



車載用フレキシブルフラットケーブルの開発

福田 豊*・早 味 宏・中 村 謙 介
奥 達 司・松 田 龍 男

Development of Flexible Flat Cable for Automotive Use — by Yutaka Fukuda, Hiroshi Hayami, Kensuke Nakamura, Tatsuji Oku and Tatsuo Matsuda — A multi-core flexible flat cable has been used for electric wiring of electronic appliances. Along with the increase of electronic equipment installation in automobiles, the application of the flexible flat cable for automotive use has been increasing due to the advantage of its flat shape for high-density and compact wiring space. Sumitomo Electric Industries, Ltd. has continuously developed and manufactured various kinds of new flexible flat cable products for electronic appliances. Based on its experiences and technological know-how to develop various products in this field, the Company has succeeded in producing a new flexible flat cable for automotive use featuring higher reliability even when applied in severe conditions such as hot-water immersion (85°C × 35 days), high-humidity exposure (85°C, 85% RH × 1000 hours) or high-temperature exposure (125°C × 3000 hours).

Keywords: flexible flat cable, automotive use, ISO, JASO, UL standards

1. 緒 言

近年の自動車のエレクトロニクス化の急速な進展により、カーナビゲーションや車載レーダーなどの電子機器の搭載が増加しており、これらの電子機器への電源の供給や情報伝送のためのケーブルの使用量も増加が見込まれている。また、車両の軽量化やコンパクト化のために、車載用電子機器は、本体と周辺部材、ケーブル等を一体化したモジュール化が進められており、薄肉で配線密度の高いフレキシブルフラットケーブルの採用が増加している。

当社はエレクトロニクス分野において、顧客の幅広い要求に対応する電子機器用フレキシブルフラットケーブルを数多く開発してきたが、そこで培った材料・製造技術を基盤として、車載用途においてもステアリング用ケーブルやルーフ、ドア等に用いられるフレキシブルフラットケーブルを用いたフラットハーネスを製品化している。

本報告では、さらに厳しい車載環境でも適用できる高性能で信頼性の高いフレキシブルフラットケーブルの開発について詳細に述べる。

2. 車載用フレキシブルフラットケーブルの開発

2-1 車載用フレキシブルフラットケーブル 図1に示す構造を持つフラットケーブルは、平行に並べた平角導体を上下2枚の接着剤付きの基材フィルム（絶縁テープ）でラミネートする方法で製造され、厚みが100～300μmと薄肉であることが特長である。絶縁テープの基材フィルムは、用途や要求特性に応じてPET（ポリエチレンテレフ

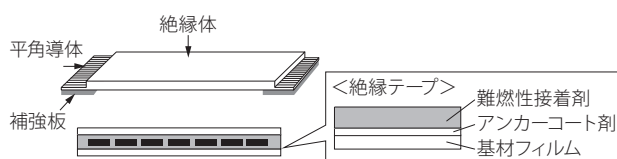


図1 フレキシブルフラットケーブルの構造

タレート）、PI（ポリイミド）などの樹脂フィルムが選択されるが、機械的特性、電気的特性、価格等のバランスが優れたPETが多く用いられている。また、接着剤には導体との接着力に優れたポリエステル系のものが多用されており、PETフィルムとポリエステル系接着剤の接着信頼性を高める目的で、その界面にはアンカーコート層が設けられている。

また、ケーブルの末端はコネクタへの挿入を容易にするために補強板を貼り付けた構造となっている。

車載用フレキシブルフラットケーブルは、絶縁電線のJASO規格^{*1}やISO規格^{*2}をもとに開発されており、これらの規格の中で特に重要なスペックを表1にまとめた。耐熱性はフレキシブルフラットケーブルを定格温度で3000時間熱老化した後、水中で所定の電圧をケーブルに印加して絶縁破壊しないことが求められる。低温性はフレキシブルフラットケーブルを-40°Cで所定の径のマンドレルに巻き付け、絶縁体が剥がれないことが求められる。

耐熱水性試験はフレキシブルフラットケーブルを85°C

の熱水中に35日浸漬した後、水中で1kVの電圧を1分印加して絶縁破壊しないことが求められる試験である。

さらに用途によっては、JASO規格やISO規格に加えて、電子機器の規格であるUL規格^{※3}に適合することや、ユーザー独自の仕様として長期の耐湿熱性（湿熱環境下での耐久性）が要求される場合もある。UL規格では難燃性に対する要求基準がJASO規格やISO規格よりも厳しく、すなわち、JASO規格、ISO規格ではケーブルを水平あるいは45°に設置してバーナーで着火する燃焼試験を行うのに対し、UL規格ではケーブルを垂直に設置してバーナーで着

表1 車載用（JASO規格、ISO規格）および電子機器用（UL規格）の主な要求特性

	車載用（JASO,ISO）	電子機器用（UL）
耐熱性	125℃ 3000h 後水中耐圧試験で絶縁破壊無きこと	136℃ 7日後 空中耐圧
耐湿熱性	85℃ 95% RH 120h 後水中耐圧試験で絶縁破壊無きこと	不 要
低温性	-40℃ 4h 巻き付け試験で絶縁剥がれ無きこと	-20℃ 1h 巻き付け試験で絶縁剥がれ無きこと
耐熱水性	85℃ 熱水 35日 後水中耐圧試験で絶縁破壊無きこと	不 要
難燃性	水平燃焼試験 45° 傾斜燃焼試験	垂直燃焼試験（VW-1）

表2 主な開発目標

項目	試験条件	目 標
耐熱性	125℃ 3000h	水中耐圧 2kV1分 で絶縁破壊無きこと
耐湿熱性	60℃ 95% RH 1000h 85℃ 85% RH 1000h	水中耐圧 2kV1分 で絶縁破壊無きこと
低温性	-40℃ 8日 180° 折り曲げ	絶縁剥がれ無きこと
耐熱水性	85℃ 熱水 35日	水中耐圧 2kV1分 で絶縁破壊無きこと
難燃性	垂直燃焼試験（VW-1）	合格（60秒以内に消炎）

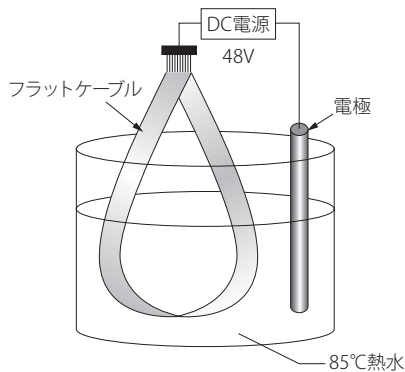


図2 熱水試験の方法

火する試験方法（VW-1試験）であるため、より高度な難燃性が必要となる。

また、長期の耐湿熱性については、60℃ 95% RH乃至は85℃ 85% RHの環境で1000時間放置した後、水中で1kVの電圧を1分印加して絶縁破壊しないことが求められる。

以上に述べた市場での要求を勘案し、開発すべきフレキシブルフラットケーブルは車載用途における広範な顧客要求に対応できる製品とすることを旨とし、表2に示したスペックを開発目標に設定した。

2-2 新規接着剤の開発

フレキシブルフラットケーブルの絶縁テープの接着剤に多用されているポリエステル系接着剤は、高温多湿の環境下において、図3に示す反応機構により主鎖のエステル基の加水分解反応が進行して分子量が減少し、導体に対する接着強度、電気的特性が低下する。エステル基の加水分解を抑制する配合剤は種々開発されているが、今回の開発目標にある耐湿熱性や耐熱水性を満たすことは困難であり、加水分解の問題のない分子構造を有する樹脂を適用した接着剤を開発する必要があると考えた。

そこで、接着剤には本質的に加水分解が起こり得ず、電気的特性、耐熱性、低温性に優れたポリオレフィン樹脂をベース樹脂とする接着剤を開発することとした。

但し、ポリエチレンやポリプロピレンなどのポリオレフィン樹脂は導体には接着しない問題があるので、ポリオレフィン樹脂の分子構造の一部を化学変性させることにより、導体との接着性を発現する官能基を導入し、接着強度のスペックを満足するように工夫した。

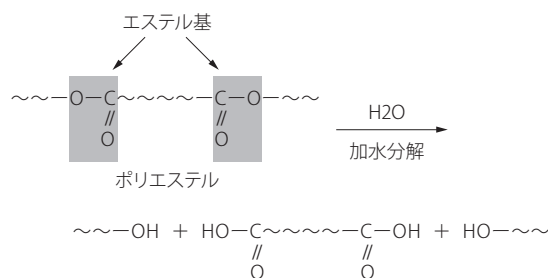


図3 ポリエステルの加水分解反応

開発したポリオレフィン樹脂系の接着剤は、図4に示すように85℃ 85% RHという厳しい湿熱環境下に長時間晒しても、機械的物性の低下が少なく、加水分解による分子量低下の問題がないことを支持する結果を得た。

また、図5に示すように、85℃での熱水浸漬試験においても接着強度がほとんど変化せず初期値を維持しており、従来のポリエステル系接着剤と比べて耐湿熱性、耐熱水性が大幅に優れることが確認できた。

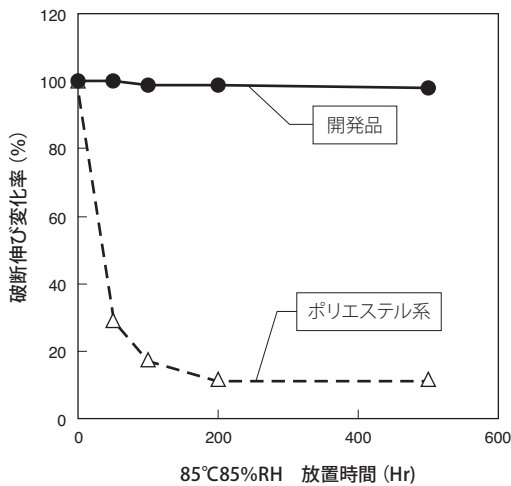


図4 接着剤の機械的的特性の経時変化

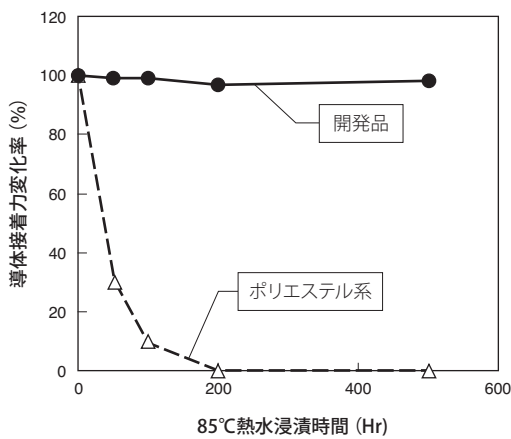
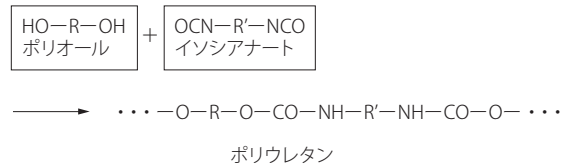


図5 接着強度の経時変化



ポリオールの種類	特長
ポリエステル系	接着性
ポリエーテル系	低温性
ポリカーボネート系	耐加水分解性

図6 アンカーコート剤の種類と構造

強度が徐々に低下し、耐加水分解性に優れるとされるポリカーボネート系ポリウレタンを用いたものでも浸漬日数が28日以上では接着強度が著しく低下することがわかった。

これは、ポリウレタン系アンカーコート剤の加水分解が原因と考えられたので、ポリウレタン樹脂を構成するモノマーの分子構造と耐加水分解性の関係を検討しつつ、接着強度等のアンカーコート剤としての性能を評価するサイクルを回すことによって、耐加水分解性に優れる新規のアンカーコート剤を開発することに成功した。

この新規に開発したアンカーコート剤は図7に示すように、85°Cの熱水に35日以上浸漬しても接着力の低下が少なく、耐熱水性の目標を満足できる目処を得た。

2-3 新規アンカーコート剤の開発 前述のように、フレキシブルフラットケーブルに用いる絶縁テープは、基材フィルムと接着剤の接着信頼性を高めるため、界面にアンカーコート層を設けている。

アンカーコート剤はポリウレタン系樹脂が用いられている。ポリウレタン系樹脂は、図6のように、原料のポリオールの種類によって、ポリエステル系、ポリエーテル系、ポリカーボネート系に分類されており、一般に、ポリエステル系は接着性、ポリエーテル系は低温性、ポリカーボネート系は耐加水分解性が優れるとされ、要求特性に応じて使い分けられている。

そこで、これらのポリウレタン系樹脂をアンカーコート剤として用い、基材フィルムのPETと前述のポリオレフィン系の新規接着剤を積層した絶縁テープを作製し、フレキシブルフラットケーブルを試作して特性評価を行うこととした。

その結果、熱水試験において、図7に示すように、接着

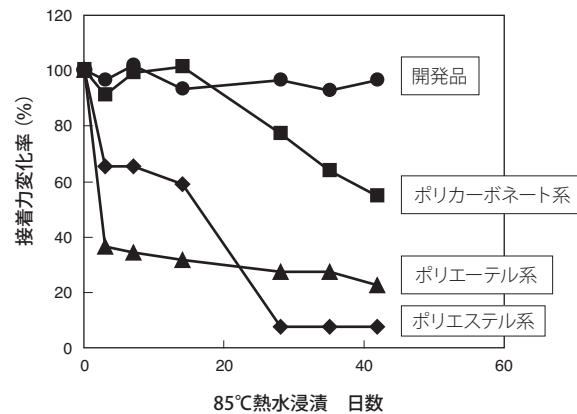


図7 アンカーコート剤の耐熱水性比較

2-4 ケーブルの特性評価 PETフィルム基材(25μm厚)に上述のアンカーコート剤(3μm厚)を塗布し、ポリオレフィン系の接着剤(50μm厚)を積層した絶縁テープを作製し、平角軟銅箔導体(0.035mm厚×0.3mm幅)をラミネートしてフレキシブルフラットケーブルを試作し、特性評価した結果を表3に示す。

試作品は表3のように、耐熱性、低温性試験に合格する

表3 試作ケーブルの評価結果 (PET 基材)

項目	環境試験条件	試験項目	評価結果	規格値
			PET 基材	
耐熱性	125℃ 3000h	水中絶縁抵抗	10 ⁹ Ω・m 以上	10 ⁹ Ω・m 以上
		耐電圧試験 2kV1min	破壊なし	破壊 なきこと
耐湿熱性	60℃ 95%RH1000h	水中絶縁抵抗	10 ⁹ Ω・m 以上	10 ⁹ Ω・m 以上
		耐電圧試験 2kV1min	破壊なし	破壊 なきこと
耐湿熱性	85℃ 85%RH1000h	水中絶縁抵抗	NG	10 ⁹ Ω・m 以上
		耐電圧試験 2kV1min	NG	破壊 なきこと
耐熱水性	85℃熱水 35日	水中絶縁抵抗	NG	10 ⁹ Ω・m 以上
		耐電圧試験 2kV1min	NG	破壊 なきこと
低温性	-40℃ 8日 折り曲げ	絶縁剥がれ	剥がれなし	剥がれ なきこと
耐熱衝撃	-40℃-125℃ 1000サイクル	水中絶縁抵抗	10 ⁹ Ω・m 以上	10 ⁹ Ω・m 以上
		耐電圧試験 2kV1min	破壊なし	破壊 なきこと
難燃性		45° 傾斜燃焼試験	70秒以内に消炎	70秒以内に消炎すること
		垂直燃焼試験	60秒以内に消炎	60秒以内に消炎すること

表4 試作ケーブルの評価結果 (PPS 基材)

項目	環境試験条件	試験項目	評価結果	規格値
			PPS 基材	
耐熱性	125℃ 3000h	水中絶縁抵抗	10 ⁹ Ω・m 以上	10 ⁹ Ω・m 以上
		耐電圧試験 2kV1min	破壊なし	破壊 なきこと
耐湿熱性	60℃ 95%RH1000h	水中絶縁抵抗	10 ⁹ Ω・m 以上	10 ⁹ Ω・m 以上
		耐電圧試験 2kV1min	破壊なし	破壊 なきこと
耐湿熱性	85℃ 85%RH1000h	水中絶縁抵抗	10 ⁹ Ω・m 以上	10 ⁹ Ω・m 以上
		耐電圧試験 2kV1min	破壊なし	破壊 なきこと
耐熱水性	85℃熱水 35日	水中絶縁抵抗	10 ⁹ Ω・m 以上	10 ⁹ Ω・m 以上
		耐電圧試験 2kV1min	破壊なし	破壊 なきこと
低温性	-40℃ 8日 折り曲げ	絶縁剥がれ	剥がれなし	剥がれ なきこと
耐熱衝撃	-40℃-125℃ 1000サイクル	水中絶縁抵抗	10 ⁹ Ω・m 以上	10 ⁹ Ω・m 以上
		耐電圧試験 2kV1min	破壊なし	破壊 なきこと
難燃性		45° 傾斜燃焼試験	70秒以内に消炎	70秒以内に消炎すること
		垂直燃焼試験	60秒以内に消炎	60秒以内に消炎すること

とともに、難燃性についても 45° 傾斜燃焼試験、垂直燃焼試験ともに合格、耐熱水性も合格することが確認できた。

しかし、耐湿熱性については 65℃ 95% RH × 1000Hr の条件では耐電圧試験にも合格し絶縁性は良好であることがわかったが、85℃ 85% RH × 1000Hr の条件では PET フィルム基材が加水分解するために、折り曲げにより PET フィルムに部分的にクラックが生じ、電気絶縁性が低下して不合格となることがわかった。

そこで、85℃ 85% RH × 1000Hr 条件の耐湿熱性が要求される用途については、基材フィルムを PET フィルムより高価であるが耐湿熱性に優れる PPS (ポリフィニレンサルファイド) フィルムの適用を検討した。

PPS フィルム基材 (25μm 厚) にアンカーコート剤 (3μm 厚) を塗布して、ポリオレフィン系接着剤フィルム (50μm 厚) を積層した絶縁フィルムを作製し、平角軟銅箔導体 (0.035mm 厚 × 0.3mm 幅) をラミネートしてフレキシブルフラットケーブルを試作した。その結果、表4のように 85℃ 85% RH × 1000Hr 条件の耐湿熱性を含む全てのスペックを満たすことが確認できた。

3. 結 言

自動車用絶縁電線の規格である ISO、JASO 規格の耐熱性、低温性、難燃性、耐熱水性だけでなく、電子機器の UL 規格の難燃性や耐湿熱性などの顧客から寄せられる種々の高度な要求に対応できる高性能なフレキシブルフラットケーブルを開発した。

開発したケーブルは、既に車載用として採用頂いており、今後、さらなる用途拡大が期待される。

用語集

※1 JASO 規格

Japanese Automotive Standards Organization : 日本自動車技術会規格。

※2 ISO 規格

International Organization for Standardization : 国際標準化機構規格。

※3 UL 規格

Underwriters Laboratories Inc. (アメリカ保険業者安全試験所) が定める規格。

参 考 文 献 -----

- (1) 接着の技術 vol.15、No.1、P.10-14 (1995)
 - (2) ポリウレタンハンドブック、日刊工業新聞社
 - (3) SEIテクニカルレビュー第159号、P119 (2001)
-

執 筆 者 -----

福田 豊* : エレクトロニクス・材料研究所 主席
電気絶縁フィルム及び接着剤の開発に
従事



早味 宏 : シニアスペシャリスト (高分子材料技術)
エレクトロニクス・材料研究所 部長

中村 謙介 : 住友電工フラットコンポーネント(株)

奥 達司 : 住友電工フラットコンポーネント(株)

松田 龍男 : 住友電工フラットコンポーネント(株) 技術部
グループマネージャー

* 主執筆者