

廃プラを使用したリユース可能なプラスチックドラムの開発

Development of a Reusable Plastic Drum Using Waste Plastics

赤司 賢一*	斎藤 彰*	草薙 正人* ²	中里 佐寿* ²	河野 克貴* ²
Kennichi Akashi	Akira Saito	Masahito Kusanagi	Satoshi Nakasato	Katsutaka Kouno
富永康博* ³	中田 年雄* ⁴	徳田 繁* ⁵	堀川 佐奈栄* ⁵	
Yasuhiro Tominaga	Toshio Nakada	Shigeru Tokuda	Sanae Horikawa	

概 要 現在、配電用電線ケーブルには木製ドラムが使用されているが、ここ数年木材資源の保護、産業廃棄物の削減等の環境問題から、リユース可能なドラムの導入が必要となった。すなわち木製ドラムを繰り返し使用可能なプラスチックドラムに置き換えることにした。プラスチックドラムに変更することにより産業廃棄物の削減、廃棄物の有効活用をはかることが可能となる。今回使用した樹脂はバージンPPと電線被覆廃材（廃PE）をブレンドしたものである。L4-6号ドラムではPP/廃PEの配合比を50/50とし、平成13年度に現場検証を行い、実用上問題のないことを確認した。平成14年度上期より本格運用の予定である。また、L8-6号についても平成14年度上期に現場検証を行い、プラスチックドラムの適用拡大を図る予定である。

1. はじめに

現在、電力用の各種電線・ケーブルの梱包には木製ドラムが使用されている。しかし、木製ドラムは使い捨てられる場合が多く、使用後は産業廃棄物となってしまう。ここ数年木材資源の保護、産業廃棄物の削減等の環境問題及び電線梱包費低減の観点からリユース可能なドラムへの必要性が叫ばれてきた。そのような流れの中で、配電用地中ケーブル用大型木製ドラムが耐荷重性、リユース、リサイクル性、コスト面から鉄製ドラム化の検討がなされ、平成8年より運用が開始された。一方、小型ドラムは配電用高压電線、低压電線、架空ケーブル用として使用されているが、いまだ木製ドラムのままである。小型ドラムが鉄ドラムに移行しなかった理由はコスト面、重量の点で問題があったためである。しかし、ここ数年更に環境問題に対する意識の高まりから、小型ドラムもリユース可能なドラムに変更する必要が出てきた。そこで古河電工より東京電力殿へプラスチックドラム化への提案を行い、電線廃棄プラスチックを活用したプラスチックドラムの開発を行うことになった。既に一部電力会社ではバージンのポリプロピレン（以下PP）100%を使用したプラスチックドラムが運用されているが、今回は、環境配慮型製品を目的としていることから、PP 100%ではなく、PPに撤去電線屑から回収される廃ポリエチレン（以下廃PE）

を配合することにより産業廃棄物の削減、廃棄物の有効活用をめざした。

2. 開発経緯

東京電力殿向け配電用高压電線、低压電線、架空ケーブル用として使用されている木製ドラムは、品種・サイズに加えメーカーごとでの運用の違いにより約30種類に上る。そこで、昨今の環境負荷削減とコストダウン要求に答えるべく以下の検討を行った。

- ・ドラムサイズを統合し、管理コストの削減を図る
 - ・リユースドラムの適用
（ドラムの回転運用によるコスト削減）
 - ・ドラムサイズ統合に伴う、巻条長の長尺化
（単位長さあたりに占める、ドラム費の削減）
 - ・木製ドラムと比較して質量の軽くなるプラスチックドラムを採用
（ドラム質量削減により、返却時を含めて取扱性が容易）
- 特に今回検討対象とした小型ドラムは、鉄製ドラムに変更された大型ドラムと異なり、工事現場に直接持ち込まれるケースが多いため、現場での取扱性も重要となる。このため、木製ドラムより質量低減が図れるプラスチックドラム化を検討することとした。

3. 材料試験

3.1 材料

廃PEは低密度ポリエチレンベースの撤去電線被覆廃材を使用した。これは東京電力殿より回収されたものを古河電工関連会社にて再ペレット化したものである。この廃PEをバージン

* 東京電力株式会社 配電部配電機材技術センター
*² 東電物流株式会社 業務部
*³ 電力事業部 技術部
*⁴ 電力事業部
*⁵ 環境・エネルギー研究所

PPに0～100％まで配合した。

なお、本文中での材料の名称は廃PEの配合率で表すが、廃PE 0％品のみPP 100％と表示する。

3.2 シート作成

インジェクション成形機にて厚さ4 mm、2 mmのシートを作成し、試験に使用した。

3.3 シート試験

作成したシートで表1に示す試験を行った。これらの測定方法はJIS規格に準じた。測定時の雰囲気温度は常温（23℃）としたが、曲げ試験、引張試験のみ高温（45℃）での試験も行った。

高温での測定方法は、試験片を5分間45℃雰囲気下に放置し、その後45℃雰囲気下で引張り曲げ試験を実施した。

表1 試験項目
Test item

試験項目	JIS	測定条件
耐衝撃性試験	JIS K7110	ノッチ付
曲げ試験	JIS K7171	試験速度 2 mm/min
熱変形試験	JIS K7191	昇温 2℃/min
引張り試験	JIS K7113	試験速度 50 mm/min

4. 材料試験結果

4.1 常温（23℃）での結果

4.1.1 耐衝撃性試験

図1の結果から、PP 100％品の衝撃強さは10 kJ/m²程度である。廃PEが配合されることにより衝撃強度は50～60 kJ/m²まで上昇している。これは、廃PEを配合したことでPPの脆さが改善され、衝撃強度が増加したことを示す。

4.1.2 曲げ試験（曲げ強度、弾性率）

廃PE配合量50％品のサンプルの曲げ強度は約18 MPa、曲げ弾性率は600～650 MPaとPP 100％品の約1/2まで低下した。また廃PEの配合量と曲げ強度、弾性率はほぼ直線関係にあった。（図2）

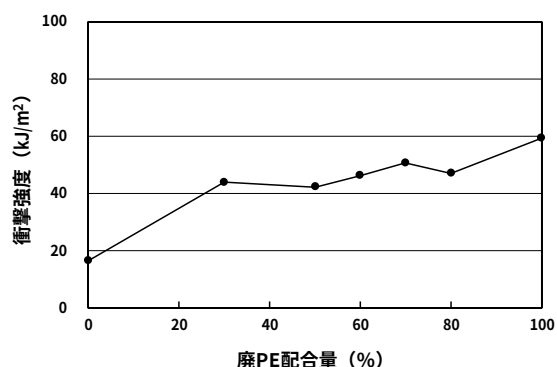


図1 廃PE配合率と衝撃強度の関係
Relation between the rate of waste PE compound and impact strength

4.1.3 熱変形試験

JIS K7191に準じた荷重たわみ温度の測定を行った。廃PE配合量の増加に伴いほぼりニアに熱変形温度が低下しており、PP 100％品で110～120℃、廃PE 50％配合品で70～80℃であった。

4.1.4 引張り試験

作成した2 mmのシートをダンベル形状にし、これを用いて引張り試験を行った。その結果引張り降伏強度は廃PEの配合量増加に伴いほぼりニアに減少した。（PP 100％品で25 MPa、廃PE 50％配合品で約15 MPa）

4.2 高温（45℃）での結果

夏場の使用環境を想定して45℃雰囲気下での特性評価を行った。評価内容は曲げ試験、引張り試験のみである。

4.2.1 曲げ試験

曲げ弾性率の結果を図2に示した。高温での曲げ強度は常温の約6割、弾性率は常温の5割程度の値となっていた。

4.2.2 引張り試験

高温での引張り試験結果はほぼ常温での試験結果と一致していた。

4.3 材料試験結果まとめ

廃PEを配合することにより曲げ強度、熱変形温度が低下するが、衝撃強度は増加することが明らかとなった。ドラムの構造等の影響も考慮する必要があるが、製品試験結果との相関を取るにより今後の製品の判断基準となりうると考えられる。

5. 製品試験（L4-6号ドラム試作）

5.1 材料

3.1の材料試験で使用したPPと廃PEを使用した。

5.2 ドラム試作

古河電工関連会社にてインジェクション成形機によりL4-6号サイズのドラムを試作した。ドラムサイズは罫（つば）径760 mm、胴径350 mm、内幅328 mm、外幅420 mmである。PPと廃PEの配合比はPP/廃PEが100/0、75/25、50/50、25/75、0/100の5種類である。（写真1ドラムの全体図）

5.3 シミュレーションによる強度解析

L4-6号サイズのドラム罫部分の圧縮シミュレーションを行った。解析条件は以下のとおりである。

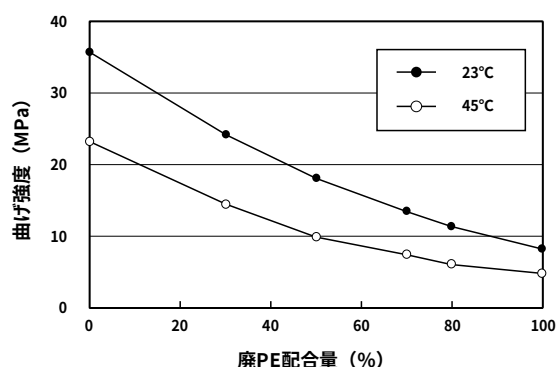


図2 廃PE配合量と曲げ強度の関係
Relation between the rate of waste PE compound and flexural strength

解析条件

- 1) リブの厚さは5 mmで統一
- 2) 各配合での樹脂のヤング率を入力
(ヤング率は材料試験の引張試験より求めた)
- 3) 荷重50 kg ずつをかけていき、計算できなくなった時点の荷重を計算
- 4) 鈹1枚のみの計算。胴、ボルトは考慮せず

5.4 ドラム試験

ドラムの試験は

- 1) ドラム組立作業性
- 2) ドラム取扱・保管
- 3) 圧縮試験（空ドラム）
- 4) 電線の巻付け性（巻取り試験）
- 5) 電線巻付け後ドラムの取扱、落下試験

について行った。3) 項の鈹圧縮試験は（株）オリエンテック社製のTENSILON UTM-10Tを使用した。荷重スピードは10 mm/minに設定し、最大荷重値を測定した。ドラムの温度は常温及び45℃（ドラム温度が45℃になるように、60℃の恒温槽に3時間放置）の2条件で試験を行った。4) 項の電線の巻付け性試験では製造ライン上での適応を確認し、5) 項の電線巻付け後のドラムでは、ドラムの変形の確認、作業性試験（転

がし、方向転換、フォーク移動）、落下試験（電線を巻きつけたドラムを30 cm、50 cmの高さから落下させ、電線の傷、ドラムの破損の有無を確認する）を行った。落下試験は電線巻付けドラムを-10℃及び45℃の恒温槽内に2～3時間放置後、ドラムを取り出した直後に落下試験を行った。なお、今回巻きつけた電線は約200 kgである。

6. 試験結果

6.1 ドラム組立作業性

ドラムの組立時に問題となるのは、鈹と胴を固定させたボルトを挿入するときの作業性である。これまで図3左のような構造をしていたためボルト挿入に時間を要した。しかし嵌合部の構造を写真2のように改良したことで、図3右のように簡単にボルトが挿入可能となった。また、この嵌合部の構造は鈹と胴の位置合わせも簡単にすることができ、作業性の向上が確認できた。

6.2 ドラム取扱・保管

6.2.1 段積み構造

従来のドラムは鈹外面部分にボルトが飛び出した構造になっていた。そこで、鈹外面の構造の一部にくぼみを入れることで、その部分にボルトを嵌合させることが可能となった。ドラムの嵌合により写真3のようにドラムの段積みができ、保管時の省スペース化、取扱性、安全性が向上した。



写真1 ドラムの全体図
Appearance of drum

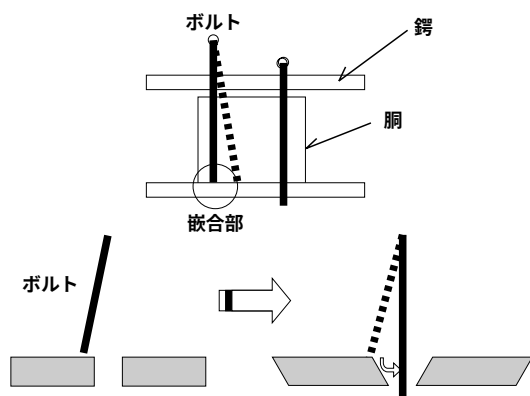


図3 ドラムの嵌合部
The joint part of a drum



写真2 嵌合部の構造
Structure of the joint part



写真3 ドラムの段積み状態
Neatly stacked drums

6.2.2 水抜き構造

写真3のように屋外でドラムを保管している場合、ドラム鏢の部分に大量の水が溜まる。この水溜りを改善することは運用面の作業性から非常に重要な項目となる。そこですべてのリブ間に水抜き孔を入れた構造に改善した。それにより水の溜りを防止することが可能となった。

6.3 圧縮試験結果

6.3.1 常温（23℃）圧縮試験結果

鏢圧縮試験は写真4の方法で行った。常温での鏢圧縮試験の結果を表2に示す。PP 100％品（圧縮強度2800 kgf）と廃PE品を比較すると、廃PE 25％品で約4割、廃PE 50％品では6割強度が低下した。

6.3.2 シミュレーション値との比較

シミュレーションと実際の圧縮試験結果との比較を図4に示した。PP 100％品を除いてはほぼシミュレーション値と同程度であることが確認できる。このことから、材料の変更があった場合でもシミュレーションにて圧縮強度を予測することが可能といえる。

6.3.3 高温（45℃）圧縮試験結果

夏場高温（45℃）を考慮して、空ドラムの鏢・胴に必要な荷重強度を以下のように計算した。

鏢圧縮強度

$$200 \text{ kg (巻量)} \times 2 \text{ (段積み)} \times 2 \text{ (安全率)} = 800 \text{ kg}$$

胴圧縮強度

$$200 \text{ kg (巻量)} \times 2 \text{ (安全率)} = 400 \text{ kg}$$



写真4 鏢圧縮試験
Determination of flange compression strength

表2 鏢圧縮試験結果
Results of flange compression test

(単位 kgf)					
PP 配合率(%)	100	75	50	25	0
廃 PE	0	25	50	75	100
鏢圧縮強度	2800	1725	1175	825	375

PPと廃PEの配合比50/50のドラムについて高温で鏢・胴圧縮試験を行った結果、鏢800 kg、胴400 kgをクリアすることを確認した。

6.4 電線の巻付け性

古河電工にて電線の巻きつけ性の評価を行った。どの配合のドラムも滑り等の発生がなく特に問題なく巻きつけることが確認できた。

6.5 電線巻付け後ドラムの取扱、落下試験

電線巻き取り試験後のドラムの変形、取扱性（作業性）、落下試験を行った。その結果を表3に示した。

6.5.1 電線巻取り後のドラムの変形

電線巻取り後、ドラム変形の有無を確認したところ、廃PE 100％品で鏢のそりは10 mm以上あったが、廃PE 75％以下のドラムは鏢の反りが2～5 mm程度であることが確認できた。

6.5.2 作業性試験

電線巻取り後のドラムを作業現場にて回転、方向転換、フォークリフトでの移動を行った。廃PE 100％品はどの作業でも鏢の変形が認められ、またがたつきが大きく実使用上問題がある。廃PE 75％以下のドラムは、多少の擦り傷が生じるものの、変形等はなくドラムの機能上は問題ないことが確認できた。

6.5.3 落下試験

電線巻取り後、写真5の状態（30 cm、50 cm）からドラムを落下させ電線の傷つき、ドラム破損の有無を確認した。このとき、ドラムは－10℃及び45℃の高温槽に2～3時間放置させたものを使用した。

1) －10℃落下試験

PP 100％品は30 cm、50 cmからの落下試験で電線巻取り口の割れ、一部リブの変形・割れを確認した。廃PE 75％以上のドラムはどの落下高さでもリブの変形が起こった。廃PE 25、50％品では、落下高さ50 cmでリブの変形が見られたが、落下高さ30 cmではドラムの割れなし、リブの変形なしと良好な結果が得られた。

2) 45℃落下試験

どの配合比のドラムも落下試験による割れはなかった。廃PE 100％品では50 cmからの落下でドラムの変形により電線が地面と接触したことによる傷が確認できた。またPP 100％品と廃PE 25％品ではリブの変形も見られず、廃PE 50％以上配合のドラムで50 cmからの落下試験では変

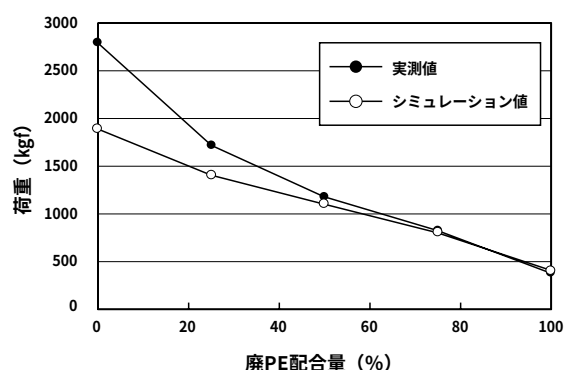


図4 鏢圧縮試験の実測値とシミュレーション値
Measured and simulated data of flange compression strength

表3 電線巻きつけドラムの試験結果
Results of test on drums wound with cables

PP 配合率 (%)	100	75	50	25	0
廃 PE 配合率 (%)	0	25	50	75	100
電線巻取り試験	○	○	○	○	罅変形
巻きつけ後ドラム変形量 (mm)					
内幅※)	−3 ~ −4 mm	−3 ~ 7 mm	−2 ~ 5 mm	0 ~ 6 mm	−6 ~ 10 mm
罅そり	0 mm	0 ~ 5 mm	0 ~ 4 mm	3 ~ 5 mm	6 ~ 15 mm
作業性試験					
転がし・方向転換	○	○	○	○	罅変形
フォーク移動	○	○	○	○	罅変形
落下試験 (−10℃)					
30 cm	巻口割れ, 白化	○	○	リブ変形	リブ変形
50 cm	巻口割れ リブ変形	リブ変形	リブ変形	リブ変形	リブ変形
落下試験 (45℃)					
30 cm	白化小	○	リブ変形小	リブ変形小	○
50 cm	○	リブ変形	リブ変形	リブ変形	リブ変形

※) 内幅は実測値から規格値 328 mm を引いたものである。
電線巻取り試験, 作業性試験での表中の○は罅変形, リブ変形が見られなかったことを意味する。

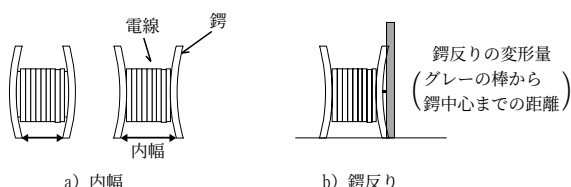


写真5 落下直前のドラム
Drum just before a fall test (50 cm)

形が認められたが30 cm落下試験後はリブが多少変形した程度で, −10℃ほど顕著ではなかった。

3) 落下試験後のドラム

落下試験後電線ははずしドラム各部の状態を確認した(−10℃落下試験のドラムのみ)ところ, 罅側の胴の重なる部分のリブがPP 100%品で割れ, 廃PE 25%以上で変形していた。また, 一部罅と胴を固定するボルトが曲がっていた。

4) 落下試験まとめ

今回の落下試験の結果, リブの変形等は若干見られた。しかし, 万一ドラム運用中に落下した場合も, 電線の引き出しが困難となるようなドラムの破損変形は見られないことが確認された。

6.6 製品試験のまとめ

各種製品試験の評価のうち, 高温圧縮試験の結果からPPと廃PEの配合比は50/50までは問題なく電線巻きつけドラムとして使用することが可能であることが分かった。

7. 試験運用

L4-6号ドラムの実際の取扱性を把握するために, 平成13年度下期より試験運用した。PP/廃PEの配合比はドラム製品試験の結果を踏まえて50/50の配合比のドラムを使用した。なお, 試験実施対象品種はSN-ACSR-OE120 mm²とした。

期間中「巻取り→出荷→現場工事→返却」の回転運用行程を4回繰り返した結果, 特に著しい破損や使用上支障となる問題が発生しないことが確認された。

8. おわりに

環境負荷軽減及び電線梱包費の削減を目指して, リユース可能な樹脂ドラムの検討を行った。その結果, パージンPPに廃PEを約50%まで配合したL4-6号ドラムが適用可能であり, 試験運用で特に問題なく運用可能であることが確認できた。本研究にて開発したドラムは平成14年度から実現場にて本格運用を開始予定である。

また, 破損等により使用不可能となったドラムは破砕し, 再度プラスチックドラム材料として使用予定である。