

首里城炎上⑫ 状況証拠から火災原因を探る！ －「発火源は延長コードのショート」の証拠あり！－

技術士（衛生工学・建設・環境）・甲種危険物取扱者等
環境計画センター 会長代行 鍵谷 司

はじめに

前回の『環境施設』170号（2022年12月）では、「首里城炎上⑪ なぜ、首里城は全焼したのか？－発火原因と消火の機会を探る！－」と題して、首里城が全焼を防げた機会の有無について考察した。とくに、分電盤室には見学通路があり、その上に照明用延長コードがはみ出していたので、踏みつけられる等によりコード撚り線の一部が破損・発熱したと推測され、「過失」の可能性が高いことを指摘した。とくに、①分電盤室に煙センサーがないこと、②火災報知器（温度センサー）の低い感度、③奉神門警備室で火災報知が確認されたが、初期消火に失敗、④消防車の進入が困難、放水は短時間で水量低下、などが首里城全焼に至った要因であると結論した。

ところで、那覇市消防局では、「物的証拠」に重点をおいて徹底的に現場を調査したが、証拠を見出すことはできなかった。唯一、焼け跡からは多数の熔融痕が発掘された。この熔融痕が、コードの短絡あるいは火災時の高温によるか、明確に判断できないとして「原因不明」と結論した。この結論により、国から沖縄県に管理を委託されたわずか9ヵ月後に首里城が全焼したにも関わらず、誰一人として責任を追及されることはなかった。

正殿全焼の様子は、室内および外部の監視カメラに記録されており、4台の映像が公開されている¹⁾。編集はされているが、火災の初期から全焼に至る火災の推移を把握できる。とくに、発火元とされる分電盤室で起こった微光からフラッシュ光は、火災の前兆であるにも関わらず、十分な説明がされていない。また、焼け跡から発見された

コードの熔融痕は、唯一の物的証拠であるが、燃焼実験の結果では、原因を確定できなかった。つまり、発光の原因を確定できないため、発火地点や着火物や延焼媒体となる可燃物の検討ができず、不明瞭な火災原因判定書になっている²⁾。

監視カメラ映像で記録された微かな発光からフラッシュ光、コードの熔融痕等から発火源とされる電気的な異常であると指摘しつつ、コードの短絡であると言い切れない慎重さが目立つ。ここでは、消防試験研究センターによる燃焼実験および通電していない送風機コードに熔融が認められなかったことから、発火はショートによるものであることを指摘する。

4. 「状況証拠」から火災原因を探る！

那覇市消防局は、火災原因の究明にあたり、関係者への聞き取りや焼け跡の状況を詳細に調査し、火災出動時における実況見分等の膨大な調査に基づいて、火災原因判定書をまとめている。しかしながら、火災原因を「物的証拠」にこだわりすぎ、確たる証拠を得られることなく「原因不明」と結論付けた。巨大建造物である正殿が全焼した焼け跡に何が確認できれば「原因究明」ができるのであろうか？ 最も大きな疑問は、外部からの放火や火源のない分電盤室で起こった微光やフラッシュ光の発生を解明せずして原因究明ができるはずがない。監視カメラの映像は、火災の真実を伝える唯一の状況証拠であり、発光の原因やその推移を解明することが基本であろう。

4. 1 微かな発光からフラッシュ光の意味することは！

内閣府沖縄総合事務局より、正殿内外を撮影した4台の監視カメラの映像が10分間に編集されて公開されている。「状況証拠」は、監視カメラの動画であり、火災現象および記録した時間帯に基づいて考察した。以下に、カメラの特徴とその位置、および起こった現象を時系列で示した。なお、監視カメラ同士の時刻には、2分程度の誤差があるので、これを修正した時刻（分表示）と発火元の分電盤室を記録した正殿裏側監視カメラ（ヨコホリデン；分秒表示）の時刻を示した。なお、委員会報告書では、時分秒まで記述されている³⁾。

(1) 監視カメラの配置について

監視カメラは、わずかな光を感知して夜間や暗い場所をカラーで撮影することができるが、撮影には豆電球程度の明るさが必要であり、完全な暗

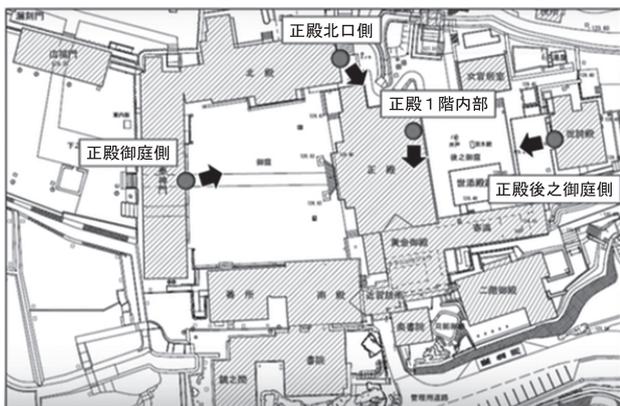


図1 公開された4台の監視カメラの配置図

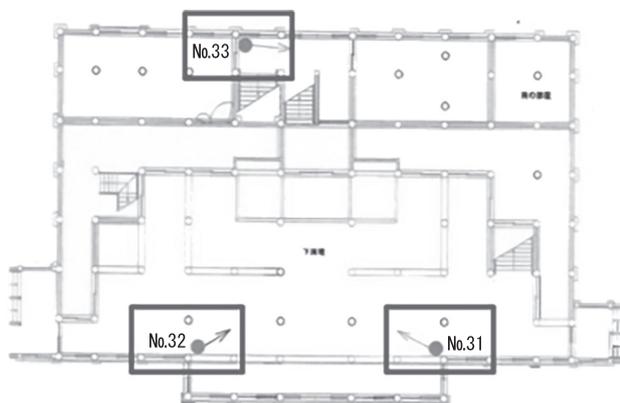


図2 正殿1階の監視カメラ位置

闇では撮影できない。正殿を内外から撮影できる監視カメラは、合計42台であった。このうち、図1と図2に示した正殿で発生した火災の様子を外部から撮影した3台（正殿御庭側、正殿後之御庭側、正殿北口側）および正殿1階内部（裏側中央階段）の計4台の監視カメラ映像が公開された。写真1は、室内カメラの消灯前の写真であるが、解説がないので、分電盤室とのかかわりは読み取れない。また、正殿1階から分電盤室に繋がる奥の廊下付近を見下ろすように2階に監視カメラが設置されている。その画像（映像ではない）が公開されており、その配置を図3に、消灯前の状態を写真1に示す。

(2) 微光感知からフラッシュ光発生の際とその原因について

発光の時系列は、表1に示す通りである。



図3 正殿2階の監視カメラ位置



写真1 No.33監視カメラの消灯前の画像

①微かな光の検知；2：30（02：31：12） 正殿内東側出口付近の室内で何かが一瞬小さく発光
 感知した室内監視カメラ（No.33）は、分電盤室に隣接する中央階段のリフトに設置されている。委員会報告書第4章p.81では、「火元と思われる北東側と反対の方向を撮影する形で南向きに設置されていた監視カメラ（No.33）は、午前2時30分25秒に室内で小さな光を一瞬だけ捉えていたが、当該光の原因および火災との因果関係は明確ではない。」としている。

しかしながら、分電盤室と中央階段との間は、板戸と引き戸で仕切られているので、室内の微光が漏れるとは考えにくい。また、煙の流れを解析した結果では、煙が奥の廊下へ流出していたので、分電盤室と奥の廊下を閉める親子扉が開いていたと考えられる。つまり、奥の廊下に漏れた微光が、分電盤と反対方向を向いていた監視カメラに感知されたものと推測される。

〈小階段下を撮影した2階監視カメラでは！〉

ところで、委員会報告書第4章p.83の表4.5：カメラNo.37の画像説明に「2階階段付近のカメラに微光（ポールの反射か？）」との記載がある。このカメラは、小階段の2階から1階奥の廊下を見下ろすように設置されている（図4、写真2）。奥の廊下との仕切りがないこと、分電盤室に近く親子扉が開いていれば微光であっても感知されそうである。

（3）フラッシュ光は何を意味するか？

室内カメラが微光を感知し、その約13分後に裏側外部監視カメラに分電盤室付近で小さな発光を捉えている。その後3分程度、映像がカットされているので、詳細は不明であるが、急に大きなフラッシュ光が捉えられている（写真3）。なお、フラッシュ光を感知した時点では、すでに室内は黒煙が充満していたことがわかっている。

このように分電盤室では、無炎燃焼により煤を大量に含んだ熱分解ガス（煙）が溜まっていた。電気的なショートによる閃光であれば、単なる発光が記録されているはずであるが、映像では大き

表1 捉えられた発光の経緯（主にテロップ）

- 2：30（02：31：12） 室内カメラ；正殿内東側出口付近の室内で何かが一瞬小さく発光
- 2：37（02：39：41） 正殿1階室内カメラ映像が落ちる
- 2：42（02：45：01） 裏側木戸から黒煙噴出（警備員確認）
- 2：43（2：45：23） 裏側屋外監視カメラ；正殿裏側の東面1階で小さな発光を捉える
- 2：43（02：45：27） 裏側屋外監視カメラにフラッシュ光、頻繁に繰り返す
（2：43～2：46の3分08秒が編集でカットされている）
- 2：46（2：48：52） 裏側屋外監視カメラ；中央階段付近に中程度の発光が繰り返す
（3：09（03：11：23）～3：23（03：25：29）の13分43秒が編集でカットされている）
- 3：23（03：25：29） 中央階段付近で大炎上

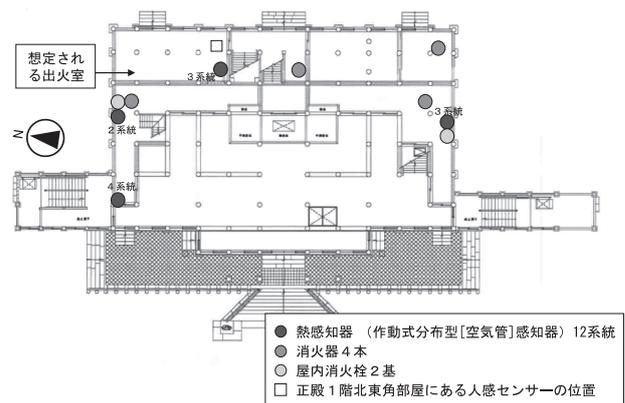


図4 正殿1階の警報、消防設備等の配置¹⁾



写真2 2階監視カメラ（No.37）消灯前小階段



写真3 分電盤室で捉えられたフラッシュ光



写真4 中央階段付近に移動した火柱

なフラッシュ光が繰り返し記録されている。フラッシュ光は、発生した煙にショートで発生した高温の閃光が反射した散乱光であると解釈することができる。映像の時系列をみると、微光から3秒後に大きなフラッシュ光が記録されているので、この時点ですでに煙が溜まっていたことを示唆する。

なお、煙のみではフラッシュ光は発生しないので、フラッシュ光が繰り返されたことは数多くのショートが起こったことおよびフラッシュが途絶えたことは完全に断線したことを意味する。最終的に分電盤室に大量に蓄積した煙（熱分解ガス）が隣接する中央階段に流出し、空気と混合して輻射熱等により一瞬で爆発的な燃焼が起こり、大炎上に至った（写真4）と推測できる。

4.2 発火は、電氣的なショートか？ 火災時の高温か？

那覇市消防局が、聞き取りや焼け跡における物

的証拠を探索したが、確たる物的証拠を見出すことはできなかった。分電盤室が発火元であることは、警備員や消防関係者に対する聞き取り調査や外部監視カメラの映像から判断しているが、発火原因については不明としている。従来の配線はほぼすべて金属管内に納められているが、新たに見学通路に設置された2基のLEDランプの電源は、分電盤側底部のコンセントから延長コードを配して繋いでいた。このコードは露出し、しかも通電中であったことからショートによる発火が疑われる。

(1) 延長コードおよびLED照明コードの配置と発火原因

那覇市消防局の火災原因判定書で延長コードおよびLED照明の溶融痕について次の結論を導いている。要旨をまとめると次の通りである（火災原因判定書：p.13）。

- ①分電盤室には、溶融痕のある断線した電気配線や銅粒、その他金属の溶融物が複数見分でき、それらは北側半分の西側（露出したコードの配置付近）に集中しており、LED照明の土台発掘位置付近まで点在する。
- ②電灯分電盤の電源は21時30分に自動的にブレーカーが遮断されるが、延長コードのコンセントは、自動遮断ブレーカー以外のブレーカーを経由しており、通電状態であった。
- ③分電盤側底部の後付けコンセントは、送風機とLED照明器具電源に使われていた。送風機の差し込みプラグはコンセントから抜かれていた。なお、このコードは、「邪魔にならないように後付けコンセントから北壁面沿い、西壁面沿いに這わせ、コードの固定や保護はしていない」との説明があり、配置図とも一致していた。つまり、近傍にある送風機のコードには通電されていなかった。
- ④消防試験研究センターは、コード類などの加熱実験を行っている。その結果では、短絡で生じた溶融痕も高温で部分的に溶融することが確認されている。

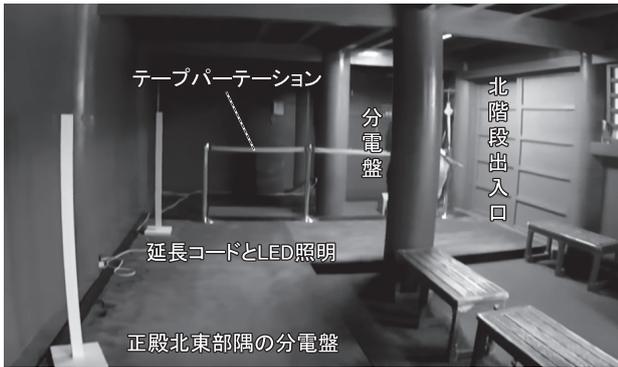


写真5 分電盤室の見学通路と2基のLED照明灯

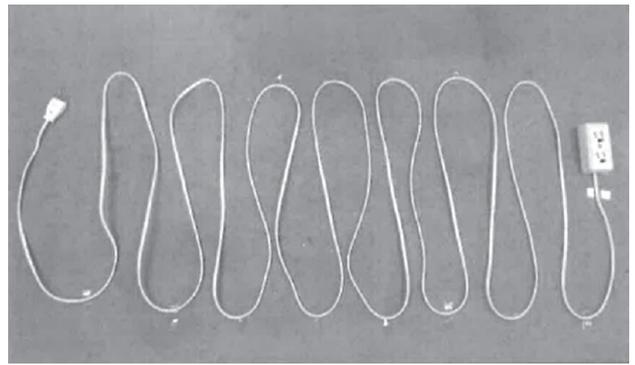


写真6 二口タップ付き延長コード

しかしながら、後付けコンセントと延長コード配置の実態は、以前に見学者の撮影した分電盤室(写真5)に写っており、延長コード類がずさんに見学通路にまではみ出し、見学者の邪魔になったことは一目瞭然である⁵⁾。なお、火災原因判定書(p.14)でも「引張りや踏みつけやいたずら等により断線や配線被覆の劣化等があったと考えられ、埃や水分等の影響による延長コードとLED照明のプラグ接続部分でのトラッキングについても可能性を否定できない」と記載されている。

※トラッキング現象；コンセントと電源プラグの間に埃が溜まり、湿気が加わると、電源プラグ間で火花放電が起こり、絶縁部が劣化してやがては放電を起こし、発火する現象。

(2) 消防試験研究センターによる燃焼実験の概要

本実験の目的を「二口タップ付き延長コードに接続されたLED照明器具を、建物火災の現場を想定した高温状況下におくことで、各金属部品にどのような変化を生じるかを観察するものである」として下記の3種類の燃焼実験(実際は加熱実験)を行っている。なお、燃焼実験で用いられた延長コードは約7.5mであり、照明灯(黒塗り)とコードは長さが約1.5mであり、差し込みプラグからスライドスイッチまでが約1m、スイッチから照明灯まで約50cmであった。

○実験および物品等；火源を炭火とし、電気火災実験盤上(鉄板)に対象物を置き、加熱して様子を観察した。対象物は、二口タップ付き延長コード(写真6)、LED照明灯とコード(写真

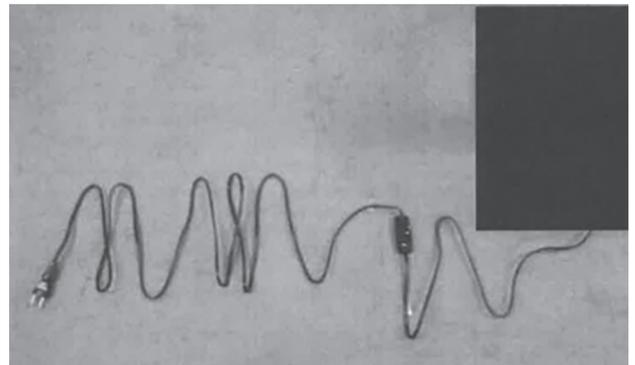


写真7 照明灯用コード



写真8 スライドスイッチの内部構造

7)、スライドスイッチ(写真8)、プラグ等であり、データロガーで温度を測定した。

[実験1] 想定された現場状況を模擬

- ①LED照明器具を二口タップに接続
- ②LED照明器具のスイッチをオフ
- ③二口タップ付き延長コードは電圧印加状態(通電)

[実験2] コードに通電していない場合を模擬

- ①LED照明器具を二口タップに接続
- ②二口タップ付き延長コードおよびLED照明器具

は電源に接続しない

[実験3] 溶融痕の加熱実験

- ①LED照明器具を二口タップに接続
- ②二口タップ付き延長コードおよびLED照明器具は電源に接続しない
- ③LED照明器具プラグとスイッチ間コードを短絡して溶融痕を作成
- ④二口タップ付き延長コードのタップ部分を意図的にトラッキングを起こし、溶融痕作成
- ⑤溶融痕のあるプラグさし刃、受け刃、銅粒を炭火で加熱して観察

〈実験結果〉

「通電していない実験2では、通電中よりも原形をとどめている部品は多いが、溶融している部品を判断できない。また、意図的に作った溶融痕のある金属部品も高温環境下により部分的に溶融する箇所が認められる」と報告している。

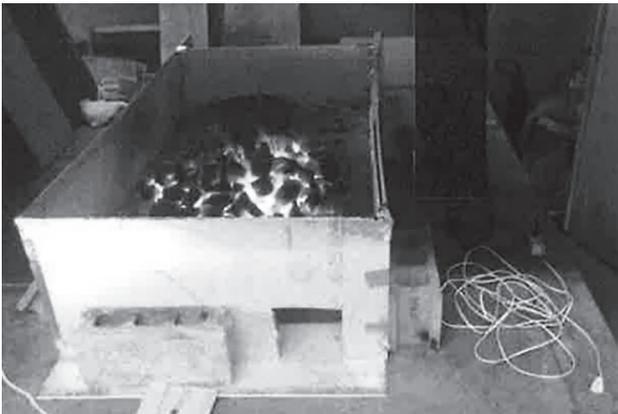


写真9 加熱実験（炭火の温度を極力最大）



写真10 試料をシャーレに入れて直火？で加熱

〈コメント〉

意図的にショートさせて作った溶融痕と正常なコードのパーツを高温で加熱したところで、ショート痕も溶解するので区別はできず、原因究明に適した実験方法とは言い難い。単に違いがないことを検証しただけであり、この実験から原因不明との結論を導くことは、論理的に無理がある。

原因を究明するためには、火災時に暴露された温度を推定した上で、電気炉による精密な温度管理のもとで加熱実験を行うべきである。対象試料としては、延長コードおよび照明灯用コードとし、加熱時の溶融状態および溶融して切断した形状を確認することが重要である。つまり、コード類が、様々な形状の溶融痕が発生するか、あるいは単に溶けて切断されるかを確認することが基本である。ショートと火災時の温度には大きな差があり、前者では金属類は蒸発を伴ってち切れ、後者では溶融して切断されると想定される。これを検証することにより、唯一の物的証拠である焼け跡で発見された溶融痕の生成がショート以外にあり得ないことを証明することができる。

(3) コードの溶融痕の判定について

火災の発火元は、正殿1階北東角の分電盤を設置した小部屋であると判定されており、その発火原因は、「後付けコンセントから引いた延長コードの電氣的異常による」と結論している。とくに、LED照明のスイッチは切られていたが、コードは、分電盤の24時間通電のブレーカーを経由して接続されていた。つまり、スライドスイッチまでは通電されていた。なお、照明灯の他の配線類は、ステンレスの配管内に収められており、防犯センサー用の配線は、1階天井を露出状態で配線されているが、センサーが作動したので、電氣的な異常はないと判断された。

その他の焼け跡の配線類の焼損状況、分布などから、発火原因は、この後付け延長コードの電氣的な異常によるものと判定している。しかし、配線類の溶融痕が多数確認されているが、ショートによるものか、火災時の高温によるものか判断で

きないとし、「原因不明」と結論している。消防試験研究センターは、焼損したこれらコード類などの部品について加熱実験を行っている。火災時の高温を炭火で再現するなどかなり大雑把な実験であり、温度の明記もない。ショートにより生じた熔融痕も部分的に溶けるとの結果があった。これは火災時の高温により熔融するので、表面の熔融状態を比べても熱熔融と区別ができないことを証明している。逆に、通電していない露出コードの熔融状態と比較することが重要であることを示唆する。

(4) 通電していなかった送風機コードは熔融していない！

電線の熔融痕が、ショートによるものか、火災時の高温によるものかを判断できないことをもって「原因不明」と結論することは、論理の飛躍であり、科学的とは言えない。単に、熔融表面を区別できなただけである。

ところで、同じ分電盤室内の延長コードの近くにプラグが抜かれ通電していなかった送風機の残骸が確認されている(写真11)。分電盤室内におけるコード類と送風機の配置のイメージを図4に示す。送風機はコードの配置位置の近傍であり、火災時には同じ程度に高温に曝されたと考えられる。そのコードは、電気的な異常はなかったため、その熔融状態について調べた。

那覇市消防局の火災原因判定書p.10において、送風機について次のように記載されている。



写真11 分電盤跡の前に送風機が見分できる⁹⁾

(ア) 実況見分調書(正殿第6回)4に記載の通り、分電盤の南方から発掘された金属製の枠と、その周囲から発掘された金属部品について、某氏の説明により、これら一式を送風機として検分すると、電気配線は短く断線しているが、断線部分に熔融痕は認められないこと。モーターのステーターコイルは全体的に焼損しているが、部分的な欠損や熔融痕が認められない事実。

(イ) 黒塗りで隠されており、意味不明につき省略。

(ウ) 前(ア)および(イ)の事実から、出火時は送風機に電圧は印加していないと考えられ、送風機から出火した可能性は否定される。

【結論】

通電していた露出した延長コードおよび照明灯コードには、数多くの熔融痕が確認されているが、すぐ傍の送風機コードは、断線していたが、熔融痕は確認されていない。仮に火災時の高温によりコードが熔融したならば、通電の有無にかかわらず熔融痕が確認されなければならない。つまり、火災時にコードが熔融温度に達して、部分的に溶けただけである。にもかかわらず延長コードに細かく多数の熔融痕が確認されたことは、電気的な

火元とみられる首里城正殿 北東側の部屋火災前のイメージ図



図4 北東部分電盤室内のイメージ⁵⁾

ショートにより溶融点を超えた高温に曝されたことを意味する。このことは、分電盤室が発火源となった電氣的な異常とは、露出した延長コードと照明灯コードのショートにより発火したことの証拠である。

【まとめ】

分電盤室における発火源は、延長コードおよびLED照明灯コードのショートによるものである。その状況証拠を整理して下記に示す。

- ①発火源の分電盤室には、電気以外の火源がないこと
- ②外部からの放火やたばこの不始末は否定されていること
- ③監視カメラには発光現象が記録されており、電気の短絡以外に発光源は存在しないこと
- ④発光は2,000℃以上の超高温で生じるが、火災前に短絡以外に高温火源は存在しないこと
- ⑤焼け跡から通電していたコードからは多数の溶融痕が確認されたが、通電していなかった送風機コードには溶融痕はなかったこと
- ⑥燃焼実験では、電線は溶けて断線するが、飛び散ったりしないこと

〈確認すべき現象〉

- ①燃焼試験は、温度制御が難しい炭火による加熱実験であり、対象物を分解してパーツ部分を取り出し、これを直接加熱に供している。原因を究明するのであれば、火災時における暴露温度を焼け跡から採取した金属等の溶融状態から推測する。次いで、所定の温度に設定した高温炉内で対象物である延長コードや照明灯コードお

よびそれぞれのパーツをそのままの状態に加熱し、昇温時における対象物の形状や溶ける様子を記録し、溶融状態や飛散状況を比較することにより、熱的溶融と電氣的溶融の違いを明らかにすべきではないか。

- ②溶融温度と溶融物の形状について；超高温の短絡では、コードの配線は、蒸発を伴い飛び散り、多数の小さな粒状物が発生する特徴がある。一方、1,100℃程度の融点を超える加熱により銅線は溶融し、断線による細線状や粒状物の生成が予想される。当然、融点を超えると銅線は溶融するが、溶融物の形状分布や飛散物を検討すべきではないか。
- ③電気火災であることは明らかであるので、送電および受電配線、とくに溶融痕等が確認された配線の太さや定格電流、および使用機器（監視カメラ、LED照明灯、送風機など）の消費電力を明らかにすべきではないか。

おわりに

様々な状況証拠から、発火の原因は、延長コードおよびLED照明灯コードのショートによるものと判断できる。今回は、いずれの地点でショートが起こったかについて精査し、ショート地点における着火物および延焼に供した可燃物について検討する。大きな疑問は、膨大な煙が発生しているながら、分電盤室では火炎が確認できず、くすぶり続けた現象を合理的に解明しなければならない。

これは、今後の早期発見および初期消火に寄与する重要な機構であり、復旧を急ぐ首里城における火災の再発防止に大きく寄与することになる。

〈引用・参考資料〉

- 1) 内閣府沖縄総合事務局；監視カメラ動画
- 2) 火災原因判定書；那覇市消防局
- 3) 首里城火災に係る再発防止策等報告書；首里城火災に係る再発防止検討委員会（令和3年3月）
- 4) 消防試験研究センター；燃焼実験
- 5) 首里城 新エリア散策；2019.5.3；ユーチューブのURL；<https://youtu.be/KLC1woBLuvk>