

# 被覆材リサイクル電線・ケーブルの開発

## Development of Insulated Wire and Cable Using Recycled PVC

村田 孝一\*

Kouichi Murata

饗場 潔\*

Kiyoshi Aiba

大屋 紳午\*2

Shingo Ooya

富永康博\*2

Yasuhiro Tominaga

松本 鉄男\*3

Tetsuo Matsumoto

水野 晃一\*3

Kouichi Mizuno

本宮 秀行\*3

Hideyuki Motomiya

**概要** 配電用電線・ケーブルに被覆材として使用されている塩化ビニル（PVC）は、撤去回収後に電線被覆として再利用されることはほとんどなく、他の用途向けとしての再利用や産業廃棄物処理がされていた。今回撤去後の分別・回収方法、被覆材の再生方法、再生材の適用方法等の検討を行うことにより、撤去電線・ケーブルから得られる回収被覆材を再生したリサイクル被覆材適用電線・ケーブルの開発に成功し、コストについても新材に対して遜色のないレベルで製造可能な運用システムを構築した。本研究にて検討した被覆材は、いずれも東京電力（株）殿から発生する配電用品の撤去電線であり、リサイクル後も同じ東京電力（株）殿にリサイクル電線・ケーブルとして納入する予定である。

### 1. はじめに

現在、東京電力株式会社殿に使用されている配電用電線ケーブルには各用途に応じてさまざまな被覆材が使用され、主に塩化ビニル（以下PVC）・ポリエチレン（以下PE）・架橋ポリエチレン（以下XLPE）の3種類が使用されている。電線・ケーブルの場合、比較的価値の高い導体については従来からリサイクルが行われてきたが、被覆材については電線・ケーブルに戻されることはなく、要求特性の低い他用やサーマルリサイクル、又は産業廃棄物処理が行われてきた。そこで、ここ数年の環境問題意識の高まりや地球資源の保護・産業廃棄物への削減等の観点から被覆材についても電線・ケーブル用途として元に戻すクロズドリサイクルの必要性が求められ、その開発を行うこととした（図1）。

今回、電線被覆材のリサイクルとしてPVC被覆について検討を行った。リサイクルでまず課題となる分別・回収については現状の分別レベルに近い状態で検討を行い、電線への再適用を実施した場合に新材と遜色のない価格レベルで運用可能なシステムとなるように研究開発を進めた。

### 2. PVCリサイクル電線・ケーブルの開発

PVCは低圧電線用汎用被覆材として広く使用されており、撤去される量が最も多い被覆材である。したがってリサイクル材の特徴に合った適用箇所をある程度選べる材料でもある。今

回は写真1, 2に示すように電線・ケーブルを細かく粉砕し振動等により導体と被覆材を分離する方法から得られるサンプルにて検討を行った。この解体工程では、粉碎前に撤去電線を

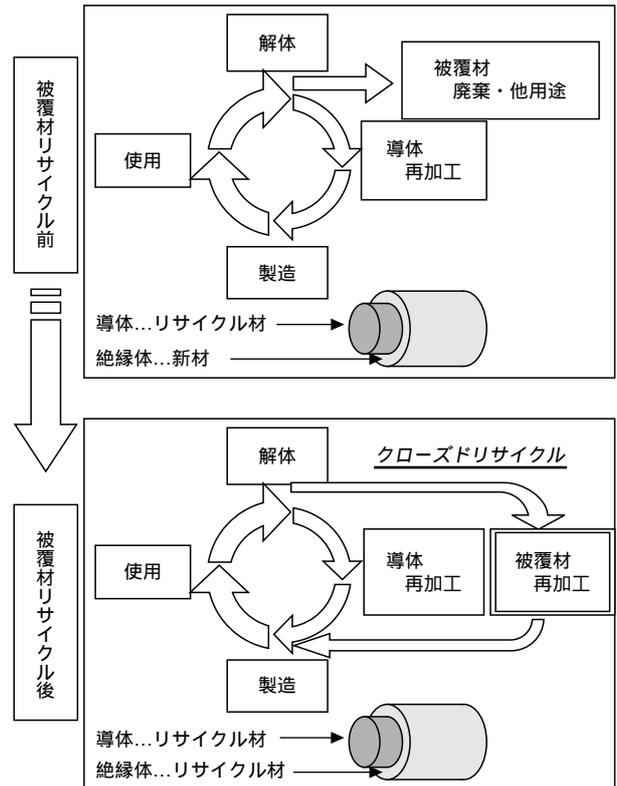


図1 電線リサイクルのイメージ図  
Image figure of insulated wire and cable recycling

\* 東京電力株式会社 配電部

\*2 電力事業部 技術部

\*3 環境・エネルギー研究所

OW・DV・IV・SV等のPVCを使用した電線・ケーブルのみに分けることによって被覆材の分別を行っているが、完全な分別は難しく若干量のエフコテープなどのテープ類や異物が混入したものとなる。本研究では、コスト的にも実現可能なリサイクルを開発目標としているので、上記の分別レベルでの回収品についてリサイクルの可否の検討を行った。また、時期を変えて数回の評価を行うことによりリサイクル材のバラツキについても評価を行った。

具体的な研究手順は以下に従った。

撤去PVC被覆材の特性把握

再生PVC材の特性

特性改善されたリサイクル材の適用場所の検討

再生PVC材適用電線・ケーブルの製造評価

## 2.1 撤去PVC被覆材の特性把握

写真1の撤去PVC被覆材について、ロール加工を行いシートを作成し特性評価を行った。撤去PVC被覆材の拡大写真を写真2に、シートの特性を表1に示す。

写真2の拡大写真から、撤去PVC被覆材の表面にはヒビ割れ等が見られるある程度劣化したサンプルも含まれることが確認された。

表1のシートサンプル結果から、撤去PVC被覆材の特性としては以下特性が確認できた。

- ・ロールシートの表面に若干のブツ（or肌荒れ）が見られる。
- ・体積抵抗率が規格値を満足しない。
- ・脆化温度に劣化傾向が確認され、バラツキを考慮すると規格値を満足しない場合もある。
- ・体積抵抗率と脆化特性以外の項目で特に問題となる特性はなかった。
- ・4回の評価の結果、大きなバラツキは見られなかった。

## 2.2 再生PVC材の特性

2.1項で問題となった点を考慮してコンパウンド化した再生PVC材の特性を表2に示す。コンパウンド化の際には脆化特性



写真1 撤去PVC被覆材  
Retrieved PVC jacket material

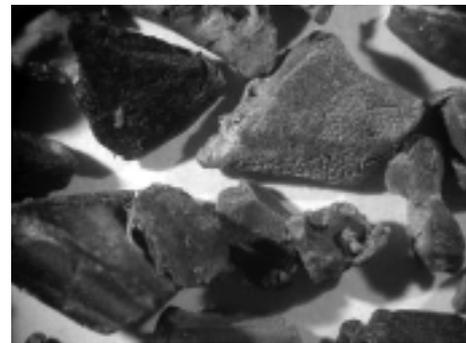


写真2 撤去PVC被覆材（拡大写真）  
Retrieved PVC jacket material (zoomed photograph)

表1 撤去PVCシート試験による特性  
Properties of retrieved PVC sheet

	体積抵抗率 ( $\cdot\text{cm}$ )	脆化 ( $^{\circ}\text{C}$ )	常温引張 (MPa)	常温伸び (%)	加熱引張 残率(%)	加熱伸び 残率(%)	耐油等 その他
JIS K 6723	5.0E+13以上	-15以下	10以上	200以上	90以上	80以上	
新材	1.1E+14	-24	17	300	99	105	合格
撤去品A1	1.2E+13	-14	20.3	260	101	94	"
A2	1.2E+13	-19	20.4	278	101	88	"
A3	1.2E+13	-18	19.9	262	103	97	"
A4	1.4E+13	-20	20.3	284	102	90	"

表2 再生PVC材の押出シートの特性評価  
Properties of recycled PVC jacket after extrusion

	押出外観	体積抵抗率 ( $\cdot\text{cm}$ )	脆化 ( $^{\circ}\text{C}$ )	常温引張 (MPa)	常温伸び (%)	加熱引張 残率(%)	加熱伸び 残率(%)	耐油等 その他
JIS K 6723		5.0E+13以上	-15以下	10以上	200以上	90以上	80以上	
新材	良	1.1E+14	-24	17	300	99	105	合格
	若干の ざらつき 有り	9.6E+12	-23	18.6	306	103	96	"
		9.8E+12	-21	19.0	328	105	90	"
		1.2E+13	-23	18.9	324	101	86	"
		1.1E+13	-21	19.6	318	98	91	"

改善のために可塑剤等の添加剤を加え、ごみ・異物等の除去を目的としてメッシュ通しを行った。なお、評価はリサイクル材の外観を確認するために押し出し後のサンプルにて実施した。

リサイクル材の外観につて

再生PVC材を押し出した場合の外観を写真3に示す。再生PVC材では若干の異物の混入が避けられないため、表面の一部にブツ（又は肌荒れ）が見られるが、表2の結果から機械特性（引張・伸び）に著しい影響を及ぼすレベルではなかった。

脆化特性の改善結果

可塑剤の投入により脆化特性は改善された。新材と比較すると若干劣るが、規格値を下回らないレベルは確保できることが分かった。

体積抵抗率の改善結果

表2の結果から、コンパウンド化時のメッシュ通しによる異物除去では再生PVC材の体積抵抗率の改善があまり見られないことが確認された。つぎに、撤去PVC被覆材の体積抵抗率が新材との配合により改善するか検討を行った。撤去PVC被覆材に対して、新材を1/3、2/3の割合で混合した場合の評価結果を表3に示す。

表3から、新材の配合により特性改善は見られるが、2/3の新材を配合しても規格値を上回るレベルではなく、体積抵抗率の改善は困難であることが確認された。

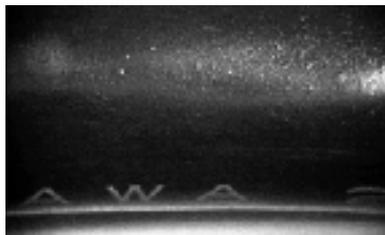


写真3 再生PVC材のシース押し出し外観  
Surface of recycled PVC jacket after extrusion

表3 撤去PVC被覆材に新材を配合した場合の体積抵抗率  
Volume resistivity of retrieved PVC jacket material added with new material

サンプルNo	配合比		体積抵抗率 (M・km)
		粉碎品100%	
	粉碎品2/3	新材1/3	$7.7 \times 10^{12}$
	粉碎品1/3	新材2/3	$3.3 \times 10^{13}$
		新材100%	$1.1 \times 10^{14}$
規格値 (JIS K 6723)			$5.0 \times 10^{13}$

表4 耐候性特性（脆化特性）  
Weather resistance (Brittle temperature)

	新材（黒）	新材（青）	リサイクル材
0 h	- 26	- 25	- 17
1000 h	- 15	- 13	- 14
2000 h	- 13	- 5	- 9

長期耐候性特性について

「脆化特性の改善」に示すように、再生PVC材の初期脆化特性は改善可能であることが確認された。そこで、長期耐候性特性についても確認するためにサンシャイン・ウェザオメーターによる促進劣化試験を実施した。なお、長期耐候性特性は色により大きな影響を受けるので、東京電力殿向けのDV電線に使用している黒色と青色の新材と比較を行った。

表4よりリサイクル材の初期値は、新材（黒・青）と比較して若干劣るが、色が黒色に近いため長期性能としてはむしろ新材の青色より良いことが確認された。

2.3 リサイクル材適用方法の検討

2.2項の結果から、リサイクル材の特徴としては以下が挙げられる。

- ・引張・伸び等の機械特性は新材と同等
- ・脆化特性（長期耐候性）は、初期値は新材と比較して劣るが、特に着色を行わなければ、ほぼ黒色であり新材の色材（例えば青色など）よりも良好な耐候性特性を示す。
- ・体積抵抗率は新材と比較して低下している。
- ・押し出し後の表面に若干のブツが見られるが、製造の問題となるレベルではない。

上記を考慮して、リサイクル材の適用箇所として以下の方法が考えられる。

案：電気特性以外に問題なく、良好な耐候性を有することからケーブルのシースとしての適用が挙げられる。ただし、黒色での適用が原則となる。

案：識別用に新材を適用して内層にリサイクル材を使用するスキン構造とする。この場合、色・外観の問題はクリアできるが絶縁抵抗の低下が予想される。

2.4 再生PVC材適用電線・ケーブルの製造評価

リサイクル材適用電線・ケーブルとして、SVケーブル（3×8mm<sup>2</sup>）の試作を行い、東京電力殿における型式相当試験を行った結果を表5に示す。

電線の試作評価の結果、すべての型式試験項目に合格し、リサイクル材を絶縁体内層及びシース材として適用して問題のないことを確認した。絶縁抵抗値（常温・高温）は、新材の平均的な数値と比較するとかなり低下が見られた。これは、シート評価で体積抵抗率が低下していることから予想されたことであるが、識別層に新材を使用することにより製品としての絶縁抵抗は確保可能であることを確認した。

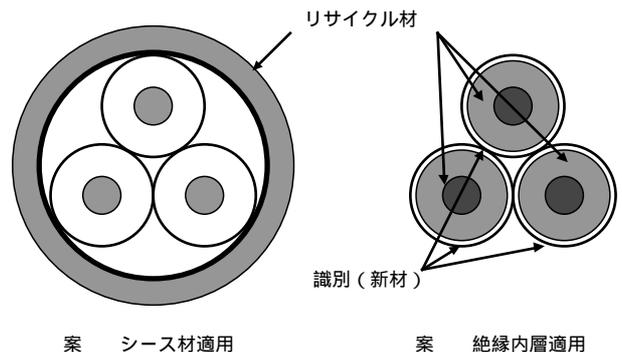


図2 再生PVC材の適用箇所  
Applications of recycled PVC

表5 試作ケーブルの評価結果  
Properties of prototype cables

		規格値	黒相	白相	赤相	シース*4
外観・構造・耐燃試験			良	良	良	良
耐電圧(空中・水中)			良	良	良	
導体抵抗( /km)		2.36	2.23	2.24	2.24	
常温	引張(MPa)	10	20.3	20.4	19.9	20.3
	伸び(%)	120	260	278	262	284
加熱残率 (100 × 48 h)	引張(%)	90	101	101	103	102
	伸び(%)	70	94	88	97	90
耐油残率 (70 × 4 h)	引張(%)	85	94	97	99	98
	伸び(%)	75	84	84	93	84
常温絶縁抵抗(M・km)*1		50	170	110	160	
高温絶縁抵抗(M・km)*2		0.15	0.40	0.40	0.39	
巻付性(低温・高温)			良	良	良	良
耐寒性( )*3		- 15	- 24	- 23	- 24	- 22
加熱変形試験(%)		50	9.5	8.6	7.2	6.8

\*1) 常温絶縁抵抗 従来の当社新材では900~1300 M 程度

\*2) 高温絶縁抵抗 従来の当社新材では4 M 程度

\*3) 耐寒性 絶縁には識別用の新材によるスキン層があるため、新材と同じ特性を示す。

\*4) シース シースはリサイクル材で製造した。

## 2.5 再生PVC材適用仕様

電線の試作評価の結果から、案・案ともに適用可能であることが確認された。したがって、絶縁電線であるDV・IV・OWは案がそのまま採用できる。一方、案の採用できるケーブルの場合は、シースの色が黒となることを考慮する必要がある。現在、東京電力殿におけるSVケーブルのシース色は灰色となっているが、この色による識別が撤去回収時の分別作業性を向上させているので、SVケーブルのシースについては新材による灰色を採用し、内側の絶縁線心を案の方式により再生PVC材を適用することとした。

## 3. まとめ

東京電力(株)殿のフィールドから撤去される電線・ケーブルのPVC被覆について、再度リサイクルして電線・ケーブル被覆に戻すクローズドリサイクルが適用可能であることが確認できた。また、リサイクルの場合に問題となりやすいコストに関しても、回収・分別レベルの検討、運用システムの検討により、新材に対して遜色のないコストレベルを実現できた。

本研究による開発品であるリサイクルPVC電線は、東京電力(株)殿向けの貯蔵品として型式審査合格を取得済みであり、今後納入を開始する予定である。また、今後はPVCに続きPEとXLPEのリサイクルについても研究を進めていく予定である。