

# 高発熱融雪スパイラル

東京電力株式会社 中村 浩・田上大輔・北村敏夫  
電力技術開発センタ 浅野祐二・永田 豊\*1  
材料技術研究所 片山慎司\*2・斉藤 隆\*3

## High Performance Snow-melting Spiral

H. Nakamura, D. Tagami, T. Kitamura, Y. Asano, Y. Nagata,  
S. Katayama & T. Saito

送電線への着雪は、異常荷重やギャロッピング振動などの問題の原因となる場合がある。電線への着雪対策の一つとして、磁性材料でつくられた融雪用線材を電線に巻付け、ここから発生する熱により融雪する方法がすでに実用化されている。しかし、従来の融雪線材では冬季の潮流が少ない送電線において、融雪に必要な発熱量が十分に得られず適用できない場合があった。このため、既存の融雪線材の材料組成などを見直し、特に低潮流下での発熱量を増大させた高発熱融雪スパイラルを開発した。

Snow accumulation on transmission line conductors may cause various problems such as abnormal load or galloping oscillation. As a countermeasure, snow melting method using the heat generated by the special magnetic material spiral wires wound on conductors has been developed and put into practical use. However, under severe conditions, even this method can not generate sufficient calorific value to melt snow for some transmission lines with very low electric current in winter season. To solve these problems, we attempted to optimize alloy composition of present spiral wires to increase calorific value in such low current area. As a result, we have developed the high performance snow-melting spiral wire.

### 1. ま え が き

送電線への着雪は、異常荷重やギャロッピング振動などの問題の原因となる場合があり、これまで種々の対策が検討されてきた。これらの着雪対策の一つとして、電線に磁性材料でつくられた融雪線材を巻付け、送電電流により発熱する熱により融雪する方法が実用化されている<sup>1)2)</sup>。しかし、従来の融雪線材では、冬季の潮流が少ない送電線において十分な発熱量が得られず、適用できない場合があった。このため、融雪線材の材料組成などを見直し、発熱量を増大させた高発熱融雪スパイラルを開発した。

本報では、高発熱融雪スパイラルの基本的な特性や人工降雪実験の結果などについて紹介する。また、適用検討手法の検証を行ったので、この結果についても報告する。さらに、融雪スパイラルの端末部を固定するための端留ロッドについて、最適化のための検討を行ったのであわせて紹介する。

### 2. 線材組成の検討

融雪スパイラルは、鉄やニッケルなどを主成分とした強磁性体材料で構成されたスパイラル状の線材であり、送電線の電線に巻付けて使用する。電線に交流電流が流れると磁界が発生するが、この磁界が融雪スパイラルに作用して、渦電流損やヒステリシス損などにより発熱し融雪させる原理である。

融雪スパイラルは発熱量が大きいほど融雪性能に優れるが、夏場の高温時にも発熱すると電線温度が上昇しすぎてしまい、電線に流せる許容電流が低下する。よって、融雪スパイラルは着雪のない夏季（高温時）には発熱量が小さく、冬季（低温時）には大きな発熱量が得られることが望ましい。

磁性材料として鉄 - ニッケル合金を用いると、鉄の場合に比べキュリー温度（磁性体としての特性がなくなる温度）を低く設定することができ、高温時における磁気特性を低下させることが可能である。この性質を利用して、低温時に大きく発熱し、高温時にはあまり発熱しないという理想的な特性を得ることができる。キュリー温度の低い合金は一般に低キュリー材（Low Curie材 = LC材）と呼ばれ、低キュリー材を用いた融雪スパイラル

\*1 部長

\*2 金属材料開発部

\*3 金属材料開発部長

は「LCスパイラル」の名称ですすでに実用化されている。

しかし、冬季の潮流が非常に少ない、または、特に降雪量の多い一部の送電線では、融雪に必要な発熱量が十分に得られず、従来のLCスパイラルでは適応できない場合もあった。そこで、融雪線材の材料組成を見直すことにより、特に低潮流領域下での発熱量の増大をはかることとした。

一般にLC材の発熱特性はニッケルの含有量により大きく変化することから、本開発ではニッケル組成比を変えたLC材サンプルを試作し、各々のサンプルの発熱量を測定することにより最適化を行った。また、キュリー温度を下げて低潮流領域下で発熱量を増大させ、かつ高潮流領域下で発熱量を下げる観点などから、ニッケル以外の添加元素についても検討を行い、高発熱LCスパイラルの線材組成を最終決定した。

### 3. 発熱特性

試作した各種組成の高発熱LC材単体に対し、カロリメトリー法による発熱量の測定を行った。この結果、従来材と比較して発熱量が1.5倍程度向上していることを確認した。また、試作した高発熱LCスパイラルを電線に巻付け、通電試験により発熱量を測定した。試験に供試した試料の外観を図1に示す。各試料の発熱量は、通電電流および試料の両端における電圧降下を測定することにより求めた。また、測定時の周囲温度は、実環境における降雪時の気象条件を考慮して約0とした。

測定結果を図2に示す。高発熱LCスパイラルを巻付けた試料は、従来のLCスパイラルを巻付けた試料と比較して約1.5倍の発熱量であることが確認できた。

### 4. 人工降雪試験

試作した高発熱LC材について、実際の降雪状況ならびに通電状態を模擬した人工降雪試験を行い、電線の着雪状況を観測することにより融雪性能を検証した。試験は独立行政法人防災科学技術研究所の雪氷防災実験施設に

て実施した。人工降雪試験の配置を図3に示す。降雪強度は、試験時間20分間の降雪量を計量カップとはかりにより計測し、降雨量に換算することにより求めた。また、着雪厚さは試料表面に堆積した着雪の厚さをスケールにより測定した。試験の状況を図4に示す。

降雪強度と電線への着雪厚さの関係を図5に示す。試験の結果、ばらつきはあるものの全体的な傾向としては現行LCスパイラルに対し高発熱LCスパイラルでは着雪厚さが小さくなっており、融雪性能に優れていることが確認できた。

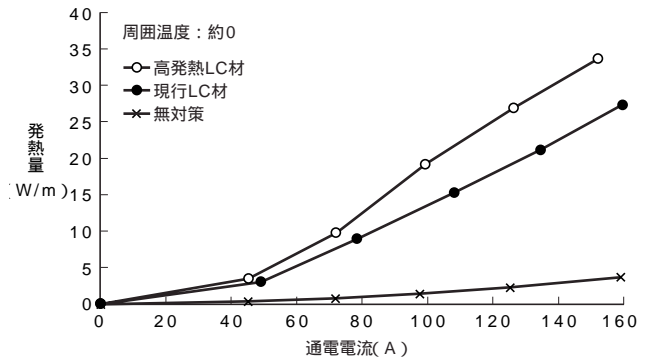


図2 通電 - 発熱特性  
Current - calorification property

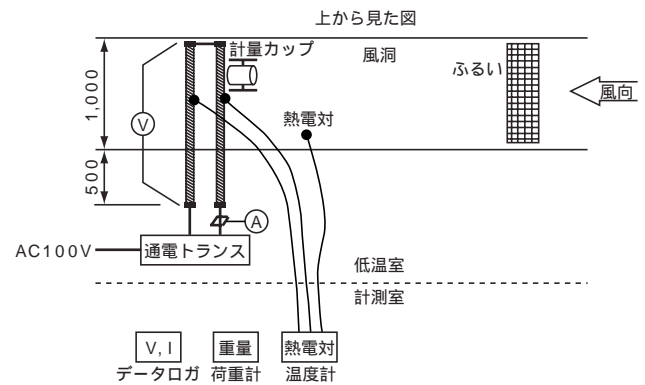


図3 人工降雪試験配置  
Layout of artificial snowing tests

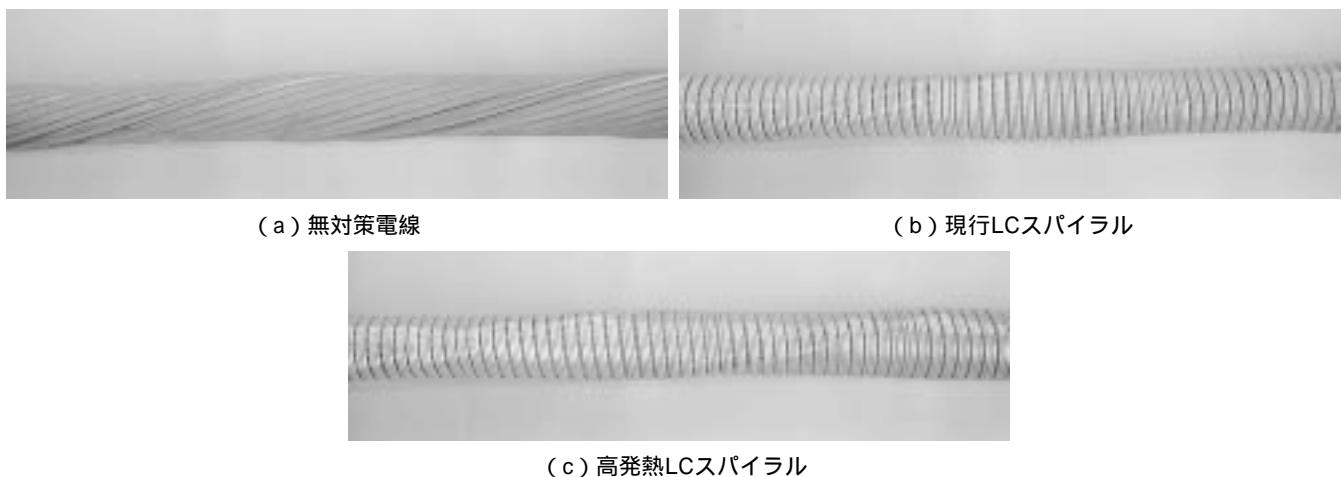


図1 LCスパイラル巻付例 (LN-ACSR940mm<sup>2</sup>)  
Examples of wound LC spirals (LN-ACSR940mm<sup>2</sup>)

5. 適用検討手法

(1) 熱収支の考え方

実線路におけるLCスパイラルの適用検討をするうえで、従来から用いられている熱収支計算の考え方を以下に示す。LCスパイラルにより着雪対策を行った電線の熱収支は、下記のとおり表すことができる。

$$\text{総発熱量} = \text{LCスパイラルの発熱量} + \text{電線のジュール熱}$$

$$\text{総放熱量} = \text{融雪熱量} + \text{風による放散熱量}$$

総発熱量が総放熱量より大きい場合は完全融雪し、電線に雪は付かない。一方、総放熱量が総発熱量を超えると完全には雪が融けず部分的に着雪する。

(2) 人工降雪試験

前述の考えにもとづき、人工降雪試験における各試験ケースの熱収支計算を行い、試験の結果と比較した。この結果を図6に示す。図における放散・融雪熱量と発熱量はすべて計算により求めた値である。また、融雪もしくは着雪のプロットは試験結果である。若干のばらつきはあるものの、全体的な傾向としては総発熱量 > 総放熱量のケースでは完全融雪しており、総発熱量 < 総放熱量のケースでは着雪していることから、従来の熱収支計算手法（LC材の適用検討手法）は概ね妥当であると考えられる。



図4 人工降雪試験状況  
Artificial snowing test condition

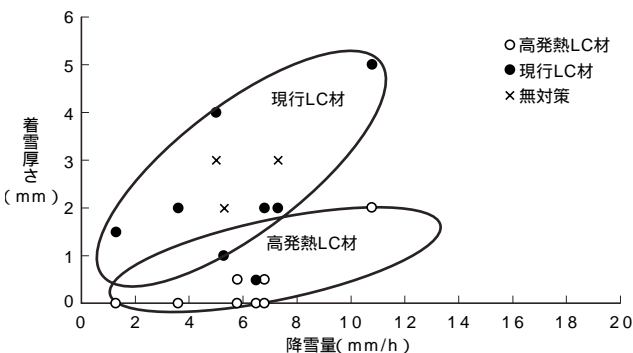


図5 人工降雪試験結果  
Artificial snowing test results

(3) 適用検討例

以上の検討結果をもとに、ACSR810mm<sup>2</sup>相当の実線路をモデルケースとして、従来のLCスパイラルと高発熱LCスパイラルの適用検討を行い、その差を比較した。この結果を図7に示す。例えば、気温-1℃、風速6m/s、降雪強度3mm/hで完全融雪に必要な潮流を比較すると、従来品では140A以上の潮流が必要であるのに対し、高発熱品では100A程度で完全融雪が可能である。また、潮流120Aにおいては、従来品では降雪強度2mm/h程度の融雪が限度であるが、高発熱品ではほぼ倍の4mm/hまで完全融雪が可能である。

6. 高温時通電試験

高発熱LCスパイラルでは従来品と比べて発熱量が大きいため、潮流が大きいときに電線の許容温度を超えてしまう恐れがある。そこで、TACSR810mm<sup>2</sup>を試料として高発熱LCスパイラルを巻付け、短時間許容電流通電時の上昇温度を測定した。

試験の結果、低電流においては無対策の電線に比べ高

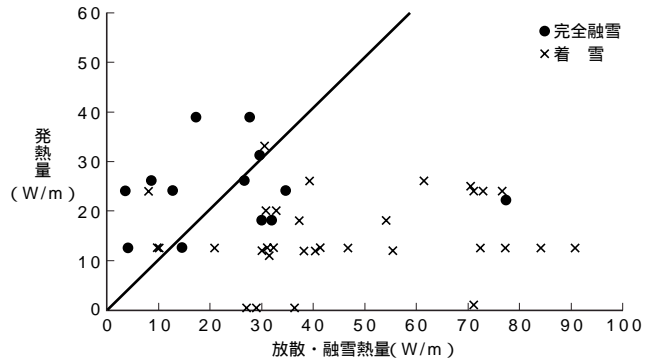


図6 適用検討結果と着雪実験結果の比較  
Comparison between theoretical calculation and snowing test results

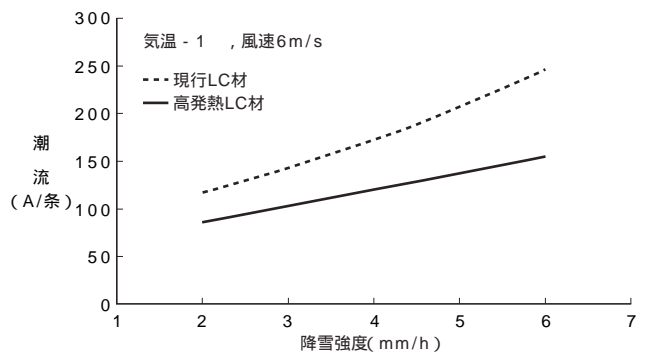


図7 適用検討例  
Examples of apply investigation

表1 端留ロッドの構造  
Construction of LC fixing-rods

| 構造      | 外径    | 長さ/本数           | ピッチ    |
|---------|-------|-----------------|--------|
| 現行端留ロッド | 6.0mm | 約700mm<br>5本/条  | 約200mm |
| 新型端留ロッド | 2.6mm | 約500mm<br>21本/条 | 約100mm |



(a) 現行端留ロッド



(b) 新型端留ロッド

図8 端留ロッド取付例  
Improvement of LC fixing-rods

発熱LCスパイラルを巻付けた電線の方が温度は上昇するが、電流値が大きくなるにつれその差は小さくなり、短時間許容電流(2,297A)付近では無対策電線とほぼ同等か若干高い程度であることがわかった。よって、潮流が大きいときに電線の許容温度を超えてしまい問題となるケースはほとんどないと考えられる。

### 7. 端留ロッドの最適化

LCスパイラルを専用の巻付機で電線に巻付けた場合、端末部を電線に固定するための金具が必要であり、一般にはスパイラルロッド(端留ロッド)が使われている。端留ロッドもLC材で作られているため発熱が期待できるが、従来の端留ロッドは外径が6mmと太いため、熱放散が大きく融雪効率が低かった。そこで、端留ロッドの外径、長さ、本数および巻付ピッチを見直し、最適化をはかった。表1に新型端留ロッドの構造を示す。新型端留ロッドは外径を小さくすることにより熱放散を最小限に抑え、材質を高発熱LC材とすると同時に本数を増やし、また、巻付ピッチを小さくすることにより発熱量の増大をはかったものである。通電試験により発熱特性を評価した結果、従来の端留ロッド以上の融雪性能を有することが確認できた。図8に端留ロッドの取付例を示す。

### 8. 一般性能

高発熱LCスパイラルならびに新型端留ロッドについて、融雪性能以外の各種性能を評価した。主な評価項目を表2に示す。いずれの項目についても従来品と同等以上の性能を有しており、実線路に適用するうえで問題のないことが確認できた。

### 9. むすび

以上、従来の融雪スパイラルの融雪性能を向上させた、高発熱融雪スパイラルについて紹介した。従来品の材料

表2 評価試験項目  
Evaluation test items

| 試験項目        | LCスパイラル | 端留ロッド |
|-------------|---------|-------|
| 外観・構造       |         |       |
| 引張強さ・伸び     |         |       |
| ねじり回数       |         |       |
| アルミ厚さ       |         |       |
| 巻付け         |         |       |
| 施工性         |         |       |
| バラケ特性       |         |       |
| 掌握力特性(振動試験) |         |       |
| コロナ特性       |         |       |
| 宙乗機通過特性     |         |       |

組成を見直すことにより、発熱量を1.5倍程度増やすことができた。人工降雪装置による着雪実験を行った結果、従来品に対し融雪性能が向上していることが確認できた。また、熱収支計算による適用検討結果と人工降雪実験の結果を比較検討した結果、両者は概ね一致しており、検討手法が有効であることが検証できた。

端留ロッドの構造についても最適化検討を行い、従来の端留ロッドに比べ融雪性能を向上させることができた。また、施工性、掌握力、その他の機械的特性について評価試験を行い、従来品と同等以上の性能を有することが確認できた。

今後は、実線路への適用をとおして融雪性能の検証を行っていく予定である。

### 参 考 文 献

- 1) 斉藤ほか：低キュリー点(LC)材応用の難着雪電線の開発 - その1 - , 藤倉電線技報, 第66号, 1983
- 2) 小島ほか：低キュリー点(LC)材応用の難着雪電線の開発 - その2 - , 藤倉電線技報, 第67号, 1984