

消費者安全法第23条第1項の規定に基づく
事故等原因調査報告書

住宅用太陽光発電システムから発生した火災事故等

平成31年1月28日

消費者安全調査委員会

本報告書の調査は、消費者安全調査委員会が消費者安全法第23条第1項の規定に基づき、消費者安全の確保の見地にたつて、事故の発生原因や被害の原因を究明するものである。消費者安全調査委員会による調査又は評価は、生命身体に係る消費者被害の発生又は拡大の防止を図るためのものであつて、事故の責任を問うために行うものではない。

本報告書は、担当専門委員による調査、サービス等事故調査部会における調査・審議を経て、平成31年1月28日に消費者安全調査委員会で決定された。

消費者安全調査委員会

委員長	中川丈久
委員長代理	持丸正明
委員	小川武史
委員	河村真紀子
委員	澁谷いづみ
委員	城山英明
委員	水流聡子

(平成30年9月30日まで)

委員長	宇賀克也
委員長代理	持丸正明
委員	朝見行弘
委員	河村真紀子
委員	澁谷いづみ
委員	水流聡子
委員	淵上正朗

サービス等事故調査部会

部会長	持丸正明
部会長代理	澁谷いづみ
臨時委員	飯野謙次
臨時委員	鎌田環
臨時委員	越山健彦
臨時委員	首藤由紀
臨時委員	手島玲子
臨時委員	野口貴公美
臨時委員	横矢真理
臨時委員	余村朋樹

(平成30年9月30日まで)

部会長	持丸正明
部会長代理	澁谷いづみ
臨時委員	飯野謙次
臨時委員	鎌田環
臨時委員	関東裕美
臨時委員	首藤由紀
臨時委員	徳田哲男
臨時委員	野口貴公美
臨時委員	横矢真理
臨時委員	余村朋樹

目次

報告書の要旨

報告書

はじめに	7
1 事故等の概要	10
2 事故等原因調査の経過	13
2. 1 選定理由	13
2. 2 調査体制	13
2. 3 調査の実施経過	13
2. 4 原因関係者からの意見聴取	15
3 基礎情報	16
3. 1 住宅用太陽光発電システムに関する情報	16
3. 1. 1 住宅用太陽光発電システムの概要	16
3. 1. 2 安全基準等	21
3. 1. 3 住宅用太陽光発電システムの導入件数	26
3. 2 住宅の屋根に関する情報	29
3. 2. 1 住宅の屋根構造	29
3. 2. 2 屋根の防火構造等の基準	29
3. 2. 3 木材の発火に関する情報	30
3. 3 モジュールの設置形態	30
4 事故等について認定した事実と分析	33
4. 1 他機関の調査資料及び現地調査並びに実験に基づく分析	34
4. 1. 1 モジュール又はケーブルから発生した火災事故等	34
4. 1. 2 モジュールの発火に至るプロセスの検討	38
4. 1. 3 現地調査	40
4. 1. 4 想定した発火プロセスの検証	48
4. 1. 5 ケーブルの発火原因の分析	51
4. 1. 6 モジュールの設置形態による火災事故等の発生リスク ...	52
4. 1. 7 野地板 ^{のじいた} の燃焼に至るプロセスの検討	53
4. 1. 8 パワーコンディショナ又は接続箱から発生した火災事故等	60
4. 1. 9 他機関の調査資料及び現地調査並びに実験に基づく分析のま とめ	61
4. 2 製品の運用実態調査	65

4. 2. 1	調査の概要	65
4. 2. 2	調査結果	65
4. 2. 3	運用実態調査結果のまとめ	73
4. 3	事業者への聴取り調査	75
4. 3. 1	調査対象	75
4. 3. 2	調査結果	75
5	結論（事故発生の原因又は要因）	78
5. 1	モジュールの発火原因	78
5. 2	ケーブルの発火原因	79
5. 3	モジュールの設置形態による火災事故等の発生リスク	80
5. 4	野地板 ^{のじいた} の燃焼に至るプロセスの検討	80
5. 5	パワーコンディショナ又は接続箱の発火原因	81
5. 6	保守点検の実施状況	81
6	再発防止策	82
6. 1	モジュール又はケーブルから発生した火災事故等の再発防止策	83
6. 2	パワーコンディショナ又は接続箱から発生した火災事故等の再発防止策	85
6. 3	住宅用太陽光発電システム共通の火災事故等の再発防止策	85
6. 4	消費者を対象とした再発防止策	86
7	意見	88
7. 1	経済産業大臣への意見	88
7. 1. 1	モジュール又はケーブルから発生した火災事故等の再発防止策	88
7. 1. 2	パワーコンディショナ又は接続箱から発生した火災事故等の再発防止策	90
7. 1. 3	住宅用太陽光発電システム共通の火災事故等の再発防止策	90
7. 2	消費者庁長官への意見	91
参考資料A	モジュール又はケーブルから発生した火災事故等の他機関での調査結果	93
参考資料B	現地調査対象の抽出方法	123
参考資料C	不具合モジュールの存在が考えられる製品の確認方法	124
参考資料D	現地調査における不具合モジュールの判定方法	126
参考資料E	I－V特性の測定によるバイパス回路の状態の判定方法	129
参考資料F	野地板 ^{のじいた} への延焼に関する実験結果	135

報告書の要旨

住宅用太陽光発電システムから発生した火災事故等に関する事故情報は、平成20年3月から平成29年11月までに、事故情報データベースに127件登録されていた。

住宅用太陽光発電システムから発生する火災事故等は、特に太陽電池モジュール又はケーブルから発生した場合、住宅の火災に至るおそれがあり生命身体被害に至る可能性がある。

こうしたことから、消費者安全調査委員会は、「事故等原因調査等の対象の選定指針」（平成24年10月3日消費者安全調査委員会決定）に基づき、次の要素を重視し、住宅用太陽光発電システムから発生した火災事故等について、事故等原因調査の対象として選定した。

- ・公共性：住宅用太陽光発電システムは、平成28年10月末時点で、全国に193万台以上設置されており公共性が高いこと。
- ・被害の程度：事故が発生した場合は、住宅の火災に至るおそれがあり、甚大な被害が生じる可能性があること。
- ・消費者による回避可能性：住宅用太陽光発電システムによる発電は、消費者の操作で停止させることができないことから、消費者による回避可能性が低いと考えられること。

<結論>

住宅用太陽光発電システムから発生した火災事故等のうち、モジュール又はケーブルから発生した火災事故等については、他機関の調査資料に基づき分析を行った。その結果、推定発火箇所は、おおむねモジュールとケーブルの2つに分けられた。ケーブルの発火の推定原因は個別要因である施工不良が多いが、モジュールの発火の推定原因は施工不良ではなく、モジュールの不具合によるものと考えられた。

製造業者が作成した調査報告書を参考に、モジュールの発火については、配線接続部及びバイパス回路における不具合が、経時的に進行することにより発火に至るプロセスを想定した。また、使用中の住宅用太陽光発電システムについて現地調査を行い、発火プロセスの妥当性を確認できる不具合モジュールが存在することを確認した。なお、現地調査で確認した不具合は、複数の製造業者の製品で確認された。

配線接続部での不具合は、経年劣化や製造上の問題により発生すると考えられる。モジュールが発火箇所と推定された火災事故等は、導入後 10 年前後以降の住宅用太陽光発電システムで発生していることから、導入後の経過年数も重要な要因と考えられる。

野地板^{のじいた}へ延焼したため被害が大きくなった火災事故等 7 件は、全て鋼板等なし型のモジュールの設置形態で発生していた。このことについて各設置形態の構造を調べた結果、鋼板等なし型は、モジュール又はケーブルが発火した場合に、ルーフィング及び野地板^{のじいた}へ延焼する可能性が考えられた。

パワーコンディショナ又は接続箱から発生した火災事故等については、他機関の調査資料によれば、水分等の浸入、入力端子部等での接触不良又はコンデンサの絶縁破壊が主な原因と推定されており、これらの要因について分析した。

保守点検については、所有者へのアンケート調査において、約 7 割が実施していないという実態が明らかとなった。

<意見>

1 経済産業大臣への意見

経済産業省は、住宅用太陽光発電システムから発生した火災事故等の再発防止のために、国土交通省の協力を得て、以下のような対応を製造業者が必要に応じて住宅・建築業者の協力を得つつ実施するように促すとともに、必要なものについては自ら実施すべきである。

その際、経済産業省は、上記対応の円滑な実施の前提として、現行の法制度上、住宅用太陽光発電システムの保守点検については、所有者が事業者としての立場で一義的に責任を持つことを所有者自身が適切に認識するように、必要な措置を実施すべきである。

あわせて、経済産業省は、当該製品の購入及び使用において、所有者は消費者でもあるという点を考慮し、この消費者を保護するという観点から、事業者である製造業者が果たすべき役割も大きいことなどを踏まえた形で、関係法令等の見直し等を含めた適切な手法による、保守点検の確実な実施を担保する仕組みの構築を検討するとともに、今後の技術革新等を踏まえ、具体的な対応内容の更新を随時行うべきである。

1. 1 モジュール又はケーブルから発生した火災事故等の再発防止策

(1) 既に設置されている住宅用太陽光発電システム

① 住宅の火災に係るリスクアセスメントの実施

製造業者において、モジュールの製造上の問題に起因する発火等の可能性を踏まえ、鋼板等なし型における住宅の火災に係るリスクアセスメントを行い、必要があると認められる場合には、その結果に基づいた対応を早急に実施させること。当該リスクアセスメントは、過去の不具合情報及び不具合要因に関わる設計変更履歴等を踏まえながら実施すること。

なお、リスクアセスメントの結果について、経済産業省で評価を行った上で公表すること。

② モジュールの設置形態の変更

製造業者において、鋼板等なし型について、経年劣化によるモジュールの発火が野地板^{のじいた}への延焼へとつながるリスクを十分に低減するため、他のモジュールの設置形態へ変更するよう所有者に促すこと。

ただし、変更が困難なことも想定されることから、その場合は、以下の応急点検等を代替案として実施すること。

③ 応急点検等の実施

製造業者において、導入時の保証期限を超えた鋼板等なし型について、火災リスクや、所有者による確認及び実施が必要な事項を該当する所有者に対して説明し、所有者による応急点検の実施を促進させること。

応急点検は、経年劣化により発生すると考えられるモジュールの不具合が発生していないことを確認するために、バイパス回路が常時通電していないこと及び断線していないことを確認すること。

なお、応急点検以降は保守点検ガイドラインに沿った定期保守点検により、不具合が発生していないことを確認すること。

(2) 新たに設置される住宅用太陽光発電システム

① モジュールの発火に対する対策

製造業者において、鋼板等なし型について、本報告書 7. 1. 3 (2) に示すような安全対策が達成され、モジュールの発火リスクが十分に低減されたと認められるまでの間、野地板^{のじいた}への延焼リスクが低い他のモジュールの設置形態に変更すること。

② ケーブルの発火に対する対策

製造業者において、鋼板等付帯型について、ケーブルの施工不良及び発火に対する以下の対策を講じること。

- a ケーブルの挟み込みがなく、ルーフィング上にケーブルが、可能な限り直接配線されないような構造にすること。
- b コネクタについては、施工後の緩みによる接触不良が発生しないコネクタへ設計を見直すこと。

製造業者において、小動物による^{ごうがい}噛害に対して、防止策を準備し、設置環境を踏まえ、必要に応じて施工すること。

1. 2 パワーコンディショナ又は接続箱から発生した火災事故等の再発防止策

製造業者において、筐^{きょうたい}体内への水分等の浸入防止、入力端子部等での接触不良、コンデンサの絶縁破壊等の対策を講じること。

1. 3 住宅用太陽光発電システム共通の火災事故等の再発防止策

(1) 運用段階

① 地絡発生時の処置

製造業者において、地絡検知機能を有する製品を標準とし、既設の製品については適時、機器の更新を進めること。また、断路器による切り離し操作に加えて、地絡が発生したストリングを遮光する等、地絡が発生した際の適切な対処方法を整備し、徹底させること。

その上で、経済産業省において、「電気設備の技術基準の解釈」第 36 条第 1 項第 7 号の規定について、削除することを検討すること。

② 保守点検ガイドラインの見直し

一般社団法人日本電機工業会及び一般社団法人太陽光発電協会において、銅板等なし型のモジュールについて、本報告書 6. 1 (1) ③の応急点検と同様の点検項目を保守点検ガイドラインの定期保守点検項目に追加すること。

また、地絡が発生した際の適切な対処方法についても保守点検ガイドラインに追加すること。

(2) 今後の開発課題

経済産業省において、耐久品として適切な保守を行うことにより、住宅用太陽光発電システムの信頼性向上を図ること。

また、モジュールの発火リスクを低減し、更なる安全性向上のための開発を以下に示す課題を踏まえて促進すること。

- ①バイパス回路において、長期間の常時通電を想定し、同回路の耐久性向上を行うこと。また、その結果として、必要に応じて関連規格を見直すこと。
- ②バイパス回路の常時通電又は断線等の異常状態を検知して、使用者に警告する機能を付加すること。
- ③モジュールの封止材として難燃材料を使用すること。
- ④安全性の向上及び点検コストの低減に資するような遠隔監視システムの開発を行うこと。

2 消費者庁長官への意見

消費者庁は、消費者被害の発生又は拡大の防止を図るために、本報告書を参考にして、住宅用太陽光発電システムに係る以下の情報について、消費者に分かりやすく提供すべきである。

- (1) 住宅用太陽光発電システムに起因した住宅の火災事故等が発生しており、同システムは、そのモジュールの設置形態等によって火災リスクが異なること。
- (2) モジュールの設置形態等を以下のとおりとすることにより、火災リスクの低減が可能であること。
 - ①銅板等なし型は、モジュール又はケーブルが発火した場合に、ルーフィング及び野地板^{のじいた}へ延焼するリスクがある。モジュールの設置形態を屋根

置き型又は鋼板等敷設型にすることで同リスクを低減できる。

②鋼板等付帯型は、ルーフィング上に敷設されたケーブルが発火した場合に、ルーフィング及び野^{のじいた}地板へ延焼するリスクがある。ケーブルの挟み込みを防ぐ構造、かつルーフィング上にケーブルを可能な限り敷設しないような施工にすることで同リスクを低減できる。

③地絡検知機能を有していない製品は、地絡の検知が遅れ、同一ストリング内の２点地絡が発生した場合に、火災に至るリスクがある。地絡検知機能を有した製品とすることで同リスクを低減できる。

(3) 消費者が住宅用太陽光発電システムを購入し使用する際に、同システムを用いて売電を行う場合には、事業者としての点検等の義務も併せて負うこととなること。

報告書

はじめに

消費者安全調査委員会¹（以下「調査委員会」という。）は、消費者安全法に基づき、生命又は身体被害に係る消費者事故等の原因²及びその事故による被害発生の原因を究明し、同種又は類似の事故等の再発・拡大防止や被害の軽減のために講ずべき施策又は措置について、内閣総理大臣に対して勧告し、又は内閣総理大臣若しくは関係行政機関の長に対して意見具申することを任務としている。

調査委員会の調査対象とし得る事故等は、運輸安全委員会が調査対象とする事故等を除く生命又は身体被害に係る消費者事故等である。ここには、食品、製品、施設、役務といった広い範囲の消費者に身近な消費生活上の事故等が含まれるが、調査委員会はこれらの中から生命身体被害の発生又は拡大の防止を図るために当該事故等の原因を究明することが必要であると認めるものを選定して、原因究明を行う。

調査委員会は選定した事故等について、事故等原因調査（以下「自ら調査」という。）を行う。ただし、既に他の行政機関等が調査等を行っており、これらの調査等で必要な原因究明ができると考えられる場合には、調査委員会はその調査結果を活用することにより当該事故等の原因を究明する。これを、「他の行政機関等による調査等の結果の評価（以下「評価」という。）」という。

この評価は、調査委員会が消費者の安全を確保するという見地から行うものであり、他の行政機関等が行う調査等とは、目的や視点が異なる場合がある。このため、評価の結果、調査委員会が、消費者安全の確保の見地から当該事故等の原因を究明するために必要な事項について、更なる解明が必要であると判断する場合には、調査等に関する事務を担当する行政機関等に対し、原因の究明に関する意見を述べ、又は調査委員会が、これら必要な事項を解明するため自ら調査を行う。

上記の自ら調査と評価を合わせて事故等原因調査等というが、その流れの概略は次のページの図のとおりである。

¹ 消費者安全法（平成 21 年法律第 50 号）の改正により、平成 24 年 10 月 1 日に消費者庁に設置された。

² 「原因」は、要因のうちある現象を引き起こしているとして特定されたものとし、「要因」は、ある現象を引き起こす可能性のあるものとする。出典：JIS Q 9024：2003（マネジメントシステムのパフォーマンス改善－継続的改善の手順及び技法の指針）。

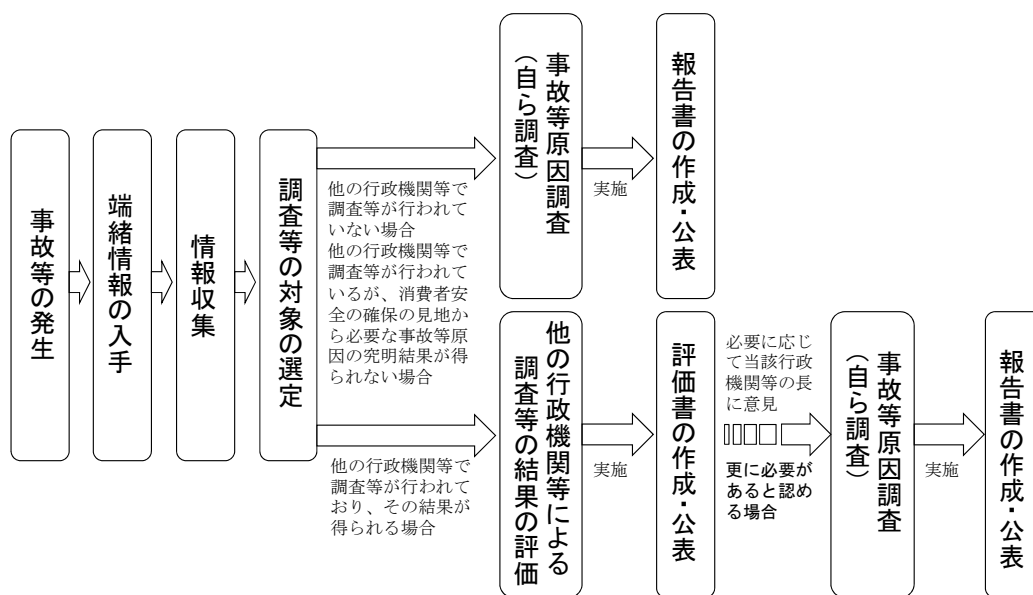


図 消費者安全調査委員会における事故等原因調査等の流れ

< 参照条文 >

○消費者安全法（平成 21 年法律第 50 号）〔抄〕

（事故等原因調査）

第 23 条 調査委員会は、生命身体事故等が発生した場合において、生命身体被害の発生又は拡大の防止（生命身体事故等による被害の拡大又は当該生命身体事故等と同種若しくは類似の生命身体事故等の発生の防止をいう。以下同じ。）を図るため当該生命身体事故等に係る事故等原因を究明することが必要であると認めるときは、事故等原因調査を行うものとする。ただし、当該生命身体事故等について、消費者安全の確保の見地から必要な事故等原因を究明することができると思料する他の行政機関等による調査等の結果を得た場合又は得ることが見込まれる場合においては、この限りでない。

2～5 （略）

（他の行政機関等による調査等の結果の評価等）

第 24 条 調査委員会は、生命身体事故等が発生した場合において、生命身体被害の発生又は拡大の防止を図るため当該生命身体事故等に係る事故等原因を究明することが必要であると認める場合において、前条第一項ただし書に規定する他の行政機関等による調査等の結果を得たときは、その評価を行うものとする。

- 2 調査委員会は、前項の評価の結果、消費者安全の確保の見地から必要があると認めるときは、当該他の行政機関等による調査等に関する事務を所掌する行政機関の長に対し、当該生命身体事故等に係る事故等原因の究明に関し意見を述べることができる。
- 3 調査委員会は、第一項の評価の結果、更に調査委員会が消費者安全の確保の見地から当該生命身体事故等に係る事故等原因を究明するために調査を行う必要があると認めるときは、事故等原因調査を行うものとする。
- 4 第一項の他の行政機関等による調査等に関する事務を所掌する行政機関の長は、当該他の行政機関等による調査等に関して調査委員会の意見を聴くことができる。

本報告書の本文中における記述に用いる用語の使い方は、次のとおりとする。

- ① 断定できる場合
 - ・・・「認められる」
- ② 断定できないが、ほぼ間違いない場合
 - ・・・「推定される」
- ③ 可能性が高い場合
 - ・・・「考えられる」
- ④ 可能性がある場合
 - ・・・「可能性が考えられる」
 - ・・・「可能性があると考えられる」

1 事故等の概要

住宅用太陽光発電システム（図 1）から発生した火災³、発火、発煙、過熱等（以下「発火等」という。）の事故等（以下「火災事故等」という。）に関する事故情報は、平成 20 年 3 月から平成 29 年 11 月までに、事故情報データベース⁴に 127 件⁵登録されていた。これらのうち、独立行政法人製品評価技術基盤機構（以下「N I T E」という。）による原因調査中であつたもの、原因不明とされていたもの、N I T Eに登録されていなかったもの等を除く 72 件を調査対象とした。調査対象のうち、太陽電池モジュール（後掲表 2）又はケーブル⁶から発生した火災事故等が 13 件であつた。また、パワーコンディショナ（後掲表 2）又は接続箱（後掲表 2）から発生した火災事故等が 59 件であつた。

太陽電池モジュール又はケーブルから発生する火災事故等は、件数は少ないものの、太陽電池モジュールと屋根材とが近接していることから住宅の火災、ひいては生命身体被害に至る可能性があるため、重点的に調査することとした。

³ 「火災」に該当するか否かは、基本的には消防機関によって判断されるものであるところ、「火災報告取扱要領」（平成 6 年 4 月 21 日消防災第 100 号消防庁長官通知）において、「火災」とは、人の意図に反して発生し若しくは拡大し、又は放火により発生して消火の必要がある燃焼現象であつて、これを消火するために消火施設又は同程度の効果のあるものの利用を必要とするもの、又は人の意図に反して発生し若しくは拡大した爆発現象をいうと定められている（出典：「逐条解説 消費者安全法〔第 2 版〕」）。

⁴ 「事故情報データベース」は、消費者庁が独立行政法人国民生活センターと連携し、関係機関から「事故情報」、「危険情報」を広く収集し、事故防止に役立てるためのデータ収集・提供システム（平成 22 年 4 月から正式運用開始）のことである。

⁵ 事故情報データベースで、平成 20 年 3 月 1 日から平成 29 年 11 月 30 日までの間に登録された「太陽光」をキーワードとする事故情報、危険情報を抽出した上で、重複登録された情報及び住宅用太陽光発電システムと関連がない情報を除いた。

⁶ ケーブルとは、アレイケーブル（後掲表 2）と出力ケーブル（後掲表 3）の総称をいう。

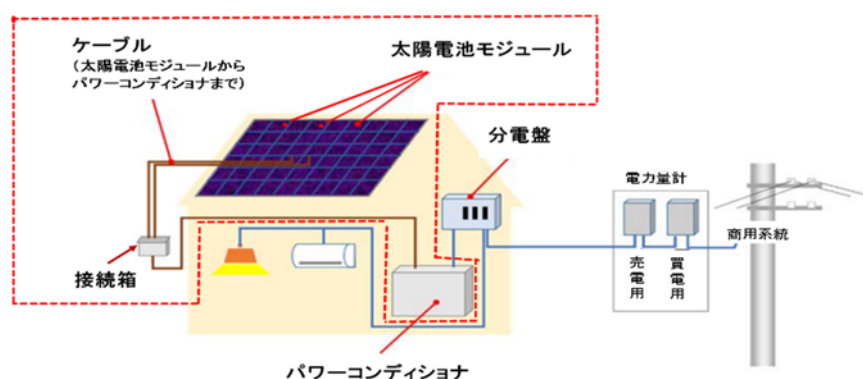


図1 住宅用太陽光発電システムの全体概要（破線で示す範囲）
（一般社団法人太陽光発電協会⁷の資料を基に調査委員会で作成）

調査対象とした太陽電池モジュール又はケーブルから発生した火災事故等13件について表1に示す。

表1 調査対象とした火災事故等

番号	発生年月	発生状況（収集した事故情報を基に記載）
1	平成23年9月	居住者がベランダにて洗濯物を取り込もうとした際、異臭がありパチパチと音がしたため、周囲を確認したところ、軒先から煙が出ているのを発見し、119番通報した。屋根（南面及び北面の一部）と屋根裏及び太陽電池モジュールが焼損した。
2	平成24年8月	居住者が帰宅したところ、太陽光発電モニターの電源が入っておらずブレーカーも落ちていることを確認した。その時、室内に焦げ臭い匂いがしたが、屋外の確認をしなかった。翌日製造業者に連絡がつき、2日後に状況を確認しに来てもらった。その結果、屋外の配線部分が燃えていたため居住者が消防機関に通報した。太陽電池モジュールからパワーコンディショナまでのアレイケーブル6本及びアース線1本が焼損した。
3	平成25年3月	居住者から、システム出力低下による修理依頼を受けて、製造業者が点検した結果、発電量の低下及び太陽電池モジュールのガラスの破損を確認した。後日太陽電池モジュールの交換を行った際に、太陽電池モジュールが焦げているのを発見し、居住者が消防機関に通報した。太陽電池モジュール内部は既に鎮火しており消火活動はしていない。屋根の焼損はなく、太陽電池モジュール1枚の一部が焼損した。

⁷ 太陽光発電システムに関連する利用技術の確立及び普及促進、並びに産業の発展によって、我が国経済の繁栄と国民生活の向上に寄与し、もって会員の共通の利益を図ることを目的に、昭和62年4月23日に設立された。平成30年9月20日現在の会員数は、140社・団体である。

<http://www.jppea.gr.jp/profile/outline/index.html> 《平成30年10月15日閲覧》

番号	発生年月	発生状況（収集した事故情報を基に記載）
4	平成 25 年 6 月	近隣住民が屋根からの煙と火を確認し居住者に連絡した。居住者は、はしごで屋根に上がり水道ホースを使用して消火すると同時に 119 番通報を行った。太陽電池モジュール及びその周辺が焼損した。
5	平成 25 年 8 月	不在中の居住者宅で火災の警報が作動したため警備会社担当者が駆けつけた。室内に煙が漂っていたが、2 階の窓を開けたら警報音は止まったので許可を得て帰った。その後、帰宅した居住者が住宅内を確認した結果、屋根裏収納庫で焦げている部分があったので消防機関に通報した。アレイケーブルの一部及び屋根裏 2 m ² が焼損した。
6	平成 26 年 8 月	通行人から居住者に「家から煙が出ている」との連絡があり、居住者が消防機関に通報した。太陽電池モジュール、野地板 ^{のじいた} 及び屋根裏の一部が焼損した。
7	平成 26 年 8 月	居住者が住宅の 2 階に在宅中、パチパチと音がし、窓を開けると異臭を感じたが、自宅の異臭とは思わずにいたところ、その後、近隣住民から屋根の発煙を知らされ、消防機関に通報した。屋根裏 10m ² 及び太陽電池モジュール 7 枚が焼損した。
8	平成 27 年 2 月	居住者は不在で、近所の子供が屋根から煙が出ているのを確認し、消防機関へ通報した。発煙部の太陽電池モジュールを外すとアレイケーブル付近にまだ火がくすぶっている状態であった。アレイケーブル及び太陽電池モジュール 1 枚が焼損し、熱で瓦が割れた。
9	平成 27 年 12 月	外壁に設置していたパワーコンディショナ周辺から発火していることを近隣住民が発見し、居住者が消防機関に通報、居住者は消火器にて消火を実施し、その後、消防隊員が鎮火を確認した。アレイケーブル及びそれを収納する P F 管（電線保護管）が一部焼損し、外壁の一部が焼損した。
10	平成 28 年 3 月	屋根から煙が上がっているのを居住者が確認し、消防機関へ通報した。太陽電池モジュール及び屋根裏の一部を焼損した。野地板 ^{のじいた} は一部焼損落下していた。
11	平成 28 年 4 月	屋根から煙が上がっているのを近隣住民が確認し、消防機関へ通報した。太陽電池モジュール数枚が焼損し、その焼損箇所下の野地板 ^{のじいた} も焼損。屋根に穴が開いた状態になった。
12	平成 28 年 8 月	屋根から煙が上がっているのを近隣住民が確認し、消防機関へ通報した。数枚の太陽電池モジュールが焼損し、その焼損箇所下の野地板 ^{のじいた} も焼損。屋根に穴が開いた状態になっていた。
13	平成 29 年 10 月	通行人が屋根から白煙が上がっているのを発見。居住者が不在であったため、発見者が消防機関に通報し、消防隊員が消火した。屋根及び太陽電池モジュールの一部が焼損した。

2 事故等原因調査の経過

2. 1 選定理由

調査委員会は、「事故等原因調査等の対象の選定指針」（平成24年10月3日消費者安全調査委員会決定）に基づき、次の要素を重視し、住宅用太陽光発電システムから発生した火災事故等について、事故等原因調査の対象として選定した。

- ・ 公共性：住宅用太陽光発電システムは、平成28年10月末時点で、全国に193万台以上設置されており公共性が高いこと。
- ・ 被害の程度：事故が発生した場合は、住宅の火災に至るおそれがあり、甚大な被害が生じる可能性があること。
- ・ 消費者による回避可能性：住宅用太陽光発電システムによる発電は、消費者の操作で停止させることができないことから、消費者による回避可能性が低いと考えられること。

2. 2 調査体制

調査委員会は、太陽光発電システムの製品安全に関する分野を専門とする専門委員、太陽光発電システムの構成機器である太陽電池モジュールの安全性評価と同システムの直流回路での地絡⁸事故に関する分野を専門とする専門委員及び太陽電池モジュールの回路構造と同回路部品の長期耐久性に関する分野を専門とする専門委員の計3名を担当専門委員として指名し、調査委員会及びサービス等事故調査部会で審議を行った。

2. 3 調査の実施経過

平成28年

- 10月31日 第50回調査委員会において事故等原因調査を行う事案として選定し、調査計画を審議
- 11月8日 調査委員会第2回サービス等事故調査部会において所有者への運用実態調査計画を審議
- 11月18日 第51回調査委員会において所有者への運用実態調査計画を審議

⁸ 電気回路と大地が電氣的につながり、大地へ電流が流れる事象のこと。

平成29年

- 4月13日 調査委員会第7回サービス等事故調査部会において調査経過の報告及び調査計画の見直しについて審議
- 4月24日 第56回調査委員会において調査経過の報告及び調査計画の見直しについて審議
- 6月13日 調査委員会第8回サービス等事故調査部会において調査経過を報告
- 8月8日 調査委員会第10回サービス等事故調査部会において経過報告（案）を審議
- 8月25日 第60回調査委員会において経過報告（案）を審議
- 9月15日 調査委員会第11回サービス等事故調査部会において経過報告（案）を審議、事故原因の推定について審議
- 9月22日 第61回調査委員会において経過報告を審議・決定
- 10月2日 調査委員会第12回サービス等事故調査部会において調査経過を報告
- 11月13日 調査委員会第13回サービス等事故調査部会において調査報告書（案）を審議
- 11月20日 第63回調査委員会において調査経過を報告、調査報告書（案）及び専門委員の追加指名について審議
- 12月4日 調査委員会第14回サービス等事故調査部会において調査報告書（案）を審議
- 12月21日 第64回調査委員会において調査報告書（案）を審議

平成30年

- 1月11日 調査委員会第15回サービス等事故調査部会において調査報告書（案）を審議
- 1月23日 第65回調査委員会において調査報告書（案）を審議
- 2月15日 調査委員会第16回サービス等事故調査部会において調査計画の見直しについて審議
- 2月19日 第66回調査委員会において調査計画の見直しについて審議
- 4月9日 調査委員会第18回サービス等事故調査部会において調査報告書（案）を審議
- 4月24日 第68回調査委員会において調査報告書（案）を審議
- 5月11日 調査委員会第19回サービス等事故調査部会において調査報告書（案）及び追加実験計画を審議
- 5月23日 第69回調査委員会において調査報告書（案）及び追加実験計画を審議

- 6月11日 調査委員会第20回サービス等事故調査部会において調査報告書（案）を審議
- 6月22日 第70回調査委員会において調査報告書（案）を審議
- 7月9日 調査委員会第21回サービス等事故調査部会において調査報告書（案）を審議
- 7月25日 第71回調査委員会において調査報告書（案）を審議
- 8月6日 調査委員会第22回サービス等事故調査部会において調査報告書（案）を審議
- 8月27日 第72回調査委員会において調査報告書（案）を審議
- 9月7日 調査委員会第23回サービス等事故調査部会において調査報告書（案）を審議
- 9月28日 第73回調査委員会において調査報告書（案）を審議
- 10月11日 調査委員会第24回サービス等事故調査部会において調査報告書（案）を審議
- 10月29日 第75回調査委員会において調査報告書（案）を審議
- 11月6日 調査委員会第25回サービス等事故調査部会において調査報告書（案）を審議
- 11月26日 第76回調査委員会において調査報告書（案）を審議
- 12月11日 調査委員会第26回サービス等事故調査部会において調査報告書（案）を審議
- 12月17日 第77回調査委員会において調査報告書（案）を審議
- 平成31年
- 1月28日 第78回調査委員会において調査報告書（案）を審議し、調査報告書を決定

2. 4 原因関係者からの意見聴取

原因関係者⁹から意見聴取を行った。

⁹ 原因関係者（消費者安全法第23条第2項第1号）とは、帰責性の有無にかかわらず、事故等原因に関係があると認められる者をいう。

3 基礎情報

3. 1 住宅用太陽光発電システムに関する情報

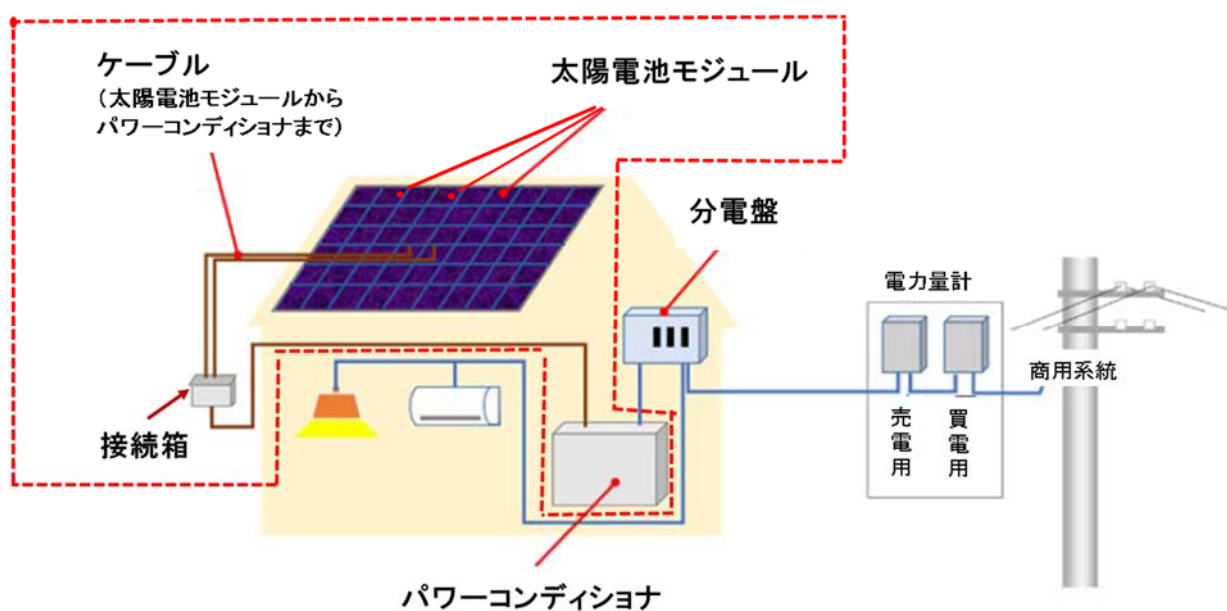
3. 1. 1 住宅用太陽光発電システムの概要

太陽光発電システムとは、太陽の光を太陽電池¹⁰が受けることによって、発電するシステムである。

本報告書では、太陽電池を住宅の屋根に設置し、主に自家用電力として消費する製品を「住宅用太陽光発電システム」とする。

(1) 全体概要

住宅用太陽光発電システムの全体概要について図1に示す。



【再掲】図1 住宅用太陽光発電システムの全体概要（破線で示す範囲）
（一般社団法人太陽光発電協会の資料を基に調査委員会で作成）

¹⁰ 太陽光などの光の照射を受けてそのエネルギーを直接電気エネルギーに変える半導体装置（出典：JIS C 8960:2012 太陽光発電用語）。

(2) 主な構成機器

住宅用太陽光発電システムの主な構成機器について図2に示す。

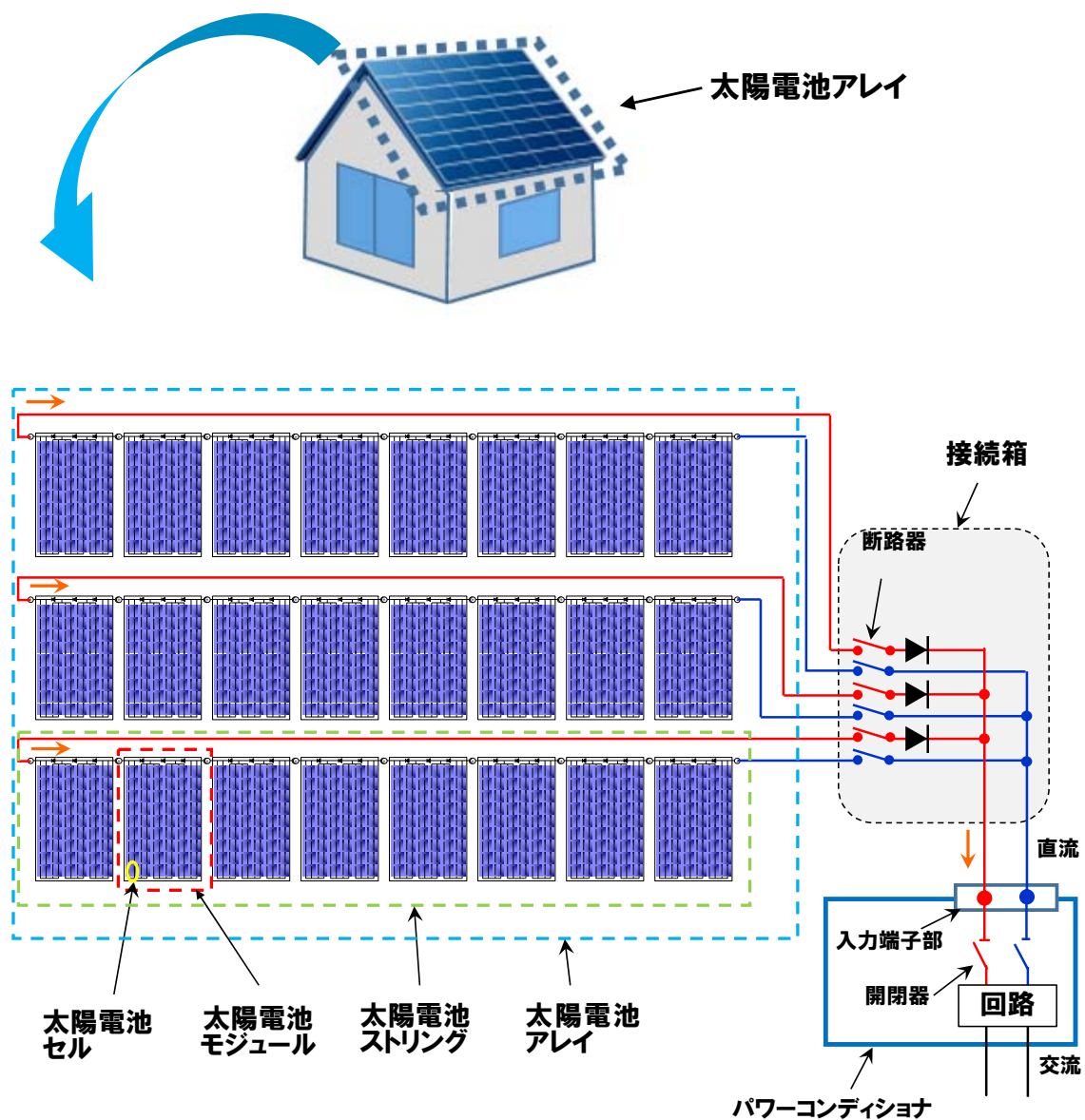


図2 住宅用太陽光発電システムの主な構成機器

主な構成機器の概要について表2に示す。

表2 主な構成機器の概要

番号	構成機器	概要
1	太陽電池セル (以下「セル」という。)	光起電力効果 ¹¹ を利用し、光エネルギーを電力に直接変換する電力機器で、太陽電池の最小単位。
2	太陽電池モジュール (以下「モジュール」という。)	所定の出力が得られるように、複数のセルを電氣的に接続したものを、長期間の使用に耐えられるようガラスや樹脂を用いて封止し、固定設置するための枠を取り付けたもの。
3	太陽電池ストリング (以下「ストリング」という。)	電圧を高めるため、複数枚のモジュールを直列に接続したもの。
4	太陽電池アレイ (以下「アレイ」という。)	複数のストリングを並列に接続し、所定の電力が得られるように構成して架台などに固定したもの。
5	アレイケーブル	モジュールから接続箱及びパワーコンディショナまでを電氣的に接続するケーブル。
6	接続箱	ストリングごとに発電した直流電力を、一定のブロックごとにまとめ、パワーコンディショナに供給する機器。
7	断路器	回路に電流が流れていない状態で、回路のオンオフを行う電力機器。保守点検を行う時に、断路器の下流にある機器を回路から確実に切り離すために使用される。断路器には、電源を遮断する機能はなく、断路器の下流にある開閉器等で電流を遮断してから、断路器をオフとして回路から切り離す必要がある。
8	パワーコンディショナ	発電した直流電力を一般の電気器具で使用可能な交流電力に変換し、電気器具に送電する機能を持つ機器をいう。商用系統 ¹² との連系運転 ¹³ や自立運転 ¹⁴ に必要な各種保護・制御機能を備えている。

¹¹ 光の照射によって起電力が発生する現象（出典：JIS C 8960:2012 太陽光発電用語）。

¹² 電力会社の配電線とつながった電力系統のことをいう。

¹³ 電気を売りつつ、電気を買うこともできる運転状態。

¹⁴ 停電した場合などに、太陽光で発電している電気があれば、自立運転用出力コンセントに家庭内の電気機器のプラグを差し込んで使用可能とすること。

(3) 代表的なモジュールの概要

代表的なモジュールの外観構造、回路及び断面について、図3～6に示す。

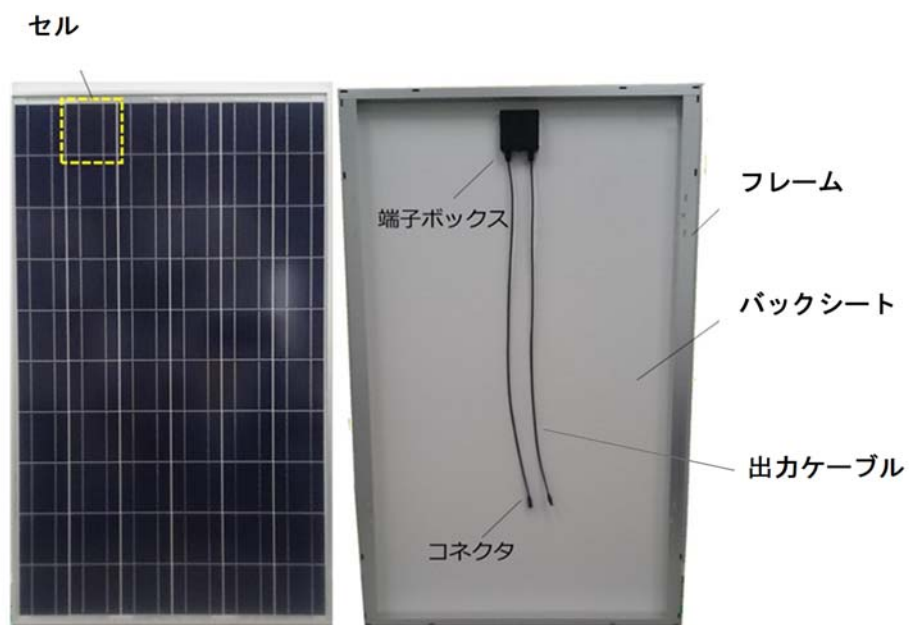


図3 モジュールの外観構造（左：表面 右：裏面）

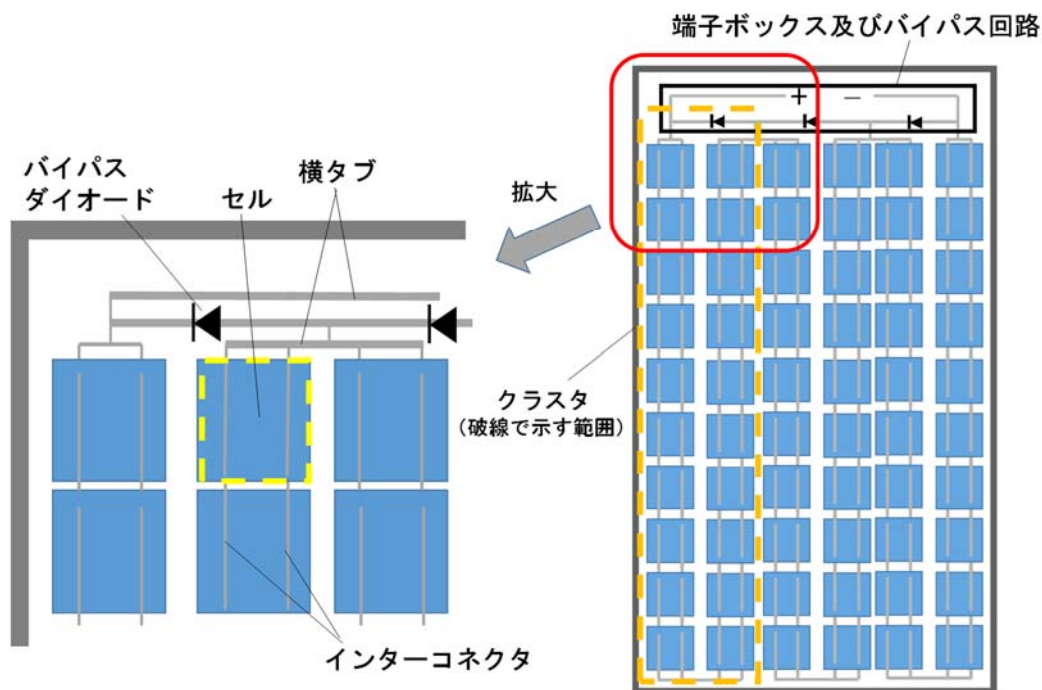


図4 モジュールの回路（拡大図）

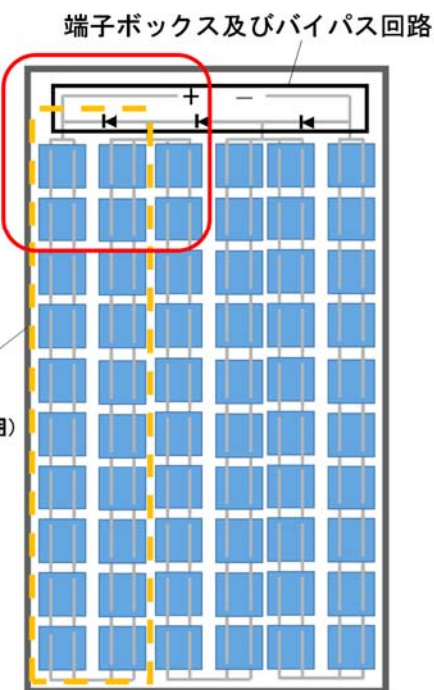


図5 モジュールの回路

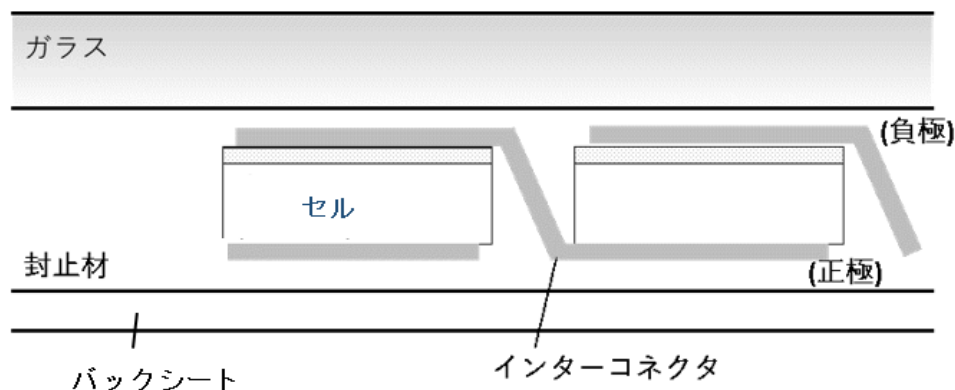


図6 モジュールの断面

次に、モジュールの構成部品等の概要を表3に示す。

表3 モジュールの構成部品等の概要

番号	構成部品等	概要
1	インターコネクタ	各セルの電気回路をつなぐ配線材をいう。はんだでコーティングされた銅等を用いる。セルとの接続は、はんだ付け等にて行う。
2	端子ボックス	モジュールからの出力を外部に取り出すため、セルと外部を接続する配線をつないだ、バイパス回路を有する端子台。 水分や汚染物質がセル内に侵入することを防ぐため、箱全体に樹脂を充填していることが多い。
3	バイパス回路	部分的な日陰の発生やモジュール内のトラブルなどによる想定を超える電流の変化が生じたときに、一時的に電流をう回させる回路。アレイ全体の出力低下を防止する調整回路としての機能と、モジュール等の発熱又は焼損を防止する安全保護回路としての機能を有する。 (バイパスダイオード) バイパス回路を構成する素子。
4	横タブ	セルに配線される複数のインターコネクタからの電流を集電して、隣のセルの列及び端子ボックスへ電氣的に接続する配線。

番号	構成部品等	概要
5	クラスタ	モジュール内の回路のうち、バイパス回路で並列接続された閉回路。
6	バックシート	モジュールの裏面側を保護するシート。紫外線や湿度による変質を防ぐため、異なる素材の樹脂を重ねたフィルムを用いることが多い。
7	封止材	セルの接着、保護及び固定化を担う部材であり、ガラスとバックシートの間に挟み込まれる形で使用される。 代表的な主原料は「EVA」（エチレン酢酸ビニル共重合樹脂）である。
8	出力ケーブル	端子ボックスを介してモジュール間を直列に接続するためのケーブル。
9	コネクタ	出力ケーブル端部に取り付けられたモジュール同士を電氣的に接続する端子。

3. 1. 2 安全基準等

住宅用太陽光発電システムに関連する安全基準等について、以下に示す。

(1) 法令等

① 電気事業法（昭和 39 年法律第 170 号）

電気事業の運営を適正かつ合理的ならしめることによつて、電気の利用者の利益を保護し、及び電気事業の健全な発達を図るとともに、電気工作物の工事、維持及び運用を規制することによつて、公共の安全を確保し、及び環境の保全を図ることを目的として、電気事業や電気工作物の工事、維持及び運用等を規制する法律である。出力が 50kW 未満である太陽電池発電設備は、小出力発電設備と位置付けられており¹⁵、同法第 56 条第 1 項により、経済産業省令で定める技術基準に適合することを求められている。太陽電池発電設備については、「電気設備に関する技術基準を定める省令《平成 9 年通商産業省令第 52 号》」（以下「電気設備技術基準」という。）に技術基準が定められていることから、同令

¹⁵ 電気事業法施行規則（平成 7 年通商産業省令第 77 号）第 48 条第 4 項において出力 50kW 未満の太陽電池（光）発電設備（システム）を小出力発電設備と定義している。

に適合することが求められる。

電気設備技術基準第 15 条では、「電路には、地絡が生じた場合に、電線若しくは電気機械器具の損傷、感電又は火災のおそれがないよう、地絡遮断器の施設その他の適切な措置を講じなければならない。ただし、電気機械器具を乾燥した場所に施設する等地絡による危険のおそれがない場合は、この限りでない。」と定められており、この技術的要件を満たすものと認められる技術的内容の例示として、「電気設備の技術基準の解釈」（平成 25 年 3 月 14 日付け 20130215 商局第 4 号）第 36 条第 1 項第 7 号において、以下のとおり定められている。

金属製外箱を有する使用電圧が 60 V を超える低圧の機械器具に接続する電路には、電路に地絡を生じたときに自動的に電路を遮断する装置を施設すること。ただし、次の各号のいずれかに該当する場合はこの限りでない。

一～六 （略）

七¹⁶ 機械器具を太陽電池モジュールに接続する直流電路に施設し、かつ、当該電路が次に適合する場合

イ 直流電路は、非接地であること。

ロ 直流電路に接続する逆変換装置の交流側に絶縁変圧器を施設すること。

ハ 直流電路の対地電圧は、450 V 以下であること。

八 （略）

② 消費生活用製品安全法（昭和 48 年法律第 31 号）

消費生活用製品による一般消費者の生命又は身体に対する危害の発生の防止を図るため、特定製品の製造、輸入及び販売を規制等する法律である。消費者自身による保守が難しく、長期間の使用に伴い生ずる劣化（経年劣化）により安全上支障が生じ、特に重大な危害を及ぼすおそれの多い 9 品目を「特定保守製品」とし、経年劣化による製品事故を防止するための制度¹⁷を設けている。「特定保守製品」の製造又は輸入の事業

¹⁶ 電気設備の技術基準の解釈の解説（平成 29 年 8 月 14 日最終改正、経済産業省商務情報政策局産業保安グループ電力安全課）には、「太陽電池モジュールに接続する直流電路が非接地であり、かつ、逆変換装置の交流側に絶縁変圧器が施設されていれば、直流電路に地絡を生じて地絡電流の帰路が構成されず、地絡電流が継続して流れないため火災の発生のおそれがない。」と記載されている。

¹⁷ 長期使用製品安全点検制度のこと。現在は、浴室用電気乾燥機などの品目が指定されている（平成 21 年 4 月 1 日施行）。

を行う者は、「特定保守製品」の点検その他の保守を適切に行うために必要な体制の整備等が求められている。

なお、住宅用太陽光発電システムは、消費生活用製品に該当するが、「特定保守製品」には指定されていない。

③ 電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（平成 23 年法律第 108 号。以下「FIT 法」という。）

再生可能エネルギー源の利用を促進すること等を目的として、電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する価格の設定等について定めた法律である。

平成 28 年 6 月に、再生可能エネルギー発電事業計画（以下単に「事業計画」という。）を認定する新たな認定制度が創設される等の改正が行われ、公布された（以下平成 28 年改正法を「改正 FIT 法」という。）。これにより、電気事業者¹⁸には、事業計画に基づき、事業実施中の保守点検及び維持管理等を適切に実施することが義務付けられた。

（２）国内規格（日本工業規格：JIS）

① 地上設置の結晶シリコン太陽電池¹⁹（PV）モジュール—設計適格性確認及び形式認証のための要求事項：JIS C 8990（2009 年）

本規格は、一般屋外の気候で、長期運転に適した地上設置太陽電池モジュールの設計適格性確認及び形式認証に対する要求事項を規定している。

本規格で実施する一連の試験の目的は、結晶シリコン系モジュールの電气的特性及び温度的特性を決定し、かつ、費用及び時間の制約内で可能な限り、モジュールが一般的な屋外の気候に長期間さらされても耐え得ることを確認することである。

モジュールの耐久性を確認するため、一連の試験を行い、各試験サンプルが基準を満足するとき、モジュール設計は、試験に合格したとし、

¹⁸ 住宅用太陽光発電システムにおいてはその所有者が該当する。

¹⁹ 太陽電池セルは、その素材の種類により分類されるが、種類については、シリコン系、化合物系、有機系に大別される。シリコン系は、さらに結晶系と薄膜系に分けられる。現在、主に普及している素材は結晶シリコン系である。

認証のための要求事項を満たすと判定される。

一連の試験のうち、本件調査に関連する試験として、以下の「ホットスポット²⁰耐久試験」と「バイパスダイオード温度試験」がある。

a ホットスポット耐久試験

本試験は、ホットスポット発生によるセルの温度上昇の影響、例えば、はんだの熔融又は封止の劣化に対するモジュールの耐久性を決定することを目的としている。

b バイパスダイオード温度試験

本試験は、モジュールのホットスポット作用を保護するために使用するバイパスダイオードの熱設計の妥当性及び比較的長期の信頼性を評価することを目的としている。

本試験の主な手順は以下のとおりである。

まず、モジュールを $75^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ に加熱した上で、モジュールの短絡電流²¹に等しい電流を流し、1 時間後にバイパスダイオードの温度を測定する。次に、モジュールの短絡電流の 1.25 倍の電流を 1 時間流し続け、バイパスダイオードが依然として動作することを検証する。本試験の主な要求事項は以下のとおりである。

ダイオードジャンクション温度は、ダイオード製造業者の最大ジャンクション温度定格を超えてはならない。また、試験終了後もダイオードは、ダイオードとして機能しなければならない。

ダイオードジャンクション温度は、ダイオード製造業者が提供する情報を用いて、測定したケース温度及びダイオードで消費した電力から計算される。

② 太陽電池モジュールの安全適格性確認 第 1 部：構造に関する要求事項：JIS C 8992-1 (2010 年)、第 2 部：試験に関する要求事項：JIS C 8992-2 (2010 年)

第 1 部では、モジュールが電氣的にも機械的にも安全な運転を達成するための、構造に関する基本的な要求事項について規定している。

第 2 部では、第 1 部によって評価しているモジュールの安全性を実証

²⁰ 太陽電池モジュールにおいて、太陽光が局部的に遮られたり、モジュールを構成する太陽電池セルの一部に欠陥又は特性劣化が発生したりする場合に、局部的に温度が上昇する部分（出展：JIS C 8960:2012 太陽光発電用語）。

²¹ 太陽電池セル又はモジュールの出力端子を短絡したときの両端子間に流れる電流（参考：一般社団法人太陽光発電協会 用語集）。

するための試験手順及び合否判定基準を規定しており、これらは、感電、火災及び人的傷害につながるモジュールの内部又は外部の部品破損を検出することとなっている。本規格は、一般事項、電氣的衝撃、火災、機械的ストレス及び環境ストレスに関する一連の試験について規定しており、そのうち、火災安全に係る試験として、以下の「温度試験」と「火災試験」がある。

a 温度試験

本試験では、モジュールの構成部品や材料の適切な使用法を確立するために、放射照度 $700\text{W}/\text{m}^2$ 以上²²での熱安定状態において、モジュール受光面中央のセルや端子ボックスの内部表面等の温度を測定し、構成部品や材料ごとに規定した温度限度以下であることを要求している。

b 火災試験

本試験は、屋根被覆材料として用いるか、又は建物の既設の屋根上に取り付けるかを問わず、モジュールに適用する基本的な耐火性を規定するためのものであり、火炎伝ば試験と飛び火試験がある。これらの試験に適合する製品は、容易には発火せず、屋根床²³に対してある程度の防火性を持ち、取付位置からずれることもなく、また、火の粉を飛ばすこともないと想定されている。

なお、屋根被覆材料としての役割を果たすモジュールは、国内法²⁴に適合することが必要である。

③ 小出力太陽光発電用パワーコンディショナ：JIS C 8980（2009 年）

本規格は、小出力²⁵の太陽光発電用パワーコンディショナの性能や構造、試験方法、検査などを規定している。

④ 住宅用太陽光発電システム電気系安全設計標準：JIS C 8981（2006 年）

本規格は、定格システム出力 20kW 未満の系統連系（停電時などに一時的に自立運転可能なシステムも含む。）を行う住宅用太陽光発電システムの電気系に関し、システムとしての安全設計を主体に、各要素機器及びそれらの設置、接続配線などに必要な安全条件について規定してい

²² モジュールと同一面で測定する。

たるき のじいた

²³ 垂木、野地板、ルーフィング（後掲図 9）などの屋根の部材のこと。

²⁴ 防火性能を定める建築基準法がこれに該当する。

²⁵ 定格出力 20kW 未満をいう。

る。

(3) 太陽光発電システム保守点検ガイドライン：JM16Z001

一般社団法人日本電機工業会及び一般社団法人太陽光発電協会（以下「太陽光発電協会」という。）は、本ガイドライン（以下「保守点検ガイドライン」という。）を平成 28 年 12 月に制定している。保守点検ガイドラインには、直流 1,500V 以下の太陽光発電システムの基本的な予防、是正及び発電性能に係わる保守要件並びに推奨案が記載されている。

また、「附属書 B（参考）定期点検要領の例」には、「住宅の傾斜屋根などに設置した太陽光発電システムを対象とした 10kW 以下（住宅用）及び地上設置などの 10kW 以上の一般用電気工作物の具体的な点検項目と要領」が例示されている。

例えば、所有者は、太陽光発電システムの引渡しを受けた後、事業計画に従い点検を行い、適切に管理運用することとされている。また、定期点検は、設置時期に応じて必要な点検を実施し、機器が正常に動作していることを確認するとともに、不具合が見つかった場合は補修作業を行うこととされている。

3. 1. 3 住宅用太陽光発電システムの導入件数

住宅用太陽光発電システムの導入件数は年々増加し、国内における累計導入件数は、平成 28 年 12 月末の時点で 200 万件以上に達している（図 7）。

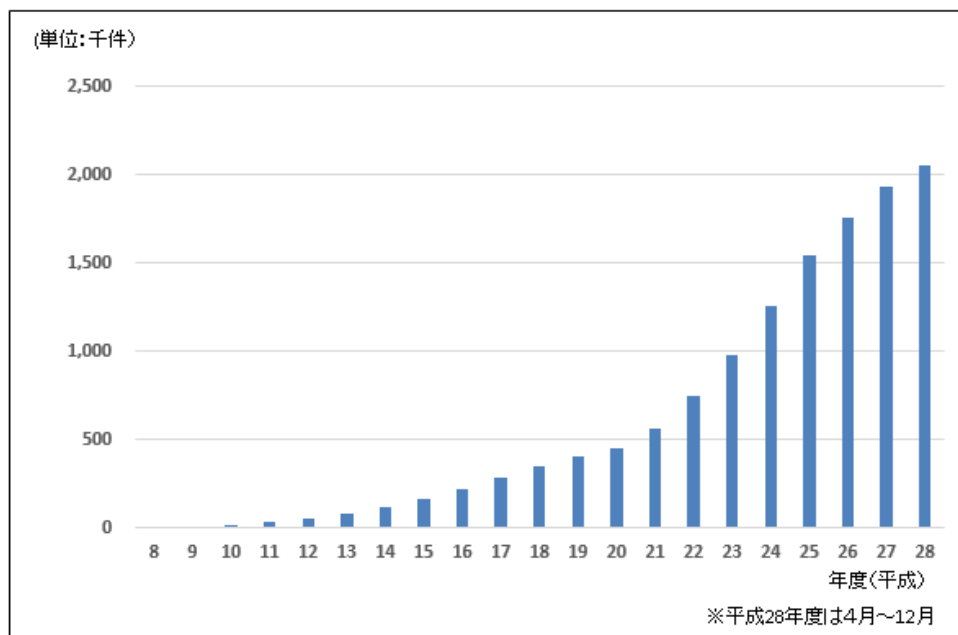


図7 住宅用太陽光発電システムの累計導入件数
(太陽光発電協会の資料²⁶を基に調査委員会で作成)

住宅用太陽光発電システムの年度別の導入件数について、平成13年度から平成28年度（平成28年12月まで）までの推移を図8に示す。

国による住宅用太陽光発電導入支援補助金制度²⁷や余剰電力買取制度²⁸の実施に伴い、新規の導入件数は、平成21年度から平成25年度にかけて急速に増加したが、その後は減少している。

²⁶ 出典：太陽光発電を取り巻く状況と今後の展望（平成28年6月8日 太陽光発電協会）。

²⁷ 一定の要件を満たす住宅用太陽光発電システムの設備を設置する者に対して、国が定めた定額の補助を実施すること。補助金制度は、平成6年度から平成17年度まで、及び平成20年度から平成25年度まで実施された（出典：我が国における再生可能エネルギーの現状 平成24年3月6日 経済産業省資源エネルギー庁）。

²⁸ 太陽光発電システムで作られた電力のうち、余剰電力を、国が定めた一定の価格で買い取ることを電気事業者に義務付けた制度。

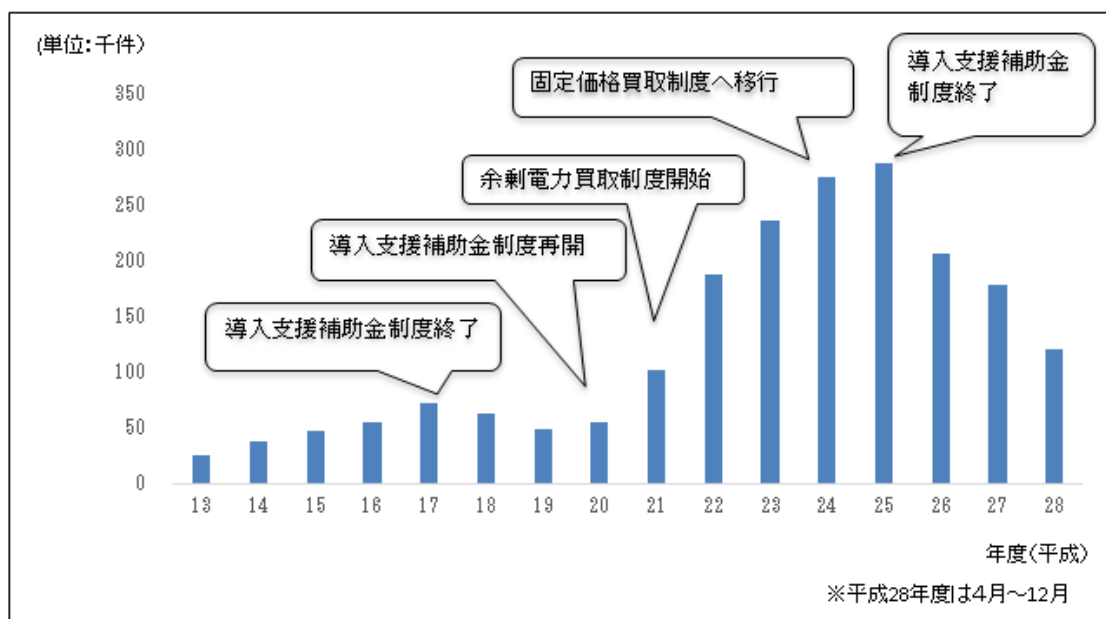


図8 住宅用太陽光発電システムの年度別導入件数
(太陽光発電協会の資料²⁹及び経済産業省資源エネルギー庁の資料³⁰を基に調査委員会で作成)

²⁹ 出典：太陽光発電を取り巻く状況と今後の展望（平成28年6月8日 太陽光発電協会）。

³⁰ 出典：我が国における再生可能エネルギーの現状（平成24年3月6日 経済産業省資源エネルギー庁）。

3. 2 住宅の屋根に関する情報

3. 2. 1 住宅の屋根構造

一般的な住宅の屋根は、主に以下に示す「垂木^{たるき}」、「野地板^{のじいた}」、「ルーフィング^{のじいた}」という 3 つの部材の上に、瓦やスレート等の屋根材を載せる構造となっている（図 9）。

- ・ 垂木^{たるき}

屋根に傾斜をつけて野地板を支えるための斜材。木材が一般的である。

- ・ 野地板^{のじいた}

垂木^{たるき}の上に貼る板状の材料。木材が一般的である。

- ・ ルーフィング

屋根の防水のために野地板^{のじいた}の上に敷く防水シート。

アスファルトルーフィング³¹が一般的である。

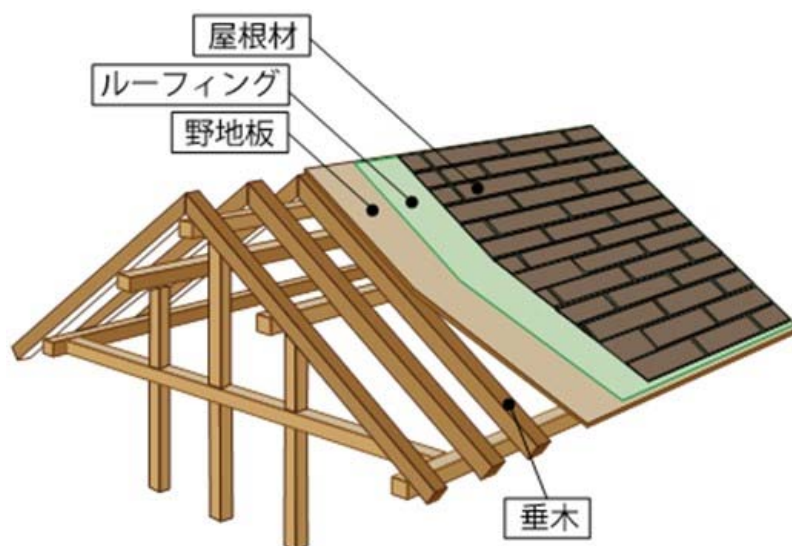


図 9 一般的な住宅の屋根構造の一例

3. 2. 2 屋根の防火構造等の基準

建築基準法（昭和 25 年法律第 201 号）において、防火地域、準防火地域³²

³¹ 原紙にアスファルトを浸透、被覆し、表裏面に鉱物質粉末を付着させたもの（出展：JIS A6005：2005 アスファルトルーフィングフェルト）。

³² 防火地域及び準防火地域は、市街地における火災の危険を防除するため定める地域のことをいう（都市計画法第 9 条第 20 項）。

又は指定区域³³内にある建築物の屋根の構造は、火の粉による建築物の火災の発生を防止するために必要な屋根の性能に関する技術的基準³⁴に適合するもので、国土交通大臣が定めた構造方法又は国土交通大臣の認定を受けたものとしなければならないと規定している（第 63 条及び第 22 条）。

3. 2. 3 木材の発火に関する情報

消防庁消防大学校消防研究センターによると³⁵、木材の発火の概要は以下のとおりである。

加熱された木材の温度は、熱源から与えられた熱と加熱された木材から発散していく熱のバランスで決まり、前者が後者より大きければ熱が木材に蓄積され温度が上昇していく。ある温度に達すると、木材自身の酸化反応（発熱反応）により温度は更に上昇する。そして、引火温度（220～264℃）に達して周りに火種があると燃え出す。また、周りに火種がなくとも発火温度（260～416℃）に達すると自然発火する。

木材は、低い温度（100～150℃³⁶）でも加熱されて水分等が蒸発し、多孔質³⁷化していく。多孔質化^{たこうしつ}した木材は断熱性が良く、熱が逃げにくいいため、木材内部で蓄熱が起こり、ついには引火温度や発火温度にまで達して燃え出す。このような現象を低温発火³⁸という。

3. 3 モジュールの設置形態

本報告書において、住宅の屋根へのモジュールの設置形態については、以下に示す 4 つのタイプに分類して定義することとする。

³³ 特定行政庁（建築基準法第 2 条第 35 号参照）が防火地域及び準防火地域以外の市街地について指定する区域のことをいう。

³⁴ 建築基準法施行令第 109 条の 6 及び同第 136 条の 2 の 2

³⁵ 参考：消防庁消防大学校消防研究センター「低温発火とは」

http://nrifd.fdma.go.jp/public_info/faq/teionhakka/index.html

《平成 30 年 10 月 1 日閲覧》

³⁶ 周りの状況によってはこの温度より低くても多孔質化^{たこうしつ}が起こる。

³⁷ 多数の細孔を持つ構造のことをいう。

³⁸ 例えば、コンロの炎により長い間繰り返し加熱されていた近くの壁材が発火する場合、風呂の煙突や暖房のスチーム管に接している木材が、長い間加熱されて発火する場合等は、低温発火の可能性が高い。

(1) 屋根置き型

住宅の屋根材（瓦、スレート、金属屋根等）の上に架台を取り付け、モジュールを設置するタイプ（図 10）。

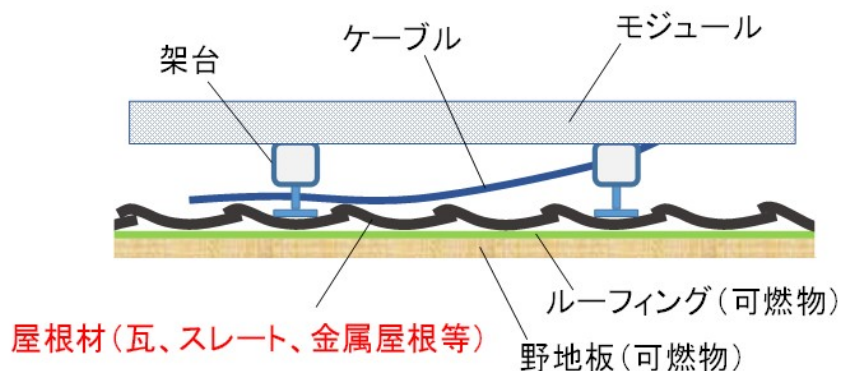


図 10 屋根断面イメージ図（屋根置き型）³⁹

(2) 鋼板等敷設型

屋根材にモジュールが組み込まれているものや、屋根全面にモジュールが設置されているもので、モジュール直下のルーフィング表面に、鋼板等の不燃材料を敷設するタイプ（図 11）。

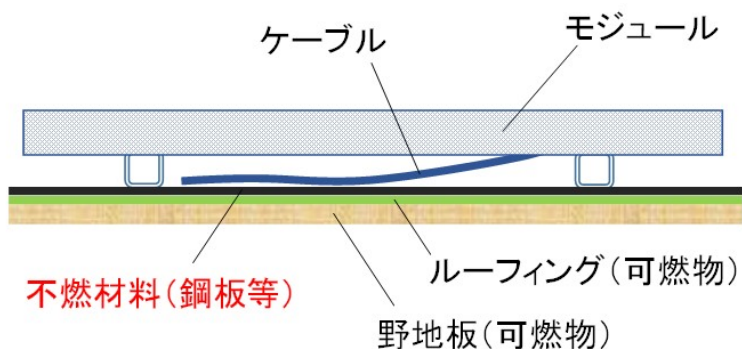


図 11 屋根断面イメージ図（鋼板等敷設型）

³⁹ 本図は屋根材が瓦である場合を例として示す。

(3) 鋼板等付帯型

裏面に鋼板等の不燃材料を付帯したモジュールをルーフィング上に直接設置するタイプ（図 12）。

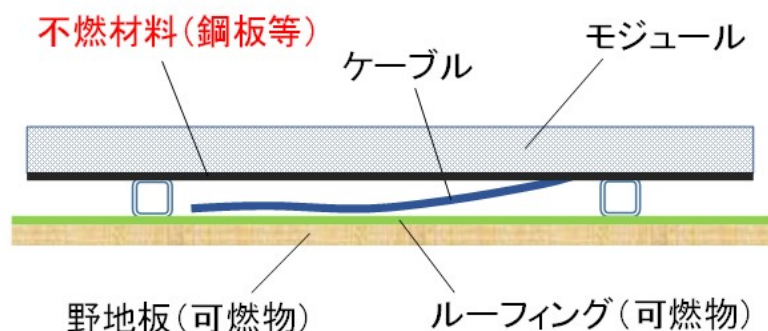


図 12 屋根断面イメージ図（鋼板等付帯型）

(4) 鋼板等なし型

裏面に鋼板がないモジュールをルーフィング上に直接設置するタイプ（図 13）。バックシートの樹脂に金属（アルミ等）箔を挟み、積層構造になっているものもある。

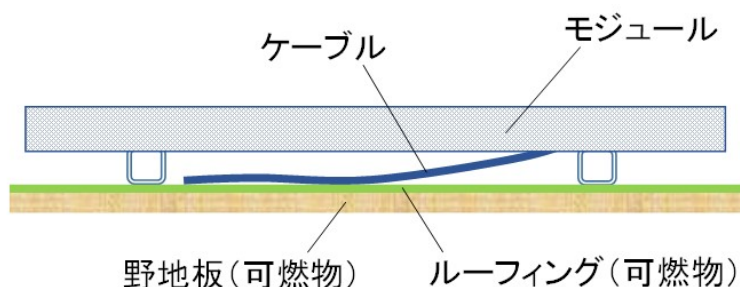


図 13 屋根断面イメージ図（鋼板等なし型）

(5) モジュールの設置形態別の割合

住宅用太陽光発電システムの累積設置棟数全体（約 2,374,700 棟）におけるモジュールの設置形態の各タイプの設置割合は、屋根置き型及び鋼板等敷設型が合わせて約 94.8%（約 2,250,000 棟）、鋼板等付帯型が約 0.7%（約 17,700 棟）、鋼板等なし型が約 4.5%（約 107,000 棟）である⁴⁰。

⁴⁰ 経済産業省からのヒアリング結果より（平成 30 年 10 月現在）

4 事故等について認定した事実と分析

住宅用太陽光発電システム（以下本章においては「製品」という。）から発生した火災事故等について、以下のとおり調査及び分析を行った。

（１）他機関の調査資料及び現地調査並びに実験に基づく分析

① モジュール又はケーブルから発生した火災事故等

「１ 事故等の概要」において示した調査対象の 13 件の火災事故等について、消防機関、N I T E 及び製造業者（以下併せて「他機関」という。）の調査資料（参考資料 A）を収集及び整理した。その上で、推定発火箇所がモジュールであるものとケーブルであるものとに分類し、それぞれについて発火等の原因を分析した。また、モジュールについては、使用中の製品の現地調査を行い分析内容の検証を行った。さらに、野地板^{のじいた}への延焼プロセスを検証するため、実験を行った。

② パワーコンディショナ又は接続箱から発生した火災事故等

「１ 事故等の概要」において示した調査対象の 59 件の火災事故等について、他機関の調査資料に基づく火災等の推定原因を整理し、分析した。

（２）製品の運用実態調査

製品の所有者 1,500 人へのアンケート調査により、故障の経験や保守点検の実績等を調査した。

（３）事業者への聴取り調査

（１）及び（２）の結果を踏まえ、火災事故等に関する製品の安全対策等について、主要な製造業者及び住宅・建築業者への聴取り調査を行った。

4. 1 他機関の調査資料及び現地調査並びに実験に基づく分析

4. 1. 1 モジュール又はケーブルから発生した火災事故等

モジュール又はケーブルから発生した火災事故等 13 件の事例について、他機関の調査資料を収集した。その上で、火災事故等の要因に係る情報を整理し（表 4）、推定発火箇所⁴¹及びモジュールの設置形態の違いにより分類した（図 14）。

なお、表 4 及び図 14 に示す推定発火箇所について、モジュール又はケーブルのいずれであるかを推定することが困難であった事例 1 及び事例 12 は、いずれの可能性もあるものとして分類した。

また、火災事故等の発生状況の例として事例 13 の被災状況を写真 1 に示す。本事例のように、モジュール又はケーブルから発火した後、野地板^{のじいた}へ延焼した場合は、被害が大きくなるため、表 4 の整理に当たっては、野地板^{のじいた}への延焼の有無についても着目した。

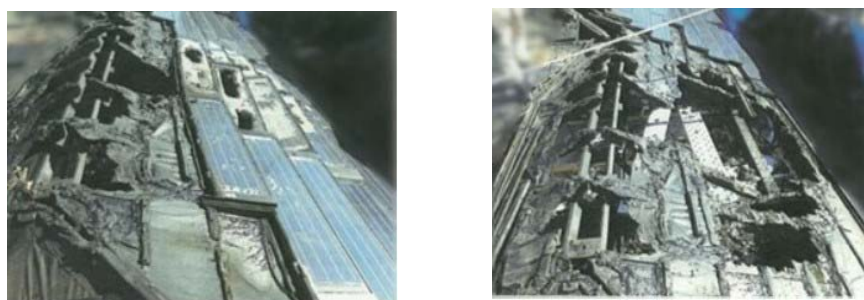


写真 1 火災事故等の被災状況（右はモジュール撤去後）

なお、本報告書では、アンケート（図 21）において、所有する製品の製造業者として回答された上位 5 社を、A～E 社と表し、表 4 に記載のその他 1 社を F 社と表した。

⁴¹ 他機関の報告書における「推定」という用語は、本報告書の本文中における用語の使い方とは必ずしも一致するものではない。

表4 他機関の調査資料に基づく火災事故等の要因に係る情報

事例 No.	発生日	発生場所	製造 業者	使用 年数	モジュールの 設置形態	野地板 へ延焼	調査 機関	推定発火箇所			施工不良 (推定原因) (注3)
								モジュ ール (注2)	ケーブル 出力 ケーブル	アレイ ケーブ ル	
1	平成23年9月	千葉県	A社	約7.5年	鋼板等なし型	あり	消防		○	○	-
							NITE	○	○		
							製造業者	○	○		
2	平成24年8月	埼玉県	A社	約10年	屋根置き型	なし	消防			○	○
							NITE			○	
							製造業者			○	
3	平成25年3月	京都府	A社	約8.5年	屋根置き型	なし	消防	○			-
							NITE	○			
							製造業者	○			
4	平成25年6月	新潟県	C社	約3年	屋根置き型	なし	消防			○	-
							NITE		○	○	
							製造業者		○	○	
5	平成25年8月	奈良県	F社 (注4)	約2年	鋼板等付帯型	なし	消防			○	○
							NITE			○	
							製造業者				
6	平成26年8月	神奈川県	C社	約1年	鋼板等なし型	あり	消防		○	○	○
							NITE		○		
							製造業者		○		
7	平成26年8月	東京都	A社	約10年	鋼板等なし型	あり	消防		○		○
							NITE		○		
							製造業者		○		
8	平成27年2月	栃木県	A社	約0.5年 (約9年) (注1)	屋根置き型	なし	消防			○	○
							NITE			○	
							製造業者			○	
9	平成27年12月	神奈川県	A社	約5.5年	屋根置き型	なし	消防			○	○
							NITE			○	
							製造業者			○	
10	平成28年3月	広島県	A社	約14年	鋼板等なし型	あり	消防	○			-
							NITE	○			
							製造業者	○			
11	平成28年4月	神奈川県	A社	約10年	鋼板等なし型	あり	消防	○			-
							NITE	○			
							製造業者	○			
12	平成28年8月	福岡県	A社	約11年	鋼板等なし型	あり	消防	○	○		-
							NITE	○	○		
							製造業者	○	○		
13	平成29年10月	愛知県	A社	約5年	鋼板なし型	あり	消防		○		-
							NITE		○		
							製造業者		○		

注1: 修理後に発生したと推定されているため、修理からの経過年数を使用年数とし、設置からの経過年数を()内に併記している。

注2: 端子ボックスを含む。

注3: 「○」は、消防又はNITEいずれかの機関が出火原因として、モジュール又はケーブルの施工不良であると推定している事例を示す。

「-」は、両機関がモジュール又はケーブルの施工不良について言及していない、又は同施工不良の可能性は不明としている事例を示す。

注4: 事例5は、製品設置後の住宅リフォーム工事で施工したケーブルから発生したものと断定されている。

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	屋 根 上	事例 3 A社 約 8.5 年			事例 10 A社 約 14 年 事例 11 A社 約 10 年 事例 1 A社 約 7.5 年 事例 12 A社 約 11 年
	ケ ー ブ ル		注 2 施工 事例 4 C社 約 3 年 事例 8 A社 約 0.5 年			施工 事例 6 C社 約 1 年 事例 7 A社 約 10 年 事例 13 A社 約 5 年
		屋 根 以 外	施工 事例 2 A社 約 10 年 外壁 施工 事例 9 A社 約 5.5 年 外壁 施工 事例 5 F社 約 2 年 屋根裏			

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

注 1：枠の違いは、野地板^{のじいた}への延焼の有無を示している。



：野地板^{のじいた}への延焼あり



：野地板^{のじいた}への延焼なし

注 2：施工^{のじいた}は、表 4 の施工不良（推定原因）欄が○印に該当する事例を示す。

13 件の火災事故等を分類した結果、推定発火箇所は、おおむねモジュールとケーブルの 2 つに分けられた。また、以下の 3 つの特徴が見られたため、それらを踏まえて更なる調査を行うこととした。

① モジュールの発火は、使用年数 7 年以上の製品で発生している。

推定発火箇所がモジュールとされた火災事故等 5 件（事例 1、3、10、11、12）については、モジュールの使用年数が 7 年以上経過した後に発生していた。

これを踏まえ、製造業者が作成した調査報告書を精査したところ、考えられるモジュールの発火原因として、はんだ接続部の高抵抗化⁴²からバイパス回路の故障に至り、さらに配線接続部にシステム全体の電圧がかかって発熱する一連のプロセスについての記載があった。また、その内容については、特定個社が製造するモジュールのみならず、他社の製品にも広く適用可能なものであることが確認された。そのため、当該調査報告書の内容を参考として、モジュールの発火に至るプロセス（以下「発火プロセス」という。）を想定した。

次に、想定した発火プロセスの妥当性を検証するために、使用中の製品を対象として現地調査を行い、発火プロセスの途中段階にあると考えられるモジュール（以下「不具合モジュール」という。）の有無の確認を行った。

② ケーブルの発火は、主に施工不良が原因であると推定されている。

推定発火箇所がケーブルとされた火災事故等 10 件（事例 1、2、4、5、6、7、8、9、12、13）のうち 6 件は、施工不良が発火原因と推定されていた。

このことを踏まえ、他機関の調査資料に基づき、施工不良の具体的な内容を分析した。また、施工不良以外の発火原因も併せて分析した。

③ ^{のじいた}野地板へ延焼したのは、全て鋼板等なし型のモジュールである。

^{のじいた}野地板へ延焼したために被害が大きくなった火災事故等 7 件（事例 1、

⁴² 配線と他の金属部との接触面積が小さくなる、配線が細くなるなどして、抵抗が大きくなる状態のことをいう。

6、7、10、11、12、13) は、全て鋼板等なし型のモジュールで発生していた。

このことを踏まえ、当該7件の火災事故等について、モジュールを含めた屋根の構造を調査するとともに、野地板への延焼に関する実験も行い、延焼のプロセスを考察した。

4. 1. 2 モジュールの発火に至るプロセスの検討

調査委員会では、モジュールの発火原因について、以下の①～④の4段階からなる発火プロセスを想定した。想定した発火プロセスを整理し、図15に示す。

① 第1段階（配線接続部の高抵抗化）

モジュール内配線（インターコネクタ、横タブ等）のはんだ接続部（以下「配線接続部」という。）が、経年劣化や製造上の問題（製造時にはんだ強度が十分ではなかった等）により高抵抗化する⁴³。

② 第2段階（バイパス回路の常時通電⁴⁴）

配線接続部の高抵抗化が進むと、安全保護回路であるバイパス回路が常時通電する状態になる。

③ 第3段階（バイパス回路の断線）

バイパス回路の常時通電状態が長期間継続すると、バイパス回路がその耐久性能を超えて断線に至り、安全保護回路としての機能を失った状態になる。

⁴³ 参考：

・「太陽光発電産業・技術の最新動向と将来展望」（平成23年11月25日 日本真空協会2011年11月研究例会での発表 独立行政法人産業技術総合研究所 増田淳氏）

・Itoh, U et al.: Solder joint failure modes in crystalline Si PV modules operated in Tsukuba, Japan for 10 years: 2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)

⁴⁴ 常時通電の常時とは、製品の発電時における常時を示す。

④ 第4段階（配線接続部の断線又は異常発熱）

バイパス回路が断線すると、第1段階で高抵抗化した配線接続部に再び通電が始まり、さらに高抵抗化が進行することで、配線接続部が断線に至るか、その前に異常発熱の状態になる。

バイパス回路が断線した状態で配線接続部が断線すると、断線箇所にシステム全体の電圧が加わって過電圧となり、アーク放電⁴⁵が発生する可能性が考えられる。このような配線接続部におけるアーク放電や異常発熱が生じると、配線接続部を覆っている封止材が発火する可能性が考えられる。

⁴⁵ 気体中の放電の一種のことをいう。

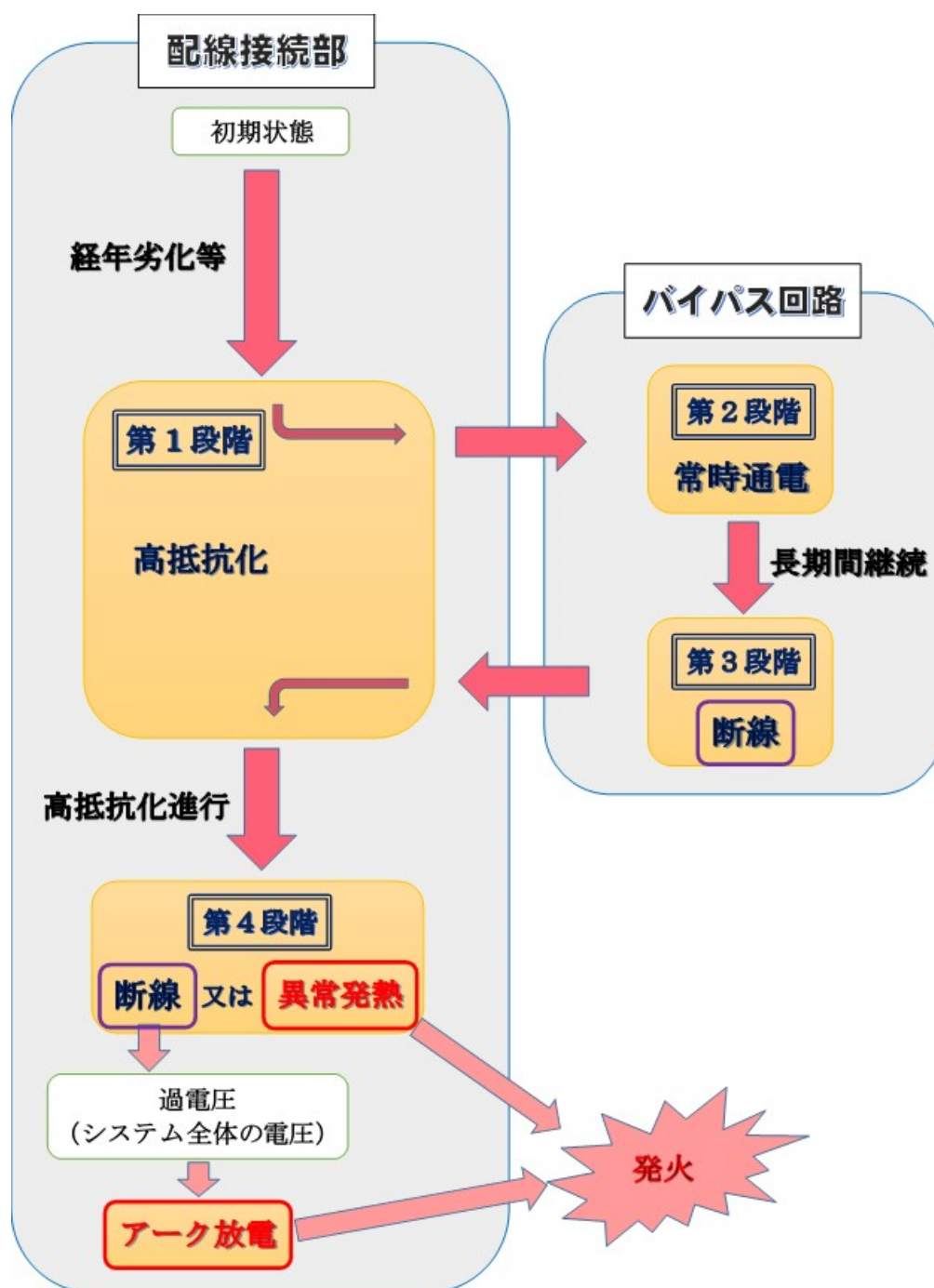


図 15 想定した発火プロセス

4. 1. 3 現地調査

想定した発火プロセスの妥当性を検証するために、現在も実際に使用されている製品を対象として、発火プロセスの第1段階から第4段階までの各段階に該当する不具合モジュールの有無を確認する現地調査を行った。

(1) 現地調査対象

認定非営利活動法人太陽光発電所ネットワーク⁴⁶から提供された情報及び調査委員会が実施したアンケート調査⁴⁷で得た製品運用情報を基に、使用年数や顕著な出力低下の有無等の観点から抽出した 11 件の製品⁴⁸について、ストリング単位で、アレイ絶縁抵抗の測定、I－V特性⁴⁹の測定、及びバイパス回路の検査を、日中、屋根に上がらない方法⁵⁰で実施した。さらに、評価の結果、不具合モジュールの存在が考えられる 6 件を現地調査の対象とした(表 5)。

表 5 現地調査対象

対象 No.	システム 製造業者	設置年月	使用年数 (平成29年10月 時点、半年単位)
1	C 社	平成11年 7 月	18年
2	C 社	平成10年10月	19年
3	E 社	平成11年 2 月	18.5年
4	A 社	平成13年12月	16年
5	A 社	平成17年 7 月	12年
6	A 社	平成16年 5 月	13.5年

各現地調査対象について、外観目視点検及び各種測定を実施し、不具合モジュールの状況を確認した⁵¹。

⁴⁶ 太陽光発電オーナーや再生可能エネルギーに関心を寄せる約 2,500 人が参加する団体。そのうち、住宅用太陽光発電システムの所有者は約 2,300 人である。

⁴⁷ 詳細は 4. 2 参照。

⁴⁸ 参考資料 B 参照。

⁴⁹ 電流電圧特性のことをいう。太陽電池の出力電圧に対する出力電流の関係を示す特性(出典：JIS C 8960:2012 太陽光発電用語)。

⁵⁰ 参考資料 C 参照。

⁵¹ 手順及び方法については参考資料 D に示す。

(2) 現地調査の方法及び結果

各調査対象において確認された事実について、発火プロセスの途中の段階ごとに、確認方法と確認結果を整理した。

① 発火プロセスの段階ごとの整理

a 第1段階（配線接続部の高抵抗化）

(a) 確認方法

配線接続部が高抵抗化すると、発熱して他の領域よりも局所的に温度が高くなることから、モジュール表面の赤外線サーモグラフィ画像の温度分布により確認する（参考資料D（1）参照）。

(b) 確認結果

配線接続部の高抵抗化が起きているモジュールを、調査対象の6件全てにおいて確認した。

一例として、対象3における高抵抗化箇所の赤外線サーモグラフィ画像（写真2）及び外観写真（写真3）を以下に示す。赤外線サーモグラフィ画像から、高抵抗化箇所（写真2丸囲い部）の温度が周囲に比べて高くなっていることを確認した。

また、外観目視点検により、当該箇所は、インターコネクタと横タブの配線接続部が高抵抗化して茶色に変色していることを確認した（写真3丸囲い部）。

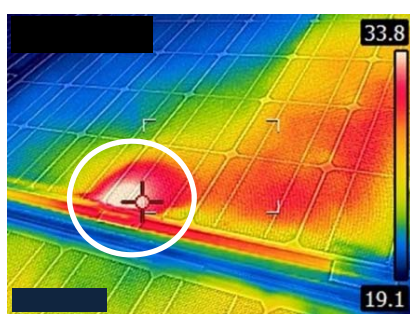


写真2 高抵抗化箇所
（赤外線サーモグラフィ画像）



写真3 高抵抗化箇所

b 第2段階（バイパス回路の常時通電）

(a) 確認方法

モジュールにおけるバイパス回路の常時通電の有無及び発生箇所は、

配線路探索器による確認を行うか、又は、モジュールの I-V 特性を測定して確認する（参考資料 D（2）参照）。

（b） 確認結果

バイパス回路の常時通電が起きているモジュールを、4 件の調査対象（対象 1、2、3、4）において確認した。

一例として、対象 3 におけるモジュール表面の赤外線サーモグラフィ画像（写真 4）及びその説明図（図 16）を以下に示す。モジュール裏面の端子ボックス内にある 4 つのクラスタのバイパス回路のうち、右から 2 番目のクラスタのバイパス回路が、常時通電により発熱している様子（写真 4 の丸囲い部）が見られた。

当該クラスタのモジュール表面温度が相対的に高温になっているのは、バイパス回路への電流のう回により電流が流れていないクラスタは発電していない状態になり、太陽エネルギーが電力に変換されず、熱エネルギーになってしまうためと考えられる。

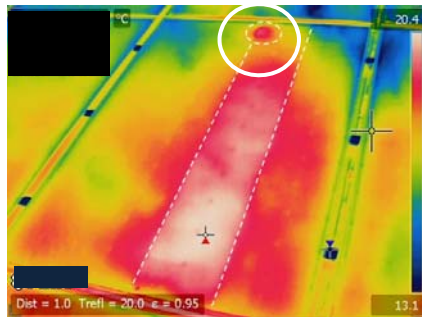


写真 4 バイパス回路の常時通電箇所
（赤外線サーモグラフィ画像）

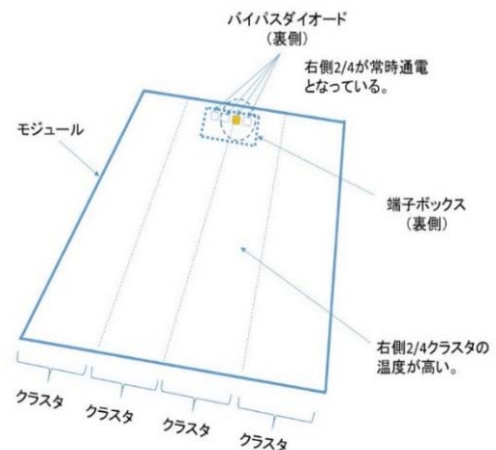


図 16 写真 4 の説明図

（c） 発火プロセス各段階の連続性

写真 5 は、対象 3 において、第 2 段階のバイパス回路の常時通電を確認したモジュールの端子ボックスの赤外線サーモグラフィ画像である。バイパス回路が常時通電により発熱している様子を確認した（写真 5 の丸囲い部）。

また、当該クラスタのインターコネクタと横タブの配線接続部に、熱影響を受けたと推定される変色（褐色）箇所が認められ（写真 6）、これが高抵抗化した箇所であると考えられる。

第 1 段階の配線接続部の高抵抗化と、第 2 段階のバイパス回路の常

時通電が同一クラスタ内に存在していることから、当該モジュールは、第1段階の配線接続部の高抵抗化を経て、第2段階であるバイパス回路の常時通電に至った可能性が考えられる。

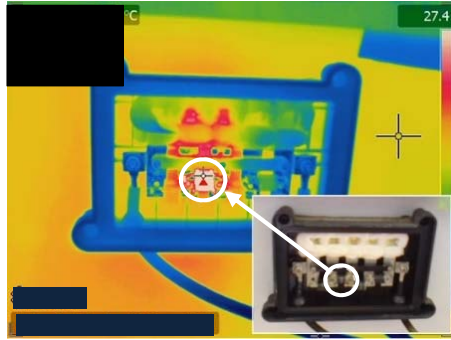


写真5 バイパス回路の常時通電箇所
(赤外線サーモグラフィ画像)



写真6 配線接続部の変色箇所
(モジュール表面)

c 第3段階（バイパス回路の断線）

(a) 確認方法

モジュールにおけるバイパス回路の断線の有無及び箇所は、バイパス回路検査装置による測定を行うか、又は、モジュールのI-V特性を測定して確認する（参考資料D（3）参照）。

(b) 確認結果

バイパス回路が断線しているモジュールを、2件の調査対象（対象1、2）において確認した。

d 第4段階（配線接続部の断線又は異常発熱）

(a) 確認方法

モジュールにおける配線接続部の断線の有無は、ストリングの開放電圧の測定、及び配線路探査器により確認する（参考資料D（4）参照）。

また、モジュール内で異常発熱している箇所は、赤外線サーモグラフィ画像の温度分布により確認する。

(b) 確認結果

異常発熱が起きているモジュールは確認されなかったが、配線接続部が断線しているモジュールを、2件の調査対象（対象1、2）において確認した。

また、不具合モジュール単体での開放電圧を測定した結果、0Vであった。この結果は、バイパス回路及び配線接続部が、同じクラスタ

内でいずれも断線している事実を示している。

(c) 発火プロセス各段階の連続性

まず、対象2において検討する。写真7は、第4段階の配線接続部の断線を確認したモジュールの表面である。ここで、第1段階の高抵抗化の進行で熱影響を受けたと推定される変色（黒色）箇所を確認した（写真7丸囲い部）。また、高抵抗化があったと推定される箇所と同一クラスタ内では第3段階のバイパス回路の断線が発生しており、端子ボックス内に充填された樹脂において、第2段階の常時通電による熱影響を受けたと推定される変色（褐色）箇所を確認した（写真8丸囲い部）。

以上のとおり、第4段階が発生しているクラスタ内の配線接続部で第1段階が発生したと推定される箇所が、第3段階が発生しているクラスタの端子ボックス内で第2段階が発生したと推定される箇所が、それぞれ確認されたことから、第1段階を経て第4段階が発生し、また、第2段階を経て第3段階が発生したものと考えられる。加えて、第1段階及び第4段階並びに第2段階及び第3段階が、全て同一クラスタ内で発生していることも合わせ鑑みると、当該モジュールは、第1段階の高抵抗化、第2段階のバイパス回路の常時通電及び第3段階のバイパス回路の断線を経て、第4段階の配線接続部の断線に至った可能性が考えられる。



写真7 配線接続部の変色箇所
（モジュール表面）



写真8 バイパス回路の変色箇所
（端子ボックス内部）

次に、対象1において検討する。写真9は、第3段階のバイパス回路の断線を確認した端子ボックス内部の外観である。ここで、端子ボックス内に充填された樹脂において、第2段階の常時通電による熱影響を受けたと推定される変色（褐色）箇所を確認した（写真9丸囲い部）。

また、バイパス回路の断線が発生しているクラスタ内のバックシートに膨れを確認した（写真 10 丸囲い部）。これは、第 1 段階の配線接続部の高抵抗化が進行し、第 4 段階の断線に至った箇所である可能性が考えられ、その過程で熱影響を受けた結果、バックシートが膨れた可能性が考えられる。

以上のとおり、第 3 段階が発生しているクラスタの端子ボックス内で第 2 段階が発生したと推定される箇所が確認されたことから、第 2 段階を経て第 3 段階が発生したのと考えられ、これと同一クラスタ内に第 1 段階を経て第 4 段階が発生している可能性が考えられる箇所が確認されたことも合わせ鑑みると、当該モジュールは、第 1 段階の高抵抗化、第 2 段階のバイパス回路の常時通電及び第 3 段階のバイパス回路の断線を経て、第 4 段階の配線接続部の断線に至った可能性が考えられる。



写真 9 バイパス回路の変色箇所
（端子ボックス内部）



写真 10 バックシート膨れ箇所
（モジュール裏面）

② その他確認した不具合状況

対象 6 において、バイパス回路の断線箇所を確認したところ、当該箇所の端子ボックスの充填樹脂が変色（褐色）していた（写真 11 丸囲い部）。しかし、当該モジュールの配線接続部には、赤外線サーモグラフィ画像の温度分布においても第 1 段階に該当する高抵抗化箇所が確認されなかった。

このことから、想定した発火プロセスとは異なる不具合によりバイパス回路が断線する可能性もあることが示唆された。しかし、仮にこのような状態になった場合でも、後に当該回路で配線接続部の高抵抗化が発生すると、安全保護回路であるバイパス回路が既に断線しているため、第 1 段階から直接第 4 段階に進行することが考えられる。

このように、想定した発火プロセスと順序が異なる場合もあり得るが、

いずれにせよ、バイパス回路が断線した状態で、配線接続部の断線が生じた場合には、発火のリスクがあるものと考えられる。

バイパス回路の断線箇所



写真 11 バイパス回路の断線箇所
(端子ボックス内部)

また、対象 4 において、表面のガラスが全面にわたって割れているモジュールを 2 枚確認した（写真 12）。そのうち 1 枚のモジュールにおいては、局所的にモジュール表面の最高温度が約 190℃まで達している箇所があり（写真 13）、何らかの原因でガラスが割れた影響で発熱していた可能性などが考えられる⁵²。

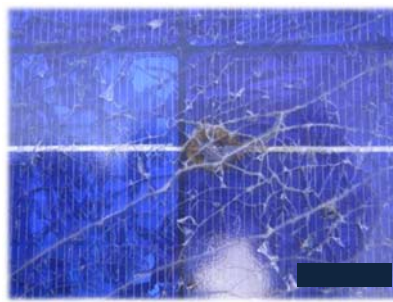


写真 12 モジュール表面のガラス割れ
(左：アレイ外観で、丸囲い部がガラスの割れたモジュール
右：モジュール表面のガラス割れの部分拡大写真)

⁵² ガラス割れに伴ってセルが割れ、セルの P 層と N 層が部分的に短絡し、発熱している可能性等が考えられる（製造業者からの情報）。

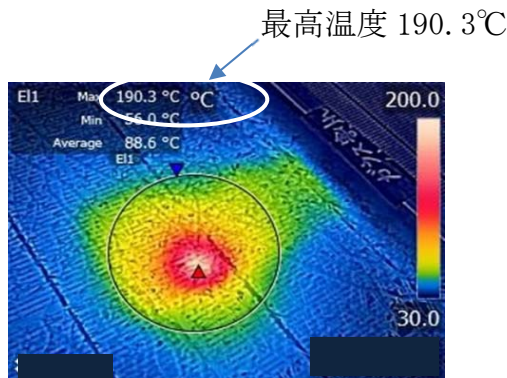


写真 13 モジュール表面の発熱箇所
(赤外線サーモグラフィ画像)

この発熱により、近傍の配線接続部のはんだが融点⁵³を超え、接続強度が低下し、配線接続部の高抵抗化が生じる可能性が考えられる。

4. 1. 4 想定した発火プロセスの検証

現地調査において、発火プロセスの各段階に該当する不具合モジュールが、使用中の製品で確認された。

また、発火プロセスの各段階について、以下の連続性を示す事象も確認された。

- ・第1段階を経て第2段階（対象3）
- ・第1段階、第2段階及び第3段階を経て第4段階（対象1、2）

なお、想定した発火プロセスとは別に、第1段階を経ずに第3段階の状態にある不具合モジュールも確認された（対象6）。

現地調査では、4. 1. 1において整理した、モジュールから発生したと推定された火災事故等のモジュール製造業者以外の製造業者の製品においても、発火プロセスに沿った不具合モジュールが確認された。

想定した発火プロセスの各段階に該当する事実を確認した現地調査対象No.（表5参照）を図17に示す。

なお、同一の調査対象において、異なる段階に該当する別々のモジュールが確認されたこともあり、その場合は、同じ対象No.をそれぞれの段階に

⁵³ Sn-Pb はんだ（鉛はんだ）の融点は183℃、Sn/Ag/Cu はんだ（鉛フリーはんだ）の融点は217℃である。

記載した。

最終的にバイパス回路が断線した状態で、配線接続部の高抵抗化が進行し、異常発熱するか又は配線接続部が断線してアーク放電が生じることで、発火に至る可能性が考えられる。

以上を踏まえて検証した結果、想定した発火プロセスは妥当性があるものと考えられる。

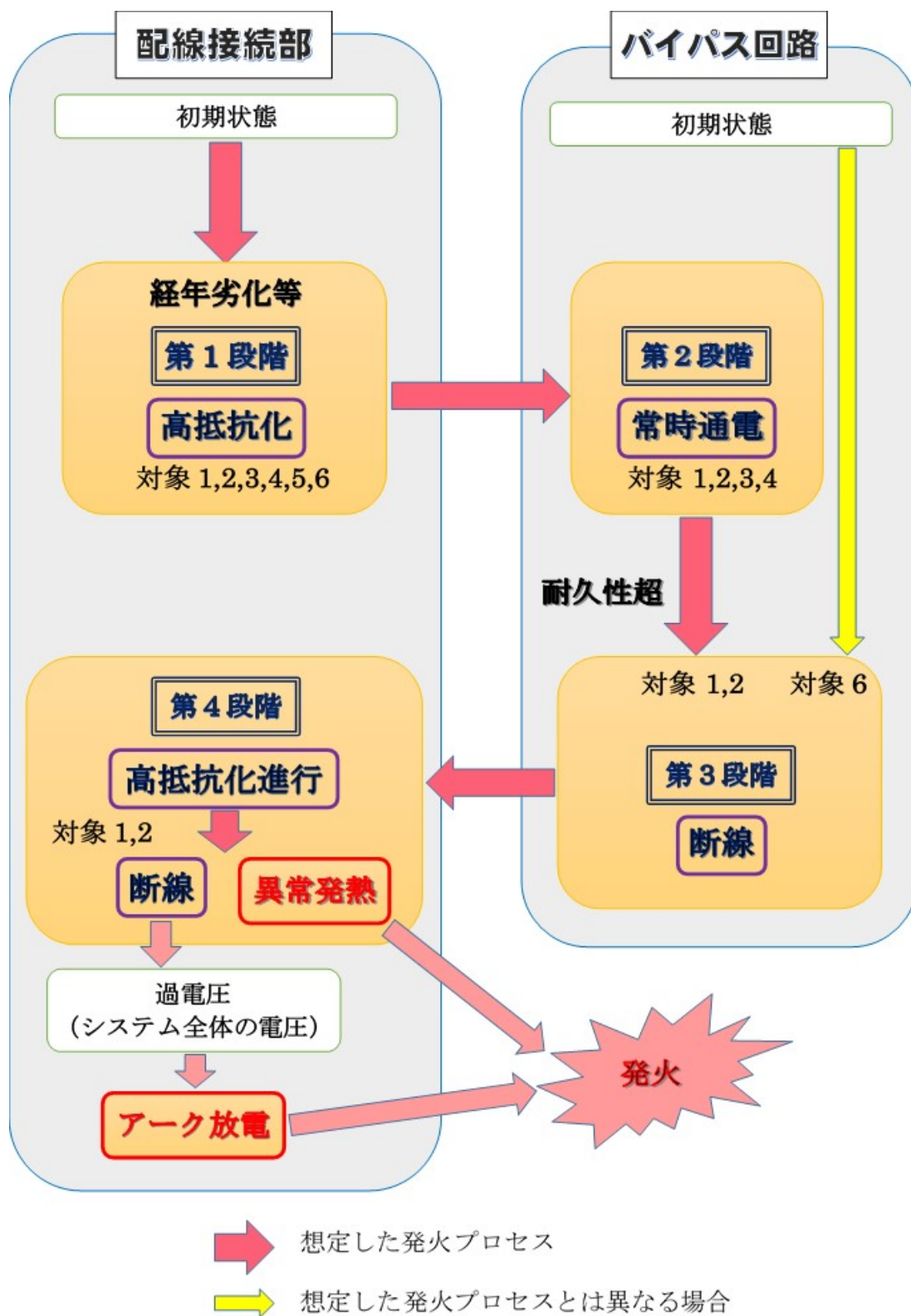


図 17 現地調査結果を含めた発火プロセス

4. 1. 5 ケーブルの発火原因の分析

(1) ケーブルの発火原因

他機関の調査資料によれば、推定発火箇所がケーブルとされた火災事故等 10 件（事例 1、2、4、5、6、7、8、9、12、13）のうち、6 件は施工不良が発火原因であると推定されている。

さらに、それらの資料に基づき検討を進め、施工不良の具体的な内容と発火に至った経緯について、以下のとおり分類した。

① 施工不良の内容：ケーブルの挟み込み

発火に至った経緯：絶縁劣化による異常発熱又は絶縁破壊若しくは断線によるアーク放電（参考資料 A（6）、（7））

② 施工不良の内容：電気設備技術基準に照らし不適切なケーブルの中間接続又は延長接続

発火に至った経緯：接触不良による異常発熱、更には絶縁部の熔融、短絡による火花の発生等（参考資料 A（2）、（5）、（8）、（9））

また、施工不良以外の原因として、コネクタの緩みによる発熱が原因と推定される事例が 2 件（参考資料 A（9）（13））、小動物の^{ごうがい}噛害による短絡に伴う火花の発生が発火に至った原因として推定されている事例が 1 件確認された（参考資料 A（4））。

(2) その他ケーブルの発火に関連する事項

他機関の調査資料によれば、事例 4 及び事例 6 において、火災事故等の前にその予兆が見られ、事業者による調査が行われていた。また、当該調査では地絡発生が疑われるストリングを断路する処置が採られていた（参考資料 A（4）、（6））。

製品において、同一ストリング内の 2 点地絡など断路器を介さない地絡経路が形成された場合には、モジュールに太陽光が当たっている限り発電機能を止めることができず、断路器の操作とは無関係に地絡電流が流れ続けるため、断路器により回路を断つことだけでは十分な処置にならない。この場合、断路器による切り離し操作に加えて、地絡が発生したストリングを遮光する等が適切な処置である。

4. 1. 6 モジュールの設置形態による火災事故等の発生リスク

モジュール又はケーブルから発生した火災事故等で、野地板^{のじいた}へ延焼したため被害が大きくなった火災事故等7件（事例1、6、7、10、11、12、13）は、全て鋼板等なし型であった。

そこで、これら7件の火災事故等の屋根の構造を調査した結果、以下のような共通点が見られた（表6）。

① ルーフィングは、アスファルトルーフィングである。

② モジュールとルーフィングを隔てるものがない。

野地板^{のじいた}に延焼した7件の火災事故等の鋼板等なし型については、図18の屋根断面図から分かるとおり、モジュールとルーフィングが僅かな空間を介して近接する構造となっている。また、ケーブルがルーフィングの表面に敷設される施工方法となっている。

一方、屋根置き型、鋼板等敷設型及び鋼板等付帯型については、野地板^{のじいた}へ延焼した火災事故等は発生していない。これは、モジュールの直下に敷設されている瓦、スレート、金属板等により、野地板^{のじいた}への延焼を防いでいるためと考えられる。

ただし、鋼板等付帯型については、ケーブルの発火から野地板^{のじいた}へ延焼する可能性が考えられる。

表6 野地板^{のじいた}に延焼した火災事故等の屋根構造の概要

事例No.	事例1	事例6	事例7	事例10	事例11	事例12	事例13
モジュールの屋根への設置形態	鋼板等なし型	鋼板等なし型	鋼板等なし型	鋼板等なし型	鋼板等なし型	鋼板等なし型	鋼板等なし型
モジュール製造業者	A社	C社	A社	A社	A社	A社	A社
ルーフィング	アスファルトルーフィング	アスファルトルーフィング	アスファルトルーフィング	アスファルトルーフィング	アスファルトルーフィング	アスファルトルーフィング	アスファルトルーフィング
モジュールとルーフィング間に何かあるか？	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
モジュールとルーフィングの最小隙間寸法	約42mm	41.5mm	約20mm	45mm	約42mm	15mm	35mm
瓦桟(桟木)	樹脂	樹脂	なし	なし	樹脂	杉材	樹脂
野地板	木材	木材	木材	木材	木材	木材	木材

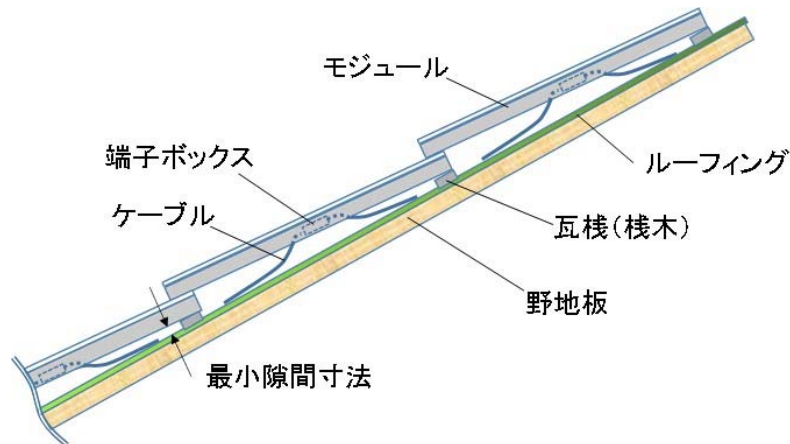


図 18 ^{のじいた}野地板に延焼した火災事故等の屋根断面図（例）
（屋根を横から見た場合）

4. 1. 7 ^{のじいた}野地板の燃焼に至るプロセスの検討

^{のじいた}野地板が燃焼した事例は全て鋼板等なし型で発生している（表 4 参照）。想定した発火プロセスによれば、モジュールからの発火はモジュールの異常発熱又はアーク放電により発生すると考えられる（図 17 参照）。以上を踏まえ、モジュールの異常発熱又はアーク放電の発生から、^{のじいた}野地板が燃焼する可能性について確認を行うため、そのプロセスを推定するとともに、実験を行い検証した。

（1）他機関が推定した^{のじいた}野地板の燃焼に至るプロセスの整理

他機関が推定した^{のじいた}野地板の燃焼に至るプロセスのうち（参考資料 A 参照）、モジュールの異常発熱又はアーク放電に起因するものを以下のとおり整理した。

- ①モジュールの燃焼からルーフィングの燃焼を経て^{のじいた}野地板の燃焼に至った（参考資料 A（10）参照）。
- ②モジュールの異常発熱によって^{のじいた}野地板表面が加熱され、低温発火により^{のじいた}野地板が燃焼した（参考資料 A（1）参照）。

（2）実験の概要

（1）で整理した^{のじいた}野地板の燃焼に至る 2 つのプロセスのうち、（1）①のプロセスの検証のために「モジュールの燃焼に関する実験」及び

「野^の地^じ板^{いた}への延焼に関する実験」を行い、また（１）②のプロセスの検証のために「野^の地^じ板^{いた}の低温発火に関する実験」を行った。各実験の目的、方法、結果及び考察の概要を以下に示す。詳細は参考資料Fを参照。

① モジュールの燃焼に関する実験

a 目的

封止材の内部が加熱されたときの変化を観察すること。

b 方法

サンプルとして以下の３種類を用意し、封止材に埋め込んだ加熱源を加熱した。

サンプル１ 封止材を多層に重ねたもの

サンプル２ 封止材をガラスとバックシート（アルミ箔^{はく}無し）に挟み込みモジュール構造を模擬したもの

サンプル３ 封止材をガラスとバックシート（アルミ箔^{はく}有り）に挟み込みモジュール構造を模擬したもの

c 結果

（a）サンプル１を加熱した結果、気泡状にガスが発生した。加熱温度の上昇に伴い気泡は拡大し、最終的に内部のガスは外部へ放出された。

（b）サンプル２を加熱した結果、（a）と同様にガスが発生しバックシートに膨らみが発生した。温度の上昇に伴い、加熱源に沿ってバックシートが黒く変色した後、破れが発生しガスが外部に放出された。その後ガラス面に亀裂が発生し封止材及びバックシートが発火した。

（c）サンプル３を加熱した結果、（a）と同様にガスが発生しバックシートに膨らみが発生した。温度の上昇に伴い、気泡が拡大しバックシートの膨らみも拡大した。ガラス面に発生した亀裂からガスが外部へ放出され、発火には至らなかったもののバックシートの膨らみが収縮したことによるしわ及び黒い変色を確認した。

d 考察

（a）封止材は熱により分解されガスが発生することが認められる。こ

のガスは酢酸⁵⁴等の可燃性ガスと考えられる⁵⁵。

- (b) バックシートにアルミ箔^{はく}が挿入されていない場合は、バックシートに破れ又はガラス面に亀裂が発生して、加熱源が空気（酸素）にさらされ、加熱源の熱により封止材及びバックシートが発火すると推定される。
- (c) バックシートにアルミ箔^{はく}が挿入されている場合は、加熱源に空気（酸素）が供給されず、発火しなかったと推定される。ただし、火災事故等の事例には、バックシートに挿入された金属箔^{はく}（アルミ、鉄）が溶融した事実の記載⁵⁶があることから、バックシートに金属箔^{はく}が挿入されている場合でも、金属箔^{はく}の溶融又は破損等により、加熱源に空気（酸素）が供給されて発火に至る可能性が考えられる。

以上から、モジュールの内部が加熱されると、モジュールが燃焼する可能性が考えられる。

② 野地板^{のじいた}への延焼に関する実験

- a 目的
ルーフィング上の火種から野地板^{のじいた}へ延焼する状況を確認すること。
- b 方法
野地板^{のじいた}を模擬した構造用合板の上にルーフィングを敷き、大きい火種と小さい火種を載せ、構造用合板に均一な風を供給して燃焼状況を確認した。構造用合板の設置傾斜角は 23° と 30° の 2 パターンで実験した。
- c 結果
(a) 大きい火種の場合は、構造用合板の設置傾斜角によらずルーフィング及び構造用合板に延焼し、構造用合板に貫通孔を確認した。な

⁵⁴ 酢酸は消防法（昭和 23 年法律第 186 号）で定められた第 4 類危険物第 2 石油類（引火点 21℃以上 70℃未満）に該当する。

⁵⁵ 消防庁消防研究センターが実施した「太陽電池モジュール燃焼時の生成ガス」の実験において、封止材（EVA）を内部から加熱すると分解され酢酸等が発生すること、またモジュール（PET-EVA）をバーナーで加熱すると、メタン、アセチレン、プロピレン、ブタジエン、プロパナール、ベンゼン等が発生することが報告されている（平成 26 年 3 月発行 消防研究技術資料 83 号「太陽光発電システム火災と消防活動における安全対策に関する研究報告書」）。

⁵⁶ 参考資料 A（10）製造業者の調査報告書に鉄箔^{はく}の溶融、また参考資料 A（11）製造業者の調査報告書にアルミ箔^{はく}の溶融の記述があった。なお、鉄の溶融温度は 1,530℃、アルミの溶融温度は 660℃である。

お、傾斜角が 30° の場合は貫通孔の裏側から発火したため消火処置を行ったが、23° の場合は自然に消火した。

(b) 小さい火種の場合はルーフィングに延焼したが、構造用合板には延焼しなかった。

d 考察

野地板への延焼は火種の大きさ及び野地板の傾斜角が、それぞれ条件の 1 つになることが認められた。火種が大きい場合は、火種から野地板に伝播する熱量が大きく、野地板の温度が上昇し延焼すると推定される。また、野地板の傾斜角が急な場合は、緩い場合に比べ火炎から野地板に輻射⁵⁷される熱量が大きく、野地板の温度がより高く上昇するため、発火したものと推定される。

以上から、ルーフィングの上に火種が生じた場合、野地板へ延焼する可能性があることが確認された。

③ 野地板の低温発火に関する実験

a 目的

野地板が低温発火する可能性のある温度（約 100℃）に到達したときのモジュールの輻射面温度を確認すること。

b 方法

野地板を模擬した構造用合板の上にルーフィングを敷き、15mm⁵⁸離れた位置に加熱源を設置する。加熱源の温度を 100℃ずつ上昇させて構造用合板の表面温度を測定した。

c 結果

加熱源の温度が 500℃を超えると、構造用合板の表面温度は加熱源からの輻射熱により 100℃以上に上昇した。

d 考察

モジュールの輻射面温度が 500℃以上となった場合は、輻射熱により野地板の表面温度が低温発火の可能性のある 100℃以上に上昇することが確認できた。なお、木材の低温発火（3. 2. 3）は約 100℃

⁵⁷ 物体から電磁波や熱が四方に放出される現象。またその電磁波の形をとって伝達されるエネルギー。（出典：精選版 日本国語大辞典）

⁵⁸ 4. 1. 6 表 6 の野地板に延焼した火災事故等の事例において、モジュールとルーフィングの最小隙間寸法が最も短い事例の値を採用した。

の状態を約 100 日間継続すると発生するとされている⁵⁹が、500℃以上の異常発熱が 100 日間継続する可能性は低いと考えられる。

以上から、モジュールの異常発熱が長期間継続する可能性は低いため、野地板^{のじいた}が低温発火する可能性は低いと考えられる。

(3) 燃焼に関する要素及びその変動要因

「モジュールの燃焼に関する実験」においてモジュール内部の加熱によりモジュールが燃焼する可能性が考えられたこと及び「野地板^{のじいた}への延焼に関する実験」において火種から野地板^{のじいた}へ延焼する可能性が考えられたことから、(1) ①のプロセスによりモジュールの燃焼から野地板^{のじいた}の燃焼に至る可能性が考えられる。一方、「野地板^{のじいた}の低温発火に関する実験」によれば、(1) ②のプロセスによる低温発火の可能性は低いと考えられる。

そこで、(1) ①のモジュールの燃焼から野地板^{のじいた}の燃焼に至るプロセス(以下「野地板^{のじいた}への延焼プロセス」という。)に関して検討することとした。燃焼するには3要素(着火エネルギー要素、可燃物要素及び酸素供給要素)が必要であることから、野地板^{のじいた}の延焼プロセスの検討に当たっては、これらの要素をその変動要因も含めて総合的に勘案する必要がある。そこで、モジュール及び野地板^{のじいた}の燃焼それぞれについて、以下のとおり検討した。

① モジュール

モジュールの燃焼に必要な3要素に該当する事象又は物質、及び各要素の変動要因を以下のとおり推定した。

a 着火エネルギー要素

配線接続部の高抵抗化による異常発熱⁶⁰又は配線接続部の断線によ

⁵⁹ JIS C 8105-1 : 2013 照明器具—第1部：安全性要求事項通則 図 27—木材の発火温度の時間関数を参照。

⁶⁰ 異常発熱の事例として、参考資料A (3) ③aに「太陽電池モジュールのはんだ接続箇所では不具合があった場合は、はんだ接続部が発熱して瞬間的に715℃程度に達し、局所的な発熱により、EVA(封止樹脂)〈封止材〉が無炎燃焼する可能性があり、～」という記述があった。

るアーク⁶¹放電が該当する。

製品の発電量は天候又は時間帯により異なるため、異常発熱量も発電量に比例して変動する。特に、発電量が最大となる晴天日の日中⁶²は着火エネルギーが大きくなり、燃焼のリスクも高くなると考えられる。

b 可燃物要素

封止材（4. 3. 2（1）表7参照）及びバックシート⁶³が該当する。また、封止材の熱分解等により発生する可燃性ガスが該当する（4. 1. 7（2）①）。

可燃性ガスの量は、封止材の加熱温度に比例して増加する。加熱温度が最も高くなるのは、アーク放電が発生した場合であることから、アーク放電が発生した際は、可燃性ガスの量が最大となり、燃焼が継続するリスクも高くなると考えられる。

また、発火すると火炎により封止材やバックシートの燃焼が伝播^{でんぱ}するため、発火箇所によって燃焼の継続性が異なる。火炎の特徴⁶⁴を踏まえると、モジュールの下面であるバックシートから発火した場合は、燃焼が継続するリスクも高くなると考えられる。

c 酸素供給要素

バックシートの破れ又はガラス面の亀裂により外部から供給される空気が該当する。空気（酸素）の供給が始まると同時に、封止材の内部に蓄積された可燃性ガスは外部に放出される（4. 1. 7（2）①）。このことから、空気（酸素）が供給されたときに、燃焼のリスクが最も高くなると考えられる。

② ^{のじいた}野地板

^{のじいた}野地板の燃焼に必要な3要素に該当する事象又は物質、及び各要素の

⁶¹ アークはコア部と外炎部から構成され、コア部の温度は約8,000～12,000K、外炎部の温度は約1,000～8,000Kとなる（独立行政法人 産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター発行「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1版）」付録B.2.2 直流アークの火災危険）。なお、K（ケルビン）は温度の単位で、0 Kは-273℃である。

⁶² モジュール又はケーブルから発生した火災事故等のうち、推定発火箇所がモジュールとされた火災事故等は5件（4. 1. 1 表4及び図14参照）あるが、発生時刻及び天気の情報が確認できた4件は全て晴天日の日中に発生している。

⁶³ 参考資料A（4）④f 製造業者の調査報告書には、発火点に関し、「封止材（400℃以上）、バックシート（450℃以上）、～」という記述があった。

⁶⁴ 熱せられた気体に浮力が働き上昇するため火炎も上に伸びる。

変動要因を以下のとおり推定した。

a 可燃物要素

ルーフィング及び野^{のじいた}地板が該当する。

b 着火エネルギー要素

モジュールの燃焼が該当する。

モジュールの燃焼時間、モジュールとルーフィングとの距離、野^{のじいた}地板の傾斜角や風速により、野^{のじいた}地板が受ける着火エネルギーは異なる。また、野^{のじいた}地板の乾燥の程度により、野^{のじいた}地板の着火に必要なエネルギーは異なる。これらから、燃焼のリスクが変化すると考えられる。

c 酸素供給要素

モジュールの設置環境の空気が該当する。

風速により風量及び気流が変化すると、燃焼箇所への酸素供給量は異なり、燃焼のリスクが変化すると考えられる。

(4) 野^{のじいた}地板への延焼プロセス

以上の実験及び検討を踏まえれば、モジュールの燃焼から野^{のじいた}地板への延焼は、燃焼に必要な3要素がそろった状況で、かつ変動要因の燃焼リスクが高い状態のときに、以下のとおり発生すると考えられる。

- ①配線接続部の高抵抗化による異常発熱(約 250℃以上)により封止材の熱分解が始まり、封止材の内部にガスが気泡状に発生及び蓄積し、バックシートの膨らみとして現れる。
- ②配線接続部の高抵抗化による異常発熱又は配線接続部の断線によるアーク放電が着火エネルギー源になり、封止材やバックシートの温度が発火温度を超える。
- ③バックシートの膨れに破れ又はガラス表面に亀裂が発生し、封止材やバックシートが外部からの空気にさらされたとき、封止材やバックシートから発火し、有炎燃焼⁶⁵が発生する。
- ④バックシートの有炎燃焼による火炎が周囲の可燃物要素に^{でんば}伝播して、モジュールの燃焼が継続する(参考資料A(3)①)⁶⁶。

⁶⁵ 炎の有る燃焼のこと。

⁶⁶ 有炎燃焼の参考情報として、参考資料A(3)①写真A.4の焼損部について、消防機関の火災原因判定書に「表面：下部中央付近の幅19cm、高さ12cmの幅で焼損し、割れた強化ガラスが一部脱落している。裏面：バックカバーの下部中央付近の幅23cm、高さ19cmが焼損、EVA(封止樹脂)が黒く変色し焦げ、焼損部分の上部には煤が付着している。」との記述があった。

- ⑤モジュールの有炎燃焼によりルーフィングを敷いた野地板^{のじいた}に接炎又は火炎の熱が輻射^{ふくしゃ}し、ルーフィングや野地板^{のじいた}の温度が引火点⁶⁷を超えると着火し、野地板への延焼に至る。

4. 1. 8 パワーコンディショナ又は接続箱から発生した火災事故等

パワーコンディショナ又は接続箱から発生した火災事故等については、筐体^{きょうたい}に難燃材料を使用するなどの安全対策が施されているため、住宅の火災に至る可能性は低いと考えられるが、モジュール又はケーブルから発生した火災事故等に比べて発生件数が多いことから、これらの発火等の原因についても分析した。

他機関の調査資料によれば、「1 事故等の概要」に示した 59 件の火災事故等のうち、発火原因が不明な 11 件を除く 48 件の火災事故等について、発火等に至った原因が推定されており、それらを整理した結果、主に以下の 3 つの推定原因に分類されることが分かった。

(1) 水分等の浸入

機器の仕様に適していない場所への設置により、筐体^{きょうたい}内に水分等が浸入し、回路に絶縁不良又はトラッキング⁶⁸が生じて、発火に至ったと推定された火災事故等が 18 件あった。その主な要因は以下のとおりであった。

- ①取扱説明書の設置上の注意として、浴室近くに設置してはいけないと記載されていたにもかかわらず浴室近くに設置したため、浴室からの湯気の浸入や基板等への結露により、絶縁が低下した。
- ②屋内仕様にもかかわらず車庫や屋外階段下に設置したため、雨水等の浸入により、絶縁が低下した。
- ③海岸に近い場所に設置したため潮風にさらされ、潮気を含んだ水分等の浸入により、絶縁が低下した。

⁶⁷ 火源を近づけたときに着火して燃焼する温度のこと。木材の引火点は約 250℃、ルーフィングの引火点は約 280℃である。

⁶⁸ プラグの刃と刃の間に水分がついて小さな電路（トラック）ができてしまい、その電路の形成が進むと、やがて短絡し、そこから炎を吹き出す現象。トラッキング現象は、基板の端子部分や電源回路部分などプラグ以外の場所でも起こる（出展：実例火災調査書類〈東京法令出版 平成 26 年 11 月 20 日発行 2 訂版〉）。

(2) 入力端子部等での接触不良

入力端子部等での接触不良により発熱し、発火に至ったと推定された火災事故等が 12 件あった。その主な要因は以下のとおりであった。

- ①施工時に、入力端子部等のネジの締め付けが不良であった。
- ②経年によりネジの緩みが発生した。

(3) コンデンサ⁶⁹の絶縁破壊⁷⁰

コンデンサの絶縁破壊が生じ、破裂やスパーク⁷¹等により発火に至ったと推定された火災事故等が 9 件あった。

ただし、コンデンサの絶縁破壊による破裂やスパーク等の主な要因は、耐圧のばらつき、他の箇所の発熱による耐圧の低下又は電圧制御の異常による過電圧であるが、そのいずれであるかを特定するまでには至らなかった。

その他の発火等の推定原因には、雷サージ⁷²の侵入、小動物の侵入、はんだ剥がれ等があった。

4. 1. 9 他機関の調査資料及び現地調査並びに実験に基づく分析のまとめ

他機関の調査資料に基づく火災事故等の要因に係る情報を整理し、分析した結果及び現地調査並びに実験に基づく分析の結果を以下にまとめた。

(1) モジュール又はケーブルから発生した火災事故等

推定発火箇所は、おおむねモジュールとケーブルの 2 つに分けられた。ケーブルの発火の推定原因は施工不良が多いが、モジュールの発火の推定原因は施工不良ではなく、モジュールの不具合によるものであった。

⁶⁹ 絶縁体を挟んで向かい合う電極板に電圧をかけることによって、電気を蓄えることができる素子のことである。

⁷⁰ 絶縁体に加わる電圧が増してゆくと、ある程度以上で突然、絶縁性を失って大電流が流れる現象。

⁷¹ 放電などによって火花が出ること。

⁷² 雷の影響によって発生する過電圧及び過電流のことである。

① モジュールの発火原因

推定発火箇所がモジュールとされた火災事故等 5 件は、使用年数 7 年以上の製品で発生している。これを踏まえ、製造業者の調査報告書を参考に、モジュールの発火プロセスを、以下のとおり 4 段階に分けて想定した。

第 1 段階：配線接続部の高抵抗化

第 2 段階：バイパス回路の常時通電

第 3 段階：バイパス回路の断線

第 4 段階：配線接続部の断線又は異常発熱

次に、想定した発火プロセスの妥当性の検証のために、使用中の製品を対象として現地調査を行った。その結果、発火プロセスの第 1 段階から第 4 段階までの各段階に該当する不具合モジュールが存在することが明らかになった。

また、発火プロセスの各段階の連続性も確認した。

以上のことから、想定した発火プロセスは妥当性があるものと考えられる。

なお、発火プロセスに示すとおり、モジュールの発火は、配線接続部及びバイパス回路における不具合が、経時的に進行することにより発生する可能性が考えられる。それぞれの不具合の内容を以下に示す。

a 配線接続部の不具合（第 1 段階、第 4 段階）

モジュールの配線接続部の高抵抗化は、経年劣化や製造上の問題（製造時にはんだ強度が十分ではなかった等）により生じると考えられ、現地調査の対象 6 件全てにおいて確認された。また、バイパス回路の断線を経て、配線接続部の高抵抗化が進行し、断線に至った可能性が考えられるモジュールも確認された。

b バイパス回路の不具合（第 2 段階、第 3 段階）

配線接続部の高抵抗化が進み、バイパス回路が常時通電状態で長期間継続し、バイパス回路がその耐久性能を超えて断線に至り、安全保護回路としての機能を失った状態になったと考えられるモジュールが確認された。

また、別の要因で断線したと考えられるモジュールも見つかった。

以上の不具合モジュールは、モジュールが発火したと推定された火災

事故等のモジュール製造業者以外の製造業者の製品においても確認された。

バイパス回路が断線した状態で、配線接続部が断線すると、断線箇所
にシステム全体の電圧が加わって過電圧となり、アーク放電が発生する
可能性が考えられる。さらに、異常発熱又はアーク放電が生じると配線
接続部を覆っている封止材が発火する可能性が考えられる。

② ケーブルの発火原因

他機関の調査資料によれば、推定発火箇所がケーブルとされた火災事
故等 10 件のうち 6 件は、施工不良が発火の原因であると推定されてい
る。これらの調査資料に基づき検討した結果、施工不良の内容は、ケー
ブルの挟み込み又は電気設備技術基準に照らし不適切なケーブルの中間
接続若しくは延長接続に分類できた。それらに起因して異常発熱やアーク
放電等が発生し、発火に至ったと考えられる。

また、施工不良以外の原因として、コネクタの緩みによる発熱が原因
とされる事例も 2 件あり、小動物の^{ごうがい}嚙害による短絡に伴う火花の発生が
発火に至った原因と推定される火災事故等も 1 件あった。

さらに、他機関の調査資料によると、火災事故等の発生前に異常を発
見した際に、地絡発生が疑われるストリングに対し、断路する処置が採
られていた事例が 2 件あった。しかし、同一ストリング内の 2 点地絡の
場合、モジュールに太陽光が当たっている限り発電機能を止めることが
できず、断路器の操作とは無関係に地絡電流が流れ続ける。そのため、
断路器による切り離し操作に加えて、地絡が発生したストリングを遮光
する等が適切な処置である。

③ モジュールの設置形態による火災事故等の発生リスク

^{のじいた}野地板へ延焼したため被害が大きくなった火災事故等 7 件は、全て鋼
板等なし型であり、当該モジュールは、ルーフィングと僅かな空間を介
して近接する構造となっていること及びケーブルがルーフィングの表面
に敷設される施工方法となっていることが分かった。

よって、モジュール又はケーブルが発火した場合は、ルーフィング及
^{のじいた}び野地板へ延焼する可能性が考えられる。

一方、屋根置き型、鋼板等敷設型及び鋼板等付帯型において、^{のじいた}野地板
へ延焼した火災事故等は発生していない。これは、モジュールの直下に

敷設している瓦、スレート、金属板等により、野地板^{のじいた}への延焼を防いでいるためと考えられる。

ただし、鋼板等付帯型については、ケーブルの発火から野地板^{のじいた}へ延焼する可能性が考えられる。

③ 野地板^{のじいた}の燃焼に至るプロセスの検討

他機関が推定した野地板^{のじいた}への延焼プロセスに関し、実験を行い検証した。その結果、モジュールの燃焼から野地板^{のじいた}へ延焼する可能性は考えられるが、低温発火により野地板^{のじいた}が燃焼する可能性は低いことが確認できた。

また、実験では、モジュールの燃焼から野地板^{のじいた}への延焼に関して、モジュールの異常発熱によりモジュールから発火したこと及び野地板^{のじいた}上の火種により野地板^{のじいた}に貫通孔が開き発火したことを確認した。

野地板^{のじいた}の燃焼に至るプロセスは、以下のとおりと考えられる。

- a モジュールの燃焼に必要な3要素がそろった状況で、かつ変動する各要素の燃焼リスクが高い状態のときに、モジュールの燃焼が発生する。
- b モジュールの有炎燃焼によりルーフィングを敷いた野地板^{のじいた}に接炎又は火炎の熱が輻射^{ふくしゃ}し、ルーフィングや野地板^{のじいた}の温度が引火点を超えると着火し、野地板^{のじいた}への延焼に至る。

(2) パワーコンディショナ又は接続箱から発生した火災事故等

他機関の調査資料に基づく火災事故等の推定原因を整理した結果、発火に至った推定原因が、主に以下の3つに分類されることが分かった。

- ① 機器の仕様に適していない場所への設置により、筐^{きやうたい}体内に水分等が浸入し、回路に絶縁不良又はトラッキングが生じ、発火に至った。
- ② 入力端子部等での接触不良により発熱し、発火に至った。
- ③ コンデンサの絶縁破壊が生じ、破裂やスパーク等により発火に至った。

設置場所については、多くのパワーコンディショナの取扱説明書は浴室近くへの設置を禁じているが、実態としては守られていない場合があった。

4. 2 製品の運用実態調査

4. 2. 1 調査の概要

(1) 調査目的及び調査項目

製品に関する運用実態を多面的に把握することを目的として、以下の4項目について、アンケート調査を実施し、その回答を分析⁷³した。

- ・所有する製品
- ・事故や故障の経験の有無
- ・保守点検の実施
- ・製品に係るリスクの認識

(2) 調査方法及び調査期間

戸建て住宅の屋根上に製品を所有している者を対象として、インターネット上でのアンケート調査を実施した。調査に当たっては、都道府県ごとに約30のサンプルを無作為に抽出し、平成29年2月3日から同月10日までの調査期間中に、合計1,500サンプルを収集した。

4. 2. 2 調査結果

(1) 所有する製品

① 製品の年別導入件数

「あなたのご家庭の太陽光発電システムの導入年を選択してください(平成元年～28年)。」と尋ねたところ、図19のとおりであった。

製品の導入件数は、平成22年以降急速に増加し、平成25年がピーク(193件)で、平成26年以降は減少している。この結果は、3. 1. 3に示した「住宅用太陽光発電システムの年度別導入件数」(図8)と整合している。

⁷³ 本アンケートにおいて、文中及び図表中の比率は、小数点以下第1位を四捨五入して整数で表示する。したがって、必ずしも合計は100%にならない。

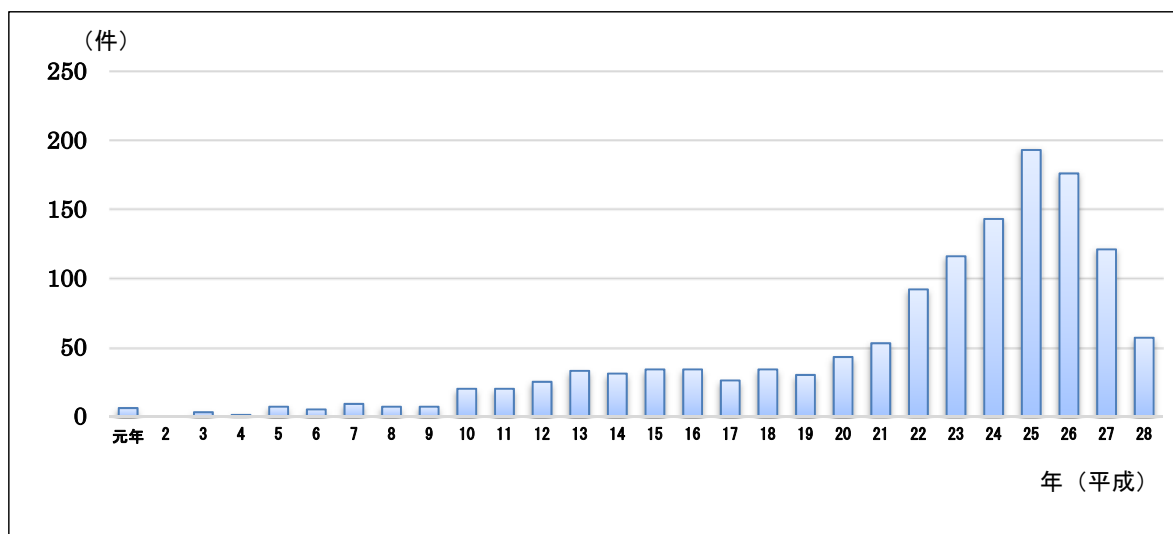


図 19 製品の年別導入件数
(n=1,326：導入年を把握している回答者数)

② モジュールの屋根への設置形態

「あなたのご家庭で所有する太陽光発電システムに使用されている太陽電池モジュールは、屋根にどのように設置されていますか。」と、以下の図を示して尋ねたところ、傾斜屋根架台設置タイプと陸屋根架台設置タイプを併せた屋根置きタイプ⁷⁴が 90%と多く、屋根一体タイプ⁷⁵は 9%であった (図 20)。

- 1 傾斜屋根架台設置タイプ 2 陸屋根架台設置タイプ 3 屋根一体タイプ



⁷⁴ 「傾斜屋根架台設置タイプ」及び「陸屋根架台設置タイプ」は、3. 3 記載の「屋根置き型」に分類される。

⁷⁵ 「屋根一体タイプ」には、3. 3 記載の「鋼板等敷設型」、「鋼板等付帯型」及び「鋼板等なし型」がある。

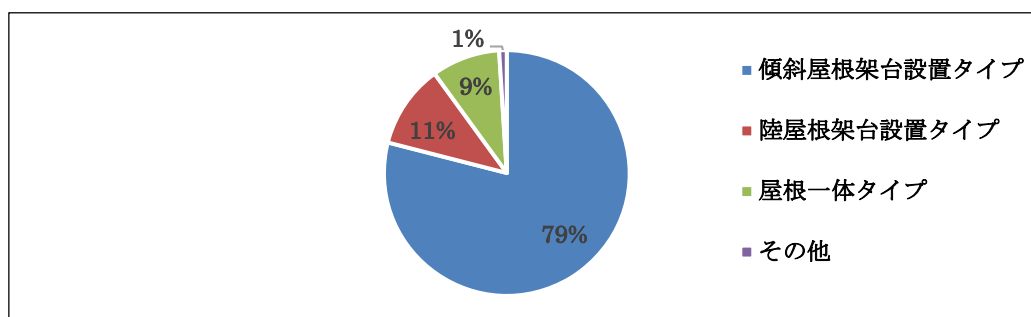


図 20 モジュールの屋根への設置形態 (n=1, 500)

③ー1 所有する製品の製造業者

「あなたのご家庭で所有する太陽光発電システムの製造業者はどこですか。」と尋ねたところ、A社～E社の製造業者5社で70%以上を占めていた(図21)。

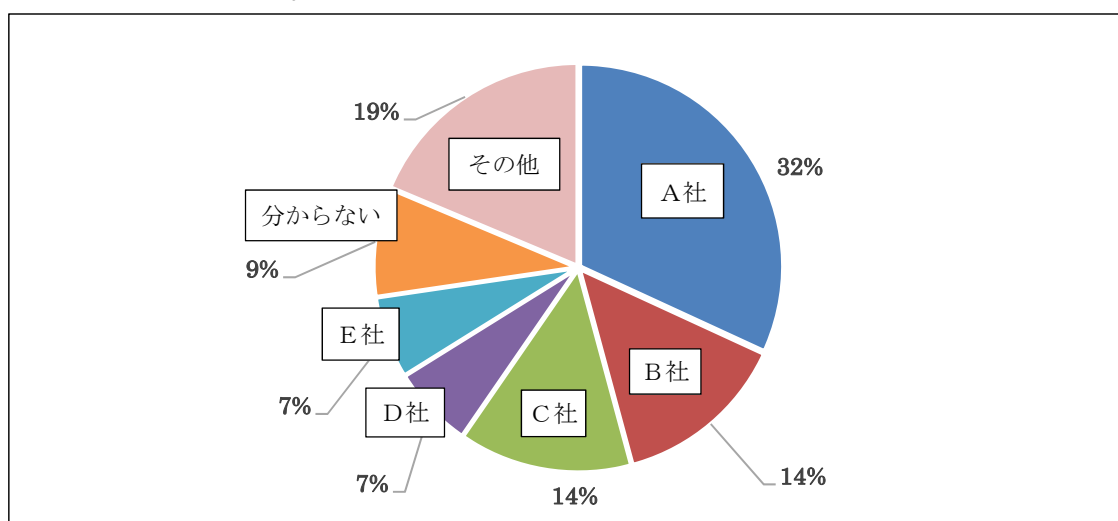


図 21 所有する製品の製造業者 (n=1, 500)

③ー2 導入後10年を超えた製品を所有する割合(製造業者別)

製造業者による製品の保証期間は10年が一般的であったことから、導入後10年を超えた製品を所有している回答者の割合(「導入年が分からない」を除いた回答者数)を製造業者別に分析した。製造業者別回答者の11～31%は、導入後10年を超えた製品を所有していた。

また、導入後10年を超えた製品の割合は、全体の25%であった(図22)。

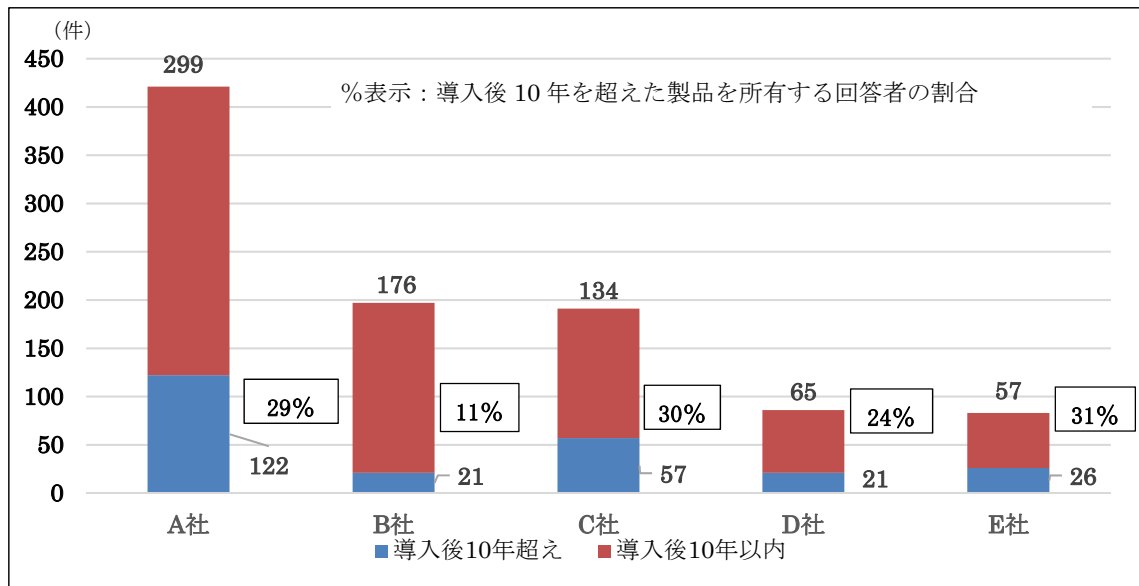


図 22 導入後 10 年を超えた製品を所有する割合（製造業者別）（n=978）

③ー 3 導入後 10 年を超えた屋根一体タイプのモジュールを所有する割合（製造業者別）

③ー 2 の分析対象のうち、導入後 10 年を超えた屋根一体タイプのモジュールを所有する回答者の割合を製造業者別に分析した。A 社、B 社及び C 社の製品で、10 年を超えたものを所有している回答者が見られ、うち A 社の製品の所有者が最も多かった（図 23）。

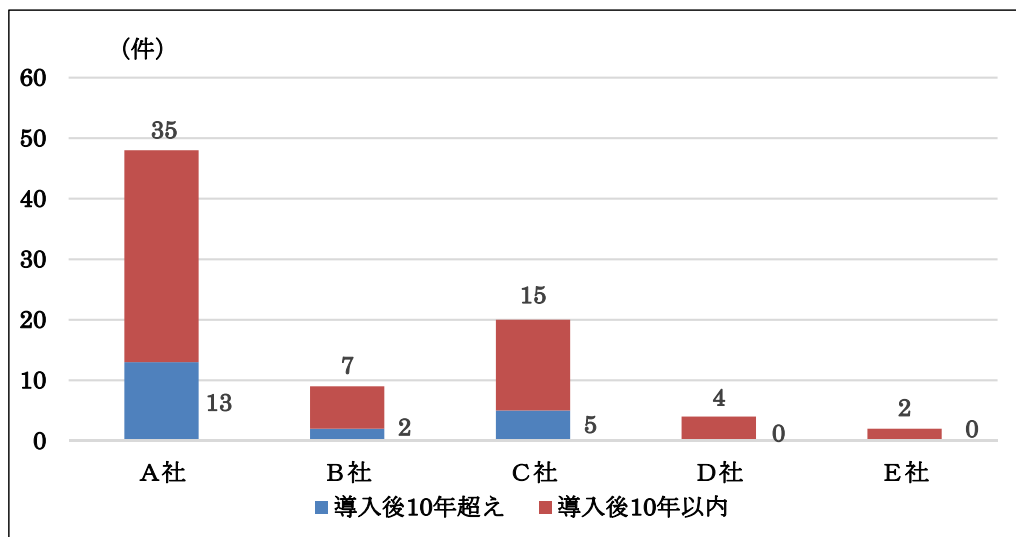


図 23 導入後 10 年を超えた屋根一体タイプのモジュールを所有する割合（製造業者別）（n=83）

(2) 事故や故障の経験の有無

① 経験した事故・故障

「あなたのご家庭では、過去、製品に関する事故や故障を経験しましたか。」と尋ねたところ、「事故・故障の経験がない」との回答は88%、「業者による修理を要した故障を経験した」との回答は9%であった(図 24)。

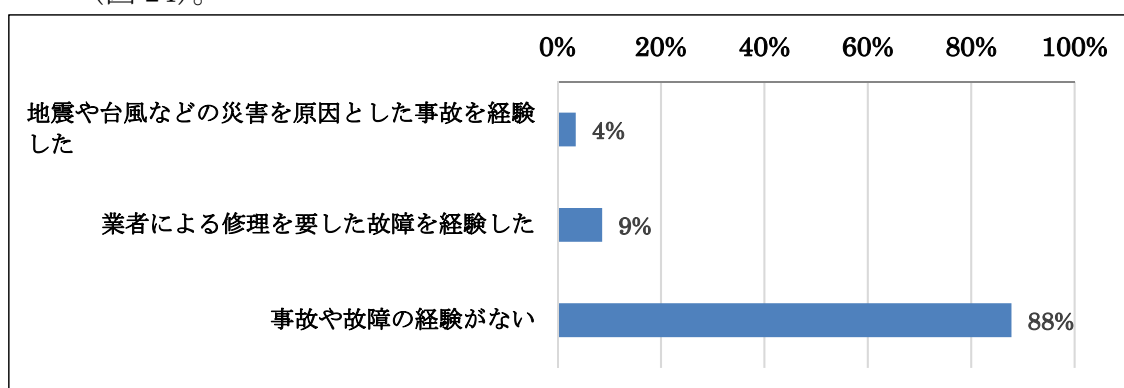


図 24 経験した事故・故障 (n=1,500) 【複数回答】

② 業者による修理を要した故障の内容

業者による修理を要した故障の経験者を対象に「あなたのご家庭で経験した機器の故障はどのようなものでしたか。」と尋ねたところ、「発電量の著しい低下・停止」との回答が 69% (90 件) と一番多かった(図 25)。

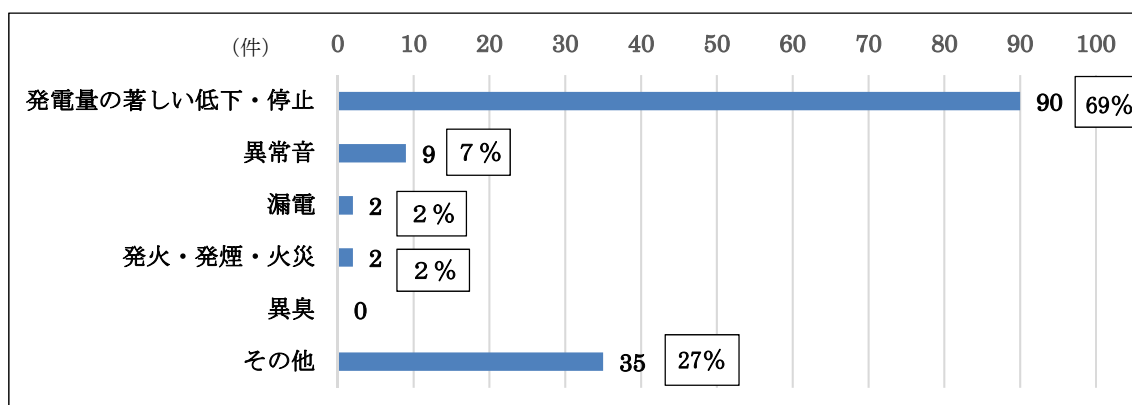


図 25 業者による修理を要した故障の内容 【複数回答】
(n=130：業者による修理を要した故障を経験している回答者数)

③ 機器別の故障発生件数

また、故障した機器について尋ねたところ、「パワーコンディショナ」が 67%（87 件）、「太陽電池モジュール」が 25%（33 件）であった（図 26）。

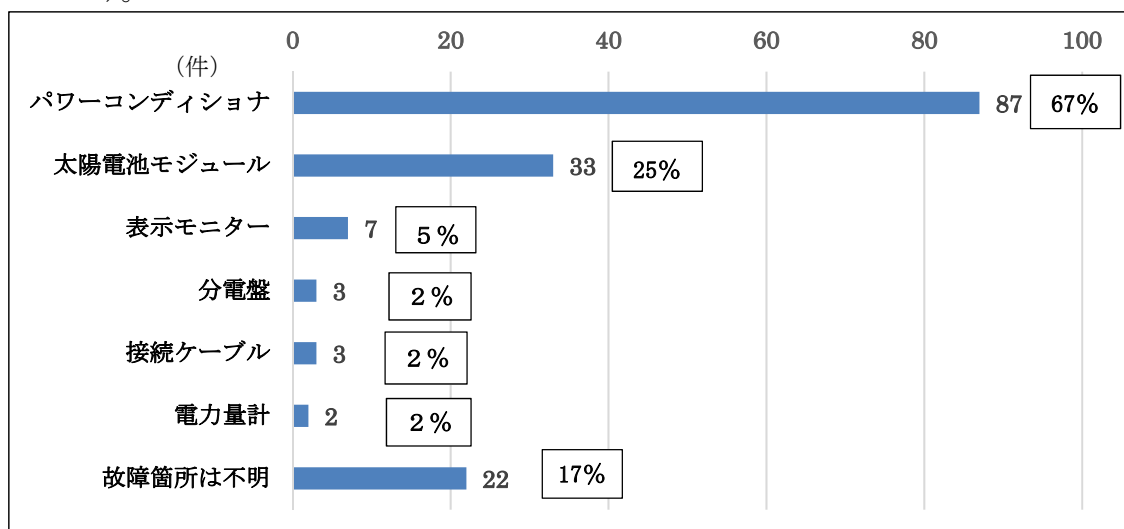


図 26 機器別の故障発生件数【複数回答】

(n=130：業者による修理を要した故障を経験している回答者数)

(3) 保守点検の実施

① 業者による保守点検の実施状況

「あなたのご家庭で所有する太陽光発電システムに関して、業者による保守点検は、どのように実施していますか。」と尋ねたところ、「実施していない」との回答が 71%であった（図 27）。

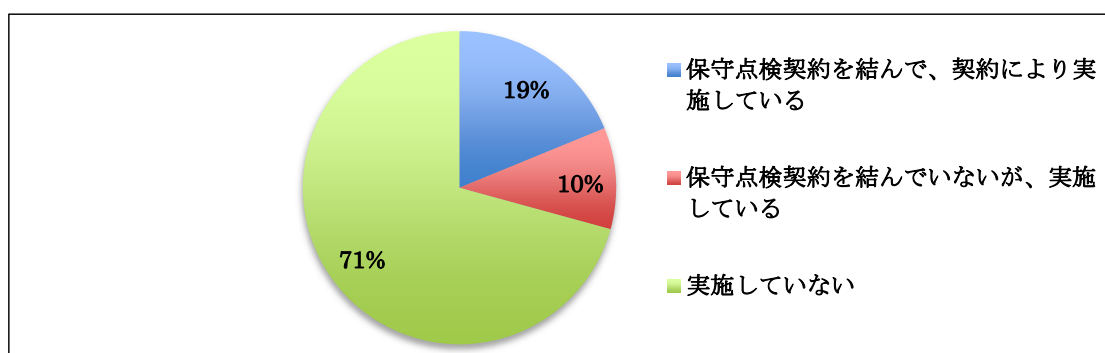


図 27 業者による保守点検の実施状況 (n=1,500)

②-1 業者による保守点検を実施している理由

業者による保守点検を実施している回答者に対し、「あなたのご家庭で、業者による保守点検を依頼している理由は何ですか。」と尋ねたところ、「販売会社から勧められたため」との回答が 63% (278 件)、「安全面から保守点検は必要と思うため」との回答が 41% (178 件)であった (図 28)。

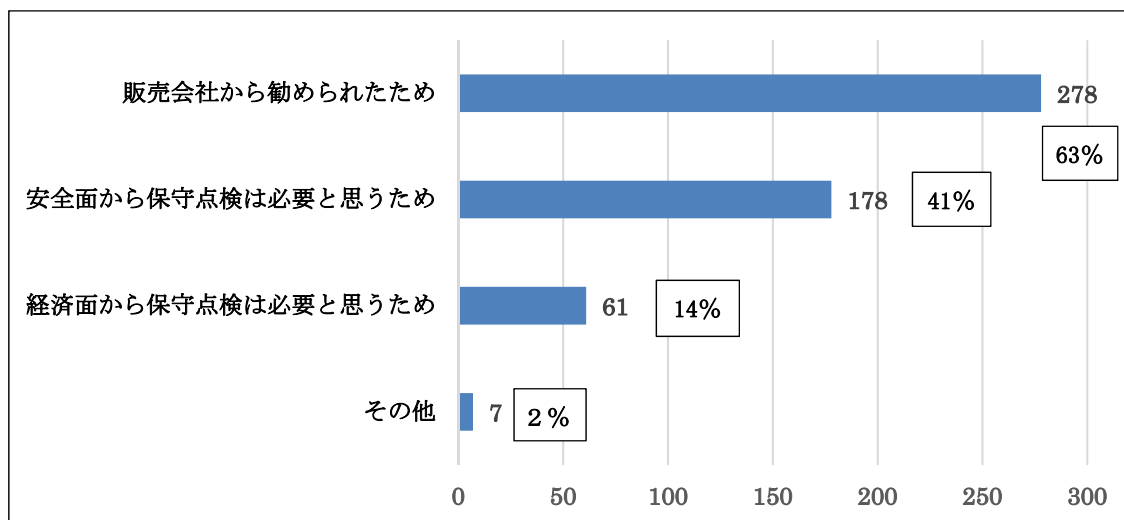


図 28 業者による保守点検を実施している理由【複数回答】
(n=439：業者による保守点検を実施している回答者数)

②-2 業者による保守点検を実施していない理由

「あなたのご家庭で、業者による保守点検を実施していない理由は何ですか。」と尋ねたところ、「販売業者から保守点検を勧められなかったため」との回答が 40%と最も多かった (図 29)。

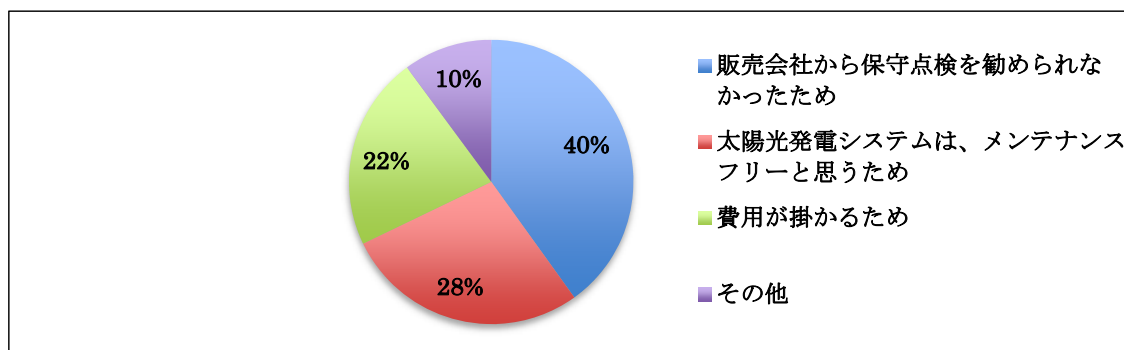


図 29 業者による保守点検を実施していない理由
(n=1,061：業者による保守点検を実施していない回答者数)

③ 保守点検ガイドラインの認知度

「太陽光発電システムに関して、一般社団法人太陽光発電協会が『太陽光発電システム保守点検ガイドライン【住宅用】』を発行しています。あなたは、そのガイドラインの存在を知っていますか。」と、図 30 を示して尋ねたところ、「知らない」との回答が 94%であった（図 31）。



図 30 保守点検ガイドライン表紙

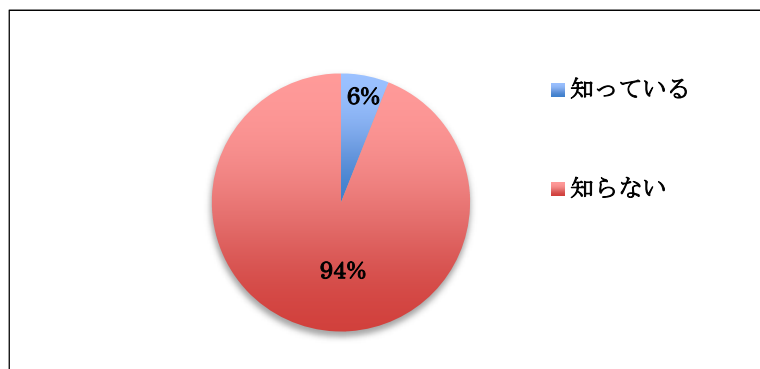


図 31 ガイドラインの認知度 (n=1,500)

(4) 火災事故等の発生リスクに関する認識について

「あなたは、以下のような太陽光発電システムに係るリスクをどのくらい知っていますか。」と尋ねたところ、「発火・発煙・火災リスク」について、「よく知っている」と「なんとなく知っている」との回答は合計で 27%であった（図 32）。

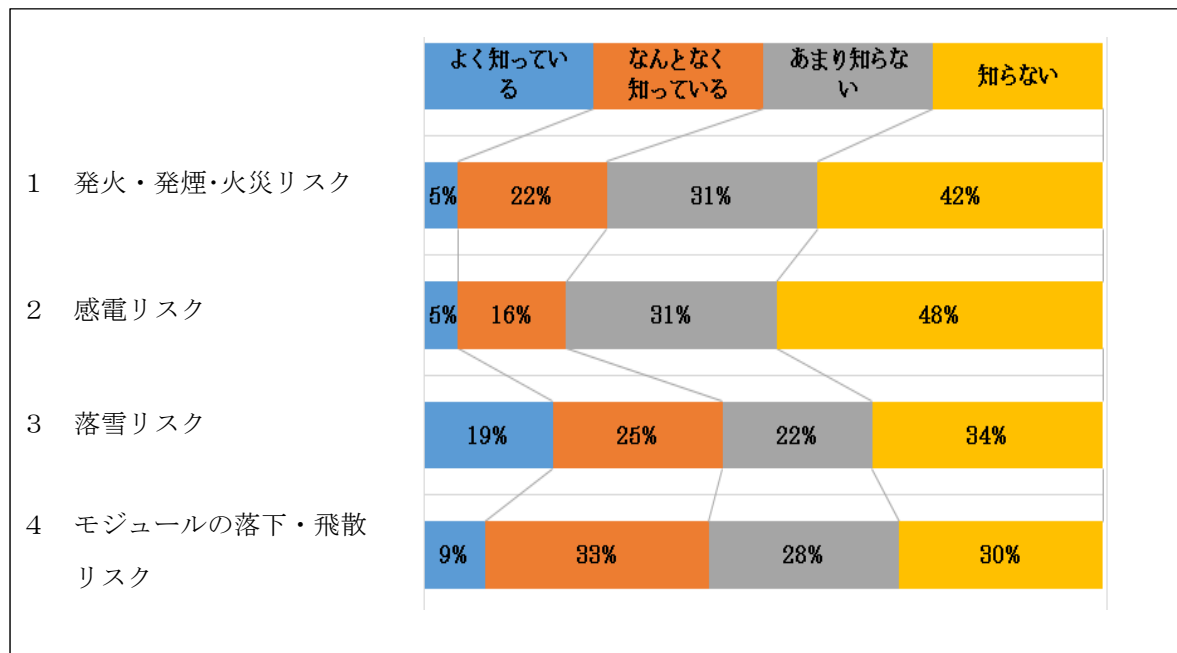


図 32 製品に係るリスクの認識 (n=1, 500)

4. 2. 3 運用実態調査結果のまとめ

アンケート調査の分析結果の概要を以下に示す。

① 導入後 10 年を超える製品は今後急速に増える

現在使用中の製品のうち約 3 割は、導入後 10 年を超えている（図 22）。

製品の年別導入件数は、平成 22 年以降急速に増加し、平成 25 年がピークとなっていることから、今後、約 5 年間は、導入から 10 年を超える製品が急速に増えることが推定される（図 19）。

② 屋根一体タイプは全体の約 1 割である

モジュールの屋根への設置形態は、屋根置きタイプが 90%、屋根一体タイプが 9%であった（図 20）。

③ 導入後 10 年を超える屋根一体タイプのモジュールの割合も、今後急速に増える可能性が考えられる

現在使用中の屋根一体タイプのモジュールのうち 24%が導入後 10 年を超えている（図 23）が、①を踏まえると、今後その割合は急速に増えていく可能性が考えられる。

④ 修理を要する故障を全体の約 1 割が経験している

全回答者の 9 %が、業者による修理を要する故障を経験していた（図 24）。

故障の内容については、「発電量の著しい低下・停止」が 69%と最も多かった（図 25）。

また、故障した機器は「パワーコンディショナ」が 67%と最も多く、次に「太陽電池モジュール」が 25%と多かった（図 26）。

⑤ 保守点検は全体の約 7 割が実施していない

業者による保守点検を「実施していない」との回答が 71%であった（図 27）。その理由として、「販売業者から保守点検を勧められなかったため」との回答が 40%と最も多かった（図 29）。

一方、保守点検を実施する理由は、「販売業者から勧められたため」との回答が 63%と最も多かった（図 28）。

このことから、保守点検の実施については、販売時点において、販売業者から製品の購入者に対して、保守点検の実施を推奨することが重要であると考えられる。なお、改正 F I T 法により、保守点検及び維持管理等を適切に実施することが所有者に対して義務付けられた。

また、「太陽光発電システム保守点検ガイドライン【住宅用】」を知らない回答者が 94%を占めており、保守点検ガイドラインは所有者には認識されていないと考えられる（図 31）。

⑥ 火災等発生リスクに関する認識は十分ではない

製品の「発火・発煙・火災リスク」について、「よく知っている」又は「なんとなく知っている」と回答した者は 27%であり、当該リスクについての認識が十分ではないものと考えられる（図 32）。

4. 3 事業者への聴取り調査

4. 3. 1 調査対象

聴取り調査は、4. 2 記載の製品の運用実態調査で確認した所有する製品に関する回答から、製品の製造業者として多かった6社及び製品を住宅・建築業者から購入したとする回答のうち、購入先⁷⁶として多かった5社を調査対象として、製品の火災事故等の安全対策に関する項目について行った。

4. 3. 2 調査結果

(1) 製造業者への聴取り調査結果

製造業者への聴取り調査（平成30年6月26日から同年7月19日までの期間に実施）の結果を以下に示す。なお、聴取り調査結果の一覧は表7のとおりである。

① モジュールの安全設計について

安全保護回路としてのバイパス回路について、6社全ての製造業者が、常時通電をシステムとして異常と認識しているものの、その状態を所有者に知らせるアラーム機能を自社の製品には装備していない。また、封止材の燃焼性は、1社の製造業者の製品を除き可燃性である。

② ケーブルの施工について

一部の製造業者の製品は、ケーブル敷設専用フレームやケーブル保持金具等により、ケーブルの挟み込みを防止する構造やケーブルがルーフィングの表面に敷設されない施工方法となっている。

なお、6社全ての製造業者は、緩み防止機能付きのコネクタを使用している。また、一部の製造業者は、小動物によるケーブルへの^{ごうがい}啮害対策を準備している。

⁷⁶ 購入先の回答は記述式としたため、4. 2 製品の運用実態調査での記載は省略した。

③ パワーコンディショナの地絡検知について

一部の製造業者のパワーコンディショナには、地絡検知機能が装備されていない。

④ システムの運用について

一部の製造業者は、地絡発生時の処置方法を定めていない。また、発電量などを遠隔監視するサービスを行っている製造業者はあるが、各社ともに安全の観点では活用していない。

表 7 製造業者への聴取り調査結果（概要）

質問項目	質問概要	回答概要					
		1	2	3	4	5	6
モジュールの安全設計について	バイパス回路の常時通電は、システムとして異常な状態か。	はい	はい	はい	はい	はい	はい
	バイパス回路の常時通電又は断線を知らせるアラーム機能はあるか。	なし	なし	なし	なし	なし	なし
	封止材の燃焼性は何か。	可燃性	可燃性	遅燃性	可燃性	可燃性	可燃性
	販売したモジュール全体に占める鋼板なし型のモジュールの割合は。	約10%	1%以下	約5%	1%以下	90%以上	(販売なし)
ケーブルの施工について	ケーブル挟み込み防止構造は何か。	なし (設計見直し中)	金具で架台に固定	専用フレームの敷設	専用フレームの敷設	なし	配線スペースの確保
	ケーブルはルーフィングの表面に敷設されない施工方法か(屋根置き型を除く)。	いいえ (設計見直し中)	はい	いいえ	はい	はい	いいえ
	ケーブルのコネクタには、緩み防止機能があるか。	ある	ある	ある	ある	ある	ある
	小動物によるケーブルへの啃害対策を準備しているか。	いいえ	はい	はい	いいえ	いいえ	はい
パワーコンディショナについて	現在、出荷している全てのパワーコンディショナに、地絡検知機能を装備しているか。	いいえ	はい	はい	はい	いいえ	はい
	上記の装備はいつ頃からか。	—	平成5年	平成8年	平成8年	—	平成12年
システムの運用について	地絡発生時の処置方法は定められているか。	いいえ	はい	はい	いいえ	いいえ	はい
	発電量などを遠隔監視するサービスはあるか。	ある	なし	なし	なし	ある	なし
	遠隔監視サービスを安全の観点で活用しているか。	いいえ	—	—	—	いいえ	—

(2) 住宅・建築業者への聴取り調査結果

住宅・建築業者への聴取り調査（平成30年6月20日から同年7月18日までの期間に実施）の結果を以下に示す。なお、聴取り調査結果の一覧は表8のとおりである。

① 施工について

5社全ての住宅・建築業者が施工を行っており、製造業者の施工ID⁷⁷取得者又は自社の施工講習等を受講した者が施工を行っている。

② システムの運用について

5社全ての住宅・建築業者は、発電量などを遠隔監視するサービスを行っているが、1社を除き安全の観点では活用されていない。

表8 住宅・建築業者への聴取り調査結果（概要）

質問項目	質問概要	回答概要				
		ア	イ	ウ	エ	オ
施工について	施工は、製造業者ではなく、住宅・建築事業者が実施しているか。	はい	はい	はい	はい	はい
	施工は、製造業者の施工ID取得者又は自社の施工講習等を受講した者が行っているか。	はい	はい	はい	はい	はい
システムの運用について	発電量などを遠隔監視するサービスはあるか。	ある	ある	ある	ある	ある
	遠隔監視サービスを、安全の観点で活用しているか。	いいえ	はい	いいえ	いいえ	いいえ
製品を設置した販売済みの住宅に占める、鋼板なし型のモジュールの割合は。		90%以上	1%以下	約80%	90%以上	約10%

⁷⁷ 製造業者ごとに実施される施工技術に関する研修を修了した者に与えられるIDのこと。

5 結論（事故発生の原因又は要因）

住宅用太陽光発電システムから発生した火災事故等のうち、モジュール又はケーブルから発生した火災事故等については、他機関の調査資料に基づき分析を行った。その結果、推定発火箇所は、おおむねモジュールとケーブルの2つに分けられた。ケーブルの発火の推定原因は個別要因である施工不良が多いが、モジュールの発火の推定原因は施工不良ではなく、モジュールの不具合によるものと考えられた。

製造業者が作成した調査報告書を参考に、モジュールの発火については、配線接続部及びバイパス回路における不具合が、経時的に進行することにより発火に至るプロセスを想定した。また、使用中の住宅用太陽光発電システムについて現地調査を行い、発火プロセスの妥当性を確認できる不具合モジュールが存在することを確認した。なお、現地調査で確認した不具合は、複数の製造業者の製品で確認された。

配線接続部での不具合は、経年劣化や製造上の問題により発生すると考えられる。モジュールが発火箇所と推定された火災事故等は、導入後 10 年前後以降の住宅用太陽光発電システムで発生していることから、導入後の経過年数も重要な要因と考えられる。

野地板^{のじいた}へ延焼したため被害が大きくなった火災事故等 7 件は、全て鋼板等なし型のモジュールの設置形態で発生していた。このことについて各設置形態の構造を調べた結果、鋼板等なし型は、モジュール又はケーブルが発火した場合に、ルーフィング及び野地板^{のじいた}へ延焼する可能性が考えられた。

パワーコンディショナ又は接続箱から発生した火災事故等については、他機関の調査資料によれば、水分等の浸入、入力端子部等での接触不良又はコンデンサの絶縁破壊が主な原因と推定されており、これらの要因について分析した。

保守点検については、所有者へのアンケート調査において、約 7 割が実施していないという実態が明らかとなった。

このような住宅用太陽光発電システムから発生した火災事故等について、事故発生の原因又は要因を、以下に詳述する。

5. 1 モジュールの発火原因

他機関の調査資料及び現地調査の結果、モジュールの発火は、以下に示す配線接続部及びバイパス回路部における不具合が、経時的に進行して発生す

ると考えられる。

(1) 配線接続部の不具合

配線接続部の高抵抗化は、経年劣化や製造上の問題（製造時にはんだ強度が十分ではなかった等）により発生すると考えられる。

(2) バイパス回路部の不具合

配線接続部の高抵抗化が進行した場合、安全保護回路であるバイパス回路が常時通電状態で長期間継続し、その耐久性能を超えて断線に至り、安全保護回路としての機能を失った状態になる。

(3) モジュールの発火

バイパス回路が断線すると、(1) で高抵抗化した配線接続部に再び通電が始まり、更に高抵抗化が進行することで、異常発熱又はアーク放電が発生すると考えられ、その状況で配線接続部を覆っている封止材が発火する可能性が考えられる。

なお、現在使用されている住宅用太陽光発電システムには、バイパス回路の常時通電や断線などの異常状態を所有者が認識できる異常表示等の機能は備わっていない。

5. 2 ケーブルの発火原因

他機関の調査資料によれば、ケーブルの発火は、施工不良が主な原因と推定されている。

施工不良の内容は、ケーブルの挟み込み又は電気設備技術基準に照らし不適切なケーブルの中間接続若しくは延長接続に分類された。それらに起因して異常発熱又はアーク放電等が発生し、発火に至ったと考えられる。

また、施工不良以外の原因として、コネクタの緩みによる発熱や、小動物の囓害による短絡に伴う火花の発生も発火に至った原因と推定されている。

住宅用太陽光発電システムは、同一ストリング内の2点地絡が生じた場合、断路するだけではその発電機能を止めることができないという特性があり、火災事故等に至る可能性がある。よって、地絡を早く検知し、断路器による

切り離し操作に加えて、同一ストリング内の２点地絡に至る前に、地絡が発生したストリングを遮光する等の適切な処置をすることが必要である。

また、製造業者への聴取り調査の結果、一部の製造業者のパワーコンディショナには、地絡検知機能が装備されていなかった。これは、３．１．２（１）①に示す地絡遮断装置の施設に関する「電気設備の技術基準の解釈」第 36 条第 1 項第 7 号の規定により、地絡遮断装置の設置を求めていることが背景にあると考えられる。

５．３ モジュールの設置形態による火災事故等の発生リスク

野地板^{のじいた}へ延焼したため被害が大きくなった火災事故等 7 件は、全て鋼板等なし型であった。それら 7 件の鋼板等なし型においては、モジュールと可燃物であるルーフィングが僅かな空間を介して近接する構造となっており、また、ケーブルがルーフィングの表面に敷設される施工方法となっているという共通点が見られた。よって、モジュール又はケーブルが発火した場合は、ルーフィング及び野地板^{のじいた}へ延焼する可能性が考えられる。

一方、屋根置き型、鋼板等敷設型及び鋼板等付帯型において、野地板^{のじいた}へ延焼した火災事故等は発生していない。これは、モジュールの直下に敷設している瓦、スレート、金属板等により、野地板^{のじいた}への延焼を防いでいるためと考えられる。

ただし、鋼板等付帯型については、ケーブルの発火から野地板^{のじいた}へ延焼する可能性が考えられる。

５．４ 野地板^{のじいた}の燃焼に至るプロセスの検討

他機関が推定した野地板^{のじいた}への延焼プロセスに関し、実験を行い検証した。その結果、モジュールの燃焼から野地板^{のじいた}へ延焼する可能性は考えられるが、低温発火により野地板^{のじいた}が燃焼する可能性は低いことが確認できた。

また、実験では、モジュールの燃焼から野地板^{のじいた}への延焼に関して、モジュールの異常発熱によりモジュールから発火したこと及び野地板上の火種により野地板^{のじいた}に貫通孔が開き発火したことを確認した。

野地板^{のじいた}の燃焼に至るプロセスは、以下のとおりと考えられる。

- ①モジュールの燃焼に必要な 3 要素がそろった状況で、かつ変動する各要素の燃焼リスクが高い状態のときに、モジュールの燃焼が発生する。
- ②モジュールの有炎燃焼によりルーフィングを敷いた野地板^{のじいた}に接炎又は火炎^{ふくしゃ}の熱が輻射し、ルーフィングや野地板^{のじいた}の温度が引火点を超えると着火

し、野^の地^じ板^{いた}への延焼に至る。

5. 5 パワーコンディショナ又は接続箱の発火原因

他機関の調査資料に基づく火災事故等の推定原因を整理した結果、発火に至った推定原因が、主に以下の3つに分類されることが分かった。

- ①機器の仕様に適していない場所への設置により、筐^{きょうたい}体内に水分等が浸入し、回路に絶縁不良又はトラッキングが生じ、発火に至った。
- ②入力端子部等での接触不良により発熱し、発火に至った。
- ③コンデンサの絶縁破壊が生じ、破裂やスパーク等により発火に至った。

設置場所については、多くのパワーコンディショナの取扱説明書は浴室近くへの設置を禁じているが、実態としては守られていない場合があった。

5. 6 保守点検の実施状況

保守点検については、所有者へのアンケート調査において、約7割が実施していないという実態が明らかとなった。

6 再発防止策

「5 結論（事故発生の原因又は要因）」で述べたとおり、モジュール又はケーブルが発火箇所とされた火災事故等において、野^の地^じ板^{いた}へ延焼して被害が大きくなっていたものは、モジュールの設置形態が鋼板等なし型であったことが認められた。このことについて各設置形態の構造を調べた結果、鋼板等なし型は、モジュール又はケーブルが発火した場合は、ルーフィング及び野^の地^じ板^{いた}へ延焼する可能性が考えられた。

また、モジュールの発火は、経年劣化や製造上の問題により発生すると考えられ、さらに、そのような不具合は複数の製造業者の製品において確認された。

よって、当面の火災事故等の発生のリスクを低減するためには、既に設置されている製品のうち、鋼板等なし型（住宅用太陽光発電システム累積設置棟数の約4.5%と推定）を使用しているものに対象を限定した上で、速やかな対応を行うことが必要である。具体的には、製造上の問題に対応すべく、製品のリスクアセスメントを早急に行うとともに、経年劣化にも対応すべく、他のモジュールの設置形態への変更や、導入時の保証期限を超えたものについては応急点検を行うべきである。

他方、今回調査・分析を行う中で、鋼板等なし型の製品については、新たに設置する製品における火災事故等のリスクを低減するための対策の必要性も明らかになったことから、それらに関する再発防止策も併せて示すこととする。

また、ケーブルの施工不良及び地絡に起因する火災事故等や、パワーコンディショナ又は接続箱から発生した火災事故等については、モジュールの設置形態に関係なく発生するリスクが認められたことから、鋼板等なし型に限定することなく、全ての住宅用太陽光発電システムに共通する再発防止策として示すこととする。

加えて、事故等の再発防止のためには、定期的な保守管理等を実施することが重要であると考えられる。しかしながら、改正F I T法の施行前には保守点検等の実施が所有者に対して義務付けられていなかった。また、従前からの所有者については、改正F I T法により、購入時には想定していなかった点検の義務が追加的に課された状況にあり、結果、点検の実施割合が低い現状となっていると推測される。以上の点を踏まえると、保守点検などの安全に係る観点からの施策が、これまで必ずしも十分ではなかったと考えられる。

保守点検の確実な実施を図るためには、このような実態を踏まえつつ、所有者に対し、自らが保守点検について責任を負うことを改めて認識させるとともに、所有者が保守点検を容易に実施できるよう、必要な措置を講じることが重要である。

特に、そもそも住宅用太陽光発電システムは、屋根上に設置される機器であることなどから、その状況を所有者が確認することが難しいという特性を有している。そのため、保守管理等の運用には、機器の状況を点検する能力を有する製造業者に頼らざるを得ず、また、その円滑な実施のためには、販売において所有者の窓口となっている住宅・建築業者の協力も不可欠である。ついては、製造業者や住宅・建築業者において、再発防止のために講じるべき取組についても示す。

また、今後、住宅用太陽光発電システムの安全性向上のために検討されるべき開発課題についても提言することとする。

6. 1 モジュール又はケーブルから発生した火災事故等の再発防止策

(1) 既に設置されている住宅用太陽光発電システム

① 住宅の火災に係るリスクアセスメントの実施（製品の製造上の問題への対応）

モジュールの製造上の問題に起因する発火等の可能性を踏まえ、鋼板等なし型における住宅の火災に係るリスクアセスメントを行い、必要があると認められる場合には、その結果に基づいた対応を早急に実施すべきである。

なお、当該リスクアセスメントは、過去の不具合情報及び不具合要因に関わる設計変更履歴を踏まえながら実施すべきである。想定される具体的な内容としては、例えば、環境対応での鉛フリーはんだ採用等による製造方法の変更、モジュールの耐久性や安全性に関する国内規格制定前後での設計変更等が考えられる。

② モジュールの設置形態の変更（経年劣化への対応）

鋼板等なし型の製品について、経年劣化によるモジュールの発火が野地板^{のじいた}への延焼へとつながるリスクを十分に低減するため、他のモジュールの設置形態（屋根置き型、鋼板等敷設型又は鋼板等付帯型）への変

更を行うべきである。

ただし、変更が困難なことも想定されることから、その場合は、以下の応急点検等を代替案として実施すべきである。

③ 応急点検等の実施（経年劣化への対応）

導入時の保証期限を越えた鋼板等なし型について、応急点検を実施し、経年劣化により発生すると考えられるモジュールの不具合が発生していないことを確認するために、バイパス回路が常時通電していないこと及び断線していないことを確認すべきである。

確認方法としては、本件調査で実施したストリング単位でのアレイ絶縁抵抗の測定、I－V特性の測定、及びバイパス回路の検査が有効である。これらは、昼間、屋根に上がらずに測定可能な方法（参考資料C）である。

なお、応急点検以降は保守点検ガイドラインに沿った定期保守点検⁷⁸により、不具合が発生していないことを確認すべきである。

（２）新たに設置される住宅用太陽光発電システム

① モジュールの発火に対する対策

6. 3（２）に示すような安全対策が達成され、モジュールの発火リスクが十分に低減されたと認められるまでの間、野地板^{のじいた}への延焼リスクが低いモジュールの設置形態（屋根置き型、鋼板等敷設型又は鋼板等付帯型）の製品を使用すべきである。

② ケーブルの発火に対する対策

鋼板等付帯型について、ケーブルの発火に対する以下の対策を講じるべきである。

- a ケーブルの挟み込みがなく、ルーフィング上にケーブルが、可能な限り直接配線されないような構造（ケーブル敷設専用フレームやケーブル保持金具等）にすること。
- b コネクタについては、施工後の緩みによる接触不良が発生しないコネ

⁷⁸ 保守点検ガイドラインによる点検時期は、４年ごとを目処に実施し、設置２０年目以降も継続することとされている。

クタへ設計を見直すこと。

また、小動物による^{ごうがい}嚙害に対して防止策を準備し、設置環境を踏まえ、必要に応じて施工すべきである。

6. 2 パワーコンディショナ又は接続箱から発生した火災事故等の再発防止策

4. 1. 8 で示した調査結果を踏まえ、^{きょうたい}筐体内への水分等の浸入、入力端子部等での接触不良、コンデンサの絶縁破壊等についての対策を講じるべきである。

6. 3 住宅用太陽光発電システム共通の火災事故等の再発防止策

(1) 運用段階

① 地絡発生時の処置

住宅用太陽光発電システムは、同ストリング内の2点地絡が生じた場合、断路するだけではその発電機能を止めることができないという特性があるため、断路器による切り離し操作に加えて、地絡が発生したストリングを遮光する等、地絡が発生した際の適切な対処方法を整備すべきである。

また、地絡検知機能を有する製品を標準とし、既設の製品については適時、機器の更新を進めるべきである。

その上で、「電気設備の技術基準の解釈」第36条第1項第7号の規定について、削除することを検討すべきである。

② 保守点検ガイドラインの見直し

鋼板等なし型について、上記6. 1 (1) ③の応急点検と同様の点検項目を保守点検ガイドラインの定期保守点検項目に追加すべきである。

また、地絡が発生した際の適切な対処方法について、保守点検ガイドラインに追加すべきである。

(2) 今後の開発課題

耐久品として適切な保守を行うことにより、住宅用太陽光発電システムの信頼性向上を図ること。

また、モジュールの発火リスクを低減し、更なる安全性向上のための開発を以下に示す課題を踏まえて促進すること。

- ①バイパス回路において、長期間の常時通電を想定し、同回路の耐久性向上を行うこと。その結果として、必要に応じて関連規格を見直すべきである。
- ②バイパス回路の常時通電又は断線等の異常状態を検知して、使用者に警告する機能を付加すること。
- ③モジュールの封止材として難燃材料を使用すること。
- ④安全性の向上及び点検コストの低減に資するような遠隔監視システムの開発を行うこと。

6. 4 消費者を対象とした再発防止策

(1) 所有者による確認及び実施

住宅用太陽光発電システムの所有者は、以下の事項を確認及び実施すべきである。

- ①所有する製品のモジュールの設置形態について、3. 3に示す「鋼板等なし型」に該当するか否かを確認する。
- ②モジュールの設置形態が「鋼板等なし型」で、かつ導入時の保証期限を超えた製品の所有者は、6. 1 (1) ③に示す応急点検の実施を製造業者に依頼する。
- ③応急点検の結果、5. 1に示す不具合が発生している場合は、6. 1 (1) ②に示すモジュールの設置形態の変更等を検討する。

また、応急点検の結果が正常であった場合は、今後、保守点検ガイドラインに沿った定期保守点検により、不具合が発生していないことを確認する。

(2) 消費者への情報提供

消費者被害の発生又は拡大の防止を図るために、住宅用太陽光発電システムに起因した住宅の火災事故等の態様、発生状況及び以下の火災リスク

とリスク低減策が、所有者を含めた消費者に広く提供されるべきである。

- ①鋼板等なし型は、モジュール又はケーブルが発火した場合に、ルーフィング及び野^{のじいた}地板へ延焼するリスクがある。モジュールの設置形態を屋根置き型又は鋼板等敷設型にすることで同リスクを低減できる。
- ②鋼板等付帯型は、ルーフィング上に敷設されたケーブルが発火した場合に、ルーフィング及び野^{のじいた}地板へ延焼するリスクがある。ケーブルの挟み込みを防ぐ構造、かつルーフィング上にケーブルを可能な限り敷設しないような施工にすることで同リスクを低減できる。
- ③地絡検知機能を有していない製品は、地絡の検知が遅れ、同ストリング内の２点地絡による火災に至るリスクがある。地絡検知機能を有した製品とすることで同リスクを低減できる。

また、消費者が住宅用太陽光発電システムを購入し使用する際に、同システムを用いて売電を行う場合には、事業者としての点検等の義務も併せて負うこととなる点が、消費者に対して改めて情報提供されるべきである。

7 意見

7. 1 経済産業大臣への意見

経済産業省は、住宅用太陽光発電システムから発生した火災事故等の再発防止のために、国土交通省の協力を得て、以下のような対応を製造業者が必要に応じて住宅・建築業者の協力を得つつ実施するように促すとともに、必要なものについては自ら実施すべきである。

その際、経済産業省は、上記対応の円滑な実施の前提として、現行の法制度上、住宅用太陽光発電システムの保守点検については、所有者が事業者としての立場で一義的に責任を持つことを所有者自身が適切に認識するように、必要な措置を実施すべきである。

あわせて、経済産業省は、当該製品の購入及び使用において、所有者は消費者でもあるという点を考慮し、この消費者を保護するという観点から、事業者である製造業者が果たすべき役割も大きいことなどを踏まえた形で、関係法令等の見直し等を含めた適切な手法による、保守点検の確実な実施を担保する仕組みの構築を検討するとともに、今後の技術革新等を踏まえ、具体的な対応内容の更新を随時行うべきである。

7. 1. 1 モジュール又はケーブルから発生した火災事故等の再発防止策

(1) 既に設置されている住宅用太陽光発電システム

① 住宅の火災に係るリスクアセスメントの実施

製造業者において、モジュールの製造上の問題に起因する発火等の可能性を踏まえ、鋼板等なし型における住宅の火災に係るリスクアセスメントを行い、必要があると認められる場合には、その結果に基づいた対応を早急に実施させること。当該リスクアセスメントは、過去の不具合情報及び不具合要因に関わる設計変更履歴等を踏まえながら実施すること。

なお、リスクアセスメントの結果について、経済産業省で評価を行った上で公表すること。

② モジュールの設置形態の変更

製造業者において、鋼板等なし型について、経年劣化によるモジュールの発火が野地板への延焼へとつながるリスクを十分に低減するため、他のモジュールの設置形態へ変更するよう所有者に促すこと。

ただし、変更が困難なことも想定されることから、その場合は、以下の応急点検等を代替案として実施すること。

③ 応急点検等の実施

製造業者において、導入時の保証期限を超えた鋼板等なし型について、火災リスクや、所有者による確認及び実施が必要な事項を該当する所有者に対して説明し、所有者による応急点検の実施を促進させること。

応急点検は、経年劣化により発生すると考えられるモジュールの不具合が発生していないことを確認するために、バイパス回路が常時通電していないこと及び断線していないことを確認すること。

なお、応急点検以降は保守点検ガイドラインに沿った定期保守点検により、不具合が発生していないことを確認すること。

(2) 新たに設置される住宅用太陽光発電システム

① モジュールの発火に対する対策

製造業者において、鋼板等なし型について、7. 1. 3 (2) に示すような安全対策が達成され、モジュールの発火リスクが十分に低減されたと認められるまでの間、野地板への延焼リスクが低い他のモジュールの設置形態に変更すること。

② ケーブルの発火に対する対策

製造業者において、鋼板等付帯型について、ケーブルの施工不良及び発火に対する以下の対策を講じること。

- a ケーブルの挟み込みがなく、ルーフィング上にケーブルが、可能な限り直接配線されないような構造にすること。
- b コネクタについては、施工後の緩みによる接触不良が発生しないコネクタへ設計を見直すこと。

製造業者において、小動物による^{ごうがい}噛害に対して、防止策を準備し、設置環境を踏まえ、必要に応じて施工すること。

7. 1. 2 パワーコンディショナ又は接続箱から発生した火災事故等の再発防止策

製造業者において、^{きょうたい}筐体内への水分等の浸入防止、入力端子部等での接触不良、コンデンサの絶縁破壊等の対策を講じること。

7. 1. 3 住宅用太陽光発電システム共通の火災事故等の再発防止策

(1) 運用段階

① 地絡発生時の処置

製造業者において、地絡検知機能を有する製品を標準とし、既設の製品については適時、機器の更新を進めること。また、断路器による切り離し操作に加えて、地絡が発生したストリングを遮光する等、地絡が発生した際の適切な対処方法を整備し、徹底させること。

その上で、経済産業省において、「電気設備の技術基準の解釈」第 36 条第 1 項第 7 号の規定について、削除することを検討すること。

② 保守点検ガイドラインの見直し

一般社団法人日本電機工業会及び一般社団法人太陽光発電協会において、鋼板等なし型のモジュールについて、6. 1 (1) ③の応急点検と同様の点検項目を保守点検ガイドラインの定期保守点検項目に追加すること。

また、地絡が発生した際の適切な対処方法についても保守点検ガイドラインに追加すること。

(2) 今後の開発課題

経済産業省において、耐久品として適切な保守を行うことにより、住宅用太陽光発電システムの信頼性向上を図ること。

また、モジュールの発火リスクを低減し、更なる安全性向上のための開

発を以下に示す課題を踏まえて促進すること。

- ①バイパス回路において、長期間の常時通電を想定し、同回路の耐久性向上を行うこと。また、その結果として、必要に応じて関連規格を見直すこと。
- ②バイパス回路の常時通電又は断線等の異常状態を検知して、使用者に警告する機能を付加すること。
- ③モジュールの封止材として難燃材料を使用すること。
- ④安全性の向上及び点検コストの低減に資するような遠隔監視システムの開発を行うこと。

7. 2 消費者庁長官への意見

消費者庁は、消費者被害の発生又は拡大の防止を図るために、本報告書を参考にして、住宅用太陽光発電システムに係る以下の情報について、消費者に分かりやすく提供すべきである。

- (1) 住宅用太陽光発電システムに起因した住宅の火災事故等が発生しており、同システムは、そのモジュールの設置形態等によって火災リスクが異なること。
- (2) モジュールの設置形態等を以下のとおりとすることにより、火災リスクの低減が可能であること。
 - ①鋼板等なし型は、モジュール又はケーブルが発火した場合に、ルーフィング及び野^{のじいた}地板へ延焼するリスクがある。モジュールの設置形態を屋根置き型又は鋼板等敷設型にすることで同リスクを低減できる。
 - ②鋼板等付帯型は、ルーフィング上に敷設されたケーブルが発火した場合に、ルーフィング及び野^{のじいた}地板へ延焼するリスクがある。ケーブルの挟み込みを防ぐ構造、かつルーフィング上にケーブルを可能な限り敷設しないような施工にすることで同リスクを低減できる。
 - ③地絡検知機能を有していない製品は、地絡の検知が遅れ、同一ストリング内の2点地絡が発生した場合に、火災に至るリスクがある。地絡検知機能を有した製品とすることで同リスクを低減できる。
- (3) 消費者が住宅用太陽光発電システムを購入し使用する際に、同システムを用いて売電を行う場合には、事業者としての点検等の義務も併せて負うこととなること。

參考資料

参考資料A モジュール又はケーブルから発生した火災事故等の他機関での調査結果

事故情報データベースに登録されているモジュール又はケーブルから発生した火災事故等の調査対象（13件）について、消防機関、N I T E 及び製造業者の各々から個別に調査資料を入手し、事故要因に係る情報（発生状況、製品概要、出火原因、及び特記事項）を抽出した。

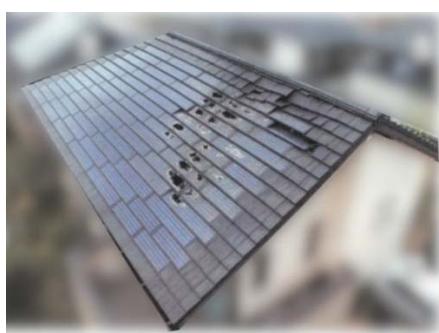
出火原因及び特記事項については、他機関の報告書の本文を原則としてそのまま記載した（一部、調査委員会が文頭に記号を付したり、長文の場合に要約したりした箇所もある。）。また、引用文のうち〈〉で示した部分については、調査委員会が補足又は修正した箇所である。

なお、他機関の報告書における「推定」という用語は、本報告書の本文中における用語の使い方とは必ずしも一致するものではない。

（1）事例1【千葉県 平成23年9月発生】

① 発生状況

居住者がベランダにて洗濯物を取り込もうとした際、異臭がありパチパチと音がしたため、周囲を確認したところ、軒先から煙が出ているのを発見し、119番通報した。屋根（南面及び北面の一部）と屋根裏及びモジュールが焼損した。



写真A.1 屋根の被災状況（右はモジュール撤去後）

③ 製品概要

- a 設置年及び火災発生時までの使用年数：平成16年、約7.5年
- b モジュールの設置形態：鋼板等なし型

- c 製造業者：A社

③ 出火原因

- a 消防機関

「屋根に設置された瓦一体式太陽光モジュールの〈特定場所〉にあるコネクタ部位を含む配線が、何らかの要因により接触不良を起こしたため発熱、時間経過と共に発炎し、屋根材へ延焼屋根裏を覆い屋根むな〈棟〉まで達したものと推定する。」

- b N I T E

「〈特定の〉モジュール付近にてコネクタの接触不良が発生したことによる出火、もしくは屋根材が当該製品のモジュールからの輻射熱^{ふくしゃ}により低温炭化〈低温発火〉⁷⁹しての出火等が推定されるが、焼損が著しく事故原因の特定には至らなかった。」

- c 製造業者

「現場の状況、現場検証結果、部品解析結果及び、再現実験結果からは、〈特定モジュール〉付近から出火したものと推定されるものの、太陽電池モジュール内部、及び、端子ボックス内部からの出火、延焼の可能性は低く、配線等トラブルによる短絡や抵抗増大の可能性も否定できないが、事故原因の特定には至らず、今後、市場状況を引き続き注視することとする。」

④ 特記事項

- a 「屋根上を這い屋根裏へと繋がれている配線において、キンク状態⁸⁰で被覆が溶融している配線も見分されていることから、施工時において、配線が器具と建材の間に挟まったり、無理な配線の取り回しなどの原因により、半断線状態となり発熱する可能性も否定できない。」との記述があった。（消防機関）

- b 「同一箇所において継続的にルーフィングを焦がし焼失させ、野地板^{のじいた}に達し、野地板^{のじいた}を多孔質化させ、ある期に、低温着火〈低温発火〉現象的に発炎したものと推定する。」との記述があった。（消防機関）

⁷⁹ 3. 2. 3 参照。

⁸⁰ 電線を途中で輪ができた状態で引っ張ると、ひもの結び目のようなものができた状態。この状態が生じると被覆が傷んだり、心線が断線しやすくなる（出典：電気設備用語辞典第3版（一般社団法人電気設備学会編））。

- c 「モジュール本体及び端子ボックス部が発火源となり野地板^{のじいた}へ着火するには、4分30秒以上モジュールから火炎が噴き出し続けなければならない、また、当該モジュール部と野地板^{のじいた}間の空間距離は3～4cmあり、これを考慮すると、モジュール本体及び端子ボックス部が発火源となる可能性は極めて低いものと推定する。」との記述があった。
(製造業者)

「焼損モジュールは設置から7年が経過しているのに対し、実験では新品のモジュールを使用し、さらに電圧が印加されていない状態のモジュールのみを燃焼させており、出火時の状態に近い条件下での実験ではないことから、有効な実験結果であるとは言い難い。」との記述があった。(消防機関)

- d 「隊員2人が、防御活動中において感電と思われる症状を訴えている」
との記述があった。(消防機関)

(2) 事例2【埼玉県 平成24年8月発生】

① 発生状況

居住者が帰宅したところ、太陽光発電モニターの電源が入っておらずブレーカーも落ちていることを確認した。その時、室内に焦げ臭い匂いがしたが、屋外の確認をしなかった。翌日製造業者に連絡がつき、2日後に状況を確認しに来てもらった。その結果、屋外の配線部分が燃えていたため居住者が消防機関に通報した。モジュールからパワーコンディショナまでのアレイケーブル6本及びアース線1本が焼損した。



写真A.2 焼損したアレイケーブル

② 製品概要

- a 設置年及び火災発生時までの使用年数：平成 14 年、約 10 年
- b モジュールの設置形態：屋根置き型
- c 製造業者：A 社

③ 出火原因

a 消防機関

「太陽電池モジュールからパワーコンディショナに接続されているアレイケーブルが、何らかの原因で被覆に傷が入り素線⁸¹相互が短絡し、出火したものと判定する。」

b N I T E

「太陽光発電システムを設置・施工した際に、事故品を中間接続したところ、接続部で接触不良が発生し異常発熱したため、火災に至ったものと推定される。」

c 製造業者

(モジュール製造業者)

「何らかの原因によりケーブル外被に傷が入り素線相互が短絡し焼損したと考えられる。」

(アレイケーブル製造業者)

「・アレイケーブルに接続部があったことから、工事起因の可能性
がある。

・系統側ケーブルが短絡し、発火溶損したと推定する。

・アレイケーブルが自ら発火延焼する可能性はない。」

④ 特記事項

a 「回収ケーブル表面にあるケーブル表示の方向が焼損部からパワーコンディショナ側と焼損部から太陽光パネル側で逆になっているものが 1 本あり、焼損部付近でアレイケーブルが途中で継ぎ足されていたことを確認（電気設備技術基準、禁止作業）。」との記述があった。（製造業者）

b アレイケーブル単体での発火再現実験結果について、以下の記述があ

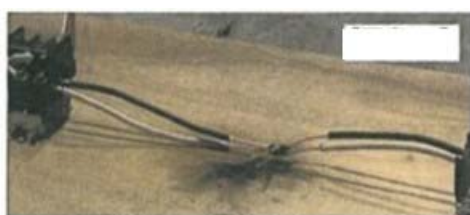
⁸¹ より線等を構成する個々の線のことをいう。

った。(アレイケーブル製造業者)

「・アレイケーブルから発火する可能性(電源 5.5A 定電流装置)

電線を切断し、端子をつけ、端子間に約 2 Ω の抵抗を入れ、自己消火性のある外被(シース)を約 50 mm にわたり剥いだ上で太陽電池モジュールを模擬し、6 V・5.5 A を投入した。数分後に、内被が燃焼し始め延焼するが外被に炎が到達すると、自然消火した。

結論：アレイケーブルが自己発火した場合は、内被は燃焼するが、外被は燃焼しない。焼損事故のアレイケーブルは、全て外被が燃焼していることから外部からの燃焼によると推定される。」



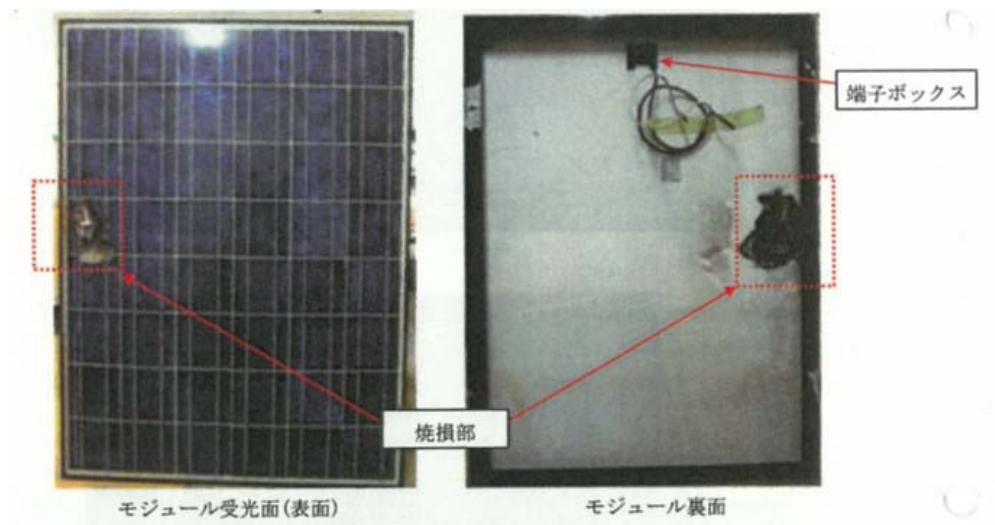
発火

写真A.3 発火再現実験の状況

(3) 事例3【京都府 平成25年3月発生】

① 発生状況

居住者から、システム出力低下による修理依頼を受けて、製造業者が点検した結果、発電量の低下及びモジュールのガラスの破損を確認した。後日モジュールの交換を行った際に、モジュールが焦げているのを発見し、居住者が消防機関に通報した。モジュール内部は既に鎮火しており消火活動はしていない。屋根の焼損はなく、モジュール1枚の一部が焼損した。



写真A.4 焼損したモジュール

④ 製品概要

- a 設置年及び火災発生時までの使用年数：平成16年⁸²、約8.5年
- b モジュールの設置形態：屋根置き型
- c 製造業者：A社

③ 出火原因

a 消防機関

「太陽電池モジュールのはんだ接続箇所では不具合があった場合は、はんだ接続部が発熱して瞬間的に715℃程度に達し、局部的な発熱により、EVA（封止樹脂）〈封止材〉が無炎燃焼する可能性があり、〈特定モジュール〉内のセル電極とインターコネクタのはんだ接続が不完全な状態で経年使用したことから、接続部に接触不良が生じて抵抗値が増大し、発電による通電で局部的な発熱が起こりEVA（封止樹脂）〈封止材〉が焼損したものと推定する。」

b N I T E

「製造段階でセル電極とインターコネクタのはんだ接続が不良状態であったため、経年劣化により接続箇所の抵抗値が増加して異常発熱から発火、焼損に至ったと推定される。」

⁸² 平成16年生産品との記述があることから想定。

c 製造業者

「本不具合は以下のプロセスにより発生したものと推定される。

- (a) 太陽電池セル裏面電極とインターコネクタのはんだ付け接続部の強度が低下し、はんだ接続部の接続面積が減少し、高抵抗となったのはんだ接続部に電流集中し温度上昇した。
- (b) 接続部の局部発熱により封止樹脂〈封止材〉・バックフィルム〈バックシート〉の焦げが発生した。
- (c) 接続面積の減少により、回路が開放〈断線〉状態もしくは高抵抗状態になり、当該回路に対するバイパスダイオードに常時電流が流れ、発熱することにより、端子ボックス内のバイパス回路にダメージが加わり破損した。
- (d) バイパス回路が故障（開放〈断線〉状態）となり、(a)の接続不具合部にシステム全体の電圧が加わることとなり、再度発熱したことによりガラス割れに至った。」

④ 特記事項

- a 発生原因及び防止策として、以下の主旨の記述があった。（製造業者）
本不具合の発生原因は、以下の(a)(b)の要因が重なったためと考えられる。

- (a) 事故製品が該当する平成17年6月以前の生産品の設計仕様では、セル裏面電極とインターコネクタの間のはんだ接続強度が、製造条件のばらつきにより不十分となる可能性がある。
- (b) 平成17年6月以前の生産品で、封止材の添加剤管理が不十分であったため、製造条件のばらつきにより発泡の原因となった可能性があり、発泡による裏面膨れが発生するとインターコネクタを太陽電池セル電極から引き剥がす方向に力が加わる。

これに対し、平成17年7月以降、(a)(b)の不具合を改良する生産対応を実施し、対策実施後の製品にて同様の不具合は発生していない。

- b また、以下に示す火災に至らない理由の記述があった。（製造業者）

「バイパス回路は、一時的なセルの影に対する保護回路であり、本回路に継続的に電流が流れるとバイパス回路が故障することがあります。
この場合、機器自体は部分的に損傷に至ることがありますが、太陽

電池モジュールは構造的に自己消火性（難燃グレード UL94⁸³-V1 相当）を有しており、第3者機関、及び自社での評価試験で延焼の恐れは極めて低いことを確認しております。

（a）セル部での拡大延焼の可能性[JET：（財）電気安全環境研究所]

セル～インターコネクタ部で故意に接触不良状態を作り、赤熱させると赤熱部の温度は、瞬間的に 715℃に上昇するものの高温状態は持続せず、181～590℃とサンプルにより違いがありました。短いもので2分、長いもので 47 分間でオープン〈断線〉となっております。この時、最長時（47分間）での赤熱部温度は400℃で、590℃の場合は 10 分でオープン〈断線〉となり、通電がストップしました。尚、赤熱継続時に、赤熱部から約 3 cm 離れた場所の温度を測定すると 61～70℃でした。

・セル裏面

一般的に木材の蓄熱発火〈低温発火〉については、JISC8105-1 にもありますが、100℃で 100 日間以上の長期間の加熱が必要とされます。しかし、セル部で赤熱状態が継続したとしても、上記の通り、61～70℃まで低下することと、長時間の赤熱には至らないことから、蓄熱発火〈低温発火〉の可能性は極めて低いものと判断します。

・ガラス面

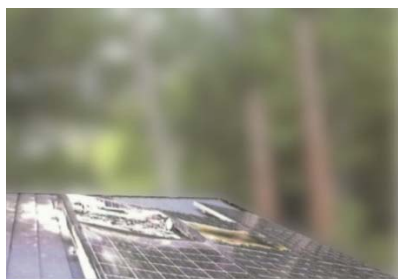
最悪、セル焦げ時の局所発熱から、ガラス焼損に至るものもありますが、飛来物等で引火物が付着する可能性が低いことより延焼の可能性はありません。」

（4）事例4【新潟県 平成 25 年 6 月発生】

① 発生状況

近隣住民が屋根からの煙と火を確認し居住者に連絡した。居住者は、はしごで屋根に上がり水道ホースを使用して消火すると同時に 119 番通報を行った。モジュール及びその周辺が焼損した。

⁸³ UL94 規格で定められた機器の部品用プラスチック材料についての燃えにくさの度合い。



写真A.5 屋根の被災状況（右はモジュール撤去後）

② 製品概要

- a 設置年及び火災発生時までの使用年数：平成 22 年、約 3 年
- b モジュールの設置形態：屋根置き型
- c 製造業者：C 社

③ 出火原因

a 消防機関

「本火災は、太陽電池モジュール延長ケーブル〈アレイケーブル〉がスパークし屋根に落葉して枯れた杉葉に着火し延焼した「建物火災」である。出火原因は、ケーブルに波型の連続した傷が認められることから、モモンガ等の小型哺乳類がケーブルを噛んだことによりケーブル被覆が破け、延長ケーブル〈アレイケーブル〉が集まってくる PF 管〈電線保護管〉近くで短絡し火花が飛びやすい状況であったと推察される。



写真A.6 小動物が噛んだと思われる損傷箇所

以上のことから、出火原因は、モジュール下に堆積していた枯れた杉葉に火花が飛び着火し延長ケーブル〈アレイケーブル〉及びモジュールが炎上したものと判定する。」

b N I T E

「当該製品の配線を小動物がかじったことから、漏電が生じてスパークが発生し、堆積していた落ち葉に着火して、出火に至ったものと考えられる。」

c 製造業者

「焼損に至った原因は、小動物の歯型がついていたことから、小動物がケーブルを噛んだことが原因と思われます。焼損に至った過程は（a）小動物がケーブルを噛んだことによって、ケーブルの被覆が破けた。

（b）2系統目の接続は、OFF になっていましたが、太陽電池パネルは発電状態にあった。

（c）そのために、延長ケーブル〈アレイケーブル〉が集まってくるCF管〈電線保護管〉近くのプラス側ケーブルとマイナス側で短絡状態になりアークが飛びやすい状態になった。

（d）燃えやすい杉の木の落ち葉に引火し火種となった。

（e）杉の木の葉が燃えたことで、延長ケーブル〈アレイケーブル〉の発火点が 400℃であることから、このケーブルが燃え、太陽電池モジュールのケーブルが炎上し、さらにパネル〈モジュール〉裏面まで炎が達し、炎上が進んだものと思われます。」

④ 特記事項

a 製造業者の報告書によると、所有者は、事故発生の3日前に施工業者へ「太陽光ブレーカーが落ちる」と連絡を入れ、同日に施工業者が配線を確認。絶縁測定器で配線の漏電をチェックし2系統目の絶縁不良が確認され2系統目の接続を切り、屋根上のモジュール外観を目視にて確認したが特に異常は確認されなかったと供述しているとの主旨の記述があった。

b 「火災発生した東側のモジュールを再度確認したところ、同様にケーブル（出力ケーブル）にかじった跡があり、銅線がむき出しになった箇所が1箇所発見されました。」との記述があった。（製造業者）

c 「本火災は、製造業者の報告書から、絶縁不良が確認された2系統目のモジュールは〈接続箱〉のスイッチを OFF にしても太陽電池モジュールは発電状態にあり〈接続箱〉とモジュール間は通電状態となっている。」との記述があった。（消防機関）

d 「出火元と推定されるケーブルは金属屋根面と短絡して金属屋根面に穴が開き、ケーブルが固着していた。」との記述があった。（N I T E）

e 「当該事故の他にも小動物の被害でケーブルを損傷したケースがあった。」との記述があった。（N I T E）

f 構成機器の各発火点について、以下の記述があった。

「封止材（400℃以上）、バックシート（450℃以上）、パネルボックス〈端子ボックス〉（500℃）、太陽電池ケーブル〈出力ケーブル〉（350℃：JISC3605 60秒以内で自然消火）、延長ケーブル〈アレイケーブル〉（400℃）」（製造業者）

（５）事例５【奈良県 平成 25 年 8 月発生】

① 発生状況

不在中の居住者宅で火災の警報が作動したため警備会社担当者が駆けつけた。室内に煙が漂っていたが、２階の窓を開けたら警報音は止まったので許可を得て帰った。その後、帰宅した居住者が住宅内を確認した結果、屋根裏収納庫で焦げている部分があったので消防機関に通報した。アレイケーブルの一部及び屋根裏 2 m² が焼損した。



写真A.7 屋根裏の被災状況

② 製品概要

- a 設置年及び火災発生時までの使用年数：平成 23 年、約 2 年
- b モジュールの設置形態：鋼板等付帯型
- c 製造業者：F 社

③ 出火原因

a 消防機関

「〈住宅販売事業者の子会社〉は、平成 24 年 1 月頃に、屋根裏部屋を構築する為の工事で、既設の配線の盛り変えを請け負っている。その際、太陽光発電ケーブル〈アレイケーブル〉を棟木の上に通す必要が生じ、もともと配線してあった、太陽光発電ケーブル（アレイケーブル）を切断し、線心をリングスリーブ⁸⁴で圧着し、ビニール絶縁テ

⁸⁴ ケーブル同士を接続する際に使用する鉛製・筒状の接続用部材

ープにて、端末処理をする工事を実施した。その後、建設業者が、石膏ボードを垂木に貼り付け、工事は完了した。その結果、太陽光発電ケーブル〈アレイケーブル〉は、上部を野地板^{のじいた}に、下部を石膏ボードに、左右を垂木^{たるき}に挟まれた狭い区画の空間に、閉じ込められたのである。

工事が完成し、所有者へ引き渡し後は、その狭い区画の空間の中で、毎日毎日、昼間は太陽電池モジュールで発電され、送電される度に、ケーブルが発熱し、その狭い区画の空間の温度は上昇するも、発生した熱を逃がすことができない状況、及び、環境であったと考察する。

毎日毎日、その繰り返しの結果、更に、ケーブル結束部分の内部に熱がたまり、異常に温度上昇し、端末のビニール絶縁テープが熔融し、リングスリーブで圧着し、接続された銅線が剥き出しになって、ついには、銅線同士接触し、短絡し、スパークして、ケーブルの被覆が燃焼し、出火に至ったと推定する。」

b N I T E

「屋根裏収納庫の増設時に太陽光パネル〈モジュール〉の接続ケーブル〈アレイケーブル〉を切断し、再接続を行った際、接続ケーブル〈アレイケーブル〉を束ねて天井裏の狭い空間に設置したことから、夏の日差しによる熱や発電にともなって発生した電流により接続ケーブル〈アレイケーブル〉が発熱し、結束部位に蓄熱され、当該部位が高温となり、被覆や絶縁のため巻かれていたビニール絶縁テープが熔融して短絡したか、元々リングスリーブにカシメ⁸⁵不良があったため、接触抵抗の増加による発熱により過熱したことから事故に至ったものと推定され、住宅販売事業者の子会社が行った施工不良に起因する事故であると考えられる。」

c 製造業者

本火災事故等の原因関係者ではないため、該当する報告書はなし。

④ 特記事項

- a 「2本の引き込みケーブルの各々には圧着端子（〈住宅販売事業者〉の下請工事事業者が調達したものであり、〈製造業者〉の販売品ではない）で結線した箇所があり、そこを中心に太陽電池パネル〈モジュ

⁸⁵ 接合部分にはめこまれた爪や金具を工具で打ったり締めたりして接合部を固くとめることをいう（出典：三省堂大辞林第3版）。

ール側（上流側）に向かって焦げていた。更に、各々のケーブルは圧着部の直ぐ下流側で、「内線規程⁸⁶」に準拠しない方法で折り曲げられて結束されていた。」との記述があった。（N I T E）

（6）事例6【神奈川県 平成26年8月発生】

① 発生状況

通行人から居住者に「家から煙が出ている」との連絡があり、居住者が消防機関に通報した。モジュール、野地板及び屋根裏の一部が焼損した。



写真A.8 屋根の被災状況

② 製品概要

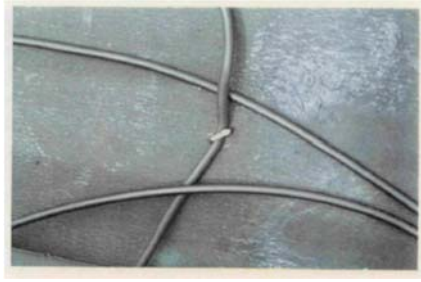
- a 設置年及び火災発生時までの使用年数：平成25年、約1年
- b モジュールの設置形態：鋼板等なし型
- c 製造業者：C社

③ 出火原因

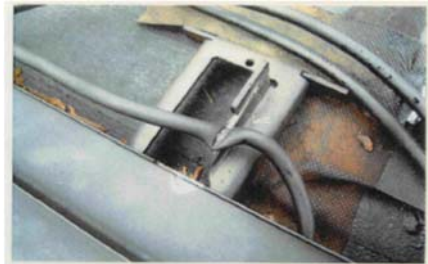
a 消防機関

「屋根に設置された太陽電池モジュールの異極同士のケーブルの絶縁被覆が、取付け不良により複数箇所損傷し、太陽電池モジュールのアルミフレームや取付け用金具を媒介した短絡状態となり、放電が発生、モジュールを取付けるための樹脂製の建材に着火したものと推定する。」

⁸⁶ 電気需要場所における電気工作物の設計、施工、維持、検査の規範となる民間規格で、一般社団法人日本電気協会が発行している。



写真A. 9 ケーブルの固定に伴う噛み込み箇所



写真A. 10 ケーブルの噛み込み箇所

b N I T E

「当該製品のケーブルを取付支持金具に挟み込んだため、ケーブルが半断線となり、異常発熱して火災に至ったものと推定される。」

c 製造業者

「現場検証時、ケーブルに噛み込み跡が複数あったこと、返却品の焼損モジュールのケーブル芯線端に溶融痕がみられたこと、及び再現試験の結果から、噛み込みによりケーブル被覆が損傷し、芯線と支持金具の間に発生したアークによって被覆が燃え、発火に至ったものと推測する。」

④ 特記事項

a 事故発生前、使用者から事業者には「ブレーカーが落ちる」旨の不具合の連絡があり、以後、事故発生の前月及び同月に3回点検が実施された。点検時の原因調査では、7系統中2系統に絶縁不良が確認されていたが、応急処置として絶縁不良が発生したストリングの断路器を断としたままで、その後は、事故発生時まで処置されなかったとの主旨の記述があった。(N I T E)

b 事故発生日の朝には、パワーコンディショナが直流地絡を示すエラーを発報していたとの主旨の記述があった。(消防機関)

c 「本火災では、出火の1ヶ月余り前に漏電遮断器が事前に作動、パワーコンディショナでも地絡を示すエラーが表示されており、〈2回に渡って〉漏電が確認された2つの系統で遮断されているにも関わらず、火災を未然に防ぐに至っていない。

注意を要するのは、本火災のように挟み込みによってケーブルの絶縁被覆を損傷させるような事象が生じた場合、異常発生箇所の2次側

に設置された遮断器を閉鎖するだけでは火災を防ぐことが出来ないという点である。(中略) また、不具合発生後に遮光するなど適切な措置がとられなかったことも大きく、これらの措置が適切にとられていれば火災の発生を予防した可能性も少なくない。また、漏電が数箇所起きることにより、安全措置として設けられているアース接続が、逆に短絡を発生させる可能性があることは、火災予防上のみならず製品火災防止上の観点からも注意を払わなければならない点であると考ええる。」との記述があった。(消防機関)

(7) 事例 7【東京都 平成 26 年 8 月発生】

① 発生状況

居住者が住宅の 2 階に在宅中、パチパチと音がし、窓を開けると異臭を感じたが、自宅の異臭とは思わずにいたところ、その後、近隣住民から屋根の発煙を知らされ、消防機関に通報した。屋根裏 10m² 及びモジュール 7 枚が焼損した。



写真 A.11 屋根の被災状況 (右はモジュール撤去後)

② 製品概要

- a 設置年及び火災発生時までの使用年数：平成 16 年、約 10 年
- b モジュールの設置形態：鋼板等なし型
- c 製造業者：A 社

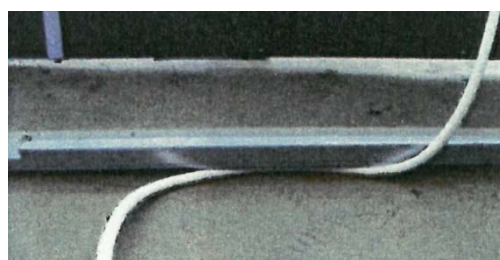
③ 出火原因

- a 消防機関
「太陽電池モジュールの出力リード線〈出力ケーブル〉がスパーク

し、その際生じた火花がルーフィング材に着火し出火したものと判定する。」

b N I T E

「本製品の施工時に出力ケーブルが取付け架台に挟み込まれ、他の箇所においても同様の挟み込みが発生したため、施工後の気象現象（積雪、地震、温度変化等）による荷重、振動、応力等により挟み込まれた箇所の絶縁劣化が進行し、発電量が最大となったときに絶縁破壊⁸⁷したことで取付け架台を電路とした短絡回路が形成され、過大電流が流れたことで発熱して出火に至ったものと推定される。」



写真A.12 アレイケーブルの挟み込み痕 写真A.13 モジュール固定金具下への
※ただし、傷は外皮にとどまっている。 ケーブルの挟み込み箇所

c 製造業者

以下の主旨の記述があった。

太陽電池モジュールに異常は無く、出力ケーブルの異常と判断する。出力ケーブルにアーク痕が確認され、再現試験でもアーク痕が発生した。なお、出力ケーブルの異常は、施工起因が疑われるものの、出火箇所の屋根・野地板^{のじいた}が焼失し、当該部位にストレスが加わった事実確認はできず、ケーブルが断線しアークが発生した原因は特定できなかった。

④ 特記事項

- a 「モジュールを使用したアーク放電再現試験より断線部のケーブル両端に丸い溶融痕が再現できた。したがって本火災案件におけるケーブル破断部の溶融痕は、ケーブル断線時のアーク放電により起こったものであり、通常のコジュールシステム電圧・電流にて起こりえるもの

⁸⁷ 絶縁体に加わる電圧が増してゆくと、ある程度以上で突然、絶縁性を失って大電流が流れる現象。

と判断します。（注：システム電圧 271.95V）」との記述があった。
（製造業者）

- b 「全系統の太陽電池モジュールを撤去した際、当該モジュール取り付け架台（金属製）へのケーブルの挟み込みが5箇所（アレイケーブル1箇所、出力ケーブル4箇所）認められた。」との記述があった。（N I T E）

（8）事例8【栃木県 平成27年2月発生】

① 発生状況

居住者は不在で、近所の子供が屋根から煙が出ているのを確認し、消防機関へ通報した。発煙部のモジュールを外すとアレイケーブル付近にまだ火がくすぶっている状態であった。アレイケーブル及びモジュール1枚が焼損し、熱で瓦が割れた。



写真A.14 焼損したモジュール 写真A.15 焼損したアレイケーブル

② 製品概要

- a 設置年及び火災発生時までの使用年数：平成18年、約9年
- b モジュールの設置形態：屋根置き型
- c 製造業者：A社

③ 出火原因

- a 消防機関
「〈事故発生の約半年前に〉電線管の交換を実施した際、2系統分の〈アレイケーブル〉（プラスケーブル2本、マイナスケーブル2本）

がカップラー⁸⁸接続部分から離れていたため、アース線 1 本を含めた 5 本のケーブルを切断し圧着処理及び配線被覆をした部分に圧着不良があり、時間経過に伴いジュール熱⁸⁹が発生し、出火に至ったものと推定する。」

b N I T E

「〈電線〉保護管の交換をする際に切断したケーブルの再接続におけるリングスリーブの圧着不良により、火災に至ったものと推定する。」

c 製造業者

「本事故は、以下のプロセスにより発生したものと推定される。

- (a) 施工業者が、当該焼損箇所において、〈電線〉保護管の交換のため、アレイケーブルの切断、再接続を行った。
 - (b) リングスリーブにより再圧着を行った際に接触不良または絶縁不良等の圧着不良が生じた。
 - (c) P F 管〈電線保護管〉内部のアレイケーブル間において圧着不良部分で発熱が生じ、ケーブル間のショートが発生し火花・火炎が生じた。
 - (d) P F 管〈電線保護管〉は当初は自己消火性を有する P F S 管⁹⁰であったが、交換後は P F D 管⁹¹（内側は可燃性樹脂）となっていたため、P F D 管に着火し炎が拡大し、モジュール焼損に発展した。
- 以上より、本事故は製品に起因するものでなく、不適切な施工によるものと考えられる。」

④ 特記事項

- a 「ケーブルの切断及び圧着端子による接続は、推奨しておらず、ケーブルの接続は、カップラーで行うことを推奨しているとのことであった。」との記述があった。⁹²（消防機関）
- b 「太陽電池モジュールが発熱する可能性としては、太陽電池セルとインターコネクタの接続不具合により微接触状態になり微小領域に電流

⁸⁸ 異なった二つの回路の結合器。連結装置（出典：三省堂大辞林第3版）。

⁸⁹ 電流が流れることによって導体内に発生する熱。導体の電気抵抗による（出典：三省堂大辞林第3版）。

⁹⁰ 可とう性の合成樹脂製電線管で、耐熱性のある一重構造の電線管のこと。

⁹¹ 可とう性の合成樹脂製電線管で、二重構造のもの。

⁹² 出力ケーブルの切断及び再接続に関する処置は、電気設備技術基準（第7条及び第56条）に適合した処置ではない。

集中することによる発熱、太陽電池セルとインターコネクタの接続がオープン（断線）となり、バイパスダイオードが常時通電することにより破損する事が考えられる。」との記述があった。（製造業者）

（９）事例９【神奈川県 平成 27 年 12 月発生】

① 発生状況

外壁に設置していたパワーコンディショナ周辺から発火していることを近隣住民が発見し、居住者が消防機関に通報、居住者は消火器にて消火を実施し、その後、消防隊員が鎮火を確認した。アレイケーブル及びそれを収納する P F 管（電線保護管）が一部焼損し、外壁の一部が焼損した。



写真A.16 被災状況
(焼損ケーブル除去後)

② 製品概要

- a 設置年及び火災発生時までの使用年数：平成 22 年、約 5.5 年
- b モジュールの設置形態：屋根置き型
- c 製造業者：A 社

③ 出火原因

a 消防機関

「太陽光発電システムの太陽電池モジュールとパワーコンディショナ間を接続する電気ケーブル（アレイケーブル）において、接続点を設けてはいけない合成樹脂製屋外ケーブル保護管内でコネクタを使用していたため、コネクタの劣化等からコネクタ結合部分が緩み、接触不良が起こり、接触抵抗が増大し発熱、絶縁部が溶融し、異極間で短絡して出火したものと推定した。」

b N I T E

「当該製品の施工時に取り付けられたコネクタの接続不良により、内部に水が浸入し端子が腐食したため、抵抗が増大して異常発熱し、出火したものと推定される。なお、施工業者は、事業者の電気工事研修を終了した施工 ID 取得者が施工をしていた。」

c 製造業者

「事故原因及び事故発生プロセスを以下のとおり推定します。

- ・施工時に、アレイケーブルがコネクタ接続により延長され、コネクタ接続部は、P F 管〈電線保護管〉内に収納された。
- ・アレイケーブルのP F 管〈電線保護管〉収納時にケーブル先端部を引っ張った荷重や、垂直状態にアレイケーブルを配置したことによるケーブル自重による荷重がコネクタ接続部に継続的に印加されることで、コネクタ嵌合^{かんごう}⁹³不良が生じた。
- ・P F 管〈電線保護管〉内には、P F 管〈電線保護管〉継ぎ目部から水分が浸入し、コネクタ嵌合不良部よりコネクタ内部のピンに水分が浸入し、コネクタピンの腐食が進行した。
- ・コネクタピンの腐食によりピン先端の嵌合部^{かんごう}が微接触状態となり、発熱・溶融した。
- ・上記発熱により、他方のケーブルの被膜が溶融し、アレイケーブル同士が接触・短絡し焼損が拡大した。」

④ 特記事項

- a「本件は、「電気設備技術基準の解釈」第 158 条 3 号（合成樹脂管内では、電線に接続点を設けないこと。）から逸脱した施工となっております。」との記述があった。（製造業者）
- b「事業者によれば、当該製品に関する施工状況は、業者と連絡が取れず、事務所が閉鎖されているため、敷設工事内容の詳細は不明であった。」との記述があった。（N I T E）

(10) 事例 10【広島県 平成 28 年 3 月発生】

① 発生状況

屋根から煙が上がっているのを居住者が確認し、消防機関へ通報した。モジュール及び屋根裏の一部を焼損した。野地板は一部焼損落下していた。



写真A.17 屋根被災状況

⁹³ 機械部品の、互いにはまり合う丸い穴と軸について、機能に適するように公差や上下の寸法差を定めること（出典：三省堂大辞林第3版）。

② 製品概要

- a 設置年及び火災発生時までの使用年数：平成 14 年、約 14 年
- b モジュールの設置形態：鋼板等なし型
- c 製造業者：A 社 ※E 社への OEM⁹⁴品

③ 出火原因

a 消防機関

「モジュール内で、何らかの原因により不具合が発生し発熱、いずれかの部分が火源となって屋根の野地板^{のじいた}上に張られた防水シート（ルーフィング）へ着火したと考えられるが、モジュールが機械的に故障を起こしたのか、メンテナンス不足によって発生したものかを特定するには至らないため、不明として処理する。」

b N I T E

「当該製品は、電池セル間の絶縁抵抗の低下により、アーク放電が発生し、発火に至ったものと推定される。絶縁抵抗の低下は、モジュール製造時や電池セル接続時のはんだ接合の不具合により導電性異物が混入したこと及び水分の浸入により低下したものと推定されるが、回収された部品より異物が確認できなかったことから、事故原因の特定には至らなかった。」

c 製造業者

「再現実験結果より、モジュール焼損は複合要因が重なり発生したセル間でのアーク放電によるものと考えられる。このモジュール焼損によって屋根材延焼に至る火災へと発展した可能性が考えられるが、再現実験からは、モジュールからの着火溶融物の滴下が直接屋根材を着火させ火災に至ることは、再現できなかった。屋根材燃焼実験で、唯一野地板^{のじいた}への着火が認められたのは「屋根材に可燃物を置き、そこに 1 分間直接ガスバーナーで接炎した」場合のみであり、焼損モジュール直下の空間に可燃物が存在していた可能性が考えられる。しかしながら、火災発生部の屋根が燃え落ちており、現場検証による調査は不可能で、可燃物を特定することは出来なかった。」

⁹⁴ Original Equipment Manufacturer の略。相手先ブランドの製造をすること。

④ 特記事項

a 「モジュール裏面のバックフィルム〈バックシート〉（P E T／鉄箔／P E Tの3層構造）の鉄箔が溶融しているが、鉄の溶融温度（1530℃）には、野地板（木材、延焼温度約 800℃）からの延焼では到達しない。」との記述があった。（製造業者）

b 本火災の発生プロセスの推定について以下の記述があった。（製造業者）

「当該モジュールの最も焼損の激しいセルと対向する（隣接する）セル間においてアーク放電が発生した。ただし、隣接するセル間は正常状態では数ボルト程度の電位差であり、アーク放電が発生するエネルギーは加わらないことから、複数の異常が重なりアーク放電が発生したものと推定される。以下（a）～（c）の事象が重なった場合、隣接セル間に数 kW の放電エネルギーが発生する可能性がある。

（a）セル間の接続がオープン〈断線〉状態となる。

（b）バイパス回路がオープン〈断線〉状態となる。

（c）（a）（b）が同時に発生した状態で、セル間を充填する封止樹脂（絶縁材料）〈封止材〉の抵抗率が低下する。

それぞれの事象が以下の要因により発生したと考えられる。

（a）セル電極/インターコネクタ間のはんだ接続が不十分な箇所があり、経年劣化により接続部オープン〈断線〉に至った。

（b）（a）によりバイパスダイオードが常時通電状態となり発熱・焼損に至り、バイパス回路がオープン〈断線〉状態となった。

（c）太陽電池モジュールを直列接続したシステム電圧（約 250 V）が（a）でオープン（断線）状態となった両端部にかかり、当該箇所のセル間封止樹脂〈封止材〉内に混入したはんだ屑等の導電性異物を介し、アーク放電が発生した。なお、封止樹脂〈封止材〉の体積抵抗率は通常 $10^{12} \sim 10^{14} \Omega \text{ cm}$ オーダーの高抵抗であり、セル間の距離は約 3 mm 程度であることから、上記（a）（b）が発生してもアーク放電には至らない。封止樹脂〈封止材〉の抵抗率が低下する要因としては、ガラス割れ・バックフィルム〈バックシート〉破れ等による封止樹脂〈封止材〉への水分浸入、セル間への導電性異物の混入、延焼（もらい火）による絶縁材の炭化等が推測されるが、再現試験結果より水分浸入ではアーク放電に至らない事を確認した。

このセル間におけるアーク放電の発生と継続が発火の発端となり、着火したモジュール部材の溶融滴下物によってルーフィング・野地板^{のじいた}に着火し、延焼に至った可能性が推測された。

なお、端子ボックス部には発熱・溶融痕は認められないため、端子ボックスをバックフィルム〈バックシート〉に接着するシリコン樹脂が外部からの熱により変質し、接着力が低下した結果、モジュールから脱落したものと考えられる。また、出力ケーブルはプラス側コネクタが焼失しており、残存部での溶融痕は見られないが、プラス側コネクタ付近での異常の有無は確認できなかった。その他、屋根裏配線状況、接続箱について調査したが、特に異常は発見されなかった。」

c 火災発生リスクについて、以下の主旨の記述があった。（製造業者）

本事故におけるモジュール焼損はアーク放電によるものであるが、b（a）（b）（c）の3つの事象が全て重ならないと発生しないため、極めて低い発生確率であると推定される。また、モジュール直下に可燃物が存在しなければ、延焼に至る可能性は極めて低いと考えられるが、火災発生時の屋根は通気構造であるものの、軒カバーやメタルプレート等により、枯葉や小動物などの侵入を防止する構造となっており、通常、加熱物が侵入することはなく、今回の火災事象の再発は、極めて低いものと判断する。

d 製造業者による再現実験について、以下の主旨の記述があった。

（a）セル間アーク再現試験

セル間でのアーク放電は事故品で見られる症状〈セル間アーク放電痕等〉が再現され、モジュール損傷は本推定原因の可能性が高いと考えられる。

（b）屋根材燃焼試験

モジュールからのアーク放電により着火物が滴下した場合においても、45mmの空間を介し、自己消火せず延焼へと発展する野地板^{のじいた}への着火までは再現することができなかった。唯一、煙突効果構造物で、モジュール溶融滴下物や枯葉、モジュールケーブルを重ね、直接ガスバーナーで1分間接炎した場合に、野地板^{のじいた}に着火し延焼した。

(11) 事例 11【神奈川県 平成 28 年 4 月発生】

① 発生状況

屋根から煙が上がっているのを近隣住民が確認し、消防機関へ通報した。モジュール数枚が焼損し、その焼損箇所下の野地板^{のじいた}も焼損。屋根に穴が開いた状態になった。



写真 A.18 屋根被災状況

② 製品概要

- a 設置年及び火災発生時までの使用年数：平成 18 年、約 10 年
- b モジュールの設置形態：鋼板等なし型
- c 製造業者：A 社

③ 出火原因

a 消防機関

「屋根一体型太陽電池モジュールにおいて、〈特定の〉太陽電池モジュール北西角に屋根材の平板瓦が被さり影ができたことが起因し、影のできたセルに逆バイアスがかかるシステム特性により当該部分のセルが発熱するホットスポットが発生し、当該セルが熱的な変性を受けて故障した後、端子ボックス内のバイパスダイオードがシステム電流を常時バイパスして通電した際、バイパスダイオードが常時動作し続けたための過熱、ダイオードチップの部品異常、実装不良、又は、マイナス側端子との接続不良等の要因により、バイパスダイオードが故障するとともにマイナス側端子が異常過熱して溶融し、時間の経過とともに端子ボックスの合成樹脂に着火し出火したものと判定する。」

b N I T E

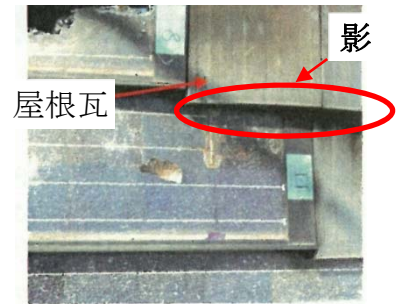
「当該製品のジャンクションボックス〈端子ボックス〉内のバイパスダイオードに当該系統の電流が流れた際に、バイパスダイオードが異常発熱したものと考えられるが、バイパスダイオードが焼失していることから、バイパスダイオードが異常発熱した原因の特定はできなかった。」

c 製造業者

以下に製造業者の調査報告書の抜粋を記載する。

「<出火元と考えられる>モジュールに見られる不具合は、以下に示すプロセスで発生したと推測される。

- (a) 太陽電池セルに屋根瓦が被さり、当該セルの一部が遮光された事により、当該セルの動作点が逆バイアス領域となって発熱し、封止材の変色が生じると共に、セルとインターコネクタの接続部のはんだが再溶融し、微接触状態となることで局所発熱し、接続オープン（断線）に至った。なお、同様に瓦の影となった他のモジュール



写真A.19 屋根瓦の被さり部

では、封止材変色は見られるものの接続部異常は見られず、当該モジュールの製造条件が適正でなかった、インターコネクタに不具合があった、等の特殊要因が存在したと推定される。

- (b) セル間接続がオープン（断線）となることで、太陽電池セルストリングへの通電が不可となり、バイパスダイオードを通じてシステム電流が流れ、ダイオードが常時通電し発熱、オープン（断線）故障に至った。本事象も通常では起こり難い事象であり、ダイオードチップの部品異常、実装不良等の特殊要因が存在したと推定される。
- (c) ダイオード回路（バイパス回路）がオープン（断線）となることで、セル間接続オープン（断線）部にシステム電圧（約 250 V）が印加された。通常はセル間の間隔は2～3 mm 程度ありアーク放電に至ることはないが、セル間に導電性異物が存在した、あるいは、インターコネクタがセル間で断線した等の特殊要因のためにアーク放電可能な近接距離間にシステム電圧が印加され、アーク放電が生じた。アーク放電により近傍の封止樹脂（封止材）の炭化導電路が形成され、抵抗発熱体となり通電発熱し、その近傍の封止樹脂（封止材）を炭化させることにより、隣接セル間の間隙に沿ってアーク放電または抵抗発熱が継続した。そのエネルギーによりガラスの再溶融、バックフィルム（バックシート）^{はく}AL箔の溶融が発生した。
- (d) 上記（c）の通電発熱が継続し、通電箇所が隣接セル間を順次移動し、セル端に達した時点でセル間の封止樹脂（封止材）はすべて炭化・焼損することで通電が終了し、セル間は再び接続オープン（断線）状態となった。
- (e) その後、端子ボックスのバイパス回路オープン（断線）部にシステム電圧が印加され、アーク放電等の事象により発熱、焼損に至り、一側ケーブル先端の端子溶融が発生した可能性が推測されるが、端

子ボックス内部のバイパスダイオード回路は消失しており、詳細は不明である。

〈出火元と考えられる〉モジュールの焼損・焼け抜け状況から、上記（a）～（c）の過程で発生したセル間のアーク放電・通電発熱部から野地板に延焼した可能性は低く、その後発生した端子ボックス部の発熱・焼損が野地板に延焼したものと考えられる。なお、（e）の端子ボックス部の発熱・焼損が推測通りの事象であると仮定しても、単独で発生するものではなく、（a）～（c）の事象が発生し、かつ端子ボックス内部の配線状況がアーク発生条件を満たすような場合に発生するものと考えられる。」

④ 特記事項

a 火災発生リスクについて、以下の記述があった。（製造業者）

「本事故の起点は施工不備によるモジュールへの常時影の形成であるが、それによるセル間のアーク放電は③c（a）（b）（c）の3つの事象が全て重なった場合のみに発生するものであり、発生確率は非常に低いと推測される。また、（a）はんだ付けに関しては、〈改良を〉実施している。（b）に関しては、仕様を変更し、ダイオードチップの耐熱性向上・放熱性向上を行っている。これらの対策により、（a）及び（b）の事象発生確率は更に低減され、（c）以降の事象に進展する可能性は極めて低いと考えられる。」

b 「〈特定の〉モジュール⁹⁵に見られる出力低下・はんだ接続不具合は、製造段階におけるはんだ付け不十分な箇所が経年劣化した事による接続不良と考えられるが、今回の事故との直接関連性は無いと考える。」との記述があった。（製造業者）

c セル発熱痕が見られた3箇所のモジュールはいずれも屋根瓦がずれ、モジュールに瓦が被さり影となっていた位置と一致するとの主旨の記述があった。（製造業者）

d 「事故発生日以前の発電量低下やシステム不具合の兆候は見られず、事故直前までシステムは動作していたと考えられる。」との記述があった。（製造業者）

⁹⁵ 焼損なく、瓦による影もなかったモジュール。

(12) 事例 12【福岡県 平成 28 年 8 月発生】

① 発生状況

屋根から煙が上がっているのを近隣住民が確認し、消防機関へ通報した。数枚のモジュールが焼損し、その焼損箇所下の野地板^{のじいた}も焼損。屋根に穴が開いた状態になっていた。



消防隊により破壊

損傷が認められる

写真 A.20 屋根被災状況

② 製品概要

- a 設置年及び火災発生時までの使用年数：平成 17 年、約 11 年
- b モジュールの設置形態：鋼板等なし型
- c 製造業者：A 社

③ 出火原因

a 消防機関

「本火災の出火原因は、経過は不明であるが、屋根に設置されている太陽電池モジュールのうち<特定>モジュール内のインターコネクタ又は出力ケーブル等が何らかの理由で漏電又は短絡するなどし、出火したものと推定する。」

b N I T E

「出力ケーブル接続部の接触不良、端子ボックス周辺のインターコネクタの異常により出火した可能性が考えられるが、焼損部の部品が確認できないため、原因の特定には至らなかった。」

c 製造業者

以下に製造業者の調査報告書からの要約を記載する。

「焼損したモジュールから得られる物証は非常に少なく、モジュールからの発火と特定する事は困難である。焼損状況から、太陽電池モジュール又は出力ケーブルが火元である可能性が考えられる。モジュール焼損状況より、端子ボックス部近傍が火元と考えられるが、物証に乏しいため、出火原因の推定は困難である。以下の事象が出火原因の可能性として考えられるものの、焼損状況や物的証拠から要因を絞り込むことはできない。」

- (a) 端子ボックス内のバイパスダイオードが連続通電し発熱・焼損に至った。
- (b) 端子ボックス内の電氣的接続部が接続不良となり、微接触状態による発熱、断線によるアーク放電に至った。
- (c) 出力ケーブルの断線が生じ、断線部にアーク放電が発生した。
- (d) 出力ケーブルのコネクタ接続部に異常が発生し、接続不良による発熱、アーク放電が発生した。」

④ 特記事項

その他のモジュール（焼損なし）の調査結果、バックフィルム〈バックシート〉の局所的膨れ及びセルとインターコネクタのはんだ接続不具合が各 1箇所見られたという主旨の記述があった。（製造業者）

(13) 事例 13【愛知県 平成 29 年 10 月発生】

① 発生状況

通行人が屋根から白煙が上がっているのを発見。居住者が不在であったため、発見者が消防機関に通報し、消防隊員が消火した。屋根及びモジュールの一部が焼損した。

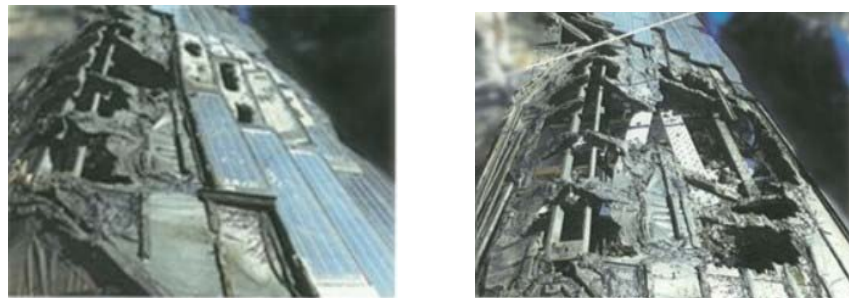


写真 A. 21 屋根被災状況（右はモジュール除去後）

② 製品概要

- a 設置年及び火災発生時までの使用年数：平成 24 年、約 5 年
- b モジュールの設置形態：鋼板等なし型
- c 製造業者：A 社

③ 出火原因

a 消防機関

「〈特定〉モジュールから延びるプラスの出力ケーブル線と〈別の〉モジュールから延びるマイナスの出力ケーブル線が防水コネクタで接続する箇所、製品の製造時または何らかの外力等が加わり半断線（接触不良）の状態となり、当箇所から亜酸化銅増殖発熱現象⁹⁶により連続的にモジュールを設置する固定金具が加熱され、野地板^{のじいた}から出火し、延焼したものと判定する。」

b N I T E

「当該製品は、配線の接続端子部で接触不良が生じて異常発熱し、出火したものと考えられるが、損傷が著しく、接続端子が焼失して確認できず、施工状況の詳細も不明なことから、製品起因か否かを含め、事故原因の特定には至らなかった。」

c 製造業者

「本火災は〈特定〉モジュールの出力ケーブル先端のコネクタ^{かんごう}嵌合部の嵌合不具合により、コネクタピン先端が微接触状態となり、先ずアーク放電が発生、その火花により亜酸化銅が生成され、亜酸化銅に通電することにより発熱・亜酸化銅増殖発熱現象が発生し、高熱が持続したことによりルーフィングや野地板^{のじいた}の着火に至ったか、同様にまずアーク放電が発生し、その発熱によりコネクタの樹脂がグラファイト化（黒鉛化）することで高抵抗の導体（炭化導電路）が形成され、高熱が持続したことによりルーフィングや野地板^{のじいた}の着火に至ったものと考えられる。

コネクタ^{かんごう}嵌合不具合が製品起因によるものか、出荷後の製品取扱いによるものか、特定することはできないが、製品不具合による嵌合不良^{かんごう}の事例は他には見られず、製品不具合の可能性は極めて低いと考えられる。」

⁹⁶ 通電状態の銅製品がスパークなどの高温加熱を受けた時に、銅の一部が酸化して亜酸化銅となり、その部分が異常に発熱しながら徐々に拡大して火災の原因になる。この現象は「亜酸化銅増殖発熱現象」と呼ばれている（出典：亜酸化銅増殖発熱現象の火災調査方法（神戸市民防災総合センター））。

<http://www.city.kobe.lg.jp/safety/fire/outline/center/img/ronbun2.pdf> 平成30年9月4日閲覧)

④ 特記事項

設置・施工時の異常によりアーク発生に至る可能性を実証試験にて確認した結果として以下の記述があった。

「コンタクトピンの^{かんごう}嵌合ずれが7mm生じた場合に微接触状態となりアーク放電が発生しコンタクト^{きょうたい}筐体部の樹脂の焼損が生じるが、アークによりコンタクトピン先端が溶融し絶縁距離が延びるためにアーク放電は約3秒で終了し、ルーフィングや野地板^{のじいた}への着火には至らない場合と、アーク放電後コネクタ樹脂が高抵抗導体化しルーフィングや野地板^{のじいた}の着火に至る場合があることがわかった。」（製造業者）

参考資料B 現地調査対象の抽出方法

「認定非営利活動法人太陽光発電所ネットワーク（以下「P V－N e t」という。）」の会員の運用情報⁹⁷及び4. 2において調査委員会が実施した製品の運用実態調査の結果⁹⁸を基に、以下のとおり現地調査対象を抽出した。

（1）P V－N e t 会員の運用情報からの抽出

住宅用太陽光発電システムを所有しているP V－N e t 会員のうち、約1,000 人の運用情報から、以下の基準に基づき、8 件を抽出した。

- ①運転を開始してから約10 年以上経過していること。
- ②顕著な発電量（発電性能）の低下が発生していること。

（2）運用実態調査の結果からの抽出

運用実態調査の結果から、以下の基準に基づき、3 件を抽出した。

- ①運転を開始してから約10 年以上経過していること。
- ②モジュールの故障経験があること。

（1）及び（2）で抽出した11 件について、参考資料Cに示す方法での製品の測定及び評価を行い、最終的に不具合モジュールの存在が考えられる6 件を現地調査対象とした。

⁹⁷ 発電量情報及び点検・修理履歴等。

⁹⁸ 故障の有無・内容及び点検・修理履歴等。

参考資料C 不具合モジュールの存在が考えられる製品の確認方法

接続箱又はパワーコンディショナ⁹⁹において以下の3項目を測定することで、不具合モジュールが存在する可能性をストリング単位で確認できる。

この方法は、日中、屋根に上らずに実施できるため、足場等の設置が不要であり、短時間で行うことができる。

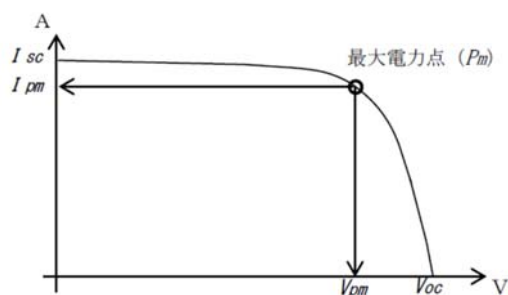
(1) アレイ絶縁抵抗の測定

太陽光発電システム専用の絶縁抵抗計を用いることにより、アレイ絶縁抵抗をストリング単位で測定することが可能である。

専用の絶縁抵抗計を用いることで、短絡させることなく、また発電中であっても影響を受けることなく測定することができる。

(2) I－V特性の測定

I－V測定器を用いることにより、ストリングにおいて測定したI－V特性（図C.1）の形状を見ることで、モジュールの不具合の有無をストリング単位で見付けることが可能な場合がある。ただし、I－V特性の分析には専門知識と経験を要する¹⁰⁰。



図C.1 I－V特性

(3) バイパス回路の検査

昼間、屋根に上らずに測定可能な太陽光発電システム専用のバイパス回

⁹⁹ 接続箱がない製品の場合。

¹⁰⁰ 「太陽光発電システム保守点検ガイドライン」（日本電機工業会・太陽光発電協会技術資料：平成28年12月28日制定）の「附属書E（参考）I－V曲線形状の解釈」に分析方法の解説がある。

路検査装置（写真C. 1）を用いることにより、ストリング単位でバイパス回路の断線及び短絡の有無を検出することが可能である。



写真C. 1 バイパス回路検査装置（断線故障を検知したところ）

参考資料D 現地調査における不具合モジュールの判定方法

想定した発火プロセスの各段階にある不具合モジュールがそれぞれ存在することを確認するための方法について、以下に具体的に記述する。なお、本情報は、主に点検を行う事業者には有用な情報であると考えられる。

(1) 第1段階（配線接続部の高抵抗化）の判定方法

赤外線サーモグラフィを用いて、モジュールの表面温度分布を観察する。配線接続部の高抵抗化箇所がある場合、発熱して他の領域よりも局所的に温度が高くなっていることから判定できる。

また、局所的な発熱が確認された場合には、発熱による変色や変質が、目視でのモジュール表面や裏面の観察により確認されることもある。

(2) 第2段階（バイパス回路の常時通電）の判定方法

配線路探索器（写真D. 1）の磁界探索機能¹⁰¹により、各ストリングに接続されている全てのモジュールにおける各セルの電気回路（以下「セル回路」という。）の配線路探索を実施することにより判定できる（写真D. 2）。具体的には、バイパス回路に常時通電している場合、そのバイパス回路に接続しているクラスタ内のセル回路には通電していないことから、通電していないセル回路を探索する。

また、当該モジュールをストリングから電氣的に切り離し、クラスタごとセル回路を部分遮光した場合の、モジュールのI-V特性を測定（写真D. 3）することによって、常時通電しているバイパス回路を特定することができる¹⁰²。

さらに、バイパス回路に常時通電している場合は、裏面の端子ボックスの蓋を外して外観を観察すると、バイパス回路付近に充填された樹脂の変色、変質等が確認されることもある。

また、システムの運転状態又は当該モジュールの短絡状態においては、当該クラスタのバイパス回路の常時通電による発熱の様子を赤外線サーモグラフィで観察することもできる場合がある（写真D. 4）。

¹⁰¹ 探索器の機能として、磁界探索機能と電界探索機能がある。前者は主に発電低下モジュールの探索、後者は主に断線箇所の探索に用いる。

¹⁰² 具体的な判定方法は、参考資料E（1）を参照。



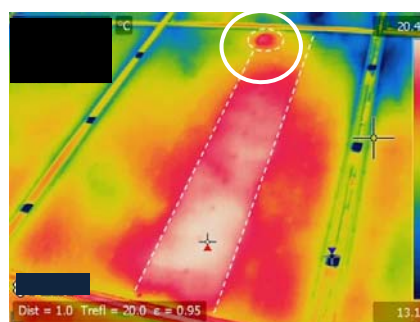
写真D. 1 配線路探索器



写真D. 2 配線路探索の様子



写真D. 3 セル回路の部分遮光
による測定



写真D. 4 赤外線サーモグラフィ
による観察
(丸囲い部が発熱部)

(3) 第3段階（バイパス回路の断線）の判定方法

バイパス回路検査装置により、ストリングにおけるバイパス回路の断線箇所の有無を判定できる。断線したモジュールがストリング内のいずれかに存在することが確認できた場合、当該ストリングに接続されている個々のモジュール全てに対して、配線路探索器の磁界探索機能を用いて、各セル回路を部分遮光しながら当該回路の配線路探索を行うことにより、バイパス回路が断線したモジュールを特定することができる¹⁰³。

また、当該モジュールをストリングから電氣的に切り離し、クラスタごとにセル回路を部分遮光した場合の、モジュールのI-V特性を測定することによって、断線しているバイパス回路を特定することができる¹⁰⁴。

さらに、裏面の端子ボックスの蓋を外して外観を観察すると、第2段階のバイパス回路の常時通電に伴う発熱による、バイパス回路付近に充填された樹脂の変色、変質等が確認されることもある。

¹⁰³ この方法は、配線路探索器の取扱説明書に記載されている。

¹⁰⁴ 具体的な測定方法は、参考資料E（2）を参照。

(4) 第4段階（配線接続部の断線又は異常発熱）の判定方法

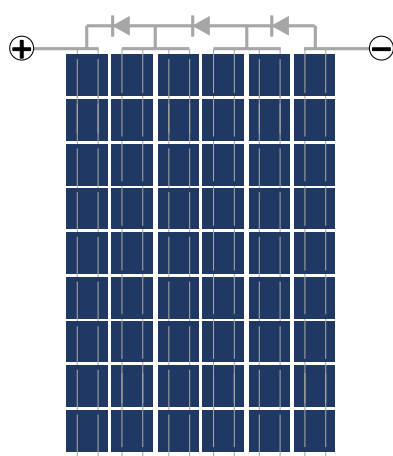
ストリングの開放電圧をテスタを用いて測定した結果が0 Vとなる場合、当該ストリング内のモジュールのいずれかにおいて、第3段階のバイパス回路の断線、及び配線接続部の断線が生じていることが判定できる。また、配線路探索器の電界探索機能を用いることで、配線接続部が断線しているモジュールを特定することができる。この場合、当該モジュールをストリングから電氣的に切り離し、開放電圧を測定して0 Vとなることによって、当該モジュール内の配線接続部の断線が生じていることが裏付けられる。

参考資料E I－V特性の測定によるバイパス回路の状態の判定方法

バイパス回路の常時通電及び断線の状態をI－V特性の測定により判定する方法について、以下に具体的な方法を記述する。なお、本情報は、主に点検を行う事業者に有用な情報であると考えられる。

(1) バイパス回路の常時通電

3つのクラスタからなるモジュールを想定し(図E.1)、バイパス回路の常時通電箇所を判定する方法について記述する。



図E.1 3つのクラスタからなるモジュール

このモジュールの正常な通電状態では図E.2に矢印で示す電流経路となるため、図E.3で実線に示すようなI－V特性の実際の測定結果が得られる。

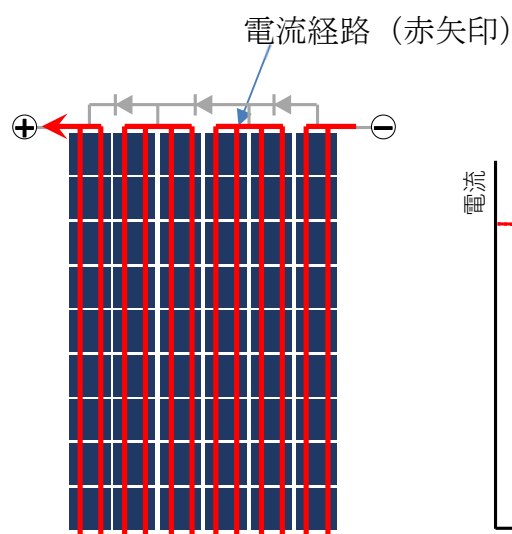


図 E. 2 電流経路
(正常な通電状態の場合)

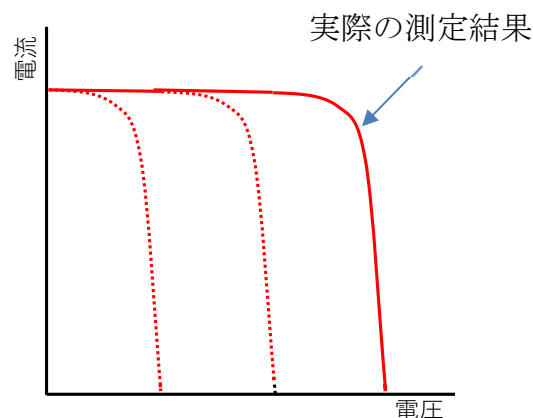


図 E. 3 I - V 特性

図 E. 4 のように、表側から見て左側のクラスタ内のセル回路が高抵抗化して、そのバイパス回路が常時通電状態にあるモジュールの I - V 特性を測定したとする。部分遮光をしない場合は、図 E. 4 に示すように中央と右側のクラスタだけを通過する電流経路となるので、この I - V 特性の実際の測定結果は、図 E. 5 の実線のようになる。

この測定結果では、全てのクラスタを通過する正常な通電状態の場合の電流経路（図 E. 5 の破線）に比べ、クラスタ 1 つ分の I - V 特性が変化している。そのことから、当該モジュールにおいて、どれか 1 つのクラスタにおいて、セル回路が高抵抗化し、1 つのバイパス回路が常時通電していることが判定できる¹⁰⁵。

¹⁰⁵ 論理的にはバイパス回路の 1 つが短絡している可能性が考えられるため、バイパス回路検査装置による検査などの別の測定によりその可能性がないことを確認しておく必要がある。

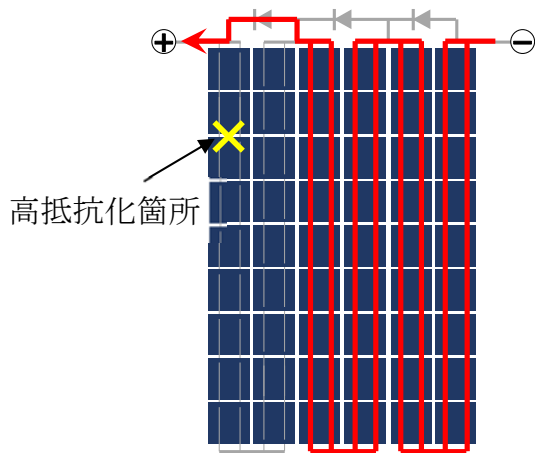


図 E.4 電流経路

(左側クラスタのバイパス回路が常時通電状態の場合)

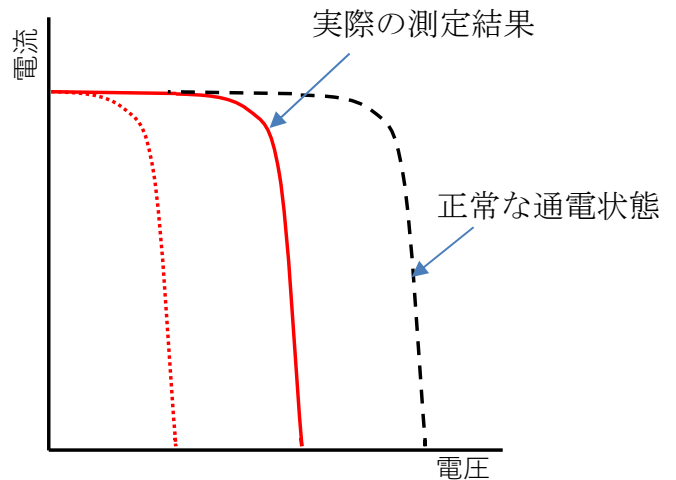


図 E.5 I-V特性

次に、右側クラスタ内のセル回路を部分遮光した状態で、モジュールの I-V 特性を測定する。この場合は、図 E.6 に示すように部分遮光した右側クラスタのバイパス回路に電流が迂回する電流経路となるので、I-V 特性は図 E.7 の実線のようにクラスタ 1 つ分だけの曲線に変化する。

これにより、セル回路が高抵抗化しているクラスタは、右側のクラスタではないことが判定できる。

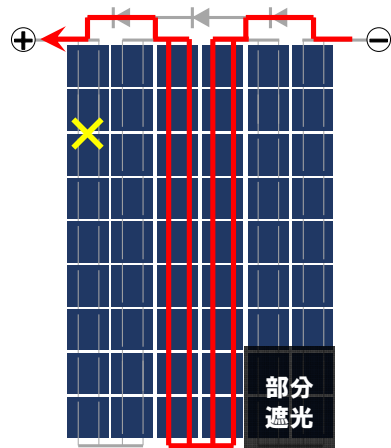


図 E.6 電流経路

(右側クラスタ内のセル回路を部分遮光した場合)

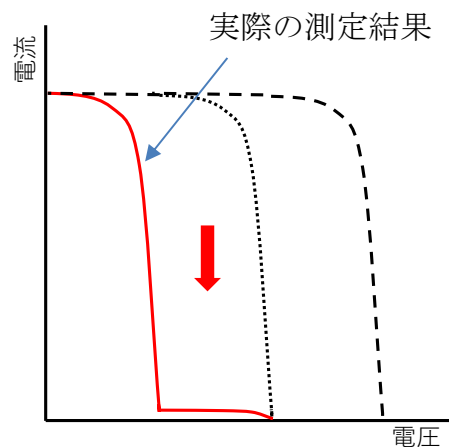
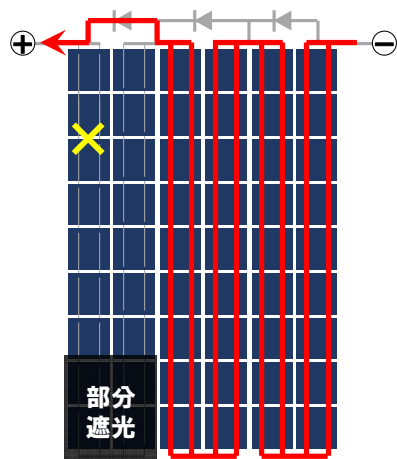


図 E.7 I-V特性

他方、左側クラスタを部分遮光した場合は図 E.8 に示すような電流経路となり、部分遮光しない場合の I-V 特性 (図 E.5) と同じ測定結果

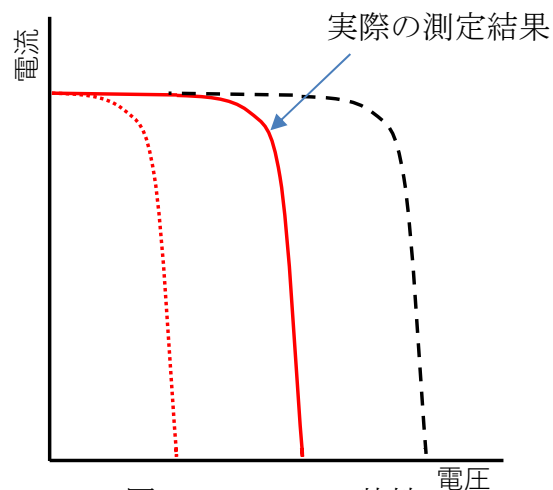
(図E.9の実線)となる。

これにより、当該モジュールの左側クラスタ内のセル回路において高抵抗化が発生し、左側クラスタに接続されているバイパス回路が常時通電状態となっていると判定できる。



図E.8 電流経路

(左側クラスタのセル回路を部分遮光した場合)



図E.9 I-V特性

(2) バイパス回路の断線

(1)と同様に、3つのクラスタからなるモジュールを想定し、バイパス回路の断線箇所を判定する方法について記述する。

中央クラスタに接続されているバイパス回路が断線状態にあるとする。当該モジュール内のセル回路を部分遮光しない場合は、図E.10に示す電流経路となるので、このI-V特性はバイパス回路が断線していない正常な通電状態(図E.3)と変わらない(図E.11)。

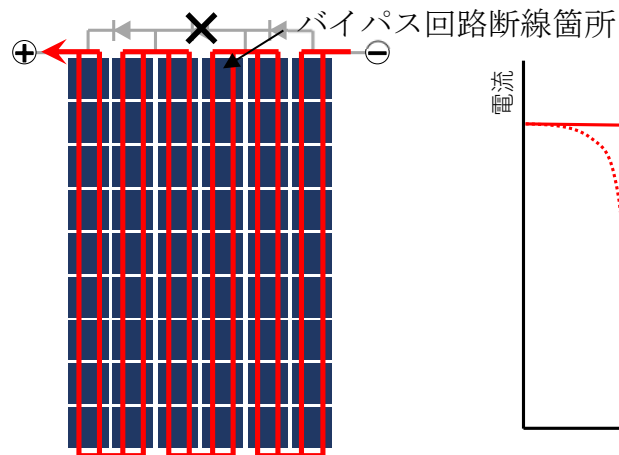


図 E.10 電流経路

(中央クラスタのバイパス回路が断線状態の場合)

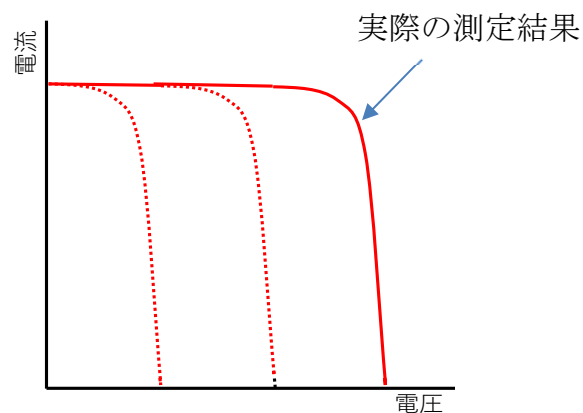


図 E.11 I-V特性

当該モジュールの右側クラスタのセル回路を部分遮光すると、図 E.12 に示すように、部分遮光したクラスタを迂回して右側クラスタに接続されているバイパス回路を経由する電流経路となる。この場合は右側クラスタはほとんど電流が流れないため、I-V特性は、図 E.13 の実線のように残りのクラスタ 2 つ分の曲線に変化する。

これにより、右側クラスタに接続されているバイパス回路は断線していないと判定できる。

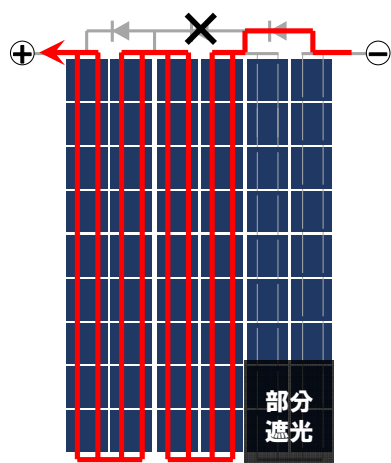


図 E.12 電流経路

(右側クラスタのセル回路を部分遮光した場合)

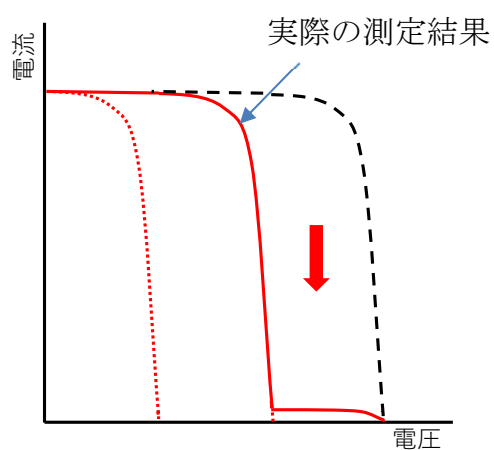
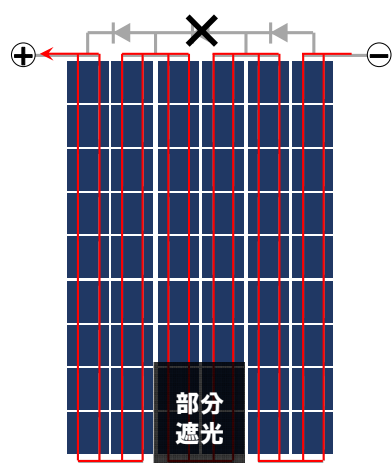


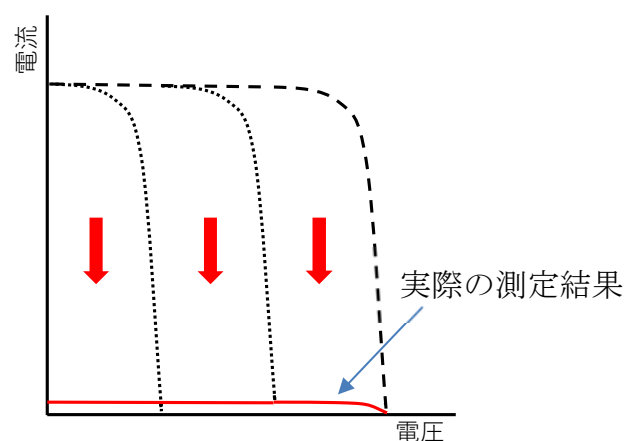
図 E.13 I-V特性

次に、バイパス回路が断線している中央クラスタのセル回路を部分遮光する。この場合は、中央クラスタに接続されたバイパス回路が断線しており、電流を迂回させることができないため、図E.14の電流経路となり、遮光されたセルが発生するわずかな電流がすべてのセル回路に流れることになるので、 $I-V$ 特性は図E.15の実線のような測定結果となる。

これにより、当該モジュールでは中央クラスタに接続されているバイパス回路が断線していると判定できる。



図E.14 電流経路
(中央クラスタのセル回路を部分遮光した場合)



図E.15 $I-V$ 特性

参考資料F ^{のじいた}野地板への延焼に関する実験結果

(1) 実験の概要

モジュールの発火等により、^{のじいた}野地板に延焼する可能性を確認するため実験を行った。実験の目的を表F.1に示す。

表F.1 実験の目的

実験名	目的
^{のじいた} 野地板への延焼実験	ルーフィング上の火種から ^{のじいた} 野地板へ延焼する状況を確認すること。
モジュールの燃焼実験	封止材の内部が加熱されたときの変化を観察すること。
^{のじいた} 野地板の低温発火実験	^{のじいた} 野地板が低温発火する可能性のある温度（約100℃）に到達したときのモジュールの ^{ふくしゃ} 輻射面温度を確認すること。

なお、モジュールの燃焼実験は、封止材に加熱源を埋め込んだ試料（図F.1参照。以下「封止材試料」という。）と封止材に加熱源を埋め込み、上面をガラス、下面をバックシートで挟み込んだモジュール構造を模擬した試料（図F.2参照。以下「モジュール試料」という。）を使用して実験を行った。また、モジュール試料の実験はバックシートにアルミ箔^{はく}無しの場合と有りの場合の実験を行った。

(2) 実験の内容

① ^{のじいた}野地板への延焼実験

a 実験材料

- ・^{のじいた}野地板を模擬した構造用合板（厚さ：12mm）
- ・ルーフィング：アスファルトルーフィング（実製品）
- ・木片火種2種
 - サイズ大：80mm×80mm×60mm（写真F.1）
 - サイズ小：40mm×40mm×40mm（写真F.2）

なお、木片火種のサイズ、材料、着火方法及び実験時の風速条件等は、一般財団法人日本建築総合試験所制定「防耐火性能試験・評価業務方法書」（平成 29 年 2 月 1 日版） 4. 13 屋根葺き材の飛び火性能試験方法¹⁰⁶に準じた。

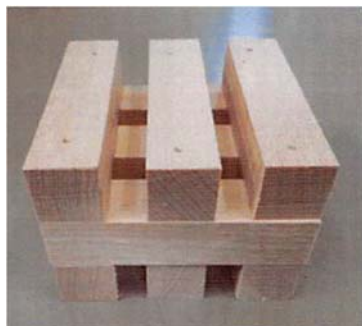


写真 F. 1 木片火種大

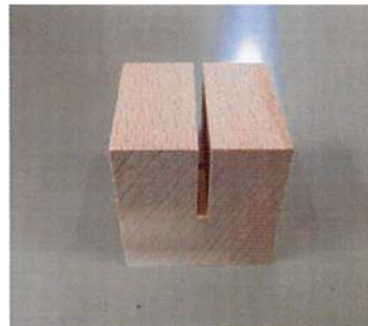


写真 F. 2 木片火種小

b 実験方法

- (a) ルーフィングを敷いた構造用合板（以下「板」という。）の上に着火した木片火種を載せ（写真 F. 3）、板に均一な風を供給し、ルーフィング及び板の燃焼状況を板の表面及び裏面から観察した。
- (b) 木片火種のサイズ（大と小）及び木片火種を載せる板の傾斜角（ 23° と 30° ）¹⁰⁷を変えて、4つの実験を行った。

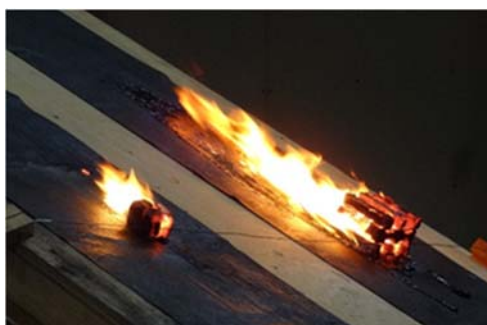


写真 F. 3 実験状況

¹⁰⁶ 建築基準法第 22 条第 1 項（屋根）及び同第 63 条（屋根）の規定に基づく認定に係る性能評価のための試験方法。

¹⁰⁷ 一般財団法人日本建築総合試験所制定「防耐火性能試験・評価業務方法書」（平成 29 年 2 月 1 日版） 4. 13 屋根葺き材の飛び火性能試験方法では、試験体の架台は 0° ～ 30° で傾斜角を設定できることが規定されている。本実験は、最大傾斜角 30° と JIS C 8992-2:2010（太陽電池モジュールの安全適格性確認－第 2 部：試験に関する要求事項）にて規定されている 23° の 2 パターンで実施した。

c 実験結果

木片火種のサイズ及び板の傾斜角別の実験結果を表F.2に示す。
 なお、木片火種を板に載せてからの時間を経過時間、木片火種の火炎が無くなるまでの経過時間を燃焼時間という。

表F.2 延焼実験の結果

木片火種	板の傾斜角	火種の燃焼時間	延焼		火炎の到達距離	観察結果	参考
			ルーフィング	板			
大	30°	9.5分	有 ↓ 消火	有 ↓ 発火	580mm	経過時間11.5分の時に板の裏面から火炎を伴う燃焼を確認した。 板に貫通孔を確認した。	写真F.4
	23°	12.5分	有 ↓ 消火	有 ↓ 消火	480mm	経過時間15分の時に板が消火したことを確認した。 板に貫通孔を確認した。	写真F.5
小	30°	3分	有 ↓ 消火	無	120mm	板の表面に焦げを確認した。	
	23°	5分	有 ↓ 消火	無	80mm	板の表面に焦げを確認した。	

(注) 火炎の到達距離：火炎が最大になったときの木片火種下端から火炎の先端までの距離

経過時間	0 分	2 分	3 分	4 分	6 分
燃焼状況	 (表面)	 (表面)	 (表面)	 (表面)	 (表面)
経過時間	9.5 分	11.5 分			実験後
燃焼状況	 (表面)	 (表面)	 (裏面)	 (裏面)	

写真F. 4 燃焼経過（木片火種大、傾斜角：30°）

経過時間	14 分	実験後	
貫通孔の状況	 (裏面)	 (裏面)	 (表面)

写真F. 5 板の貫通孔（木片火種大、傾斜角：23°）

d 考察

- (a) 木片火種の火炎が減衰するに伴い火炎からの^{ふくしゃ}輻射熱は減少するため、ルーフィングの温度は低下しルーフィングの燃焼は継続しなかったものと推定される。
- (b) 木片火種の大きさが板への延焼条件の一つであることが認められる。木片火種は火炎が無くなった後も無炎燃焼を続け、木片火種大の方が熱エネルギーを継続して発生するため、板に延焼し貫通孔が開いたものと推定される。
- (c) 板の傾斜角の違いにより火炎を伴う燃焼に至ることが認められる。これは傾斜角の大きい方が火炎の到達距離が長く火勢が強いことから、火炎からの^{ふくしゃ}輻射熱が大きくなり板の温度が上昇するため、無炎燃焼から火炎を伴う燃焼に至ったものと推定される。
- (d) その他気象条件（温度、湿度、風速等）、木材及びルーフィングの種類や乾燥性、燃焼物（枯葉、ごみ、ケーブル等）の存在等も板への延焼に影響すると考えられる。

② 封止材試料の加熱実験

a 実験材料

- ・封止材：E V A（厚さ：0.45mm）
- ・加熱源：ニクロム線（直径0.5mm、長さ5cm）

b 実験方法

- (a) 封止材を10層¹⁰⁸に重ねその間に加熱源を埋め込んだ封止材試料（図F.1）を準備した。
- (b) 封止材試料に埋め込んだ加熱源の温度を手動により、100℃から600℃まで50℃単位で上昇させ、封止材の内部の変化を表面及び裏面から目視で観察した。また、発生したガスの燃焼性について火源を近づけ確認した。

¹⁰⁸ 封止材を10層に重ね封止材試料の厚さを大きくすることにより、内部を加熱したときの変化を観察しやすくした。

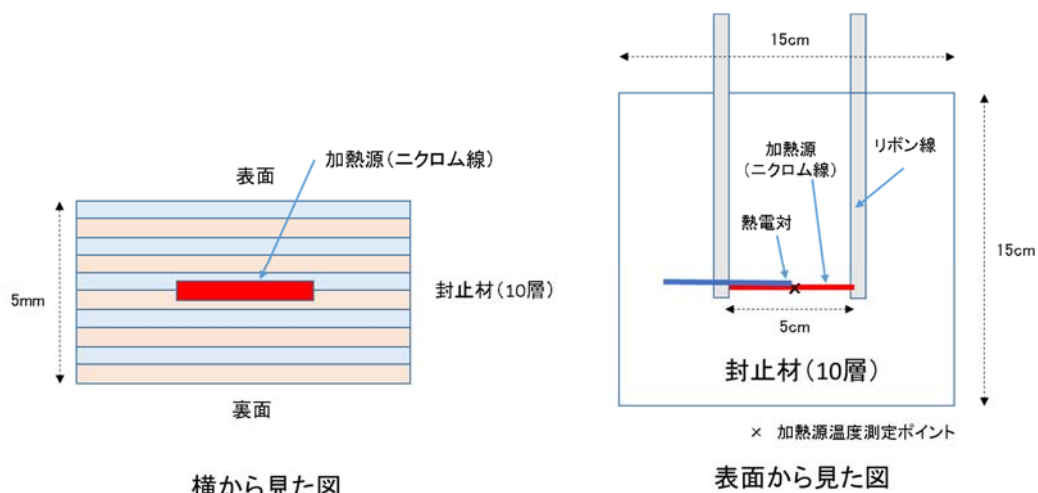


図 F. 1 封止材試料のイメージ図

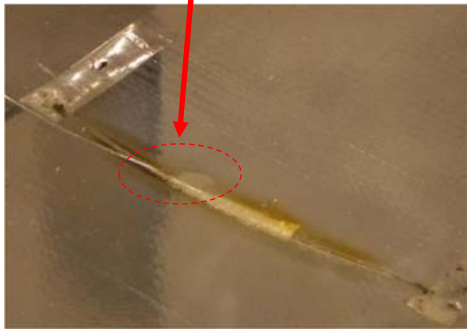
c 実験結果

主な観察結果を表 F. 3 に示す。なお、加熱開始してからの時間を経過時間、加熱源中央を熱電対にて測定した温度を加熱源温度という。

表 F. 3 加熱時の観察結果（封止材試料）

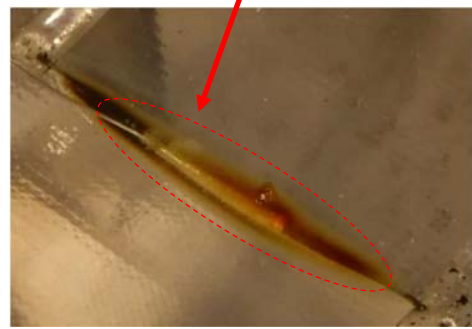
経過時間	加熱源温度	観察結果
5 分	250℃	加熱源に沿って封止材が白っぽく変色した。
12 分	400℃	気泡（5 mm× 5 mm 程度）が発生した（写真 F. 6）。
15 分	450℃	表面に破れが発生し、そこから白色の刺激臭のあるガスが放出された。加熱源に沿って新たに多数の気泡が発生した。
20 分	500℃	気泡の周囲が変色し（写真 F. 7）、裏面にも破れが発生し白色のガスが放出された。火源を近づけても引火しなかった。
30 分	550℃	裏面から白色のガスが断続的に放出された（写真 F. 8）。

気泡（5 mm×5 mm 程度）



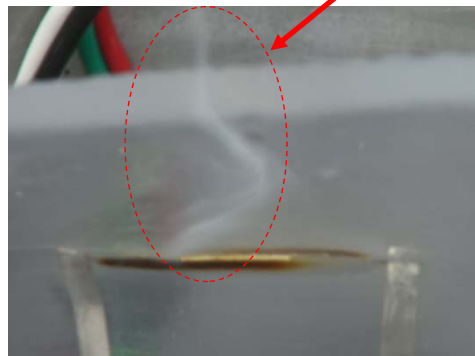
写真F. 6 試料の変化
(表面、400℃)

気泡周辺の変色



写真F. 7 試料の変化
(表面、500℃)

白色のガス



写真F. 8 試料の変化
(裏面、550℃)

d 考察

- (a) 封止材試料を内部から加熱するとガスがたまり、その後表面又は裏面に破れができガスが放出された。このことから、封止材は熱により分解されガスが発生することが分かった。
- (b) 加熱源温度が約 450℃で放出されたガスは、刺激臭があることから酢酸等の可燃性ガスと考えられる。

③ モジュール試料（アルミ箔^{はく}無し）の加熱実験

a 実験材料

- ・封止材：EVA（厚さ：0.45mm）
- ・バックシートアルミ箔^{はく}無し：PET¹⁰⁹（厚さ：250 μm）

¹⁰⁹ PET：ポリエチレンテレフタレート（Polyethyleneterephthalate）

- ・加熱源：ニクロム線（直径 0.5mm、長さ 10cm¹¹⁰）
- ・表面カバー：フロートガラス（厚さ 2 mm）

b 実験方法

- (a) 封止材に加熱源を埋め込み、上面をガラス、下面をアルミ箔^{はく}無しのバックシートで挟み込んだモジュール試料（図 F. 2）を 3 個準備した。
- (b) 封止材試料に埋め込んだ加熱源の温度を手動により、100℃から 50℃単位で上昇させ、モジュール試料の変化を表面及び裏面から目視で観察した。また、発生したガスの燃焼性について火源を近づけ確認した。実験途中で発火した場合はその時点で該当試料の加熱実験を終了した。

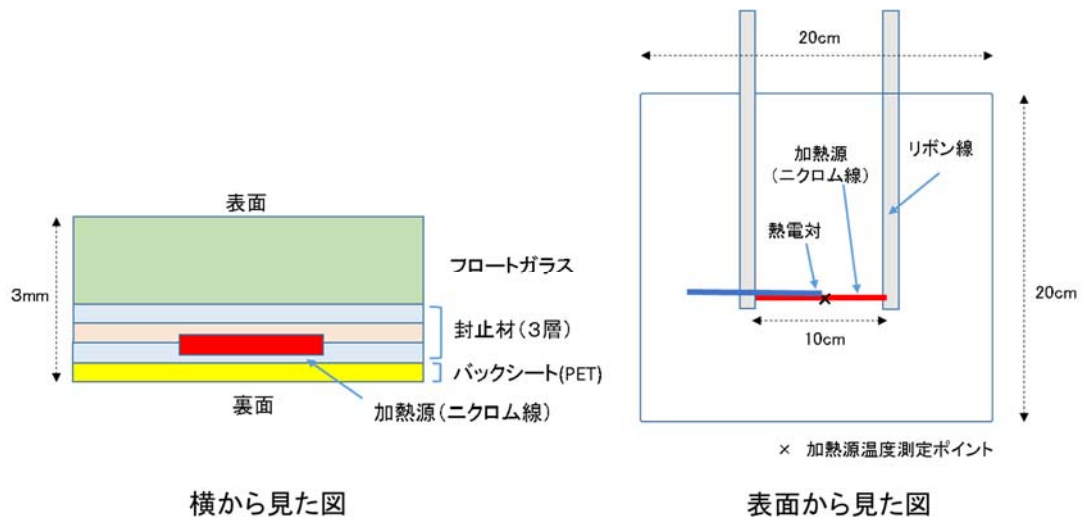


図 F. 2 モジュール試料（アルミ箔^{はく}無し）のイメージ図

c 実験結果

3 個の試料のうち、一つの試料に関する主な観察結果を表 F. 4 に示す。他の試料に関しても同様な結果が得られた。

¹¹⁰ 参考資料 A (10) 製造業者から平成 28 年 8 月 5 日に発行されている再現試験結果報告書によると「アーク発生痕はセル焦げ発生開始より長さ約 90mm に至る。」との記述があった。この試験結果から異常発熱部分の長さは約 90mm にわたっていることがうかがえるため、本実験では加熱源の長さを約 10cm とした。

表 F. 4 加熱時の観察結果（アルミ箔^{はく}無し）

経過時間	加熱源温度	観察結果
11 分	250℃	加熱源に沿って封止材に焦げが発生した（写真 F. 9）。焦げの部分に気泡が発生しバックシートに膨らみが 2 か所（1.5cm×1.5cm 及び 1.5cm×4 cm 程度）発生した（写真 F. 10）。
20 分	350℃	バックシートが加熱源に沿って黒く変色した（写真 F. 11）。変色部分が破れガスが放出され、気泡が消滅した。
26 分	400℃	バックシートの破れが加熱源に沿って拡大し、断続的に刺激臭のある白色のガスが放出された。火源を近づけても引火しなかった。
40 分	600℃	バックシートの破れから加熱源の赤熱状態を確認した（写真 F. 12）。
47 分	700℃	加熱源に沿って直線的な亀裂が表面のガラスに発生した（写真 F. 13）。
50 分	750℃	バックシートの破れから発火した（写真 F. 14）。

加熱源に沿った焦げ



写真 F. 9 試料の変化
（表面、250℃）

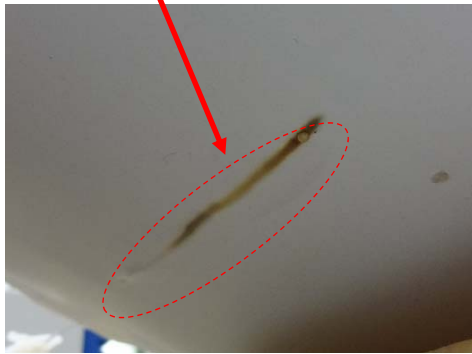
気泡の膨らみ 2 か所

（1.5cm×1.5cm 及び 1.5cm×4 cm 程度）



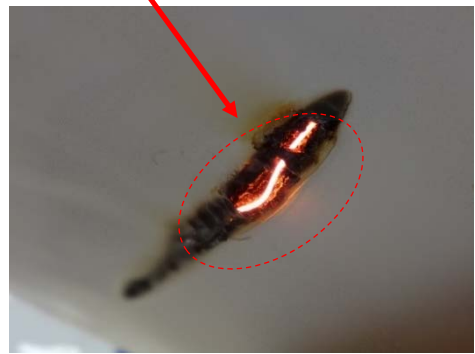
写真 F. 10 試料の変化
（裏面、250℃）

加熱源に沿った変色



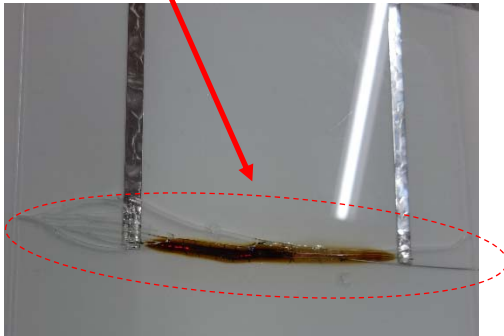
写真F.11 試料の変化
(裏面、350℃)

加熱源の赤熱状態



写真F.12 試料の変化
(裏面、600℃)

ガラスの亀裂



写真F.13 試料の変化
(表面、700℃)

発火



写真F.14 試料の変化
(裏面、750℃)

d 考察

- (a) バックシートの破れから発火したのは、内部の加熱源が空気にさらされる状態となり、熱、空気中の酸素、可燃物である封止材及びバックシートという燃焼の条件がそろったためと推定される。特に、表面のガラスに亀裂が入った後に発火していることから、内部の加熱源が表面及び裏面の両方から空気にさらされる状態となり、発火するに至ったと推定される。

- (b) 実験では 750℃¹¹¹で発火しているが、早期に表面のガラスに亀裂が入り、表面及び裏面の両方から空気にさらされる状態となれば、更に低温でも発火することが考えられる。

④ モジュール試料（アルミ箔^{はく}有り）の加熱実験

a 実験材料

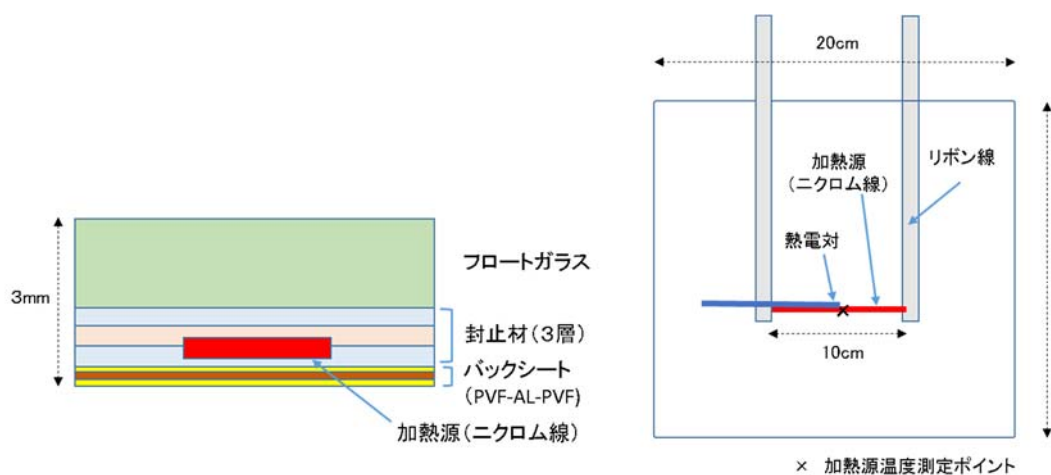
- ・封止材：EVA（厚さ：0.45mm）
- ・バックシートアルミ箔^{はく}有り
PVF¹¹²（厚さ：38μm）－アルミニウム（厚さ：30μm）
－PVF（厚さ：38μm）
- ・加熱源：ニクロム線（直径0.5mm、長さ10cm）
- ・表面カバー：フロートガラス（厚さ2mm）

b 実験方法

- (a) 封止材に加熱源を埋め込み、上面をガラス、下面をアルミ箔^{はく}有りのバックシートで挟み込んだモジュール試料（図F.3）を3個準備した。
- (b) 封止材試料に埋め込んだ加熱源の温度を手動により、100℃から1,200℃まで50℃単位で上昇させ、モジュール試料の変化を表面及び裏面から目視で観察した。また、発生したガスの燃焼性について火源を近づけ確認した。

¹¹¹ 参考資料A（3）④b 製造業者の調査報告書ではモジュールの過熱部の温度が715℃まで上昇していたことが記述されていたこと及び産業技術総合研究所（茨城県つくば市）にて実施した実製品モジュールによる実験において2時間30分以上継続してモジュールの過熱部の温度が700℃を超えていたことから、実際にあり得る温度と考えられる。

¹¹² PVF：ポリフッ化ビニル（Polyvinylfluoride）



横から見た図

表面から見た図

図F.3 モジュール試料（アルミ箔^{はく}有り）のイメージ図

c 実験結果

3個の試料のうち、一つの試料に関する主な観察結果を表F.5に示す。他の試料に関しても同様な結果が得られた。

表F.5 加熱時の観察結果（アルミ箔^{はく}有り）

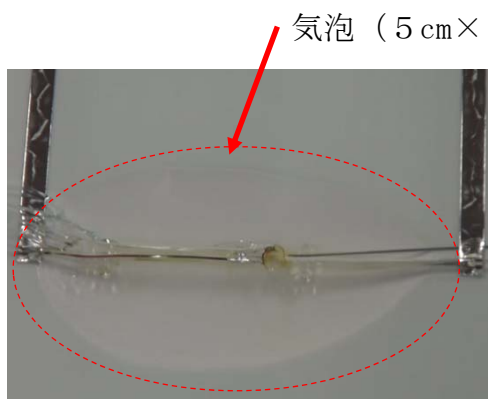
経過時間	加熱源温度	観察結果
11分	250℃	気泡（1 cm×2 cm程度）が発生した（写真F.15）。
16分	300℃	気泡が拡大（4 cm×5 cm程度）した。
18分	400℃	加熱源に沿って直線的な亀裂が表面のガラスに発生（写真F.16）し、刺激臭のある白色のガスが放出された。火源を近づけても引火しなかった。
30分	550℃	気泡が拡大（5 cm×9 cm程度）（写真F.17）し、バックシートの膨らみも拡大した（写真F.18）。
35分	650℃	気泡が拡大（5 cm×10cm程度）した。
41分	750℃	ガラスの亀裂から断続的に白色のガスが放出された。バックシートの膨らみにしわを確認した（写真F.19）。
54分	1,050℃	加熱源周りに焦げの様な変色が発生し、アルミ箔 ^{はく} が露出しているのを確認した（写真F.20）。バックシート裏面の一部が黒く変色した（写真F.21）。



写真F.15 試料の変化
(表面、250℃)



写真F.16 試料の変化
(表面、400℃)



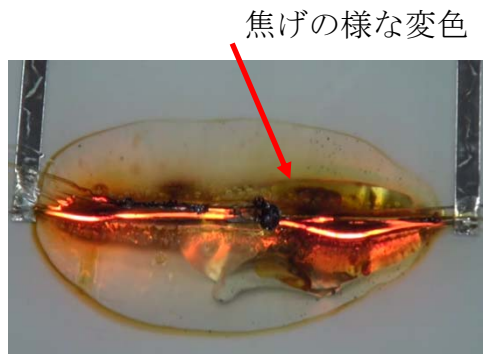
写真F.17 試料の変化
(表面、550℃)



写真F.18 試料の変化
(裏面、550℃)



写真F.19 試料の変化
(裏面、750℃)



写真F.20 試料の変化
(表面、1,050℃)



写真F.21 試料の変化
(裏面、1,050℃)

d 考察

- (a) 加熱源の温度上昇とともに気泡は拡大したが、バックシートが破れ発火するまでには至らなかった。これは、表面のガラスに亀裂が入り気泡内部のガスが外部に放出され圧力が下がったこと、バックシートのアルミ箔により熱が拡散されたこと等により、アルミ箔が溶融又は破損に至らなかったためと考えられる。
- (b) 以下のことを考慮すると、アルミの融点を超えるまで加熱された場合や内部にガスがたまり圧力が高くなった場合等には、バックシートに破れが発生し加熱源が空気にさらされることにより、封止材及びバックシートを燃焼物として発火する可能性が考えられる。
- ・アルミの融点は約 660℃であること。
 - ・気泡内部でバックシートに焦げの様な変色が発生しアルミ箔が露出していたこと。
 - ・バックシートの外側の一部が黒く変色していたこと。
 - ・表面のガラスに亀裂が入り気泡内の圧力が低下していたこと。

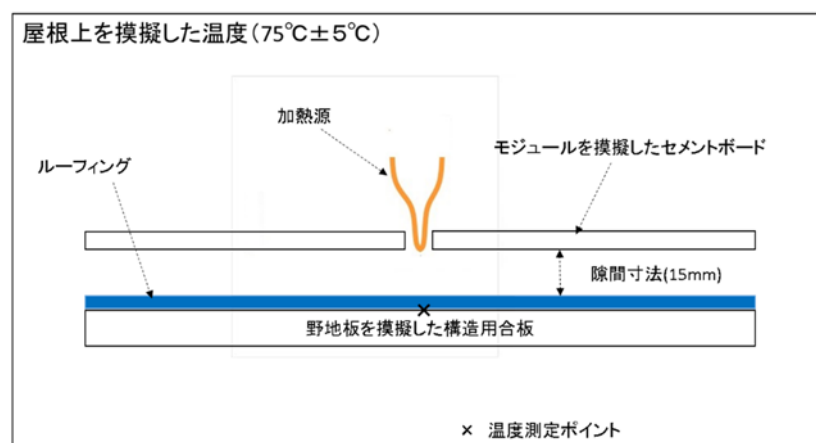
⑤ 野地板の低温発火実験

a 実験材料

- ・野地板を模擬した構造用合板 (厚さ: 12mm)
- ・ルーフィング: アスファルトルーフィング (実製品)
- ・モジュールを模擬したセメントボード
- ・加熱源: グローワイヤー (ループ状に曲げた直径 4 mm のニクロム線)

b 実験方法

- (a) ルーフィングを敷いた構造用合板から一定距離に加熱源を設置する（図F.4）。構造用合板と加熱源の距離は、野地板に延焼した火災事故等の事例において、モジュールとルーフィングの最小隙間寸法が最も短い15mmとする。
- (b) 屋根上を模擬した温度環境（ $75^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ）¹¹³の中で、加熱源の温度を 200°C から 700°C まで 100°C 単位で上昇させ、構造用合板の表面温度を測定する。平衡状態が1時間継続した後、加熱源の温度を 100°C 上げる。なお、本実験では構造用合板の裏面からの放熱は考慮しない。

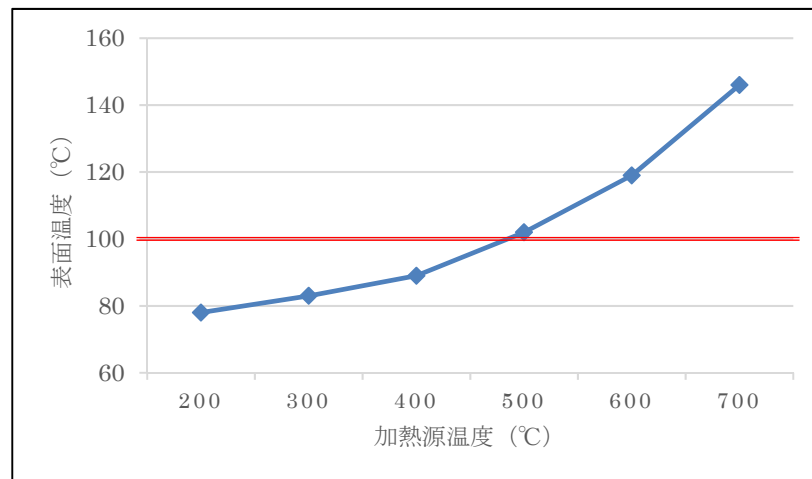


図F.4 野地板の輻射加熱実験の概略図

c 実験結果

加熱源の温度変化に伴う野地板を模擬した構造用合板表面温度の変化を図F.5に示す。加熱源の温度が 500°C を超えると表面温度は 100°C 以上に上昇した。

¹¹³ 参考資料A（11）製造業者の調査報告書に、「現在の太陽電池モジュール型式認証試験では「バイパスダイオード温度試験」が規定されています。条件は周囲温度 75°C で～その条件に従い実施しました。」という記述があったこと、及び「International PV Module Quality Assurance Forum」の活動の中で端子箱の耐久性試験の周囲温度は 75°C と 90°C で実施するとの記述があり、本試験の温度環境は $75^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ とした。



図F. 5 加熱源の温度と表面温度の変化

d 考察

加熱源が 500°Cを超えると野地板を摸擬した構造用合板の表面温度は低温発火の可能性のある 100°C以上に上昇することを確認した。木材は約 100°Cで約 100 日間継続すると発火するとされているが、500°Cに達するモジュールの異常発熱が 100 日間継続する可能性は低いと考えられる。