経済産業省

資料４

米国で発生した寒波と熱波に関する調査報告

令和３年１２月24日

産業保安グループ

電　力　安　全　課

１．寒波に関する調査報告

２．熱波に関する調査報告

調査は全て公開情報を基に実施。

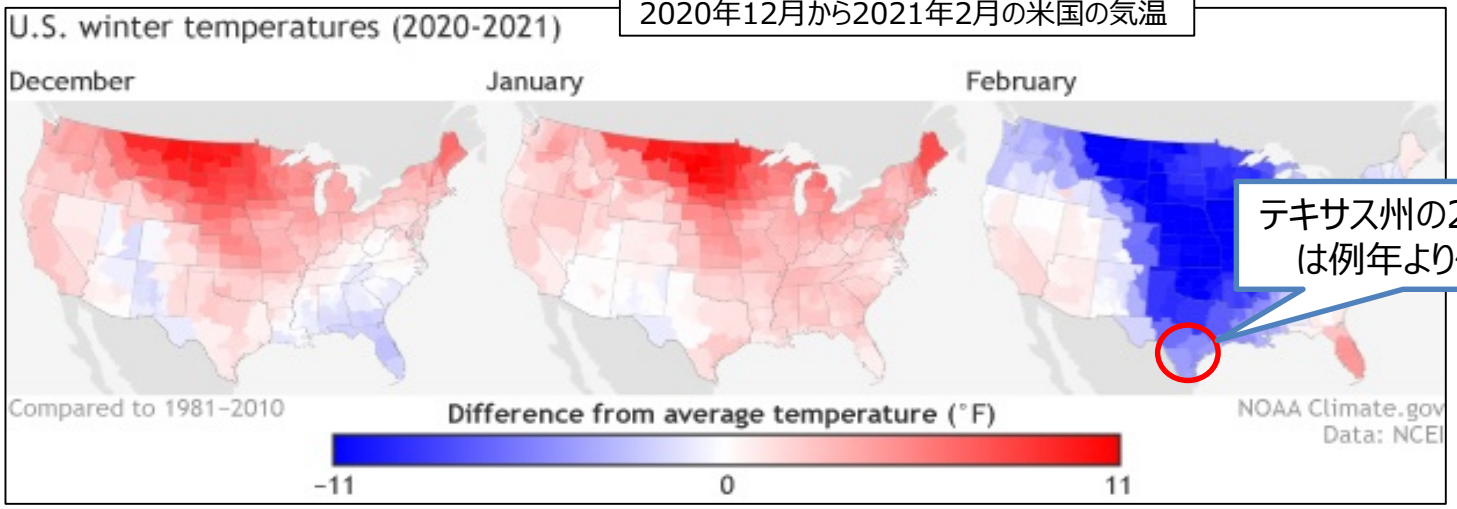
(1) 2021年テキサス州で発生した寒波の概要

- 2021年2月にテキサス州に**冬の嵐が到来**し、**大規模停電が発生**。
- 当該停電は**2月15日から18日にわたって**続き、**数百万人に影響**。

● 2021年2月のテキサス州で発生した停電

- 2021年2月にテキサス州を冬の嵐が襲い、2月15日から18日にかけてテキサス電気信頼性評議会（ERCOT）の送電系統内で数百万人規模の停電が発生。
- 停電の原因としては、発電設備の出力低下、気象状況を予測しきれなかったこと、電力需要の過小評価等が挙げられている。
- 記録的に急増した電力需要に対し、稼働可能な発電設備の出力が大幅に減少したことが停電につながったとされている。

2020年12月から2021年2月の米国の気温



（出所:テキサス州HP、NOAAClimate.govのHPより作成）

(2) (1)の事例における発電設備停止の原因

- 発電設備停止の**原因**として、想定を超えた気象による**設備の凍結**等や**燃料不足**、加えて、気象に起因しない**機器故障**や**不具合**があったこと等が挙げられている。

- ERCOT管内における発電設備停止の原因
  - 2月16日には最大52,037MWの発電設備が停止し、その約半分の原因が気象によるものであるとされる。
  - 停止した発電設備の種類としては、天然ガス火力、石炭火力、水力、原子力、風力、太陽光発電設備等がある。
  - 気象に起因する設備被害としては、以下のものなどが挙げられている。
    - 水管、バルブ等の凍結
    - 風力発電設備のタービン翼への着氷
    - ソーラーパネルへの氷雪・積雪
    - 氷や雪が溶融したことによる設備の浸水
  - 発電設備停止の気象以外の原因としては、燃料不足や、同時に発生した気象に起因しない機器故障や不具合等が挙げられている。

（出所：ERCOTによる資料）

(3)その他過去にテキサス州で発生した停電事例

- テキサス州では1989年12月と2011年2月にも冬の嵐による停電が発生。
- 2011年の災害後には、州議会においてテキサス州公益事業委員会（PUCT）に**異常気象に対する発電所の準備状況に係る分析を義務付ける法律が制定**された。

- 1989年12月にテキサス州で発生した冬の嵐による停電の概要
  - 1989年12月にもテキサス州に冬の嵐が到来し、暖房用の天然ガスと電力の需要が増加。
  - ERCOT管内では発電設備の53%を天然ガス発電が占めていたが、テキサス州北部の電力会社への天然ガス供給が断絶したとされる。
  - また、機器やバルブの凍結、ボイラーチューブのリーク、バッテリーの凍結により発電設備が停止したとされる。
  - 電力需要の増大と発電設備の停止による需給ギャップに伴い、10時間弱の輪番停電が実施された。
- 2011年2月にテキサス州で発生した吹雪による停電の概要
  - 2011年2月の米国南西部は非常に寒く、風の強い天気となった。
  - 2月1日から2月4日までにERCOT管内の計210の発電ユニットで発電停止や発電起動の遅れ・失敗が発生したとされる。
  - ERCOT管内では最大で約320万の顧客に影響が出たとされている。
  - この災害を踏まえ、テキサス州議会ではPUCTに異常気象に対する発電所の準備状況を分析することを義務付ける法律（the Texas Utilities CodeのSection 186.007）が可決された。

(4)近年のテキサス州の寒波に関する法律やガイドライン等の状況

- テキサス州では、これまでの災害を教訓に、**寒波に関する法律**や**ガイドライン等が整備**されてきた。
- 2021年6月には、今回の寒波を教訓に、**発電事業者に冬季対策の実施を要求**する法案（SB3）がテキサス州**法**として**成立**された。

名称	経緯や内容の概要
発電ユニットの冬季気象準備の信頼性ガイドライン（version3）	● 当該ガイドラインは、2020年に北米電力信頼性協議会（NERC）とセキュリティ技術委員会（RSTC）により承認された。 ● 凍結や寒冷時に運用に問題が生じる可能性がある重要な設備やシステムへの寒冷気象に備えた検査、修理等が推奨されている。
Senate Bill 3(SB3)	● この法律案ではガスサプライチェーンやガスパイプライン施設、ERCOT管内での発電や送電の事業者に対して耐候化を求めている。違反した場合は最大100万ドルの罰金が科せられる。この法律案に基づき2021年6月にテキサス州法が改正された。 ● SB3の要求を受け、PUCTはERCOT管内の発電事業者と送電事業者へ気象災害対策＊を実施させるため、気象災害に関する新しいテキサス行政法（TAC）§25.55を採択した。（＊断熱材の健全性に係る検査、凍結や着氷に備えた人的・システム的な監視・対応等）
信頼性基準「EOP-011-2 Emergency Preparedness and Operations」	● 当該基準は、2023年4月にNERCより発効予定となっている。 ● 全米の発電設備設置者に寒冷気象対策計画の作成・実施を求めている。具体的には、発電設備の凍結防止対策を講じることや凍結防止対策の年1回の点検・保守などが盛り込まれている。

(5)まとめ

- 2021年2月にテキサス州で発生した寒波に関する事例において、**発電設備停止の原因**として**機器の凍結等**があったことが確認された。
- これまでの寒波に係る災害を踏まえ、テキサス州は**法律やガイドラインを制定**し、**電気事業者**に**冬季対策を求めている**ことがわかった。

- 2021年2月の冬の嵐による**停電の原因**

  2021年2月の事例においては、**寒波**による**機器の凍結等**が**発電設備停止につながった主な要因**であるとされていることが確認された。

- テキサス州の**事業者に対する冬季対策**
  - NERCの発電ユニットの冬季気象準備の信頼性ガイドラインにおいては、**重要な設備やシステム**に対して**寒冷気象に備えた検査や修理等**の**実施が推奨**されている。
  - テキサス州のSB3法においては、ERCOT管内の**発電・送電事業者**に対して**耐候化を要求**している。
  - PUCTはERCOT管内の**発電・送電事業者**に対して**気象災害対策を実施**させるための**新しいテキサス行政法を採択した**。
  - **全米の発電設備の設置者**に対して**寒冷気象対策計画の作成と実施**を求める信頼性基準が2023年4月にNERCから発行される予定である。

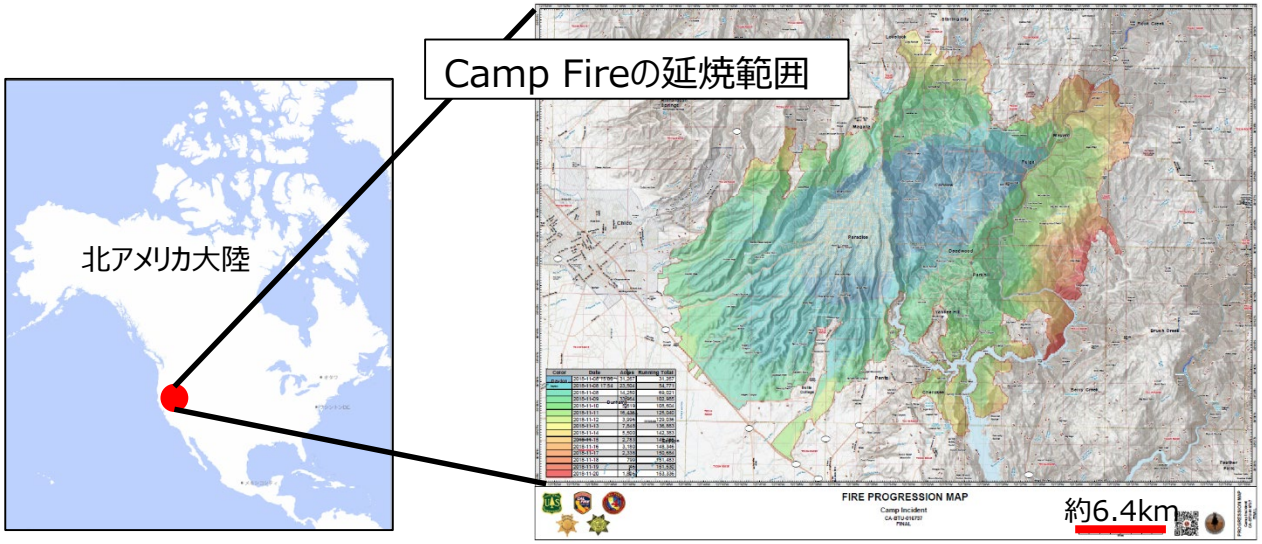
１．寒波に関する調査報告

２．熱波に関する調査報告

(1)2018年、2019年に加州で発生した山火事の概要

- 2018年11月に米国加州でCamp Fireと呼ばれる山火事が発生。
- 2019年10月にも米国加州でKincade Fireと呼ばれる山火事が発生。
- これら2つの山火事はPG&E社（＊）の送電鉄塔が出火原因であるとされている。

山火事名	日時	概要
Camp Fire	2018年11月	● PG&E社の所有する115kVの送電鉄塔が主な出火原因であるとされている。 ● Camp Fireにより約15万エーカー（約6万ha）が焼け、約20万棟の構造物が損壊され、85人が死亡したとされる。
Kincade Fire	2019年10月	● PG&E社の所有する送電鉄塔が出火原因であるとされている。 ● Kincade Fireにより約8万エーカー（約３万ha）が焼け、374の構造物が損壊されたとされる。



（＊ PG&E（Pacific Gas and Electricity）社は、米国加州の北部と中部において、電力等の事業を行っている最大手社。）

（出典:気象庁HP、Cal Fire HPのデータを元に作成）

(2)2018年、2019年に加州で発生した山火事の原因と対策

・Camp Fireの原因は、**Cフックの破断**による**ジャンパー線と鉄塔の接触が起因**であるとされている。
・Kincade Fireの原因はジャンパー線であるとされてるが、詳細な状況は確認できなかった。

山火事名	主な出火原因	詳細
Camp Fire	PG&E社の115kvの送電鉄塔	● 115kv**送電鉄塔**のCフックと呼ばれる碍子とジャンパー線を支える**部品が破断**したことに伴い当該**ジャンパー線と鉄塔が接触**し、**アーク放電が発生**。 ● この**アーク放電**により溶融したジャンパー線と鉄塔の一部が落下し、**地面の乾いた植物に引火**したとされる。これがCamp Fireの主な出火元となったとされる。 ● 乾いた植生や強風、低湿度、高温といった状況が火災を促進したとされている。 ● Camp Fireに対するカリフォルニア公益事業委員会（CPUC）の安全執行部（SED）の調査の結果、PG&E社の保守・点検がCPUCのGeneral OrderやCalifornia Public Utilities Code に違反していることが判明。
Kincade Fire	PG&E社の送電鉄塔	● 送電鉄塔のジャンパー線が原因であるとされているが、設備故障の詳細は不明。 ● 乾いた植生や強風、低湿度、高温といった状況が火災を促進したとされている。

(3)その他熱波が原因となった設備故障や停電の事例

- その他の事例では、加州における**干ばつの影響**による**水力発電所の停止**や、ワシントン州では、高温による電力システムへの負担軽減のための**保護停電を実施**している。
- 熱波が直接の原因となった設備故障や停電の事例は確認できなかった。

- 2021年8月の加州における干ばつによる水力発電所の停止

  2021年8月に、**干ばつによりオルビル湖**（総貯水容量4.4km³）**の水位が下がった**ことから、ハイアット発電所（設備容量819MW）が**発電停止**になった。この発電所が湖の水位低下により停止したのは初めての事例。

- 2021年6月のワシントン州での保護停電の実施

  2021年にavista社は、**極端な気温の上昇と電力使用量の大幅な増加**により、電力システムの**保護手段として停電を実施**したとされる。

オルビル湖

（出典:米国加州水資源省HP）

(4)PG&E社の山火事対策（熱波に係る事前対策や規則等）

- PG&E社は、山火事に備えた対策として、州法＊に基づく**山火事緩和計画（WMP）を策定**している。（＊加州 PUBLIC UTILITIES CODE　chapter6 (2016)）
- 具体的な項目としては、**電気設備の定期安全検査**、**電気設備の強化**、**植生管理**、**公的電源遮断**（PSPS）等が実施されている。

項目	概要
電気設備の**定期安全検査**	● 山火事リスクが高い地域を優先して、電柱や送電設備の健全性確認に係る地上検査又は昇塔検査、必要に応じたヘリコプターやドローンによる空中検査を実施。2020年には15000マイル（約2万4千km）を超える電線の検査を実施。
電気設備の強化	● 耐火性電柱への置き換え、裸電線の絶縁電線への置き換え、電線の地中化等を実施。
植生管理	● PG&E社の基準では、火災の危険性が高い地域では送電線の周囲4フィート（約1.2m）の空間距離が必要。年間を通して空間距離を確保するために周囲12フィート（約3.6m）の植生を剪定。また、電線に被害を及ぼす恐れのある枯れ木などを除去するとしている。 ● 電線の真上やその周囲に張り出した木の枝の除去も実施。また、電線に接触する可能性のある高い樹木の状態の評価も実施。
公的電源遮断（PSPS）	● 強風により樹木やがれきが電線に損傷を与え、山火事を引き起こす可能性があることから、悪天候時には電気を遮断する措置をとる場合があり、それを公共電気遮断措置（PSPS）という。 ● PG&E社では、PSPSを実施するか否かの判断は、湿度（通常は30%以下）や風速（時速20マイル（32m/s)以上の強風と時速30～40マイル（48~64m/s）の突風が予測される場合）、設備周辺の植生の状態や火災警報、リアルタイムの監視結果といった要因の組合せで判断している。

(5)まとめ

- 米国加州では**送電設備を出火元とした山火事が発生**したが、**熱波が直接起因したものではなかった**。
- 他の事例においても、**熱波が直接起因**とされた**設備故障**や**停電の事例は確認されなかった**。

事例	主な原因
加州における山火事（Camp Fire）	送電鉄塔の支持物破断を起因したアーク・溶融を伴って落下した部品が地面の乾いた植物に引火。
加州における山火事（Kincade Fire）	送電鉄塔のジャンパー線が起因とされるが、詳細は不明。
加州における水力発電所の停止	干ばつによる湖の水位低下
ワシントン州での保護停電	極端な気温と電力使用量の大幅増加

- 近年米国加州等で**記録的な高温が発生**し、**山火事**や**水力発電所の停止**、**保護停電**等が発生。
- **熱波**が設備故障や停電の直接の起因になるというよりも、**山火事の促進**や**干ばつによるダム湖の水位低下**、**電力消費量の大幅増**といった**間接的な形で影響**を与えていたと考える。
- なお、PG&E社は山火事に備えた対策として山火事緩和計画（WMP）を策定し、対策を実施している。

（参考１）我が国の寒波に関する技術基準

- **我が国の電気設備は、各種技術基準**において、既に**寒波等に関する要求事項が規定。**
- 当該技術基準に基づき各々設備が設置されている。

電気設備	主な技術基準
水力設備（ダム）	・**ダム**において、**極寒地**で対岸距離が小さいため大きな氷圧が加わるおそれがあるときは、**考慮すべき荷重として氷圧を加えなければならない。**
水力設備（ダムの洪水吐き、導水路）	・**洪水吐き**（ゲートを除く。）は、（中略）**温度荷重**並びに設計洪水位において当該洪水吐きから放流される流量の流水が流下する場合における**荷重に対し安定であること。** ・**導水路**は、（中略）**雪荷重**、風荷重、**温度荷重**及び外圧に対し**安定**であり、かつ、これらの荷重による**応力**は、使用する材料ごとにそれぞれの**許容応力を超えないこと。**
火力設備（気化器の加熱部）	・**液化ガス用気化器**であって、加熱部の温水が凍結するおそれがあるものにあっては、**凍結を防止する措置を講じなければならない。**
電気設備（支持物の倒壊の防止）	・**架空電線路**（中略）の**支持物の材料及び構造**（中略）は、（中略）風圧荷重及び当該設置場所において通常想定される地理的条件、**気象の変化**、振動、衝撃その他の外部環境の影響を考慮し、**倒壊のおそれがないよう、安全なものでなければならない。**
風力設備（風車を支持する工作物）	・**風車を支持する工作物**は、自重、積載荷重、**積雪**及び風圧並びに地震その他の振動及び衝撃に対して**構造上安全でなければならない。**
太陽電池設備（支持物の構造等）	・**太陽電池モジュールを支持する工作物**は、自重、地震荷重、風圧荷重、**積雪荷重**その他の当該支持物の設置環境下において想定される**各種荷重に対し安定であること。**

（参考２）我が国における架空電線と植物の接近に係る電気保安規制

- **架空電線の引張強さ**及び**がいしの強度**については、**想定される荷重**に対して**裕度を持たせて施設**することを求めている。
- また、**特別高圧架空電線路**については、特に強風等のために**樹木が接触**して**地絡又は断線事故**を起こし、その結果として山火事に発展する可能性があるため、平常時であっても、**十分な離隔距離を保つ**ことなどを要求している。

①がいし装置【電技解釈第91条】

特別高圧架空電線を支持するがいし装置は、次の各号の**荷重**が電線の取付点に加わるものとして計算した場合に、**安全率が2.5以上**となる強度を有するように施設すること。

②架空電線の引張強さ【電技解釈第85条で準用する第66条】（抄）

特別高圧架空電線は、ケーブルである場合を除き、次の各号に規定する荷重が加わる場合における引張強さに対する安全率が、66-1表に規定する値以上となるような弛度により施設すること。

一　荷重は、電線を施設する地方の平均温度及び最低温度において計算すること

二　荷重は、次に掲げるものの合成荷重であること

イ　電線の重量

ロ　風圧荷重（季節の気温の考慮等）

ハ 乙種風圧荷重を適用する場合にあっては、被氷荷重

66-1表

電線の種類	安全率
硬銅線又は耐熱銅合金線	2.2
その他	2.5

③植物との接近【電技解釈第103条】

特別高圧架空電線と植物との離隔距離は、次の各号によること。（以下、略）

一　使用電圧が170,000V以下の特別高圧架空電線と植物との離隔距離は、103-1表に規定する値以上であること。

103-1表　　（参考）米国（加州）の基準＊

使用電圧の区分	離隔距離	離隔距離
35,000V超え60,000V以下	2m	約1.2m
60,000V超え170,000V以下	(2＋c)m	約1.2～3m

＊**RULES** FOR Overhead Electric Line Construction（STATE OF CALIFORNIA）

二　使用電圧が170,000Vを越える特別高圧架空電線と植物との離隔距離は、日本電気技術規格委員会規格JESC E2012(2013)「170kVを越える特別高圧架空電線に関する離隔距離」の「２．技術的規定」によること。「**(3.32+d) m**」（参考：米国(加州）＊：約３m）