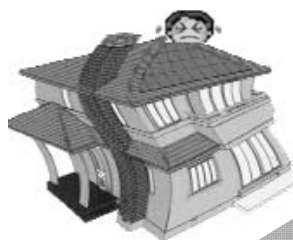


PVシステムを取り巻く構造および電氣的課題 (その① PV火災とその予防的見地からの議論)

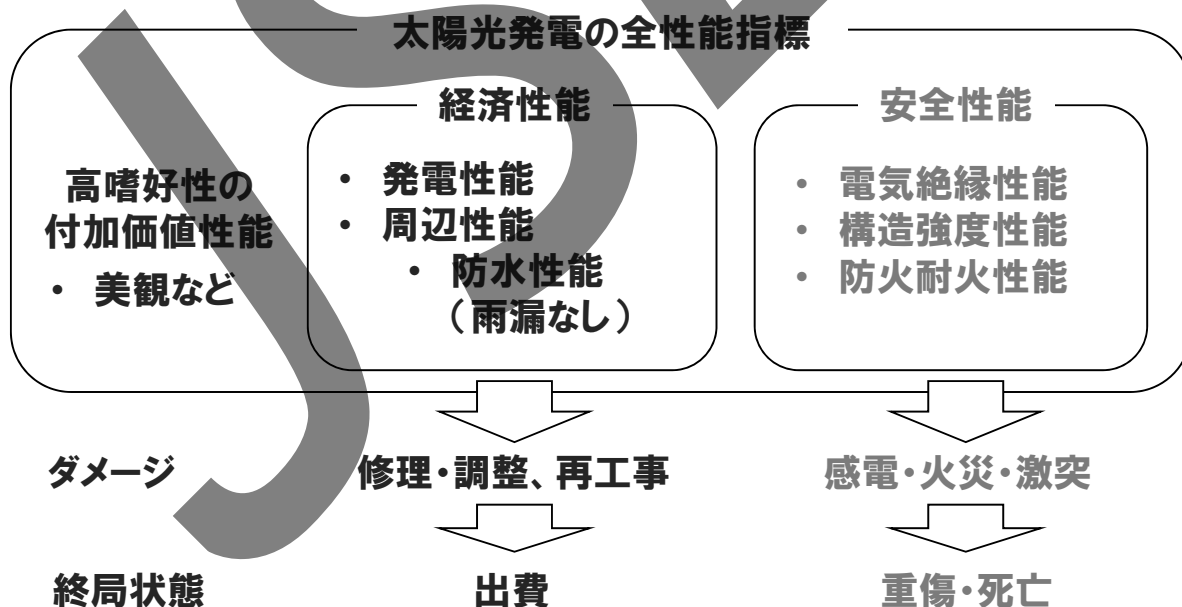


2013/6/3 太陽エネルギー学会
於：東京理科大学森戸記念館第1フォーラム

PVResQ!名古屋支部
吉富政宣



品質向上運動が対象とすべきは“安全性能”



●終局状態設計(最終形からモノを考える)

1. あれもこれもと欲張るわけにはいかない。優先順位が大切である。終局状態から優先順位付けを行うと、安全性能が最重要なのは明白。
2. 経済性能は、二次的な問題である。安全のための構造計算や電気電子回路設計も出来ないままに経済性能を望むのは、ブレーキの無いまま自動車の最高速を競うにも等しい荒唐無稽である。



PVカタストロフィ・・・対策面からの6分類

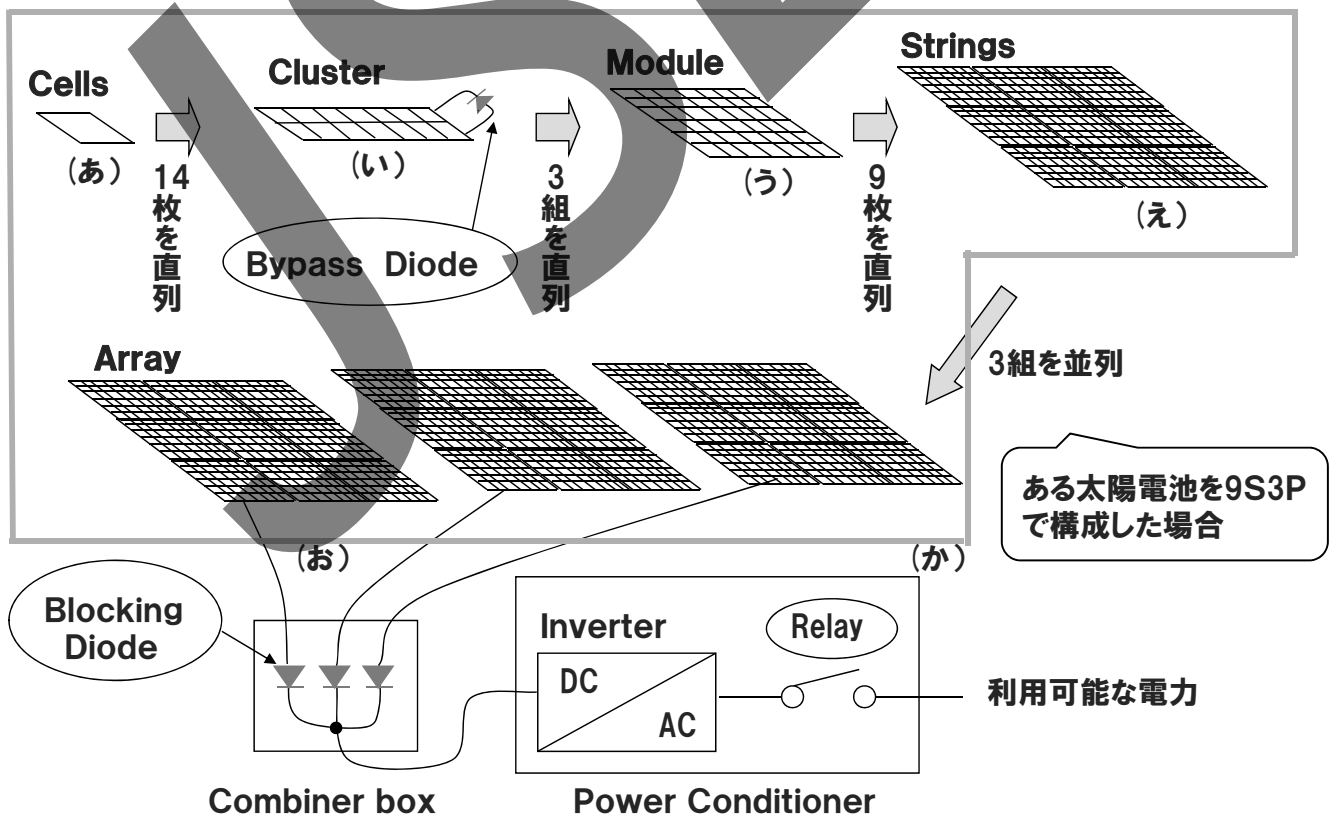
- ※ 地絡(非接地DC地絡、接地DC地絡、AC地絡)
 - 原因 絶縁物劣化、電路の外傷、モジュールの外傷
 - 対策 DC側はGFCI・RCM, AC側はELCB.
- ※ アバランシェブレイクダウン
 - 原因 BPD開放, クラスタ設計不良、セル設計不良, セル割れ, セルソート不良
 - 対策 BPD開放の検出、モジュール設計での対策(両者併用)
- ※ アーク(直列型、並列型、地絡型)
 - 原因 外傷、半田緩み、コネクタ緩み等無数. 劣化による生起は宿命的な面も.
 - 対策 地絡型を除き、完全回避は不可能(軽減策はある)
- ※ 逆電流
 - 原因 多点地絡、BLD短絡、ストリング間インバランス・ラインラインフォルト
 - 対策 GFCI、BLD短絡検出器、システム設計での対策(全て併用)
- ※ 消防士感電
 - 原因 上の全てのいずれか or 建物火災
 - 対策 上の対策機器の完備、処理箇所の明示
- ※ 構造物崩壊
 - 原因 転倒モーメント、リダンダンシーのなさ
 - 対策 風洞実験・構造設計技術の普及、ロバスト設計

どれも火災寄与条件たりうる。

3



現状のDC電路は、無保護に等しい



太陽光発電システムの直流部分は、セルの直並列の組み合わせからなる。この全体を“セルネットワーク”と言う。基本的にセルネットワーク～インバータまでの直流電路は無保護である。

4

※ 火災の事例紹介

- 発火部位3区間(屋内機器・配線・アレイ)・・・DC部はどこでも発火しうる
- 原因2大別(以下の組み合わせが火災原因となっていることが多い)
 - システム側 直列アーク・並列アーク・地絡アーク
 - デバイス側 逆電圧過電圧・順電流過電流
- PV原因ではない火災もある

※ 消防士感電、欧米での調査・研究開発

- ソフト的対策, ハード的対策
- 感電しきい値, 感電の種類

※ 日本はどうするべきか(欧米が参考になる)・・・今日は軽く言及するのみ。

- 欧米動向把握、日本独自の技術事情把握、実態調査、原因カテゴライズ
- すぐにできること、研究開発が必要なことの2分類
- 分かりきっている事故規模抑止策であって、すぐにできることは、すぐ実施する。
- リスクコミュニケーション(人々の油断防止、情報公開による噂の制御)
- 調査研究と定量化(感電レベル, 事故までのStep数カウント)
- Risk × Severity評価による優先順位付け
- 研究開発(ハード, ソフト)

今日の主題は枠内
目的はリスク認知

5

1

 まずは実例から
火災事例の紹介

2

 消防側のとりくみ
消防隊員の傷害リスクと欧米での対策動向

- 感電リスク等, 消火活動時の課題
- 欧米での対策動向

3

 業界側が行うべきこと
出火防止のための技術的課題

- 逆電圧象限動作
- 逆電流象限動作(モジュール・配線の過電流)
- 地絡保護の盲点
- アーク保護の現状

4

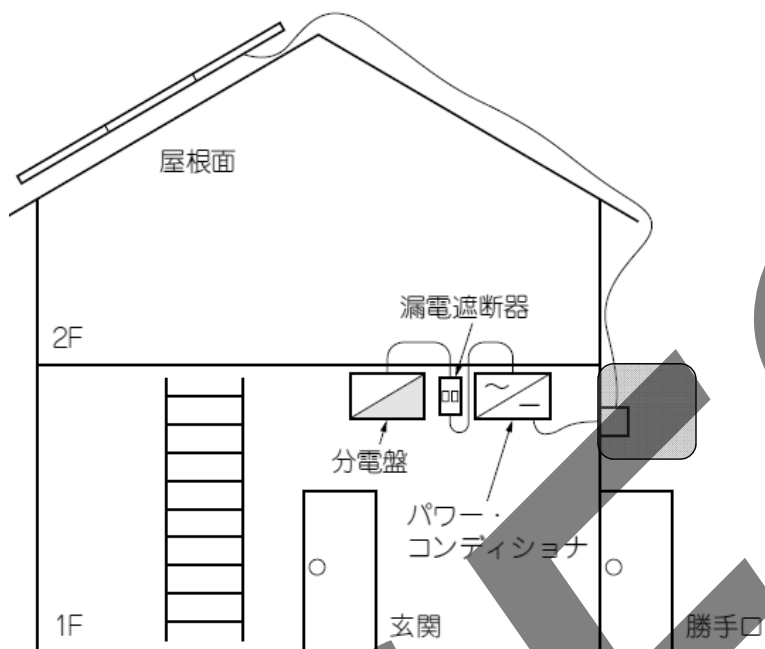
 まとめ
日本の取り組みの現状, 今すぐにできること

PVDC部

- ・ 部品や機器単体に起因
- ・ システム構成に起因

PV以外

- ・ 放火に起因
- ・ 建物火災に起因

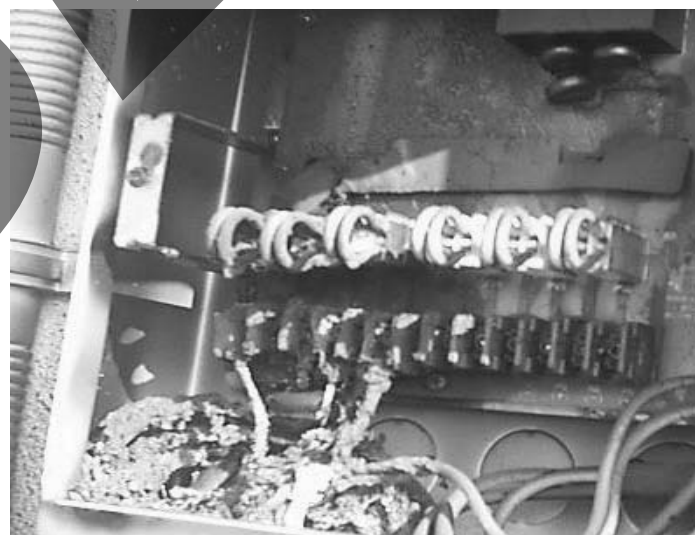


火元不明

- ・ 情報入手できなかった
- ・ 灰燼につき不詳



並列アーク・・・接続箱設計不良(複数要因あり)



接続箱の端子台間リークと発火

吉富電気資料

写真例は虫の死骸とフンによるリーク。

公式報告は筐体上部からの雨漏りだけを問題としている。

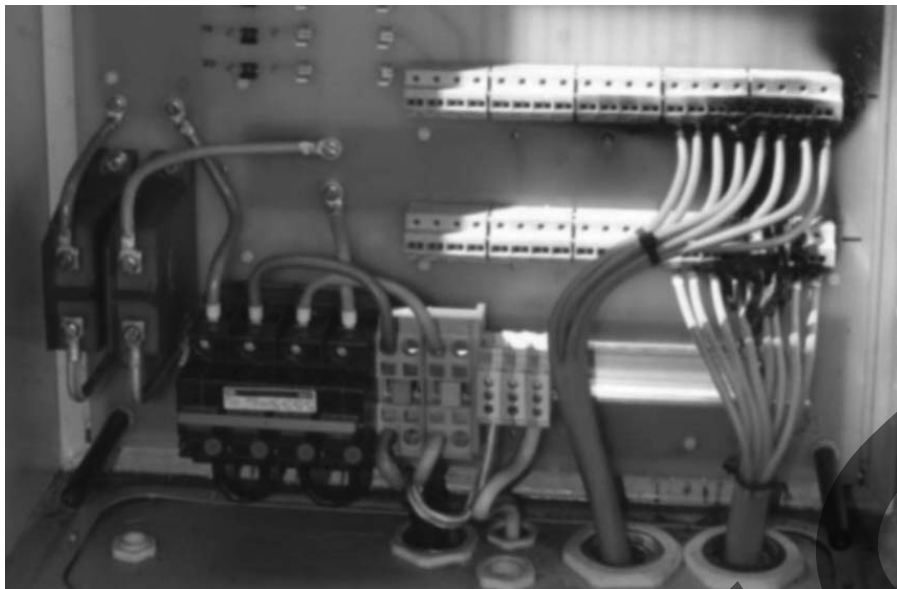
(長野県での最初の発覚事例が、筐体上部の融雪水が発火原因であったため)

2001年 製品設計不良 → 多数火災発生

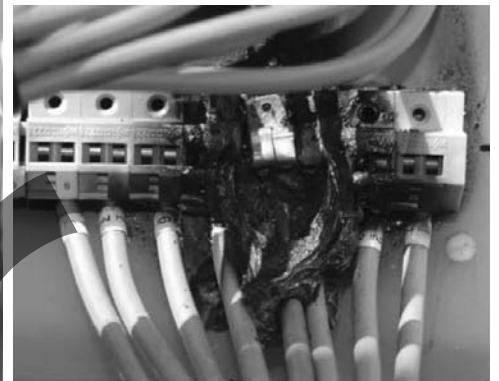
2008年 リコール、新聞一面記事 → しかし説明された原因は一例にしか一致しない。

2013年 「トラッキングが原因である」と日本火災学会誌6月号に紹介(予定)

直列アーク・・・接続箱PCB劣化



接続箱PCB半田部の高抵抗と発火



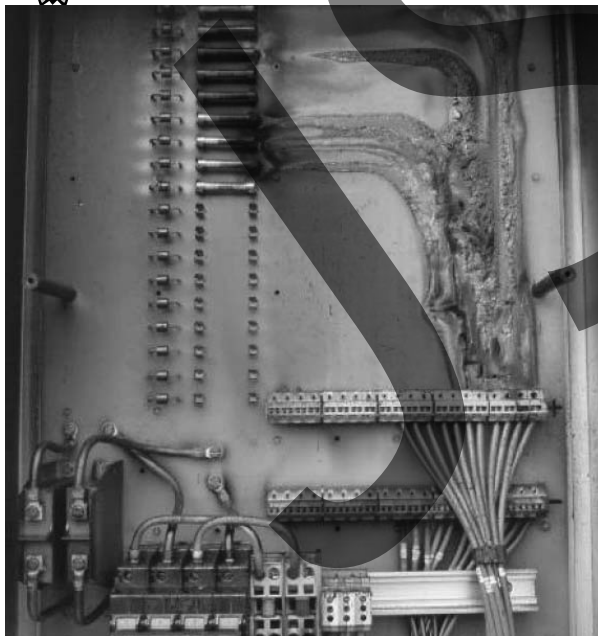
Haeberlin : Arc Detector for Remote Detection of Dangerous Arcs on the DC Side of PV Plants
Haeberlin : Photovoltaics System Design and Practice

報告書(論文当該部、著書当該部)要約

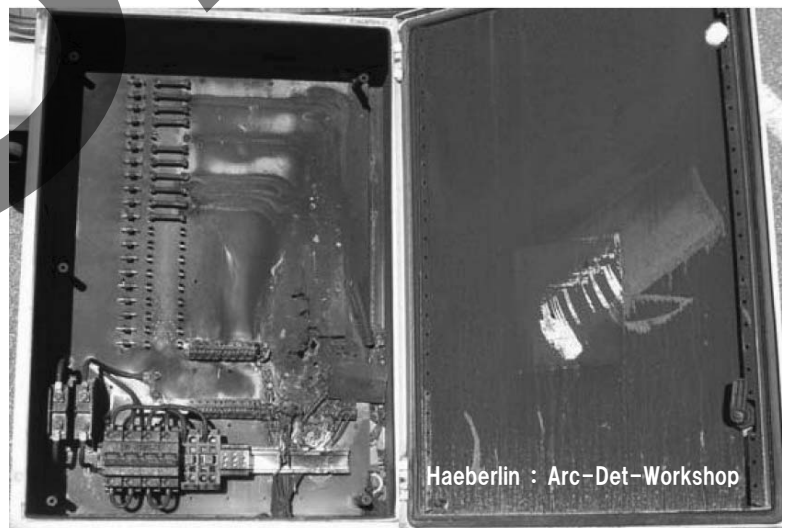
2006年、スイスベルン州ブルグドルフ(Burgdorf)、設置後11年の15kWシステム。基板温度が徐々に上昇し端子台が溶融、最終的には、生じたアークが火災を引き起こした。(V_{ste}=590V,V_{mpp}=500V) 原因は基板半田接合部の電気抵抗が徐々に上昇したことにあると考えられる。幸運なことに、本接続箱は金属製であり、かつ、外部からの酸素供給が不可能であった。そのため火災は筐体内に局限されていた。
・・・この機種については、別の例がある。(次頁)

9

直列アーク・・・接続箱PCB劣化、開扉時の爆発的燃焼



(左)接続箱のPCB配線炭化、(下)開扉時の爆発的燃焼



報告書(ワークショップ)要約

(左図)先の報告に似た20kWシステムの接続箱の事例。PCB配線は既に直列アークによって焦げていた。この状態のPVシステムの出力はひどく低下していた。

(右図)開扉後、接続箱内に酸素が追加供給され、破滅的な火災となった。この火災は接続箱を完全に破壊した。

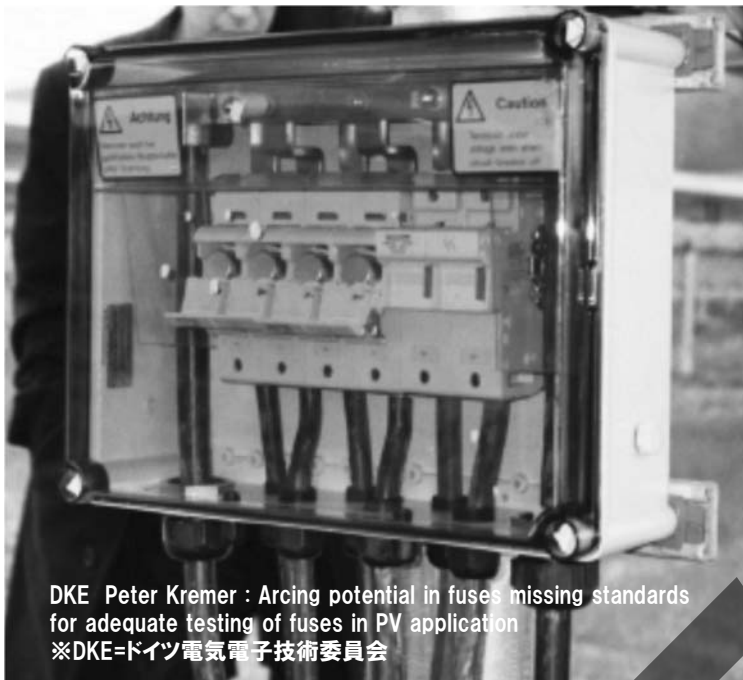
Haeberlin報告には、以下3つの推奨事項が込められている。

- 可燃製の筐体を用いるべきではないこと。
- パワーラインにPCB(基板)を採用すべきではないこと。
- アーク検出器の要否を検討すべきこと。

10



直列アーク…接続箱



DKE Peter Kremer : Arcing potential in fuses missing standards for adequate testing of fuses in PV application
※DKE=ドイツ電気電子技術委員会

過電流防止用ヒューズ、ヒューズホルダ不適切(主に欧州)

- ・消弧剤の無いACヒューズを誤使用
- ・PVヒューズの電流定格選定ミス
- ・ヒューズホルダの選定ミス(PV専用が必要)

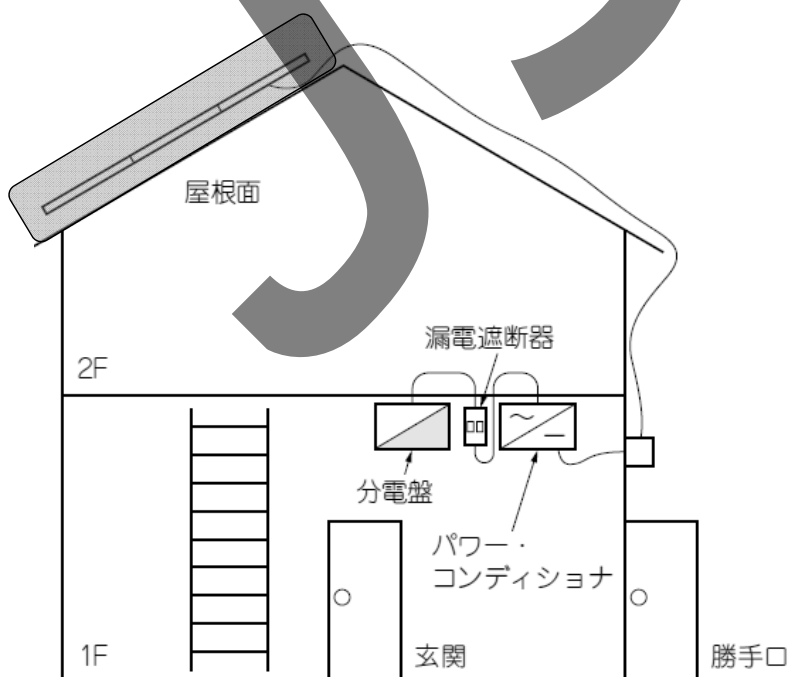


PVDC部

- ・部品や機器単体に起因
- ・システム構成に起因

PV以外

- ・放火に起因
- ・建物火災に起因



火元不明

- ・情報入手できなかった
- ・灰燼につき不詳

☀️直列アーク・・・製品設計不良・製造不良(BP)



手半田が困難な端子箱の形状、サイズ
端子箱内バス部のはんだ不良



JBからの高温滴下物により、
野地が焼損している

モジュールJBからのアーキングは端子台の時代から存在する。建物火災の恐れが認知されるようになったのは、これら2枚の組写真がきっかけ。告発者は、ドイツ・オーストリアのインストラ達。(2006年,PI誌,製品はBPソーラー)
「本邦製品はJB内にポッティングを施すため高温滴下物は生じず、そのために延焼の恐れはない」との説がある。しかし、本邦やドイツにはアークによって生じた燃焼物が外部まで噴出している事例報告があり、警戒を怠ることはできない。

13

☀️直列アーク・・・製品設計不良・製造不良(Scheuten) 1/2



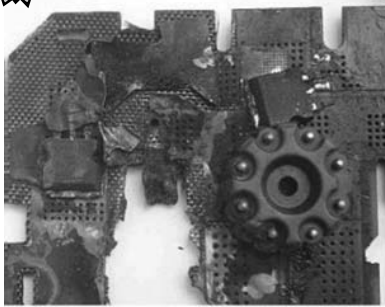
PI誌メルマガ, オランダ消費者庁(NVWA), メーカー等複数情報の概要・・・最新

2013年2月NVWAは、ショウテンソーラー(Scheuten Solar)のMultisolブランドのモジュールについて消費者に警告した。形式はP6-48, P6-54, P6-60 and P6-66 (2009年8月～2012年2月の生産品)。当局によるとこれらは、欧州諸国でこれまで15件の火災をもたらしている。なお、オランダ国内での事故報告はない。原因は、Alrack社のSolexusブランド名のJBのコネクタ部設計不良(錫メッキ部の反復擦過による腐食)である。倒産した同社は現在、中国のAikoSolarの傘下にある。

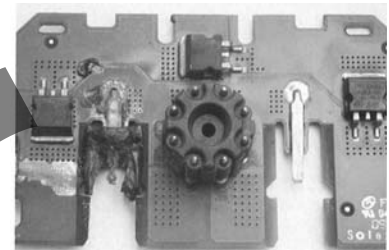
14



直列アーク・・・製品設計不良・製造不良(Scheuten) 2/2



Autan Solaire(フランスの業者)が
マスコミに提供している4枚組の写真



PI誌2012-9, PV-Tech(雑誌), その他の報道をまとめると以下(・・・経過に関して)

対象は1.5万枚(英SolarPowerPortalの報道では65万枚) フランスの100kWシステムで最初の火災目撃事例があり, 続けて2件の報告。JBには, Kostal社製とAlrack社製があるが, 火災が生じるのは後者。(ドイツのKostalが値引を拒否したため Scheutenは同形式製品を途中からオランダのAlrackに製造委託)。PI誌や英報道は屋根建材型設置を推進したフランスの物件に火災例が多いと言う。フランス公取委(DGCCRF)の研究は, Alrack製が原因と結論。なお, このJBは他のメーカーには納入されていない。メンテは, Scheutenを引き受けた保険会社の指示により, Suncycle社(PVのロジスティクス, テスト, 修理サービスの会社)が受託した。同社もフランス当局判断と同じくAlrack社JBに原因があるとし, TUV認証の方法に基づいて再半田とポッティングにて対処。しかしオランダ当局は, この修復で良いかどうか独自の寿命試験を実施する予定。全体の1割に相当するハイリスク物件は既に対処完了。Suncycle社CEOであるパテルナ博士(Dr. Mischa Paterna)は他の残り9割にも問題がある可能性とともに, 設置業者の多くが賠償を恐れて顧客情報提供を躊躇していることに言及。オランダ政府は, 顧客に危険通知するよう設置業者に対して圧力をかけるとともに, 新聞やラジオで火災危険を広報している。 15



BPD開放か? (Simi Valley 屋根建材型)

事故ステップに関する簡素な説明

1. 日影によるBPD常時動作
2. BPD消耗破壊(開放)
3. 日影によるセル逆バイアス, 過熱





BPD開放か？(Sim Valley 屋根建材型)



本例は屋根一体型, かつ, 直流一線接地型
→事故までのステップ数が少ない.

17



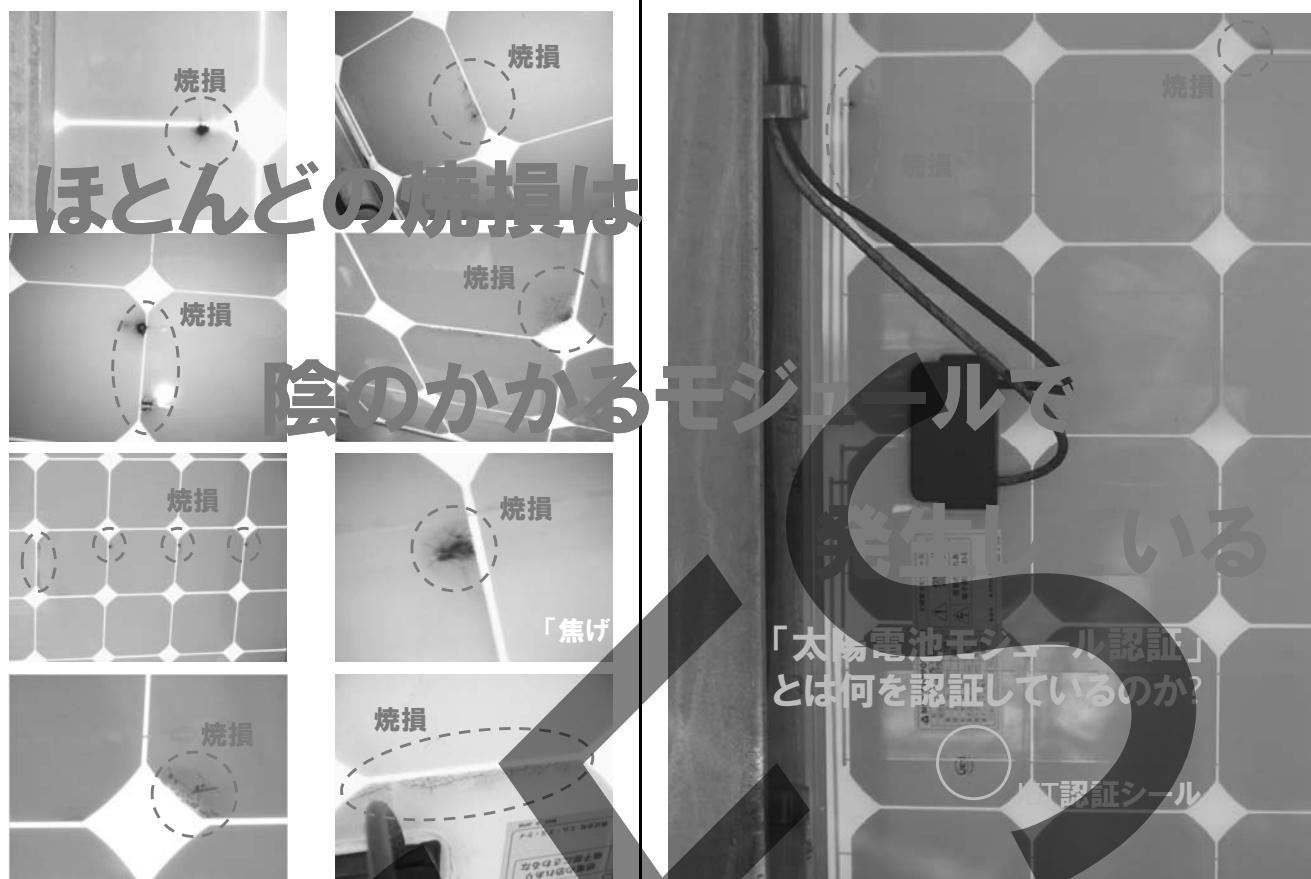
日影とBPD消耗開放破壊、エッジ焼損



日陰による
エッジ部のブレイクダウン

18

日影とBPD開放破壊、エッジ焼損(加藤和彦氏発表資料から)



19

営巣・・・屋根に可燃物が無いというのは大ウソ(愛知県例)

燃焼に必要な三要素は、
 熱・酸素・可燃物。
 屋根には可燃物が無いから大丈夫との言
 説もあったが事実はそのようではない。

ムクドリ営巣
 糞害とダニ害、
 そして可燃物である稲藁。



屋根一体型設置はもちろんのこと、スタンドオフ設置にも可燃物がある。

20



原因不明の住宅PV火災(動物による咬害? 乾燥、落ち葉の堆積あり)



NFPA資料より

NFPAの報告書要約

2010年3月メリーランドの住宅。初動チームの報告は、屋根を通じて火と煙があがっているというものであった。やがてこれが太陽電池付近からだと明確になる。火は地上からの放水によってよくコントロールできた。太陽電池の下や周辺に積もった落ち葉からの出火であった。学会での憶測例・・・トリガは動物による咬害ではないか。

21



ULの実験では、後付架台でも燃え抜けが生じている。



ULのレポートより

報告書要約(UL: PV-FF SafetyFinalReport, 2011)

屋根はOSB合板、アスファルトシングル葺。システムは10S2P構成。試験時状況は、日射量 $925\text{W}/\text{m}^2$ 、アレイ電圧DC367V。25ポンド(約11kg)の松葉をモジュールの下に置き、着火した。2分後にモジュール間から炎を観測、7分後に松葉から火の手があがり、アレイ中央部が崩れ始めた。12分後には松葉は燃え尽き、煙だけとなった。室内から観察すると24分後に屋根内部に炭化が見られ、32分後に煙が観測され、48分後に炎が見られた。60分後にはOSBが崩落。この時点での屋根内部の炎長さはおよそ2フィートであった。1時間20分後に試験停止し放水。このときのアレイ電圧は140Vであった。モジュールのうち9枚は完全に破壊され、残りは機能していた。機能していたうちの一枚は導体が露出していた。アレイの下ではあるが屋根の上の火災は、屋根葺き材と屋根下地を突き抜け小屋根裏に延焼する可能性がある。

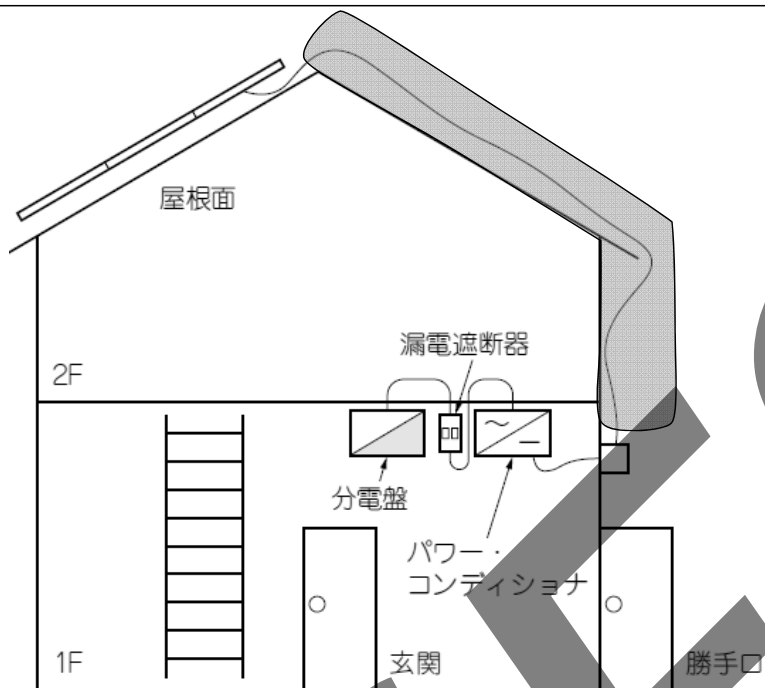
22

PVDC部

- ・ 部品や機器単体に起因
- ・ システム構成に起因

PV以外

- ・ 放火に起因
- ・ 建物火災に起因



火元不明

- ・ 情報入手できなかった
- ・ 灰燼につき不詳



地絡アーク(直流接地アレイ)



BP発表資料より

17 11:08 AM

報告の要約

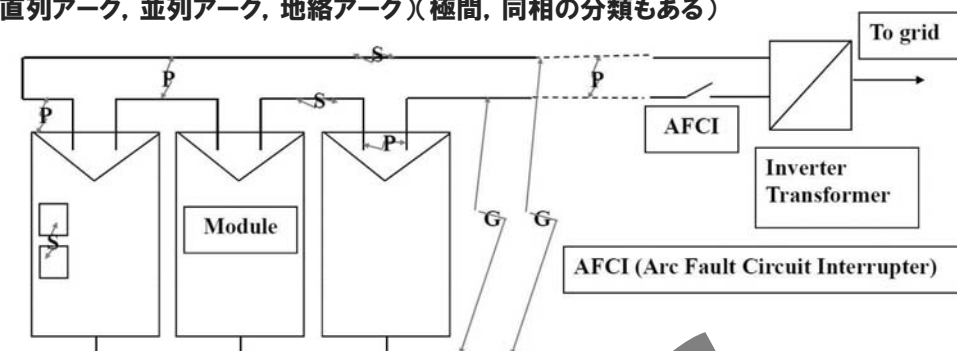
- ・ セルマトリクス付近を(架台に)マウントするのは避けるべきであり、特別な注意が求められる。
- ・ 直流接地アレイは高リスク(接地システムの場合、第一故障だけで帰路形成する。非接地システムの場合、第二故障時にはじめて帰路が形成される)



PV火災の原因種(業界による憶測をまとめると以下)

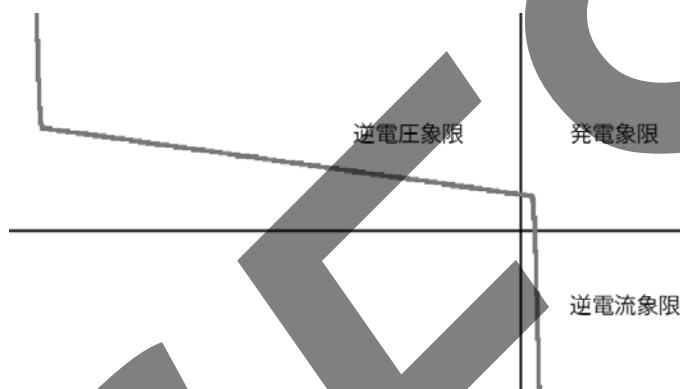
※ システム(アーク関係)

- アーク(直列アーク, 並列アーク, 地絡アーク)(極間, 同相の分類もある)



※ デバイス(動作点関係)

- 逆電圧象限動作(セル特性およびクラスタ内セル数ならび電流バイパス素子開放故障と強い結びつきを持つ)
- 逆電流象限動作(多重地絡および過電流動作と強い結びつきを持つ)



中間まとめ1 火災発生事実について

※ PV火災の概念整理

- 火災原因には, PV原因とPV以外原因との両方がある. PVからの火災には機器焼損に留まる場合と延焼火災に至る場合とがあるが, 機器焼損は通報されないため統計値は過小評価となっている.
- 小屋裏に燃え抜けたとき被害は甚大となる.

※ 延焼リスク

- モジュールからのアークは, 製造者の努力により問題は軽減したと見做されてきた. しかし2006年オーストリア・ドイツの設置業者から野地炭化例が報告されると建物への延焼が憂慮され始めた.
- 日本では2004年ごろからセルやタブ付近からのアーキングの私信が増えている. ベランダから滑り落ちた布団の日陰が火災トリガとなった事例を通じてリスク認知が進み始めた.
- 現行品にはトラブルが無いという言い分もあるが, 過去の製品といえどもその供用期間中は現在進行形であり警戒を要する. 現行品にもJB設計ミスによる事故(Scheuten例)がある.
- 屋根建材型では建物火災に至る可能性が高い. 米国に事例報告あり. 後付型であれば延焼可能性は無いとの私信もあった. しかしアレイ下には鳥の巣や落ち葉など可燃物があることが少なくない. ULの実証試験では後付型でも小屋裏に燃え抜けしている.

※ 逆電圧ホットスポット・地絡アーク

- 逆電圧ホットスポット: とりわけBPD開放時は複数のセルが高温化する. BPD開放は, 街路灯等, 障害物の日陰によっても生じる.
- 地絡アーク: 米国の接地系では第1故障=第1地絡で(保護はあるにせよ)帰路形成する. 日欧では非接地ITゆえ第2故障からが重大事故となる. 既に欧州では多重地絡火災事例が報告されている. 動物による咬害, 金物の接触などでも容易に帰路形成している.

※ 対策面からみた火災原因分類

- システムからみたアークはその線間関係から並列, 直列, 地絡の3形式に分類できる. デバイス的には逆電圧動作, 逆電流(過電流)動作がある.
- 製造者の立場では逆電圧動作への対策が求められる. システム設計者の立場では残るすべての対策が求められる.

1 まずは実例から 火災事例の紹介

2 消防側のとりくみ 消防隊員の傷害リスクと欧米での対策動向

- 感電リスク等, 消火活動時の課題
- 欧米での対策動向

3 業界側が行うべきこと 出火防止のための技術的課題

- 逆電圧象限動作
- 逆電流象限動作(モジュール・配線の過電流)
- 地絡保護の盲点
- アーク保護の現状

4 まとめ 日本の取り組みの現状, 今すぐにできること

PVが出火原因でなくとも・・・

消防士への感電危険がある.

**・・・ドイツでの報道情報と情報交錯
・・・日本での事実**



消防士感電事故、初の公式報告(屋内DC配線)



消防士
Dominic Furthner

PI誌 Aug, 2010より(消防士感電事故、初の公式報告)・・・写真と内容は非運動

PI誌要約

Dominic Furthner(ルースラート消防局の隊員)は、地下室火災の連絡を受けた。その住宅に太陽光発電があることは知らされていなかった。煙の充満する中で彼は裸電線を横切り感電し倒れた。数日入院した。数週間後、彼は完全に回復した。保険会社によるとPVの感電で傷付いた消防士は、ドイツでは初めてであるとのこと。

多くの消防士は、PVが設置された建築に不確かさある限り消火活動を行わない。建物が計画通りに燃え尽きるようにする。これは消防士保護のための明確なルールである。

後にこれは誤報と判る。

29



今燃えているものをどうするか(放水時の消防士感電のおそれ)

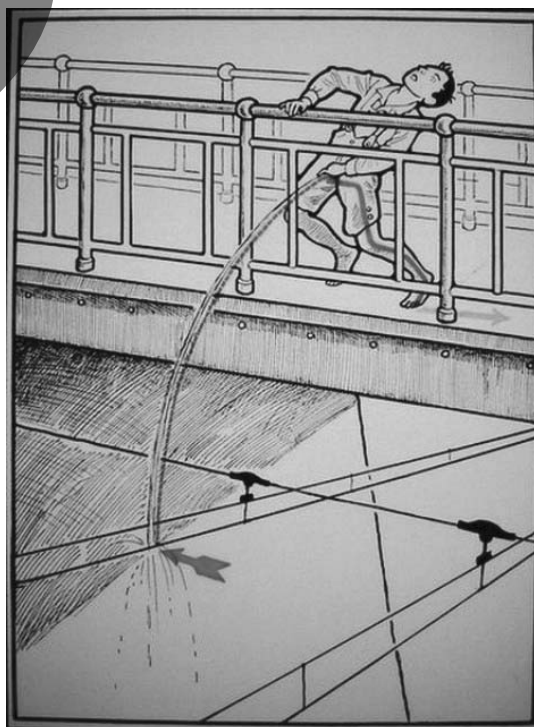
ミュンヘン再保険マガジンより



第一故障(非接地IT系直流一線地絡時)には、放水による帰路形成が命取り。

Kable1(ドイツのテレビ報道)によると

- ・消防士の感電防止のためには「見守る」しかない。
- ・消防士のための保険は、放水を認めていない。



今でもこういう事故、ありますよね。

30



Laukamp氏の事実関係調査

※ PI誌(PV専門誌)とKable 1(ドイツのTV)報道

- ルースラート(Rösrath)において、「PVによる消防士感電, 初めての事例」(PI誌)
- シュベリンズドルフ(Schwerinsdorf)において、「PV付建築は, 消火してもらえなかった」(Kable 1)

※ Laukamp氏の事実調査

- ルースラートの報道は, 誤報である.
・実は, 温水器である.
- シュベリンズドルフの報道は, 誤報である.
幹部のレポートによると,
・内部火災消火の後に燃えさがフラッシュオーバーした.
・モジュールが壊れた後に外部火災に対処したのだ.
・PVは火災原因ではない. しかし, 消火を妨げた.

以前に, 報道をそのままご紹介したことをお詫び申し上げます.

吉富



しかし報道の間違ひは, 事実が存在しないことを保証しない.

31



日本における太陽電池火災と消防士感電(残火確認時)



東京消防庁小室修:
住宅用太陽光発電システムが設置された建物火災の消防活動について

論文引用

「この住宅用太陽光発電システム(以下「システム」という。)が出火原因となったものではないが、屋根裏に火が入ったため太陽電池パネル(以下「パネル」という。)で覆われた屋根を破壊し、残火を確認する必要がある。屋根の破壊作業に従事した消防隊員がパネルをトビロで破壊する際、感電危険を訴えた。幸いにも両手に「ビリビリ」と電気を感じる程度で受傷には至らなかったが、発電を止める手立てがなく重大事故につながる危険性を伴いながら残火処理に苦慮した火災であった」 東京消防庁小室修氏

消防隊員の感電事実は, ある.

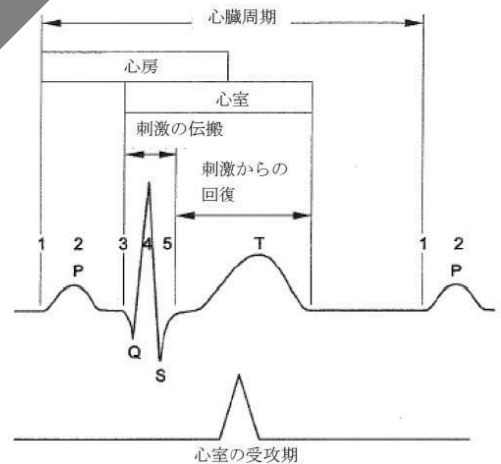
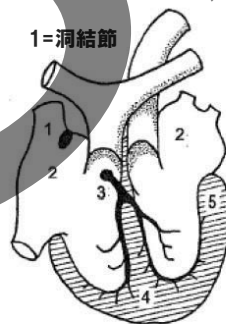
32

感電の考え方



感電の危険性・・・低圧電気での心室細動と受攻期(IEC479-1)

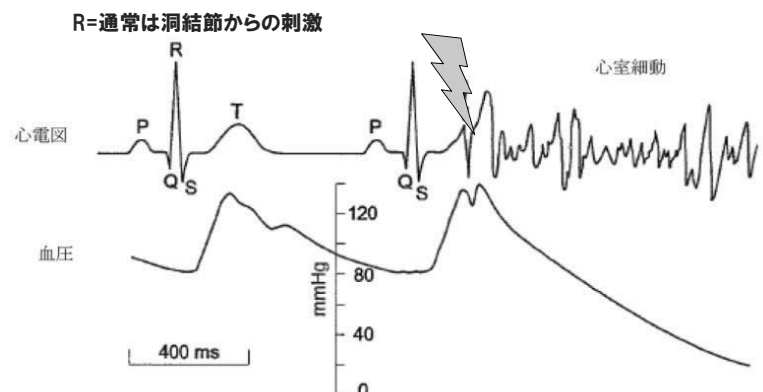
1. 感電死亡事故の原因は、やけど等ジュール熱によるものと、心室細動(心室のけいれん)の2種類.
2. 低圧感電死亡事故は心室細動によるものが殆どである.
3. 心臓拍動周期には受攻期(vulnerable period)と呼ばれる、外的刺激に弱い期間がある.
4. 心室細動を発生させるのは、R-on-Tの期外収縮.



心室細動の発生確率は、次の関数になるとされる。

- 電源周波数
- 継続時間
- 人体通過電流
- 心臓電流係数(電流経路)
- 極性(足負極が最悪ケース)

⇒大雑把には電流時間積で評価





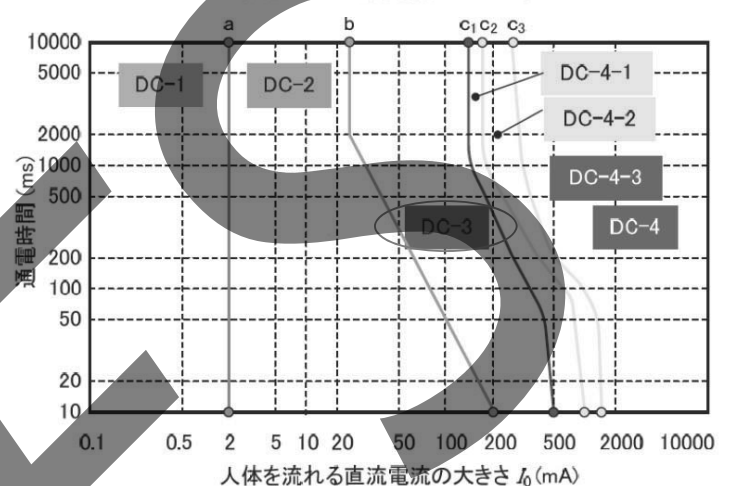
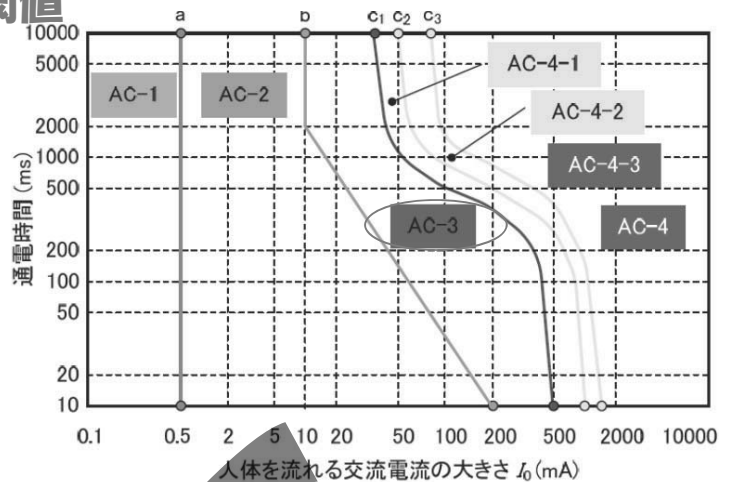
感電の危険性・・・IEC479-1閾値

領域	生理学的影響
AC-1	通常無反応
AC-2	通常有害な生理学的影響なし。
AC-3	電流が二秒以上継続して流れると痙攣性の筋収縮や呼吸困難の可能性はある。
AC-4	心停止、呼吸停止または重度のやけどといった病理生理学上の危険な症状が引き起こされることがある。 AC-4-1: 心室細動確率約 5%以下 AC-4-2: 約 50%以下 AC-4-3: 約 50%以上

領域	生理学的影響
DC-1	通常無反応、わずかに刺すような痛み
DC-2	通常有害な生理学的影響なし。
DC-3	心臓に回復可能な障害と伝達障害が起きる可能性がある。
DC-4	危険な病理生理学上の症状が引き起こされることがある。 DC-4-1: 心室細動確率約 5%以下 DC-4-2: 約 50%以下 DC-4-3: 約 50%以上

想定されるHarmを

心室細動に限定すれば、
直流交流等価係数 (dc/ac) kは、
3～5倍との結論になる。



35



Haeberlin氏の、夜間の灯光器実験

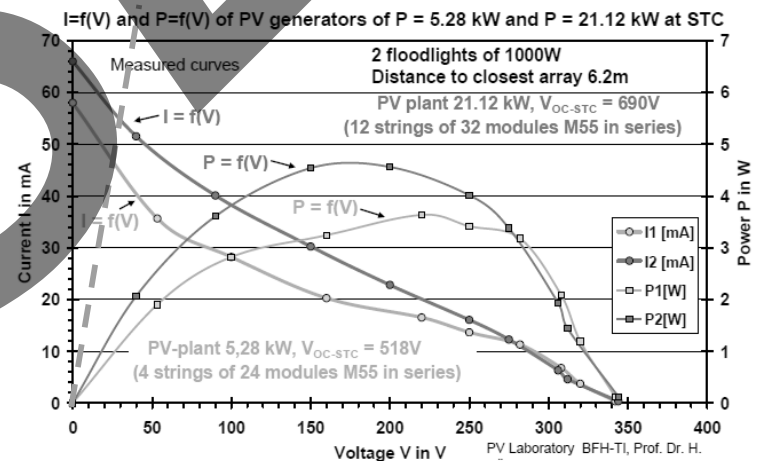
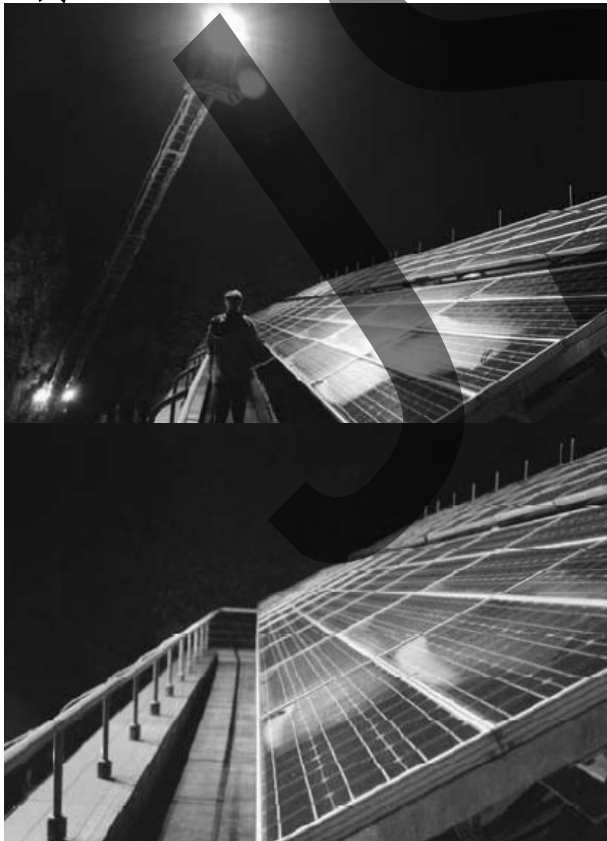


Fig. 6:

I-V- und P-V-curves of a PV-array of 21.1 kWp consisting of 384 modules Siemens M55 (12 strings of 32 modules in series) under illumination by one or two halogen floodlights of 1 kW at a distance of 6.2 m in comparison to fig. 3 and 4.

低人体抵抗500Ωでも50mA(グラフ内点線は吉富)
この照度ならばDC電流による心室細動の恐れは低い。
しかし、感電によって驚き滑落する恐れはある。



危険な感電は、心室細動のみではない

AS/NZS5033(2005) D5 他の考慮事項

…前略…

この電流は感電により即死する原因にはならないが、(感電の)刺激により、致命傷となりうる落下に繋がるのに十分な反射反応を促す恐れがある。

These currents may not be enough to cause immediate death by electrocution but may cause enough of a tingling sensation to cause a reflex reaction leading to a fall, which in turn may be fatal.

だから一口に感電といっても、以下両方を考えなければ全体像を見失う。

- | | | |
|--------------|----------|-------------------|
| ・電撃(危険電流型感電) | IEC等の一般論 | …心室細動による傷害、死亡 |
| ・感電(感知電流型感電) | AS/NZS警告 | …驚いて滑落することでの傷害、死亡 |

また、感電は消防士だけのものではない。
 工事業者の感電、多数のプライベート報告あり。
 PV感電を、労働安全衛生の問題としてとらえなおす必要がある。

37



直流感電のリスクに関するまとめ…感電種の分別

※ 直流感電を理解する必要性

- PVSの直流部は、陽が当たる限り発電を続ける。この性質は施工者・電気検査者といった納入関係者と、消防隊員・火災調査者といった防災関係者の双方に感電リスクを与える。
- ただし、システムが正常に動作している限りその感電危険箇所は予測可能であり、納入関係者のリスクは制御可能である。一方、防災関係者は事故によって電気的な状態が変化した後の、予測不可能な電気的狀態にある現場に向き合うことになる。このことは、防災関係者は納入関係者以上に感電リスクに通じている必要を意味する。二次災害を防止するためである。

※ 消火活動にとっての感電の二分類

- 消防隊員に関係する感電は、死傷レベル感電とそれ以外の感電とに大別することが出来、それぞれ生理学的意味とリスクの性質が異なる。
- 一般に感電事故といえば、皮膚経由の感電であるマクロショックのうち、ジュール熱由来の火傷や50 mA・sec程度の交流電流が引き起こす心室細動といった死傷レベルの感電を指す。このような、電流によって直接死に至る感電についてはIEC60479-1において戦前からの人体実験の成果が集約されている。同文献のグラフから直流は、150mA・sec程度という、交流よりも安全側の心室細動閾値を持つことが読み取れる。ただしこの値は脈動の無い純直流を前提とした値であり、日射に応じて電圧・電流が刻々と変化するPVSには必ずしも当てはまらない。よって、消防の行動方針を定める上では、厳格側の交流閾値を採用するべきかもしれない。
- 他方、オーストラリア・ニュージーランド規格(AS/NZS5033)は、知覚レベル・不随意レベルの感電についても警鐘を鳴らしている。不意の電撃に驚き体勢を崩した作業者は高所から滑落する恐れがある。
- なお、皮膚を介さずに生じる死傷レベル感電であるミクロショックは、マクロショックと区別されなければならない。100 μA程度を閾値とするミクロショックは、たとえば心臓カテーテルを電路として医療行為中に生じうるものであり、消火活動中に生じうるものではない。

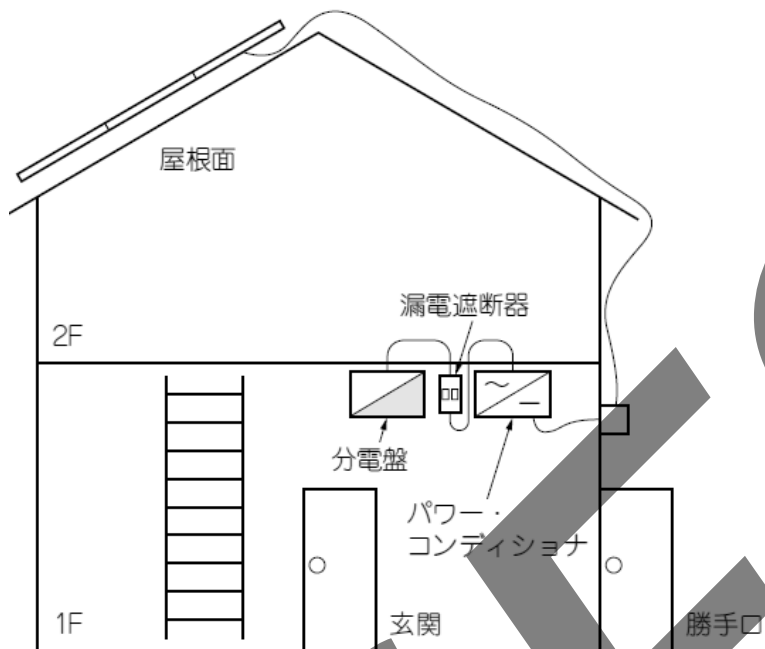
38

PVDC部

- ・部品や機器単体に起因
- ・システム構成に起因

PV以外

- ・放火に起因
- ・建物火災に起因



火元不明

- ・情報入手できなかった
- ・灰燼につき不詳



火元不明, 原因不明



左写真から右写真まで7分

ドイツ例：写真と消火に要した時間の情報のみであり、火元や原因に関する情報は無い。



イタリア例：赤外線カメラを活用したとの情報があるのみであり、火元や原因に関する情報は無い。
太陽電池はフィルム型である。



火元・出火原因の不明・非公開が多い。

※ 不明・非公開の背景にあるもの

1. 火災によって原因箇所付近が灰燼に帰したため、原因究明が不可能である場合。
2. 保険手続き円滑化のため(罹災者保護のため)、原因究明が後回しにされる場合
3. プライバシー保護のため、当局が非公開とした場合
4. 業界利益保護のため、製造者と設置業者間・政府と業界間が、箝口令を実施する場合

※ 「不明」は調査研究の障害

- これまで収集された情報は、火災予防と円滑な消火法開発にとって十分とは言えない。火災予防的見地では、PVシステムの火災事例を原因まで遡った状態で掌握する必要がある。
- しかし当事者は利害関係者からの報復を恐れるため、状況聴取と公表は難航する。
- それゆえ、公式統計はしばしば過小評価となり、事故対策は立ち遅れる。

※ 対策例

- 告発者顕彰制度の発足
チャレンジャー事故では、米国科学振興協会による告発者顕彰が再発防止のルールを敷いた。
- 関係者免責
スリーマイル事故では、政府による関係者免責が原因究明を成功させた。
- 当局権限の強化
自主的行動ができない業界では、自動的にこの形式になる。

41

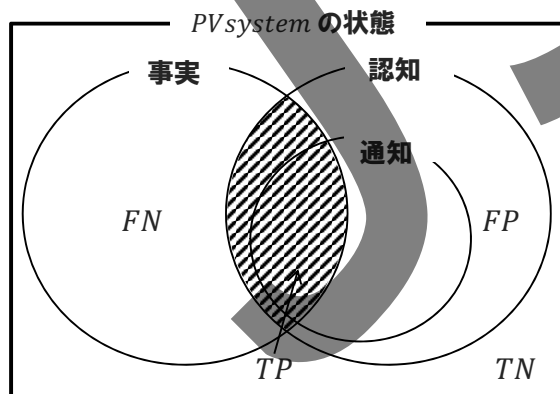


認知(または通知)と事実との関係

※ 認知(または通知)と事実

- 不具合が生起していると認知し、実際にも生起している場合
- “ ” , 実際には生起していない場合
- 不具合が生起していないと認知し、実際にも生起していない場合
- “ ” , 実際には生起している場合

TP(真陽性)
FP(偽陽性)
TN(真陰性)
FN(偽陰性)



		真の状態	
		陽性	陰性
認知結果	陽性	TP 真陽性 = P(陽性 認知陽性)	FP 偽陽性(冤罪) = P(陰性 認知陽性)
	陰性	FN 偽陰性(取り逃がし) = P(陽性 認知陰性)	TN 真陰性 = P(陰性 認知陰性)

α 過誤

β 過誤

事実と認知とを、認知と通知とを区別しなければならない。認知あるいは通知されない事実は存在しないものと見做されがちである。火災統計、事故統計を読み違えないようにしよう。

しかし認知と事実とは一致するとは限らないため、過誤を完全回避することは本質的に不可能である。したがって、社会的意思決定に関わる診断においては、閾値付近の過誤の種類を適切に選択することが肝要となる。例えば医師の誤診は、見落としよりは冤罪(α過誤)のほうが望ましく、司法のミスは冤罪よりは取り逃がしの方が望ましい。即ち、安全に比重がある対象にはα過誤が望ましく、人権に比重がある対象にはβ過誤が望ましい。

同じことは保守点検時の診断にも言える。「不具合無し」と認知し実は不具合が存在する(β過誤)場合が最悪の間違いである。この場合点検は、皮肉にも、将来の事故を促進するお墨付きとなる。したがってPV点検においてやむなく生じる過誤はα過誤を選択することが望ましい。

※なお診断とは、多角的検査を通じて仮説を真実側に改訂するプロセスであり、確率的なものである。

42

中間まとめ2-1 感電リスク等、消火活動時の課題

※ 消防士感電

- DCパワーライン裸電線への接触や放水を通じた感電が懸念されている。ドイツにおいては、建物が燃え尽きるまで消防が消火を行わなかった事例、また、消防士が感電し入院した事例が報道されている。ただし、前者のうち少なくとも一例は誤報であり後者は完全に誤報であった。
- 日本では、鎮火後の残火確認時の感電が東京消防庁から報告されている。
- 夜間の消火活動時にも消防隊員が感電するおそれがある。消防用灯火や炎の明るさによっても太陽電池は発電するためである。

※ 感電の考え方

- 感電や電撃は、電圧ではなく電流によって生じる。RonTのとき心室細動の恐れがある。
- 高圧ではジュール熱で、低圧では交流50mA・sec, 直流150mA・sec程度のマクロショック（皮膚を介した感電）で死に至る。屋根作業においてはこれよりも低い閾値でも感電による驚きで滑落する恐れがある。なおマイクロショックは手術中など皮膚を介さず生じる感電であり消火活動中に生じるものではない。

※ PVが火災原因ではないケース、火災原因不明のケース

- PV火災が発生するのはPV原因の場合だけではない。建物火災にPVが巻き込まれることもある。いずれの場合も消防隊員の感電が懸念される。
- 火災の原因は不明であることが多い。その背景には、灰燼に帰して経過が本当に分からない場合（灰燼ケース）と社会的報復を恐れる関係者関係者が口をつぐむ場合（隠匿ケース）との2つがある。
- 対策のためには原因を遡る必要があるが、この際には隠匿ケースが問題になる。利害関係者の協力を引き出す工夫として、関係者免責、告発者顕彰など諸外国における重大事故調査方法に倣うことも検討する価値がある。

※ 事実認識について

- 火災原因や経過に関する臆測は、油断側（ β 過誤）ではなく鋭敏側（ α 過誤）であるべき。即ち、原因不明の場合は、PVに原因ありと見做したほうが対策が進む。点検においてもこれと同様、 β 過誤による将来の事故よりも、 α 過誤による過剰対策の方が望ましい。ただし、ホットスポット⇒太陽電池の不具合というような、論理的間違いによる α 過誤は早々に一掃されるべきである。

欧米での対策動向



消火活動の困難・・・欧米の消防や学会で指摘されてきた問題の一覧

- ※ PV特有のリスク
 - ゼロクロスなし
 - PVは止められない
 - ・・・アーク遮断が難しい
 - ・・・陽があれば発電してしまう
- ※ 消防隊員への危険源4分類
 - 可燃性ガス
 - 有毒ガス
 - ファサード崩落
 - 感電
 - ・・・DC活線による水電気分解で水素 & 酸素の混合ガス発生
 - ・・・(電線被覆、バックシートなど)絶縁物の火災
 - ・・・壁面設置PV・傾斜面設置PVに近寄るのが難しい
 - ・・・放水経由での人体帰路形成、裸電線への接触感電
- ※ 消火活動の困難
 - 消防士感電の未然防止
 - DC配線遮断の困難
 - 光発電停止の困難
 - ・・・配線経路・遮断器位置不明
 - ・・・シート・泡消火剤による光遮蔽は不成功
 - 火災現場へのアプローチ
 - 排煙・残火確認の困難
 - 屋根アプローチが悪い
 - ・・・屋根開口の際、PV活線に触れて感電する
 - ・・・屋根面いっぱいの太陽電池、歩く場所が無い
 - 消火活動そのもの
 - 放水効果が低い
 - 保険の不備？
 - ・・・モジュールガラス面を放水が流れ、燃焼物に届かない。
 - ・・・活線放水時は消防士の保険が支払われない？(真偽不明)
- ※ 夜間といえども
 - 作業用照明
 - ・・・アレイ電圧が発生し感電する

欧米消防がピックアップした課題は、
“火災未然防止”・“消火活動円滑化”の2点

45



消防側での対策研究例(主に米独)

- ※ 電圧抑制実験の成功と失敗
 - 光の遮蔽による発電停止に関して
 - ・シート被覆 ドイツ、米国で実施、現実的でないとの結論。
 - ・泡消化 ミュンヘン消防、UL、イタリアに実験例
 - 泡消火剤がガラス面を流下し、電圧発生(ドイツTV報道あり)
 - 完全な安全条件にするのは不可能との結論。
 - 消防作業灯による夜間の発電と感電に関して
 - ・作業灯実験 ヘルン消防とHaeberlin氏、UL
 - 心室細動はないが不随意の恐れありとの結論。
 - ※ リスクの定量把握を目的とした実験(UL)
 - 燃焼温度・延焼速度を把握するため、実家屋を用いて室内からの出火とアレイ下からの出火を実験。
 - アーク電圧、消防器具対地電圧の計測。
 - ※ 消防士感電防止、火災防止抑止に向けた暫定策(ドイツ、UL)
 - 消防側努力に関して
 - ・安全な放水ルール の遵守
 - スプレージェットは1m、フルウォータは5mが限界(ドイツ)
 - ・長靴や手袋に電気絶縁性を持たせる。
 - ・所轄毎で消防隊員が勉強会
 - 消防からの業界への要請
 - ・PV存在を知らせる玄関ステッカー配布(ドイツ)
 - ・消防操作部とDC危険部の表示、色調やフォント指定(NEC690)
 - ・設置業者向けにPVシステム設計ガイドラインの発行(ドイツ)
- BSW_Feuerwehrbroschuere_2010、PV-Brandschutz_DRUCK_24_02_2011
内容は、機器配置図や配線経路情報の完備要請、アレイ設置範囲等の推奨・義務事項の説明

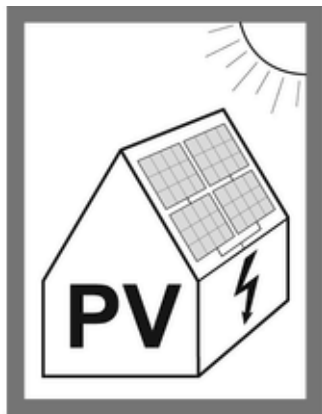




ソフト的対策(消防活動円滑化のための事前方略)

ドイツ例(BSW)

ステッカー配布, ガイドライン作成.



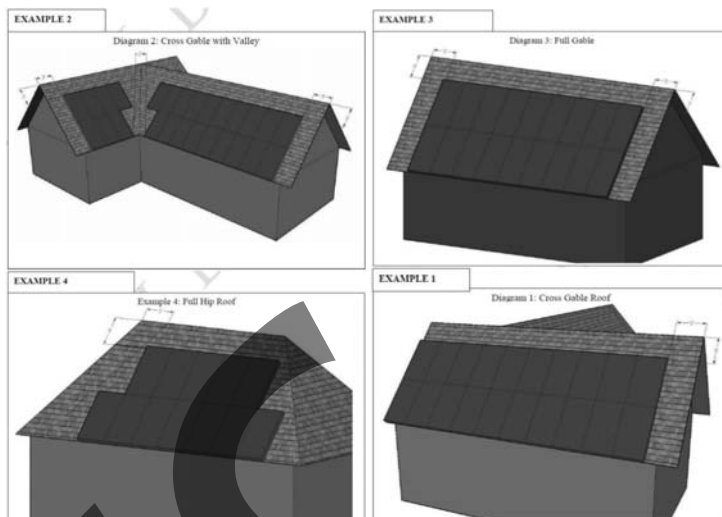
PVの緊急対応のための情報



PVシステムの防火設計・施工
及びメンテナンス

米国例(CA)

仕様規定(Not性能規定)



通路確保 屋根上に3フィート幅を確保
遮断 開閉器の明示(シール・フォント指定)
配線切断 配線10フィート毎に直流とわかる表示
排煙 & 残火確認 小屋裏配線の10inchセットバック

47



欧米でのPV火災認識と対策動向

- ※ 状況認識・・・直流アーク警戒、消防士感電への警戒
 - 火元がPVであれ建物であれ、消防士保護・火災防止抑止の2観点から議論展開
 - ルール欠陥への認知・・・米国はNEC690不備、欧州はPVヒューズの規格流布不備を認めた。
- ※ PV火災原因種別
 - アーク(直列アーク、並列アーク、地絡アーク)
 - BPD開放によるセルへの過剰逆電圧、二重地絡によるストリング逆電流
- ※ 対策トレンド(情報公開&リスクコミュニケーションに重点あり)
 - ソフト的対策(未然防止重点)

ユーザーマター	PV存在の明示(玄関シールなど), 消防への自主的届け出(PV存在通知)
PV業者マター	操作箇所明示(分かりやすさのため, 開閉器のフォント色やサイズに至るまで指定)
PV業界マター	安全のための設計・工事マニュアル作成、規格制定(NECなど)
消防業界マター	消防士勉強会の実施、規格案作成(消防管轄単位)
 - ハード的対策(事後対処重点)

目標は検知と遮断	AFCIによる検知、ELV(<DC120, <AC50)化遮断
装置提案	GFCIブラインド除去, 消防隊スイッチ, Module内FETを無線or自動遮断
→だが、(今は)信頼性トレードオフが多く決定打なし。一方、事故拡大抑制策はあり。	
暫定策	消防では現在、長靴と手袋に電気絶縁性をもたせることで対処している。

※ 研究トレンド

- 消防にとってのリスク分類, リスク内容の評価
- モジュール・BOSの高信頼化(日本と同様)
- 保護装置案の技術的分類・各方式のトレードオフ分析

枠内は次章の話

48

中間まとめ2-2 欧米での対策動向

※ 欧米で指摘されている消火活動時の問題点

- PV特有のリスクは、DC部にはゼロクロスが無く遮断が難しいこと、夜間といえども光がある限り発電してしまうために感電回避が難しいことの2点である。
- 消防士への危険源は、水分の電気分解による可燃性ガス、燃焼中のケーブル等の樹脂から生じる有毒ガス、ファサードやアレイなど火災時の崩落物、感電源である直流活線部の4種類である。
- 消火活動時の困難は、上記消防士への危険に加えて、屋根アプローチが悪く残火確認が行いにくいこと、消火剤がモジュールの発電面を流下してしまい光遮蔽できないばかりか燃焼物に届かないこと、太陽電池設置密度が高い場合に屋根アプローチが悪かったり延焼規模が大きくなったりすること、機器配置図・配線経路図・操作体系の不分明により消火活動開始前の直流遮断方法がわかりにくいことが挙げられる。

※ 消防側での対策研究例，研究によって明らかになったこと

- 消防士感電の未然防止のため、高粘度泡消火剤やシートによるモジュール表面を被覆する実験が行われたが、いずれも成功していない。対地電圧の実験と感電限界の知見から、放水筒先の接近限界はスプレージェット1m、フルウォーター5mであること、また、アレイ下火災の実験から、屋根置き型PVSでも建物延焼する場合があることなどが明らかになっている。

※ 暫定策

- 火災未然防止と消火活動円滑化の2アプローチがある。ただし前者はアーク保護、逆電流保護に関する業界側の研究開発が遅延していることもあり、IEC0364-7-712の遵守など施工品質維持努力に頼るしか即効性が高い方法はないとされる。
- 消火活動円滑化のための方略には、PVS設置現場に関する情報充実と設置方法規制とがある。
- 情報充実には、予め消防が機器配置図・配線図を受取るなど準備的な取り組みの他、建物にPVステッカーを貼付しDC配線と配管とDC開閉操作部にそれぞれ指定フォントを用いて感電危険箇所と操作箇所を明示するなど、場所と部位毎にPVサインを行うと言う2正面方略が提案されている。
- 設置方法規制案にはソフトウェア的なものとハードウェア的なものがある。ソフト的規制案の主流は、（延焼防止と消防隊員の通路確保を目的として）アレイ設置範囲を制限することである。
- 総じてソフト的な対策、特に消防側の研究は進捗度・公開度が高い。

49

1 まずは実例から 火災事例の紹介

2 消防側のとりくみ 消防隊員の傷害リスクと欧米での対策動向

- 感電リスク等、消火活動時の課題
- 欧米での対策動向

3 業界側が行うべきこと 出火防止のための技術的課題

- 逆電圧象限動作
- 逆電流象限動作(モジュール・配線の過電流)
- 地絡保護の盲点
- アーク保護の現状

4 まとめ 日本の取り組みの現状、今すぐにできること

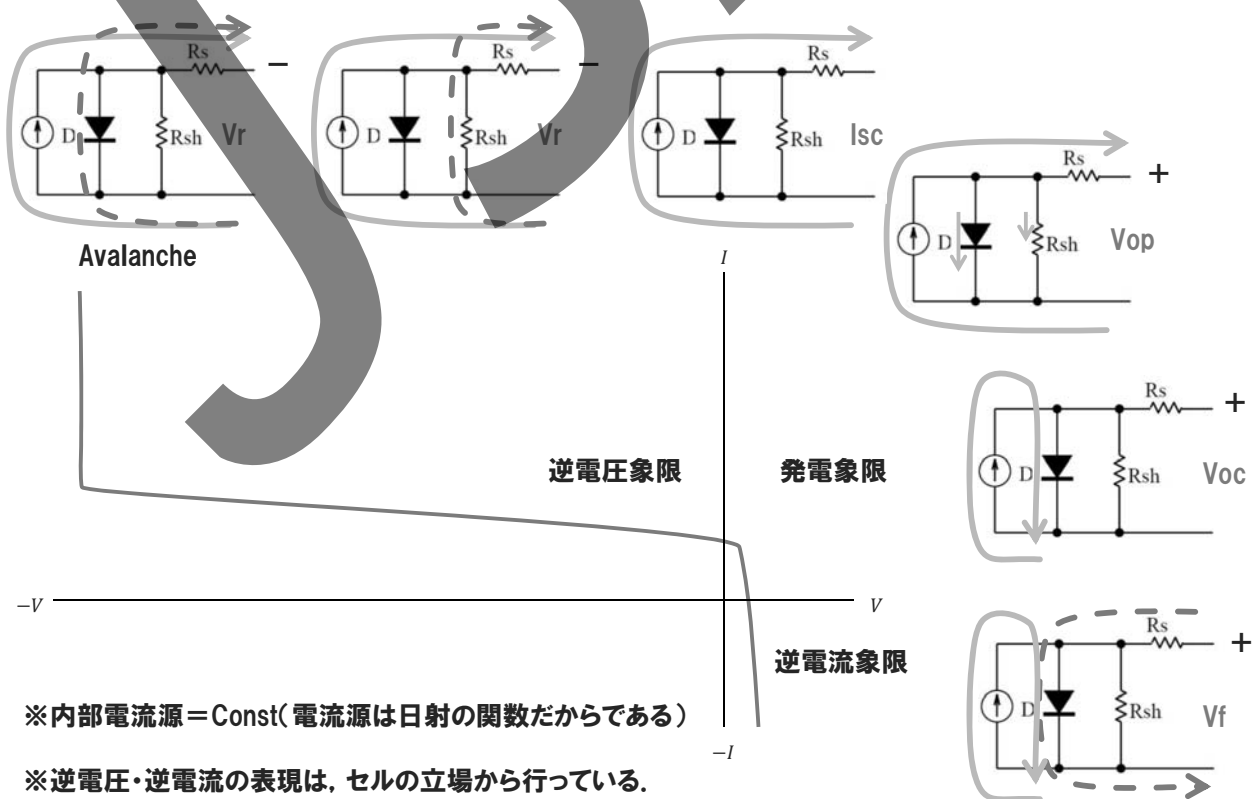
逆電圧象限動作



セル動作概要(非発電象限動作, 発電象限動作)

※ 三象限動作と等価回路内の電流

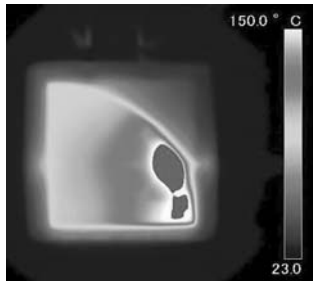
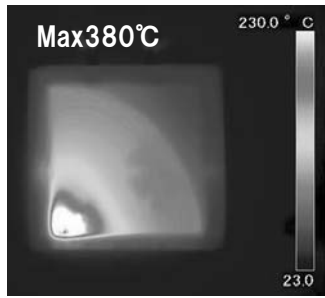
➢ 発電象限の I_{sc} , V_{oc} , V_{oc} 、逆電圧象限の V_r 、逆電流象限の V_f



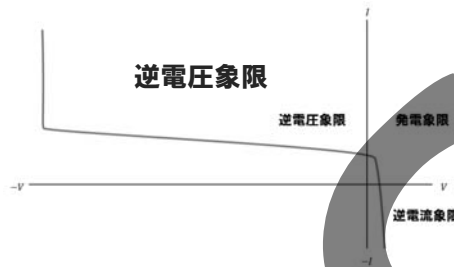
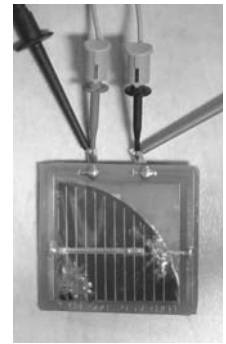


逆電圧象限動作

VR動作



VR時の現象まとめ・・・
Rsh電流棚では、
●少しずつエッジ降伏
ブレイクポイント以降は、
●温度勾配が大きい。
●降伏点が移動する。
●激しく温度上昇する。

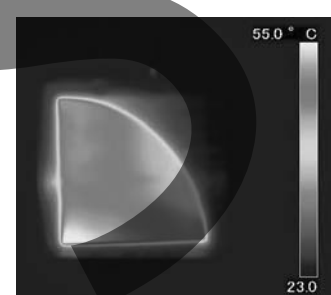
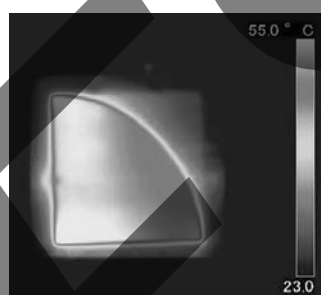
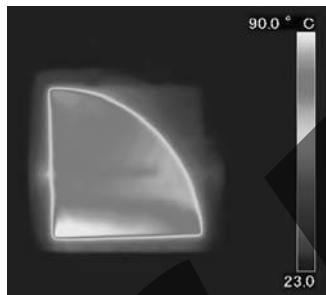


テスト条件

- セルIsc500mA, 暗状態.
- 25V, 1A~4Aまで掃引.

Avalanche

Break Point



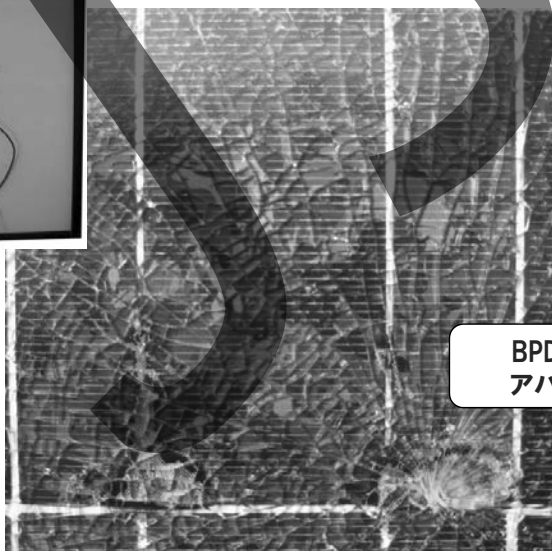
53



逆電圧・・・BPD開放によるセルのアバランシェ

ホットスポットヒートンク
(アバランシェブレイクダウン型)

吉富電気撮影



BPD開放クラスタの随所に
アバランシェブレイクダウン

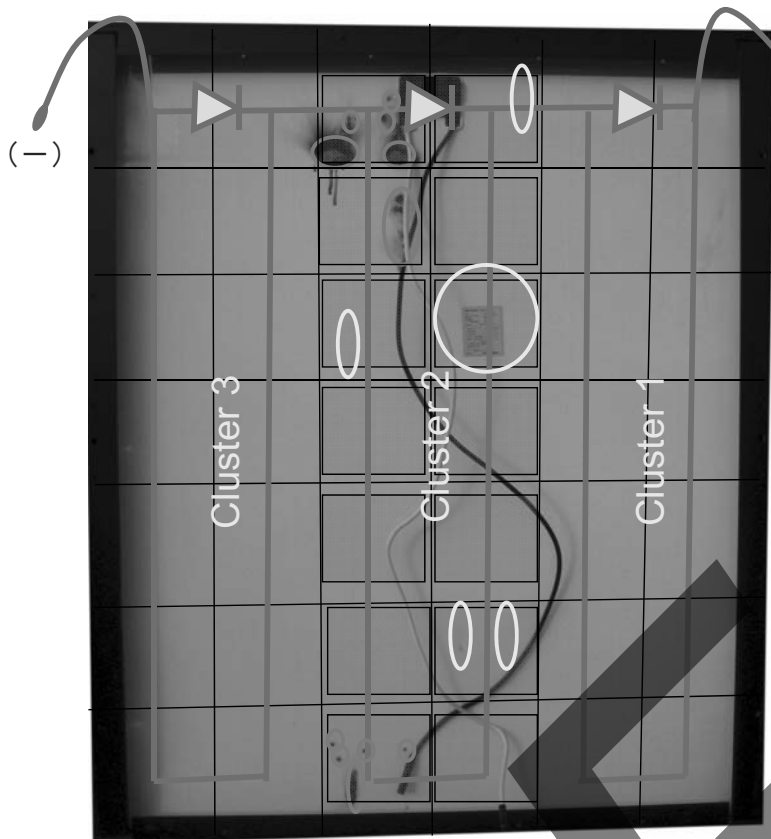


国内事例である。事例は増え続けている。
異常に気づいた業者の全ては販売・工事を継続していた。
利害関係者による報復への懸念から、匿名報告が殆どである。

このモジュールに用いられているセルはフィンガーにスリットが入っているためにタブ線一線に導通不良を生じると、
①エミッタ横断抵抗部②タブ線残存側のセル半分部に、逆バイアスによる発熱を生じる。加えてこのモジュールに用いられているBPDはダイが小さく熱容量が小さいために開放故障しやすい。BPD開放時、クラスタ内のセルは連鎖アバランシェする。同じモードの故障はこの事例の他、同形式を採るND150AM, ND150AN, ND157AR等の複数機種に見られる。

54

連鎖ブレークダウンのメカニズム



与件

- 脆弱BPD.
- エミッタ(フィンガ)設計間違い.
- JB付近の応力集中.

現象

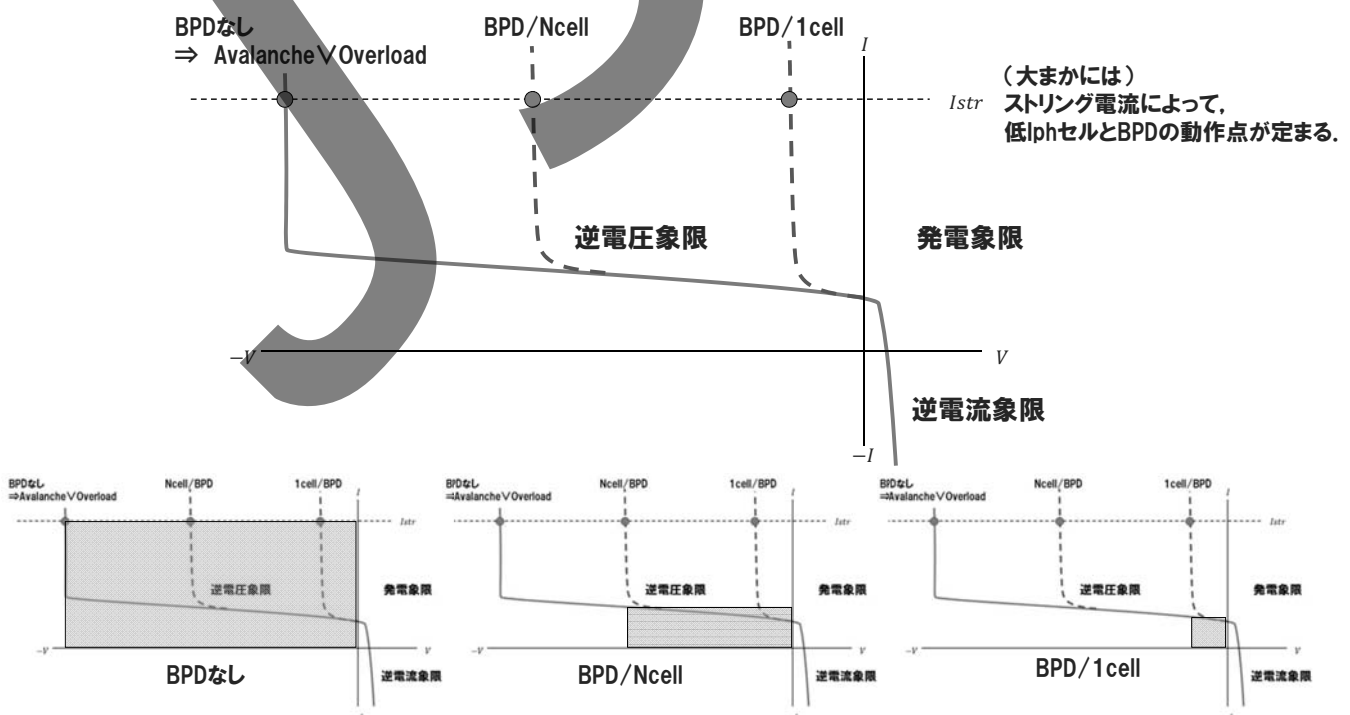
- セルのタブ浮きやクラックにより、当該電路の I_{ph} 低下.
(電流アクセプタンス低下)
- BPD常時動作 & 消耗破壊.
- BPD開放.
- 最も I_{ph} が低いセルが逆電圧象限動作突入.
- 同セルがアバランシェし、電流アクセプタンス増加.
- 二番目に I_{ph} が低いセルが逆電圧象限動作突入.
- 同セルがアバランシェ.
- 以後繰り返し.
(残存セルは、 I_{ph} が大きい)

55

BPDの効果(概略値)

セル逆電圧とセル消費電力

- BPD/1cell: 逆電圧 V_r はBPD V_f に留まる. 消費電力 P_d は V_r と I_{op} の積となる(ゼロ点との包絡面積)
- BPD/Ncell: 逆電圧 V_r はクラスタ内の健全セル電圧和. 消費電力 P_d は上式に同じ.
- BPDなし: 逆電圧 V_r はセル V_b 値に至る. 消費電力 P_d は上式に同じ.



セルが高温故障するかどうかは、「逆電圧」または「消費電力」で決まる。
これら2パラメタを局限するのが、「クラスタ内セル数制限」と「BPD採用」との2手法併用である。

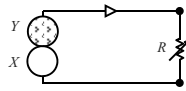
56



釣鐘図の読み方(直列)

※

釣鐘図には3つの考え方(描き方)がある。

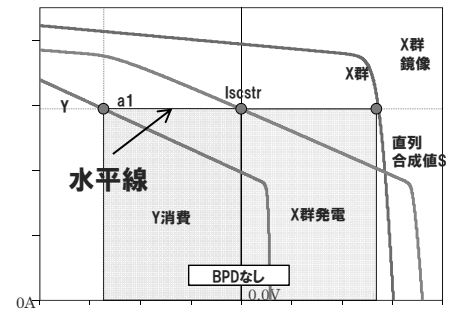


- 水平補助線法(直列セル群の短絡動作点に水平線を与える)

＜やり方と特徴＞

直列セル群の動作電流値 I_{op} を決める。

各セル電流の I_{op} は、(KCLより)直列セル群全体の I_{op} と同じ。
よって各セルの I_{op} は、直列セル群動作点の水平位置にある。



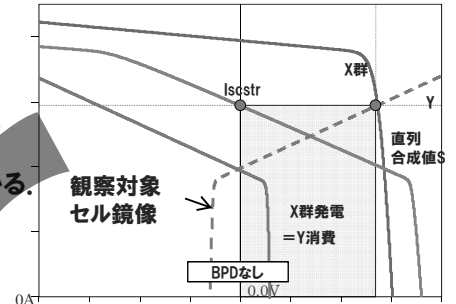
- 観察対象セル鏡像法(日陰セルの鏡像を描く)

＜やり方と特徴＞

日陰セル鏡像と健全セル群との交点とグラフ0点(0V)が形作る面積が、
日陰セルにとっての最大消費電力となる。

図からタイプAセルでは、短絡時が日陰セルのワーストケースとわかる。
ただしこの描法では、

「健全セルの発電面積」と「日陰セルの消費面積」が重なるために、
両者の分別は困難になる。



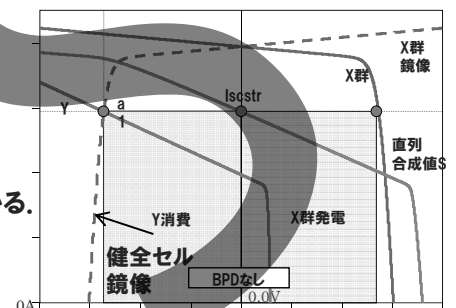
- 健全セル鏡像法(健全セル群の鏡像を描く)

＜やり方と特徴＞

健全セル鏡像と日陰セルの交点とグラフ0点(0V)が形作る面積が、
日陰セルにとっての最大消費電力になる。

図からタイプAセルでは、短絡時が日陰セルのワーストケースとわかる。
この描法では、

発電面積と消費面積とが分別され、全体の見通しが良くなる。



57

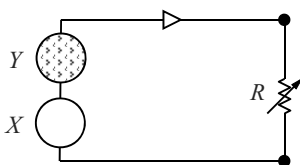
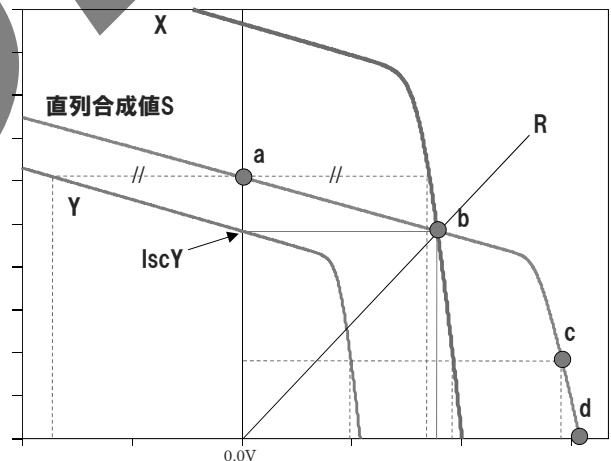
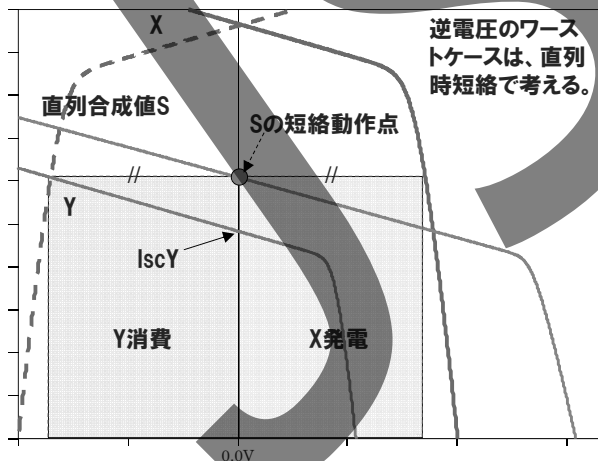


電流特性が不揃いな直列セルネットワーク(短絡時)

※

逆電圧と動作点。

- S動作点の水平延長先がXYそれぞれの動作点である(下図はタイプA)。



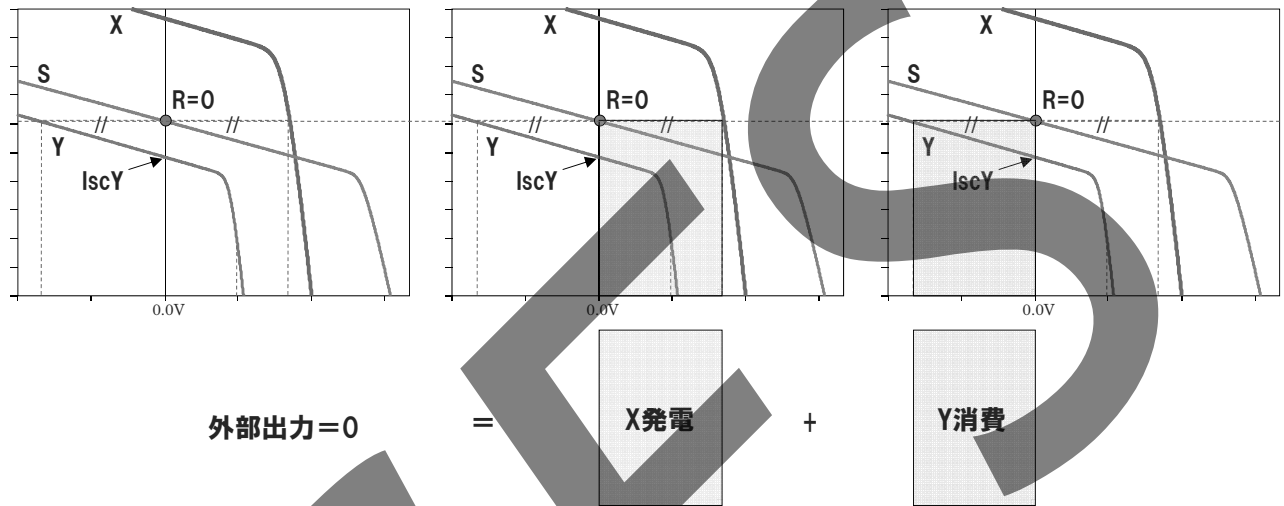
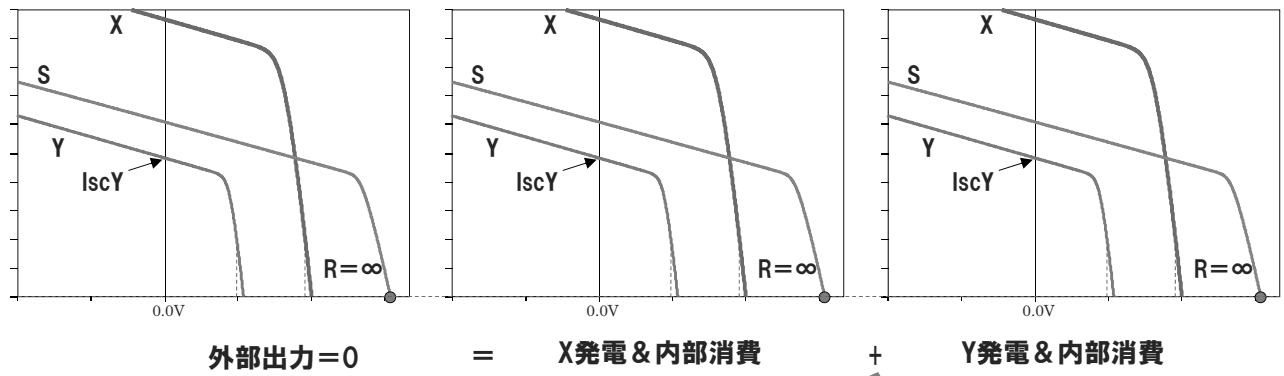
PCSのMPPTがb点よりも左にある場合も、太陽電池セルは電力を消費する。

	Status	I	V
全ての点	一般法則	$I_S = I_X = I_Y$	$V_S = V_X + V_Y$
a点	S短絡, X発電, Y逆電圧	$I_S, I_X, I_Y = I_{scS}$	$V_S = 0$ $V_X = -V_Y$
b点	S, X発電, Y短絡	$I_S, I_X, I_Y = I_{scY}$	$V_S = V_X$ $V_Y = 0$
	Yがどの象限にあるかは、Rのインピーダンスで決まる。 Rがb点よりも左にあれば、Yは逆電圧象限に突入する。		
c点	S, X, Yすべて発電	$I_S = I_X = I_Y$	$V_S = V_X + V_Y$
d点	S, X, Yすべて開放	$I_S, I_X, I_Y = 0$	$V_{ocX} + V_{ocY} = V_{ocS}$

58



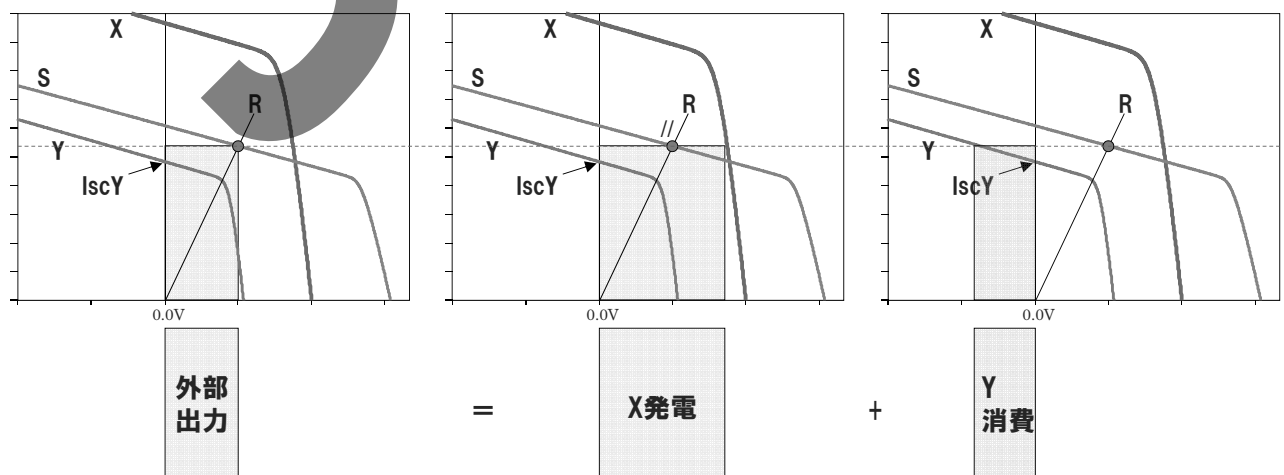
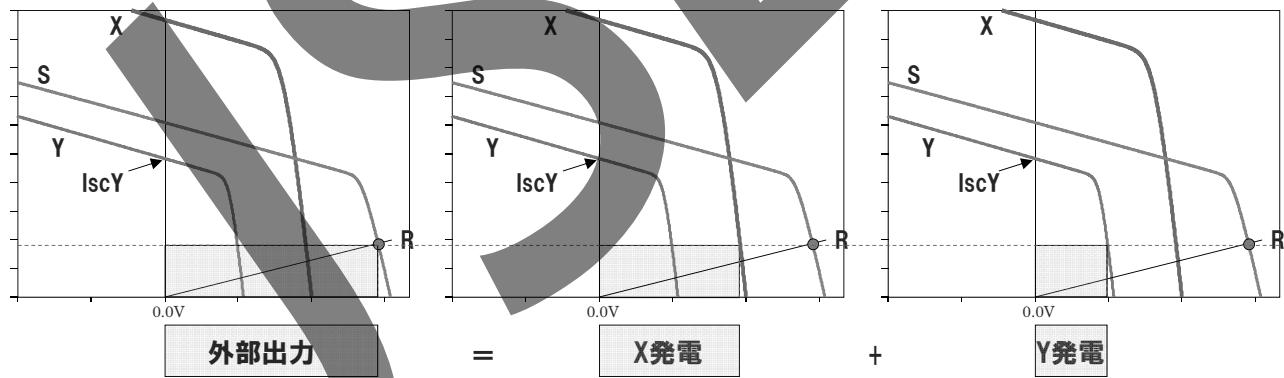
外部出力込のエネルギー収支(開放, 短絡...外部出力0のとき)



59



外部出力込のエネルギー収支(電圧崖動作, 電流棚動作)



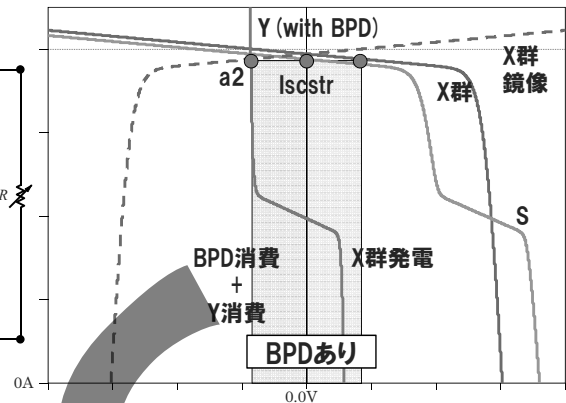
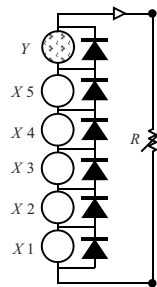
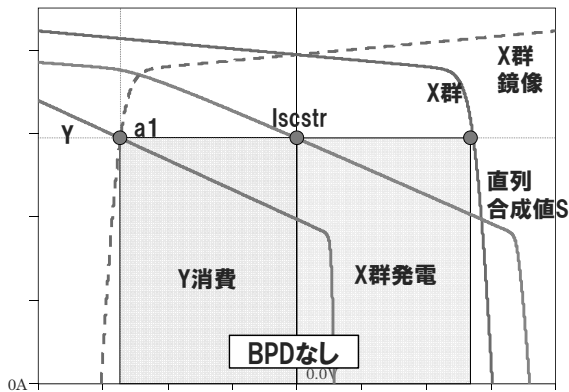
60



逆電圧象限・・・BPD/1cell の導入

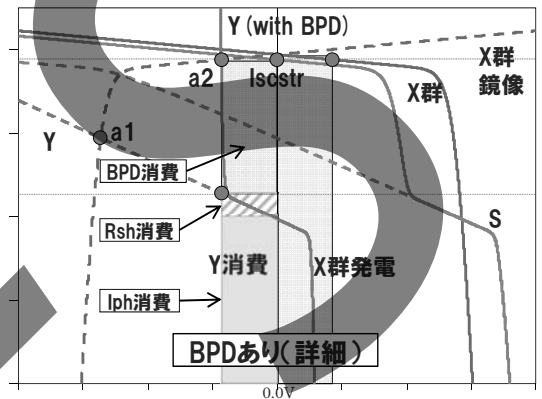
※ 当該クラスタの短絡をワーストケースとして考える(タイプA)

- BPDが負担するクラスタ内セル数に比例して日陰セルの負担電力は増える。
- 個別BPDは最高の保護(ソーラーカーなどに用いられる)



左図に比べて右の二つの図では、
日陰セルの消費電力が大幅に低減されている。

BPDが個々のセルに並列されると、
・セルはBPDVf以上の逆電圧から保護される。
・セルはBPDVf×Iopの電力消費に留まる。
ただし、この方法は経済的ではない。
また、システム信頼性に劣る。
(部品点数が多いと個別部品信頼性の影響を受ける)



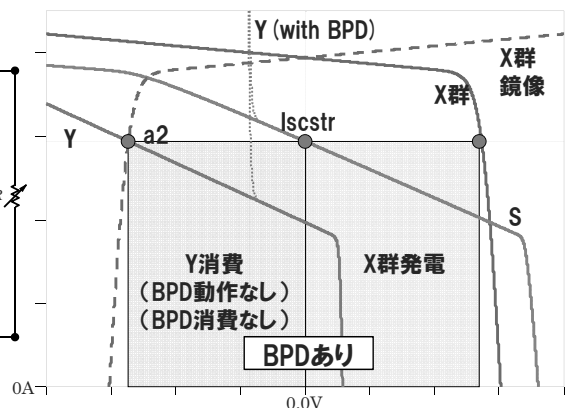
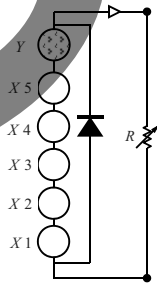
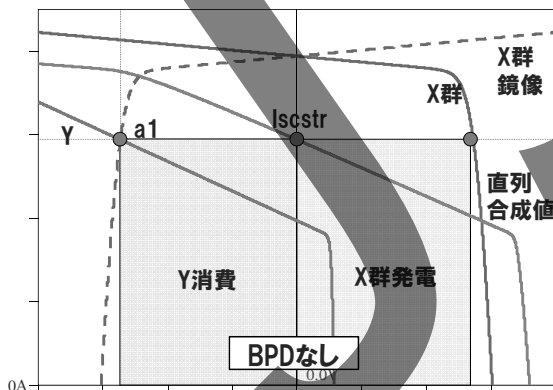
61



逆電圧象限・・・BPD/Ncells の導入

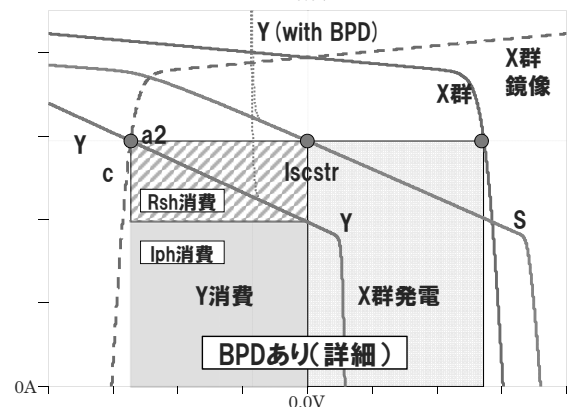
※ 当該クラスタの短絡をワーストケースとして考える(タイプA)

- BPDが負担するクラスタ内セル数に比例して日陰セルの負担電力は増える。
- 外部バイアス(直列となったモジュールやクラスタ)が無ければa1点=a2点。(つまり効果が無い)



左右の二つの図を比べると、
どちらも日陰セルの消費電力は変わらない。

右の2つの図から、セル群に並列されたBPDはセル
を保護するというよりも、クラスタ丸ごとを一単位と
して保護することがわかる。
したがって、
個々のセル保護は、クラスタ内のセル直列数をセル
のVb未満に制限することが前提となる。
※BPDは外部バイアスが無ければ動作しない。



62

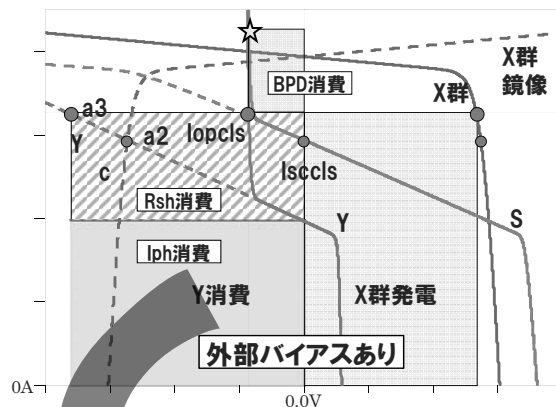
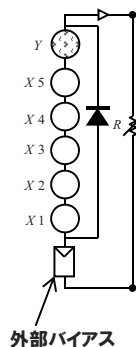
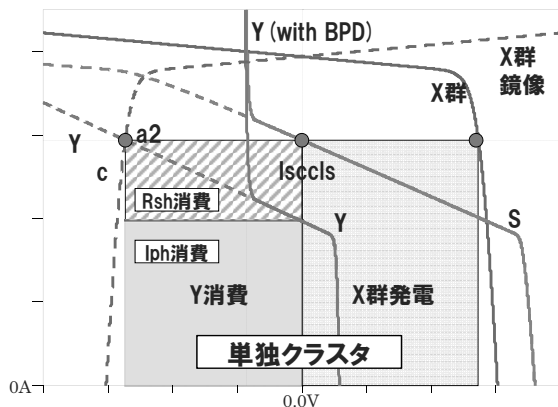


逆電圧象限・・・BPD/Ncells の導入(外部バイアスがある場合)

※ スtringの短絡をワーストケースとして考える(タイプA)

- クラスタは、Stringの一部でしかなくなる。
- 外部バイアス電流がBPDのVf動作点を超えると、X群発電とY群消費は一定となる。(例として星の位置を参照)

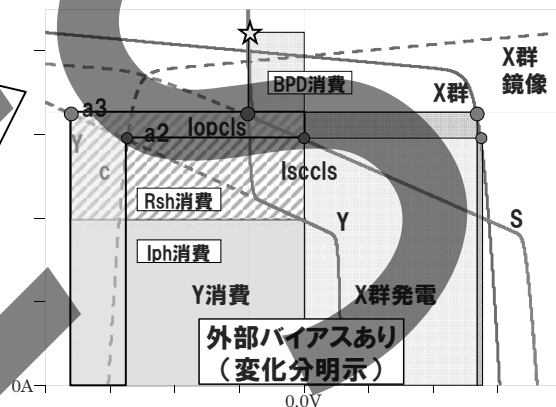
☆は、外部バイアス電流IstrによるStringの動作点



左右の二つの図を比べると、
右図のほうが、クラスタ内消費電力が大きい。

外部バイアスがあるときのクラスタの動作点は、BPDのVfの分だけ左にオフセットし、これに合わせて日陰Yセルと日向Xセルの動作点が移動する。

ただし、クラスタ電流Iopclsをクリティカルポイントとしてこれよりも大きな外部バイアスがクラスタに掛かる場合も、クラスタ内の消費電力は一定に保たれる。
またこの場合、Iopclsを超える電流はBPDで消費される。

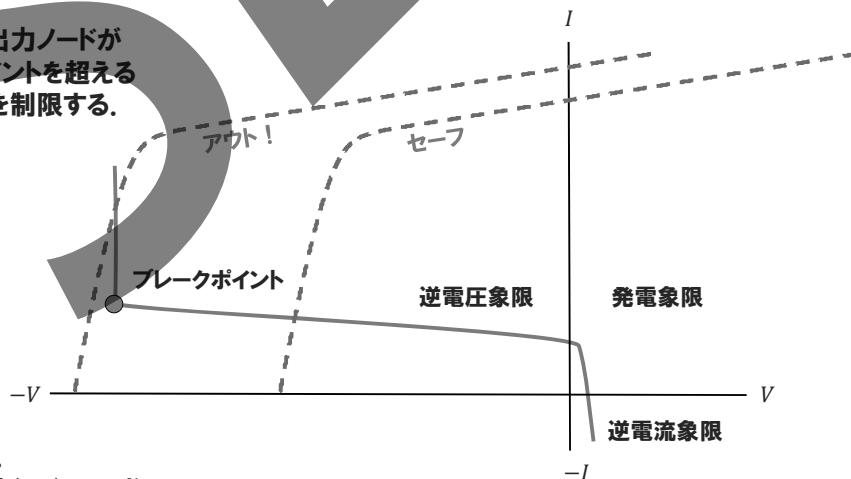
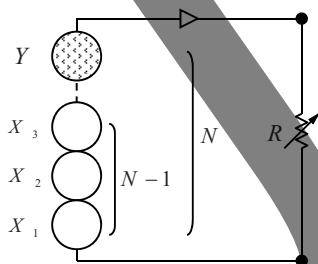


63



BPDが担当するセルのN数の定め方(タイプAセルのクラスタ設計)

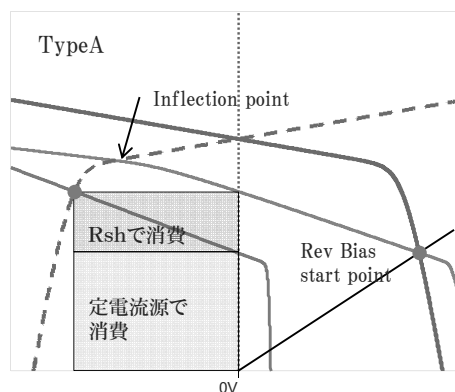
太陽電池を設計するには、太陽電池出力ノードが短絡した時に低Iphセルがブレイクポイントを超えないようにクラスタ内の直列数を制限する。



クラスタ内に直列可能な最大セル数は、
セルの消費電力限界と逆電圧の限界値(Vb)から求める。
逆電圧は下式を検討。消費電力は下式×Iopが最大となる点を検討。
 $V_{opY} = -(N-1) \times V_{opXo}$
ここに、 Xo = 健全セルのVop
ただし、BPDの負側オフセットがあるため実質は、
 $V_{opY} = -N \times V_{opXo}$ 」

ブレイクダウンが予想される時は、
セルの3パラメタと最大可能消費電力を再検討する。

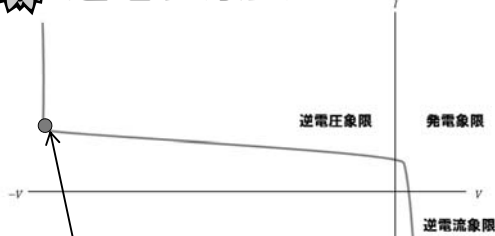
- VB(ブレイクダウン電圧)
Rsh(シャント抵抗)
IL(光電流)
セルの許容可能消費電力
- ほか、PCSのMPPが逆バイアスを掛けないかを調べる。



64

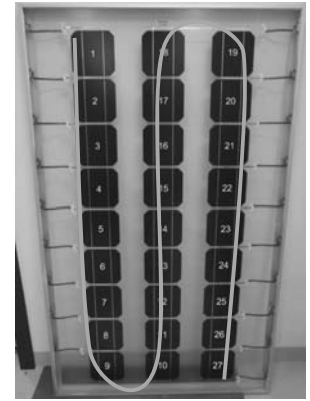


逆電圧象限・・・ローカライズドシャント(クラスタ内のセル数を増やし過ぎるな！)

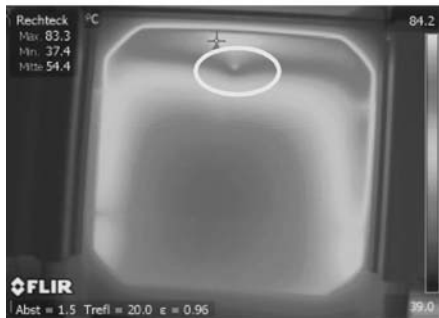


逆電圧象限では、 m が低質量ゆえに温度上昇大。
(電流密度大⇒温度上昇大と考えても良い)

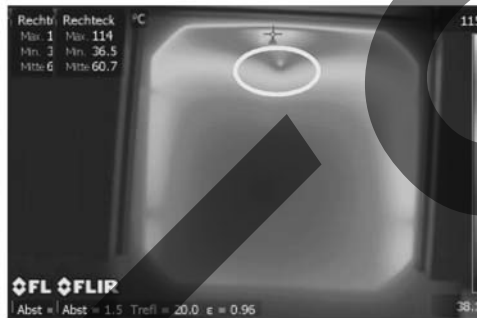
$$\text{※ } Q = mc\Delta T \Rightarrow \Delta T = Q/mc$$



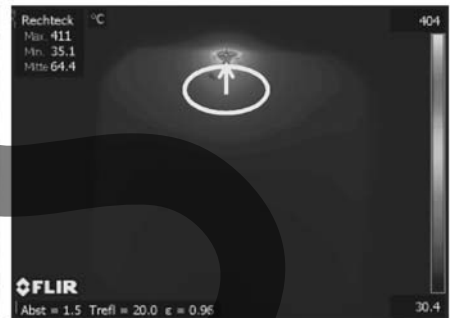
Cell in a 12cell-string
 $T_m = 84^\circ\text{C}$



Cell in a 20cell-string
 $T_m = 114^\circ\text{C}$



Cell in a 24cell-string
 $T_m = 411^\circ\text{C}$



クラスタ内の直列セル数が多すぎると、消費電力限界を超えたり、過剰な逆電圧によってPN間の絶縁が破れたりしてアヴァランシェしてしまう。また、セルに電流密度が高い部分があるとその部分は高温化する。この場合、さらに直列数を減らす必要がある。

65

中間まとめ3-1 逆電圧象限動作

- ※ 3象限動作デバイスとしての太陽電池
 - 太陽電池セルには、所期の使用目的である発電象限動作のほか、逆電圧象限動作（セル極性反転）と逆電流象限動作（ボディダイオード順電流）という、電力消費を伴う2つの動作モードがある。
- ※ 逆電圧象限
 - 過大な逆電圧を受けた太陽電池セルは、その逆耐電圧超過と消費電力超過のいずれか、または両方を原因として雪崩降伏（アヴァランシェブレイクダウン）する。
- ※ 降伏特性
 - 逆電圧時の降伏特性からセルは、タイプA（電圧制限形）とタイプB（電流制限形）とに二分類される。両者は、クラスタ内の直列セル数とセル降伏電圧 V_b から決定される。即ち、クラスタ内セル数 $N \times V_{op}$ がセル V_b 値を超過しない場合にタイプAとなり、超過する場合がタイプBである。なお（ここに挙げた）タイプAセルのワーストケースは、部分遮蔽ハクラスタ短絡時に生じる。
 - ローカライズドシャントではその高電流密度のために ΔT が過大となる。
- ※ 逆電圧象限動作のエンドポイント
 - 高温となったセルは火災の火種となる。高温セルはまた、発電面のカバーガラスを破損する。破損した発電面は風と低周波共振し飛散することがある。
- ※ 逆電圧保護
 - セルを逆電圧から保護する方法に、消費電力限界と逆電圧限界 V_b を見据えたクラスタ内セル数制限、エッチピットやセルクラックを背景にしたローカライズドシャントと I_{ph} インバランスを見据えたセルソーティング、電流バイパス用保護素子をクラスタに並列することなどが挙げられる。
 - BPDが開放モード故障すると、クラスタ内の低 I_{ph} セルが連鎖ブレイクダウンすることがある。これは、雪崩降伏したセルの電流アクセプタンスが上昇し当該セルの逆電圧負担幅が縮小することで、クラスタの全逆電圧を他の低 I_{ph} セルが応分負担し始めるためである。
 - 逆電圧発生現象の分析とその対策方法の検討には、検討対象となる太陽電池各セルのシャント抵抗や V_b 値を取得して釣鐘図上で分析することが有効である。ただし、モジュールが許容可能な消費電力はセル特性のみでは定まらず、EVAの 85°C がクリティカルポイントとなる場合が多い。したがってモジュール設計や市販品の選定に際しては、熱回路を解くことも必要になる。

66

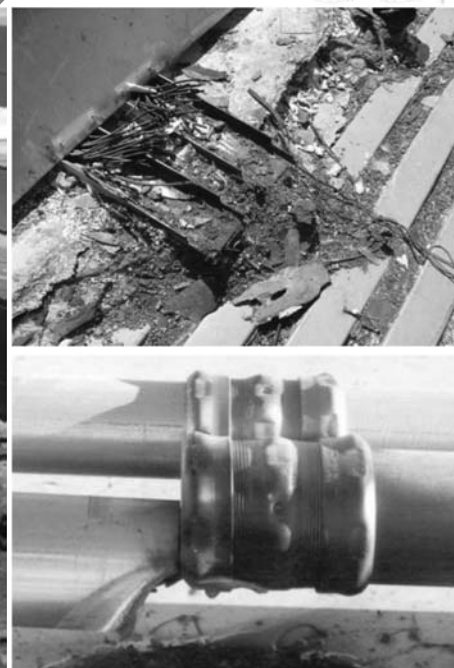
地絡保護の盲点



接地系地絡アーク…GFCIのブラインドスポット(2009)



「ベーカーズフィールドファイヤ」と呼ばれる著名なPV地絡火災



NFPA資料, SolarPro誌より

NFPA報告書要約

2009年4月：カリフォルニア州，百貨店屋上．11モジュール166ストリングスからなる380kWシステム．配列図はあるが，配線が不明であった．これでは緊急時にどのようにシステムをアイソレートするのか，混乱する．ここでは位置の離れた二箇所から電気アークによる火の手があがった．完全に燃えたストリングが上図．最終的に商店の屋根を破ることはなかった．このアークは，日射によって膨張した金属管カップリングが配線を露出させ，この配線が短絡したことが原因であった．この火災はよく晴れた日に起こった．モジュールはこの火災の間もよく発電し続けた．それを遮断する方法もない程であった．このシステムは法律に則ったものであった．このことは，緊急出動者向けに速やかなアイソレーション方法を提供するための，法律改正の必要を意味する． ※SolarABCs(米国PV基規準委員会)の報告書ではメンテナンス業者の見落としが指摘されている．

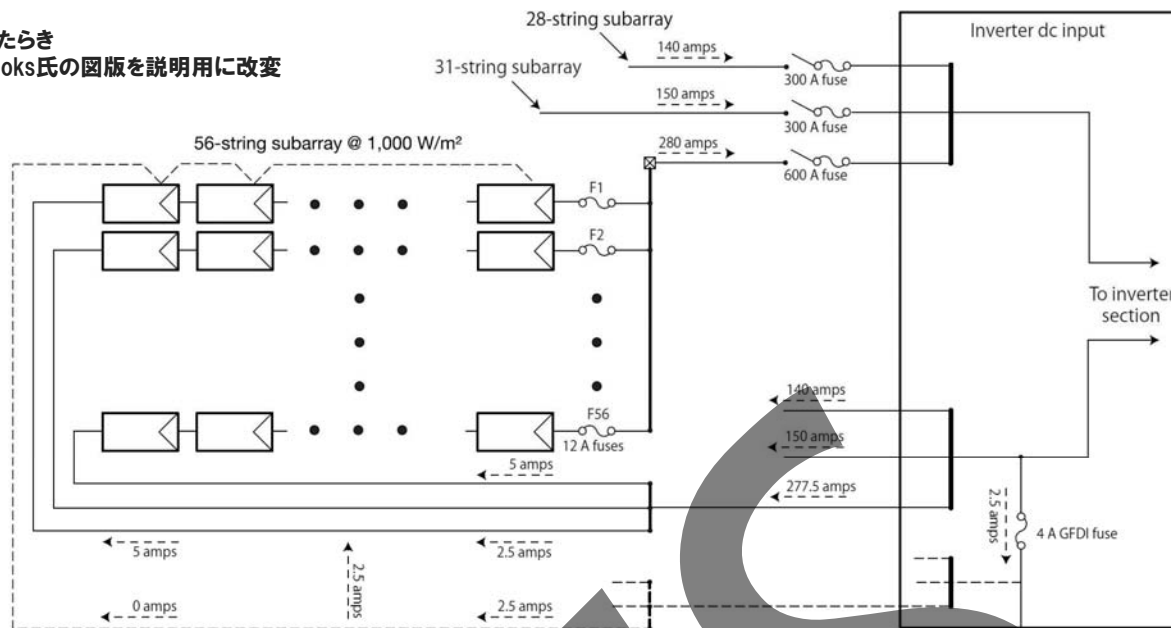


ベーカーズフィールドファイヤ...GFCIの盲点

1/3

GFCIのはたらき

※Bill Brooks氏の図版を説明用に改変



NEC690.5によると、このタイプのGFCIは地絡検知時、ヒューズが溶融して接地側極を開放する。

2011版抜粋&翻訳

(A)地絡検出と遮断：地絡保護装置またはシステムは、地絡電流を検出して短絡電流を遮断し、当該短絡の表示が可能なものとする。故障回路の接地導体を自動的に開放し地絡電流の電路を遮断する方法を認める。地絡電流の電路を遮断するために接地導体が開放される場合は、故障回路のすべての導体が自動的に同時に開放とする。手動操作で主PV 直流断路装置を作動させても、これによって地絡保護装置を作動させてはならず、またこの結果接地導体が非接地状態にならないものとする。690.5(A)に適合する地絡保護装置の典型的なものは、主直流ボンディングジャンパを開放することで機能する。これらの装置は当該直流システム的全領域の直流地絡を感知し、また当該システム上の取り付け場所を選ばない。通常は系統連系インバータ内で、独立運転形PVシステムの場合は直流発電部位の内部に設置される。接地導体の開放で地絡保護となる場合は、故障回路の導体を自動的にすべて開放するための断路手段も組み込まなくてはならない。

69



ベーカーズフィールドファイヤ...GFCIの盲点

2/3

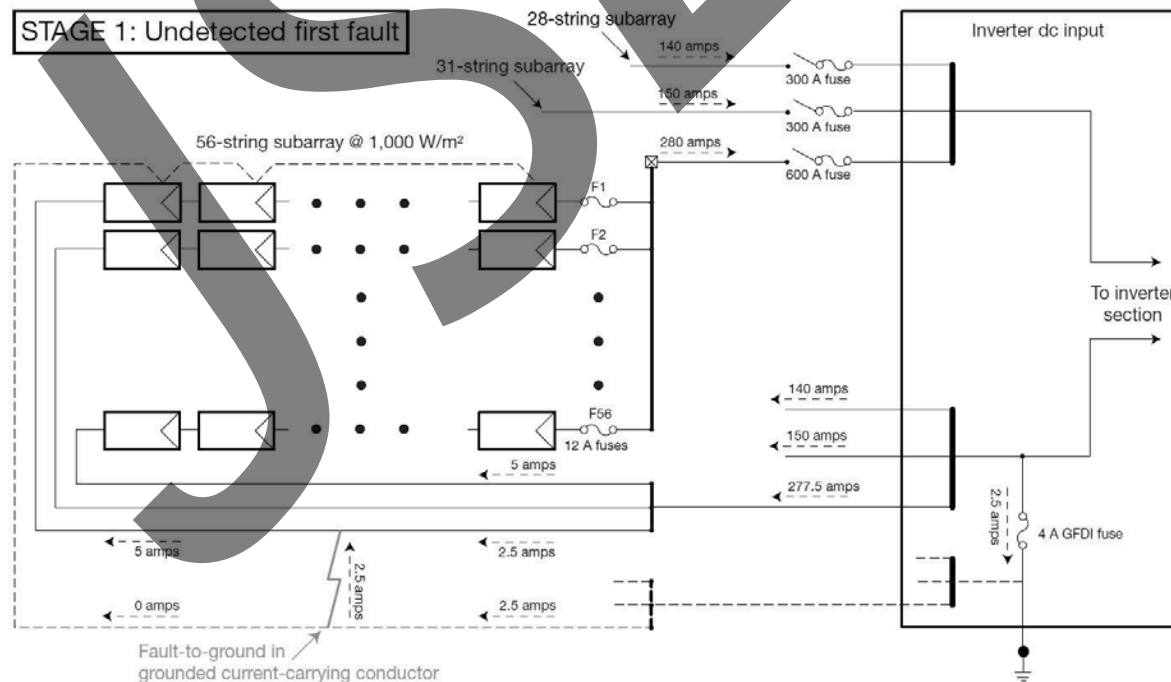


Figure 1 An undetected fault between a grounded current-carrying conductor and the equipment-grounding conductor will persist indefinitely without tripping the GFP. Absent proper commissioning procedures, this first fault can exist from the time of installation forward.

Max. permissible leakage current according to UL1741 table 2.1

DC nominal power	Cutoff limit
100 – 250 kW	4.0 A
> 250 kW	5.0 A

GFCIのヒューズからは、負極地絡が見えない。

このDCTN系では、供用開始前の負極地絡が盲点であった。
(この事前地絡は、DCITの第一故障に相当する)

70

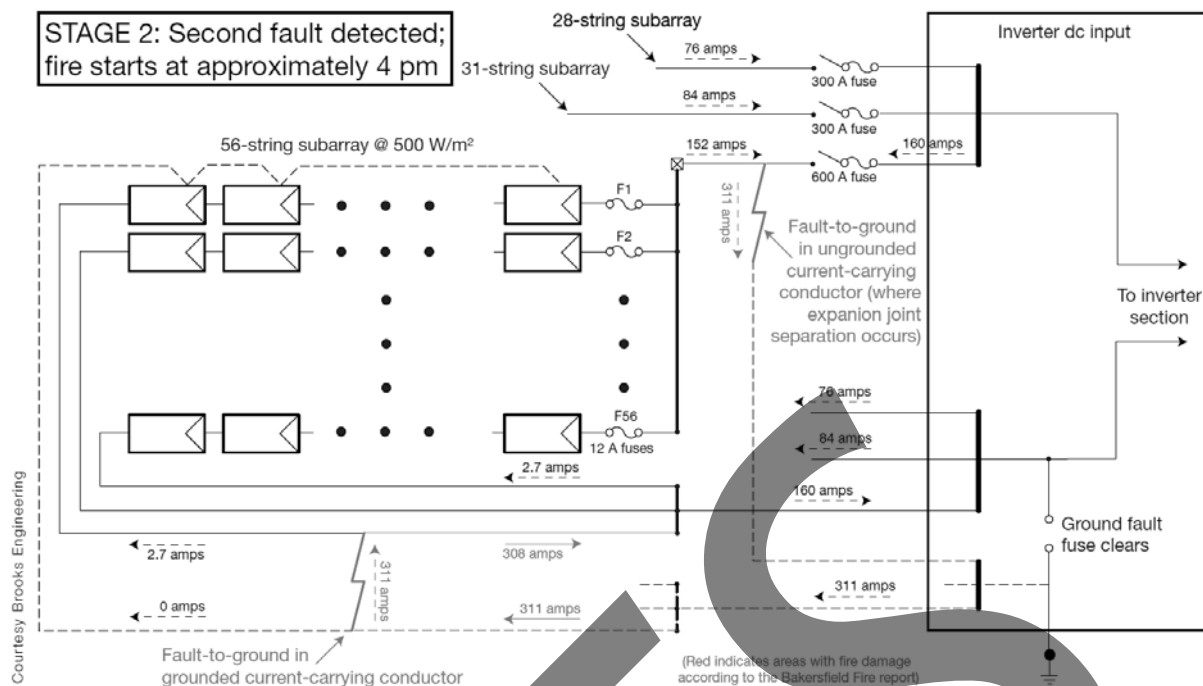


Figure 2 Thermal expansion in a long conduit run housing PV output-circuit conductors causes an expansion joint to fail and damage a large (500 MCM) ungrounded output cable. The resulting high-magnitude ground-fault currents quickly clear the ground-fault fuse in the inverter. After the ground connection is lifted at the inverter, the available ground currents return through the fault in the grounded source-circuit conductor (through the array-bonding hardware and the metal conduit parts) to the fault in the ungrounded output conductor. Because the grounded conductor is unfused, these high-magnitude fault currents continue without interruption.

プレ地絡(第一故障)が除去されないままバス地絡(第二故障)に至ると、大規模な地絡事故電流が流れる。

71



非接地系地絡アーク...屋上メガソーラー火災(2009)

ドイツヘッセン州ビュルシュタット
(Bü rstadt)



Aus Report TC82, Howard O. Barikmo, 2009

Aus Report TC82,
Howard O. Barikmo,
2009



BP報告と報道の概要

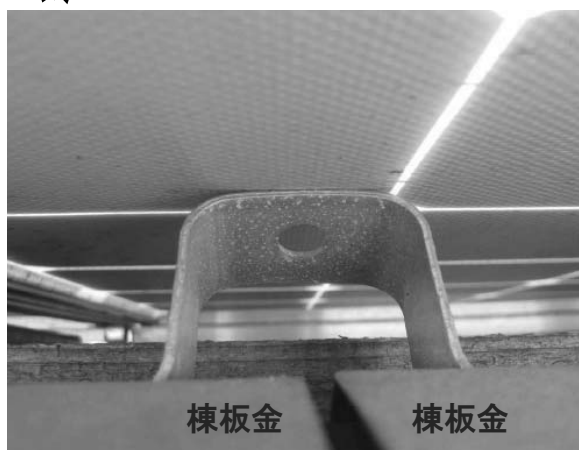
2009年6月21日:ドイツヘッセン州ビュルシュタット、ロジスティック倉庫屋上の5MWシステム。原因はモジュール故障かシステム設計ミスか不明。メーカーであるBPの報告からは、棟板金の等電位ボンディング(雷対策)用金具と太陽電池バックシートとの地絡が読み取れる。2009年6月30日:インスペクター調査中にさらに2件の火災が発生している。

※注 下地を木材とすることは日本では違法。

IT系でも多重地絡による火災が発生している。

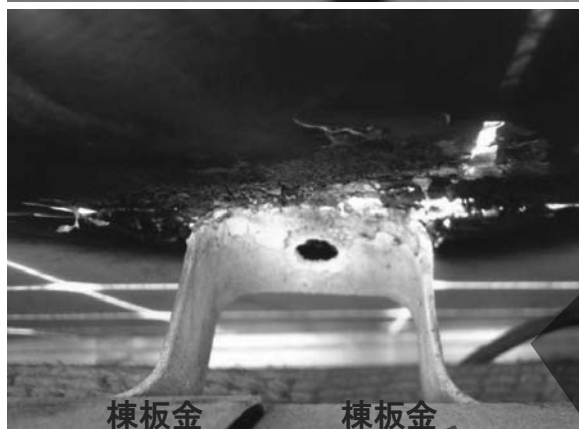
72

☀️ 非接地系地絡アーク…屋上メガソーラー火災(2009)



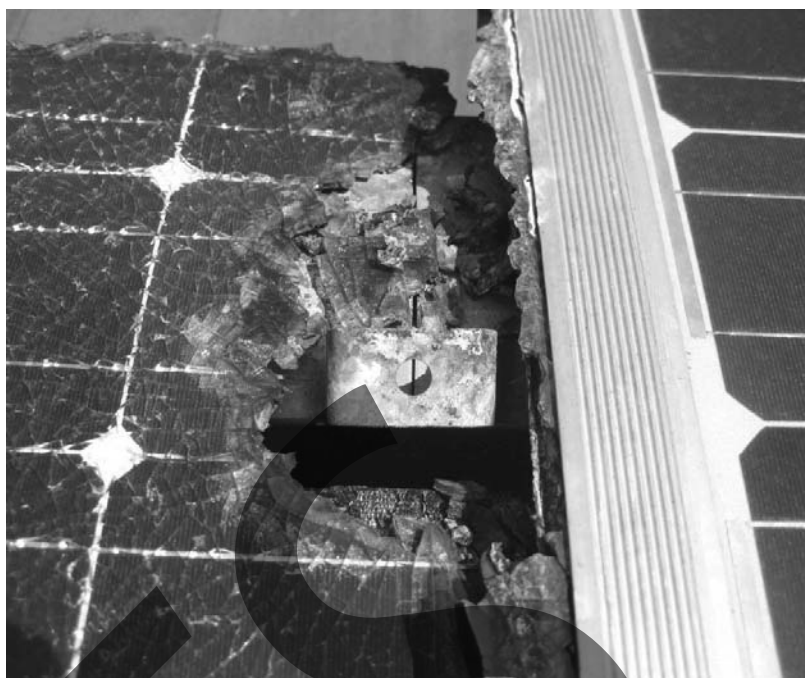
棟板金

棟板金



棟板金

棟板金



報道の要約

2009年6月：左は等電位ボンディング用の金物。バックシートとの擦過により地絡している。

事故のその後

- ・業者の主張：ホットスポットだ
- ・BPの主張：地絡だ
- 互いに商売に不都合→“手打ち式”実施

73

☀️ 参考 BPの反論, パワーライン～PEの離隔距離に関する教訓



Back sheet damage



Arc ignition

BP発表の要約(Analysis of Hot Spots in Crystalline Silicon Modules and their Impact on Roof Structures)

フラッシュオーバーはブローブ距離が2ミリ以下の時に発生する。

フラッシュオーバーは乾燥時にも発生し、水分があるとよりその機会が増える。

このような状態では、フラッシュオーバーは300V以上の時に検出される。

傷のないバックシートでは、漏れ電流もアーク発生も無い。

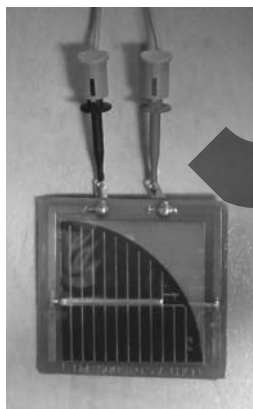
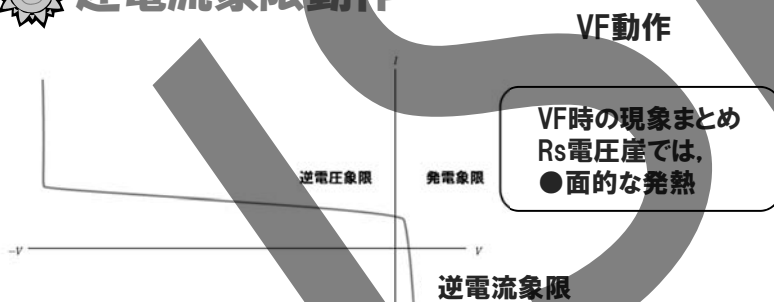
先のメガソーラー火災において、ドイツの業界団体は「BPに原因あり」とジャッジした。それゆえ、BPには反論する必要があった。

74

逆電流象限動作と 非接地系地絡保護の盲点 (モジュール・配線過電流)

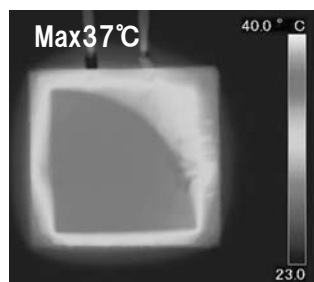
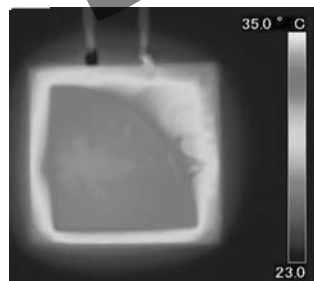


逆電流象限動作



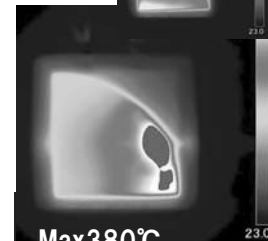
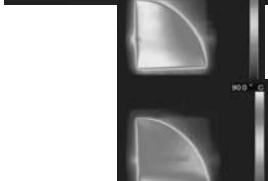
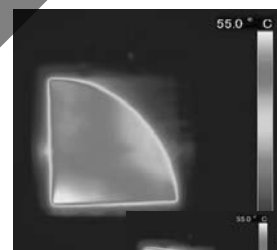
テスト条件

- セル I_{sc} 500mA, 暗状態。
- 0.8Aでバイアス電源クリップ



RsとPNジャンクション支配

VR動作



Rsh支配

両者比較

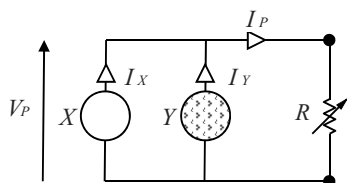
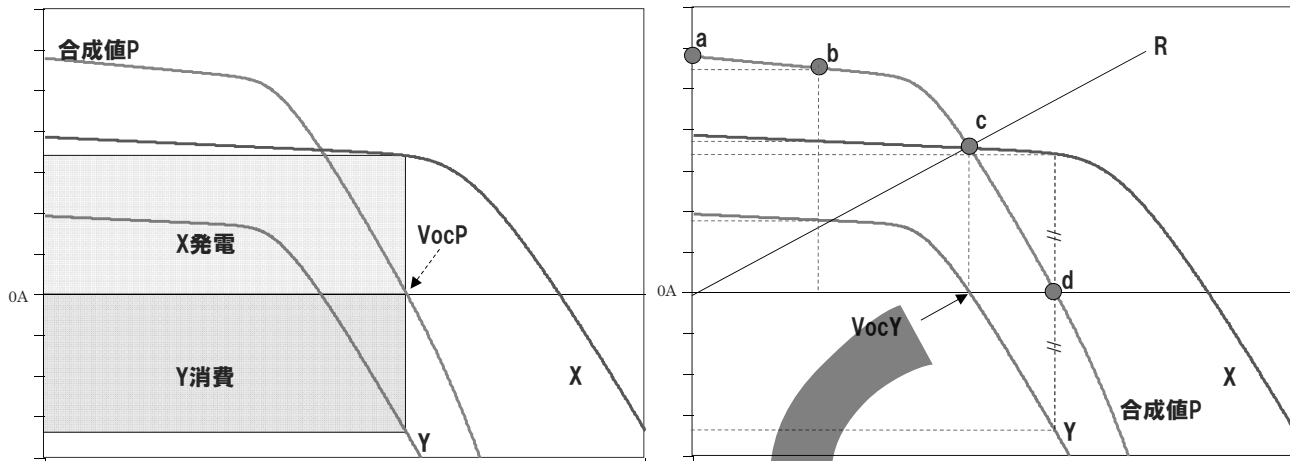
逆電流では、面的に発熱。温度も低い。
逆電圧では、温度上昇・温度勾配大。降伏点は移動する。



電圧特性が不揃いな並列セルネットワーク

※ 逆流と動作点

➤ 直列の際には短絡で考えたが、並列の際には開放で考える。



	Status	I	V
全ての点	一般法則	$I_p = I_x + I_y$	$V_p = V_x = V_y$
a点	P,X,Yすべて短絡	$I_p, I_x + I_y = I_{scP}$	$V_p, V_x, V_y = 0$
b点	P,X,Yすべて発電	$I_p = I_x + I_y$	$V_p = V_x = V_y$
c点	P,X発電、Y開放	$I_p = I_x$ $I_y = 0$	$V_p, V_x, V_y = V_{ocY}$
	Yがどの象限にあるかは、Rのインピーダンスで決まる。 Rがc点よりも右にあれば、Yは逆電流象限に突入する。		
d点	P開放、X発電、Y逆電流	$I_p = 0$ $I_x = -I_y$	$V_p, V_x, V_y = V_{ocP}$

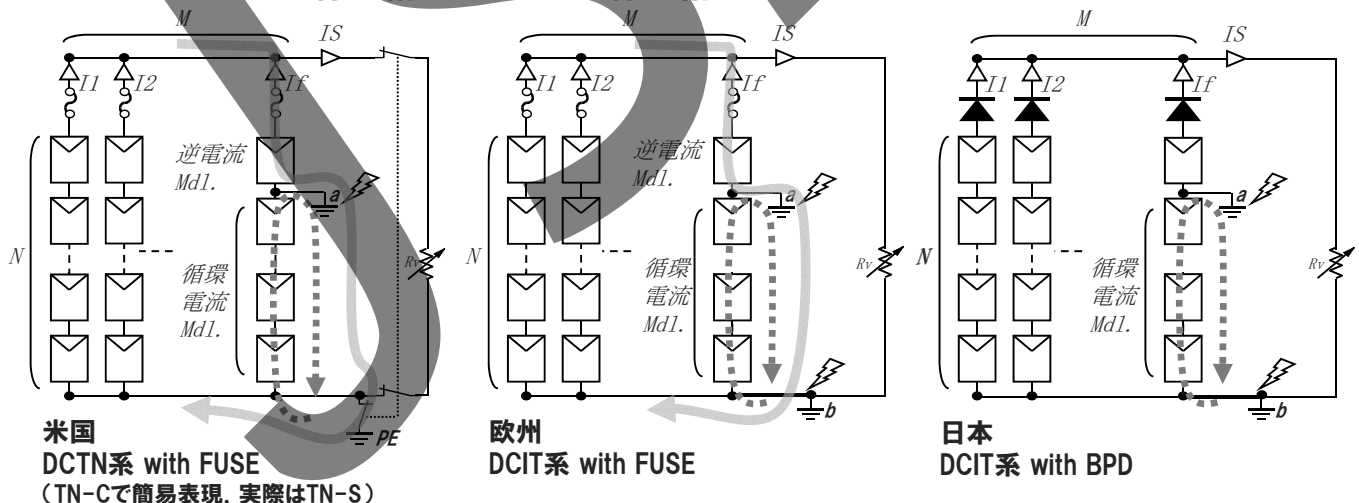
77



各種電気方式の地絡と逆電流

※ アレイの電気方式と地絡電流(TN系直列型第一故障とIT系直列型第二故障, FUSEとBLD)

➤ DCTN系では1線地絡で、DCIT系では2線地絡で帰路を形成する。



FUSEでは、地絡後の逆電流によってStrが遮断。

- 地絡点間Mdl.
(地絡で短絡されるモジュール群の循環電流)
 $I_{fault1}(\text{点線}) = I_{sc}$
- 逆電流Mdl.
(他回路から電流流入したモジュール群の逆電流)
 $I_{fault2}(\text{実線}) = (M-1) I_{sc}$
- 地絡ab点間電流
 $I_{fault1} = I_{sc}$
 $I_{fault2} = (M-1) I_{sc}$
 $\therefore I_{faultall} = M \times I_{sc}$
(短時間過電流状態)

BLDでは、地絡後も逆電流は生じない。

- 地絡点間Mdl電流
(地絡で短絡されるモジュール群の循環電流)
 $I_{fault1}(\text{点線}) = I_{sc}$
- 地絡ab点間電流
 $I_{fault1} = I_{sc}$

ただしBLD短絡故障、かつ、上図地絡が生じた場合には、欧州型に移行し、しかも事故が止むことが無い。
(継続的過電流状態)

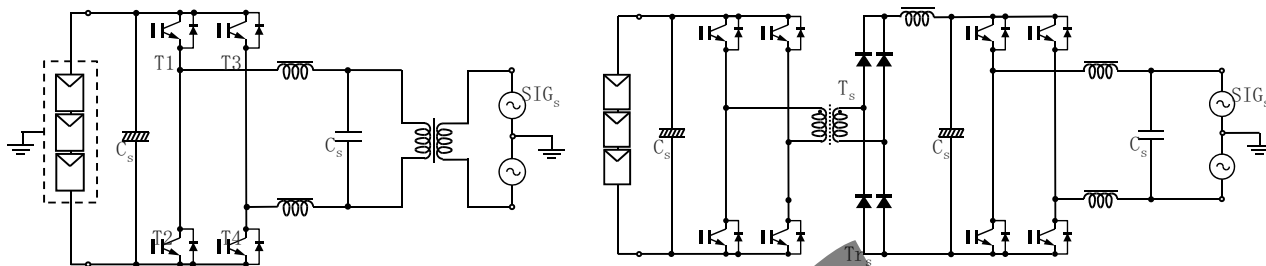
78



日本の地絡保護の盲点は？

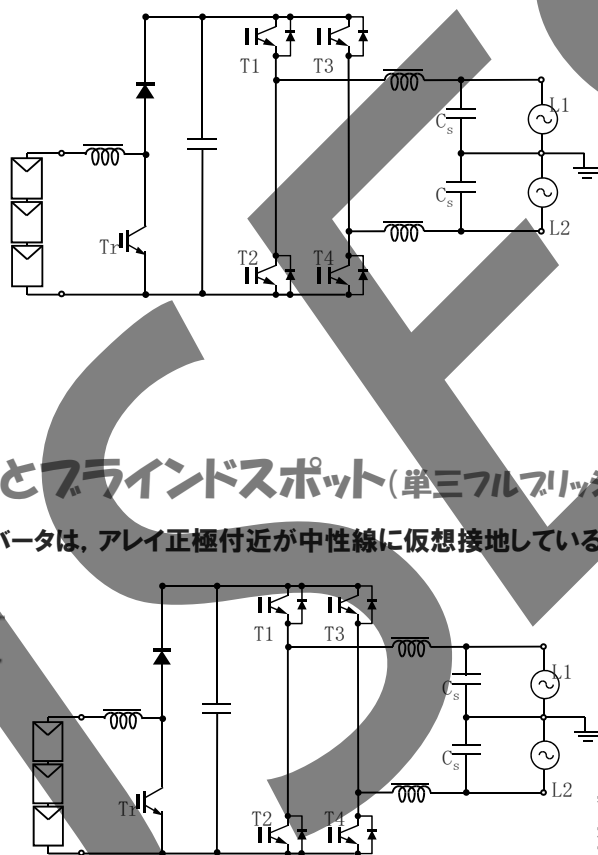
※ 絶縁トランス方式

- 最初の地絡(第一故障)を見つけれない
- 二番目の地絡(第二故障)も見つけれない



※ トランスレス方式

- 仮想接地点付近が不感帯(後ほど説明)

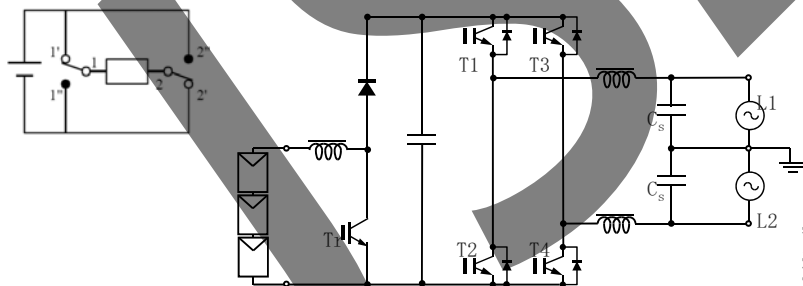


79



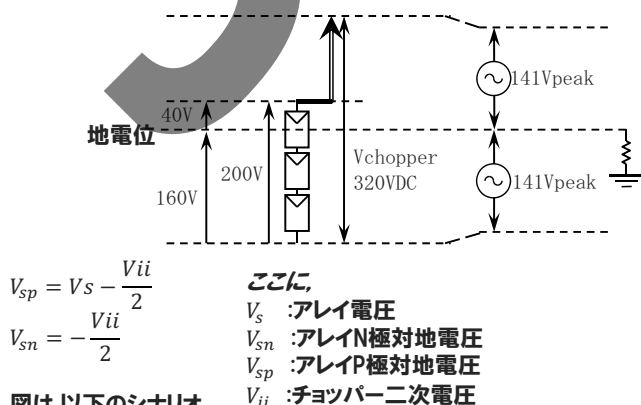
仮想接地とフラインドスポット(単三フルブリッジトランスレスのトポロジを例に)

※ フルブリッジインバータは、アレイ正極付近が中性線に仮想接地している(正極仮想接地)



参考:
近藤正示(長岡科技大):conappli.pdf,
西尾直樹(三菱電機):グリーンエレクトロニクスNo.5

※ 薄膜・バルクPにおけるPIDの問題、地絡検知不感帯の問題(第一故障へのブラインドスポット)



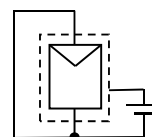
図は、以下のシナリオでの電位図
 $V_s = 200V$
 $V_{ii} = 320V$

仮想接地の弱点は以下2点にまとまる。

1.PID

仮想接地の反対側極(この場合は負極側)にPID傾向が生じる。

- ・薄膜のバーコード腐食
- ・バルクPのシャンテイング



2.地絡不感帯

- ・トランスレスでは、仮想接地点近傍が不感帯。
- ・高周波絶縁方式では、全域が不感帯。

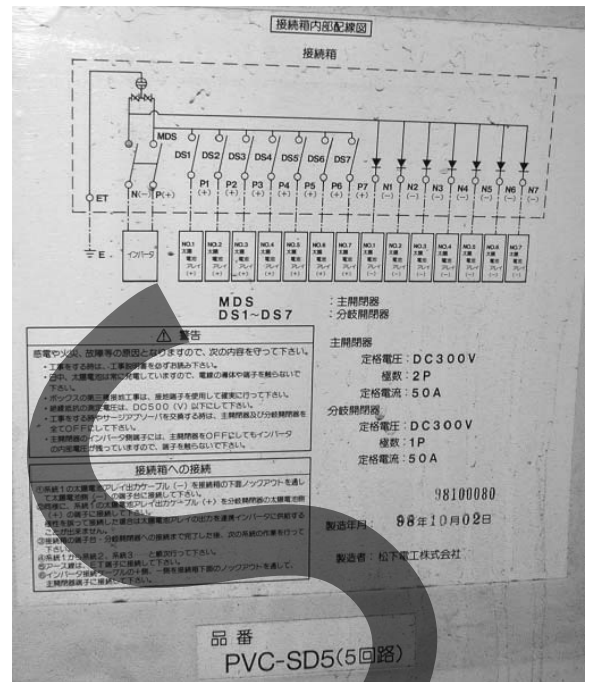
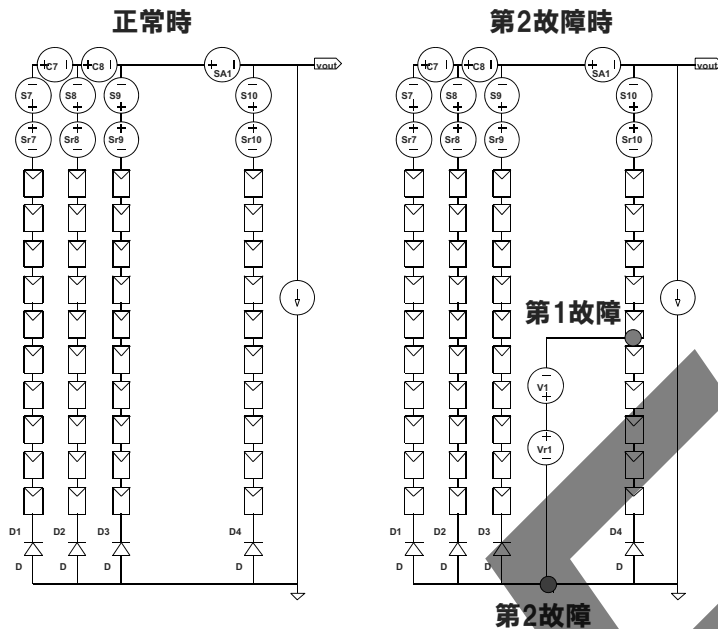
80



不感帯をそのままにすると、どうなる？

※ 第1故障に気づかないままに第2故障を生じるとどうなるか。一例として第2故障がバス地絡であるケースを検討。

Str過電遮断器なし ∧ BLD採用 ∧ 中点に不感帯あり
 以上のような一般的条件で、以下をSpiceでSimする。
 第一故障: 中点地絡
 第二故障: バス地絡(この場合、負極)



参考とした接続箱

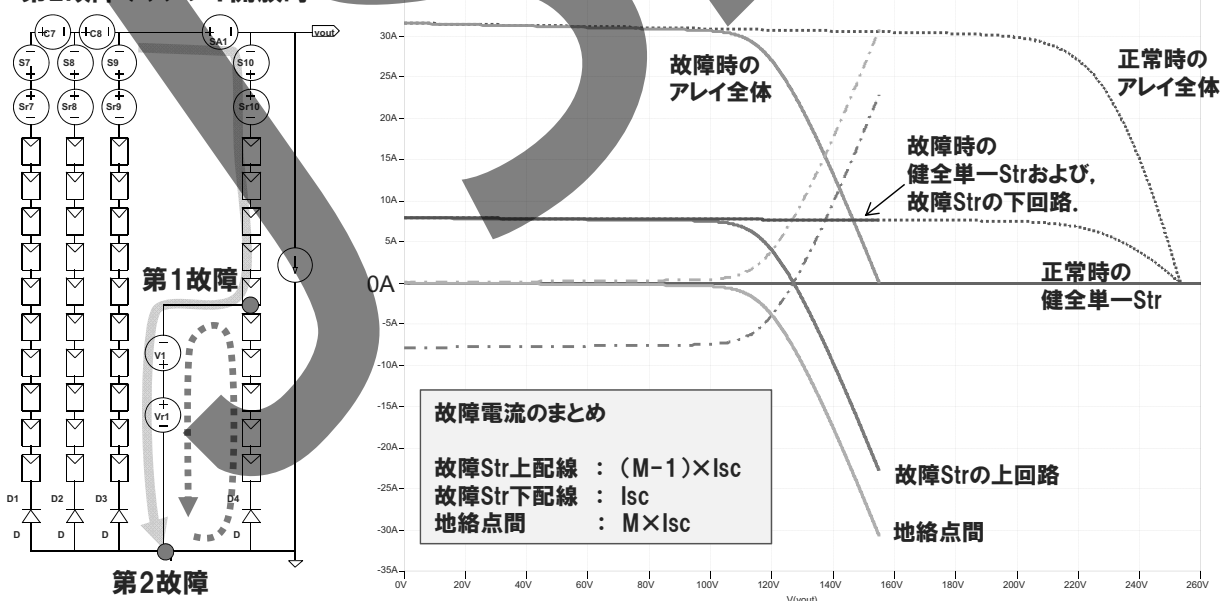
81



不感帯をそのままにすると、どうなる？

※ 第1故障に気づかないままに第2故障を生じるとどうなるか。Sim結果。

第2故障 ∧ アレイ開放時



※ まとめ

- 第2故障時、地絡点間には並列ストリング数 $M \times I_{sc}$ の電流が流れ、地絡点間モジュールには地絡点経由の循環電流 I_{sc} が流れる。また、故障Strの電流入入側(この場合は上半分)には $(M-1) \times I_{sc}$ の電流が流れる。
- BLDは、過電流保護の役割“は”もっていない。
- 日本の場合、絶縁トランス方式は全域盲点。正極昇圧チョッパのトランスレスは正極～中点付近が盲点。
- 地絡検知に盲点がある限り、システム所有者は第1故障に気づかない可能性が高い。
- 第1故障に気づかないままに第2故障に至ると、火災の恐れがある。

82

中間まとめ3-2, 3 逆電流象限動作, 地絡保護の盲点

※ 地絡

- 地絡には二つの問題がある。一つは感電でありもう一つは火災である。
- 接地系アレイを採用する米国では最初の地絡ですぐに帰路形成するために火災が発生しやすい。実際に、ベーカーズフィールドではGFCI（米国の地絡保護装置）の盲点（ブラインドスポット）ゆえのアレイ火災を生じている。この事件を契機に米国ではAFCIの設置が義務化した。
- 非接地系アレイを採用する日欧では、帰路形成に少なくとも2点の地絡点を要するために火災は発生しにくいとされてきた。しかし独ビュルシュタットのよう多点地絡が関与する火災例がある。

※ 日本における考慮事項（地絡と逆電流象限動作と過電流）

- 地絡保護の盲点は接地系アレイだけのものではない。最初の地絡（第1故障）について、絶縁トランス方式のPCSは不感であり、トランスレス方式の場合も仮想接地付近は不感帯である。
- ほとんどの逆電流事故の背景に多重地絡がある。PCS不感帯の第1故障に気付かないままバスに第2故障を生じると、第1故障を含む太陽電池には並列ストリングからの逆電流が流入する。また、バスではなく別ストリングに第2故障を生じた場合（ラインラインフォルト）も一部の特殊ケースを除き逆電流事故となる。
- ボディダイオードに対し過大な順電流を通じた太陽電池セルは、EVAなどモジュールのラミネート材をゲル化し、やがて太陽電池セル自身もその消費電力限界を超えて破損する。逆電流を通じたモジュールや配線は焼損、火災に至る場合がある。
- 地絡と逆電流と過電流とが三位一体で考察されるのは以上のような理由による。

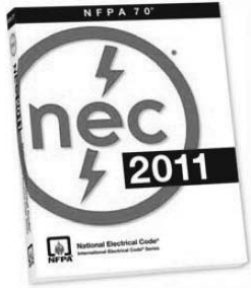
※ 逆電流保護, 地絡アーク・地絡循環電流への保護

- バス地絡を伴う逆電流に対しては、ヒューズ等の過電流保護装置やBLD等の逆電流保護素子を各ストリングに直列挿入するなどが挙げられる。ただしこれらは多重地絡による逆電流事故を抑止する効果を持たない。RCMもまた同様である。
- 多重地絡による過剰な逆電流は、第1故障を見落とすことによって生じているのだから、第1故障を監視することが対策として最も有効である。独ではモニタリングチェックが義務付けられている。
- 逆電流や地絡のいずれか、または両方の組み合わせの検討に際しても、逆電圧の検討と同様、Spiceシミュレーションや釣鐘図の活用が有効である。

アーク保護の現状

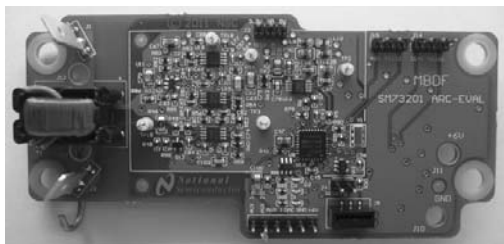


アーク漏れ回路保護(直流)

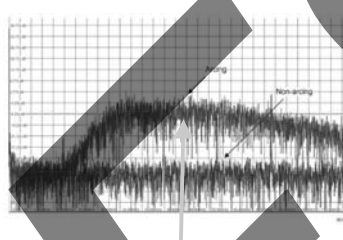


建築物上の又は建築物を貫通する、直流電源回路、直流出力回路又はその両方を備えた80V以上のPVシステム最大システム電圧で動作する光起電力システムは、認定品登録済み(dc)アーク漏れ回路遮断器(吉富注:UL1699BのAFCIのこと)、PV型、又は同等の保護を提供するように認定品登録されたその他のシステム構成品によって保護されなければならない。PVアーク漏れ保護手段は、次の要求事項に適合しなければならない。

- (1)システムは、直流PV電源及び出力回路内の導体、接続、モジュール又は他のシステム構成品の意図された導通での故障に起因するアーク漏れを検出し、断路しなければならない。
- (2)システムは、次の一つを使用不能にし、断路しなければならない:
 - a.故障が発見された場合、故障回路に接続されたインバータ又は充電制御装置
 - b.アーク回路内のシステム構成品
- (3)システムは、使用不能にされた又は断路された機器は手動で再起動するように要求する。
- (4)システムは、遮断器が動作したことを視覚的に指示するアナウンスエータを備えなければならない。この指示は自動的にリセットしてはならない。

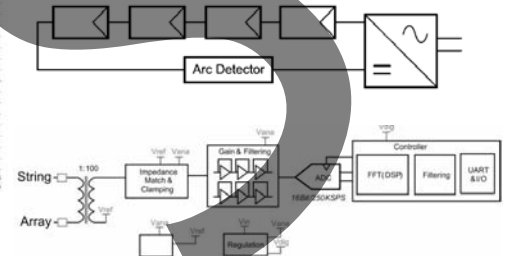


アークディテクタ(AFD)・・・NS社(現TI社)



アーク時の高周波

横軸周波数(kHz), 縦軸電流(dB)



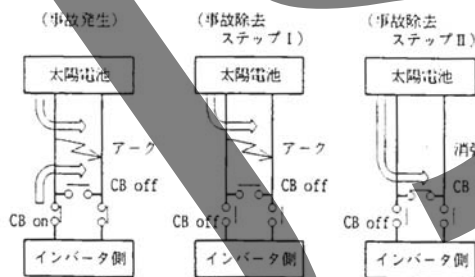
85



検知後をどう対処するか?

並列アーク(相間アーク)の場合.

➤ 短絡による消弧が可能

図7 アレイ短絡事故に対する消弧システム
(アーク短絡)

大規模アレイでは、系統ごとに短絡検出リレーを設置し迅速に事故系統を分離すること、および図7に示すように、積極的な消弧システムを採用する必要がある⁽²⁾。

太陽電池の短絡電流は最適動作電流の3割増し程度にすぎないため、メタリック短絡の場合でも、過電流検出リレーなどによる単純な短絡検知は難しい。また、徐々に絶縁劣化が進むような高抵抗短絡の検知は更に難しいが、絶縁劣化の場合でも、ある程度劣化が進むと急速にアーク短絡に移行するのが通例である。

そこで、アレイ出力電圧の急激な低下を検出することで、回路の短絡を検知する方法がある。通常の日射変動ではアレイ出力電圧が急激に変化することがないため、これは極めて効果的な検出方法である。

滝川清: 太陽光発電システムの要素技術-1-太陽電池アレイの構成技術, 電学論C, 平成7年

直列アークの場合.

➤ BPD開放時には、短絡処理によって事故が拡大しうる。(右IR画像、丸囲み部に新たなブレイクダウン箇所)



(ストリングの)Pmax動作時



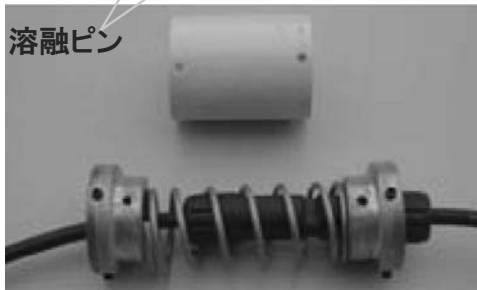
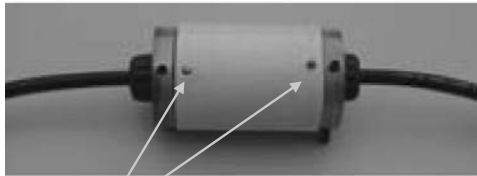
Isc動作時

吉富政宣: PV火災ワークショップ@東工大

86

開放処理機器の2例

溶融を利用したディスコネクト (現在、やや尻切れトンボ)



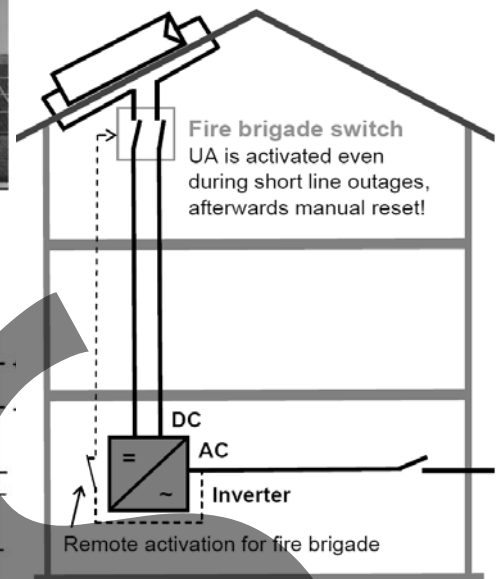
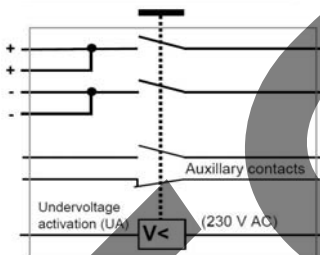
原文から要所抜粋

穴にはピンが入っていて高温時に溶融する。ばね張力でコネクタが外れ120V以下になる。セラミック管を叩き割って動作させることも可能。安い、が、長く複雑な配線が必要。信頼性は？

消防隊スイッチ(欧米で一定の評価を得ている手段)



Fire brigade switch
(e.g. SOL30-Safety from EATON)
(1000 V, 30 A)



内容は、OR型DC遮断システム

- ・系統UA(UVR)による、DC主回路自動遮断。
- ・マニュアル押しボタンによる、リモート遮断も可能。
- 課題:大量に設置しなければELV(DC120V以下)にならない。
(FhGなどで様々な方式のトレードオフを精力的に研究中)
- ・上図小屋裏設置は現在ドイツでは禁止。屋根上に設置せよとのこと。

87

中間まとめ3-3 アーク保護の現状

※ PVのDCアークとAFCI

- PVのDCアークには直列アーク、並列アーク、地絡アークがある。これらのアークからPVシステムと建築を保護することを目的として米国NFPAは2011年より、NEC690を通じてAFCIの設置を義務付け始めた。きっかけはベーカーズフィールドの火災である。認証規格はUL1699Bである。
- 検知部であるAFDの開発は、模擬装置によるアーク発生、スペクトルパターンの収集、FGによる再現、試作回路の動作テストの4段階で進められる。ドイツで行われたワークショップによるとPVアークのスペクトルパターンには少なくとも200種があり、研究開発においてはこの収集作業に多くの時間を費やすと考えられる。また、アーク検知後の処理も問題になる。並列アークでは短絡による消弧が可能であるが、筆者らの実験によるとBPD開放を伴う直列アークの場合に短絡処理を行うと付近に新たなアークを生じる恐れがあることが判明している。このことはアークの直並列別の事故処理シーケンスが求められることを意味する。したがってAFDには、少なくともアークの直並列を確実に分別する能力を持たせる必要がある。次に遮断であるが、単純な幹線短絡のほか各モジュール開放など処理位置にもさまざまな形態をとりうる。中でも各モジュール開放による方法は、多くのアーク種に対応可能であり、かつ、消防隊員の感電保護を兼ねる点で有力である。ただしこの場合、モジュール付近あるいは内部に電子回路と接点あるいはパワーMOSFETを備える必要があることから製品信頼性に疑問が提出されている。
- AFCIはその手段にアーク検知を前提とするが、消弧とELV化の目的を達成するものに溶融ピン型断路器や消防隊スイッチなどがある。目的からはこれらも同列に考えて良いかもしれない。
- AFCIが必要かどうかの議論もある。木造の多い米国では必要であったがRC建築が主である欧州では不要かもしれないというものである。また欧州からは、規準強度が低いと実効性が低くなることの問題指摘に加え、UL1699Bの試験方法の公正性(再現性が低い)にも疑問が提出されている。

※ 目標設定

- 最終的には、アーク火災の抑止とELV化(リプルフリーDC120V以下)による消火活動円滑化とを実現する必要がある。AFCIを装備しない場合は、IEC0364-7-712の遵守など施工品質に頼ることになる。
- AFCIやRCMはアーク防止の機能を持たず事故拡大防止の機能しか持たない。アークの発生自体を防止するようなシステム構成が必要である。例えば地絡アークの未然防止にはIT絶監が有力である。

88

1 まずは実例から 火災事例の紹介

2 消防側のとりくみ 消防隊員の傷害リスクと欧米での対策動向

- 感電リスク等, 消火活動時の課題
- 欧米での対策動向

3 業界側が行うべきこと 出火防止のための技術的課題

- 逆電圧象限動作
- 逆電流象限動作(モジュール・配線の過電流)
- 地絡保護の盲点
- アーク保護の現状

4 まとめ 日本の取り組みの現状, 今すぐにできること

屋外配線優先の原則



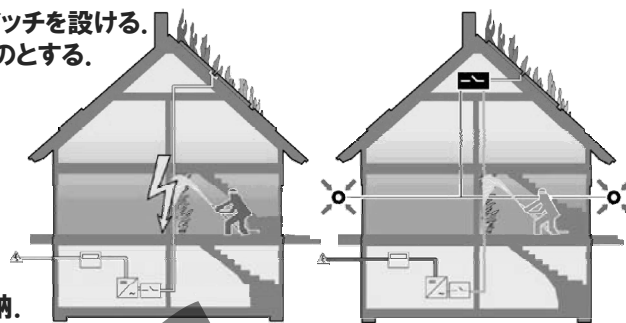
屋内配線への問題提起と対策提案の動向(ドイツ)

屋内配線と事後対策(消火活動)・・・PI誌

- 問題提起:放水時には消防士が感電する。また、ケーブル火災による視界不良がある。
- 提案:アレイに近いところにリモート遮断可能なDCスイッチを設ける。
このスイッチは手動のほか、ACのUVRでも動作するものとする。
(消防時に引込線が切断される点を活用)

屋内配線と未然防止(火災抑止防止)・・・SMA社

- 問題提起:可燃性の高い建築物では延焼しやすい。
- 提案:屋外を配線すべきである。
屋内配線の場合、以下いずれかを措置すべきである。
1. 屋内DC配線部を耐火性のダクト・レースウェイに収納。
2. アレイの近くにDCスイッチを設置。

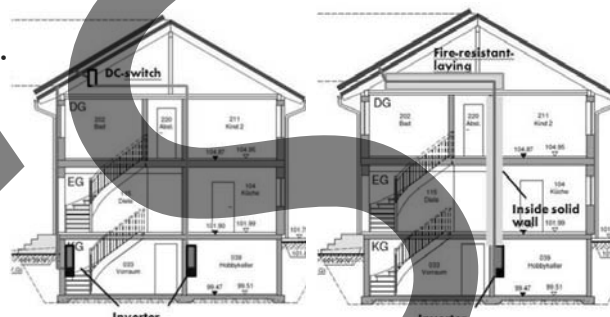
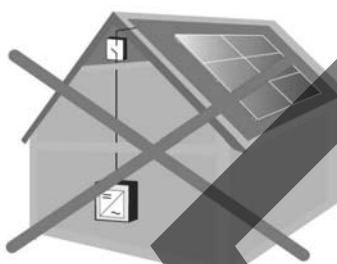


PI誌2011年5月号

現在、ドイツの民間規準(Recom.)では、
室内消火の機動性確保のため屋根DCスイッチを推奨。



PV-Brandschutz_DRUCK_24_02_2011



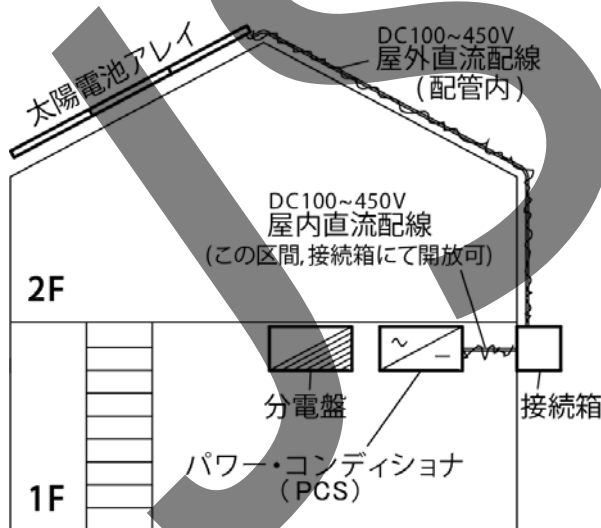
FIREFIGHTING AT PV PLANTS - DIFFERENT
SOLUTIONS FOR PROTECTION AGAINST ELECTRIC
SHOCK DURING FIREFIGHTING (SMA社)

屋外配線と屋根上で遮断することの2点が推奨されている。

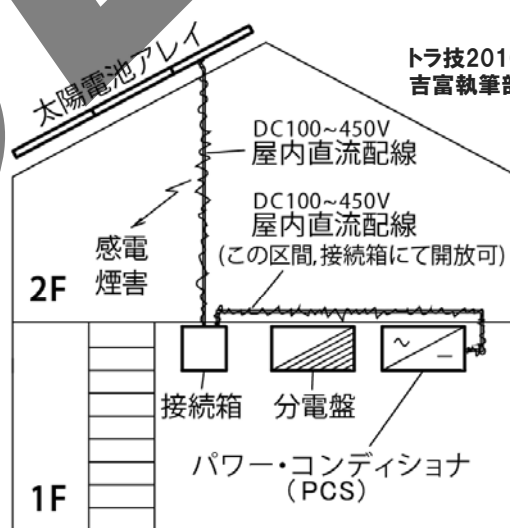
91



PV直流配線の取扱い(事故抑制策のうち“すぐ出来ること”)



屋外配線の場合



屋内配線の場合

トラ技2010年3月号
吉富執筆部分を改変

1. 室内のDC長距離配線を避ける(屋外配線を基本とする)
2. 屋内配線区間には二方向避難原則を適用する。
3. DC遮断位置を明確化し、よりアレイに近いところで遮断できるようにする。
4. 接続箱等、DC用筐体は不燃材料(金属)を採用する(延焼の恐れから樹脂は好ましくない)
5. 消防士の排煙・残火チェックがしやすい配線ルート(小屋裏配線セットバック)
6. ケーブルはシングルコアを採用する(短絡防止・導火線効果抑止)
7. 教育を！(リスク認知しなければ、危険にも関わらず人々は安心してしまう)

NEC2008, IEC0364, AS/NZS
建築基準法, 消防法
NFPA
NFPA
NEC, IEC0364-7-712
NEC, NFPA, SolarABCs

完全防御法はまだ見当たらないが、抑制方略はある。

92



日本の取り組み、皆様へのお願い



経済産業省

- 平成24年度～新エネルギー等共通基盤促進事業
「太陽光発電システムの直流電気安全性に関する基盤整備」
産総研、関電工、JX日鉱日石エネルギー、日本電機工業会、みずほ情報総研(平成25年度より)の5機関



総務省消防庁

- 太陽光発電システムを設置した一般住宅の火災における消防活動上の留意点等について
平成25年3月26日総務省事務連絡

欧米の事例と研究を挙げつつPVシステム特有の火災発生特性と消防へのリスク、火災発生メカニズムを紹介したが、これまで収集された情報は、火災予防と円滑な消火法開発にとって十分とは言えない。火災予防的見地では、PVシステムの火災事例を原因まで遡った状態で掌握する必要があるが、当事者は利害関係者からの報復を恐れるため、状況聴取と公表がしばしば難航する。このような事情から本稿では国内例を僅かにしか紹介できなかった。外国の重大事故調査方法に倣い、関係者免責や告発者顕彰の制度を発足することも対策として検討する価値がある。

また、太陽電池単体から生じる火災メカニズムは電気研究者の間で知られつつあるものの、PVシステムを構成する、各機器の相互作用から生じる火災メカニズムは未だ十分に解明されていない。これを受けて、国内では、平成24年度より新エネルギー等共通基盤促進事業において「太陽光発電システムの直流電気安全性に関する基盤整備」というプロジェクトが立ち上がった。参画機関は、産総研、関電工、JX日鉱日石エネルギー、日本電機工業会、みずほ情報総研(平成25年度より)の5機関である。平成26年度までの3年間で予定するこのプロジェクトでは、国内外の調査および実証実験をベースにリスク分析を行い、PVシステムの直流電気安全に関するガイドラインを策定することを目標としている。今後関係機関の方々にはご協力をお願いしたい。

PVシステムのメリットだけを全面に押し出して推進するのではなく、真正面から各種リスクに立ち向かい解決していくことが必要不可欠である。特にPVシステムは多数の技術分野に支えられているため、分野の異なる専門家同士の積極的な情報交換が事故対策進展の鍵となる。本稿では直流電気の火災リスクに特化した。PVシステムのリスクはこれ以外にも存在する。PVに関わる全ての方がPVシステムの安全性に関してご参画頂けるなら大変心強く、本稿がそのきっかけになれば幸いである。

吉富政宣

93

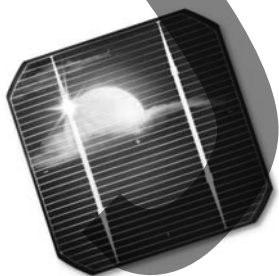
・報告したこと

日米欧の火災情報、消防士感電リスクの存在

・報告しなかったこと(時間切れ)

AC側火災・複合事故

欧米での保護装置研究開発動向(トレードオフ分析多数)



Thank you !!

(有)吉富電気

技術・代表取締役 吉富政宣

<http://homepage2.nifty.com/domi/index.html>

<http://pv.way-nifty.com/>

愛知県名古屋市名東区社台1-114

mail : ZVU06411@nifty.com

tel/fax : 052-760-2573

mobile : 0904-161-7171