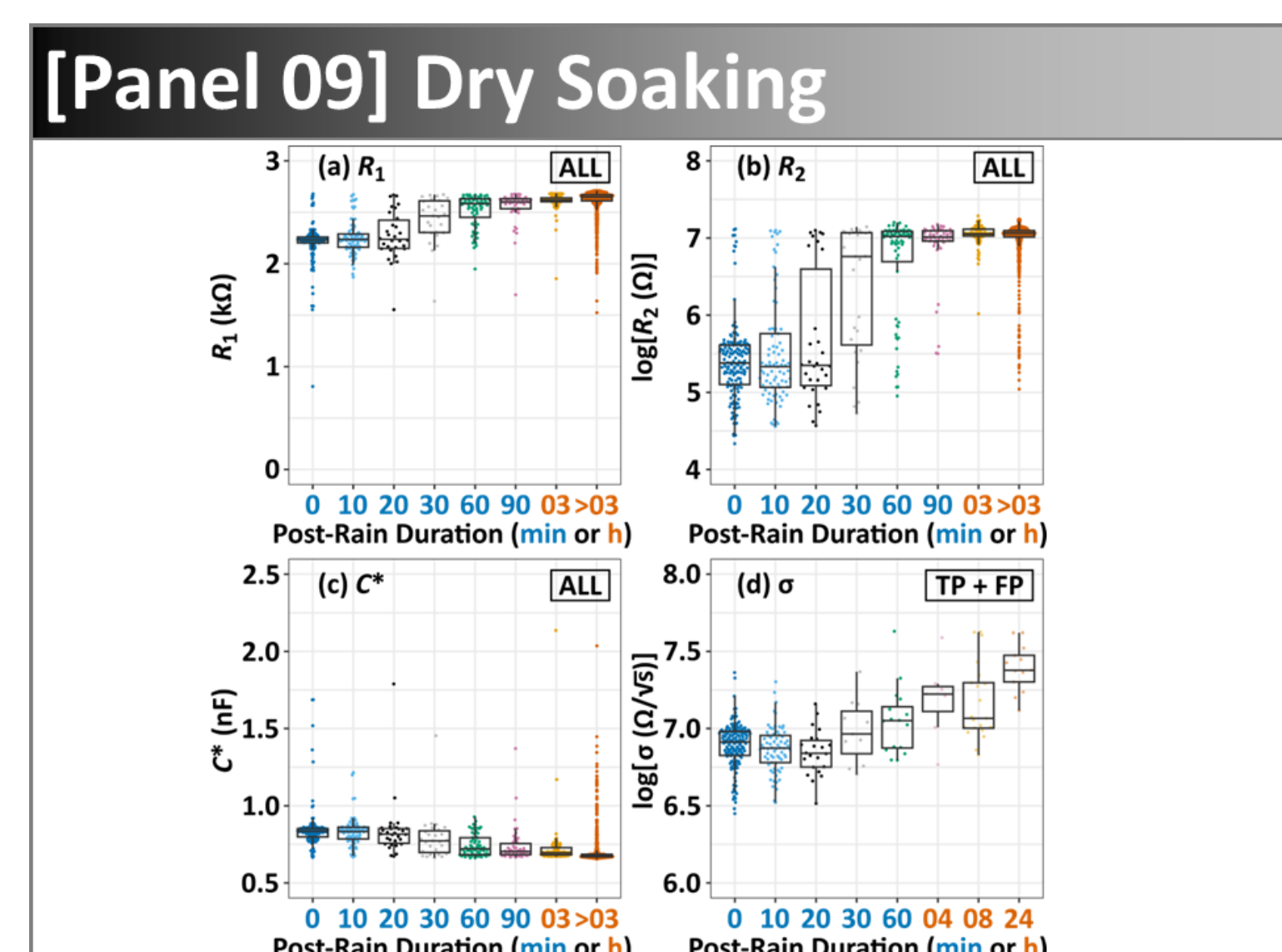
		[Rainfall U DPD _{2.5}] and σ			
		P	N	Sum	
Rainfall	P	232	64	296	
U	N	65	1345	1410	
DPD _{2.5}		Sum	297	1409	1706

[Panel 08] Confusion Matrix (2)

	Score Metrics		
	Rainfall	DPD _{2.5}	Rainfall U DPD _{2.5}
Accuracy	0.902	0.909	0.924
Precision	0.465	0.663	0.781
Recall	0.939	0.779	0.784
f-measure	0.622	0.716	0.782

Accuracy = (TP + TN) / ALL
 Precision = TP / (TP + FN)
 Recall = TP / (TP + FP)
 f-measure = [2 × (Precision × Recall)] / (Precision + Recall)

Wet Module Surface Conditions: Rainfall U DPD_{2.5}
Dry Module Surface Conditions: U \ (Rainfall U DPD_{2.5})



謝辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP20015）の結果得られたものです。

棚橋 紀悟・大関 崇
 産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター

