

セミナーの資料

2024年08月08日（木）

株式会社アイテス

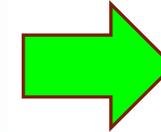
設立 1993年 資本金 1億円 従業員 105名

1993年 日本アイビーエム の品質保証部が独立

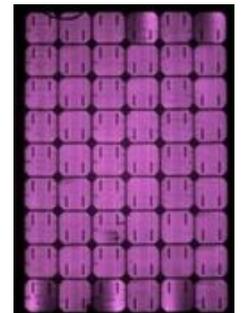
2000年 半導体の故障解析事業 (品質技術部)

2008年 太陽電池のEL/PL装置 PVXシリーズの開発、販売事業 (製品開発部)

2012年 太陽光発電所向け点検器 ソラメンテ の開発、販売事業 (製品開発部)

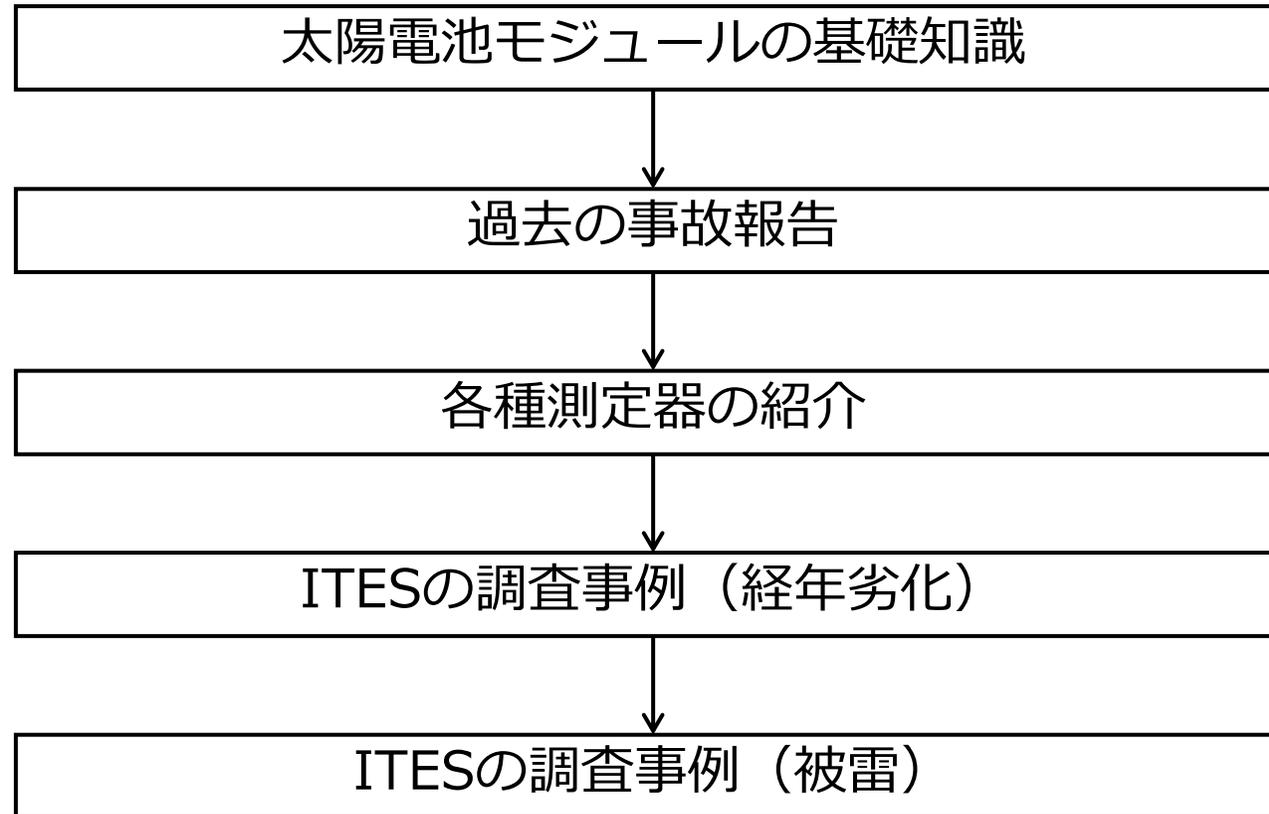


TEM(透過型電子顕微鏡)



EL/PL検査

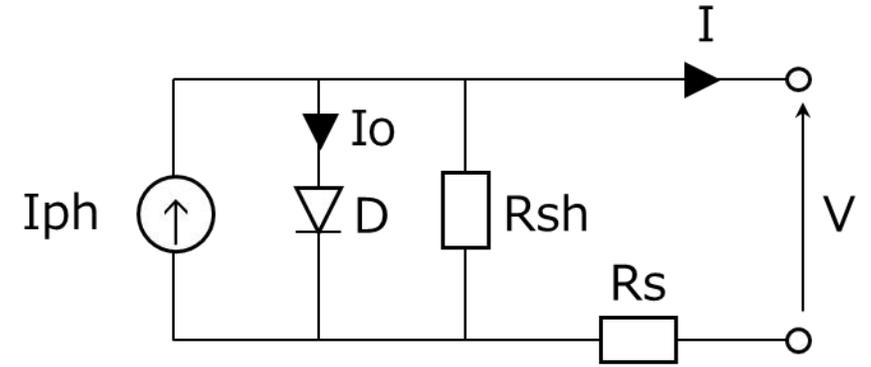
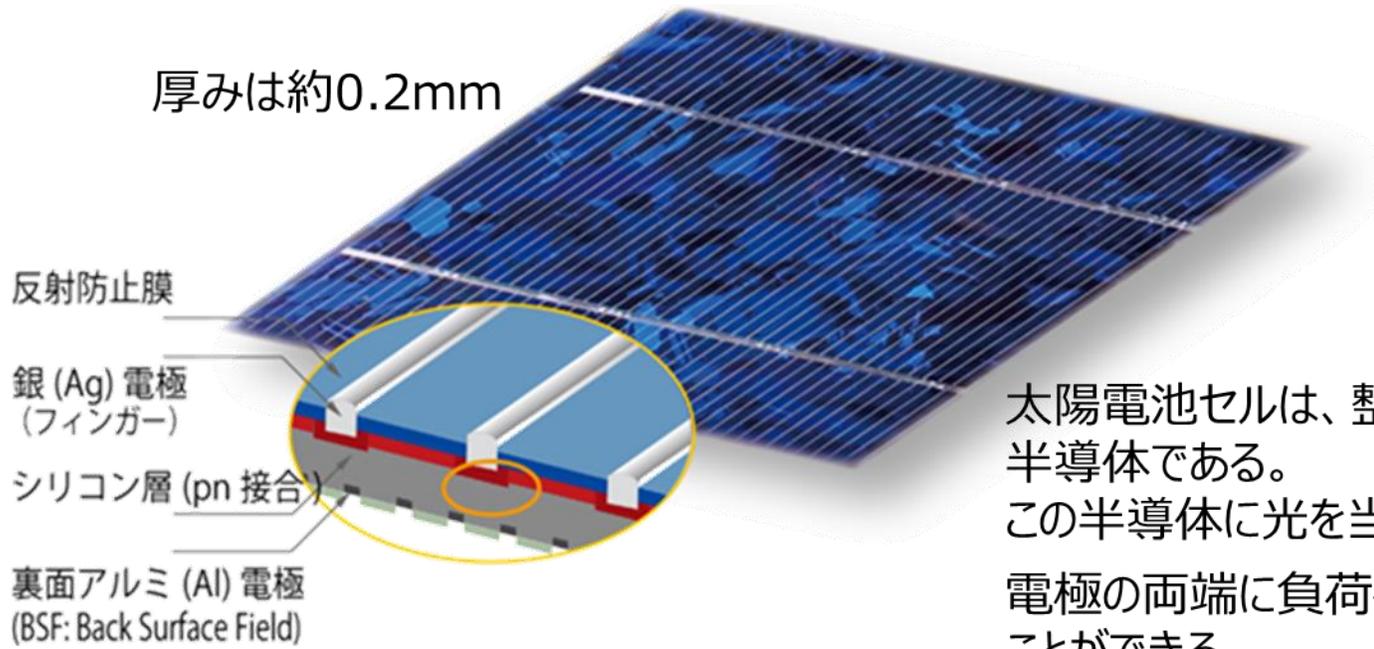




「貴社の保守管理業務にお役に立つ情報をご提供できれば幸いです。」

太陽電池モジュールの基礎知識

結晶型太陽電池は、「太陽電池セル」を最小単位として構成されている。



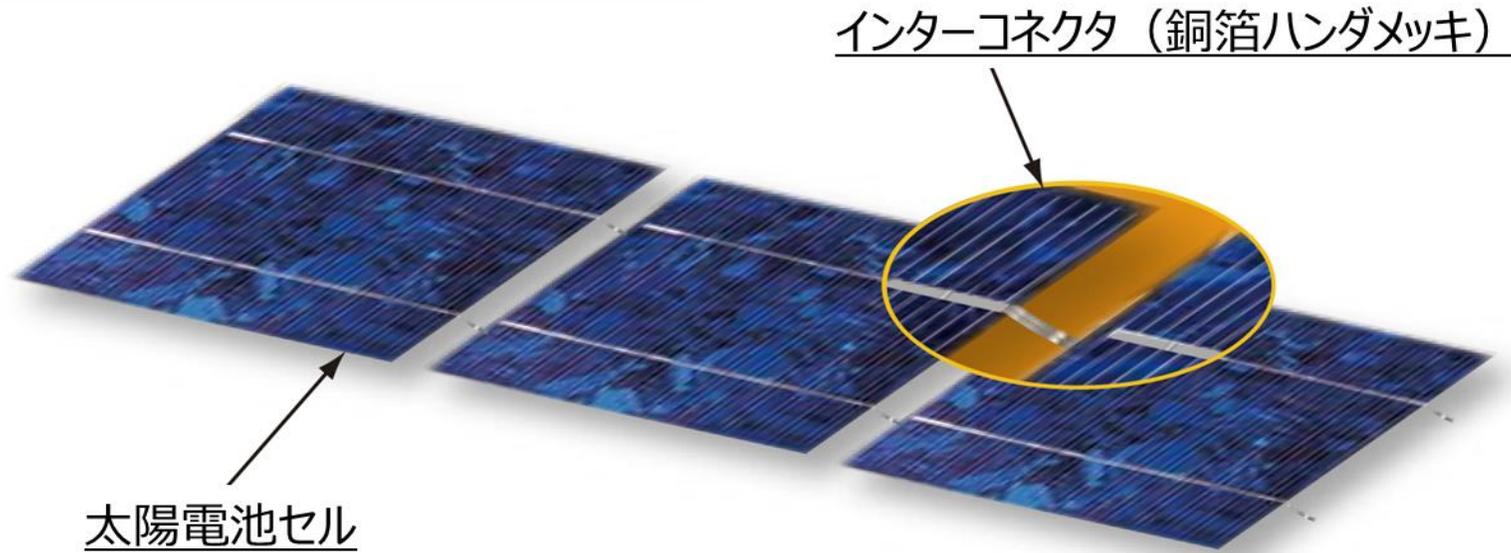
太陽電池の等価回路

太陽電池セルは、整流ダイオードやLEDと同じ、PN接合した半導体である。
 この半導体に光を当てると、内部で電気エネルギーが発生する。
 電極の両端に負荷をつなぐことで電流が流れ、電気エネルギーを取り出すことができる。



セル 1 枚の開放電圧 V_{OC} は約 0.5V

↑
Open Circuitの略

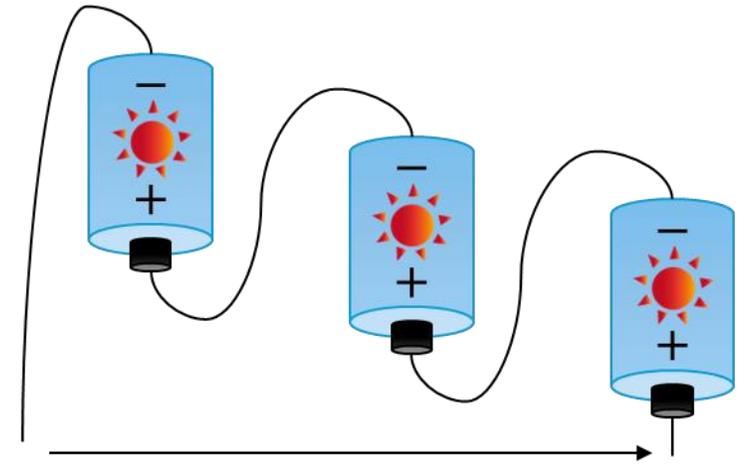


太陽電池セル

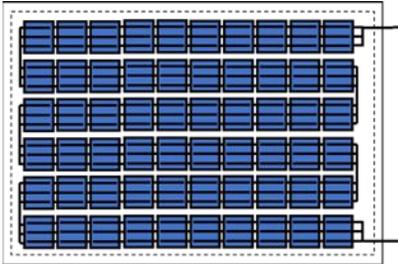
「セルストリング」とは、
複数枚の太陽電池セルを直列接続したものである。

セル1枚の電圧では低くて利用しにくい
ため、乾電池を直列接続するように、
「インターコネクタ」と呼ばれる配線
で複数枚のセルを直列接続することで、
電圧を高めている。

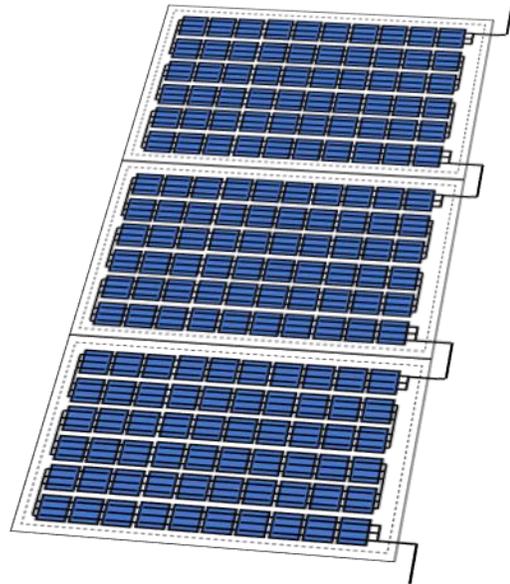
↑
電圧は足し算、電流は一定



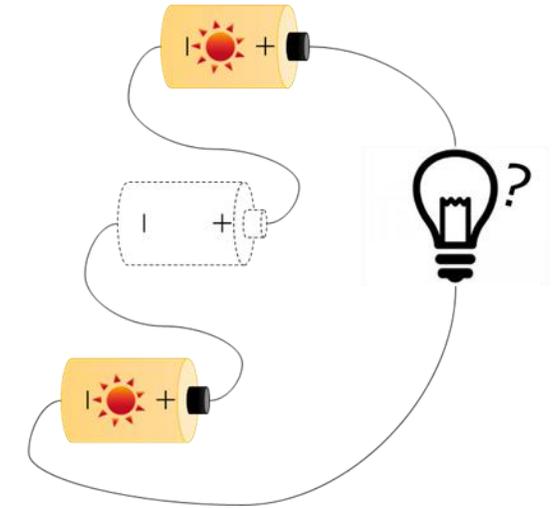
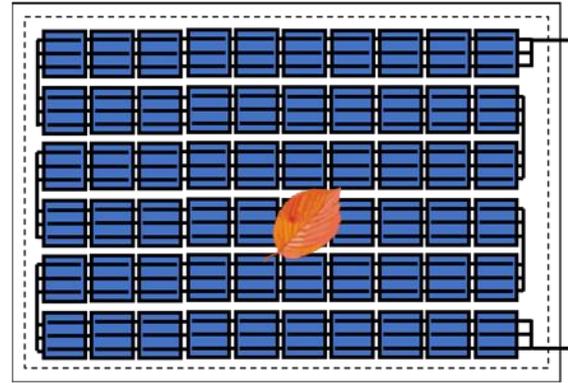
開放電圧 V_{OC} は 1.5V



複数枚のセルを直列接続し、
電圧を数十[V]に高めたものが
「太陽電池モジュール」。

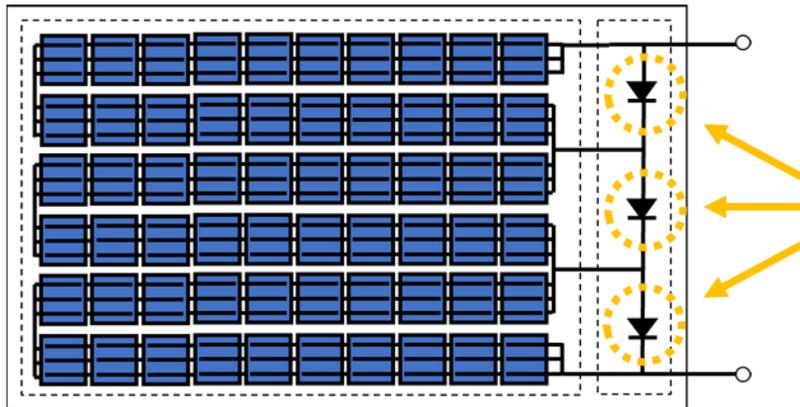


複数枚のモジュールを
直列接続したものが
「string」。



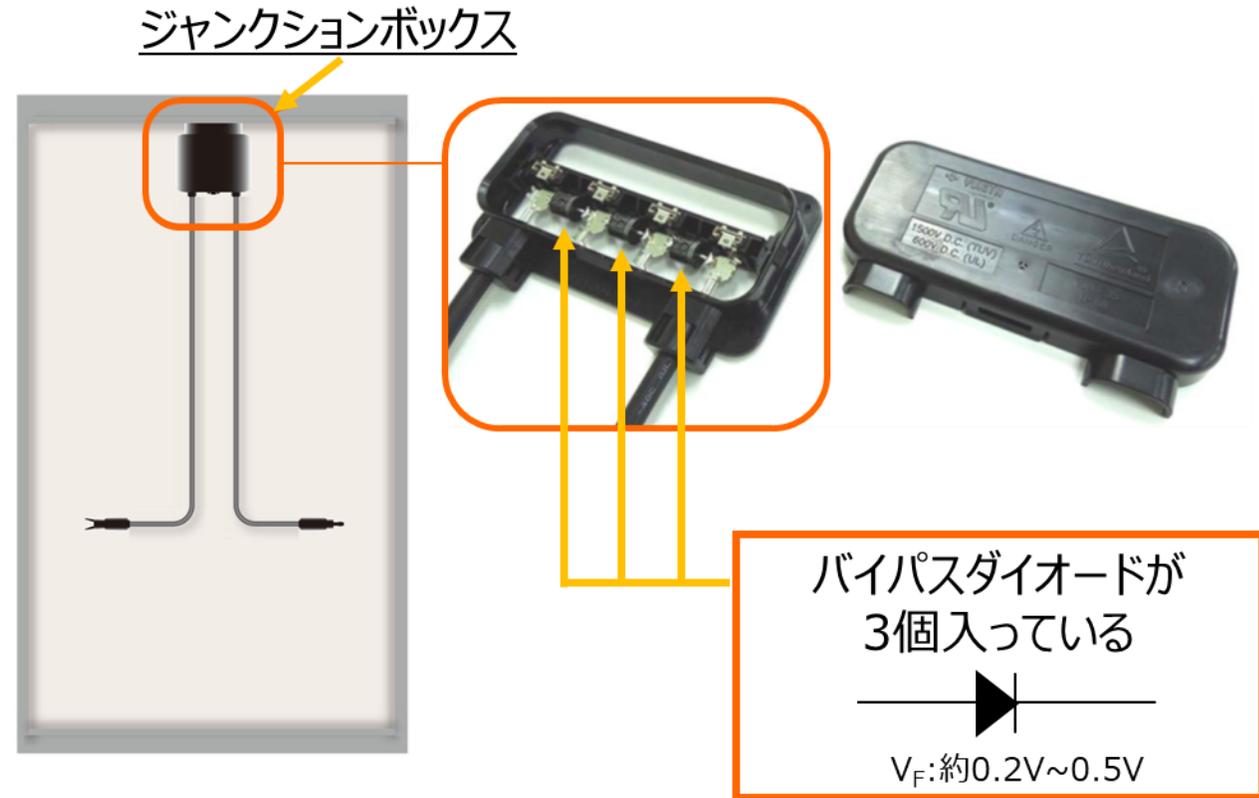
すべてのセルが直列接続されているため、
一枚のセルに影が落ちて光が当たらなかつたら・・・。
そのセルは電流を流れにくくしてしまい、
他のすべてのセルの発電にも影響を及ぼしてしまう。

そこで、電流の迂回回路として、20枚程度のセルに対して並列になるように、「バイパス回路（バイパスダイオード）」が配置されている。

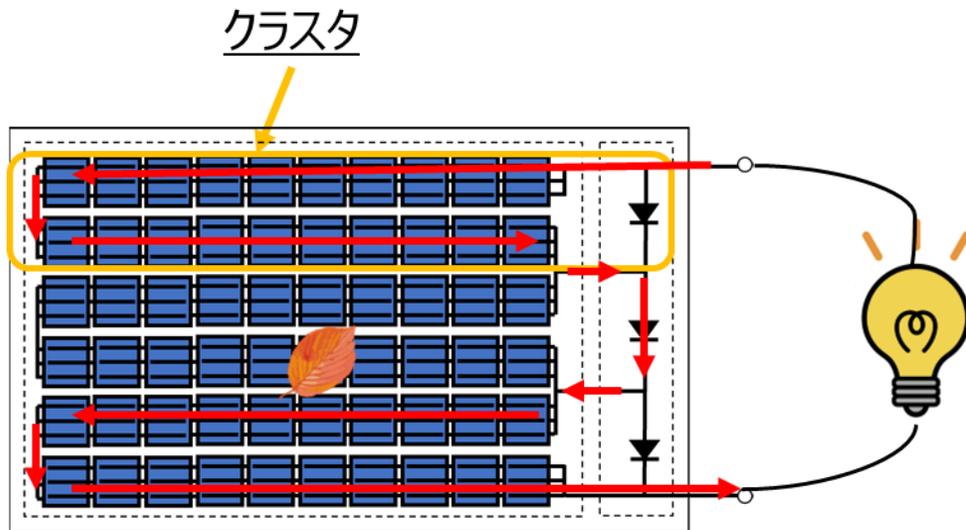


バイパス回路
(バイパス
ダイオード)

モジュール裏面に設けられている「ジャンクションボックス」内にバイパス回路が入っている。



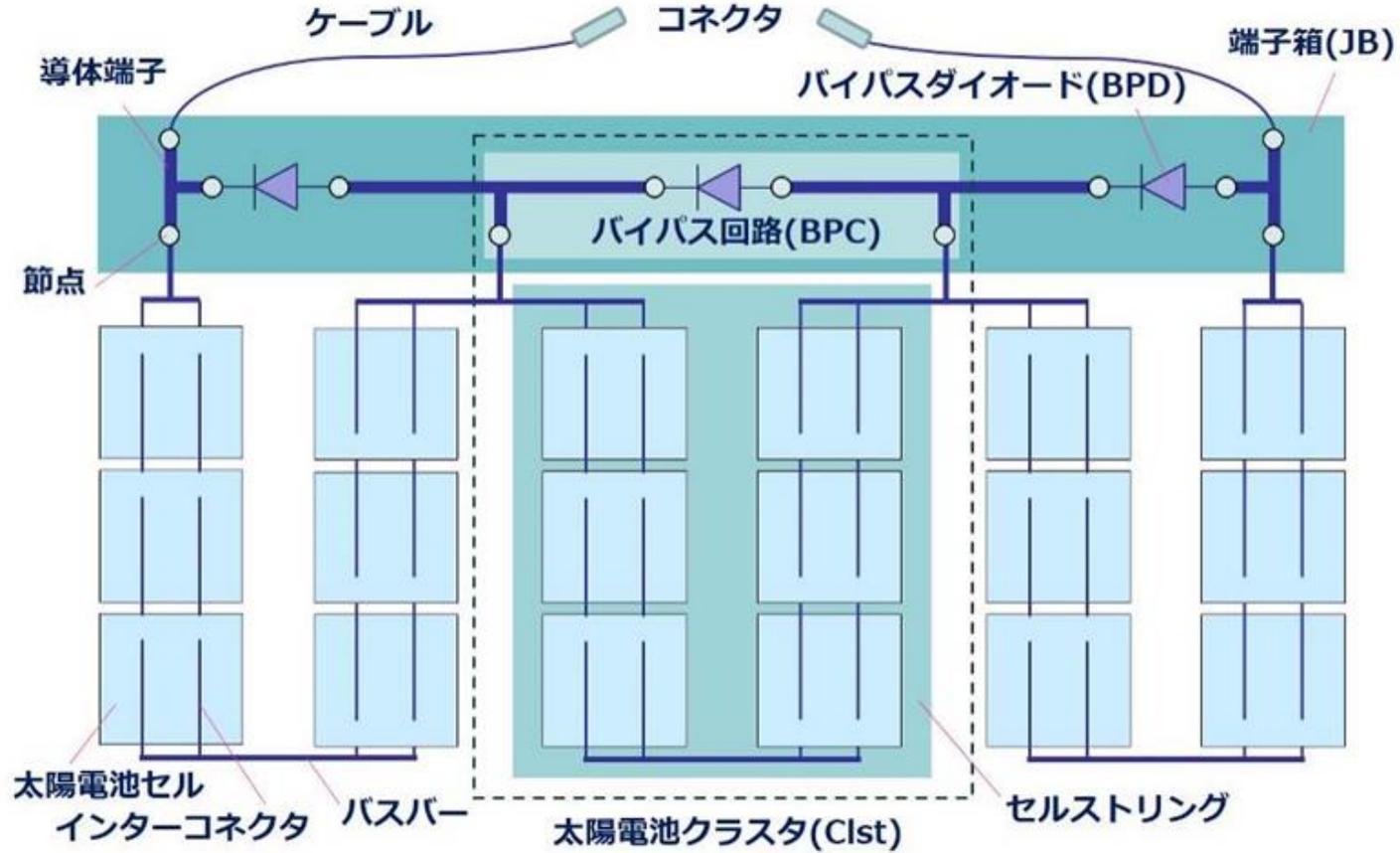
バイパス回路で分割された部分的な太陽電池セル群を「クラスタ」と呼ぶ。
結晶型太陽電池モジュールの多くは、3つのクラスタが直列につながれている。



セルに影が落ちて電流が流れにくくなると、
バイパス回路が作動し、クラスタ単位で電流が迂回される。
結果、他のクラスタは発電に寄与する構造となっている。

結晶型太陽電池モジュールの最小単位はセルだが、
発電が行われる基本単位は「クラスタ」である。

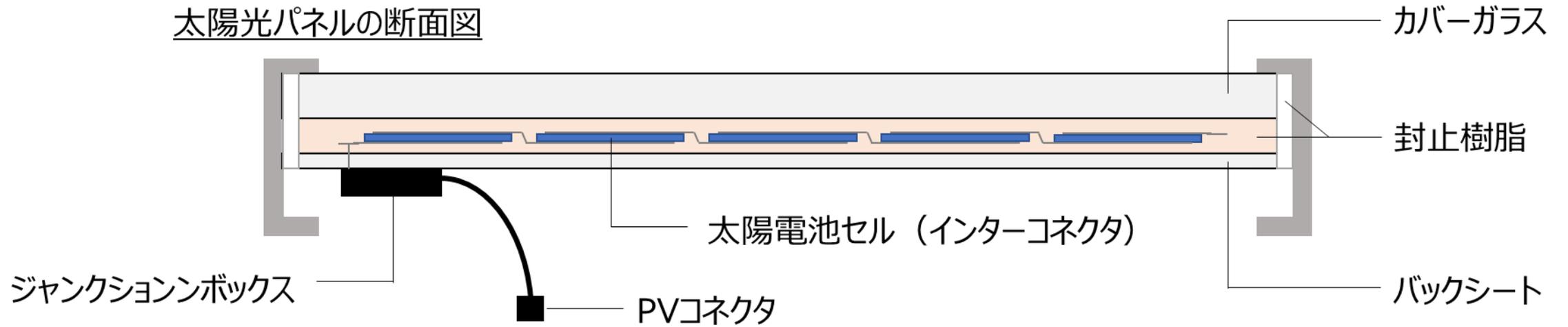
太陽電池モジュールの内部配線



セルストリングの両端をバイパス回路により終端した発電ユニットを「太陽電池クラスタ」（略してクラスタ）と呼びます。

参考「太陽光発電の直流電気安全のための手引きと技術情報（第2版）」

産総研：https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/service/PV_Electrical_Safety/index.html

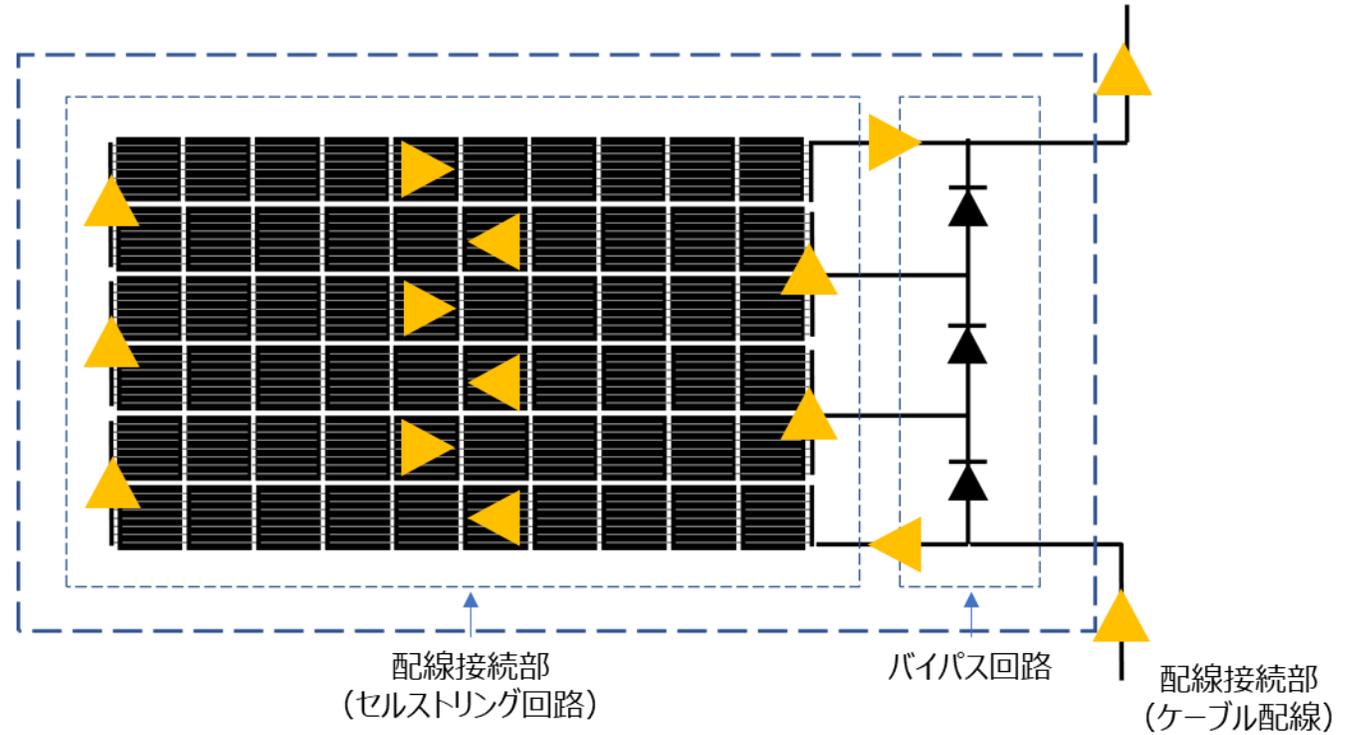
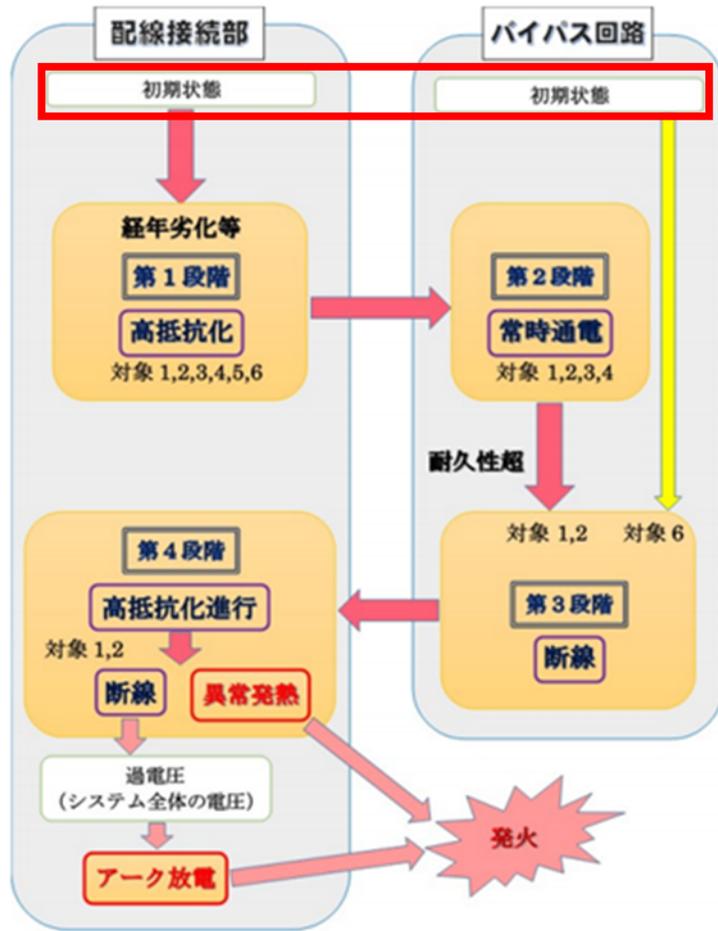


過去の事故報告

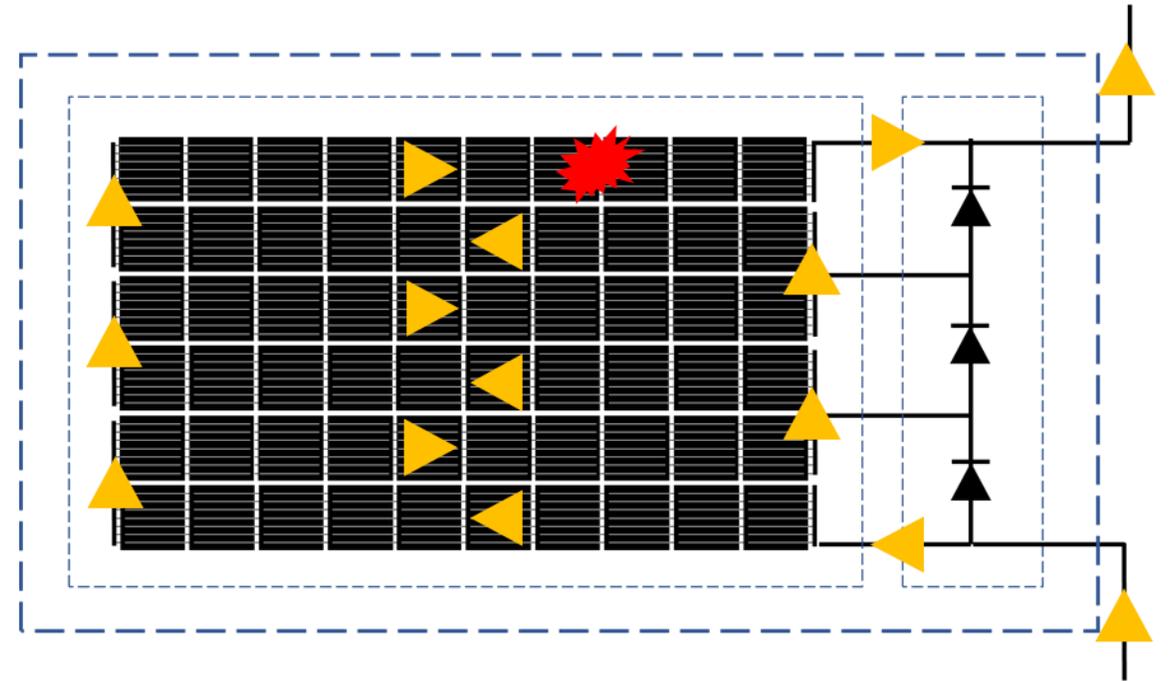
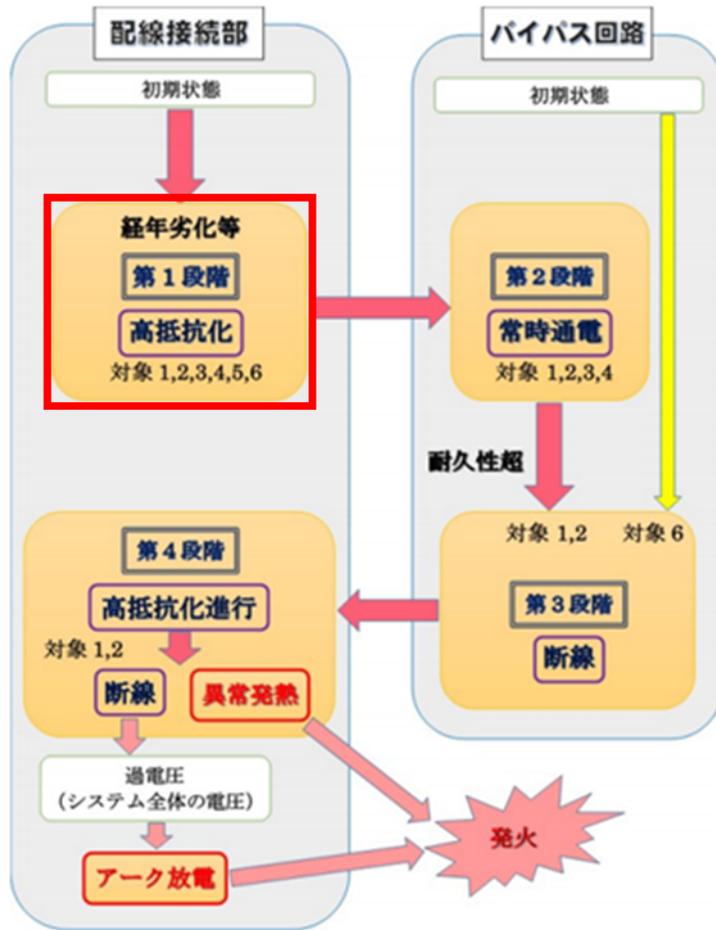
注1	(凡例) 事例No. 製造業者 使用年数	モジュールの設置形態			
		屋根置き型	鋼板等 敷設型	鋼板等付帯型	鋼板等なし型
推定 発火箇 所	モ ジ ュ ー ル	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">事例3 A社 約8.5年</div>			<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content;">事例10 A社 約14年</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content;">事例11 A社 約10年</div> </div>
	屋 根 上	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content;">事例4 C社 約3年</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content;">事例8 A社 約0.5年</div> </div>	注2 施工		<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content;">事例1 A社 約7.5年</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content;">事例12 A社 約11年</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content;">事例6 C社 約1年</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content;">事例7 A社 約10年</div> </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">事例13 A社 約5年</div>
	ケ ー ブ ル	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content;">事例2 A社 約10年 外壁</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content;">事例9 A社 約5.5年 外壁</div> </div>	施工	施工	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">事例5 F社 約2年 屋根裏</div>

図14 モジュール又はケーブルから発生した火災事故等の分類

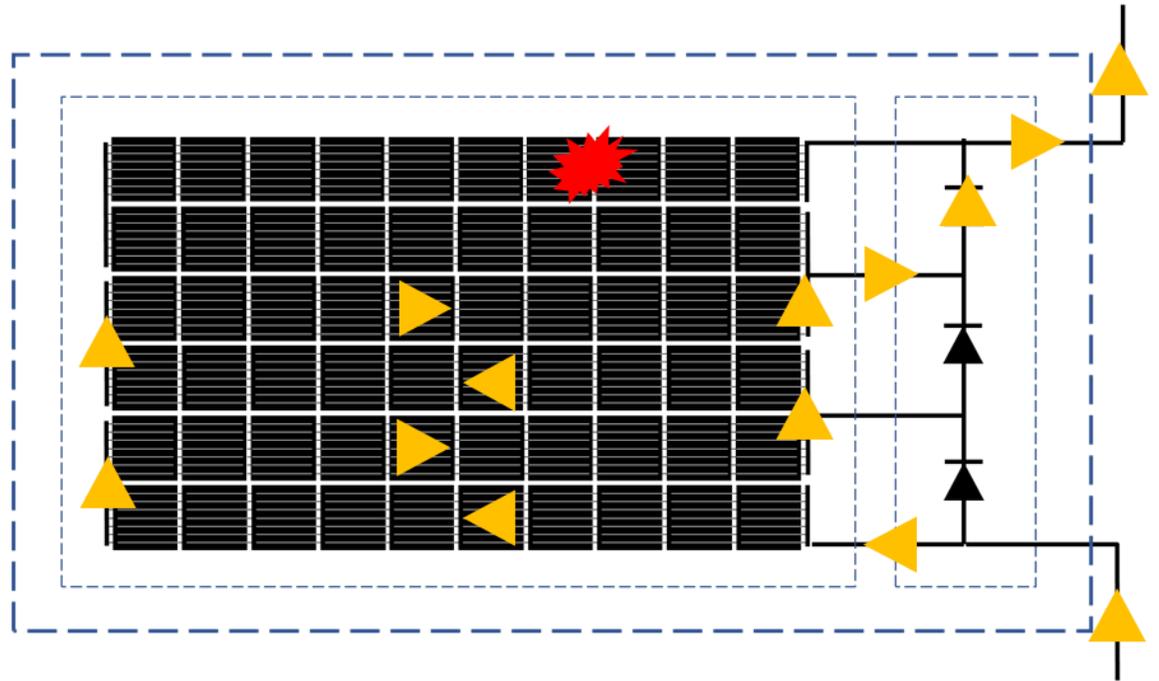
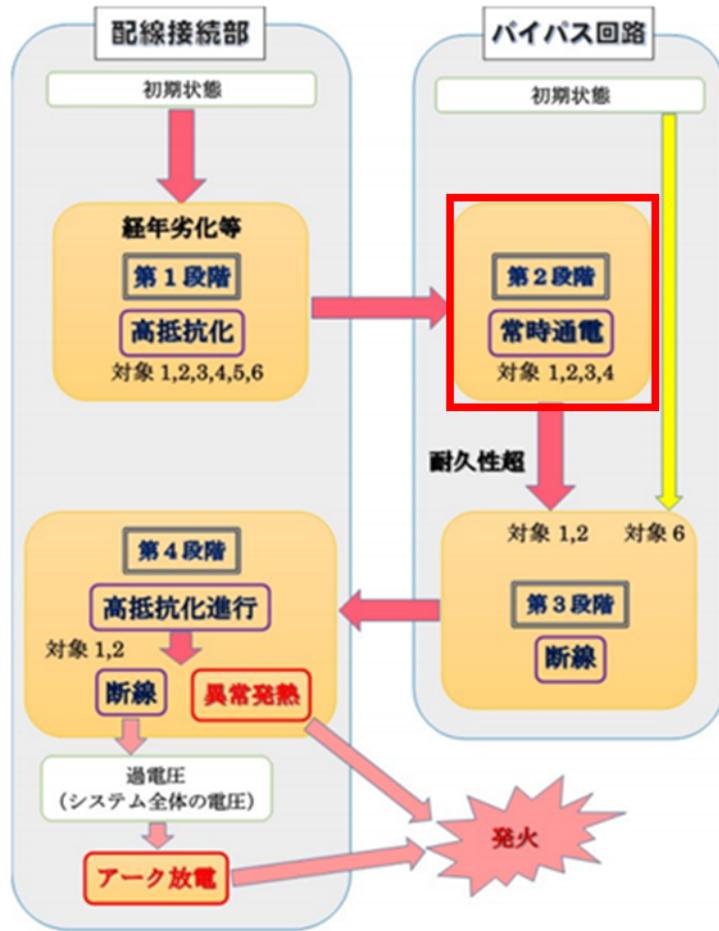
参考
消費者庁：https://www.caa.go.jp/policies/council/csic/report/report_012/



参考
 消費者庁 : https://www.caa.go.jp/policies/council/csic/report/report_012/

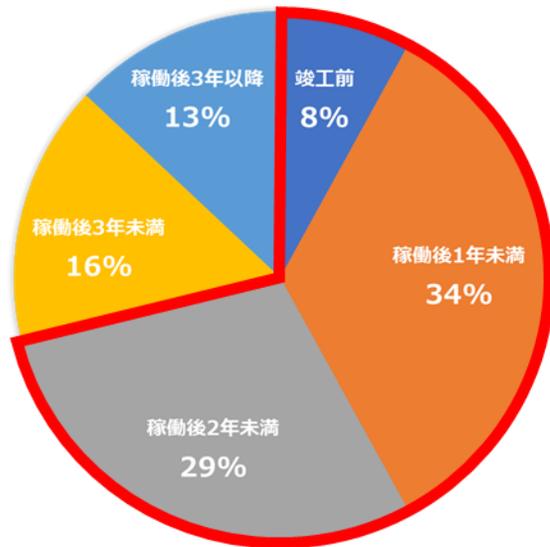


参考
 消費者庁 : https://www.caa.go.jp/policies/council/csic/report/report_012/



参考
 消費者庁 : https://www.caa.go.jp/policies/council/csic/report/report_012/

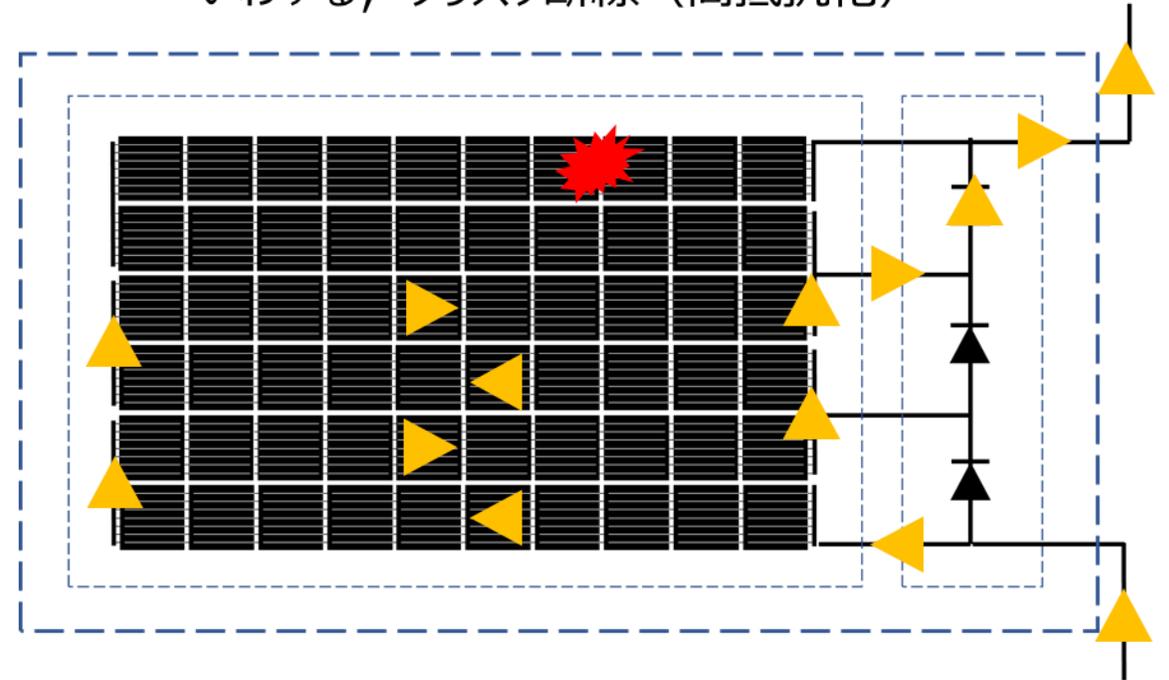
稼働年数(N=180)

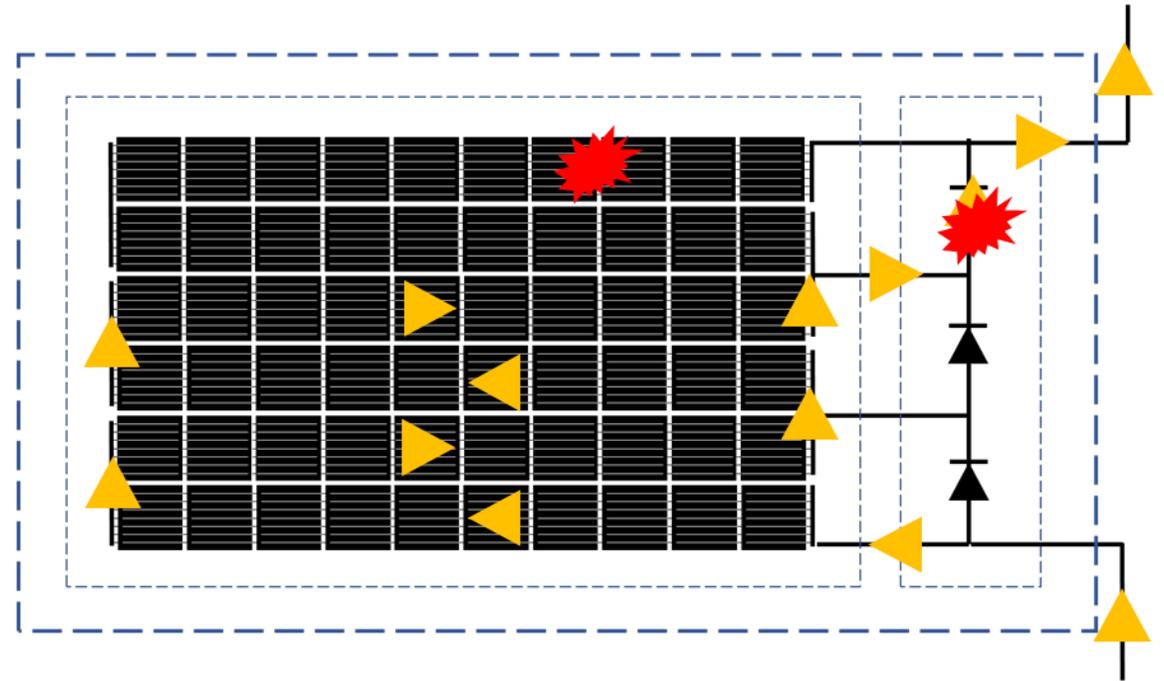
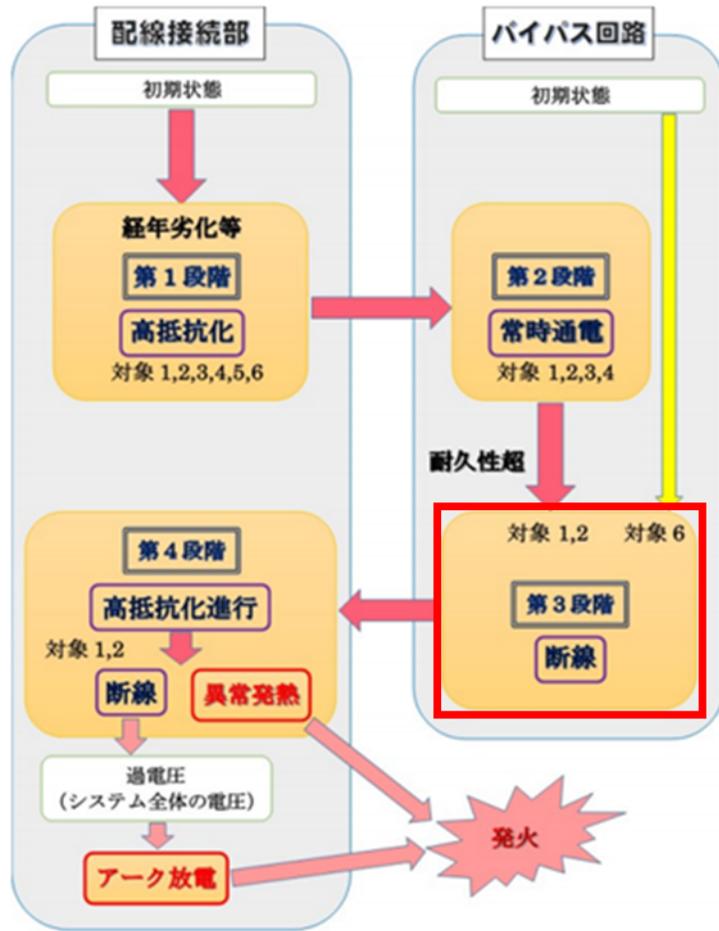


2014年4月～2017年9月で全国180発電所を調査
稼働2年以内の発電所の70%でクラスタ故障を特定

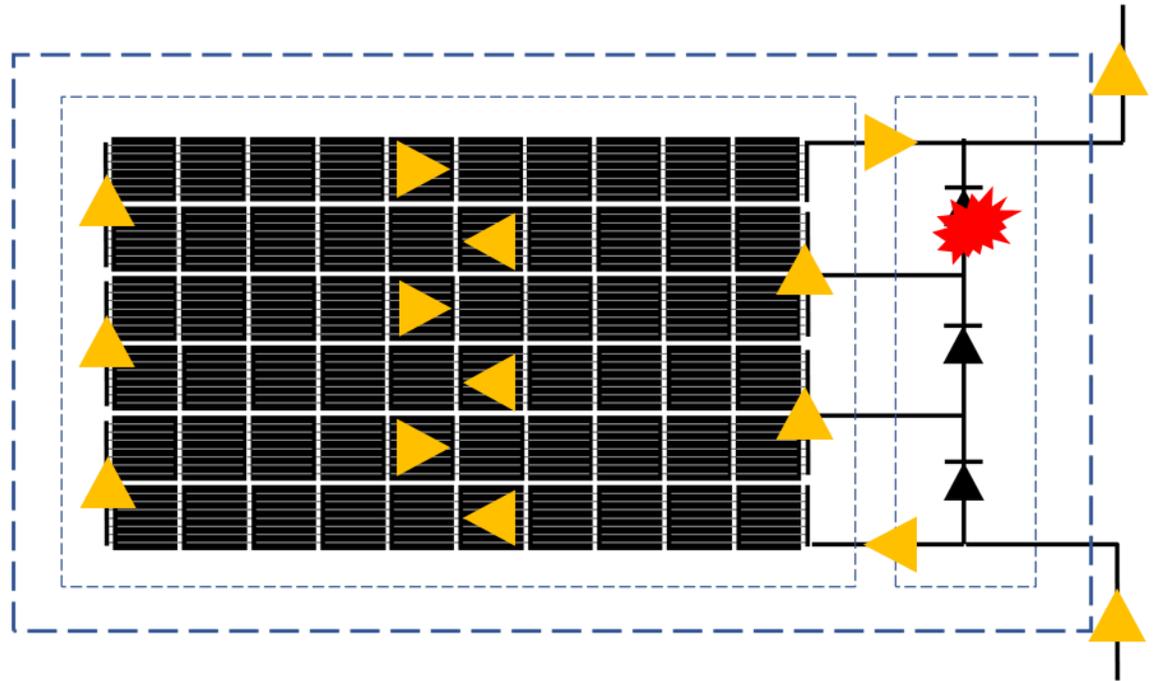
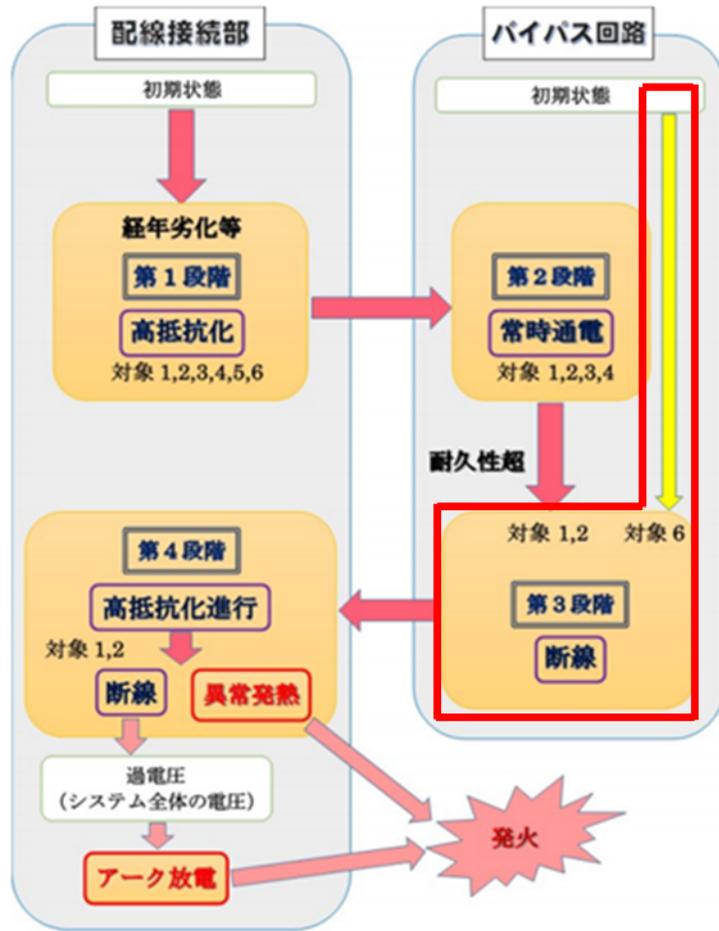
アイテス ソラメンテの調査より

いわゆる、クラスタ断線（高抵抗化）

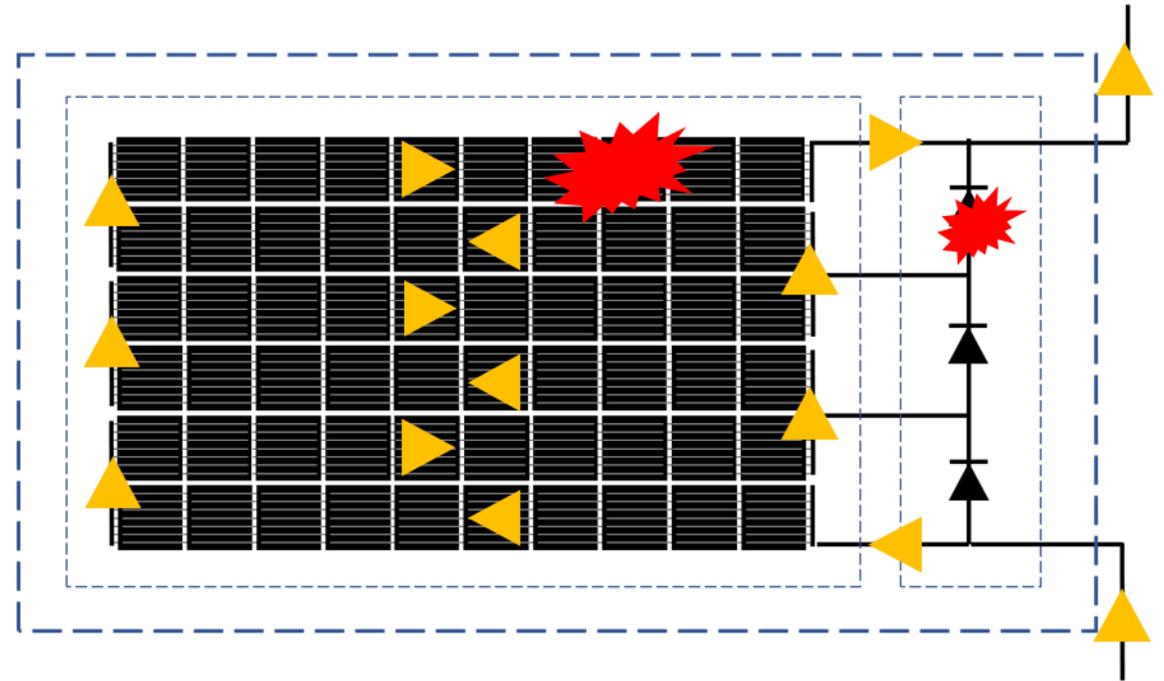
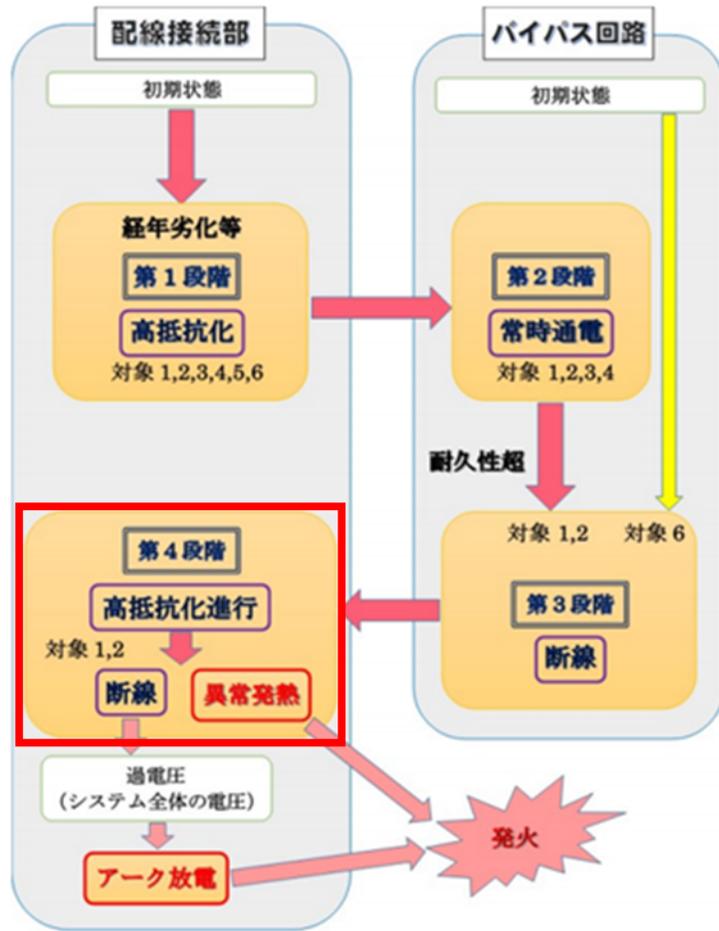




参考
 消費者庁 : https://www.caa.go.jp/policies/council/csic/report/report_012/



参考
 消費者庁 : https://www.caa.go.jp/policies/council/csic/report/report_012/



参考
 消費者庁 : https://www.caa.go.jp/policies/council/csic/report/report_012/

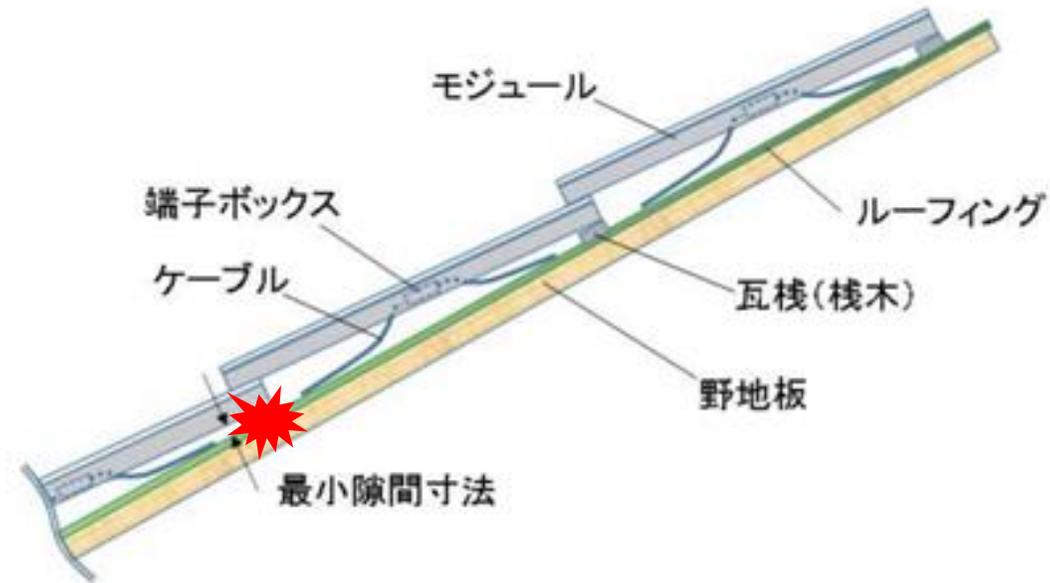


図 18 のじいた 野地板に延焼した火災事故等の屋根断面図 (例)
(屋根を横から見た場合)

参考

消費者庁 : https://www.caa.go.jp/policies/council/csic/report/report_012/

各種測定器

String	V _{oc} [V]	インピーダンス[Ω]
No.1	209	12
No.2	209	OL
No.3	209	13

5.5.7 インピーダンス測定試験

a) 一般

太陽電池モジュール間のコネクタは施工不良があると当該コネクタが劣化し、直列抵抗成分が増加、それにより発電能力の低下やコネクタ部の発熱により最悪、近接するものに引火するおそれがある。太陽電池モジュールの製造不良や経年変化に伴う突発的な発電能力の低下もある。これらは定期点検あるいは不具合発生時にストリングのインピーダンス測定を行い、電気経路のインピーダンス又は直列抵抗成分を調べることで異常を検知することができる。これを実現するのが、インピーダンス測定器である。ここでは、このインピーダンス測定器を用いた太陽電池アレイのストリングの直列抵抗成分の測定法について説明する。

注記 インピーダンスの測定は交流波印加方式、TDR（時間領域反射率測定）方式など、測定器の原理により差異を生じる場合があるため、故障判定基準については、測定装置の説明書等を参照する必要がある。

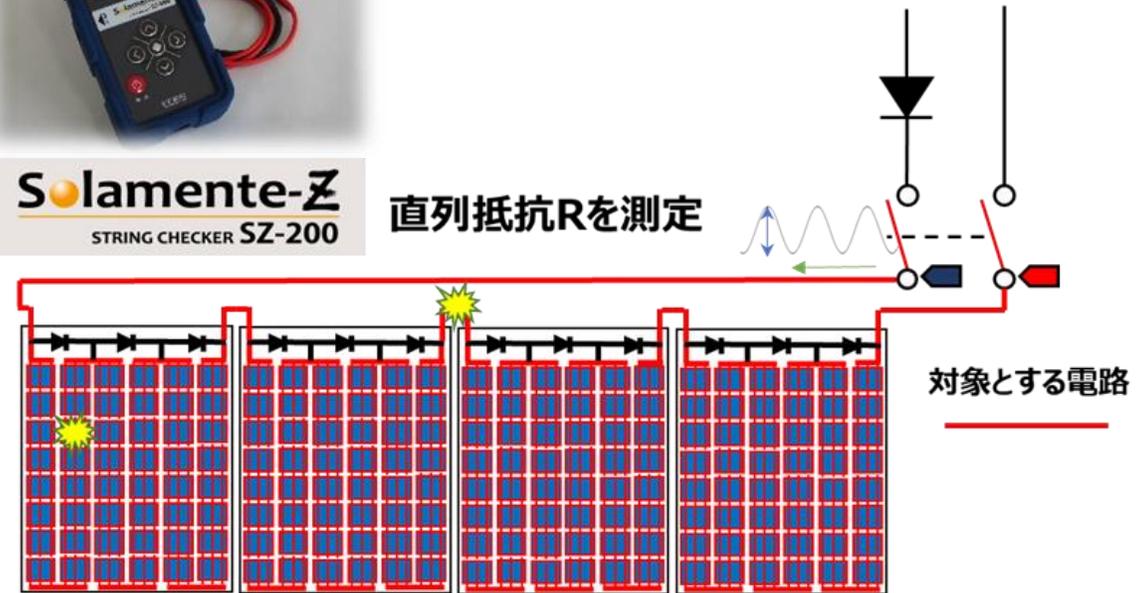
保守点検ガイドラインより抜粋

参考太陽光発電システム保守点検ガイドライン（一般社団法人日本電機工業会，一般社団法人太陽光発電協会）2019年12月27日改訂
 JPEA : https://www.jpea.gr.jp/feature/o_m/



Solamente-Z
STRING CHECKER SZ-200

直列抵抗Rを測定



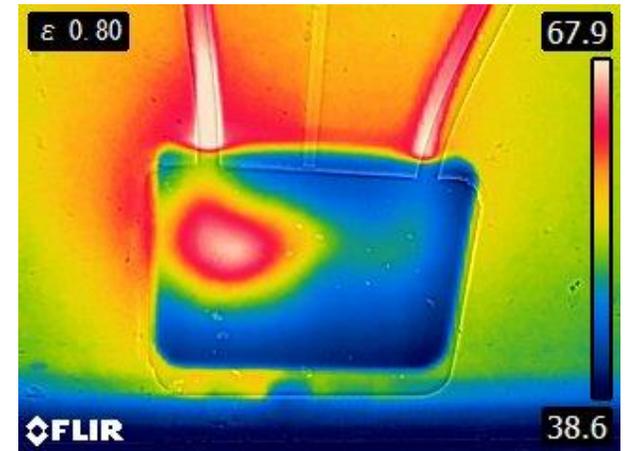
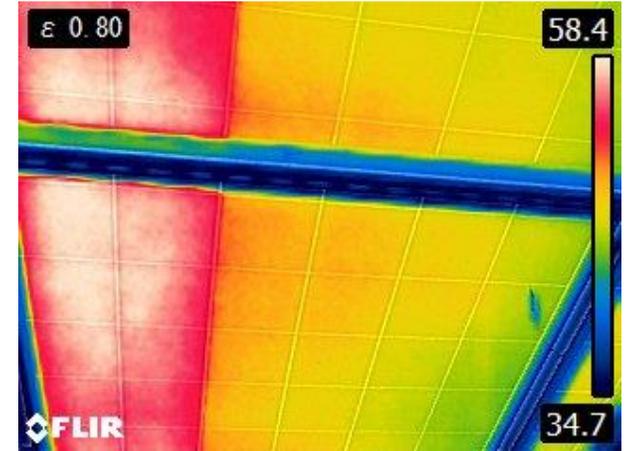
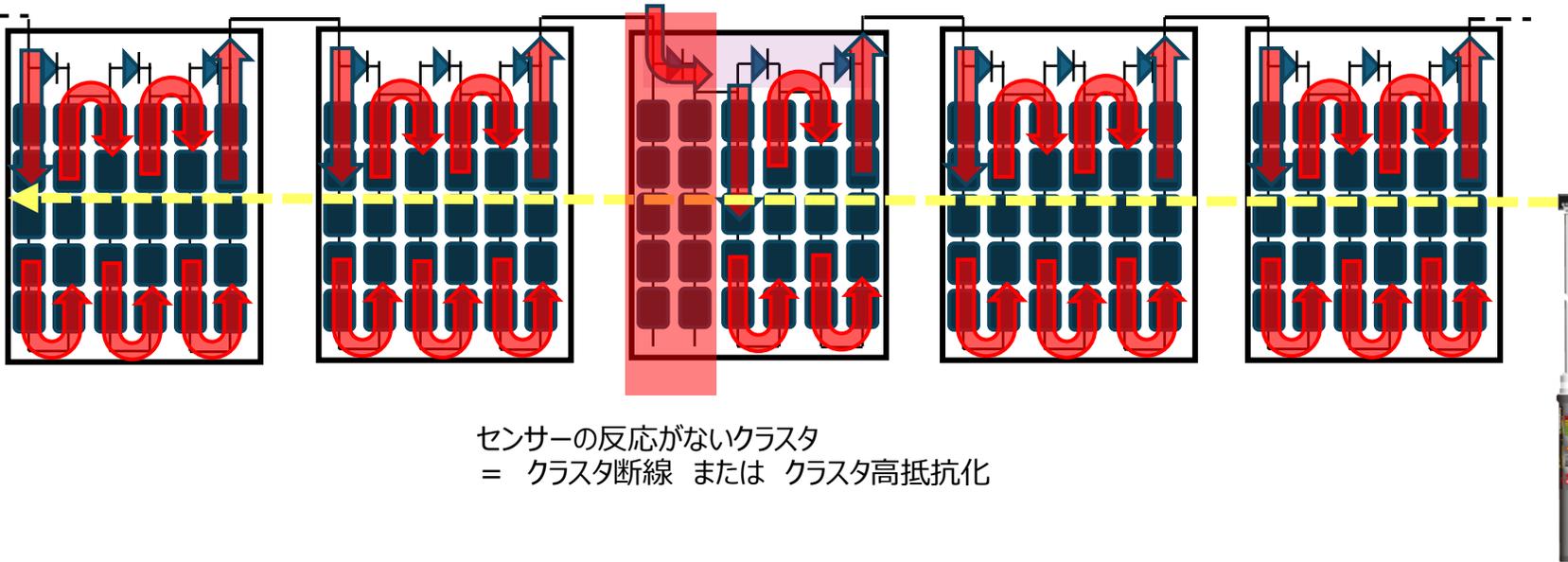
調査対象のストリングを電流が通流する状態にする。

(モジュールのレイアウト図と実際のレイアウトが異なる場合があるので注意が必要です。)

ソラメンテ-iSのセンサー感度を初期化する。

モジュール表面をタッチしてセンサーが反応しないクラスタを特定する。

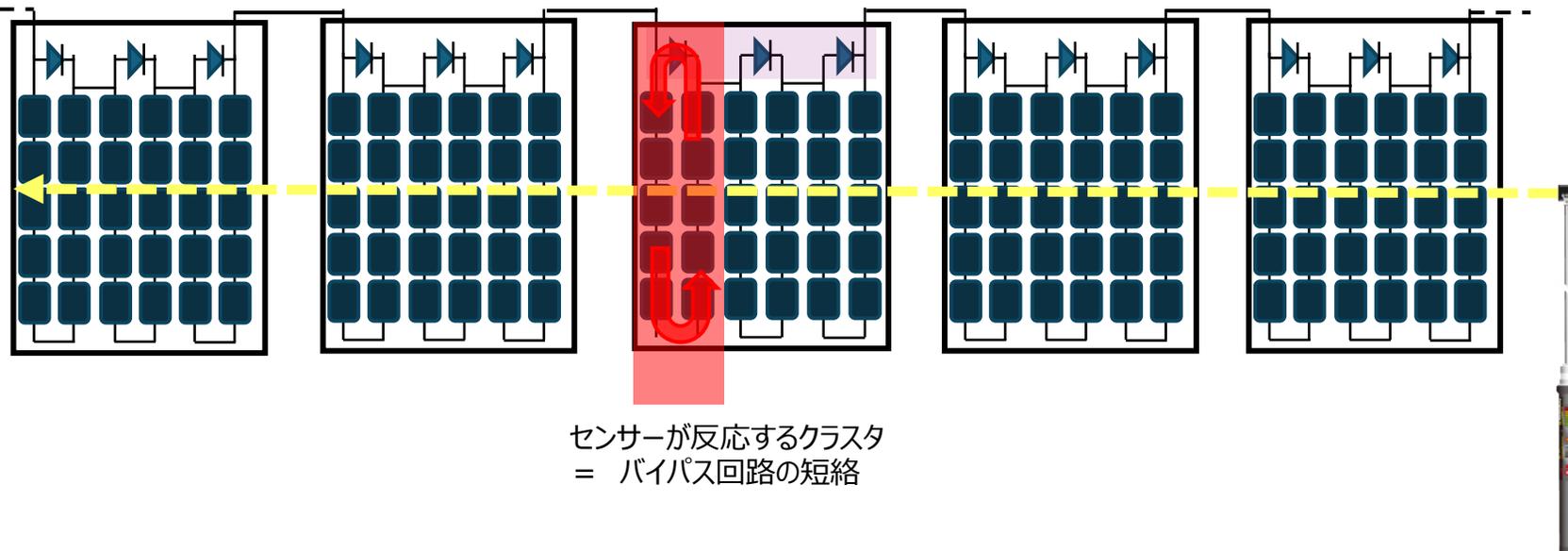
(自身の影でクラスタを遮光しないように注意が必要です。)



ストリングを負荷から切り離し，開放状態にします。

ソラメンテ-iSのセンサー感度を初期化します。

モジュール表面をタッチしてセンサーが反応するクラスタを特定します。



PCS	ST	ソラメンテ-Z		絶縁抵抗	バイパスダイオードテスタ		
		開放電圧(V)	抵抗値(Ω)	P-E(MΩ)	抵抗値(Ω)	Isc	Isc+α
8	1	208	4	167	>15.0	2.8	3.8
	2	238	6	137	>15.0	2.8	3.8
	3	130	27	156	oPn	2.8	3.6
	4	276	5	495	1.5	2.9	3.9
9	1	274	4	163	1.2	3.2	4.2
	2	160	8	222	5.0	3.0	4.0
	3	228	4	156	oPn	2.9	2.9
	4	274	4	342	2.9	3.0	3.9

13.4.3 バイパスダイオード試験

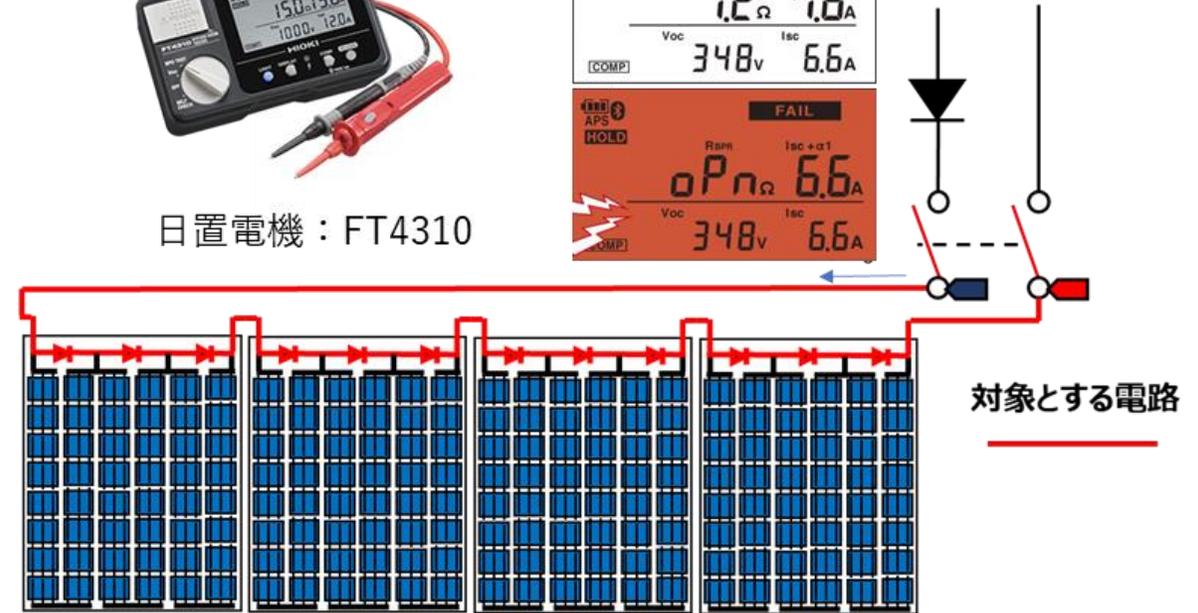
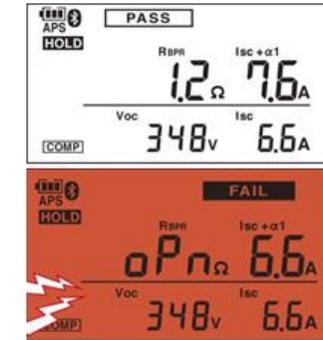
バイパスダイオードは、オープン故障又はショート故障が発生するおそれがある。あるストリングが他のストリングの平均電圧よりも低い電圧である場合は、ダイオードが1つ以上短絡(ショート)している兆候があると予測できる。オープン故障したダイオードは、部分的な日陰などバイパス回路として動作しない限り、故障の兆候が表れないため、故障判定が難しい。別途、バイパスダイオード故障判定装置などを使用することを推奨する。バイパスダイオードの故障がある場合は、太陽電池モジュール製造業者と協議して、当該バイパスダイオードが交換可能であるか、それとも当該太陽電池モジュール全体を取り外して交換すべきか決定する。

保守点検ガイドラインより抜粋

参考太陽光発電システム保守点検ガイドライン (一般社団法人日本電機工業会, 一般社団法人太陽光発電協会) 2019年12月27日改訂
 JPEA : https://www.jpea.gr.jp/feature/o_m/



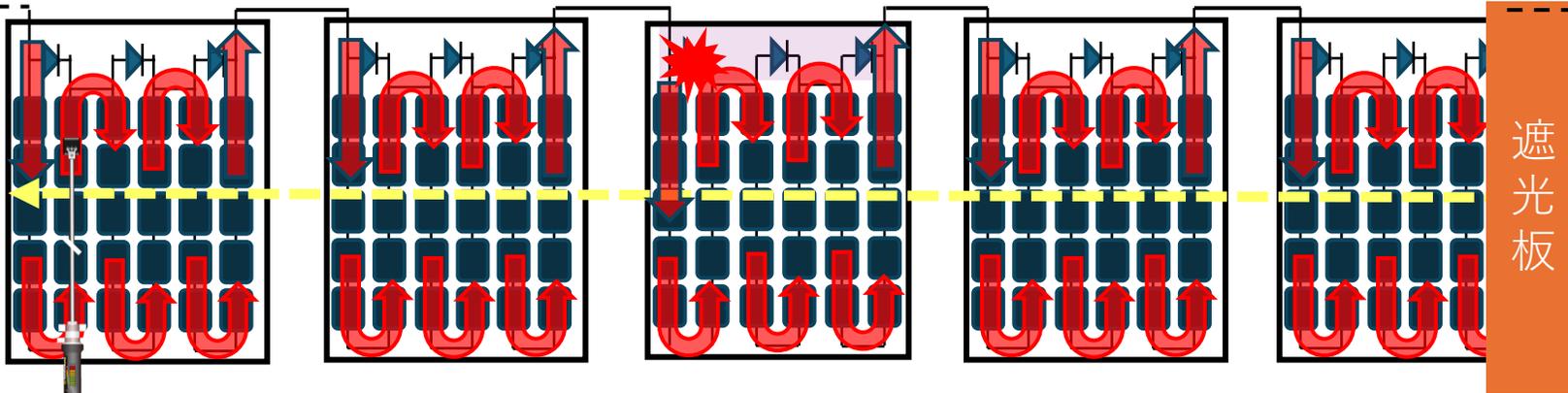
日置電機 : FT4310





①ソラメンテ-iSのセンサーを異常回路上の
いずれかのパネルの電極に当てておく。
(バスバー上がおすすめ)

②遮光シートを使って、異常回路上の
各クラスタを十分遮光する。



正常であれば、
ソラメンテ-iSの反応が継続する。

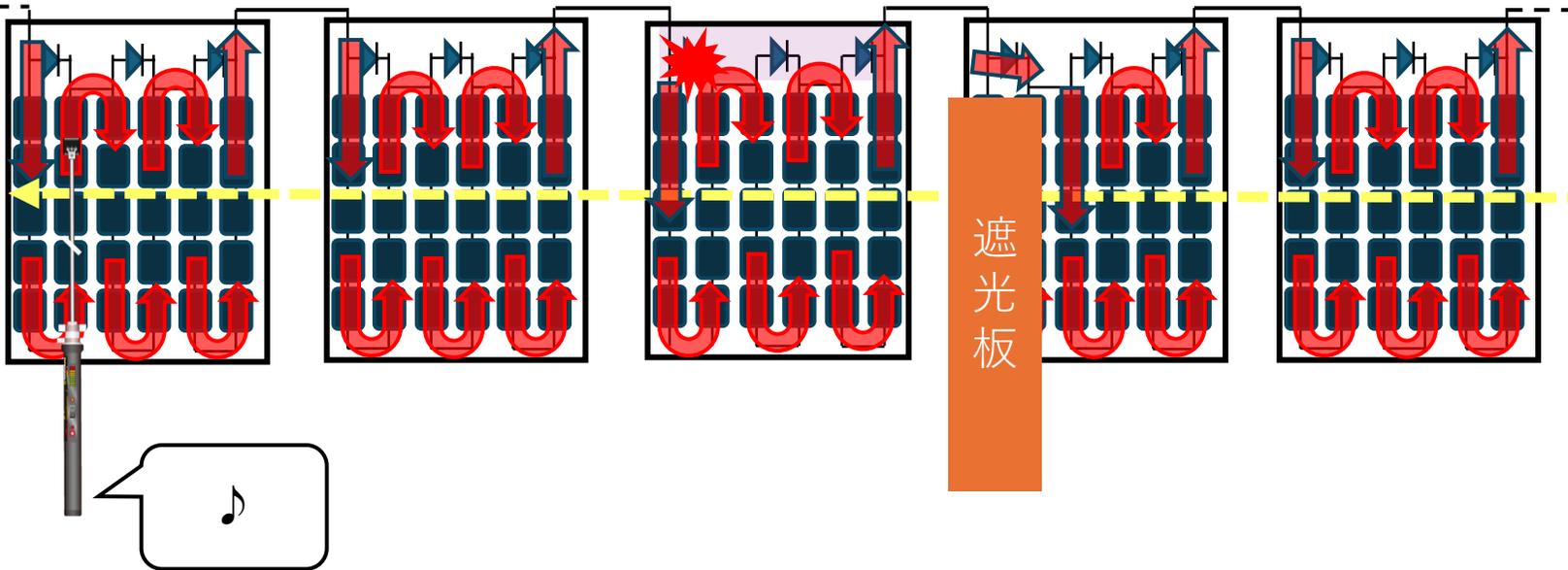
異常であれば、
ソラメンテ-iSの反応が停止する。





①ソラメンテ-iSのセンサーを異常回路上の
いずれかのパネルの電極に当てておく。
(バスバー上がおすすめ)

②遮光シートを使って、異常回路上の
各クラスタを十分遮光する。



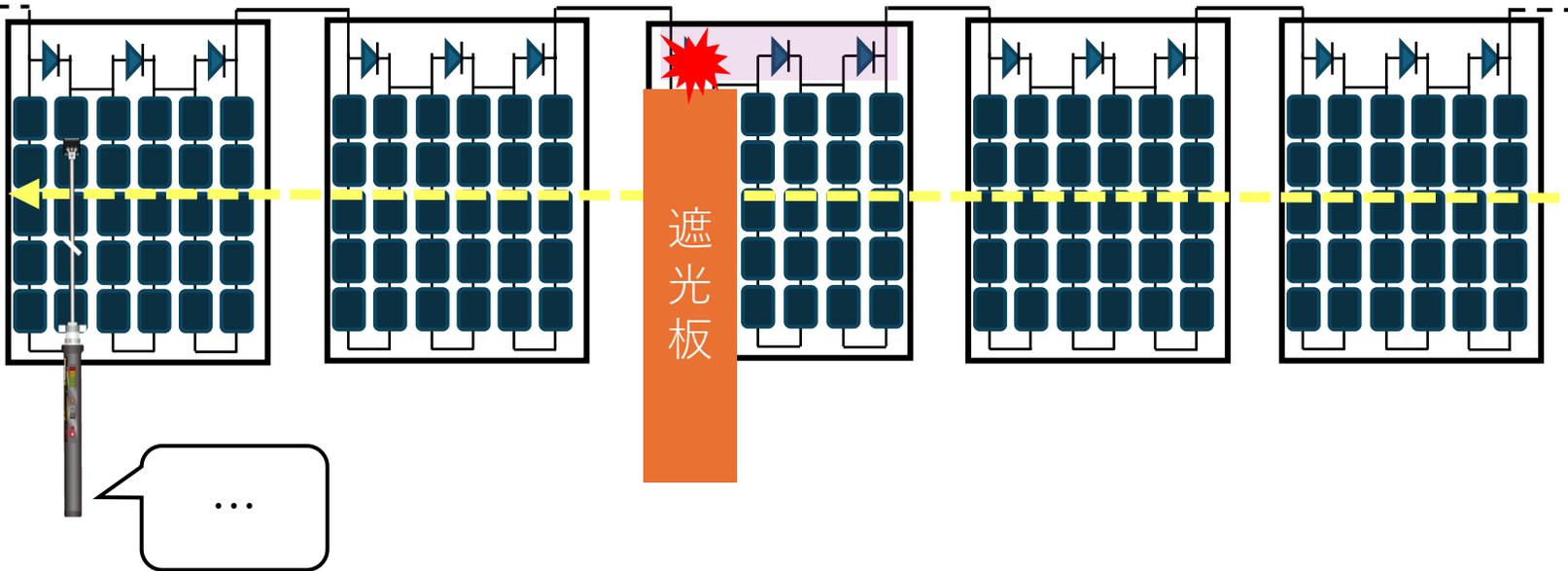
正常であれば、
ソラメンテ-iSの反応が継続する。

異常であれば、
ソラメンテ-iSの反応が停止する。



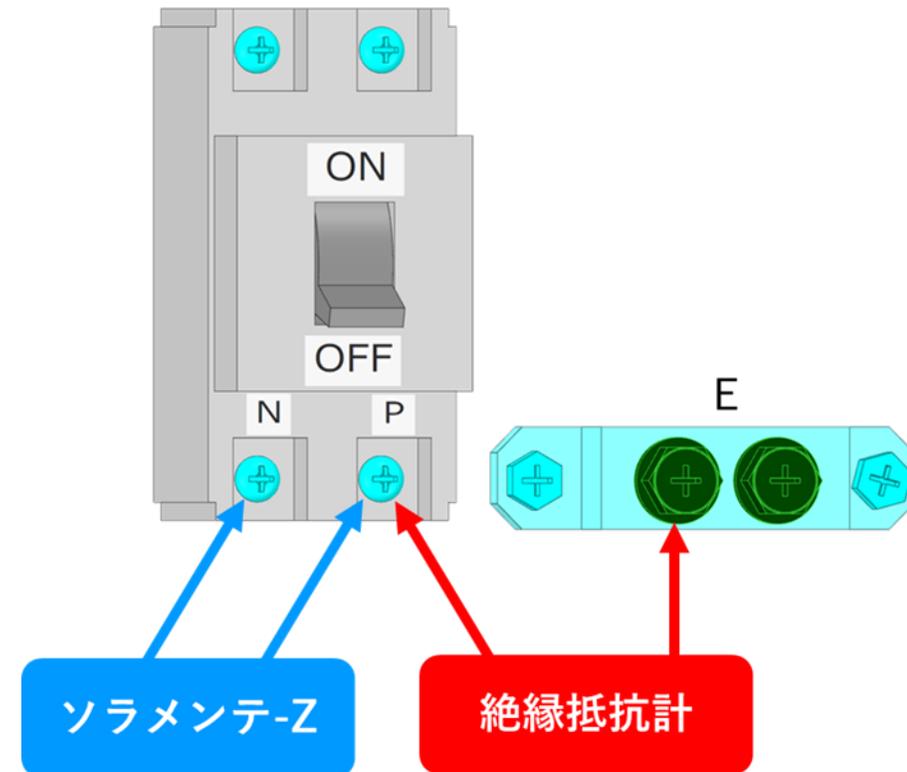
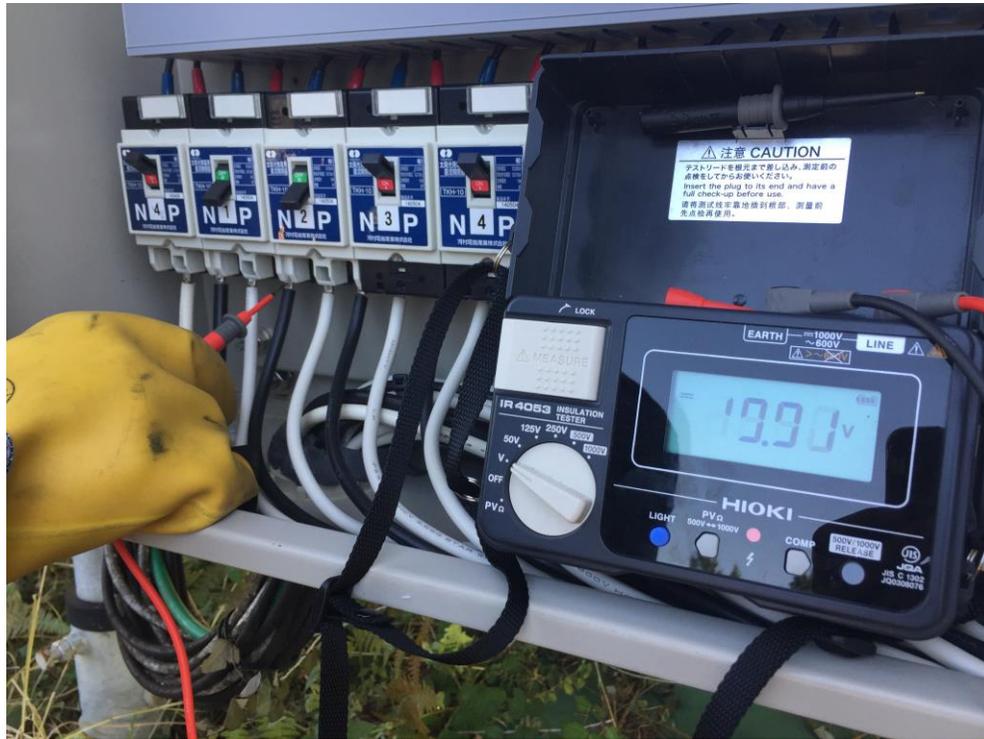
①ソラメンテ-iSのセンサーを異常回路上の
いずれかのパネルの電極に当てておく。
(バスバー上がおすすめ)

②遮光シートを使って、異常回路上の
各クラスタを十分遮光する。



正常であれば、
ソラメンテ-iSの反応が継続する。

異常であれば、
ソラメンテ-iSの反応が停止する。

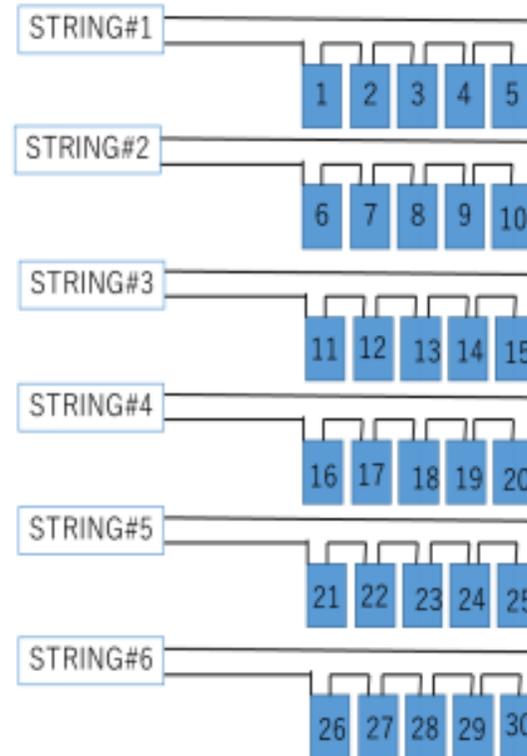


ITESの調査事例（経年劣化）

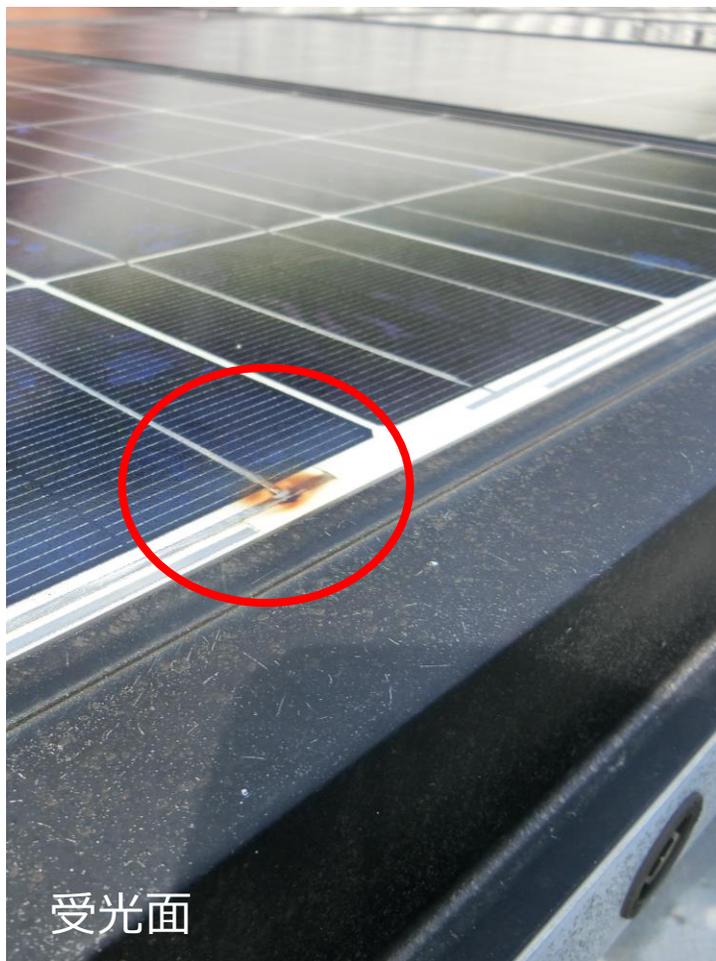
第27回太陽光発電国際会議（PVSEC-27）

<https://www.ites.co.jp/wp-content/uploads/68b15b69e65613bdb395e20d3425afb9.pdf>

string	Z(Ω)	Voc(V)	judgment
#1	33	146	NG
#2	>1000	0	NG
#3	610	141	NG
#4	>1000	0	NG
#5	160	141	NG
#6	7	155	OK



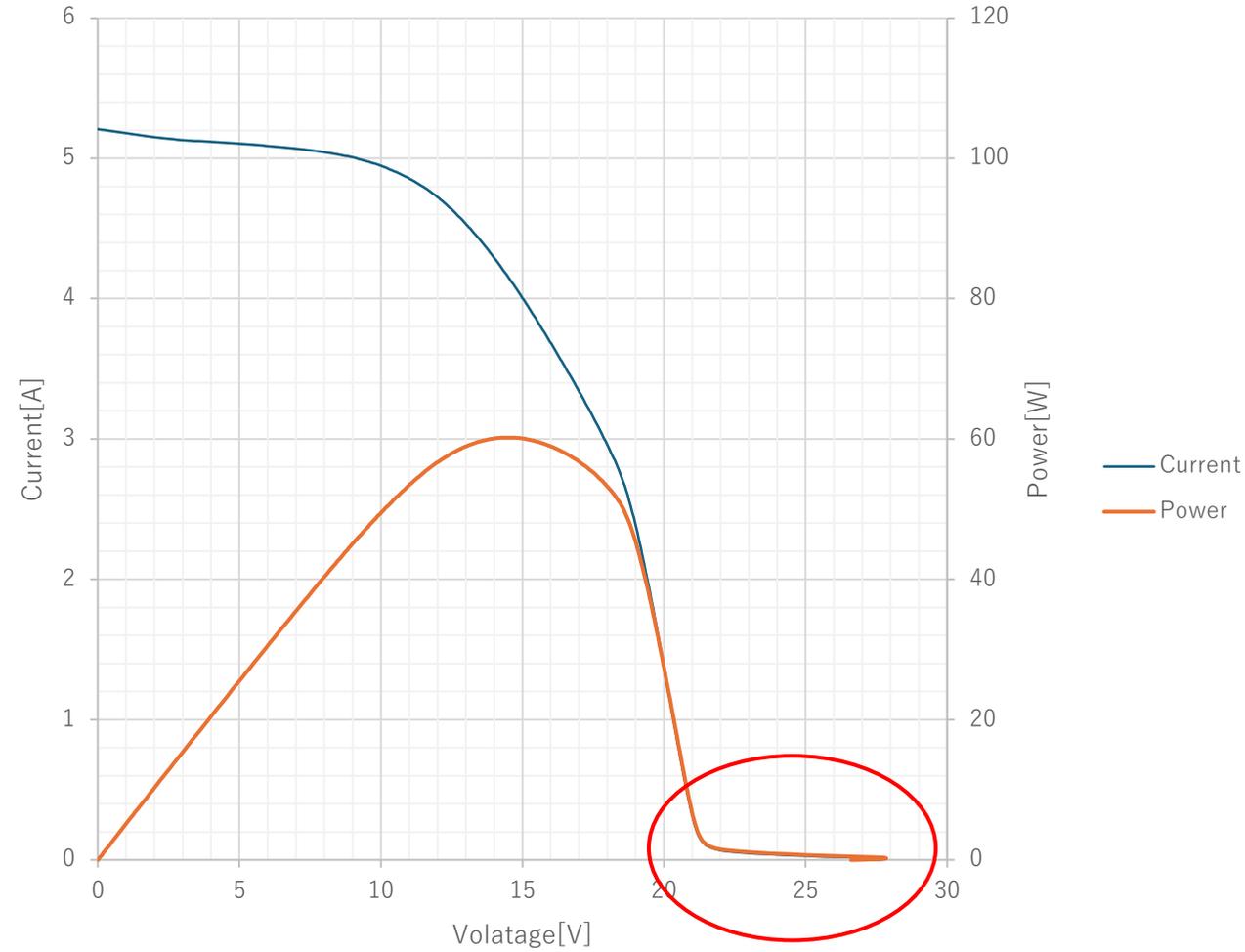
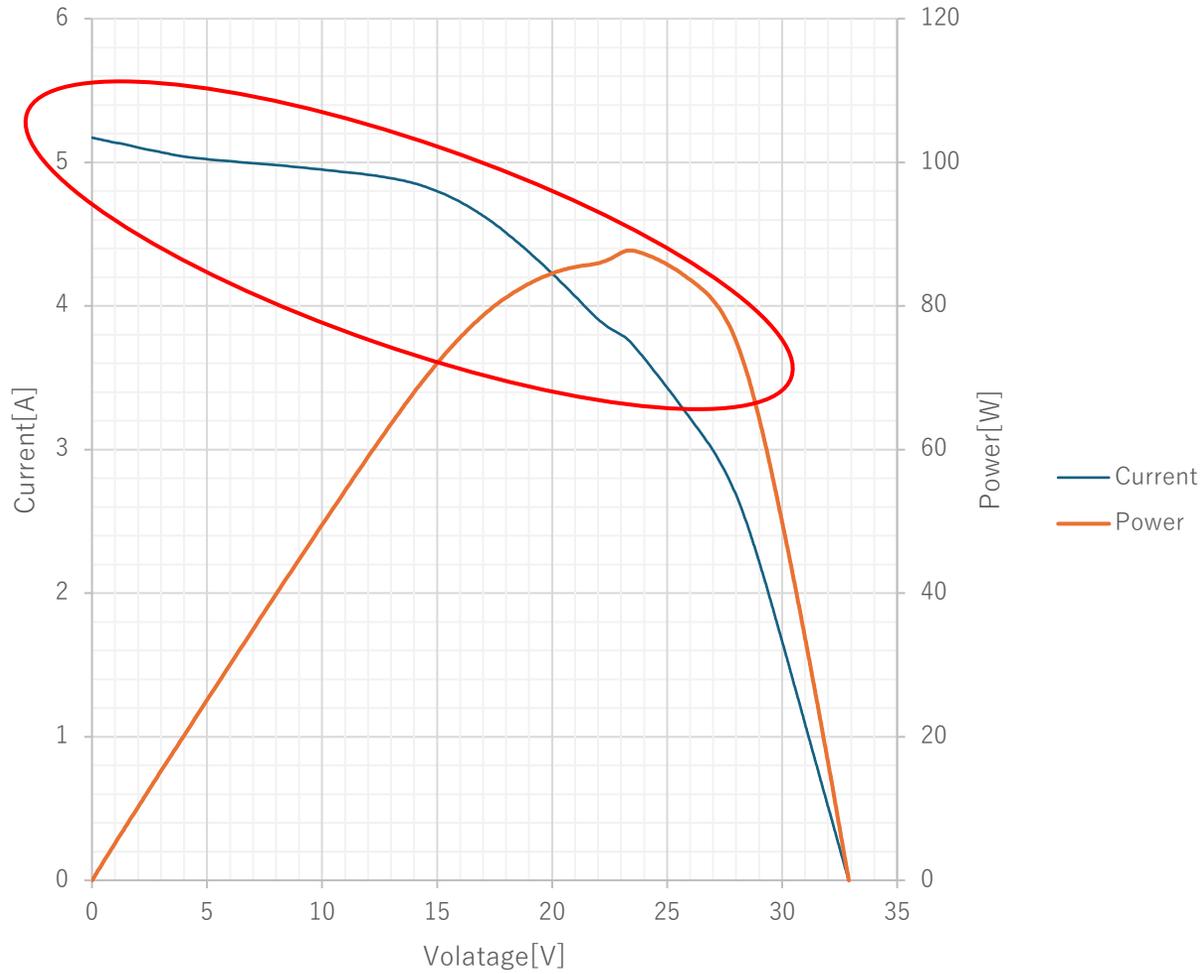
5 直の 6 本のstringでソラメンテ-Zにより点検するとインピーダンスZが高いstringや開放電圧 V_{OC} がないstringが見られた。

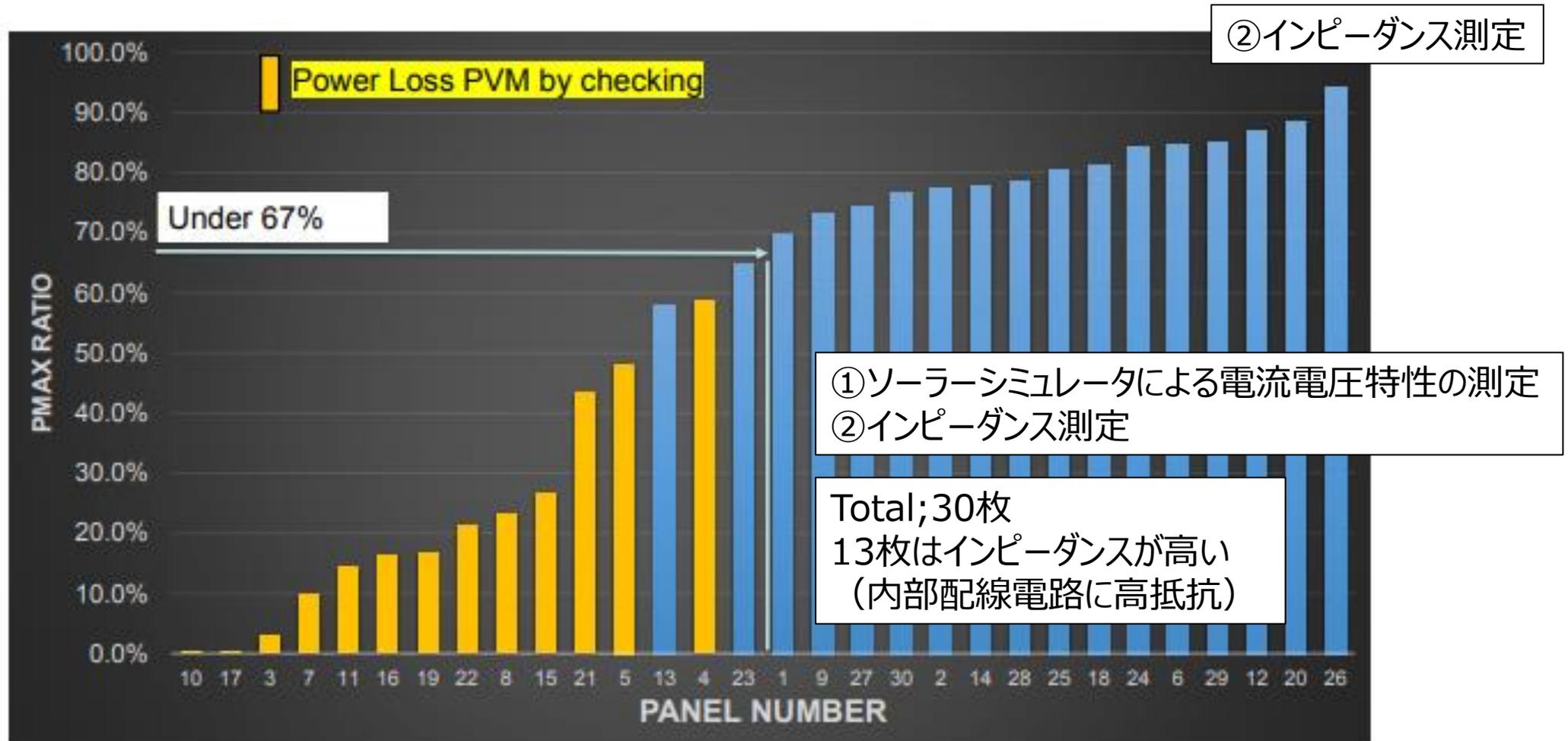


目視による焦げを確認

- ①ソーラーシミュレータによる電流電圧特性の測定
- ②インピーダンス測定
- ③高抵抗箇所断面観察
- ④ E L 画像撮影
- ⑤湿潤漏れ電流試験

①ソーラーシミュレータによる電流電圧特性の測定





最大出力のパネルを100としたときの、30枚のパネル出力順位

③高抵抗箇所の断面観察

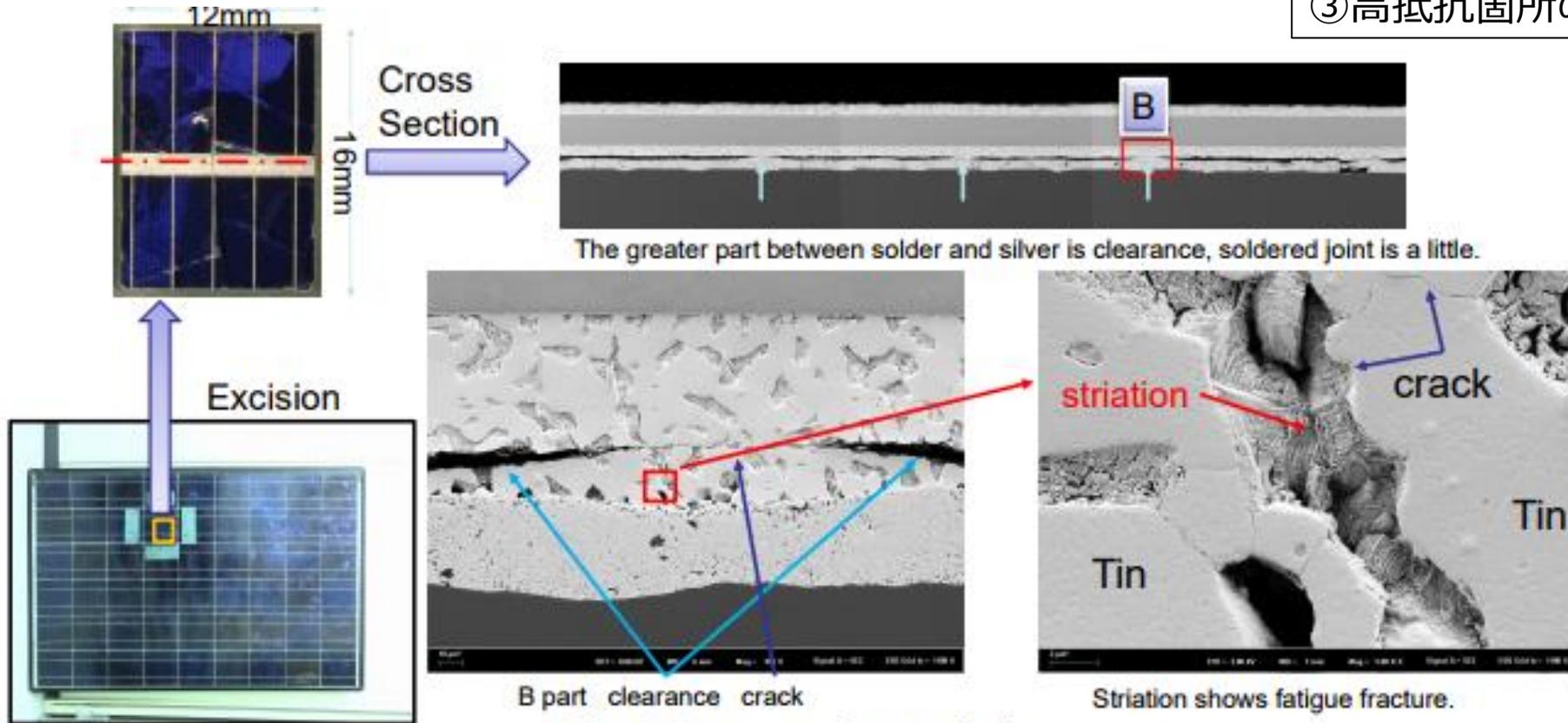
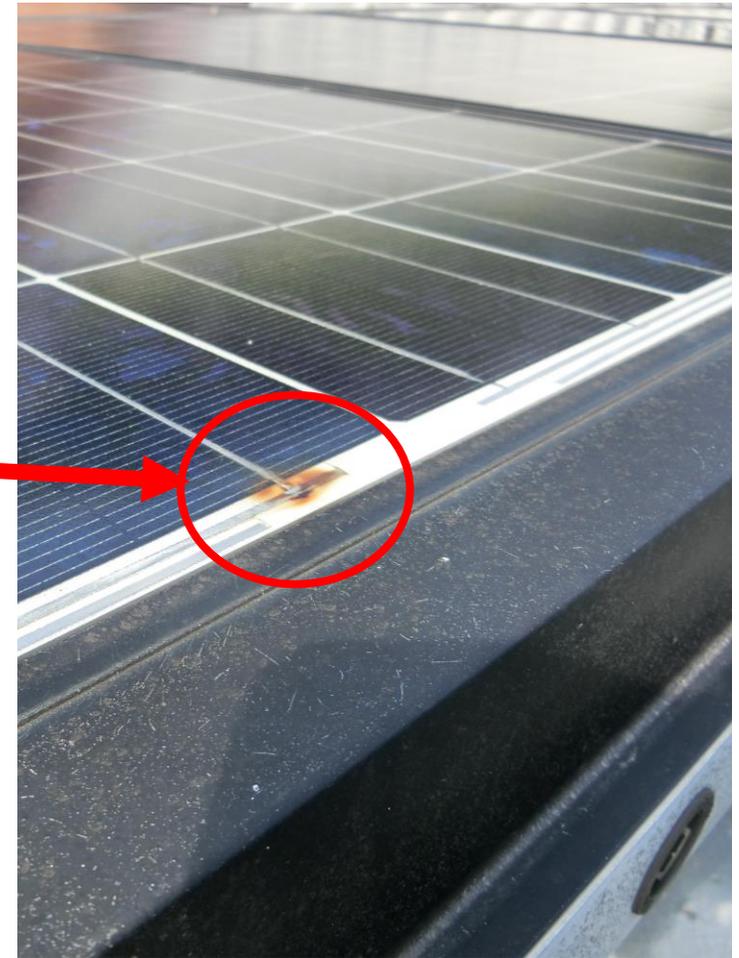
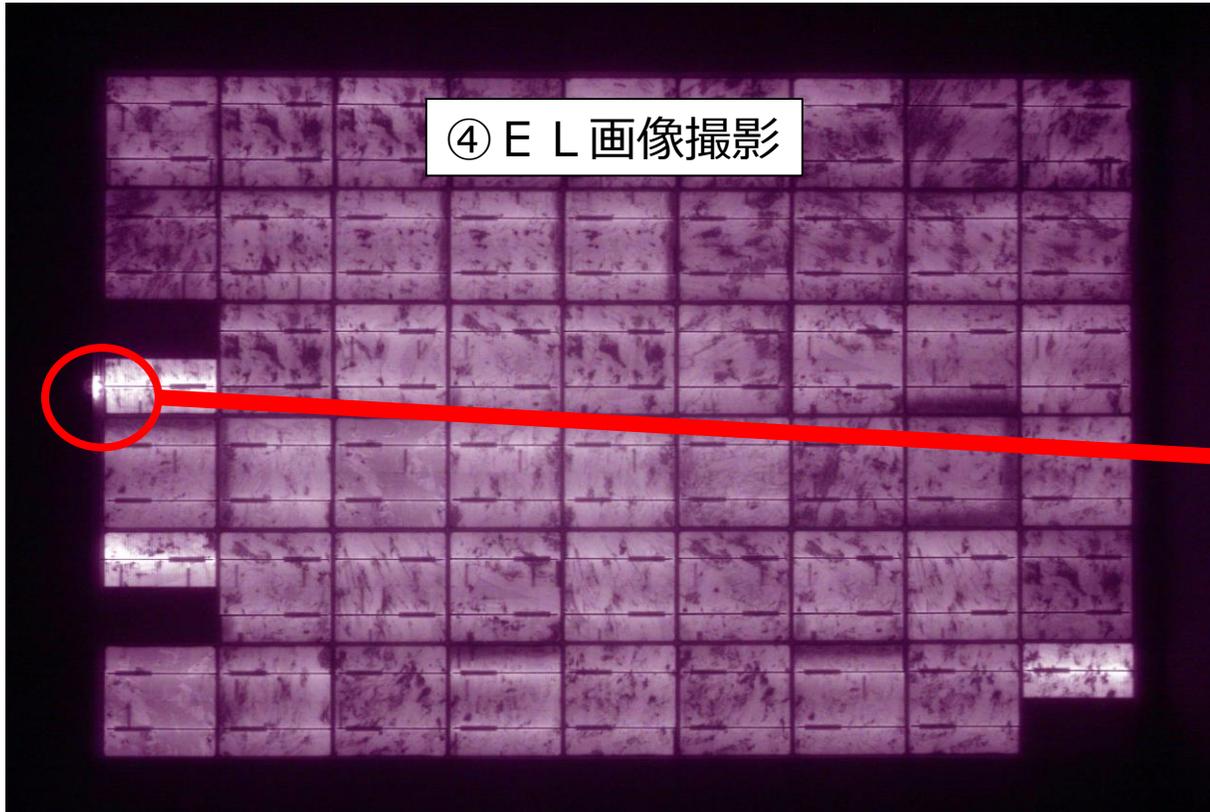


Fig.5 Cross section analysis

④ E L 画像撮影



⑤ 湿潤漏れ電流試験

非受光面側のジャンクションボックス付近

水槽

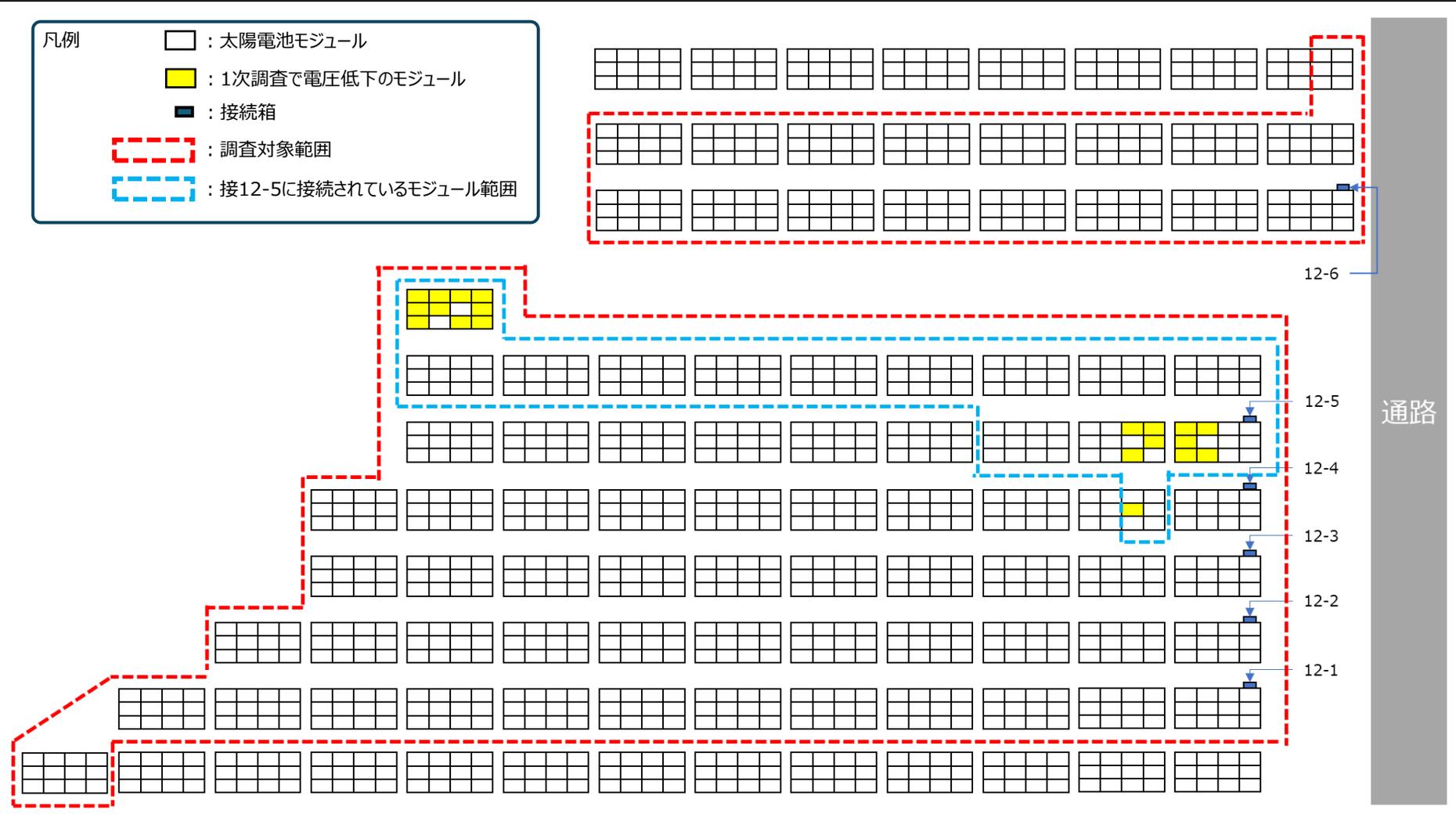
パネル

水槽に水を張り、パネルを
沈めて電圧を加えて観察する。

ITESの調査事例（被雷）

現地調査までの経緯

- 凡例
- : 太陽電池モジュール
 - : 1次調査で電圧低下のモジュール
 - : 接続箱
 - : 調査対象範囲
 - : 接12-5に接続されているモジュール範囲



【調査範囲確定の経緯】

接12-5のストリングのみ
 ※1次調査の電圧低下モジュールの2ストリングがあったため



落雷被害を想定しジャンクションボックス確認



接12-5だけでなく12-4と12-3に亀裂や膨張を確認

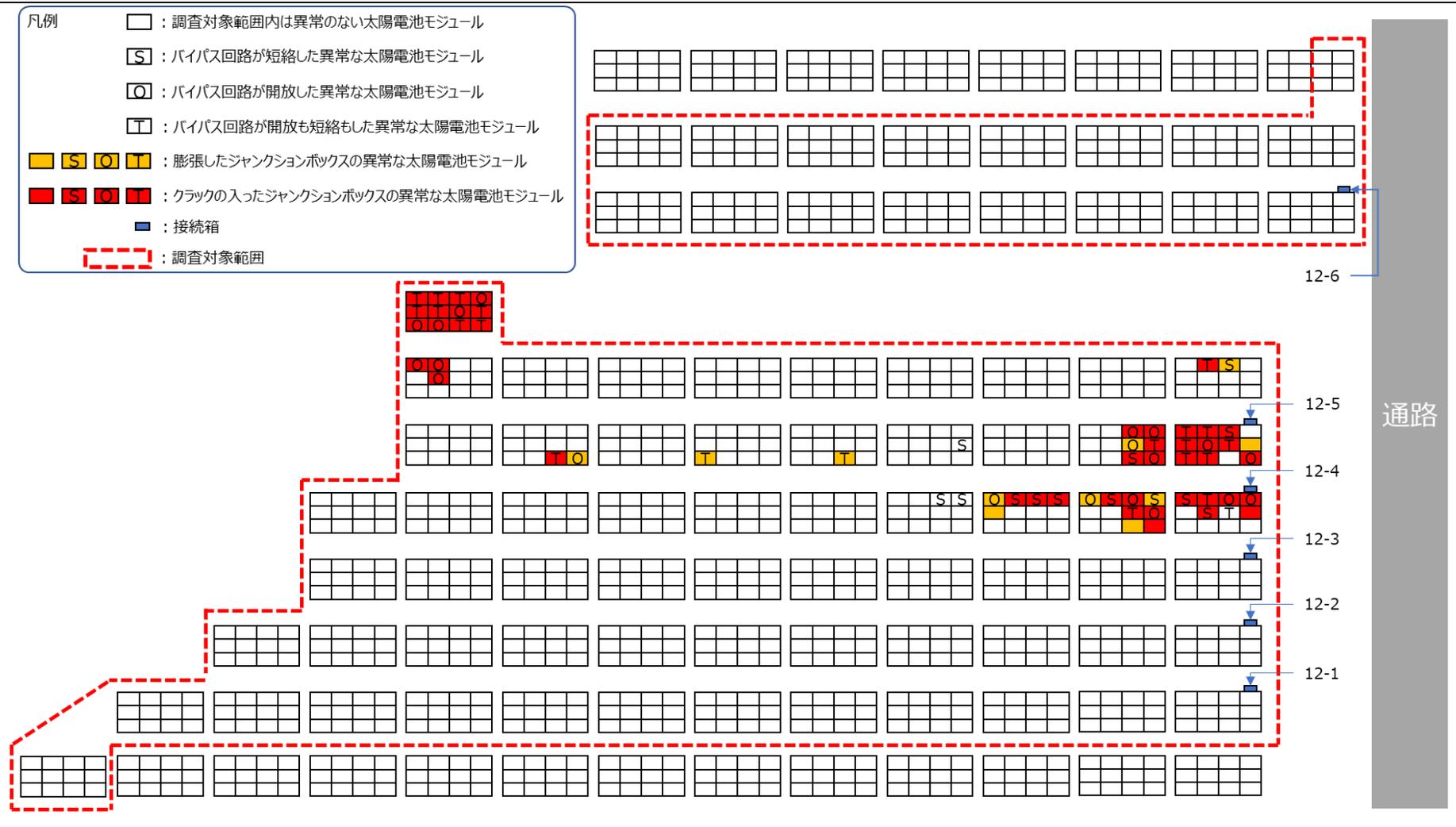


落雷被害範囲を特定するため、調査範囲を「接12-1～12-6」と決定

調査結果①

接続箱 No	日射量 [W/m ²]	ストリング No	インピーダンス測定		バイパス回路測定			絶縁抵抗測定	故障パネル 枚数	1次調査で電圧低下 のモジュール枚数
			V _{oc} [V]	Z [Ω]	I _{sc} [A]	I _{sc} +α [A]	R _{BPR} [Ω]	IR[MΩ]		
12-3	708	1	683	9	6.2	6.2	OPEN	251	7	
		2	758	8	6.3	7.3	2.3	253		
		3	758	8	6.2	7.3	2.6	230		
		4	758	9	6.4	7.4	2.8	231		
		5	758	9	6.4	7.4	3.2	248		
		6	759	10	6.4	7.4	3.0	234		
		7	760	10	6.4	7.4	3.4	240		
12-4	729	1	704	9	6.5	6.5	OPEN	208	7	
		2	730	9	6.6	7.6	2.9	224	2	
		3	756	9	6.6	7.6	2.9	239		
		4	758	9	6.6	7.6	3.3	240		
		5	751	10	6.6	7.6	3.8	244		
		6	770	11	6.6	7.6	3.5	261		
		7	731	9	6.5	6.6	OPEN	226	2	
		8	745	9	6.6	6.6	OPEN	240	1	
		9	733	10	6.6	6.6	OPEN	245	2	
		10	753	10	6.6	7.6	4.3	262		
12-5	765	1	652	9	6.7	6.7	OPEN	219	18	10
		2	754	8	6.9	7.9	2.5	223		
		3	716	8	6.7	6.7	OPEN	231	6	
		4	758	9	6.8	7.8	2.8	268		
		5	758	9	6.8	7.8	2.9	264		
		6	758	9	6.8	7.8	2.9	241		
		7	755	10	6.8	7.8	3.6	258		
		8	762	10	6.9	7.9	3.4	244		
		9	662	10	6.7	6.7	OPEN	273	15	10
計								60	20	

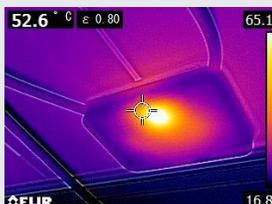
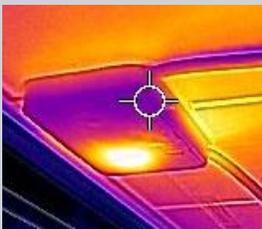
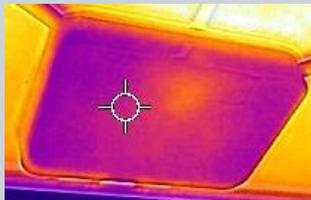
- 凡例
- : 調査対象範囲内は異常のない太陽電池モジュール
 - S : バイパス回路が短絡した異常な太陽電池モジュール
 - O : バイパス回路が開放した異常な太陽電池モジュール
 - T : バイパス回路が開放も短絡もした異常な太陽電池モジュール
 - S ■ O ■ T : 膨張したジャンクションボックスの異常な太陽電池モジュール
 - S ■ O ■ T : クラックの入ったジャンクションボックスの異常な太陽電池モジュール
 - : 接続箱
 - : 調査対象範囲



【異常パネルの内訳】

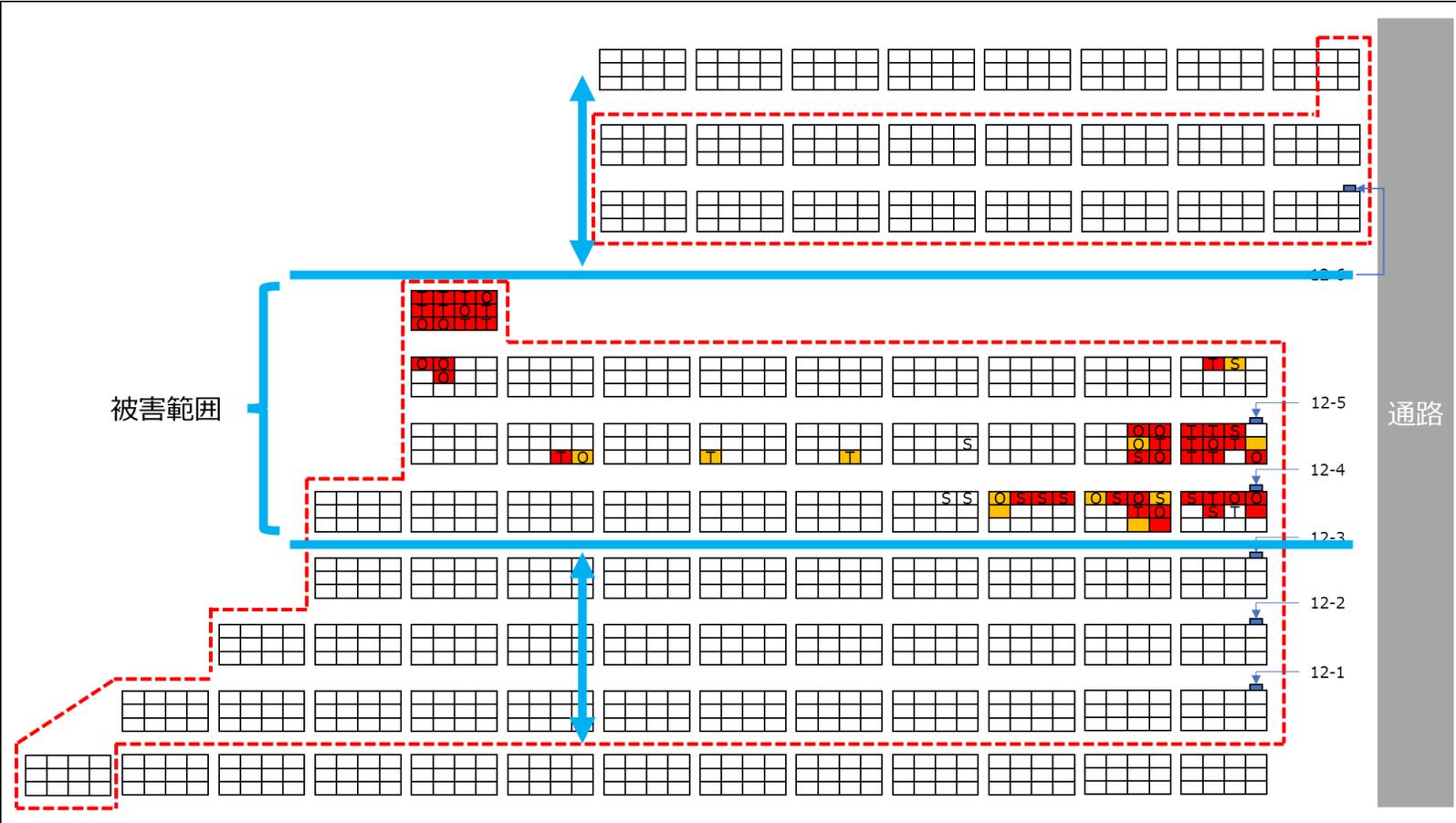
- ①異常の種類
 - ・バイパス回路：開放、短絡
 - ・ジャンクションボックス：クラック、膨張
- ②異常モジュール総数： **60枚**
- ③バイパス回路異常モジュール枚数
 - ※バイパス回路異常は開放と短絡
 - ： **56枚**
 - ⇒ジャンクションボックスに外観異常がないモジュール枚数： **4枚**
- ③ジャンクションボックスの外観異常モジュール枚数
 - ⇒バイパス回路異常がないモジュール枚数： **4枚**

【バイパス回路が異常であった太陽電池モジュールのジャンクションボックス】

外観異常がある場合		外観異常がない場合	
熱画像	可視画像	熱画像	可視画像
 <p>20.1 °C ε 0.80 26.9 FLIR 15.6</p>		 <p>52.6 °C ε 0.80 65.1 FLIR 16.8</p>	
			

バイパス回路に異常はないがジャンクションボックス外観に異常あり

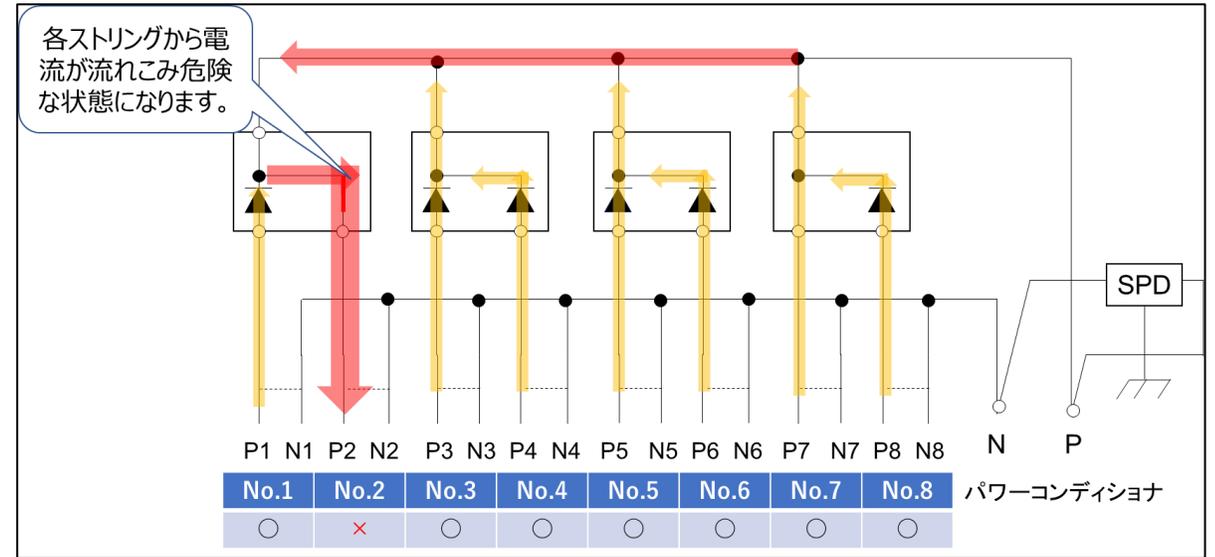
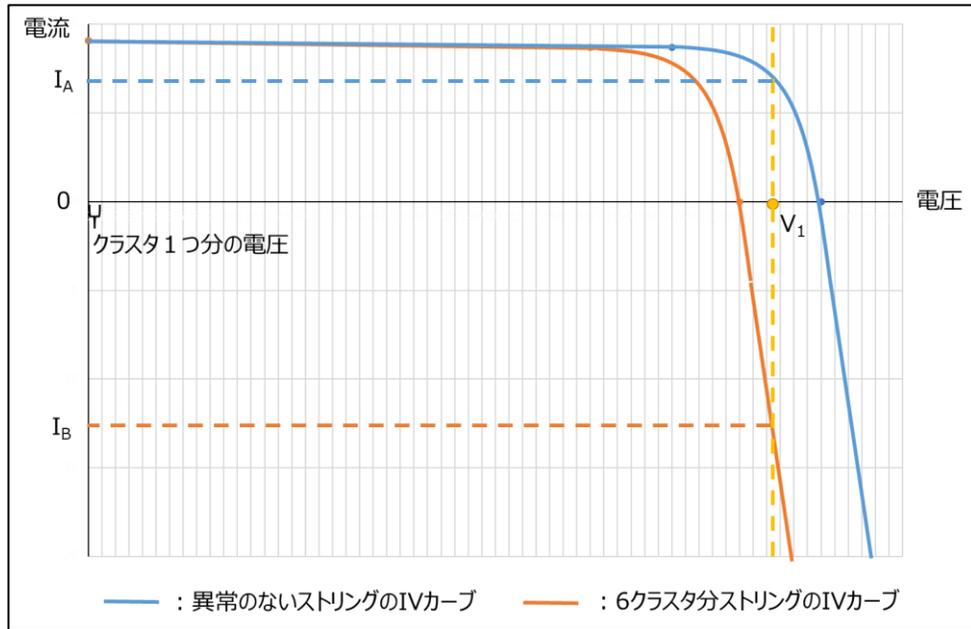




【落雷被害時の調査ポイント】

- ① 太陽電池モジュール
 - ・故障個所はバイパス回路（開放、短絡）に集中
 - ※電気測定で上記と判断されなくても、ジャンクションボックスの異常（亀裂、膨張）がある
- ② 接続箱
 - ・バイパス回路短絡が多発すると逆流する可能性あり
 - ⇒該当ストリングはヒューズ切れがないか確認
 - ※逆流防止ダイオード式の場合は、逆流防止ダイオードが短絡している可能性がある
- ③ 被害範囲の特定
 - ・落雷被害は局所的に集中して発生することが多い
 - ⇒被害範囲を中心に調査範囲を広げて、被害範囲を特定する

stringの逆流について



【逆流が発生する理由】

- ・異常のないstring : $826V = 45.9V(1\text{モジュール開放電圧}) \times 18\text{直}$
- ・6クラスタでバイパス回路が短絡しているstring : $91.8V\text{低下} = 15.3V(1\text{クラスタ分の開放電圧}) \times 6\text{クラスタ}$



PCS制御にて電圧(V_1)となると、バイパス回路が短絡しているstringの電流はマイナス値(I_B)となるため、逆向きに電流が通流する。

別設備での落雷被害事例



【逆流防止ダイオードの測定結果】

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12
動作電圧[V](順方向)	0	0	0	0.44	0.44	0.44	0.43	0.4	0.44	0.02	0.01	0.001
動作電圧[V](逆方向)	0	0	0	OL	OL	OL	1.77	0.72	OL	0.02	0.05	0.001
抵抗[Ω](順方向)	0.12	0.12	0.22	0.5M	0.5M	0.5M	2.2K	0.7K	22K	29.3	48.6	1.42
抵抗[Ω](逆方向)	0.12	0.12	0.23	1.8M	1.9M	1.7M	2.4M	0.7K	48K	29.3	49.6	1.51

異常
短絡故障

正常

電流

- ・逆流防止ダイオードが黒焦げになり短絡していた。
- ・外観上正常だが短絡しているものがあった。
- ・ダイオードの電気特性が劣化しているものもあった。