

PVモジュール信頼性評価技術

土井卓也

背景と目的

2030年： 寿命30年超のモジュールが期待されている。

太陽電池モジュール： 性能指標（Pmなど）の劣化量は非常に小さい。
（性能指標の初期値からの低下量で寿命を考える）

試験時間の短縮： ストレスを大きくする加速試験

但し、劣化のモード（メカニズム）が変わっては意味がない。

30年相当の寿命試験：複合加速試験でも数ヶ月必要。

精度良く寿命を評価するためには、多数の試験体が必要

太陽電池モジュール： 寸法も大きい→ 多数の試験体は非現実的。

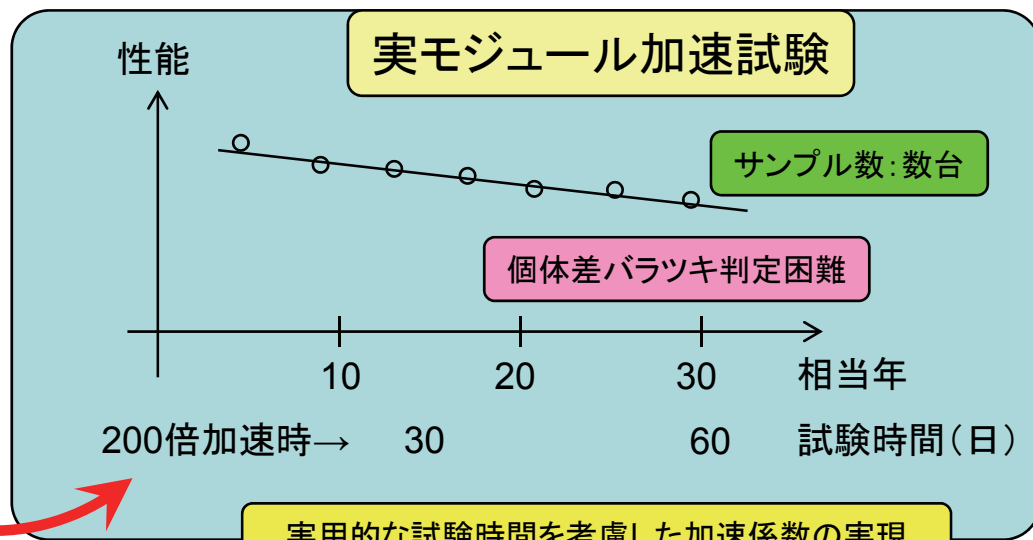
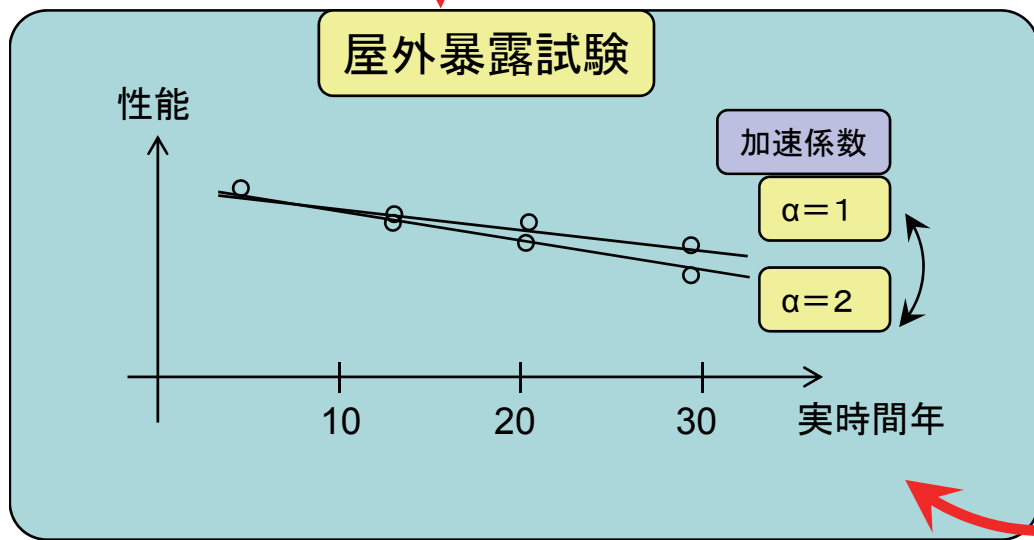
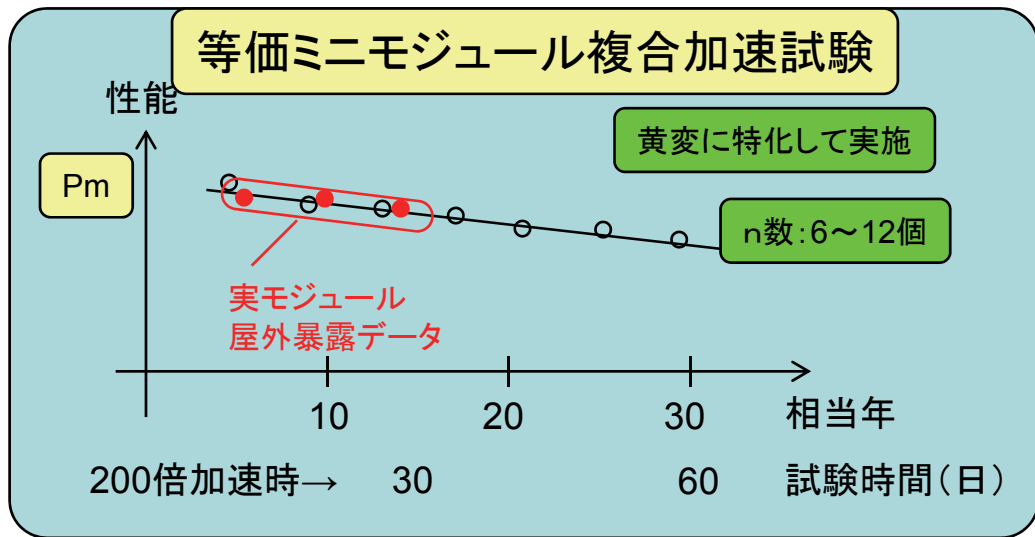
長時間の試験かつ試験体数量（n数）も増やせない：

太陽電池モジュールの特異性を勘案した加速試験方法を確立する。

~~~~~

# 等価性担保の考え方

スケール効果に伴う非等価性は別途押さえておく必要有



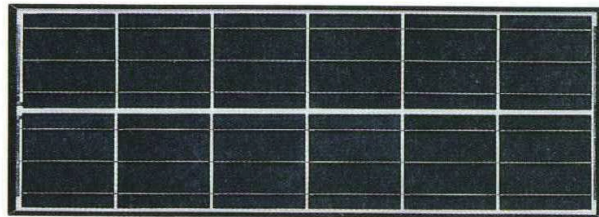
====複合加速====

# 選定したモジュール

複合加速試験に用いるモジュール：多結晶のもの（小型、大型）を選び、主として小型のもので検討を進めていく事とした。

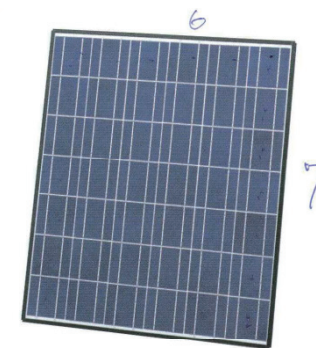
同形式の2種モジュールはJET(宮古島)にて、屋外暴露試験を実施。

モジュールA



| 型 式        |                  |
|------------|------------------|
| 公称最大出力     | 45W              |
| 公称最大出力動作電圧 | 6.0V             |
| 公称最大出力動作電流 | 7.50A            |
| 公称開放電圧     | 7.4V             |
| 公称短絡電流     | 8.28A            |
| 外形寸法(mm)   | W972×L345×H8(20) |
| 質 量        | 3.7kg            |

モジュールB

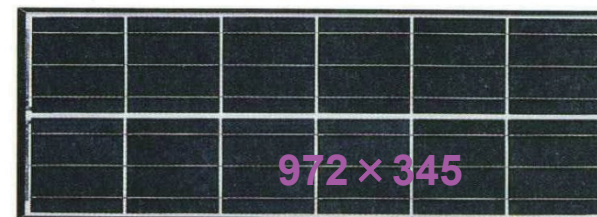


|               |         |               |
|---------------|---------|---------------|
| 形 名           |         |               |
| セル種類          |         |               |
| 公称最大出力        |         | 153W          |
| 公称最大出力動作電圧    | 20.30V  |               |
| 公称最大出力動作電流    | 7.54A   |               |
| 公称開放電圧        |         | 25.61V        |
| 公称短絡電流        | 8.21A   |               |
| 外形寸法(幅×奥行×高さ) |         | 1165×990×46mm |
| 質 量           | 14.50kg |               |
| 外形図           |         | ①             |

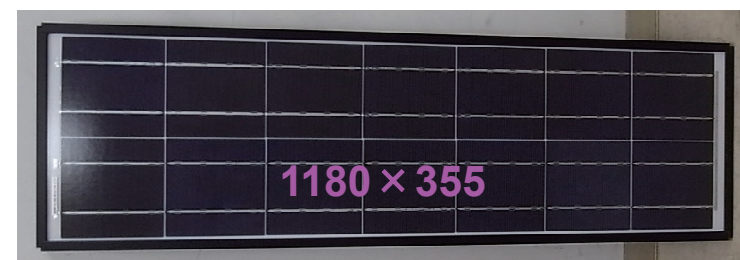
# 複合加速試験装置と試験モジュール



モジュールA



モジュールB



加速劣化試験：光照射・高温連続，高温時光照射・温度サイクル試験を実施

A社製モジュールA（多結晶156mm角セル12枚，サイズ：972H×345W）

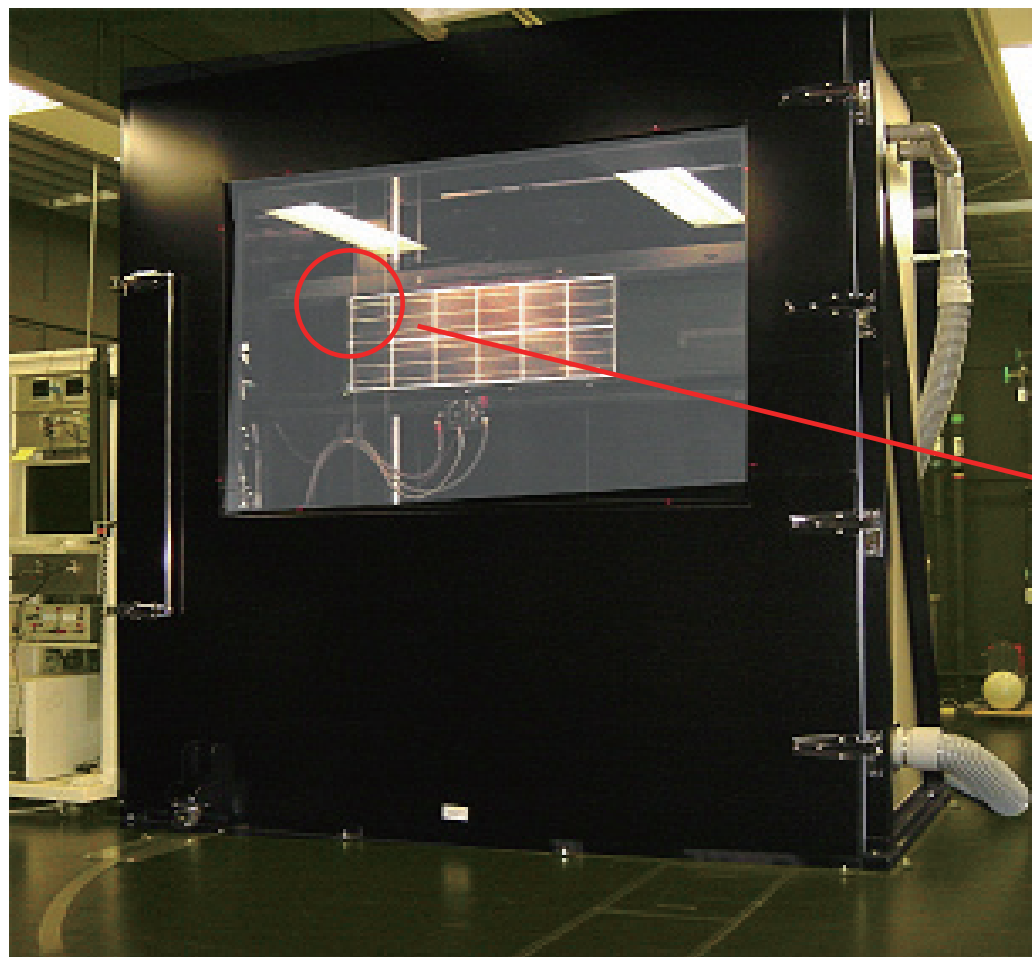
B社製モジュールB（多結晶156mm角セル14枚，サイズ：1180H×355W）

# 複合劣化試験装置の仕様

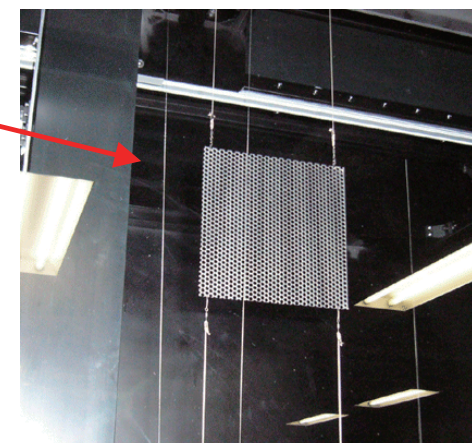
| 項目                  | 仕様・性能         |
|---------------------|---------------|
| 試験温度範囲(光照射なし)       | -40~+90℃      |
| 試験温度範囲(光照射3SUN以下)   | +50~+90℃      |
| 試験槽内湿度(光照射なし, 室温以上) | 最大RH 85±5%    |
| 最大光照射強度             | 3sun          |
| 光照射強度の時間むら          | 10%以下         |
| 光照射強度の場所むら          | ±15%以内        |
| 最大試料寸法              | 1218H×445W 3枚 |
| 注水機能                | あり            |
| サイクル試験              | JIS C8917 対応  |



# モジュール内セルのIscを分離測定



恒温槽内に減光板XY移動機構を装備

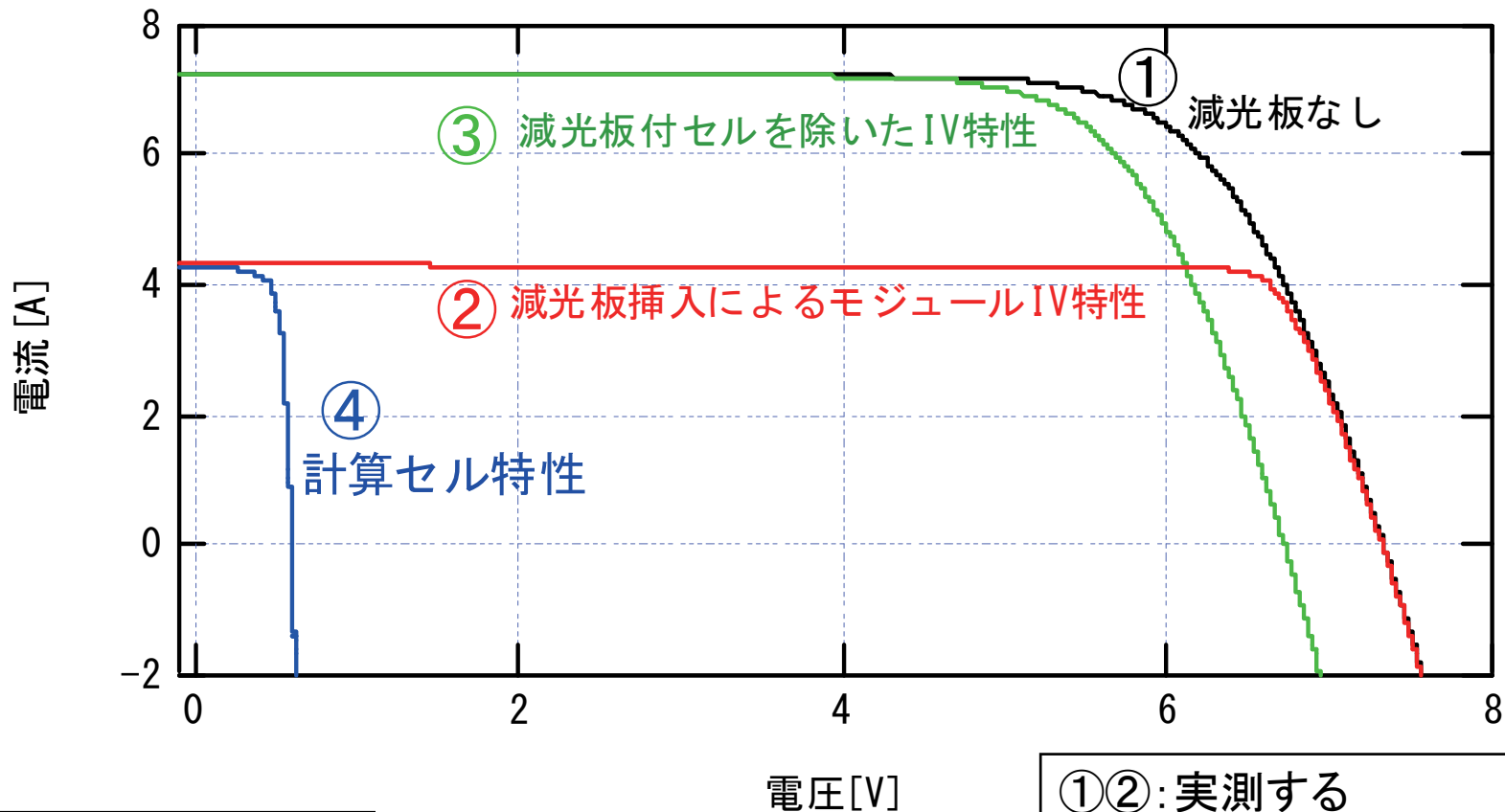




# モジュール内セル特性解析

## (セル毎減光式IV特性)

現行モジュール(多結晶150□×12枚)計算例



減光板透過率 0.5736

- ①②: 実測する
- ③: ①を(11/12)倍する
- ④: ②と③の差から計算

# 劣化因子, 係数の算出

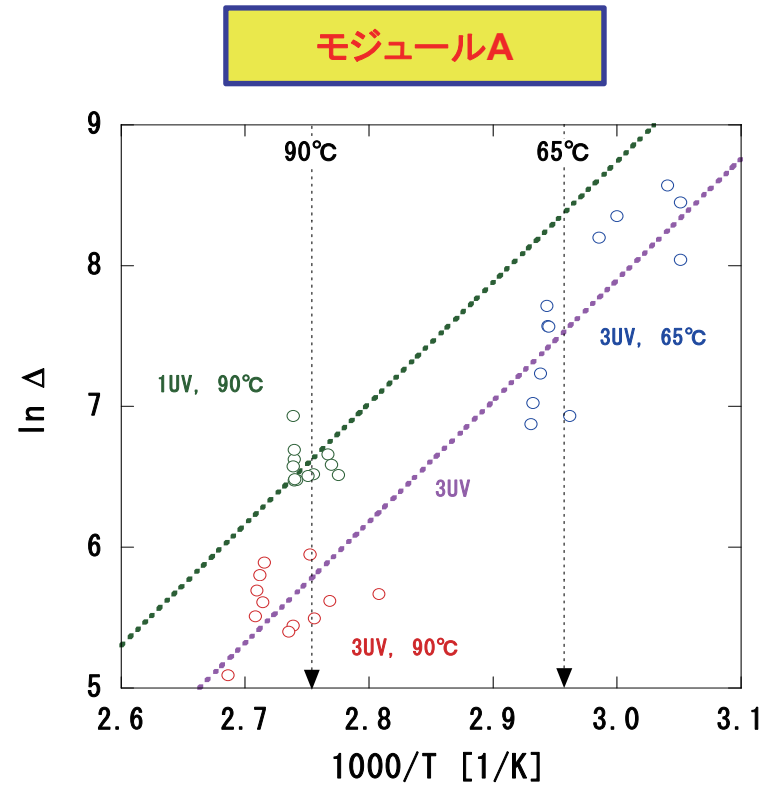
温度: アレニウス則  
照度: n乗則



各劣化因子を算出



モジュールの種類  
(メーカー)により, 各劣化因子の値には  
大きな差が見られた。

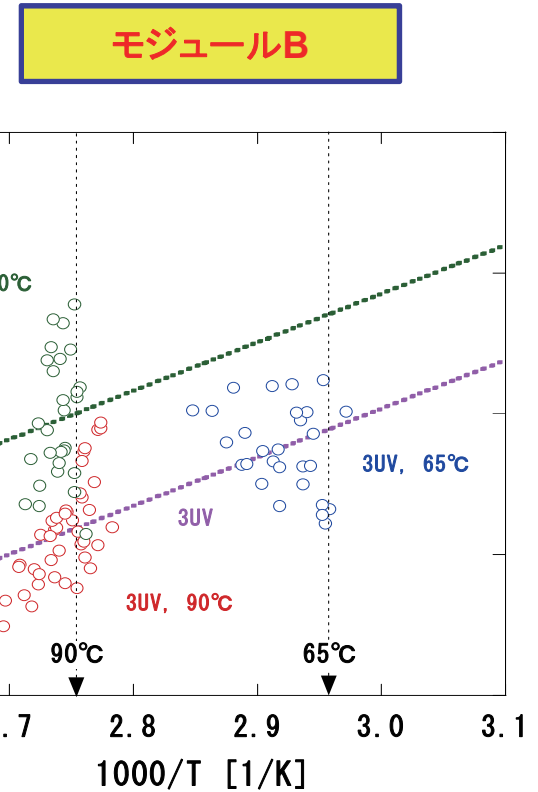


活性化エネルギー

$$E_a = 0.75 \pm 0.05 \text{ eV}$$

照度に関する因子

$$n = 0.75 \pm 0.15$$

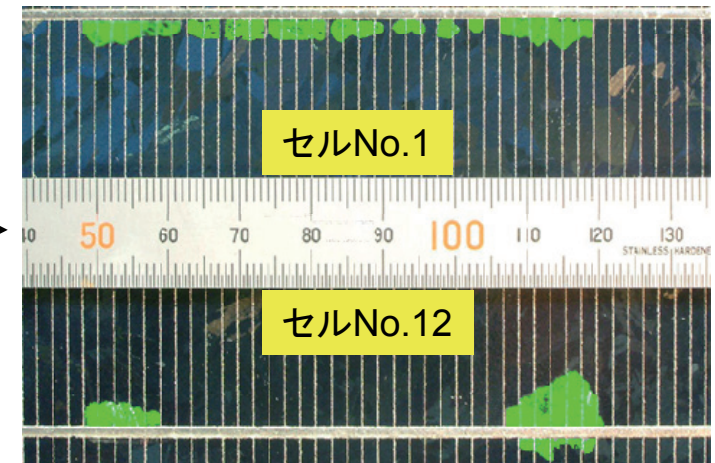
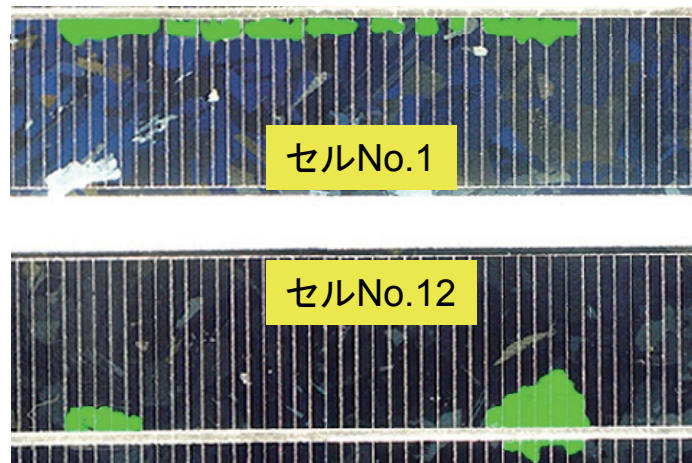
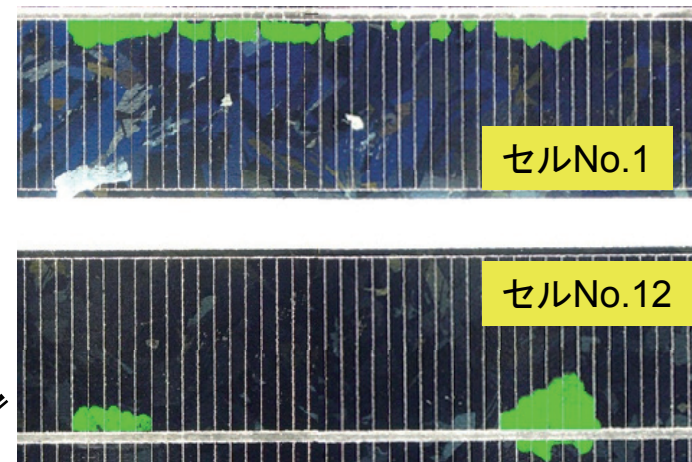
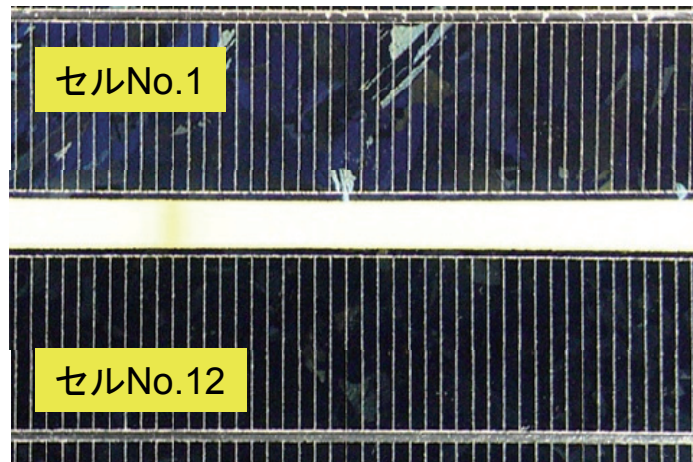
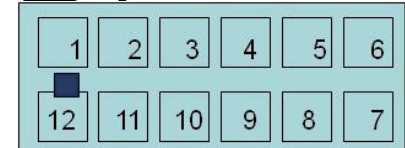


$$E_a = 0.30 \pm 0.05 \text{ eV}$$

$$n = 0.75 \pm 0.15$$

# 光・温度サイクル試験(デラミ)

モジュールA-35, セルNo.:1と12 (端子:Open)



条件: 3SUN & 設定温度37°C(セル75°C) ~ 0SUN & 設定温度-40°C、サイクル試験

# 追加試験モジュールの仕様

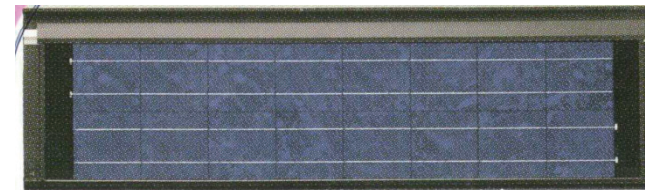
試験: 高温時光照射温度サイクル試験

モジュールC

07購入

$P_m=38W$ ,  $V_{pm}=7.74V$ ,  $I_{pm}=4.91A$ ,  
 $V_{oc}=9.70V$ ,  $I_{sc}=5.40A$

1209 × 330 × 34.9



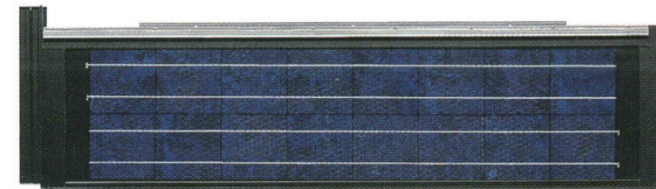
試験結果: 裏面ふくらみが発生

モジュールD

09購入

$P_m=38W$ ,  $V_{pm}=7.74V$ ,  $I_{pm}=4.91A$ ,  
 $V_{oc}=9.70V$ ,  $I_{sc}=5.40A$

1228 × 280 × 29.7



試験結果: 何も起こらず

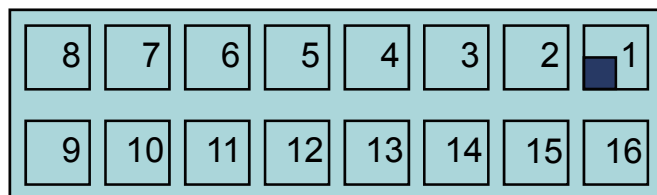


# 裏面ふくらみ

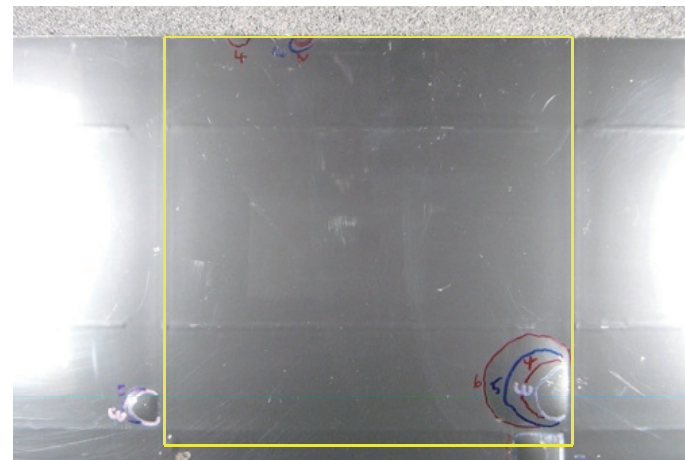
## モジュールC

| 試験名                          | 全累計時間 | ライン番号 |
|------------------------------|-------|-------|
| 3SUN90°C                     | 230時間 | 1     |
| 3SUN75°C、<br>-20°Cサイクル<br>試験 | 280時間 | 2     |
|                              | 330時間 | 3     |
| 3SUN75°C、<br>-40°Cサイクル<br>試験 | 380時間 | 4     |
|                              | 480時間 | 5     |
|                              | 580時間 | 6     |

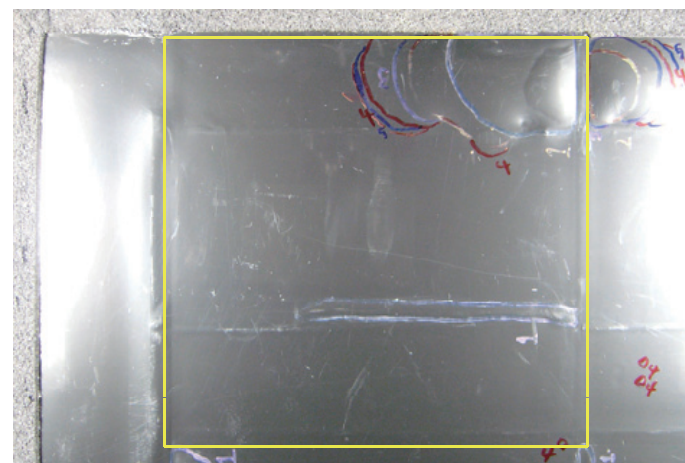
セル番号と端子箱の位置関係：  
モジュール裏面から見て図で端  
子箱の位置を■で示す。



写真は一例：他にも 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12,  
13, 14, 16番セルに裏面ふくらみあり



第4番セル

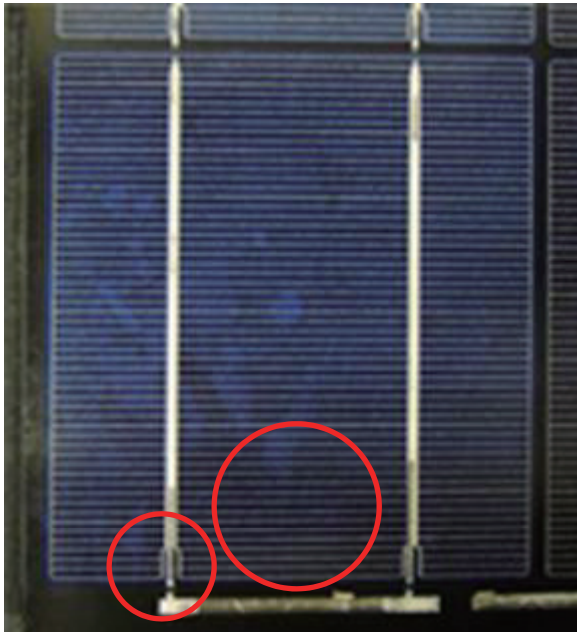
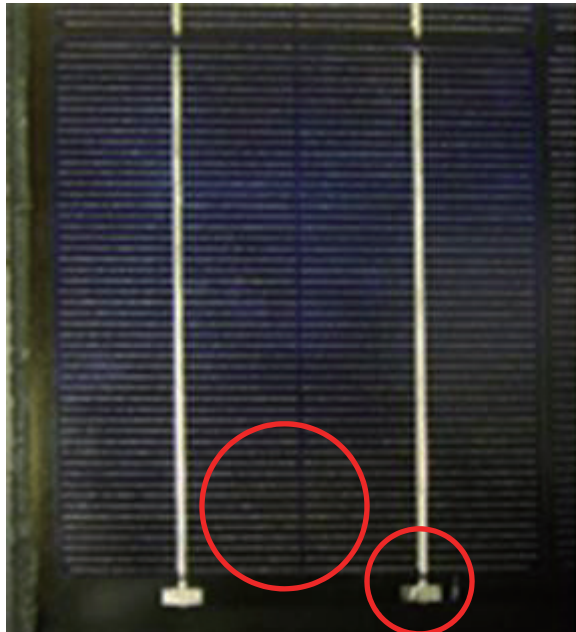


第8番セル

# モジュールC, Dの差異

モジュールC 07購入

モジュールD 09購入



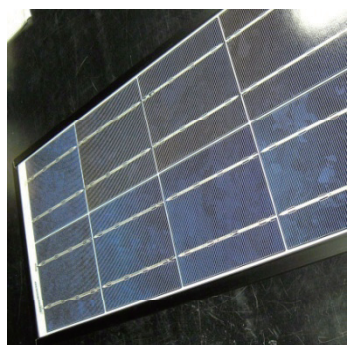
フィンガー電極: 2分割 → 横一本  
 J-BOX: 小さい → 大きい



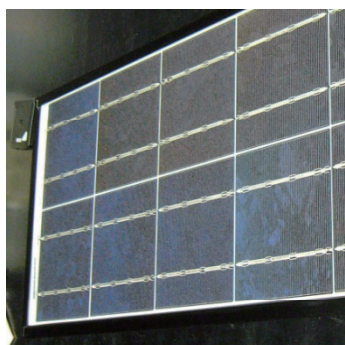
# 黄変の数値化

3UV, 90°C連続照射試験

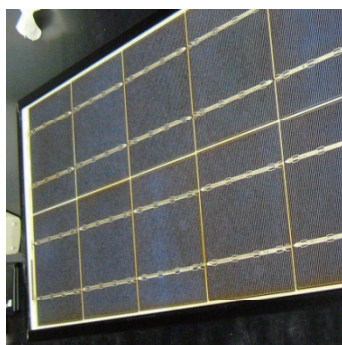
黄変: X(特)-No.12, 16, 17



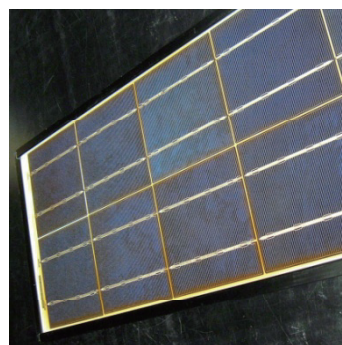
0 hr



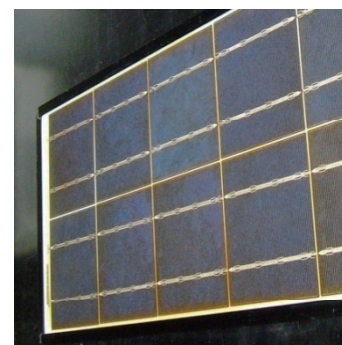
600 hrs



900 hrs



1200 hrs



1400 hrs

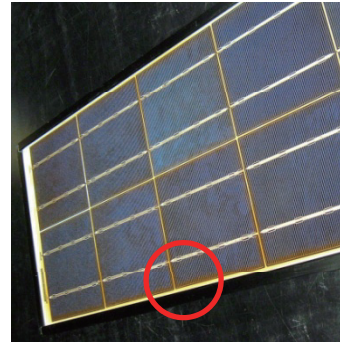


味噌用測色計 カラーリーダー CR-13

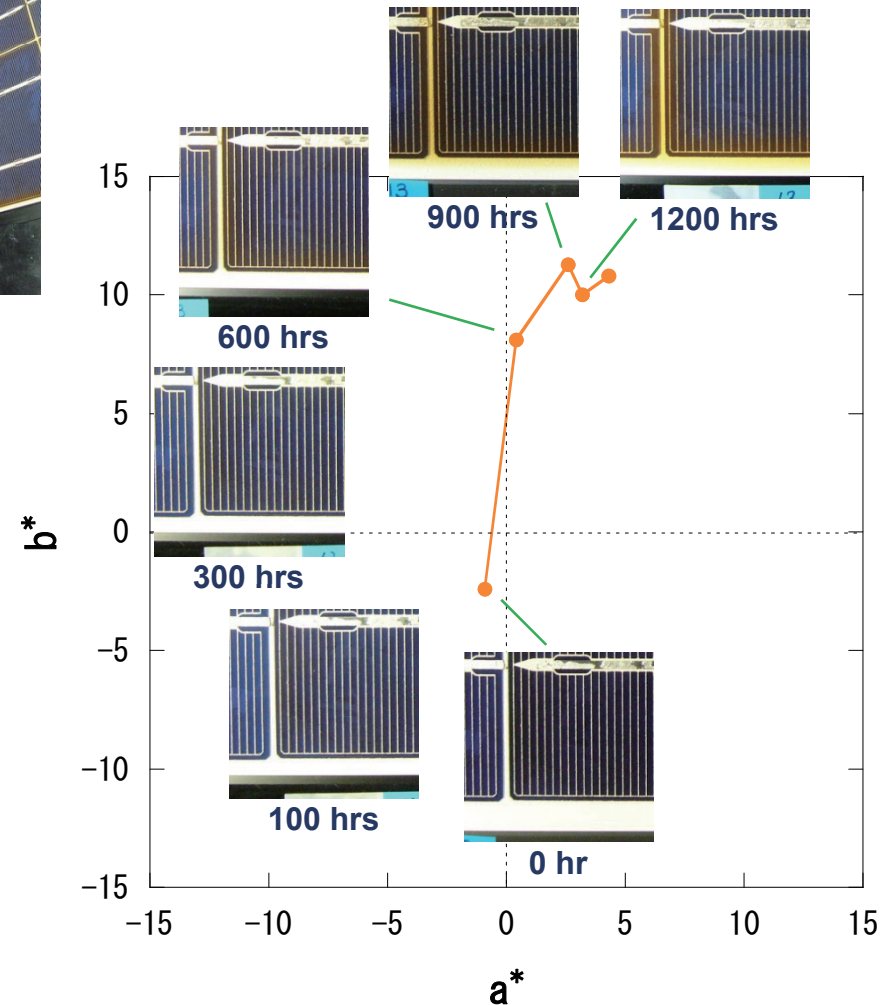
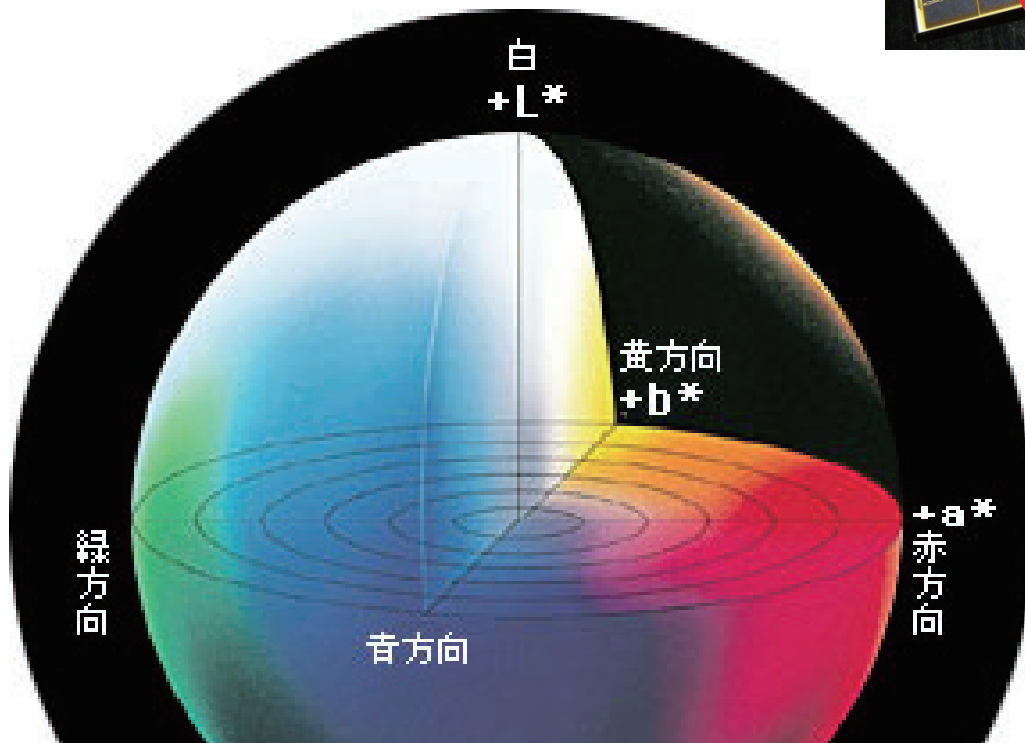


# 黄変度の測色計による観察

X(特)-No.12 (#12 - #13セル間)



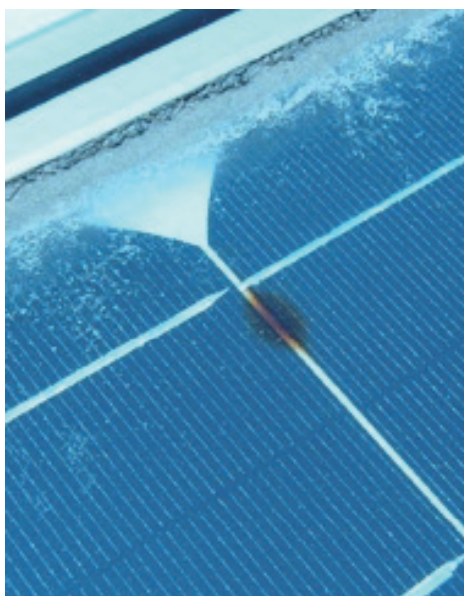
L\*a\*b\*表色系色空間立体イメージ



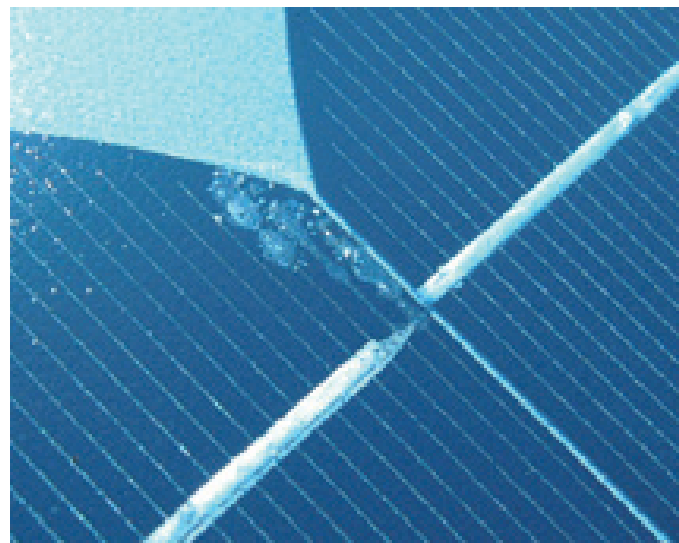
<http://konicaminolta.jp/instruments/knowledge/color/part1/07.html>

===要素技術===

# 不具合事例



エッジのこげ

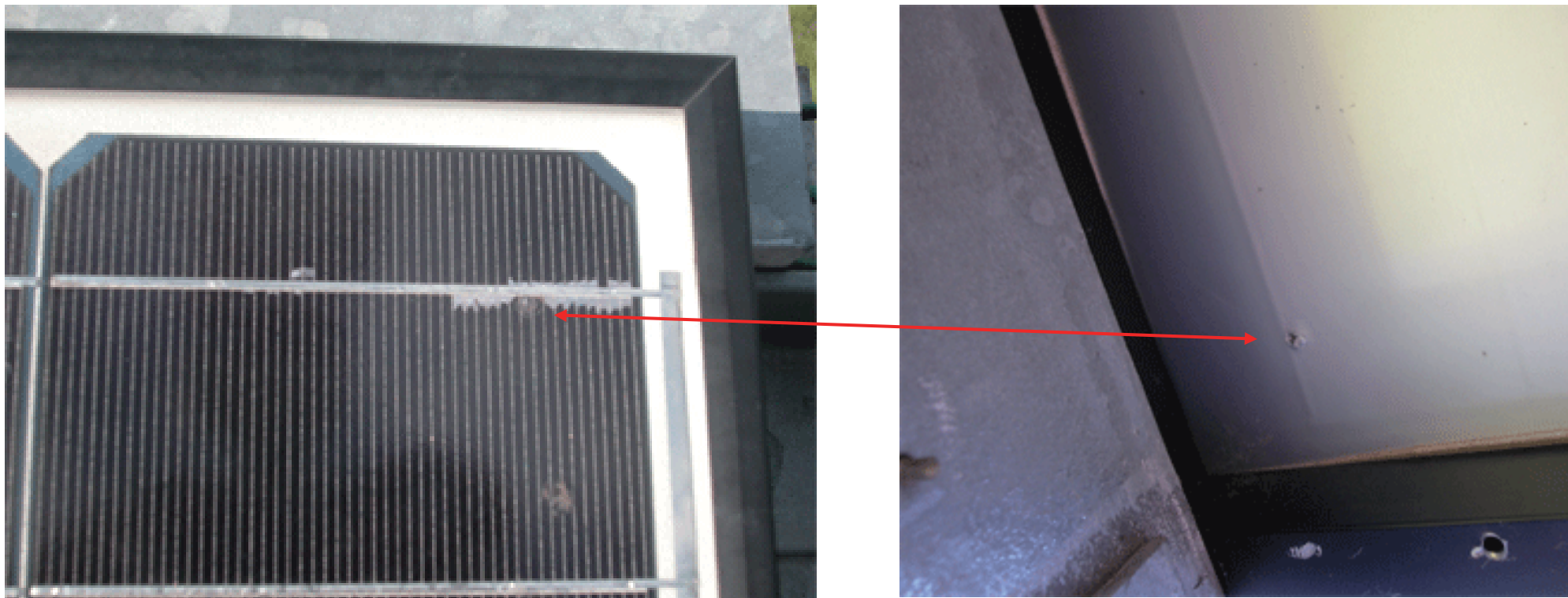


EVA気泡



バックシートこげ

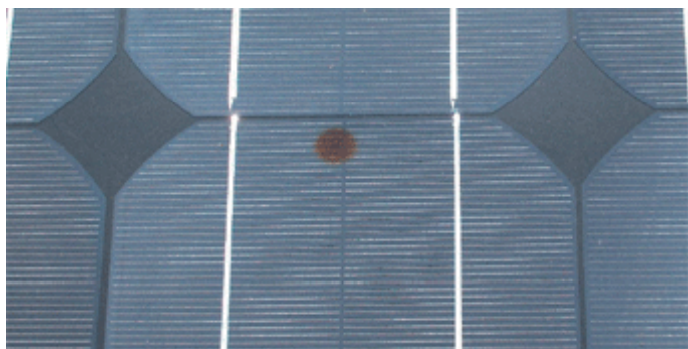
# モジュール不具合事例2



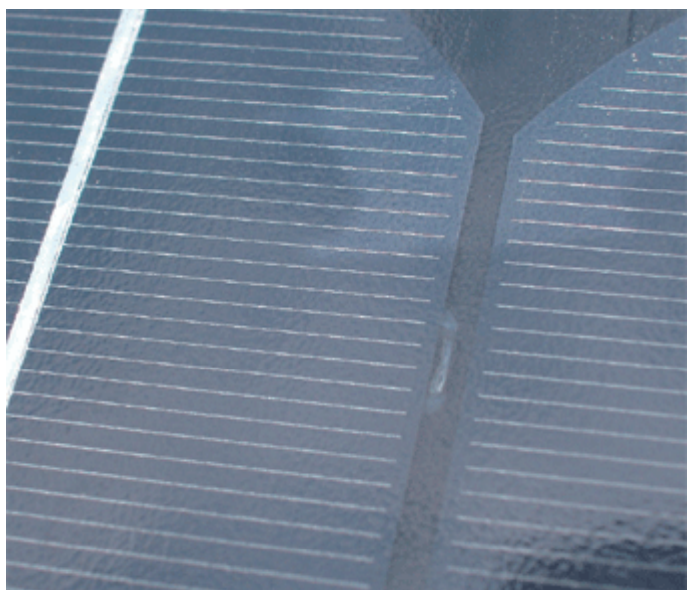
剥離(白濁)と裏面のキズ



# モジュール不具合事例3



変色



気泡



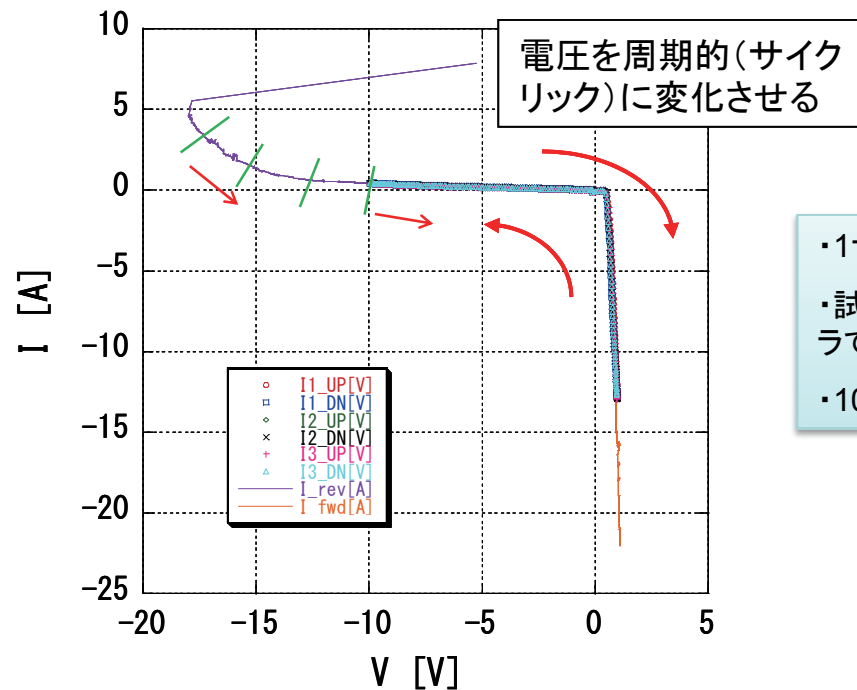
セルエッジのこげ



ガラス割れ

# サイクリック試験

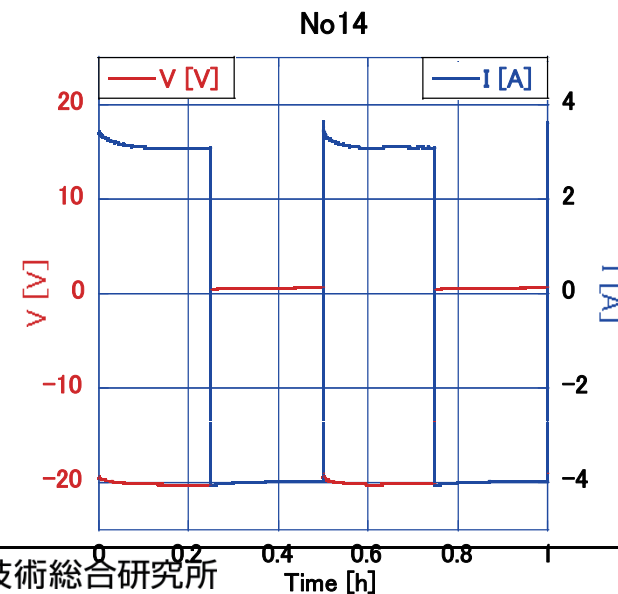
想定している加速劣化試験方法



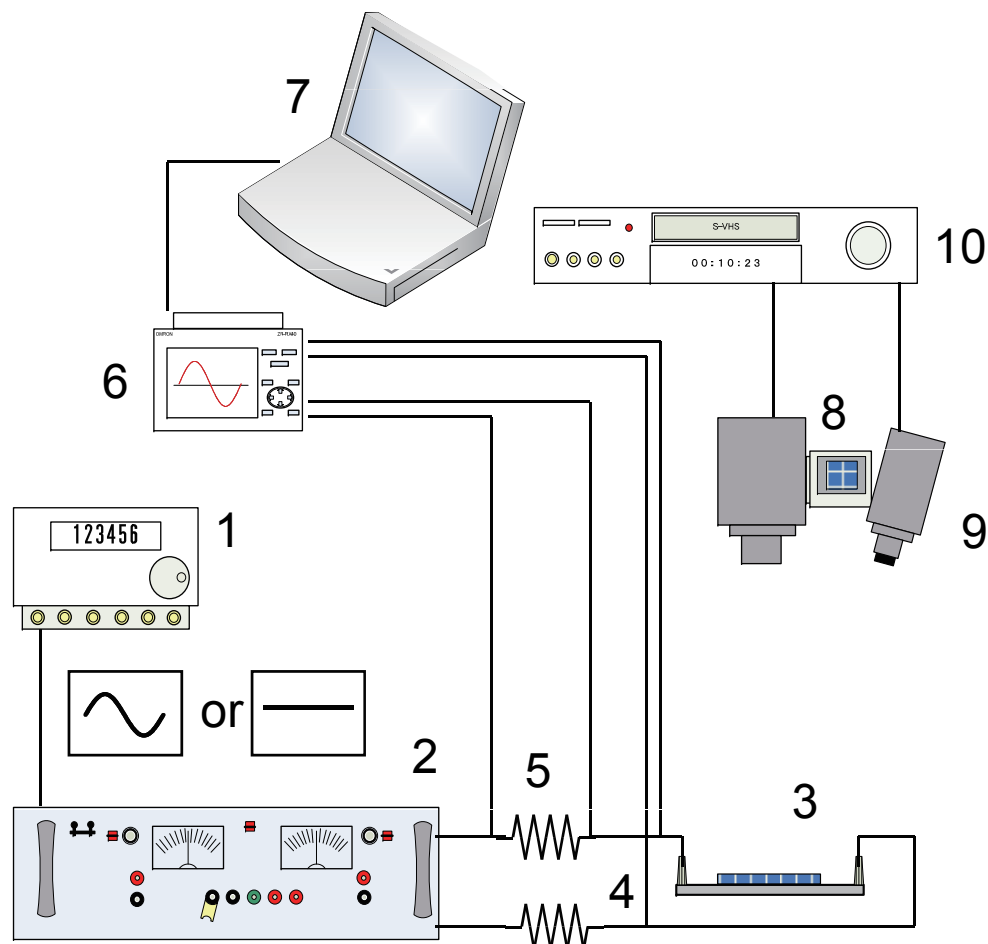
ストレス強度をどこまで上げるか？



- ・1サイクル30分の順バイアス、逆バイアス方形波を単セルモジュールに印加
- ・試験中: データロガーで電圧値 & 電流値を記録。可視カメラで外観変化、サーモカメラで温度変化を記録。
- ・100時間の試験終了毎にSSによるI-V特性測定、外観変化観察。



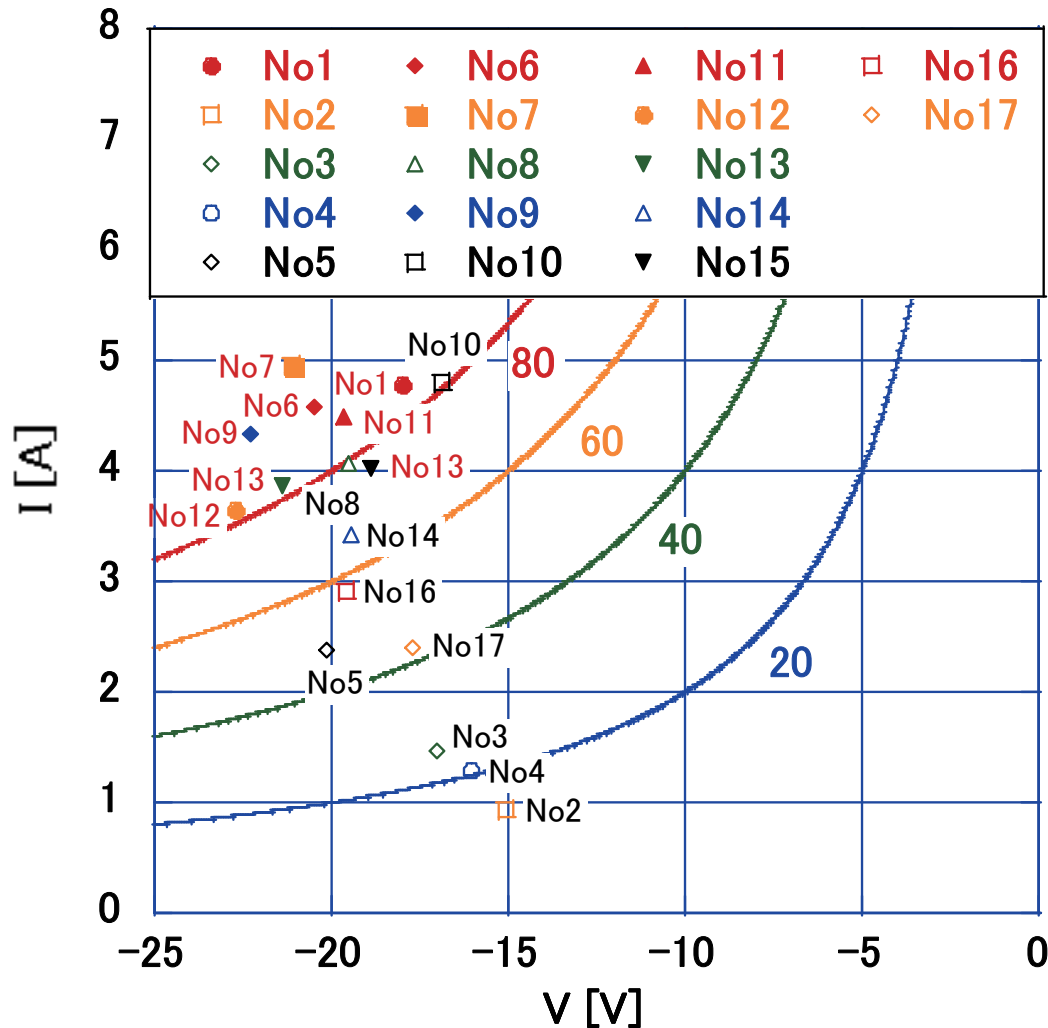
# 実験装置



- 1: DC or wave voltage source
- 2: Bipolar power supply
- 3: PV cell and sample stage
- 4: Damping resistance
- 5: Shunt resistance
- 6: Data logger
- 7: PC
- 8: IR thermographic camera
- 9: Visible Ray camera
- 10: HDD recorder



# 負荷条件と降伏破壊の関係

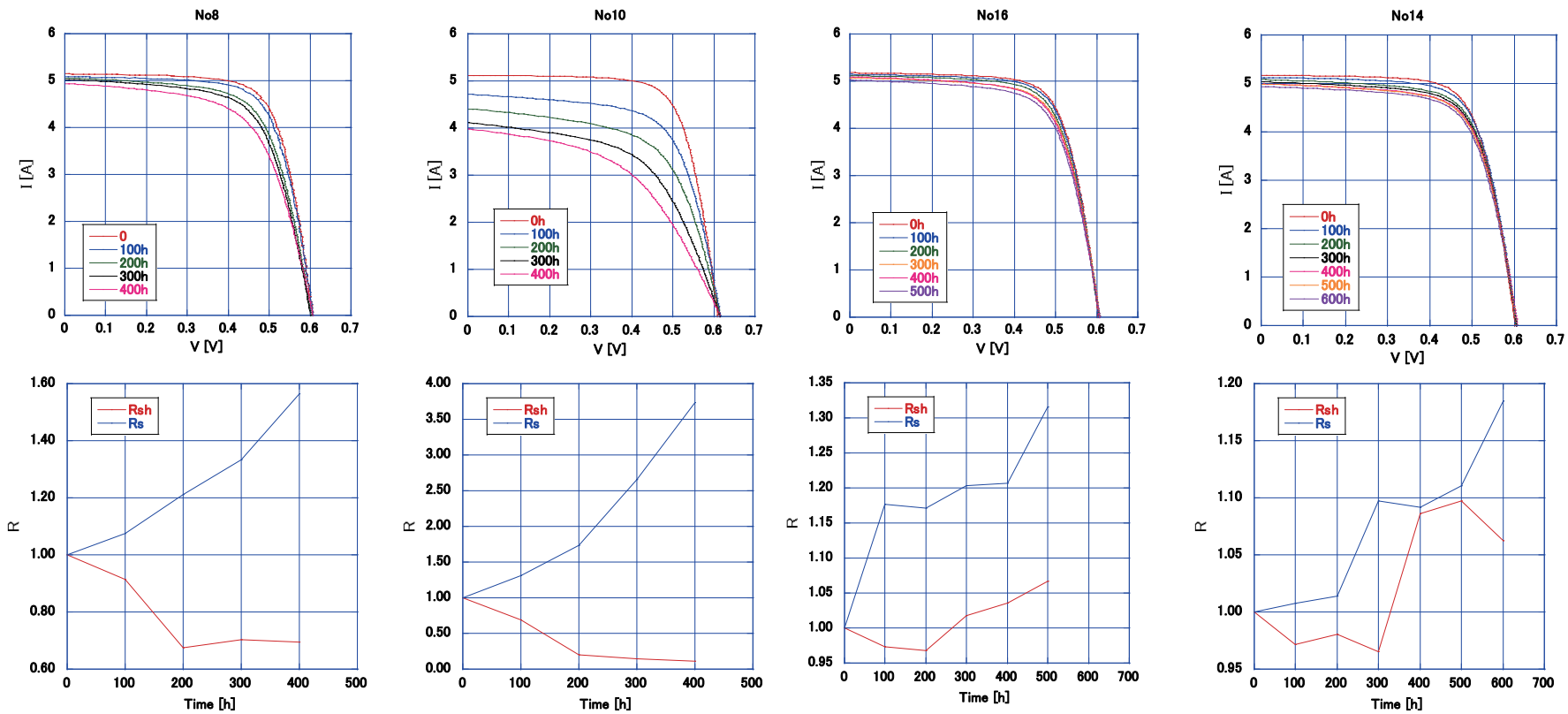


- 等高線は負荷条件 : S [w]
- 塗りつぶし記号 : 試験中に破壊
- 白抜き記号 : 破壊せず
- 順バイアス側は0.6Vに固定
- 逆バイアス側は負荷S[W]をパラメータ



条件を振った結果、  
S=80W近傍に閾値

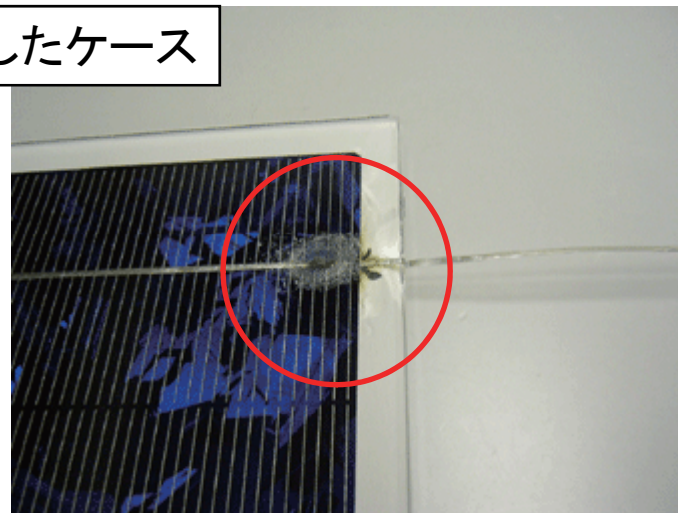
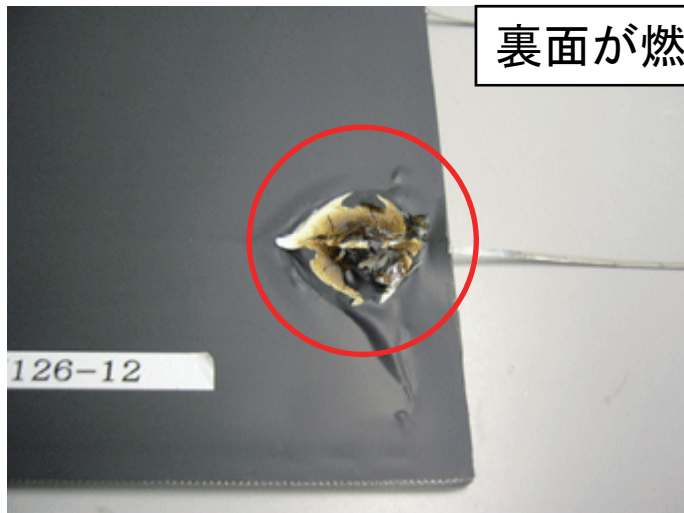
# 劣化要因



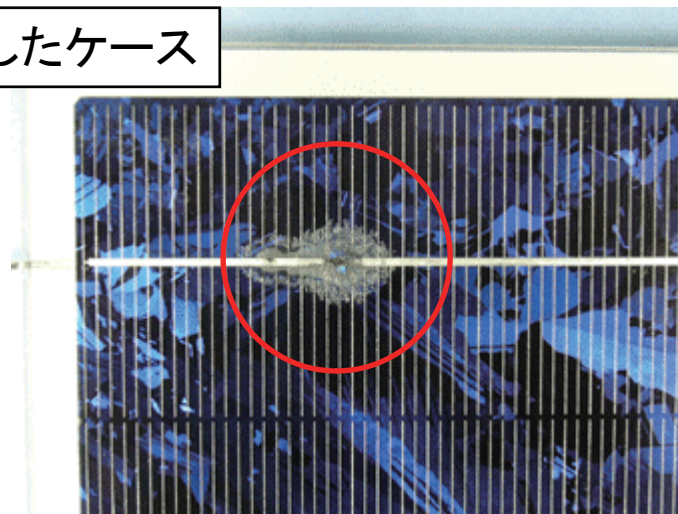
**直列抵抗増加**に有効な加速試験方法と示唆される結果が得られた。

# 降伏破壊の例

裏面が燃焼したケース



裏面が膨張したケース



不具合事例との類似性

# まとめ

## 複合加速試験

- (1) 照度に関する因子の係数はモジュールの型式による違いは見られなかったが、温度に関する因子には、大きな違いが見られた。
- (2) 追加試験モジュールの結果から、セル・デザイン(フィンガー電極)やジャンクション・ボックスなども不具合症状に影響することが示唆された。

## 要素技術

- (1) 逆バイアス破壊試験の結果、降伏破壊後に見られたコゲは屋外運転中のモジュールでも見られ、あらたな加速試験として利用可能と考えられる。
- (2) 逆バイアスサイクリック試験の結果、約80W付近に短時間で降伏破壊するか否かの閾値があることが分かった。また、本試験方法は、セルーインターコネクタ間へストレスを与える劣化試験と考えられ、劣化要因は直列抵抗の増大が主であった。

## 今後の展開

逆バイアスサイクリック試験を市販サイズモジュールへの適用を検討する。