

環境調和型電線「エコエース[®]」の開発

Development of Environment-Friendly Cable "Eco-Ace"

鈴木 智行*
Tomoyuki Suzuki

松本 鉄男*
Tetsuo Matsumoto

白松 栄二*
Eiji Shiramatsu

大屋 紳午*²
Shingo Ooya

河崎 修*²
Osamu Kawasaki

久恒 豊一*²
Toyokazu Hisatsune

前田 義弘*³
Yoshihiro Maeda

岩崎 邦男*³
Kunio Iwasaki

概 要 近年オゾン層破壊、地球温暖化、環境汚染等の環境問題が深刻化し、世論に大きく取り上げられている。これに伴い環境に対する保全意識が高まり、あらゆるレベルで対策が講じられ初めている。

古河電工では「古河電工環境基本指針」に則り、地球環境の保全に配慮し、持続可能な発展できる社会の実現を目指している。環境調和型電線「エコエース」は、その一環として開発された。「エコエース」は、従来型電線に対して「環境にやさしい」ことをポイントに全面的に見直した製品である。特に製品中に、環境に負荷を与える物質を含有した材料を使用しない、およびリサイクルに対応できる材料の使用を重視したことにより、周辺環境に影響を与えず、かつ安全性も高く、リサイクル性にも優れる。本報では、環境調和型電線「エコエース」の製品群の内、特に電力・制御系の低圧電線・ケーブル、高圧電線・ケーブル及びそれらの付属品の開発について報告する。

1. はじめに

現代文明発展における負の側面として、オゾン層の破壊、地球温暖化、環境汚染等、深刻化した環境問題について、近年世論に大きく取り上げられている。また、文明・科学の発達と共に進んでいく大量生産、大量消費志向は、エネルギー浪費、資源の枯渇などを引き起こし、社会の「持続可能な発展」を危ういものに行っているとの指摘がある。これらを背景に、近年、環境に対する意識の向上が世界、国、企業、市民団体、個人等々のあらゆるレベルで見られる。

環境問題対策の世界的な動きは我が国にも及び、廃棄物処理法、家電リサイクル法等の法整備に結びついている。

企業としては、従来の事業の拡大や利益のみ追求するのではなく、環境に対する考え方を確立し、これを企業活動や、製品に生かしていくことが、もはや社会的義務となつていけると言える。

当社では「古河電工環境基本方針」に則(のっ)り、地球環境の保全に配慮し、持続可能な発展のできる社会の実現を目指した企業活動を行っている。本稿は、その一環としての、環境調和型電線・ケーブル「エコエース」の開発について報告する。

2. 「環境にやさしい」電線・ケーブルとは

「環境にやさしい」電線・ケーブルとは、何であるか?これを把握するために、まず電線・ケーブルのライフサイクルについて考えてみる必要がある。ライフサイクルを大まかにまとめると(1)

* 千葉研究所 開発室

*² 産業電線事業部 産業技術部

*³ 機器・配電事業部 配電技術部

原材料→(2)製品加工→(3)使用→(4)処理の4段階となる。このサイクルが環境に与える影響は、資源の消費、エネルギーの使用、有害物質の排出である。このうち、資源の消費、エネルギーに関しては、サイクル(1)、(2)を通して製造過程の見直し、効率化の推進等の省資源、省エネルギーについて鋭意努力している。サイクル(3)については特に大きな影響は無いと考える。ここで大きく注目すべきはサイクル(4)であると考えた。

表1に電線工業における被覆材の処理の実態¹⁾を示す。

表1から、現在の処理はほとんどが埋立てであることがわかる。埋立て処理の場合懸念されることは、電線・ケーブル材料中の低分子量成分や、添加剤、経年劣化による分解物などが析出、溶解、浸出してくることである。これらの物質が環境に対して負荷を与える物質である場合、周囲環境へ、多大な影響を及ぼす危険性がある。これに対する一つの回答が、製品中の環境負荷物質の排除である。

また、表1は、被覆材料の再利用つまりリサイクル率が高くな

表1 電線工業における被覆材の処理の実態¹⁾
Actual situation of cable sheath disposal in the cable industry

被覆材	使用量	電線大手6社				ナゲット協議会廃棄量（91社中59社計、全て埋立）
		廃棄		再利用		
		埋立	焼却	再生	熱分解	
ゴム	630	50	1	0	0	1208
PVC	6500	290	0	580	0	3358
PE	3700	160	0	130	0	846
架橋PE	1850	220	95	0	10	
計	12680	720	96	710	10	5412
		816		720		

(単位: t/月)

いことも示している。資源の有効活用という観点から、リサイクル性は重要となってくる。リサイクルには熱利用のサーマルリサイクルや、製品の材料を再利用するマテリアルリサイクル等がある。サーマルリサイクルでは、燃焼時に有害な物質を発生せず、かつ発煙量が少ないことが重要である。また、マテリアルリサイクルには、熱可塑性材料の使用が、再成形容易という点で望ましいと考える。そこで、それぞれのリサイクルに対応できる材料が、一つの回答となってくる。

よって「環境にやさしい」電線・ケーブルとは、以下の2つの点を満たしたものであると考えた。

(A)環境に負荷を与える物質を含有した材料の不使用

(B)リサイクルに対応できる材料の使用

(A)については、現段階で環境に負荷を与えると判明している、あるいは疑いがある物質、及び材料を使用しないことにより実施する。

(B)については、サーマルリサイクル時に問題となる物質を発生しない物質で、かつマテリアルリサイクルに対応できる熱可塑性材料の使用により実施する。

3. 「エコエース」 低圧電線・ケーブルの開発

3.1 材料の選定

以上で述べた2つの観点から、ケーブル・電線被覆材料に使用する原材料を選定した。

環境に負荷を与えないベース材料としてポリオレフィン系樹脂を選択した。

ポリオレフィン系樹脂は、埋設時に問題となるような有害な低分子量成分や重金属類を含まず、燃焼させた場合も、問題となるような物質を発生しない。表2には、ポリオレフィン系樹脂の一種である、ポリエチレン(PE)の燃焼生成ガス成分を示す²⁾。表2より、ポリエチレンはシアン化水素や塩化水素のような有害なガスが発生しないことがわかる。

またポリオレフィン系樹脂は、熱可塑性であることから、マテリアルリサイクルにも対応する素材である。更にハロゲン含有樹脂と比較して発煙性も低いことがわかっている。

電線・ケーブルの被覆材料には、あるレベル以上の難燃性が要求される。一般的な電線に要求される難燃性は、JIS C 3005に規定される難燃傾斜試験において60秒以内に自己消火することである。

表2 各種材料の燃焼生成ガス²⁾
Combustion gas of various materials

発生 ガス (mg/g)	PE	PVC	ナイロン 66	ポリアク リル酸ア ミド	ポリアク リロニ リル	ポリウレ タン	ポリフェ ニレンス ルフィド
HCl	—	286	—	—	—	—	—
CO ₂	738	657	590	796	556	666	1796
CO	210	177	205	157	108	173	161
COS	—	—	—	—	—	—	2.5
SO ₂	—	—	—	—	—	—	423
N ₂ O	—	—	—	—	—	—	—
NH ₃	—	—	9.8	17	—	—	—
HCN	—	—	31	18	56	3.3	—
CH ₄	72	—	40	16	5.9	21	—
C ₂ H ₄	185	—	94	10	—	43	—
C ₂ H ₂	34	11	15	8.5	7.4	14	2.1
ガス 化率(%)	62.5	69.3	60.7	63.3	37.7	51.4	85.1

ポリオレフィン系樹脂を難燃化する手法には、大きく分けて(1)ハロゲンによる難燃化(ハロゲン系難燃剤の添加、樹脂のハロゲン化等)と、(2)金属水酸化物による難燃化の2種類がある。このうち、ハロゲンによる難燃化については、燃焼時にハロゲン化水素を初めとする有害物質が発生するため、環境に対して大きく負荷を与えると考えられる。これに対して金属水酸化物の加熱時に発生する物質は、水と、安定で安全と考えられる金属酸化物のみである。よって金属水酸化物による難燃化は、環境への負荷は低く、本製品の難燃剤には好適である。更に、金属水酸化物は、それを添加した材料の発煙量を抑える効果がある。そこで金属水酸化物による難燃手法を採用することとなった。

図1に、金属水酸化物(例は水酸化マグネシウム)の難燃機構と、プラスチックの燃焼のサイクルとの関係を示す³⁾。

一般にプラスチック材料を加熱すると、図1に示すように、溶融→分解ガス化を通して発火し燃焼する。溶融→分解ガス化するためには、それぞれ0.4kJ/g、0.8kJ/gほどの熱エネルギーが必要とされるが、いったん燃焼を始めると、自ら大量の熱エネルギー(PEで約46kJ/g)を放出し、燃焼のサイクルを形成し、火源が無くとも燃焼し続ける。

金属水酸化物による難燃機構は、図1に示すように、金属水酸化物の添加そのものが可燃物を希釈する。また、金属水酸化物は、加熱によって分解して吸熱反応を起こす。この分解時に水蒸気と燃焼生成物を形成する。水蒸気は可燃性ガスを希釈し、燃焼生成物は断熱層の役割を果たす。これらが燃焼サイクルの中で複合的に作用して難燃効果を発揮する。

しかし金属水酸化物の難燃効果は小さい。例えば水酸化マグネシウムの分解時の吸熱量は、-0.75kJ/gであり、ポリオレフィン系樹脂の燃焼時の発熱量に比較してはるかに小さい。よってポリオレフィン系樹脂に難燃性を付与するためには、大量に配合する必要がある。しかし大量に配合すると材料の機械物性が低下する。そこで材料の機械物性と難燃性のバランスを重視し組成の開発を行った。

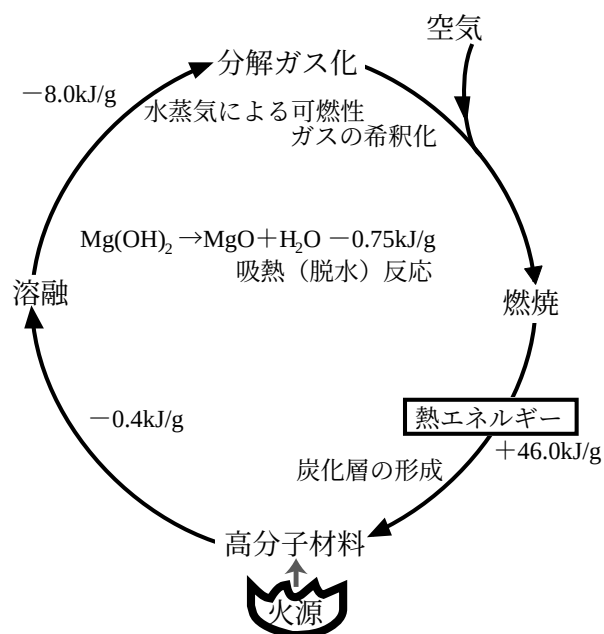


図1 金属水酸化物による難燃機構と、プラスチックの燃焼のサイクル
Flame retardant mechanism and combustion cycle of metal hydroxide

ポリオレフィン系樹脂に金属水酸化物を配合した場合、難燃助剤として、リン系難燃剤が使用されることが多い。しかしリン系難燃剤は発煙量を著しく増加させることから、本製品の開発には不適と考え、リン系難燃剤は使用しないこととした。

またケーブルの被覆材料には、難燃剤以外にも、ケーブル材料としての特性を満足させるために必要な添加剤が配合される。開発組成に使用するそれら添加剤についても、環境に負荷を与えと考えられていないものを使用した。

表 3 に被覆材料の特性を示す。

表 3 より電線被覆材料に要求される特性を満たすのみならず、従来電線より優れた耐寒性を示すことがわかる。また、定格温度が従来の 60℃に対して 75℃と高くなるため、約 1.3 倍電気容量が大きくとれ(周囲温度 40℃、気中、暗渠布設時)、サイズダウンの図れる場合がある。

このほかに、ケーブル被覆材料の選定と同様に分岐材料についても開発を行い、従来品と同等の特性を持ち、安全性、リサイクル性に優れた材料を開発した。

3.2 ケーブルの特性

表 4 に、「エコエース」低圧電線・ケーブルの特性を示す。

発煙時の見通し距離 $S(m)$ については、火災便覧²⁾の式より、ケーブルの発煙量から次式に従って求めた。

$$S = \frac{2.7}{C_s}$$

$$C_s = \frac{1}{L} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

C_s : 減光係数 I : 透過光の強度

I_0 : 入射光の強度 L : 光路長 (m)

表 3 「エコエース」低圧電線・ケーブル被覆材料の特性
Properties of covering material for low-voltage Eco-Ace cables

	規格	単位	「エコエース」 被覆材料
引張強度	JIS C 3005	MPa	13
引張伸び	JIS C 3005	%	650
加熱引張残率 90℃×4日	JIS C 3005	%	85
加熱伸び残率 90℃×4日	JIS C 3005	%	93
耐寒性	JIS C 3005	℃	-50以下
ハロゲン化 水素ガス発生量	JCS 397	mg/g	0
酸素指数	JIS K 7201		26
定格温度		℃	75

表 4 「エコエース」低圧電線・ケーブルの特性²⁾
Characteristics of low-voltage Eco-Ace cables

特性項目	規格	単位	エコエース	従来ケーブル
難燃傾斜試験	JIS C 3005		合格	合格
ハロゲン化水 素発生量試験	JCS 397	mg/g	0	250~320
ケーブルの発 煙量：透過率	IEC1034	%	92	25
発煙時の 見通し距離	ケーブルの発 煙量から算出	m	97	6

本開発品は、従来品と同等の難燃性を持つのみならず、燃焼時にハロゲン化水素のような有害物質を発生しない。

また、ケーブルからの発煙量は非常に少なく、見通し距離は、従来ケーブルと比較して約 16 倍確保できることがわかる。一般的に火災時避難に必要な見通し距離は、建物不案内者の場合約 15m と言われることから、火災時の安全性も高いことがわかる。

3.3 「エコエース」低圧電線・ケーブルラインナップ

表 5 に、「エコエース」低圧電線・ケーブルの種類を示す。

写真 1 に「エコエース」低圧電線・ケーブル、写真 2 に「エコエース」EM-BH 分岐部を示す。

3.4 ケーブルの一括リサイクル

現在では問題が多いが、将来的に分別回収システムが整備された場合、被覆材料と副資材(テープ、介在類)の一括したマテリアルリサイクルが意味を持つようになっていく。そこで以下の検討を行った。

図 2 に 600V EM-CEE 3×14mm² の場合のケーブルを構成

表 5 「エコエース」低圧電線・ケーブルラインナップ
Low-voltage Eco-Ace cable products

種類	ケーブル記号
低圧電力ケーブル	600V EM-CE, 600V EM-CET
低圧用平型ケーブル	600V EM-EEF
制御・計装用ケーブル	EM-CEE, EM-CEE-S
絶縁電線	EM-IE
消防用耐火電線	FT-8-C
分岐付きケーブル	EM-BH



写真 1 「エコエース」低圧電線・ケーブル
Low-voltage Eco-Ace cable products

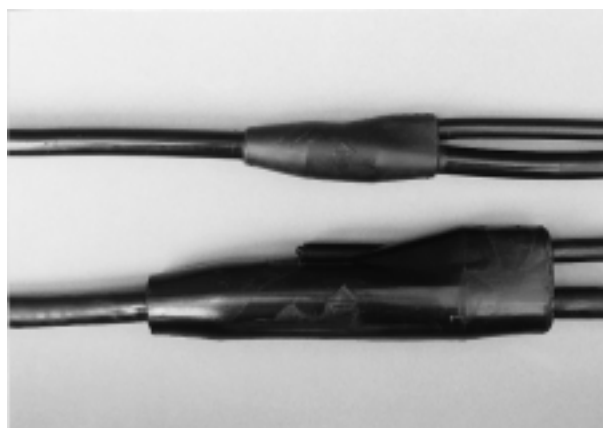


写真 2 「エコエース」EM-BH 分岐部
Eco-Ace EM-BH branch

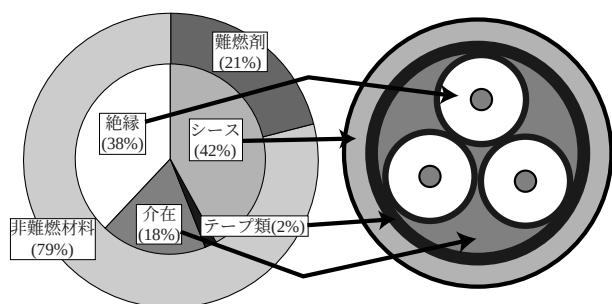


図2 導体以外のケーブルの構成重量比
(600V EM-CEE 3 × 14mm²)
Weight ratio of constitutional materials other
than conductor for an Eco-Ace cable

する導体以外の各材料の重量比率を示す。

シース材料以外を非難燃として、かつシース材料の難燃剤の重量比率が50%であると仮定すると、ケーブルの導体以外の構成材料中の難燃剤は21%となる(これはケーブル構造、サイズ、シース材料中の難燃剤の重量比率によって異なる)。この場合、導体以外のケーブル構成材料を混ぜ合わせてシースに再利用するには、難燃性が低くなりすぎる可能性がある。そこで、シース材料の新材料と、ケーブルから採取したりサイクル材料を混合した場合について検討した。

まず、600V EM-CEE 3 × 14mm²を製造した。使用した介在、テープ等の副資材は、電線・ケーブルに使われる介在、押さえテープ類のうち、ポリオレフィン系樹脂からなるもので、融点140℃以下のものを使用した。つぎに、製造したケーブルから導体を抜き取り、それ以外の構成材料を粉砕した。これを粉砕品とする。つぎにシース材料と粉砕品を1:1で混合したものと、3:1で混合したものを用意した。これらを混合品とする。粉砕品、及び混合品それぞれを、加圧式のニーダーにて、160℃で混練し、シート成形を行った。シートの評価結果を表6に示す。

表6からわかるように、粉砕品は、そのままシース材料に使用するには不適切な程度まで難燃性が低下した。また、加熱伸び残率が大きく低下した。これらは、粉砕品中の難燃剤量及び老化防止剤量が不適切であるためと考えられる。よって混合品とすることが望ましく、複数回数リサイクルする場合は、シース材料の混合比率を高める必要がある。

4. 「エコエース」高圧ケーブルの開発

4.1 ケーブルの耐外傷性向上

高圧用途のケーブルは、管路内に布設する等の要求からケー

ブルシースに大きな側圧がかかりやすい。このため「エコエース」低圧電線・ケーブルで開発した被覆材料をシースに使用した場合、管路の段差で外傷を受ける可能性があることが判明した。このため低圧用と同様に、(1)環境に負荷を与える物質を使用しない、(2)リサイクルに対応できる、という2つの観点に従って、ポリオレフィン系樹脂と金属水酸化物難燃剤を使用したうえで、その耐外傷性を向上させる被覆材の開発を行った。

ポリオレフィン系樹脂と金属水酸化物難燃剤を配合した場合、先に述べたように金属水酸化物の大量配合が必要となり、これは機械物性を低下させる方向に働く。金属水酸化物のようなフィラーは、樹脂に融けて存在しているのではなく、樹脂中に点在している形で存在する。このような材料が機械的な力を受けた場合、樹脂、フィラー間で剪断を起こす場合が多く、これが樹脂単体の場合より機械物性を落とす原因である。このことから、樹脂と金属水酸化物との接着の向上は、外傷性を向上させることにつながる。そこで、樹脂と金属水酸化物の接着力を向上させる目的で、接着性ポリオレフィンを配合した。表7には、開発組成の特性を示す。開発組成は十分な機械特性を持ち、また非常に高い硬度を示している。

4.2 ケーブルの特性

開発組成をシースに使用して、6kVEM-CET 3 × 60mm²を作成した。ケーブルの特性について表8に示す。写真3にJIS C 3005に規定された難燃傾斜試験風景を示す。表中の外傷試験の図を、図3に示す。これはケーブル試料に荷重を載せて管路を模擬した架台の上を引いたときのケーブルの損傷を見る試験である。ケーブルに損傷が見られない場合、合格となる。写真4に外傷試験後のケーブルを示す。

表8及び写真4からわかるように従来ケーブルと比較して開発品は、外傷試験250kg/mに合格する満足な外傷性を供えることがわかる。

表7 「エコエース」高圧ケーブル被覆材料の特性
Properties of covering material for high-voltage
Eco-Ace cables

	規格	単位	「エコエース」 被覆材料
引張強度	JIS C 3005	MPa	12
引張伸び	JIS C 3005	%	600
加熱引張残率 90℃×4日	JIS C 3005	%	94
加熱伸び残率 90℃×4日	JIS C 3005	%	95
硬度 (ショアD)	ASTM D2240		49

表8 「エコエース」高圧ケーブルの特性
Characteristics of high-voltage Eco-Ace cables

	規格	単位	エコエース	従来ケーブル
シース直流 耐電圧試験	JEC3403		25kV 1分間合格	25kV 1分間合格
難燃傾斜試験	JIS C 3005		合格	合格
発煙量	ASTM E662		96	250～300
ハロゲン化水 素発生量試験	JCS 397	mg/g	0	250～320
外傷試験			250kg/m 合格	250kg/m 合格

表6 リサイクル品の特性
Properties of recycled sheath material

	単位	シース材料 A	粉砕品 B	混合品 A:B=1:1	混合品 A:B=3:1
引張強度	MPa	12	13	15	14
引張伸び	%	610	630	670	688
加熱引張残率 90℃×4日	%	85	110	90	85
加熱伸び残率 90℃×4日	%	101	65	79	93
酸素指数		28	21	24	25

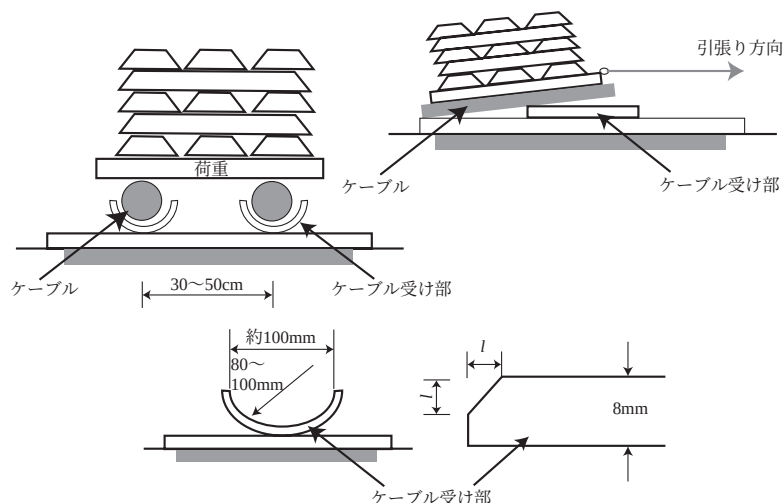


図 3 外傷試験
Damage resistance test



写真 3 難燃傾斜試験風景
Flame retardation test (JIS C 3005)

このように、環境にやさしく、ケーブル布設時にも問題のない「エコエース」高圧ケーブルが開発できた。

5. おわりに

近年の環境問題に対応するために、環境にやさしい電線・ケーブルについて考え、「エコエース」の開発を行った。その結果以下の成果を得た。

(1)「環境にやさしい」電線・ケーブルとは(A)環境に負荷を与える物質を使用しない、(B)リサイクルに対応できる材料を使用する電線・ケーブルと位置づけ、ケーブル被覆材料の開発を行った。

(2)開発した被覆材料を使用し、環境に優しく、低発煙である「エコエース」低圧電線・ケーブルを開発した。

(3)耐外傷性を向上させた「エコエース」高圧ケーブルを開発した。

今後は、環境調和性と経済性、機能性のバランスに優れた環境調和型電線・ケーブルを提供すると共に、関係各方面と協力して、リサイクル推進に取り組んでいきたいと考える。

参考文献

- 1) 伊東他:「JECTEC における電線ケーブル被覆材のリサイクル共同研究の紹介」JECTEC「ゴムプラスチック材料のリサイクル」調査研究会第一次報告書 1994
- 2) 火災便覧, 日本火災学会編, 共立出版 1984
- 3) 石井他:「非ハロゲン系難燃ケーブルの開発」電線ケーブル研究会 EC93-3
- 4) 鈴木他:「エコマテリアル電線“エコエース”の開発」電線ケーブル研究会 EC98-23

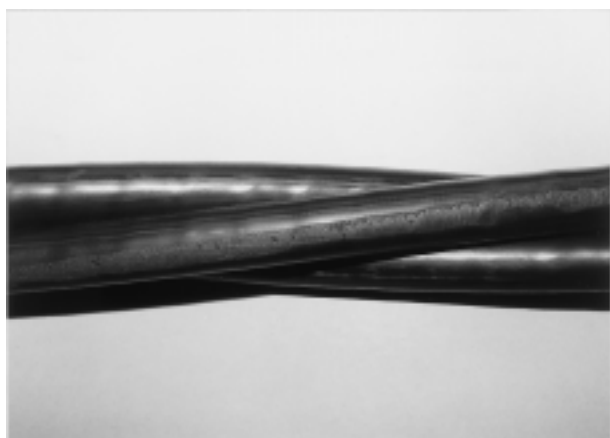


写真 4 外傷試験後のケーブル
Appearance of a cable after damage resistance test