

海外鉄道車両用ハロゲンフリー軽量電線の開発

Development of Lightweight Halogen-free Electric Wire for Overseas Railway Rolling Stock

千葉 宏樹 *
Hiroki Chiba

西口 雅己 *
Masaki Nishiguchi

熊坂 幸昭 *2
Takaaki Kumasaka

概要 絶縁材料として汎用ポリオレフィン樹脂をベース材料で構成した、EN規格（欧州統合規格）に準拠した海外鉄道車両用ハロゲンフリー軽量電線を開発した。

鉄道車両用電線には、垂直難燃性や高耐熱性、高温耐油性等に加えて、電線布設時や車両運行時の振動を考慮して高い耐摩耗性が要求される。そのため、一般的にその絶縁材料には強度特性や耐熱性に優れたエンジニアリングプラスチックが多く使用されているが、柔軟性や加工性に課題があった。

今回、絶縁体のベース材料として汎用のポリオレフィン樹脂を用い、これらの諸特性を満足したことに加えて、柔軟性や加工性にも優れ、かつ環境に優しい鉄道車両用ハロゲンフリー軽量電線の開発に成功した。

1. はじめに

近年、世界的に環境問題への関心が高まる中、鉄道輸送は他の輸送手段と比べてエネルギー消費量が低くCO₂排出量が少ないため、環境に優しい輸送手段として注目されている。特に、欧州やアジアを中心とする海外において活発に鉄道網の整備が進んでいる。それに伴い、海外における鉄道車両本体やそれに使用する部材の需要も高まっており、鉄道車両ビジネスは今後大きく成長すると予想される。

一方、海外の中でも特に鉄道網が発展している欧州では、これまで各国独自に運用してきた国内規格を統合した規格として、EN規格が制定された。本規格は、基本的に電気分野のIEC規格や、非電気分野のISO規格に整合されていることもあり、今後この規格に適合した製品は、適用範囲が拡大すると考えられる。

EN規格に基づいた鉄道車両電線には種々のものがあるが、今回新規に規格化された軽量電線の開発を行った。本軽量電線は、従来から存在する標準仕様の電線の絶縁体厚さと比べて薄く、主として信号として使用される。本報では、開発した海外鉄道車両用軽量電線（以下本軽量電線）と、その特性について紹介する。

2. 開発した海外鉄道車両用軽量電線

鉄道車両用電線には、電線布設時や車両運行時の振動を考慮して高度な耐摩耗特性や高レベルの垂直難燃性、高耐熱性など

が要求される。そこで、その絶縁材料には、強度特性や耐熱性に優れたエンジニアリングプラスチックがベース材料として多く用いられてきた。しかし、これらの材料は剛直なため柔軟性や、絶縁体の皮むき加工性に劣るなどの課題を有している。

今回、汎用のポリオレフィン樹脂をベースとした材料を絶縁材料として用い、薄肉・軽量電線の規格であるEN 50264-3-1及びEN 50306-2に対応した耐摩耗性、耐熱性、高温耐油性などの物理特性と、IEC 60332-3-24 Category C (EN 50264-1)の垂直難燃性、IEC 61034 (EN 50264-1)の発煙特性などを両立し、更にエンジニアリングプラスチックで課題となっていた柔軟性や皮むき加工性に優れた軽量電線を開発した。

以下、本軽量電線の諸特性について報告する。

3. 海外鉄道車両軽量電線の構造

本軽量電線の構造を、標準仕様の電線の構造と比較して表1に示す。本軽量電線の絶縁体厚さは0.4 mmであり、標準仕様の電線のそれと比べておよそ1/2である。電線の重量は20%程度削減されており、省エネルギー対応の構成となっている。一方で絶縁体厚さが薄いため、絶縁材料には高強度、高耐摩耗性、高難燃性などの種々の厳しい特性が要求される。

本報では、1.25 mm²サイズの導体、標準外径が2.3 mmの電線の諸特性について以下に紹介する。

* 研究開発本部 ファイテルフォトニクス研究所

*2 古河電工産業電線（株） 生産本部

表1 海外鉄道車両用軽量電線の構造
Structure of lightweight electric wire developed for overseas railway rolling stock.

導体		標準仕様		軽量仕様	
サイズ (mm ²)	導体外径 (mm)	絶縁体厚さ (mm)	仕上り外径 (mm)	絶縁体厚さ (mm)	仕上り外径 (mm)
0.30	0.7	—	—	0.4	1.5 ± 0.2
0.50	0.9	—	—	0.4	1.7 ± 0.2
0.75	1.1	—	—	0.4	1.9 ± 0.2
1.00	1.3	0.8	2.9 ± 0.2	0.4	2.1 ± 0.2
1.25	1.5	—	—	0.4	2.3 ± 0.2
1.50	1.6	0.8	3.2 ± 0.2	0.4	2.4 ± 0.2
2.00	1.8	—	—	0.4	2.6 ± 0.2
2.50	2.2	0.8	3.8 ± 0.2	0.4	3.0 ± 0.2

4. 試験方法

4.1. 絶縁体の耐熱性試験（ホットセット試験）

EN規格（EN 50264-3-1 及び EN 50306-2）では、電線被覆材が高温で熔融せずに強度を維持しているかどうかを確認する評価方法として、ホットセット特性に適合することが要求される。ホットセット試験の方法を図1に示す。試験はEN 50305に基づき、200℃の高温雰囲気下で管状の試験サンプルを20 N/cm²の負荷荷重を吊り下げ、15分放置する。15分後の標点距離の伸び率が100%以下、かつ荷重除去後の標点間の永久伸び率が25%以下であることが要求される。

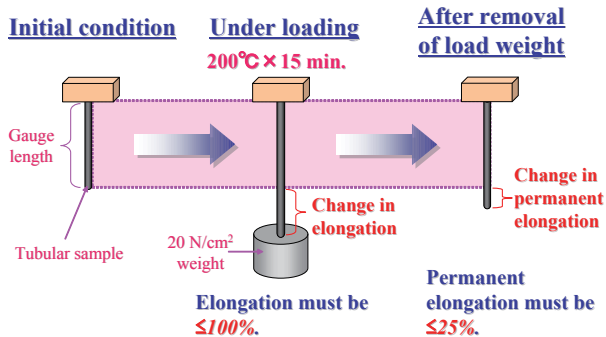


図1 ホットセット試験
The hot-set test.

4.2. 耐摩耗性試験

本軽量電線はEN 50305に準拠した耐摩耗性試験に適合することが要求される。試験方法を図2に示す。今回の試験は、水平に設置した電線サンプルの上に、9 Nの負荷荷重を加えながら、0.45 mm φの鋼ブレードを用いて絶縁体を摩耗させ、そのブレードがサンプルの導体に達するまで連続で往復させる。摩耗部分は、1サンプルにつき、90, 180, 270, 360度円周方向の合計4回実施する。EN 50306-2より、各箇所が100往復以上、4回の平均値が150往復以上であることが要求されている。

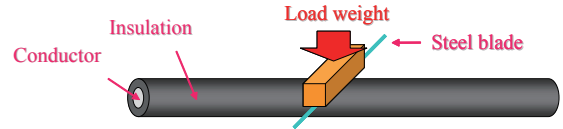


図2 耐摩耗性試験
The abrasion resistance test.

4.3. 垂直難燃試験

本軽量電線にはIEC60332-3-24 Category C（EN 50264-1）の垂直難燃試験に適合することが要求される。本試験方法を図3に示す。3500 mmの長さに揃えた電線サンプルを図3のように隙間無く垂直に布設し、その後、バーナーで20分間サンプル下部を着火し、炎を離れた後、自己消火するまで放置する。完全に消化した後、バーナー着火点からの焼損炭化長さが2500 mm以下であれば合格である。

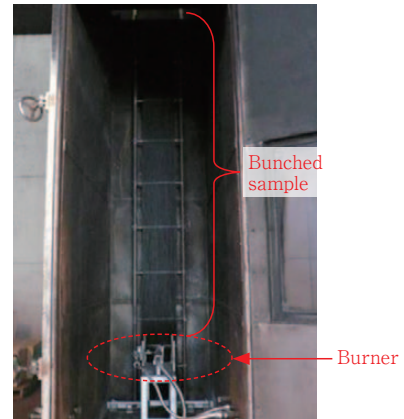


図3 IEC 60332-3-24 Category Cの垂直燃焼試験
The vertical flame resistance test complied with IEC 60332-3-24.

4.4. 発煙試験

発煙性に関する評価としてIEC 61034（EN 50264-1）の3 mキューブ発煙試験に適合することが要求される。本試験はサンプルを1000 mmの長さに揃え、3 m立方の試験室内にてバーナーを用いて40分間燃焼させ、絶縁体から発生した煙を封入した試験室内における光透過率を測定する。この光透過率が70%以上であれば合格である。

4.5. 高温耐油性

本軽量電線はEN 50305で規定された高温耐油試験に適合することが要求される。試験は、100℃に熱したASTM IRM 902の油中に、管状の絶縁体を24時間及び72時間浸漬し、その後引張試験を実施する。EN 50264-3-1の標準耐油性においては24時間浸漬後、また同規格の特別耐油性においては72時間浸漬後の引張強度及び破断伸びの残率がそれぞれ、70～130%、60～140%の範囲内であれば合格である。

4.6. 長期耐熱性

本軽量電線は、105℃以上の長期耐熱性が要求される。通常3点以上の温度で加熱老化試験を行い、各温度の終点か

らアーレニウスプロットにより、長期耐熱温度を求める。今回は180、158、133℃の3点で加熱老化試験を実施し、各温度における破断伸びの残率が50%に達した時の時間(終点)を調査した。各温度の終点からアーレニウスプロットによって20000時間における長期耐熱温度を算出した。

4.7. 柔軟性試験

柔軟性評価の方法を図4に示す。本軽量電線を280 mmに切断し、両端を繋げて輪にした後、4.0 mm φのマンドレルに引っ掛け、輪にしたサンプルに3.4 Nの荷重を吊り下げる。

荷重をかけた状態における電線輪の短径長さの測定を行うことにより、電線の柔軟性を測定した。荷重をかけたときの電線輪の短径長さが短いほど柔軟である。

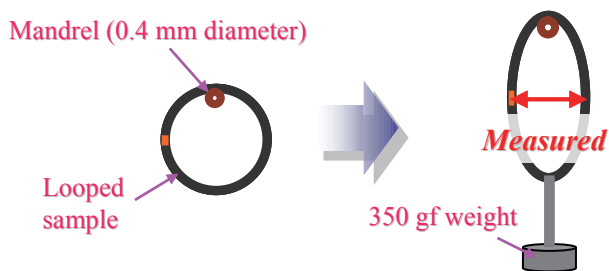


図4 柔軟性評価
The cable flexibility evaluation.

5. 結果及び考察

5.1. 絶縁体の耐熱性(ホットセット特性)

ホットセット試験の結果を表2に示す。汎用ポリオレフィンの融点は一般に160℃程度以下であり、ホットセット試験温度の200℃雰囲気下では溶融してしまう。

今回、ポリオレフィンに架橋処理を加えることで耐熱性を付与し、ホットセット特性を満足させた。

表2 ホットセット試験結果
The hot-set test results.

	規格値	結果
荷重時(%)	≤100	22.6
荷重除去後(%)	≤25	8.6

5.2. 耐摩耗性

EN 50305で規定された方法で実施した耐摩耗試験の結果を図5に示す。比較として、絶縁材料としてエンジニアリングプラスチックを用いた電線の結果も記した。

絶縁材料としてエンジニアリングプラスチックを使用した電線はWire A及びWire Bである。本軽量電線の平均往復回数は、およそ1000往復であり、目標値の150往復を十分満足していることがわかる。

このように本軽量電線はEN50306-2の耐摩耗性を有しており、加えて耐摩耗性はエンジニアリングプラスチックを絶縁材料と用いた電線と比較しても遜色ないことがわかる。

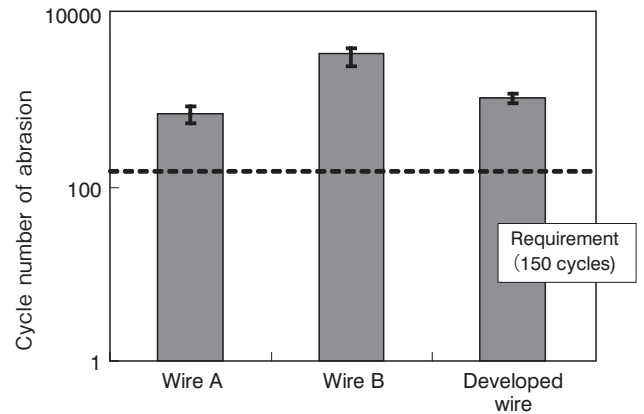


図5 荷重 9 N、0.45 mmφのスチールブレードを用いたEN50305 準拠の耐摩耗性試験結果
The abrasion resistance test results with 9 N loading complied with EN 50305 for steel brads with 0.45 mm diameter.

5.3. 垂直難燃性

IEC60332-3-24 Category Cの垂直難燃試験の結果を図6に示す。

着火後5分で炎高さが1100 mmに達するものの、以降はそれ以上延焼することはない、また炎を離れた後の残炎時間はわずか90秒程度であり、自己消火した。また試験後の燃焼炭化長は1030 mmであった。このように本軽量電線は優れた難燃性を有していることがわかった。

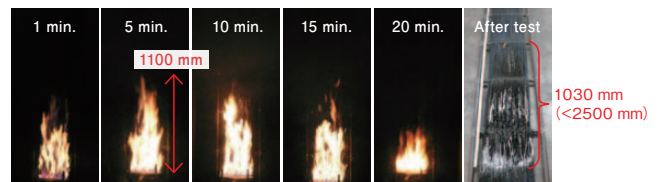


図6 IEC60332-3-24 Category Cの垂直燃焼試験結果
The vertical flame resistance test results complied with 60332-3-24 Category C.

5.4. 発煙性

IEC 61034の発煙試験の結果を表3に示す。試験の結果、燃焼試験後の光透過率は86.4%であり、規格の光透過率70%を十分に上回った。

このように本軽量電線の発煙性はIEC 61034 (EN 50264-1) に適合しており、仮に被覆材が燃焼したとしても、煙の発生が非常に少ないことがわかった。

表3 発煙試験結果
The smoke generation test results.

	規格値	結果
光透過率(%)	≥70	86.4

5.5. 高温耐油性

高温耐油試験の結果を表4に示す。併せて絶縁体にポリオレフィン樹脂ベースで構成した通常の垂直難燃性を有するハロゲンフリー電線 (Wire C, Wire D) についても測定を行った。

通常のポリオレフィン電線の絶縁材料は、100℃の温度で油に浸漬させると膨潤し強度特性が著しく低下してしまう。一方、本軽量電線の絶縁材料は高温耐油性に非常に優れており、EN 50264-3-1の標準耐油性だけでなく、より厳しい特別耐油性においても適合していることが確認された。

表4 高温耐油試験結果

The high temperature oil resistance test results.

	規格値	Wire C	Wire D	本軽量電線
EN 50264-3-1標準耐油性 ASTM IRM902, 100℃ × 24 hr				
引張強度残率 (%)	70 - 130	40	57	82
破断伸び残率 (%)	60 - 140	111	167	86
EN 50264-3-1特別耐油性 ASTM IRM902, 100℃ × 72 hr				
引張強度残率 (%)	70 - 130	-	-	90
破断伸び残率 (%)	60 - 140	-	-	111

5.6. 長期耐熱性

アーレニウスプロットを用いて、20000時間における長期耐熱温度を算出した結果を図7に示す。このように本軽量電線の連続使用温度は113℃であり、規格の105℃を十分に満足していることがわかる。

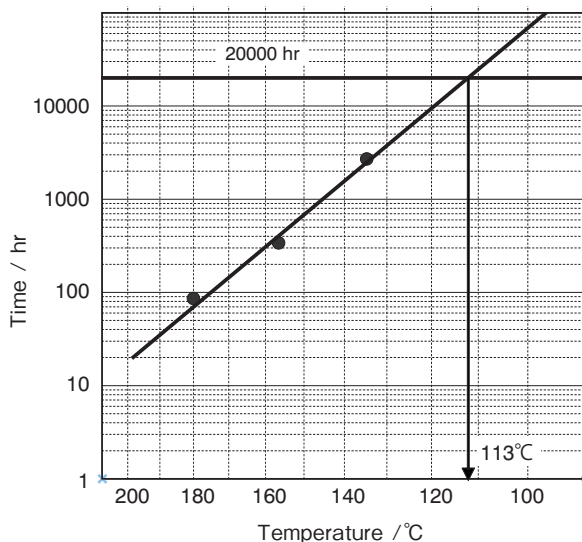


図7 アーレニウスプロットによる耐熱温度評価

The upper temperature limit evaluation result based on Arrhenius plot.

5.7. 柔軟性

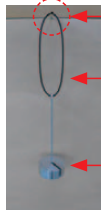
柔軟性評価の結果を表5に示す。比較として、絶縁材料としてエンジニアリングプラスチックを用いた電線 (Wire A,

Wire B) の結果を記した。

このように本軽量電線は絶縁材料としてエンジニアリングプラスチックを用いた電線と比較して、非常に柔軟性に優れていることが確認された。

表5 柔軟性評価

The wire flexibility evaluation.

	Wire A	Wire B	本軽量電線
3.4 N 荷重時における柔軟性評価写真			
試験前 (mm)	84	84	84
試験後 (mm)	62	57	37

5.8. ハンドストリッパー加工による端末加工性

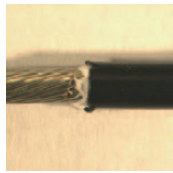
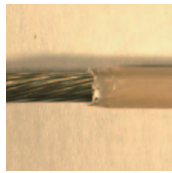
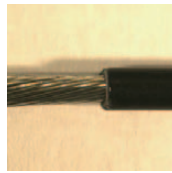
各電線のハンドストリッパー加工による端末加工性試験の結果を表6に示す。

比較として、絶縁材料としてエンジニアリングプラスチックを用いた電線 (Wire A, Wire B) の結果を記した。

本軽量電線は加工切断部にヒゲなどの切れ残しがなく、皮はぎ性に非常に優れていることがわかる。

表6 ハンドストリッパー加工による端末加工性試験結果

The wire insulation stripping test results by a commonly used stripper.

Wire A	Wire B	本軽量電線
		

5.9. その他の特性

その他EN規格に基づく本軽量電線の評価結果を表7に示すが、EN規格の要求特性を全て満足していることがわかる。

表7 本軽量電線の一般物性評価結果
Properties of lightweight electric wire developed for overseas railway rolling stock.

試験項目	準拠規格	規格値	本軽量電線
引張強度(MPa)	EN 50264-3-1	≥10	25
破断伸び(%)		≥150	167
熱老化試験 135℃×168 hr	EN 50264-3-1		
引張強度残率(%)		70 - 130	112
破断伸び残率(%)		70 - 130	93
耐燃料性 ASTM IRM903, 70℃×168 hr	EN 50264-3-1		
引張強度(%)		70 - 130	92
破断伸び(%)		60 - 140	99
耐酸性 0.5 mol シュウ酸水溶液 23℃×168 hr	EN 50264-3-1		
引張強度残率(%)		≥70	91
破断伸び(%)		≥100	183
耐アルカリ性 1.0 mol 水酸化ナトリウム水溶液 23℃×168 hr	EN 50264-3-1		
引張強度残率(%)		≥70	91
破断伸び(%)		≥100	183
低温曲げ -40℃	EN 50264-3-1	クラック無し	合格
低温衝撃 -25℃	EN 50264-3-1	クラック無し	合格
ダイナミックカットスルー (N)	EN 50264-3-1	≥100	123
耐オゾン	EN 50264-3-1	クラック無し	合格
切れ目伝播 -15℃×3 hr → 1.0 kV×1 min. 20℃×3 hr → 1.0 kV×1 min. 85℃×3 Hr → 1.0 kV×1 min.	EN 50306-2	クラック無し クラック無し クラック無し	合格 合格 合格
柔軟性(°) 20℃×72 hr, 15 N	EN 50306-2	<45	34.7
収縮(mm) 300 mm, 150℃×1 min. → 20℃	EN 50306-2	<1.5	0.33
ストレスクラッキング 160℃×168 hr, コーン型マンドレル → 1.5 kV×1 min.	EN 50306-2	絶縁破壊無し	合格
コアのブロッキング 150℃×168 hr, PTFEと接着	EN 50306-2	外層損傷無し	合格

体のベース材料は汎用ポリオレフィンで構成されているため、エンジニアリングプラスチックを使用した電線と比較して、柔軟で配線性に優れているとともに、皮むき加工性にも優れており、量産性や配線施工性にも優れていると考えられる。

本軽量電線は、今後海外向け鉄道車両用電線として大きな需要が期待される。

6. おわりに

汎用ポリオレフィン樹脂を絶縁体に用いた、EN規格に適合した海外鉄道車両用ハロゲンフリー軽量電線の開発に成功した。

本軽量電線は、鉄道車両用電線として要求される耐熱性、耐摩耗性、耐油性、耐薬品性、低温性、難燃性、発煙特性などの諸特性を全て満たしていることが確認された。またその絶縁