

## 信号通信ケーブルの耐用年数の検討



井上 学\*<sup>1</sup>



阿部 文俊\*<sup>2</sup>



石間 礼次\*<sup>3</sup>

### A study on estimating service life of signal communication cable

Manabu INOUE\*<sup>1</sup>, Fumitoshi ABE\*<sup>2</sup>, and Reiji ISHIMA\*<sup>3</sup>

\*<sup>1</sup> Assistant Chief Researcher of Advanced Railway System Development, Research and Development Center of JR EAST Group

\*<sup>2</sup> Chief Researcher of Advanced Railway System Development, Research and Development Center of JR EAST Group

\*<sup>3</sup> Principal Chief Researcher of Advanced Railway System Development, Research and Development Center of JR EAST Group

#### Abstract

The service life of signal communication cables varies depending on the installation environment, but is currently being replaced using a uniform period as a guide. In this study, in order to estimate the service life of signal communication cable from the remaining amount of the antioxidant, we performed OIT (Oxidation Induction Time) tests and additive analysis on the sheath of the signal communication cable. As a result, we found that measuring the time until the antioxidant disappears by OIT tests is one of the indicators for estimating service life of signal communication cable.

●**Keywords:** Service life, Antioxidant, OIT (Oxidation Induction Time)

\*<sup>1</sup>JR東日本研究開発センター 先端鉄道システム開発センター 副主幹研究員  
\*<sup>2</sup>JR東日本研究開発センター 先端鉄道システム開発センター 主幹研究員  
\*<sup>3</sup>JR東日本研究開発センター 先端鉄道システム開発センター 上席研究員

## 1. 緒言

近年、鉄道分野において様々な施策が進められており、信号通信設備は年々増加している。一方、設備数の増加に伴い修繕費の増加が見込まれ、メンテナンスコストの削減は今後の課題として求められている。信号通信ケーブルの劣化の進み方は、敷設環境により異なるという経験則はあるものの、当社では敷設してからの経過期間(約30年)を目安として取替を行ってきた。これまでに、鉄道沿線の各種環境において長期間使用されてきた信号通信ケーブルから分析ケーブルを選定し、各種特性試験を実施してきた。その結果、ほとんどの特性に劣化は確認できなかったが、ケーブルシースに含有される酸化防止剤の残存量は異なることが分かった<sup>1)</sup>。このことから、酸化防止剤が消滅するまでの時間をケーブルの耐用年数の推定値として検討することとした。今回、鉄道沿線で長期間使用されたケーブルに対し、酸化誘導時間(OIT: Oxidation Induction Time)測定試験および酸化防止剤の定量分析を行うことで、ケーブルの耐用年数の推定に関する検討を行った。

## 2. OIT測定試験の概要および近似式

ケーブルシースの材料であるポリエチレン等のプラスチック材料は、空気中の酸素を吸収することで酸化反応が進行し、物理的特性の劣化現象が起こることが分かっている<sup>1)</sup>。OIT測定試験は、これを防ぐために添加された安定剤である酸化防止剤が消滅するまでの時間を測定するために実施する。示差走査熱量測定で、窒素(N<sub>2</sub>)雰囲気下で設定温度まで昇温し、温度および熱流が安定してから、酸素(O<sub>2</sub>)雰囲気に切り替える。切り替えた時間から酸化反応による発熱ピーク立ち上がりまでの時間をOITとして評価する(図1)。同じ温度でOITが長いことは、酸化防止剤が多く残存しており、ケーブルの残存寿命が長いことを示している。

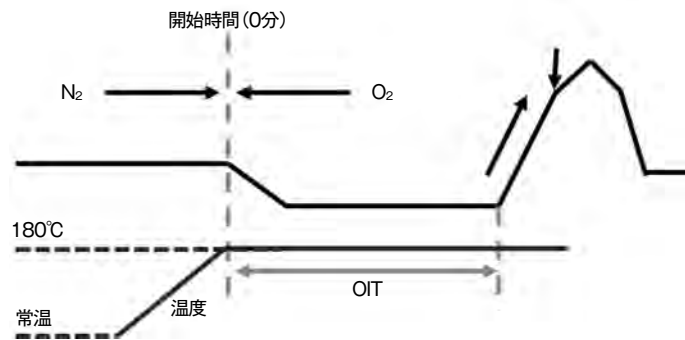


図1 OIT測定試験のイメージ

このOIT測定試験により得られたいくつかの設定温度でのデータを任意の温度へ適用可能とするため、10℃2倍速(半減測)<sup>2)</sup>を用いて近似式として式(1)を求めた。

$$OIT = A \times \exp(B \times T) \quad (1)$$

A、Bが定数、Tが任意の温度となる。なお、定数A、BはケーブルシースのOIT測定結果をグラフ上にプロットし、式(1)を用いて最小二乗法により算出した。本検討では、信号通信ケーブルのシース劣化要因が熱にのみ限定されると仮定して耐用年数を推定することとした。

### 3. OIT測定試験結果

鉄道沿線で長期間使用されてきた敷設環境や設置時期が異なる10本のケーブルを用いてOIT測定試験を実施した。各ケーブルの敷設環境および経過年数を表1に示す。OIT測定試験の設定温度は、180℃、190℃、210℃および230℃とし、各ケーブルの表層において任意の3箇所から測定サンプルを抽出した。

表1 OIT測定試験に用いたケーブルの敷設環境および経過年数

No.	敷設環境	経過年数	No.	敷設環境	経過年数
1	トラフ内 ※凍結有	21	6	直埋	26
2	トラフ内	25	7	架空	9
3	トラフ内	25	8	トラフ内	21
4	トラフ内	25	9	トンネル内(壁添架)	30
5	トラフ内	21	10	ダクト内(高架上)	34

この得られたOIT測定値を用いて、式(1)により求めたグラフを図2に示す。比較のため、新品ケーブルのOIT測定値によるOIT推定直線を併せて示した。グラフの横軸は、ケーブル回りの環境温度を示しており、現地に温度計を設置して得られた気温データに気象庁で公開している気温データを組み込むことで1年間の平均環境温度を算出した<sup>1)</sup>。

図2より、ケーブルの耐用年数、つまり、酸化防止剤が消滅するまでの時間は、環境温度に依存する傾向がみられた。ただし、架空ケーブルと冬季に凍結する寒冷地に敷設されたケーブルのプロットは、新品ケーブルのOIT推定直線から大幅に離れていることが分かった。架空ケーブルに関しては、外気や紫外線の影響により劣化が進んだことが原因だと考えられる。一方、寒冷地におけるケーブルに関しては、サンプル数が少なく、たまたま得られた結果なのか、それとも、寒冷地におけるケーブルは他の環境と比較して特性が劣化する傾向にあるのかを今回の結果からは判断することができない。そこで、寒冷地で長期間使用されてきたケーブルを更に5本追加し、OIT測定試験を実施するとともに、ケーブルシースに含有される酸化防止剤の残存量を定量的に測定するための定量分析を行い、寒冷地におけるケーブルの耐用年数の推定を行った。

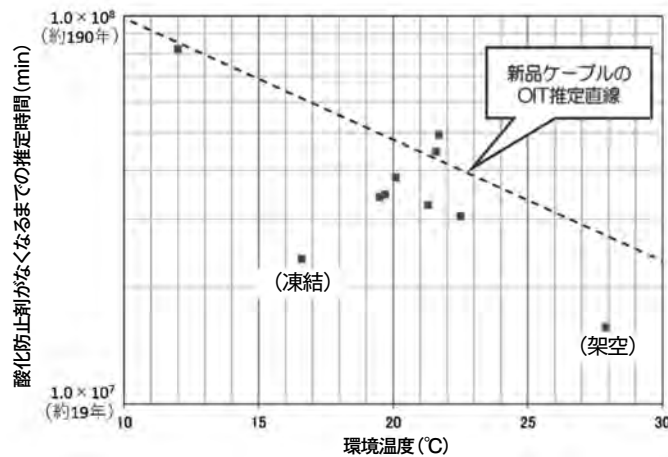


図2 各ケーブルのOIT推定値の比較

#### 4. 寒冷地ケーブルのOIT測定試験結果

寒冷地における鉄道沿線に長期間使用されてきた5本のケーブルを用いてOIT測定試験を実施した。OIT測定試験の設定温度は、180℃、190℃、200℃、210℃および230℃とし、各ケーブルの表層において任意の3箇所から測定サンプルを抽出した。この得られたOIT測定値を用いて式(1)により求めた結果を、図2のグラフにプロットしたグラフを図3に示す。なお、環境温度は、第3章で得られた平均環境温度の算出方法を適用した。

図3より、今回のOIT測定結果のプロットにばらつきがあるため、寒冷地に敷設されたケーブルに温度依存性を確認することはできなかったが、これまでの取替周期である約30年よりも長い約45年以上という結果が得られた。

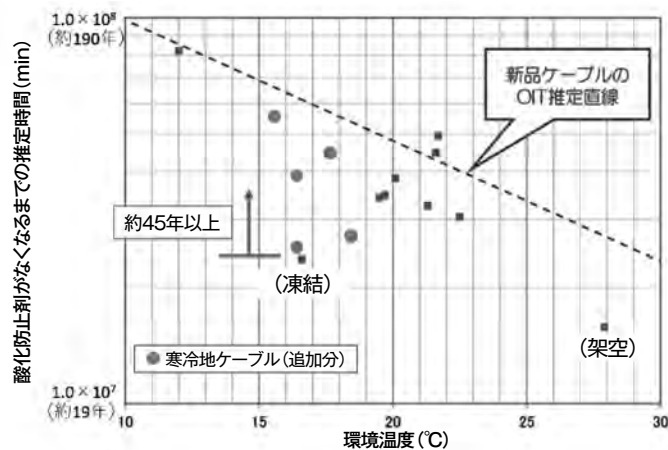


図3 寒冷地ケーブルを追加した各ケーブルのOIT推定値の比較

#### 5. 寒冷地ケーブルのシース各層のOIT測定試験結果

ケーブルシースの厚み方向による酸化防止剤の減少量の違いを検討するため、シースを表層、中層および下層と3階層に分類し、各層から任意の3箇所を採取し、OIT測定試験を実施した。180℃のグラフを図4に示す。

図4より、OIT測定値は表層が短く、中層、下層と長くなり、各層の酸化防止剤の残存量が異なることが分かった。これは、表層の方が外気や紫外線といった外的要因によるストレスを受けやすいため、中層および下層と比較して酸化防止剤の減少が進んでいると推定される。

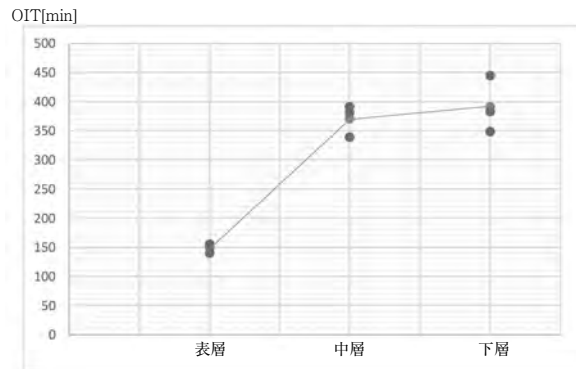


図4 ケーブル各層のOIT測定結果 (180°C)

## 6. クロマトグラフィによる添加剤の定量分析

OIT測定試験では、ケーブルシースに含有される酸化防止剤等の残存量を間接的に確認することはできるが、酸化防止剤の残存量を直接的に確認することはできない。そこで、鉄道沿線に長期間敷設されたケーブルと新品ケーブルに対して定性分析を行うことでケーブルシースに含有された添加剤の種類を特定し、定量分析により酸化防止剤等の残量を確認する。

定性分析で特定した添加剤の定量分析の結果を表2に示す。表2より、鉄道沿線に長期間敷設されたケーブルシースに含有される酸化防止剤の残量は、新品ケーブルと比較して大幅に減少していることが分かった。

表2 ケーブルシース添加剤の定量分析結果

単位：μg/g

添加剤名	寒冷地ケーブル (使用済)	新品ケーブル
Palmitic acid 【滑剤】	31	68
Stearic acid 【滑剤】	64	45
Pentaerythritol tetrakis(3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) propionate) 【酸化防止剤】	80	930

これまでのOIT測定試験により、現地敷設から時間が経ったケーブルのシースに含有される酸化防止剤の残存量について、間接的に酸化防止剤等の減少傾向を確認してきたが、添加剤の定量分析を行うことで、経年により酸化防止剤が減少することを直接確認することができた。

## 7. まとめ

本稿では、信号通信ケーブルの耐用年数の検討にあたり、ケーブルシースに含有される酸化防止剤の残存量に着目し、鉄道沿線の様々な環境に敷設された信号通信ケーブルについてOIT測定試験および添加剤の定量分析を実施した。その結果、OIT測定値は、寒冷地ケーブルを含めると温度依存性を確認することはできなかったが、添加剤の定量分析により、酸化防止剤は経年により減少していくことを定量的に確認することができた。このことから、酸化防止剤はケーブル耐用年数の指標の一つになると考えられ、酸化防止剤が消滅するまでの時間はOIT測定試験により測定できることが分かった。

今後は、ケーブル取替周期の見直しに向けて、今回得られたデータを活用していく。

### 参考文献

- 1) 柴原大樹 他：鉄道環境で用いる信号通信ケーブルの耐用年数推定に関する一検討、第26回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2019)、2019.
- 2) 藤田浩由、新井英樹：信号用電子機器の寿命を診断する、RRR Vol.75 No.4 2018 pp.12-15.