



UL 規格対応バイオマス電線 「イラックス BM」

UL Standard-compliant Biomass Electrical Wire: IRRAX BM

梁川 奈侑*

Nayu Yanagawa

田中 成幸

Shigeyuki Tanaka

山内 雅晃

Masaaki Yamauchi

板橋 淳

Jun Itabashi

遠藤 仁

Hitoshi Endo

八木澤 丈

Jo Yagisawa

2050年のカーボンニュートラル実現へ貢献するべく、民生用途で広く使用されているUL規格対応125℃定格電線および80℃定格電線の絶縁材のバイオマス化に取り組んだ。125℃定格電線では、石油由来材料の使用量削減を目的に、バイオマス無機フィラーの活用を検討した。フィラー高充填時に生じる引張強さと伸びの低下を抑えるため、ベース樹脂の結晶量を調整してフィラーとの相互作用を強化し、さらに粒子形状を制御したホタテの貝殻フィラーを用いることで、UL規格値を満足させることができた。80℃定格電線では、植物油由来の可塑剤を用いることでバイオマス化を達成し、125℃、80℃の2つの定格温度でUL規格対応バイオマス電線の製品化を実現した。

To contribute to achieving carbon neutrality by 2050, we worked on biomass-based insulating materials for UL-compliant electric wires widely used in consumer applications, focusing on both 125°C and 80°C rated wires. For the 125°C rated wires, aiming to reduce the use of petroleum-derived materials, we investigated the use of biomass inorganic fillers. To suppress the decrease in tensile strength and elongation at high filler loadings, we adjusted the crystallinity of the base resin to enhance its interactions with the filler, and used scallop shell fillers with controlled particle morphology, which enabled compliance with UL standards. For the 80°C rated wires, we achieved biomass incorporation by utilizing plant-derived oils as plasticizers. As a result, we successfully commercialized UL-compliant biomass electric wires rated at both 125°C and 80°C.

キーワード：カーボンニュートラル、バイオマス、ホタテ貝殻フィラー、植物油、UL規格

1. 緒 言

地球の平均気温は、産業革命前の1850～1900年と比べて2011～2020年に約1.1℃上昇し⁽¹⁾、地球温暖化による気候変動の影響で、世界各地で豪雨、干ばつ等の被害が深刻化し、環境対策の世界的な枠組みとして、2015年にパリ協定が採択された。日本政府は、2016年にパリ協定に正式に批准し、2020年には、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの排出を全体としてゼロとする、カーボンニュートラルを目指すことを宣言した⁽²⁾。

電線は、私たちの社会を支える民生機器・通信機器・産業機器・電力供給網などにおいて必須の構成部材で、エネルギー活用的高效率化に向けて適切に設計することにより、上述の環境対策に貢献できる。当社においても、長期ビジョンである2030ビジョン、Go for Green 2025の中で、脱炭素の取り組み目標として、2050年カーボンニュートラルを掲げ（図1）⁽³⁾、⁽⁴⁾、省エネや創エネの取り組みを推進する工場、いわゆるネットゼロ工場、のモデルを構築し、2025年より稼働を開始した。また、使用済み電線のリサイクルにも積極的に取り組み、回収した電線は銅、被覆材、金属類に分離し、銅に関しては、自社で溶融し電線他各種の製品として再生、その他の材料についてモリサイクルし有効に利用している⁽⁵⁾。

このようなカーボンニュートラルへの取り組みに貢献で

きる材料として、成長過程で二酸化炭素を吸収する植物等のバイオマス資源の活用に注目し、当社製品で家電製品、医療機器、工作機器など、幅広く使用されているUL規格^{※1}対応125℃定格電線および80℃定格電線を対象とし、電線絶縁材のバイオマス化に取り組んだ。



図1 当社のカーボンニュートラルに対する取り組み⁽⁴⁾

2. 開発目標

開発目標は、表1、2に示すUL125℃定格電線および80℃定格電線の要求特性である。本開発では、機械特性/長期信頼性/絶縁性/難燃性の項目から構成される上記の要求特性を達成しつつ、絶縁材のバイオマス化を両立することを目標とした。バイオマス度^{*2}の目標は、一般社団法人日本有機資源協会が認証するバイオスマーク^{*3}取得の対象となる10重量%以上のバイオマス原料を用いることとした。

表1 125℃定格電線の要求特性 (UL758 機器内配線用電線)

規格	項目	条件	単位	規格値
UL	絶縁引張特性	引張強さ 引張伸び	MPa %	≥ 13.8 ≥ 300
	耐熱性	158℃ 168h後 引張強さ残率 引張伸び残率	% %	≥ 80 ≥ 80
	加熱変形	温度 121℃、荷重:250g 予熱 1h+加圧 1h	%	≥ 50
	可撓性試験	158℃ 168h後巻付		亀裂なきこと
	熱衝撃試験	巻付 158℃ 1h		亀裂なきこと
	低温巻付試験	-10℃ 4h後巻付		亀裂なきこと
	耐電圧試験 試験法I	初期/158℃ 168h後巻付後 耐電圧試験、破壊電圧試験	%	破壊なきこと ≥ 50
	耐電圧試験 試験法II	初期/158℃ 168h後巻付 125℃ 1h後耐電圧試験		破壊なきこと
	耐電圧試験 試験法III	24h浸水後、耐電圧試験		破壊なきこと
	燃焼試験	VW-1 燃焼試験 ^{*4}		≤ 残炎 60s ≤ 旗燃え 25% 綿燃えなし
その他	バイオマス度	バイオマス材料の使用比率	重量%	≥ 10

表2 80℃定格電線の要求特性 (UL758 機器内配線用電線)

規格	項目	条件	単位	規格値
UL	絶縁引張特性	引張強さ 引張伸び	MPa %	≥ 20.7 ≥ 100
	耐熱性	113℃ 168h後 引張強さ残率 引張伸び残率	% %	≥ 70 ≥ 70
	加熱変形	温度 121℃、荷重:250g 予熱 1h + 加圧 1h	%	≥ 50
	可撓性試験	113℃ 168h後巻付		亀裂なきこと
	熱衝撃試験	巻付後 113℃ 1h		亀裂なきこと
	低温巻付試験	-10℃ 4h後巻付		亀裂なきこと
	耐電圧試験 試験法I	初期/113℃ 168h後巻付後 耐電圧試験、破壊電圧測定	%	破壊なきこと ≥ 50
	耐電圧試験 試験法II	初期/113℃ 168h後巻付後 80℃ 1h後耐電圧試験		破壊なきこと
	耐電圧試験 試験法III	24h浸水後、耐電圧試験		破壊なきこと
	燃焼試験	VW-1 燃焼試験		≤ 残炎 60s ≤ 旗燃え 25% 綿燃えなし
その他	バイオマス度	バイオマス材料の使用比率	重量%	≥ 10

3. 絶縁材のバイオマス化の方針検討

電線の絶縁材では、定格温度に応じてベースとなる樹脂を使い分けており、125℃定格電線絶縁材にはポリエチレン樹脂、80℃定格電線絶縁材にはポリ塩化ビニル樹脂を用いている。そして、要求特性を満たすべく、ベース樹脂に応じて、難燃剤、可塑剤等の添加剤を配合し（図2）、更に125℃定格電線絶縁材では高耐熱性を付与するべく、ベース樹脂に電子線^{*5}を照射し、樹脂を架橋させている（図3）。

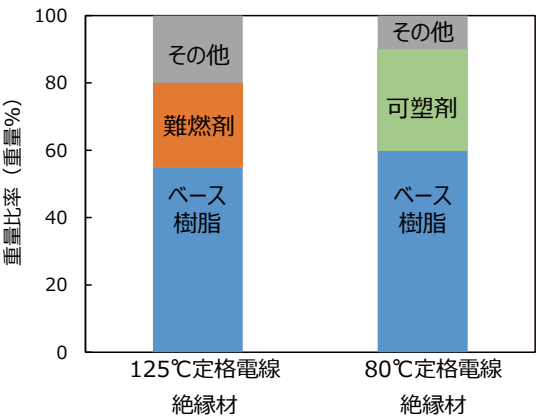


図2 絶縁材の配合構成

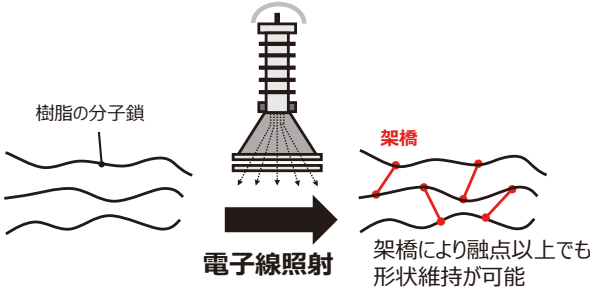


図3 樹脂の電子線照射による架橋

125℃定格電線の絶縁材のバイオマス度を高めるには、重量比率が最も高いベース樹脂のバイオマス化が効果的と考えられる。バイオマス原料を用いたポリエチレン樹脂は市販されており、その製造方法にはセグリゲートッド方式（分別管理方式）と、マスバランス方式がある⁽⁶⁾。セグリゲートッド方式では、バイオマス原料と石油由来原料を物理的に分離し、専用の製造ラインで製造されるため、材料中のバイオマス原料の含有量が明確なことから、高バイオマス度の樹脂を生産できるメリットがある。マスバランス方式では、石油由来原料とバイオマス原料を混合して共通の設備で製造し、バイオマス原料の投入量に応じて完成品にバイオマス度を割り当てる方式で、既存の設備を利用でき

るメリットがある。いずれの方式のポリエチレンも、石油由来ポリエチレンと同じ化学構造を持ち、材料特性も同等であるが、現時点では石油由来ポリエチレンと比較して高価である。社会にバイオマス製品を広く浸透させるには価格も重要と考え、いずれも検討から外した。今後の需要増や生産量増などの進展に応じて活用を検討していく。

次に重量比率が大きい難燃剤は、電線の重要特性である難燃性を担う成分であり、変更することは難しい。以上から、これら以外のバイオマス材料を新たに添加することで、石油由来材料の使用量を減量することとした。化学的に安定した無機フィラーは、絶縁材の充填剤として利用されていることから、バイオマスの無機フィラーを調査し、貝殻フィラー、卵殻フィラー、もみ殻フィラーに着目した(表3)。貝殻フィラー、卵殻フィラーは、年間で数十トン単位で廃棄されている貝殻、卵殻を利用し、洗浄・粉砕して製造されたもので、土壌改良剤、家畜の飼料、建材等に利用されている^{(7),(8)}。もみ殻フィラーは、もみ殻の焼成灰を精製して得られるもので、こちらも土壌改良剤、飼料等に利用される。貝殻フィラー、卵殻フィラーは炭酸カルシウム、もみ殻フィラーは二酸化ケイ素が主成分であり、いずれも化学的に安定しているため電線絶縁材の充填剤として適用できる可能性がある。充填剤の粒径が過度に大きい場合、耐衝撃性等の機械特性の低下を引き起こす場合があるので⁽⁹⁾、30 μm 以下を目安として候補となるフィラーを選定した。もみ殻フィラーは高価なため、検討から外した。

表3 バイオマスフィラー

	貝殻フィラー	卵殻フィラー	もみ殻フィラー
主成分	炭酸カルシウム	炭酸カルシウム	二酸化ケイ素
製造方法	洗浄、粉砕	洗浄、粉砕	焼成、精製
平均粒径	10 μm 以下	30 μm 以下	10 μm 以下
コスト	○	○	×

80℃定格電線のベース樹脂は、ポリ塩化ビニル樹脂である。ポリ塩化ビニル樹脂単体は硬く、脆いため、可塑性を加えることで電線に必要な柔軟性を付与している。可塑性剤の添加により容易に柔軟化できること、難燃性が優れること、化学薬品に対する耐性が強いこと、安価であること等、絶縁材としての多くのメリットがある。ポリ塩化ビニル樹脂は原料の60重量%が海水から作られる塩素で占められ石油由来原料への依存度が低いことから⁽¹⁰⁾、より石油由来原料の依存度が高い可塑性剤のバイオマス化を検討した。

4. 125℃定格電線絶縁材

4-1 ベース樹脂の選定

電線は通常、家電製品や機器の内部の限られた空間に折り曲げて配線されることもあり、絶縁材には取り扱い時の

曲げやすさ(可撓性)も重要となってくる。充填剤の添加量が多すぎると、引張特性や可撓性が悪化するので、バイオマスフィラーを10重量%以上添加し、かつ引張特性や可撓性を維持するには、まずはフィラーの受容性の高いベース樹脂を検討する必要がある。

ポリエチレン樹脂は、分子が規則的に配列した結晶部分と、ランダムに配列した非結晶部分から構成される結晶性高分子である(図4)。

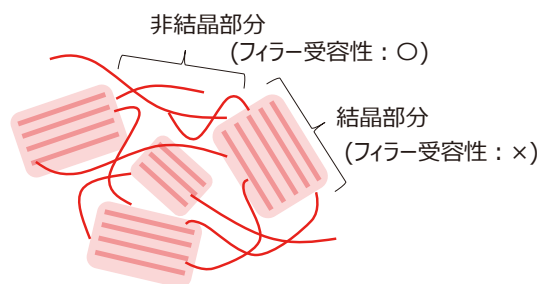


図4 ポリエチレンの結晶／非結晶部分の模式図

結晶部分では分子が密に並んでいるためフィラーは入り込めず、非結晶部分に充填される。高結晶性のポリエチレン樹脂では、フィラーが入り込める空間が少ないためフィラー同士が凝集しやすく、ポリエチレン樹脂とフィラー表面との相互作用も弱くなり、機械特性が低下する。フィラーを高充填するには、非結晶部分が多くなるように結晶部分と非結晶部分の比率をコントロールする必要がある(図5)。結晶部分を低減し、非結晶部分を増加させるには、分子鎖内に結晶化を阻害するモノマー^{*6}を共重合させたコポリマー^{*7}を用いる方法がある。更に、今回用いるバイオマスフィラーは、主成分が炭酸カルシウムもしくは二酸化ケイ素であり、ともに親水性があるので、極性が高いモノマーを導入した極性ポリオレフィンを選定することで、ベース樹脂とフィラーの相互作用が強くなり、よりフィラーの受容性を高められる。

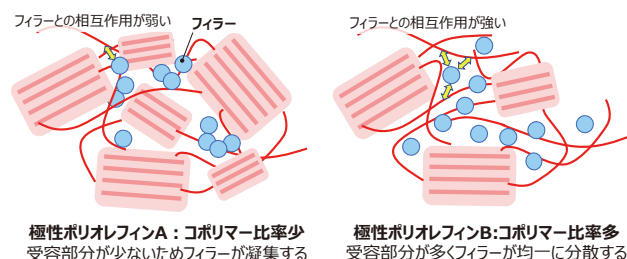


図5 結晶性樹脂内でのフィラーの受容の模式図

そこで、極性基を有するモノマーの導入率が異なる極性ポリオレフィン A、B を用い、バイオマスフィラーを 10 重量% 添加し、その他、難燃剤等の配合処方をしてコンパウンドを作製し、プレス成形シートにて引張試験を実施した。その結果、モノマー率が多く柔軟な極性ポリオレフィン B に添加した場合は、引張強さ、伸び共に向上することを確認し、特に引張伸びで大幅な向上が見られた (図 6)。

以上より、ベース樹脂として極性ポリオレフィン B を選定した。次に、さらに引張特性向上のため、適切なバイオマスフィラーの検討を行った。

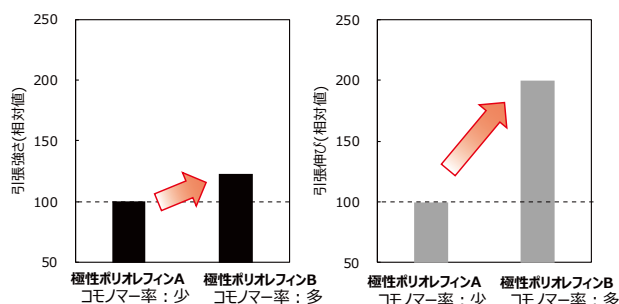


図6 ベース樹脂選定の引張試験結果

4-2 バイオマスフィラーの活用検討

貝殻フィラー及び卵殻フィラーを4-1章で検討したモノマー比率の多い極性ポリオレフィン樹脂に10重量%添加し、その他、難燃剤等を処方したプレス成形シートの引張試験を実施した。同時に、貝殻フィラーと同等の粒子径の、石灰石を粉砕して製造される重質炭酸カルシウムも比較対象に加えた。結果は、重質炭酸カルシウムと比べて、貝殻フィラーを添加したシートの引張伸びは同等であるが、引張強さは向上し、一方で、卵殻フィラーを添加した場合は、重質炭酸カルシウムを加えた場合に対して、引張強さと伸びの両方が低下した (図7)。

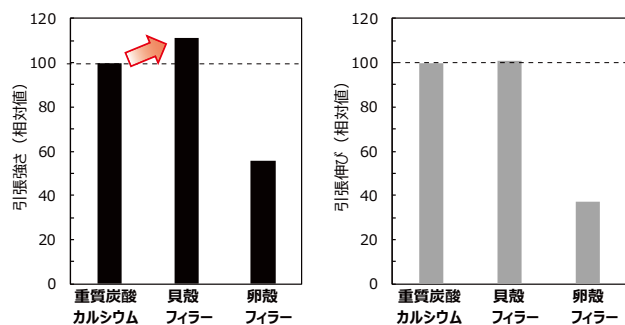


図7 フィラー選定時の引張試験

この結果を考察するため、各フィラーを走査電子顕微鏡にて観察したところ、貝殻フィラーは、アスペクト比⁸2~12の棒状の粒子を含み、卵殻フィラーは多孔質な不定形状の粒子、重質炭酸カルシウムは気孔のない立方体状の粒子であることがわかった (図8)。一般に、棒状の粒子形状は、立方体状のフィラーより添加時にベース樹脂の引張強さを向上させる能力が高い⁹⁾。貝殻フィラーは主成分である炭酸カルシウムが棒状のアラゴナイト構造を有するため⁹⁾、粉砕時には棒状の粒子形状となり、一方で、重質炭酸カルシウムはカルサイト構造を有し、粉砕時には立方体状の粒子形状になることから⁹⁾、貝殻フィラーの粒子形状により引張強さが向上したと考えられる。このようなアラゴナイト構造を持つ炭酸カルシウムを合成により製造する場合は、通常のカサイト構造と比べて、合成条件の精密な制御などが必要となり¹¹⁾、コスト高となるが、本検討では貝殻由来の炭酸カルシウムを活用することで、合成アラゴナイト構造炭酸カルシウムと類似の効果が得られた。卵殻フィラーの主成分は、重質炭酸カルシウムと同じくカルサイト構造の炭酸カルシウムであるが⁸⁾、粒径が重質炭酸カルシウムと比べて大きいことに加え、気孔があり脆いため、引張特性が低下したと考えられる。

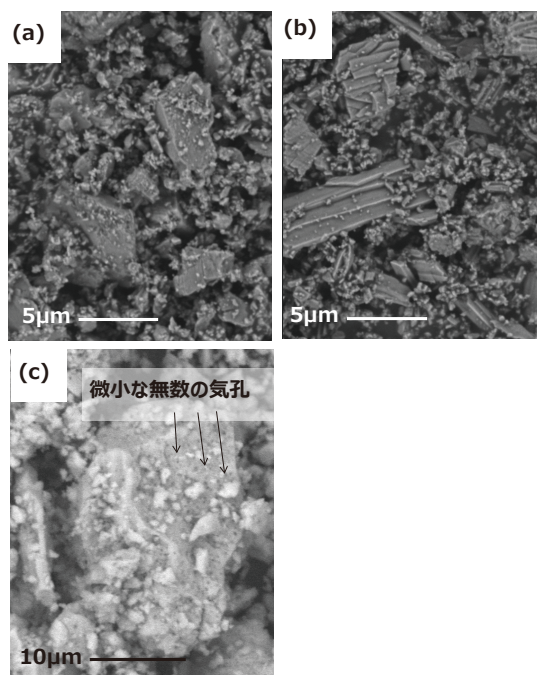


図8 走査電子顕微鏡による粒子観察結果
(a) 重質炭酸カルシウム、(b) 貝殻フィラー、(c) 卵殻フィラー

アスペクト比の大きい粒子は、引張強さを向上させるが、背反として耐衝撃性を低下させる⁹⁾。特に耐衝撃性が問題となる低温環境での電線の衝撃強度を検証するべく、

日本工業規格 JIS K 7216 に規定される低温衝撃ぜい化試験を実施した。低温衝撃ぜい化試験は、冷媒中で試料を専用治具で固定し、ハンマーで衝撃を与え、各温度での破断本数から、(1) 式を用いて脆化温度を求める試験である (図9)。貝殻フィラー及び、貝殻フィラーと同等の粒子径の重質炭酸カルシウムをそれぞれ10重量%ずつ添加した試料の低温衝撃ぜい化試験を行った。その結果、重質炭酸カルシウムを添加した場合の脆化温度が、-32.5℃に対し、貝殻フィラーを添加した場合は、-31.5℃と若干の高温側への悪化は見られたものの、UL の要求特性である -10℃の低温巻き付けでは十分な低温衝撃耐性であることを確認した (表4)。

以上の検討を踏まえ、電線サイズ AWG22 (絶縁厚み：0.30mm) にて社内でも評価した代表値を表5に示す。

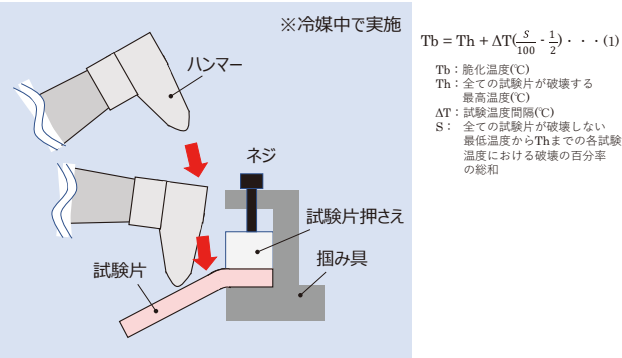


図9 低温衝撃ぜい化試験の概略図

表4 低温衝撃ぜい化試験結果

	重質炭酸カルシウム	貝殻フィラー
脆化温度 (℃)	-32.5	-31.5

表5 ケーブル評価結果 (UL125℃) (UL 758)

規格	項目	条件	単位	規格値	結果
UL	絶縁引張特性	引張強さ 引張伸び	MPa %	≥ 13.8 ≥ 300	19.9 481
	耐熱性	158℃ 168h後引張強さ残率 引張伸び残率	% %	≥ 80 ≥ 80	101 86
	加熱変形	温度 121℃、荷重:250g 予熱 1h+加圧 1h	%	≥ 50	87
	可撓性試験	158℃ 168h後巻付		亀裂なきこと	亀裂なし
	熱衝撃試験	巻付 158℃ 1h		亀裂なきこと	亀裂なし
	低温巻付試験	-10℃ 4h後巻付		亀裂なきこと	亀裂なし
	耐電圧試験 試験法I	初期/158℃ 168h後巻付後 耐電圧試験、破壊電圧測定	%	破壊なきこと ≥ 50	亀裂なし 137
	耐電圧試験 試験法II	初期/158℃ 168h後巻付 125℃ 1h後耐電圧試験		破壊なきこと	破壊なし
	耐電圧試験 試験法III	24h浸水後、耐電圧試験		破壊なきこと	破壊なし
	燃焼試験	VW-1 燃焼試験		≤ 残炎 60s ≤ 旗燃え 25% 綿燃えなし	合格
	バイオマス度	バイオマス材料	重量%	≥ 10	10

UL125℃の全項目を満足し、バイオマス度10重量%の絶縁材を開発することができた。

5. 80℃定格電線絶縁材

ポリ塩化ビニル樹脂は、電線の被覆材に限らず、建築資材、包装材、医療用品、日用品等幅広い製品に用いられる樹脂である。これらの多岐にわたる製品に対応した数多くの石油由来可塑剤があり、それぞれの化学構造の違いから柔軟性以外にも低揮発性、高透明性等の特徴を有している。一方、数は少ないもののバイオマス可塑剤として新規に開発された可塑剤が上市されている。しかし、供給の継続性・安定性の観点から、従来より安定剤として使用されている植物油由来の化合物を可塑剤として転用することを検討した。可塑剤を変更する場合、機械特性や難燃性への影響が出やすく、植物油由来の可塑剤を従来製品同等の柔軟性となるように添加した場合は、難燃性が低下し、UL 要求特性の燃焼試験が不合格となった。これは、従来使用していた石油由来の可塑剤はベンゼン環を有する化学構造のため、熱的に安定であることと、分子内に酸素原子が少ないことから燃焼し難く、一方で、植物油由来の可塑剤は脂肪酸由来の化学構造のため、熱により分解しやすく、燃焼しやすかったと考えられる。難燃性を高めるため、新しく難燃剤を添加し、絶縁材を開発した。

上記の検討を踏まえ、AWG26 (絶縁厚み：0.25mm) の電線を社内評価した代表値を表6に示す。燃焼試験の他 80℃の全項目を満足した。

表6 ケーブル評価結果 (UL80℃) (UL 758)

規格	項目	条件	単位	規格値	結果
UL	絶縁引張特性	引張強さ引張伸び	MPa %	≥ 20.7 ≥ 100	27.0 204
	耐熱性	113℃ 168h後引張強さ残率 引張伸び残率	% %	≥ 70 ≥ 70	107 104
	加熱変形	温度 121℃、荷重:250g 予熱 1h+加圧 1h	%	≥ 50	79
	可撓性試験	113℃ 168h後巻付		亀裂なきこと	亀裂なし
	熱衝撃試験	巻付後 113℃ 1h		亀裂なきこと	亀裂なし
	低温巻付試験	-10℃ 4h後巻付		亀裂なきこと	亀裂なし
	耐電圧試験 試験法I	初期/113℃ 168h後巻付後 耐電圧試験、破壊電圧測定	%	破壊なきこと ≥ 50	破壊なし 120
	耐電圧試験 試験法II	初期/113℃ 168h後巻付後 80℃ 1h後耐電圧試験		破壊なきこと	破壊なし
	耐電圧試験 試験法III	24h浸水後、耐電圧試験		破壊なきこと	破壊なし
	燃焼試験	VW-1 燃焼試験		≤ 残炎 60s ≤ 旗燃え 25% 綿燃えなし	合格
その他	バイオマス度	バイオマス材料の使用比率	重量%	≥ 10	20

6. 結 言

民生用途に幅広く用いられる UL 規格対応125℃定格電線及び80℃定格電線において、貝殻フィラー、植物油由来の可塑剤を活用し、UL 規格適合とバイオマス度10重量%以上を両立した。125℃定格電線は、「イラックス BM」として製品化し、一般社団法人日本有機資源協会が認証するバイオマスマークを取得した。更なる環境負荷低減に貢献するべく、UL 以外の規格対応や、80℃、125℃以外の定格温度での製品化を検討している。

用語集

※1 UL規格

米国の認証機関「Underwriters Laboratories Inc.」が策定する規格。世界で最も影響力のある安全規格の一つ。

※2 バイオマス度

製品の乾燥重量に対して使用したバイオマスの重量割合を%で表したもの。

※3 バイオマスマーク

一般社団法人日本有機資源協会の商標又は登録商標です。製品の乾燥重量に対し、再生可能な生物由来資源（バイオマス）を重量比で10重量%以上使用した商品に表示することができ。なお、バイオマスには、有機物だけでなく、貝殻などのように生物が形成する無機物も含まれる。

※4 VW-1燃焼試験

電線等の難燃性を評価する UL 規格の垂直燃焼試験。

※5 電子線

電離放射線的一种であり、電子線照射装置により発生を制御でき、工業利用されている。

※6 コモノマー

ベースとなるモノマー（ポリエチレンの場合は、エチレン）と共に重合反応することでポリマーの分子の一部となるモノマー。

※7 コポリマー

2種類以上の異なるモノマー（単量体）を結合させて作られる高分子化合物。

※8 アスペクト比

横と縦の長さの比率。

参考文献

- (1) IPCC AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023
<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- (2) 外務省ホームページ、パリ協定、平成28年12月8日
https://www.mofa.go.jp/mofaj/ila/et/page24_000810.html
- (3) 住友電気工業(株)統合報告書2025
<https://sumitomoelectric.com/jp/press/2025/10/prs127>
- (4) 住友電気工業(株)ホームページ、住友電工グループのGX
<https://sei.co.jp/gx/>
- (5) 住友電気工業(株)ホームページ、原料リサイクル推進
<https://sumitomoelectric.com/jp/sustainability/environment/ce>
- (6) 環境省、バイオプラスチック関連の調査業務 委託業務報告書
<https://www.env.go.jp/recycle/plastic/bio/report.html>
- (7) 北海道ホームページ、水産系廃棄物の発生状況等
<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/gjd/hasseijyoukyou.html>
- (8) 青島駿、江前敏晴、磯貝明、「卵殻カルシウムパウダーを塗工用顔料に利用したインクジェット紙の特性評価」、日本印刷学会誌、48巻3号、pp.191-197 (2011)
- (9) 相場勲、永田員也、野村学、「初歩から学ぶフィラー活用技術」、pp.21-23、pp.33-39、工業調査会 (2003年)
- (10) 塩ビ工業・環境協会、「環境最前線」、pp.43 (2005年)
- (11) フィラー研究会、「フィラー活用辞典」、pp.57-59 (1994年)

執筆者

梁川 奈侑*：エネルギー・電子材料研究所



田中 成幸：エネルギー・電子材料研究所
グループ長



山内 雅晃：エネルギー・電子材料研究所
部長



板橋 淳：住友電工電子ワイヤー(株) 主査



遠藤 仁：住友電工電子ワイヤー(株) 課長



八木澤 丈：住友電工電子ワイヤー(株) 部長



*主執筆

・イラックス、Go for Greenは住友電気工業(株)の登録商標です。