

# 機能性薄膜を用いた結晶シリコン太陽電池 PID対策モジュール

太陽電池モジュール信頼性評価連携研究体  
原 浩二郎

# 研究の背景・目的

**高効率・低コスト・高信頼性  
太陽電池モジュール(システム)の実現**



Si系太陽電池モジュール・システムの一つの劣化現象として報告されているPID現象を理解し、メカニズムを解明するとともに、低コストの対策モジュールを開発する

# PID (Potential-Induced Degradation)

メガソーラーにおける太陽電池モジュール出力の大幅低下が顕在化

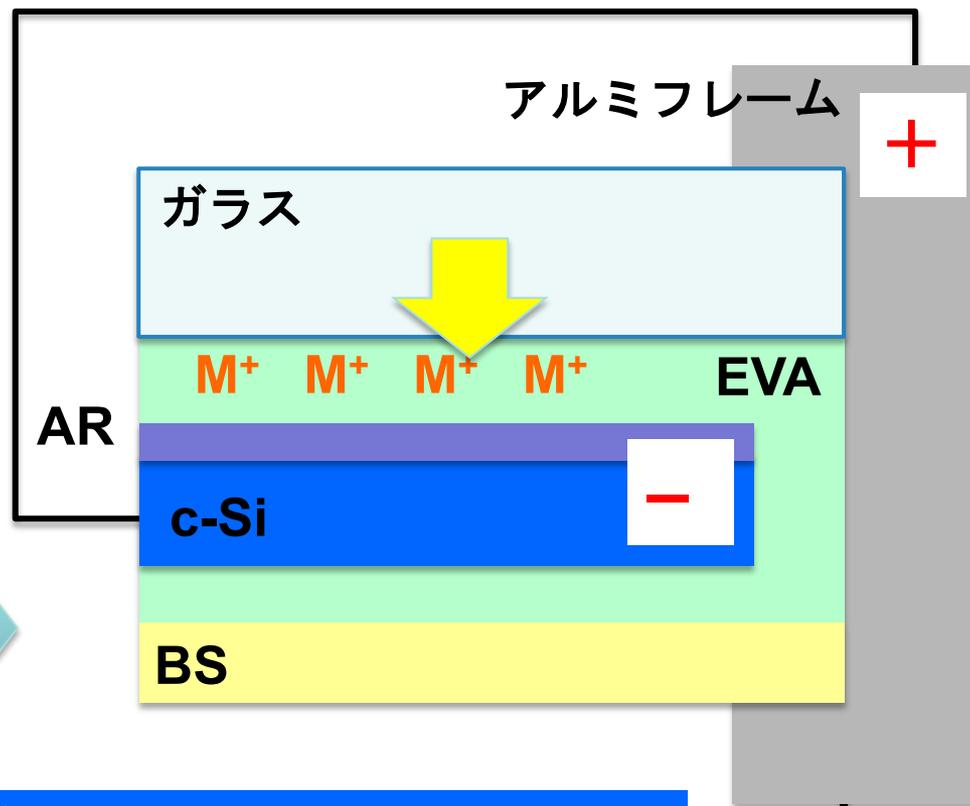


主な関連要因

メガソーラー

- ・メガソーラー(高電圧)
- ・トランスレスインバーター
- ・水(湿度)
- ・高温
- ・反射防止(AR)膜
- ・EVA(封止材)
- ・ソーダライムガラス

想定されている劣化メカニズム例



# これまでのPID対策例

## 1. Siセルの表面改質

- SunPower (2005)、SOLON (2010)、Q-cells (2010)  
→ AR膜等、セル表面の改質による電荷の拡散

## 2. Siセル以外の部材

- Hacke et al. (EU-PVSEC, 2010)、Koch (PVMRW2012)  
→ 無アルカリガラス、アイオノマー等の非EVA封止材
- 大日本印刷(2012/8)  
→ ポリオレフィン系封止材
- 三井・デュポンポリケミカル(2012/12)  
→ アイオノマー系封止材

国内PVメーカーは、ほぼ対策済み？

# 本研究の内容

PID現象を把握・理解して、対策モジュールを実現する

## 1. PIDの再現試験・諸条件の影響（結晶Si系）

温度依存性、電圧依存性、経時変化、セル種の影響、逆電圧の影響、モジュールサイズ、ガラス種の影響、反射防止膜の条件 等

## 2. 結晶Si太陽電池・対策モジュール

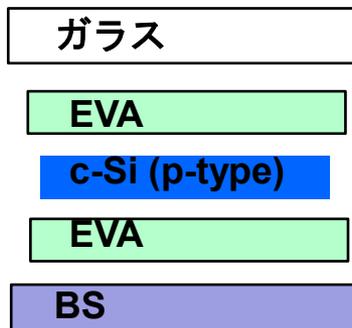
ポリマー薄膜の導入、TiO<sub>2</sub>系薄膜の導入

## 3. 薄膜系太陽電池とPID現象

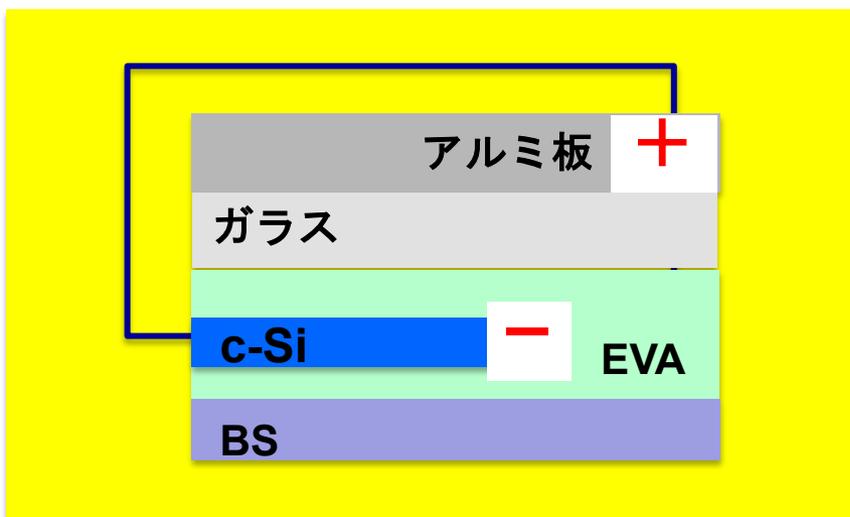
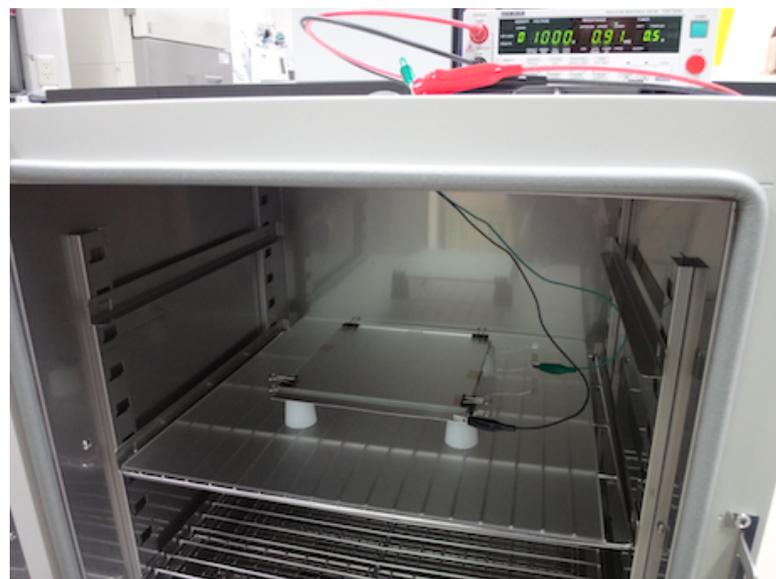
# PID試験方法・アルミ法



単セルモジュール



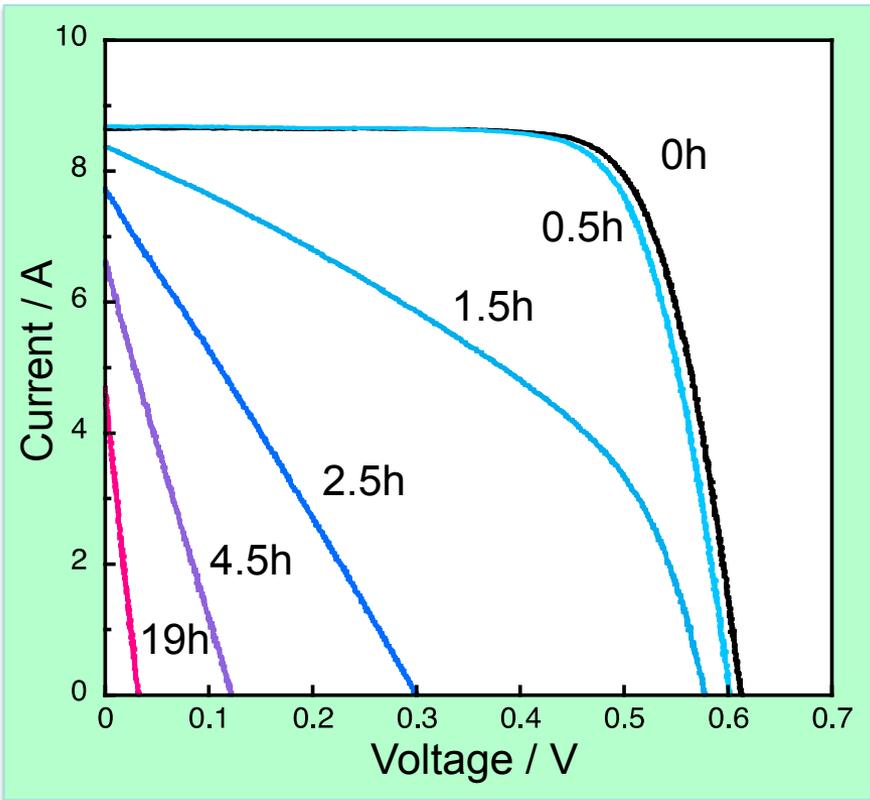
真空ラミネート



**-1000 V, 85°C, 2-24 h**  
(湿度の制御なし)

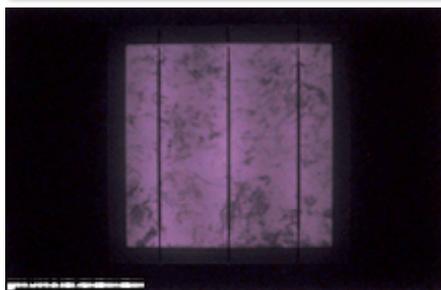
# PID試験・I-V特性の経時変化

**PID試験条件: -1000 V, 85°C**

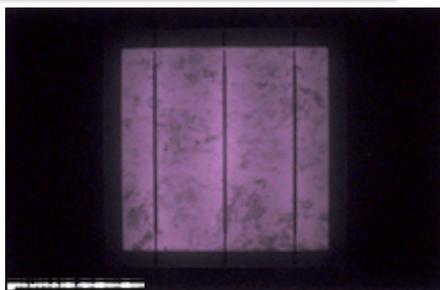


Time / h	Isc / A	Voc / V	FF	Pm / W	Eff. (%)
0	8.66	0.61	0.75	3.98	16.4
0.5	8.69	0.60	0.74	3.87	15.9
1.5	8.36	0.58	0.40	1.93	7.9
2.5	7.69	0.30	0.26	0.60	2.5
4.5	6.58	0.12	0.25	0.20	0.8
19	4.54	0.03	0.24	0.04	0.1

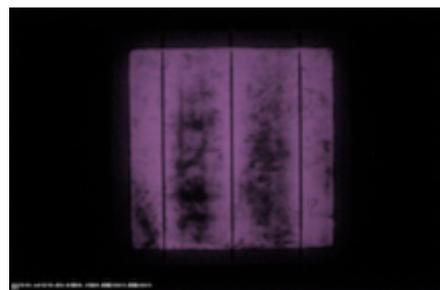
## EL画像の変化



0h (16.4%)



0.5h (15.9%)



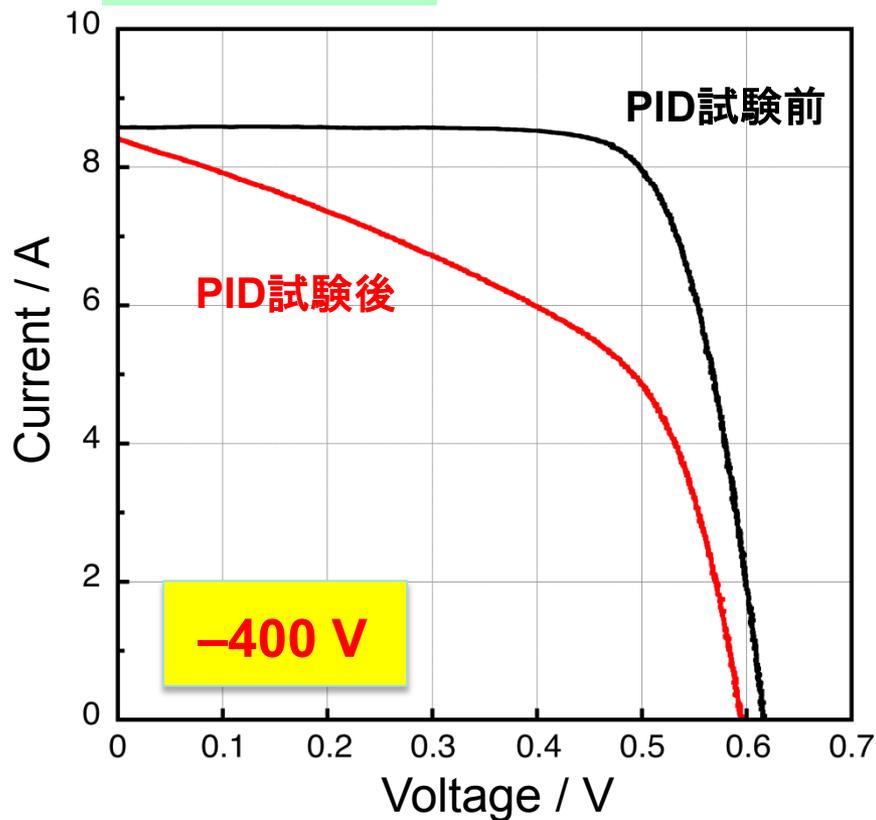
1.5h (7.9%)



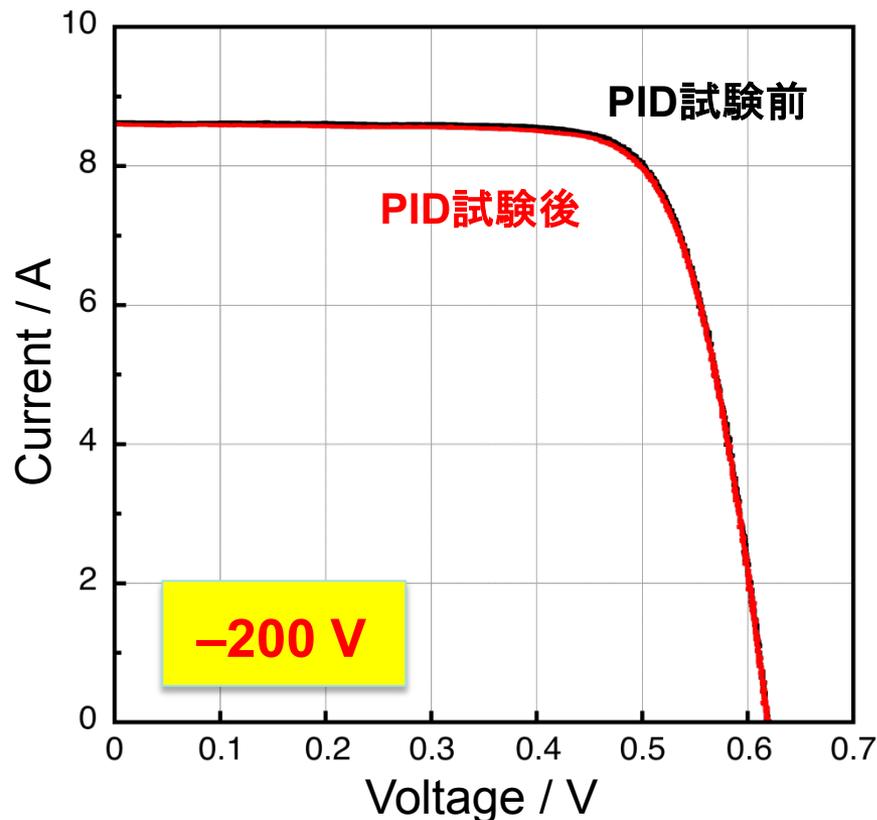
2.5h (2.5%)

# PID試験・電圧依存性

85°C, 24 h



PID現象には高電圧が影響

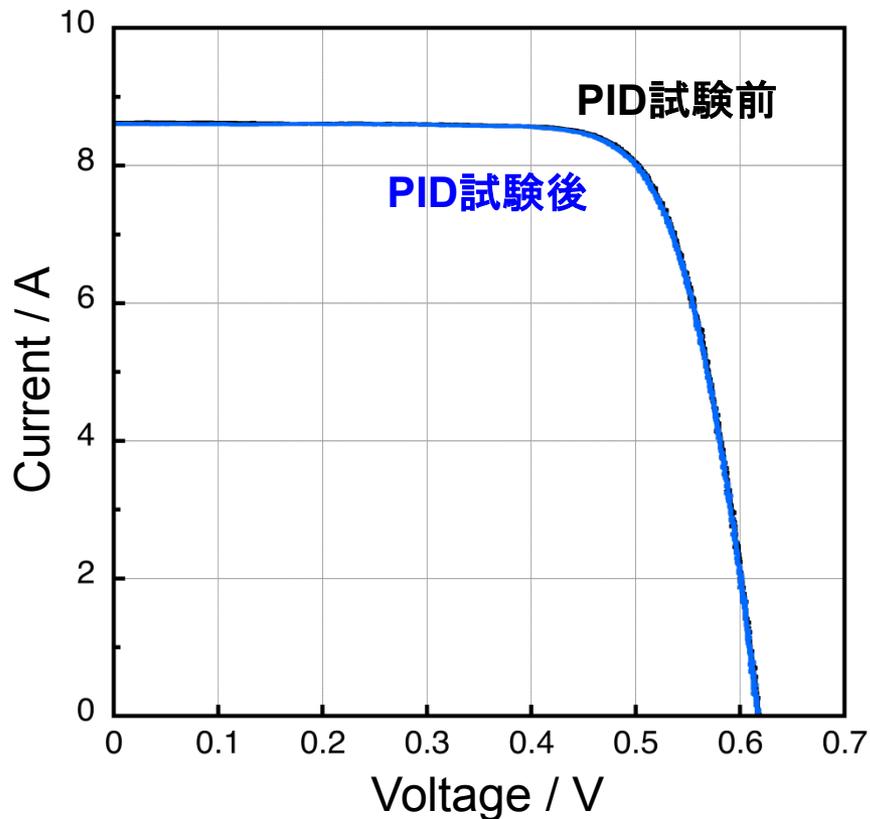


PID / h	Isc / A	Voc / V	FF	Pm / W	Eff. (%)
0	8.58	0.62	0.75	3.98	16.4
24	8.38	0.60	0.50	2.50	10.3

PID / h	Isc / A	Voc / V	FF	Pm / W	Eff. (%)
0	8.63	0.62	0.75	4.02	16.5
24	8.60	0.62	0.75	3.99	16.4

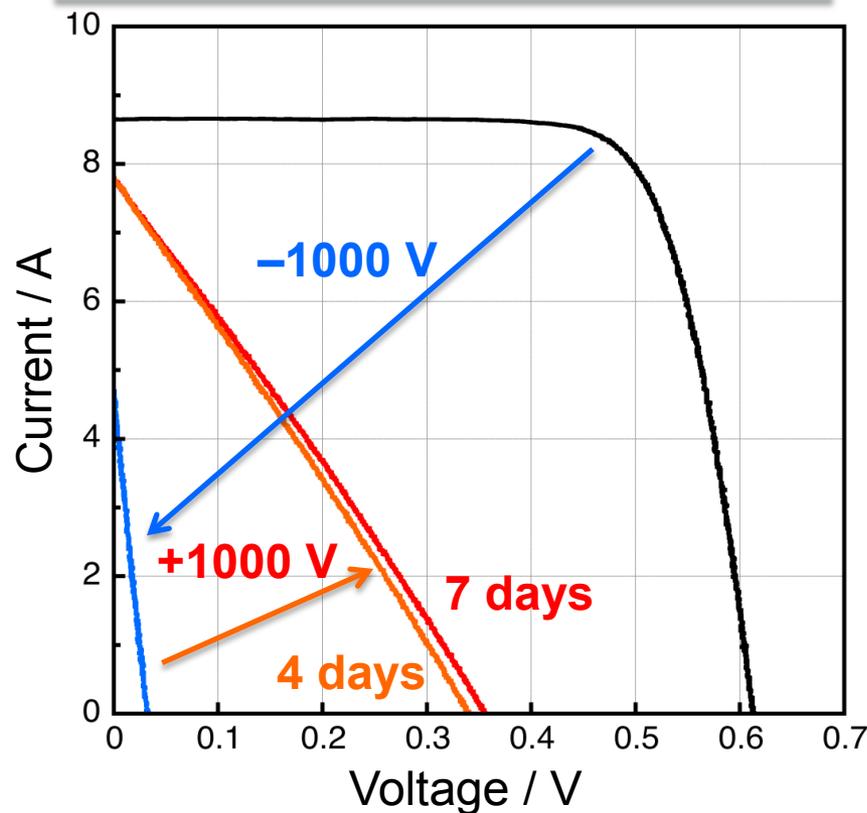
# 逆電圧の効果と劣化モジュールの回復

+1000 V, 85°C, 2 h



逆電圧ではPID劣化なし

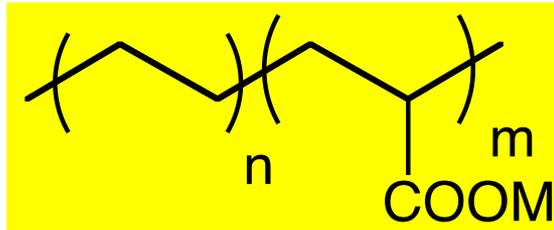
劣化モジュールの逆電圧試験  
(+1000V, 85°C, 7days)



逆電圧により出力の一部が回復

# 機能性ポリマー薄膜 (タマポリ製)

アイオノマー



M: Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>

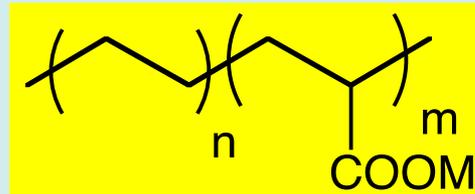
- ・低透湿性 0.6 g/m<sup>2</sup> day (EVA: 15)
- ・耐PID特性 (Koch, PVMRW2012他)
- ・EVAよりも高価 ・高剛性・高硬度



アイオノマー薄膜の導入

タマポリ製ポリマー薄膜

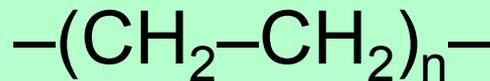
・ アイオノマー系



HM-52 (M = Zn<sup>2+</sup>) 30 μm

NC-5 (M = H<sup>+</sup>) 30 μm

・ ポリエチレン系

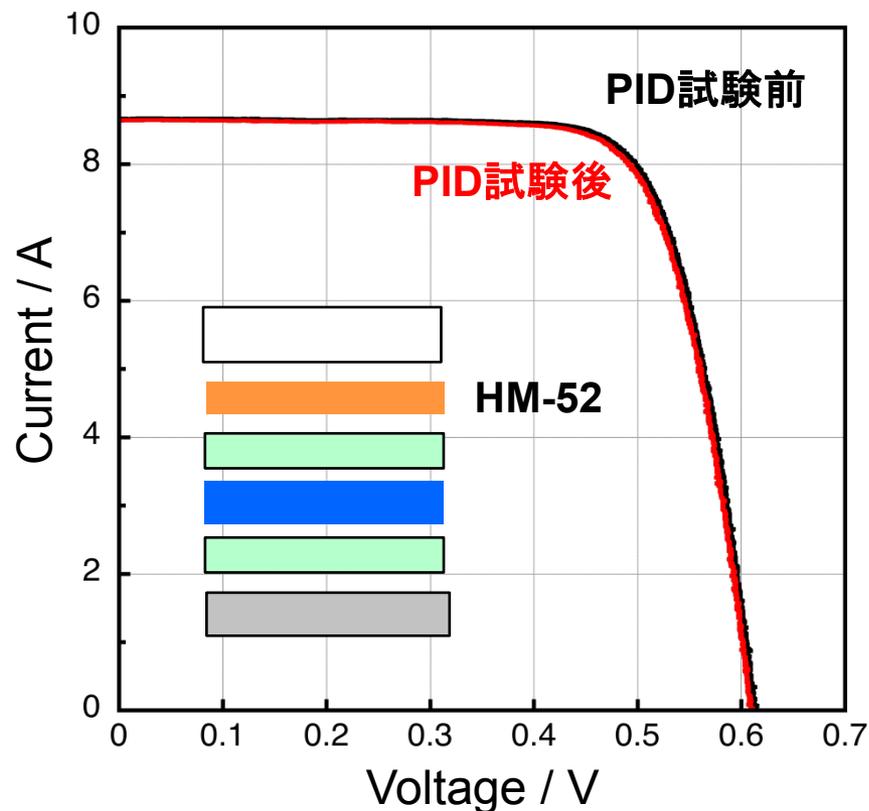
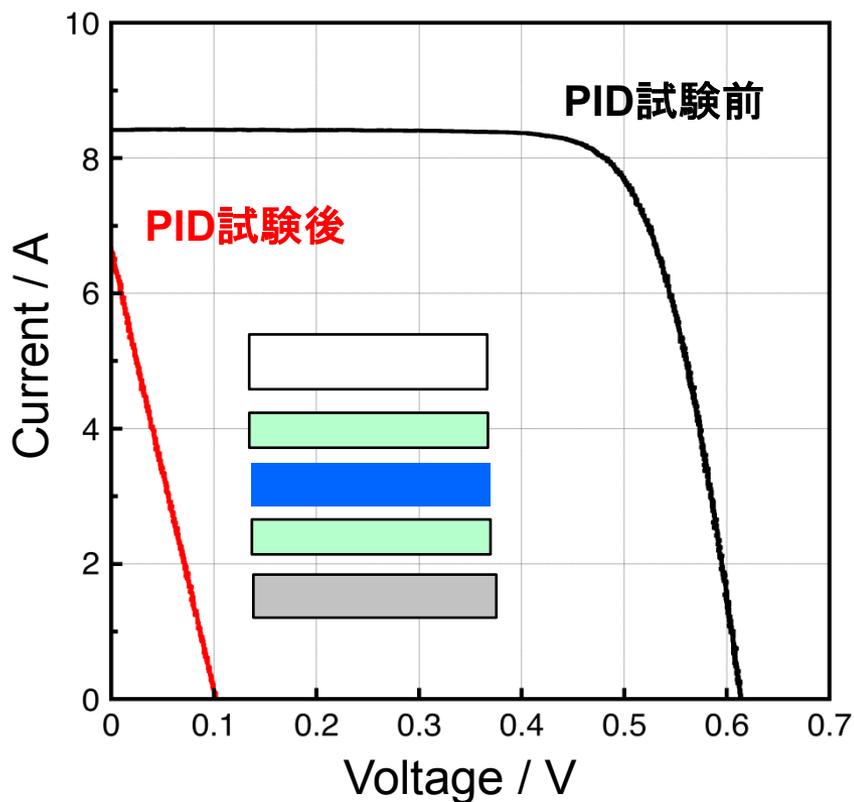


SE-605M 30 μm

# PID試験・アイオノマー導入モジュール

PID試験条件：-1000 V, 85°C, 2 h

HM-52 (30 μm): タマポリ製

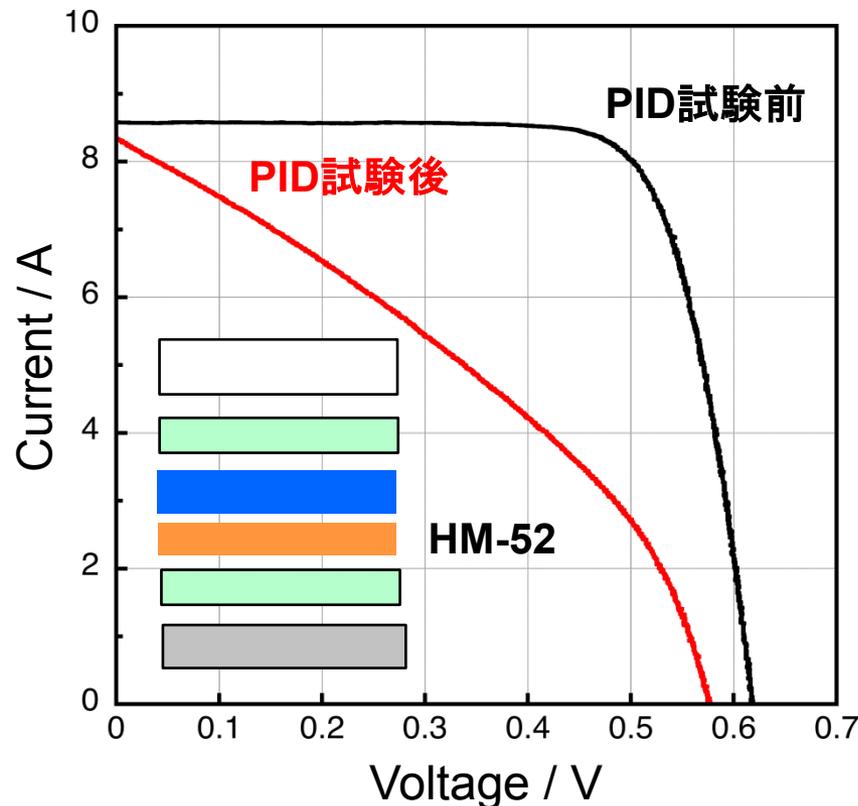
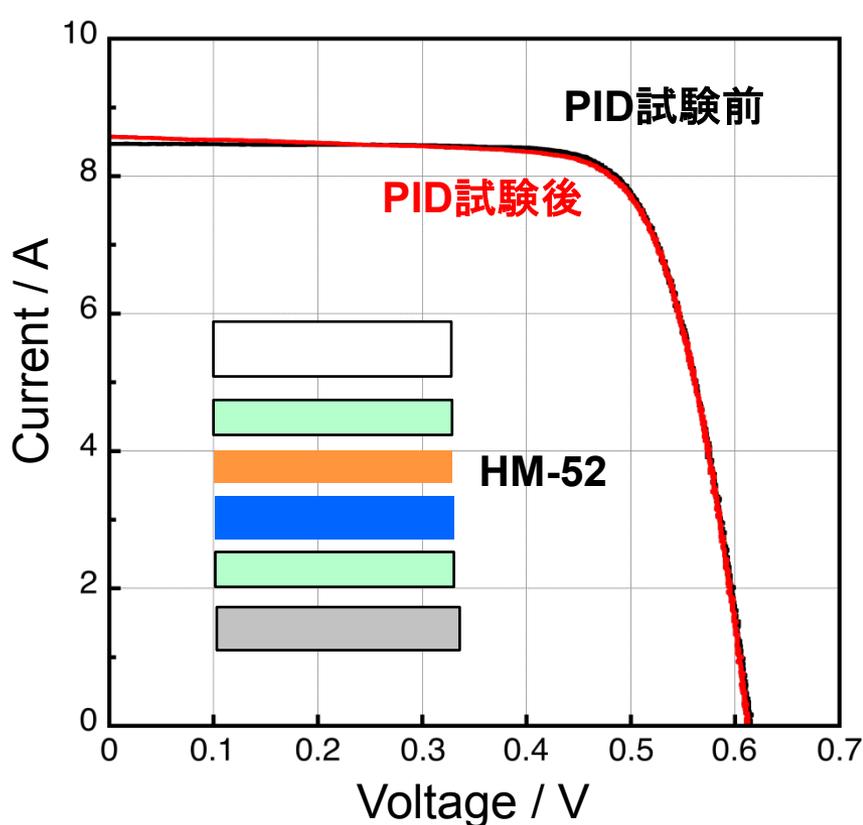


HM-52薄膜一枚の導入でPID劣化せず

# PID試験・アイオノマー導入モジュール

PID試験条件：-1000 V, 85°C, 2 h

HM-52 (30 μm): タマポリ製

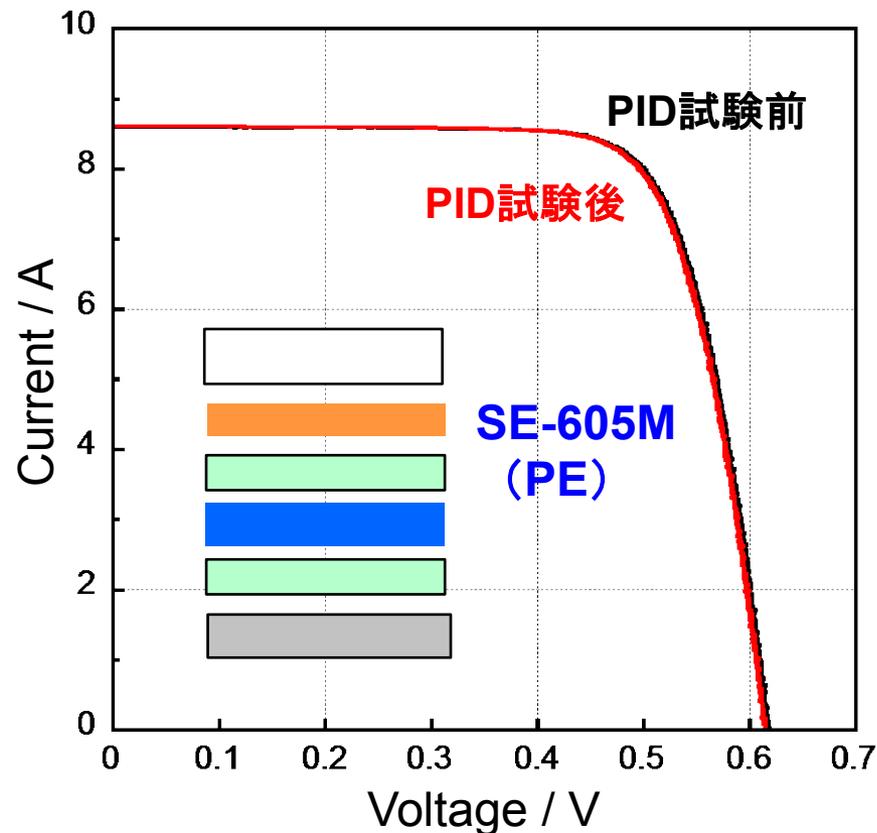
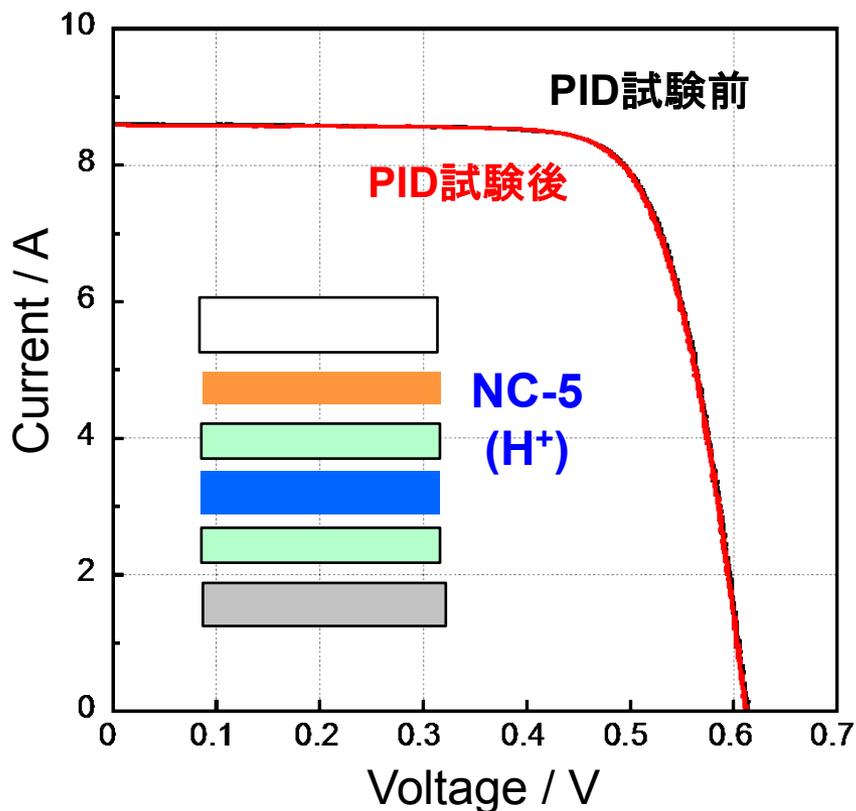


セル下面側導入でも劣化が抑制

→ セル裏面への影響もPID劣化に関係か？

# PID試験・ポリマー薄膜導入モジュール

PID試験条件：-1000 V, 85°C, 2 h



アイオノマーのカチオン種に依存せず、ポリエチレン薄膜でもPIDを抑制

# ポリマーの体積抵抗率とリーク電流値

ポリマー	体積抵抗率 / $\Omega \text{ cm}$	リーク電流 / $\mu\text{A}$
EVA	$2.5 \times 10^{14}$ a	5.9–6.3
アイオノマー	$8.8 \times 10^{16}$ b	0.3–0.9
ポリエチレン	$10^{17}$ c	<0.2

a サンビック・技術資料

b 「太陽電池に用いられるフィルム、樹脂の高機能化とその応用」、技術情報協会、P274

c 「太陽光発電システム構成材料」、工業調査会、P69

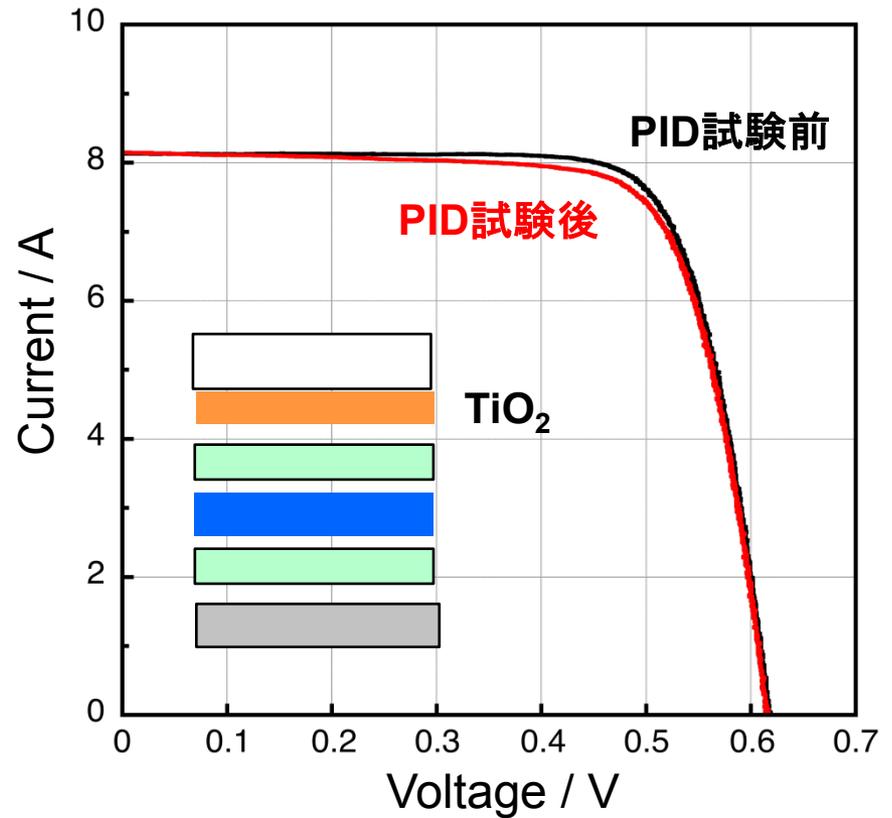
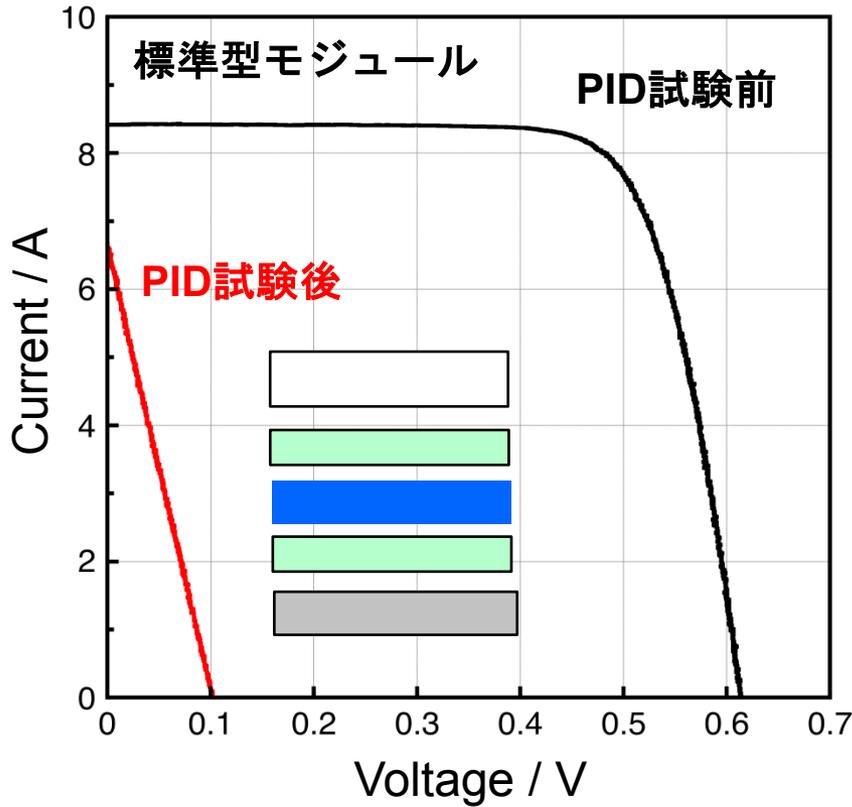
**リーク電流値は体積抵抗率に反比例**

**高体積抵抗率の薄膜導入によりPID抑制が可能**

# TiO<sub>2</sub>系薄膜によるPID抑制

-1000 V, 85°C, 2 h

TiO<sub>2</sub>/glass 50-200 nm, 200°C



TiO<sub>2</sub>系薄膜でもPIDの抑制が可能

# まとめ

- ・PID試験によりc-Si太陽電池モジュールの出力が低下  
→ 高温とマイナス高電圧が重要
- ・ガラス基板から拡散するNaイオン等が主原因の可能性が高い(メカニズムの解明には詳細な検討が必要)
- ・ポリマー薄膜や酸化物薄膜の導入でもPID対策が可能  
(→ 低コストのPID対策技術の可能性)

既に国内PVメーカーは、ほぼ対策済み？