

令和5年度脱炭素型循環経済システム構築実証事業
(うち、プラスチック等資源循環システム構築実証事業)
(光ファイバーケーブルの微粉碎化混錬技術による
高度リサイクルプロセス構築及び省CO₂化実証事業)
委託業務
成果報告書

令和6年2月
株式会社MSC

令和5年度脱炭素型循環経済システム構築実証事業

(光ファイバーケーブルの微粉碎化混錬技術による高度リサイクルプロセス構築及び省CO₂化実証事業)

成果報告書概要

1. 業務の目的

光ファイバーケーブルは、ガラスコア線を含む複合素材プラスチックであり、従来リサイクルが困難であった。使用後に鉄の硬線を取り除いた後は、リサイクルはできず焼却や熱回収されているのが現状である。

そこで、本実証事業では、光ファイバーケーブルに含まれるガラスコア線を取り除かずにそのまま微粉碎化し溶融混錬を行うことで、可とう電線管などの光ファイバーケーブル付帯設備にセミクローズドマテリアルリサイクルすることを目的とした。また、上記のリサイクル及び、リサイクル品の水平リサイクルを実現するためにメーカーによる自主回収フローの構築を行うことを目的とする。これにより、化石資源由来のバージン樹脂使用量の削減及び、エネルギー起源CO₂排出量の削減について、採算ベースでの実現を目指す。

また、光ファイバーケーブルの高度リサイクルプロセスが実現した場合を想定し、既存の資源循環システムに対して、どのような影響があるかを事前に検討する必要があるため、LCAの検証・評価を行った。

2. 業務の内容

(1) 光ファイバーケーブルについて微粉碎化混錬による高品質なペレット化実証

①粗破碎から微粉碎工程での実証内容

光ファイバーケーブルの最適な微粉碎化処理の技術開発を行うため、破碎機及び微粉碎機を用いた微粉碎径及び機械的条件の最適化に向けての検討を行なった。従来平均粒径 3mm の粉碎が技術限界であったが、微粉碎化により平均粒径 300 μm の安定的な微粉碎を 5 時間以上、処理量 150kg/h で連続的に処理できる条件を確立した。

②比重分離工程での実証内容

光ファイバーケーブルからアルミニウム粉の分離技術開発を行うため、比重分離槽を用いた分離条件の最適化に向けての検討を行なった。破碎径の調整により、分離率 95%~98% での分離率での 5 時間以上、処理量 150kg/h の連続処理に成功した。また、アルミニウム層を含む、光ファイバーケーブルのロットを調査した所全体の 10%程度であり、本処理工程は実際にはあまり活用されないことも判明した。

③熔融混錬工程での技術実証内容

光ファイバーケーブルにおいて本来混ざり合わない樹脂同士を低温で擬似的に相溶させるための熔融混錬技術開発を行うため、二軸押出機を用いた熔融混錬条件の最適化に向けての検討を行なった。平均粒径 6mm の粉碎原料を用いた混錬ではガラスコア線及び不織布が擬似相溶せず析出していたが、平均粒径 300 μm の微粉碎原料では擬似相溶に成功した。この機械条件として一軸の押出機では十分な混錬が難しく、一定のダルメージを持った二軸押出機を使用することが必須である。機械的物性では引張破断伸度に顕著な変化が見られ、粉碎原料と比較して微粉碎原料では 7 倍もの向上が見られた。5 時間以上、処理量 150kg/h の連続処理能力も確認できた。

(2) 光ファイバーケーブルペレットの光ファイバーケーブル付帯設備への成形技術の実証

①製品への用途探索と改質

製品として要求物性を満たせるような可とう電線管の種類や、光ファイバーケーブル付帯設備を検討し、要求物性に合わせた耐候性などの添加剤の最適化に向けての検討を行なった。

市場に流通している 5 種の可とう電線管の物性試験を行なった結果、5 種すべてについて比較して廃光ファイバーケーブルの物性は柔らかく曲げ弾性強度が低いものが多いことが判明した。これにバージン材を一定量配合する改質によって上記点を改善する方法を提示した。可とう電線管以外の付帯設備へのリサイクルについても検討の必要があることが判明した。耐候性については耐候性試験の結果、新たに添加剤を加えず、光ファイバーケー

ブルが元々備えている添加剤のみでも、十分な結果を得られることが判明した。また耐候性材の添加によってより高い耐候性効果も得られた。リサイクル前の原料の物性や特性を活かしたリサイクルの可能性について示唆が得られた。

②可とう電線管の成形

可とう電線管の成形技術開発を行うため、配管成形機を用いた成形条件の最適化に向けて検討を行った。改質等によって市場流通品と同等の性能を持つ配管の成形に成功した。付帯設備として電線カバーの成形を行った他、アスファルト材への転用も検討した。

(3)光ファイバーケーブル付帯設備の水平リサイクルフロー構築の実証

①光ファイバーケーブル付帯設備の水平リサイクルフロー技術実証

使用後の可とう電線管を再び可とう電線管に水平リサイクルするための技術検討を行なった。工場ロス品と同等の環境下で行なった試験では、5回までの溶融混練及び粉碎において、分散性の向上による物性の改善が見られた。

②光ファイバーケーブル付帯設備の回収フロー構築実証

光ファイバーケーブル及び付帯設備の自主回収システム構築に向けて大手通信事業者や電線事業者と協議し、実施に向けた検討を行なった。通信事業者へのヒアリング調査を実施し、通信事業者や業界団体に向けた光ファイバーケーブルリサイクルガイドラインを作成した。

(4)LCAの検証・評価

廃光ファイバーケーブルについて、ライフサイクルでのCO₂削減効果の算定を行なった。機能単位は、廃光ファイバーケーブルの処理と可とう配管の生産とし、ベースラインを廃光ファイバーケーブルの焼却処理と新規の可とう配管の生産とした。CO₂削減効果はエネルギー起源で3.421kg-CO₂/kg、合計で4.719kg-CO₂/kgとなった。年間の国内流通量が9,000t/年と予想されているので、全量を処理した場合の削減効果は、エネルギー起源で30,789t-CO₂eq、合計で42,471t-CO₂eqとなった。

3.次年度以降に求められる取組

作成した光ファイバーケーブルリサイクルガイドラインについて、通信事業者や電線事業者及びその業界団体と協議を重ね、実施に向けて他の検討要素を詰めていく必要がある。付随して、工場作業時の安全対策や、長期間の稼働を通じた消耗部品の消耗具合等の試験を重ね、実用化に向けて検討を重ねる必要がある。LCAの検証・評価についても、実測のデータを増やし、検証精度を高める必要がある。

Entrusted Works of the Fiscal 2023 Project for the Promotion of the Establishment of the Decarbonizing Recycling-Oriented Economy System (demonstration project of the establishment of the recycling system for resources including plastic therein) (demonstration project of a highly advanced recycling process establishment and carbon dioxide (CO₂) saving by means of optical fiber cable pulverization and kneading techniques)

Overview of Progress Report

1. Purpose of project

An optical fiber cable is made of composite plastic containing glass core wire; therefore, it has conventionally been difficult to recycle. In reality, used optical fiber cables, after removal of their hard iron wires, are not recycled but are incinerated or thermally recovered.

To address this issue, this demonstration project aimed at achieving semi-closed material recycling of optical fiber cables into ancillary equipment of optical fiber cables, such as flexible electric wire conduit, by pulverizing optical fiber cables and then melting and kneading them without removing the glass core wire. To realize the above recycling and horizontal recycling of recycled items, this project also aimed at establishing a manufacturer's voluntary collection flow. Thus, we aim at realizing reduction of fossil-derived virgin resin use amount and reduction of energy-derived CO₂ emissions in a commercially viable manner.

On the assumption of a case where an advanced optical fiber cable recycling process has been realized, we verified and evaluated LCA because we needed to discuss in advance what influence the advanced recycling process may exert on existing resource recycling systems.

2. Project contents

(1) Demonstration of high-quality pelletizing of optical fiber cable by means of pulverization and kneading

1) Contents of demonstration in rough crushing to pulverization processes

To develop technology for optimum pulverization of optical fiber cable, we studied optimization of pulverization diameter by means of crusher and pulverizer, as well as the mechanical conditions. While crushing into an average particle size of 3 mm has conventionally been the technical limit, through pulverization refinement, we established the conditions for stably conducting pulverization with an average particle size of $300\ \mu\text{m}$ for 5 hours or longer at a processing rate of 150 kg/h.

2) Contents of demonstration in gravity separation process

To develop the technique to separate aluminum powder from optical fiber cable, we studied optimization of the conditions for separation using a gravity separation tank. Through adjustment of the pulverization diameter, we succeeded in continuous processing for 5 hours or longer at separation rates of 95 to 98% and a processing rate of 150 kg/h. In addition, we investigated the lots of optical fiber cables, including ones with an aluminum layer, and found that only around 10% of the total lots had an aluminum layer, which means that this processing process is actually not very useful.

3) Contents of technical demonstration in the melting and kneading process

To develop a melting and kneading technique for making resins in the optical fiber cable that are originally immiscible with each other compatibly mixable in a pseudo manner at a low temperature, we conducted a study for optimization of the conditions for melting and kneading by means of a twin-screw extruder. In the kneading that uses pulverized raw materials with an average particle size of 6 mm, the glass core wires, and nonwoven cloth were precipitated without pseudo compatible mixing. However, with the pulverized raw materials with an average particle size of $300\ \mu\text{m}$, pseudo compatible mixing succeeded. As a mechanical condition for this pseudo compatible mixing, sufficient kneading is difficult with a single-axis extruder, and it is necessary to use a twin-screw extruder with certain Dulmage. In the mechanical physical properties, the tensile elongation at the break showed a remarkable change, and in a comparison with the pulverized raw materials, the tensile elongation at the break with finer pulverized raw materials

showed improvement as high as seven times. A continuous processing capability for 5 hours or longer at a processing rate of 150 kg/h was also confirmed.

(2) Demonstration of molding technique of optical fiber cable pellets into optical fiber cable ancillary equipment

1) Search for usage for product and modification

We discussed the types of flexible electric wire conduit and optical fiber cable ancillary equipment that could satisfy the required physical properties as products and conducted a study toward optimization of properties, including weather resistance, of the additives in accordance with the required physical properties.

We conducted a physical property test on five types of commercially available flexible electric wire conduits and confirmed that in a comparison with all five types, many waste optical fiber cables were softer and with a lower elastic modulus in bending as their physical properties. We presented a method to improve the above properties through a property modification of blending with a certain amount of virgin material. We confirmed that it was also necessary to discuss recycling into ancillary equipment other than flexible electric wire conduits. As a result of weather resistance tests, we confirmed that it is possible to obtain sufficient results only with the additive originally contained in optical fiber cables and without newly adding an additive. When a weather-resistant agent was added, a better weather resistance result was obtained. We obtained a hint for the possibility of recycling that utilizes the physical properties and characteristics of the raw materials as of before recycling.

2) Molding of flexible electric wire conduit and others

To develop molding technology for flexible electric wire conduits, we conducted a study towards optimization of the conditions for molding using a piping molding machine. Through property modification and other means, we succeeded in the molding of pipes that exhibit performance equivalent to those of commercially available products. We also molded electric wire covers as auxiliary equipment and studied the conversion to asphalt material.

(3) Demonstration of the establishment of horizontal recycling flow of optical fiber cable ancillary equipment

1) Demonstration of technology for horizontal recycling flow of optical fiber cable ancillary equipment

We conducted a technical study for horizontal recycling of used flexible electric wire conduits into flexible electric wire conduits again. In a test conducted in the same environment as that for factory loss items, in performing melting/kneading and pulverization five times, the improvement of physical properties due to the improvement of dispersibility was observed.

2) Demonstration of the establishment of collection flow of optical fiber cable ancillary equipment

We consulted with a major telecommunication business operator and an electric wire business operator for the establishment of a voluntary collection system of optical fiber cable and ancillary equipment and conducted a study toward its realization. We conducted an interview with the telecommunication business operator and prepared guidelines for the recycling of optical fiber cable for the telecommunication business operator and industry groups.

(4) Verification and evaluation of LCA

Concerning waste optical fiber cables, we calculated the CO₂ reduction effect in their life cycle. The function unit was set to the processing of waste optical fiber cables and the production of flexible conduits, and the baseline was set to the incineration processing of waste optical fiber cables and the production of new flexible conduits. The CO₂ reduction effect was 3.421 kg-CO₂/kg for energy-derived CO₂ and 4.719 kg-CO₂/kg in total. As the annual domestic circulation amount is estimated to be 9000 tons/year, the CO₂ reduction effect when all volumes are processed was calculated to 30,789 t-CO₂eq for energy-derived CO₂ and 42,471 t-CO₂eq in total.

3. Efforts we are required to make in the next fiscal year onwards

Concerning the prepared guidelines for the recycling of optical fiber cable, we need to hold discussions with the telecommunication business operator, electric wire business operator, and relevant industry groups and thoroughly determine other matters to be discussed toward the implementation of the guidelines.

In association with this effort, we also need to conduct tests on the safety measures for tasks in the factory and the degree of wear and other conditions of consumable parts in long-term operation and hold discussions toward practical use of the recycling techniques. Concerning the verification and evaluation of LCA, we will conduct demonstrations at higher accuracy by increasing the actual measurement data.

目次

1	業務の目的と背景	10
1.1	業務の目的	10
1.2	業務の背景	11
1.3	リサイクルする光ファイバーケーブルの特徴	11
1.4	リサイクル素材の市場動向	15
1.5	実証事業後における、実証技術による波及効果の予測	16
1.5.1	微粉碎化による比重分離精度の向上	16
2	業務の内容	18
2.1	光ファイバーケーブルについて微粉碎化混錬による高品質なペレット化実証 (粗破碎から微粉碎工程での実証内容、比重分離工程での実証内容、溶融混錬工程での技術実証内容)	18
2.1.1	緒言	18
2.1.2	アプローチ	19
2.1.3	取組結果	33
2.2	光ファイバーケーブルペレットの光ファイバーケーブル付帯設備への成形技術 の実証(製品への用途探索と改質、可とう電線管等の成形)	55
2.2.1	緒言	55
2.2.2	アプローチ	58
2.2.3	取組結果	71
2.3	光ファイバーケーブル付帯設備の水平リサイクルフロー構築の実証(光ファイ バーケーブル付帯設備の水平リサイクルフロー技術実証、光ファイバーケー ブル付帯設備の回収フロー構築実証)	84
2.3.1	緒言	84
2.3.2	アプローチ	84
2.3.3	取組結果	85
2.3.4	光ファイバーケーブルリサイクルに関する通信事業者へのヒアリング実施	85
2.3.5	通信事業における光ファイバーケーブルリサイクルの実施にむけた情報収 集	88
2.3.6	リサイクルシステムの構築に向けた他業界の取組状況の把握.....	95
2.3.7	通信事業における光ファイバーケーブルリサイクルの実施にむけたガイド ライン作成	113
2.4	LCA の検証・評価	114
2.4.1	実施目的	114
2.4.2	評価対象製品とベースライン	114

2.4.3	機能単位.....	114
2.4.4	システム境界.....	114
2.4.5	地理的条件.....	116
2.4.6	影響領域.....	116
2.4.7	バックグラウンドデータ.....	117
2.4.8	評価対象製品に関わる算定条件と GHG 排出量.....	117
2.4.9	ベースラインに関わる算定条件と GHG 排出量.....	122
2.4.10	GHG 排出削減効果.....	125
2.4.11	考察と課題.....	127
2.4.12	添付資料.....	136
3	実証期間後に求められる取組.....	138
3.1	通信事業における光ファイバーケーブルリサイクルの実施にむけた情報収集	138
3.2	リサイクルシステムの構築に向けた他業界の取組状況の把握.....	138
3.3	粉体作業（粉塵爆発）安全工程見学先調査.....	138
4	参考資料.....	139
4.1	光ファイバーケーブルリサイクルガイドライン（叩き台）.....	139
4.1.1	ガイドライン策定の背景.....	139
4.1.2	本ガイドラインの対象.....	139
4.1.3	光ファイバーケーブルのリサイクルに係る現状と課題.....	140
4.1.4	光ファイバーケーブルリサイクルガイドラインの構成.....	141
4.1.5	光ファイバーケーブルリサイクルガイドラインの内容.....	142
4.1.6	参考資料.....	148

1 業務の目的と背景

1.1 業務の目的

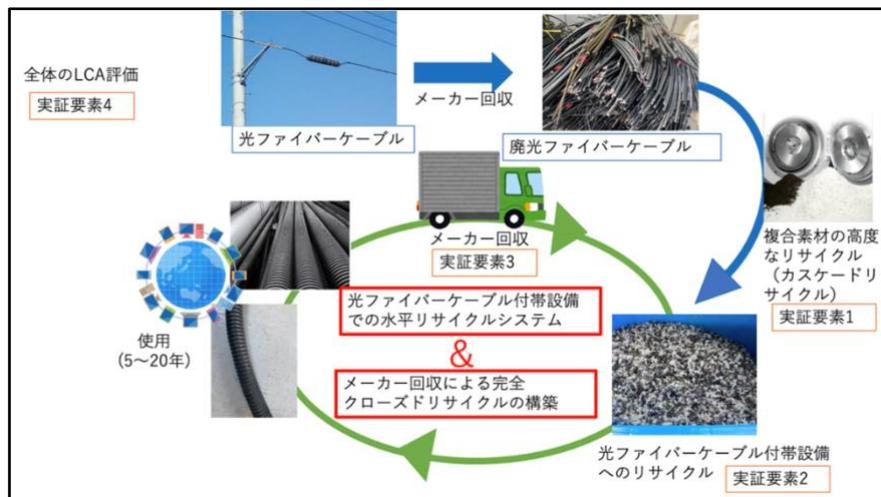
国内において「プラスチック資源循環戦略」が掲げられ、目標値として 2035 年までに、「すべての使用済プラスチックをリユース又はリサイクル、それが技術的経済的な観点等から厳しい場合には熱回収も含め 100%有効利用するよう、国民各界各層との連携協働により実現を目指す」と定めた。

バイオマスプラスチックや紙などの代替の推進も重要な取り組みとなるが、特殊な場面で使用される商品にはプラスチック以外の代替が困難なこともある。そうした商品はリサイクルも困難である場合が多いが、従来リサイクルが困難であった複合素材プラスチックについても、リサイクル技術・システムを高度化し、資源循環システムを構築する必要がある。光ファイバーケーブルは、ガラスコア線を含む複合素材プラスチックであり、従来リサイクルが困難であった。使用後に鉄の硬線を取り除いた後は、リサイクルはできず焼却や熱回収されているのが現状である。

そこで、本実証事業では、光ファイバーケーブルに含まれるガラスコア線を取り除かずそのまま微粉碎化し熔融混練を行うことで、可とう電線管などの光ファイバーケーブル付帯設備にセミクローズドマテリアルリサイクルすることを目的とした(図表 1 実証要素 1)。また、上記のリサイクル及び、リサイクル品の水平リサイクル(図表 1 実証要素 2)を実現するためにメーカーによる自主回収フローの構築を行うことを目的とした(図表 1 実証要素 3)。これにより、化石資源由来のバージン樹脂使用量の削減及び、エネルギー起源 CO2 排出量の削減について、採算があうシナリオでの実現を目指す。

また、光ファイバーケーブルの高度リサイクルプロセスが実現した場合を想定し、既存の資源循環システムに対して、どのような影響があるかを事前に検討する必要があるため、LCA の検証・評価を行った(図表 1 実証要素 4)。

図表 1 実証事業全体のイメージ図



1.2 業務の背景

光ファイバーケーブルは主に情報通信に用いられる。現代の高度情報化社会において、膨大な情報をやり取りする手段の主軸を担っており、現行の無線通信や銅電線では代替できない。光ファイバーケーブルはガラスコアと保護用のシース、強度保持用の鉄硬線からなる。光信号を通すガラスコア線は、PE や PVC 製の保護膜で覆われており、この線が数十～数百本束ねられ、保護用のシース内に収まる。光ファイバーケーブルは構成される材料が多岐にわたる複合素材プラスチックである。プラスチックだけでも HDPE、LDPE、難燃剤入 PE、PVC、PA と多岐に渡り、さらにコア線のガラスと、保護膜のアルミニウム箔で構築される。さらに鉄硬線以外の素材同士は蒸着しており、分離が困難である。

使用済の廃光ファイバーケーブルのリサイクルや適正処理については、使用量が拡大した 20 年前から社会課題となり、NTT や大手電線メーカーを中心に対策に悩まされてきた。ケーブルの外皮を機械的にはぎ取る剥線法や外皮を炭化させガラスコアを取り出す手法などが検討されたが、コスト高で実用化には至らなかった。2000 年頃から、大手メーカーのイメージアップとしてごく少量の光ファイバーケーブルについては剥線法で PE を分離し、文書用のファイルや配管等にマテリアルリサイクルを行なっているが、大部分はセメント製造時の熱エネルギーの代替としてサーマルリカバリー(熱回収)されてきた。

しかし、2017 年末の中国廃棄物輸入規制や、バーゼル条約の改正により、国内で低質の廃プラスチック在庫が溜まった。廃プラスチックの輸出量は 2017 年と 2019 年で比較し、年間 50 万トン減少しているが、減少量を補うだけのプラスチック排気量抑制や再生プラスチックの国内流通量増加は見られない。セメント製造工程は汚れたプラスチックでも受け入れられる為、処理要請が殺到し製造工程での需要量を大幅に超えている。元々光ファイバーケーブルはセメント内にガラス残渣が残るため、セメント製造業者からは嫌がられてきた為、この状況下で受け入れを拒否された。結果的に 2019 年以降廃棄される光ファイバーケーブルのほぼ全量が熱回収もしくは、産業廃棄物として単純焼却されている。

1.3 リサイクルする光ファイバーケーブルの特徴

本実証で、リサイクルするプラスチックである光ファイバーケーブルは、多種類のプラスチックと金属が接着した複合素材である。メーカーや品番ごとに組成や構成が異なる。主には下記の 2 つの型からなる。

一つは、光コア線と硬線が一体型となった一体型(図表 2)。もう一つは、硬線とコア線が分離した分離型(図表 3)である。光コア線とは、ガラスファイバーコアが入ったデータ通信線本体の線である。

硬線とはコア線の折れ曲がりや破断を防ぐための鉄製の支持線である。

図表 2 光ファイバーケーブル(コア線と硬線が一体型)



図表 3 光ファイバーケーブル(硬線(左)とコア線(右)が分離した、分離型)



代表的な一体型と分離型を分解し、内部の組成を調べる。下記図のようになった。

図表 4 一体型の光ファイバーケーブル解体図



左が内側で右に行くほど外側の素材を並べている。左から鉄芯(鉄)・保護素材(HDPE)・緩衝材(LDPE)・光コア線(ガラス製、PE被覆付)・不織布(PA)・シース(PE)からなる。

ここで、リサイクル時に鉄芯は、剥離機や磁力選別により選別が可能である。また HDPE と LDPE からなる保護素材及び緩衝材、光コア線被覆についてはお互いに擬似相溶性を示すためマテリアルリサイクルが可能である。ガラス製の光コア線及び不織布については、お互いに擬似相溶性を示さないため、マテリアルリサイクルにおいて課題となる。

図表 5 分離の光ファイバーケーブル解体図



左が内側で右に行くほど外側の素材を並べている。左1番目が硬線（鉄芯に保護素材(LDPE)被覆)。左2番目から順に、ガラスコア、保護素材(HDPE)、不織布、シース(PEにアルミ層が蒸着)からなる。

ここで、一体型と同様に、鉄芯は、剥離機や磁力選別により選別が可能である。また HDPE と LDPE からなる保護素材及び緩衝材、光コア線被覆についてはお互いに擬似相溶性を示すためマテリアルリサイクルが可能である。ガラス製の光コア線及び不織布については、お互いに擬似相溶性を示さないため、マテリアルリサイクルにおいて課題となる。

さらに、シースに蒸着したアルミ層が課題となる。手作業によってシースとアルミ層を剥離する工程はコストがかかり、採算が合わない。しかしながら、リサイクルにおいては、プラスチックに混ざることによって製品の品質を下げる他、機械の摩耗劣化のスピードや故障リスクを跳ね上げてしまう。

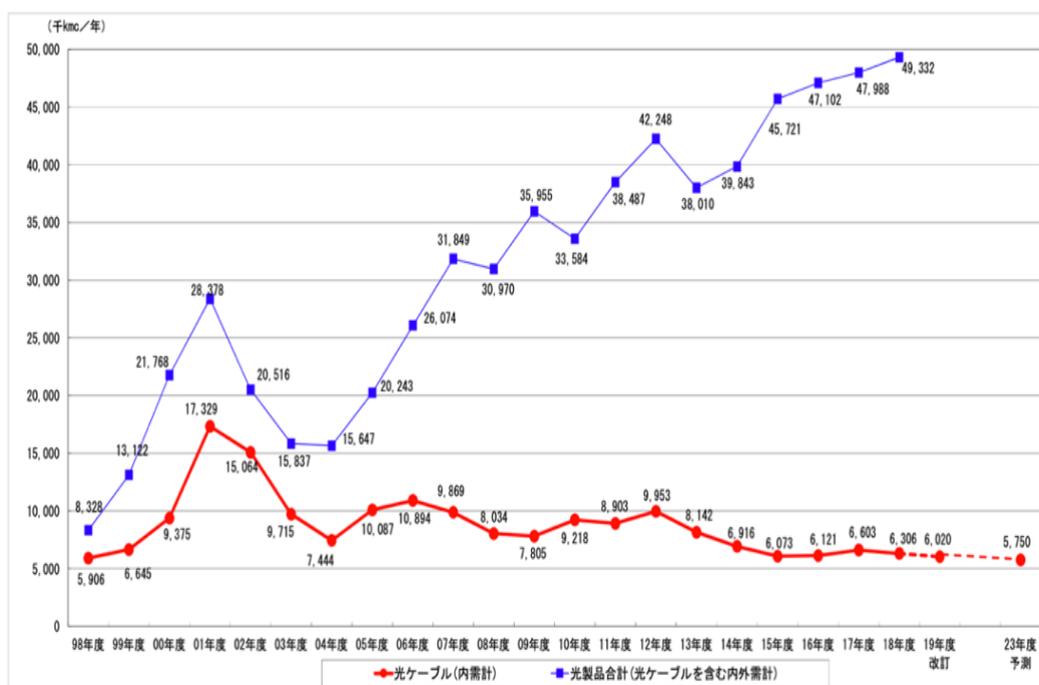
1.4 リサイクル素材の市場動向

国内流通量は約 9、000 トン/年で微減傾向にあるが安定して見通せる。

リサイクル対象物は、耐用年数の過ぎた廃光ファイバーケーブル及び、製造ロス品である。対象物の流通量統計は取られていないが、北日本電線へのヒアリングでは国内 9、000 トン/年前後と回答を受けている。また、古河電工株式会社は HP 上で光ファイバーケーブルの処理量を公開しており 1、033 トン/年(平成 20 年度)である。古河電工株式会社の光ファイバーケーブルの国内シェアは約 12%なので、シェアから概算すると約 8、600 トンであり、ヒアリング内容と概ね一致した。

30 年間の光ファイバーケーブルの国内製造量は下記表の通り。光ファイバーケーブルの耐用年数は 20 年であり、近年使用年数は伸びつつある。そのため、今後 20 年間のケーブルの撤去量は緩やかな減少傾向にあると予測できる。

図表 6 30 年間の光ファイバーケーブルの国内製造量



出典：一般社団法人日本建設機械施工協会/2019 年度国内光ファイバーケーブル需要見通し (https://www.jcma2.jp/files/News/hikari_20191007.pdf)

1.5 実証事業後における、実証技術による波及効果の予測

本実証事業によって解決が見込まれる微粉碎化技術によって、複数のプラスチックや金属が混ざり合った複合素材の大多数においてリサイクルが進む。微粉碎化により、比重分離精度が向上すると共に、混錬による分散効果が向上した。現在弊社で基礎実験や実証が進む例を取り上げる。

1.5.1 微粉碎化による比重分離精度の向上

1.5.1.1 電力用銅電線の完全なマテリアルリサイクル

電力供給に用いる電線は、重量比 55%が 99.99%純度の銅線、15%がアルミニウム保護層、30%が PE 及び架橋 PE で構築される。30 年以上に渡って、電線は NTT や大手電力会社といった敷設者が自主回収し、剥離法による手作業で銅とそれ以外との分離が行われてきた。1970 年代までは国内でアルミニウム保護層とプラスチックの分離についても手作業で行われていたが、80 年代以降は国内の人件費の上昇と共に採算が合わなくなり、中国へ輸出し、中国国内での解体分離に頼ってきた。バーゼル条約の改正等により輸出ができず、現在は 80%以上を産業廃棄物として単純焼却し、国内リサイクルの目処は立たない。

電線被覆も本実証事業によってマテリアルリサイクルが可能となる。アルミニウム保護層とプラスチック類を微粉碎した後、比重分離でアルミニウムとプラスチック類に分ける。アルミニウム粉は金属リサイクル業者に有価売却できるが、プラスチック類に含まれる架橋 PE が従来熱溶融しないためマテリアルリサイクルができないものとされてきた。弊社では創業前の 15 年前から架橋 PE の再生に取り組み、世界で初めて再生に成功し、2015 年に特許を取得している。微粉碎の成果技術に弊社の特許技術を掛け合わせることで、採算があったマテリアルリサイクルが可能となる。

CCP 銅電線の解体を、京浜金属工業が 300~500 トン/年行なっている。昨年度より、銅とアルミニウムを売却し、架橋を部分的解除した PE 類の再生ペレットを電線メーカーにて配管等に再利用する方向性で実証を検証している。令和 13 年までに京浜金属工業で 1,000 トン/年の再生、国内全体で需要量の 1 割にあたる 60,000 トン/年の再生を見込む。

1.5.1.2 アルミ蒸着フィルムのマテリアルリサイクル

アルミ蒸着フィルムは、ポテトチップスの包装や詰め替え用洗剤の包装等に広く用いられている。今の科学技術で、酸素や水分の透過を完全に防ぐバリア素材は、アルミ層以外にない代替できない。アルミは鋳石の精錬時に膨大な電気エネルギーが必要であり、リサイクルアルミはこの 20 分の 1 の電気エネルギーで製造可能である為アルミ業界は率先してリサイクルアルミを推進してきた。自動車では 91%アルミ缶では 73%ものリサイクルに成功する中、アルミ蒸着フィルムのリサイクル率のみは 0.1%であり大きな障害である。微粉碎技術により、詰め替え用洗剤包装等、厚さ 11mm 以上のフィルムを微粉化し、プラスチック層とアルミ層に分離することが可能となる。今後はポテトチップス包装のように薄いフィルム

の分離技術を高めると共に、工場や市場から効率的にフィルムを収集した回収フローの実証が必要。再生に着手した場合実証に2年間かかり、事業化初年度で50トン/年の再生、5年後で5,000トン/年を見込む。

1.5.1.3 微粉砕化とせん断混錬溶融による擬似相溶性の飛躍的な向上

容器包装リサイクル法材と、製品プラスチックを取り上げる。4月に施行されたばかりのプラスチック資源循環推進法では、市区町村によるプラスチック使用製品廃棄物の分別収集・再商品化が可能となった。製品プラスチックの一括回収により、これまで容器包装に多く含まれていたLDPE、PP、PVCに加え、HDPE、PS、ABS、PC、混入金属類を一括して分別と再商品化が必須となる。これまでも容器包装リサイクル法材では耐久性の低い物流パレットといった低質なマテリアルリサイクルとケミカルリサイクルが主流であり、今後はさらにマテリアルリサイクルのハードルが高くなる。一定程度は光学選別技術の発展により課題解決が見込めるが、複合素材は光学選別が不可能であった。微粉砕化とせん断混錬溶融による擬似相溶性の飛躍的な向上が必須となる。こちらは社会実験に2年かかり、3年後には特定の自治体の全量の高品質なりサイクルが可能となる。

2 業務の内容

2.1 光ファイバーケーブルについて微粉碎化混錬による高品質なペレット化実証(粗破碎から微粉碎工程での実証内容、比重分離工程での実証内容、熔融混錬工程での技術実証内容)

2.1.1 緒言

光ファイバーケーブルのペレット化までのフローは下記である。フロー要素ごとに実証内容をまとめた。

「鉄硬線の剥離」→「粗破碎」→「微粉碎」→「水比重分離」→「熔融混錬」

2.1.1.1 粗破碎から微粉碎工程での課題と実証内容

光ファイバーケーブルコアは直径 $125\mu\text{m}$ 程度の極めて細いガラス線であり、従来リサイクル業界で使われる粉碎機の破碎能力限界(6mm)では破碎できない。事前実験では最大 3cm の長さのコア線が析出してしまい、ペレット加工時に大きな障害となった。今回、協力企業の有限会社京浜金属工業と共同で、通常顔料等の微粉碎に用いる微粉碎機を開発し、リサイクル現場に国内初導入した。導入にあたっては、光ファイバーケーブルの特性に合わせ微粉碎刃の選定等を工夫した。本微粉碎機は $150\mu\text{m}$ まで微粉碎が可能である。粉碎径が小さくなるほど処理能力が指数関数的に落ちる為、微粉碎径を $300\mu\text{m}\sim 500\mu\text{m}$ まで変化させる。引っ張り強度等の機械的特性を(株)セレンが測定し、最適な破碎径を探る。微粉碎粒子は水分量が低くなると粉塵爆発の危険性がある。また微粒子は機械熱や摩擦熱の影響を受けやすく、投入原料が大きすぎると粉碎機に負荷がかかり、PE が溶け微粉碎機内部で固まりやすい。以上の条件を解決するための最適な稼働条件を探索した。また、5 時間以上、処理量 150kg/h で連続的に処理できる条件を検討した。

また、粉体作業(粉塵爆発)安全工程見学先調査を行う。キャノン株式会社を視察し、トナーカートリッジリサイクルにて発生するトナー等微粉への対応方法を参考に、微粉碎技術利用時における粉塵爆発、作業環境等への対応方法の調査を行う。

2.1.1.2 比重分離工程での課題と実証内容

製品時に不純物となるアルミニウム膜を分離した。ケーブルロットの調査結果から、アルミニウムがついた光ファイバーケーブルのロットは全体の 5%以下とかなり少ないことが判明しているが、技術実証の観点から分離試験を実施した。事前試験では 3mm に破碎した光ファイバーケーブル被覆の比重分離後のアルミニウム粉側の純度は 72%、プラスチック側のアルミニウム混入率は 10%であった。資源循環の観点からアルミニウム粉は金属メーカーに売却を想定しており、売却のためにアルミニウム粉の純度は 90%以上である必要がある。また、プラスチック側の混入率も 10%以下である必要がある。比重分離の精度は粒子径が小さいほど上がるため、原料径を $300\mu\text{m}\sim 3\text{mm}$ で変化させ、精度の高い条件を探る。また、PE の比重

は 0.92 以下で、ガラス比重は 2.5 程度、アルミニウム比重は 2.71 であるため、通常は沈み側のアルミニウム粉にガラスが混ざる。しかし、微粒子は表面張力により水に浮く。その性質を利用してアルミニウム粉だけが選択的に沈むような条件を探索した。

2.1.1.3 溶融混練工程における課題と技術実証内容

光ファイバーケーブルは複合素材であり、配合比の高い LDPE、HDPE の適正温度帯での溶融混練では、PA は溶けず、PVC は塩素の分離が起きてしまう。弊社は既存研究で PE フィルムと他の樹脂のフィルムを貼り合わせた複合フィルムの混練において、本来混ざり合わない樹脂同士を低温で疑似的に相溶させる点において知見を持ち特許を有している。当特許技術は、複合フィルムを対象である為、光ファイバーケーブルに応用できるようにスクリーナー軸の設計や、処理条件の選定が必要となる。一般的にリサイクル業者が用いる押出機の 9 割以上が一軸押出機であるが、当特許技術を用いる為に、通常はプラスチック製造工程で用いられる二軸押出機や付帯設備を使用した。同処理が一軸押出機でも可能であるかを調べる。また、5 時間以上、処理量 150kg/h で連続的に処理できる条件を検討した。

2.1.2 アプローチ

本実証においては、下記の検証を実施した。

2.1.2.1 粗破碎から微粉碎工程での課題と実証内容

破碎径を 15mm～300 μ m まで変化させて、物性を測定した。通常のリサイクル工程で主に用いられるのは粗破碎機において 15mm メッシュを通過した素材である。高品質なリサイクル材が求められる時には、さらに粉碎機にかけて 6mm のメッシュ通過素材を用いる。本実証においては、さらに破碎径を小さくした場合の振る舞いについて検討した。粉碎機の能力限界値である 3mm メッシュ通過素材を作成した。また、通常リサイクル素材に用いることのない微粉碎機をカスタマイズし、0.5mm メッシュを通過した微粉碎品を作成した。

また設備の連続稼働試験を実施した。

共通実験条件は下記である

(1)原料：光ファイバーケーブルの一体型及び分離型からそれぞれ鉄硬線を剥離機で剥離し、同量混ぜ合わせたもの。扱いやすいように 5m 長で裁断し束ねている。

(2)15mm 粗破碎品：(1)を一軸破碎機にて、粉碎し、15mm の穴が開いたメッシュを通過したもの。通常のリサイクル工程において後工程での押出機に投入できる大きさである。

(3)6mm 破碎品：(2)を高速粉碎機や小型粉碎機において粉碎し、6mm の穴が開いたメッシュを通過したもの。少量試作においては小型粉碎機を用いた。量産用には高速粉碎機を用いた。

(4)3mm 粉碎品：(3)を高速粉碎機や小型粉碎機において粉碎し、3mm の穴が開いたメッシュ

ユを通過したもの。少量試作においては小型粉砕機を用いた。量産用には高速粉砕機を用いた。小型粉砕機及び高速粉砕機においても、3mm メッシュは破砕可能な能力の限界値であり、処理スピードは著しく遅く、吐出量は通常の 1/20 程度まで大きく低下した。

(5) 300 μm 微粉砕品：(3) を、高速粉砕機や小型粉砕機において粉砕し、0.5mm (500 μm) の穴が開いたメッシュを通過させた。通過後の微粉砕粉を調べたところ、長径が 500 μm を大きく下回る粒子が多くみられた。これは、微粉砕機の機構特性上、メッシュサイズではなく、微粉砕を行う 2 枚のディスクグラインダーの距離に、破砕径が依存することに由来した。ディスクグラインダー間の距離は 150 μm に設定されており、これは観察された粒子の最小径とほぼ一致した。

そこでふるい分け法を用いて、微粉砕粒子の平均粒径を求めた。ふるいわけ法とは、目開きのわかっているふるいを複数枚用意し、粗い目から順番に通過させる。目を通過せず残った粒子の重さを測り、その目の階級値とした。階級値を正規分布に当てはめ統計処理を行う。

ふるい分け法の結果、微粉砕品の平均粒径は 300 $\mu\text{m} \pm 30 \mu\text{m}$ の範囲に収まる可能性が 95% 以上であることがわかった。よって、この微粉砕品を本実証では、「300 μm 微粉砕品」と呼称した。

今回の機械物性、物理物性等の特性評価として下記の物性値を測定した。試験の使用設備及び試験規格については、【2.1.2.4 使用設備及び試験規格】に記載

- A) MFR (メルトフローレート)
- B) 比重
- C) 引張降伏応力、引張破断伸度
- D) 曲げ強度、曲げ弾性率
- E) アイゾッド衝撃強さ (ノッチ付)
- F) 灰分
- G) 水分
- H) 色差
- I) 粒度溶融比較 (熱プレス)

2.1.2.1.1.1 粉体作業（粉塵爆発）安全工程見学先調査

キヤノンエコテクノパークを訪問し、調査及び情報交換を行った。

図表 7 キヤノンエコテクノパーク

名称	キヤノンエコテクノパーク
住所	茨城県坂東市馬立 1234 番地
アクセス	つくばエクスプレス守谷駅よりバス 4 5 分
事業概要	<ul style="list-style-type: none">● サステナビリティの取組紹介ショールーム● 複写機トナーカートリッジリサイクル● プリンタートナーカートリッジリサイクル● 複写機リマニュファクチャリング● 複写機リサイクル● 複合機・プリンター修理

図表 8 キヤノンエコテクノパーク



2.1.2.2 比重分離工程での課題と実証内容

光ファイバーケーブルの内、アルミ層をもち、アルミの分離が必要となるロットに分ける。破碎機を用いて、3mm の粉碎品とし、水比重分離を行い、樹脂層及び、アルミ層における分離率を測定した。

2.1.2.3 溶融混錬工程における課題と技術実証内容

破碎径を変化させて混錬における物性を測定した。6mm の破碎品 (B-1) 及び 300 μ m 微粉碎品について、混錬をせずに成形したサンプル (B-2) 及び、2 軸押出機で混錬を行なったサンプル (B-3) を作成し、物性評価を実施した。同処理が一軸押出機でも可能であるかを調べる。また、5 時間以上、処理量 150kg/h で連続的に処理できる条件を検討した。

2.1.2.3.1 走査型電子顕微鏡での擬似相溶性の観察試験方法

作成したサンプル B-01～03 に対して、走査型電子顕微鏡を用いて観察を行った。1、000 倍の倍率で、微視的観察を行うと共に、EDX 分析により構成元素の定性分析を行った。

使用機器は下記である

1) 走査型電子顕微鏡 (FE-SEM/EDX)

機種: SU5000+EDAXPegasusEDX/EBSF

メーカー: 日立ハイテクノロジーズ

機器貸出及び協力: 宮城県産業技術総合センター

図表 9 走査型電子顕微鏡外観



2.1.2.4 試験用設備及び試験規格

本実証の物性試験における使用設備及び試験規格を記載した。

A) メルトインデクサー

機種:L261-1531

メーカー:TECHNOL SEVEN CO.、LTD.

備考:秤量 5g 程度

図表 10 PE の MFR 試験項目及び条件

試験方法	JIS K 7210	<p>図表 11 MFR 外観</p> 
測定項目	MFR	
試験片形状	ペレット	
試験条件	予熱時間:5 分 試験温度:190° C 荷重:2.16kg 測定数:n=3	
試験環境	(23±2)°C、(50±5)%RH	

B) 電子比重計

機種:MD-300S

メーカー:ALFA MIRAGE CO.、LTD.

備考:4g 以上、固形品

図表 12 PE の比重試験項目及び条件

試験方法	JIS K 7112	<p>図表 13 比重計</p> 
測定項目	比重	
試験片形状	カラープレート	
試験条件	測定数:n=3	
試験環境	(23±2)°C、(50±5)%RH	

C) 万能試験機

機種: JPL-20KN

メーカー: JIANGDU JINGCHENG TESTING MACHINE CO.、LTD.

備考: JIS K7162 1A 多目的試験片

図表 14 PE の引張試験項目及び条件

試験方法	JIS K 7161
測定項目	引張降伏応力、引張破断伸度
試験片形状	JIS K 7162 1A 形多目的試験片
試験条件	試験速度: 50mm/min チャック間距離: 110 mm 測定数: n=5
試験環境	(23±2)℃、(50±5)%RH

図表 15 PE の曲げ試験項目及び条件

試験方法	JIS K 7171	<p>図表 16 万能試験機外観</p> 
測定項目	曲げ強度、曲げ弾性率	
試験片形状	JIS K 7162 1A 形多目的試験片	
試験条件	試験速度: 10mm/min 支店間距離: 64 mm 測定数: n=5	
試験環境	(23±2)℃、(50±5)%RH	

D) 万能衝撃試験機

機種:505 (IMPACT TESTER)

メーカー:TOYO SEKI SEISAKU-SHO CO.、LTD.

備考:JIS K7110 2号B試験片

図表 17 PE のアイゾッド衝撃試験項目及び条件

試験方法	JIS K7110	<p>図表 18 万能衝撃試験機</p> 
測定項目	アイゾッド衝撃強さ(ノッチ付)	
試験片形状	JIS K7110 2号B試験片	
試験条件	持ち上げ角度:133.1度 秤量:30kg-cm 測定数:n=5(ばらつきが少ないため)	
試験環境	(23±2)℃、(50±5)%RH	

E) 電気炉

機種:オリジナル電気炉

メーカー:オリジナル電気炉

備考:5gの燃焼残渣

図表 19 PE の灰分試験項目及び条件

試験方法	JIS K2272	<p>図表 20 電気炉</p> 
測定項目	灰分	
試験条件	サンプル:5g 電気炉:775±25℃	

F) 定置乾燥機

機種:KRS-L2

メーカー:KATO-RIKI MFG. CO.、LTD.

備考:水分測定、サンプルの乾燥に使用

図表 21 PE の水分量の項目及び条件と乾燥条件

試験方法	乾燥減量法	<p>図表 22 定置乾燥機</p> 
測定項目	水分率	
試験条件	温度:105℃ 乾燥時間:2 時間	

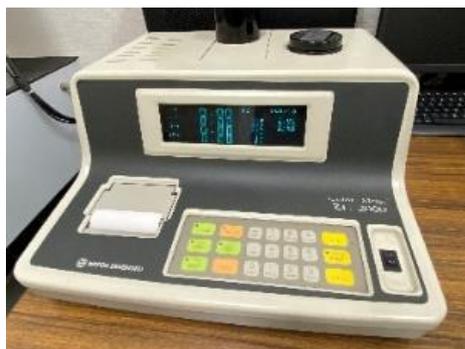
G) 測色色差計

機種:ZE-2000 (COLOR METER)

メーカー:NIPPON DENSHOKU CO.、LTD.

備考:弊社カラークラウド

図表 23 測色色差計



I) 粒度溶融比較(熱プレス)

機種:SA-303

メーカー:TESTER SANGYO CO.、LTD.

備考:溶融試験に使用

図表 24 PE の熱プレス試験項目及び条件

試験方法	熱プレス試験	図表 25 熱プレス試験機外観 
測定項目	粒度溶融比較	
試験条件	ヒーター温度:210℃	

2.1.2.5 実証用設備

本実証で使用した設備及び、使用用途を記載した。

A) 剥離機

メーカー:三立機械工業株式会社、品番:CCP 型剥離機

光ファイバーケーブルの加工前は、鉄製の硬線と、その他の素材が張り付いている。剥離機を用いて光ファイバーケーブルを鉄硬線とその他の素材に分離した。

図表 26 剥離機



B) 一軸破碎機

メーカー:Changshu Shouyu Machinery Co.、Ltd(MSCにてカスタマイズ)、品番:SRB900

剥離後の光ファイバーケーブルを、高速粉碎機や小型粉碎機に投入可能な直径 15mm 程度まで破碎した。

図表 27 一軸破碎機



C) 高速粉砕機

メーカー:Changshu Shouyu Machinery Co.、Ltd. 品番:SPC10045

量産試作用。破砕後の光ファイバーケーブルを、微粉砕機に投入可能な直径 5mm 程度まで粉砕した。同機体は機械内部に残るロスが比較的多く、少量の試験には向かない。また、本実証で必要となる直径 3mm 程度の破砕ができない。よって、試験品作成用には D の小型破砕機を用い、量産時には同機体を用いた。

図表 28 高速粉砕機



D) 小型粉砕機

メーカー:イトマン株式会社、品番: 堅型粉砕機 ROTOPLEX CUTTING MILL

少量試作用。破砕後の光ファイバーケーブルを、微粉砕機に投入可能な直径 5mm 程度まで粉砕した。また本実証で必要となる直径 3mm 程度の破砕を行う。本設備は小規模設備であり量産試作には不適である。量産試作には、C の高速粉砕機を用いた。

図表 29 小型粉砕機



E) 微粉碎記

外観を図 2-5 に示す。

メーカー:MSC 社の試作開発品(非売品)、品番:P500

少量試作用。破碎後の光ファイバーケーブルを、微粉碎機に投入可能な直径 5mm 程度まで粉碎した。また本実証で必要となる直径 3mm 程度の破碎を行った。本設備は小規模設備であり量産試作には不適である。量産試作には、C の高速粉碎機を用いた。

図表 30 高速粉碎機



F) 比重分離槽

メーカー:Jiangsu Xinrong Science & Technology Development Co., Ltd.

品番:MPPQ500

光ファイバーケーブルの一部に含まれるアルミ層を水比重分離するための装置である。

図表 31 比重分離



G) 二軸押出機

メーカー:Nanjing HaoXiang Machinery Manufacturing Co.、 Ltd.

品番:KY75

混練性能の高い二軸押出機を使用した。

図表 32 二軸押出機



H) 配管成形機

メーカー:Jiangsu Xinrong Science & Technology Development Co.、 Ltd.

品番:DBWG50

可とう電線管のサンプル作成が可能な小型の配管成形機を使用した。

図表 33 配管成形機



I) 射出成形機

メーカー:Shanghai Guangsu Machinery Manufacture Co.、 Ltd.

品番:GS98

多目的試験片の作成が可能な小型の成形機を使用した。

図表 34 配管成形機



2.1.3 取組結果

2.1.3.1 粗破碎から微粉碎工程での課題と実証内容

2.1.3.1.1 目標物性値の把握

目標物性の把握として、光ファイバーケーブルから外皮のみを分離し、物性検査を行なった。

図表 35 光ファイバーケーブル外皮 PE の物性確認

項目		単位	光ケーブル外皮PE
1	メルトフローレイト	g/10min	0.18
2	引張降伏強度	Mpa	11.3
3	引張破断伸度	%	80.8
4	曲げ強度	Mpa	8.1
5	曲げ弾性率	Mpa	160
6	IZ衝撃強度	℃ KJ/m ²	45.9(ヒンジ破壊)
7	灰分	%	-
8	密度	g/ml	0.929
9	水分	%	0.060
10	色度	L値	21.17
		a値	0.23
		b値	-2.33

上表より、光ファイバーケーブル外皮 PE の物性は、PE としては一般的な範囲であり、特に突出して高い値や低い値は見られなかった。

2.1.3.1.2 試験片作成時の課題の洗い出し
3mm、6mm、15mm 破砕品における破砕時と試験片作成時の状況を下記図に記載した。

図表 36 破砕時と試験片作成時の状況(前半)



図表 37 破碎時と試験片作成時の状況(後半)



バージは問題なく行えた為、成形可能と判断し、成形を行った。バージ後のダンゴにはガラス片等、溶融しない物が表面に見られた。(※成形時金型を傷つけるリスクはあり)



IZOD片断面



プレート表面

上図より光コア線の破碎物が析出し、成形時の課題となった。押出機内や金型内部に残留し、機械の故障や過度な消耗を招く可能性がある。また、粉状の光コア線が手や粘膜に刺さる可能性があり、作業への安全対策が必要となる。さらに作成後のプレート表面に光コア線が析出している。また、光ファイバーケーブルに含まれる不織布が繊維状になり、成形機への供給課題となっている。

以上から、3mm以上の破碎径においての製造品は、製品としての出荷や製造は困難であると結論づける。

2.1.3.1.3 破碎径の変化による物性変化

破碎径の変化による物性変化は次の表のようになった。

図表 38 破碎系の変化による物性変化

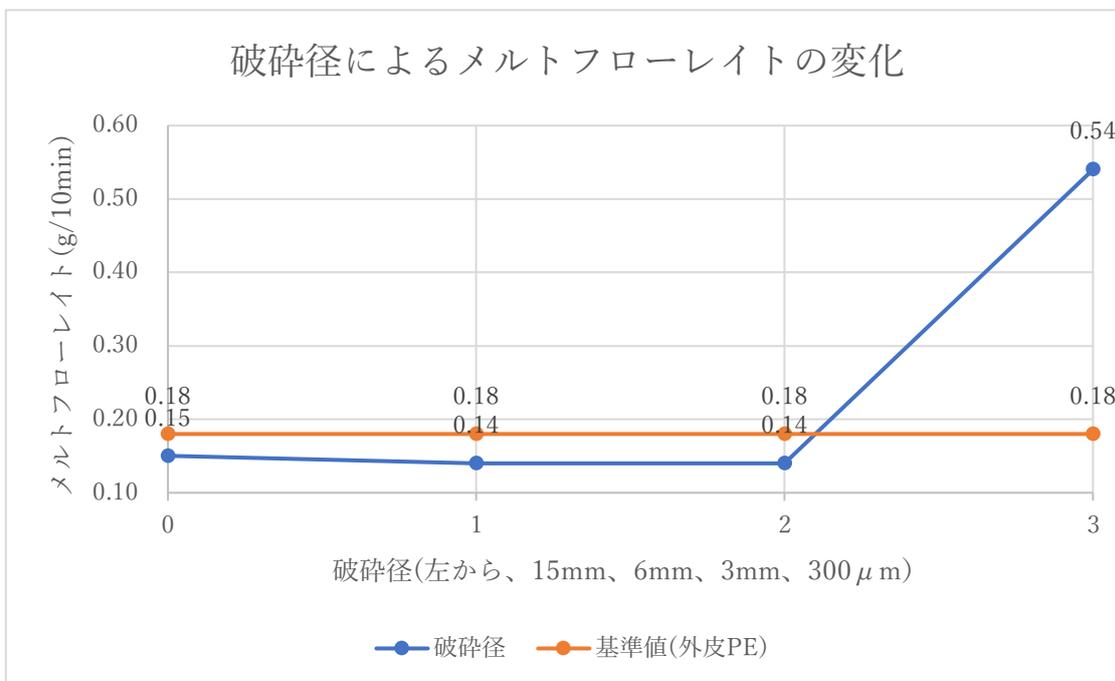
項目	試験方法	単位	15mmメッシュ荒破碎	6mmメッシュ破碎	3mm粉碎	300 μ m微粉碎		
1	メルトフローレイト	JIS-K7210	g/10min	0.15	0.14	0.14	0.54	
2	引張降伏強度	JIS-K7161	Mpa	12.1	12.2	12.8	10.2	
3	引張破断伸度	JIS-K7161	%	38.6	32.3	34.3	223.0	
4	曲げ強度	JIS-K7171	Mpa	15.3	14.7	15.1	10.6	
5	曲げ弾性率	JIS-K7171	Mpa	650	670	635	403	
6	IZ衝撃強度	23℃	JIS-K7110	KJ/mf	25.4 ^{*1}	23.3 ^{*1}	24.2 ^{*1}	17.9 ^{*1}
					-	-	-	-
7	灰分	JIS-K2272	%	8.86	10.86	9.56	8.1	
8	密度	JIS-K7112	g/cm ³	0.967	1.027	1.015	0.992	
9	水分	乾燥減量法 (105℃2H)	%	0.369	0.364	0.282	0.14	
10	色調	JIS-Z8730	L値	21.05	22.01	22.1	17.91	
			a値	-0.79	-1.64	-1.42	0.32	
			b値	-0.59	-0.57	-0.52	-1.39	
備考	*1 ヒンジ破壊 薄い表層だけが一体になって離れない不完全破壊。							

それぞれの指標に対して下記グラフに示して、分析を行う。

2.1.3.1.3.1 破砕径によるメルトフローレイトの変化

破砕径によるメルトフローレイトの変化は下記図のようになった。

図表 39 破砕径によるメルトフローレイトの変化



メルトフローレイトは、15mm、6mm、3mm 破砕においてはほぼ変化がなく、基準値よりも高かった。しかし、300 μm 微粉砕においては突出して高くなり基準値を上回った。

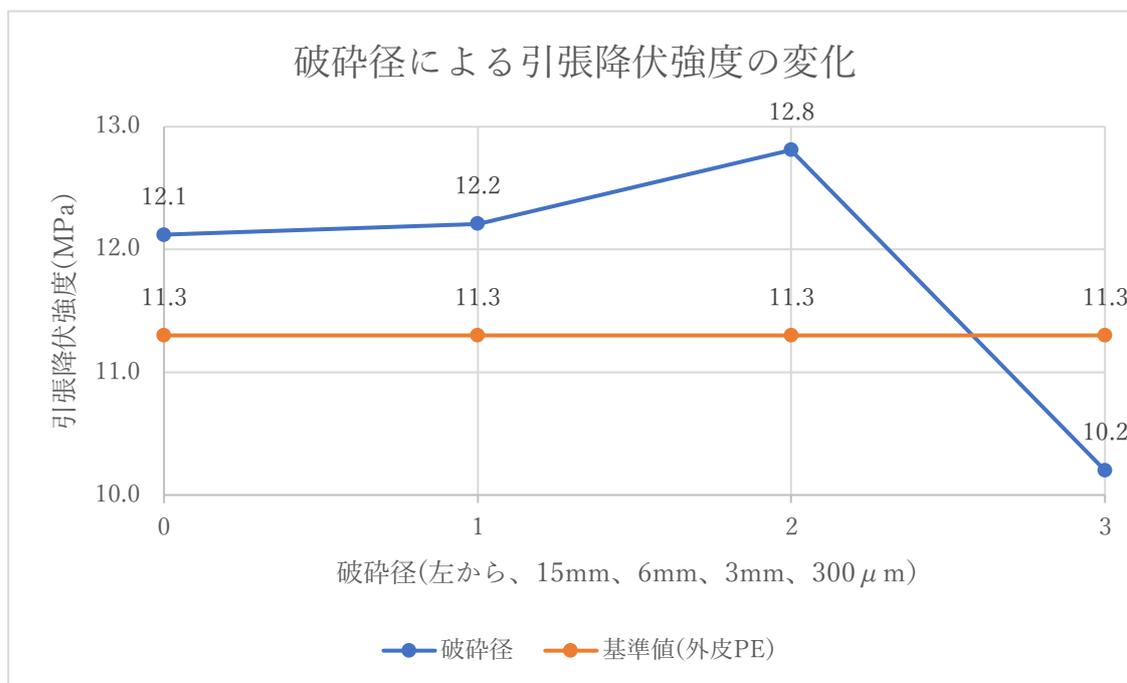
要因としては、第一に、複合素材として含まれている不織布や光コア線が微粉砕により細かくなり、樹脂の流動性向上に寄与したことが考えられる。本試験において、メルトフローレイトの算定のための樹脂の加熱温度は 190° C である。この温度では原料の大部分を占める PE は十分に溶融したが、一部含まれる不織布の原料であるポリアミドの溶融温度や、光コア線の溶融温度には到達しておらず、これらは固体の状態で流動体の内部に存在した。この固体成分が 15mm、6mm、3mm 破砕品においては流動性を下げる要因として働いたことが考えられ、300 μm 微粉砕においては、これらの個体成分が細かく微粉砕されることで流動性が向上したと考えられる。

しかしながら上記の要因のみでは、300 μm 微粉砕においてメルトフローレイト値が基準値を上回る説明として不適切である。そこで下記の要因を考察した。微粉砕の過程や後行程で PE の直鎖が切れ、平均分子量が小さくなる可能性が考えられる。光コア線や不織布が細かく微粉砕されることにより、径が小さくなると共に、押出機による溶融混練等の影響を受けやすくなる。そうした破砕や熱劣化の影響を受けて、メルトフローレイトが高まっているという要因が考えられる。

2.1.3.1.3.2 破砕径による引張降伏強度の変化

破砕径による引張降伏強度の変化は下記図のようになった。

図表 40 破砕径による引張降伏強度の変化



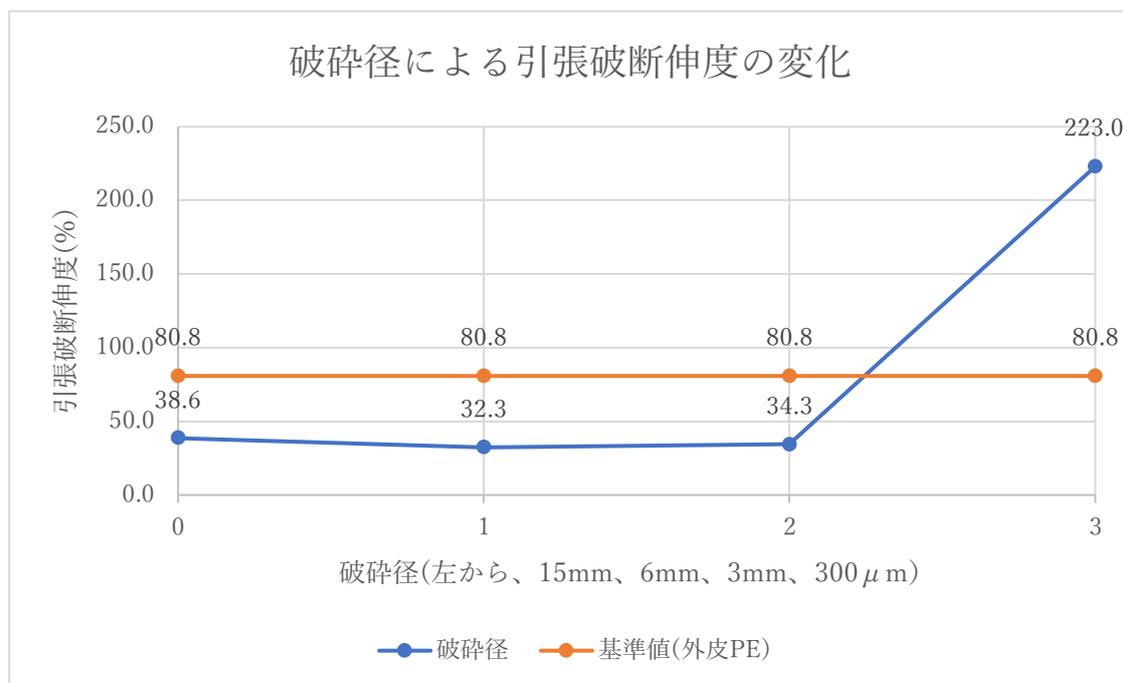
引張降伏強度は、15mm、6mm、3mm 破砕においては、基準値よりも高かったが、300 μ m 微粉砕においては基準値を下回った。

要因として2つの理由を想定している。一つ目は、破砕品においては、光コア線や不織布が引張強度を加える改質材として機能していたが、微粉砕により強度添加が失われたこと。もう一つは、微粉砕の過程でPEの直鎖が切れ、平均分子量が小さくなる可能性が考えられる。後者は、微粉砕においてメルトフローレートがそのほかの破砕品や基準値と比較しても急激に上がっていることから想定される。

2.1.3.1.3.3 破砕径による引張破断伸度の変化

破砕径による引張破断伸度の変化は下記図のようになった。

図表 41 破砕径による引張破断伸度の変化

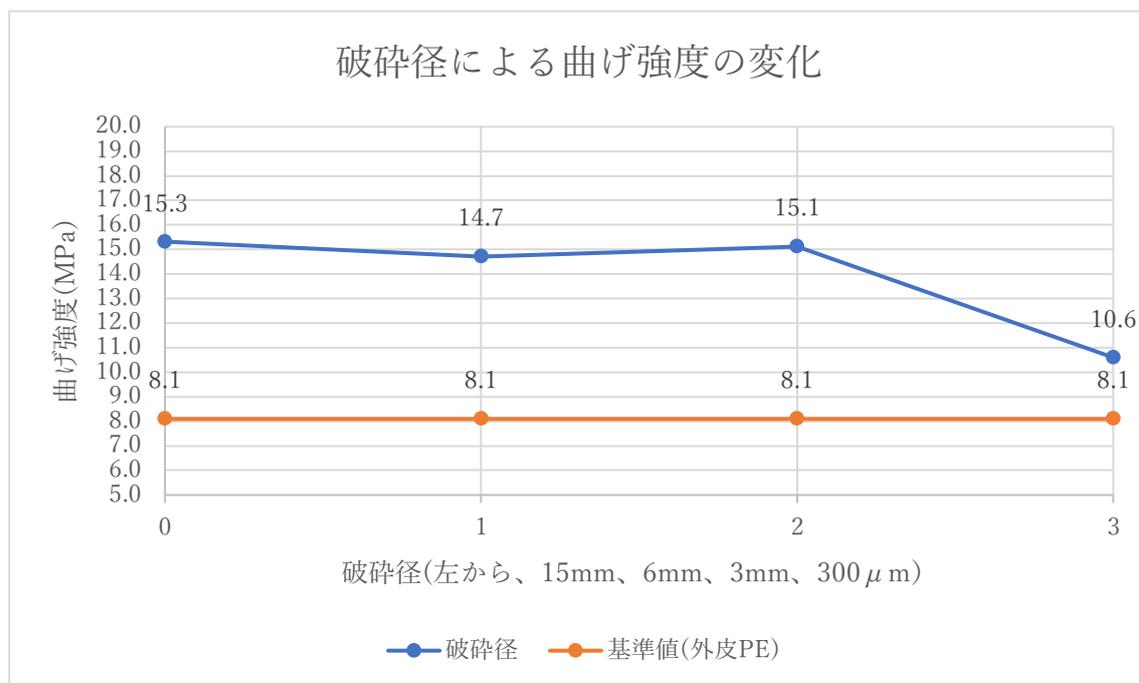


引張降伏伸度は、15mm、6mm、3mm 破砕においては、基準値よりも低かったが、300 μ m 微粉砕においては基準値を上回った。向上した要因としては、微粉砕化により強く混練がなされ、光コア線や不織布の分散性が向上したことが考えられる。

2.1.3.1.3.4 破砕径による曲げ強度の変化

破砕径による曲げ強度の変化は下記図のようになった。

図表 42 破砕径による曲げ強度の変化



曲げ強度は、15mm、6mm、3mm、300 μm の全てにおいて、減少傾向にあった。しかしながら、全てにおいて基準値は上回った。

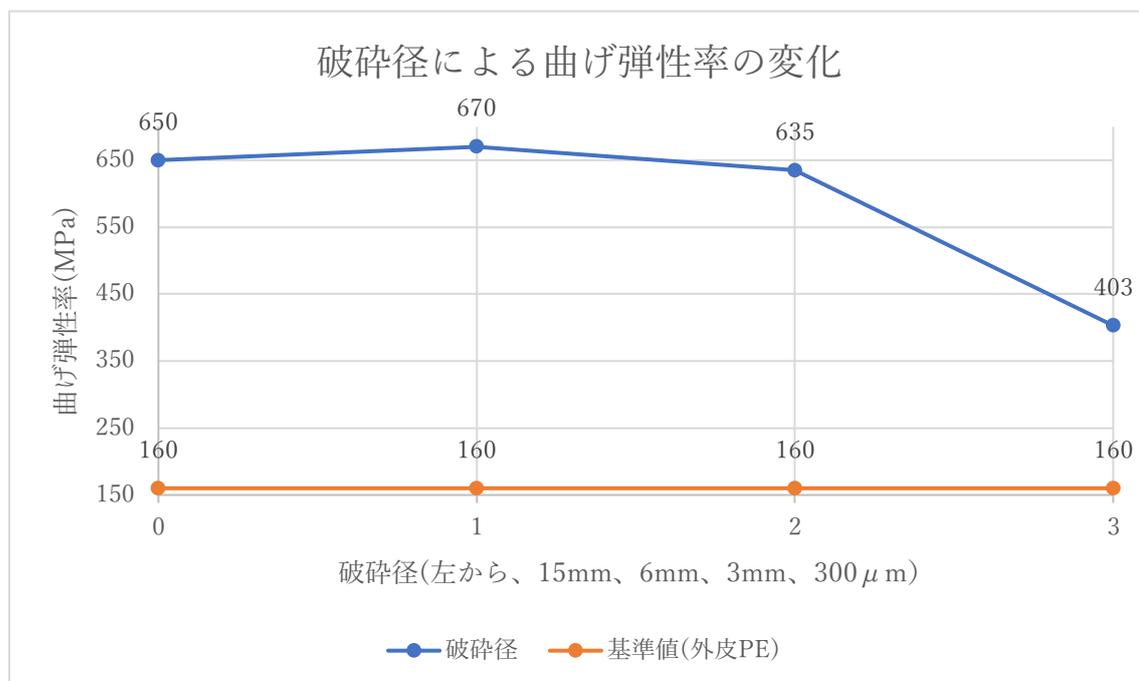
15mm、6mm、3mm においては、比較的高い曲げ強度を維持していたが、300 μm について急激に下回っていることについては、グラフの表現精度が低いことが影響してしまっている。本グラフの横軸は一定の幅ではなく、15mm から 6mm、6mm と 3mm の間の破砕径の差は 2~2.5 倍程度であるが、3mm と 300 μm では 10 倍の開きがある。その特性を考慮したグラフも作成したが、横軸の点数が少なく、特に有用な結果は得られなかった。実験設備の特性上、正確な倍数の破砕径を得ることは難しく、本試験においては、減少や増加を傾向としてのみ把握したのが適切である。

減少傾向になった要因として以下の 2 つの理由を想定している。一つは、光コア線が長径では曲げ強度を高める擬似グラスファイバー強化剤として機能していたこと。また光コア線は、より細かく破砕し、押出機で熔融混練した過程で、短く切られ、結果的に擬似グラスファイバー強化剤としての作用が低下していることが挙げられる。300 μm 微粉砕においても、外皮のみと比較して曲げ強度の向上が見られている。ここから、微粉砕においても、多少は光コア線の擬似グラスファイバー強化剤としての再利用ができてしていると想定される。もう一つの要因としては、微粉砕の過程で PE の直鎖が切れ、平均分子量が小さくなる可能性が考えられる。

2.1.3.1.3.5 破砕径による曲げ弾性率の変化

破砕径による曲げ弾性率の変化は下記図のようになった。

図表 43 破砕径による曲げ弾性率の変化



曲げ弾性率は、15mm、6mm、3mm、300 μm の全てにおいて、減少傾向にあった。

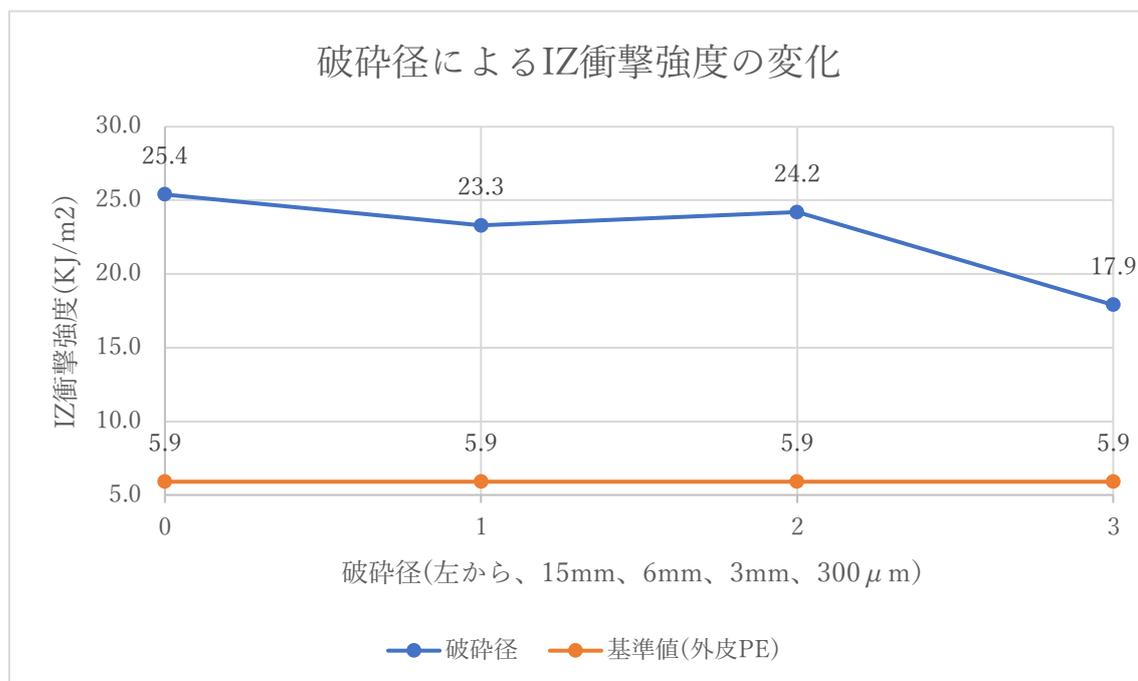
しかしながら、全てにおいて基準値は上回った。

減少傾向になった要因としては、曲げ強度と同様に擬似グラスファイバー強化剤機能の影響と、平均分子量の変化と考察した。

2.1.3.1.3.6 破砕径による曲げ弾性率の変化

破砕径の変化における IZ 衝撃強度の変化は下記図のようになった。

図表 44 破砕径による IZ 衝撃強度の変化



曲げ弾性率は、15mm、6mm、3mm、300 μ m の全てにおいて、減少傾向にあった。

しかしながら、全てにおいて基準値は大きく上回った。

減少傾向になった要因としては、曲げ強度や曲げ弾性率と同様に擬似グラスファイバー強化剤機能の影響が考えられる。破砕径が小さくなるごとに、擬似グラスファイバー強化剤機能は低下したが、無添加の外皮 PE と比較した場合と十分高い値を保ち続けることがわかった。

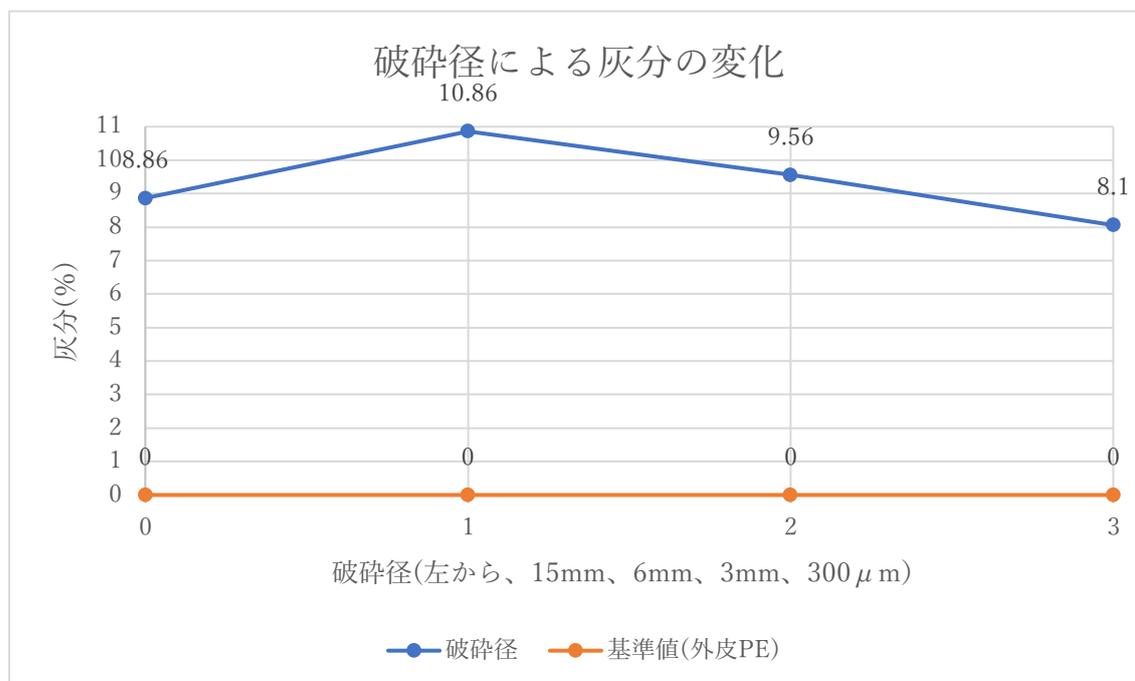
また、この擬似グラスファイバー強化剤機能は、引張試験や曲げ試験においては、顕著な減少が見られ、微粉砕時の数値と基準値には大きい違いは見られなくなっているが、IZ 衝撃強度については顕著に強化機能が維持されている。

また、破砕と熔融混練による劣化によって起こされる、平均分子量の変化も影響していると想定される。

2.1.3.1.3.7 破砕径による灰分の変化

破砕径による灰分の変化は下記図のようになった。

図表 45 破砕径による灰分の変化



灰分率は、15mm、6mm、3mm、300 μ m では、8.1%~10.86%であった。また基準となる外皮 PE では灰分は検出されなかった。

これについて、外皮 PE について考察した。純粋な PE 燃焼時二酸化炭素と水に完全に分解されるので、灰分が検出されないのは妥当である。また、もし外皮に難燃剤やタルク等の添加剤が添加されている場合は灰分として残留したため、そうした添加剤も配合されていないことがわかる。

また、15mm、6mm、3mm、300 μ m では、8.1%~10.86%であったことを考察した。光ファイバーケーブルの燃焼時に残留した物質として、光コア線が挙げられる。しかしながら、光コア線の分量は、重量比 1~5%程度であることが、わかっており、本試験における灰分率とは辻褄が合わない。

上記のことより、外皮と光コア線以外の部分に 3~10%程度の灰分を発生させる要因があると考えられる。現状で把握し切れていないが、光コア線の保護線 PE と、緩衝材、不織布 (PA) において、難燃剤やタルク等の添加剤が混ぜられている可能性が高い。

また、実験の想定上は、15mm、6mm、3mm、300 μ m の破砕径において、扱っている原料は同一のものであるため、灰分量は同じ値を示すはずである。しかしながら、最大 1.5%程度の差が生じている。

この要因として、乾燥度合いの差による水分量が考えられるが、後述の水分量の変化の図よりこの要因は棄却される。

また、15mm、6mm、3mm、300 μ mの破砕径において後述の密度の差より、破砕した内容物が微妙に同一ではない可能性が指摘される。大きい差が生じているわけではないので、実験として失敗したわけではないと考えられる。複数回の破砕や押出、輸送の過程で、破砕機内部に静電気を帯びやすい光コア線等が付着していた。こうした機械内部への残留が考えられる。

また、本光ファイバーケーブルは複数の素材が混ざった複合素材であり、素材ごとに比重や破砕径が異なっている。よって、フレコンバック等への保管時に、素材ごとに分かれてしまい、同一ロットの中でも、混練後の物性が異なっている可能性が指摘される。

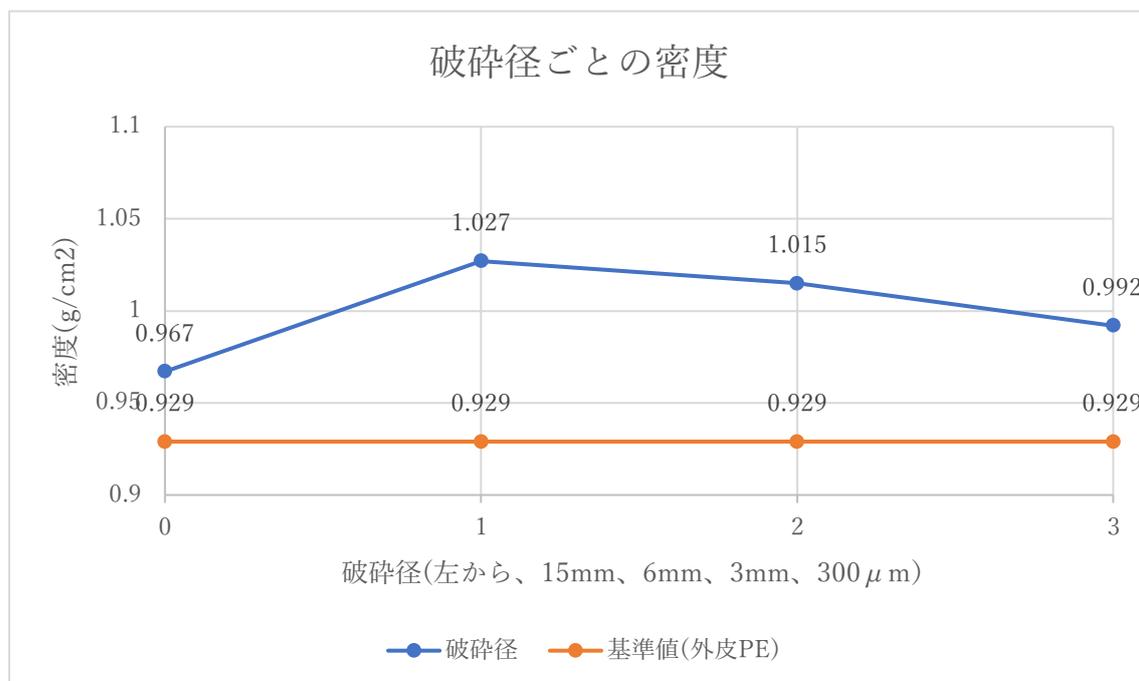
本試験では試験片を5つ作成し、平均値を取っている。本実験結果を受けて、再度、物性試験の試験片ごとの数値のばらつきを参照した。参照結果として数値のばらつきは大きくは見られなかった。

しかしながら、試験片の製造時に、保管用フレコンバックの上部と下部で別々に採取した原料を使用した等のオペレーションは実施していないため、なおも同一ロット内のばらつきの可能性は棄却できない。

2.1.3.1.3.8 破砕径ごとの密度比較

破砕径ごとの密度比較は下記図のようになった。

図表 46 破砕径ごとの密度



密度は、15mm、6mm、3mm、300μmでは、0.967～1.027の間でばらつきが見られた。

また、全てのサンプルにおいて基準値よりも上回った。

基準値の外皮はPEであり0.929という比重はPEとして妥当な数値である。また、灰分試験より、タルク等の比重を大きく左右した添加剤は含まれていないことが示唆されたが、比重の試験においてもタルク等が含まれていないことが確認できる。

また、全てのサンプルにおいて基準値よりも上回ることについては、光ファイバーケーブルに含まれる光コア線や保護線において外皮よりも比重が大きいので妥当である。

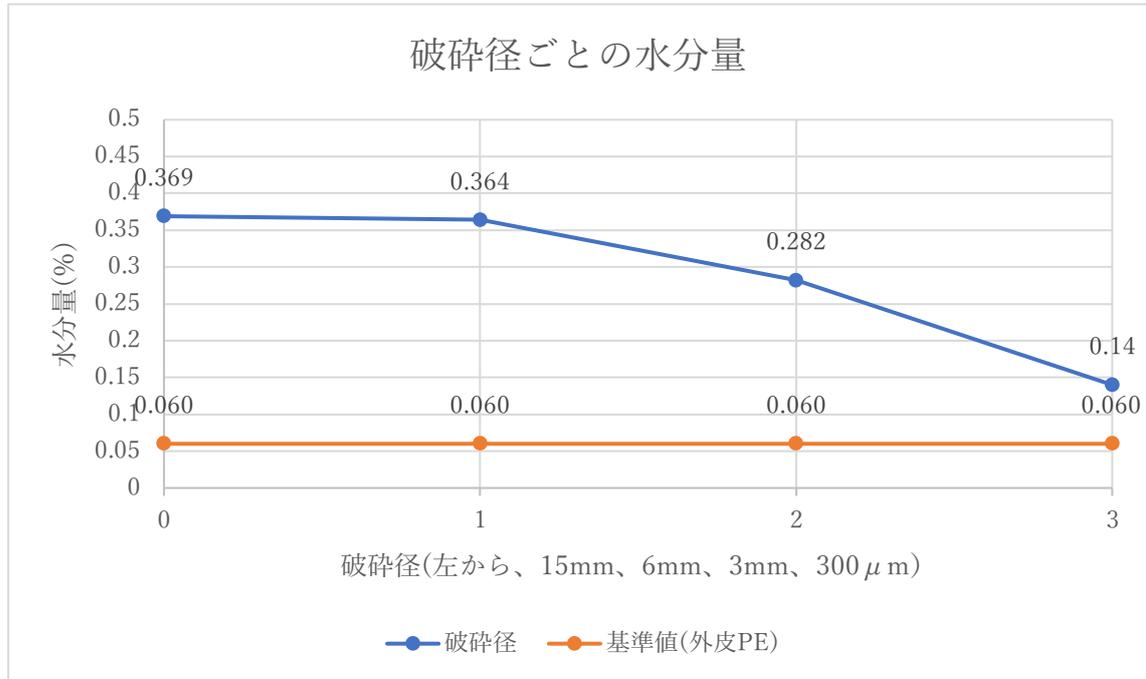
しかしながら、密度が、15mm、6mm、3mm、300μmでは、0.967～1.027の間でばらつきが見られたことは課題である。本来、灰分と同じく、同一のサンプルから作った場合、密度は一定になることが予想される。しかしながら、本試験ではばらつきが見られる。ばらつきの要因として、水分量が想定されるが、後述の水分量データより棄却される。

よって、前述の灰分量のデータの考察と同じく、本実験において、作成した試験片に含まれる素材の構成比が、破砕径のサンプルごとに微妙に異なっていることが予想される。

2.1.3.1.3.9 破砕径ごとの水分量比較

破砕径ごとの水分量比較は下記図のようになった。

図表 47 破砕径ごとの水分量



水分量は、基準値を含む全てのサンプルにおいて、0.5%以下の非常に低い値を維持することができた。

試験片の物性試験において、サンプルの水分量は物性値に誤差を生み出してしまいう要因となる。本試験においては、すべてのサンプルにおいて、水分量は低く、正確な物性値を測れている指標となる。

同時に、前述の通り、灰分量や密度のデータから、試験片ごとに複数の素材の配合比が異なってしまうことが指摘されているが、このデータのばらつきの要因が水分量である可能性を棄却できる。

また、この水分量はあくまでも物性試験において、正確な値を測るために、サンプルを乾燥機にかけて乾燥させたため低い水準を示している。しかしながら、実際の運用上では、洗浄脱水と水比重分離の工程を含む。この工程により、原料は濡れるため、実際の運用において、水分量過多を要因とした成形不良等が生じる可能性はあり、本結果はそれを否定するものではないことに留意した。

2.1.3.1.3.10 破砕径の変化による物性変化について(まとめ)

以上から、破砕径が小さくなるほど、引張降伏強度が低下し、引張破断深度が向上し、結果的に元々の PP 外皮の物性に近づくと共に、元々の PP 外皮以上に柔らかくなることが確認された。

予測していた光コア線の添加による引張降伏強度の向上や、曲げ強度等の増進は、微粉砕を行っていない場合には見られたが、微粉砕化によって増進効果が失われた可能性が指摘される。

2.1.3.1.4 微粉砕機の連続稼働試験結果

連続稼働を合計 3 日間実施した。1 回目の連続稼働試験では、稼働開始後 2 時間ほどで、冷却機能が追いつかないことによる内部の発熱によって設備が止まってしまった。対策として、回転刃の冷却機構を増量するとともに、循環させる冷却水の温度を下げるため、クーリングタワーと接続し解消した。

2 回目、3 回目の試験では 1 日 6 時間の連続稼働に成功し、処理量の平均は 156kg/h であった。この際粒径分布や精度について、小規模でのサンプル作成時と差異は見られなかった。

2.1.3.1.5 粉体作業（粉塵爆発）安全工程見学先調査結果

光ファイバーケーブルのガラス強化剤入りプラスチック原料は 300 μm ぐらいなので粉塵爆発対策よりも人体影響（吸引）対策の強化が必要と考えられる。

主な対策は、設備の密封や作業環境の集塵などが考えられる。

LCA については、バージン材に比べると少なくなっている。また、経済効率については製品への価格転嫁となるため、難しい部分もある。

2.1.3.2 比重分離工程での課題と実証内容

比重分離率は以下になった。選択的に分離が可能な条件として 0.005 重量%の界面活性剤を比重分離液に添加し、1 時間以上かけてよく攪拌した。

3 回の平均：樹脂層：98%、アルミ層 95%、処理量 260kg/h

図表 48 分離後のアルミ層



これは低湿のアルミニウム廃材としての売却基準(純度 90%以上)を満たす。樹脂層については、アルミを含まない光ファイバーケーブルと混合し、不純物の割合を 1%以下とし、ペレット化時にフィルターで除去が可能である。

加えてロットの調査から、上記のようなアルミニウム層を含むロットは全体の 10%以下であることが判明している。

また、本委託事業では技術実証として、工場ロス品の光ファイバーケーブルを利用し、試験を行っているが、社会実装の際には市場回収品が混在する。その際に市場回収品は泥や油汚れ等の汚れが付着している可能性が十分考えられる。

その際には、本比重分離工程において、同時に洗浄脱水を想定する必要がある。

また、社会実装の際光ファイバーケーブルの中には、今回想定しきれていない特殊なロットが含まれる可能性がある。想定していないロットや使用用途品は含まれる際には事前に受け入れが可能であるか確認が必要となる。同時に受け入れ基準の設定が必要となる。受け入れ基準の項目として油や有機物による汚れ度合いの設定が必要である。

2.1.3.3 溶融混練工程における課題と技術実証内容

二軸押出機の設定温度を 170° C と比較的低温の条件で、熱劣化リスクは高いが混練性の良いダルメージを使用して、平均吐出量 235kg/h で 8 時間の稼働に成功した。この際、物性の劣化は認められず、要求値と同等の精度であった。

同処理が一軸押出機でも可能であるかを調べたが、混練性が低く、不適であった。

2.1.3.3.1 擬似相溶性の観察結果

光ファイバーケーブルの破砕径及び、混練と非混練の差によって、試験片の擬似相溶性に変化がみられるか観察を行なった。手法として、非混練の状態の 6mm 破砕品及び、300 μ m 微粉碎品、混練を行った 300 μ m 微粉碎品について、熱プレス機で薄片に整形し観察を行う。様子は下記図のようになった。

図表 49 破砕径と混練による相溶性差の観察



上図より、6mm 破砕で混練をしていない薄片については、破砕されていない 20mm 程度の光コア線が析出し、不織布が、樹脂層と混ざり合っていない。不織布の一部や光コア線の一部は剥離してしまい、穴になっている。

300 μ m 混練なし品についても、一定光コア線と不織布共に細かく微粉碎されている。不織布は樹脂層と擬似相溶しておらず分散はできているが分離している状態である。光コア線については、剥離はしていないものの表面に析出している。

300 μ m 混練品については、光コア線と不織布共に析出しておらず、擬似相溶性を示している。

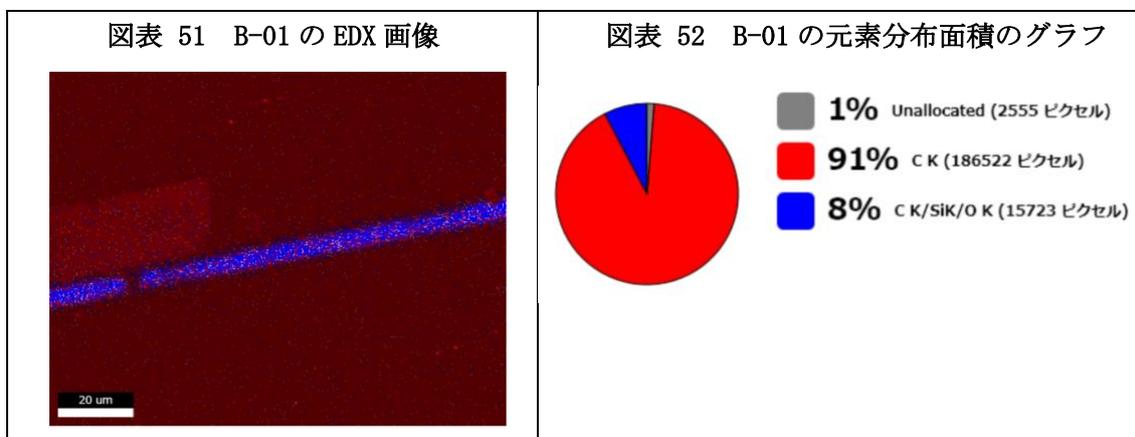
2.1.3.3.2 走査型電子顕微鏡での擬似相溶性の観察試験結果

作成したサンプル B-01～03 に対して、走査型電子顕微鏡を用いて観察を行った。1,000 倍の倍率で、微視的観察を行うと共に、EDX 分析により構成元素の定性分析を行い以下の図表のようになった。図表は、1,000 倍に拡大したサンプル表面に対し、元素分析を行い、優位な元素を色ごとに分けてマッピングしている。また各元素がマップを占める面積を円グラフで表現している。

2.1.3.3.2.1 B-01 (6mm 破砕品) の観察結果

B-01 (6mm 破砕品) の観察結果は下記図のようになった。

図表 50 B-01 (6mm 破砕品) の EDX 画像と元素分布面積のグラフ



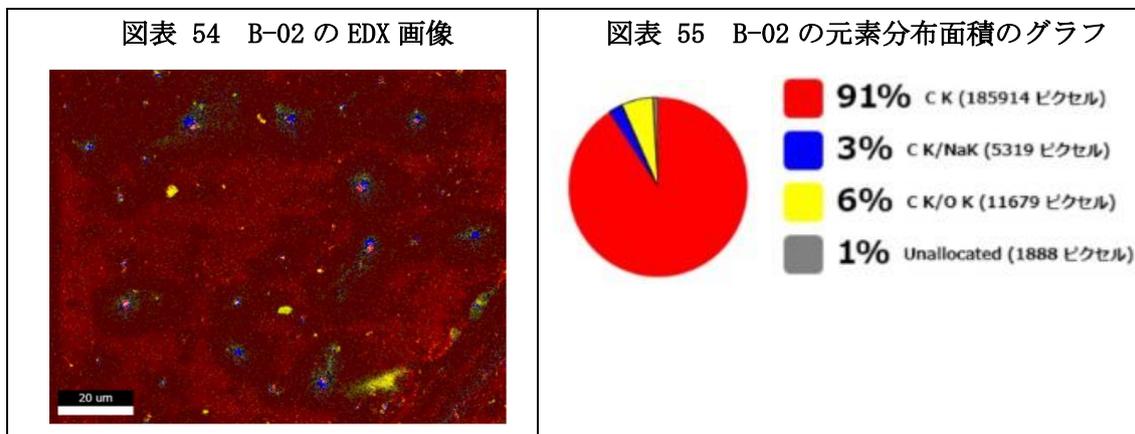
上図の赤色の部分は、炭素が優位である部分である。EDX は正確な樹脂の種類への分析には向かないが、事前試験より主に PE であると予想される。青い部分は、炭素と珪素、酸素が優位な部分であり、光ファイバーケーブルコア線とその被覆樹脂であると予想される。

上図の箇所以外も、5 枚程度画像を撮影したが、どれも上記と同じような構成もしくは、青い部分を含まない画像であった。

2. 1. 3. 3. 2. 2 B-02(300 μm 混練なし品)の観察結果

B-02(300 μm 混練なし品)の観察結果は下記図のようになった。

図表 53 B-02(300 μm 混練なし品)のEDX画像と元素分布面積のグラフ



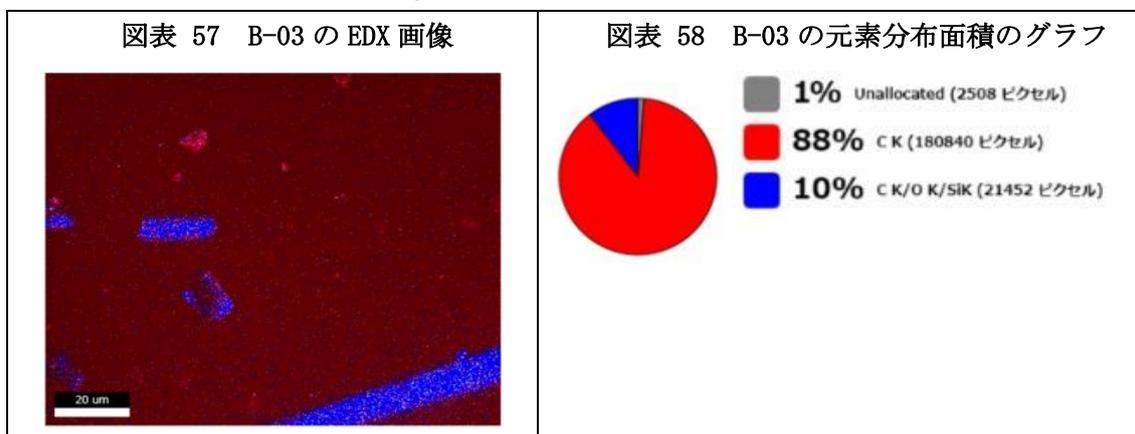
上図の赤色の部分は、炭素が優位でPEと予想。青い部分や炭素とナトリウムが優位であり、光ファイバーケーブルコア線の被覆樹脂などと予想される。ナトリウムを含む樹脂は光ファイバーケーブルには含まれていないため、EDXの使用で別の元素と判断を間違えているか、添加剤等が反応していると考えられる。黄色い部分は、酸素が優位な部分であり、不織布のPAであると予想される。

上図の箇所以外も、5枚程度画像を撮影し、4枚が上記と同じような構成で、1枚が炭素、酸素、シリコンが長方形に反応した図が得られた。これは光ファイバーケーブルコア線であると予想される。

2. 1. 3. 3. 2. 3 B-03(300 μm 混練品)の観察結果

B-02(300 μm 混練なし品)の観察結果は下記図のようになった。

図表 56 B-03(300 μm 混練品)のEDX画像と元素分布面積のグラフ



上図の赤色の部分は、炭素が優位である部分である。EDX は正確な樹脂の種類分析には向かないが、事前試験より主に PE であると予想される。青い部分は、炭素と珪素、酸素が優位な部分であり、光ファイバークーブルコア線とその被覆樹脂であると予想される。

上図の箇所以外も、5 枚程度画像を撮影したが、全て上記と同じような構成で、細かく切れたコア線が見られた。ナトリウムを含む箇所や、酸素を含む箇所は見られなかった。

2.1.3.3.2.4 まとめ

以上の結果と、「2.1.3.3.1 擬似相溶性の観察結果」を照らし合わせると、6mm 破砕のプレス片では PE と PA、PVC 等が混ざり合っておらずバラバラになっていた。また光ファイバークーブルコア線が 10mm 以上の長い直径で析出し、コア線の破片等は発生していない。

混錬のしていない 300 μm 微粉砕のプレス片では PE や PA、PVC は混ざり合っていないものの、一定程度まで分散性が見られる。また、光ファイバークーブルコア線は、ある程度短く粉砕される。

300 μm 微粉砕の上、二軸押出機で混錬したプレス片では、PE、PA、PVC は十分にブレンドされ擬似相溶性を示している。光ファイバークーブルコア線であるガラスと樹脂では相溶性は示さないが、混錬により光ファイバークーブルコア線が直径 20 μm まで細くなった状態になっており、ある程度はブレンドされている。

よって、微粉砕と混錬の効果が示されると共に、さらに細かい微粉砕や強混錬によって物性の向上が見られる余地も見出された。

2.1.3.3.3 表面状態の観察結果

6mm 破砕品と、300 μm 微粉砕品における、観察用プレートの表面状態の観察を行った。結果は以下の図のようになった。

図表 59 破砕径と混練による試験片の表面状態の観察



上図より、6mm 破砕のプレートでは、表面に光コア線が析出してしまっており、製品として不適である。また、後述の発泡に起因して表面のざらつきが発生している。発泡による圧力により金型が浮いてしまったことによって、プレート自体に型締め力不足のようなバリが発生している。

一方で、300 μm 微粉砕においては、表面の光コア線の析出は全く見られず、また発泡も発生していない為、表面光沢が見られる。

2.1.3.3.4 破砕径の違いによる内部状態の比較観察結果

6mm 破砕品と、300 μ m 微粉碎品における、観察用プレートの内部の観察を行った。結果は以下の図のようになった。

図表 60 破砕径と混錬による試験片の表面状態の観察及び、内部状態の観察



上図より、6mm 破砕のプレートでは、内部に発泡が見られる。一方で、300 μ m 微粉碎においては、発泡が見られない。

要因として下記のように推測した。

破砕品を熔融混錬しペレット化する工程で、ストランドと呼ばれる、熔融された樹脂を水につけることで冷却し、ペレット状にカットする方式をとっている。この際、荒いものは表面が荒く、ボソボソ状態にあり、水槽で冷却し、カットした際に余分な水分をペレット内部に取り込んでしまっており、その後の乾燥工程で取りきれない水分として持っている。一方で、微粉碎については表面がきめ細やかな為、水分を取り込まなかったと推定される。

物性評価を行ったサンプルは、強く乾燥していたため上記の水分も飛んでしまっている。よって現在保有しているデータでは上記の要因かどうかを測ることができない。

2.2 光ファイバーケーブルペレットの光ファイバーケーブル付帯設備への成形技術の実証(製品への用途探索と改質、可とう電線管等の成形)

2.2.1 緒言

2.2.1.1 製品への用途探索と、改質

光ファイバーケーブルを地下や屋外に設置した際の保護用に可とう配管が用いられるが、この際可とう配管には、高い機械的強度と5-20年の使用に耐える高い耐候性が求められる。一般にプラスチックの機械的強度を向上させるためにガラス繊維を添加したことは多く、自動車やバスタブの他、光ファイバーケーブル業界でも高架製品等に広く用いられる。本実証技術で、ペレット中に混入してしまうコア線を、適切な大きさに微粉碎したことで疑似的に添加剤として機能させることを想定した。

実証の方針として、まずは市場品の物性評価を実施し目標物性とした。次に、微粉碎混練で得られたペレットの機械的物性や耐候性試験を行う。目標物性に合わせて耐候性や耐熱性を添加した添加剤を探索し配合した。また対応可能な可とう配管の種類や、光ファイバーケーブル付帯製品を検討し、製品に合わせた改質を行う。

2.2.1.1.1 一般特性項目測定試験

市場に流通している可とう配管4種について、物性評価を実施し目標物性を定めた。

本対象のリサイクル材料物性評価として一般物性項目測定評価を実施し、改質によりどの程度目標値に到達しているか検証をした。測定評価にあたっては、測定機器の器差、測定方法等の差異も考慮し2社(株式会社セレンと株式会社新菱)にて比較測定をした。比較検証した対象物は、リサイクル材と従来品との比較としてA-01(市販品配管リペレット品)を基準とし、本対象物であるA-02(光ファイバーケーブル微粉碎100%リペレット)、A-03(光ファイバーケーブル微粉碎改良品)の物性を比較検証した。また、A-03(光ファイバーケーブル微粉碎改良品)は、A-01を目標として、A-02を改質しており、改質によってどの程度目標値に到達しているか検証評価をした。

市販品配管リペレット品、光ファイバーケーブル微粉碎100%リペレット品、光ファイバーケーブル微粉碎改良品を検証評価により改質リペレット品の性能が上がっていることの効果確認と改良処方制度の検証をした。

2.2.1.1.2 成型収縮率測定試験

本対象のリサイクル材料物性評価として成型収縮率評価を実施し、市販品配管材料と本対象リサイクル材料により成形時の収縮率を測定検証評価した。比較検証した対象物は、リサイクル材と従来品との比較としてA-01(市販品配管リペレット品)を基準とし、本対象物であるA-02(光ファイバーケーブル微粉碎100%リペレット)、A-03(光ファイバーケーブル微粉碎改良品)の物性を比較検証した。また、A-03(光ファイバーケーブル微粉碎改良品)は、A-01を目標として、A-02を改質しており、改質によってどの程

度目標値に到達しているか検証評価をした。

市販品配管リペレット品、光ファイバーケーブル微粉碎100%リペレット品、光ファイバーケーブル微粉碎改良品を成形収縮率測定装置にて検証評価により、現状使用されている材料と本対象リサイクル材料が、同一成型条件で製品成形できるか検証評価をした。

2.2.1.1.3 促進耐候性試験(5年、20年)

本対象のリサイクル材料物性評価として耐候性試験を実施し、改質によりどの程度目標値に到達しているか検証をした。比較検証した対象物は、リサイクル材と従来品との比較としてA-01(市販品配管リペレット品)を基準とし、本対象物であるA-02(光ファイバーケーブル微粉碎100%リペレット)、A-03(光ファイバーケーブル微粉碎改良品)、A-04(A-03に耐候性剤を添加した品)の物性を比較検証した。また、A-03(光ファイバーケーブル微粉碎改良品)及びA-04は、A-01を目標として、A-02を改質しており、改質によってどの程度目標値に到達しているか検証評価をした。

またR4年度に、予備試験として耐候性試験を実施しており、その内容についても報告する。

2.2.1.1.4 規制対象物質の非含有確認試験

光ファイバーケーブルには従来、臭素系難燃剤等の有害物質が使用されていた。メーカーへのヒアリング結果、現在はこうしたRoHS指令に対応し、特定有害物質は用いていないと回答を得ているが、実際のリサイクルの現場では過去のロットや他の商品混入などにより規制対象の物質が混入した恐れがある。また万が一混入の恐れがある場合は環境への放出を防ぐ対策が必要となる。

そこで本項目では、光ファイバーケーブルのRoHS指令に準拠して、規制対象物質の非含有確認試験を実施した。

2.2.1.2 可とう電線管の成形における課題

本実証では、ペレット内に光コア線やPA不織布が混入している。こうした混入物が混ざった状態での成形において、最適となる金型の設計や機械条件を洗い出す。

2.2.1.2.1 可とう電線管の成形

光ファイバーケーブル付帯設備の1例として、可とう電線管の成形を行い、技術課題を洗い出した。

2.2.1.2.2 ケーブルトラフの成形

光ファイバーケーブル付帯設備の1例として、ケーブルトラフ(通信線用の配管)の成形を行い、技術課題を洗い出した。

2.2.1.2.3 光ファイバーケーブル微粉碎品のアスファルト材への活用試験

廃棄物として排出される光ファイバーケーブルの中には、油污れ等や塩素系樹脂の混合、他のプラスチックと分離が難しい等の理由から、上記の電線管やケーブルトラフへのマテリアルリサイクルが難しいロットが出てくることが予想される。本項目ではそうした状態の悪い光ファイバーケーブルロットを熱回収以外への有効なリサイクル手段を提供したことで100%の有効活用を目指す。今回は1例としてアスファルト材への添加を取り上げ、有効性を検討した。

通常、アスファルト舗装は、元々の土壌の上部に砂利等で基層を敷き、表層に加熱混合したアスファルト混合物を敷く。今回は光ファイバーケーブル微粉末を、アスファルト混合物に添加し一般性状を確認した。形状結果からアスファルト添加材への実現可能性を検討した。

※アスファルト混合物:アスファルトに骨材である砕石や砂とフィラーを混合したもの

2.2.1.2.3.1 試験の目的

適切なアスファルト混合物は、交通荷重や気象条件からくる破壊作用に耐える性質を備えている必要がある。

アスファルト混合物が備えておくべき条件⁽¹⁾

- 1) 施工が容易であること(施工性)
- 2) 波やわだち掘れの変形が起りにくいこと(安定性)
- 3) もろくなく、耐水性があり、すりへりにくいこと(耐久性)
- 4) ひび割れが生じにくいこと(たわみ性)
- 5) 路面がすべりにくいこと(すべり抵抗性)

上記の内、光微粉の添加によって影響が出ると考えられるのは、施工性、安定性、耐久性の3点である。この観点について、通常のアスファルト化合物と比較した。

2.2.1.2.3.2 バインダーの性状確認

ストレートアスファルトに添加剤を混合したものをバインダーと呼ぶ。施工性の評価項目として、ストレートアスファルト60/80(以下StAs60/80と記す)に光微粉を段階的に添加した際のバインダーの針入度・軟化点を測る。また、光微粉のアスファルトへの増量効果を測るため、アスファルト抽出試験を通じて、光微粉内のアスファルト可溶成分と、不可溶成分の割合を測る。

本試験では内添加と外添加の2つの添加方法を考慮した。内添加は添加剤をアスファルトと同じバインダーとして考える場合を指し、外添加は添加剤をバインダーと考えない場合を指す。

2.2.1.2.3.3 アスファルト混合物の性状確認

適切なアスファルト混合物に求められる性質の内、安定性と耐久性に関して、マーシャル安定度試験及びホイールトラッキング試験を用いて測定し、通常のアスファルト混合物と比較した。

2.2.2 アプローチ

2.2.2.1 製品への用途探索と、改質

2.2.2.1.1 一般特性項目測定試験

2.2.2.1.1.1 目標物性の把握試験

下記試験項目を「2.1.2.4 試験概要及び試験規格」に沿って実施した。

- (1) 曲げ試験
- (2) シャルピー衝撃試験
- (3) MFR
- (4) HDT
- (5) 灰分

試験対象は、下記である

- (1) 番号:01、メーカー:未来工業、品名:TLフレキ、品番:TCN-22S
- (2) 番号:02、メーカー:未来工業、品名:ミラフレキ-SS、品番:MFS-22
- (3) 番号:03、メーカー:未来工業、品名:ミラフレキ-CD、品番:MPCD-22
- (4) 番号:04、メーカー:未来工業、品名:ミラフレキ-MF、品番:MF-28

2.2.2.1.1.2 株式会社セレン実施試験概要

試験項目及び規格は、目標物性の把握試験と同じ

試験対象は下記

- (1) A-01 (市販品配管リペレット品)
- (2) A-02 (光ファイバーケーブル微粉碎100%リペレット)
- (3) A-03 (光ファイバーケーブル微粉碎改良品)

2.2.2.1.1.3 株式会社新菱実施試験概要

(1) 引張試験

試験方法: JIS K7161-1、-2 準拠

試験装置: ストログラフ AP4(東洋精機製作所製)

試験片: ダンベル試験片タイプ 1A

測定数 n=5

試験条件: 荷重レンジ 1、000N、試験速度 5mm/min

図表 61 ストログラフ AP4(東洋精機製作所製)



(2) 曲げ試験

試験方法: JIS K7171 準拠

試験装置: ベンドグラフ B-2(東洋精機製作所製)

試験片: 長さ 80mm、幅 10mm、厚さ 4mm

測定数: n=5

試験条件: 荷重レンジ 20N、試験速度 2mm/min

図表 62 ベンドグラフ B-2 (東洋精機製作所製)



(3) シャルピー衝撃試験

試験方法: JIS K7111 準拠

試験装置: No. 258-ZA (安田精機製作所製)

試験片: JIS K7111-1/1eA

測定数: n=10

振り子エネルギー: A-01 は 5J, A-02、A-03 は 15J

図表 63 No. 258-ZA (安田精機製作所製)



(4) MFR

試験方法: JIS K7210-2 準拠

試験装置: メルトインデクサー P-111 (東洋精機製作所製)

測定数: n=3

試験条件・荷重: 190°C、10kg

図表 64 メルトインデクサー P-111 (東洋精機製作所製)



(出典: https://www.toyoseiki.co.jp/products_cat/melt-indexer/)

(5) HDT

試験方法: JIS K7191-1、-2 準拠

試験装置: No. 148 (安田精機製作所製)

試験片: 長さ 80mm、幅 10mm、厚さ 4mm

測定数: n=3

試験条件: 1.8MPa、0.45MPa

図表 65 No. 148 (安田精機製作所製)



(出典: <https://yasuda-seiki.co.jp/product/heat-desertion/>)

(6) 比重

試験方法: JIS K7112-1 準拠

試験装置: SGM-200S (島津製作所製)

試験片: ダンベル試験片タイプ 1A

測定数: n=5

試験方法: A 法 (水中置換法)

(7) 灰分

試験方法:新菱方法

試験装置:電気炉 FUL230FA (ADVANTEC)

測定数:n=3

試験方法:450℃、3hr 電気炉にて灰化

状態調節:23℃±2℃、50%RH±5%×24hr 以上

試験室環境:23℃±2℃、50%RH±5%RH

図表 66 電気炉 FUL230FA (ADVANTEC)



(出典 : http://www.daiwakeisoku.com/_userdata/PDF/electric_muffle_furnace.pdf)

2.2.2.1.2 成型収縮率測定試験

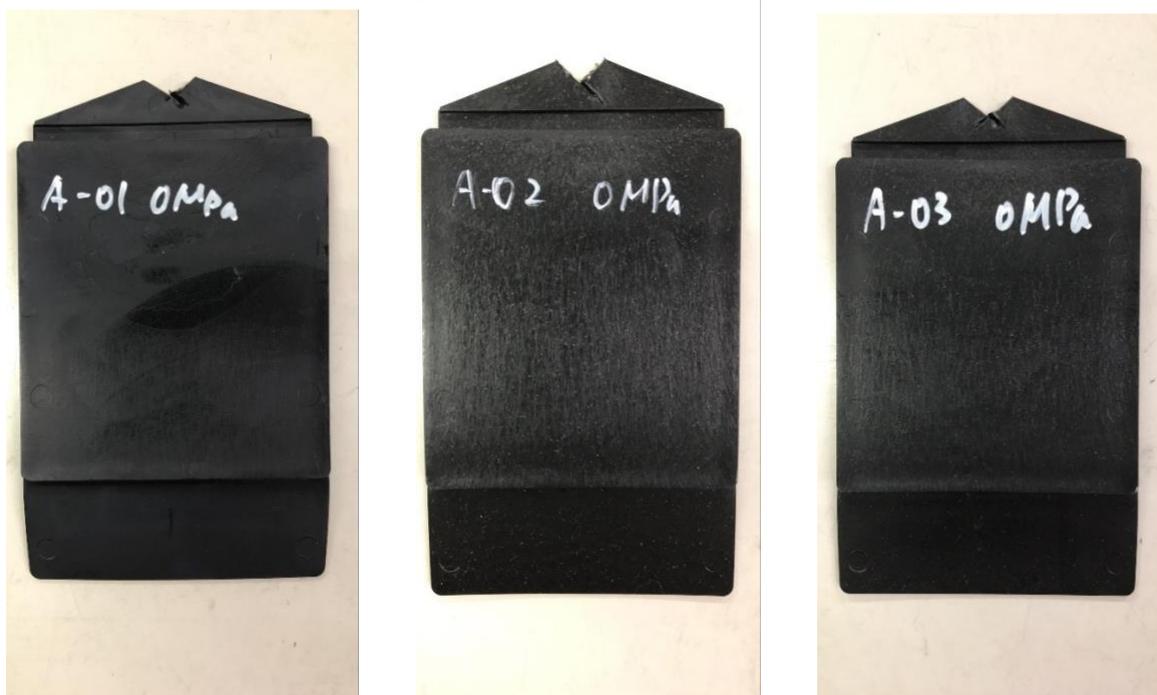
2.2.2.1.2.1 試験サンプル・試験項目・条件

試験サンプルは以下の通りとした。

図表 67 A-01 基準品

図表 68 A-02 微粉碎
品 改質なし

図表 69 A-03 微粉碎
品 改質あり



試験項目、条件は以下の通りとした。

規格：JIS K7152

試験片形状：JIS K7152-3 D2

試験条件：保圧時キャビティー内圧 20MPa、40MPa、60MPa、80MPa、100MPa のいずれか一つ以上で作成した成型品を測定したことが定められている

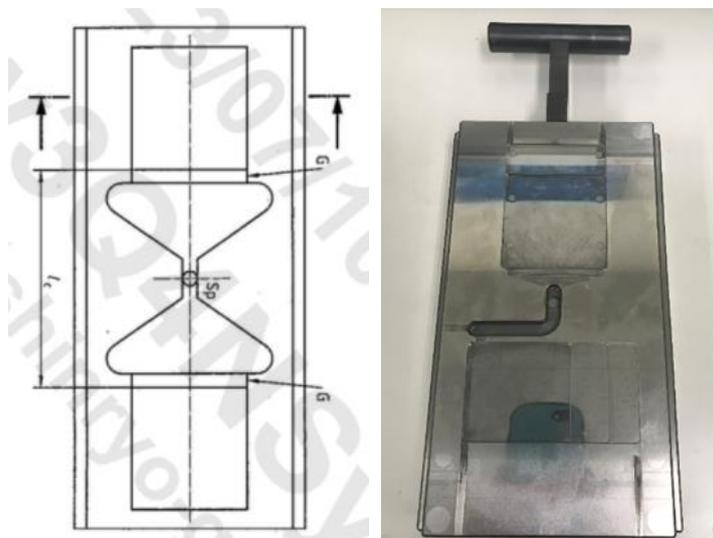
成型収縮率 (%) = (L-L1) / L

L：金型寸法 (mm)、L1：成型品寸法

図表 70 JIS 規格と新菱での試験片の違い

	JIS K7152	新菱
試験片	60mm×60mm×2mmt	60mm×60mm×3mmt
キャビティー内圧測定	必要	測定不可

図表 71 金型設計 (左)、金型 (右)



サンプル成形条件及び試験項目・条件は以下の通りとした。

射出成形機:JSW 75EII(日本製鋼所製)

シリンダー温度:190℃

金型温度:40℃

試験片寸法:60×60×3mmt

図表 72 成型収縮率試験片射出成型条件

項目	単位	A-01	A-02	A-03
射出圧力	MPa	60	60	60
射出速度	mm/s	12	12	12
保圧	MPa	0,40,60,80	0,40,60	0,40,60,80
保圧切替位置	mm	5	5	5
保圧時間	sec	20	30	30
射出時間	sec	9.01	2.77	4.44
冷却時間	sec	20	20	20
回転数	rpm	80	80	80
背圧	MPa	0.3	0.3	0.3
計量完了位置	mm	43	39	43
樹脂温度	℃	196	193	193
金型固定温度(実測)	℃	47	44	45
金型稼働温度(実測)	℃	52	51	54

実施試験内容は以下の通りとした。

試験方法: JIS7152 を参考に新菱独自規格にて実施

試験条件: 成型時に保圧を振り、保圧毎に 24 時間後ノギスにて流れ方向 (MD)

垂直方向 (TD) の成型収縮率を測定

測定数: n=2

状態調節: 23°C ± 2°C、50%RH ± 5% × 24hr 以上

試験室環境: 23°C ± 2°C、50%RH ± 5%RH

成型収縮率 (%) = (L - L1) / L

L: 金型寸法 (mm)、L1: 成型品寸法

2.2.2.1.3 促進耐候性試験 (5 年、20 年)

下記装置及び条件で 20 年の耐候性試験を実施した。

- ・ A-01 (市販品配管リペレット品)
- ・ A-02 (光ファイバーケーブル微粉碎 100%リペレット)
- ・ A-03 (光ファイバーケーブル微粉碎改良品)
- ・ A-04 (A-03 に耐候性剤を添加した品)

図表 73 PE の耐候性試験項目及び条件

試験方法	メタルハライドランプ式促進耐候性試験
測定項目	促進耐候性 (5 年相当、及び 20 年相当)
試験条件	放射光源: メタルハライドランプ: ME10-L31WX/SUV 水冷ジャケット: WJ80 - SUV UV フィルター: UVCF10 減光フィルター: 無し 放射計: シリコンフォトセル、 ハンディタイプ照度計 UVP365 - 03A 岩崎電気 (株) 温度: 63 ± 3° C (ブラックパネル温度制御) 照射期間中の相対湿度: 50%RH (設定値) 水噴霧サイクル: 120 分間照射中、18 分間水噴霧 放射照度: 1.5kW/m ² (調節波長範囲 300~400nm) 試験時間: 326 時間 (5 年)、及び 1060 時間 (20 年)
機種	SUV-W262
メーカー	IWASAKI ELECTRIC CO.、LTD.
測定機関	地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター

下記配合量と種類の添加剤を添加した。

図表 74 耐候性試験の配合

配合材料	A-04 配合量 (6.5年相当)
ペレット (%)	100
UV73 (%)	0.05
Hals90 (%)	0.05
1010 (%)	0.05
St-Zn (%)	0.05

添加剤の詳細は下記表の通りである。

図表 75 UV 73 の詳細

呼称	UV 73
メーカー	ケミプロ化成株式会社
製品名	KEMISORB 73
一般名	ベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤
化学式	2-(2'-ヒドロキシ-3'-tert-ブチル-5'-メチルフェニル)-5-クロロベンゾトリアゾール
特徴	短波長から長波長までバランス良く紫外線吸収帯を有する吸収剤。一定以上の耐熱性を有し、比較的高い加工温度でも使用可能。長期使用が必要となる用途でも多用されている。ポリオレフィンの他、色々な樹脂に優れた相溶性を有し、汎用されている。耐溶出性、耐抽出性に優れ、反応性に乏しいことを特徴とする。
参考URL	https://www.chemipro.co.jp/ja/business/chemicals/resin_additive/detail_01.html

図表 76 1010 の詳細

呼称	1010
メーカー	BASFジャパン株式会社
製品名	Irganox 1010
一般名	ヒンダードフェノール系酸化防止剤
化学式	Pentaerythritol tetrakis(3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)propionate)
特徴	酸化防止剤、耐熱安定性添加に用いられる。幅広い樹脂、エラストマーの耐熱性向上に効果を発揮、高分子量のため、低抽出性、低揮発性、薄物から厚物まで幅広い用途に使用される
参考URL	https://www.tenkazai.com/product-basf/irganox1010.html

図表 77 Hals の詳細

呼称	Hals
メーカー	ケミプロ化成株式会社
製品名	KEMISTAB 94
一般名	ヒンダードアミン系光安定剤
化学式	Poly([6-[(2,4,4-trimethylpentan-2-yl)amino]-1,3,5-triazine-2,4-diyl][(2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidyl)imino]hexane-1,6-diyl[(2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidyl)imino])
特徴	ラジカル捕捉に優れた光安定剤。高分子量タイプで、耐揮発性に優れている。厚い樹脂から薄膜までの耐光安定化に効果を発揮する。ポリオレフィン等に多用される。
参考URL	https://www.chemipro.co.jp/ja/business/chemicals/resin_additive/detail_06.html

図表 78 St-Zn の詳細

呼称	St-Zn
一般名	ステアリン酸亜鉛
化学式	Zn(C18H35O2)2
特徴	本件では、滑剤・分散剤として添加
参考URL	https://www.genome.jp/dbget-bin/www.bget?dr_ia:D06370

また R4 年度に、予備試験として 5 年間の耐候性試験を実施した。試験条件は共通。対象サンプルは下記。C-03 について配合した耐候性添加剤の種類と配合量は共通。

- (1) C-01:光ファイバーケーブル 6mm 粉砕品
- (2) C-02:光ファイバーケーブル微粉砕 100%リペレット)
- (3) C-03:光ファイバーケーブル微粉砕+耐候性添加剤

2.2.2.1.4 規制対象物質の非含有確認試験方法

下記試験を実施した。試料は A-02 を用いた。本試験は JFE テクノリサーチ株式会社に委託し実施した。

- (1)EDX による無機元素スクリーニング分析(Pb、Cd、Hg、Cr、Br)
- (2)溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析(臭素系難燃剤:PBB、PBDE)
- (3)溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析(フタル酸エステル類:DEHP、BBP、DBP、DIBP)

2.2.2.2 可とう電線管等の成形試験概要

2.2.2.2.1 可とう電線管の成形試験概要

原料は、A-02 (光ファイバーケーブル微粉砕 100%リペレット) 及び A-03 (光ファイバーケーブル微粉砕改良品) をそれぞれ用いて、2 種の可とう電線管を比較した。

使用した設備は、「2.1.2.5 使用設備 (H) 配管成形機」を用いて、同条件で行った。

2.2.2.2.2 ケーブルトラフの成形試験概要

株式会社晃栄に委託し、ケーブルトラフの成形試験を実施した。原料は A-02(光ファイバーケーブル微粉砕 100%リペレット)。使用した設備は下記である。

図表 79 射出成形機外観



2.2.2.2.3 アスファルト材への活用試験概要

2.2.2.2.3.1 バインダーの性状確認試験方法

下記条件及び設備で試験を実施した。

図表 80 針入度の試験条件及び設備詳細

測定項目	針入度
試験方法	舗装調査・試験法便覧 A041
試験片形状	バインダー
試験条件	バインダー温度:25℃、 配合:StAs60/80 に対し光微粉を 2%、5%、10%、15%の割合で各々外添加
装置名	自動針入度試験機(外観は図 1)
品番、メーカー	EX-820、ELEX 科学株式会社、2004 年購入

図表 81 軟化点の試験条件及び設備詳細

測定項目	軟化点
試験方法	舗装調査・試験法便覧 A041
試験片形状	バインダー
試験条件	配合:針入度試験と共通
装置名	自動軟化点試験機(外観は図 2)
品番、メーカー	EX-210E、ELEX 科学株式会社、2005 年購入

図表 82 アスファルト抽出試験の試験条件及び設備詳細

測定項目	光微粉のアスファルトへの可溶性
試験方法	舗装調査・試験法便覧 B003
試験片形状	バインダー
試験条件	バインダー温度:150℃ 配合:StAs60/80 に光微粉、10%内添加
装置名	※自社製作(外観は図 3)

図表 83 針入度試験機器



図表 84 軟化点試験機器



図表 85 図表抽出試験機器



2.2.2.2.3.2 アスファルト混合物の性状確認試験方法

下記条件及び設備で試験を実施した。

図表 86 マーシャル安定度試験条件及び設備詳細

測定項目	マーシャル安定度
試験方法	舗装調査・試験法便覧 G028
試験片形状	アスファルト混合物(円柱状)
試験条件	供試体:密粒度アスファルト混合物(13)(配合:StAs60/80:5.3%、6号 砕石 35.1%、7号砕石 20.8%、砕砂 24.6%、細目砂 9.5%、石粉 4.7%) 突き固め回数、温度:50回、145~150℃ 試験個数 N:5 光微粉配合量:0%、10%内添加、10%外添加(各々アスファルト量への割合)
装置名	マーシャル安定度試験機(外観は図 8)
品番、メーカー	MODEL No NKA-158B、ニッケン株式会社

図表 87 ホイールトラッキング試験条件及び設備詳細

測定項目	動的安定度
試験方法	舗装調査・試験法便覧 B001
試験片形状	アスファルト混合物(方形状)
試験条件	試験個数 N:3、※他条件はマーシャル安定度試験と共通
装置名	三連型水浸式ホイールトラッキング試験機(外観は図 9)
品番、メーカー	MODEL No NKA-A3D-CWP、ニッケン株式会社、2021 年製造

図表 88 マーシャル試験機器外観



図表 89 ホイールトラッキング試験機器外観



2.2.3 取組結果

2.2.3.1 製品への用途探索と、改質

2.2.3.1.1 目標物性の把握試験結果

市場に流通している可とう配管 4 種の物性は下記となった。

図表 90 市場に流通している可とう配管 4 種の物性

サンプルNo				1	2	3	4
項目	試験方法	単位	MSC 通し番号01 未来工業 TLフレキ TCN-22S	MSC 通し番号02 未来工業 ミラフレキ-SS MFS-22	MSC 通し番号03 未来工業 ミラフレキ-CD MFCO-22	MSC 通し番号04 未来工業 ミラフレキ MF MF-28	
1	メルトフローレイト	JIS-K7210	g/10min	0.13	0.16	0.12	0.19
2	引張降伏強度	JIS-K7161	Mpa	21.8	23.8	23.7	14.6
3	引張破断伸度	JIS-K7161	%	52.5	32.0	43.7	54.4
4	曲げ強度	JIS-K7171	Mpa	20.5	22.6	22.4	11.5
5	曲げ弾性率	JIS-K7171	Mpa	900	980	990	580
6	IZ衝撃強度	23℃	KJ/mf	20.6*1	24.7*1	29.9*1	8.9*1
				-	-	-	-
7	灰分	JIS-K2272	%	0.66	0.66	0.66	11.0
8	密度	JIS-K7112	g/cm ³	0.953	0.963	0.949	1.153
9	水分	乾燥減量法 (105℃2H)	%	0.083	0.076	0.071	0.101
10	色調	JIS-Z8730	L値	21.9	75.7	53.2	22.6
			a値	0.4	3.1	26.6	0.8
			b値	-2.4	5.0	34.5	-3.4
備考	*1 ヒンジ破断 薄い表層だけが一体になって離れない不完全破断。						

メーカーに偏りがあるという要因もあるが、市場に流通し、一般的に手に入る配管については、そこまで物性に差がないことが判明した。また、光ファイバーケーブル微粉砕 100%品を上記の代替品として適用する場合、引張降伏強度等の改質が必要であるとわかった。

2.2.3.1.2 一般特性項目測定試験

測定機器の器差、測定方法等の差異については、「引張強度（引張破断歪）」について株式会社新菱と株式会社セレンで差異が大きいが、測定装置が株式会社新菱は全自動試験方法に対し、株式会社セレンは半自動試験方法の違いにより、差が発生したものと考えられる。

処方改良による A-03 改質については、A-01 に対して、「曲げ強度」「曲げ弾性率」の改善効果がみられず、「シャルピー衝撃強度」については、改善効果はみられるものの A-01 レベルに至っていない。

図表 91 一般特性測定結果

測定項目		規格	単位	A-01			A-02			A-03		
				新菱	セレン	誤差	新菱	セレン	誤差	新菱	セレン	誤差
引張試験	引張強度	JIS K7161-1,-2	Mpa	21	21.8	-0.8	12	10.3	1.7	13	14.3	-1.3
	引張破壊歪		%	704	114.3	589.7	493	187.7	305.3	606	162.4	443.6
曲げ試験	曲げ強度	JIS K7171	Mpa	23	22.4	0.6	12	11.9	0.1	15	15.9	-0.9
	曲げ弾性率		Mpa	946	915	31	442	470	-28	605	585	20
シャルピー衝撃試験	ノッチ有	(新菱) JIS K7111 (セレン) JIS K7110	KJ/m2	14	7.8	6.2	26.3	13.3	13	18.1	10.2	7.9
MFR	190℃、10kg	JIS K7210-2	g/10min	12	0.81	11.19	17	0.71	16.29	12	0.65	11.35
HDT	1.8Mpa	JIS 7191-1	℃	47	—	—	測定不可	—	—	42	—	—
	0.45Mpa		℃	73	—	—	54	—	—	61	—	—
比重	—	JIS K7112-1	—	<1	0.979	—	<1	0.248	—	<1	0.974	—
灰分	450℃×3hr	(新菱) — (セレン) JIS K2272	%	0.3	0.2	0.1	7.4	8.5	-1.1	4.7	4.7	0

現状レベルでは、蛇腹管等の基準物性をクリアできておらず、本特性スペックで製品金型設計を行う場合、市販品材料よりも厚みを出し強度を上げる必要がある。クリアできなかった要因として、30%添加したバージン材が、カタログの物性よりも低かったことが挙げられる。よって改質のみで基準物性をクリアするにはより硬いバージン材を添加する必要がある。

2.2.3.1.3 成型収縮率測定試験結果

成型収縮率測定試験結果を以下に示す。

図表 92 成型収縮率成形直後測定結果、及び成型収縮率（成型 24 時間後）

	A-01				A-02		
	0MPa	40MPa	60MPa	80MPa	0MPa	40MPa	60MPa
MD	2.5	2.4	2.1	2.0	3.9	2.4	2.2
TD	2.2	1.7	1.1	0.8	2.7	1.5	1.0
	A-03						
	0MPa	40MPa	60MPa	80MPa			
MD	2.7	2.5	2.4	2.1			
TD	2.9	1.6	1.1	0.8			

1. A-01 (市販品配管リペレット品)、A-02 (光ファイバーケーブル微粉砕100%リペレット)、A-03 (光ファイバーケーブル微粉砕改良品) は、樹脂流れ方向 (MD)、垂直方法 (TD)、ともに保圧条件で収縮率同傾向にあり材料における大きな差異はない。
2. 成形直後と安定した24時間後の傾向として、A-01 (市販品配管リペレット品)、A-02 (光ファイバーケーブル微粉砕100%リペレット)、A-03 (光ファイバーケーブル微粉砕改良品) とともに経過時間における変化率は少ない。
3. 成型24時間後のA-02MDの0MPaで、成形収縮率3.9の数値は、推定要因としてA-02は流動性 (MFR) がA-01、A-03より高く成形時の射出時間が短く、早く充填され固化がA-01、A-03より早かったことにより収縮率が、A-01、A-03より大きくなった可能性がある。

A-01 (市販品配管リペレット品)、A-02 (光ファイバーケーブル微粉砕100%リペレット)、A-03 (光ファイバーケーブル微粉砕改良品) 保圧40~60MPaの範囲において同成型条件で成形可能と判断できる。

2.2.3.1.4 促進耐候性試験結果(5年、20年)

20年間の耐候性試験結果は下記となった。耐候性試験の表面状態を示す

図表 93 耐候性試験後におけるプレート表面状態の観察結果

種類	経過年数	0年	5年	10年	15年	20年
A-01 (市販品配管リペ レット品)						15年相当とほぼ変わらず (15年相当と比較し、若干ク ラックが深くなった)
A-02 (光ファイバーケー ブル微粉砕100% リペレット)						15年相当とほぼ変わらず
A-03 (光ファイバーケー ブル微粉砕改良品)						15年相当とほぼ変わらず
A-04 (A-03に耐候性剤を 添加した品)						15年相当と比較し、少しか らクラック等はない

引張試験結果は下記表となった。

図表 94 耐候性試験後の引張降伏強度試験結果

種類 \ 経過年数	0年	5年	10年	15年	20年
A-01 (市販品配管リペレット品)	21.8	22.8	22.8	23.5	22.7
A-02 (光ファイバーケーブル微粉砕100%リペレット)	10.3	10.9	11.1	11.4	11.2
A-03 (光ファイバーケーブル微粉砕改良品)	14.3	15.4	15.6	15.8	15.5
A-04 (A-03に耐候性剤を添加した品)	14.3	15.2	15.5	16.0	15.6

引張降伏強度試験の試験規格 JIS-K7161、単位 Mpa

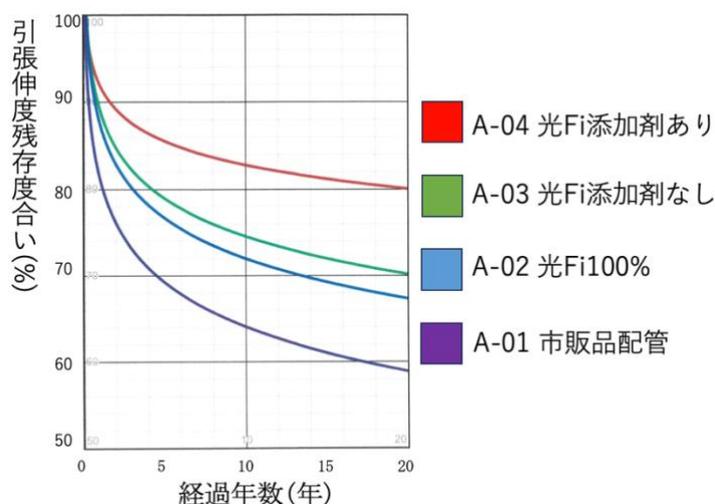
図表 95 耐候性試験後の引張破断伸度試験結果

種類 \ 経過年数	0年	5年	10年	15年	20年
A-01 (市販品配管リペレット品)	114.3	50.2	56.4	54.4	48.7
A-02 (光ファイバーケーブル微粉砕100%リペレット)	187.7	155.7	96.3	94.0	86.4
A-03 (光ファイバーケーブル微粉砕改良品)	130.9	115.3	78.2	66.3	60.9
A-04 (A-03に耐候性剤を添加した品)	162.4	136.8	104.5	111.3	107.4

引張破断伸度試験の試験規格 JIS-K7161、単位%

引張破断伸度を、残存度合でグラフ化して、指数対数近似曲線を記述し、比較すると以下のようになった。ここで先行研究より耐候性試験による引張破断伸度は指数関数近似ができることが知られている。

図表 96 耐候性試験後の引張破断伸度の残存度合い



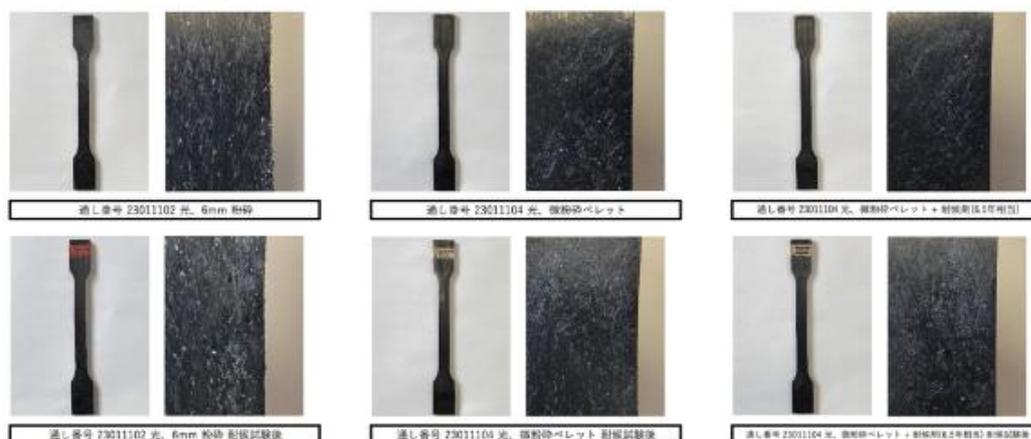
$$y = 100 - \frac{a_0 - a_x}{a_0 + a_x} \times 100$$

a_0 : 0年目 (耐候性試験前) の引張破断伸度
 a_x : x年目 (耐候性試験後) の引張破断伸度

よって、比較して基準品は耐候性が低く、光ファイバーケーブル由来品の方が、耐候性は高いという結果になった。また、光ファイバーケーブル由来品では耐候性剤が入っていない場合でもある程度の耐候性を示すが、耐候性剤を添加することで耐候性がさらに向上することが判明した。また、耐候性剤を伴わない改質については、あまり耐候性の結果に影響を与えないこともわかった。

また、5年間の耐候性試験結果は下記となった。

図表 97 耐候性試験結果



引張試験結果は下記となった

図表 98 耐候性試験前後の引張試験結果

促進耐候性試験前後

6mm破砕品

	項目	単位	照射前	照射後	変化率
1	引張降伏強度	Mpa	13.1	13.5	1.7
2	引張破断伸度	%	65.0	55.3	△8.1

300µm微粉砕品

	項目	単位	照射前	照射後	変化率
1	引張降伏強度	Mpa	9.7	10.3	3.0
2	引張破断伸度	%	192.7	172.7	△5.5

300µm微粉砕品+耐候性添加剤

	項目	単位	照射前	照射後	変化率
1	引張降伏強度	Mpa	11.3	11.3	1.5
2	引張破断伸度	%	80.8	80.8	△3.8

結果として、耐候性改質剤を添加していないサンプルについても、わずかな劣化のみであった。また、多少効果耐候性改質剤による効果はあるものの、顕著には出なかった。この程度の効果の場合、改質剤コストを鑑みると混ぜるメリットはあまりない。

要因として、元々光ファイバーケーブルの製造時に十分量以上の耐候性改質剤が添加されており、その効果が継続しているためであると考えられる。

2.2.3.1.5 規制対象物質の非含有確認試験結果

下記全ての項目について非検出であった。よって RoHS 指令対象の規制対象物質については非含有である。

- (1) EDX による無機元素スクリーニング分析(Pb、Cd、Hg、Cr、Br)
- (2) 溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析(臭素系難燃剤:PBB、PBDE)
- (3) 溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析(フタル酸エステル類:DEHP、BBP、DBP、DIBP)

本試験が保証したのは本実証で用いた光ファイバーケーブルのみである。本実証期間後に社会実装を行う際は、実施した工場で購入される光ファイバーケーブルについても同様の試験を実施したことが望ましい。

2.2.3.2 可とう電線管等の成形試験結果

2.2.3.2.1 可とう電線管の成形試験結果

下図の通り、可とう電線管が得られた。表面状態の観察結果、光コア線等は析出していない。前述の通り、A-02、A-03 共に目標配管である A-01 の強度に届いていないため、触った感触としても若干柔らかく曲がりやすいが十分商品としての利用は可能である。本項及び他項より、荒破碎からこの配管の成形までの連続工程において 150kg/h 以上の連続生産ができた。

成形課題は特になく、通常の配管と変わらない諸条件で成形できた。生産能力は 210kg/h であった。後述のケーブルトラフにおいては、水蒸気の発生が見られたが、本成形では見られなかった。これは、本成形に用いた原料は作成後、比較的に空けずに行ったことや、湿気を警戒しての密封および保管を行っていたことが影響していると考えられる。



図表 99 A-02 を用いた可とう配管



図表 100 A-03 を用いた可とう配管

2.2.3.2.2 ケーブルトラフの成形試験結果

下図の通り、ケーブルトラフが得られた。表面状態の観察結果、光コア線等は析出しておらず、通常のバージン材を使用したケーブルトラフと比較して遜色なく使用が可能となる。本成形を行った株式会社晃栄が日常的に生産しているケーブルトラフと比較した場合、重さが15%ほど軽い。これは樹脂自体の特性ではなく、配合しているタルク等のフィラーに依存している。実際にケーブルトラフを採用した場合は、比重調整等のためにフィラーの混合等が今後必要となる。

図表 101 成形したケーブルトラフ外観



また成形中の課題として、原料の混錬用のスクリーと、金型への射出用のスクリーとの間に設けられたオープンベントから、中量の水蒸気の発生が見られた。これは微粉碎粉の特徴として湿気を吸いやすいため、保管時に水分を吸着したためと考えられる。成形品には水蒸気による発泡等の成形不良は特に見られなかったため、本試験では、オープンベントによる脱気が十分機能した。今後、発泡等の成形不良が見られる場合には、微粉の乾燥等の工程が必要となる可能性が示唆された。

図表 102 成形中のオープンベントの様子



2.2.3.2.3 アスファルト材への活用試験結果

2.2.3.2.3.1 バインダーの性状確認試験結果

StAs60/80 に対し光微粉を 2%、5%、10%、15%の割合でそれぞれ外添加した際の針入度と軟化点は下記表とグラフに示す。

図表 103 光微粉碎添加量に対する針入度と軟化点の変化

光微粉外添加量(%)	0%	2%	5%	10%	15%
針入度(1/10mm)	70	(62)	(41)	(29)	(18)
軟化点(°C)	45.5	(47.5)	(54.0)	(62.0)	—※1

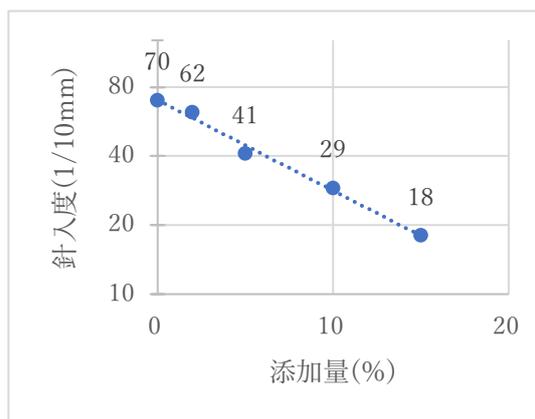
※1 光微粉 15%外添加バインダーの軟化点については、90°Cを超えても鋼球の降下が見られないため不適とした。試験後の供試体鋼球の下面に繊維状の固形物が付着していた。付着物の画像を上図に示す。

他の光微粉を添加した供試体についても繊維状固形物の影響を受けて正しく試験実施できていない可能性を考慮して、参考値として示す。

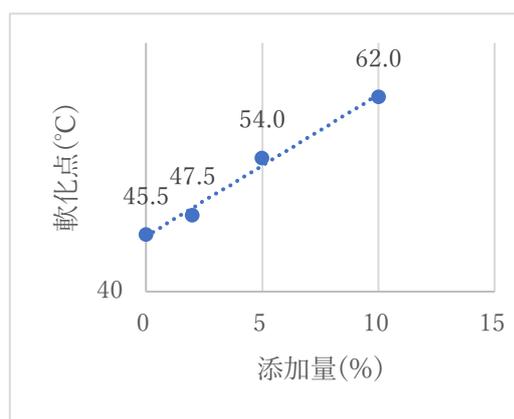
下図の通り光微粉の添加量が15%まで増やすと、針入度は低下し軟化点は高くなる傾向が見られる。

アスファルト抽出試験の結果、光微粉内のアスファルト可溶成分は33.8%、不可溶成分は66.3%であった。不可溶成分として残った残さの画像を下図に示す。

図表 104 光微粉添加量に対する針入度の変化



図表 105 光微粉添加量に対する軟化点の変化



図表 106 軟化点試験後、繊維状の付着物



図表 107 抽出試験後の残さ



2.2.3.2.3.2 バインダーの性状確認試験考察

アスファルト抽出試験では、溶剤(トリクロロエチレン)によって、抽出したため、加熱により溶けた分以外に、光微粉の内容物が溶剤に溶けることが考えられる。その割合を考慮し、光微粉内のアスファルト可溶成分は多くとも 33.8%とし、不可溶成分は少なくとも 66.3%であると結論づける。

この不可溶成分がバインダーの硬化時に表面に浮き出ている可能性が考えられ、針入度試験及び軟化点試験が的確に実施できていないと考えられる。

よって本手法による評価試験は不適とし別の評価手法を試す。光微粉が完全に溶けないことから、アスファルト増量剤としての使用は難しい。

2.2.3.2.3.3 アスファルト混合物の性状確認試験結果

アスファルト混合物に対し光微粉を 0%、10%内添加、10%外添加 15%の割合でそれぞれ外添加した際のマーシャル安定度試験結果とホイールトラッキング試験結果を下記表に示す

図表 108 マーシャル安定度試験結果

光微粉外添加量 (%)	0%	10%内添加	10%外添加
かさ密度 (g/cm ³)	2.376	2.340	2.363
安定度 (kN)	10.6	11.8	13.3
フロー値 (1/100cm)	21	22	25

図表 109 ホイールトラッキング試験結果

光微粉外添加量 (%)	0%	10%内添加	10%外添加
かさ密度 (g/cm ³)	2.408	2.380	2.393
動的安定度 (回/mm)	473.3	6825	2768

よって、表 1、2 より内添加・外添加ともに光微粉を添加したことで密度は低下した。安定度は、光微粉の添加により増加傾向が見られる。混合物は固くなっている。

光微粉 10%内添加した混合物は、StAs60/80 を使用した混合物と比較しおよそ 15 倍の動的安定度が得られた。また、光微粉 10%外添加した混合物は、8 倍程度の動的安定度が得られた。

2.2.3.2.3.4 アスファルト混合物の性状確認試験考察

溶けだした光微粉には何らかの改質効果があると考えられる。一般的に動的安定度は、同じ混合物の場合、バインダー量に影響され、少ないと大きくなり、多いと小さくなる。光微粉 10%内添加の混合物は、無添加の混合物と比較して、バインダー量が 0.3%少なく動的安定度は大きくなることが予想される。しかしながら、0.3%の差で 15 倍も大きくなることは考

えづらく、光微粉の一部が溶けて改質効果が表れたと考えられる。光微粉 10%外添加についても、バインダー量が増えたにもかかわらず動的安定度が 8 倍程度大きくなっており、光微粉の改質効果説を補強した。

2.2.3.2.3.5 アスファルト材への活用試験まとめ

光微粉に対して、アスファルト舗装への改質剤・増量剤として再利用したことでの有効活用を目指して本試験を実施した。施工性を検査した目的で実施した針入度と軟化点は、光微粉に溶け出さない成分が含まれていることから試験条件に不備が見られる。

溶出試験で、溶け出さない成分が含まれており、アスファルト増量剤としての効果が限定的であることが示された。

光微粉の添加によって安定度と耐久性は向上し、光微粉にはアスファルトの改質効果が示唆された。

2.2.3.2.3.6 アスファルト材への活用について今後の課題

光微粉混合物の実用化に向けた今後の課題は下記 3 点である。

1) 光微粉によりアスファルトが改質されていると考えると突き固め温度を検討する必要がある。(外添加の供試体の密度が小さいため。改質効果によりアスファルトが硬くなるため、一般的な改質アスファルトはアスファルトの温度粘度曲線によらず突き固め温度を決定している。)

2) 光微粉を添加したことで混合物の強度は大きくなるが、柔軟性についても検討した

3) 光微粉の被覆物が溶けだすことでアスファルトの改質効果は認められる。溶けない繊維状の被覆物が、混合物に何らかの効果をもたらすか検討した。

2.3 光ファイバーケーブル付帯設備の水平リサイクルフロー構築の実証(光ファイバーケーブル付帯設備の水平リサイクルフロー技術実証、光ファイバーケーブル付帯設備の回収フロー構築実証)

2.3.1 緒言

日本国内では NTT や大手メーカーを中心に、2010 年頃より光ファイバーケーブル自体の自主回収フローは構築されており、実績がある。本実証の連携先である有限会社京浜金属工業仙台支店では、東北地域で発生した光ファイバーケーブルの工場ロス品のほぼ全量の間処理を担っている。従って、光ファイバーケーブル自体の回収及び収集は今回課題にならない。一方、可とう配管等の光ファイバーケーブル付帯設備についても、光ファイバーケーブルの回収時に同時に更新した為回収している。付帯設備については光ファイバーケーブルと異なり、業界内で収集する機運は無いため、回収業者ごとに産業廃棄物として処分されている。そこで、通信メーカーに対し、自社回収フローの構築に向けて相談を行った。また、京浜金属工業が単独で受け入れ可能な光ファイバーケーブル量は年間 200 トンが限界と回答を得ている。実証事業終了後に社会に広く実装するためには、京浜金属工業の他に国内 10 ヶ所程度の事業実施拠点が必要となる。

2.3.2 アプローチ

2.3.2.1 光ファイバーケーブル付帯設備の水平リサイクルフロー技術実証複数回数のリサイクルによる劣化度合い

技術実証試験として、成形した配管を再び破砕し、再成形を行った際の物性の劣化度合いを調べた。この際配管の洗浄等を行わず、工程で付着した汚れによる劣化も含んで試験を実施する。

2.3.2.2 光ファイバーケーブル付帯設備の回収フロー構築実証

通信メーカーに対してヒアリング調査を実施した。

2.3.2.3 通信事業における光ファイバーケーブルリサイクルの実施にむけた情報収集

通信事業者、電線製造事業者および業界団体（日本電線工業会：JCMA）などに対して廃光ファイバーケーブルの処分・リサイクルについてヒアリング調査を行い、現状を把握するとともに、リサイクルシステムの構築に向けた意向を把握した。

2.3.2.4 リサイクルシステムの構築に向けた他業界の取組状況の把握

家電、自動車など他業界におけるリサイクルシステムの構築状況や取組状況を把握し、光ファイバーケーブルのリサイクルシステム構築に向けた情報収集を行った。

2.3.2.5 通信事業における光ファイバーケーブルリサイクルの実施にむけたガイドライン作成

通信事業者、電線製造事業者および業界団体の意向を踏まえて、光ファイバーケーブルのリサイクルシステム構築に向けたガイドライン案を作成した。

2.3.3 取組結果

リサイクル回数による物性の劣化度試験は下記図のようになった

図表 110 リサイクル回数による劣化度試験

光ファイバー線 リサイクル回数による劣化度試験

項目	試験方法	単位	①	①	②	③	④	⑤	
			PE外皮 PEスロットのみ	①押出一回目 ②スロットル20% PE外皮のファイバー線のみ(10%)	②押出二回目 (①ペレットを押出)	③押出三回目 (②ペレットを押出)	④押出四回目 (③ペレットを押出)	⑤押出五回目 (④ペレットを押出)	
1	メルトフローレート	JIS-K7210	g/10min						
2	引張破断強度	JIS-K7162	MPa	22.40	13.43	12.27	11.32	11.55	11.28
3	引張破断伸度	JIS-K7162	%	74.4	58.5	59.4	67.9	66.4	69.7

*1 ヒンジ破断 強い衝撃だけが原因になって壊れない不具合破壊、発生がある場合)
注記 【MFR条件 ABS 220℃ 10kg, PE 200℃ 5kg, PP 230℃2.10kg, PE 190℃2.10kg】

上図より、引張破断伸度は、リサイクル回数が増えるほど向上した。プラスチックは通常、汚れによる不純物の混雑や、溶融や破碎の回数が増えると熱劣化等により物性が低下することが知られている。

今回原則と結果が異なった要因として下記が挙げられる。原料として 6mm 破碎品を使ったために、1 回目のリサイクルでは樹脂の溶融混練が十分ではなく、分散性が不十分で、樹脂内に光コア線が長く析出していたが、リサイクル回数を増やすごとに分散性が向上し、不純物である光コア線が短く折れたことが要因と考えられる。また汚れについては、押出機内のフィルターによる効果及び、冷却時に水に晒されることによって汚れがある程度落ちており、物性劣化に大きな影響を及ぼさなかったと予想される。

また各試験での生産能力は、平均 178kg/h であった。

2.3.4 光ファイバーケーブルリサイクルに関する通信事業者へのヒアリング実施

2.3.4.1 NTT に対するヒアリング概要

NTT に対するヒアリング概要は、以下の通りである。

図表 111 ヒアリング概要

日時	2023年1月31日（火曜日）15:00～16:00
場所	オンライン（Microsoft Teams）
対応者	NTT 研企、NTT 東日本（資材調達）、NTT アドバンステクノロジー株式会社、研究所:各ご担当者様

訪問者	MSC: 畠山 資源循環ネットワーク: 相馬、松岡、川田
-----	---------------------------------

2.3.4.2 NTT に対するヒアリング結果

NTT に対するヒアリング結果は、以下の通りである。

図表 112 ヒアリング結果

		ヒアリング結果
ヒアリング内容	NTT 側の現状	<ul style="list-style-type: none"> 光ファイバーケーブルの材料リサイクルはできておらず、サーマルリサイクルを行っている。 材料リサイクルをしていない理由は、リサイクル技術が確立しておらず、分別等がコストとなり、問題となっていることにある。
	調達における仕様	<ul style="list-style-type: none"> 光ファイバーケーブルの設計は、ミニマム仕様になっている。発注する際、製品の素材選定は、メーカー側にあり、メーカー調整を行っている。 仕様の詳細を公開することは難しいが、JIS 規格に適合しているかどうか基本となっている。
	技術の問題点	<ul style="list-style-type: none"> 光ファイバーケーブルには様々な種類があり、付帯設備等がついている。付帯設備については現状でも分離し、その後、粉砕を行っている。粉砕の際にガラスなどが刺さる可能性が高く危険なため、手袋等の対策は必要となる。次年度、実証を行う予定としている。
今後の連携		<ul style="list-style-type: none"> 調達における製品仕様の公開や製品試験を行うことは難しいが、試験結果について意見を述べることは可能である。 現場 (NTT 東)、事務局 (NTT - AT)、研究所、それぞれに分かれており、チームとして対応する必要がある。そのため、NTT 研企ご担当者様を窓口とし、継続して情報交換を行う。

2.3.4.3 次年度における通信事業者とのコミュニケーション実施に向けた検討支援

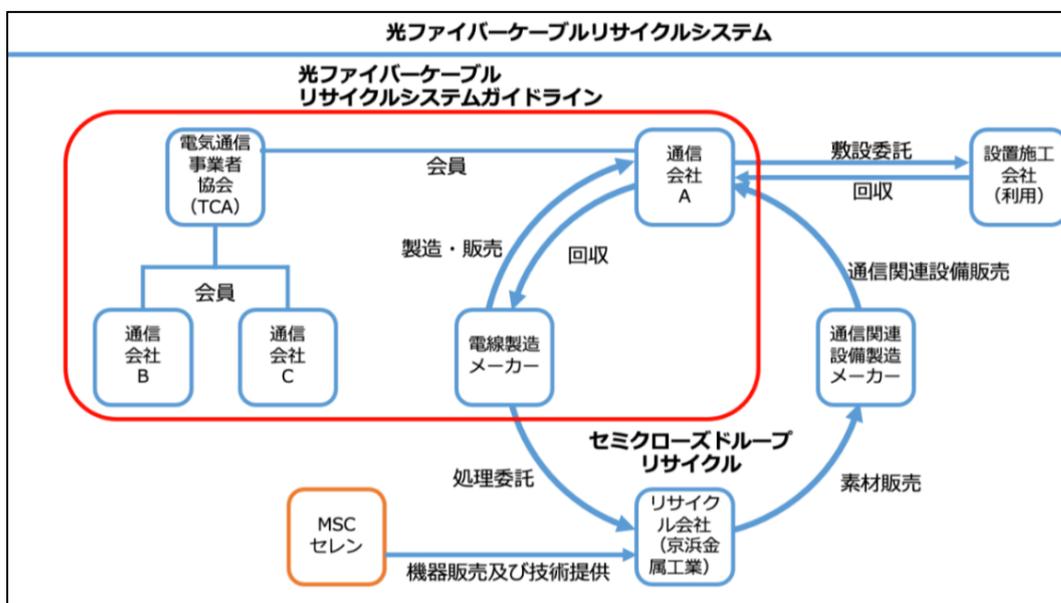
検討結果

検討結果は、以下の通りである。

光ファイバーケーブルリサイクルシステム

想定される光ファイバーケーブルのリサイクルフローは、以下の通り。

図表 113 光ファイバーケーブルリサイクルシステム図



2.3.4.4 光ファイバーケーブルリサイクルの市場規模

実証終了時の想定される市場規模は 27 億円である。2030 年には廃光ファイバーケーブル由来の配管の価格は 1、200 円へ下がり、技術の普及・拡大により 2030 年には 108 億円まで市場拡大が想定される。

図表 114 光ファイバーケーブルリサイクルの市場規模

	実証終了時	2025 年	2030 年
処理量 (t/y)	90	180	9、000
廃光ファイバーケーブル由来配管(円/kg)	30、000	10、000	1、200
市場規模 (億円)	27	18	108

2.3.5 通信事業における光ファイバーケーブルリサイクルの実施にむけた情報収集

ヒアリング結果は、以下の通りである。

2.3.5.1 6月20日 NTT ヒアリング内容 1 回目

日時	2023年6月20日（火曜日）10:30～12:00
場所	筑波研究開発センタ（ハイブリッド開催）
対応者	アクセスサービスシステム研究所:山田グループリーダー （オンライン） NTT 東日本資材調達センター：関課長、出澤様、林様／NTT-AT：西様、小林様／NTT フィールドテクノ（NTT 西日本）：長尾部長／NTT ファシリテーター：森様／NTT 研究企画部門：八木課長、吉松課長
訪問者	M S C：麦谷様、畠山様 R C N：相馬、川田、松岡（オンライン）

項目	ヒアリング結果	
ヒアリング内容	①光ファイバーケーブルの取り扱い状況	<ul style="list-style-type: none"> 年間1万トン弱の光ファイバーケーブルが撤去されており、経年劣化等から、今後、増えていると考えられている。
	②廃光ファイバーケーブルの処分・リサイクル状況	<ul style="list-style-type: none"> 廃光ファイバーケーブルは回収を行っている。回収後は、処理業者により方法は異なるが、RPF等の焼却用燃料にリサイクルされている。 リサイクル率は、サーマルリサイクルを含め、100%リサイクルが行われていると思われる。しかし、焼却できないガラスなどの残渣については不明である。 一部は、メタルケーブル等とともに粉砕し、マテリアルリサイクルされている。
	③光ファイバーケーブル及び付帯設備における材料の物性	<ul style="list-style-type: none"> 現在は、試験方法の再生材についての JIS 規格でのみ試験を行っているため、個別の製品規格での JIS 規格にて試験を行う必要がある。 製品規格での JIS 規格に適用するものであれば、利用可能であると考えている。 しかし、最終的には、メーカーが使用する素材を決定することであり、NTT 側には最終的な決定権がない。そのため、メーカーとのディスカッションが有効であると考えている。

④光ファイバーケーブルリサイクル材の付帯設備への利用可能性	<ul style="list-style-type: none"> 電線メーカー等にリサイクルプラントを持って貰うことで、リサイクルが可能になる。 光ファイバーケーブルへの再生材利用が難しいのであれば、電線メーカーだけではなく、蛇腹管等のメーカーなどにも声かけを行い、再生材利用の可能性を探りてたい。
⑤光ファイバーケーブルのリサイクルシステム構築に向けた意向	<ul style="list-style-type: none"> 現状、光ファイバーケーブルの再生材がどのようなものに転用できるのかを知りたい。本日、見本として見せていただいた蛇腹管以外の製品も検討を行いたい。
⑥今後について	<ul style="list-style-type: none"> NTT様から電線メーカー及び、蛇腹管等の付帯設備メーカーへお声がけをいただく。

2.3.5.2 9月29日 NTT ヒアリング内容2回目

日時	2023年9月29日（金曜日）15:00～16:00
場所	オンライン
対応者	NTT 経営企画部門サステナビリティ推進室:八木様 技術企画部門イノベーション戦略担当:佐々木様
訪問者	M S C : 麦谷様、畠山様 R C N : 相馬、川田、松岡（オンライン）

項目	ヒアリング結果
ヒアリング内容 ①光ファイバーケーブルの取り扱い状況	<ul style="list-style-type: none"> 屋外の光ファイバーケーブルは、NTTが70%を所有しており、KDDI、SOFTBANKはNTTの回線を利用している。 その他、電力会社も光ファイバーケーブルを所有している。
②廃光ファイバーケーブルの処分・リサイクル状況	<ul style="list-style-type: none"> 廃光ファイバーケーブルは、現在、サーマルリサイクルにて処理を行っている。 今後、サーマルがリサイクルの枠から外れることは認識しているため、処理方法の変更を行わなければならないと考えている。

	<p>③光ファイバーケーブルリサイクル材の付帯設備への利用可能性</p>	<ul style="list-style-type: none"> • NTT の設備投資の現状からすると屋外の設備を作っていくのは厳しいので、宅内で使う端末等に使うのが望ましい。 • 可能であれば、利用したいが、付帯設備のメーカー等不明な点が多い。 • 付帯設備メーカーの実態が不明なため調査が必要である。 • ケーブルを接続するクロージャージャーという箱等は数が多数出るので、そういう用途に使えるのであれば良いかもしれない。
	<p>④光ファイバーケーブルのリサイクルシステム構築に向けた意向</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 光ファイバーケーブルリサイクルは、行わなければならないと考えている。 • NTT としてお金を出して対応することはできると思うが、処理業者等も巻き込んでいくためには、経済合理性があり、各社が納得して参入する状況にならなければならない。 • リサイクルを行う処理業者、付帯設備の購入会社等の現状が不明なため、調査を行わなければならないと考えている。
	<p>⑤今後について</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 一昨年の廃プラ調査結果を見直し、現状のフローについても調査を行い、検討したい。
	<p>⑥その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> • KDDI、SOFTBANK とは同業者として環境部門等での交流はあるが、リサイクル等に関しては意見交換の場等は設けたことがない。

2.3.5.3 KDDI・Softbank へのヒアリング調整状況

KDDI 及び Softbank へのヒアリング調整状況は以下の通りである。

KDDI	<p>サステナブル推進を行う関連部署へメール送付を行ったが、返答はなかった。</p> <p>大代表電話番号へ電話を行ったが、光ファイバーケーブルリサイクル担当部署が電話に出なかったため、取次いただけなかった。</p> <p>CSR 報告書記載の CSR 部署へ連絡したが、別部署につながった。光ファイバーケーブルリサイクルの担当者へ取次を依頼したが、「確認し、後日、連絡をする」との返答であった。その後、返答がない。</p>
Softbank	<p>サイティナブル推進を行う関連部署へメール送付を行ったが、返答はなかった。</p> <p>代表電話番号へ電話を行ったが、「電話での担当部署への取次は行っていない」との理由でお断りされた。</p> <p>後日、再度、代表電話番号へ電話を行ったが、「電話での担当部署への取次を行っていない」との前回と同様の理由で取次をお断りされた。</p>

2.3.5.4 9月11日 SWCC 株式会社へのヒアリング内容

日時	2023年9月11日（月曜日）15:30～
場所	SWCC 株式会社仙台事務所
対応者	SWCC 株式会社総務部門青木様
訪問者	M S C : 麦谷様、畠山様

項目	ヒアリング結果
<p>ヒアリング内容</p> <p>廃光ファイバーケーブルの処分・リサイクル状況 (光ファイバーケーブル処理・リサイクルフロー)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 光ファイバーケーブルの処理フロー <ol style="list-style-type: none"> 1. SWCC⇒京浜金属工業様（切断破碎処理）⇒京浜金属工業様（プラスチック屑：外被材）⇒マテリアルリサイクル⇒第一パイプ工業様 ※再生プラスチック製品の原材料として使用される。 2. : SWCC⇒京浜金属工業様（切断破碎処理）⇒京浜金属工業様（ラップ、スロット中芯）⇒マテリアルリサイクル⇒非鉄金属メーカーへ売却 <ul style="list-style-type: none"> • 光ファイバーケーブルの処理フロー <ol style="list-style-type: none"> 1. SWCC⇒京浜金属工業様（破碎処理）⇒サーマルリサイクル⇒中商様（最終処理）（給水ポリマー、ジェリー）

		<p>2. SWCC⇒京浜金属工業様（破碎処理）⇒サーマルリサイクル⇒デイ・シイ様（最終処理）</p> <p>※焼却灰は、セメント原料として再生、セメント生産時の火力燃料として再生利用</p>
--	--	--

2.3.5.5 9月11日北日本電線株式会社へのヒアリング内容

日時	2023年9月11日（月曜日）14:00～15:00
場所	北日本電線株式会社
対応者	<p>北日本電線株式会社</p> <p>電線事業本部事業企画部長/理事: 橘川光亨様</p> <p>同事業企画部リサイクル事業グループリーダー: 庄司亜紀子様</p> <p>同事業企画部リサイクル事業グループ: 大越洋佑様</p> <p>総務部船岡槻木総務グループリーダー: 中村一広様</p> <p>同船岡槻木総務グループ: 大石聡様</p>
訪問者	M S C : 麦谷様、畠山様

項目	ヒアリング結果
ヒアリング内容 ①光ファイバーケーブルの取り扱い状況	<ul style="list-style-type: none"> スロット型ケーブル（屋外）、ドロップ型（宅内に引き込むためのケーブル）、局内配線のケーブルの3種類ある。ドロップ型等は細い鋼線を分離できないため、プラと一緒に粉砕して処理している。局内配線は、マテリアルリサイクルできない素材も含まれている。各ケーブルは、品目として分かれているが、入荷は一緒に、破碎や選別の工程を変えている。 入荷時の状態は現場によって異なるが、工事で引き抜いて丸めた状態で入荷しており、ケーブルの種類別に選別して処理している。 スロット型は約20t/月、ドロップ型は10t/月、局内配線が5t/月、合計35t/月ぐらい入荷している。ここから除去可能な金属が4～5t/月ぐらいある。
②廃光ファイバーケーブルの処分・リサイクル状況	<ul style="list-style-type: none"> スロット型ケーブルは、金属のみを取り除き、残りの部分は廃プラスチック扱いになっており、最終的にサーマルリサイクルを行っている。 ファイバーの分離を試みたことはあるが、100%取り除けなかったため、原料として使うことができず、サーマル

		<p>リサイクルするしかなかった。</p> <ul style="list-style-type: none"> サーマルリサイクル量は約 30t/月、処理費用は 50 円/kg 程度である。
	③光ファイバーケーブルリサイクル材の付帯設備への利用可能性	<ul style="list-style-type: none"> 農協から畑の畝のアーチを作りたいという要望があったため、利用先として考えられるのでないか。ファイバーが入っているため、FRP のような効果もあるので、素材として適していると思われる。その他、建材やマット等にも使えるのでないか。
	④光ファイバーケーブルのリサイクルシステム構築に向けた意向	<ul style="list-style-type: none"> 社内目標などはないが、最終処分量を減らすことができ、処理した物が有価の商品になればありがたい。 光ファイバーケーブルの廃プラは素材が混合しているため、現状では再利用する用途がなく、マテリアルリサイクルに結び付いていないが、用途があるのであれば取り組んでみたい。
	⑤今後について	<ul style="list-style-type: none"> セミクローズドリサイクルには興味があるので、継続的に情報交換を行わせていただきたい。 環境省への確認が必要となるが、ドロップ線、局内線等をサンプルとして提供することは可能。
	⑥その他	<ul style="list-style-type: none"> 光ファイバーケーブルは通信業界で使用されている一部品という認識であり、光ファイバーケーブル単体としての業界団体はなく、廃ケーブルの処理についても通常の廃棄物としてしか考えられていない。 NTT は真面目にやられているものの、排出元や処理業者はあまり考えていないところが多い。ただ、マテリアルリサイクルができると確証が取れば、参入してくるところも多いと思われる。

2.3.5.6 ヒアリングまとめ

光ファイバーケーブルのリサイクルはサーマルリサイクルが主流となっており、マテリアルリサイクルへ移行しなければならないと考えられている。また、次年度以降のアクションは、業界内セミクローズドマテリアルリサイクルシステム構築に向けた詳細検討等が望まれる。

■ ヒアリング結果

- ・ 屋外の回線敷設について、通信事業者は NTT が全体の 70%を占めている。そのほか電力事業者が行っている。KDDI、ソフトバンクは NTT 回線を利用している状況である。なお、屋内については、KDDI、ソフトバンクも行っている。
- ・ KDDI・Softbank へコンタクトは取れていないが、屋外の回線敷設をしておらず、屋内の回線敷設が中心である。
- ・ 光ファイバーケーブルのマテリアルリサイクルを行っておらず、サーマルリサイクルが主流である。
- ・ また、排出事業者（通信事業者）、電線メーカーは、サーマルリサイクルからマテリアルリサイクルへ移行を行いたいとの意向は持っている。
- ・ 光ファイバーケーブルリサイクルを構築する場合、付帯設備メーカーから要望を考慮したほうがよい。
- ・ 排出者が資源循環を行う気があれば実施可能である。

■ 次年度以降のアクション

- ・ NTT、電線メーカー、付帯設備メーカーとのセミクローズドマテリアルリサイクルシステムに向けた構築の詳細検討
- ・ 廃光ファイバーケーブルリサイクルの他業界再資源化処理状況調査（電力事業者を想定）

2.3.6 リサイクルシステムの構築に向けた他業界の取組状況の把握

2.3.6.1 共同回収リサイクルスキーム調査

2.3.6.1.1 通信事業者業界回収スキーム

通信事業者業界の共同回収リサイクルスキームは、携帯電話やスマートフォン、タブレット端末などの携帯通信機器の回収とリサイクルが進められている。

図表 115 通信事業者業界の回収スキーム

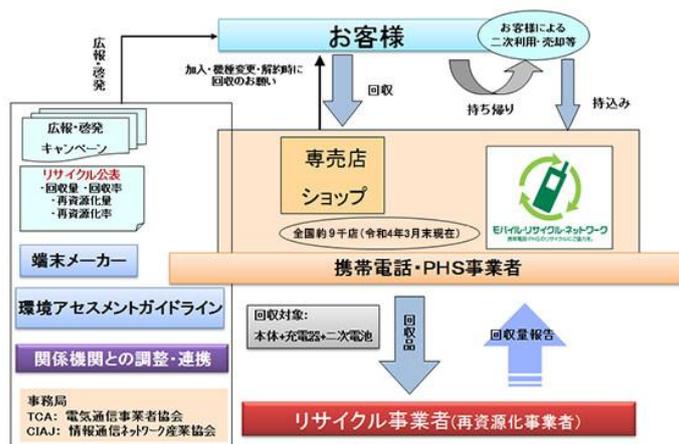
協議会／ 回収プログラム 名	説明	回収リサイクルスキーム内容
携帯電話リサイ クル 推進協議会	携帯電話端末やバッ テリー、充電器などの回 収とリサイクルを進め るために設立された団 体	各携帯電話事業者が加盟し、回収箱の 設置や回収活動などを行っている。
モバイルフォン リサイクル協議会	スマートフォンやタ ブレット端末の回収と リサイクルを進めるた めに設立された団体	各携帯電話事業者や電機メーカーが加 盟し、回収箱の設置や回収活動、リサイク ル技術の開発などを行っている。
モバイル回収 プログラム	各携帯電話事業者が 独自に実施している、携 帯電話端末やバッテリ ー、充電器などの回収プ ログラム	回収箱の設置や回収活動を行い、回収 された携帯通信機器は、リサイクル業者 によって分解・精製され、有用な素材や部 品として再利用している。

携帯電話やスマートフォン、タブレット端末などの携帯通信機器共同回収リサイクルスキームはあるが、光ファイバーケーブル等の通信事業付帯設備に関しては、通信事業者個別回収リサイクルスキームで実施されている。

2.3.6.1.2 通信事業者業界リサイクルフロー

通信事業者の共同回収リサイクルフローは、お客様から専売ショップでの回収やモバイルリサイクルネットワークへの持ち込み後、リサイクル事業者へ引き渡される。端末に含まれる鉄、アルミニウム、マグネシウム、金、銀、銅などが再資源化される。

図表 116 通信事業者 リサイクルフロー



出典：モバイルリサイクルネットワーク (<https://www.mobile-recycle.net/flow/>)

2.3.6.1.3 通信事業付帯設備回収スキーム

通信事業付帯設備においても、一部回収リサイクルスキームは行われている。

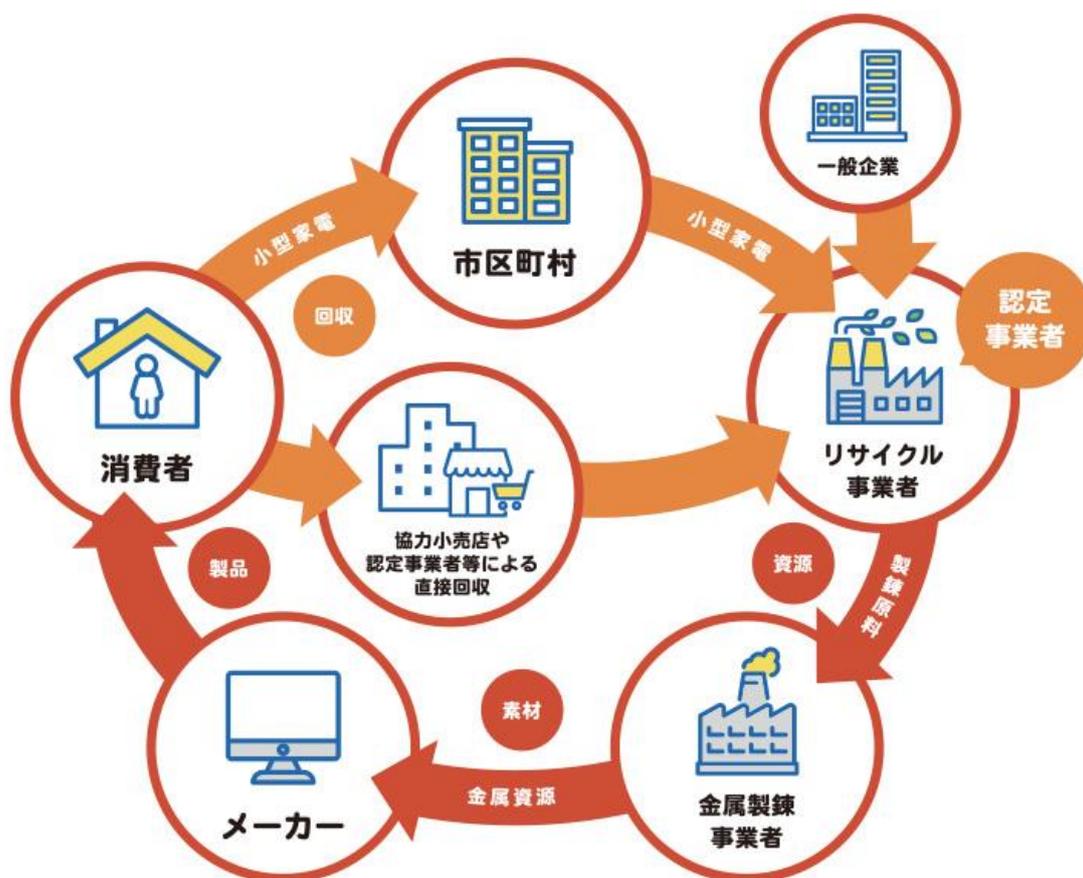
図表 117 通信事業付帯設備回収スキーム

通信事業付帯設備	回収リサイクルスキーム内容
ルーター・モデム・アクセスポイント等の無線 LAN 機器	通信事業者やメーカーが回収ボックスを設置し、不要になった機器を回収する取り組みが行われている。回収された機器は、リサイクル業者が分解して再生可能な部品や材料を回収し、リサイクルしている。
光ファイバーケーブル	一部の通信事業者では、光ファイバーケーブルを回収し、リサイクルする取り組みが行われている。回収された光ファイバーケーブルは、リサイクル業者が再生可能な材料を回収し、リサイクルしている。
電話機	通信事業者が回収ボックスを設置して、不要になった電話機を回収する取り組みが行われている。回収された電話機は、リサイクル業者が分解して再生可能な部品や材料を回収し、リサイクルされている。
セキュリティ機器	一部の通信事業者では、セキュリティ機器を回収し、リサイクルする取り組みが行われている。回収されたセキュリティ機器は、リサイクル業者が再生可能な部品や材料を回収し、リサイクルされている。

2.3.6.1.4 通信事業付帯設備リサイクルフロー

ルーター、アクセスポイント、電話機等は、小型家電リサイクル法にてリサイクルが行われている。また、電線やケーブルについては、共同で行っておらず各社が回収、リサイクルを行っている。

図表 118 小型家電リサイクル



出典：小型家電リサイクル協会 (<https://www.sweee.jp/about.html>)

図表 119 電線・光ファイバーケーブルリサイクル

解体システム

国内最大規模
電線・ケーブル連続スクラップリサイ
クルシステム



電線・ケーブルの皮はぎから切断・粉砕・分離ま
で、自動化された国内最大規模の解体システム。
電線ケーブルの素材別分別などを通じて回収物の
品質安定にも努めています。



粉砕機

ケーブルスクラップを
さらに細かく粉砕します。



分離機
銅とプラスチック部分に
分離します。



電線・ケーブル素材別分別
ふるい選別機
風力選別機
比重選別機
磁力選別機
溜式選別機

回収物の品質安定

リサイクルシステム

プラスチック再生工場



プラスチック素材選別機によりポリエチレンと塩化
ビニルに選別し、いったん溶かして再生ペレットを成
形。再生ペレットは、さまざまなリサイクル品として
利用されています。再生ペレット製造能力150トン/
月。



再生商品化
再生プラスチック応用品

防草シート

電力ケーブル

通信ケーブル

高引線製造

ケーブル

ケーブルドラム

ダイフラ・エフ
(土止め杭)

絶縁テープ

孔多くん
(ケーブル保護管)

出典：古河電工

(<https://www.furukawa.co.jp/csr/environment/emission/recycle.html>)

2.3.6.1.5 家電製品回収スキーム

家電製品のリサイクル関連する法規制は、家電リサイクル法、廃棄物処理法である。回収スキームは以下の通りである。

図表 120 家電製品回収スキーム

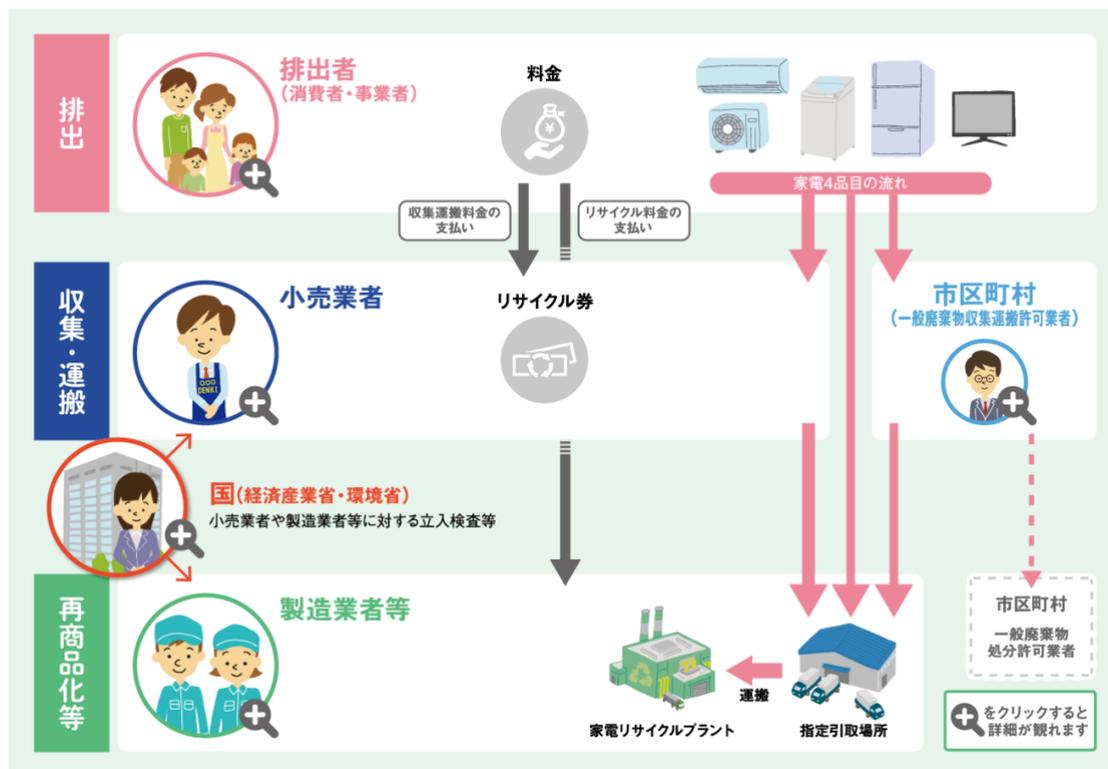
制度／サービス等	回収リサイクルスキーム内容
家電リサイクル法に基づくリサイクル料金制度	日本など一部の国では、家電リサイクル法に基づくリサイクル料金制度がある。消費者が新しい家電製品を購入する際には、古い家電製品を引き取ってもらえるリサイクル料金が含まれる。
メーカーの回収サービス	一部の家電メーカーでは、不要になった製品を回収してリサイクルするサービスを提供している。一部は無料で、一部は有料。
販売店の回収サービス	家電製品を販売する一部の店舗では、無料で不要になった家電製品を回収してリサイクルするサービスを提供している。
リサイクル業者の利用	市販されているリサイクル業者を利用することで、不要な家電製品を回収してもらい、適切に処分することができる。
政府の回収イベント	自治体が定期的開催する回収イベントに持ち込むことで、不要な家電製品を回収してもらうことができる。

これらの方法以外にも、リサイクルに関する情報を提供する専門の団体や Web サイトがあり、利用することもできる。

2.3.6.1.6 家電製品リサイクルフロー

排出者がリサイクル料を支払い、小売業者または、市区町村が収集・運搬を行う。その後、製造事業者等の家電リサイクルプラントへ引き渡され、再商品化が行われる。なお、経済産業省・環境省が小売業者や製造業者に対して立入検査が行われる。

図表 121 家電製品リサイクルフロー



出典：一般社団法人家電製品協会

(<https://www.aehakadenrecycle.com/system/?page=3#tab03>)

2.3.6.1.7 オフィス機器回収スキーム

オフィス機器に関連する法規制は、資源有効利用促進法、廃棄物処理法である。回収リサイクルスキームは以下の通りである。

図表 122 オフィス機器回収スキーム

プログラム	回収リサイクルスキーム内容
製造元のプログラム	いくつかの製造元は、自社製品の回収やリサイクルプログラムを行っている。
地方自治体のプログラム	多くの地方自治体は、オフィス機器の回収やリサイクルプログラムを実施している。
リサイクル業者のプログラム	リサイクル業者は、一般的にオフィス機器の回収やリサイクルを行っている。
プロデューサー責任制度 (PR)	プロデューサー責任制度は、製品のライフサイクル全体にわたって、プロデューサーが製品の廃棄物の管理に責任を持つ仕組みです。PR システムを利用すると、プロデューサーがオフィス機器の回収やリサイクルプログラムを実施している場合があります。

以上の方法の他にも、オフィス機器の販売店やオンラインマーケットプレイスなど、様々な場所で回収やリサイクルプログラムが実施されている場合がある。

2.3.6.1.8 オフィス機器リサイクルフロー

オフィス機器の回収リサイクルは、業界での共同回収が行われている。その後、個別企業にて、リユース、リサイクルが行われている。

図表 123 複合機共同回収フロー



各県には業界共同の「回収デポ」が設置され、各社がデポへ持込んだ回収機は自動的に地域の「交換センター」へ共同輸送され、メーカーに引き渡されます。

図表 124 個別企業のリサイクルフロー



出典：リコー

(<https://jp.ricoh.com/sustainability/environment/product/recycle/collect>)

2.3.6.1.9 建設業界回収スキーム

関連する法規制は、建設リサイクル法、廃棄物処理法であり、回収リサイクルスキーム内容は以下の通りである。

図表 125 建設業界回収スキーム

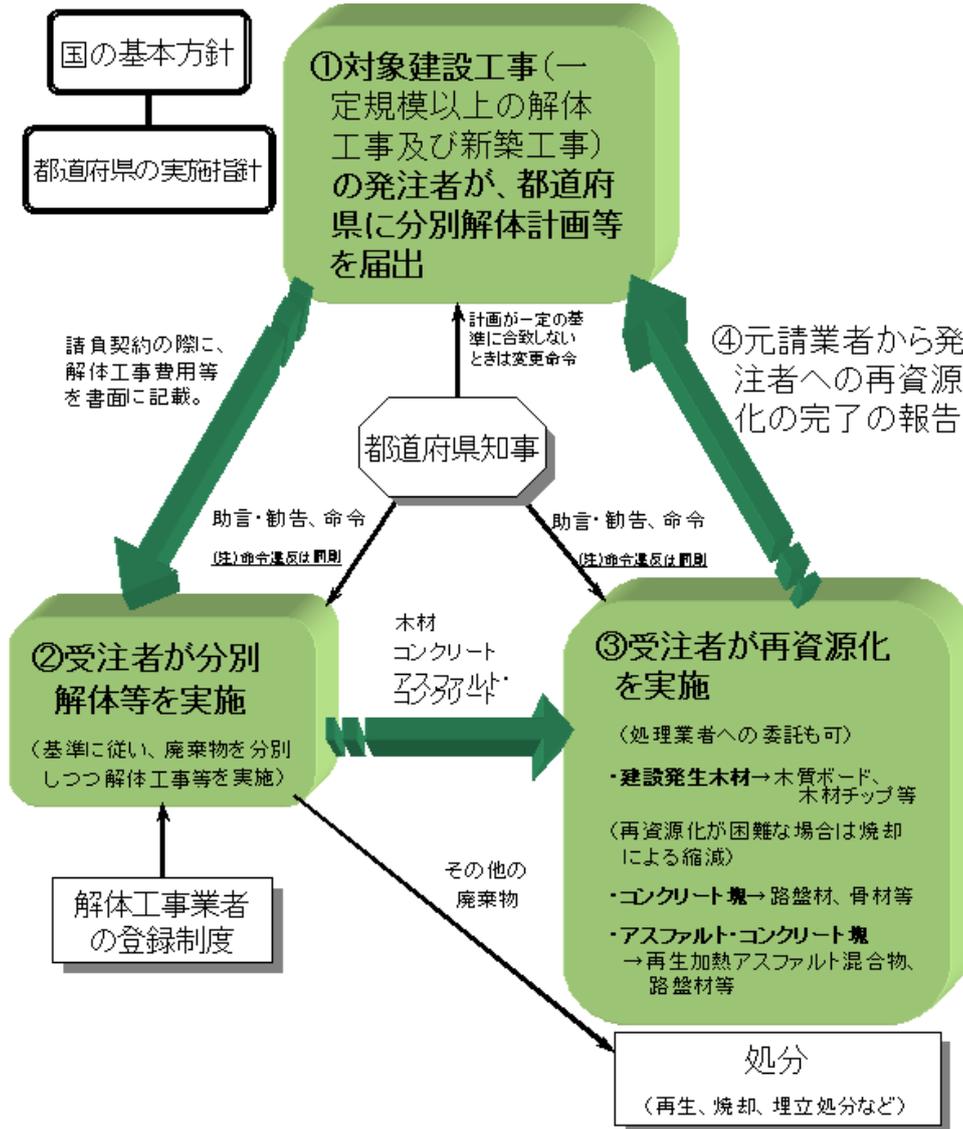
材質	回収リサイクルスキーム内容
コンクリート	古いコンクリートを破砕して、新しいコンクリートの原料として再利用する方法で、このスキームによって、建設現場からの廃棄物が削減され、大量のコンクリートがリサイクルされている。
木材	建設現場で使われた木材を集め、破砕して製材業者に販売することで、再利用される方法で、このスキームによって、木材の廃棄物が削減され、新しい木材の使用比率が少なくなっている。
プラスチック	建設現場で使用されるプラスチック製品は、再利用することができ、一部の古いパイプや配管は、破砕して新しいプラスチック製品に再利用されている。
鉄	建設現場で使用された鉄製品は、破砕してスクラップとして回収され、再利用されている。このスキームによって、鉄の廃棄物が削減され、新しい鉄の使用比率が少なくなっている。

これらのリサイクルスキームは、建設現場での廃棄物の削減と再利用を進めることができているが、リサイクルスキームを実施する前に、現場での廃棄物の分別や処理方法を適切に行うことが重要である。

2.3.6.1.10 建設業界リサイクルフロー

建設業界では、対象建設工事の際に都道府県へ分別解体計画書等の届出が義務づけられている。

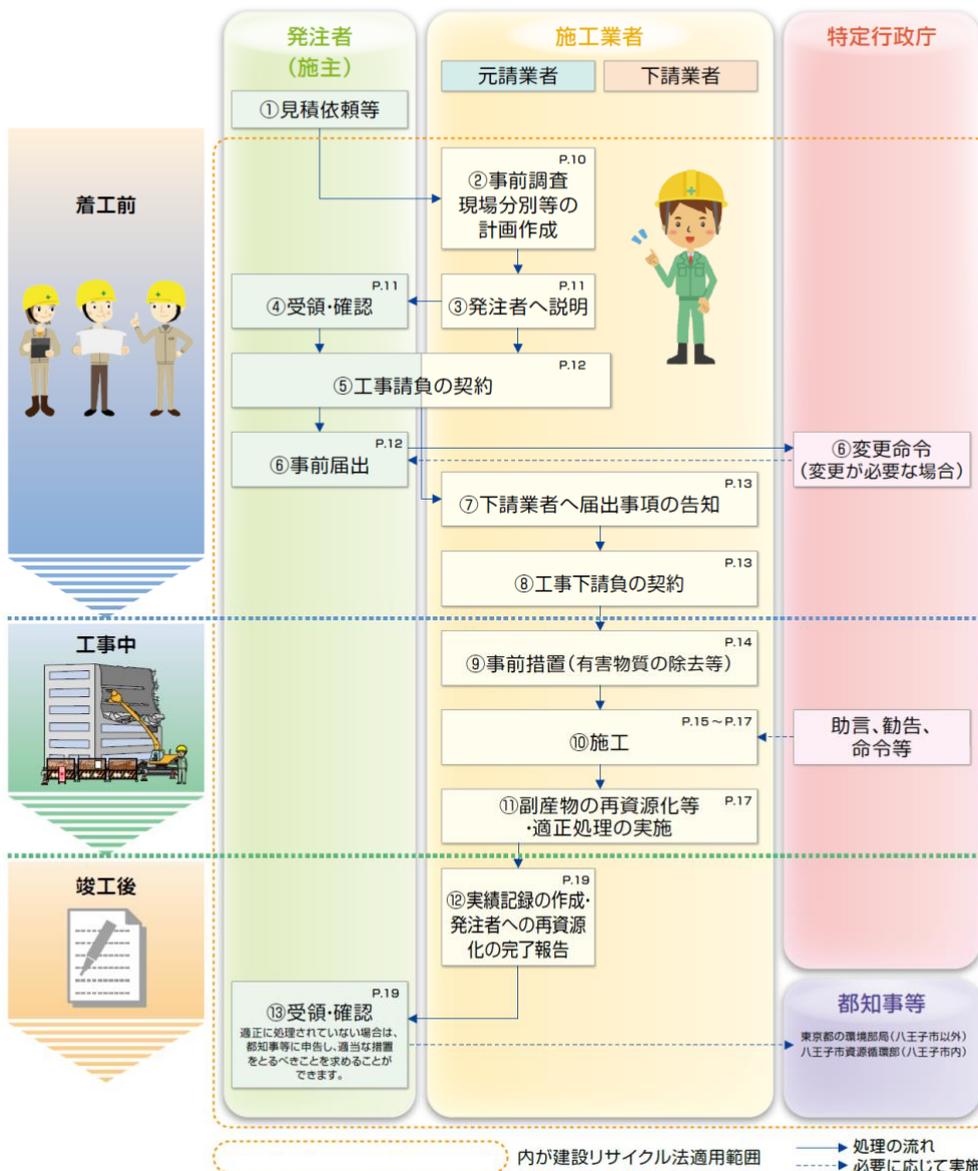
図表 126 建設業界のリサイクルフロー概要



出典：環境省 (<https://www.env.go.jp/recycle/build/gaiyo.html>)

図表 127 申請フロー例（東京都）

対象建設工事における建設リサイクル法の標準的な流れ（例として解体工事）



※公共工事では、上記のフローに追加して実施すべき事項があります。詳しくは、東京都建設リサイクルガイドラインを確認して下さい。
<http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/seisaku/recy/index.html#shishin>

出典：東京都

2.3.6.1.11 船舶回収スキーム

船舶に関連する法規制は船舶の再資源化解体の適正な実施に関する法律、廃棄物処理法である。回収リサイクルスキームは以下の通りである。

図表 128 船舶回収リサイクルスキーム

事業者	回収リサイクルスキーム内容
廃船解体業者	廃船解体業者は、船舶の回収・リサイクルを専門に行う企業で廃船解体に際して、船舶内に含まれる有害物質を適切に処理することで、船舶のリサイクルを実施している。
海上スクラップ商	海上スクラップ商は、海上で船舶を解体し、そのままスクラップとして販売することで、回収・リサイクルを行っている。この方法は、廃棄物を減らすことができるため、環境に配慮する方法とされている。
船舶所有者	船舶所有者は、船舶を解体する場合、廃船解体業者や海上スクラップ商に依頼することが一般的であるが、所有者が独自に回収・リサイクルを行うこともある。この場合、所有者は、回収・リサイクルに必要な技術や知識を持っていることが求められる。

船舶の回収・リサイクルには、国際マリンデブリ協定や各国の法律・規制に従い、環境保護や労働安全衛生に配慮した方法が求められている。また、廃棄物として処理される前に、できるだけ多くの部品や材料をリサイクルすることが望ましいとされている。

2.3.6.1.12 船舶リサイクルフロー

船舶のリサイクルは、シップリサイクルと呼ばれ、95%程度はリサイクル可能とされている。しかし、日本ではほとんど行われていない現状である。

■ シップリサイクル

- ・ シップリサイクルとは「技術的、或いは経済的に寿命を終えた船舶を解体/解撤し、得られた資源を再利用するプロセス」である。
- ・ 中古 LNG 船が FSRU（浮体式 LNG 貯蔵再ガス化設備）に改造されることもあり、船は重量ベースで 95%程度はリサイクル可能といわれている。
- ・ 解体後、鋼材・非鉄金属材・什器・舶用品・ポンプ・エンジン・発電機等が、再利用され、特に丈夫で良質な鋼材は解体後すぐの再利用に適しており、サーキュラーエコノミー（循環型経済）を実現している。

■ 日本の現状

- ・ 日本では「船舶の再資源化解体の適正な実施に関する法律」として2018年6月に成立、所管は、国土交通省、厚生労働省、環境省。
- ・ 国土交通省が「シップリサイクルシステム構築に向けたビジョン案」なるものを既に公表しているが、国内ではほとんど行われていない。
- ・ 政府所有船や小型商船などの解体を行っている小規模なリサイクルヤードがある程度存在するが、これらの国内小規模リサイクルヤードに対して、適切な指導・支援をし、将来的に大型外航船の解体・再利用ができる環境作りも急がれる。

2.3.6.1.13 太陽光パネル回収スキーム

太陽光パネルの回収・リサイクルについては、今後使用済みパネルが大量に廃棄されると予想されることから、行政主導で法規制を含めた制度化の検討が進められている。

現時点では、福岡県における先進的な取り組みが見られるが、主として情報の管理・提供が行われている。

図表 129 太陽光パネル回収スキーム

団体名	団体に関する説明	回収リサイクルスキーム内容
太陽光発電 (PV) 保守・リサイクル 推進協議会	公益財団法人福岡県リサイクル総合研究事業化センターを事務局とし、発電・メンテナンス・収集運搬・リサイクルの関連事業者、県、国や北九州市の関係機関等で構成する団体	<ul style="list-style-type: none"> ・ スマート回収システムをクラウド上で提供し、回収、リサイクルを支援している。 ・ 現状では主に太陽光発電所でのメンテナンス交換等に伴い廃棄パネルが生じた場合を想定。 ・ 将来的には家屋解体等で生じたものの回収などにも活用できるよう利用促進を図る。
一般社団法人太陽光発電協会	太陽光発電システムに関連する利用技術の確立及び普及促進、産業の発展に資する活動を行う団体	<ul style="list-style-type: none"> ・ 適正処理(リサイクル)が可能な産廃中間処理業者、住宅用太陽電池パネル取り外し可能事業者を紹介するほか、環境負荷が懸念される化学物質(鉛・カドミウム・ヒ素・セレン)の含有情報提供のガイドラインを策定している。

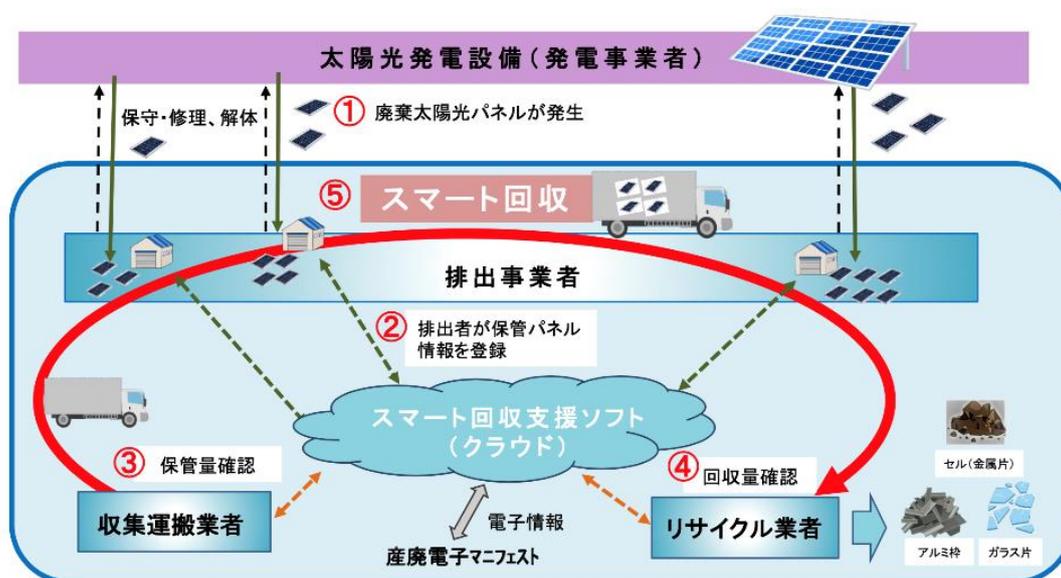
これまでも調査・研究は進められてきたものの、現時点では回収・リサイクルのスキームが確立しておらず、各事業者による取り組みにより処理されている。太陽光パネルの廃棄

量増大時期が迫っており、関連各省庁や自治体においても急ピッチで検討が進められている。

2.3.6.1.14 太陽光パネルリサイクルフロー

太陽光発電(PV)保守・リサイクル推進協議会の「廃太陽光パネルスマート回収システム」では、排出・収集運搬・リサイクルに係る業者等が、廃棄パネルに関する情報(保管量、保管場所、種類)を共有する支援ソフトをクラウド上で提供し、点在する廃棄パネルの効率的な回収、リサイクルを支援する。

図表 130 太陽光パネルリサイクルフロー



出典：令和5年5月19日再生可能エネルギー発電設備の廃棄・リサイクルのあり方に関する検討会（第2回）資料

(https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/disposal_recycle/pdf/002_02_00.pdf)

2.3.6.1.15 共同回収リサイクルスキーム調査まとめ

共同回収リサイクルスキーム調査のまとめは以下の通り。

- 回収は家庭から排出される小型のもの多くは拠点回収されるが、大型、もしくは事業系の排出物は排出地で回収される。
- 回収の主体は基本的にはEPRに基づき製品の製造・販売業者が担っているが、建設廃棄物は産廃処理、太陽光パネルは一廃処理の流れで回収される。
- オフィス機器類は一括回収されるが、再生処理等は各メーカーに戻して行っている。それ以外は中間処理業者により処理されている。
- リサイクル費用は、基本的には排出者が負担し、家電や船舶では単価が設定されてい

る。小型家電は無償で回収・処理されている。家電については、販売店等で一部無償回収等も行われている。

- 再生素材は、小型家電ではレアメタル等価値の高いものが得られるが、それ以外ではプラ・金属・炭素繊維等比較的価値の高くない素材が多いほか、複数の素材が混合するため品質が低いことも多く、再利用先での製品としても付加価値が高くないケースやサーマルリサイクルされることが多い。

2.3.6.1.16 共同回収リサイクルスキーム調査課題

共同回収リサイクルスキーム調査からの課題は以下の通り。

- 光ファイバーケーブルの回収は、基本的に設備施工業者が行い、また家庭で使用するものについても通信機器類と一括回収することから、ほぼ確実に回収可能であるため、特に課題はない。
- リサイクル費用については、基本的にはメーカー、インフラ所有事業者で負担することになると考えられるが、今後の経済性評価により検討が必要である。
- リサイクルコストが大きくなる見込みであり、再生材の単価がやや高額になることが想定されるため、再生材の性状に適した付加価値の高い製品・利用方法を検討する必要がある。

2.3.6.2 GF樹脂リサイクル調査

2.3.6.2.1 家電製品産業

家電製品産業におけるガラス入り強化樹脂のリサイクル状況は以下の通りである。

- ガラス入り強化樹脂のリサイクル状況
 - ・ 焼却・埋め立ての再資源化処理が一般的になっている。
 - ・ 家電メーカーは、素材の選定や設計の工夫などを行い、廃棄物の削減やリサイクル技術の開発に取り組んでいる。
 - ・ 一部の家電製品については、パソコンやスマートフォンの液晶パネルには、ガラス繊維強化樹脂が使用されているが、これらの製品のリサイクルには、回収する部品を分解して、プラスチックとガラスをそれぞれ再利用する技術が用いられている状況。
 - ・ 今後も家電メーカーは、リサイクルについての取り組みを進めることが予想される。
- ガラス入り強化樹脂の材質及び用途
 - ・ 一般的にはポリエステル樹脂、エポキシ樹脂、ポリプロピレン樹脂などが使用されている。
 - ・ ポリエステル樹脂(GRP)は、主に外装部品や水回り部品、浴槽やシャワートレイなどに使用されている。

2.3.6.2.2 O A機器産業

O A機器産業におけるガラス入り強化樹脂の状況は、以下の通りである。

■ ガラス入り強化樹脂のリサイクル状況

- ・ 複写機やプリンター機器等に使用されるガラス入り強化樹脂は、再利用性が低く、従来のリサイクル技術では困難な部分もあり、焼却・埋め立ての再資源化処理が一般的となっている。
- ・ 一部のメーカーは、プリンターカートリッジなどの部品を回収し、再利用可能な素材を取り出す取り組み（リユース）をしている。
- ・ 一部のメーカーは、環境負荷の低減を目的に、機器の設計段階からリサイクルを意識した設計を行っており、分解がしやすいように設計された機器や、機器の中に再生可能な素材を使用するなどの取り組みをしている。

■ ガラス入り強化樹脂の材質及び用途

- ・ 一般的にポリカーボネート樹脂が使用されている。ポリカーボネート樹脂は、透明度が高く、耐衝撃性や耐熱性に優れた素材で、ガラス繊維を配合することで、強度や剛性を向上させている。
- ・ このような特性を持つポリカーボネート樹脂は、複写機やプリンターなどの耐久性の高いオフィス機器に使用されている。
- ・ GF-PET、GF-PC+ABS、GF+ABS

2.3.6.2.3 自動車産業

自動車産業におけるガラス入り強化樹脂の状況は、以下の通りである。

■ ガラス入り強化樹脂のリサイクル状況

- ・ ガラス繊維を含んだ樹脂は再生処理が難しく、廃棄物として処分されることが多く、リサイクル技術の開発が課題とされている。
- ・ 自動車メーカーや部品メーカーなどが、ガラス入り強化樹脂のリサイクルに向けた研究開発や取り組みを進めており、トヨタ自動車は、ガラス繊維強化樹脂をリサイクルする技術として、水とアルコールを使った溶剤分解法を開発し、一部の部品での採用に成功して段階。
- ・ 三菱化学や旭化成などの素材メーカーも、ガラス繊維強化樹脂の再生材料を開発中。
- ・ 量産規模でのリサイクル技術が確立されているわけではなく、技術の開発や実用化にはさらなる取り組みが必要である。

■ ガラス入り強化樹脂の材質及び用途

- ・ 「ガラス繊維強化プラスチック（GFRP）」と呼ばれる材料で、プラスチック（樹脂）にガラス繊維を混ぜ合わせて製造され、非常に軽くて強度が高く、耐久性にも優れている。

- ・ GF-PP、GF-PBT、GF-PA 系の複合樹脂使用が多い。
- ・ リサイクル原料はPPとPETが主流、ガラスフィラーは30wt%前後で強化している。
- ・ 自動車のボンネットやドア、バンパー、フロントグリルなどの外装部品や、シートバックやインパネなどの内装部品に広く使用されている。

2.3.6.2.4 船舶産業

船舶産業におけるガラス入り強化樹脂の状況は、以下の通りである。

■ ガラス入り強化樹脂のリサイクル状況

- ・ その強度や耐久性から、廃船解体時には廃棄物として焼却・埋め立て処理されることが一般的となっている。
- ・ 一部の船舶では、廃棄物として処理される前に、リサイクルを行う取り組みが行われているが、その割合はまだ非常に少ない状況にある。
- ・ 船舶の繊維強化プラスチック（FRP）リサイクル技術の開発が必須で、FRPはプラスチックとガラス繊維の複合材料であるため、リサイクルが難しく、技術的な課題が多く残されている状況。
- ・ 環境に配慮した船舶の設計や製造、リサイクル技術の開発が進むことに期待されている。

■ ガラス入り強化樹脂の材質及び用途

- ・ 一般的にポリエステル系樹脂またはエポキシ系樹脂が使用されており、ポリエステル系樹脂は、耐候性や耐熱性に優れ、低コストで製造が可能。エポキシ系樹脂は、強度や剛性が高く、耐摩耗性、耐衝撃性にも優れている。
- ・ 船体や船内の設備、機器、配管、タンクなどにガラス入り強化樹脂が使用されている。艇体や船の外部装飾、ウィンドウ、ドアなどの船体部品、燃料タンク、配管、ポンプなどの機器部品等。

2.3.6.2.5 GF樹脂リサイクル調査まとめ・課題

GF樹脂リサイクル調査のまとめ及び、課題は以下の通りである。

■ まとめ

- ・ 「光ファイバーケーブル微粉化溶解技術」のリサイクル原料化への展開可能性は、“自動車製品”、“船舶製品”では、ガラス入り強化樹脂の使用量も多く、可能性は高い。“家電製品”と“OA製品”は、ガラス入り強化樹脂の使用量が少なく、可能性は低い。
- ・ 「光ファイバーケーブル由来再生材の原料用途」については、4業界（家電、OA、自動車、船舶）の製品では、ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂、ポリプロピレン樹脂、ポリカーボネート樹脂、GF-PP、GF-PBT、GF-PA系の複合樹脂等が使用されており、PE

(ポリエチレン)系の複合材料は使用量が少ないため展開可能性は低い。

- 4業界の製品で使用されるガラス入り強化樹脂は、再生処理が難しく、大半は焼却・埋め立てされているが、家電製品の一部液晶パネルではプラスチックとガラスを分離して再利用している他、自動車メーカーでは溶剤分解法による再生材生成、ガラス繊維強化樹脂の再生材料を開発中である。また、環境配慮設計の取り組みも進められている。

■ 課題

- 4業界では、ガラス入り強化樹脂の再生処理が難しいとされているが、再生処理の技術は研究・開発を進めており、そのひとつとして微粉化混練技術を採用する可能性は十分に考えられる。ただし、現状ではPE系のガラス入り強化樹脂が使用されている用途がないため、PE系再生材で代替できる用途の検討が必要である。

2.3.6.2.6 微粉化混練技術拡大性および光ファイバーケーブル由来再生材原料用途拡大性

実証事業における「光ファイバーケーブル微粉化溶融技術」および「光ファイバーケーブル由来再生材の原料用途」のガラス入り強化樹脂を搭載している4業界製品について拡大展開性についての調査をした結果は以下である。

図表 131 微粉化混練技術拡大性および光ファイバーケーブル由来再生材原料用途拡大性

	家電製品	OA製品	自動車製品	船舶製品
微粉化混練技術展開の拡大性	△	△	○	○
光ファイバーケーブル由来再生材原料展開の拡大性	×	×	×	×

「光ファイバーケーブル微粉化溶融技術」は、「自動車製品」、「船舶製品」についてガラス入り強化樹脂の使用量も多く、リサイクル原料化には展開可能は高い。「家電製品」と「OA製品」は、ガラス入り強化樹脂の使用量が少なく、展開可能性は低い。

「光ファイバーケーブル由来再生材の原料用途」は、ガラス入り強化樹脂はPE（ポリエチレン）系の複合材料は4業界製品には使用量が少ないので可能性は低い。

2.3.7 通信事業における光ファイバーケーブルリサイクルの実施にむけたガイドライン作成

以下の内容にて、光ファイバーケーブルリサイクルガイドライン（叩き台）の作成を行った。

2.3.7.1 ガイドライン策定の背景

2020年10月に日本政府が発表した「2050年カーボンニュートラル」では、2050年までに脱炭素社会を実現し、温室効果ガスの排出を実質ゼロにすることを目標としており、その実現に向けた施策の柱として「脱炭素社会」、「循環経済」、「分散型社会」への「3つの移行」の推進が掲げられている。この目標達成に向けて、現在、地球規模において脱炭素と循環経済の同時達成を目指す動きが加速しており、中でも特にプラスチックに関しては、特に使い捨てプラスチックを削減し、循環利用を促進する社会的ニーズが高まり、2022年4月には、「プラスチック資源循環促進法」が施行され、これまでにサーマルリサイクルに依存していたプラスチックのリサイクルが大きな影響を受けている。

このような流れの中で、プラスチック、ガラス、金属が混在し、分離が困難であるため、主にサーマルリサイクルによって処理されてきた光ファイバーケーブルについても、可能な限りマテリアルリサイクルを行い、循環利用を促進すべきであるとの要請が高まっている。このことから光ファイバーケーブルリサイクルの実現に向けて目指すべき取り組みについて調査・検討を行い、本ガイドラインを作成した。

詳細は、参考資料として添付している。

2.4 LCA の検証・評価

本実証における GHG 排出削減効果を定量的に評価し、事業の効果を図る為、ライフサイクルアセスメントを実施した。本項目の全体について、株式会社エティーサ研究所に再委託し協力して実施した。

2.4.1 実施目的

「令和 5 年度脱炭素型循環経済システム構築推進事業(うち、プラスチック等資源循環システム構築実証事業)、光ファイバーケーブルの微粉化混練技術による高度リサイクルプロセス構築及び省 CO2 化実証事業」の委託業務の廃プラスチックの処理と再生品に関して、ライフサイクルアセスメント(以下、LCA)手法に基づきライフサイクルの GHG 排出量およびベースラインに対する GHG 排出削減効果を定量的に評価することを目的とした。

ただし、実証事業であるため LCA を実施するためのプロセスデータ、前提条件、シナリオ設定などの重要な事項は実証段階では十分とは言えず、実際に社会実装された場合には評価結果に違いが生じる可能性が含まれている。

2.4.2 評価対象製品とベースライン

評価対象製品は廃光ファイバーケーブルの再資源化処理と再生ポリエチレン管とした。ベースラインは同量の廃光ファイバーケーブルの廃棄処理(焼却および埋め立て)と化石資源から新たに製造される PE 管とした。

図表 132 評価対象製品とベースライン

評価対象製品	ベースライン
廃光ファイバーケーブルの再資源化処理 および 再生 PE 管の製造	廃光ファイバーケーブルの廃棄処理 および 新規 PE 管の製造

2.4.3 機能単位

本事業の特徴は、廃棄物の適正処理と製品の提供という 2 つの社会的役割を果たすものである。したがって、評価対象製品とベースラインの双方の処理状況を踏まえ、機能単位は廃光ファイバーケーブル 1kg の処理と再生 PE 管(一次リサイクル品) 0.633kg、再生 PE 管(二次リサイクル品) 0.557kg の生産および廃棄とした。

評価対象製品の再生 PE 管はベースラインの新規 PE 管と同等の機能を果たすものとした。

2.4.4 システム境界

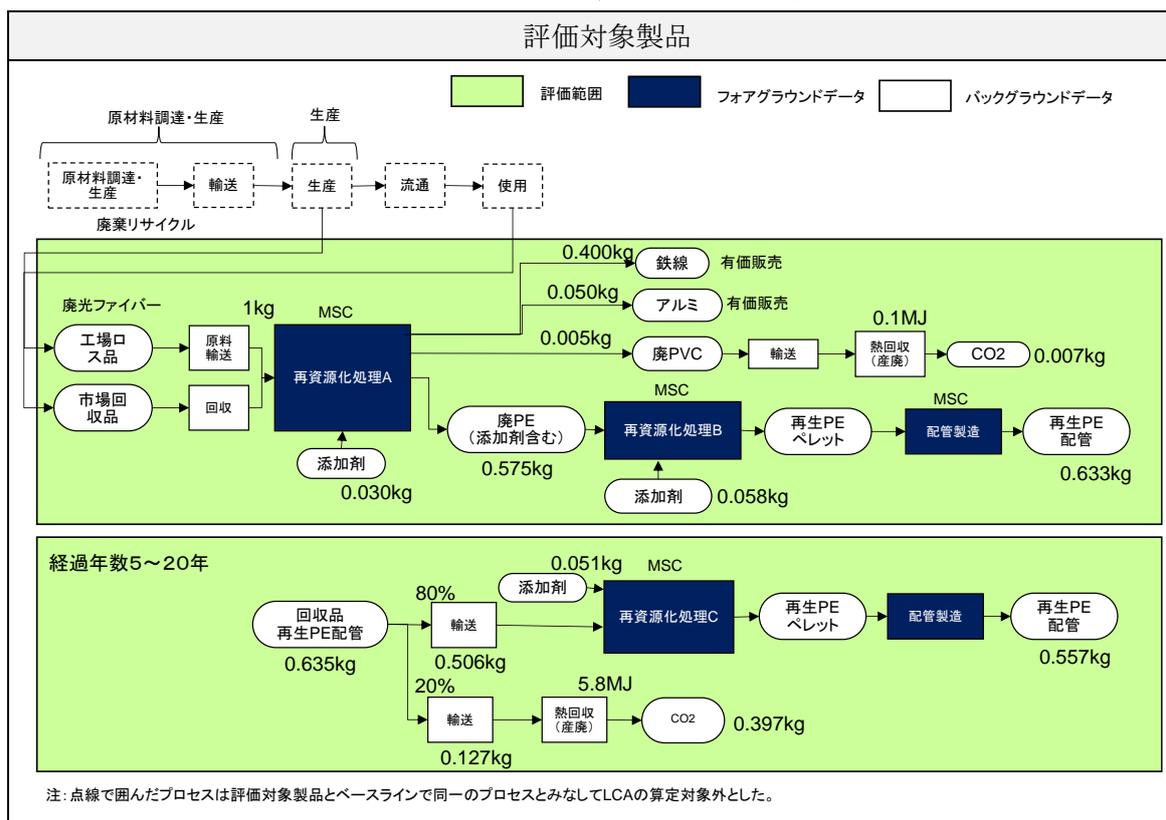
評価対象製品のシステム境界は、廃光ファイバーケーブルの調達から再資源化を経て再

生 PE 管を提供するまでの一連のプロセスに設定した。ベースラインのシステム境界は、廃光ファイバークーブルの廃棄処理と新規 PE 管の提供までの一連のプロセスに設定した。

2.4.4.1 評価対象製品

評価対象製品は、工場ロスまたは市場回収品から得られる廃光ファイバークーブルを調達した後、再資源化処理 A を経て粉砕物を製造する。再資源化処理 A では廃 PE の粉砕物のほかに鉄線、アルミ、廃 PVC が得られる。鉄線は従来から有価で販売されており、同様にアルミも有価販売することができる。廃 PVC は再資源化処理の取り扱いが難しいため熱回収する。廃 PE は再資源化処理 B 後に配管用の再生 PE ペレットになり、配管製造プロセスを経て再生 PE 配管として利用される。この一連のプロセスで得られた再生 PE 配管は、市場で再び使用（使用期間は約 5～20 年）され、さらにその使用後の再生 PE 管を回収し、再資源化処理 C を経て再生 PE ペレット（2 回目の再資源化処理）から再生 PE 配管を製造するまでの範囲にシステム境界を設定した。

図表 133 評価対象製品のシステム境界

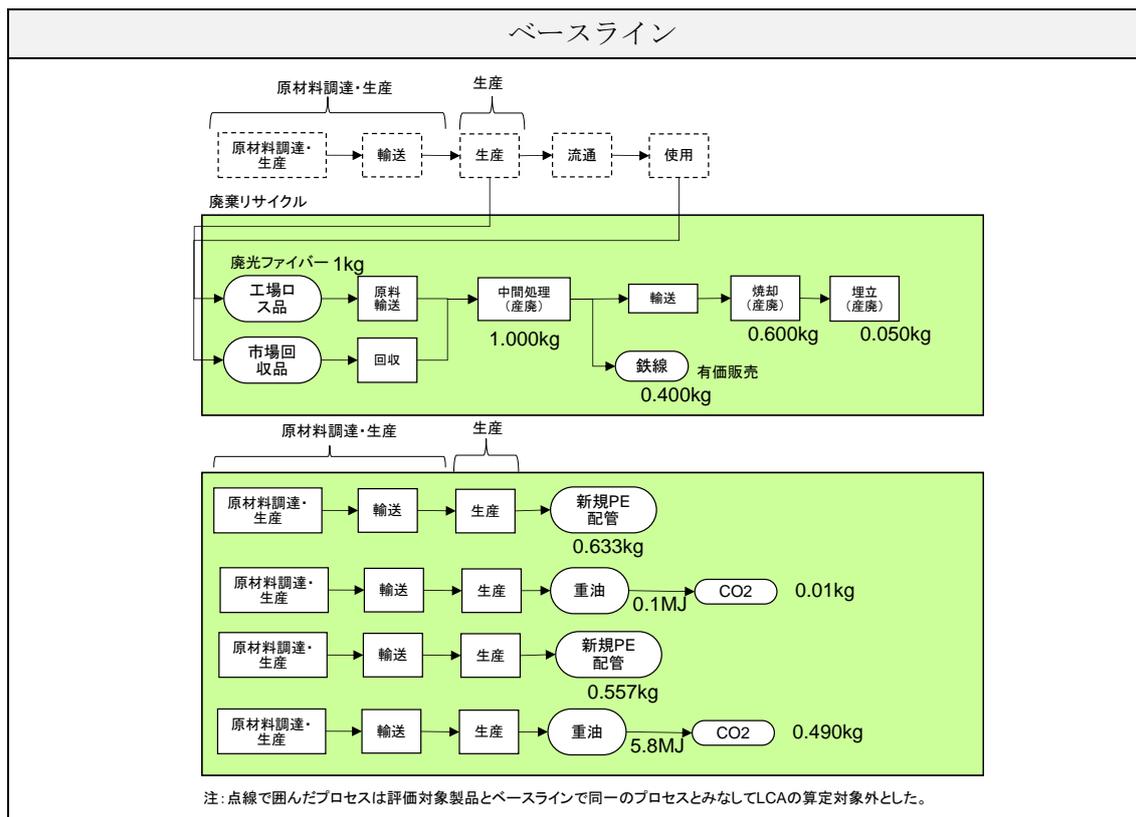


2.4.4.2 ベースライン

ベースラインは、日本全体における廃光ファイバークーブルの処理実態が把握されていないため、廃光ファイバークーブルの中間処理を行い、可燃物は焼却処理、不燃物は埋め立

て処分するものとした。中間処理時に得られる鉄類は選別されることが多いため、有価販売物として扱った。その他の成分は焼却処理後に残渣を最終処分するものとした。廃光ファイバーケーブルが廃棄処理されることで、市場には再生 PE 配管が供給されず、新たに化石資源を原料とした PE 配管を製造する必要がある。また、評価対象製品側で廃 PVC を熱回収するため、廃 PVC の発熱量に相当する化石資源由来の燃料を供給する形となる。

図表 134 ベースラインのシステム境界



2.4.5 地理的条件

評価対象製品とベースラインにおける廃光ファイバーケーブルの処理は日本国内で実施されるものとした。同様に PE 管は日本国内で提供されるものとした。

2.4.6 影響領域

環境負荷の影響領域は地球温暖化とした。温室効果ガス (Greenhouse Gas : GHG) は二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄)、亜酸化窒素 (N₂O)、ハイドロフルオロカーボン類 (HFCs)、パーフルオロカーボン類 (PFCs)、六フッ化硫黄 (SF₆)、三フッ化窒素 (NF₃) が対象である。本書において記載する温室効果ガス排出量または削減貢献量に関する単位の表記は、kg-CO₂ または kg-CO₂eq とした。単位に付与されている eq は equivalent の略で、7つの温室効果ガス排出量に地球温暖化係数 (Global Warming Potential : GWP) を乗じて合算した数字であ

ることを意味する。基本的に GWP は国連気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) の第 5 次評価報告書 (2013 年) の 100 年値を用いている。

2.4.7 バックグラウンドデータ

GHG 排出原単位は基本的に IDEAv3.1 を使用した。

2.4.8 評価対象製品に関わる算定条件と GHG 排出量

2.4.8.1 原材料調達・生産～使用

廃光ファイバーケーブルの処理からをシステム境界としているため、1 回目の光ファイバーケーブルの原材料調達・生産段階、生産、流通、使用は GHG 排出量の評価対象外とした。

2.4.8.2 廃光ファイバーケーブルの輸送・回収

廃光ファイバーケーブルは工場ロスの受け入れと市場回収品からの調達を見込んでいる。現状としては同一県内からの工場ロスの受け入れを想定しているため、100km と設定した。使用車両は 10 トン車とした。トラックの積載率は平均のデータを使用した。

輸送	数量	距離	GHG排出原単位	算定結果
廃光ケーブル	0.001t	× 100km	× $\frac{\text{kg-CO2eq/tkm}}{10\text{tトラック}\cdot\text{積載率平均}}$	= 1.02E-02kg-CO2eq

2.4.8.3 再資源化処理 A

廃光ファイバーケーブルを粉砕機で処理するプロセスでは、再資源化物として廃 PE 粉砕品、鉄くず、アルミくず、廃 PVC が得られ、副原料として添加剤が使用される。添加剤の使用量は廃光ファイバーケーブルの 3%程度である。粉砕機の動力は電力である。副原料の添加物の調達に係る GHG 排出量と消費電力分の GHG 排出量を計上した。

廃光ファイバーケーブルの組成は、廃 PE 破砕品 1kg から得られる廃 PE は 0.575kg、鉄くず 0.05kg、アルミくず 0.005kg、廃 PVC0.4kg である。

図表 135 再資源化処理 A プロセスの入出力表 (処理 1kg あたり)

区分	品目	数量	単位
原材料	廃光ケーブル	1.00	kg
	添加剤	0.0300	kg
ユーティリティ	電力	1.62	kWh
産出物	廃PE破砕品(添加剤含む)	0.575	kg
	廃PVC	0.400	kg
	鉄くず	0.0500	kg
	アルミくず	0.00500	kg

投入原料・ユーティリティ 数量		GHG排出原単位		算定結果	
廃光ケーブル処理量	1 kg	×	- kg-CO2eq/kg	=	0.00E+00 kg-CO2eq
添加剤	0.03 kg	×	黒色顔料データで試算 kg-CO2eq/kg	=	6.85E-02 kg-CO2eq
電力	1.62 kWh 粗粉碎～微粉碎	×	kg-CO2eq/kWh	=	9.17E-01 kg-CO2eq
小計					9.85E-01 kg-CO2eq

2.4.8.4 再資源化処理B

再資源化処理 B のプロセスは再資源化処理 A を経て得られる廃 PE 粉碎品に添加剤を加え、配管用の再生 PE ペレットを製造する。添加剤の使用量は廃光ファイバーケーブルの 10% 程度である。造粒機に係るエネルギーとして電力が必要となる。副原料の添加物の調達に係る GHG 排出量と消費電力分の GHG 排出量を計上した。

図表 136 再資源化処理 B プロセスの入出力表（処理 1kg あたり）

区分	品目	数量	単位
原材料	廃PE破砕品	1.00	kg
	添加剤	0.100	kg
ユーティリティ	電力	0.427	kWh
産出物	再生PEペレット	1.100	kg

投入原料・ユーティリティ 数量		GHG排出原単位		算定結果	
廃PE破砕品	0.575 kg	×	- kg-CO2eq/kg	=	0.00E+00 kg-CO2eq
添加剤	0.0575 kg	×	kg-CO2eq/kg	=	1.31E-01 kg-CO2eq
電力	0.246 kWh 押出	×	kg-CO2eq/kWh	=	1.39E-01 kg-CO2eq
小計					2.70E-01 kg-CO2eq

2.4.8.5 配管製造

再資源化処理 B を経て得られた再生 PE ペレットを原料として配管を製造するプロセスである。再生 PE ペレットから配管製造時に発生する廃棄物は極めて少ない。また製品ロスが発生した場合でも再資源化処理 A または B を経てペレットを得ることが可能である。配管製造に係るエネルギーは電力であり、電力を使用する。消費電力分の GHG 排出量を計上した。

図表 137 配管製造プロセスの入出力表（投入 1kg あたり、製品 1kg あたり）

区分	品目	数量	単位
原材料	再生PEペレット	1.00	kg
ユーティリティ	電力	0.110	kWh
産出物	再生PE管	1.00	kg

投入原料・ユーティリティ 数量	GHG排出原単位	算定結果
再生PEペレット 0.633 kg ×	- kg-CO2eq/kg	= 0.00E+00 kg-CO2eq
電力 0.0696 kWh × 射出	kg-CO2eq/kWh	= 3.94E-02 kg-CO2eq
	小計	3.94E-02 kg-CO2eq

2.4.8.6 廃 PVC の輸送・廃棄処理

廃 PVC は同一県内に輸送とし、輸送距離は 100km で使用車両は 4 トン車とした。トラックの積載率は平均のデータを使用した。

輸送後の廃 PVC は熱回収として有効利用するものとした。産廃の焼却処理に係る GHG 排出量と廃 PVC が燃焼することによって生じる GHG 排出量を計上した。なお、廃 PVC が燃焼することによって生じる CO2 排出量は非エネルギー起源である。

輸送	数量	距離	GHG排出原単位	算定結果
廃PVC	0.000005 t	100 km	kg-CO2eq/tkm 4tトラック・積載率平均	= 1.48E-04 kg-CO2eq

投入原料・ユーティリティ 数量	GHG排出原単位	算定結果
廃PVC 0.005 kg ×	kg-CO2eq/kg 産廃・焼却(ごみ燃焼分含まないものとした)	= 5.09E-03 kg-CO2eq
PVC (C2H3Cl)n 0.005 kg × 0.1205 MJ 基本分子量 C2H3Cl→	1.41E+00 kg-CO2eq/kg 62.49822 g/mol C含有量 24.0214 g-C/mol C含有率 0.384 燃焼時CO2排出量 1.409 kg-CO2/kg-PVC	= 7.05E-03 kg-CO2eq 非エネ起

2.4.8.7 再生 PE 管の回収・輸送

廃光ファイバーケーブルを再資源化して再生 PE 管を製造した後、光ファイバーケーブルを 5～20 年後に回収して循環利用することを見込んでいるため、回収率を 80%とした。

再生 PE 管は同一県内からの回収とし、輸送距離は 100km で使用車両は 4 トン車とした。トラックの積載率は平均のデータを使用した。

輸送	数量	距離	GHG排出原単位	算定結果
再生PE管 (2次リサイクル向け)	0.000506 t	100 km	kg-CO2eq/tkm 10tトラック・積載率平均	= 8.19E-03 kg-CO2eq

2.4.8.8 使用済み再生 PE 管の再生ペレット化・配管製造

廃光ファイバーケーブルから得られる再生 PE 管（一次リサイクル品）は回収率を 80%程度と見込んでいる。再生 PET 管の使用期間による劣化によって、再び再生 PE ペレット（2次リサイクル品）を製造する際の製品収率に影響する可能性があるが、現時点ではどの程度が循環利用できるか判断することが難しいため、ここでは再生樹脂の劣化などを考慮せず、

回収後の再生PE管から再生ペレットを製造し、再生PE管（2次リサイクル品）を製造するものとした。再生ペレットには添加剤を加えて品質を安定させる必要がある。再生ペレットと再生PE管（2次リサイクル品）で使用するエネルギーは電力である。

投入原料・ユーティリティ	数量		GHG排出原単位	算定結果
再生PE管 (2次リサイクル向け)	0.506 kg	×	- kg-CO2eq/kg	= 0.00E+00 kg-CO2eq
添加剤	0.0506 kg	×	- kg-CO2eq/kg	= 1.16E-01 kg-CO2eq
電力	0.216 kWh 押出	×	- kg-CO2eq/kWh	= 1.22E-01 kg-CO2eq
小計				2.38E-01 kg-CO2eq

投入原料・ユーティリティ	数量		GHG排出原単位	算定結果
再生PEペレット (2次リサイクル向け)	0.5566 kg	×	- kg-CO2eq/kg	= 0.00E+00 kg-CO2eq
電力	0.0612 kWh 射出	×	- kg-CO2eq/kWh	= 3.46E-02 kg-CO2eq
小計				3.46E-02 kg-CO2eq

2.4.8.9 未回収の再生PE管（一次リサイクル品）の輸送・廃棄処理

再生PE管（一次リサイクル品）の状態によっては回収されない可能性があるため、20%は熱回収を行うものとした。同一県内に輸送とし、輸送距離は100kmで使用車両は4トン車とした。トラックの積載率は平均のデータを使用した。輸送後の再生PE管は熱回収として有効利用することを想定した。産廃の焼却処理に係るGHG排出量と廃PEが燃焼することによって生じるGHG排出量を計上した。なお、廃PEが燃焼することによって生じるCO2排出量は非エネルギー起源である。

輸送	数量	距離	GHG排出原単位	算定結果
再生PE管(未回収分)	0.000127 t	100 km	- kg-CO2eq/tkm 4tトラック・積載率平均	= 3.74E-03 kg-CO2eq

輸送	数量	距離	GHG排出原単位	算定結果
再生PE管(未回収分)	0.000127 t	100 km	- kg-CO2eq/tkm 4tトラック・積載率平均	= 3.74E-03 kg-CO2eq

投入原料・ユーティリティ	数量		GHG排出原単位	算定結果
廃PE	0.1265 kg	×	- kg-CO2eq/kg 産廃・焼却(ごみ燃焼分含まないものとした)	= 1.29E-01 kg-CO2eq
PE (C2H4)n	0.1265 kg 5.819 MJ 基本分子量 C2H4→	×	- kg-CO2eq/kg 28.05316 g/mol C含有量 24.0214 g-C/mol C含有率 0.856 燃焼時CO2排出量 3.140 kg-CO2/kg-PE	= 3.97E-01 kg-CO2eq

2.4.8.10 評価対象製品のGHG排出量

評価対象製品は廃光ファイバーケーブルの適正処理1kgと再生PE管一次品0.633kg、再

生PE管一次品0.557kgの生産から廃棄に係るGHG排出量の合計は2.13kg-CO₂eqであった。このうちエネルギー起源のGHG排出量は1.73kg-CO₂eq、非エネルギー起源は0.404kg-CO₂eqである。

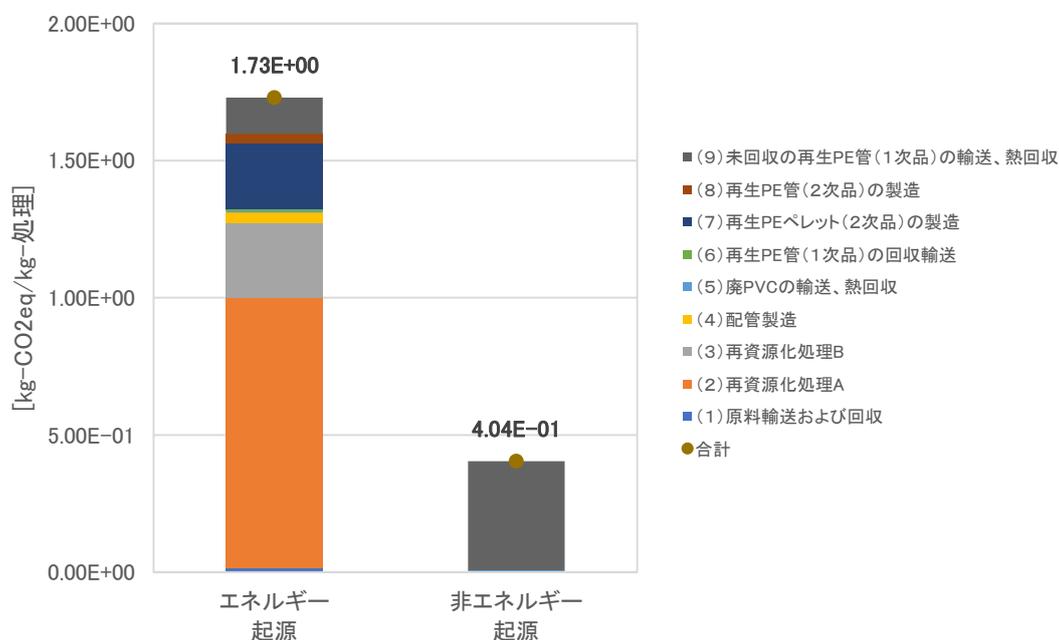
工程別にみると、再資源化処理A、再資源化処理B、再生ペレット（リサイクル二次品）、未回収の再生PE管（1次品）の輸送・熱回収のGHG排出量が多い。

図表 138 評価対象製品のGHG排出量

単位: kg-CO₂eq/kg-廃光ケーブル

項目	GHG排出量		
	エネルギー起源	非エネルギー起源	計
(1)原料輸送および回収	1.62E-02		1.62E-02
(2)再資源化処理A	9.85E-01		9.85E-01
(3)再資源化処理B	2.70E-01		2.70E-01
(4)配管製造	3.94E-02		3.94E-02
(5)廃PVCの輸送、熱回収	5.24E-03	7.05E-03	1.23E-02
(6)再生PE管(1次品)の回収輸送	8.19E-03		8.19E-03
(7)再生PEペレット(2次品)の製造	2.38E-01		2.38E-01
(8)再生PE管(2次品)の製造	3.46E-02		3.46E-02
(9)未回収の再生PE管(1次品)の輸送、熱回収	1.33E-01	3.97E-01	5.30E-01
合計	1.73E+00	4.04E-01	2.13E+00

図表 139 評価対象製品のGHG排出量



2.4.9 ベースラインに関わる算定条件と GHG 排出量

2.4.9.1 廃光ファイバーケーブルの輸送

廃光ファイバーケーブルは現状ではほとんど再資源化されずに中間処理後に廃棄処理されるものとした。現時点での取引先は限定できないため、同一県内からの輸送とした。輸送距離は 100km で使用車両は 4 トン車とした。トラックの積載率は平均のデータを使用した。

輸送	数量	距離	GHG排出原単位	算定結果
廃光ケーブル	0.001t	100km	kg-CO2eq/tkm 4tトラック・積載率平均	2.96E-02 kg-CO2eq

2.4.9.2 廃光ファイバーケーブルの中間処理

廃光ファイバーケーブルは中間処理時に鉄くずを回収し、その他の成分は焼却処理を経て、残渣を埋め立て処分するものとした。1kg の廃光ファイバーケーブルのうち、鉄くず 0.400kg は回収、アルミくずは電線に接着されているため、簡易的な破碎処理では剥離されない上、含有量が少量であるため有効利用されていないと考えられる。廃 PE および廃 PVC については混合プラスチックとして焼却処理されているものとした。したがって、鉄くず以外の 0.600kg は焼却処理され、残渣は埋め立て処理 (0.600kg のうち 0.050kg) とした。

投入原料・ユーティリティ	数量	GHG排出原単位	算定結果
廃光ケーブル処理量	1kg	kg-CO2eq/kg	1.35E-04 kg-CO2eq

2.4.9.3 中間処理後廃棄物の輸送

中間処理場から焼却処理場、最終処分場までの輸送距離は同一県内からの輸送とみなして、距離は 100km、使用車両は 4 トン車とした。トラックの積載率は平均のデータを使用した。

輸送	数量	距離	GHG排出原単位	算定結果
廃光ケーブル中間処理物	0.0006t	100km	kg-CO2eq/tkm 4tトラック・積載率平均	1.77E-02 kg-CO2eq

2.4.9.4 中間処理後廃棄物の焼却処理

焼却処理対象物 0.600kg は廃プラスチックであることから廃プラスチックの中間処理に係る GHG 排出量を算定した。0.600kg のうち、廃 PE は 0.545kg、廃 PVC 0.054kg であり、それぞれのプラスチックは燃焼時の CO2 排出係数が異なる。PE は 1kg 燃焼時の CO2 排出係数は 3.14kg-CO2、PVC は 1.41kg-CO2 を用いて燃焼時の CO2 排出量を算出した。なお、廃 PE と廃 PVC が燃焼することによって生じる CO2 排出量は非エネルギー起源である。

投入原料・ユーティリティ	数量		GHG排出原単位	算定結果
廃プラ (廃PE) (廃PVC)	0.545 kg 0.54 kg 0.005 kg	×	kg-CO2eq/kg 産廃・焼却(ごみ燃焼分含まないものとした)	= 5.55E-01 kg-CO2eq
PE (C2H4)n	0.54 kg	×	基本分子量 C2H4→ 28.05316 g/mol C含有量 24.0214 g-C/mol C含有率 0.856 燃焼時CO2排出量 3.140 kg-CO2/kg-PE	= 3.14E+00 kg-CO2eq/kg = 1.70E+00 kg-CO2eq
PVC (C2H3Cl)n	0.005 kg	×	基本分子量 C2H3Cl→ 62.49822 g/mol C含有量 24.0214 g-C/mol C含有率 0.384 燃焼時CO2排出量 1.409 kg-CO2/kg-PVC	= 1.41E+00 kg-CO2eq/kg = 7.05E-03 kg-CO2eq

2.4.9.5 埋め立て処理

埋め立て量は廃光ファイバーケーブルのアルミ分 0.05kg が焼却後の残渣で発生するものとし、金属くずの埋め立て処理に係る GHG 排出量を算出した。

投入原料・ユーティリティ	数量		GHG排出原単位	算定結果
焼却残渣	0.05 kg		kg-CO2eq/kg	= 9.67E-03 kg-CO2eq

2.4.9.6 新規 PE 管の製造（1次リサイクル品）

評価対象製品で製造される再生 PE 管（1次リサイクル品）は、ベースライン側の処理システムでは生産することができないため、新規の PE 管 0.633kg を生産する必要がある。1次リサイクル品との新規 PE 管の生産に係る GHG 排出量を計上した。

産出物	数量		GHG排出原単位	算定結果
新規PE管	0.633 kg	×	kg-CO2eq/kg	= 2.15E+00 kg-CO2eq

2.4.9.7 新規 C 重油の使用（1次リサイクル品生産時における PVC の熱回収分に相当）

評価対象製品の PVC 分は熱回収される見込みであり、ベースラインでは熱回収されていないとみなして、PVC の発熱量（0.1MJ）と同量を C 重油で賄うものとして、C 重油に係る GHG 排出量を計上した。

産出物	数量		GHG排出原単位	算定結果
C重油	0.121 MJ	×	kg-CO2eq/MJ	= 1.01E-02 kg-CO2eq
廃PVC	0.005 kg(評価対象製品側)			
PVC発熱量	24.1 MJ/kg-PVC			

2.4.9.8 新規 PE 管の製造（2次リサイクル品）

評価対象製品で製造される再生 PE 管（2次リサイクル品）0.557kg はベースライン側の処理システムでは生産することができない。したがって、ベースライン側では新規の PE 管 0.538kg を生産する必要があるため、その分の GHG 排出量を計上した。

産出物	数量		GHG排出原単位	算定結果
新規PE管	0.557 kg	×	kg-CO2eq/kg	1.89E+00 kg-CO2eq

2.4.9.9 新規 C 重油の使用（2次リサイクル品の PE 管の熱回収分に相当）

評価対象製品側の2次リサイクル品の中では使用後に20%程度が循環利用されないことが想定される。循環利用されない廃 PE 分は熱回収されるものとして扱っており、ベースライン側では廃光ファイバーケーブル自体が焼却処理されているとみなしている。ベースライン側ではこの熱回収に相当する燃料は生産できないため、熱回収される2次リサイクル品由来の廃 PE の発熱量（5.8MJ）と同量を C 重油で賄うものとして、C 重油に係る GHG 排出量を計上した。

産出物	数量		GHG排出原単位	算定結果
C重油	5.82 MJ	×	kg-CO2eq/MJ	4.90E-01 kg-CO2eq
廃PE	0.1265 kg (評価対象製品側)			
PE発熱量	46 MJ/kg-PE			

2.4.9.10 ベースラインの GHG 排出量

ベースラインの GHG 排出量は、廃光ファイバーケーブルの廃棄処理（焼却後に残渣を埋め立て）1kg と化石資源由来の新規 PE 管 0.633kg、新規 C 重油 0.121MJ、評価対象製品側の2次リサイクル品と同量である新規 PE 管 0.557kg、1次リサイクル品使用後の未回収分の熱回収 5.82MJ に相当する新規 C 重油に係る全てを算定した結果 6.85kg-CO2eq という結果が得られた。このうちエネルギー起源の GHG 排出量は 5.15kg-CO2eq、非エネルギー起源は 1.70kg-CO2eq である。

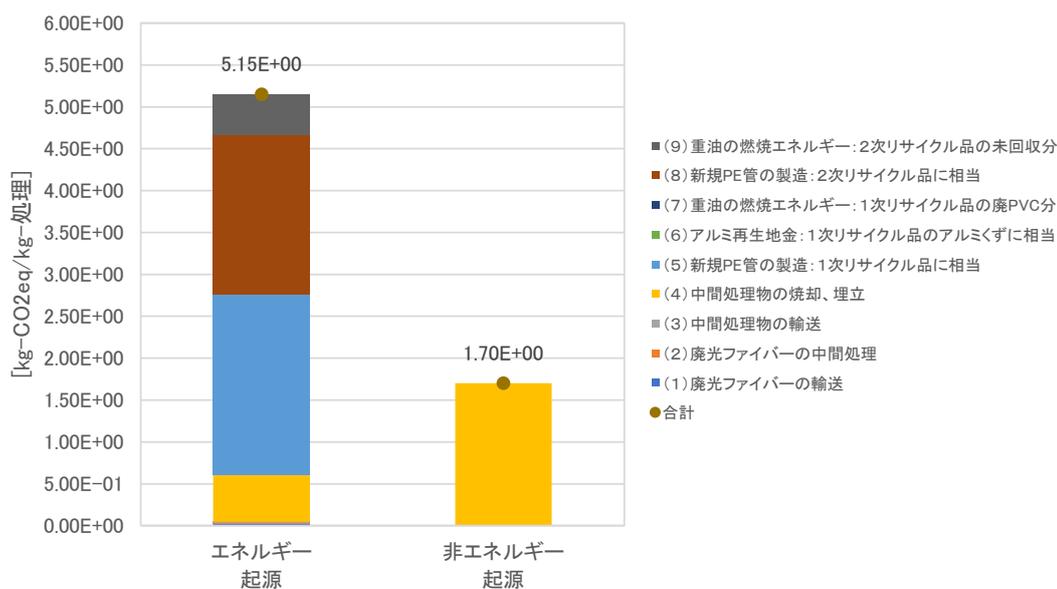
工程別にみると、新規 PE 管の製造に係る項目の GHG 排出量が多い。廃棄リサイクル段階では中間処理と新規の重油に係る GHG 排出量が多い。

図表 140 ベースラインの GHG 排出量

単位: kg-CO₂eq/kg-廃光ケーブル

項目	GHG排出量		
	エネルギー起源	非エネルギー起源	計
(1) 廃光ファイバーの輸送	2.96E-02		2.96E-02
(2) 廃光ファイバーの中間処理	1.35E-04		1.35E-04
(3) 中間処理物の輸送	1.77E-02		1.77E-02
(4) 中間処理物の焼却、埋立	5.55E-01	1.70E+00	2.26E+00
(5) 新規PE管の製造: 1次リサイクル品に相当	2.15E+00		2.15E+00
(6) アルミ再生地金: 1次リサイクル品のアルミくずに相当	0.00E+00		0.00E+00
(7) 重油の燃焼エネルギー: 1次リサイクル品の廃PVC分	1.01E-02		1.01E-02
(8) 新規PE管の製造: 2次リサイクル品に相当	1.89E+00		1.89E+00
(9) 重油の燃焼エネルギー: 2次リサイクル品の未回収分	4.90E-01	0.00E+00	4.90E-01
合計	5.15E+00	1.70E+00	6.85E+00

図表 141 ベースラインの GHG 排出量



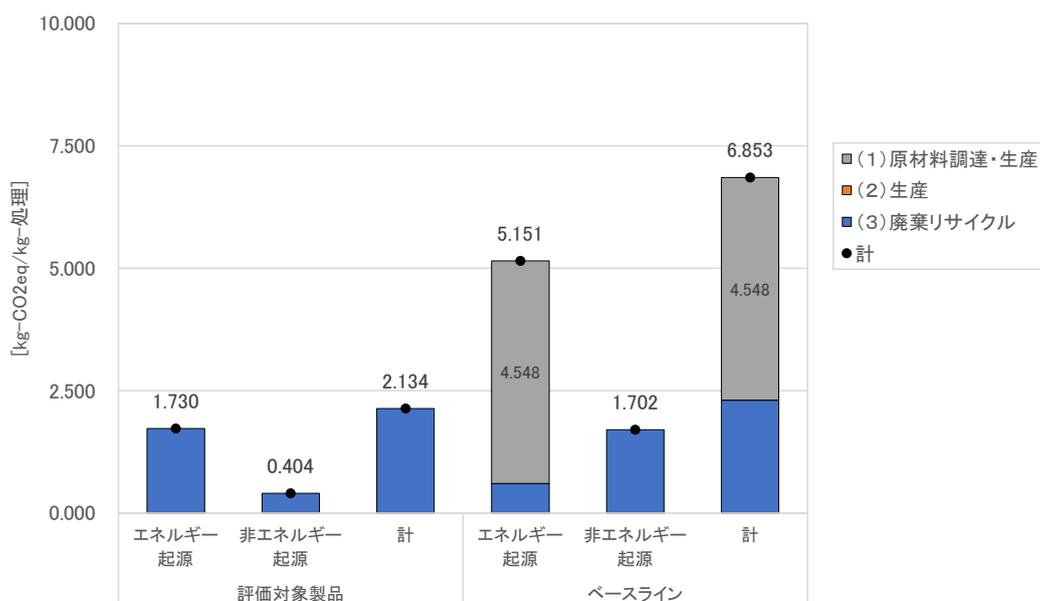
2.4.10 GHG 排出削減効果

GHG 排出削減効果は、評価対象製品のライフサイクル GHG 排出量(1)とベースラインのライフサイクル GHG 排出量(2)の差をとって算出した。

- (1) 評価対象製品のライフサイクル GHG 排出量
- (2) ベースラインのライフサイクル GHG 排出量
- (3) 上記(1)、(2)の結果から導出される GHG 排出量の削減効果 (削減量)

評価対象製品の一連のプロセスに係る GHG 排出量は 2.134kg-CO₂eq、ベースラインの GHG 排出量は 6.853kg-CO₂eq であり、この差をとって算出した評価対象製品のベースラインに対する GHG 排出削減効果は 4.608kg-CO₂eq となった。割合としては、67%の削減効果がある。GHG 排出削減効果の内訳はエネルギー起源が 3.421kg-CO₂eq、非エネルギー起源が 1.298kg-CO₂eq である。エネルギー起源の GHG 排出削減効果は再生 PE 管を製造する際の GHG 排出量はベースラインよりも多いものの、ベースライン側では化石資源由来の新規 PE 管を製造する際の GHG 排出量が加算されるため、評価対象製品の GHG 排出量の方が少ない結果となった。非エネルギー起源の GHG 排出削減効果は、廃棄物として処理された場合の GHG 排出量が計上されており、ベースラインよりも評価対象製品の GHG 排出量が少ない。以上のことから、評価対象製品はベースラインに対してエネルギー起源と非エネルギー起源の双方において GHG 排出削減効果が見込める。

図表 142 評価対象製品とベースラインの GHG 排出量



図表 143 評価対象製品の GHG 削減効果

単位: kg-CO₂eq/kg-処理

	エネルギー起源	非エネルギー起源	計
GHG削減効果	3.421	1.298	4.719

2.4.11 考察と課題

評価対象製品は廃光ファイバーに含まれる PE を再資源化して再生 PE ペレットを製造した後、再生 PE 管として2度利用するシステムである。ベースラインは廃光ファイバーの鉄くずを回収し、他の成分である PE と PVC、アルミくずは焼却処理するものとした。ベースラインの設定は現状における国内の処理状況がわかっていない。国内の廃プラスチック対策は年々改善されており、再生プラスチックへの資源化が困難なケースでも燃料代替としてエネルギー利用されることがある。廃光ファイバーでは一部のメーカーが回収してエネルギーとして活用している事例も存在する。したがって、ベースライン側の処理システムが廃プラスチックのエネルギー利用（熱回収）の場合に、評価対象製品の GHG 排出削減効果がどの程度変化するかという観点での評価も必要である。

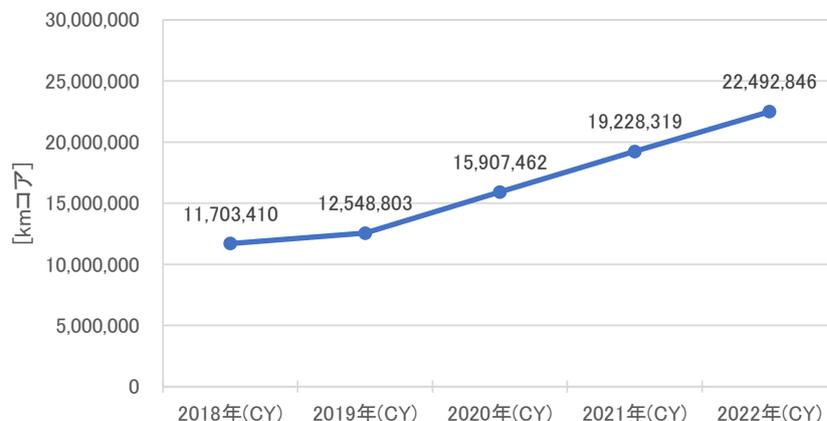
このほか、最近ではバイオマス資源由来 PE の普及が進んでおり、配管の素材がバイオ PE に置き換わる可能性もあり得る。将来的に配管素材がバイオ PE に置換することで、評価対象製品とベースラインの処理システムの GHG 排出量に対する影響を把握するためにバイオ PE 導入による GHG 排出量と GHG 排出削減効果を試算した。

2.4.11.1 ベースラインの変化による GHG 排出削減効果の違い

2.4.11.1.1 光ファイバーの出荷動向

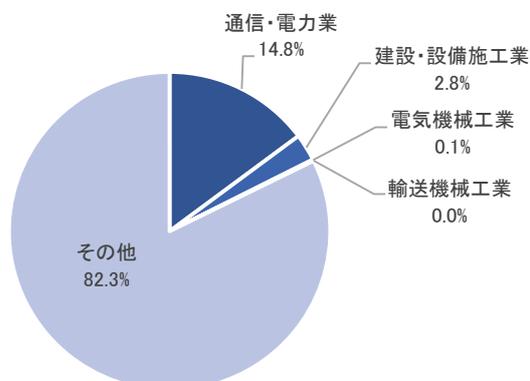
近年の通信複合ケーブルを含む光ファイバーの出荷数量は順調に増加している。2018 年の出荷数量は 1170 万 km コアに対して、2018 年は 2249 万 km コアとほぼ倍増している。販売内訳をみると、通信・電力業 14.8%、建設・設備施工業 2.8%、電気機械工業 0.1%であり、その他が 82.3%を占めている。光ファイバーは製品の種類によって重量に大幅な違いがあるため、市場に供給されている重量を特定することが難しい。また光ファイバーは複数年にわたって使用される上に製品毎に使用期間が異なるため、廃棄物として発生する重量も把握することが難しく、国内の体系的な処理状況が把握しにくい状況にある。

図表 144 光ファイバーケーブル（含通信複合ケーブルを含む）の出荷数量



出典：経済産業省生産動態統計（2022年版）

図表 145 光ファイバーケーブル（含通信複合ケーブルを含む）の販売内訳（2022年）



出典：経済産業省生産動態統計（2022年版）

2.4.11.1.2 廃光ファイバーケーブルの処理状況

廃光ファイバーケーブルの再資源化の取り組みは、2000年代から実施されてきた経緯がある。再資源化の手法は材料リサイクルとサーマルリサイクル（エネルギー回収）の事例が多い。材料リサイクルは外被部分を再生ペレットに再資源化することで有効利用している。材料リサイクルに不向きな廃プラスチックはエネルギーとして利用されることが多い。廃光ファイバーケーブルの処理を行う事業者は、電線・ケーブルの製造業者、施工業者、機械製造業、産業廃棄物処理業者など様々である。また廃光ファイバーケーブルの処理についても自社内もしくは関連会社において実施する事例だけでなく、再資源化処理を外部事業者へ委託する企業もある。

図表 146 廃光ファイバーケーブルの処理方法と利用

企業名	概要
古河電工	<ul style="list-style-type: none"> 産業廃棄物の廃光ファイバーケーブル処理量 1033 トン/年（2008年） 3分の2をサーマルリサイクル、3分の1を材料リサイクル。材料リサイクルは鉄とポリエチレン。 再生プラスチックの用途は防草シート、ケーブルドラム、土止め杭、絶縁テープ、ケーブル保護管。
東京電力	<ul style="list-style-type: none"> 産業廃棄物の廃ケーブルが年間約 130 トン（2004年） 古河電工と共同実施
NTT 西日本	<ul style="list-style-type: none"> 廃光ファイバーケーブルの外皮を再生ペレットに加工。（2009年） 新品樹脂 50%と再生樹脂 50%を使用して光ケーブル外被を製造。（2009年）
住友電工	<ul style="list-style-type: none"> 回収後の廃光ファイバーケーブルからプラスチックを分離。 材料リサイクル（再生ペレット）とサーマルリサイクルを実施。（2015年）

SWCC	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃光ファイバーケーブルからプラスチックを分別。 ・ 材料リサイクル（再生ペレット）とサーマルリサイクルを実施。
富士資材加工	<ul style="list-style-type: none"> ・ 産業廃棄物の廃光ファイバーケーブルを処理。 ・ 選別後に切断して、材料リサイクル可能なケーブルを有価物として販売。 ・ 材料リサイクル不可能なケーブルはサーマルリサイクルへ引き渡し。
日本総合施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃光ファイバーケーブルをガラス・プラスチック・鉄原料への再資源化。（2010年） ・ 再資源化されないものは熱回収。
柴田産業	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃光ファイバーケーブルの粉碎処理。（2014年） ・ 金属やセメント原料に利用。
エムダイヤ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃光ファイバーケーブルの分離・破砕技術を確立。 ・ 再生ペレット等の製品に再資源化。

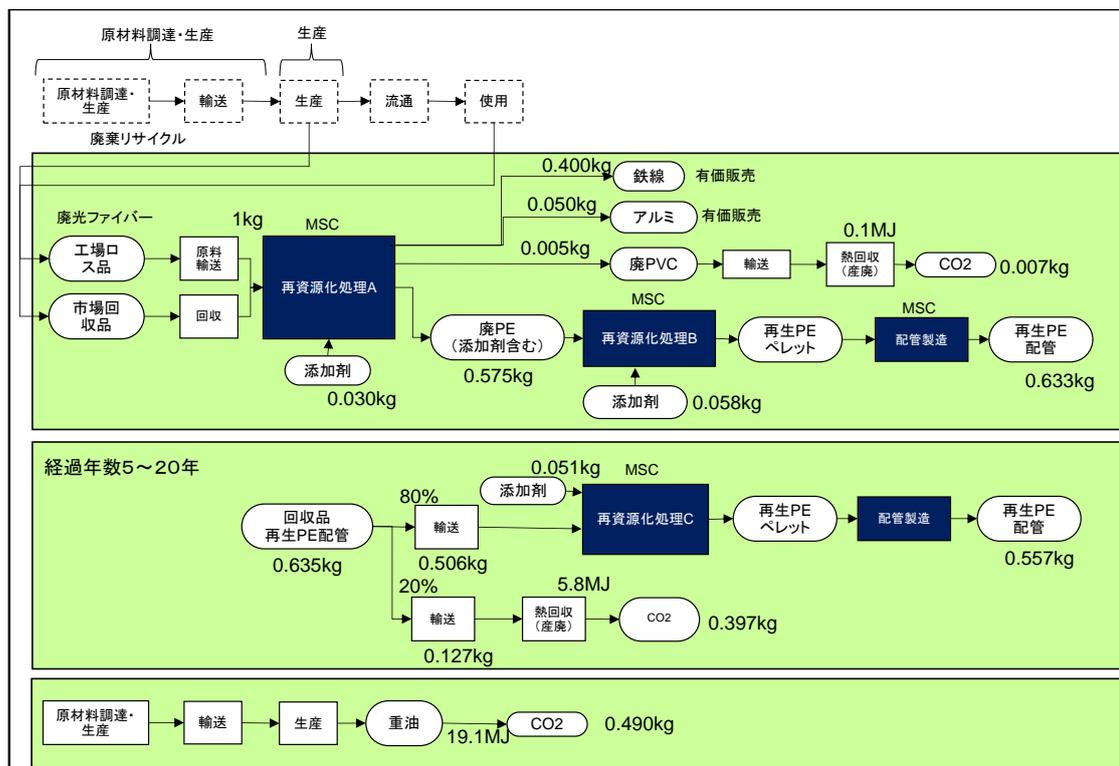
2.4.11.1.3 ベースライン設定とシステム境界

廃光ファイバーの日本全体における処理状況の把握は難しいものの、リサイクルされずに廃棄される廃光ファイバーは減少しており、材料リサイクルされなくても廃プラスチックはエネルギーとして利用されているものと推察される。したがって、ベースライン側の処理システムが廃プラスチックのエネルギー利用（熱回収）の場合において、評価対象製品とベースラインの GHG 排出量、GHG 排出削減効果の変化がどの程度になるかを試算した。

① 評価対象製品のシステム境界

評価対象製品は廃光ファイバー1kg の処理から再生 PE 配管 1 次リサイクル品 0.633kg と 2 次リサイクル品 0.557kg を製造する。システム境界内で産出されるエネルギーは 5.9MJ である。ベースラインではサーマルリサイクルによるエネルギー代替が廃光ファイバー1kg あたり 25.0MJ であるため、評価対象製品のシステム境界内はベースラインに対してエネルギーが 19.1MJ の不足となる。したがって不足する 19.1MJ を新規の燃料（重油）で補うことになる。

図表 147 評価対象製品のシステム境界【ベースライン：エネルギー回収】

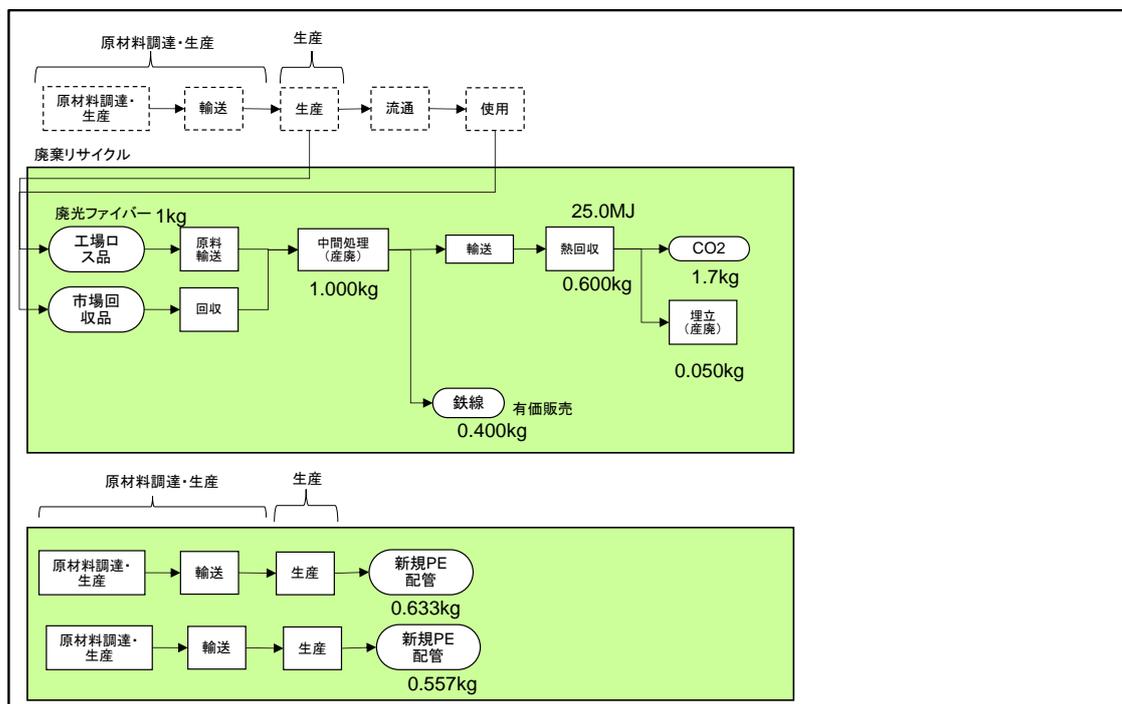


注：点線で囲んだプロセスは評価対象製品とベースラインで同一のプロセスとみなしてLCAの算定対象外とした。

② ベースラインのシステム境界

ベースラインは廃光ファイバー1kgの処理から産出されるエネルギーが25.0MJである。評価対象製品では材料リサイクルによるPE配管の産出量が廃光ファイバー1kgあたり合計で1.190kgであるため、ベースラインのシステム境界内は評価対象製品に対してPE配管が合計1.190kgの不足となり、この不足する1.190kgを新規のPE配管（化石資源由来）で補う。

図表 148 ベースラインのシステム境界【ベースライン：エネルギー回収】



注：点線で囲んだプロセスは評価対象製品とベースラインで同一のプロセスとみなしてLCAの算定対象外とした。

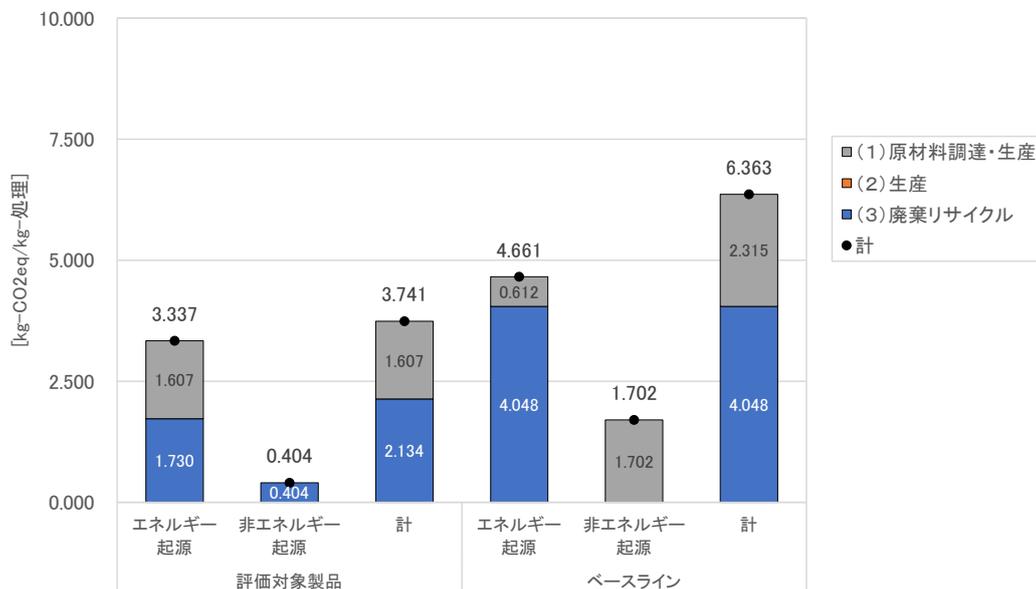
2.4.11.1.4 GHG 排出量と GHG 削減効果

ベースライン側をサーマルリサイクルに設定した場合の評価対象製品のシステム境界内における GHG 排出量は 3.741kg-CO₂eq、ベースラインは 6.363kg-CO₂eq、評価対象製品のベースラインに対する GHG 排出削減効果は 2.622kg-CO₂eq となった。

「8-10. 評価対象製品の GHG 排出量」に示したとおり、ベースラインを変更していない評価対象製品の GHG 排出量は 2.134kg-CO₂eq であり、ベースラインを変更したことによって評価対象製品側の GHG 排出量は増加し、評価対象製品のベースラインに対する GHG 排出削減効果は 4.719kg-CO₂eq (8-10 参照) よりも少ない。

この理由は、ベースラインの変更による評価対象製品の GHG 排出量をみると、ベースラインを廃棄処理とした場合における評価対象製品の GHG 排出量は 2.134kg-CO₂eq であり、ベースラインがエネルギー利用になることで、評価対象製品側のシステム境界に不足となる重油の GHG 排出量 1.607kg-CO₂eq が加算される。一方でエネルギー利用とした場合のベースラインでは評価対象製品側を上回るエネルギー利用が産出される形になるため、不足分となる新規 PE 管の GHG 排出量だけが加算され、6.363kg-CO₂eq となる。したがって、評価対象製品側に新規重油分の GHG 排出量が上乗せされ、ベースライン側は新規 PE 管の GHG 排出量だけに留まることから、評価対象製品の GHG 排出削減効果が少なくなる。

図表 149 評価対象製品とベースラインの GHG 排出量【ベースライン：エネルギー回収】

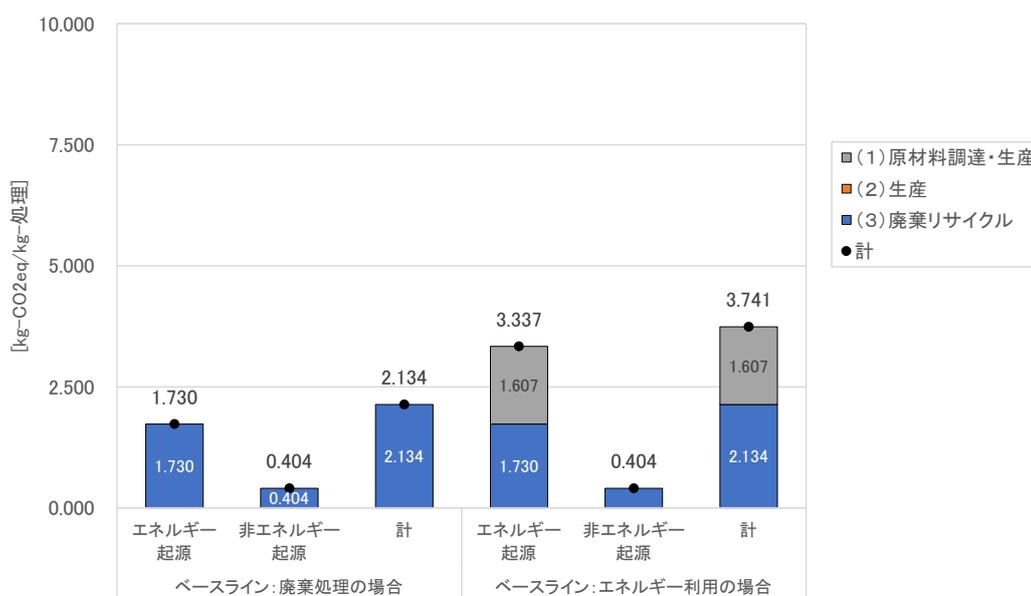


図表 150 評価対象製品の GHG 削減効果【ベースライン：エネルギー回収】

単位: kg-CO2eq/kg-処理

	エネルギー起源	非エネルギー起源	計
GHG削減効果	1.324	1.298	2.622

図表 151 ベースラインの変更による評価対象製品の GHG 排出量の変化



2.4.11.2 バイオ PE の導入による影響

将来的にバイオ PE を用いた配管が市場に供給された場合、化石資源由来の PE 配管から

バイオ PE 製の配管に置換することによって、評価対象製品とベースラインの GHG 排出量と GHG 排出削減効果への影響を調べた。

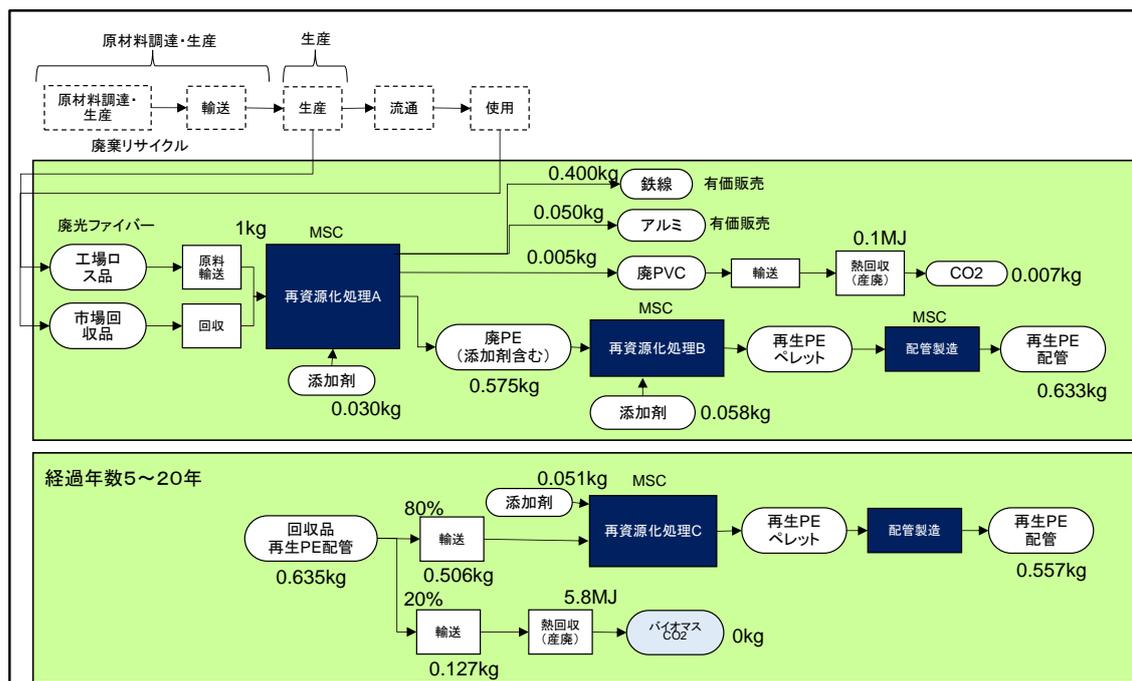
2.4.11.2.1 システム境界

バイオ PE 配管が普及した場合のシステム境界は、評価対象製品では再生 PE 配管の 1 次リサイクル品と 2 次リサイクル品と 2 次リサイクル時の未回収品がバイオ PE となる。ベースライン側は不足分となる新規 PE 配管がバイオ PE 製になる。

① 評価対象製品のシステム境界

評価対象製品は廃光ファイバー1kg の処理から再生 PE 配管 1 次リサイクル品 0.633kg と 2 次リサイクル品 0.557kg を製造する点、システム境界内で産出されるエネルギーは 5.9MJ である点は「4. システム境界」と変わらない。2 次リサイクル品を製造する際に発生する未回収分（20%）が焼却を前提としており、この焼却に伴って発生する CO2 がバイオマス由来でカーボンニュートラルを適用して非加算（ゼロ評価）となる。

図表 152 評価対象製品のシステム境界【バイオ PE 配管が普及した場合】

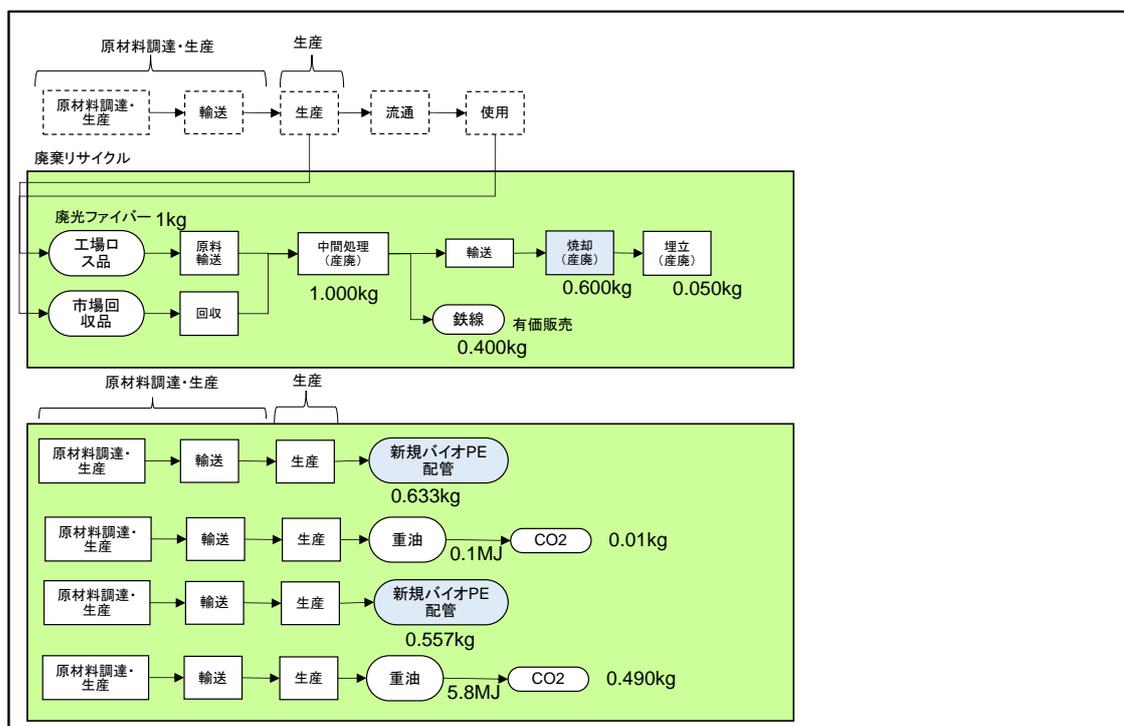


② ベースラインのシステム境界

ベースラインは、「4. システム境界」に示したとおり、廃光ファイバー1kg の焼却処理および埋め立て処理を前提としている。焼却処理に伴って排出される CO2 がバイオマス由来でカーボンニュートラルを適用して非加算（ゼロ評価）となる。評価対象製品が産出する

再生 PE 配管に対応するために新規の PE 配管を補完する分が新規のバイオ PE 配管に切り替わる。バイオ PE 配管の原料であるバイオ PE の原料調達から PE 製造までの GHG 排出量は菊池ら¹の報告から 1.35kg-CO₂eq/kg-PE を用いて試算した。

図表 153 ベースラインのシステム境界【バイオ PE 配管が普及した場合】



2.4.11.2.2 GHG 排出量と GHG 削減効果

バイオ PE 配管が普及した場合の評価対象製品のシステム境界内における GHG 排出量の試算結果は 1.737kg-CO₂eq、ベースラインは 2.852kg-CO₂eq となった。評価対象製品のベースラインに対する GHG 排出削減効果は 1.115kg-CO₂eq である。

評価対象製品では 2 次リサイクル品を製造する際に発生する未回収品 (20%) が焼却されることによって生じる CO₂ がバイオマス由来であるため、カーボンニュートラルを適用して非加算となることで「8-10. 評価対象製品の GHG 排出量」の結果よりも少ない数値となる。

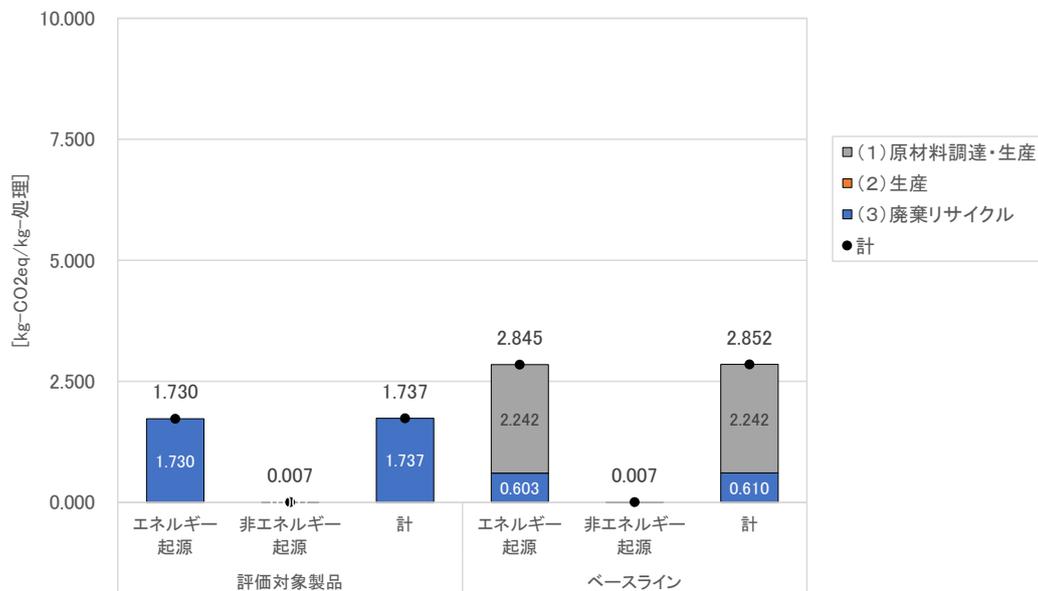
ベースラインでは、廃光ファイバーの焼却に伴って発生する CO₂ のうち、バイオ PE 由来の分がカーボンニュートラルを適用して非加算となる。さらに不足分である新規 PE 配管の原料がバイオ PE になることで、合計の GHG 排出量は「8-10. 評価対象製品の GHG 排出量」の数値よりも少なくなる。

したがって、バイオ PE 配管が普及することによって評価対象製品とベースラインにおけ

¹ 菊池康紀ら、バイオマス由来ポリエチレンのライフサイクル評価、第 6 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集 (2011 年 3 月)、B2-26

る合計の GHG 排出量は少なくなり、その影響で評価対象製品のベースラインに対する GHG 排出削減効果も減少する可能性が高い。

図表 154 評価対象製品とベースラインの GHG 排出量【バイオ PE 配管が普及した場合】



図表 155 評価対象製品の GHG 削減効果【バイオ PE 配管が普及した場合】

単位: kg-CO₂eq/kg-処理

	エネルギー起源	非エネルギー起源	計
GHG削減効果	1.115	0.000	1.115

2.4.12 添付資料

図表 156 CO2 排出削減量の比較表

機能単位
評価対象製品 高光ファイバー1kgの処理および再生可機配管・一次品0.633kgと二次品0.557kgの生産/廃棄
ベースライン 高光ファイバー1kgの焼却処理・埋立処分および新規の可機配管・一次品0.633kgと二次品0.557kgの生産/廃棄

原単位 (単位)	①評価対象製品						②ベースライン						③削減量 (②-①)					
	原材料調達・生産	生産	流通	使用	廃棄・リサイクル	合計	原材料調達・生産	生産	流通	使用	廃棄・リサイクル	合計	原材料調達・生産	生産	流通	使用	廃棄・リサイクル	合計
エネルギー起源					1.730	1.730	4.548				0.603	5.151	4.548	0.000	0.000	0.000	▲1.127	3.421
非エネルギー起源					0.404	0.404	0.000				1.702	1.702	0.000	0.000	0.000	0.000	1.298	1.298
合計	0.000	0.000	0.000	0.000	2.134	2.134	4.548	0.000	0.000	0.000	2.305	6.853	4.548	0.000	0.000	0.000	0.171	4.719
単位: kg-CO2eq/kg-処理						単位: kg-CO2eq/kg-処理						単位: kg-CO2eq/kg-処理						

処理量(実証終了時)	①評価対象製品						②ベースライン						③削減量 (②-①)					
	原材料調達・生産	生産	流通	使用	廃棄・リサイクル	合計	原材料調達・生産	生産	流通	使用	廃棄・リサイクル	合計	原材料調達・生産	生産	流通	使用	廃棄・リサイクル	合計
エネルギー起源					156	156	409				54	464	409	0	0	0	▲101	308
非エネルギー起源					36	36	0				153	153	0	0	0	0	117	117
合計	0	0	0	0	192	192	409	0	0	0	207	617	409	0	0	0	15	425
単位: t-CO2eq						単位: t-CO2eq						単位: t-CO2eq						

処理量(2030年推定)	①評価対象製品						②ベースライン						③削減量 (②-①)					
	原材料調達・生産	生産	流通	使用	廃棄・リサイクル	合計	原材料調達・生産	生産	流通	使用	廃棄・リサイクル	合計	原材料調達・生産	生産	流通	使用	廃棄・リサイクル	合計
エネルギー起源					15,566	15,566	40,933				5,424	46,357	40,933	0	0	0	▲10,142	30,791
非エネルギー起源					3,638	3,638	0				15,322	15,322	0	0	0	0	11,684	11,684
合計	0	0	0	0	19,204	19,204	40,933	0	0	0	20,746	61,679	40,933	0	0	0	1,542	42,475
単位: t-CO2eq						単位: t-CO2eq						単位: t-CO2eq						

図表 157 使用データ一覧

no.	段階	プロセス	使用データ	LCAの目的との整合性 (左記データ使用の理由)	実証事業終了時点	普及段階
評価対象製品						
No. P-01	廃棄リサイクル	(1) 原料輸送および回収	IDEAver3.1、トラック輸送サービス、4トン車、積載率_平均	輸送距離は想定値	●	●
No. P-02	廃棄リサイクル	(2) 再資源化処理A	IDEA3.1、電力、日本平均、2018年度、黒色顔料、再生パレット着色用		●	●
No. P-03	廃棄リサイクル	(3) 再資源化処理B	IDEA3.1、電力、日本平均、2018年度、黒色顔料、再生パレット着色用		●	●
No. P-04	廃棄リサイクル	(4) 配管製造	IDEA3.1、電力、日本平均、2018年度		●	●
No. P-05	廃棄リサイクル	(5) 廃PVCの輸送、熱回収	IDEAver3.1、トラック輸送サービス、4トン車、積載率_平均、焼却処理サービス、産業廃棄物	輸送距離は想定値、プラ燃焼時のCO2はPVCの係数を使用。	●	●
No. P-06	廃棄リサイクル	(6) 再生PE管(1次品)の回収輸送	IDEAver3.1、トラック輸送サービス、10トン車、積載率_平均	輸送距離は想定値	●	●
No. P-07	廃棄リサイクル	(7) 再生PEベレット(2次品)の製造	IDEA3.1、電力、日本平均、2018年度、黒色顔料、再生パレット着色用		●	●
No. P-08	廃棄リサイクル	(8) 再生PE管(2次品)の製造	IDEA3.1、電力、日本平均、2018年度		●	●
No. P-09	廃棄リサイクル	(9) 未回収の再生PE管(1次品)の輸送、熱回収	IDEAver3.1、トラック輸送サービス、4トン車、積載率_平均、焼却処理サービス、産業廃棄物	輸送距離は想定値、プラ燃焼時のCO2はPEの係数を使用。	●	●
ベースライン						
No. C-01	廃棄リサイクル	(1) 高光ファイバーの輸送	IDEAver3.1、トラック輸送サービス、4トン車、積載率_平均	輸送距離は想定値	●	●
No. C-02	廃棄リサイクル	(2) 高光ファイバーの中間処理	IDEAver3.1、産業廃棄物サービス、金属くず		●	●
No. C-03	廃棄リサイクル	(3) 中間処理物の輸送	IDEAver3.1、トラック輸送サービス、4トン車、積載率_平均	輸送距離は想定値	●	●
No. C-04	廃棄リサイクル	(4) 中間処理物の焼却	IDEAver3.1、トラック輸送サービス、4トン車、積載率_平均、焼却処理サービス、産業廃棄物	輸送距離は想定値、プラ燃焼時のCO2はPE、PVCそれぞれの係数を使用。	●	●
No. C-05	廃棄リサイクル	(4) 中間処理物の埋立	IDEAver3.1、トラック輸送サービス、4トン車、積載率_平均、埋立処理サービス、産業廃棄物		●	●
No. C-06	廃棄リサイクル	(5) 新規PE管の製造: 1次リサイクル品に相当	IDEAver3.1、プラスチック履質管		●	●
No. C-07	原料調達・生産	(7) 重油の燃焼エネルギー: 1次リサイクル品のPVC熱回収に相当	IDEAver3.1、C重油の燃焼エネルギー		●	●
No. C-08	原料調達・生産	(8) 新規PE管の製造: 2次リサイクル品に相当	IDEAver3.1、プラスチック履質管		●	●
No. C-09	原料調達・生産	(9) 重油の燃焼エネルギー: 2次リサイクル品の未回収廃PE管の熱回収に相当	IDEAver3.1、C重油の燃焼エネルギー		●	●

図表 158 リサイクル性を考慮したCO2削減効果、事業のライフサイクル評価

リサイクル性を考慮したCO2削減効果、事業性のライフサイクル評価

3. CO2削減効果

- ・普及段階の年は2030年を基本としますが、事業の特性に応じて設定してください。
- ・評価方法を検討中、データ未収集、評価対象外等の場合は備考欄に記載し、評価方法やデータ収集の検討状況、検討スケジュール、評価対象外の理由等を別途記載ください。

実証終了時点の処理量		90 トン/年		2030年の処理量		9,000 トン/年	
①評価対象製品		洗ファイバーケーブル由来の可とう配管					
		エネルギー起源	非エネルギー起源	合計	データ源	備考（評価の進捗等）	
実証事業 終了時点 (t-CO2/ 年)	原材料調達・生産			0			
	生産			0			
	流通			0			
	使用			0			
	廃棄・リサイクル	156	36	192	フォアグラウンドはカタログ値と試験結果を参考に算定（粉砕時の電力はカタログ値、押出と射出成型は試験結果） バックグラウンドはIDEAver3.1	実証終了時の処理量90t/年を想定	
合計	156	36	192				
普及段階 2030年時点 (t-CO2/ 年)	原材料調達・生産			0			
	生産			0			
	流通			0			
	使用			0			
	廃棄・リサイクル	15,566	3,638	19,204	ICAの算定結果をもとに換算	2030年の処理量9000t/年を想定	
合計	15,566	3,638	19,204				
②ベースライン		(ベースラインをご記入ください)					
		エネルギー起源	非エネルギー起源	合計	データ源	備考（評価の進捗等）	
実証事業 終了時点 (t-CO2/ 年)	原材料調達・生産	409	0	409	IDEAver3.1を使用	補完品（C重油と新規PE管）	
	生産			0			
	流通			0			
	使用			0			
	廃棄・リサイクル	54	153	207	IDEAver3.1を使用	実証終了時の処理量90t/年を想定	
合計	464	153	617				
普及段階 2030年時点 (t-CO2/ 年)	原材料調達・生産	40,933	0	40,933	IDEAver3.1を使用	補完品（C重油と新規PE管）	
	生産			0			
	流通			0			
	使用			0			
	廃棄・リサイクル	5,424	15,322	20,746	IDEAver3.1を使用	2030年の処理量9000t/年を想定	
合計	46,357	15,322	61,679				
③削減量 (②-①)		エネルギー起源	非エネルギー起源	合計			
実証事業 終了時点 (t-CO2/ 年)	原材料調達・生産	409	0	409			
	生産	0	0	0			
	流通	0	0	0			
	使用	0	0	0			
	廃棄・リサイクル	(101)	117	15			
合計	308	117	425				
普及段階 2030年時点 (t-CO2/ 年)	原材料調達・生産	40,933	0	40,933			
	生産	0	0	0			
	流通	0	0	0			
	使用	0	0	0			
	廃棄・リサイクル	(10,142)	11,684	1,542			
合計	30,791	11,684	42,475				

3 実証期間後に求められる取組

3.1 通信事業における光ファイバーケーブルリサイクルの実施にむけた情報収集

- ・ NTT、電線メーカー、付帯設備メーカーとのセミクローズドマテリアルリサイクルシステムに向けた構築の詳細検討

詳細検討の際には、市場回収された廃光ファイバーケーブルを用いた技術実証を実施し、課題を整理する必要がある。社会実装時には、特殊なものが混入することを防ぐために、廃光ファイバーの一定の受入基準を設定しておく必要があり、その項目と条件について検討が必要である。

- ・ 廃光ファイバーケーブルリサイクルの他業界再資源化処理状況調査（電力事業者を想定）

3.2 リサイクルシステムへの構築に向けた他業界の取組状況の把握

ガラス入り樹脂の利用先として、ガス管PE素材品の原料化が考えられ、調査検討を行っている。

図表 159 リサイクルされるガス管・破砕されたガス管



3.3 粉体作業（粉塵爆発）安全工程見学先調査

微粉化混錬技術の量産設備システムへの作業環境配慮事項ガイドラインの作成を行う。

4 参考資料

4.1 光ファイバーケーブルリサイクルガイドライン（叩き台）

4.1.1 ガイドライン策定の背景

2020年10月に日本政府が発表した「2050年カーボンニュートラル」では、2050年までに脱炭素社会を実現し、温室効果ガスの排出を実質ゼロにすることを目標としており、その実現に向けた施策の柱として「脱炭素社会」、「循環経済」、「分散型社会」への「3つの移行」の推進が掲げられている。この目標達成に向けて、現在、地球規模において脱炭素と循環経済の同時達成を目指す動きが加速しており、プラスチックに関しては、特に使い捨てプラスチックを削減し、循環利用を促進する社会的ニーズが高まっている。2022年4月には、「プラスチック資源循環促進法」が施行され、これまでにサーマルリサイクルに依存していたプラスチックのリサイクルが大きな影響を受けている。

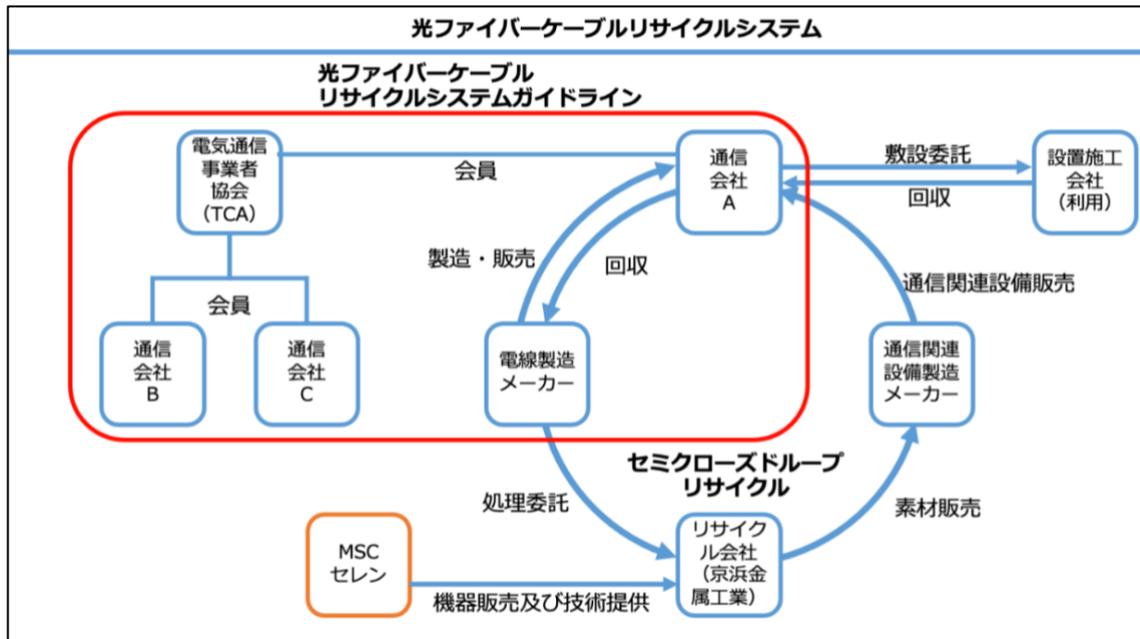
このような流れの中で、プラスチック、ガラス、金属が混在し、分離が困難であるため、主にサーマルリサイクルによって処理されてきた光ファイバーケーブルについても、可能な限りマテリアルリサイクルを行い、循環利用を促進すべきであるとの要請が高まっている。このことから、光ファイバーケーブルリサイクルの実現に向けて目指すべき取り組みについて調査・検討を行い、本ガイドラインを作成した。

4.1.2 本ガイドラインの対象

光ファイバーケーブルのリサイクルに向けては、処理方法の向上だけではなく、例えば、ケーブル製造に使用する素材の選定や製品の設計等も大きく影響する。

そこで本ガイドラインでは、光ファイバーケーブルのライフサイクル全般において一定の役割を果たすステークホルダーである、光ファイバーケーブルの素材メーカー、電線製造・メーカー、通信事業者、リサイクル会社等を対象とし、これら事業者が、光ファイバーケーブルのライフサイクルに関わる取り組みにおいて、それぞれの果たすべき役割を整理し、提示する。

図表 160 光ファイバーケーブルリサイクルシステム（再掲）



4.1.3 光ファイバーケーブルのリサイクルに係る現状と課題

4.1.3.1 光ファイバーケーブルリサイクルの現状

光ファイバーケーブルのリサイクルに係る現状について調査を行った結果、以下のような状況であることが確認できた。

- 光ファイバーケーブルは通信事業等で使用する一部品という認識であり、使用後の処理に関しても、その他業務から発生する廃棄物と同列に扱われている。したがって、光ファイバーケーブルに特化した業界団体やリサイクルに関する検討機関等も存在しない。
- 一部の社会的責任を自認している大手利用事業者や処理業者では、プラスチック循環利用の社会的ニーズに対応して、可能であればマテリアルリサイクルしたいとの意向はあるが、現状の再生技術ではファイバーが混入したプラスチックでは難しいことからサーマルリサイクルにより処理している。
- 現状では、各ステークホルダーがそれぞれの職域で各自取り組んでおり、循環利用に向けた連携等は特に見られない。

4.1.3.2 光ファイバーケーブルリサイクルに係る課題

光ファイバーケーブルのリサイクルに向けては、以下のような課題が見られる。

- ・ 光ファイバーケーブルもリサイクルの対象である一品目として焦点を当て、技術開発やそのために必要な業界関係者間の情報共有・連携体制をつくる必要がある。
- ・ ファイバーが混入しているためにリサイクルが困難である、再利用の用途がないとの認識で安易にサーマルリサイクルに流れている傾向があるため、再生技術、再生材の用途を検討する必要がある。
- ・ 今後プラスチックのサーマルリサイクルが認められなくなると考えられることから、業界全体としてマテリアルリサイクル・再生材の利用に向けた理解を促進する必要がある。

以上のような現状と課題を踏まえて、本ガイドラインでは各ステークホルダーにおいて実現可能な範囲でのルールを提示し、各自が理解して取り組める環境を作ることを目指す。

4.1.4 光ファイバーケーブルリサイクルガイドラインの構成

本ガイドラインで目指す方向性は環境配慮設計の考え方に合致していることから、環境配慮設計に関する項目を基に光ファイバーケーブルの特性等に注目して整理・構成している。

図表 161 ガイドライン構成

No.	項目	目的
1	減量化・減容化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 限りある資源の使用量の削減 ・ 廃棄物の発生抑制
2	再生材の使用	<ul style="list-style-type: none"> ・ 資源の循環利用の促進
3	製造段階における環境負荷低減	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境負荷物質等の削減 ・ 省エネ等による環境負荷低減
4	輸送の容易化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 製品輸送の効率化 ・ CO2発生量の削減
5	省エネ・長寿命化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消費電力等の削減やCO2発生量の削減 ・ 廃棄物発生量の削減
6	収集運搬の容易化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃製品の収集運搬の効率化 ・ CO2発生量の削減

No.	項目	目的
7	再資源化可能性の向上	<ul style="list-style-type: none"> 再資源化の促進
8	手解体・分別の容易化	<ul style="list-style-type: none"> 再資源化の促進
9	環境保全性	<ul style="list-style-type: none"> 環境負荷物質の使用禁止、削減、管理 製造、使用、再資源化時の環境保全
10	安全性	<ul style="list-style-type: none"> 安全性の確保とリスクの削減
11	情報の提供	<ul style="list-style-type: none"> 必要情報を適正に表示・提供し、再資源化を促進
12	LCA	<ul style="list-style-type: none"> ライフサイクルでの環境負荷を定量的に把握し、改善の上、環境負荷低減を図る

4.1.5 光ファイバーケーブルリサイクルガイドラインの内容

ガイドラインの内容は、3. 光ファイバーケーブルリサイクルガイドラインの構成に沿って、以下にまとめた。

4.1.5.1 減量化・減容化

省資源化の実現において、減量化・減容化は必須項目であり、光ファイバーケーブルにおいても当然要求されるものである。ただし、通信事業の安定的継続に向けて、強度や耐久性等の性能を求められる面があり、この点については通信事業者等、ケーブルの利用・管理事業者側で設定する基準を満たす必要がある。通信事業者側の要求水準は事業の安定性を重視して、やや過剰な性能を求めている傾向があると考えられるため、今後は適正な性能を見極め、可能な範囲でそれら基準の緩和しながら減量化・減容化を進める。

●対象者

- 電線製造・メーカー
- 通信事業者

■実施内容

- 光ファイバーケーブルの性能に関する要求水準の確認・適正化
- 適正な性能基準に基づく光ファイバーケーブルの仕様検討・製造

4.1.5.2 再生材の使用

再生材の使用についても減量化・減容化と同様に要求され、強度や耐久性等の性能を求められる基準を満たす必要があるが、その要求水準はやや過剰な傾向があると考えられる。今

後は適正な性能を見極め、可能な範囲でそれら基準を緩和しながら再生材の使用を進める。

●対象者

- ・ 電線製造・メーカー
- ・ 通信事業者

■実施内容

- ・ 光ファイバーケーブルの性能に関する要求水準の確認・適正化
- ・ 適正な性能基準に基づく光ファイバーケーブルの仕様検討・製造

4.1.5.3 製造段階における環境負荷低減

光ファイバーケーブルを製造するための素材について、有害物質等の環境負荷物質を極力使用しないこと、また使用する場合には適正な管理を行い、環境への影響を抑制する必要がある。また、光ファイバーケーブルの製造に係る設備で使用したエネルギーの見直しや稼働の調整等により環境負荷の低減を図る。今後は求められる光ファイバーケーブルの性能を維持しながらより環境負荷の低い素材を開発・選択するとともに、製造設備の省エネ化等、稼働の適正化を進める。

●対象者

- ・ 素材メーカー
- ・ 電線製造・メーカー

■実施内容

- ・ 光ファイバーケーブルの性能に関する要求水準の確認・適正化
- ・ 適正な性能基準に基づく光ファイバーケーブルの仕様検討・製造

4.1.5.4 輸送の容易化

光ファイバーケーブルは様々な場所に網羅的に敷設され、新規敷設や設備更新・メンテナンスに伴うケーブル交換等、工事の時期も一定でないことから、その輸送において非効率な運用がなされている面があると考えられる。そこで、より効率的な輸送を行うことによってCO₂排出量を削減する必要がある。今後は工事の計画等を管理・調整するとともに、緊急性の高い工事への臨機応変な対応もしながら、無駄のない輸送が可能なシステム構築を進める。

●対象者

- ・ 電線製造・メーカー
- ・ 通信事業者
- ・ 輸送事業者（製品輸送）

■実施内容

- ・ 工事、輸送等の実態把握・管理
- ・ 輸送効率化によるCO₂排出量削減

4.1.5.5 省エネ・長寿命化

光ファイバーケーブルはメタルケーブル等と比較して製造等による CO2 排出量が非常に小さいことが確認され、一般社団法人日本電線工業会等も CO2 排出量や原単位等のデータを公開している。また、光ファイバーケーブルの耐用年数は 15～20 年程度とされていたが、総務省による検討の結果、令和元年度期首から 5～8 年延長されており、より長期間の利用が求められている。今後は、光ファイバーケーブルの製造等に係る脱炭素化を促進するとともに、代替可能な電線を積極的に光ファイバーケーブルに転換・利用し、より長期的に運用することで CO2 排出量削減を進める。

●対象者

- ・ 電線製造・メーカー
- ・ 通信事業者

■実施内容

- ・ 光ファイバーケーブル製造の効率化促進
- ・ メタルケーブル等から光ファイバーケーブルへの転換促進
- ・ 長期利用可能な運用計画

4.1.5.6 収集運搬の容易化

光ファイバーケーブルは、設備の廃止や設備更新による交換、メンテナンス時の不良部材の交換等のタイミングで排出され、主に工事業者により回収され、廃棄物として処理されている。この排出場所から処理施設までの収集運搬についても、製品の輸送と同様に効率化することで CO2 排出量を削減する必要がある。今後は工事の計画等を管理・調整するとともに、緊急性の高い工事への臨機応変な対応もしながら、無駄のない収集運搬が可能なシステム構築を進める。

●対象者

- ・ 通信事業者
- ・ 収集運搬業者

■実施内容

- ・ 工事、輸送等の実態把握・管理
- ・ 輸送効率化による CO2 排出量削減

4.1.5.7 再資源化可能性の向上

光ファイバーケーブルは、金属、プラスチック、グラスファイバーが複合する製品であり、一部金属のみ分離してリサイクルされているものの、現状の技術では再資源化が難しいことから主に焼却処理によるサーマルリサイクルが行われている。プラスチックとグラスファイバーが複合する素材についても、可能な限りマテリアルリサイクルし、再生原料として使用することが求められている。今後は再生原料として使用する技術の開発と混合素材の

用途開発等、利用可能性を向上させる検討を進める。

●対象者

- ・ リサイクル業者
- ・ 製品メーカー

■実施内容

- ・ 再資源化技術の開発
- ・ 再生複合原料の用途開発

4.1.5.8 手解体・分別の容易化

光ファイバーケーブルは、金属、プラスチック、グラスファイバーが複合した製品であるが、マテリアルリサイクルを行うためには可能な限り単一素材に分離し、よりバージン材に近い素材として再生することが望ましい。ただし、現状では一部金属を分離することができているものの、例えば細い鋼線は分離できないなど、技術的に難しい。そこで、光ファイバーケーブルとしての性能を維持しつつ、分離しやすい製品設計を検討する必要がある。また、廃ケーブル類が排出された現場で可能な限り分別して回収することで、複数の素材が混合することを減らすような取り組みも求められる。さらに回収された廃ケーブルの処理や回収時の分別に際して、使用されている原料がわかるように表示を行うことも必要である。今後は素材ごとに分離する技術向上を図るとともに、分離しやすい製品設計・使用素材の表示や回収時の分別等、対応方策の検討を進める。

●対象者

- ・ 素材メーカー
- ・ 電線製造・メーカー
- ・ 通信事業者
- ・ 収集運搬業者
- ・ リサイクル業者

■実施内容

- ・ 分離技術の開発
- ・ 分離しやすい製品設計・使用原料の表示等の検討
- ・ 分別回収の徹底

4.1.5.9 環境保全性

光ファイバーケーブルは、その使用時において空中や地中その他空間を長期間占有するものであり、構成している素材は直接継続的に環境に影響を及ぼすこととなる。したがって、環境に負荷を与える物質は可能な限り使用しないことが求められ、また性能維持等の目的で使用せざるを得ない場合でもその量を削減し、管理を徹底することが必要となる。また、光ファイバーケーブルのライフサイクル全体を通して、有害物質の漏洩等により環境に負

荷を与えないよう管理体制を確立する必要がある。今後は環境負荷物質の利用を抑制できる素材の開発、環境負荷物質の管理システム構築、ライフサイクル全体における環境保全の管理体制確立に向けた検討を進める。

●対象者

- ・ 素材メーカー
- ・ 電線製造・メーカー
- ・ 通信事業者
- ・ 収集運搬業者
- ・ リサイクル業者

■実施内容

- ・ 環境負荷物質の使用を抑制可能な素材の開発
- ・ 環境負荷物質使用時の管理システム構築
- ・ ライフサイクル全体における環境保全の管理システム確立

4.1.5.10 安全性

光ファイバーケーブルは、その構成素材としてグラスファイバーを使用しており、製造、敷設・撤去の工事、輸送・収集運搬、中間処理等の際に作業者の安全を確保することが求められる。特にマテリアルリサイクルに向けて破砕処理等を行う際には粉塵となって飛散するリスクが高いため、安全性を確保する対策が必要である。今後は、作業者安全配慮した製品材料設計・構造設計を心掛けするとともに、安全性を確保するための対策検討を進める。

●対象者

- ・ 電線製造・メーカー
- ・ 通信事業者
- ・ 収集運搬業者
- ・ リサイクル業者

■実施内容

- ・ 安全な製品の設計
- ・ 安全性を確保する対策の検討

4.1.5.11 情報の提供

光ファイバーケーブルには、様々な種類があり、使用されている原料も多様である。マテリアルリサイクルを行うに当たっては、可能な限り単一素材ごとに分類して処理することで品質を向上できるため、各ケーブルに使用している原料名等の表示を行うことが必要となる。また、有害物質等の環境負荷物質使用時にも注意喚起の表示が必要である。今後は光ファイバーケーブルの使用時、廃棄時にそれら情報が確認できるよう、製造時にケーブル本体への表示を行うほか、情報を確認できる検索システム等、情報の提供に向けた対応を進め

る。

●対象者

- ・ 電線製造・メーカー

■実施内容

- ・ 使用原料や環境負荷物質等の本体への表示
- ・ 情報検索システム等、情報提供の手法検討

4.1.5.12 LCA

脱炭素に向けた取り組みにおいては、ライフサイクルを通じた CO₂ の排出量を定量的に把握した上で対策を検討するのが望ましい。光ファイバーケーブルにおいても、製造から最終処分に至るまでどのような形でどの程度の CO₂ が排出されているか、個々のプロセスごとに算出して把握することで、現状で依存しているサーマルリサイクルからマテリアルリサイクルへの転換で脱炭素に向けてどの程度の貢献ができるかが明確にできる。今後は光ファイバーケーブルのライフサイクルにおける CO₂ 排出量の把握に向けて、全ステークホルダーの協力・連携、脱炭素化への取り組みを進める。

●対象者

- ・ 全ステークホルダー

■実施内容

- ・ プロセスごとの CO₂ 排出量算定
- ・ 脱炭素化への取り組み推進

4.1.6 参考資料

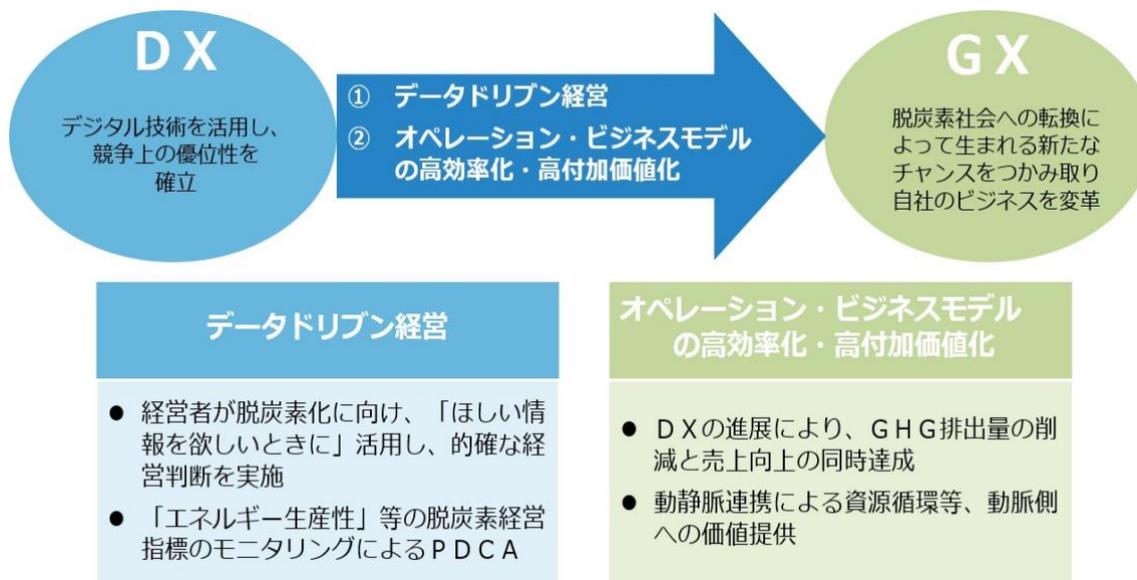
光ファイバーケーブルのリサイクルに積極的な参加を促す方策として、他のガイドラインに盛り込まれている推進指標、ソリューション事例、活用できる補助金・税制を参考として掲載している。光ファイバーケーブルのリサイクルにおいても、これらを参考に光ファイバーケーブルリサイクルに適した方策を検討し、今後ガイドラインに盛り込むことが望ましい。

4.1.6.1 参考資料1. リサイクルビジネスにおけるDX・GX推進指標

廃棄物処理分野におけるDX・GX推進指標とは、廃棄物処理・リサイクル業者各社がDX・GXにおける自社の現状と今後取り組むべき事項を把握するためのツールであり、研究会においては、DX・GX達成度を診断できる「WEB診断プログラム」を作成した。前述した、5. DX推進のための経営の在り方とDXの進め方に基づいて進めるとDX・GX推進指標の成熟度レベルは向上する。

改めて「GX」とは、「脱炭素社会への転換によって生まれる新たなチャンスをつかみ取り自社のビジネスを変革」することである。これは、単に気候変動の危機に対応して、省エネルギー化、再生可能エネルギー導入を進めることではなく、「脱炭素社会」を目指す中で「カーボンニュートラル」と「CE」に資するよう、ビジネスモデルを変革させることである。

リサイクルビジネスがGXによる「脱炭素経営」を実践する企業へと変革を遂げるには、DXに不可欠な要素である①データドリブン経営、②オペレーション・ビジネスモデルの効率化、高付加価値化を推し進めることが必要となる。「データドリブン経営」により、「脱炭素経営」実現のためのKGI（目標）とKPI（指標）の達成状況を把握し、的確に経営判断を行い、「カーボンニュートラル」と「CE」に資する様々な施策について、デジタル技術を活用することで、より効率性を高め、付加価値を向上させることができる。

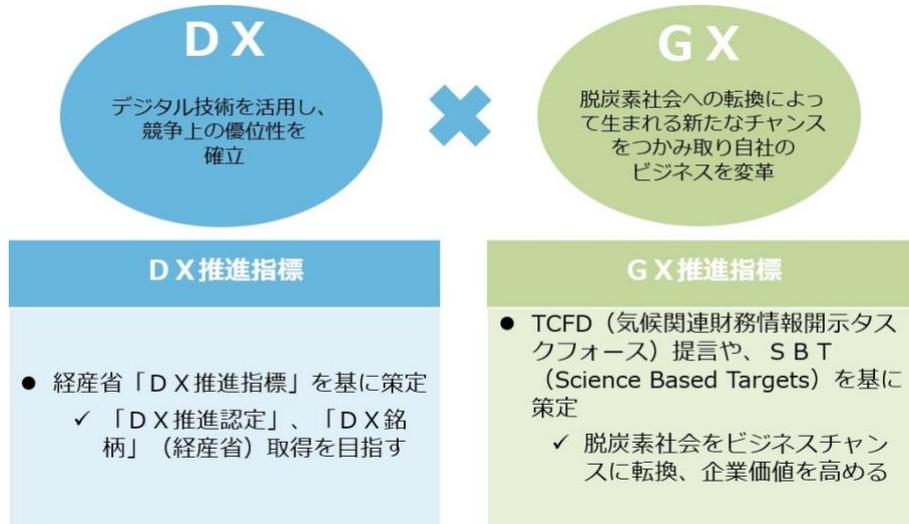


図表 162 DX推進によるGXの達成

具体的な指標の内容として、「DX推進指標」については、経済産業省「DX推進指標」を基に策定することで、各社が「DX推進認定」、「DX銘柄」の取得を目指す上での判断材料とすることができる。

「GX推進指標」については、世界的な動向に加えて日本の株式市場でも対応を求める動きが起きているTCFD（気候関連財務情報開示タスクフォース）提言や、パリ協定と整合する企業のGHG削減目標の枠組みであるSBT（Science Based Targets）を基に策定した。

図表 163 DX推進指標とGX推進指標

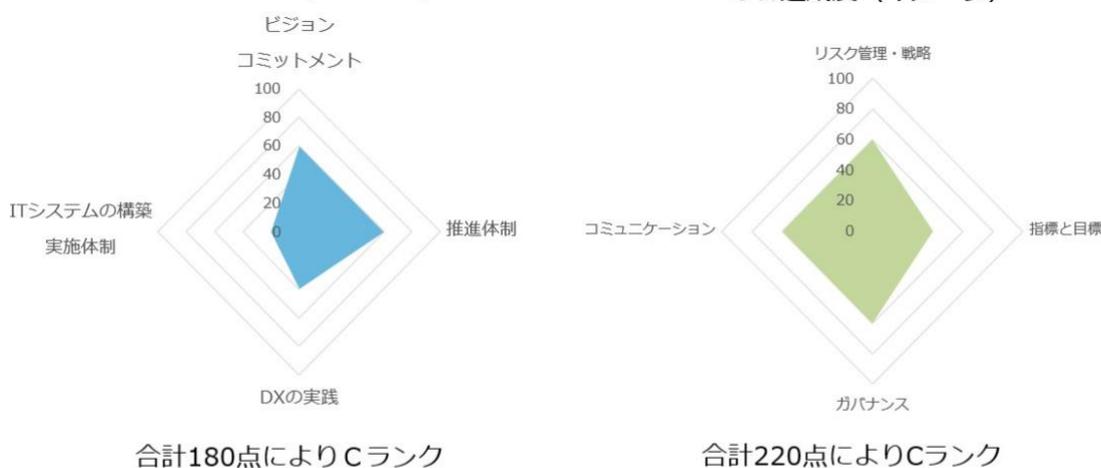


「WEB診断プログラム」は、DX・GX推進指標に4つの評価軸を設定、レベル1～レベル5の5段階評価でスコアリングし、レーダーチャートによる診断結果、総合評価に応じた各軸の弱みを解消するための打開策等を提示した。

図表 164 DX・GX推進指標の評価軸と評価方法

評価軸の設定	<ul style="list-style-type: none"> ● 評価軸を4つ設定 ● DX推進指標(ビジョン・コミットメント、推進体制、DXの実践、ITシステムの構築・実施体制) ● GX推進指標(リスク管理・戦略、指標と目標、ガバナンス、コミュニケーション)
スコアリング	<ul style="list-style-type: none"> ● 評価軸の各項目は100点満点 ● レベル1～レベル5の5段階評価
診断結果の提示	<ul style="list-style-type: none"> ● レーダーチャートによる診断結果の提示
総合評価	<ul style="list-style-type: none"> ● Aランク(320点～400点)、Bランク(240～319点)、Cランク(160点～239点)、Dランク(80～159点)、Eランク(0点～79点)の5段階評価 ● 各軸の弱みを解消するための打開策等を提示

図表 165 DX・GX推進指標に基づくWEB診断プログラム
DX達成度（イメージ） G X達成度（イメージ）



- 経営層等が自社の現状や課題の認識を共有し、次のアクションへつなげる機会とすることを目的とする。
- 各社データを蓄積することで業界平均値を算出。
- プログラムから自社診断の個票（各項目回答値、レーダーチャート）をダウンロードすることで経営層への説明に活用。

図表 166 WEB診断プログラムのスコアリングイメージ

成熟度レベル		特性	配点（例）
レベル1	未着手	ビジョンが提示されていない。	5
レベル2	一部での散発的实施	ビジョンは提示されているが、現場の取組はビジョンに紐づいて行われているとは言えない。	10
レベル3	一部での戦略的实施	ビジョンが明確に提示され、一部の部門での取組がビジョンに整合的に進められている。	15
レベル4	全社戦略に基づく部門横断的推進	ビジョンが明確に提示され、全社での取組がビジョンに整合的に進められている。	20
レベル5	全社戦略に基づく持続的実施	ビジョンが明確に提示され、全社での取組が、ビジョンの達成度合いで評価するモニタリングの仕組みにより、持続的に進められている。	25

DX推進指標」と、「GX推進指標」の具体的な内容は以下の通り。

図表 167 DX推進指標

大分類	中分類	小分類	DX推進指標		配点	合計	
DX推進の枠組み	ビジョン・コミットメント		ビジョンの共有	データ、デジタル技術の活用によりどのような価値を創出するか社内外でビジョンを共有できているか。	50	100	
			経営トップのコミットメント	ビジョンの実現に向けて、組織整備、人材・予算の配分、プロジェクト管理や人事評価の見直し等の仕組みが、経営のリーダーシップの下、明確化され、実践されているか。	50		
	推進体制	企業文化マインドセット	体制	挑戦を促し失敗から学ぶプロセスをスピーディーに実行し、継続するのに適した体制が権限委譲を伴って構築できているか。	10	100	
			KPI	挑戦を促し失敗から学ぶプロセスをスピーディーに実行し、継続するのに適したKPIを設定できているか。	10		
			評価	上記のようなKPIに即し、プロジェクト評価や人事評価の仕組みが構築できているか。	10		
			投資意思決定、予算配分	上記のようなKPIに即した投資意思決定や予算配分の仕組みが構築できているか。	10		
	推進体制	推進サポート体制	推進体制の設置	DX推進がミッションとなっている部署や人員と、その役割が明確になっているか。また、必要な権限は与えられているか。	10	100	
			部門間の連携	経営・事業部門・IT部門が目的に向かって相互に協力しながら推進する体制となっているか。	15		
		人材育成・確保	事業部門における人材	事業部門において、顧客や市場、業務内容に精通しつつ、デジタルで何ができるかを理解し、DXの実行を担う人材の育成・確保に向けた取組が行われているか。	15		
	技術を支える人材		デジタル技術やデータ活用に精通した人材の育成・確保に向けた取組が行われているか。	10			
	人材の融合		「技術に精通した人材」と「業務に精通した人材」が融合してDXに取り組む仕組みが整えられているか。	10			
	DXの実践		現状業務課題の整理	現状業務プロセスの課題が整理され、共通認識化されているか。	10	100	
			戦略とロードマップ	ビジネスモデルや業務プロセス、働き方等をどのように変革するか、ビジョンだけでなく現場レベルの戦略とロードマップが明確になっているか。	25		
			全体最適	ビジネスモデルの創出、業務プロセスの改革への取組が、部門別の部分最適ではなく、全社最適の視点で行われているか。	25		
持続力			改革の途上で、一定期間、成果が出なかったり、既存の業務との衝突が発生することに対して、経営トップが持続的に改革をリードしているか。	25			
大分類	中分類	小分類	DX推進指標		配点	合計	
ITシステム構築の枠組み	ITシステムの構築	ITシステムに求められる要素	データ活用	データをリアルタイム等使いたい形で使えるITシステムとなっているか。	25	100	
			スピード・アジリティ	環境変化に迅速に対応し、求められるデリバリースピードに対応できるITシステムとなっているか。	10		
			全社最適	部門を超えてデータを活用し、顧客視点での価値創出ができるよう、システム間を連携させるなどにより、全社最適を踏まえたITシステムとなっているか。	10		
		IT資産の仕分けとプランニング	IT資産の分析・評価	分析・評価	IT資産の現状について、全体像を把握し、分析・評価できているか。		10
			廃棄	価値創出への貢献の少ないもの、利用されていないものについて、廃棄できているか。	10		
				競争領域の特定	データやデジタル技術を活用し、変化に迅速に対応すべき領域を精査の上特定し、適したシステム環境を構築できているか。		5
	実施体制		非競争領域の標準化・共通化	非競争領域について、標準パッケージや業種ごとの共通プラットフォームを利用し、カスタマイズをやめて標準化したシステムに業務を合わせるなど、トップダウンで機能圧縮しているか。	5		
				ロードマップ	ITシステムの刷新に向けたロードマップが策定できているか。	5	
			体制	ビジョンの実現に向けて、新規に投資すべきもの、削減すべきもの、標準化や共通化等について、全社最適の視点から、部門を超えて横串的に判断・決定できる体制を整えられているか。	5		
			ベンダーとのパートナーシップ	ベンダーに丸投げせず、ITシステムの全体設計、システム連携基盤の企画や要求定義を自ら行い、パートナーとして協創できるベンダーを選別できる人材を確保できているか。	10		
事業部門のオーナーシップ	各事業部門がオーナーシップをもって、DXで実現したい事業企画・業務企画を自ら明確にし、完成責任まで負っているか。	10					
IT投資の評価	ITシステムができたかどうかではなく、ビジネスがうまくいったかどうかで評価する仕組みとなっているか。	10					

図表 168G X推進指標

大分類	小分類	GX推進指標	配点	合計
リスク管理 戦略	リスク管理	気候関連リスクの評価を行っているか。	5	100
	機会評価	気候関連機会の評価を行っているか。	5	
	データ活用	リスクと機会の評価に十分な定量的データを収集し、分析できているか。	10	
	リスク・ 機会影響の反映	リスクと機会が戦略に与える影響を考慮し戦略に反映させているか。	10	
	競争力強化	脱炭素のために既存事業を見直し、自社の競争力強化を図っているか。	5	
	ビジネス拡大	脱炭素社会への転換によって生まれる新たなチャンスをつかみ取り自社のビジネスを拡大する戦略を持っているか。	10	
	マテリアリティ分析	定めた戦略を実施するために、自社として取り組むべき重要なESG課題（マテリアリティ）を特定しているか。	10	
	スコープ1、2	スコープ1（燃料の燃焼などの直接排出）、2（電気や蒸気の使用による間接排出）におけるGHG削減の取組が掲げられているか。	10	
	スコープ3	スコープ3（他社からの間接排出）におけるGHG削減の取組が掲げられているか。	10	
	再生材供給	再生材を上流側に供給する等により上流側の天然資源投入量削減に貢献する取組	5	
	再エネ供給	再エネを供給する等により上流側の化石エネルギー消費量削減に貢献する取組	5	
DX	DXにより自社のビジネスモデルやオペレーションを高効率・高付加価値なものに進化できているか。	15		
指標と目標	指標設定	気候関連リスクと機会を測定・管理するための指標（水・エネルギー・土地利用・廃棄物管理等）の設定がされているか。	20	100
	GHG算定	GHG排出量の算定（スコープ1、2、3）が行われているか。	20	
	目標設定	気候関連の目標設定（GHG排出量、水・エネルギー利用等）が行われているか。	20	
	効果推計	削減対策により排出量をどの程度削減することが期待できるかを推計しているか。	20	
	データ活用	リアルタイムにデータを活用し、目標・指標の到達状況をモニタリングが行われているか。	20	
ガバナンス	全社方針	全社的に自社が着実に排出削減を進める方針を示しているか。	20	100
	取締役会	取締役会による監視体制が構築されているか。	20	
	経営者	気候関連担当役員や委員会が設置されているなど、経営者が気候関連課題の情報を受けるプロセスが確立され、経営者による気候関連課題のモニタリングが行われているか。	20	
	評価と修正	PDCAサイクルが確立されているか。	20	
	データ活用	リアルタイムにデータを活用し、PDCAサイクルに活かしているか。	20	
コミュニケーション	情報開示	GHG削減に係る戦略、目標、取組、実績等について情報開示をしているか。	50	100
	対話	投資家、顧客、消費者等から具体的に重要なステークホルダーを特定し、GHG削減対策に関するコミュニケーションを行っているか。	50	

4.1.6.2 参考資料2. DX実現に向けたソリューション事例

リサイクルビジネスにおいては、多くの企業が人材確保、技術継承、労働安全衛生、煩雑な事務手続きなどの課題を抱えている。また、近年の新型コロナウイルス感染症やその他の新たな感染症の感染拡大に対応するため、レジリエンスの向上に係る対策の推進が求められており、人材確保、省人化、非接触などに大きなニーズがある。

これらの課題等への解決策としてAI・IoTを活用したDX推進による業務の効率化・高度化への取組を実装していく必要がある。ここで注意しなければならないのは、ツールありきではなく、現状の課題、導入目的を明確化し、導入により当初期待した効果が挙げられているかを評価し、必要な修正を行っていくトライアルアンドエラーを重ねていくことである。

図表 169 DX実現に向けたソリューション事例

資源循環に資するDXソリューション事例							
業務プロセス	営業	受付	見積契約	配車 収集運搬	処分	マニフェ スト	請求 入金
デジタル ツール	SFA	受発注 システム	電子契約 システム	AI 自動配車	AI選別 ロボット	プラット フォーム	電子請求 システム
提供価値 (顧客・ 従業員)	営業データ 活用	24時間 いつでも 連絡可能	押印処理の 手間不要	配車能力 向上 GHG削減	作業員の 省人化、 無人化	事務作業 時間の削減	事務作業 時間の削減
守り	攻め	守り	守り	攻め	攻め	守り	守り
攻め							

守り ……業務効率化によるコスト削減
攻め ……ビジネスモデル変革、付加価値向上による売上向上

4.1.6.3 参考資料3. DX推進で活用できる補助金・税制

企業がDXを推進する上で活用すべきなのが補助金・助成金である。DX推進する上で多くの課題があるが、その中でコストもその1つである。既存のシステムではDX推進できず、設備やITシステム刷新のため、多額のコストが必要となるケースは多い。

こういった課題を解決するために国や地域が提供している補助金・助成金を積極的に活用すべきであり、DX推進に活用できる補助金・税制の一例は以下の通り。

4.1.6.3.1 IT導入補助金

ITツールの導入経費の一部を支給する補助金であり、業務の効率化や売上向上を目的としている。

○補助対象

・中小企業、小規模事業者等（飲食、宿泊、小売・卸売、運輸、医療、介護、保育等のサービス業の他、製造業や建設業等も対象。）

○補助対象ツール

ソフトウェア、クラウド利用費、専門家経費等

○補助金と補助率

図表 170 補助金と補助率

種類	通常枠		低感染リスクビジネス枠		
	A類型	B類型	C類型-1	C類型-2	D類型
補助金申請額	30万～150万円未満	150万～450万円以下	30万～300万円未満	300万～450万円以下	30万～150万円以下
補助率	1/2以内		2/3以内		
プロセス数※1	1以上	4以上	2以上		
ツール要件(目的)※2	類型ごとのプロセス要件を満たすものであり、労働生産性の向上に資するITツールであること。(当該要件はC・D類型においても前提条件)		複数のプロセス間で情報連携し複数のプロセスの非対面化や業務の更なる効率化を可能とするもの		テレワーク環境の整備に資するクラウド環境に対応し、複数プロセスの非対面化を可能とするもの
質上げ目標※3	加点	必須	加点	必須	加点
補助対象	ソフトウェア費 導入関連費等	○		○	
	ハードウェア レンタル費用	×		○	

出典：経済産業省近畿経済産業局

4.1.6.3.2 DX投資促進税制

デジタル技術やクラウド技術の活用、レガシーシステムからの脱却など、企業のDX促進を目的とする税制であり、対象は、部門や拠点ごとではない全社レベルのDX推進に向けた計画を主務大臣が認定したものに限られ、デジタル関連投資の税額控除や特別償却といった優遇を受けることが可能となる。制度概要は以下の通り。

図表 171 制度概要

制度概要		【適用期限：令和4年度末まで】		
認定要件	デジタル(D)要件	① データ連携 (他の法人等が有するデータ又は事業者がセンサー等を利用して新たに取得するデータと内部データを合わせて連携すること) ② クラウド技術の活用 ③ 情報処理推進機構が審査する「 DX認定 」の取得(レガシー回避・サイバーセキュリティ等の確保)		
	企業変革(X)要件	① 生産性向上又は売上上昇が見込まれる ・ ROAが2014-2018年平均から1.5%ポイント向上 ・ 売上高伸び率≧過去5年度の業種売上高伸び率+5%ポイント ② 計画期間内で、 商品の製造原価が8.8%以上削減 されること等 ③ 全社の意思決定 に基づくもの(取締役会等の決議文書添付等)		
税制措置の内容	対象設備	ソフトウェア 繰延資産*1 器具備品*2 機械装置*2	税額控除 3% 5%*3	Or 特別償却 30%
	*1 クラウドシステムへの移行に係る初期費用をいう *2 ソフトウェア・繰延資産と連携して使用するものに限る *3 グループ外の他法人ともデータ連携する場合		※ 投資額下限：国内の売上高比0.1%以上 ※ 投資額上限：300億円 (300億円を上回る投資は300億円まで) ※ 税額控除上限：「カーボンニュートラル投資促進税制」と合わせて当期法人税額の20%まで	

出典：経済産業省

以上

リサイクル適性の表示:印刷用の紙にリサイクルできます

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料 [A ランク] のみを用いて作製しています。

令和5年度環境省委託業務（令和5年度脱炭素型循環経済システム構築促進事業）成果報告書
令和6年2月（株式会社MSC）