

## 高潮浸水による車両火災の出火原因と迅速な予防広報

神戸市消防局 村 上 大 輔

### 1 はじめに

平成30年9月4日正午頃、台風21号は「非常に強い」勢力を保ったまま、徳島県南部に上陸し、14時頃に兵庫県神戸市付近に再上陸した。「非常に強い」勢力で上陸するのは25年ぶりであり、気圧低下による吸い上げ効果と強い南風による吹き寄せ効果が大きかったことで顕著な高潮となり、神戸市では昭和36年9月16日の第2室戸台風（潮位230cm）以来57年ぶりの過去最高記録（潮位233cm）の潮位更新をした。神戸市内ではポートアイランドなどの人工島の一部が浸水するほど甚大な被害をもたらした。

### 2 急務な予防広報と具体化した原因調査

中でも台風21号が再上陸した14時台から、それまでの土砂災害等の災害に加え、高潮浸水が原因と考えられる車両火災が発生し始め、1か月以上

経った10月17日まで頻発（計14件36台焼損）していたことから、迅速な予防広報の対応に迫られた。また、効果的な予防広報には、これまでの電気系統からの出火といった漠然としたイメージでなく、明確な出火メカニズムを伝えた上で対応策を訴えることが必要と考え、より具体化した原因究明の解明に努めた。（写真1）

### 3 各合同見分の結果

合同見分の結果は表1のとおりである。

全14件中11件が駐車中に発生し、多くがエンジンをかけていない状況で出火していることが分かる。原因別に見ると、14件中13件が電氣的要因とし、その内9件がトラッキングであり、電氣的要因以外の1件はエンジンオイルが漏洩して、排気管で発火したことが原因となっている。高潮浸水による一連の火災の中で、一番原因として多かつ



写真1 焼損車両の状況

た「駐車中に車内コネクタ部のトラッキングからの火災事例」について、トラッキングに至った原因認定の経緯を踏まえて詳述していく。

表 1 台風21号時の神戸市内での車両火災状況

覚知	発生状況	被害状況	調査結果
9月4日			
14:50	駐車中に運転席から炎	ダッシュボード付近一部焼損	PTCヒーター基板の電源線間でトラッキング
15:28	駐車中に車内から黒煙及び炎	ダッシュボード付近一部焼損	EPS から電氣的要因により出火
15:34	駐車中に車内から炎	車両5台全焼損 車両11台一部焼損	北西側2台の車両構造部で電氣的要因により出火
15:58	駐車中に車内から白煙	運転席シート付近一部焼損	パワーシートのスイッチ部でトラッキング
16:03	駐車中に車内から白煙	ダッシュボード付近一部焼損	パワーウィンド配線のコネクタ内でトラッキング
16:40	駐車中に車内の一部が焼損	ダッシュボード付近一部焼損	パワーウィンド配線のコネクタ内でトラッキング
17:07	駐車中に車内から煙	ダッシュボード付近一部焼損	パワーウィンド配線のコネクタ内でトラッキング
9月5日			
3:13	駐車中にボンネットから炎	車両1台全焼損	車両構造部で電氣的要因により出火
23:56	浸水被害車両で走行中、助手席足元で炎	車両1台全焼損	助手席足元のジャンクションボックスでトラッキング
9月6日			
7:16	倉庫内で駐車中の車両から焼損臭及び白煙	フォークリフト1台全焼損	バッテリーでトラッキング
9月7日			
12:30	駐車中に車内で焼損	ダッシュボード付近一部焼損	パワーウィンド配線のコネクタ内でトラッキング
9月18日			
11:22	駐車中に車内から白煙	車両2台全焼損 車両6台一部焼損	助手席足下のジャンクションボックスでトラッキング
12:21	浸水被害車両で走行中、センターコンソールから白煙及び炎	センターコンソール付近一部焼損	センターコンソール内部のシフトロックシステムへの配線で電氣的要因により出火
10月17日			
16:46	浸水被害車両で走行中、助手席付近から煙、停車するとボンネットから炎が発生	車両1台全焼損	エンジンオイルが漏洩して排気管で発火

#### 4 「駐車中に車内コネクタ部でのトラッキングからの火災事例」

##### (1) 火災概要

覚知日時 平成30年9月4日16時03分頃

鎮火日時 平成30年9月4日15時50分

出火場所 神戸市中央区事業所駐車場内

損害状況 普通乗用車1台焼損

平成28年式 2万2,500km 走行

発見状況 9月4日の台風21号で高潮浸水後の海水が引いた後に車内から白煙が上がっているのを確認し、その後、119番通報を実施した。

初期消火はなく車内で自然鎮火した。

(写真2)



写真2 車内の状況

##### (2) 高潮浸水痕の確認

海水が引いた後に発火したことから高潮浸水を要因としていることは明白であり、高潮浸水痕の高さを確認し、そのライン（地上から65cmの位置）より下部の電装系統の異状箇所に焦点を定めた。

##### (3) 焼損状況

焼損部の最下部にあるのはインストルメントパネル下部運転席側の外面にあるジャンクションボックス（配線を結合等に用いる保護箱）のコネクタであり、そこを基点として上部へ扇状に燃え広がっている様相を呈し、コネクタの一部が焼失

まで至っていることからコネクタ付近を出火の範囲とする。(写真3)



写真3 コネクタの焼損状況

#### (4) ヒューズの確認

ヒューズを見ると表面の荒れのみで溶断していないことから、異極間の配線が直接接触する短絡（絶縁間の抵抗値が低いので瞬時に大電流が流れてヒューズが溶断）ではなく、トラッキング（絶縁間の抵抗値が高く、断続的に電流が流れることからヒューズの溶断がないことが多い）のようにシンチレーションが続いて時間をかけて発生したことが推察される。

#### (5) 短絡痕の確認

コネクタは樹脂製の外装に複数の銅線がつながっている形状である。残存部を分解すると、コネクタの内部で球状の短絡痕や銅の欠損が認められる。(写真4)

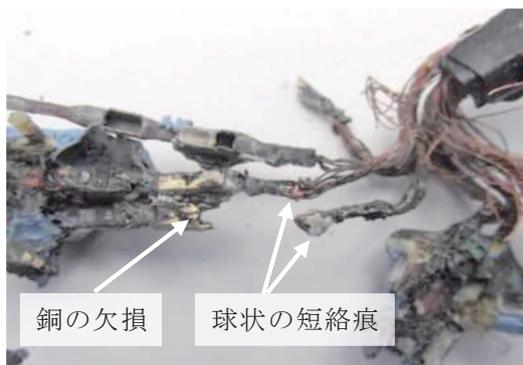


写真4 コネクタ内部の短絡痕及び銅の欠損

#### (6) コネクタに付着物を発見

これまでの現場見分から、導電体となる海水に浸水した物証、焼損状況から出火した範囲を絞り込み、ヒューズや短絡痕の状況からトラッキングが推察されるが、確証までとは言えない。そこで出火した側（運転席）の反対側（助手席側）のコネクタを確認すると、シンチレーション等により樹脂が溶融しているコネクタや溶融していないコネクタの両方で銅線挿入部に青緑色の乾燥した付着物が発見された。(写真5)

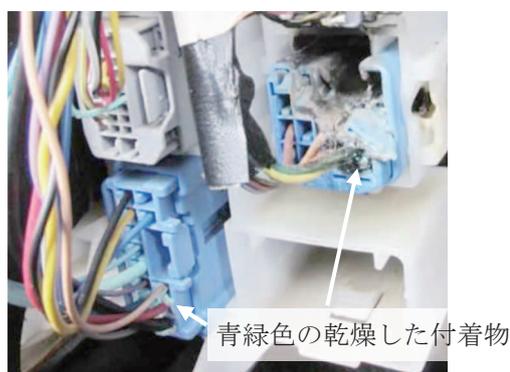


写真5 助手席側コネクタの状況

#### (7) 再現実験でトラッキング現象のメカニズムを考察

トラッキングを考える上で問題となるのが、発生まで時間を要するとされる現象がなぜ短時間で起こり得たのかである。今回の一連の火災の中で最長で1か月以上経った事案はあるがそれでも通常では考えにくい程に短時間といえ、最も早くに発生した事案であれば神戸の最高潮位を記録した14時から50分後に車内に燃えた痕があるとの通報が入っている。長期間を要するトラッキングが短期的に発生した要因、そして助手席側のコネクタの青緑色の乾燥した付着物との関連性についても再現実験で考察していく。

##### ア 海水中の電気分解により生成物が発生

実験方法は、火災現場同様にエンジンがかかっていない駐車中にコネクタまでが浸水したと想定し、12Vバッテリーで印加したまま

1時間（台風21号時に浸水していたと考えられる時間）コネクタを海水（実際に海水浸水したポートアイランド沿岸で取水）が入ったビーカーに液浸させた後に引き上げて潮が引いた状態とし、車内に残った海水の滴下を想定してスポイトで適宜海水を滴下していく。12Vバッテリープラス端子には、橙線、マイナス端子には赤線と黄色線を1次側に接続し、2次側配線は現場同様に未接続とする。（写真6）

(ア) 12V印加直後

陰極（赤線と黄線）で水素の発生。（写真7）

(イ) 8分経過

陽極（橙線）に青緑色の生成物が発生し始める。（写真8）

(ウ) 1時間経過

海水から取り出すと、端子挿入部やコネ



写真6 実験の状況

写真7 水素が発生



写真8 青緑色の生成物が発生

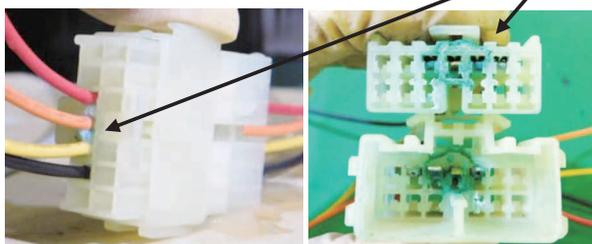


写真9・10 コネクタ内に多量の生成物が付着

クタ内部に現場で発見された青緑色の生成物と同様の付着物が見られ、海水に比べて粘性があり、流れずにコネクタ内部で粘着している。（写真9・10）

イ 生成物の回折測定

生成物を試料とし、兵庫県立工業技術センター所有の高速X線回折測定システム（株式会社 Rigaku 製 SmartLab9kW）により試料に含まれる化合物の同定を行う。測定結果に対し、装置内に記録されている4種のライブラリ① ICDD (PDF-2/Release2013RDB)、② RigakuDemo2013、③ 日本結晶学会、④ Crystallography Open Databaseで検索し、試料の著明なピークとライブラリ検索結果を比較すると、生成物はNaCl（塩化ナトリウム）及びCu<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>Cl（三塩基性塩化銅）を主成分として含んでいることが分かった。また、CuCl<sub>2</sub>（塩化銅）及びCu(OH)<sub>2</sub>（水酸化銅）については、含んでいる可能性はあるが、含んでいたとしても、その濃度は低いと考えられる。（図）

ウ 電気伝導度の違い

海水は、測定位置により一様ではないが構成成分は水（96.6%）塩分（3.4%）とされ、塩分には塩化物イオンやナトリウムイオンを筆頭に多数のイオンが含まれることから水道水等と比べて電気を通しやすいが、実際に高

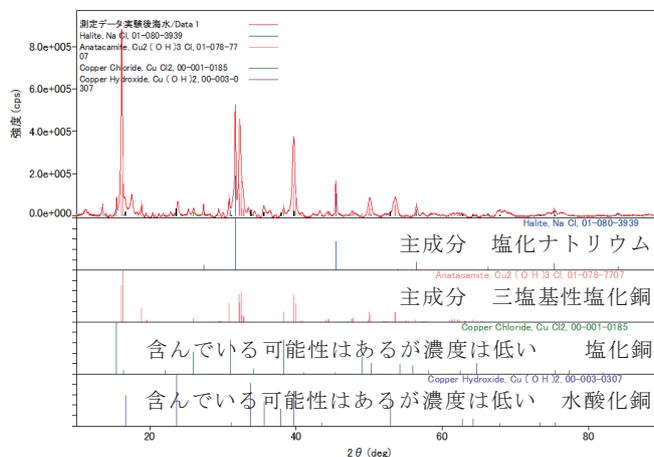


図 試料の高速X線回折測定結果

潮浸水したポートアイランド沿岸で海水を取水し、①雨水②水道水③海水④海水（生成物あり）の4種類で電気伝導度を比較測定する。兵庫県立工業技術センター所有の電気伝導度計（TOADKK社製CM-31P）により各試料を測定する。なお、比較試料として同センターにて作成したイオン交換水（イオン交換樹脂などによりイオンを除去した水）も合わせて測定する。

測定の結果から、イオン交換水<雨水<水道水<海水<海水（生成物あり）の順で、電気伝導度の数値が高く、海水（生成物あり）は最も数値の低いイオン交換水の約42,735倍に及び、より電気が流れやすい状態であることが判明した。（表2）

表2 各試料の電気伝導度

試料名	電気伝導度 (ジーメンズ毎メートル)
イオン交換水	0.117mS/m
① 雨水	2.72mS/m
② 水道水	19.20mS/m
③ 海水	4.66S/m
④ 海水 (生成物あり)	5.00S/m

#### エ 再現実験

以上より、海水中の電気分解実験による生成物発生の確認、電気伝導度測定から海水及び生成物の電気伝導度の高さが判明したが、実際に短時間で出火に至るかの実証実験をする。火災現場で収去した焼損していないコネクタ（ポリブチレンテレフタレート樹脂）を使用し、12Vバッテリーで印加して出火までの経過及びコネクタ内部の焼損状況を見る。

(ア) プラス端子を赤線、マイナス端子を白黒線及び黒線に接続する。テスターにより端子挿入部のプラスマイナス両端子で内部導通を確認するも O.L で導通していない。

(イ) 火災現場同様にコネクタを1時間海水に浸水させた後に海水が引いて車内に残った海水の滴下する状況を想定し、海水から取り出して適宜コネクタにスポイトで海水を滴下する。（写真11）

(ウ) 88分後、コネクタ内から白煙が発生する。（写真12）

(エ) 120分後、コネクタ内でシンチレーションが発生する。

(オ) 135分後、大量の白煙と共にコネクタ側面が貫通し、発炎。（写真13）



写真11 実験開始時

写真12 88分後の状況

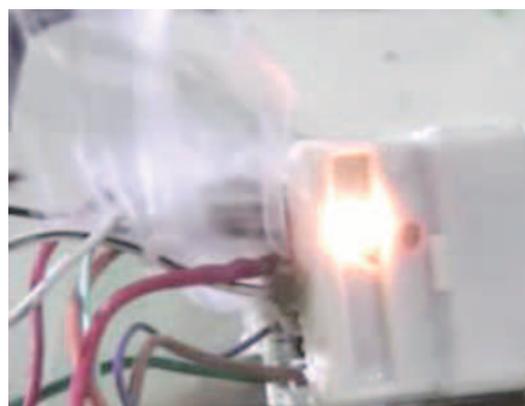


写真13 135分後の状況

(カ) プラスマイナス両端子をバッテリーターミナルから離脱してコネクタ内を見ると、絶縁被覆が熔融し、銅線が剥き出しになっている。端子挿入部のプラスマイナス両端子間の抵抗値を測定すると、 $10.3\Omega$ と非常に低い値であり、トラックが形成されていることが認められる。（写真14）

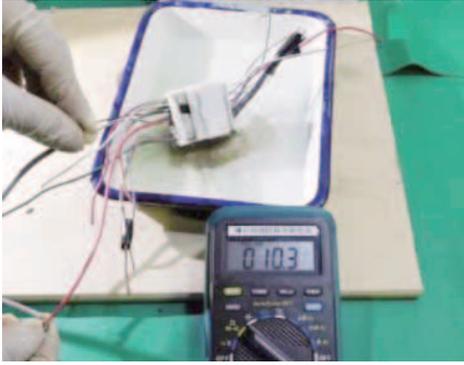


写真14 トラックが形成

(キ) 超音波カッターでコネクタを分解し内部を見ると、プラス端子（赤線）の銅の大部分は熔融または焼失、残存した銅も欠損がある。マイナス端子（黒線）にも欠損及びプラス端子側に短絡痕が認められる。（写真15）

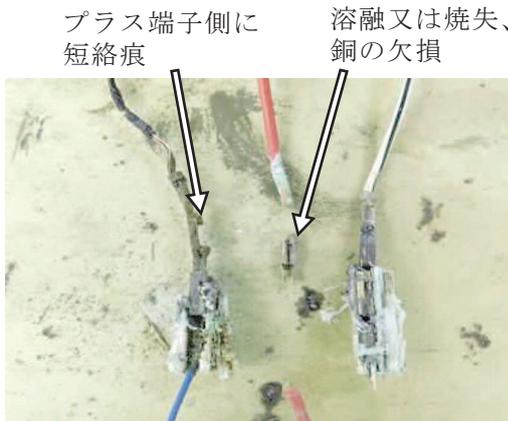


写真15 コネクタ内部で短絡

今回の台風21号の一連の火災で発生が多かった時間帯は、最高潮位を記録した14時頃からの3時間以内であり、当実験でもプラスマイナス両端子間が絶縁された状態からでも135分で発炎に至っていることから、火災現場と時間経過は合致する。

## (8) 調査結果

以上のことから、コネクタが海水浸水すると、海水及び電気分解による生成物により電気伝導度が高くなり、また、生成物は粘性があるため、コ

ネクタ内外で粘着することで、端子間の通常の電路以外で通電しやすい状況が促進されることも考えられる。これらの要因から絶縁体である樹脂でも炭化電導路が形成され、再現実験のようにトラッキングにより135分で発炎に至り、通常では考えにくい短時間での発生につながったと推察される。

## 5 迅速な予防広報

台風21号は社会的影響が甚大であったことから、神戸市に再上陸した翌日の9月5日には報道機関から多数の取材があった。また、引き続き火災が続発することが予測されたことから予防広報として、翌9月6日の早期の段階でまず、神戸市のホームページ上で浸水・冠水車両被害に対する対応情報を掲載しておき、その間に並行してメーカーとの合同見分や再現実験を繰り返し実施することでさらに詳細な原因認定を基に約2か月間に渡って継続して多方面へ情報発信を行った。

- ・ 9月4日 13時頃、台風21号が神戸市に再上陸する。
- ・ 9月5日 報道機関からの取材が相次ぐ
- ・ 9月6日 神戸市ホームページに浸水・冠水車両被害の対応情報を掲載。
- ・ 9月19日 収束したと思われたが火災が、2件発生。管轄の2消防署から防火安全協会と防火安全協会以外の事業所へパトロールを行い、多数の防火啓発チラシ（計468枚）を配布し、発生の可能性の高い箇所への広報を強化する。（写真16）
- ・ 9月20日 市政記者クラブへの『記者資料提供』を発信する。
- ・ 9月27日 神戸新聞社からの電話取材を受ける。
- ・ 10月3日 火災原因調査及び実験の結果、エンジンをかけていない車両のコネクタからトラッキングを起因としての発

生が多いことが判明したので、神戸市ホームページ及びYouTube内のKobecitychannelでより市民に伝える広報を実施する。(写真17)

- ・10月4日 台風再上陸から1か月となり、各情報番組に取り上げられ、より具体化した情報で広報する。
- ・11月1日 神戸市消防局監修の情報誌『雪』内の生活あんぜん情報に掲載する。



写真16 防火啓発チラシ

## 6 おわりに

高潮浸水した車両が相次いで長期にわたり出火するという全国の火災史に見ても非常に稀な火災であったといえる。これまで高潮浸水車両からの出火原因の具体的な発生箇所やメカニズムについて詳細に記載された資料は多くはなかったが、今回の実験により高潮浸水車両の出火メカニズムの一つが解明に至ったと考えられる。また、より伝える広報のためには、確実な原因認定を基とし、迅速かつ多方面に予防広報を粘り強く実施することがより効果的な類似火災防止につながる。

今回のような想定外の火災を紹介することで、今後も各地で起こる可能性がある高潮浸水による車両火災時の原因調査の一助になれば幸いと考える。



写真17 YouTube『Kobecitychannel』