

# 架空光エコロジー

## Aerial Optical ECO Closure

海老澤 勝\*  
Masaru Ebisawa

渡辺 有一\*2  
Yuichi Watanabe

天辰直樹\*3  
Naoki Amatatsu

立石正樹\*3  
Masaki Tateishi

磯部 竜也\*3  
Tatsuya Isobe

羽村 賢\*3  
Masaru Hamura

神部幸昭\*3  
Hideaki Kambe

**概要** 光ファイバケーブルを撤去した残線等は産業廃棄物として焼却または埋め立て処理されている。この産業廃棄物の排出量削減及び再資源化を推進するため、東京電力殿と共同研究を行った。共同研究の成果の1つが『架空光エコロジー』である。架空光エコロジーには大半のプラスチック部品に、『解体しやすいリサイクル対応光ファイバケーブル』からリサイクルしたポリエチレン及び市販品のリサイクルプラスチック材料とバージン材料とを混合したものが使用されており、リサイクルシステムの一部を担った環境配慮型のクロージャである。本稿ではマテリアルリサイクルに触れたうえで、架空光エコロジーの主な開発概要や特長を紹介する。

### 1. はじめに

光ファイバケーブルを利用した通信(光通信)は、その高速性や広帯域性から旧来の銅線ケーブル通信に取って代わるものであり、現在の高度情報化社会の重要なインフラとして位置付けられている。またクロージャは各種ケーブル間の接続箇所を保護するためのもので、光ファイバケーブル線路に必要不可欠なものである。

エコの観点から見ると、旧来から使用されてきた電力用ケーブルや通信用銅線ケーブルには、導体の銅やアルミニウムに価値がある。そのため有価物として解体処理を行い、銅やアルミニウムをほぼ100%リサイクルしてきた。また副次的にはあるが、被覆に使用されているポリエチレン(以下PE)や塩化ビニルもリサイクルしている。一方、光ファイバケーブルには銅やアルミニウム程の有価物がないため、リサイクルをするよりも産業廃棄物として焼却または埋め立て処理をした方が経済的である。そのため光ファイバケーブルのリサイクルは手付かずの状態であった。

一方国内では、循環型社会形成のため、資源有効利用促進法、循環型社会形成推進基本法、国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律(グリーン購入法)が施行され、環境配慮の法整備が急速に進んできた。

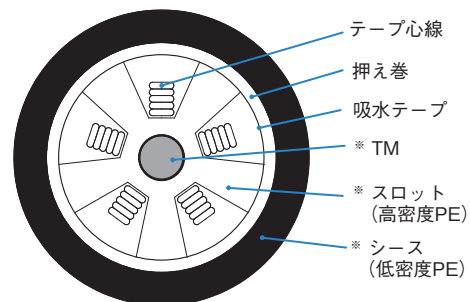
このような背景から光ファイバケーブルの循環システム構築は重要と判断し、光ファイバケーブルのマテリアルリサイクルについて経済的にも成立する技術を開発してきた<sup>1)~3)</sup>。具体

的にはマテリアルリサイクルの起点となる光ファイバケーブルの解体と分別を行いやすいように改良し、『解体しやすいリサイクル対応光ファイバケーブル』を開発した。その『解体しやすいリサイクル対応光ファイバケーブル』を起点としたマテリアルリサイクルとして『リサイクルボビン』や『リサイクルドラム』などを開発してきた。その開発してきたリサイクル品のうちの1つが『架空光エコロジー』である。

次章で『解体しやすいリサイクル対応光ファイバケーブル』からのマテリアルリサイクルについて述べ、3章以降で『架空光エコロジー』の開発概要や特長について報告する。

### 2. マテリアルリサイクルの方法

現在日本国内で主流となっているスロット型光ファイバケーブルの断面図を図1に示す。スロット型光ファイバケーブルは、テンションメンバ(以下TM)、スロット、光ファイバ心線、吸



\* : マテリアルリサイクルの対象

図1 光ファイバケーブルの構造(断面図)  
Structure of optical fiber cable (cross section).

\* 東京電力株式会社 通信ネットワーク技術センター

\*2 東京電力株式会社 電力流通本部

\*3 古河電気工業株式会社 情報通信カンパニー

水テープ、押え巻及びシースから構成されている。このうち、質量の約20%を占める銅(TMのみで20%)と約70%のPE(シースが約45%、スロットが約25%)の合計約90%がマテリアルリサイクル可能である。

しかしながらマテリアルリサイクルする各部材に不純物が混入するとリサイクル品の性能低下を招くため、部位毎に分別回収することが重要となる。

そこで『解体しやすいリサイクル対応光ファイバケーブル』では、押え巻をシースと同材質とすることでシース内面に押え巻が付着しても不純物とならないように、またシース内面への吸水テープの付着を無くすために剥離性の高い吸水テープを使用した。

『解体しやすいリサイクル対応光ファイバケーブル』を図2に示す。解体及び分別が行いやすいように吸水テープを縦添えとしている。

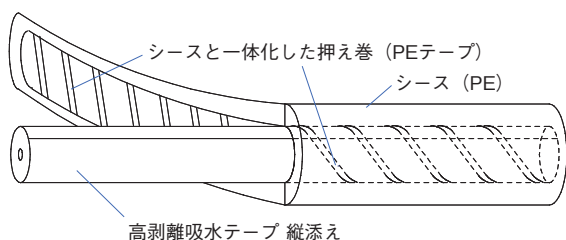


図2 『解体しやすいリサイクル対応光ファイバケーブル』  
Optical fiber cable for recycling.

解体して分別を行う場合のマテリアルリサイクルは表1の工程で行われている。この方法は解体に手間がかかるため技術的にも経済的にも課題は大きいですが、回収した各部材に不純物が混入し難いため、マテリアルリサイクルの用途が広い。特に今回開発した架空光エコロジーで使用する場合には、不可欠の技術となる。そのためこの技術的及び経済的課題に取り組み、既にほとんどの解体工程を機械化し半自動化を実現している。

表1 光ファイバケーブル解体工程  
Disassembly process of optical fiber cable for recycling.

工程	内容
1. シース除去	シースを剥ぎとる。
2. スロット切断	押え巻を除去しやすいように1 m程度の長さに切断する。
3. 押え巻～ファイバ除去	手作業で押え巻と吸水テープ、光ファイバ心線を取り除く。
4. スロット解体	スロットとTMに分離する。
5. 粉碎	シース及びスロットをそれぞれ細かく粉碎する。
6. 熔融及び再生ペレット化	粉碎した各材料を熔融して原料と同じ状態のペレットに加工する。

### 3. クロージャの適用指針

2章で述べてきたように、マテリアルリサイクルの起点とな

る『解体しやすいリサイクル対応光ファイバケーブル』の開発、解体方法確立並びに解体設備環境整備などを行ってきた。

そこで次に、それらリサイクル材料を利用した製品として、光ファイバケーブルの接続に使用するクロージャの開発に着手した。クロージャの基本仕様は東京電力殿の定める標準仕様書に則った。ただしクロージャの使用環境の90%以上が架空設置であり、地下用の使用頻度が少ないことから、開発するクロージャは架空専用での適用で考えることとした。また架空専用であることから、電柱の共架条件もクリアするサイズとした。

検討に対する具体的な環境負荷軽減策として3つの施策を計画した。1番目として接続数が少なくかつ光ファイバケーブルの導入条数が少ない場合には、最初に小さいサイズのクロージャを設置しておき、分岐する光ファイバケーブルの増設などでクロージャのサイズアップが要求される時に、サイズ拡張を行うことで『資源消費量の抑制(最適化)』を図る。2番目としてそのクロージャのサイズ拡張作業においては、部品を交換することなく既設クロージャに部品を追加することで『廃棄物の抑制』を図る。3番目としてスロット型光ファイバケーブルのシース材やスロット材及び市販品のリサイクル材料を部品に配合させたクロージャとすることで『有効資源の再利用』を図ることとした。なお環境にやさしいクロージャとするには、まず省資源で廃棄物を抑制することを最優先する必要があり、『資源消費量の抑制』や『廃棄物の抑制』が『有効資源の再利用』よりも効果が大きいことから、『有効資源の再利用』の優先順位を落としている。

また構造の検討にあたり環境負荷軽減のみではなく、光ファイバ心線取り扱い時に伝送特性への影響を及ぼさない光ファイバ収容トレイの構造、動作機構及び光ファイバ心線の配線方法も考慮に入れた。そのため『サイズの最適化、廃棄物を出さない構造、作業性改善、心線取り扱いの安全性向上などを考慮した構造設計』と並行して、その設計した物品へリサイクル材料を適用可能かどうか踏まえて構造を決定することとした。

## 4. 構造検討

### 4.1 クロージャ種類の検討

クロージャの構造検討を行うため、クロージャサイズ及び適用する接続方法の種類を整理した。

初めにクロージャサイズを考えた。クロージャに光ファイバケーブルを導入する条数は片側2条以下が大半であり、最も多く光ファイバケーブルが導入されるケースでも片側4条である。そのためクロージャのサイズは2種類とし、S型を片側最大2条導入及びL型を片側最大4条導入とした。またクロージャの内部ユニットはS型に1組及びL型に2組をそれぞれ実装可能とした。

更に内部ユニットの構造によって可能な接続方法が決定され、内部ユニットの種類として全接続型及び後分岐型を設けた(表2参照)。全接続型は光ファイバケーブルの直線接続や分岐接続に使用され、後分岐型はスロットが無切断の光ファイバケーブルと分岐する光ファイバケーブルとを接続するために使用される。リサイクル材料が適用可能な部品はトレイユニット、スリーブ及び端面板であることから、次項以降で各部品の構造及び動作機構を報告する。

表2 クロージャの種類  
Closure types.

クロージャサイズ	S型		L型	
ケーブル導入条数	2条/片側		4条/片側	
接続形態	全接続型	後分岐型	全接続型	後分岐型
内部ユニット実装数	1組	1組	2組	2組

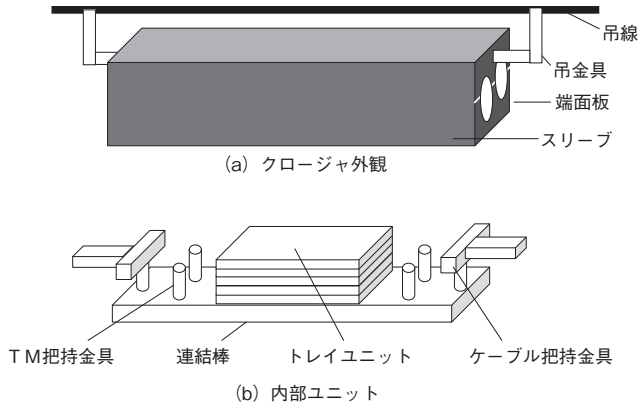


図3 一般的な架空専用クロージャの構造  
Structure of typical aerial optical closure.

#### 4.2 トレイの構造検討

初めに全接続型クロージャと後分岐クロージャのトレイ構造について考える。

##### 4.2.1 全接続型トレイ

全接続型トレイの要求事項は、S型及び拡張後のL型においても光ファイバ収納作業性が良く、かつ作業を行うトレイ以外のトレイに収納されている光ファイバの伝送特性に影響を与えないことである。この要求事項に対する全接続型トレイの候補を図4に示す。(a)の多段積層したブック式で光ファイバケーブルからトレイまでの心線の余長が不足している場合には、最下段のトレイを開く時に最上段のトレイに収納されている光ファイバ心線を引張ってしまう。また任意のトレイが開閉可能であるスライド方式であっても、(b)の横スライド式では増設時に奥側の作業が困難となり、(c)の縦スライド式ではトレイの方向が縦なので収納作業性が非常に悪い。更に縦スライド式では少しの力でもトレイが落ちてしまう危険性がある。そこで(d)のように、トレイユニットから任意のトレイのみを単独に上方へ引き出して回転させる動作方法とし、更にスライドしてトレイユニット上に配置できる機構を開発した(図5参照)。この方式により、全てのトレイをトレイユニット上で安定した水平状態とすることができ、安全に心線の収納作業を行うことが可能となる。

また横置きするトレイ(ブック式と横スライド式)での光ファイバ心線の配線を図6に示す。横置きするトレイでは光ファイバケーブルからトレイまでの配線を従来の様に直線的に行くと、各光ファイバケーブルの光ファイバ心線が不特定の位置でX状に交錯してしまう。そのため光ファイバの伝送特性に影響を及ぼすことなくトレイを取り出すことが難しい。そこで2条

分の光ファイバ心線を一括して1ターンさせ、そのターン配線部の1点から放射状にトレイまで配線する方法を考案した。このターン配線方式では可動する心線の交錯部が無く、トレイのスライド前後でも心線余長が変わらない(図7参照)。そのため光ファイバの伝送特性に影響を及ぼすことなくトレイを取り出すことが可能となる。

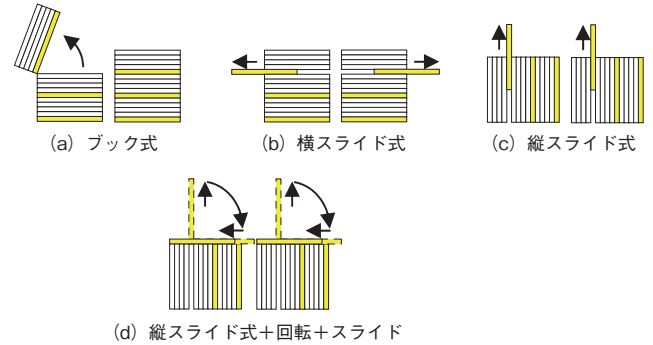


図4 全接続型トレイの候補  
The candidate of fiber handling at all splicing type tray.

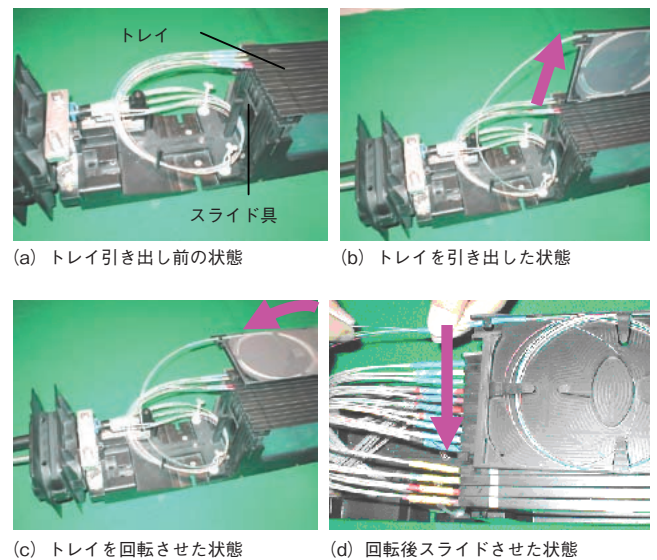


図5 全接続型トレイの動作  
Process of fiber handling with all-purpose splicing type tray.

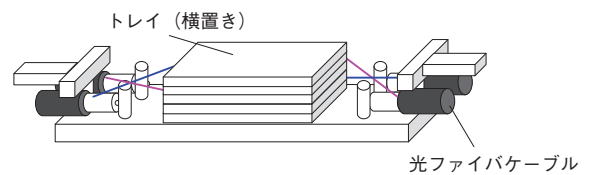


図6 光ファイバ心線の配線(従来方法)  
Wiring of optical fiber (A conventional method).



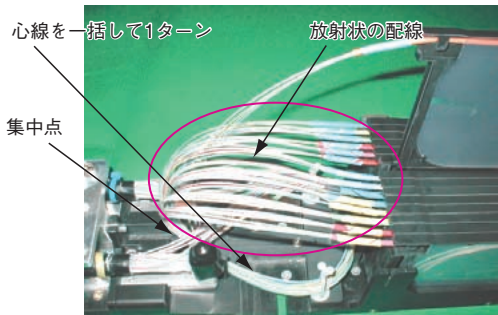
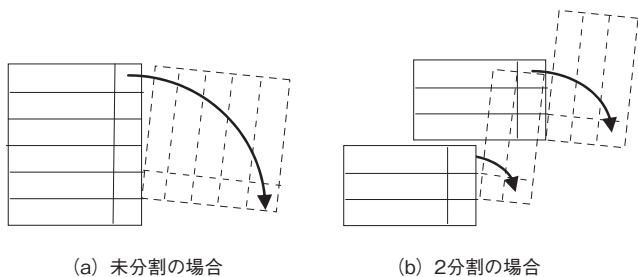


図7 全接続型の光ファイバ心線の配線  
Fiber arrangement with all-purpose splicing type tray.

#### 4.2.2 後分岐接続型トレイ

複数枚の後分岐接続型トレイを使用する場合、トレイの積層枚数が少なければ心線導入口の動作がスライド式よりも小さいためブック式トレイが一般に用いられる。しかしブック式トレイのデメリットは前項にも述べたとおり、積層枚数が多く配線の心線余長が不足している場合にはトレイの開閉時に上段トレイの光ファイバ心線を引張ることにある。そのためトレイの積層枚数が多く配線余長が短いと光ファイバ心線の伝送特性に影響を及ぼしてしまう(図8(a)参照)。

そこでトレイを段違いに分割配置してトレイの積層枚数を減らし、心線導入口の動作を小さくすることでトレイまでの心線余長が短い場合でも問題の発生しない方法を開発した。また、分割数はS型クロージャの場合に分岐する光ファイバケーブルが最大2条まで導入されることから2分割とした(図8(b)参照)。



(a) 未分割の場合 (b) 2分割の場合

図8 後分岐接続型トレイの動作  
Opening action of "mid-span entry type tray"

#### 4.3 スリーブ及び端面の構造検討

S型(2条用)からL型(4条用)へ廃棄物を発生させずに拡張するには、S型クロージャの端面及びスリーブに拡張部材を追加するだけでL型クロージャに拡張できることが条件となる。そこでスリーブ形状及び端面形状、更にスリーブの追加方法についての検討を行った。

L型クロージャはS型クロージャの内部ユニットを2個並列配置した形状となるため、L型クロージャの端面もS型の端面2個を並べた場合の外形形状となる(図9参照)。その場合、並列設置された端面同士の間隙及びスリーブと端面の間隙が可能な限り発生しない方が防滴性能もより高くなる。そのため端面に求められる形状は、丸や楕円などより隙間の発生し

ない正方形や長方形などの四角型が望ましい(図9参照)。

内部ユニットと端面を覆うスリーブは、正方形や長方形の端面形状に合わせてヒンジを有する構造とした。しかしスリーブヒンジ部の肉厚は他の部分より薄く(通常1 mm以下)、成型性(樹脂の流れやすさ)が悪くなる。そのためスリーブのヒンジ数の少ない正方形の端面を用いることとした(図9参照)。また正方形の端面構造は一般の架空専用クロージャと同様に、プラスチックフレーム内にゴム部を有する構造とした。更にヒンジと締結部を有しており、光ファイバケーブルを横に並べた導入が可能である(図10参照)。

次に上述のスリーブ及び正方形端面構造において、S型クロージャからL型クロージャのスリーブへ拡張部材の追加のみで拡張できる方法を考える。これにはS型スリーブ2面分に相当する拡張部材が必要であるが、防滴性能から拡張部材にはヒンジがなく、またS型スリーブとの締結部はL型クロージャの底面に配置する構造が望ましい。すなわち図9(b)のピンク色で示されているS型スリーブの左側面と上面をL型スリーブの上面に、またS型スリーブの底面をL型スリーブの左側面に配置し、拡張部材を図9(b)の青色で示されている部分に適用し、コの字状に展開したS型スリーブと連結するのが最適である。

S型スリーブをS型クロージャで使用する場合は締結部は、S型スリーブの側面端と底面端をはめ合わせた1列(図9(b)では右下隅)のみである(図11(a)参照)。ところがL型スリーブとして使用する場合には、S型スリーブ側面端と拡張スリーブ両端との2列の締結部(図9(b)で両下隅)を有する(図11(b)参照)。したがってL型スリーブではS型スリーブと拡張部材の締結部を1列だけ予め締結しておき、内部ユニットを覆ってから残りの1列を締結しなければならない。そのため1列の締結部が拡張スリーブの重量を支える状態が発生し、S型スリーブ単独の締結と比較して拡張スリーブが脱落しない工夫が必要となる。

この要求を実現するため各スリーブの両端(図12(a)中のA部)に配置される締結部は、不意に分離し難くなるよう穴にフックが貫通する構造を採用し、その他の締結部(図12(a)中のB

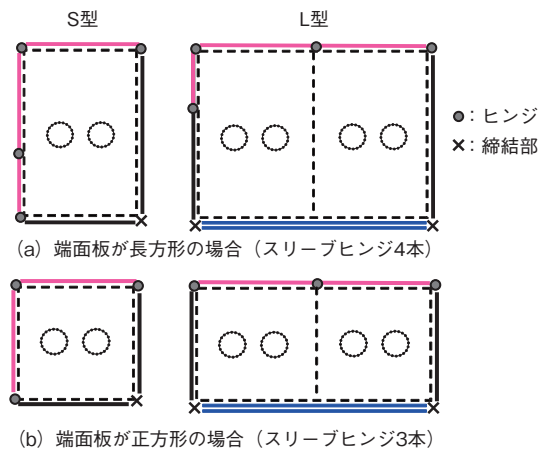


図9 端面形状とスリーブ構造  
Application of end block and sleeve for closure extension.

部)は手作業で簡単に分離が可能ないように凹凸構造とした。更にスリーブを分離するフックの解放方向を両端と両端以外の締結部ではそれぞれ反対向きにすることで、一方向にスリーブ開放力が作用しても容易に分離及び開放しない構造とした(図12参照)。

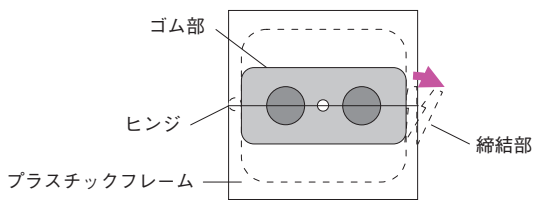


図10 端面板形状  
End block shape.

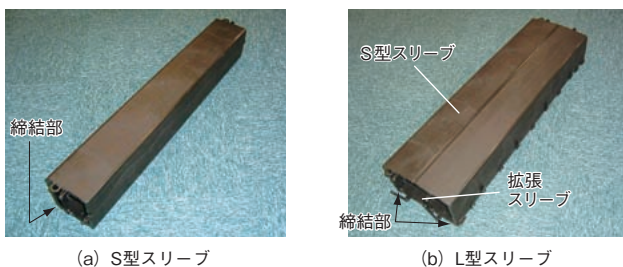


図11 スリーブ形状  
Sleeve shape.

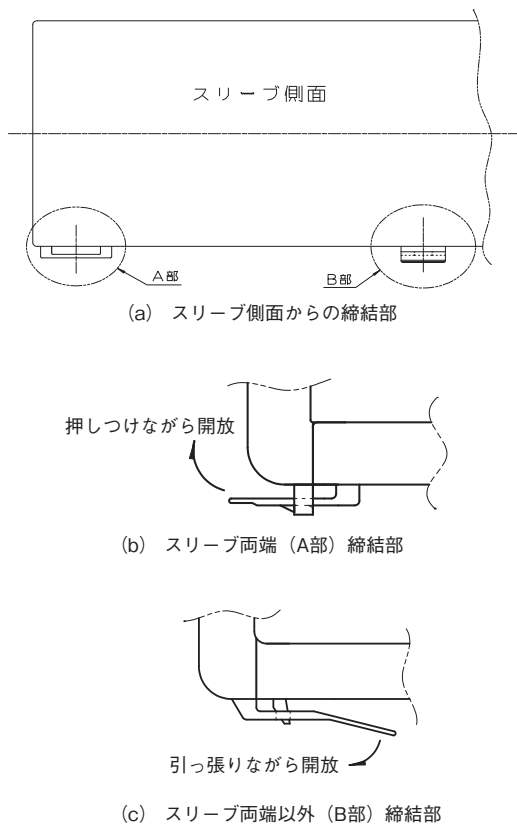


図12 スリーブ締結部  
Locking mechanism of sleeve.

## 5. リサイクル材料の配合設計

### 5.1 リサイクル材料配合部品の検討

本稿には記載していないが基礎研究結果を基に、リサイクル材料が配合可能となるような構造及び動作機構とした各種トレイ、スリーブ及び端面板について、製品構造でリサイクル材料の配合検討をした。PE再生材の適用ではスリーブと端面板には耐候性のあるシース材(低密度PE)、各種トレイにはスロット材(高密度PE)の配合を念頭に検討した。スリーブや端面板にシース材を適用する理由は、これらはクロージャの部品の中でも外部環境からの防護という役割であり、屋外暴露されるクロージャ部品のためである。またスロット材を各種トレイに適用するのは、トレイがクロージャ内部に配置されており、耐候性の要求レベルが低いためである。

### 5.2 トレイへのリサイクル材料配合

#### 5.2.1 全接続型トレイ

全接続型トレイではスライドや回転という動作を行うため、動作中に変形しないことが要求される。そのため比較的剛性の高いアクリロニトリル・ブタジエン・スチレン共重合体(以下、ABS)樹脂を主成分に用いることとした。ABSにスロット材を50%配合させて成型を行うと、樹脂のウェルド部(樹脂の流れが合流する箇所)にクラックが発生(図13参照)することが判明した。そのため全接続型トレイにはスロット材を配合せず、市販品のABS再生材を配合することとした。

市販品のABS再生材は成型収縮率を指定して購入することができないため、購入するABS再生材の成型収縮率範囲が0.4~0.9%まで変動することを想定し、なおかつ全長350mmのトレイ(図14参照)におけるかん合許容差が±0.2mmであることから20%を上限にABS再生材を配合させることとした。



図13 スロット材50%配合時のトレイ外観  
Appearance of tray using slotted core materials at 50% mixture.



図14 全接続型トレイ  
All-purpose splicing type tray.

#### 5.2.2 後分岐接続型トレイ

後分岐接続型トレイにはヒンジ機構や上下トレイ間のかん合爪を採用していることから、耐繰り返し曲げ特性を有するポリプロピレン(以下、PP)樹脂を主成分に用いることとした。リサイクル材料の配合比率上限を調べるため、バージンのPPに

スロット材を配合して、ヒンジやかん合爪を有さない既存トレイの成型を行った。その結果結晶性の高いブロックPPを使用した場合には、スロット材の配合を50%以下に抑えられれば成型及び形状の温度依存性(-30~+70℃)が正常であることを確認した。しかしヒンジや薄肉部を有する別の既存トレイを成型すると樹脂の未充填が発生し、肉厚が薄く応力がかかる部分では強度不足による破損を生じることが判明した。そこで今回の後分岐接続型トレイにスロット材を配合することを断念し、市販のPP再生材を配合することとした。

市販のPP再生材もABS再生材と同様に成型収縮率を指定して購入することができない。そのため購入するPP再生材の成型収縮率範囲が1.0~2.5%まで変動することを想定し、更には全長500mmのトレイ(図15参照)におけるかん合許容差が±0.2mmであることから、5%を上限にPP再生材を配合させることとした。



図15 後分岐接続型トレイ  
Mid-span entry type tray.

### 5.2.3 トレイガイド

PPへのスロット材配合比率が66%の場合、肉厚0.8mmトレイでは充填不足になり、肉厚1mmトレイでは成型可能である知見を既に得ていた。そこで小型で肉厚が十分にある簡素な形状部品ならばスロット材100%でも成型可能であると判断し、後分岐接続型トレイを保持するためのトレイガイド(肉厚3mm)にはスロット材を100%適用することとした。



図16 トレイガイド  
Tray support.

### 5.3 スリーブ及び端面板へのリサイクル材料配合

スリーブ及び端面板の主材料であるPPにシーす材のPEを配合し、2つのヒンジを有する既存の架空専用スリーブの成型を行った。その結果PE比率が50%以上で成型不良が発生し、PE比率33%以上で外観不良が発生した。PE比率20%以下のみで成型性と外観の両方をクリアし、外観の縞模様(図17参照)が許容範囲となる。しかしPE比率20%でも薄肉ヒンジ部の膨れを完全に無くすることはできなかった(表3参照)。

そこで膨れのスリーブ特性に対する影響を調べるため、膨れを有するヒンジ部の繰り返し開閉100回及び500回試験を行った。その結果100回では膨れ部は成長しないものの、500回では膨れ部が成長することが判明した。

ヒンジが3つ有る架空光エココロジーのS型スリーブでは、今回成型したヒンジが2つの既存スリーブと比較して更に樹脂の流れが悪くなると考えられる。そのため以上の結果を基にS型スリーブにはシーす材を配合せず、主材料と同種のPP再生材を配合させることとし、またヒンジを有さない拡張スリーブ及び端面板のプラスチックフレームにはシーす材を配合することとした。配合比率は表3の外観と剛性の感触の結果から、シーす材20%を上限とした(図18, 19参照)。



図17 シース材20%配合時のスリーブ外観  
Appearance of sleeve using sheath materials at 20% mixture.

表3 シース材配合比率による成型結果  
Molding results with different mixture ratios of sheath material.

PE比率(%)	100	75	50	33	20
成型性	ショート		ショートの傾向	良	
外観	著しい不良		不良	やや不良	許容範囲
ヒンジの膨れ	連続的		所々	若干	僅か
剛性の感触(*)	柔らか過ぎ	柔らか	若干柔らか	ほぼ同等	同等

\*: 剛性の感触はPP100%の場合との比較



図18 端面板  
End block.



図19 拡張スリーブ  
Extension sleeve.



## 6. 結果

目的とした『サイズの最適化・廃棄物を出さない構造・作業性改善・心線取り扱いの安全性向上などを考慮した構造設計』に対する結果は以下のとおりである。

### 6.1 資源消費量と廃棄物の抑制

S型サイズとL型サイズのクロージャをメニュー化し、接続数に適したクロージャサイズを選別することで資源消費量の抑制を実現した。

またS型からL型へのサイズ拡張はS型スリーブに拡張スリーブを連結延長し、その他の部品も追加することで無駄な廃棄物を排出することなくサイズの拡張が可能なクロージャを開発した。

### 6.2 有効資源の再利用

スロット型光ファイバケーブル廃材であるシース材及びスロット材を含むリサイクル材料をクロージャ部品に再利用することを実現し、各クロージャのプラスチック使用量に対するリサイクル材料の使用比率を15～25%とすることができた(表4参照)。以上の結果、これまでに約8.4 tの廃棄物を削減できた。

表4 リサイクル材料の使用比率  
Recycling material mixture ratios achieved for different closure parts.

サイズ	S型		L型	
	全接続型	後分岐型	全接続型	後分岐型
接続形態				
全質量 (g)	5,456	4,763	10,941	9,651
プラスチック使用量 (g)	4,158	3,545	7,718	6,492
リサイクル材料の使用量 (g) (内 ケーブル廃材(g))	1,021 (157)	760 (64)	1,517 (464)	994 (278)
リサイクル材料／プラスチック比率 (%)	25	21	20	15

### 6.3 作業時の伝送特性への影響軽減

全接続型クロージャにおいては、トレイユニットに連結された状態を維持しながら上方にスライド後、回転可能な機構とし、スライド前後で光ファイバの心線余長が変わらないターン配線方式を開発した。また後分岐接続型クロージャにおいてはブック式トレイをユニット化し、段違い配置させる方式を開発した。これらのことで作業時における光ファイバ心線の伝送特性に及ぼす影響を従来のものより軽減することができた。

## 7. おわりに

本稿では通信用インフラ設備に使用される架空光用クロージャにおいて、環境負荷軽減を指向し更に作業時の伝送特性への影響を軽減させたクロージャ開発について報告した。結果として、目標とした拡張が可能なりサイクル材料を使用した後分岐接続と全接続が行えるクロージャの製品化に成功した。

今後は架空光エココロジーの普及を進め、またその他にもリサイクル材料を使用した製品の検討を行うことで、循環型社会の実現に向けて積極的に取り組んでいく。

## 参考文献

- 1) 渡辺有一, 神部幸昭:「解体しやすいリサイクル用光ファイバケーブル」, OHM, **93** (2006), 4.
- 2) 中島勝, 小澤俊明, 林津好寿, 渡辺有一:「リサイクル用光ファイバケーブルの開発」, 2006電子通信学会通信ソサイエティ大会, B-10-4 (2006), 198.
- 3) 渡辺有一, 神部幸昭, 中島勝, 河村隆:「光ファイバケーブルのリサイクル技術」, 電子通信学会技術研究報告, **106** (2006), 31.