



DEN-CHU-KEN

TOPICS

2011 1 JANUARY

VOL.5

Central Research Institute of Electric Power Industry

送電設備の雪害対策研究の現況

- 1. 研究の背景と電力中央研究所の取組み
- 2. 雪害観測システムの構築とデータの一元管理
- 3. 重着雪現象とギャロッピング現象の解明および対策評価への取組み
- 4. 塩雪害の発生条件の解明および対策評価への取組み

研究設備の紹介

見えないものを“みる”

送電設備の雪害対策研究の現況

1. 研究の背景と電力中央研究所の取組み

平成17年12月、日本海側の地域が豪雪に見舞われましたが、その際、複数の送電設備で雪害による停電事故が発生し、広域にわたる供給支障が長時間続くなど、社会的にも大きな影響を与えました。この事故を受けて、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、「送電設備の雪害対策ワーキンググループ」が設置され、今後の送電設備の雪害対策のあり方について検討が行われました。その結果、観測される機会が少ない雪害に関して、電気事業全体で協力して一元的にデータ管理や観測を行い、雪害事象の更なる探求と解析技術の向上を図ることが求められました。

電力中央研究所では、電気事業連合会からの要請により、平成19年7月に「送電設備の雪害に関する研究委員会」を設置し、電気事業における雪害対策研究を進めています。

本章では、送電設備の雪害の事例、対策動向、ならびに当所の取組みについて紹介します。

電力中央研究所
首席研究員 田中 伸和



地球工学研究所
流体科学領域リーダー
上席研究員 江口 譲



冬の送電線巡視(北海道電力提供)

1.1 架空送電設備の雪害

送電設備は、電力の安定供給を確保するために、その機能と健全性を常に維持することが要求される。特に、架空送電設備は、落雷、台風による強風、冬季の暴風雪など、厳しい自然環境に直接晒されており、自然災害による被害を低減・防止することが極めて重要な課題である。このうち、雪に係わる架空送電設備の被害や電力の供給支障の原因として、以下のような現象が挙げられる。⁽¹⁾⁽²⁾

一つは、重着雪と呼ばれる現象であり、電線を覆い尽くすように着雪が生じる筒雪(▶18ページ「これは何!？」参照)の形成や鉄塔などの支持物への過大な着雪によって、電線の断線や支持物の損壊に至ることがある。また、設備損壊に至らずとも、電線が大きく垂下し、他の電線と近接あるいは接触して短絡が生じることもある。

また、電線へ付着した雪が一齐に脱落することによって電線が大きく跳ね上がるスリートジャンプや、着雪した電線に風が作用して電線が上下に大きく動揺するギャロッピングによって、やはり短絡が生じることがある。

さらに、極めて稀で特異な現象ではあるが、塩分を含んだ雪が多量にがいしへ付着することによってがいしの絶縁耐力が低下し、塩雪害と呼ばれる地絡事故へ至ることもある。

わが国では、大半の地域で降雪が見られ、北海道から九州までの広い範囲で、雪害の発生事例がある。特に、広域の電力供給支障を伴う事例として、北海道雪害(昭和47年12月)、東北雪害(昭和55年12月)、関東雪害(昭和61年3月)など、様々な地域で被害を経験している。電気事業では、これまでも架空送電設備への着氷雪の観測や様々な対策を行っており、特に、昭和62年に資源

エネルギー庁から「特別高圧架空送電線路の耐雪強化対策の運用について」の通達がなされて以後、架空送電設備の耐雪強化や難着雪化対策をさらに推進してきた。海外における架空送電設備の氷雪害が、主に着氷に起因するものであるのに対し、国内で大規模な雪害が発生する際に見られる“湿型着雪”と呼ばれる現象は、0℃以上の気温で強風を伴う激しい集中降雪の際に生じる世界的にも稀な現象である。このため、その実態については未解明な部分が多い。平成17年12月には、雪害による広域の供給支障が、北陸、近畿、新潟下越で相次いだことから、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、「送電設備の雪害対策ワーキンググループ」が設置され、その検討結果が「今後の雪害対策のあり方について」⁽³⁾にとりまとめられた。この報告書では、平成17年12月の一連の雪害は、重着雪、ギャロッピング、塩雪害の3つの事象が原因であるとしており、これらの事象の観測、それらデータの一元的な管理、ならびに現象を理解するための解析技術の向上を図ることを求めている。

1.2 着氷雪に対する設計と電力会社の雪害対策

架空送電設備の設計において着氷雪に係わる設計荷重は、「電気設備に関する技術基準・同解釈」の中で定められている⁽¹⁾。電力各社では、これらの技術基準などに適合させた上で、さらに、電気学会「送電用支持物設計標準(JEC-127-1979)」⁽⁴⁾や各社の経験に基づく補強を加えた設計を行っている。

電線への着雪そのものを低減する対策としては、難着雪リング(図1-1(a))と呼ばれる合成樹脂製の

リングを一定間隔で取付けて電線に付着した雪を分断する方法が最も広く用いられている。また、カウンタウエイト(図1-1(b))や相間スペーサ(図1-1(c))によって電線のねじれを抑制する方法と、難着雪リングを組合わせて、筒雪の発達を防止する方法も採用されている。

ギャロッピングについては、電線間隔を広げた設計や、多導体スペーサの電線把持部の一部を回転できるようにしたルーズスペーサ(図1-1(d))、あるいは相間スペーサがその対策として採用されている。

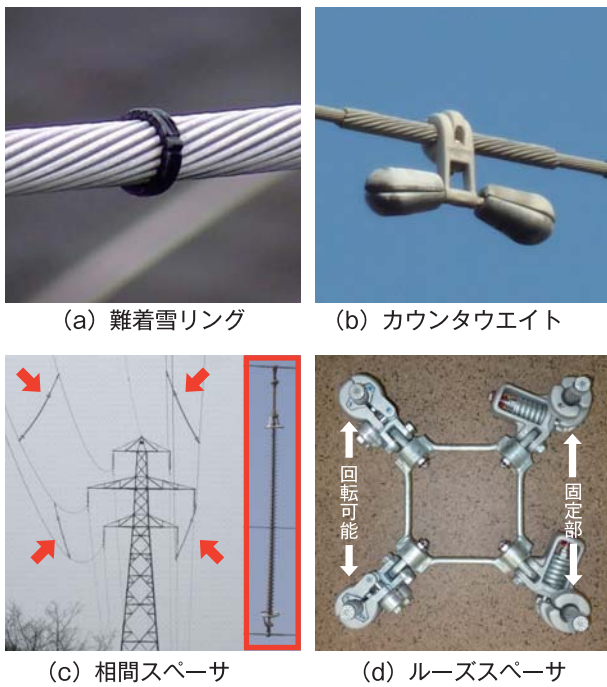


図1-1 各種の雪害対策品

1.3 電力中央研究所における取組み

当所では、昭和40年代後半から60年代にかけて、電気事業連合会の依頼を受けて、架空送電設備の雪害に関する様々な調査や観測、実験を行ってきた⁽⁵⁾。

その結果、日本海側よりも太平洋側で比較的多くの雪害が低気圧によって生じること、電線への着雪には、いわゆる湿型(毛管力型)と乾型(焼結型)の2種類があり、雪害の大半は前者が原因であること、電線のねじれ剛性を高めることによって着雪を低減できることなどが明らかになった。一方、当時の研究では、雪害対策の効果が定量的に検証されていなかったことや、自然降雪環境下での観測データが不足していたことによって、着雪量予測手法の確立までには至らなかった。

前述の「今後の雪害対策のあり方について」を受けて、電気事業連合会から当所に対して、電力各社と協力して雪害研究を推進するよう要請があった。これを受けて、当所では、平成19年7月から10年間の研究プロジェクトとして、最新の観測やシミュレーション技術、気象解析技術を活用する現象解明・予測手法を構築することを念頭に、(1)フィールド観測による雪害発生時の気象状況解明と着雪予測への応用、(2)ギャロッピング対策の高度化と予測計算精度の向上、(3)難着雪化対策の比較検証と着雪量推定技術の向上、(4)塩雪害発生条件の推定とがいし着雪特性の確認、を目的とした研究を開始した(図1-2)。

実施項目	H19 年度	H20 年度	H21 年度	H22 年度	H23 年度	最終目標
フィールド観測 全国7地点						
室内実験 人工着雪、空力特性、耐電圧等						●対策技術の効果 検証、確立
事例データ分析						●発生予測手法の提案 ●対策箇所決定手法 などの提案
解析技術向上 着雪モデル、気象解析等						●着雪モデルの提案 ●着雪荷重解析ソール の提供
発生予測手法検討 重着雪、ギャロッピング、塩雪害						●データ一元管理
データベース整備 事例データ、気象データ						

第一期は平成19年度から23年度まで 第二期は同24年度から28年度まで

図1-2 研究第一期の工程と最終目標

図1-3には、本研究の実施体制を示す。研究計画や成果について審議を行うため、学識者と電力会社委員を含む「送電設備の雪害に関する研究委員会」を設置し、その下に、研究の方向性などを電力各社と協議する幹事会、研究を推進するワーキンググループを設置している。さらに、ワーキンググループの下に、主要な3つの雪害事象を専門的に扱う「重着雪タスクフォース」、「ギャロッピングタスクフォース」、「塩雪害タスクフォース」、ならびに3つのタスクフォースで必要となる事例データや気象データの整備と気象解析・予測を担う「気象タスクフォース」を設置している。

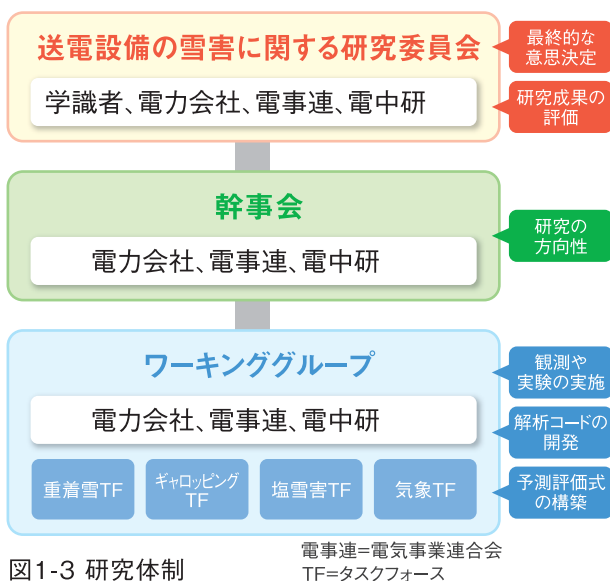


図1-3 研究体制

これまでに、全国規模での雪害観測システムの設置並びに着氷雪事例やそれに係わる気象に関するデータベースの構築を完了し、雪害に関連する諸現象の観測とデータの蓄積を行っている。また、研究の最初の5か年（第一期）では、各タスクフォースにて、観測データや人工着雪実験を活用した雪害事象とその発生条件の解明や対策の

効果検証に重点を置いた研究を実施している。第二期以後は、気象条件に応じた対策品の取付けガイドラインや雪害予測手法の開発など、電力各社における活用を想定した研究を行う予定である。

以下第2章では、全国各地に展開する雪害観測システムの構築と着氷雪事例・気象データベースの一元管理、第3章では、多量の雪が付着する重着雪現象と電線が大きく動揺するギャロッピング現象の解明、並びにそれぞれの対策評価への取組み、そして第4章では、海塩粒子を多く含む湿った雪がもたらす塩雪害の発生条件の解明、並びに対策評価への取組み、について紹介する。

<参考文献>

- (1) 電気協同研究会：送電用鉄塔の設計荷重、電気協同研究、Vol. 62、No.3、平成18年
- (2) 電気協同研究会：自然災害に対する架空送電技術、電気協同研究、Vol. 63、No. 5、平成21年
- (3) 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：今後の雪害対策のあり方、平成19年
<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g70125a01j.pdf>
- (4) 電気学会電気規格調査会：送電用支持物設計標準、JEC-127-1979、昭和54年
- (5) 坂本雄吉、他5名：電線路の雪害とその防止、電力中央研究所報告、総合報告T03、昭和62年

送電設備の雪害対策研究の現況

2. 雪害観測システムの構築とデータの

架空送電設備の雪害の主な原因となる湿型着雪は稀にしか発生しない現象です。また、激しい風雪環境下で、地上から数十m上空で発生する着雪現象を観測することは難しく、雪害の実態については現在でも不明な点が多く残されています。今後、更なる雪害事象の解明や適切な対策のためには、観測される機会が少ない雪害事象に関して、電気事業全体が協力し、観測データを一元的に管理・活用することが不可欠です。

電力中央研究所では、平成20年度冬季より、電力各社の協力の下、全国の実規模試験線や実線路において雪害の観測を開始し、現象の解明を進めています。さらに、電気事業における過去の着氷雪事例や観測データ、雪害に係わる気象データの一元的な収集とデータベース化を推進しています。

本章では、最新機器を用いた観測とデータベースの概要を紹介します。

地球工学研究所
主任研究員 西原 崇



地球工学研究所
上席研究員 麻生 照雄



降雪下に送電鉄塔を点検する作業員(北海道電力提供)

一元管理

2.1 雪害観測システムの概要

平成19年7月から当所で開始した「送電設備の雪害に関する研究」では、電力各社の協力の下、表2-1に示す全国各地に雪害観測システムを設置して、その観測データを一元的に集約して分析を行っている。ここでは、各観測地点・地域と観測システムの特徴を紹介する。

当所が、電力各社の試験線や運用中の実線路に観測システムを設置した地点・地域を、図2-1中に赤字で示す。電線の着雪に関しては、いわゆる湿型（毛管力型）と乾型（焼結型）の両者を把握するために、主に湿型着雪が見られる北海道東部地域（北海道A線）、主に乾型着雪が見られる北陸地域（北陸C線）にてそれぞれ観測を実施している。

ギャロッピングについては、設備量が最も多い66kV単導体と、基幹送電線に用いられる多導体の中でギャロッピング発生率が高いACSR410mm²-4導体を対象として、それぞれ、北海道A線、および関西敦賀試験線で観測を行っている。

塩雪害については、平成17年12月に実際に塩雪害が発生した新潟下越地域の7地点で塩分や降雪導電率の観測を実施して、それらの海岸からの距離や地形による面的な分布傾向を捉えられるようにしている。また、がいしへの着雪特性を東北B線で観測している。

これらの観測では、観測が難しい雪害事象について、最新の観測機器を採用するとともに、様々な対策品の効果を確認するため、同一径間内の電線に種類の異なる対策品を設けている。また、電力各社が独自に観測を継続中の東北むつ試験線や関西D線についても、データの提供を受け、これらも統合して分析を実施している。

各観測地点・地域の観測システムの特徴は以下の通りである。

北海道A線では、平成20年度冬季より風向・風速、気温、気圧等の気象条件や電線張力を測定しており、これに加えて、赤外線発光ターゲット（図2-2(a)）を電線に取付け、降雪中や夜間でも電線の動揺をネットワークカメラで捉えることができる。

観測地点・地域	観測対象とする事象			電線種 ACSRは銅心アルミより線電線の略称、数字は公称断面積
	重着雪	ギャロッピング	塩雪害	
北海道A線	強風・湿型着雪	単導体	がいし着雪	ACSR240mm ² -単導体
東北むつ試験線	強風・湿型着雪	-	-	ACSR160mm ² -単導体 ACSR240mm ² -単導体 ACSR410mm ² -単導体
新潟下越地域(7地点)	-	-	大気中・降雪中の塩分 降雪導電率	-
東北B線	-	-	がいし着雪	-
北陸C線	弱風・乾型着雪	-	がいし着雪	ACSR330mm ² -単導体
関西敦賀試験線	着氷	4導体	-	ACSR410mm ² -4導体
関西D線	着氷	2導体、4導体	-	ACSR410mm ² -4導体 ACSR810mm ² -2導体

表2-1 観測地点・地域の概要

また、同じ径間内に難着雪リングのみを設置した電線や難着雪リングとカウンタウエイトを設置した電線、相間スペーサを設置した電線などを比較して、対策品の違いによる着雪量やギャロッピング挙動の違いを確認している。

新潟下越地域では、平成20年度冬季より海岸からの距離が異なる新潟、新津、五泉の3地点で、大気中・降雪中の海塩濃度と降雪導電率(図2-2(b))を測定し、さらに4地点で降雪導電率測定を行って、海塩が内陸まで輸送される気象条件やメカニズムの解明を図っている。また、東北B線ではサンプルがいしを用いた着雪観測や着雪がいしの絶縁特性計測も実施している。



北陸C線では、平成20年度冬季より北海道A線と同様の気象条件、電線張力に加えて、着雪に影響する電線発熱などについても検討を行うため、電線温度、電流値の測定、ならびに放射収支計による測定も実施している。また、同一径間内で、無対策の電線、難着雪リング設置電線、難着雪化のための

スパイラルロッド設置電線を設けて、これら対策品の難着雪効果は無対策の電線と比較して確認している。さらに、降雪片の形状や落下速度を自動計測できる装置を導入し、着雪に及ぼす雪質の影響を検討するとともに、夜間に照明が無くとも電線着雪状況の撮影が可能な超高感度カメラ(SuperHARP⁽¹⁾)も導入している。



(a) 赤外線発光ターゲット



(b) 大気中・降雪中塩分、降雪導電率計測システム



(c) スペーサカメラ

図2-2 観測機器の概要

関西敦賀試験線では、平成21年度冬季より標準スペーサ設置電線とルーズスペーサ設置電線を設けて、4導体送電線のギャロッピングに対するルーズスペーサの効果について、標準スペーサと比較検証している。また、電線に設置したスペーサの中に小型カメラを組込み(図2-2(c))、着氷雪形状も間近で撮影している。

このような観測を10年間程度継続して、次章以降に述べる電線着雪現象と雪害の発生条件の解明や各雪害対策品の効果検証を進める。

2.2 着氷雪事例のデータベース化

電力各社が蓄積してきた氷雪害データについて、各社の協力を得て、当所がデータベース化を行っている(図2-3)。この「着氷雪事例データベース」では、氷雪害が発生した日時、場所に加えて、設備形態や対策品設置状況、推定される原因などの情報が格納されている。着氷雪事例データベースは、当所が運用中の「気象データベース」と関連づけ

られており、氷雪害発生時の天気図や気象情報など、事例分析に必要な情報を電力会社が容易に利用することが可能である。また、当所が運用中の気象予測解析システム(NuWFAS)⁽²⁾による気象予測結果や大気中・降水中の海塩濃度予測結果も電力会社から閲覧できる。

これらのデータベースは、ID、パスワード管理の下、電力各社の研究や現場でも活用することができる。各社の氷雪害データについては、今後も集約とデータベース化を継続し、雪害事象とその発生条件の解明へ活用していく。

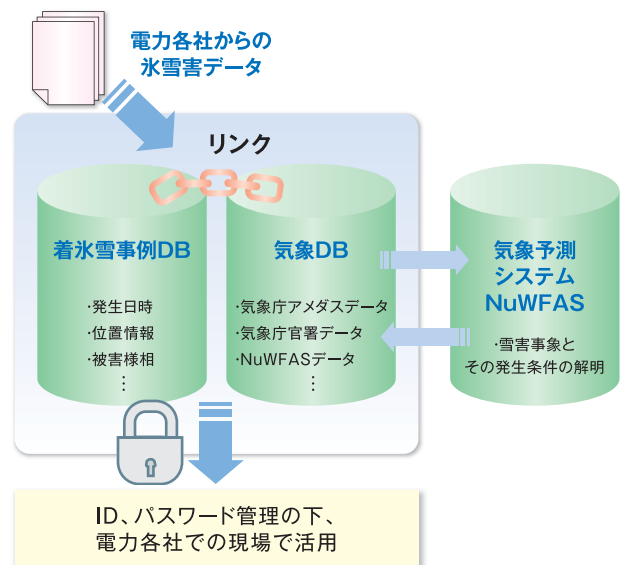


図2-3 着氷雪事例・気象データベースの概要

<参考文献>

- (1) 久保田節:「超」高感度カメラ、VISION技術特別セミナー講演予稿集、平成20年
- (2) 橋本篤、平口博丸:気象予測・解析システム(NuWFAS)の高度化と北海道を対象とした予測精度評価、電力中央研究所報告、N09024、平成22年

送電設備の雪害対策研究の現況

3. 重着雪現象とギャロッピング現象の解明および

電線に多量に雪や氷が着くと、その重みで断線や鉄塔部材の損壊が生じる場合があります。また、電線についた氷雪の形状と作用する風の条件が揃うと、電線が大きく動揺するギャロッピングと呼ばれる現象が発生することがあります。しかし、これらの現象は暴風雪時に発生することもあり、観測が極めて難しく、実際の着冰雪形状や風の条件などはほとんど把握されておらず、十分な実態解明には至っておりません。

このため、多量の雪が着く重着雪現象については、着雪量を予測する方法の高度化、雪が着き難くする難着雪化対策の効果検証、重着雪状態での種々の荷重が鉄塔に及ぼす影響評価を目的として、フィールド観測、人工着雪実験および鉄塔への影響を評価する数値解析手法の開発に取り組んでいます。

また、ギャロッピング現象については、抑制対策の効果検証、着冰雪形状や動揺形態の把握、ならびに着冰雪状態の電線に作用する風の力(空気力)や電線と鉄塔からなる構造物の振動の特性解明に取り組んでいます。このため、フィールド観測によって実現象のデータを蓄積するとともに、風洞を用いた電線の模型実験などを実施しています。さらに、この成果をギャロッピングの数値シミュレーション手法の改良に反映し、抑制対策の効果検討を行っています。

本章では、重着雪とギャロッピングという電線の着雪に関係する2つの現象について進めている研究を紹介します。

地球工学研究所
主任研究員 石川 智巳



地球工学研究所
上席研究員 清水 幹夫



雪にかすむ関西敦賀試験線

対策評価への取組み

3.1 重着雪現象に関する取組み

(1) 着雪時の気象状況に関する検討

上空から降ってきた雪が電線に衝突した直後に付着するか否かは、その後の着雪発達に大きく影響する。これまでの知見から、地上気温が0～2℃の範囲で着雪し易く、この気温帯における強風下での湿った雪の着雪を湿型(毛管力型)着雪と呼び、氷点下における乾いた雪の着雪を乾型(焼結型)着雪と呼んで、一般的に区別している。

本研究では、この着雪気温帯について確認するとともに、気象観測データから着雪パターンを区分することを検討している。

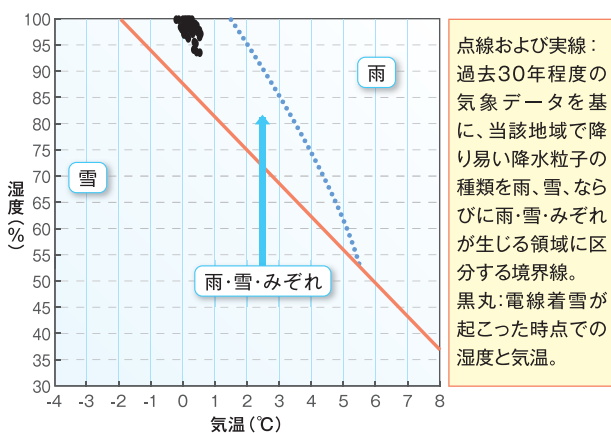


図3-1 北海道A線における着雪発生・発達時の地上気温と湿度のプロット図

図3-1は、北海道A線において湿雪が降り、着雪が開始・発達した際に観測された地上気温と湿度の関係を示したものである。電線への着雪は高い湿度で起こり、さらにはかなり限定された気温条件下で起こっていることがわかる。この結果は、雪が水分を多く含みすぎると雪自体の付着力が弱くなり、電線に衝突しても着雪し難く、乾き過ぎても付着するのに必要な水分がないため、着雪し難いと解釈できる。また、乾いた雪は、非常に弱い風の下で降った場合に限り、電

線上に冠雪し、着雪が発達するという観測データも取得している。

このように、降った雪が電線に着雪する割合を、気温、湿度、さらに風速といった比較的取得し易い気象データから推定できる見込みが得られた。今後、着雪量の予測精度を向上させるだけでなく、過去の気象データと重着雪事例を用いて、大規模な重着雪の発生頻度(何年に1回)や、その範囲を推定するための検討に、これらの知見を役立てる。

(2) 難着雪化対策手法の効果評価

重着雪対策の必要性が現在の技術基準に加えられたのは、関東雪害(昭和61年3月)を経験した後のことである。電力各社は、技術基準や架空送電規程で定められた項目以外にも、耐雪設計や難着雪化対策を講じており、それ以降、電線の断線や鉄塔部材損壊に伴う大きな被害は激減している。このように、対策の効果は広く認識されているが、効果の発現メカニズムや定量的な効果度合に関して統一的な見解を得るには至っていないのが現状である。そのため、特に電線の難着雪化対策の定量的な評価は、重要な課題となっている。

難着雪化対策は、「電線に雪が着き難くする」、「着雪の発達を防ぐ」、あるいは「電流を多く流して雪を解かす」等の手法に大別されるが、難着雪リング、カウンタウェイト、相間スペーサなどのいわゆる難着雪化対策品を電線に取付けて「着雪の発達を防ぐ」方法が国内で広く採用されている。そこで、本研究では電線毎に異なる対策品を設置し、着雪量データを比較して、対策品による着雪量の低減効果を評価している。

これまでの観測で、カウンタウェイトや相間スペーサといった、電線のねじり剛性を高める(電線がねじれるのを抑止する)対策品は、どの着雪事例に対しても一定の効果を発揮することなどを示唆する観測データが

得られている(図3-2)。また、実送電線での観測とともに、実径間と同様の着雪を模擬できる、「着雪サンプラ」(▶18ページ「これは何!？」参照)を設置し、対策品の効果発現メカニズムについても検討している。

今後、地域に応じた対策を議論できる定量的な評価結果を示すべく、実送電線と着雪サンプラでの観測を継続する。

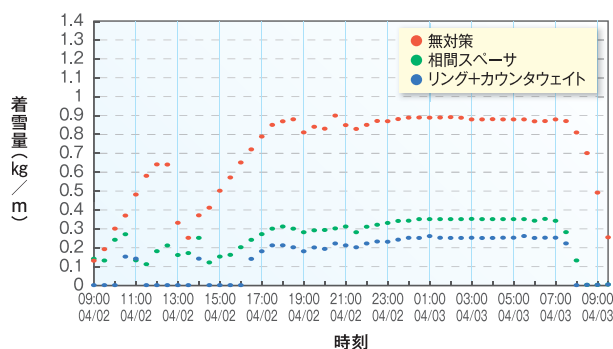


図3-2 東北むつ試験線で観測された電線1m当たりの着雪量の時間変化例(データ提供:東北電力)

3.2 ギャロッピングに関する取組み

電線に氷や雪が着き、それに強風が作用すると揚力などの風の力(空気力)が発生し、電線が大きく揺れる「電線ギャロッピング」という現象が生じることがある。この現象は、電線の動揺振幅が大きく継続時間も長いため、他の電線との近接や接触により短絡の原因となる。この動揺は、着氷雪形状、風向・風速、電線の太さ、導体数などの要因が複雑に重なり合って発生する現象と考えられており、ギャロッピング発生条件やその発達過程の理解が大きな課題となっている。また、対策品の効果検証やその最適な取付け方、優先的に対策すべき架線形態の明確化なども実務的な観点から重要である。

これらの研究課題に対し、当所ではフィールド観測を通じて、観測事例の蓄積とその分析を積極的に進めるとともに、着雪形状と空気力との関係などについて風洞実験に基づく検討を実施している。

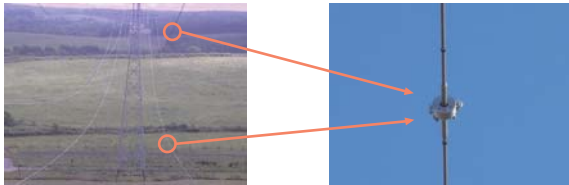
また、実フィールドでの観測においては、径間内の着雪形状の分布や多導体電線の導体別の挙動などの把握は難しい。このため、数値シミュレーションを用いて、外力条件、構造条件とギャロッピングとの関係を系統的に検討することで、観測データの補完や対策品の最適化に必要な情報を蓄積している。

以下では、これらのフィールド観測、風洞実験、および数値シミュレーションに関する取組みを示す。

(1) フィールド観測

現在、単導体電線の北海道A線、4導体の実規模送電線の関西敦賀試験線において、電線および鉄塔にセンサー類を配置したフィールド観測を実施している。各線路では、人工的に電線を加振することにより、その基本的な振動特性を事前に把握している。その上で、電線上に取付けた発光ターゲットを鉄塔上のカメラによりビデオ撮影し、その画像をトレースする方法(図3-3)、張力計により電線に作用する力を測る方法、あるいは電線に取付けたセンサーにより動揺振幅を計測する方法などにより、ギャロッピング時に電線が動揺する様子や張力の変化を定量的なデータとして蓄積しつつある。

また、北海道A線では相間スパーサ、関西敦賀試験線ではルーズスパーサにより対策した電線を、それぞれ無対策の電線とともに観測対象としており、両電線の比較から、ギャロッピング対策の評価を進めている。結果の一例として、図3-4に示すようにルーズスパーサによる張力低減効果を確認している。

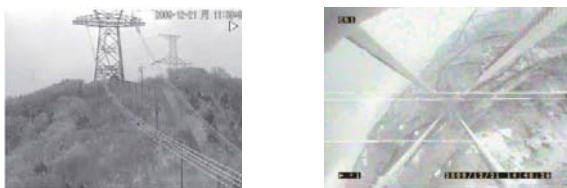


電線上の赤外線発光ターゲットは、電線からの誘導起電力により発光する



発光状態のターゲットの撮影例(左)
これを画像トレースし、電線変位を定量化した例(右)

図3-3 北海道A線におけるギャロッピング時の電線軌跡の観測例



電線全体の動き(左)と電線への着雪(右)の画像データ

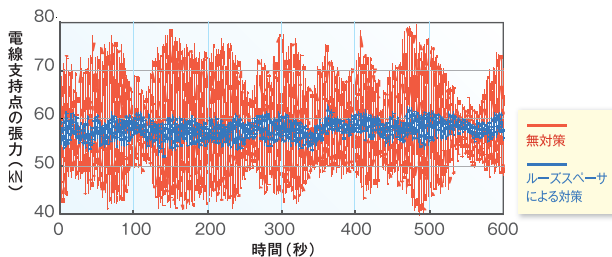


図3-4 関西敦賀試験線でのギャロッピング観測例(張力変動)

(2) 着氷雪電線の部分模型を用いた風洞実験

ギャロッピングは力学的な振動現象であることから、着氷雪した電線に作用する空気力を把握することが、現象解明の前提となる。このため、典型的な着氷雪形状を考慮した単導体、およびこれを4導体とした部分模型に風を当て、それに作用する空気力を評価する風洞実験を実施している。この実験では、電線模型に風を当てた場合の空気力を測定し、風速、

風向、着氷雪の形状、寸法と空気力との関係などを明らかにした。また、得られた空気力の特性は、以下に述べる数値シミュレーションの入力データとして活用できる。

(3) 数値シミュレーションによる検討

現在、ギャロッピング現象の解明と対策検討のための数値シミュレーションツールCAFSS⁽¹⁾を順次改良している。CAFSSは、あらゆる架線形態の送電線路について、がいし、ジャンパー線、および各種対策品を含め、様々な風速、着氷雪状態などの外力条件下で、ギャロッピングの応答を解析することが可能である(図3-5)。特に、相間スペーサやルーズスペーサに代表されるギャロッピングの対策品の有無を任意に設定できるため、CAFSSを用いて、対策品の効果の検証、評価、および取付け位置や個数の最適化検討を進めている。また、CAFSSを用いて優先的に対策すべきギャロッピングしやすい架線形態を明らかにするとともに、観測が困難なギャロッピングの発生条件やその発達過程の解明を進めている。

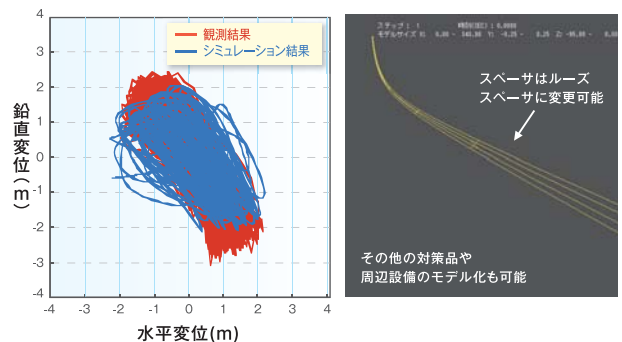


図3-5 CAFSSによる実現象のシミュレーション例
(左:観測と解析結果の比較、右:解析モデル)

<参考文献>

- (1) 清水幹夫、佐藤純一：4導体送電線のギャロッピング観測およびシミュレーション、構造工学論文集、Vol.47A、479～488ページ、平成13年

送電設備の雪害対策研究の現況

4. 塩雪害の発生条件の解明および対策

平成17年12月に新潟下越地域で発生した雪害において特徴的だったのは、海塩粒子を多く含む湿った雪が、強風により154kVおよび66kV送電線のがいしへ多量に付着し、がいしの絶縁耐力が著しく低下して地絡事故に至る塩雪害が発生したことです。がいしへの着氷雪の影響については、以前より豪雪地などで乾いた雪が、がいし上に積もる冠雪現象や、寒冷地での着氷現象に関する研究が行われてきました。しかし、塩分を多く含む湿った雪が、がいしの笠間を埋め尽くすように圧密して付着する現象は、世界的にも極めて稀であるため、これまでほとんど検討されたことはありませんでした。

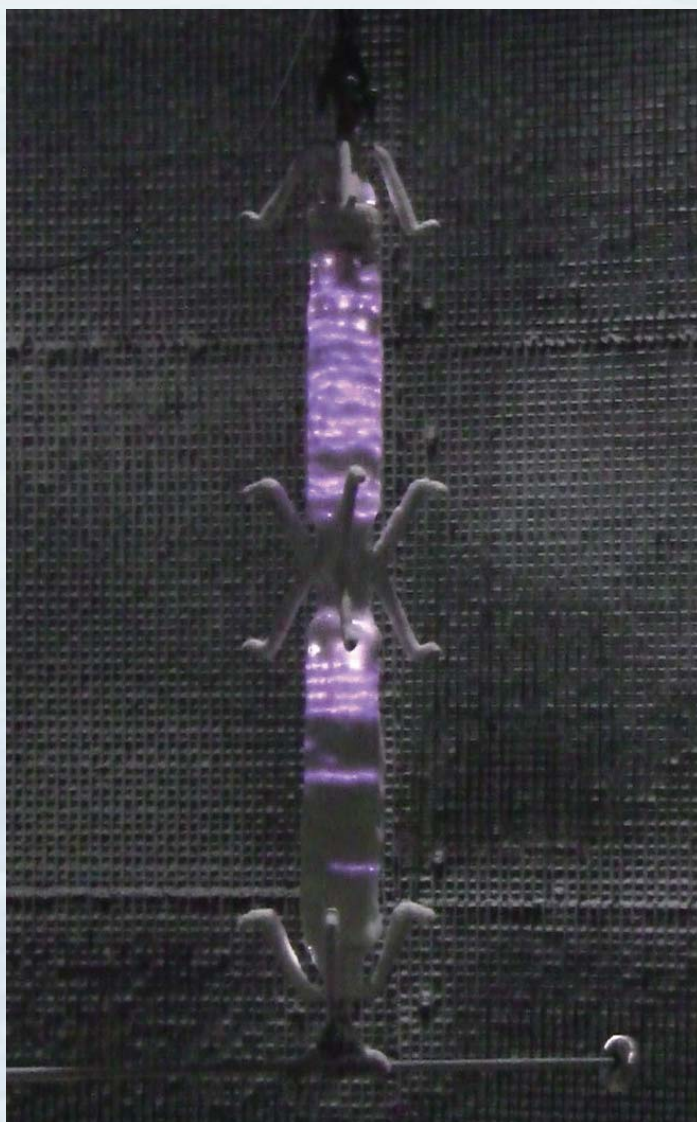
電力中央研究所では、この塩雪害について、フィールドでの降雪観測や実験室レベルでの試験により、塩雪害発生条件の解明と対策技術の検討、効果検証に向けた研究を行っています。

本章では、現在実施している、塩雪害が発生する気象・地形条件の解明ならびに、がいしの着雪特性と着雪時の絶縁特性の解明に関する取組みについて紹介します。

環境科学研究所
上席研究員 高橋 章



電力技術研究所
上席研究員 本間 宏也



154kV着雪ががいしの課電試験状況(着雪内部の放電発生により紫色に光る)

評価への取組み

4.1 塩雪害が発生する気象・地形条件の解明

平成17年12月の新潟下越地域での塩雪害は、がいしへの着雪現象が特異であっただけでなく、その発生場所が海岸線から数10kmに位置する内陸部であったという点においても前例のないものであった。

海塩成分を多く含んだ降雪が、なぜこのような内陸部で観測されたのか、その要因については十分解明されていない。報告書「今後の雪害対策のあり方について」(第1章 参考文献(3))では、内陸部に海塩粒子が侵入した要因として、図4-1に示すプロセスが関与したと推定されている。

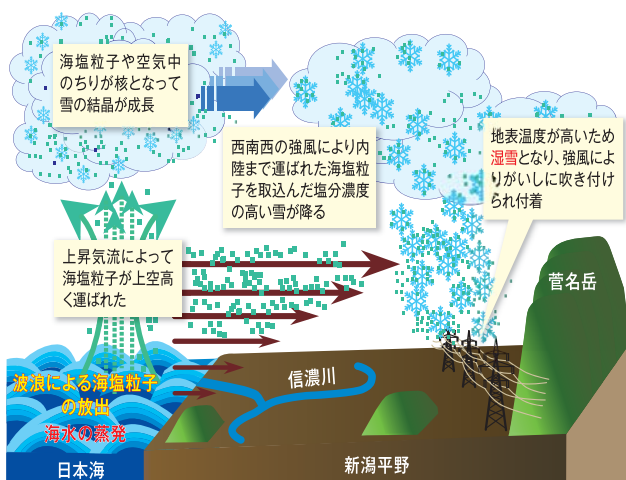


図4-1 推定される塩雪害の発生メカニズム
(第1章 参考文献(3)に基づき作成)

しかし、現時点においては、こうしたプロセスは推測に過ぎず、その検証は十分になされているとはいえない。塩雪害の再発を防ぐためには、がいしへの着雪、ならびに海塩粒子の降雪への取込みのメカニズムを解明し、塩雪害が発生しやすい気象条件や地形条件について検討を行うことが重要である。

(1)海塩粒子・降雪に関わるフィールド観測

平成20年度から新潟下越地域において、降雪の導電率(溶存成分濃度が高いほど導電率は高く、電気を通しやすい)、化学組成および大気中の海塩粒子に関する観測ネットワークを構築し、冬季の連続観測を開始した。

この観測ネットワークは、図4-2に示すとおり7つの観測地点からなる。このうち北側の4地点を一般観測地点とし、導電率モニターによる降雪導電率の連続観測を実施している。また、南側の3地点を重点観測地点として、降雪導電率の連続観測とともに、6時間ごとに降雪試料および大気中粒子状物質試料の採取を行っている。これらの採取した試料の分析結果から、降雪および大気中の海塩濃度の空間的・時間的な変動を詳細に把握することが可能となった。



図4-2 新潟下越地域における観測ネットワーク
(●重点観測地点、●一般観測地点)

その一例として、平成21年12月～平成22年1月における、重点観測3地点(新潟、新津、五泉)で6時間ごとに採取した降雪の導電率の経時変化を図4-3に示す。下越地域での塩雪害の際に、現地でも採取された降雪導電率の値は約 $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ であったと報告されている。重点観測3地点で観測された導電率は、大半の期間において $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ 未満の値で推移したが、 $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ を超える値も比較的頻繁に観測された。

ただし、 $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以上の導電率が出現する地点はランダムであり、地点間の相違は明確ではなかった。また、いずれの地点においても、降雪導電率が增大する場合、海塩の指標物質である Na^+ の降雪中濃度も同時に増大する傾向が認められた。このことから、観測した導電率の増大には海塩粒子の取込みが大きな役割を果たしていたと考えられる。

今後はさらにデータの蓄積を図り、塩雪害の発生メカニズムについて検討を進め、塩雪害の発生が予測される気象条件、地形条件を明らかにする。

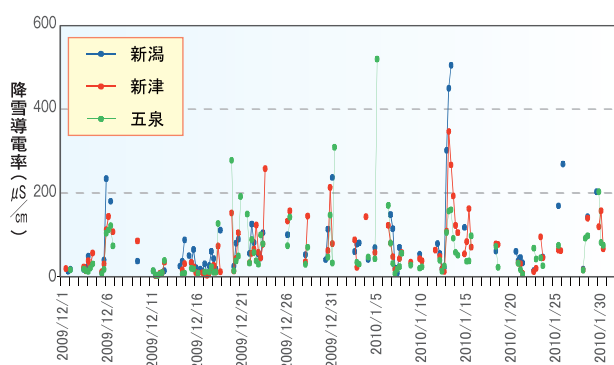


図4-3 重点観測地点における降雪導電率の観測結果
(平成21年12月～22年1月)

(2) 大気中・降雪中の海塩濃度の予測手法

塩雪害発生地域におけるフィールド観測と並行して、そこで得られた観測データなどをもとに、塩雪害を予測する手法の開発を行っている。この予測手法は、当所で開発した気象予測・解析システムNuWFAS(第2章 参考文献(2))と領域海塩解析モデルRe-SPRAY⁽¹⁾を組合せたものである。NuWFASは、Re-SPRAYの入力値の作成に用いている。Re-SPRAYは、海洋からの海塩粒子の生成、風による輸送、雲への取込み、雲から降雪への輸送、降雪への取込み、地表面の沈着といったプロセスが考慮され、大気中および降雪中の海塩濃度を予測することが可能である。図4-4に2008年1月24日の計算結果例を示す。

将来的には、各日の気象観測データをもとに、3日間程度先までの大気中および降雪中の海塩濃度・導電率の広域的な分布を時系列で予測し、その結果をオンラインで電力会社へ提供することを目指している。

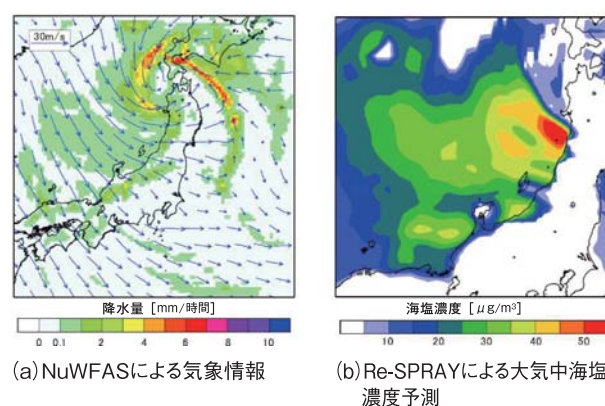


図4-4 海塩濃度の計算結果例(2008年1月24日)

大気中の海塩濃度の予測結果(b)は、重点観測地点における観測結果とよく一致している。

4.2 がいしの着雪特性および着雪がいしの絶縁特性の解明

塩雪害とは、海塩粒子を多く含む湿雪が、強風により圧密されながら、がいしの笠間をびっしりと埋める程に付着・成長し、がいしの絶縁耐力を著しく低下させた結果、地絡事故が引起されたものである。この現象は、これまでに良く知られた着氷現象や冠雪現象とは気象条件や様相が異なり、その発生メカニズムは明らかになっていない。

着氷や冠雪に比べ、塩雪害に関する情報が限られている理由のひとつに、その発生頻度が極めて低いことがあげられる。これまでの塩雪害の発生例としては、1973年の北海道道南部、2004年の北海道オホーツク地域、1984年のノルウェー西海岸における事例に留まっている。したがって、塩雪害の再発防止対策の構築には、着雪状況のフィールド観測と試験

による、がいしの着雪特性と着雪時の絶縁特性の解明が重要となっている。

(1) がいしの着雪特性の解明

各種がいしの着雪特性の把握と対策品の効果検証を目的として、東北B線において実物のがいしを用いた着雪観測と、風洞を用いた人工着雪試験を実施している。

着雪観測については、送電用鉄塔の中間部に、長幹がいし、懸垂がいし、ポリマー相間スペーサなど数種類を設置し、冬季に10分ごとの画像を記録している。平成21年度冬季においては、まとまった着雪が8回観測された。このうち7回は、平均風速が7m/s以下の弱風下での着雪であり、がいしの笠上に着雪が成長したものの笠間への圧密着雪は認められなかった。一方で、1回だけ風速が16m/sを超えた事例があり、がいしの胴部・キャップ部に着雪が成長する様子も見られたが、着雪量はわずかであり、笠間を橋絡する(笠間が雪でつながること)までには至らなかった。

着雪のしやすさの把握を目的とした人工着雪試験については、自然雪を風洞の前面上方から降り落とし、実物のがいしに吹付ける方法で行った。風速、がいし種類、吊り方などを変えて試験を行い、各種条件下における着雪形状や成長速度を比較した。その結果、着雪観測結果と同様に、弱風時においては、着雪は笠の上面に積もる形で成長し、強風時には胴部にも圧密して着雪する様子が観測された。いずれの場合においても、笠間が橋絡するまでの時間は、長幹がいしに比べ、笠間隔の大きい懸垂がいしの方が長いことが確認された。

(2) 着雪がいしの絶縁特性の解明

当所では、スウェーデンの研究機関であるSTRI社が所有する大型の課電可能な環境試験室(直径:18m、高さ:20m)を用いて、154kV実規模着雪がい

しの耐電圧試験法の確立に向けた検討を行っている。その結果、1)導電率を調整した水を低温環境に噴霧することで導電率の高い人工雪(氷粒)を作成、2)人工雪をブローにてがいしに吹付けることで圧密着雪を実現、3)着雪後にスプレーにより水分を加えることで湿雪を模擬、4)湿雪が圧密着雪した状態のがいしに電圧印加、という4つのステップによる試験方法を確立した。

これまでに、154kV級の長幹がいしおよび懸垂がいしを用いた試験によって、長幹がいしについては、課電直後における着雪内部での微小放電の発生から、アーク放電の増大、最終的にフラッシュオーバーに至る過程などを観測している(図4-5)。今後、この試験方法をもとに、各種着雪がいしの耐電圧特性を明らかにするとともに、対策品の効果を検証する予定である。

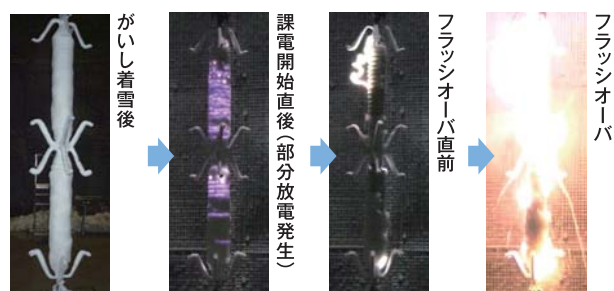
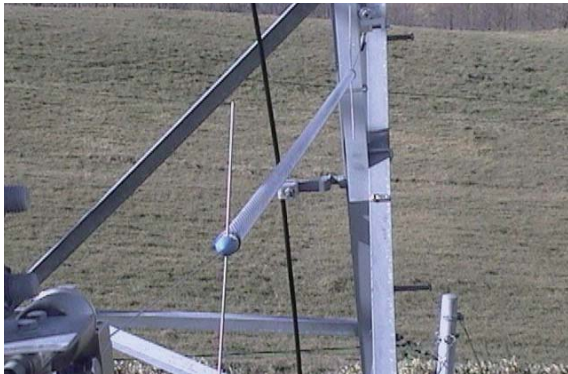


図4-5 着雪がいし(154kV級)がフラッシュオーバーに至る過程

<参考文献>

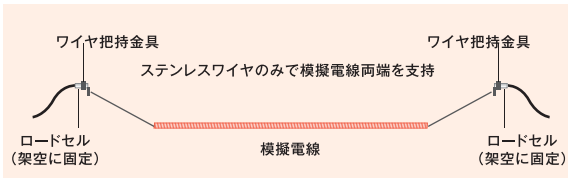
- (1)木原直人、平口博丸、高橋章、藤田慎一:時間変化する気象条件を考慮できる大気中の海塩粒子濃度予測手法の開発、電力中央研究所報告、N08021、平成21年



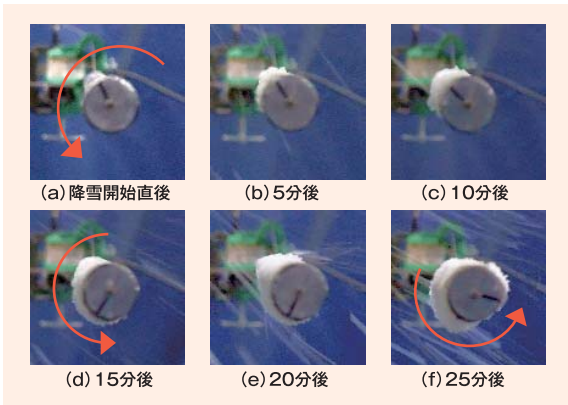
北海道A線内に設置したワイヤ支持式着雪サンブラ(降雪前)



降雪後に筒雪が形成されている状態



ワイヤ支持式着雪サンブラの概要



電線のねじれを伴う着雪

図中の矢印は電線のねじれた方向を表します。

見えないものを

“みる”

これは何!?

一見すると、少し形が変わった“物干し竿”が何かに見えますが、架空送電線に降り積もる雪を観測するための装置(着雪サンブラ)です。左下の写真では、円筒状に筒雪が形成されている様子がわかります。

架空送電線への着雪による被害を防止するためには、着雪現象を解明することや各種難着雪対策品の効果を定量的に把握することが重要です。しかし、送電線実径間への着雪現象は、数十m上空の送電線上で降雪中に生じる現象ですから、これを実際に目で見たり、カメラで撮影したりすることは、特に径間の中央部となると、非常に難しいのが現実です。

「着雪サンブラ」は、実径間では困難な、送電線への着雪観測の代替手段として、数mの短い模擬電線を屋外に設置して、実径間の着雪現象を模擬的に再現する装置です。

実線路での観測設備に比べると、安価で、かつ間近で着雪現象が観測できるという利点があります。着雪サンブラでは、筒雪形成に重要な因子である、着雪の成長に伴う電線のねじれ現象を再現する必要があります。従来の着雪サンブラでは、模擬電線の支持部にベアリングとコイルバネを組合せた機構が採用されていました。しかし、支持機構が複雑でメンテナンスが煩雑である上に、ベアリングの摩擦によって電線が滑らかにねじれにくい等の課題がありました。

当所は、これらの課題を解決しつつ、できるだけ簡素な支持機構の着雪サンブラとして、ワイヤ支持式の着雪サンブラを新たに開発しました。ワイヤ支持式着雪サンブラは、細いワイヤの一端を短い模擬電線の両端中心軸上に、もう一端を架台に固定して、やや弛度を持たせて模擬電線を支持します。この機構は、ワイヤ自体のねじり剛性を利用して、筒雪形成時の実径間電線と同様の電線のねじれを模擬するため、

- 1) 着雪による偏心モーメントに追従して電線が滑らかにねじれる、
- 2) 支持機構が簡素で製作が容易、
- 3) 支持ワイヤの長さ・太さによって、ねじり剛性を自在に調整可能、
- 4) 電線を軸方向から観察する際に視線を障害する機構が無く、着雪形状撮影が容易

という特長を持ちます。

これまでに、人工着雪試験によって、このワイヤ支持式着雪サンブラの機能を確認し、現在、国内3地点で、これを用いた屋外観測を実施しています。今後は、ワイヤ支持式着雪サンブラと実径間での観測結果を比較して、着雪サンブラ上と実径間上の着雪現象との相関性を検証します。また、様々な電線サイズの着雪サンブラを用いた観測によって着雪データの蓄積を進めるとともに、難着雪対策品の効果検証にも活用していきます。

次号予告「バイオマスエネルギーの高効率化に向けて(仮題)」

循環型社会の構築に貢献するバイオマス／廃棄物高度利用技術について紹介します。

DEN-CHU-KEN
TOPICS

発行：一般財団法人 電力中央研究所 広報グループ

〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1（大手町ビル7階）

TEL：03-3201-6601 FAX：03-3287-2863

<http://criepi.denken.or.jp/>

*表紙の記号は雪の結晶を図式化したものです