

市販モジュールのPID試験と劣化 モジュールの解析

土井卓也¹⁾, 増田幸治²⁾, 加藤宏²⁾, 内田泰徳²⁾,
芝田克明²⁾, 河合信次³⁾, 福元豊³⁾, 玉井富士夫³⁾,
増田淳¹⁾, 近藤道雄¹⁾

1)産業技術総合研究所

2)電気安全環境研究所

3)佐賀県工業技術センター

本報告は、経済産業省から補助(テーマ:太陽光発電における信頼性・品質試験方法に関する国際標準化)を受け、太陽光発電技術研究組合(PVTEC)、電気安全環境研究所(JET)、佐賀県が共同で実施し、得られた成果の一部である。(独)産業技術総合研究所はPVTECの組合員としてプロジェクトに参加した。

PID試験は(株)ケミトックスに依頼した。

本解析におけるI-V測定, EL撮像, PID逆電圧印加試験には, 金永模氏, 井上昌尚氏はじめ連携研究体のメンバーにご協力頂いた。

関係各位へ感謝する。

PID: Potential induced degradation (システム電圧起因の劣化現象)

発電事業目的のメガソーラーの拡大に伴い、高いシステム電圧(1,000V)を用いている欧州で顕在化

PIDが起これると、短期間に大きな出力低下を引き起こすため、ユーザーにとっては大きなダメージとなる[1]

PID試験に関する基礎データを取得し、PIDのメカニズム理解とその防止のための知見を見いだす。

[1] S. Pingel *et al.*, "Potential induced degradation of solar cells and panels", 35th IEEE PVSC (2010–6), 2817–2822, Honolulu, Hawaii.

試験方法：水張り法（PI Berlin, 欧州共同試験方式）[2]

- 空調により25°Cとした室内に、モジュール受光面を水平・上向きに設置し、受光面に水を張り、蒸散防止の樹脂フィルムで覆う。
- 印加電圧：システム電圧（モジュール銘板値）、フレームに対して、発電回路がマイナスとなるように印加。
- 試験時間：168時間（7日間）
- 合否判定：出力低下5%以内を合格
- 試験後I-V測定：4時間以内

試験モジュール：A, B, C, E, F, Gの6種, 各3台
（Fのみ単結晶Si, ほかは多結晶Si）

[2] S. Koch *et al.*, “Polarization effects and tests for crystalline silicon cells”, 26th EUPVSEC and Exhibition, (2011–9), 1726–1731, Hamburg, Germany.

特性が大きく劣化しているモジュールはシャント抵抗が大幅に劣化していると思われるため、劣化モジュールの解析は以下の手順で行うこととした。

[STEP 1] PV特性値の劣化状況の把握

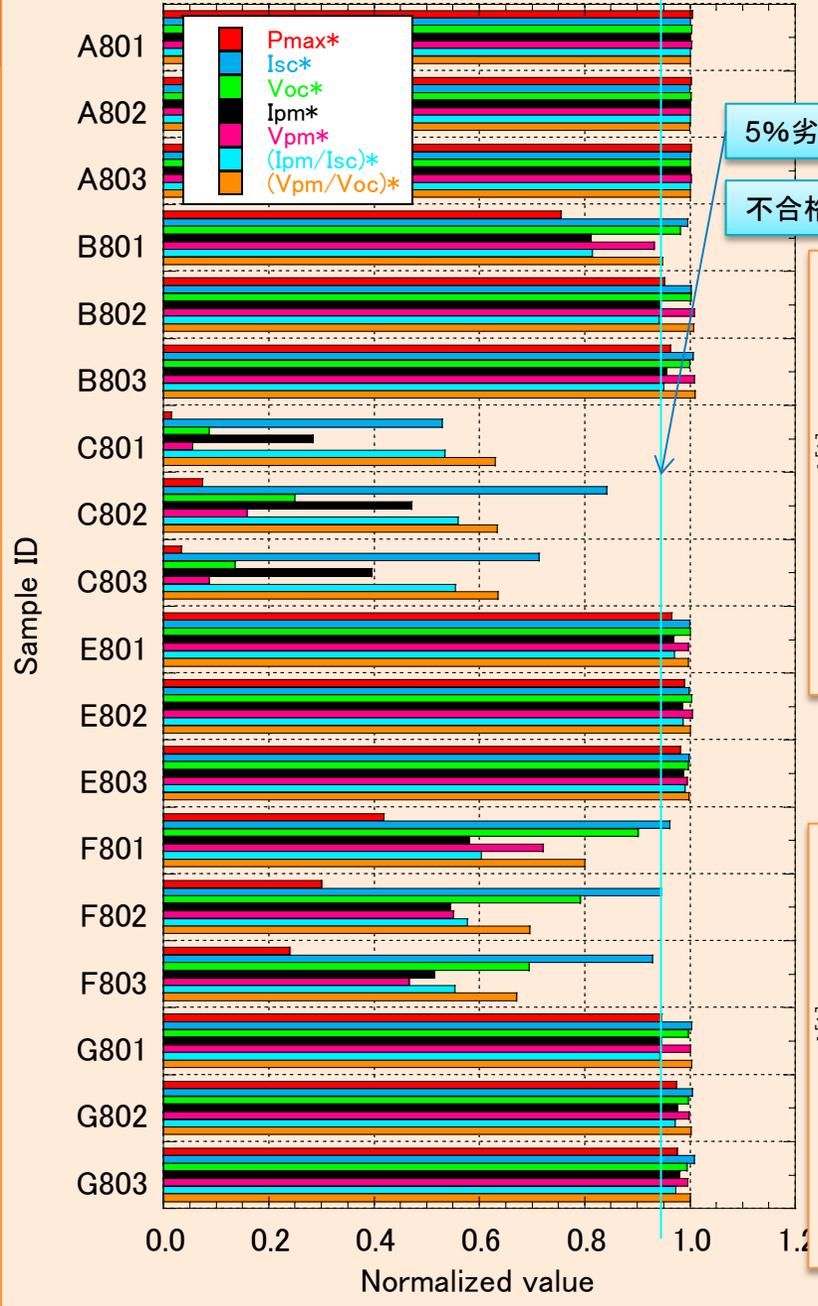
[STEP 2] バイパスダイオード(以下, BPD)の健全性把握

[STEP 3] ジャンクションボックス内のポッティング除去,
BPD除去, ダークI-V測定

[STEP 4] EL撮像(試験直後との比較), 逆電圧印加(回復・改善効果有無確認)

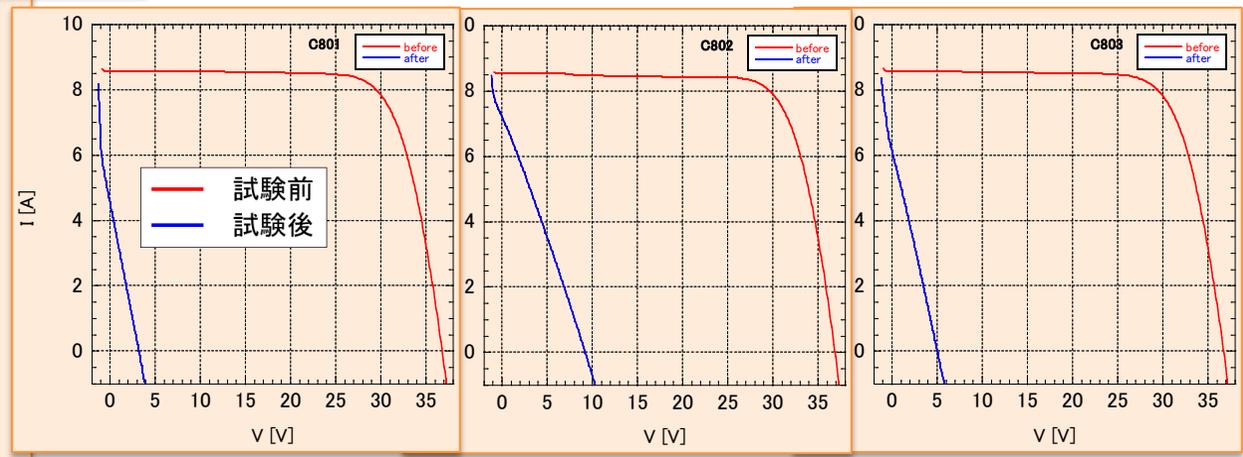
[STEP 5] 破壊分析とPID劣化モードの因子確認

[STEP 1] PV特性値の劣化状況の把握

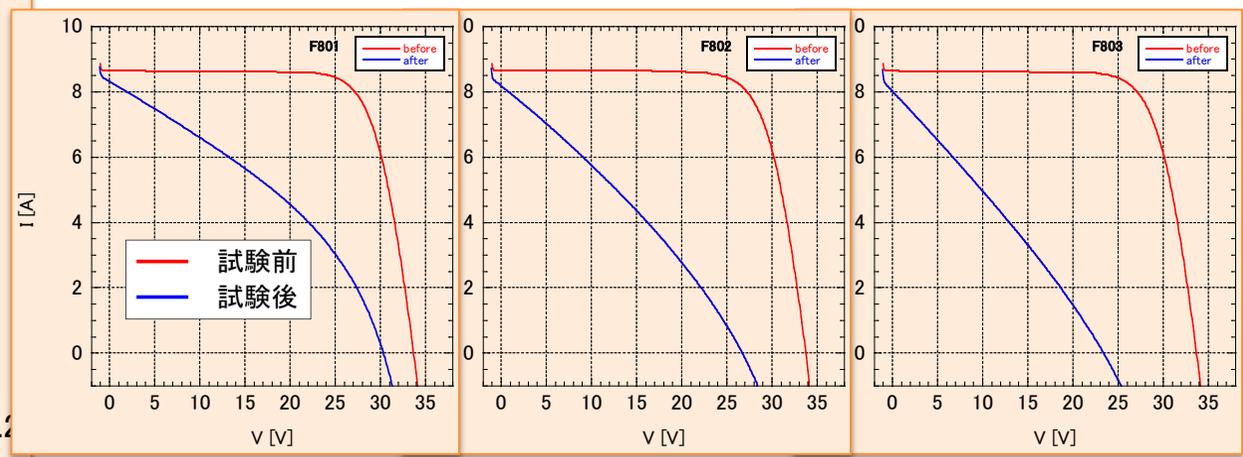


以下, 特性低下の著しい2型式(C, F)の結果を示す

I-V測定@Chemitox(2012/3/5~ 2012/3/23)



PID試験前後のIVカーブ比較(モジュールC)



PID試験前後のIVカーブ比較(モジュールF)

各モジュールの初期値で規格化した試験後のPV特性値
(凡例右肩の*は規格化を示す)

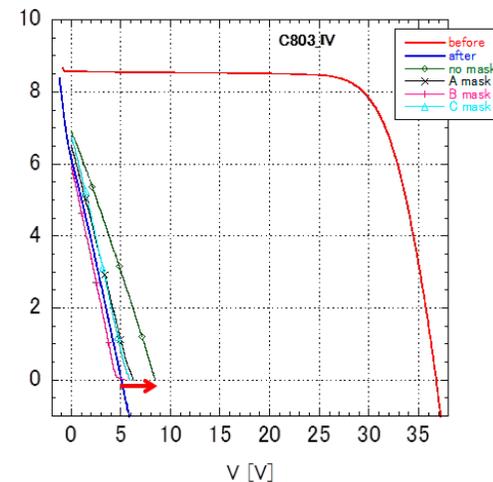
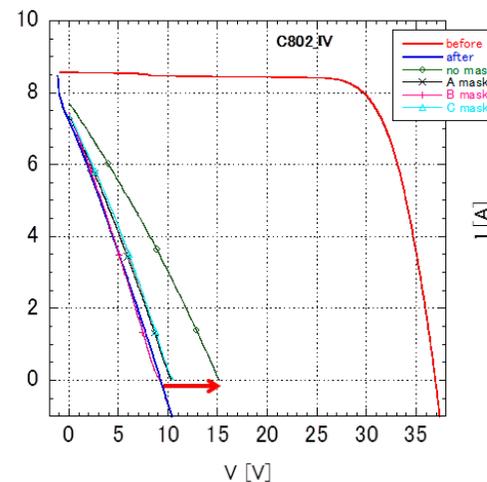
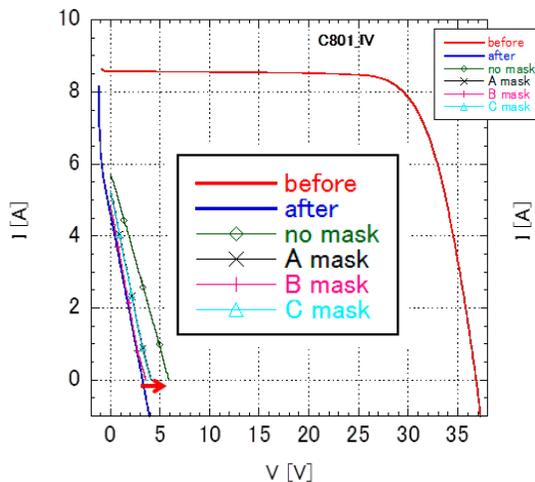
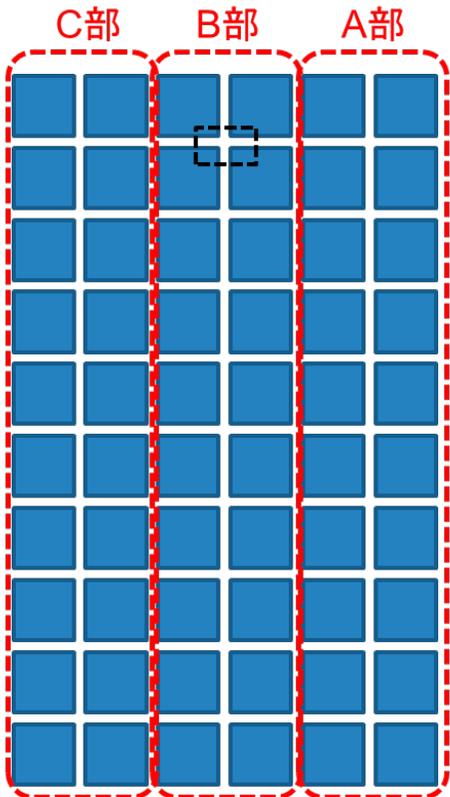
モジュールC

[STEP 2] BPDの健全性把握

モジュールC: $6 \times 10 = 60$ 直

クラスタ=BPDで区切られるセルストリング
クラスタ毎にマスク及びマスク無しのI-V測定・比較[3]

before: 2012/3/5 @Chemitox
after: 2012/3/15 @Chemitox
no mask~: 2012/7/13 @AIST(Q)SS2

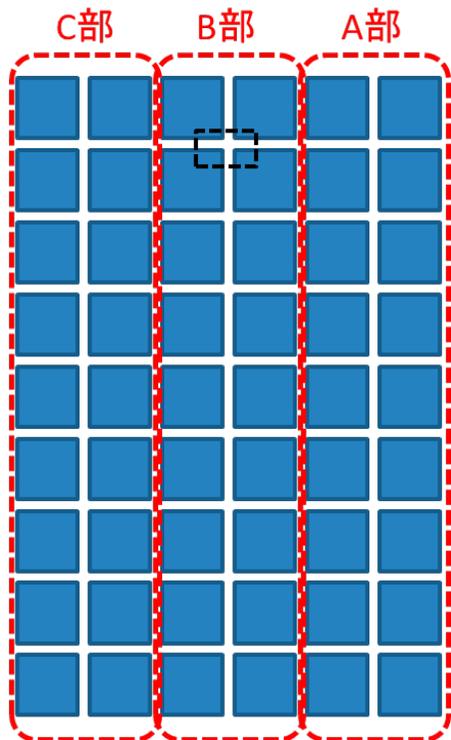


- ・PID試験直後(after)に対して、約4ヶ月後(no mask)は、特性が改善している(赤矢印分)。
- ・BPDの機能良否: no maskのVocに対して、各クラスターをマスクしたものは、Vocが3分の1程度低下していることより、各BPDは機能していると推定される。
- ・マスクしたもの同士の比較: クラスタBをマスクした時の特性がほかの2つに比べ悪い→クラスタBの特性がほかの2つよりも良い→モジュール中央部の方がPID劣化が(わずかではあるが)少ない(改善が早い)。

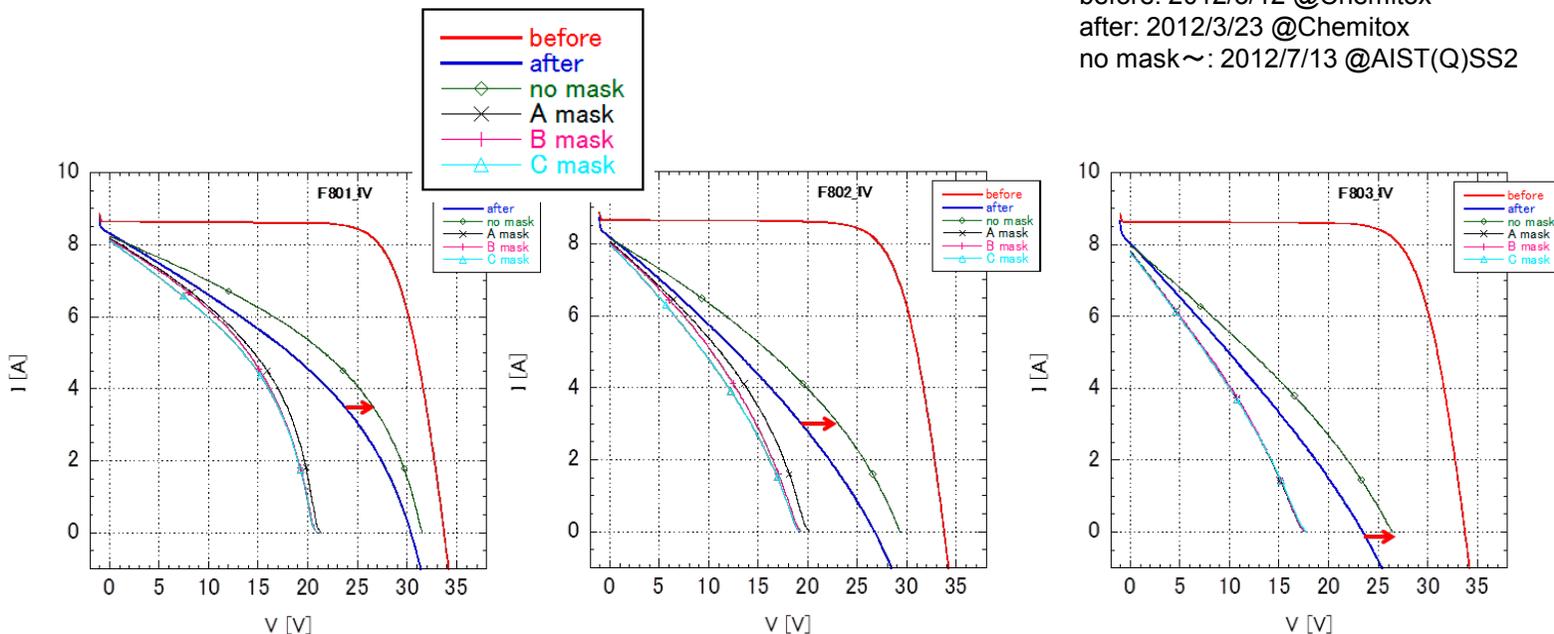
 マスクした部分
 裏面J-Boxの位置

[3] 加藤和彦ほか, “PVResQ!!における太陽電池モジュールの電氣的不具合の調査方法とその実例”, 太陽エネルギー, Vol.38, No.3, (2012), 7-13

モジュールF: 6 × 9 = 54直



before: 2012/3/12 @Chemitox
 after: 2012/3/23 @Chemitox
 no mask~: 2012/7/13 @AIST(Q)SS2



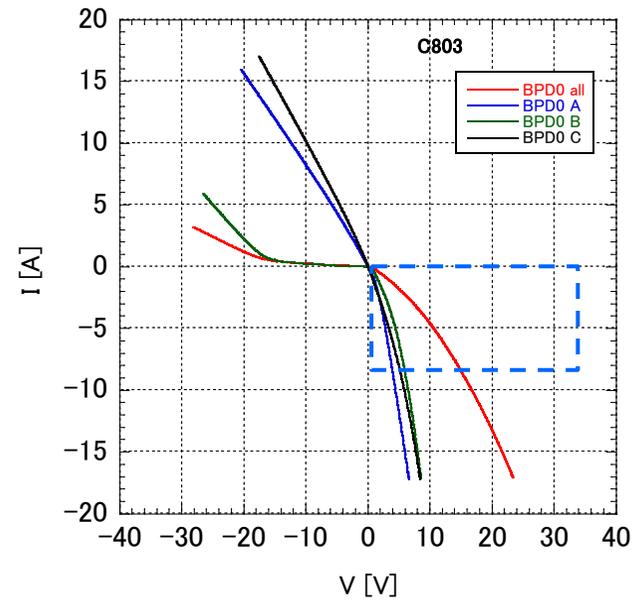
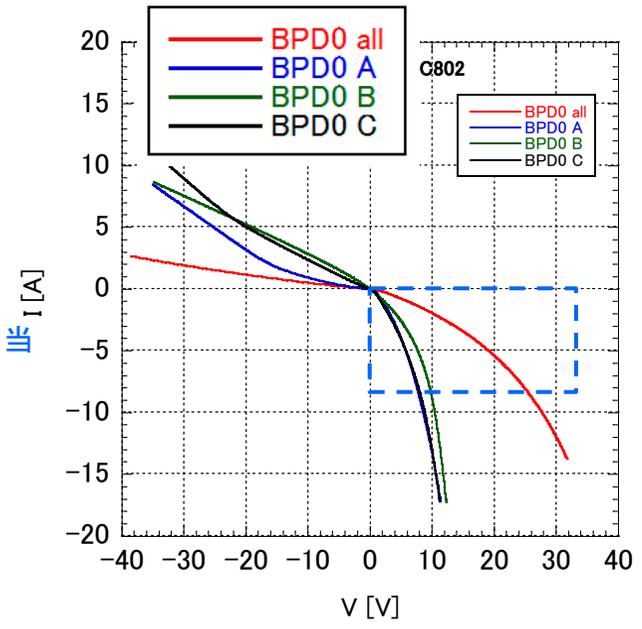
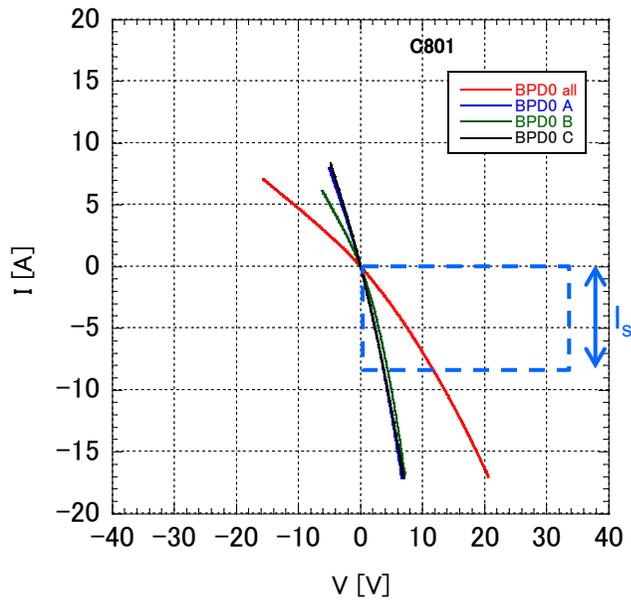
- ・PID試験直後 (after) に対して、約4ヶ月後 (no mask) は、特性が改善している (赤矢印分)。
- ・BPDの機能良否: no maskのVocに対して、各クラスターをマスクしたものは、Vocが3分の1程度低下していることより、各BPDは機能していると推定される。
- ・マスクしたものの同士の比較: F803は3本とも重なっている→3クラスターとも同程度に劣化。F801とF802はクラスターAをマスクした時の特性がほかの2つに比べ良い→クラスターAのPID劣化が(わずかではあるが)大きい。

マスクした部分

裏面J-Boxの位置

全直列分と各クラスター毎に測定

モジュールC

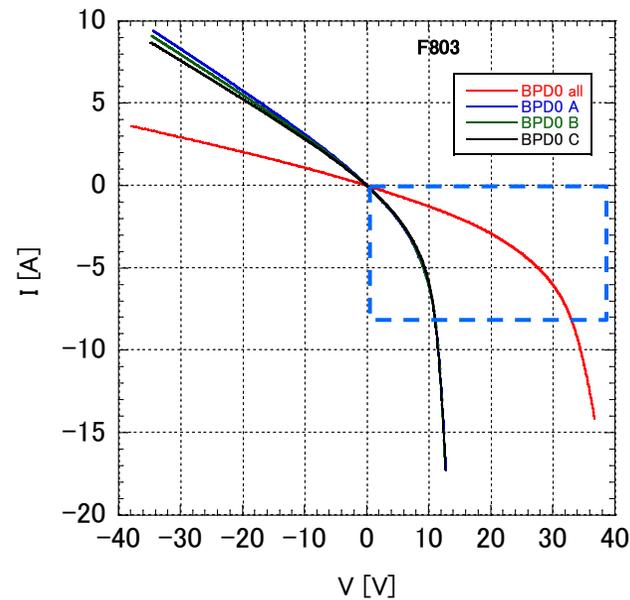
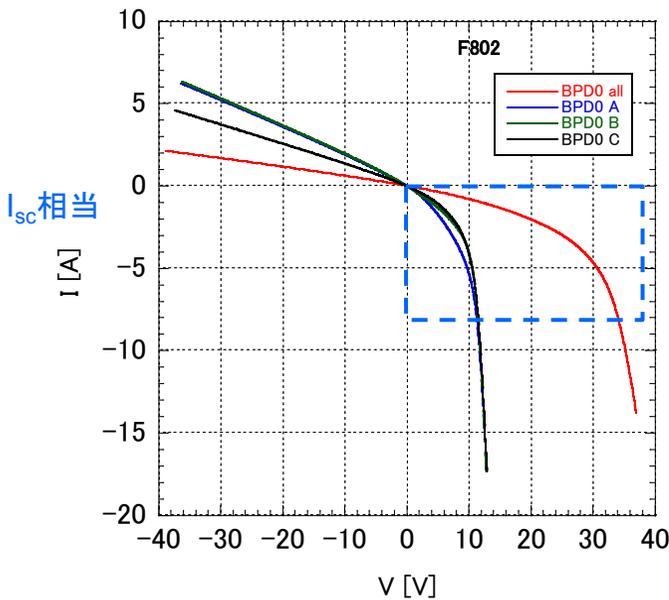
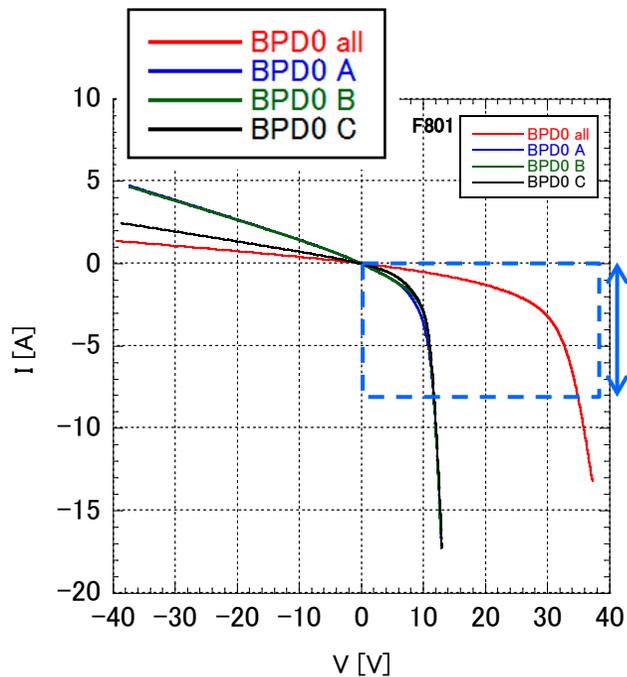


PID試験で劣化が最大のモジュール

- ・三者三様の特性: 第4象限のI-V特性の良いのはC802であるが, 第2象限のシャント特性が良いのはC803である。
- ・クラスター毎の比較: 第4象限の特性はクラスターBがいずれも良い→上述のBPD健全性試験の推定を確認。**後述のEL画像の改善明部と符合。**
- ・第4象限(青色破線枠内)の形状から判断すると, 上述のBPD健全性試験のときから更に特性が回復していると考えられる。

全直列分と各クラスター毎に測定

モジュールF



PID試験で劣化が二番目に大きなモジュール

- ・第4象限(青色破線枠内)の形状から判断すると, 上述のBPD健全性試験のときから更に特性が回復していると考えられる。
- ・クラスター毎の比較: 第2象限の差が大きい(F801,F802)→シャント劣化にばらつきがある。クラスターCが劣化が少ない→**後述のEL画像の試験後明部と符合。**

初期@Chemitox: 2012/3/05 - 3/12
試験直後@Chemitox: 2012/3/15 - 3/23
8ヶ月後@AIST(TKB): 2012/11/20

モジュールC

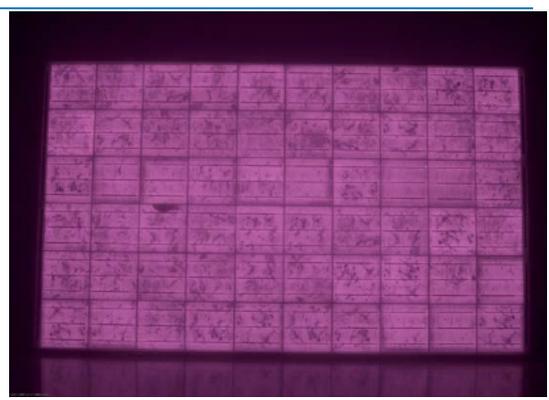
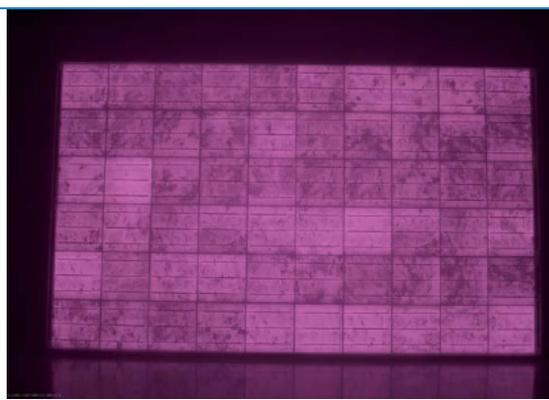
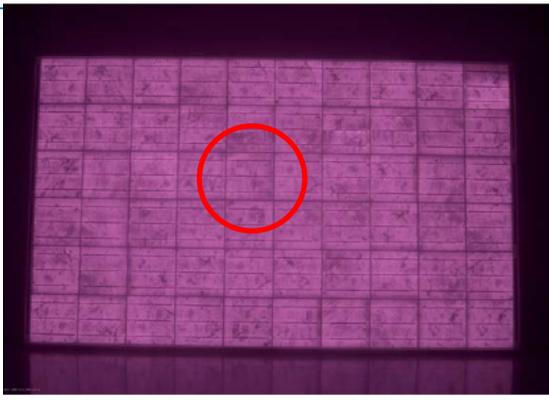
I-V特性が改善したモジュール

C801

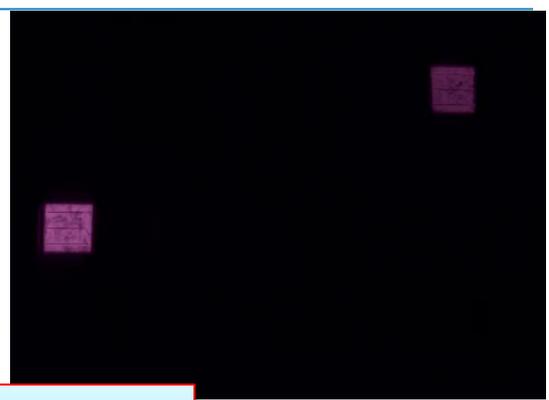
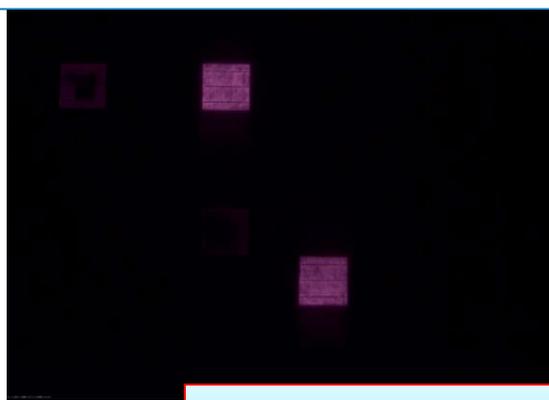
C802

C803

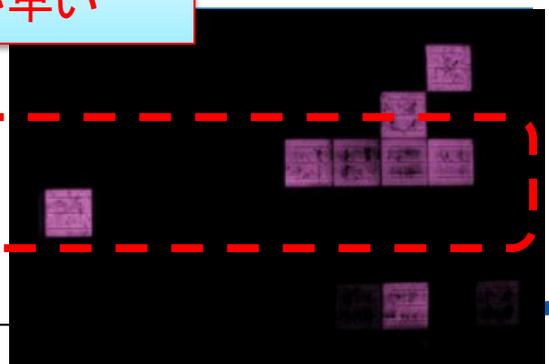
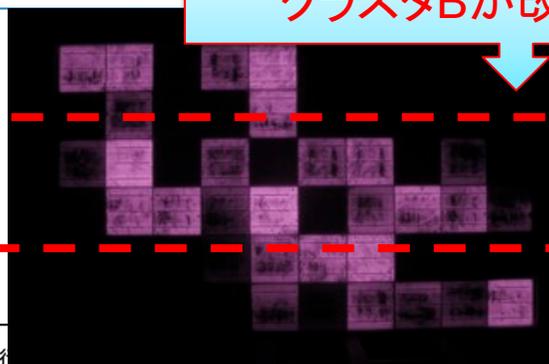
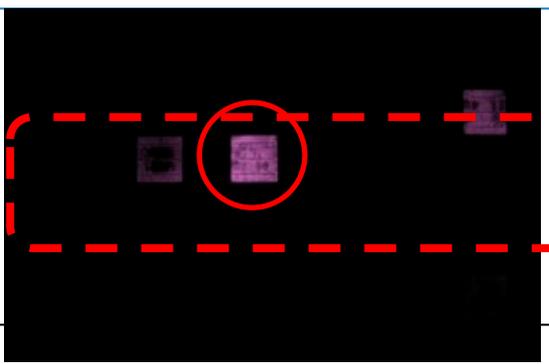
初期



試験直後



8ヶ月後
(8A-ISO800)



クラスタBが改善が早い



初期@Chemitox: 2012/3/05 - 3/12
 試験直後@Chemitox: 2012/3/15 - 3/23
 8ヶ月後@AIST(TKB): 2012/11/20

モジュールF

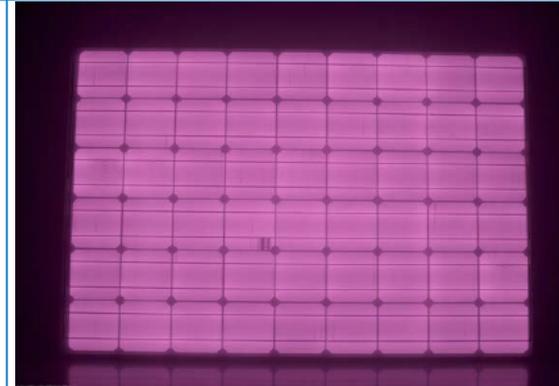
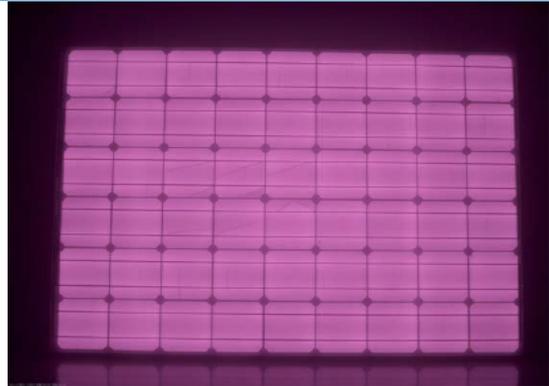
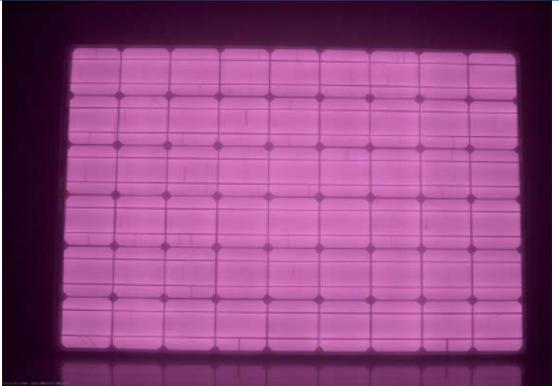
I-V特性が改善したモジュール

F801

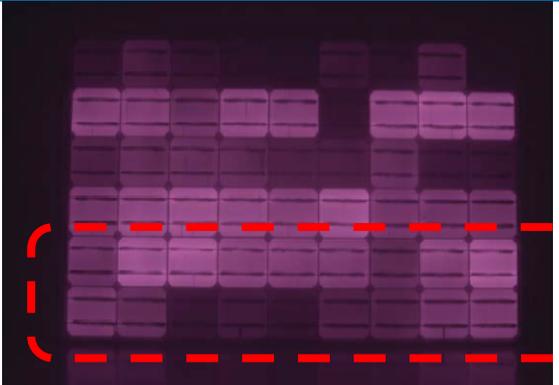
F802

F803

初期



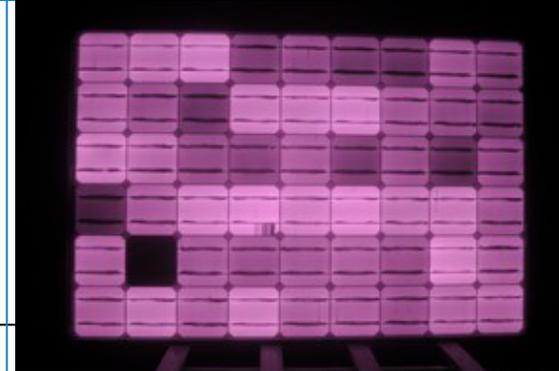
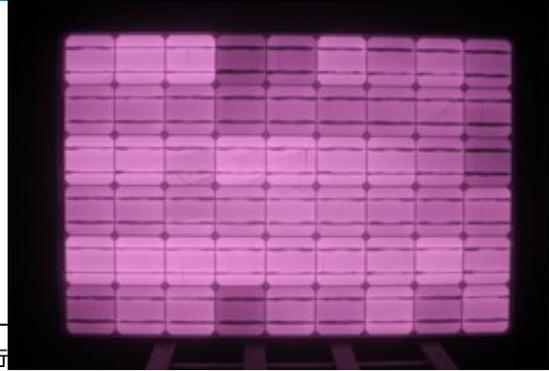
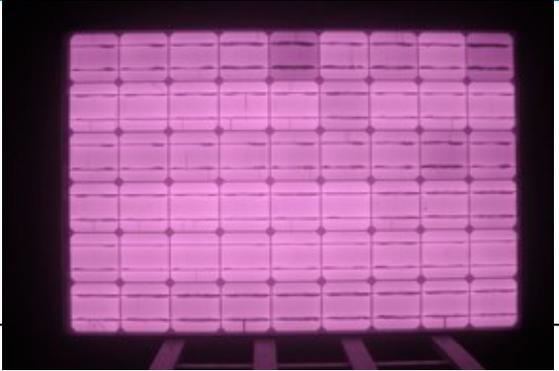
試験直後



クラスタCが劣化が少ない



8ヶ月後
(8A-ISO800)



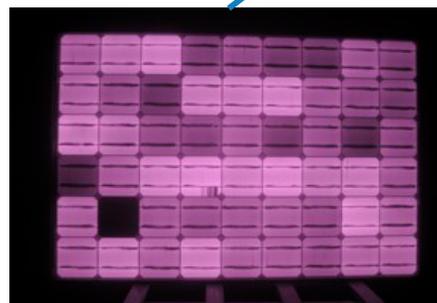
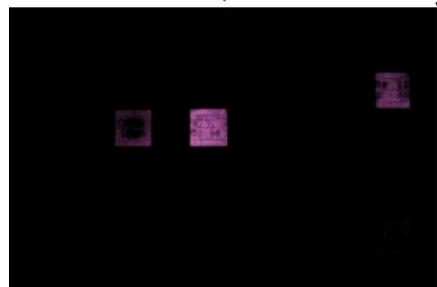
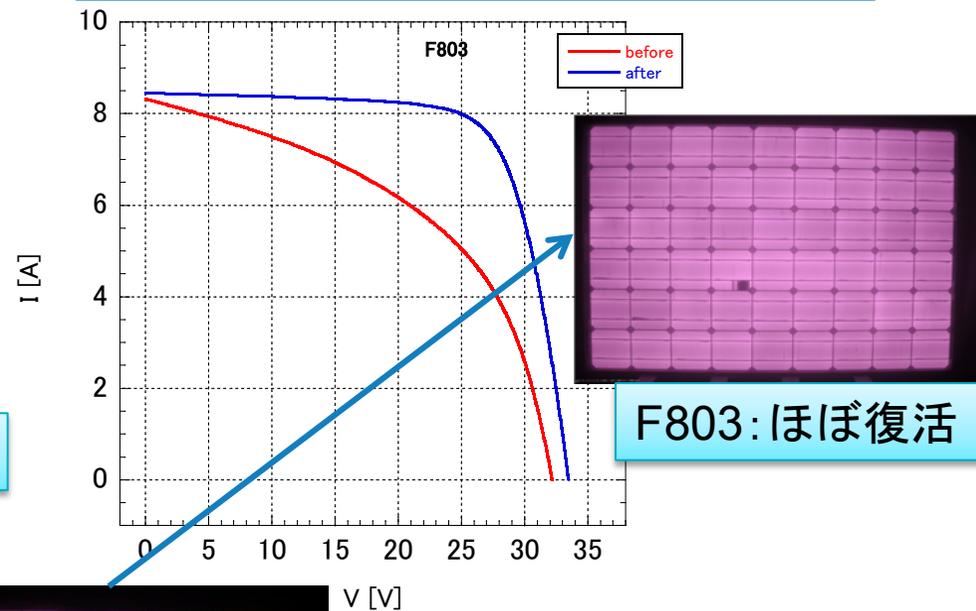
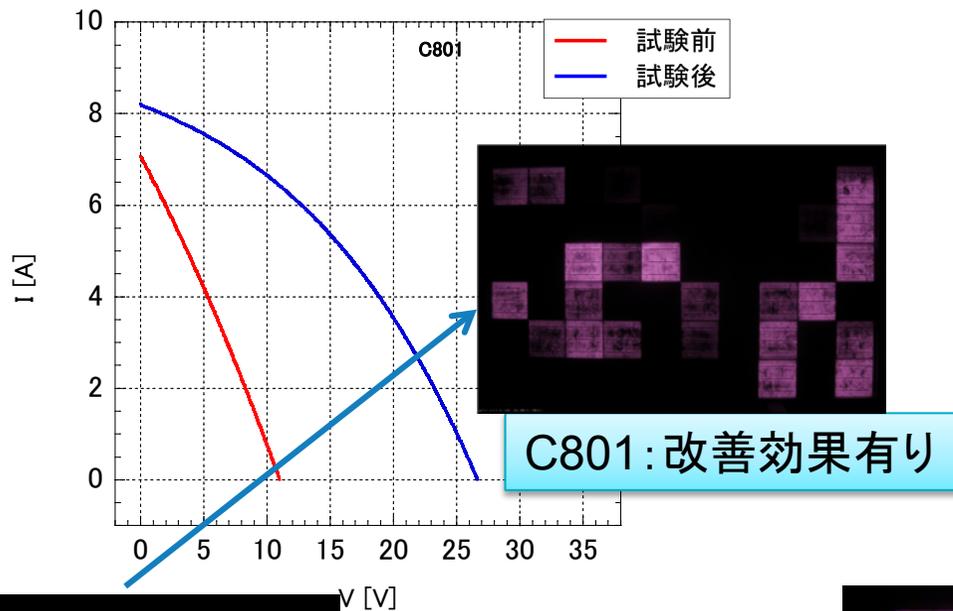
・逆電圧印加は、モジュールCとFの各ワーストモジュールで実施し、改善効果の有無を確認した。

・逆電圧印加試験の条件

温度：常温(25℃)，試験時間168時間(7日間)，
印加電圧＝システム電圧。PID試験時とは印加の極性を変え，水張り法にて実施。

・測定項目

IV(試験前後)，EL(試験後)
試験後のIV測定は4時間以内
・対象モジュール
C801, F803



- ・6型式, 各3台のPID試験(水張り法)で劣化の大きな2型式の解析結果を示した。

クラスタ毎のマスク有りI-V測定:

- ・PID試験によってBPDは壊れていないことを確認。
- ・クラスタ毎に劣化の程度が異なる。

ダークI-V測定:

- ・PID劣化は**シヤント劣化**であることを確認。
- ・クラスタ毎に劣化の程度が異なる。

EL画像比較:

- ・**クラスタ毎**での比較で, 劣化あるいは改善(回復)の程度とEL明部の分布は**符合**。

PID逆電圧印加:

- ・型式により, ほぼ回復する場合としない場合がある。
- PID劣化は, **可逆的な劣化**と**不可逆的な劣化**の組合せと考えられる。