

今後の雪害対策のあり方について

平成19年 1月25日

原子力安全・保安部会

電力安全小委員会

目 次

I. はじめに	1
II. 昨冬の雪害事故の概要	2
III. 現状の雪害対策技術と評価	5
IV. 今回雪害事故が発生した送電設備への再発防止策.....	7
V. 規制の現状とその評価	9
VI. 今後求められる雪害対策	12
VII. おわりに	16
参考 1 検討経緯	38
参考 2 委員構成	39
添付資料	41

I. はじめに

昨年１２月２２日、東北電力管内の新潟下越地域を中心として約６０万kW（最大供給支障：約６５万戸、最大停電時間：約３１時間）の停電が発生したが、その直接的な原因は、風雪による塩雪害とギャロッピングであった。同日、関西電力管内の滋賀県、大阪府、奈良県、京都府の各一部でもギャロッピングの影響により、約４０分間、約７０万戸の供給支障が発生した。

また、同年１２月１３日～１７日にかけて、北陸電力管内の福井県及び富山県、関西電力管内の福井県においても送電線への着雪が原因となり設備損傷が発生した。

これらの雪害による停電事故や設備損傷事故は、過去の経験等をもとに所要の対策等を実施してきている中で生じた事故であり、再発防止を検討するため、平成１８年６月に総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会電力安全小委員会の下に、電力系統運用や送電設備等に関する有識者から構成される「送電設備の雪害対策ワーキンググループ」を設置し、特別高圧架空電線路に対する再発防止策の妥当性や新たに講じていくべき規制等、今後の雪害対策のあり方について検討を行った。

Ⅱ. 昨冬の雪害事故の概要

1. 事故の内容

(1) 新潟下越地域における雪害事故（東北電力管内）

平成17年12月22日、折からの風雪により6時40分頃から275kV北新幹線にギャロッピングによる短絡事故が度々発生していたが、8時17分頃に新潟変電所系統の154kV送電線で発生した塩雪害による地絡事故を発端に、複数の送電線（154kV及び66kV送電線）で塩雪害によりほぼ同時に地絡事故が発生した。これにより、複数の送電ルートが絶たれ、新潟県下越地域を中心に約60万kWの供給支障が発生した。復旧に向けて北新潟変電所からの迂回受電やがいしに付着した氷雪の除去作業が行われたものの、全ての地域で電力供給が再開されたのは事故発生から30時間53分後であった。（図1）

(2) 福井県及び富山県における雪害事故（北陸電力管内）

平成17年12月13日～17日にかけて、重着雪により、77kV立石線において鉄塔4基（29号鉄塔、31号鉄塔、32号鉄塔、50号鉄塔）の損傷・3箇所の断線が、77kV今庄支線において3箇所の断線が、154kV九頭竜幹線において53号鉄塔の損傷が、154kV新能登線において30号鉄塔の損傷が発生し、合計5.4万kWの供給支障が生じた。全ての地域で電力供給が再開したのは、事故発生から41時間32分後であった。（図2）

(3) 福井県における雪害事故（関西電力管内）

平成17年12月15日に275kV敦賀線1号線において15号鉄塔の腕金が損傷した。同線は敦賀発電所、もんじゅ発電所及び嶺南変電所を結ぶ2回線送電線であるが、2号線は作業のため使用停止中であつたことから送電が遮断され、1.4万kWの供給支障が発生した。電力供給が再開されたのは、敦賀発電所で事故発生から1時間41分後、もんじゅ発電所で事故発生から1時間57分後であった。

また、12月22日8時43分から8時52分の間に、500kV大飯幹線、500kV第二大飯幹線においてギャロッピングによる短絡事故が発生した。いずれにおいても2回線送電線の2ルートがすべて事故となり、京都府、大阪府、奈良県、滋賀県の一部で約189万kWの供給支障が発生した。電力供給が再開されたのは事故発生から39分後であった。（図3）

2. 事故の原因

①新潟下越地域における雪害事故時の気象状況（12月22日）

平成17年12月22日の気圧配置は、本州南岸を進む主低気圧と、新潟付近を進む小低気圧が存在する「二つ玉低気圧」になっており、風雪が強くなる気象条件であった。

当日、新潟下越地域においては、3時頃から雪が降り始め、低気圧の通過とともに10分間平均風速で10m/sを超える強風が続いた。また、気温は3時から17時までの間、着雪適温帯とされる0℃～2℃程度であり、湿った雪ががいし等に着雪し易い状況であった。新潟地方气象台における着雪適温帯での風速及び累積降水量について見ると、今回の気象条件は過去30年間で最大のものではあった。（図4）

②福井県及び富山県における雪害事故時の気象状況(12月13～17日)

日本海側地方は12月12日頃から断続的に雪が降り続いていた。

新能登線の事故発生前の気象状況は、10分間平均風速が2～8m/s、気温0～1.5℃で推移しており、雪が電線に着雪しやすい状況で断続的に雪が降り続いた。電線着雪が発達したと見られる事故発生前の48時間について、この着雪適温帯における降水量を積算した結果は111mmであり、過去28年で最大であった。雪害発生箇所近傍における48時間中の着雪適温帯降水量を見ても、事故発生時の降水量は過去28年間でいずれも1位～4位であった。(図5)

③福井県における雪害事故時の気象状況(12月15日及び22日)

敦賀線近傍の敦賀市においても、事故が発生した12月15日まで3日間は継続的に降雪しており、累積降水量は約170mmとなっていた。また、事故当時は気温0～2℃、風速2.5m/s～2.8m/sであり、着雪しやすい気象条件であった。

一方、12月22日は、日本海を発達した低気圧が進み、気温0℃付近で着雪が発達しやすい状況下であるとともに、降雪を伴った風速21m/sの強風が観測されていた。(図6)

(2) 事故発生箇所の設備状況

①塩雪害事故発生箇所

東北電力の新潟下越地域の154kV送電線及び66kV送電線には、塩じん等による累積的な汚損には強いものの、ひだの間が狭く着雪しやすい長幹がいしが使用されていた。

②ギャロッピング事故発生箇所

275kV北新幹線(東北電力)におけるギャロッピング発生箇所では、ギャロッピング対策は講じられていなかった。同様に、500kV大飯幹線及び500kV第二大飯幹線(関西電力)の事故箇所においても、ギャロッピング対策は講じられていなかった。

③重着雪事故発生箇所

154kV九頭竜幹線(北陸電力)では重着雪対策が講じられていなかったものの、同社の77kV立石線、77kV今庄支線及び154kV新能登線においては重着雪対策として難着雪リングが設置されていた。また、275kV敦賀線(関西電力)においては重着雪対策としても効果があるとされるラインスペーサが設置されていた。

3. 事故発生のメカニズム

(1) 塩雪害事故

東北電力から提出された雪害事故報告によると、昨冬の塩雪害による地絡事故は以下のとおり発生したと推定されている。(図7)

なお、原子力安全・保安院は報告の内容を検討した結果、同社の推定は妥当であると評価している。

①海水の波浪による細かい水滴が空気中に放出され、これの蒸発により残された塩

分（海塩粒子）が、上昇気流に乗って上空高くまで運ばれ、雪の結晶が成長する際の核となった。

②海塩粒子は強風によって運ばれるだけでなく、雪に取り込まれながら事故当時の強い寒気により従来海塩粒子の影響が考えられていなかった内陸部まで運ばれたと推定される。

③事故当時、内陸部は着雪適温帯（0～2℃）であり、新潟下越地域における着雪適温帯の累積降水量は過去30年間で最大であった。このため、湿った雪が空中の海塩粒子を取り込みながら大量に長幹がいしに付着し、がいしのひだの間が雪で埋めつくされ橋絡した。

④長幹がいしに大量に付着した雪の海塩粒子により、がいしの絶縁強度が低下し絶縁破壊に至った。

(2) ギャロッピング事故

東北電力から提出された雪害事故報告によると、昨冬の短絡事故はギャロッピングによるものと推定されている。

ギャロッピングは送電線の断面形状が空力的に不安定になることによって自励振動する現象であることやねじれ振動による作用の可能性がこれまでの研究等で明らかにされており、原子力安全・保安院は報告の内容を検討した結果、ギャロッピングの原理として、以下に示す同社の推定は妥当であると評価している。（図8）

①架空送電線に付着した雪が羽状に成長したことにより空力的に不安定になった。

②風と送電線に付着した羽状の雪により、送電線に揚力が発生した。

③揚力により電線の迎え角が変化し揺動が発生。揺動が送電線固有の振動数と同調し、大きな自励振動に発達した。

④自励振動により送電線同士が接触し、短絡事故に至った。

また、関西電力からの報告においても、同様の原因により事故が発生したと推定している。

(3) 重着雪事故

北陸電力及び関西電力からの報告によると、事故原因は設計で想定した以上の電線への着雪による荷重の増大によるものであり、鉄塔損傷・送電線断線事故は以下のとおり発生したと推定している。（図9）

①送電線に雪が付着すると、雪の重みで電線が回転する。これが継続され、送電線に付着した雪が筒状に大きく発達した。

②送電線に付着した雪が筒状に大きく発達したため、送電線及び鉄塔に設計強度を上回る荷重が働き、鉄塔損傷・送電線断線に至った。

Ⅲ. 現状の雪害対策技術と評価

各電気事業者においては、電気事業法の省令である電気設備の技術基準(以下「技術基準」という。)に従い電気工作物の維持、運用にあたるとともに、架空送電線に関する民間規格である(社)日本電気協会技術規程「架空送電規程(JEAC6001-2000:以下「送電規程」という。)を参考に雪害対策を講じている。

具体的には、過去の気象データや雪害事故等を基に、架空送電線設置場所の地形(河川横断箇所、市街地等)や気象条件(着雪量、着雪密度等)に関する独自の基準値を設定して、各送電線毎に雪害対策の必要性や採用する雪害対策手法を決定している。(表1)

1. 塩雪害対策

我が国では塩雪害によるものと推定されている事故は、電気事業連合会を通じた各電気事業者の調査結果から、昨冬の新潟県下越地域における事故を除き、これまで北海道沿岸部で2例確認されている。しかしながら、内陸部で塩雪害の発生が確認された例はなく、塩雪害発生条件等のデータが十分に得られているとはいえない。また、塩雪害防止に特化した対策は特段実施されてきてはいない。

2. ギャロッピング対策

(1) 概要

特別高圧架空電線路のギャロッピングを抑制するため、我が国で講じられている主な手法は次のものがある。(図10)

①電線間隔を広めて建設する手法

建設時にギャロッピングの発生を防止するために、電線間隔を広めに架設する(装柱設計)。187kV以上の送電線において多く採用されている。

②送電線の相間距離を確保する手法

送電線に一定間隔で相間スペーサを取り付けることで、送電線の振幅を抑制し、送電線同士の異常接近を防止する。ただし、装置重量が大きいため、送電線又は鉄塔の強度によっては適用できない場合がある。

③捻回周期をずらす手法

送電線の捻回を抑制することで、電線の上下運動周期と捻回周期をずらすことにより抑制するものや、運動エネルギーを捻回運動で消費させることでギャロッピングを抑制するものがある。ただし、これらの装置は装置重量が大きいため、送電線又は鉄塔の強度によっては適用できない場合がある。

④着氷雪形状を変化させる手法

a. ルーズスペーサを設置することで、送電線の長手方向への一様な着氷雪が形成されることを抑制し、空力的に不安定となることを防止する。

b. 一定ピッチの素線(スパイラルロッド)を送電線に巻付けることで、雪を上下対称に付着させ、揚力の発生を阻害させる。ただし、スパイラルロッドは装置重量が大きいため、送電線又は鉄塔の強度によっては適用できない場合がある。

(2) 評価

各ギャロッピング対策技術については、その抑制効果が試験線における実測または

解析により検証されている。その結果、相間スパーサ及びルーズスパーサについては最大張力変動を半減させる効果が、捻回抑制装置については最大張力変動を約80%低減する効果が、スパイラルロッドについては垂直方向変位最大値を半減させる効果があるとされている。(図11、12)

3. 重着雪対策

(1) 概要

電力各社においては、過去の大規模雪害の経験から、特別高圧架空電線への着雪を防止するため各種の難着雪化対策を実施してきており、主なものは次のとおりである。

(図13)

①送電線に付着した雪を分断して落下させる手法

- a. 送電線に一定間隔でリング(難着雪リング)を取付けることで、送電線に付着する雪を分断する。
- b. 送電線のよりと反対方向にスパイラルロッドを巻きつけることで、送電線に付着する雪を分断する。ただし、スパイラルロッドは重量が大きいため、送電線又は鉄塔の強度によっては適用できない場合がある。

②送電線のねじり剛性を増加し送電線各面の着雪量を不均衡化させることで落下させる手法

- a. 着雪の偏心モーメントに相当する重量のウェイト(カウンタウェイト)を送電線に取り付けることで送電線のねじり剛性を増加させ、ペナント状の着雪を形成させることで着雪自重により落雪しやすくする。
- b. ラインスパーサや相間スパーサで送電線を把持することで送電線のねじり剛性を増加させる。ただし、相間スパーサは装置重量が大きいため、送電線又は鉄塔の強度によっては適用できない場合がある。

③送電線に付着した雪を融かす手法

送電電流と磁界の作用により発熱する原理を利用し、送電線に磁性線材を巻付けることで融雪する。ただし、装置重量が大きいため、送電線又は鉄塔の強度によっては適用できない場合がある。

(2) 評価

我が国の多くの送電線で用いられているのは、難着雪リング及びカウンタウェイトである。これらによる難着雪効果については、各電気事業者により雪氷学会などで研究成果が報告されている。このうち東北電力が昭和56年から青森県で継続している観測の結果を示す。(図14、15)

これによると、無対策の送電線での着雪量に対して、難着雪リングを装着した場合(約26%(重量))、カウンタウェイトを装着した場合(約36%(重量))、難着雪リングとカウンタウェイト又は相間スパーサを組み合わせた場合(約61%(重量))のいずれにおいても減少効果が確認されており、特に複数技術を組み合わせた際の有効性が示されている。

IV. 今回雪害事故が発生した送電設備への再発防止策

1. 塩雪害事故

(1) 再発防止対策の概要

今回の塩雪害事故は、長幹がいしのひだが海塩粒子を含む雪により埋めつくされ橋絡したことによるもの。一方、懸垂がいしは、長幹がいしに比べ笠間隔が広く、連結部外径と笠径の差も大きいため、長幹がいしよりも着雪による橋絡が起きにくい特徴がある。このため、今回塩雪害が発生した箇所について、電気事業者は長幹がいしを懸垂がいしに交換する措置を講じるとしている。（図１６）

(2) 再発防止対策の有効性

東北電力は屋外人工着雪試験装置を用いて暴風雪環境下を想定した着雪に関する実証試験を行っている。

当該試験の結果、長幹がいしにおいては、ひだの間が雪で埋めつくされるほど着雪が成長し、両端の金属間を橋絡するまでに至ることが確認されている。懸垂がいしでは、長幹がいしが着雪で橋絡した条件では、笠およびキャップ部に着雪はするものの橋絡には至らず、橋絡するまでには２～３倍の時間を要する。このことから、懸垂がいしは長幹がいしに比べ、着雪による橋絡が起きにくいことが確認されている。

（図１７）

また、東北電力による耐電圧試験の結果から、懸垂がいしは長幹がいしよりも着雪時の耐電圧が高い値となり、導電率 $300[\mu S/cm]$ の場合、長幹がいし $120kV$ に対し懸垂がいし 16 個で $200kV$ と約 1.7 倍の耐電圧値を示す結果が得られている。（図１８）

したがって、塩雪害事故再発防止対策として長幹がいしを懸垂がいしに交換する措置は有効と判断できる。

2. ギャロッピング事故

(1) 再発防止対策の概要

今回のギャロッピング事故は、単導体電線で相間スペーサが設置されていなかった箇所及び多導体電線でルーズスペーサが設置されていなかった箇所が発生した。このため、電気事業者は、単導体電線においては相間スペーサを設置し、多導体電線においては、既存のラインスペーサをルーズスペーサに交換する措置を講じるとしている。

(2) 再発防止対策の有効性

ルーズスペーサによるギャロッピング抑制効果については、電気学会技術報告（８４４号：架空送電線のギャロッピング現象解析技術）から、送電線の最大張力変動を半減させる効果があるとされている。また、昨冬の雪害事故発生時においても、ルーズスペーサを設置していた箇所ではギャロッピング事故は発生しておらず、ギャロッピングと思われる電線揺動も確認されていない。

さらに、（財）電力中央研究所で開発された「ケーブルおよび立体骨組み構造の有限要素法非線形プログラム（CAFSS）」を用いて、東北電力がルーズスペーサを事故発生箇所に導入した場合の電線揺動抑制効果をシミュレーションした結果、ルーズスペーサを取り付けることにより送電線の揺動が抑制されることが確認されている。

(図 19)

したがって、単導体電線において相間スペーサを設置する措置、多導体電線において既存のスペーサをルーズスペーサに交換する措置は、ギャロッピング事故再発防止対策として有効と判断できる。

3. 重着雪事故

(1) 再発防止対策の概要

今回重着雪事故が発生した線路は、九頭竜幹線を除き重着雪対策が講じられていた。このため、電気事業者は事故発生箇所において難着雪効果を向上させるため難着雪リングとカウンタウェイトを組み合わせて設置する措置を講じるとしている。ただし、ギャロッピングの発生が懸念される箇所については、カウンタウェイトがギャロッピングを誘発するおそれもあることから、これの代わりに相間スペーサを組み合わせる措置を講じるとしている。

また、耐雪強化対策としては、過去の経験や地域特性を考慮した十分な着雪量により再設計し、必要に応じて鉄塔を補強するとしている。

(2) 再発防止対策の有効性

Ⅲ. 3. (2) に沿ったものであり、概ね有効と判断できる。

V. 規制の現状とその評価

1. これまでの経緯

特別高圧架空電線路に対する雪害を防止するため、技術基準及びその解釈において「架空電線路の難着雪化対策基準」等を規定している。この規制内容については、その時代の経済的・社会的情勢を適切に反映させていくことが求められており、大規模な雪害事故が発生した場合には、その都度、規制内容の有効性について検討を行ない、規制の見直しや電気事業者への雪害対策強化要請を行ってきている。主な取り組みは次のとおりである。

(1) 昭和56年7月

昭和55年12月に宮城県仙台地区及び福島県郡山地区における雪害事故(鉄塔62基倒壊、送電線135径間・248条断線等)、翌年1月に富山市を中心とした雪害事故(鉄塔3基倒壊、送電線44径間・58条断線等)が発生したことを受け、国は(社)日本電気協会に対し、雪害対策に係る規制内容の見直しに向けた調査・検討を依頼した。昭和56年7月に、国は同協会から新たな技術基準として、主要道路と接近又は交差する架空電線路の耐雪性向上を規定すべき旨の報告を受けた。

(2) 昭和61年5月

同年3月に神奈川県央部において雪害事故(鉄塔8基倒壊、送電線31径間・84条断線)が発生したことを受け、国は各電気事業者に対し、架空電線路への難着雪リングの設置等を要請した。

(3) 昭和62年1月

昭和61年3月に神奈川県央部において雪害事故が発生したことを受け、国は(社)日本電気協会に対し、規制内容の見直しに向けた調査・検討を依頼したところ、特別高圧架空電線路へ雪害対策を強化すべき旨の報告を受けた。このため、昭和62年1月に国は各電気事業者に対し、特別高圧架空電線路に関する雪害強化対策の実施を要請した。併せて、これらの要請事項を運用していく際の基準(鉄塔建設に当たり考慮すべき荷重や降雪の多い地域等)を制定した。

(4) 平成9年5月

平成6年12月の電気事業審議会需給部会電力保安問題検討会の提言を踏まえ、電気設備の技術基準については、具体的な手段や方法を規定せず、保安上必要な性能のみの規定に限定することになった。また、当該技術基準を満たす場合の例として、新たに技術基準の解釈を制定することとなった。この変更に伴い、国は昭和62年1月に各電気事業者に対して行った要請事項を電気設備の技術基準の解釈(以下、技術基準解釈)第115条及び第122条として位置づけるとともに、その運用基準を同解釈の解説として位置づけた。

2. 規制の現状

特別高圧架空電線の雪害対策に関する基準として、技術基準では次の内容を規定している

(1) 重着雪対策に関する技術基準

特別高圧架空電線路の電線の断線防止及び鉄塔等の支持物の倒壊防止の観点から、

降雪の多い地域や市街地等に設置する電線路へは、難着雪化対策又は耐雪強化対策を施すことが規定されている。（技術基準解釈第122条）

また、地形的に異常な着雪が発達しやすい箇所を設置する特別高圧架空電線用鉄塔については、着雪時荷重に耐える強度（難着雪化した際にはその効果を考慮することができる。）とすることについて規定している（技術基準解釈第115条）

(2) 風雪による架空送電線路の揺動防止対策に関する技術基準

特別高圧架空電線路の電線の断線防止の観点から、この断線の主要因であるスリートジャンプ防止のため風又は雪による送電線の揺動抑制を規定している。（技術基準解釈第123条）

なお、送電規程における重着雪対策に関する基準については、技術基準の基準と同様であるものの、技術基準では規定されていないギャロッピング対策に関する基準についても規定されている。また、送電規程には、塩雪害対策に特化した基準ではないものの、塩雪害対策に資する基準として、「がいしの冠雪防止対策」に関する基準も規定されている。

3. 規制の評価

(1) 塩雪害対策

昨冬に発生した塩雪害事故の原因は、長幹がいしのひだが海塩粒子を含む雪で埋め尽くされ橋絡したことである。

したがって、塩雪害の再発防止には、がいしに対する「塩分を含んだ雪ががいしを埋めつくすような着雪」を防止することが重要となる。しかし、がいしに対する着雪防止対策については、現在のところ技術基準及び同解釈においては規定されていない。

一方、電気事業者は特別高圧架空電線設置箇所の気象データ等に鑑み、必要に応じて送電規程を参考にがいしへの着雪防止対策を実施しているが、昨冬これまで確認されていない内陸部において塩雪害による大規模な供給支障事故が発生したことを踏まえれば、今後の同種事故の再発防止の観点から国は規制上の要求を明確化することが必要である。

(2) ギャロッピング対策

昨冬に発生したギャロッピング事故の原因は、次の2点である。

- ①特別高圧架空電線に雪が羽状に付着して空力的に不安定になったこと
- ②空力的に不安定な形状になった電線にねじれ振動が生じ、送電線固有の振動とねじれ振動が同調することにより大きな自励振動に発達したこと

したがって、ギャロッピング事故の再発防止には、「特別高圧架空電線に対する着雪」と「特別高圧架空電線の揺動」を防止することが重要となる。しかし、架空送電線の揺動に関しては、短絡防止の観点から技術基準解釈第123条において風又は雪による揺動抑制が規定されているが、風と雪の相乗効果によるギャロッピングについては、規制対象とされていない。一方、送電規程には、特別高圧架空電線に対するギャロッピング抑制対策に関する基準が規定されており、電気事業者は架空送電線設置箇所の気象データ等に鑑み、必要に応じて同規程に準じて特別高圧架空電線の揺動防止対策を実施している。

このように、ギャロッピングに対する具体的な基準が整備されているのは民間規格のみであるが、昨冬にギャロッピングによる供給支障事故が複数箇所が発生したことを考えると、特別高圧架空電線に対する風及び雪の相乗効果による揺動についても、国は規制上の要求を明確化することが必要である。

(3) 重着雪対策

昨冬に発生した重着雪事故の原因は、次の２点である。

- ①特別高圧架空電線が回転しながら各面に雪を付着させたため、筒雪となり着雪が大きく成長したこと
- ②特別高圧架空電線への異常着雪により、付着した雪の荷重が送電線又は鉄塔の耐力を超えたこと

したがって、重着雪事故の再発防止には、「特別高圧架空電線に対する着雪」の防止と「鉄塔の耐力」の確保が重要となる。架空送電線に対する着雪に関する基準としては「特別高圧架空電線への難着雪化対策（技術基準解釈第１２２条）」が、地形的に異常な着雪が予想される鉄塔については、耐力に関する規制として「特別高圧架空電線用の鉄塔への着雪時荷重等（同第１１５条）」が規定されている。さらに、同第１２２条の解説では、難着雪リングや架渉線のねじれ剛性強化に向けたスパーサの設置等が例示され、個々の手法の組み合わせによる対策についても示されている。

なお、送電規程における電線への着雪防止対策及び鉄塔の着雪時荷重等についても、上記解釈と同様の内容が規定されている。

今般の北陸電力及び関西電力における鉄塔損傷事故については、これまでの観測実績等からの想定を超える積雪量であるとともに、河川等地形的に重着雪が予測される箇所とは言い難い箇所であった。このため、事業者においては自主的に耐雪又は難着雪設計を行っていたものの結果として対応十分ではなかったものと考えられる。

以上から、現行の重着雪に係る規定内容としては、地形から判断される箇所において必要な難着雪対策について措置することが既に規定されており、現行の規制内容は概ね適切であると評価する。

一方、本ワーキンググループにおいても複数の難着雪化手法の組み合わせの有効性について確認していることから、これが積極的に活用されるよう、今後運用面での取り組みを検討することが望まれる。

VI. 今後求められる雪害対策

1. 電気事業者の取り組み

(1) 塩雪害事故再発防止対策

東北電力以外の電気事業者では、特別高圧架空電線用のがいしとして懸垂がいしを標準的に使用している。このため、塩雪害に対する懸垂がいしの有効性を鑑みると、東北電力以外の電気事業者では既に塩雪害に対して一定の効果が期待できる状況にあると判断できる。

しかしながら、塩雪害についてはこれまで発生件数が少なく、また気象条件等の発生条件や対策等の知見が十分に得られていない。このため今後電気事業者においては、気象観測にあたっての項目及び方法、発生メカニズム(気象条件、がいし形状等)、これらを踏まえた対策等について各社が密接に連携して検討を進めるとともに、収集された測定データを一元的に蓄積し、これらから得られる知見を適切に民間規格に反映させていくことが必要である。

(2) ギャロッピング事故再発防止対策

今回のギャロッピング事故を踏まえ、同様の事故の発生可能性がある箇所についてはルーズスペーサの設置等を進めていくことが必要である。また、ギャロッピングの発生条件、メカニズム等の検討は個々の電気事業者を中心にこれまでも取り組まれてきているが、今後は、ギャロッピング事故発生時の気象条件などを定量的に把握するなど、解析技術の向上に向けた取り組みが期待される。このため、今後、データの蓄積や電線及び支持物への影響、ギャロッピング抑制技術の研究等について、各電気事業者が密接に連携を図り、更なる取り組みを促進するとともに、一元的に観測データ等を蓄積した上で、これらの取り纏め結果について適切に民間規格に反映させていくことが必要である。

(3) 重着雪事故再発防止対策

今回の重着雪事故を踏まえ、電気事業者においては、難着雪効果を含めた鉄塔設計時の着雪荷重の適切性について確認するとともに、必要な箇所については、難着雪リングやカウンターウェイト等の複数の手法を組み合わせ採用していくことについて検討することが必要である。

また、試験線等における観測を継続し、データの蓄積と着雪モデルに関する研究など、各社間の密接な連携のもと推進を進めるとともに、この検討結果について、適切に民間規格に反映させていくことが必要である。

2. 規制に関する取り組み

昨冬の供給支障事故を踏まえて、特別高圧架空電線路に対する現行の規制基準の妥当性を検討すると、塩雪害対策及びギャロッピング対策については、規制上の技術基準を明確化していくことが必要である。したがって、技術上の規制である技術基準において、新たに次の基準を整備していくことが求められる。

(1) 塩雪害事故防止

がいしに対する「塩雪害」の防止を目的とした基準

(2) ギャロッピング事故防止

特別高圧架空電線に対する風と雪による相乗効果による揺動防止に関する基準

なお、重着雪対策に関する規制基準については概ね適切と考えられるものの、難着雪技術の具体的組み合わせ内容について、民間規格への取り入れも考慮しつつ、今後の基準への取り入れについて検討する必要がある。

3. 安定供給に向けた対応

(1) 検討の主旨

送電設備は、電力流通設備の要となるものであり、各電気事業者もその重要性から送電ルートの多重化を行うことなどによって、仮に何らかの事故が発生した場合でも、需要家への電力供給が途絶えないよう、あるいは短時間に復旧できるように電力供給システムを構築している。しかし、我が国は台風が毎年上陸し、冬には大雪に見舞われる地域があり、地震も頻繁に発生するという地理的条件にあることから、昨冬のように自然災害により突発的に大規模な供給支障事故が発生することがある。

現在、我が国では、国民生活や各種産業等あらゆる分野で電力に依存しているため、電力の安定供給は不可欠の課題となっている。

このような観点から、本検討は、電力の安定供給に向けた送電設備形成の考え方や大規模な供給支障事故が発生した場合の応急復旧方法の実態を整理するとともに、今後の設備形成や応急復旧のあり方に向けた課題の抽出を目的にしたものである。

(2) 設備形成の考え方

①基本ルール

電力流通設備における設備形成の基本ルールは次のとおりである。これは、電気事業法第93条に基づき、平成17年4月に指定された中立機関（電力系統利用協議会）が定めたものであり、電気事業者はこれを踏まえた設備形成基準を策定し公表している。

- 1) N－1故障(単一故障)に対しては、原則として供給支障が生じないようにする。ただし、その影響が限定的な供給支障はこれを許容するが、基幹系統や需要密度が高いなど供給支障による社会的影響が大きい地域に対しては、N－1故障の場合において極力供給支障が生じないようにする。
- 2) N－2故障に対しては、稀頻度であることから一部の電源脱落や供給支障は許容する。ただし、供給支障規模が大きく社会的影響が懸念される場合などは、対策を行うよう考慮する。

②考慮すべき事項

電力流通設備の形成に当たり、上記の基本ルールを踏まえて単一故障時に原則として供給支障が生じないような供給設備とすることを前提として、さらに稀頻度事故時の広域事故波及防止や停電影響度合い等の事項を考慮している。事業者は、これらの事項を踏まえて広域事故波及防止に向けた総合的な検討を行い、最終的な設備形成を決定している。（別紙）

一方、電気事業者、大学、（財）電力中央研究所などでは、以上の考慮すべき事項

に関連して、供給信頼度の向上に資するべく、評価精度向上の観点から多くの研究に取り組んでおり、現在の確定論的手法による評価に加え、確率論的手法も併せて取り入れていくことについて検討が行われている。また、この検討においては、両手法の適切な組み合わせ、故障率や経年劣化データ等データベースの充実、計算手法の高度化・高速化などが課題とされており、これらに対し適切に対応しつつ、更なる信頼性評価精度向上に資することが望まれる。

(3) 復旧対応

① 復旧対応の現状

電気事業者は、大規模な台風や地震災害、事故等により個別の電気事業者では迅速な復旧が困難な供給支障が生じた際に電気事業者間で資材・要員を融通しあう広域的復旧支援体制を構築している。

平成16年の新潟県中越地震(供給支障件数：約30万戸)における復旧支援では、地震発生日の翌日に東京電力、中部電力及び北陸電力が東北電力に対し発電機車34台、各種作業車39台、要員154名などの復旧応援を行った結果、立入禁止地域等を除き5日間で電力供給が再開された。このように短期間で復旧が可能となったのは、電気事業者が平成3年の台風19号による被害や平成7年の阪神・淡路大震災の際の復旧支援の経験を踏まえ、より一層効果的な支援が可能となるように訓練や資材の準備等に務めた結果である。

② 今後の応急復旧のあり方

1) 我が国における電力供給の実態

我が国では、電気設備は技術基準を満足するように構築し、かつ、基本的にはN-1基準で構築されている。また、万が一、大規模な供給支障事故が発生した場合には主として系統切替による復旧が行われているほか、必要に応じて発電機車対応等も行われている。国においても、送電線路に関する技術基準の見直し等を通じて、電力の安定供給を促進しているところである。国及び電気事業者によるこれらの取り組みにより、需要者当たりの停電回数は過去30年で約1/7に減少している。しかしながら、昨冬の雪害事故のように、自然災害等による突発的かつ大規模な供給支障事故に対し、事前の設備構成だけでは対応することは困難であり、個々の事象に応じた臨機応変な復旧対応が求められる。(図20)

2) 応急復旧に向けた今後の課題

電力の安定供給に向けた応急復旧のあり方としては、電力供給の再開に向けて採り得る手段が可能な限り講じられるとともに、実効性確保の観点から平常時の取り組みについても適切に実施されるものであることが必要である。

このような観点から、以下の課題について今後も引き続き対応していくとともに、経済的・社会的情勢や技術水準等を考慮しながら対応の見直しを図っていくことが望まれる。

a. 応急復旧のための手法

- ・ 電気事業者間等の設備の共同運用
- ・ 系統から独立した停電区域に電源(発電所)がある場合、発電所の単独運転

等

b. 応急復旧のための体制

・電気事業者、自治体等との連携体制 等

c. 実効性確保に向けた取り組み

・適切な事前訓練 等

(4) まとめ

電力の安定供給に向けた、国及び電気事業者による様々な取り組みにより、我が国における需要者当たりの停電回数は大幅に減少したものの、昨年の雪害事故のように、自然災害等により突発的に大規模な供給支障事故が発生することがある。特に、大雪の中の停電は国民生活に極めて大きな影響を与えるため、今後とも電力の安定供給を確保していくためには、設備形成や応急復旧に関する様々な方法について検討を行い、緊急時に講じ得る方法の選択肢を増やしておくことが重要となる。

また、これらの方法については、万が一、大規模停電が発生した際に円滑に実施し得るように、平常時から準備しておくことが重要である。このため、電気事業者においては、応急復旧に向けた設備面及び体制面の整備について引き続き取り組んでいくとともに、経済的・社会的情勢や技術水準等を考慮しながら対応の見直しを図っていくことが望まれる。

VII. おわりに

我が国では、これまでその時代の経済的・社会的情勢を適切に反映させた雪害対策を講じてきた。この取り組みにより、大規模な雪害事故の頻度は以前に比べ減少していることから、これまでの雪害対策は概ね適切であったと考えられる。しかしながら、昨冬の大規模な供給支障事故に鑑みると、設備の保安及び供給安定の観点から特別高圧架空電線の雪害対策に関し更なる対策を講じていくことが必要である。このため、国においては特別高圧架空電線に関する塩雪害対策及びギャロッピング対策を講ずるべく、技術基準の見直しを図ることが必要である。また、電気事業者においては、民間規格の更なる拡充に向け、引き続き知見の収集に務めていくことが必要である。

電力安定供給については、国及び電気事業者の様々な取り組みにより供給信頼性は向上している。しかし、電力の安定供給は安全・安心な国民生活の構築にとって不可欠の課題であるため、電気事業者においては、速やかな応急復旧対応が可能となるように採りうる手段について検討を続けるとともに、実施可能な方法について設備面・体制面の準備に引き続き取り組んでいくことが期待される。

設備形成に当たり考慮すべき事項

1. 稀頻度事故時の広域事故波及防止

稀頻度事故時の系統安定度、電圧維持、周波数維持などの電気工学的検討を行い、事故範囲を局限化するための系統保護装置、事故波及防止装置などの各種運用対策も考慮している。

2. 停電影響度合い

建設地点においてどの程度の事故が予想されるのか過去の事故実績を調査し、故障時を想定して停電範囲、規模、継続時間、推移（系統切替、配電線融、電源増発等）など停電の影響度合いを考慮している。

3. 既設設備の老朽度

信頼度を維持するためには既設設備の老朽化の評価も大切であり、保守データの管理、分析による老朽度監視を行っている。

4. 系統構成

放射状系統、ループ（メッシュ）系統それぞれにメリット、デメリットがあることから、それらの組合せによる全体の系統構成を考慮している。

5. 設備仕様

建設する設備の多岐にわたる仕様（例：架空線または地中線、屋内設備または屋外設備など）について考慮している。

6. 地域特性

地域により異なる気象条件、地形条件を考慮している。最近では設備を建設するための用地事情が大きく影響する場合がある。

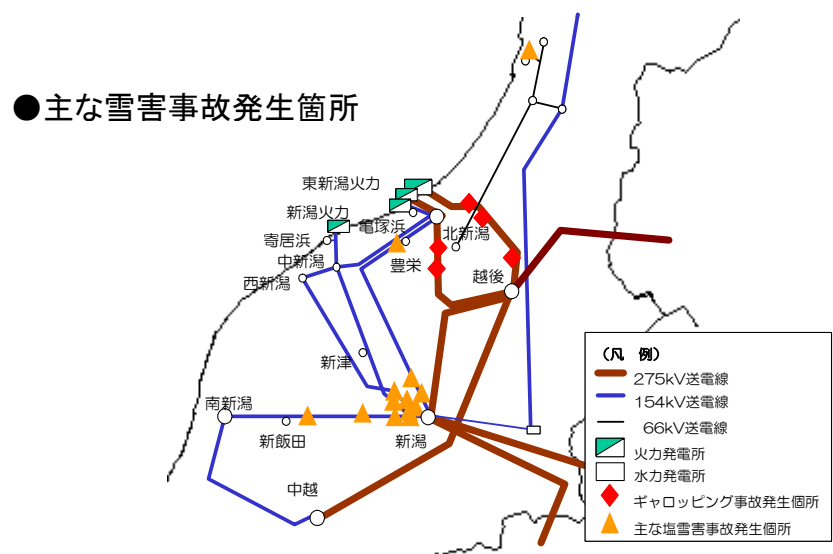
7. 将来計画との整合性

長期的な計画を考慮した上で、至近年の検討を行っている。

8. 経済的事項

設備投資額に合わせ、建設後の保守費用ならびに送電損失などの経済的事項を考慮している。

図1:新潟下越地域における雪害事故(東北電力管内)

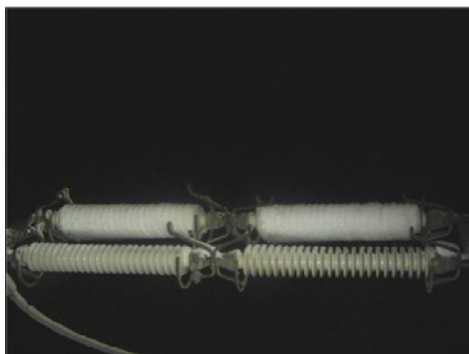


●事故原因別送電線路数

事故原因	線路数	回線数
塩雪害	23	37
ギャロッピング	7	12

●雪害事故の内容

塩雪害



ギャロッピング

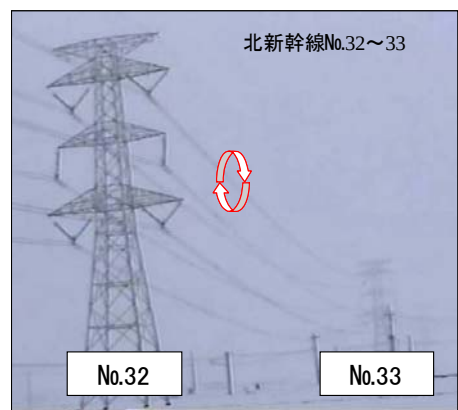
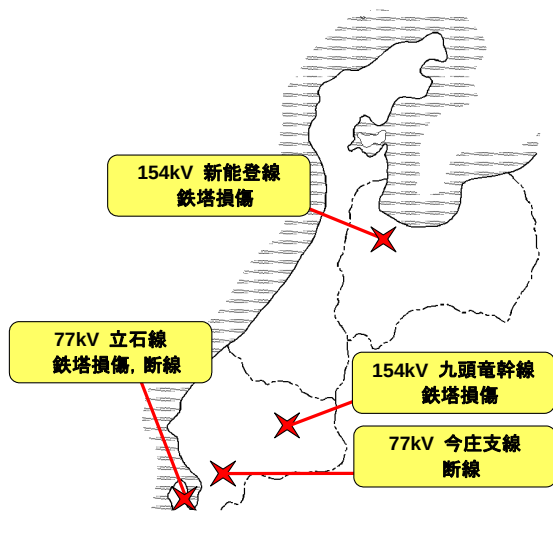


図 2 : 福井県及び富山県における雪害事故(北陸電力管内)

●雪害事故発生箇所



●被害状況

線路名 被害発生又は 発見月日	被害状況		供給支障
	鉄塔 損傷	電線 断線	
77kV 立石線 (12月13～ 15日)	4基 (No.29 No.31 No.32 No.50)	3箇所	最大 0.4 万kW (特高需要家5社：11分)
77kV 今庄支線 (12月14日)	—	3箇所	最大 4.3 万kW 特高需要家3社：4時間42分 湯尾S/S : 4時間42分 王子保S/S : 8時間02分 特高需要家1社：41時間32分
154kV 九頭竜幹線 (12月15日)	1基 (No.53)	—	なし
154kV 新能登線 (12月17日)	1基 (No.30)	—	最大 0.7 万kW (特高需要家：4時間6分)

●雪害事故の内容



立石線No.29

最下腕金下 1 パネル目
の塔体部材損傷



九頭竜幹線No.53

最下腕金下 2 パネル目
の塔体部材損傷



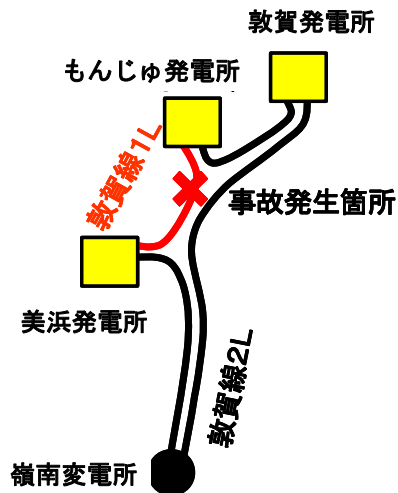
新能登線No.30

中～最下腕金間の塔体
部材損傷

図3：福井県における雪害事故(関西電力管内)

1. 敦賀線における雪害事故

●雪害事故発生箇所



●雪害事故の内容

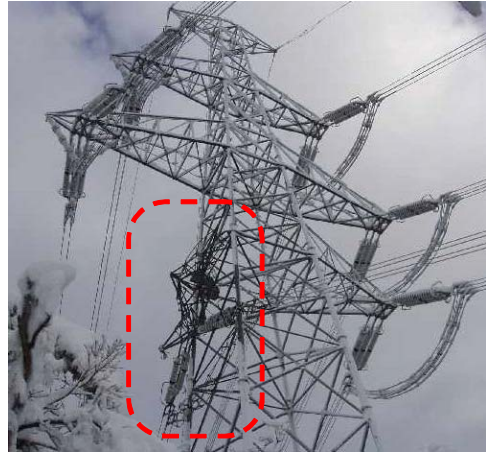


図 2.3.5 275kV 敦賀線No.15 鉄塔写真

2. 大飯幹線及び第二大飯幹線における雪害事故

●雪害事故発生箇所

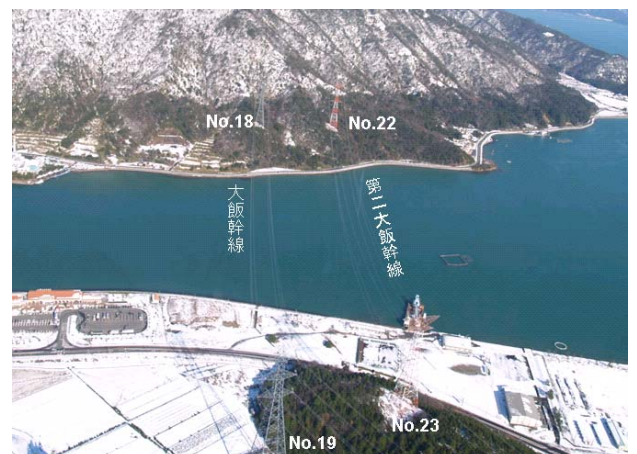
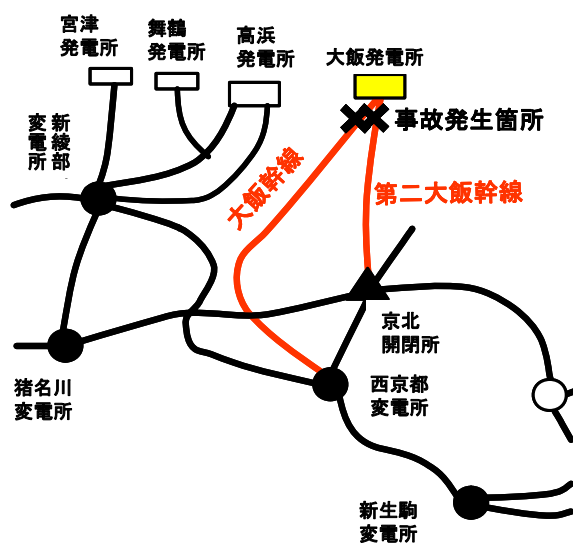
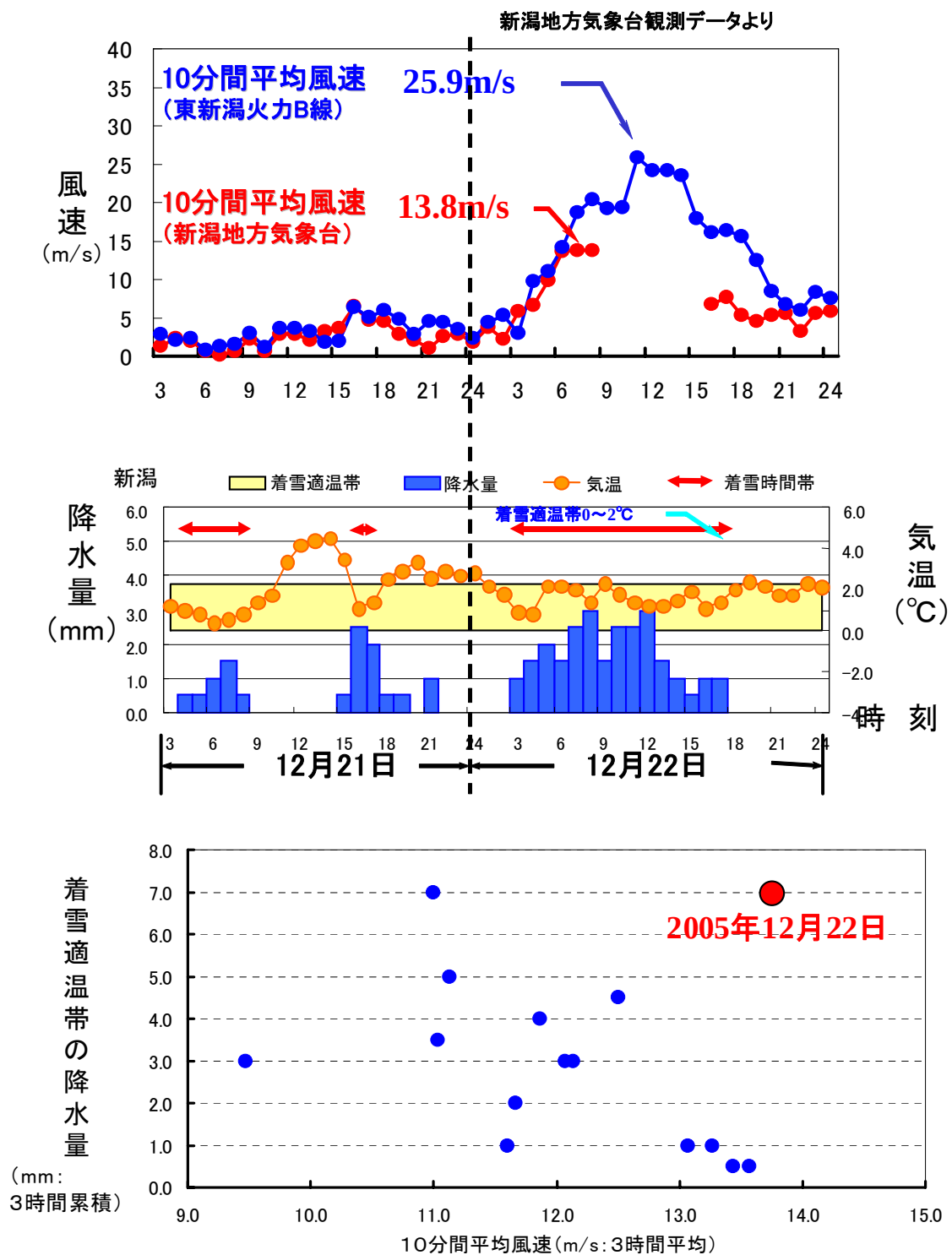


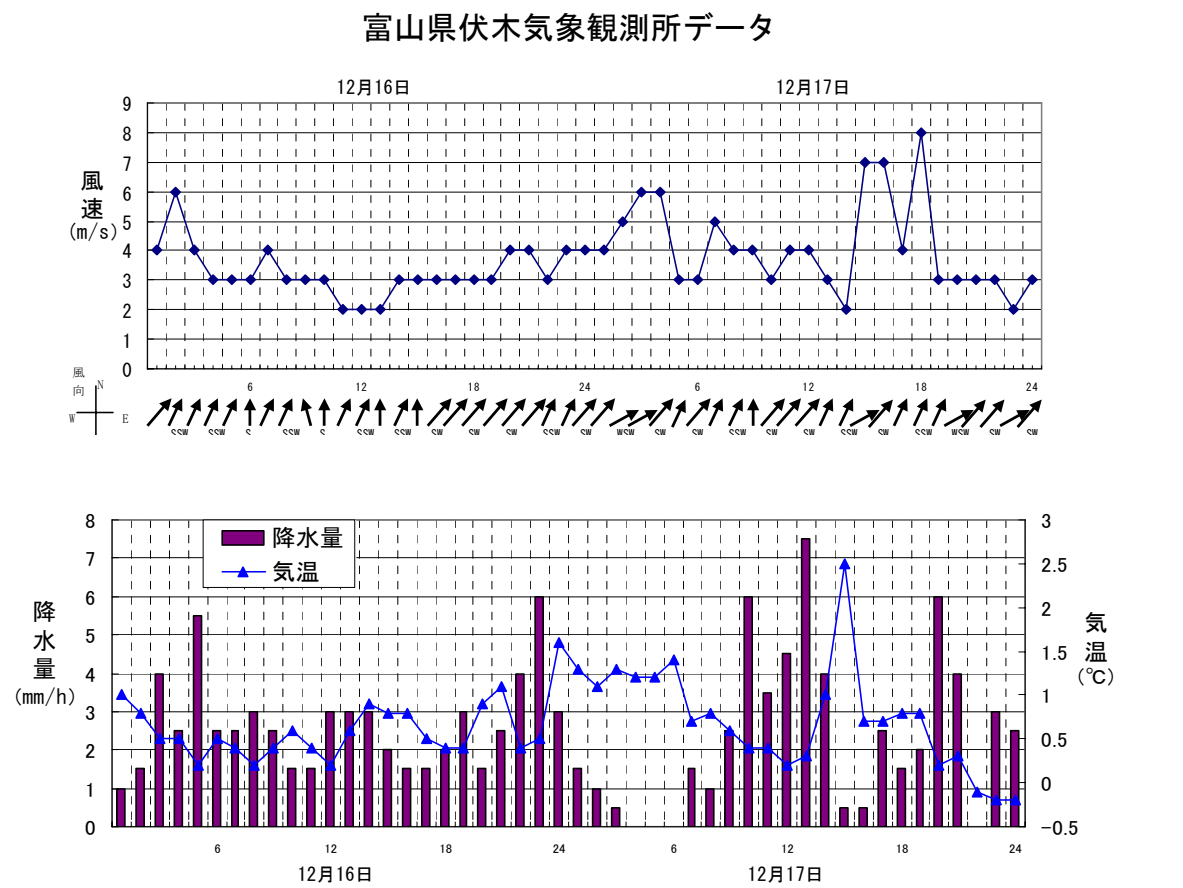
図 4：新潟下越地域における雪害事故時の気象状況



着雪適温帯（0°C～2°C程度）における風速上位15位の降水量の分布
（新潟地方気象台における過去30年のデータ）

※上記3図とも東北電力調べ

図 5：福井県及び富山県における雪害事故時の気象状況

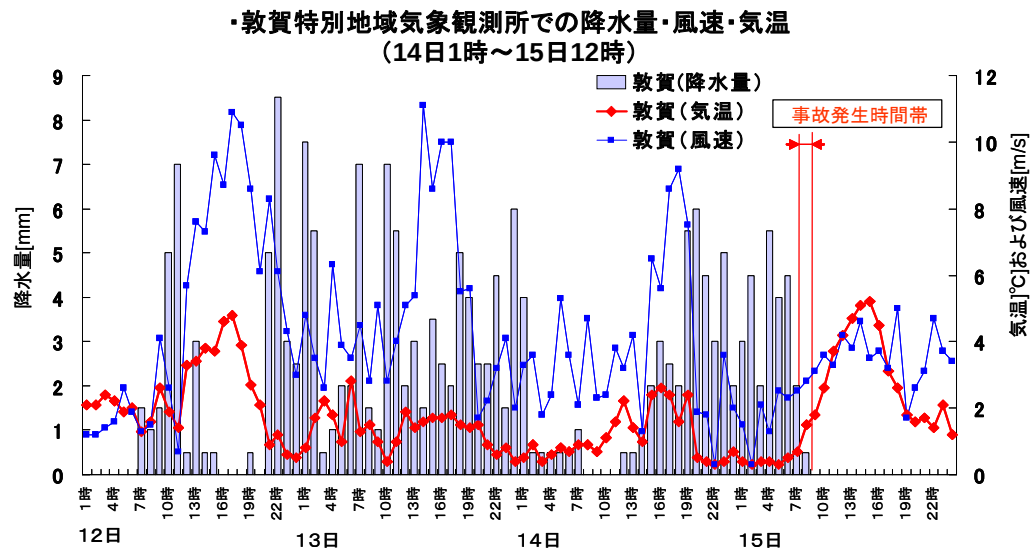


4 8 時間中の着雪適温帯における降水量

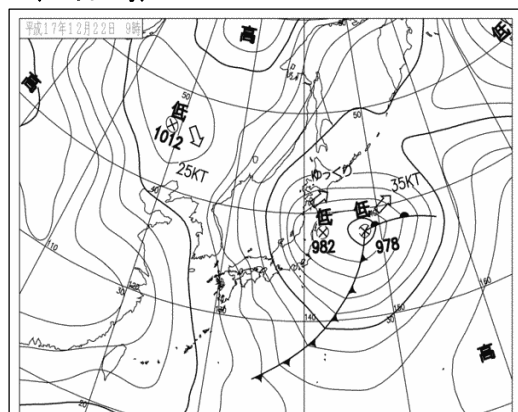
	観測地点	48 時間 降水量 (mm)	歴代順位	発生年月日	備考 (平均値, サンプル数)
今庄支線	今庄	158	1 位	平成 17 年 12 月 14 日	18mm, 592
新能登	伏木	111	1 位	平成 17 年 12 月 17 日	14mm, 544
立石線	敦賀	104	3 位	平成 17 年 12 月 15 日	16mm, 402
九頭竜幹線	大野	80	4 位	平成 17 年 12 月 11 日	11mm, 641

※上記 3 図とも北陸電力調べ

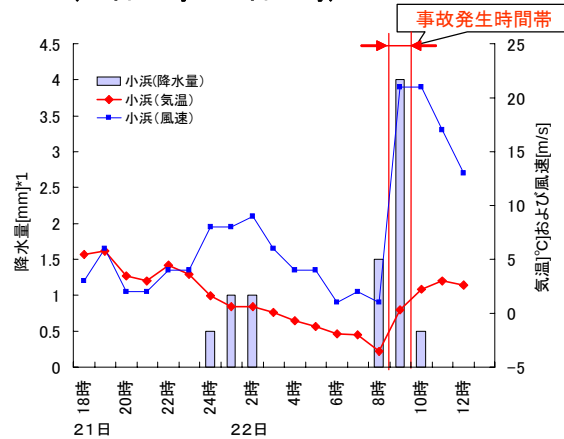
図6：福井県における雪害事故時の気象状況



・事故当日の天気図
(22日9時)

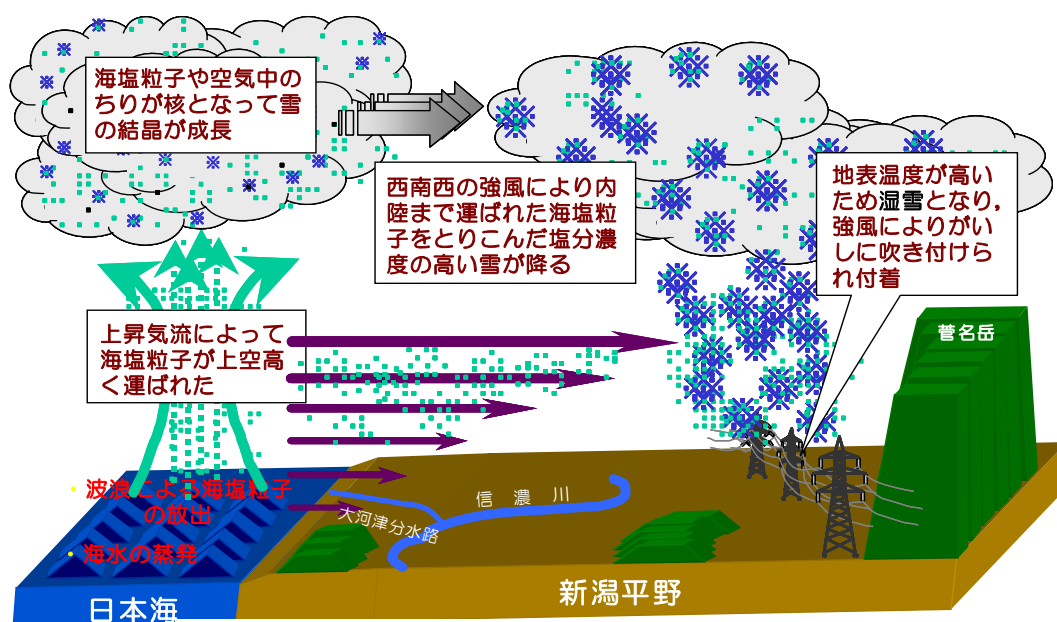


・小浜地域気象観測所での降水量・風速・気温
(21日18時～22日12時)

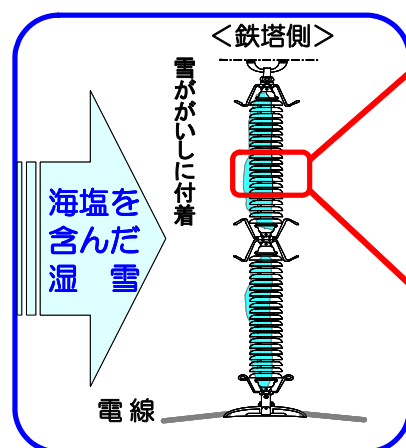


※上記3図とも関西電力調べ

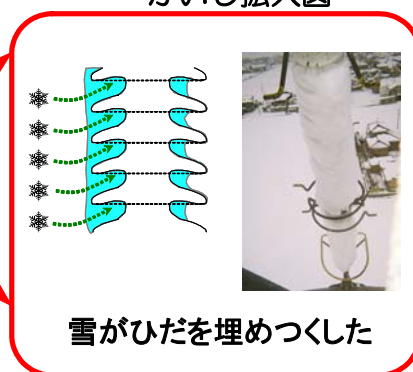
図 7 : 塩雪害の発生メカニズム



がいに周辺拡大図



がいに拡大図



がいの絶縁強さ

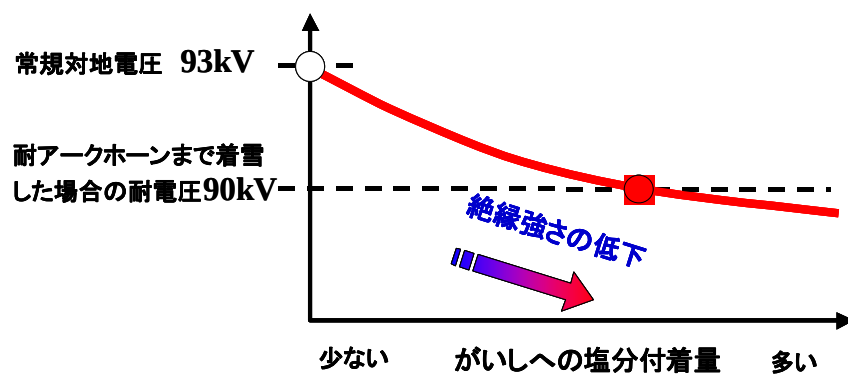


図 8 : ギャロッピングの発生メカニズム

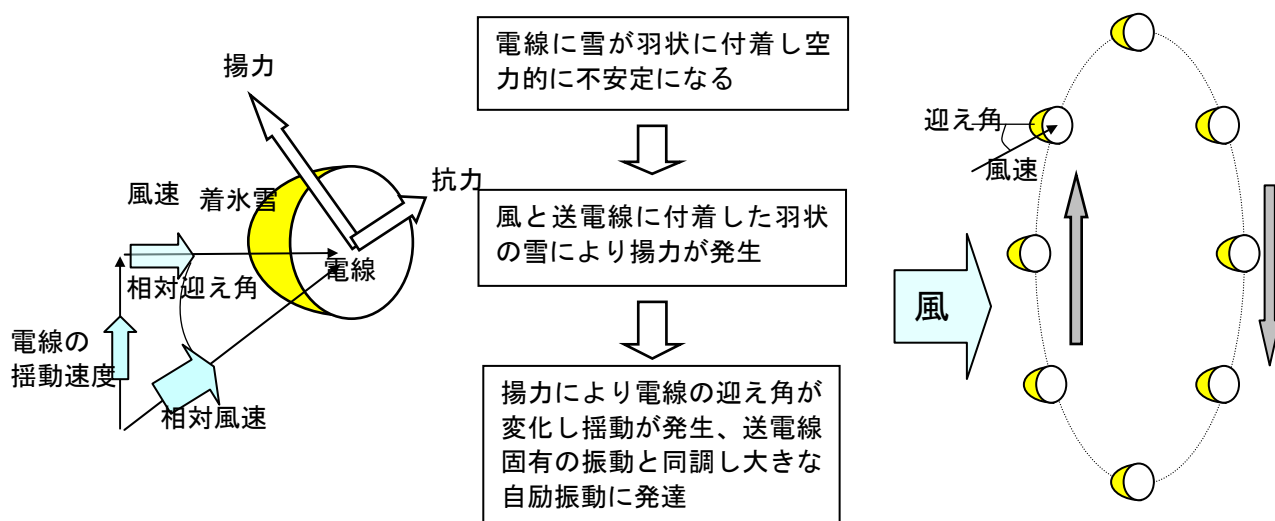


図 9 : 重着雪の発生メカニズム

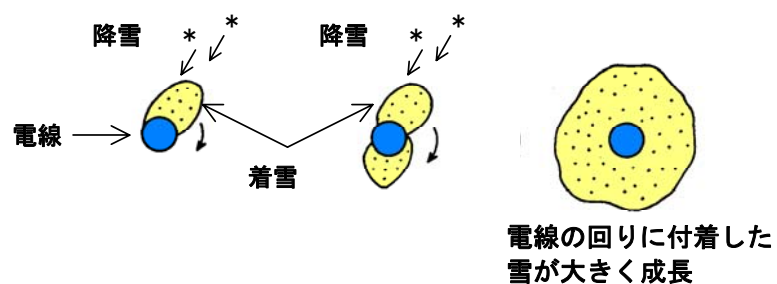


図 10：ギャロッピング対策の主な手法

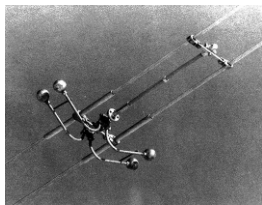
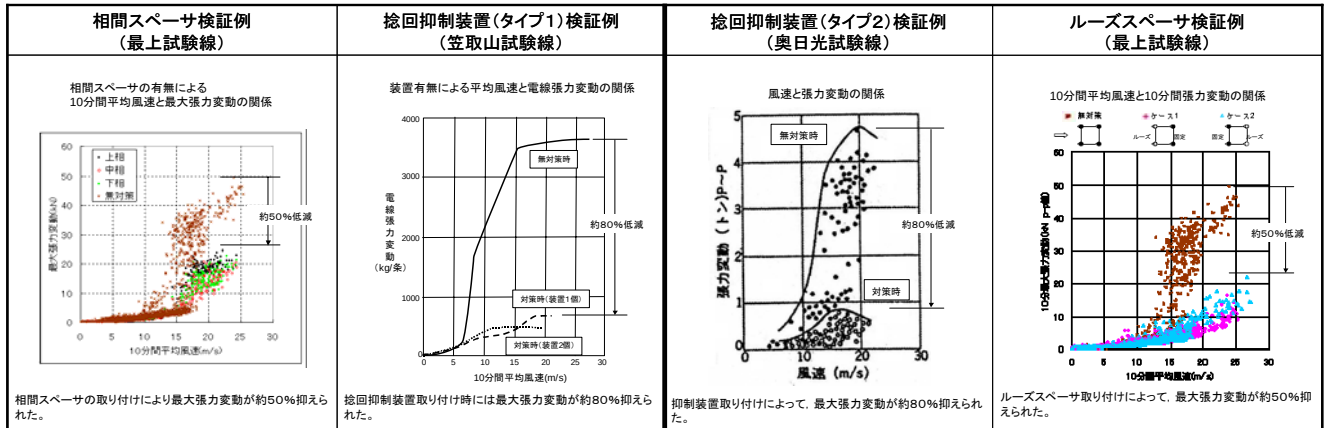
目的	名称	抑止原理	写真
相間距離を確保する	相間スペーサ	- 電線との相互干渉により大振幅（1ループ・2ループ）を小振幅（多ループ）に変換する。 - 電線の異常接近を防止する。	
	検回抑制装置（タイプ1）	ギャロッピング時における電線の上下運動周期と検回周期をずらせることによりギャロッピングを抑止する。	
検回周期をずらす	検回抑制装置（タイプ2）	電線にケーブルにより連結された重錘の検回運動により大きなエネルギーを消費することによりギャロッピングを抑制する。	
	ルーズスペーサ	自由回転するルーズ把持部電線により、着氷雪がその偏心重量によりねじれて、長手方向への空力的に一樣な着氷雪形状を防止し、多導体としての一定の空力特性を妨げる。 ただし、ルーズ部の凍りつきにより効果低減の恐れあり。	
着氷雪形状を変化させる	スパイラルロッド	一定ピッチのスパイラルロッドを巻付けて風上方向に成長する一樣着氷雪を1ピッチで上下に対称に付着させ、揚力をキャンセルさせる。	

図11:ギャロッピング対策手法の効果



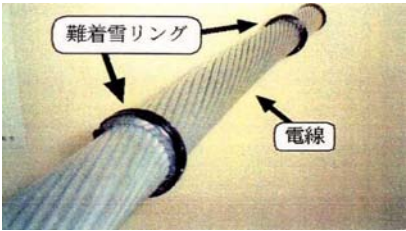
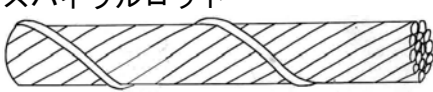
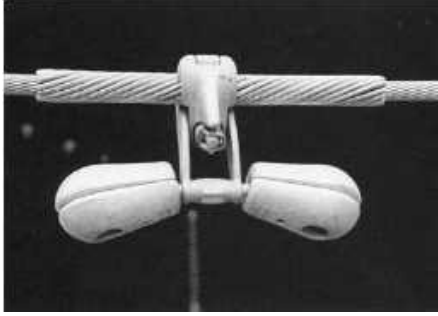
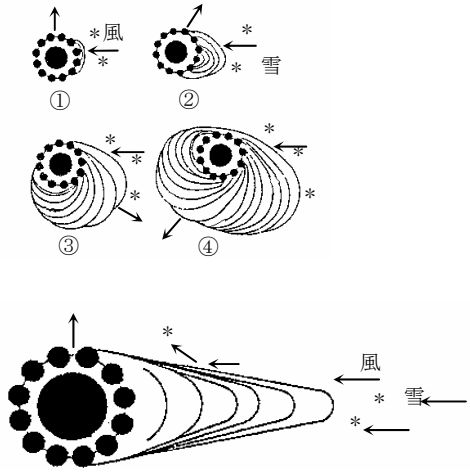
※電気学会技術報告(844号:架空送電線のギャロッピング現象解析技術)より

図12:ギャロッピング対策手法の比較

評価項目 対策	抑制効果	適用範囲	使用実績	既設設備に導入する場合 の影響
相間スペーサ	最大張力変動 低減率約50%	154kV以下送電線への適用が主	約2万回線径間に採用されうち187kV以上は600回線径間に採用	装置重量が大きいため強度検討が必要
捻回抑制装置 (タイプ1)	最大張力変動 低減率約80%	多導体に適用	約100回線径間に採用(現在、新規採用はない)	装置重量が大きいため強度検討が必要
捻回抑制装置 (タイプ2)	最大張力変動 低減率約80%	適用制限は無い	約300回線径間に採用(現在、新規採用はない)	装置重量が大きいため強度検討が必要
ルーズスペーサ	最大張力変動 低減率約50%	多導体に適用	約400回線径間に採用	特に影響なし (径間条件(径間長、高低差)に左右されず適用可能)
スパイラル ロッド	垂直方向変位 最大値低減率 約50%	適用制限は無い	採用は一部地域に 限定されている	電線風圧が増加するため 強度検討が必要

※電気事業連合会調べ

図 1 3 : 重着雪対策の主な手法

手 法	名 称	原 理 ・ 特 徴
送電線に 付着した 雪を分断 して落下 させる手 法	難着雪リング 	電力各社で最も一般的に採用されている難着雪化対策。 耐候性・耐熱性に優れた合成樹脂製のリングであり、電線に一定間隔で取付けることによって、着雪の連続性を分断して自重により落雪させ、筒雪発達を防止する対策。 また、電線製造時にシリコン樹脂によりリングを成形することにより、工事期間が短縮できる難着雪リング付き電線も製造されている。
	スパイラルロッド 	左図のように電線のよりと反対方向に素線を巻きつけ、難着雪リングと同等の効果をもたせることで、筒雪への発達を防止する。なお電線の低風音対策としての適用が多い。
送電線の 捻り剛性 を増加し 送電線各 面の着雪 量を不均 衡化させ ることで 落下させ る手法	カウンタウェイト 	下図に示すような電線を回転させながら筒雪に発達する着雪に対して、着雪の偏心モーメントに相当する重量のウェイトを電線に取付け、電線のねじり剛性を増加させることにより、ペナント状の着雪を形成させ、自重により落雪させる対策。ただし、電線の剛性を強くした場合にギャロッピングの発生を助長する懸念がある。 

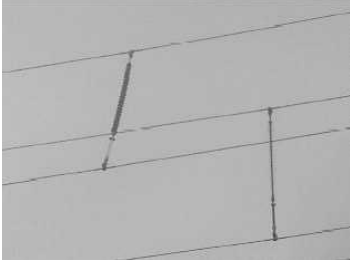
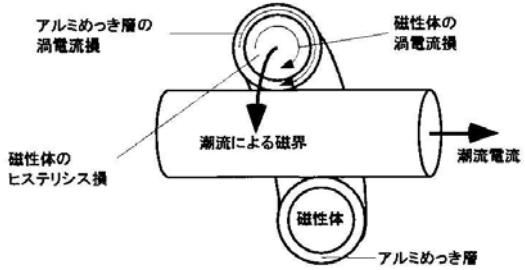
手 法	名 称	原 理 ・ 特 徴
送電線の捻り剛性を増加し送電線各面の着雪量を不均衡化させることで落下させる手法	ラインスペーサ 	多導体の送電線においては、素導体同士の接触による損傷を防止するために、左図に示すようなスペーサを一定間隔で取付けている。このスペーサの把持部により、素導体が固定されるため、電線のねじれ剛性が増加し、カウンタウェイトと同様の効果が得られる。ただし、電線の剛性を強くした場合、カウンタウェイトと同様にギャロッピングの発生を助長する懸念があるため、各素導体のねじれ剛性を異ならせることにより着雪時の着雪形状を不均一にして、ギャロッピングを抑制するルーズスペーサが開発されている。
	相間スペーサ 	相間スペーサはギャロッピングによる短絡事故の防止を目的として適用されているが、左図に示すように相間で電線を把持するために、電線のねじれ剛性を増加させる効果もあり、カウンタウェイトと同様に、着雪による電線のねじれを防止することが可能。
送電線に付着した雪を溶かす手法	融雪線の巻付け 	発熱体としてキューリー点の低い磁性線材を電線に巻付け、送電電流（潮流）による発熱を利用して、電線への着雪を融雪する方法である。発熱原理は下図に示すように、送電電流による磁界が磁性線材を交番する際に生じるヒステリシス損および渦電流損による発熱を利用するものである。 

図14: 重着雪対策手法の効果

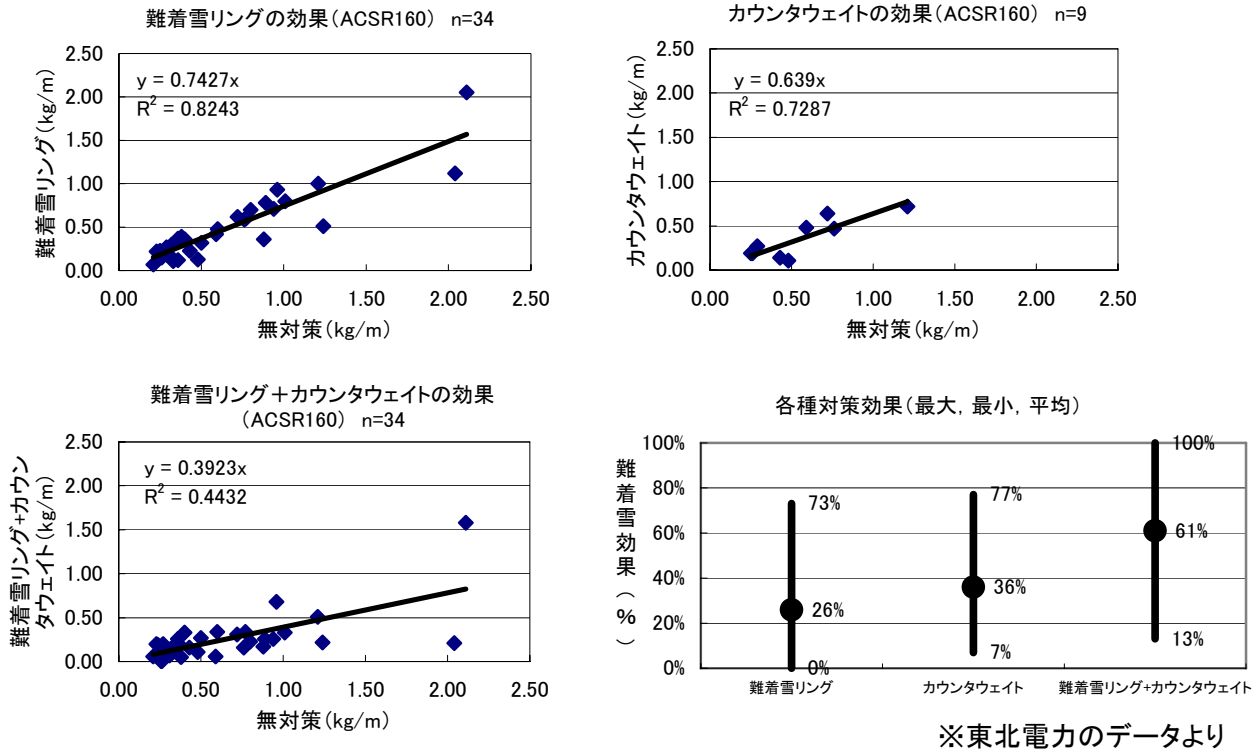


図15: 重着雪対策の比較

対策		評価項目	着雪低減効果	使用実績	既設設備に導入する場合の影響
難着雪化	難着雪リング		おおよそ26%* ¹	約14万回線径間に採用	特に無し
	スパイラルロード		難着雪リングと同等程度	難着雪対策として約200回線径間に採用	重量、風圧増による鉄塔強度検討が必要
剛性強化	カウンタウエイト		おおよそ36%* ¹	単独での採用は約1000回線径間	特に無し
	相間スペーサ		カウンタウエイトと同等程度	難着雪対策として約800回線径間に採用	重量、風圧増による鉄塔強度検討が必要
難着雪化+剛性強化	難着雪リング+カウンタウエイト		おおよそ61%* ¹	約13万回線径間に採用	特に無し
	難着雪リング+相間スペーサ		難着雪リング+カウンタウエイトと同等程度	約3万回線径間に採用	重量、風圧増による鉄塔強度検討が必要
	スパイラルロード+カウンタウエイト		同上	採用は一部地域に限定されている	同上
	スパイラルロード+相間スペーサ		同上	同上	同上
融雪対策	融雪電流線		小さい送電電流でも融雪可能	約300回線径間に採用	重量、風圧増による鉄塔強度検討が必要

*1: 難着雪リング、カウンタウエイトの効果検証例による。

※電気事業連合会調べ

図 1 6 : 塩雪害事故の再発防止対策

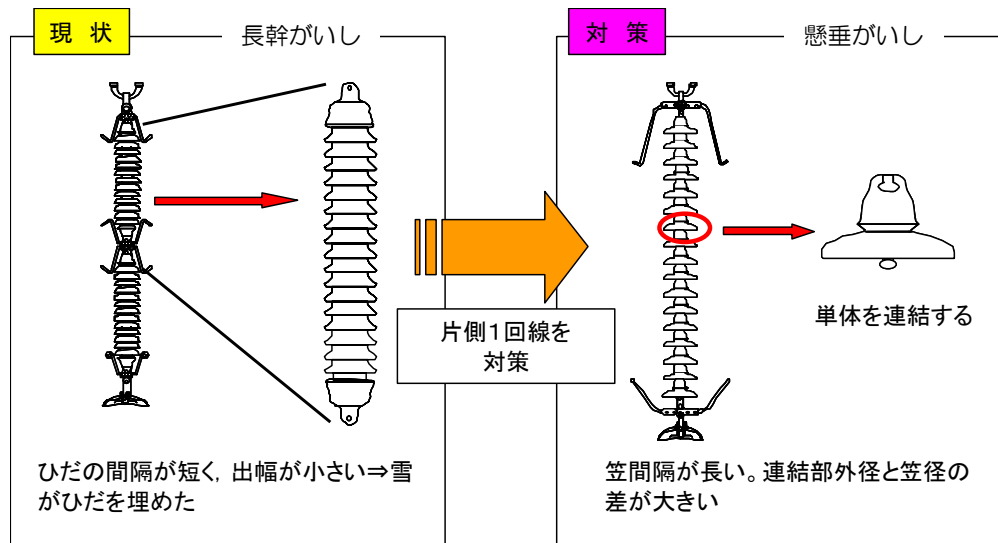
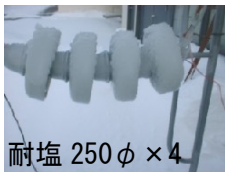
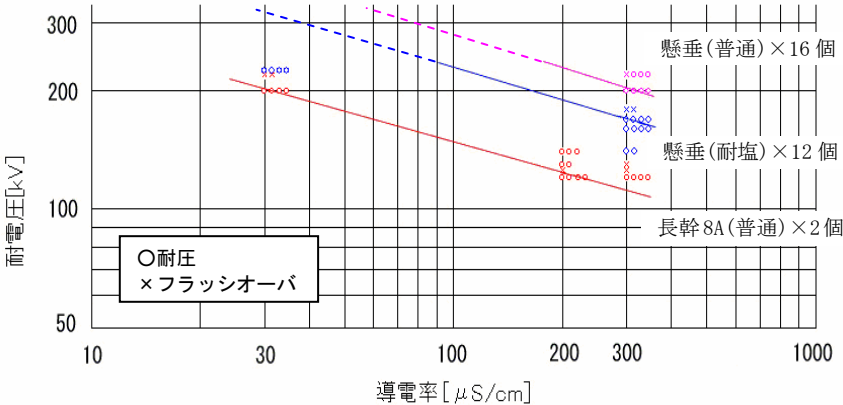


図 1 7 : がいし種類別着雪試験の概要

	長幹がいし	懸垂がいし
試験方法	ふるいにかけた自然雪(粉雪)を風洞の吹き出し口上部から落下させ、風洞で発生させた風により供試がいしに付着させる方法で行った。	
着雪状況 (同一時間)	 4A 普通ひだ  4A 下ひだ	 懸垂 250φ×4  耐塩 250φ×4
橋絡までの時間	長幹がいしが 橋絡する時間 n	長幹がいしが 橋絡する時間 $n \times 2 \sim 3$ 倍
結 果	懸垂がいしは長幹がいしに比べ、橋絡まで2～3倍の時間を要する結果となった。	

※東北電力データ

図 18 : がいし種類別耐電圧試験の概要

	長幹がいし	懸垂がいし
耐圧試験装置		
試験方法	ひだ部も含めがいし沿面上を一様に約 20[mm]の厚さで着雪させ、電圧定印法により耐電圧試験を行った（下図参照）。	
導電率と耐電圧の関係		
結 果	懸垂がいしは長幹がいしよりも着雪時の耐電圧が高い値となり、導電率 300[μS/cm]の場合、長幹がいし 120kV に対し懸垂がいし 16 個で 200kV と約 1.7 倍の耐電圧値を示した。 （長幹がいし 8A × 2 個と懸垂がいし × 16 個の耐汚損性能は同等）	

※東北電力データより

がいしへの着雪内容

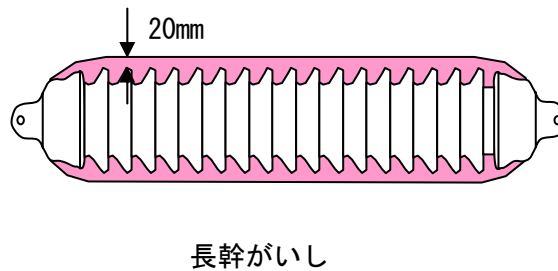
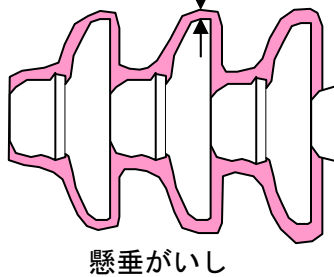
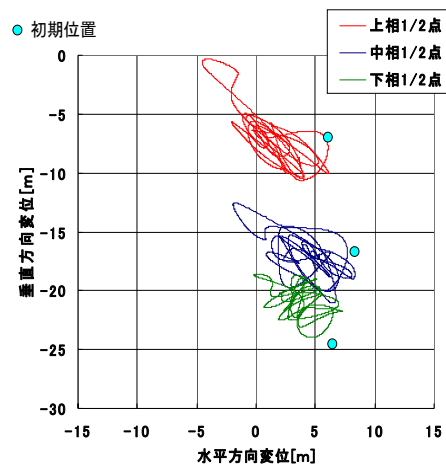
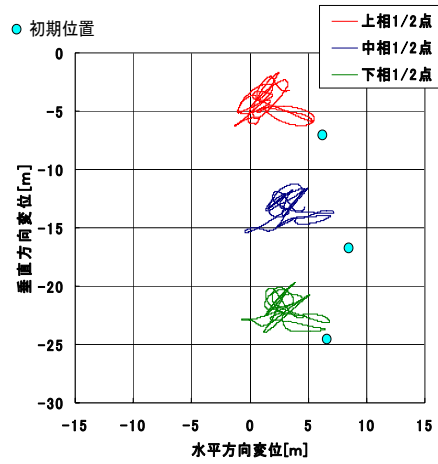


図 1 9 : ギャロッピング抑制効果のシミュレーション結果

北新幹線No.31～No.32の電線の動きをCAFSS(電力中央研究所開発)によりシミュレーション



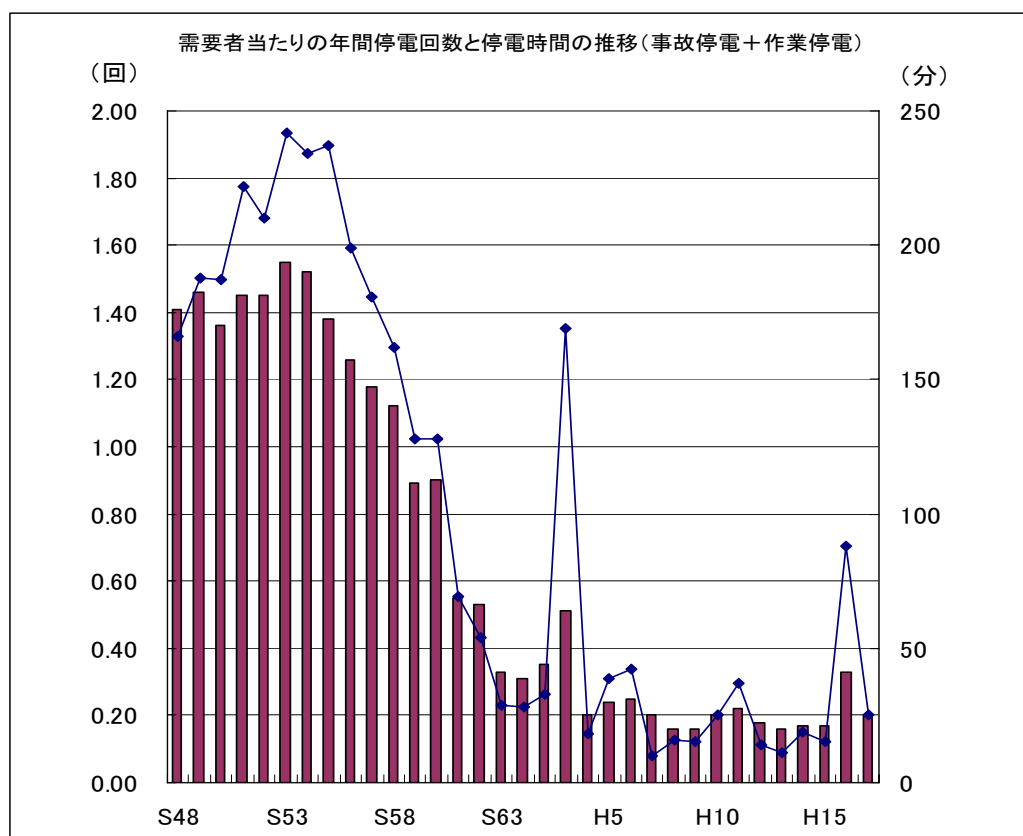
無対策



ルーズスペーサ設置

※東北電力データより

図 20：需要者当たりの停電回数の推移



※電気事業連合会調べ

表 1 各電気事業者の雪害対策の考え方

1. 耐雪強化対策

項目	一般地域着雪量		大型河川横断部と その周辺等の着雪割増量		市街地およびそ の周辺、主要地方 道以上の道路等	その他 割増し箇所
	着雪厚さ (mm)	密度 (g/cm ³)	横断部 径間長	河川幅		
北海道	3, 5 (kg/m) (重量で 規定)	0. 7	600m 超過 厚さ 50mm 密度 0. 6	規定しない	難着雪化対策（市 街地等に係らず 一般箇所も含め 全径間難着雪化 対策）	—
東北	25, 30, 35, 40	0. 6	規定しない	400m 以上 5mm 増	難着雪化対策（市 街地等に係らず 一般箇所も含め 全径間難着雪化 対策）	径間長 600m 超過 5mm 増
東京	25, 35	0. 6	規定しない	50～200m 5mm 増 200～400m 10mm 増 400m 以上 15mm 増	154kV 以下 難着 雪化対策 275kV 以上 5mm 増	上記以外の 275kV 以上も 5mm 増 地形や経験を考 慮
中部	20, 25	0. 6	600m 超過 10mm 増	規定しない	5mm 増	275kV 以上 5mm 増 開けた谷横断部 は大型河川に準 ずる
北陸	35, 40	0. 6	径間長 600m 超過かつ 河川幅 400m 以上 5mm 増		左記着雪量を管 内全域で適用（一 般箇所着雪量は 難着雪化対策分 を考慮）	275kV 以上は観測 データによる個別 設計
関西	0, 20, 25, 30 , 35	0. 6	600m 超過 5, 10mm 増	規定しない	5mm 増	地形や経験を考 慮
中国	0, 20, 25, 30	0. 6	600m 超過 10mm 増	規定しない	5mm 増	—
四国	0, 10, 20	0. 6	600m 超過 5mm 増	規定しない	5mm 増	—
九州	0, 10, 20	0. 6	600m 以下 5mm 増 600m 超過 10mm 増	規定しない	5mm 増	—
電源 開発	他社実績な ど考慮	同左	同左	同左	同左	同左

2. 難着雪化対策

項目	超高压			超高压以外			耐雪強化対策との併用
	対策種別		技術基準解釈の規定に加えて対策を図る箇所	対策種別		技術基準解釈の規定に加えて対策を図る箇所	
	対策種別	対策区分		対策種別	対策区分		
北海道	単導体 ① ①+② 多導体 ①+③	軽着雪地域 3kg：① 中着雪地域 5kg：①, ①+②（過去の事故実績考慮） 重着雪地域 5kg：①+②	・技術基準解釈規定箇所に係らず全径間に取付	① ①+②	超高压と同一	・技術基準解釈規定箇所に係らず全径間に取付	(i)
東北	単導体 ①+② 多導体 ①+③	—	・技術基準解釈規定箇所に係らず全径間に取付	①+②	—	・技術基準解釈規定箇所に係らず全径間に取付	(i)
東京	単導体 ①+② 多導体 ①+③	—	・過去に大きな着雪履歴のある箇所 ・社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路	①+②	—	・過去に大きな着雪履歴のある箇所 ・社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路	超高压 (ii) 超高压以外 (i)
中部	単導体 ①+② 多導体 ①+③	—	・過去に大きな着雪履歴のある箇所 ・社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路	①+②	—	・過去に大きな着雪履歴のある箇所 ・社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路	(ii)
北陸	多導体 ①+③	—	・過去に大きな着雪履歴のある箇所 ・社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路	① ①+②	c, d ① a, b ①+②	a. 過去に大きな着雪履歴のある箇所 b. 社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路 c. 富山市周辺半径 5km 以内および他市街地 d. 河川に続く峡谷の第一尾根を通過または横断する箇所	(ii)
関西	単導体 ①+② 多導体 ③	—	・過去に大きな着雪履歴のある箇所 ・社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路 ・着雪厚さ 30mm 区域内の原子力電源線（架空地線のみ）	①+②	—	・過去に大きな着雪履歴のある箇所 ・社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路	(ii)

※ ① 難着雪リング、② カウンタウェイト、③ ラインスペーサ

(i) 耐雪強化対策箇所においても難着雪化対策を行う

(ii) 耐雪強化対策箇所は難着雪化対策を行わない

項目	超高压			超高压以外			耐雪強化対策との併用
	対策種別		技術基準解釈の規定に加えて対策を図る箇所	対策種別		技術基準解釈の規定に加えて対策を図る箇所	
	対策種別	対策区分		対策種別	対策区分		
中国	単導体 ① 多導体 ①+③	—	・過去に大きな着雪履歴のある箇所 ・社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路	① ①+②	線路の重要度等により個別に検討	・過去に大きな着雪履歴のある箇所 ・社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路 ・過去に事故を起こした箇所とその周辺の類似箇所	(ii)
四国	単導体 ①+② 多導体 ①+③	—	・過去に大きな着雪履歴のある箇所 ・社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路	①+②	—	・過去に大きな着雪履歴のある箇所 ・社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路	(ii)
九州	単導体 ①+② 多導体 ①+③	—	・過去に大きな着雪履歴のある箇所 ・社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路	①+②	—	・過去に大きな着雪履歴のある箇所 ・社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路	(i)
電源開発	単導体 ①+② 多導体 ①+③	—	・過去に大きな着雪履歴のある箇所 ・社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路	①+②	—	・過去に大きな着雪履歴のある箇所 ・社会的重要度が高い公共施設への単独供給線路	(i)

※ ① 難着雪リング、② カウンタウエイト、③ ラインスペーサ

(i) 耐雪強化対策箇所においても難着雪化対策を行う

(ii) 耐雪強化対策箇所は難着雪化対策を行わない

※電気事業連合会調べ

参考 1 検討経緯

【電力安全小委員会】

平成18年6月5日（月） 第15回電力安全小委員会

- 電力安全規制に係る最近の動向について
- 送電設備の雪害対策について
- 溶接安全管理検査制度の運用における課題について
- その他

平成18年11月21日（火） 第16回電力安全小委員会

- 電気事業法第52条に基づく溶接安全管理検査の運用改善について
- 送電設備の雪害対策について
- 電気工作物に関する保安管理の現状について
- 自家用電気工作物の保安管理業務ワーキンググループの設置について

【送電設備の雪害対策WG】

平成18年6月12日（月） 第1回送電設備の雪害対策WG

- 昨冬の送電設備の雪害事故概要について（東北電力、北陸電力、関西電力）
- 現在の雪害対策の現状について
- 今後の検討方針について

平成18年7月27日（木） 第2回送電設備の雪害対策WG

- 雪害対策の経緯と事故件数の推移
- 現在の雪害対策技術とその効果
- 今回雪害があった送電設備への再発防止対策
- 安定供給に向けた対応

平成18年8月28日（月） 第3回送電設備の雪害対策WG

- 今後の雪害対策について
- 安定供給に向けた対応

平成18年10月3日（火） 第4回送電設備の雪害対策WG

- 今後の雪害対策のあり方について

参考2 委員構成

電力安全小委員会

委員長	関根 泰次	東京理科大工学部教授
委員	秋庭 悦子	社団法人日本消費生活アドバイザー・コンサルタント協会理事
	秋山 守	財団法人発電設備技術検査協会理事長
	池田 直樹	大口自家発電施設者懇話会理事長
	石毛 克政	電気保安協会全国連絡会議会長
	大河 内美保	主婦連合会副会長
	岸田 進喜	全日本電気工事業工業組合連合会会長
	鶴野 親紀	全国電気管理技術者協会連合会副会長
	寺本 嵩	電気事業連合会事務局長
	鳥井 弘之	東京工業大学原子炉工学研究所教授
	中條 武志	中央大学教授
	南雲 弘行	全国電力関連産業労働組合総連合事務局長
	飛田 恵理子	東京都地域婦人団体連盟生活環境部副部長
	廣瀬 久和	東京大学法学部教授
	早野 敏美	社団法人日本電機工業会専務理事
	正田 英介	東京理科大工学部教授
	御船 美智子	お茶の水大学生活科学部教授
	宮崎 忠廣	公営電気事業経営者会議代表
	山内 喜明	弁護士
	横倉 尚	武蔵大学経済学部教授
	横山 明彦	東京大学大学院工学系研究科教授

送電設備の雪害対策ワーキンググループ

主査	横山 明彦	東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻教授
委員	伊藤 進	日本ガイシ株式会社電力事業本部電力技術研究所マネージャー
委員	遠藤 誠	東北電力株式会社長岡技術センター所長
委員	大熊 武司	神奈川大学工学部建築学科教授
委員	木本 昌秀	東京大学気候システム研究センター教授
委員	清水 幹夫	財団法人電力中央研究所地球工学研究所主任研究員
委員	菅原 宣義	北見工業大学電気電子工学科助教授
委員	西村 誠介	横浜国立大学大学院（工学研究院電気電子と数理情報分野）教授
委員	能見 和司	電気事業連合会工務部長
委員	藤井 一幸	北日本電線株式会社理事・技師長
委員	松崎 豊	株式会社ビスキャス技術本部送電開発部長

添付資料

- 添付資料 1 東北電力の「新潟下越地域における大規模停電に係る原因究明について」に対する評価について
- 添付資料 2 電気設備の技術基準における雪害対策関連基準
- 添付資料 3 架空送電規程 (JEAC 6001-2000) における雪害対策関連基準
- 添付資料 4 用語の解説

東北電力の「新潟下越地域における大規模停電に係る原因究明について」 に対する評価について

平成18年2月14日
原子力安全・保安院
電力安全課

本評価は、平成17年12月22日に風雪の影響を受け、東北電力管内の新潟下越地域を中心として約60万kW（最大供給支障：約65万戸）の停電が発生した事故について、東北電力から提出された「新潟下越地域における大規模停電に係る原因究明について（報告）」と報告書内容等について東北電力から聴取した内容をもとに、専門家の意見も聴取したうえで原子力安全・保安院として評価を行ったものである。

1. 停電発生状況の概要

(1) 停電発生時

平成17年12月22日、午前8時17分頃、新潟変電所系統の154kVのA線で3相の内の1相で地絡事故が発生し、その結果として他の2相の電圧が瞬間的に上昇した。その結果、塩分を含む着雪により絶縁が低下していた多くの送電線でほぼ同時に地絡事故が発生し、多重事故となった。このため、新潟市内を中心とした地域が東北電力の他の系統から分離され、新潟火力発電所及び東新潟火力発電所港1号による単独運転状態となり、電圧、周波数が不安定となった。8時22分に両発電所が停止した結果、当該地域で停電が発生した。

(2) 多重事故の発生

東北電力は、地絡事故（送電線を流れる電流が地面に流れてしまう事故）が発生し、遮断された送電線に再度電力の供給を行い、停電を順次復旧していったが、8時40分、154kV西新潟線で再び地絡事故が発生し、それによりまた多重事故となり、さらに広範囲にわたって停電が発生した。その後も遮断された送電線に電力の供給を再開しても、また多重事故が発生するという状況が続いた。

このため、東北電力は、9時9分、新潟市内へ電力供給できる別ルートとなる北新潟変電所を経由して154kV線を接続し、新潟市内への電力供給を行った。ところが、北新潟変電所への送電ルートである275kV北新幹線で10時36分、ギャロッピングによる短絡事故（電線同士が触れてショートする事故）が発生し遮断されたため、再び新潟市内を中心とした地域で停電が発生した。

その後も遮断された送電線に電力の供給をしては多重事故が発生するという状況が15時35分まで続いた。

(3) 停電の復旧

復旧は、15時38分に154kV西新潟線1号を復旧させ、その後西新潟線1号に事故が発生せず、順次停電を復旧させている。また、17時過ぎには北新幹線のギ

ャロッピングが収まってきたことから、北新潟変電所からの迂回受電も行うようにして系統の安定化を図っている。

一方、荒川変電所と村上変電所をつなぐ66kV村上線が17時頃、地絡事故により送電停止したため、村上市を中心とした地域で停電が発生した。また、阿賀町などでは、積雪による倒木で配電線事故も発生していた。村上線については、がいしに付着した氷雪を落とす作業を続け、翌日の12月23日午前3時50分頃復旧した。阿賀町などの停電については、23日に復旧作業を続け、午後3時10分に全ての地域の停電が解消した。

2. 東北電力による原因の究明及び再発防止策の概要

(1)原因の究明

東北電力による原因調査によれば、12月22日は、明け方から新潟地方に強い風と雪が長時間にわたって続き、気温が、降った雪が着雪しやすい摂氏0度から2度の間であった。この結果、一部海塩粒子を含む雪が電線やがいしに付着し、塩雪害やギャロッピングを発生させたことが原因としている。また、このような気象条件は過去30年間に発生したことはなく、送電設備に過去に経験のない過酷な気象条件であったとしている。

(2)再発防止対策

塩雪害対策として、当面はがいしにシリコーン塗布を行い、さらに平成19年11月を目途に、154kV以下の送電線のがいしを長幹型と懸垂型の組み合わせとして、短期汚損及び長期汚損の双方に対応することとしている。

ギャロッピング対策としては、多導体の275kV送電線については、平成18年11月を目途に、スペーサをルーズスペーサに取り替えるとともに、154kV以下の送電線については、相間スペーサを取り付けることとしている。

また、暴風雪が予想される際に、塩雪害による地絡事故の発生を抑制するため、送電電圧を下げる運用を行うこととしている。

さらに、現在は通常接続していない北新潟変電所の275kV線と154kV線を常時接続することにより、系統の多重性を強化することとしている。

3. 東北電力の報告に対する原子力安全・保安院の評価

(1)停電の原因

①当日の気象条件

東北電力は、新潟気象台の過去30年のデータを用いて分析した結果、事故当日の風速、降雪量及び気温の組合せが過去に例がないものであったとしている。このような特異な気象条件により、これまで経験のない事故になったと考えられる。

しかしながら、今回の教訓を踏まえ、雪害対策を強化することが必要である。

②がいしへの塩雪害

事故発生時に、送電線で相間短絡と地絡事故が検出されている。地絡事故に関しては、送電設備に付着している雪及び地上に積雪している雪をサンプルとして77検体を採取し、密度、塩分量、導電率及び塩素イオン濃度を調査しており、調査項目とし

ては、適当なものと判断できる。

着雪した雪の分析結果から、当日の地絡の事故原因は、雪に含まれる塩分が原因であり、その塩分は海から運ばれた海塩と判断している。東北電力が塩雪害を判断するにあたっては、過去の研究文献（電力中央研究所報告）から比較検証しており、塩雪害を推定する根拠として妥当なものと判断される。

③ギャロッピング現象

今回ギャロッピングによる事故の発生した送電線については、事故発生当日、ギャロッピングが現場で確認されているものがあり、その後の調査でも相間短絡が発生した地点でアーク痕や素線切れを発見していることから、ギャロッピングによる相間短絡が発生したことが認められる。

(2)再発防止対策

①設備面の対策

a. 塩雪害対策

イ. 過去の事故実績

事故が発生した既存の送電設備は、昭和2年から昭和60年までに運用開始されたものであるが、現在までに今回のような塩雪害による停電事故が発生したことはない。

ロ. 既存設備の塩害対策

塩などによる汚損区域を6段階（A（汚損度少ない）からF（汚損度が多い））に分け、汚損区域に応じたがいしを使用している。汚損区域の区分は、変電所等に設置したパイロットがいしの汚損状況に応じて定めている。

ハ. 今回の塩雪害の状況

今回の塩雪害は、中汚損区域として管理していたC、Dランクの区域で多くの塩雪害が発生している。通常沿岸区域から内陸部に向かうに従い塩汚損は少なくなっていくが、今回の場合、C、Dランクに位置する送電線での被害が多発しており、沿岸部よりもむしろ内陸に位置する新潟変電所近辺での塩分濃度が高くなっている。この理由としては、強風に乗って飛ばされた海塩粒子が、新潟変電所の後背に位置する五泉の菅名岳を含む山脈に遮られ、降雪する雪に含まれ降ったためと東北電力では分析している。

二. 今後の対策

i)懸垂がいしの使用

東北電力では、過去に長期間に累積した汚損による塩害に対する対策として、154kV以下の送電線には長幹がいし（注1）を使用してきた。しかしながら、今回の場合は、がいしに短時間の間に雪が付着して固結したことが大きな要因になっている。そのため、東北電力では、事故が発生した送電線については、2回線のうち1回線を懸垂がいし（注2）に交換する対策をとることとしている。

東北電力が2種類のがいしを併用して、種々の気象条件に柔軟に対応できる送電設備対策を行うことは、現状の考えられる対策として有効な措置と考えられる。

ii)汚損区分の見直し

今回従来の汚損区域の区分では汚損が少ないとされていた地域で汚損が大きかっ

た。東北電力の対策には記載されていないが、こうした地域について汚損区域の区分を見直すことが必要である。

iii)がいしの笠の形状及び長さ

東北電力は、懸垂がいしの使用にあたって、どのタイプの笠を使用し、長さをどの程度にするかについては、現在行っている実証試験の結果をふまえて使用することとしている。実証試験の結果に加えて、汚損区域の区分見直しの結果もふまえることが必要である。

iv)当面の対策としてのシリコーン塗布

がいしを交換するまでの間の当面の対策として、がいしにシリコーン塗布を行い塩雪害防止対策とする措置は、今冬の対策としては適当な対処と判断できる。

(注1) 長幹がいし

複数の笠を一体として作られたがいし。雨による洗浄効果が高く、長期汚損に対して絶縁を確保し易い特長がある。

(注2) 懸垂がいし

独立した一つ一つのがいしを連結して使用するがいし。がいしの笠ひだが大きく連結部の径が小さいため、長幹がいしよりも短時間の雪の付着に対して絶縁を確保し易い性質をもっている。

b. ギャロッピング対策

イ. 過去の事故実績

これまで、風の流れが平滑となる平野部や谷間の風速の強まる地点を中心としてギャロッピングが発生した事例があり、発生した箇所及び類似箇所について対策が講じられてきた。

ロ. 対策実施状況

新潟県下では、154kVの送電線について約45%の区間（東北電力管内全域の平均は約30%）、66kVの送電線について約61%の区間（東北電力管内全域の平均は約34%）で設置されている。

275kV以上の超高圧送電線では、電線間の距離が約10メートル程度離れてるため、従来のタイプの相間スペーサでは、寸法、重量が大きく、電線や鉄塔に与える影響も大きくなり、使用できない。このため、近年開発されたシリコーンゴムなどを使用した軽量タイプの相間スペーサやルーズスペーサを使用し始めたところである。

ハ. 今後の対策

i)相間スペーサの設置

相間スペーサは、相間の電線を物理的に接触しないようにするものであり、単導体電線では最も効果のある方法である。154kV以下の単導体の電線への相間スペーサを取り付ける東北電力の対策は、過去からの実績もあり、ギャロッピング対策として、最も有効な手段として評価できる。

ii)ルーズスペーサの設置

ルーズスペーサは、多導体電線に取り付けられている通常のスペーサをルーズスペー

ーサタイプのものに交換するものであり、電線や鉄塔に与える悪影響はほとんどなく、他の電力会社でも使用実績が増えつつある。今回もルーズスペーサを設置していた箇所についてはギャロッピングによる短絡が発生した痕跡はなかった。

一方、275kV以上の超高压の送電線向けに近年開発されたシリコンゴムなどを使用した軽量タイプの相間スペーサは、まだ試験的に一部使用されている状況にあり、大量に取り付けた場合に電線や鉄塔に与える影響は十分に確認できているとはいえない。

こうした状況において、東北電力が、比較的広範囲にわたって対策を講じるために、ルーズスペーサの取り付けを選択したことは妥当なものと判断できる。

ただし、ルーズスペーサの取り付けにあたっては、これまでの実績や試験結果を活用するなどにより効果的な取り付けを行うことが重要である。

②運用面の対策

a. 北新潟変電所の送電系統運用の変更

新潟下越地域への電力供給は、主として新潟変電所を用いて3ルートの送電経路とされていたが、今後は、北新潟変電所からの送電ルートも常時確保する系統運用とする対策としており、系統運用の強化という観点で評価できる。

b. 気象情報および観測データを活用した電圧低め運転

気象情報及び観測データを利用した電圧低め運転についても今後の対策強化という観点では評価できる。

なお、今回のような気象条件で地絡事故が発生した場合、暴風雪の中で現場での復旧作業ができない状況となることが考えられ、実施できる復旧対応としては、電圧低下が最も効果があると考えられる。需要家の設備や送変電設備等から下げられる電圧に限界はあるものの、需要家への対応を適切に行いつつ、さらに電圧を下げることも検討することが適当である。

③体制面の対策

以上の対策が完了するまでの間については、暴風雪警報が発令された場合、予防巡視や停電発生時の即応体制の強化を実施することについても適当な措置と評価できる。

4. 原子力安全・保安院としての今後の対応

今回起きた停電事故は、着雪適温帯で降雪量も多く、かつ長時間にわたって強風が吹き続けたという条件下で、塩雪害及びギャロッピングが発生したことが原因であるが、この問題は必ずしも新潟下越地域に限ったことではない。また、他の地域でも大雪による電力供給設備の被害が生じている。

このため、原子力安全・保安院として、今後、全国的な視野で塩雪害やギャロッピングなどの雪害対策及び過酷な気象条件での設備信頼性の確保などについて検討を行うこととする。

電気設備の技術基準における雪害対策関連基準

①重着雪対策に関する技術基準

技術基準

○第6条（電線等の断線の防止）

電線、支線、架空地線、弱電流電線等（弱電流電線及び光ファイバケーブルをいう。以下同じ。）その他の電気設備の保安のために施設する線は、通常の使用状態において断線のおそれがないように施設しなければならない。

技術基準の解釈

●第115条（特別高圧架空電線路の鉄塔の着雪時荷重等）

大型河川横断部とその周辺等地形的に異常な着雪が発達しやすい箇所に特別高圧架空電線路を施設する場合、その支持物として使用する鉄塔及びその基礎は、当該箇所の地形等から想定される異常な着雪時の荷重に耐える強度を有すること。この場合、有効な難着雪化対策を施すことにより着雪時の荷重の低減を考慮することができる。

技術基準

○第32条（支持物の倒壊の防止）

架空電線路又は架空電車線路の支持物の材料及び構造（支線を施設する場合は、当該支線に係るものを含む。）は、その支持物が支持する電線等による引張荷重、風速40m/秒の風圧荷重及び当該設置場所において通常想定される気象の変化、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。ただし、人家が多く連なっている場所に施設する架空電線にあっては、その施設場所を考慮して施設する場合は、風速40m/秒の風圧荷重の1/2の風圧荷重を考慮して施設することができる。

2 特別高圧架空電線路の支持物は、構造上安全なものとする等により連鎖的に倒壊のおそれがないように施設しなければならない。

技術基準の解釈

●第122条（特別高圧架空電線路の難着雪化対策）

特別高圧架空電線路が降雪の多い地域にあって、市街地及びその周辺地域において建造物と第1次接近状態に施設される場合並びに主要地方道以上の規模の道路、横断歩道橋、鉄道又は軌道と第1次接近状態に施設される場合又は交さする場合において特別高圧架空電線路が主要地方道以上の規模の道路等の上に施設されるときは、難着雪化対策を施すこと。ただし、難着雪化対策と同等以上の効果を有する耐雪強化対策を施す場合は、この限りでない。

●第103条(特別高圧架空ケーブルによる施設)

特別高圧架空電線路は、その電線にケーブルを使用する場合は、次の各号により施設すること。

- 三 ちょう架用線は、第67条第1項の規定に準じて施設すること。この場合において、ちょう架用線の重量及びちょう架用線に対する水平風圧には、それぞれケーブルの重量（同項第二号又は第三号に規定する氷雪が附着した場合にあっては、その被氷電線の重量）及びケーブルに対する水平風圧（同項第二号又は第三号に規定する氷雪が附着した場合にあっては、その被氷電線に対する水平風圧）を加算するものとする。

●第154条(通信線の施設)

重量物の圧力又は著しい機械的衝撃を受けるおそれがある箇所に施設する電力保安通信線（以下この章において「通信線」という。）には、適当な防護装置を設けるか又はこれらに耐える保護被覆を施したものを使用すること。

- 2 電力保安架空通信線は、次の各号により施設すること。ただし、架空地線を利用して光ファイバケーブルを施設する場合は、この限りでない。

- 三 ちょう架用線は、第67条第1項の規定に準じて施設すること。この場合において、ちょう架用線の重量及びちょう架用線に対する水平風圧には、それぞれ通信線の重量及び通信線に対する水平風圧（同項第二号又は第三号に規定する氷雪が附着した場合にあっては、その被氷通信線に対する水平風圧）を加算するものとする。

②風雪による架空送電線路の揺動防止対策に関する技術基準

技術基準

○第6条(電線等の断線の防止)

電線、支線、架空地線、弱電流電線等（弱電流電線及び光ファイバケーブルをいう。以下同じ。）その他の電気設備の保安のために施設する線は、通常の使用状態において断線のおそれがないように施設しなければならない。

技術基準の解釈

●第101条(特別高圧架空電線路の市街地等における施設制限)

特別高圧架空電線路は、市街地その他人家の密集する地域に施設しないこと。

- 一 使用電圧が170,000V未満の場合において、その電線がケーブルである場合又は次により施設する場合。
- ロ 径間は、101-1表の左欄に掲げる支持物の種類に応じ、それぞれ同表の右欄に掲げる値以下であること。ただし、支持物に鉄塔を使用する場合であって、電線に断面積160mm²以上の鋼心アルミより線又はこれと同等以上の引張強さ及び耐アーク性能を有するより線を使用し、かつ電線が風又は雪による揺動により短絡の恐れのないように施設する場合は、径間長を600m以下とすることができる。

表 101-1

支持物の種類	径 間
A種鉄柱又はA種鉄筋コンクリート柱	7.5m
B種鉄柱又はB種鉄筋コンクリート柱	7.5m
鉄 塔	40.0m(電線が水平に2以上ある場合において、 電線相互の間隔が4m未満のときは、25.0m)

技術基準

○第28条(電線の混触の防止)

電線路の電線、電力保安通信線又は電車線等は、他の電線又は弱電流電線等と接近し、若しくは交さする場合又は同一支持物に施設する場合には、他の電線又は弱電流電線等を損傷するおそれがなく、かつ、接触、断線等によって生じる混触による感電又は火災のおそれがないように施設しなければならない。

技術基準の解釈

●第123条(特別高圧保安工事)

第1種特別高圧保安工事は、次の各号によること。

九 電線は、風又は雪による揺動により短絡するおそれがないように施設すること。

2 第2種特別高圧保安工事は、次の各号によること。

五 電線は、風又は雪による揺動により短絡するおそれがないように施設すること。

3 第3種特別高圧保安工事は、次の各号によること。

二 電線は、風又は雪による揺動により短絡するおそれがないように施設すること。

技術基準

○第29条(電線による他の工作物等への危険の防止)

電線路の電線又は電車線等は、他の工作物又は植物と接近し、又は交さする場合には、他の工作物又は植物を損傷するおそれがなく、かつ、接触、断線等によって生じる感電又は火災のおそれがないように施設しなければならない。

○第40条(特別高圧架空電線路の市街地等における施設の禁止)

特別高圧の架空電線路は、その電線がケーブルである場合を除き、市街地その他人家の密集する地域に施設してはならない。ただし、断線又は倒壊による当該地域への危険のおそれがないように施設するとともに、その他の絶縁性、電線の強度等に係る保安上十分な措置を講ずる場合は、この限りでない。

技術基準の解釈

●第154条(通信線の施設)

2 電力保安架空通信線(以下この章において「架空通信線」という。)は、次の各号により施設すること。ただし、架空地線を利用して光ファイバケーブルを施設する場合は、この限りでない。

三 ちょう架用線は、第67条第1項の規定に準じて施設すること。この場合において、ちょう架用線の重量及びちょう架用線に対する水平風圧には、それぞれ通信線の重量(同項第二号又は第三号に規定する氷雪が附着した場合にあっては、その被氷通信線の重量)及び通信線に対する水平風圧(同項第二号又は第三号に規定する氷雪が附着した場合にあっては、その被氷通信線に対する水平風圧)を加算するものとする。

架空送電規程 (JEAC 6001-2000) における雪害対策関連基準

① 風雪による架空送電線路の振動防止対策に関する技術基準

●第3-7条 電線の振動

〔推奨的事項〕

微風振動、着氷雪による振動、サブスパン振動などの電線の振動により、電線等が損傷することのないように配慮することが望ましい。

② 重着雪対策に関する技術基準

●第6-3条 異常な着雪が発達しやすい箇所に施設する鉄塔の着雪時荷重等

〔勧告的事項〕

特別高圧架空電線路を大型河川横断部とその周辺等地形的に異常な着雪が発達しやすい箇所に施設する場合、その支持物として使用する鉄塔及びその基礎は、次の各号により施設すること。

ただし、難着雪化対策を施すことにより着雪時の荷重の低減を考慮することができる。

(1) 想定荷重の種類と組み合わせ

想定荷重は、着雪時の風圧が電線路に直角の方向に加わる場合の荷重と電線路の方向に加わる場合の荷重のうち、その部材に大きい応力を生じさせる方の荷重を採るものとする。

(2) 着雪重量

ア 着雪重量は、架渉線の周囲に密度 0.6 g/cm^2 の雪が同心円状に付着したときの着雪重量とする。

イ 上記アの着雪重量の決定に用いる想定着雪量は、着雪厚さで表すものとし、当該地域及びその周辺地域において経験した着雪量を考慮し、さらに当該地域の地形状況等を十分勘案のうえ適切に定めるものとする。なお、当該地域およびその周辺地域において着雪経験の少ない場合は、気象観測データの活用等他の適切と認められる方法をもって着雪量を推定し、想定着雪量を定めるものとする。

(3) 着雪時風圧荷重

鉄塔、着雪した架渉線及びがいし装置の風圧荷重は、甲種風圧荷重に 0.3 を乗じた値とする。

(4) 着雪時想定架渉線張力

着雪時想定架渉線張力とは、気温 0°C の状態で架渉線に着雪重量と着雪時風圧荷重との合成荷重が加わった場合の張力とする。

(5) 着雪時想定架渉線張力による全相不平均張力荷重

全相不平均張力荷重は、着雪時想定架渉線張力に不平均張力率を乗じて算定すること。また不平均張力率は耐張がいし装置を有する鉄塔では 10% 、懸垂がいし装置を有する鉄塔では 3% とする。

(6) 鉄塔強度

鉄塔部材は、想定荷重に対して、降伏点強度（許容強度の $3/2$ 倍）以下で耐えるものとする。

(7) 基礎の安全率

鉄塔の基礎の安全率は、想定荷重に対して、降伏支持力で 1.33 以上を確保するものとする。

●第3-10条 電線の難着雪化対策

〔勧告的事項〕

1. 電線の難着雪化対策

降雪の多い地域に特別高圧架空送電線路を施設する場合であって、市街地及びその周辺地域において建造物と第1次接近状態に施設する場合並びに主要地方道以上の規模の道路、横断歩道、鉄道又は軌道(以下、「主要地方道以上の規模の道路等」という。)と第1次接近状態又は主要地方道以上の規模の道路等の上に交さして施設する場合は、電線に難着雪化対策を施すこと。

2. 難着雪化対策の特例

前項の場合において、難着雪化対策と同等の効果を有する耐雪強化対策を施す場合は、難着雪化対策は省略することができる。

③塩雪害対策に資する技術基準

●第5-8条 冠雪対策等

〔推奨的事項〕

耐張がいし装置への積雪によるがいし耐電圧値の低下、あるいは支持物等への着氷雪の融解にともなうつららが懸垂がいし装置のがいし笠間を橋絡することにより、電気事故となる場合があるので、このような箇所ではこれら電気事故防止に対し配慮することが望ましい。

※(社)日本電気協会発行の架空送電規程(JEAC 6001-2000)より抜粋

用語の解説

【あ行】

77 kV 今庄支線

福井県南条郡南越前町内を通過する77 kV 京福線から分岐して、南越前町南部に77 kV の電気を送る送電線。

N-1 故障(単一故障)

電力系統を構成する設備1カ所(送電線1回線や変圧器1台等)で発生する故障のこと。我が国では、原則として単一故障では供給支障が生じないように電力供給設備が形成されている。

N-2 故障

電力系統を構成する設備の2箇所以上で同時に発生する故障のこと。

塩雪害

塩分を含んだ湿った雪が、強風のためがいし表面のひだを埋め尽くすまで付着した結果、雪中の塩分を媒介して電気が流れ、橋絡する現象。

500 kV 大飯幹線

大飯発電所(福井県大飯郡)から西京都変電所(京都府京都市)に500 kV の電気を送る送電線。

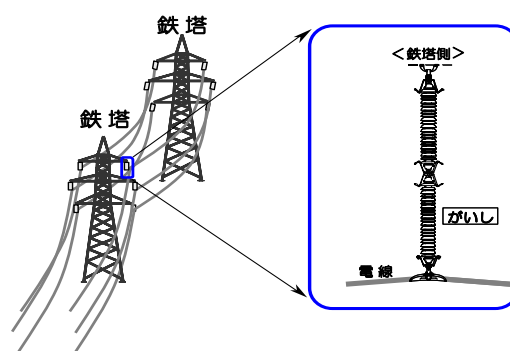
【か行】

海塩粒子

波浪により空気中に放出された海水の細かい水滴が蒸発する際に空気中に残された塩分の粒子のこと。

がいし

送電線から鉄塔に電気が流れることを防止するため、送電線と鉄塔の間に取り付けられる陶器製の絶縁物。通常、これを複数個連結して使用する。



架空送電規程

架空送電線路に係わる事項について、社団法人日本電気協会の送電専門部会で作成した電気技術規程(J E A C)。架空送電規程は民間の自主基準であり、電気設備の技術基準及び関係法令を全て網羅し、さらには、自主的な内容も盛り込まれている。

275 kV 北新幹線

北新潟変電所(新潟県北蒲原郡)から越後開閉所(新潟県新発田市)に275 kV の電気を送る送電線。

ギャロッピング

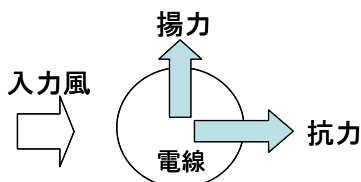
電線に着氷雪し空力的に不安定になった時に強い風が作用し、送電線固有の振動数と同調することで送電線が大振幅かつ低周波数で自励振動する現象。

橋絡

2点を橋渡しすることにより連絡すること。本雪害に関しては、個々のがいしの表面に湿雪が付着して成長し、湿雪同士がつながることで電氣的にもつながった状態になること。

空力的に不安定

空気力のもとで静的釣り合い状態にある物体に微小運動を与えた時、その運動が大きな運動に成長するならば、その物体は空力的に不安定な物体という。電線は抗力のみが働いている時は安定している。しかし、雪が付着すると送電線の断面形状が変わり揚力が発生しやすくなり、形状によっては不安定になる。



154kV九頭竜幹線

西勝原第三発電所(福井県大野市)から松岡変電所(福井県坂井市)に154kVの電氣を送る送電線。

ケーブル及び御立体骨組み構造の有限要素法非線形プログラム(CAFSS)

(財)電力中央研究所で開発された、有限要素法に基づくケーブルおよび立体骨組み構造の時刻歴非線形解析プログラム。送電線や鉄塔他、スパーサやがいし連などを忠実にモデル化して解析することができ、変動する風をはじめ、静的・動的な荷重、衝撃力、および着氷雪電線に作用する空気力の入力が可能のため、風応答、ギャロッピングなどの振動現象シミュレーションに適している。

懸垂がいし

帽子状の磁器などを絶縁体とし、これにキャップ及びピンの連結金具をセメントで接着したもの。これを数個～10数個連結して使用する。長幹がいしに比べ、かさ間が長く、がいし連結部とかさの直径の差が大きいため、がいしの表面積が大きくなり、短期間に進展する汚損に強い。



【さ行】

最大張力変動

振動により電線に加わる力（電線張力）の最大値と最小値の差。

重着雪

電線に雪が付着すると、雪の重みで電線が回転する。降雪が継続し、着雪と回転を繰り返すことで送電線に付着した雪が成長し、着雪量が異常に大きくなる現象。

自励振動

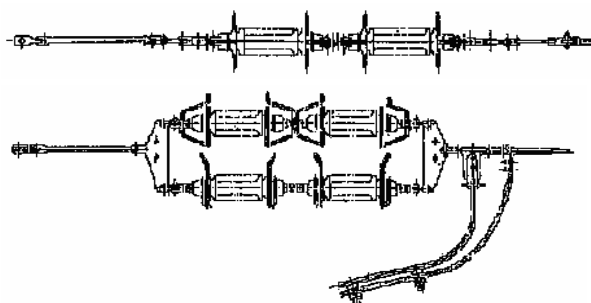
何らかの原因で発生した運動が更に大きな運動を引き起こす現象。電線に雪が付着し風が吹いている状態で揺動すると相対迎え角が変化し揚力を受け、この揚力が更に電線を運動させることで自励振動が発生する。

154kV新能登線

塚原変電所(富山県高岡市)から新能登変電所(石川県鹿島郡)に154kVの電気を送る送電線。

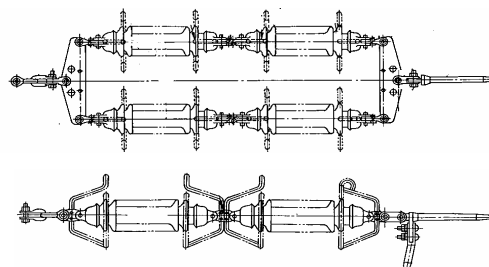
垂直二連耐張がいし

豪雪地帯では、雪が鉄塔やがいしに降り積もり、塩分を含んだ雪による短絡や、雪の重みによる鉄塔の変形が懸念されることから、鉄塔とがいしの間に棒(ロッド)を挿入したり、横置きのがいしを縦置きに変更させ、がいしに雪が積もりにくくしたもの。



水平二連耐張がいし

電線を鉄塔に取付ける際に、電線の引張り強さに応じたがいしの個数を確保するために、がいしを複数個連結したもの。がいしが水平に取付けてある。



JEAC(電気技術規程)

法定の技術基準を補完するものとして、技術基準の内容をわかりやすく表現するとともに、民間の自己責任としての運用が可能となるよう技術基準の解釈等に明記されていない事項を補足し、電気工作物の工事、維持及び運用に用いるために策定された民間規格。

磁性線材

電線の通電電流により発生する磁界を利用して発熱し、電線を暖めて着雪を防止する線材。

スリートジャンプ

電線の着氷雪が脱落し、その反動によって径間電線が上方に跳躍する現象。

絶縁破壊

塩じん汚損等によりがいしの絶縁強度が低下し、送電線の電圧に耐えられなくなり、短絡すること。

送電損失

送電線に電気を流した場合、送電線の抵抗により電気を一部喪失すること。

【た行】

500kV第二大飯幹線

大飯発電所(福井県大飯郡)から京北開閉所(京都府京都市)に500kVの電気を送る送電線。

77kV立石線

敦賀変電所(福井県敦賀市)から敦賀市内及び敦賀半島に77kVの電気を送る送電線。

短絡事故

電気回路中の二点が誤って直接電氣的につながり、電気の流れが異常になる事故。ショートとも呼ぶ。

長幹がいし

中実柱状磁器棒にかさを設け、その両端にキャップを取付けたタイプのがいし。ひだの間隔が短く、ひだの出幅が小さいため、塩じんが付着しても雨水で除去されやすく、汚損が累積しにくい。



地絡事故

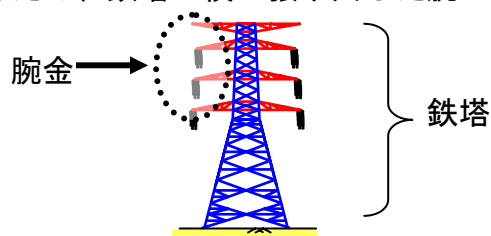
電気回路が誤って大地と電氣的につながり、大地に電気が流れる事故。アースとも呼ぶ。

275kV敦賀線

敦賀発電所(福井県敦賀市)から嶺南変電所(福井県三方郡)に275kVの電気を送る送電線。

鉄塔の腕金

送電線を支えるため、鉄塔の横に張り出した腕のこと。



電気学会技術報告

(社)電気学会が発行している、電気技術に関する研究成果報告書。

電力系統

発電所や変電所、送電線、配電線等、発電から需要に至る一連のシステムのこと。

電力系統利用協議会

電力系統利用の公平性・透明性の確保を目的として設立された中立機関。その事業内容は、電力系統に関するルールの策定、監視、紛争の斡旋・調停等であり、平成16年2月に発足し、6月に電気事業法第93条に基づき経済産業大臣から送配電等業務支援機関として指定を受けている。

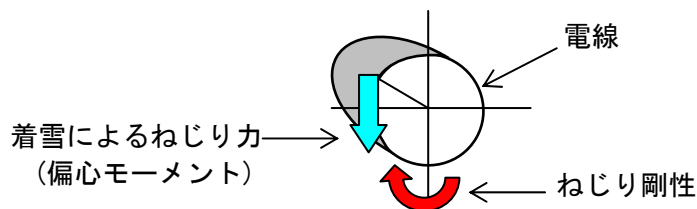
特別高圧架空送電線

電気を送るために発電所等を結ぶ、地上に設置された電線とこれを支持する鉄塔等で、電圧が7、000Vを超えるもの。

【な行】

ねじり剛性

物体にねじり力を加えて変形させようとするとき、物体がその変形に抵抗する力。架空送電線の場合、一方向への着雪により電線をねじろうとする力が働く。



捻回運動

ギャロッピングが発生した際に、電線がゆっくりと、かつ大きく振動する長軸回りの回転運動。

【は行】

配電線融通

送電が停止した場合に、応急措置的に配電線を延長して需要先に電気を送ること。長距離の配電線は電圧の低下や周波数の変動等、電気の品質に悪影響を与えることから通常は行わない。

発電機車

発電機を搭載した自動車のこと。電力の供給ができない場合等に需要先に発電機車を配置し、応急措置的に電力の供給を行う。

二つ玉低気圧

日本列島を南北に挟んで通過する2個の低気圧。日本海側では大雪となることが多い。

偏心モーメント

物体の支持点と重心のずれにより生じるモーメント。電線の一方向に着雪した際、電線の中心から重心位置が移動することにより生じるモーメント。