

同軸ケーブル用超高発泡度絶縁体

材料技術研究所
光・通信ケーブル事業部
米沢電線株式会社

渡部 亮¹・高橋 克彦²・國村 智³
大保 雅載⁴
伊藤 伸浩

Highly-foamed Insulator for Coaxial Cable

R. Watanabe, K. Takahashi, S. Kunimura, M. Daibo & N. Itou

近年、通信の高速大容量化にともない使用周波数帯の高周波化が進むとともに、高周波帯域で減衰量が小さい同軸ケーブルが求められている。高周波同軸ケーブルの絶縁体材料には、比誘電率 ϵ_r と誘電正接 $\tan \delta$ が低いポリエチレンが用いられ、かつ、発泡成形がなされている。今回、さらなる減衰量低減のため、溶融特性、誘電特性共に優れる新規材料を開発し、従来不可能であった発泡度85%の超高発泡度同軸ケーブル用絶縁体を開発した。

The polyethylene, which has good dielectric properties, is used as an insulator material of coaxial cables. And this insulator is formed with an extruder. The coaxial communication cable is required for further improvement in the dielectric properties, because a transmission frequency is recently shifting to higher. In order to make an insulator's permittivity lower, it is effective to make a foamed degree higher. Specifically, we examined about the characteristics of polymer at molten state, such as polyethylene etc. This paper reports that we have developed the highly-foamed insulator.

1. ま え が き

近年、情報通信の高速大容量化にともない、使用周波数帯の高周波化が進んでおり、高周波帯域で減衰量が小さい同軸ケーブルが求められている。同軸ケーブルの減衰量は内部導体と絶縁体の特性に依存し、図1のように、高周波帯域になるほど絶縁体への寄与率が増加する。したがって、高周波帯域で減衰量の低減をはかるためには、絶縁体の改良が重要となる。絶縁体改良方法としては、絶縁体材料そのものの比誘電率 (ϵ_r)・誘電正接 ($\tan \delta$) の低減や、高発泡度化による ϵ_r の低減があげられる。低 ϵ_r 、低 $\tan \delta$ の絶縁体材料としては、ポリエチレン (PE) があげられるが、特に低減衰量を要求される高周波同軸ケーブルの絶縁体は、PEの中でも低 $\tan \delta$ である高密度PE¹⁾をベース材料として用い、かつ、可能な限り、高い発泡度に成形している。しかし、すでに従来PEでの高発泡度化による低減衰量は限界に達しており²⁾、高発泡押出成形性に優れた新規材料が必要となっている。

そこで、高周波同軸ケーブル用の超高発泡度絶縁体の開発を行った。

2. 開 発 目 標

低減衰量同軸ケーブル用絶縁体材料として、従来PEと同等以上の誘電特性、反射減衰特性 (VSWR)、長期信頼性、一般的な機械特性を有し、さらに、従来PEをこえる超高発泡度化を達成することを目標とした。

3. 超高発泡度絶縁体用新規材料の開発

3.1 同軸ケーブルの発泡成形方法

同軸ケーブルの発泡成形方法は、主に化学発泡法、物理

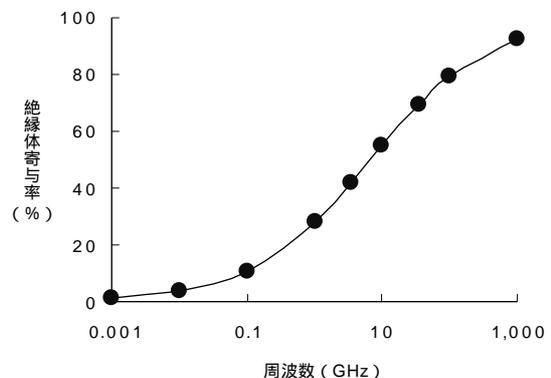


図1 伝送損失の絶縁体への寄与率

Fig. 1. Relative contribution of the insulator for the coaxial cable loss.

1 化学材料開発部
2 化学材料開発部グループ長
3 化学材料開発部長
4 通信技術開発部

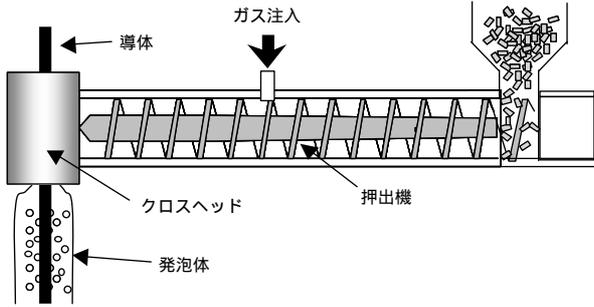


図2 物理発泡用押出機
Fig. 2. An extruder for the physical forming.

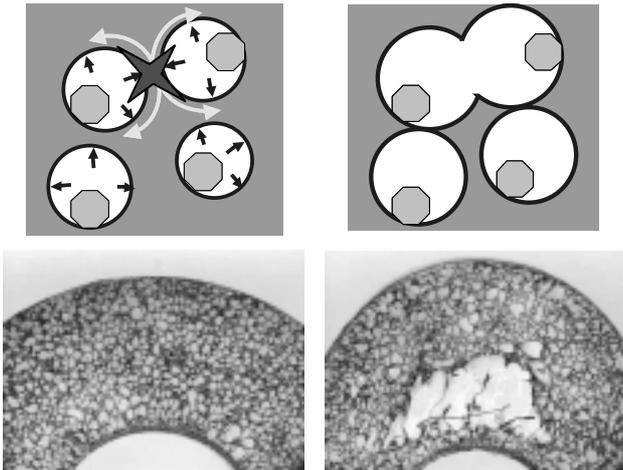


図3 連続気泡化のイメージ
Fig. 3. The image of interconnected cells.

発泡法の2種類がある。これらは押出機中の高圧下でガスを樹脂中に溶解し、ダイスから排出される減圧時に発泡させる成形方法であることは共通しているが、化学発泡法は化学発泡剤をベース樹脂とともに供給して、押出機中で熱分解させて発生するガスを用いた発泡成形方法であり、物理発泡法は押出機の途中で不活性ガスを直接、高圧圧入供給して発泡させる成形方法である(図2)。低減衰量の同軸ケーブル用途には物理発泡法の成形方法が通常用いられるが、これは、化学発泡法では、化学発泡剤の分解により発生する副生成物が減衰量へ悪影響をおよぼすためである。

3.2 溶融破断張力と溶融破断延伸性

発泡成形では材料の溶融特性が重要である。図3には連続気泡化のイメージを示した。発泡セルが成長するためには、樹脂には気泡の成長に追従できる溶融延伸性が必要である。また、圧入ガスによる発泡セルの膨張力に対し、破断しない十分な溶融張力が必要となる。したがって、高発泡度化には溶融延伸性、溶融張力の双方に優れた材料が求められる。そこで樹脂の溶融時の破断張力、破断延伸性を評価するため、キャピラリーレオメータを用いた模擬実験を行った。概念図を図4に示す。キャピラリーレオメータによる溶融張力は、通常、所定条件での定速引取り時の張力を指す場合が多いが、ここでは溶融時の破断張力を評価するため、加速引取りにより、樹脂が破断したときの張力

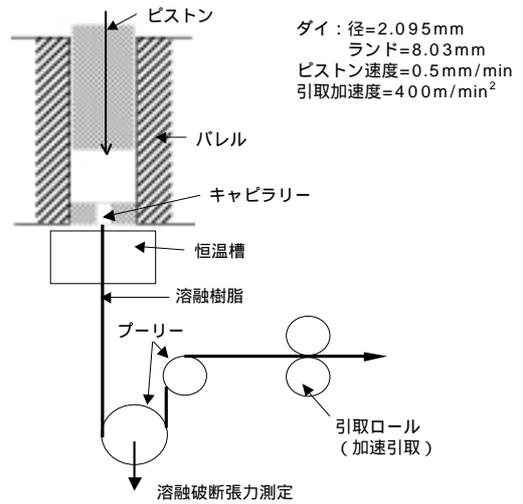


図4 溶融破断張力・延伸性測定概念図
Fig. 4. Basic concept of a molten strength and molten drawing.

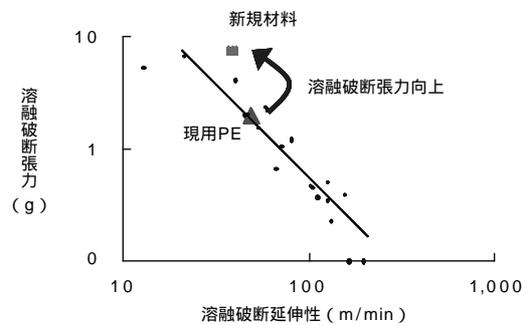


図5 各種材料の溶融破断張力・延伸性
Fig. 5. Characterization of a molten strength and molten drawing.

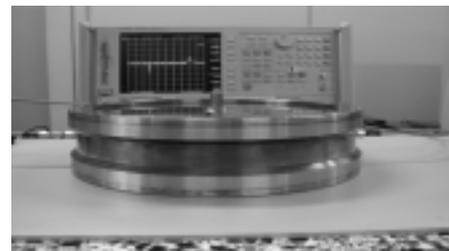


図6 空洞共振器摂動法装置
Fig. 6. Measurement system of cavity resonator.

を溶融破断張力とし、そのときの延伸速度から溶融破断延伸性を評価した。

その測定結果を図5に示す。各種PEを評価した結果、破断張力、破断延伸性がともに優れている材料はなかった。そこで、延伸するほど張力が大きくなるように分子構造を改良し、溶融破断延伸性が従来材料と同等で、かつ、溶融破断張力が従来材料より優れた新規材料を開発した。

3.3 選定材料の誘電特性評価

減衰量を低減するためには、高発泡度化だけではなく、現用PEと同等以上の誘電特性が求められるため、新規材料についての誘電特性を評価した。誘電特性は空洞共振器摂動法を用いて、2.45GHzにて評価した。測定装置を図6に、結果を図7に示す。新規材料は従来PE材料と同等以

上の誘電特性を示し、高周波帯域において優れた誘電特性を有することがわかった。

4. 新規材料の各種評価

4.1 ケーブル試作

溶融特性、誘電特性に優れた新規材料を用いて、ケーブル試作、高発泡度化評価を行った。試作は単軸押出機を用い、8D-SFAの同軸ケーブルを作製した。まずはじめに、新規材料を用いて、従来のPEと同等の発泡度である約70%の発泡ケーブルを作製した。次に、圧入ガス量を増加して最大発泡度を求めた。

4.2 同一発泡度における材料特性評価

4.2.1 微細・均一化評価

新規材料で試作した8D-SFAを従来PE品と比較した。絶縁体断面写真を図8に示す。このように、新規材料の絶縁体は溶融特性に優れるため、独立気泡が維持でき、同一発泡度でより微細・均一な発泡セル構造になっている。この試作した発泡絶縁体の発泡状態を評価するため、発泡セル径の解析を行った。その結果を図9に示す。新規材料では、従来PE品と比較して、平均セル径が244 μmから110 μmと微細化しており、セル径の標準偏差も143 μmから40 μmに低減し均一性が向上している。発泡絶縁体において微細・均一な発泡セル構造が得られることは、反射減衰特性(VSWR)の低減、発泡度増加による機械強度の低下(潰れ易さ)の改善が可能であり、また、より細径な発泡絶縁体の製作も容易になるなど、様々なメリットがある。

4.2.2 減衰量評価

次に、ネットワークアナライザを用いて減衰量を評価し

た。GHz帯域における結果を図10に、それぞれの周波数での改善率を図11に示す。減衰量改善率は以下の式で求めた。

$$\text{減衰量改善率}(\%) = \frac{\text{改善前減衰量} - \text{改善後減衰量}}{\text{改善前減衰量}} \times 100$$

このように、新規材料品は、従来PE品と比較して、1~3GHz帯域で5%程度減衰量が低減されることがわかった。これは、新規材料の誘電特性が、従来PEとほぼ同等であることから、微細・均一な発泡セル構造に起因していると考えられる。

4.2.3 試作ケーブルの総合評価

次に、新規材料を用いた試作ケーブル用絶縁体の反射減衰特性(VSWR)、長期信頼性、一般的な機械特性を評価

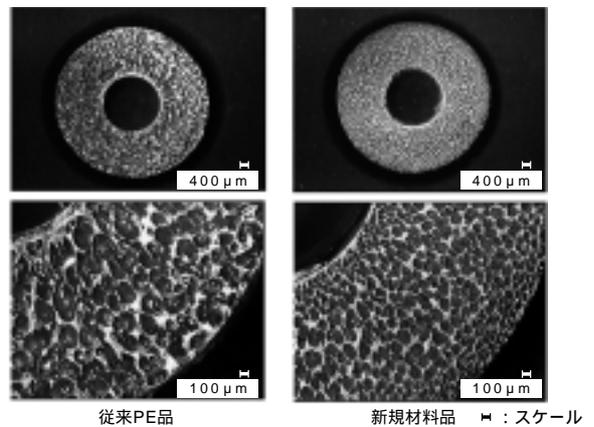


図8 発泡体断面写真(同一発泡度)

Fig. 8. The section of the foamed insulator.

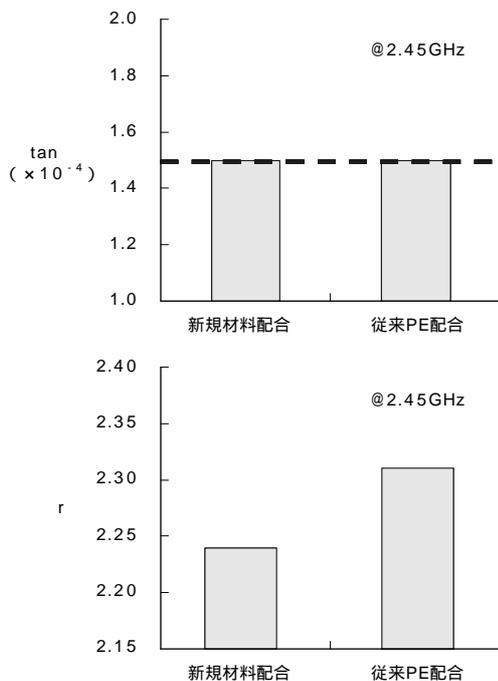


図7 誘電特性評価

Fig. 7. Characterization of the dielectric properties. perturbation method.

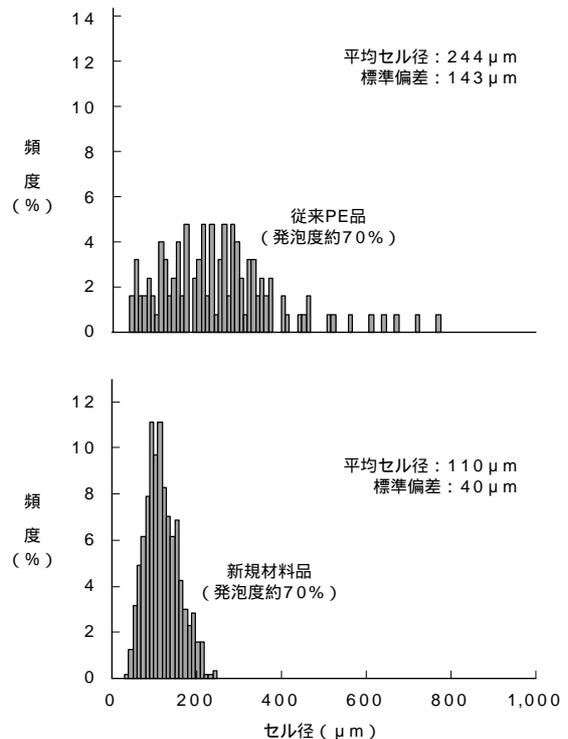


図9 発泡セルの解析

Fig. 9. Analysis of the formed cell.

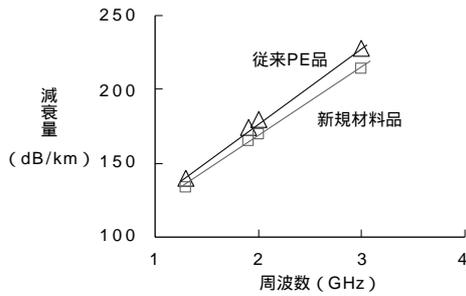


図10 減衰量評価結果 (8D-SFA)
Fig. 10. Characterization of the coaxial cable loss.

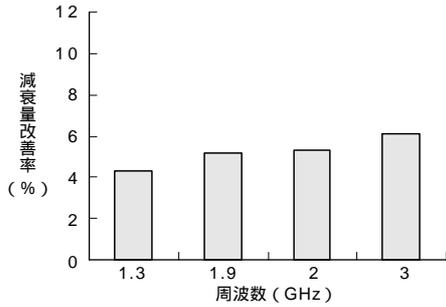


図11 減衰量改善率
Fig. 11. The improvement rate of the coaxial cable loss.

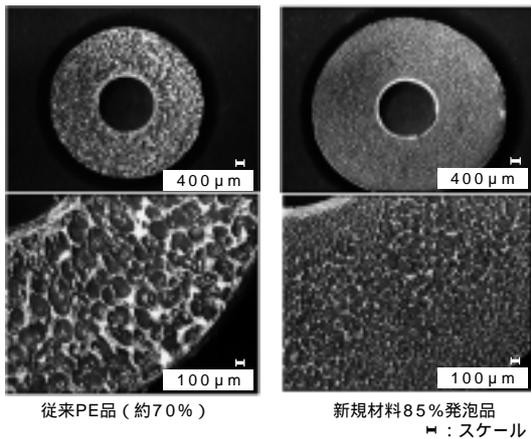


図12 発泡体断面写真 (高発泡度化)

Fig. 12. The section of the foamed insulator.

した。その結果、VSWRは量産品と同等以上であることがわかった。また、長期信頼性試験として、ヒートショック、低温放置、高温高湿試験を実施し、従来品と同等程度の特性が得られた。また、一般的な機械特性もケーブル材料として十分であることがわかった。

4.3 高発泡度化評価

開発した新規材料は同軸ケーブル用絶縁体材料として十分適していることがわかったため、圧入ガス流量を増加させて新規材料で得られる最大発泡度を評価した。その結果、非常に微細で均一な発泡セルを有する発泡度85%の発泡絶縁体を得られた (図12)。

次に、試作した85%の発泡絶縁体の発泡セル径の解析を行った。その結果を図13に示す。新規材料では、従来PE品と比較して、平均セル径が244 μmから95 μmに微細化し、セル径の標準偏差も143 μmから33 μmに低減

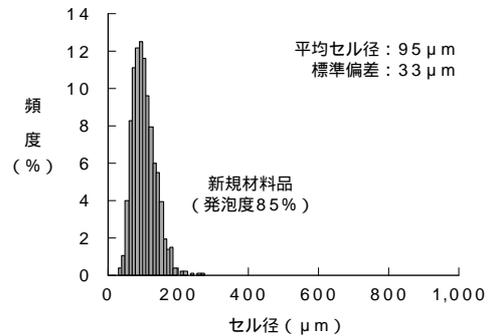
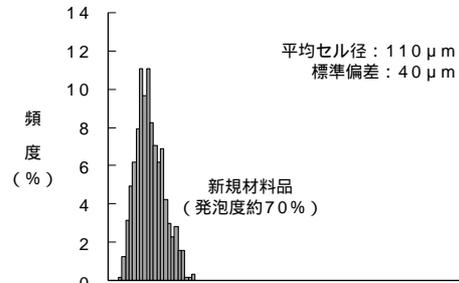
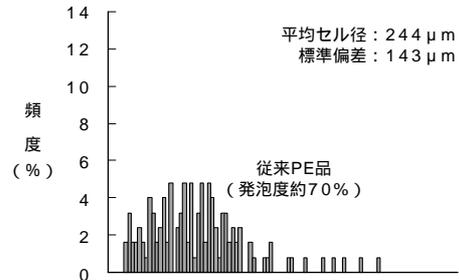


図13 発泡セルの解析

Fig. 13. Analysis of the formed cell.

して均一性が向上した。また、新規材料は、発泡度が約70%から85%と大幅に増加しても、同等以上の平均セル径、標準偏差が得られ、高発泡度化に適した材料であることがわかった。

5. む す び

従来に比べ、溶融破断張力に優れた新規材料を開発した。この材料を用い、従来の高周波同軸ケーブルよりも1~3GHzで5%程度減衰量を低減できることを確認した。また、同軸ケーブル用絶縁体材料として要求される諸特性も従来PEと同等であることが確認できた。さらに、従来の材料では実現不可能であった微細・均一な発泡セル構造で85%という高発泡度絶縁体を得られた。今後、工程間・製造上の課題解決を進め、開発検討を行っていく。

参 考 文 献

- 1) 近藤ほか：各種ポリエチレンのGHz帯域での誘電損失，電子情報通信学会2003年総合大会講演論文集，2003
- 2) 阿部ほか：携帯電話基地局用低損失高発泡ポリエチレン高周波同軸ケーブル (LHPX) の開発，日立電線工学技術研究誌，第23号，pp. 17-22，2004