

自主研究

「電線被覆材料の燃料化に関する調査」

(研究期間：平成29年4月～平成30年3月)

報 告 書

平成30年3月



一般社団法人 電線総合技術センター

目 次

はじめに	1
1. 廃プラスチック類の現状	2
1.1 リサイクルの種類、手法	
1.2 サーマルリサイクルの手法	
1.3 廃棄物発電の現状	
1.3.1 廃棄物発電施設数推移	
1.3.2 焼却炉の種類と特徴	
2. 電線の現状	8
2.1 分野別出荷量の推移	
2.2 分野別リサイクルの状況	
2.2.1 インフラ系廃電線・ケーブルのリサイクル状況	
2.2.2 市場品系廃電線・ケーブルのリサイクル状況	
3. JECTECの取り組み	12
3.1 主なリサイクルに関連する調査研究	
3.2 循環型社会に向けた新たな調査研究	
4. サーマルリサイクル関連施設の訪問調査	14
4.1 訪問先のヒヤリング結果	
4.1.1 廃電線・ケーブルの受入実績	
4.1.2 PVCの受入可否とその理由	
4.2 モデルサンプルの評価	
4.2.1 評価サンプル	
4.2.2 評価項目及び方法	
4.2.3 評価結果	
4.2.4 評価結果まとめ	
5. 電線被覆材料のサーマルリサイクルに向けての課題	20

おわりに	21
参考文献	22
謝辞	23

はじめに

社会的に地球温暖化など環境問題への関心が高まり、企業においても環境負荷低減に対する取り組みが積極的になされる中、欧州を中心に資源効率の向上とそれを実現する新たな経済モデルに関する議論が活発化している。消費された資源を再生・再利用し続ける循環型の経済モデル“サーキュラーエコノミー（Circular Economy、以下CEとする）”である。CEでは、考え方だけでなく、具体的な数値として埋立処理やリサイクルの目標率についても議論されている。日本でも、CEが企業にどのような影響与えるかについて予測したり、その考え方を環境ビジョンに取り入れる企業があらわれている。また、中国においては、廃棄物の輸入に関し法制化され、廃棄物の輸入品の受入について厳粛化が進み、世界的に廃棄物処理へ影響が出始めている。

電線・ケーブルは、主に銅やアルミニウムなどからなる導体とプラスチックやゴムなど用途に応じた多種多様な材質からなる被覆から構成されている。導体に使用されている銅やアルミニウムは有価物として価値が高いため、回収ルートや処理方法が確立され、そのほとんどがリサイクルされている。

廃電線・ケーブルの被覆材料について、これまで一般社団法人電線総合技術センター（以下JEC TECとする）では、選別、分別する技術、マテリアルリサイクルに関する技術を中心に調査研究を実施してきた。その廃被覆材料も高品質で選別、分別できれば、原料化、製品化など、より付加価値の高いマテリアルリサイクルが可能であるが、そのためには、廃電線・ケーブルの収集や選別、分別の設備導入などのコストが課題となり、再利用されないケースもある。このように未利用となっていた廃被覆材料がエネルギーとして活用されれば、化石燃料の消費を抑制し、地球温暖化対策、資源効率の向上に貢献できる。

本調査研究では、廃電線・ケーブルの被覆材料のサーマルリサイクルへの適用可能性を調査することとし、サーマルリサイクル施設を訪問し、受け入れている廃棄物の条件を調査し、また、廃被覆材料のモデルサンプルにて、サーマルリサイクル施設が廃棄物の受入時に実施している成分分析や発熱量の測定の結果などからサーマルリサイクルに向けての課題等についてまとめた。

本調査研究が、電線業界の将来に貢献する一助となれば幸いである。

1. 廃プラスチックの現状

日本では、廃棄物の処理及び清掃に関する法律において、廃棄物は、一般廃棄物と産業廃棄物に分けられ、廃電線・ケーブルの被覆は、一般に、産業廃棄物の廃プラスチック類（以下、廃プラとする）に分類される。環境省の産業廃棄物の排出・処理状況について（平成26年度実績）¹⁾によれば、廃プラは、全廃棄物量に対する比率は1.7%とわずかではあるが、廃プラの量としては約651万トンであり、銅電線・ケーブルの出荷銅量約66万トン（平成28年度）²⁾と比べて約10倍と大きなものである。

1.1 リサイクルの種類、手法

廃プラのリサイクルは大別すると、マテリアル、ケミカル及びサーマルリサイクルの3つに分類される。廃プラのリサイクル、手法及びその比率を表1に示す。

表1 廃プラのリサイクル、手法及びその比率³⁾

リサイクルの種類	リサイクルの手法	平成28年比率
マテリアルリサイクル	再生利用（原料化、製品化）	22.9%
ケミカルリサイクル	原料化 高炉還元剤 コークス炉化学原料化 ガス化・油化（化学原料化）	4.0%
サーマルリサイクル	セメント原・燃料化 固形燃料（RPF など） 廃棄物発電 ガス化・油化（燃料）	57.5%
未利用	埋立、単純焼却	15.6%

日本における廃プラの総排出量・有効利用量の推移を図1に示す。

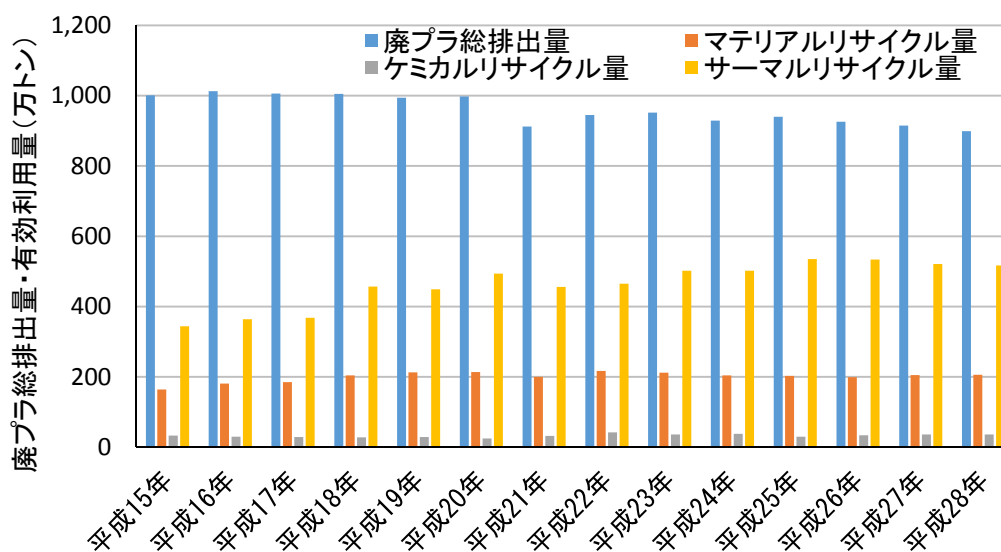
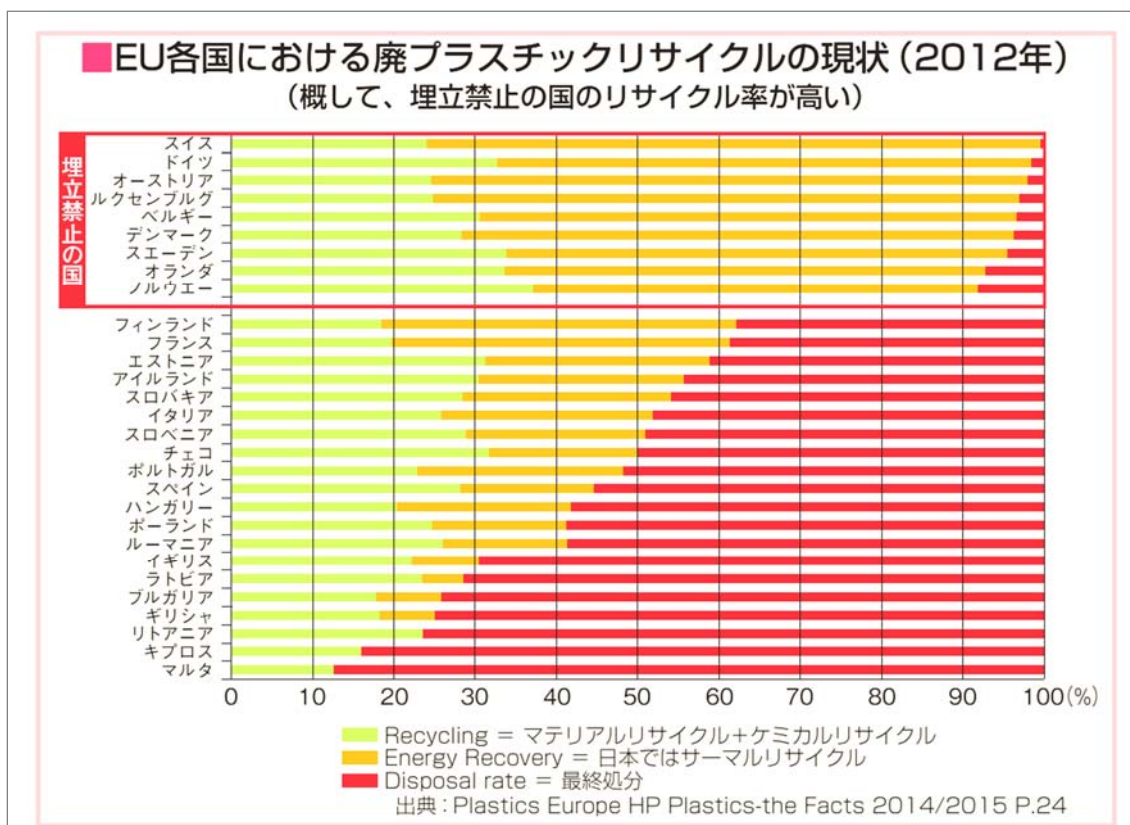


図1. 日本における廃プラの総排出量・有効利用量の推移³⁾

廃プラのサーマルリサイクル率は、57.5%（平成 28 年）と高く、また、総排出量はわずかではあるが減少傾向にある中、サーマルリサイクル量は増加傾向にあることがわかる。

EU 各国の廃プラスチックリサイクルの現状を図 2 に示す。

EU 各国のマテリアルリサイクル率は、ほぼ 20~30%と横並びであるが、サーマルリサイクル率については、埋立を禁止している国では、日本と同様に高く、今後、埋立処理を中心としている国々は、サーマルリサイクルへ転換すると予測される。



注) 本グラフの廃プラ各リサイクルにかかる割合と表 1 の廃プラ有効利用率とは、異なる範疇・条件で算出されているため両者をそのまま比較考量することはできません。

図 2. EU 各国のプラスチックリサイクルの現状⁴⁾

1.2 サーマルリサイクルの手法

サーマルリサイクルの主な手法及びその比率を表 2 に示す。

表 2. サーマルリサイクルの主な手法及びその比率

サーマルリサイクルの手法	平成 28 年比率 ³⁾
固形燃料 (RPF など)、 セメント原・燃料化	30.2%
発電焼却	54.5%
熱利用焼却	15.3%

サーマルリサイクルの手法の一つに位置づけられる RPF (: Refuse derived paper and plastics densified fuel) は、JIS Z 7311「廃棄物由来の紙、プラスチックなど固形化燃料 (RPF)」⁵⁾にて規格化されている。その品質には、発熱量とともに塩素量が規定されており、電線・ケーブルの被覆材料として多く使われている PVC は不適と考えられる。

セメント原・燃料化での廃プラの使用量は、図 3 に示すように近年増加傾向にある。ただし、塩素はセメント製品の性質へ悪影響を及ぼすことが考えられるため、PVC は不適と考えられる。

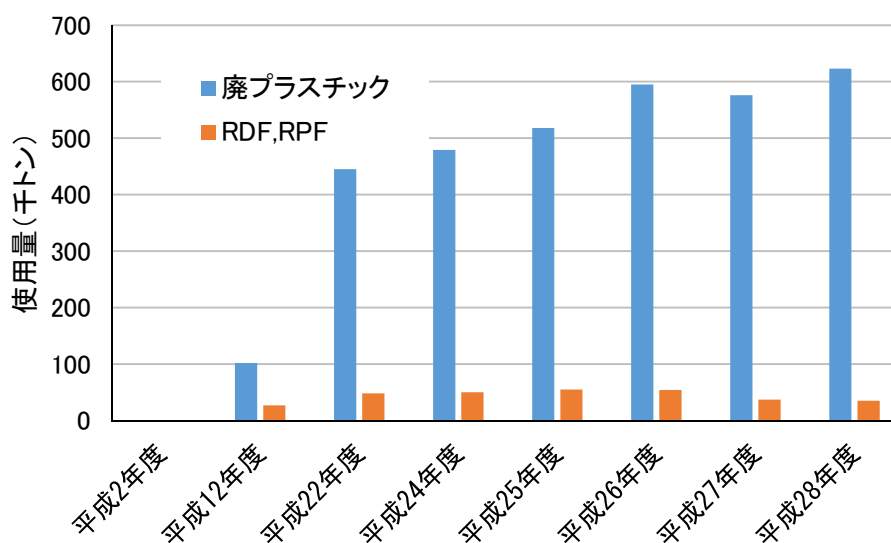


図 3. セメント業界の廃プラの熱エネルギーへの使用量推移⁶⁾

注) 本廃プラスチックはシュレッターダストを含む。

1.3 廃棄物発電の現状

サーマルリサイクルの手法のうち、最も比率の高い廃棄物発電に着目し、その施設について調べた。

1.3.1 廃棄物発電施設数推移

近年、廃プラスチックの焼却に伴って発生する熱やガスは、化石燃料の節約につながるエネルギー源として重要視されてきており、産業廃棄物焼却施設の総数は減少傾向にある一方で、図 4 に示すように発電施設数、総発電電力量は増加傾向にある。

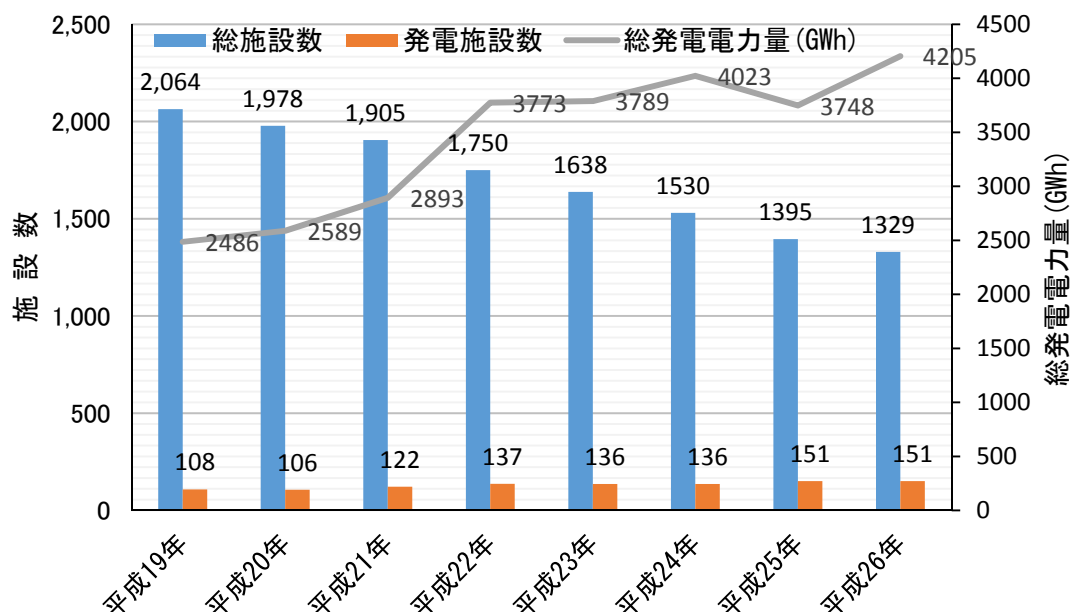


図4 廃棄物焼却施設の総数と発電施設数及び総発電電力量の推移⁷⁾

1.3.2 焼却炉の種類と特徴

産業廃棄物の焼却炉は、対象とする廃棄物の種類や炉の容量など多様であり、その焼却炉の種類も多様である。焼却炉の種類と特徴について以下に記載する。

なお、この記載は、一般社団法人 プラスチック循環利用協会の廃プラスチックの動向調査報告書（発電焼却で有効利用される産業系廃プラスチック）⁸⁾ よりの引用である。

・ 運転方式による類型：間欠運転炉と連続運転炉

間欠運転炉はバッチ炉とも言われ、焼却炉運転中には廃棄物の投入も焼却残渣の掻き出しもしない構造、またそのような運転方式をとる焼却炉である。廃棄物供給装置など複雑な機構を持たないため、比較的小規模な焼却炉に多く適用されてきた形式である。定常的に熱を生産できないため、発電をはじめとする余熱回収にはあまり向いていない。

連続運転炉は連続炉とも言われるもので、焼却運転中に炉へ廃棄物の供給と炉からの焼却残渣の排出が可能な構造を持ち、そのような運転方式をとる焼却炉である。大量の廃棄物を処理できる大規模な焼却炉に適用されることが多い形式である。連続運転炉は、昼夜を通して数日から数ヶ月に及ぶ連続運転をすることができる。連続運転中は、炉の温度が高温に保たれることで燃焼が安定し、排気の一酸化炭素濃度やダイオキシン濃度が低く抑えられるとされている。

・ 燃焼方式による類型：マスバーン炉とガス化炉

マスバーン炉とは、廃棄物を固体のまま燃焼する方式の炉である。燃焼に必要な酸素を固

定廃棄物の表面に行き渡らせるために、理論量以上の過剰な空気を炉内に吹き込む必要がある。そのため燃焼温度を高く保持することが困難になるが、一方で、短時間に大量の廃棄物を焼却処理することが可能である。産業廃棄物の焼却に用いられる炉の多くは、この形式である。

ガス化炉は、気密状態に置いた廃棄物を熱分解し可燃性の熱分解ガスを得るものである。熱分解ガスは、空気比を大きくせず燃焼に必要なだけの空気と混合して燃焼すれば炉を過剰に冷却することがなく、焼却温度を高く保つことができる。現在のガス化炉の多くは、廃棄物の熱分解残渣を熔融処理するのに、熱分解ガスを利用するようになっている。

・焼却炉型式別の炉数及び特徴

焼却炉型式別の炉数を表 3 に示す。

表 3. 焼却炉型式別の炉数(平成 26 年度)⁹⁾

焼却炉型式	炉数	比率 (%)
ロータリーキルン	168	19
流動床炉	126	15
固定床炉	118	14
ストーカー炉	85	10
ロータリーキルン&ストーカー炉	76	9
廃液蒸発炉	23	3
多段炉	18	2
乾溜ガス化燃焼炉	15	2
複合施設	31	4
その他	203	24
合計	863	100

①ロータリーキルン

ロータリーキルンは、技術の源流を鉬石やセメントの焼成窯から引く炉形式で、その本体は、傾斜角を付けて横置きされた鋼管である。直径約 10 センチメートルから数メートル、長さ数メートルから数 10 メートルに及ぶ鋼管は、キャストブル耐火材等で内貼りされ燃焼室を形成する。燃焼室の高い方の端から投入された廃棄物は、燃焼室の回転と共に、燃焼しながら低い方の端に送られて行く。特に、粘着性の高い汚泥類の焼却などに適している。液体廃棄物は、燃焼室の上端もしくは下端に設置されたノズルから噴射して焼却される。近年では、短いロータリーキルンの下流に後述のストーカー炉をつなげた複合炉の例も多い。炉体の表面積が大きく熱が逃げやすいので余熱回収に不利である、とされている。

②流動床炉

流動床炉は、燃焼室底部に置いた珪砂等の粒子層に、下部から加熱した圧縮空気を供給して流動化させ、その中で廃棄物を燃焼するものである。焼却熱は粒子層に蓄熱され、排ガスからも熱を回収して圧縮空気の加熱に用いるなど、熱効率が高く、含水率の高い廃棄物でも短時間で処理できるなどの利点を持つ。また、炉体を傷める高熱量の廃棄物や、粘着性の廃棄物にも対応しやすいことも利点である。しかし、比重の重いものは流動しづらいため、燃焼を安定化させるために、投入する廃棄物は選別・破碎などの事前処理を行う必要がある。焼却残渣は、底灰として排出されることはなく、すべて吹き上げられて飛灰になるので、煤塵処理システムの負荷が大きくなることも短所である。粒子層底部に蓄積する不燃物の引き抜きは、別途行う。

③ストーカー炉

ストーカー(mechanical stoker)は、揺動火格子である。本形式焼却炉は、傾斜している炉底の火格子を機械力で動かすことによって、炉の上部から投入した廃棄物を燃焼させながら下部に送る形式のものである。火格子には、燃焼用空気の供給と火格子の冷却を目的に、空気吹き出し孔が並べられている。廃棄物は、炉の上部において解きほぐされながら乾燥され、下部で燃焼されて灰になる。火格子の揺動速度や廃棄物供給量ならびに空気量は調節が可能であり、それらによって廃棄物の燃焼を制御することができる。産業廃棄物焼却炉のほか、自治体が運営する一般廃棄物の焼却炉でも一般的な形式である。比較的広い設置場所を必要とし、大規模な焼却炉に適している形式である。

なお、ここで火格子という用語を使っているが、現在のストーカー炉のそれは格子状ではなく、従って未燃の廃棄物が格子の隙間から落ちることはなく、時間を掛けて燃焼室終端まで送られる。

・二次燃焼炉

固体の廃棄物の焼却時に発生した燃焼ガスは、廃棄物の近傍で大部分は燃え尽きるが、ここで未燃だったガスを完全燃焼するために、多くの焼却炉では後段に二次燃焼炉を設けている。二次燃焼炉に導入された排ガスは、ここで新たに供給される二次空気と混合されて完全燃焼が図られる。二次燃焼炉には、前段の炉からの燃焼ガスと共に、液体や気体の廃棄物が投入されることもある。これは、補助燃料の意味も兼ねている。二次燃焼炉は、主炉と完全に独立した形をとるものもあるが、主炉の後にシームレスに二次燃焼空間を設け、ここに二次空気を供給する形のものもある。

2. 電線の現状

2.1 分野別出荷量の推移

内需向け銅電線・ケーブルの分野別出荷量の推移を図5に示す。内需向けの出荷量では、建設・電販分野の比率が一番高く、次に電気・機械分野、電力分野となる。

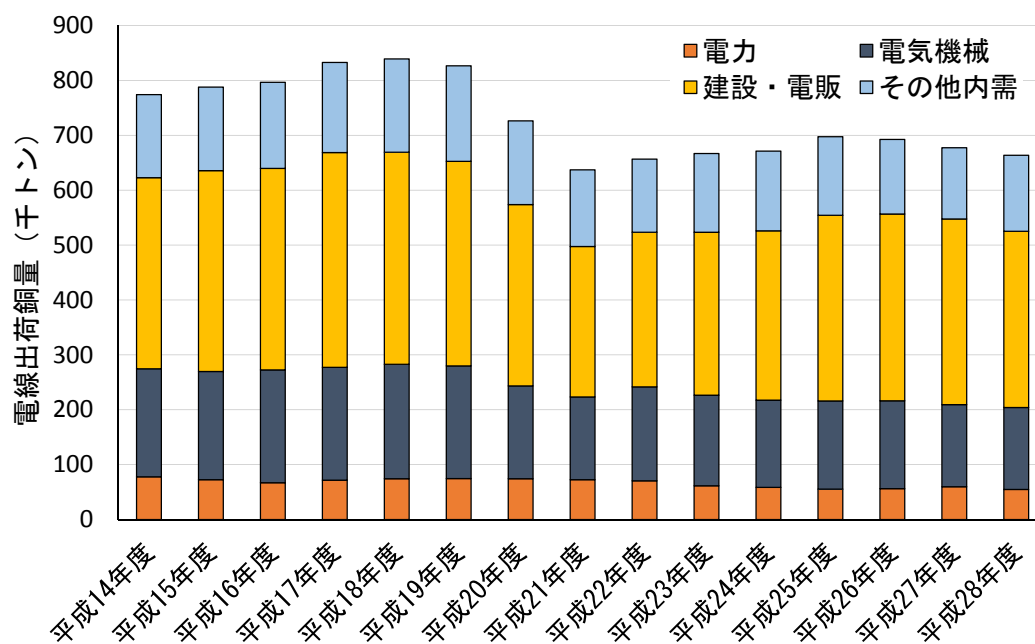


図5. 銅電線・ケーブルの分野別出荷量の推移²⁾

2.2 分野別リサイクルの状況

電線・ケーブルリサイクルの流通経路を図6に示す。廃電線・ケーブルはその排出元から、インフラ系と市場品系の2つに大別できる。図5の分野あてはめると、インフラ系は、電力分野となり、市場品系は、建設・電販、電気・機械分野となる。

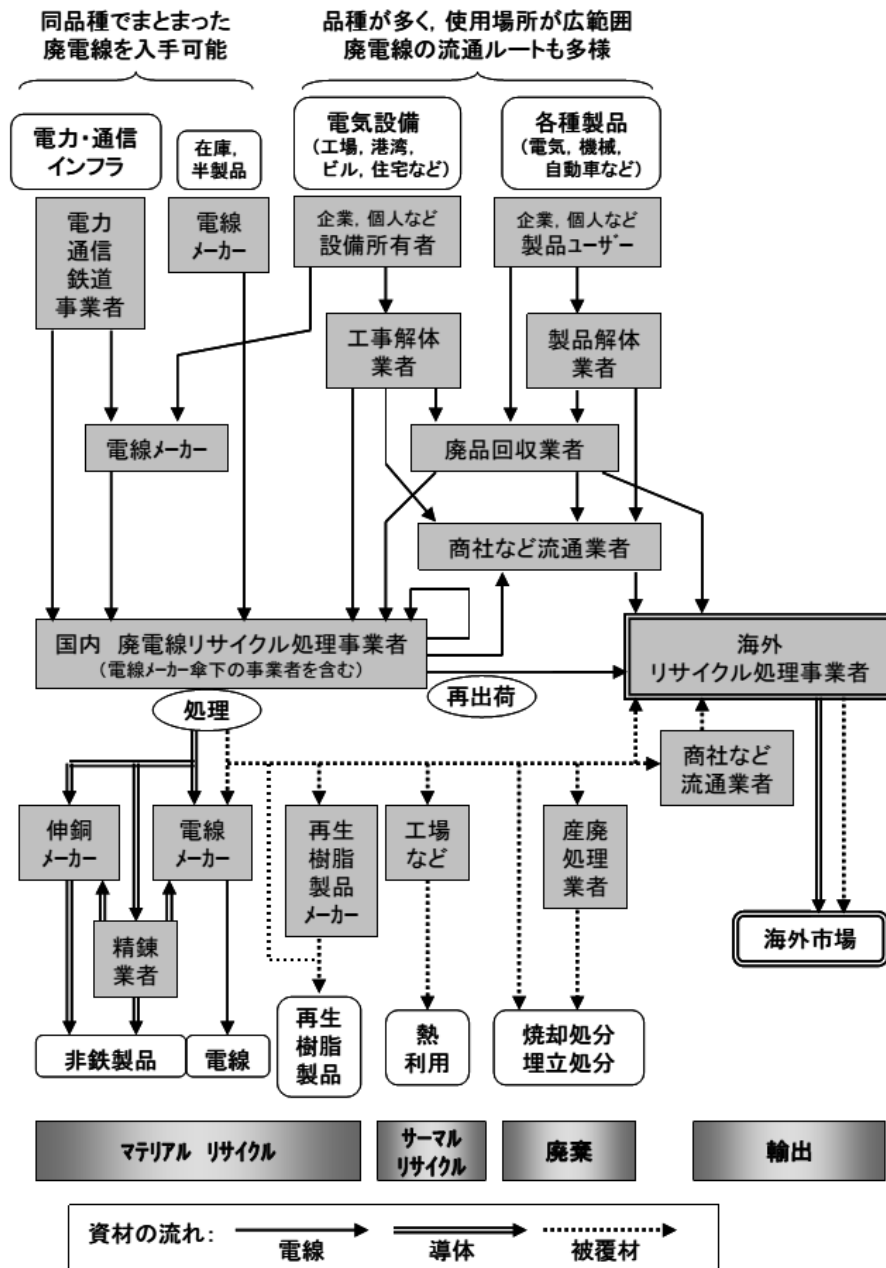


図6 電線・ケーブルリサイクル流通経路¹⁰⁾

2.2.1 インフラ系廃電線・ケーブルのリサイクル状況

電力・通信インフラ等から排出されるインフラ系廃電線・ケーブルは、種類が揃って、かつ市場品系と比べサイズの太いものが、大量に回収されることが多く、また、その回収ルートは確立されている。回収後の廃電線・ケーブルは、ケーブルの種類や構造を確認した後、同じ種類のケーブルを処理する。サイズが太いものについては、剥線機を使用して被覆材料を剥ぎ取り、導体と分離する処理が行われている。そのため、分別で得られる導体や被覆材

料は異物が少ない高品位なものとなり、導体はほぼ 100%、被覆材料についてもその多くはリサイクルされている。このように、インフラ系の廃電線・ケーブルのリサイクルについては、電線・ケーブルの種類、回収ルート等を管理することによって、選別、分別というリサイクルの課題を解決している。特に、導体を分離した被覆材料を材質別に選別する工程をいれずに、被覆材料のほとんどがリサイクルされている状態は理想的といえる。ただし、図 5 で示したように平成 28 年度の銅電線・ケーブルの出荷量は約 663 千トンで、そのうち、インフラ系である電力用電線・ケーブルの出荷量は約 55 千トンであり、全出荷量の約 8%である。

2.2.2 市場品系廃電線・ケーブルのリサイクルの状況

工場、ビル、電気、機械、自動車等から発生する市場品系廃電線・ケーブルの種類はその用途に応じて、多岐に亘り、排出元も多様でその回収ルートも多様である。その電線・ケーブルのサイズは、剥線機での処理が難しい細いものが多く、粉碎機と選別機を使用して、導体と被覆材料を分離する処理が行われている。そのため、処理にコストがかかり、廃電線・ケーブルの状態にて輸出される場合もある。図 7 に銅くず輸出量の推移を示す。この銅くず輸出量の約 30%を廃電線・ケーブルが占めていると言われているが、平成 19 年度をピークに平成 20 年度より減少傾向であることがみられる。

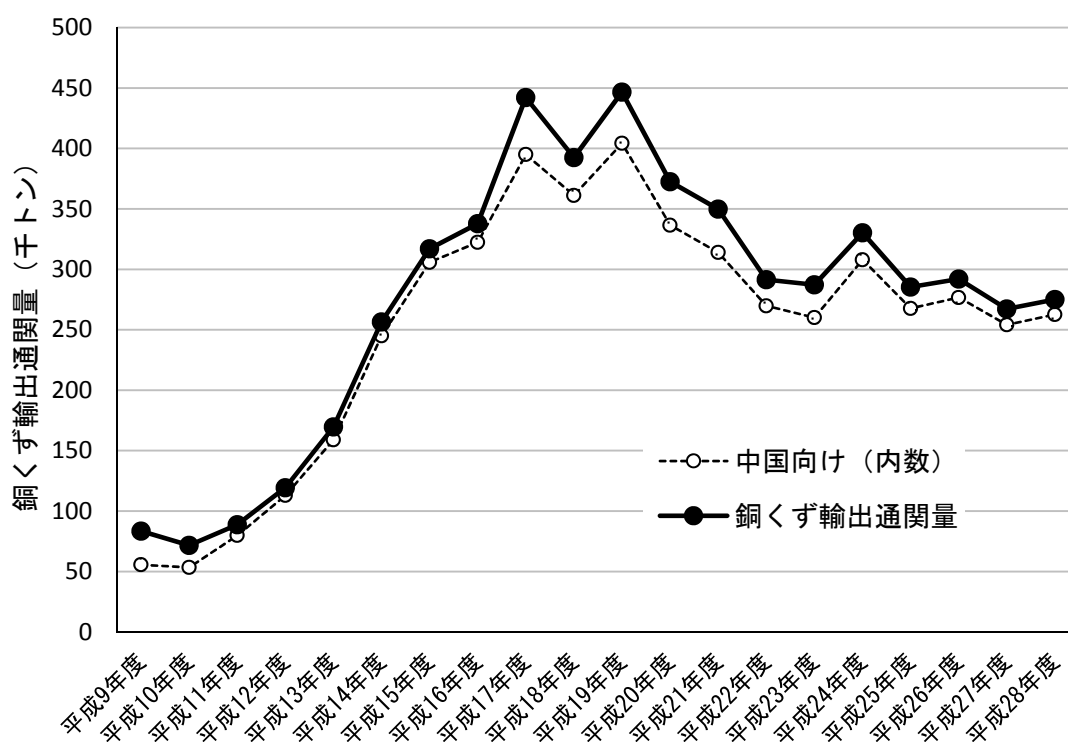


図 7. 銅くず輸出量の推移¹¹⁾

市場品系電線・ケーブルの出荷量のうち、建設・電販用電線・ケーブルは約 50%を占めている。この建設・電販用電線・ケーブルとして、平成 10 年に一般社団法人日本電線工業会（以下 JCMA とする）にて、火災時にハロゲン系ガスの発生が無く、煙の量が少ない EM 電線・ケーブルが新たに規格化された。建設・電販用電線・ケーブルでは、その被覆材料として従来ポリエチレン、架橋ポリエチレン及びポリ塩化ビニル系コンパウンドが使用されていたが、EM 電線・ケーブルでは、その性能を満足するために被覆材料にポリエチレン系コンパウンドが主に採用され、新たな被覆材料が加わった。ポリエチレン系コンパウンドは、樹脂であるポリエチレンやエチレン系共重合体に難燃剤として水酸化マグネシウムや水酸化アルミニウムを配合した被覆材料であり、その比重はポリ塩化ビニル系コンパウンドに近いものが多い。

廃電線・ケーブルのリサイクルにおいて、被覆材料は導体と比較すると価値が低いため、コストをかけずに、材質が混合しないよう分別、回収することが重要となる。廃電線・ケーブルを粉砕し、導体を分離した被覆材料は、現状、水を利用した比重選別機によって、比重 1 未満のポリエチレンや架橋ポリエチレンと比重 1 を超えるポリ塩化ビニル系コンパウンドに分別されることが一般的である。廃電線・ケーブルの被覆材料に、ポリ塩化ビニル系コンパウンドと比重が近いポリエチレン系コンパウンドが加わり始めると、水を利用した比重選別が困難になり、これまでリサイクルされていた被覆材料が埋立処理される可能性があるとも言われている。

JCMA では、その解決策の一つとして、従来から使用されていたポリ塩化ビニル系コンパウンドを被覆した電線・ケーブルと新たに加わったポリエチレン系コンパウンドを被覆した EM 電線・ケーブルを識別することを目的に、EM 電線・ケーブルの表面に一条突起をつけている。（図 8）



図 8. EM 電線・ケーブルの一条突起¹²⁾

3. JECTEC の取り組み

3.1 主なリサイクルに関連する調査研究

JECTEC は平成 3 年の設立より、国の補助金を受け、電線・ケーブルメーカーとともにリサイクル関連の調査研究を実施し、実用化のための技術課題の解決に取り組んできた。図 9 に JECTEC が実施した主なリサイクル関連の調査研究を示す。

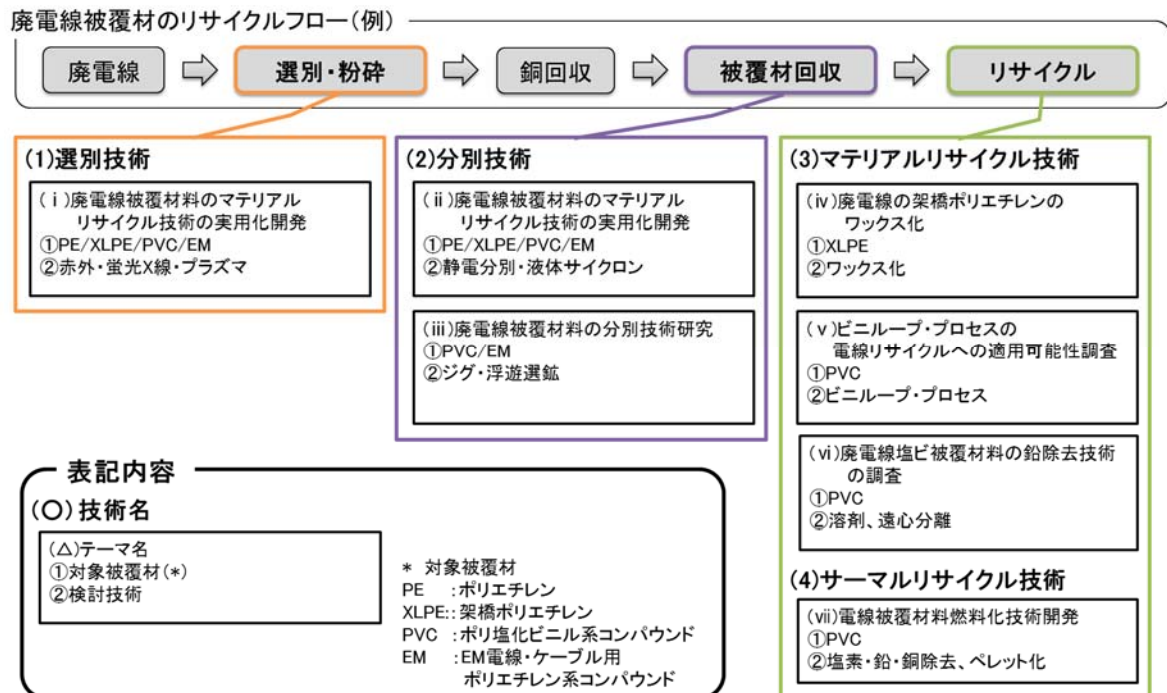


図 9. JECTEC が実施した主なリサイクル関連の調査研究

以下、その概要を説明する。

(1) 選別技術

(i) 廃電線被覆材のマテリアルリサイクル技術の実用化開発

回収された廃電線・ケーブルを被覆材料にて選別が可能であれば、導体を回収した後の被覆材料の材質が限定され、分別精度が向上する。電線・ケーブルの被覆材料であるポリエチレン、架橋ポリエチレン、ポリ塩化ビニル系コンパウンド、ポリエチレン系コンパウンドについて、赤外、蛍光X線、プラズマ等の装置を用いて識別の可能性を調査した。

(2) 分別技術

(ii) 廃電線被覆材のマテリアルリサイクル技術の実用化開発

電線・ケーブルの被覆材料であるポリエチレン、架橋ポリエチレン、ポリ塩化ビニル系コンパウンド、ポリエチレン系コンパウンドが混在した状態から、静電分離装置、液体サイクロン装置を使用した場合の分別精度を調査した。これらの装置を組合せることで、各種被覆材料を分別の可能性を示した。

(iii) 廃電線被覆材料の分別技術研究

比重の近いポリ塩化ビニル系コンパウンドとポリエチレン系コンパウンドを分別する方法として、ジグ分別法と浮遊選鉱分別法を検討し、界面活性剤の使用等で、分別精度を向上させることを見出した。

(3) マテリアルリサイクル技術

(iv) 廃電線の架橋ポリエチレンのワックス化

被覆材料の 1 つである架橋ポリエチレンの廃材を燃焼熱分解させワックス化する技術の実用化研究を実施した。得られたワックスは市販のポリエチレンワックスと同等の特性を有することが確認できた。

(v) ビニループ・プロセスの電線リサイクルへの適用可能性調査

ソルベイ社が開発したポリ塩化ビニルコンパウンドのマテリアルリサイクル技術であるビニループ・プロセスが電線・ケーブルの被覆材料のリサイクルに適用できるか調査した。課題はあるものの電線・ケーブル材料への適用可能性を示した。

(vi) 廃電線塩ビ被覆材料の鉛除去技術の調査

被覆材料のポリ塩化ビニルコンパウンドをマテリアルリサイクルするために、過去の被覆材料に使用されていた鉛化合物を除去する技術について調査した。廃電線に使用されていたポリ塩化ビニルコンパウンドから、溶剤と遠心分離装置を使用し、鉛除去が可能であることを見出した。

(4) サーマルリサイクル技術

(vii) 電線被覆材料燃料化技術開発

廃電線被覆材料を石油代替エネルギーとして再利用するために、被覆材料の一つであるポリ塩化ビニルコンパウンドについて、燃料化に障害となる物質の挙動、それらの除去技術、燃料化のための造粒物性に関する技術開発を実施した。

3.2 循環型社会に向けた新たな調査研究

1、2 項でも述べたように電線・ケーブルの出荷量推移から今後も廃電線・ケーブルの排出量は、大きく変わらないことが推測される。また、廃電線・ケーブルの状態での輸出量が近年、減少傾向にあり、国内での処理量の増加が予想される。

これまで JECTEC は、廃電線・ケーブルの被覆材料を選別、分別する技術、その後のマテリアルリサイクルに関する技術を中心に調査研究を実施してきた。電線・ケーブルの種類が多く、回収ルートも多様である市場品系の廃電線・ケーブルの被覆材料も選別、分別することができれば、マテリアルリサイクルは可能と考えられるが、選別、分別のための設備の導入や廃電線・ケーブルの収集などのコストが課題である。また、日本、EU の廃プラ処理状況からも、サーマルリサイクル、特に焼却発電用の燃料が有望と考えられ、廃電線・ケーブルの被覆材料の適応可能性を調査する。

4. サーマルリサイクル関連施設の訪問調査

廃プラの受入基準を含め受入、処理状況などの調査を、目的としてサーマルリサイクル関連施設を訪問した。訪問した4社の概要を表4に示す。

表 4. 訪問施設の概要(その1)

会社名		水島エコワークス株式会社	東京臨海リサイクルパワー株式会社
訪問先		岡山県倉敷市水島川崎通	東京都江東区青海3丁目地先
会社概要	設立	2002年1月21日	2002年12月19日
	資本金	23億円	1億円
発電設備	焼却炉型式	サーモセレクト方式 熱分解ガス化溶融炉	流動床ガス化溶融炉
	炉数	3基	2基
	処理能力	555トン/日	550トン/日

表 4. 訪問施設の概要(その2)

会社名		エコシステム千葉株式会社	株式会社ダイカン
訪問先		千葉県袖ヶ浦市長浦拓	本社工場：大阪市鶴見区 堺事業所：堺市西区
会社概要	設立	1970年5月20日	1974年3月
	資本金	9000万円	4800万円
発電設備	焼却炉型式	ロータリーキルン方式	往復動式ストーカ炉
	炉数	1基	2基
	処理能力	600トン/日	240トン/日

4.1 訪問先のヒヤリング結果

4.1.1 廃電線・ケーブルの受入実績

廃電線・ケーブルの状態での受入実績がある社はなかったが、被覆材料については訪問先4社中1社にて受入実績があった。その社では、廃電線・ケーブルの被覆材料における課題は、破碎した被覆材料に付着した銅やアルミニウムの破片が問題と考えており、銅はばいじん中に含まれる鉛を処理するため添加しているキレート剤（重金属安定剤）と反応し、その消費量を増加させること、アルミニウムは焼却中に高温となるため炉を傷めることが問題とのことであった。

4.1.2 PVCの受入可否とその理由

PVCの受入可否とその理由について、表5に示す。

表5. PVCの受入可否とその理由

会社名	PVCの受入可否	理由他
水島エコワークス株式会社	可	塩素処理設備を有しているため、可能である。塩素含有量に応じて、処理費用へ反映される。
東京臨海リサイクルパワー株式会社	否	受入基準に2%の塩素含有率あり、PVC単体での処理はしていない。
エコシステム千葉株式会社	可	塩素含有率が5%程度であれば処理可能。
株式会社ダイカン	可	契約前に廃棄物サンプルの成分分析などを実施し、廃棄物の焼却時には、他の廃棄物と混合することにより発生塩素量を管理している。

4.2 モデルサンプルの評価

廃プラの受入前に実施している成分分析など評価について、サーマルリサイクル関連施設2社へ依頼をし、1社より評価結果を頂いた。

4.2.1 評価サンプル

評価を依頼したサンプルは、廃電線・ケーブルの解体後の被覆材料を模擬し、ペレット状の各材料を表6の重量比率で混合した5つのサンプルを準備した。

表6. 評価サンプルの重量比率 単位:%

サンプル	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
	PVC	PE	EM-PE	複合(1)	複合(2)
PVC	100	0	0	45	90
PE	0	100	0	50	0
EM-PE	0	0	100	5	10

なお、サンプルNo.4は、600V CVTと600V EM-CET 100sqを代表品種として、その被覆材料の設計目付けより算出したPVC、PE、EM-PEの重量を集計し、その比率とした。また、サンプルNo.5は通常品とEM品の出荷比率の9:1から、PVC:EM-PE=9:1の比率とした。なお、測定サンプルに用いたPVC、PE及びEM-PEの配合を表7、8に示す。

表 7. PVC 配合

材 料	部 数
塩化ビニルポリマー	100
可塑剤 (DINP)	50
炭酸カルシウム	30
Ca-Zn 系安定剤	5

表 8. PE 及び EM-PE の配合

材 料	部 数	
	PE	EM-PE
直鎖状低密度ポリエチレン	100	100
水酸化マグネシウム	-	80
酸化防止剤	-	0.1
滑剤	-	1

4.2.2 評価項目及び方法

評価は大別して

- ①焼却時を模擬し、発熱量、炎、煙の発生状況及び腐食性の評価
- ②焼却物に含まれる成分及び焼却時に発生する成分の分析

の2つであった。

各評価の方法を以下に示す。

①焼却時模擬

1) 焼却残渣率

サンプル約 20g をステンレス製バットへ入れ、マッフル炉で 850°C、30 分間加熱する。
加熱前後の重量を測定し、算出する。

2) 焼却の様子

1) 項実施時に、焼却の様子として、炎、煙の発生状況を観察する。また、腐食性として
サンプルを入れていたステンレス製バットを加熱後、観察する。

3) 発熱量

JIS Z 7302-2:1999「廃棄物固形化燃料-第2部：発熱量試験方法」による。

②成分分析

4) 含有成分分析

サンプルを蛍光 X 線にて定量分析する。

5) ガス成分分析

サンプルを燃焼させ、発生したガスをイオンクロマトグラフにて定量分析する。

4.2.3 評価結果

評価結果を表9に示す。

表9. 評価結果

サンプル			No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
			PVC	PE	EM-PE	複合(1)	複合(2)
焼却残渣率		%	20.5	0.0	31.2	10.6	19.9
焼却の様子 (850°C 30分)	炎	-	大量	←	←	←	←
	煙	量	大量	←	←	←	←
		色	黒色	←	←	←	←
	腐食性	-	甚大	なし	なし	甚大	甚大
低位発熱量		MJ/kg	26.1	46.7	22.5	33.7	21.3
		kcal/kg	6,225	11,151	5,376	8,042	5,097
含有成分 *1	カルシウム	%	7.3	不検出	不検出	3.5	6.8
	マグネシウム	%	不検出	不検出	12.8	0.8	1.5
	塩素	%	27.3	不検出	不検出	12.2	25.9
ガス成分	フッ素	%	不検出	←	←	←	←
	塩素	%	30.2	不検出	不検出	13.3	26.3
	臭素	%	不検出	←	←	←	←
	硫黄	%	不検出	←	←	←	←

複合(1)、(2)は表6を参照のこと。

含有成分*1:炭素及び酸素を除き、上記以外の元素は不検出。

○評価社よりのコメント

サンプル No. 1、4、5 は塩素濃度が高く、他の可燃物と希釈しての焼却が必要。
またサンプル No. 2、3 は焼却による排ガスへの影響は小さいが、発熱量が高いため
炉内温度の上昇が懸念されるため周知必要。

◆1時間あたりの最大焼却量

サンプル No.	1	4	5
焼却量 (kg)	900	2,000	1,000

4.2.4 評価結果まとめ

各評価の目的及び受入基準などを以下に示す。

①焼却時模擬

1) 焼却残渣率

中間処理業者の場合、焼却残渣は、最終処分業者（埋立など）へ渡される。そのため、焼却残渣率により焼却費用へ加味するためである。

2) 焼却の様子

炎、煙については、作業に従事されている方への焼却物の事前情報として調査している。腐食性については、焼却炉及びその関連設備への影響を確認するため、成分分析とは別に焼却模擬により確認している。

3) 発熱量

焼却時の発熱による焼却炉への影響及びその投入量を確認するためである。
評価して頂いた社の炉の設計では 3000kcal/kg がベストとのことであった。

②成分分析

4) 含有成分分析

焼却時阻害物質及び規制物質を調査するためである。特に物質としてカルシウム、塩素及び重金属に注意している。なお、キレート剤（重金属安定剤）にて無害化した鉛はアルカリ性の溶液に溶け出し、アルカリ性が上がるほど溶け出しやすくなる。その鉛の溶質を防ぐために、アルカリ性を上げる可能性があるカルシウム（水酸化カルシウム）については、焼却炉への投入量を管理している。目安としては、1時間当たり 100 k g 程度となるようにしている。

塩素の受入目安は、10%である。今回の PVC サンプルの1時間当たり最大焼却量は、塩素処理能力よりは 900 k g となる。

5) ガス成分分析

排出ガス規制及び炉関連設備の腐食対応として調査するため。

塩素、硫黄（SO_x）は排出ガス規制の対応のためであり、フッ素は炉関連設備の腐食対応のためである。それぞれの受入目安は、硫黄は 5%、フッ素は 1%としている。

参考として、サンプル No. 1~3 (PVC、PE、EM-PE) の燃焼特性を熱分析装置の一つであるマイクロスケールコンバッションカロリメーター (Microscale Combustion Calorimeter: MCC) にて測定した結果を表 10 に、発熱速度 (HRR) を図 10-1、2 に示す。
なお、MCC については、JECTEC 自主研究「電線被覆材料の経年劣化と難燃特性に関する調査」（研究期間：平成 29 年 4 月～平成 30 年 3 月）報告書を参照のこと。

表 10. MCC 測定結果

試験方法	サンプル	No. 1	No. 2	No. 3
		PVC	PE	EM-PE
A	最大発熱速度 (W/g)	255.5	572.6	527.4
	最大発熱速度の温度 (°C)	312.5	497.9	488.4
	総発熱量 (kJ/g)	13.4	28.4	22.9
	燃焼残渣率 (g/g)	0.22	0.00	0.31
B	最大発熱速度 (W/g)	265.0	549.8	437.1
	最大発熱速度の温度 (°C)	307.4	447.9	404.0
	総発熱量 (kJ/g)	15.4	37.2	22.9
	燃焼残渣率 (g/g)	0.14	0.00	0.31
表 9	燃焼残渣率 (%)	20.5	0.0	31.2
	低位発熱量 (MJ/kg)	26.1	46.7	22.5

MCC 測定条件)

- ・熱分解炉のパーシガス：N₂ (試験方法 A) または Dry Air/O₂ は約 20% (試験方法 B)
- ・熱分解炉の温度範囲：100~800°C
- ・熱分解炉の昇温速度：1°C/秒

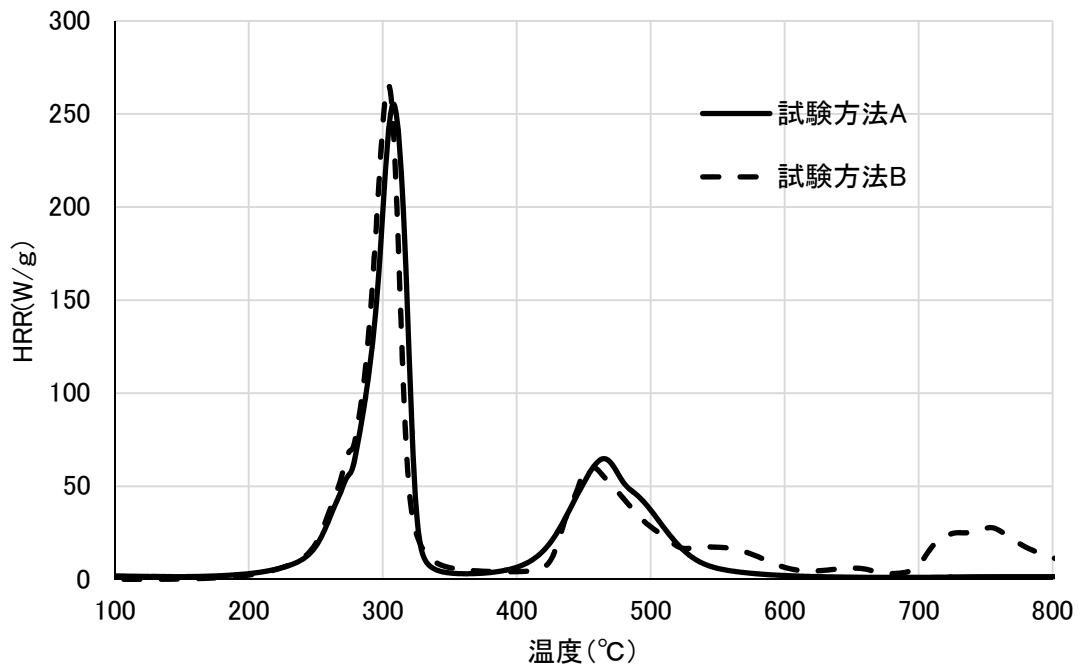


図 10-1. PVC の発熱速度 (HRR)

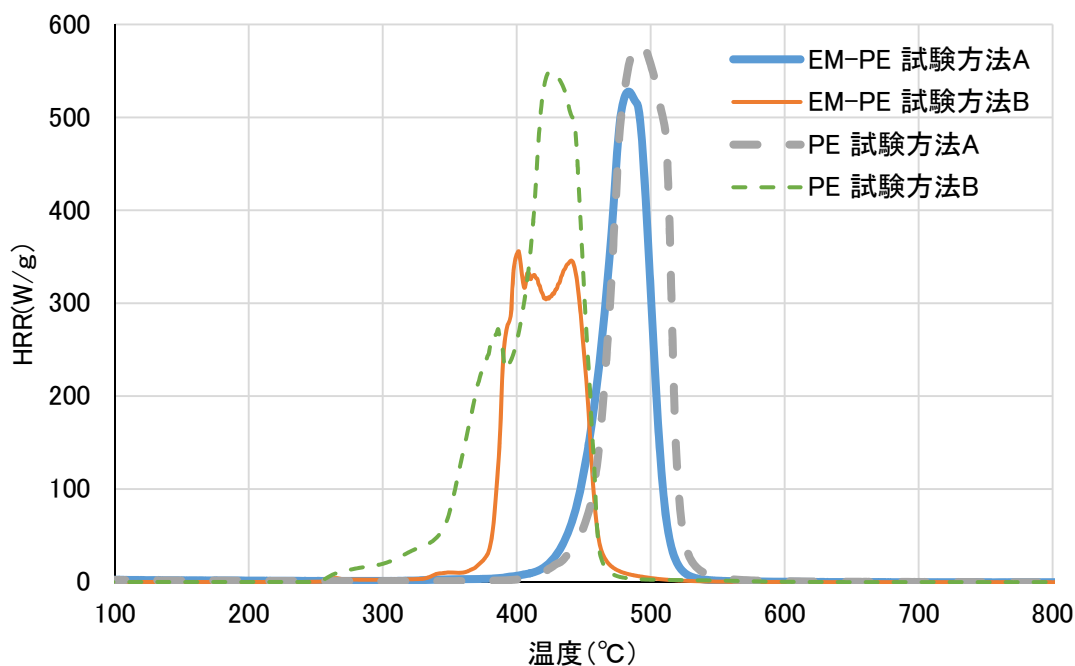


図 10-2. PE、EM-PE の発熱速度 (HRR)

5. 被覆材料のサーマルリサイクルに向けての課題

今回の訪問調査及び廃電線・ケーブルの被覆材料を模擬したサンプルの評価より以下のサーマルリサイクルに向けての課題がわかった。

<選別時>

①廃被覆材料への銅、アルミニウムの混入は望ましくない。

<材料設計時>

②焼却残渣は、埋立処理されるため、また処理費用へも反映されるため極力少ないことが望ましい。

③排ガス規制物質、鉛処理阻害物質、腐食性物質として特に塩素、カルシウム、フッ素などは、望ましくない。

④発熱量は、3000～5000 kcal/kg が目安となると考えられる。

今後、②～④も踏まえて、被覆材料の改良、開発がなされることが必要と考える。

なお、③、④については、焼却前に他廃棄物と混合し、希釈により管理できれば、焼却は問題ないと考えられるが、昨今の廃プラなどの排出状況により焼却事業者として、炉の安定稼動などを目的に、炉に負担をかけない廃棄物を優先的に受け入れる傾向がみられる。

おわりに

廃棄物の適正処理として、現在は「公衆衛生の向上」「生活環境の保全」だけでなく、「CO₂排出抑制」「天然資源の節約」も必須となりつつある。これを実現するためには、電線・ケーブルの被覆材料の開発にも、その検討は必須となることが考えられる。今後、JECTECとしては、廃電線・ケーブルの被覆材料の燃料化にとどまらず、電線業界の将来に貢献する調査研究を実施していきたい。

参考文献

- 1) 環境省：産業廃棄物の排出・処理状況について（平成 26 年度実績）
(<http://www.env.go.jp/press/files/jp/104386.pdf>)
- 2) 一般社団法人 日本電線工業会のホームページに公表されているデータをもとに作成
(<http://www.jcma2.jp/>)
- 3) 一般社団法人 プラスチック循環利用協会：2016 年 プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 マテリアルフロー図
- 4) 一般社団法人 プラスチック循環利用協会：プラスチックリサイクルの基礎知識 2015
- 5) 一般財団法人 日本規格協会(2010)：JIS Z 7311「廃棄物由来の紙、プラスチックなど固形化燃料（RPF）」
- 6) 一般財団法人 セメント協会のホームページに公表されているデータをもとに作成
(<http://www.jcassoc.or.jp/seisankankyo/seisan01/seisan01a.html>)
- 7) 環境省：廃棄物処理における熱回収
(https://www.env.go.jp/press/y0310-01/mat03_1_P3.pdf)
- 8) 一般社団法人 プラスチック循環利用協会：2016 年度 廃プラスチックの動向調査報告書（発電焼却で有効利用される産業系廃プラスチック） 2017 年 3 月
- 9) 環境省：産業廃棄物処理施設状況調査報告書（2014 年度）
- 10) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) 平成 18 年度成果報告書「電線被覆物リサイクルの現状及び架橋ポリエチレン廃棄物のクローズドリサイクル技術適用に関する調査」
- 11) 財務省貿易統計のホームページに公表されているデータをもとに作成
(<http://www.customs.go.jp/toukei/info/index.htm>)
- 12) 一般社団法人 日本電線工業会：EM 電線・ケーブルの識別方法

謝辞

訪問調査、モデルサンプルの評価に多大なご理解とご協力を頂きました各社におかれましては、ここに改めて感謝致します。

禁無断転載

自主研究

「電線被覆材料の燃料化に関する調査」

(研究期間：平成 29 年 4 月～平成 30 年 3 月)

報 告 書

平成 30 年 3 月

一般社団法人 電線総合技術センター

〒431-2103

静岡県浜松市北区新都田一丁目 4 番 4 号

TEL:053-489-4250

(免責事項)

記載している情報もしくは内容に関連して直接・間接的に生じた
いかなる損失に関し、当センターは一切責任を負いません。