

洪水・高潮等の水害時に発生した 太陽光発電設備の火災

Photovoltaic Power Generation Equipment Fires Occurred by the Flood Damage such as a Flood and a Storm Surge

田村裕之・松崎崇史*

1. はじめに

2018年は豪雨や台風による水害がいくつも発生し、土石流、洪水、高潮などの被害があった。なかでも7月の西日本豪雨、9月の台風21号の上陸は多くの被害をもたらした。我々は、水害発生時に太陽光発電設備で火災が起こっているのではないかと考え、洪水や土石流による被害が多かった地区や高潮の被害を受けた地区の消防本部に対して、水害時の火災の有無や出火部分の詳細、推定される原因などを消防本部から聞き取った。ここでは、水害による太陽光発電設備の火災の状況について報告する。

2. 平成30(2018)年7月豪雨(西日本豪雨)

平成30年7月豪雨では、山口県、広島県、岡山県、島根県、愛媛県をはじめとして、西日本や北海道、長野県など広い範囲で洪水、土石流、土砂崩れが発生し、甚大な被害が出た。これら水害のあった地域で、水害発生後に火災が発生したかをいくつかの消防本部に問い合わせた。火災の発生があった場合には、電気火災であるかどうか、出火場所、出火原因について確認した。また、消防本部を訪問し、火災現場の写真等を見せてもらいながら、情報を収集した。

2.1 発生火災の概要

西日本豪雨で被害のあった広島県内で5本部、岡山県内で3本部、愛媛県内で1本部の計9本部に電話で問い合わせを行った。岡山県の1本部は火災の発生は無いとのことであったが、他の8本部は、水害の中で何らかの火災が発生していた。8本部の合計で17件の出火を確認しているがうち4件は、土砂被害がひどく調査が満足に行えなかった。残る13件は、土砂崩れや土石流が原因と思われる事例が4件、浸水が原因と思われる事例が8件、豪雨と

の関連が不明の事例が1件であった。この13件のうち、太陽光発電設備からの出火事例が8件であった。

2.2 出火事例

8件の事例一覧を表1に示す。表中のパワコンはパワーコンディショナーのことである。以下に個々の出火事例を紹介する。事例8件のうち、6件が住宅用システムから、2件が発電所システムから出火した。すべてが洪水による浸水被害である。

【事例1】

2階床まで浸水した2階建て住宅で発生した。住宅1階外壁に設置されていた太陽光発電設備のパワコン2台のうちの1台から煙が出ているとの通報を受け、消防隊が確認したところ、配線被覆の一部が溶融していた。モジュールからの電力が供給されているパワコンの入力端子部分に溶融が確認できた。直流開閉器を切断後、住民に感電危険の注意喚起をした。

【事例2】

2階の屋根まで浸水した2階建て住宅で発生した。住宅1階外壁に設置されていた太陽光発電設備のパワコン3台のうちの1台から煙が出ているとの通報を受け、消防隊が確認したところ、煙はおさまっており、直流開閉器及び分電盤のブレーカーが切断されていることを確認した。

【事例3】

2階床まで浸水した2階建て住宅で発生した。住宅1階外壁に昇圧器と蓄電池装置が設置されていた。1階浴室脱衣所に設置されていた住宅用太陽光

* 消防庁消防研究センター
技術研究部 大規模火災研究室
(〒182-8508 東京都調布市深大寺東町4-35-3)
e-mail: tamura@fri.go.jp

表1 水害による出火事例一覧

	日付	被害状況	形態	出火場所
事例1	7月9日	7月7日 2階床まで浸水	住宅	パワコン
事例2	7月9日	7月7日 2階屋根付近まで浸水	住宅	パワコン
事例3	7月10日	7月7日 2階床まで浸水	住宅	パワコン
事例4	7月10日	7月7日 1階天井まで浸水	住宅	パワコン
事例5	7月12日	7月7日 1階床上まで浸水	住宅	パワコン
事例6	7月9日	7月7日～8日 3mまで浸水	住宅	パワコン
事例7	7月10日	7月6日23時～7月7日 2.3mまで浸水	発電所	接続箱
事例8	7月9日	7月7日2時～9日未明 70～80cm浸水	発電所	接続箱

発電設備のパワコンから火花及び白煙があがっているとの通報を受け、消防隊が確認すると断続的に放電の火花とパチパチ音を確認した。脱衣所内の分電盤の開閉器や太陽光発電用ブレーカーを開いても放電は収まらず、屋外の昇圧器の開閉器を開くと放電は止った。モジュールからの電力が供給されているパワコンの入力端子部分に溶融が確認できた。

【事例4】

1階天井まで浸水した住宅で発生した。住宅1階に設置されたパワコンから白煙があがっているとの通報を受け、消防隊が確認したが、火煙は認められなかった。また、パワコンのフロントカバーを開けたが、溶融は認められなかった。太陽光発電設備の直流開閉器が開になっていることを確認した。

【事例5】

1階床上まで浸水した住宅で発生した。住宅1階に設置されたパワコンから白煙があがっているとの通報を受け、消防隊が確認したが、火煙は認められなかった。直流開閉器、パワコンブレーカが開になっていることを確認した。

【事例6】

約3mの深さで浸水した2階建て住宅で発生した。水害後の片付け作業中に「ボン」という音で振り返ると、住宅1階に設置されたパワコンから黒煙があがっていた。その後発炎し、住民が消火器で消火し収まった。2階のベランダに接続箱があったが、直流開閉器を開にしていなかった。接続箱の鍵は、住民ではなく電力会社が保管していた。パワコンでは、「パチ」という音が継続し、発火、発煙も継続していたが、接続箱内の直流開閉器を開にするとこれらは収まった。パワコン内には泥が付着しており、この影響で絶縁劣化が起こり、短絡等により配線被覆や樹脂等に着火したものと推定された。

【事例7】

水深2.3mまで浸水し、モジュール表面まで水没

した太陽光発電所で発生した。発電所は総出力約200kWで、直流電圧は最大600Vで、送電は交流6600Vである。モジュールは約740枚、接続箱は7個を有していた。浸水2日後に接続箱2個から白煙を確認し、消防隊が駆け付け、電気保安協会の作業員が直流開閉器を開にしたあと焼損を確認すると、接続箱7個中4個が焼損していた。電気保安協会の作業員は、焼損の激しい2個の接続箱の開閉器操作はできなかつたため、これら2個の接続箱は浸水3日後に再び出火した。モジュールからの電力が供給されていた端子部分の絶縁が浸水の影響で低下し、発火に至ったと推定された。

【事例8】

水深70～80cmまで浸水し、接続箱が水没した太陽光発電所で発生した。浸水2日後に、接続箱から炎が上がりモジュールまで燃え広がりそうであるとの通報があり、現場で確認すると、接続箱9個中8個とモジュール2枚が焼損していた。消防隊が到着する前に、設置業者が配線を切断し消火した状態であった。接続箱内には泥が付着しており、この影響で絶縁劣化が起こり、短絡等により配線被覆や樹脂等に着火したものと推定された。

【事例1～8の傾向】

浸水被害を受けた後、2日または3日後に出火していた。浸水翌日もまだ雨模様の天気であったため太陽光発電設備の発電が弱かったが、2日後には天気が回復したため、2日または3日後に出火したものである。住宅の太陽光発電設備が浸水被害に遭った総数は分らないが、出火件数は9消防本部で6件であった。太陽光発電所では、接続箱の出火が多い。接続箱はモジュールの陰（下）に設置されていることが多いため、水没の可能性が高い。また、今回の事例でみると、発電所の直流電圧は住宅用の2倍程度になっていたため、短絡や漏電が起こった際のエネルギーが大きくなる。そのため、発火しやすいと

言える。水没してしまった太陽光発電所の接続箱は、日射が回復すると発火する危険性が高い。

3. 2018年9月の台風21号

9月4日に日本列島を通過した台風21号は関西圏に暴風と高潮をもたらした。この高潮により、海岸沿いに設置されていた太陽光発電所へ海水が流入し、太陽光発電設備の一部が海水に没した。この発電所の接続箱が、浸水時と水がある程度引いた翌日に出火した。

3.1 火災概要

台風が通過した後、9月4日16:00頃に出火し、16:06に119番通報があった。付近の住民がバンッバンッという音を聞き、太陽光発電所の方を見ると2ヶ所から白煙が立ち上るのを確認したため、119番通報した。消防隊は、9月4日に接続箱1個に対する消火活動を行い、接続箱2個の自然鎮火を確認した。翌日から太陽光発電設備の被害確認が行われ、接続箱651個のうち65個で発火やアーク痕を確認した。

3.2 太陽光発電所の設備

この発電所は運用を開始してから約3年を経過していた。総発電出力は29,700kWで、モジュール枚数は約15万枚、直流電圧は約600V（モジュール16枚直列の電圧）、接続箱は651個（15Aヒューズ、避雷器内蔵）、パワコンは61基である。

3.3 接続箱の状況

接続箱の配線前の状況は図1の通りで、上部には開閉器とバスバー、上部左に避雷器、中段より下部には入力端子がある。開閉器の部分には透明アクリルの保護板が設置されている。入力端子は上下2段

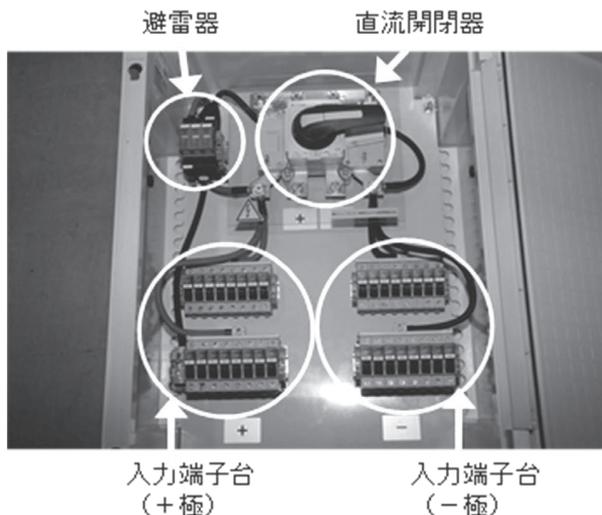


図1 接続箱内の機器の配置 (同型新品)

バスバーの溶断

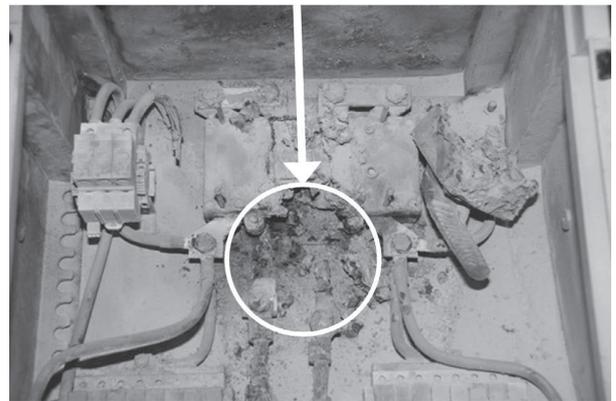


図2 バスバー付近の焼損状況

となっており、左に+極が16回線、右に-極が16回線ある。太陽電池モジュールからのケーブルは接続箱の底面から挿入される。開閉器の下にある+と-のバスバーの端子は出力用で、出力ケーブルはこの端子からまっすぐ下に延ばし底面から送り出される。接続箱の火災状況をすべて紹介できないが、特徴のある事例を3つ記載する。

(1) 接続箱上部部品付近の焼損

接続箱内上部にあるバスバー付近や避雷器付近が焼損している。図2は開閉器のハンドルが既に脱落し、バスバーが溶断するほどに焼損している。図3は避雷器付近の写真で、つなぎ込まれている両極の端子部分で焼損している。浸水被害の時、接続箱全体が水没するくらいまで水面が上昇していたと思われる。

(2) 接続箱下部接続端子付近の焼損

接続箱内中段より下部にある入力端子の両極付近が焼損している。図4は下部の入力端子台部分が両極とも焼損し、ケーブルが端子台部分で溶断してい

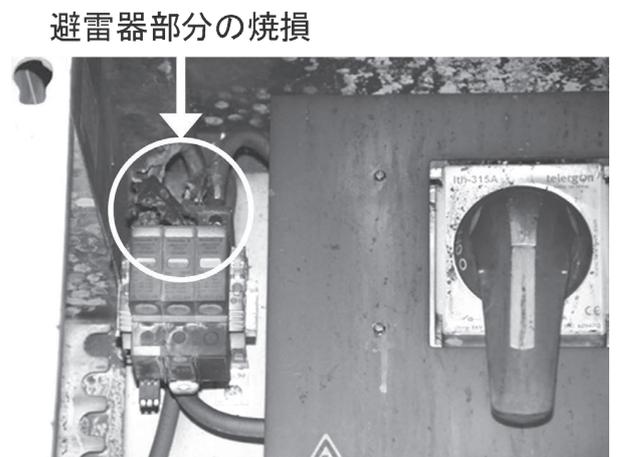


図3 避雷器付近の焼損状況

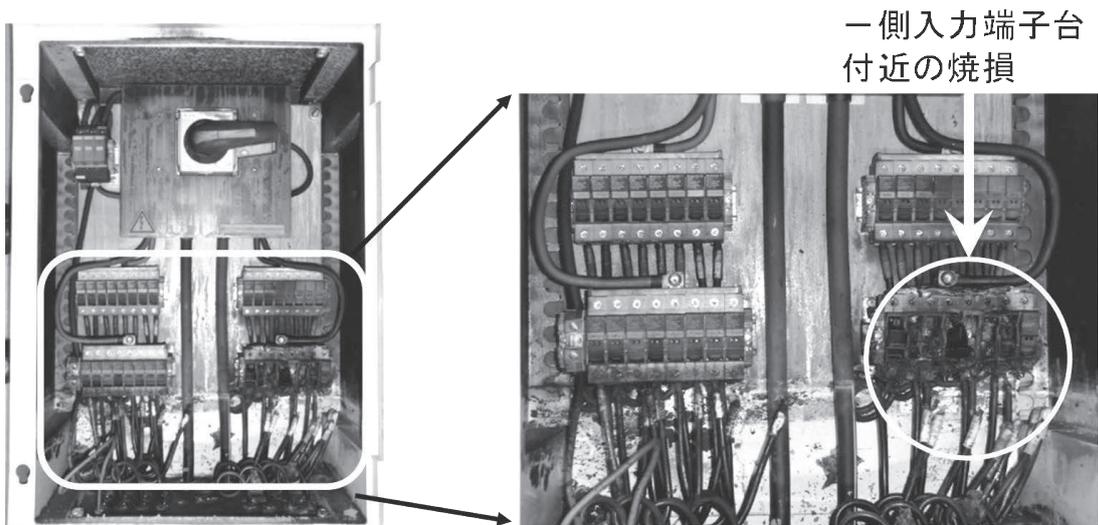
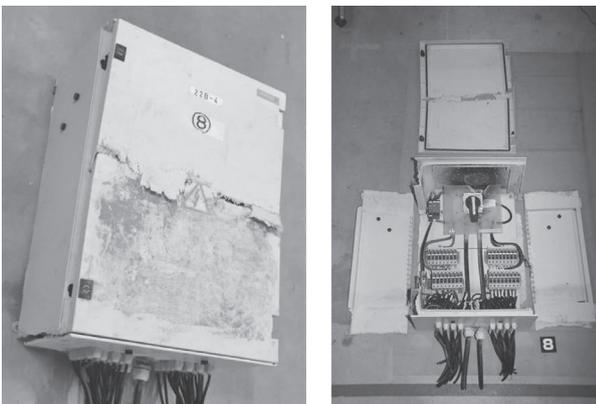


図4 下部端子台付近の焼損状況

るものが多い。図4の場合は、入力端子台のうち、上部の端子台では接続しているケーブルと端子台での焼損がない。浸水被害の時に、海水面が下部端子台を隠すくらいまでしか上昇していなかったと思われる。

(3) 接続箱が破裂した事例

火災の通報者は、バンッバンッという音を聞いて発電所の方に目を向けた、と言うことであったが、この音の原因と思われる状況が見分された。図5に示した接続箱は、正面の蓋が外れ、上下に破断していた。また、側面の板は左右とも外れていた。状況としては接続箱内部で爆発が起こったと考えられ、そのときの音がバンッバンッと聞こえたと推定される。接続箱内部で爆発が起こる可能性としては、海水の電気分解により発生した水素が箱の中に溜まり、何らかの火花や高温物により着火したものと考えられる。なお、写真の接続箱以外に複数の壊れた接続箱が確認されている。



復元した接続箱の外観 蓋や側板を展開した状況
図5 爆発により破壊された接続箱の状況

3.4 通電実験

太陽電池モジュールからのケーブルの端子が海水に浸かった場合、どのような振る舞いをするかを確認するため、火災の発生した発電所内で、樹脂ケースに海水を貯め、ケーブル端子を水没させて実験を行った。電源として実際の太陽電池モジュールの出力を用い、実験時の開放電圧は図6に示すように566Vであった。天気は快晴ではなく図7のように薄曇りであったため、定格出力には届かなく、さらに雲の濃淡により出力は変動していたことが確認できた。

図8が実験を行った様子である。模式的に書くと図9のようになる。実際の接続箱内の入力端子は下からケーブルをつなぎ込んでいるため、この実験で



図6 スtring (太陽電池モジュールを16直列) の出力電圧測定



図7 実験当日の空模様（薄曇りではっきりとした影ができていない）

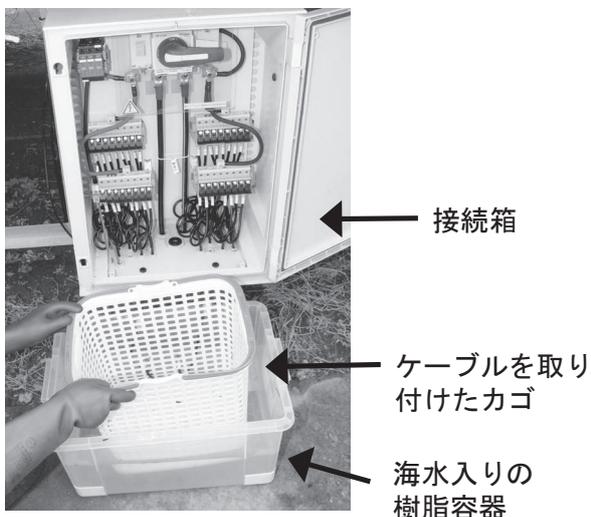


図8 出力ケーブルの海水への水没実験の様子

も水中から銅線部分が出ている状態から実験を開始した。徐々にケーブルを水中に沈めていくと電気分解が開始され、 $-$ 極から水素が、 $+$ 極から酸素が発生した。銅線部分を水面で上下させると、 $-$ 極及び $+$ 極でバチバチと放電が始まった。 $+$ 極の放電の様子を図10に示す。銅線が完全に水没すると、両極からガスが発生した。再び水面付近で銅線部分を上下させると、放電とガスの発生が継続し、およそ60～70秒後に $-$ 極で発炎が確認できた。 $-$ 極での発炎の様子を図11に示す。電気分解で発生した水素が空気中の酸素と混ざり、放電のエネルギーで着火したと思われる。発炎状態でケーブルを水没させると、水中で発炎が継続した（図11参照）。水中で

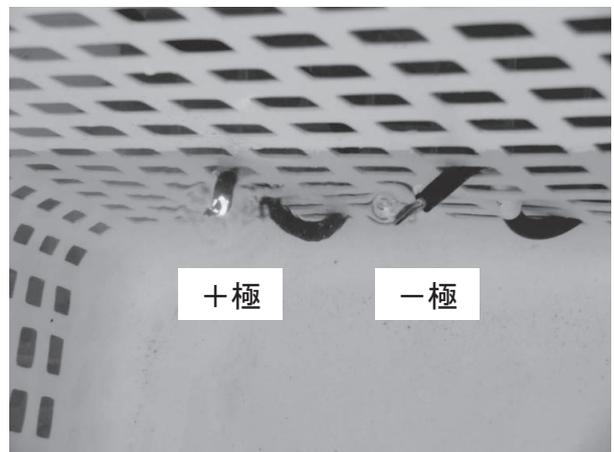


図10 $+$ 電極での放電の様子

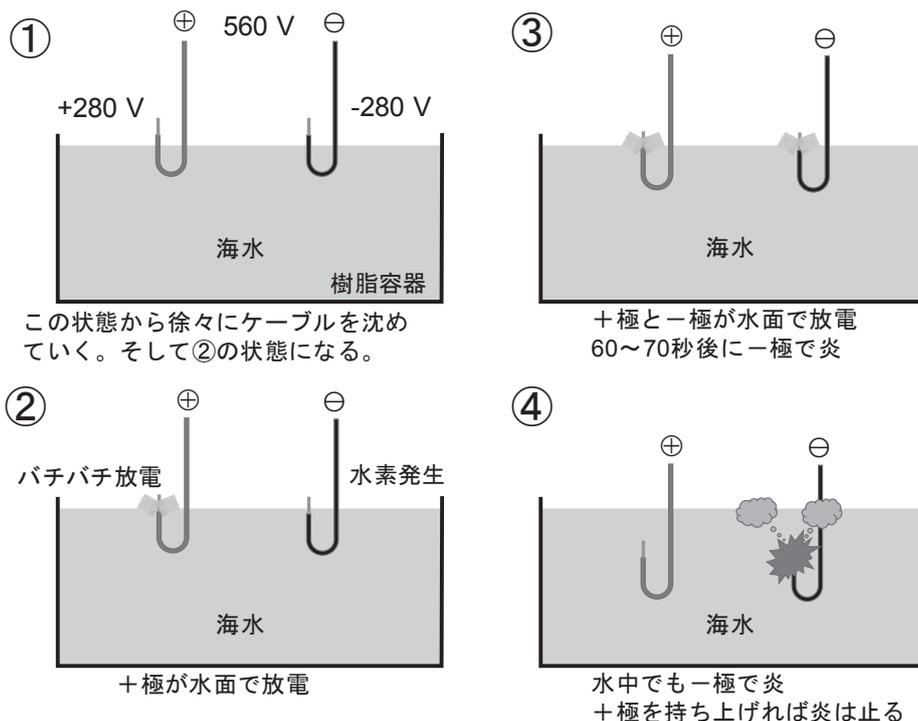


図9 水没実験の概要

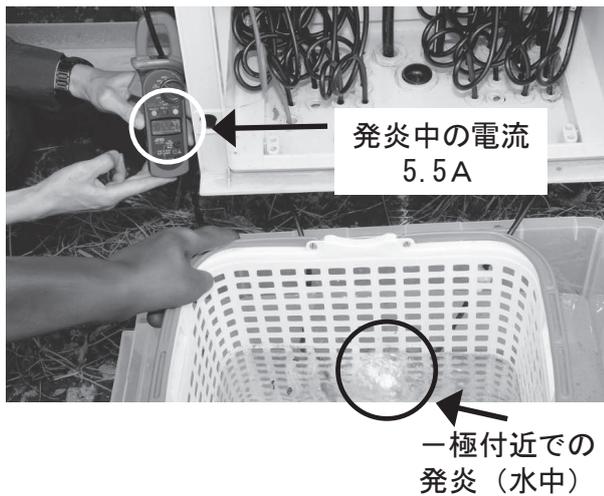


図 11 一電極での発炎と発炎中の電流値

の酸素供給がどのように行われたかの確証はないが、水素と放電エネルギーは存在するので、酸素があったがために水中での発炎が継続したと思われる。モジュールの公称最大出力動作電流は8.15Aで、水中で放電や発炎が続いている間は公称最大出力動作電流の7割以上の約6Aの電流が流れていた（図11参照。図11では5.5A）。消防隊が現場に駆け付けた時、雨はやんでいたという証言があるため、曇り空での発電があったと思われる。記録上は9月4日の発電量は17,520kWhであった。

今回の実験により、接続箱内に海水が浸入し、直流の高電圧がかかっている端子やケーブル部分が水没すると、水素や酸素が発生することがわかる。また、高電圧の端子やケーブル部分に海水面が来ると、放電が発生する。この放電により、発生した水素ガスが着火することにより、接続箱を破壊するような爆発が発生したと考えられる。また、一極では端子台に接続したケーブル部分で放電や火炎が発生するため、端子台の溶融や銅線の溶断、図12のようなケーブル被覆の焼損が起こったと考えられる。+極では、海水の電気分解で銅が溶け出し、銅線がやせ細ることが見られた。太陽光発電所では、ストリングの直流電圧は住宅用の2～3倍の高さになっているため、放電や絶縁破壊が起こりやすい。高潮の場合、海水には導電性もあるため、放電や短絡に近い状態を作りやすい。そのため、水没した接続箱で多くの被害が出たものとする。接続箱内の海水面は浸水の深さに依存するが、接続箱の水密性の度合い

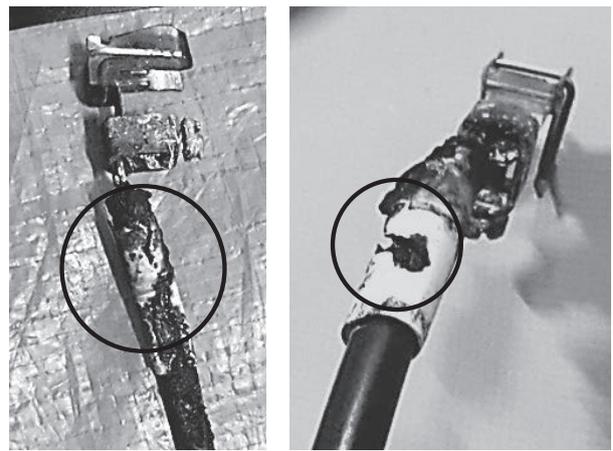


図 12 端子台に接続されたケーブル端部の被覆が溶融した状況

により液面上昇や降下の速度に箱毎の違いが出る。今回の実験のように高潮による浸水で激しい放電や発炎が起こるが、それらが継続する時間は、水はけが良ければ短時間に、水はけが悪ければ長時間になると思われ、接続箱内の被害の程度に差が生じることとなる。

4. まとめ

洪水や土石流、高潮などの影響で、特に電気に着目して火災が発生したかどうかを調べた。床上まで浸水してしまった建物でも、火災になっている建物は少ないことが分った。洪水により出火した事例で、出火原因に電気が関連していたのは、すべて太陽光発電設備であった。地域が停電していても、日射によって発電が継続してしまうためである。住宅用太陽光発電設備ではパソコン、太陽光発電所では接続箱から出火する事例が目立った。高潮の被害では、海岸の太陽光発電所で、接続箱からの出火が多発した。接続箱が海水に浸かった場合、接続箱内で水素の発生や電極部分での放電や発炎が確認された。高潮の場合の太陽光発電所は、ストリングの電圧が住宅用よりも高いこと、塩分等を含んだ海水のため導電性が高いため放電時の電流量が多くなることなどから被害が多くなったと思われる。

田村 裕之 消防研究センター技術研究部大規模火災研究室長
 松崎 崇史 消防研究センター技術研究部大規模火災研究室