

耐電食性ウェザストリップ用 EPDM 材料の開発

中野寛之^{*1}

Development of EPDM Materials for Non-Conductive Weather Strips

Hiroyuki Nakano^{*1}

要旨

近年、EV 車の急速普及に伴い、燃費向上のために車体の軽量化要求が高まっており、ドアパネル等に鉄よりも軽い金属（マグネシウム、アルミニウム）の適用が検討されている。しかしこれらの金属は鉄よりもイオン化傾向が高く、接触するゴム製品を介して電気回路が形成されることで、「電解腐食（電食）」が発生する懸念が高まっており、高電気抵抗化したゴム材料の開発が求められている。

今回開発した耐電食性ウェザストリップ用 EPDM 材料の配合設計は、導電性を有するカーボンブラックと非導電性の無機系白色フィラーの配合比率を最適化し高電気抵抗を発現させるが、白色フィラーの影響によりゴムの比重が増加し、加工性が悪化する傾向となる。そのため、新たな配合設計手法を用いることで、比重増加させることなく高電気抵抗を維持することが可能となり、ラゲージウェザストリップ製品向けの配合を設定し、量産化を実現した。

Abstract

With the rapid spread of EVs in recent years, there is an increasing demand for lighter weight vehicle bodies to improve fuel economy. The use of metals (Mg, Al) that are lighter than steel on door panels has been investigated. However, because these metals have a higher ionization tendency than steel and there is concern of electrolysis corrosion when they are in contact with rubber products, there is a need to develop rubber materials with high electrical resistance.

I have developed EPDM materials for non-conductive weather strips, optimizing the mixing ratio of conductive carbon black and nonconductive inorganic white filler to produce high electrical resistance. However, the specific gravity of rubber increases due to the influence of white filler, and workability tends to become worse. Using a new recipe design technique, it was possible to maintain high electrical resistance without rising specific gravity. A recipe was then established for luggage weather strips and mass production was achieved.

1. はじめに

近年、日本でも軽量化のために車体の素材にアルミニウムやマグネシウムなど、鉄よりも軽い金属を採用する検討が進んでいる。これらの金属は、鉄よりもイオン化傾向が高く（図-1）、接触するゴム製品を介して電気回路が形成され（図-2）、電解腐食（電食）、特に異種金属接触腐食に対する懸念が高まっている（図-3）。

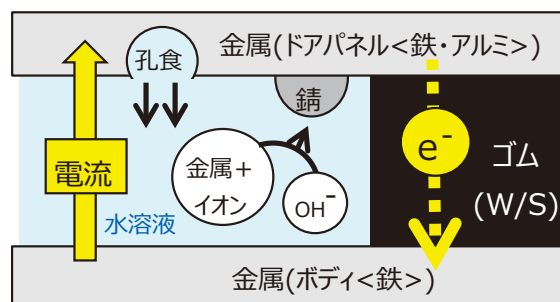


図-2 電解腐食メカニズム

←大(酸化しやすい)										→(酸化しにくい)小←									
K	Ca	Na	Mg	Al	Zn	Fe	Ni	Sn	Pb	(H)	Cu	Hg	Ag	Pt	Au				

図-1 イオン化傾向

*1 材料技術部 ゴム材料技術室

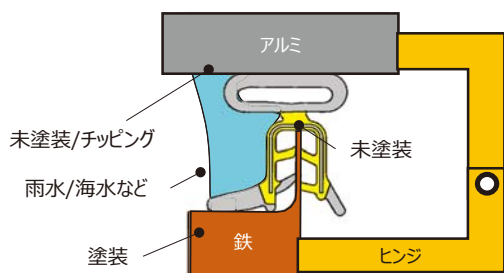


図-3 ゴム製品を介して電気回路形成

電食を防止する方策として、製品に使われるゴム材料を高電気抵抗化することで電気回路を遮断する手段が有効であり、今回はラゲージウェザstriップ向け EPDM 材料の高電気抵抗化として報告する。

ウェザstriップ (図-4) とは、車の開口部 (ドア、トランク、窓ガラス、サンルーフ) に装着し、雨風や騒音から室内を守るほか、ドア開閉や窓ガラスの昇降をスムーズにするといった多くの役割を担う製品である。



図-4 ウェザstriップ (ドア周り)

2. 電気抵抗値の目標設定

一般的にゴムポリマーの電気抵抗値は、 $1E+10 \sim 1E+16$ ($\Omega \text{ cm}$) と言われているが、カーボンブラックを配合したウェザstriップ用のゴム材料は電食を発生させる懸念がある抵抗値となってしまう (図-5)。

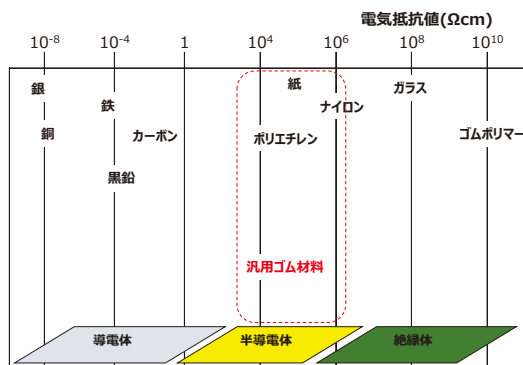


図-5 材料別の電気抵抗値

今回、電気抵抗値を引き上げることによって、電食リスクを低減させることを目的とし、現行材比 10^2 倍 ($\Omega \text{ cm}$) 以上と目標値を設定した。

なお、電気抵抗値は、JIS K6271-1 又は ISO 14309 に準拠して測定した。

3. 高電気抵抗化の考え方と検証

3-1. 従来技術の高電気抵抗化

ゴム材料の配合は一般的に、ポリマー (生ゴム)、カーボンブラック、オイル、フィラーから成り、この中のカーボンブラックにより、強度などの材料物性を発現させている。一方でカーボンブラックは導電性を有しているため、ゴム材料は電気を通しやすい性質を持っている。

まず、カーボン種 (表-1)、カーボン比率による高電気抵抗化の効果を確認した (図-6)。

表-1 カーボン種

	カーボンA	カーボンB	カーボンC
鎖長: DBP 吸収量 ($\text{cm}^3/100\text{g}$)	115	152	124
平均粒子径 (nm)	43	72	85

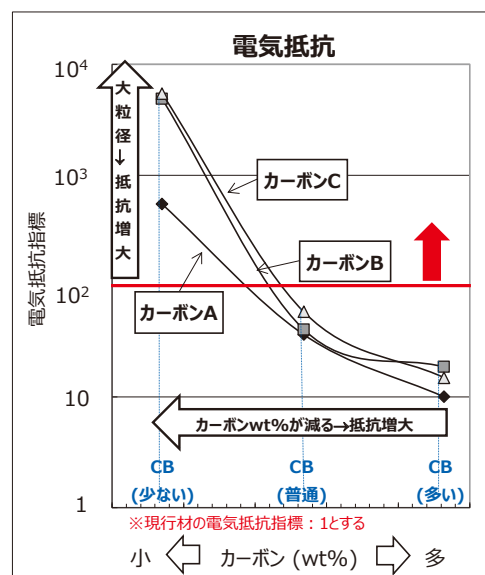


図-6 カーボン種・カーボン比率の効果

配合部数を固定し、カーボンブラックを減らした分を白色フィラーに置換して、電気抵抗値と比重の変化を調査した (表-2)。カーボンブラックの選定について、配合比率により、いずれも適用可能となるが、材料コストとのバランスを考慮して選定する必要がある。絶縁性の高い無機系白色フィラーを増量することで、配合に占めるカーボンブラックの割合が低減し高電気抵抗化が可能となる。

表-2 目標抵抗値を満たす配合

使用カーボン種	現行材		電気抵抗 現行比 10 ² 倍		到達配合		目標値
	A	A	B	C			
カーボン量(-)	100	62.6	69.6	71.2			
電気抵抗指標	1	× 10 ²	○ 10 ²	○ 10 ²	○ 10 ²	○ 10 ²	10 ² ≤
比重	1.30	○ 1.35	× 1.34	× 1.34	× 1.34	× 1.30	≥ 1.30

※カーボン：現行材を 100 とした場合の指数を示す
 ※電気抵抗指標：現行材を 1 とした場合の指数を示す
 ※材料コスト：A < B < C

しかし、比重の高い無機系白色フィラーの増加は、ゴム材料自体の比重増加に直結し、車の軽量化要求とは逆行することになる。また、カーボンブラックの比率を減らしすぎると、物性が著しく低下してしまうため、最小限の比率は確保しなければならない。

3-2. 開発材の考え方

無機系白色フィラーに加え、今回、比重の低い有機系の軽量フィラー（表-3）を採用し、カーボンブラックと合わせて充填剤の最適配合を実施することで、ゴム材料自体の比重増加をさせることなく電気抵抗目標値を満足させる（図-7）。

表-3 カーボン/フィラーの特徴

	カーボンブラック	白色フィラー	軽量フィラー
比重	1.8	2.7	0.4 ~ 1.4
長所	補強性付与	安価 非導電性	非導電性
背反事項	導電性	重い 補強性無し	混練加工性に 難有り

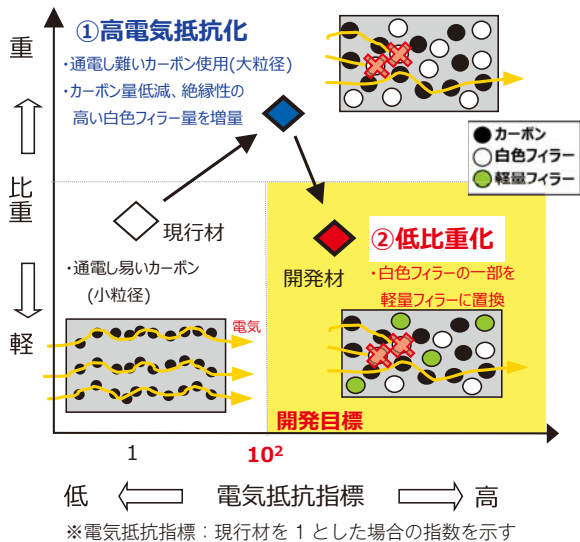


図-7 開発材の考え方

3-3. 軽量フィラーの選定の考え方

軽量フィラーの候補は、大きく分けて中空系とソリッド系の2つに分類され、個々の原材料特性の重要要素（表-4）についてスクリーニングをした。

表-4 軽量フィラー原材料特性の重要要素

		原材料特性		
		耐圧強度	融点	水分率
中空系		✓	✓	✓
ソリッド系		-	-	✓
評価	リスク	"軽さ"の消失	"軽さ"の消失	発泡
	原因	加工時の破壊	加工時の熔融	水分
	目標値	≥ 5.6MPa	≥ 200°C	≤ 0.5%

続いて、ラボ検討で混練加工性（ミキサー / オープンロール）、加硫物性（要求特性）、未加硫物性（ミキサー / オープンロール以外の工程の加工性予測）を確認し、その後、工場検討にてスケールアップし加工性を確認した。

軽量フィラーにより、ゴムポリマーとの相溶性が異なっているが、仮にゴムポリマーとの相溶性が悪い場合、フィラー分散性の悪化、押出性（ガーベダイ）の悪化、テープ切れなどといった加工性不具合に繋がる懸念がある。これらの加工性不具合は加工性評価一覧表（図-8）にて項目をピックアップし、評価漏れがないようにした。

		フィラー配合比率変量 加工性への影響 (小:1 ← 3 → 5:大)				点数 =A× (B+C+D)	コメント
		A.影響度	B.カーボン 変量	C.白色フィラー 変量	D.軽量フィラー 追加		
混練	ヤケ	3	5	1	3	27	
	ミキサーへの材料残り	1	3	5	3	11	
	ロール粘着性	3	3	5	3	33	
	擬似ゲル	3	3	3	3	27	
	フィラー分散性	5	5	5	3	65	影響大
	テープ切れ	5	5	5	3	65	影響大
押出	インサート切れ	3	3	3	3	27	
	エア抱き込み	3	5	5	3	39	
	形状保持性	3	3	3	3	27	
	ヤケ	3	1	5	3	27	
	ゴム圧	3	3	1	3	21	
	押出形状 く込みみ	3	3	3	3	27	
	テープ切れ	3	5	5	3	65	

図-8 加工性評価一覧表（一部）

これらの加工性評価項目の中で、今回の変化点に対して、特に懸念が大きかった項目は①フィラー分散性と②テープ切れとなる。

①フィラー分散性は、本報告では詳細割愛するが、目標を達成するために、混練条件の最適化を実施した。なお、評価方法としては、フィラー分散測定機を使用した（図-9）。

②テープ切れの検証は、判断基準として未加硫でのテープ破断強度（グリーン強度）で判断し、加工性検証を実施した。

テープ切れの有/無が判明しているゴム材料に

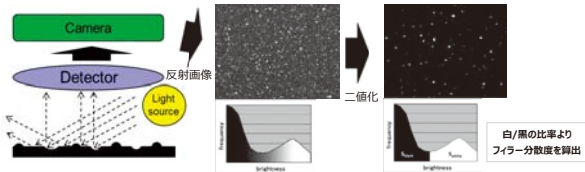


図-9 フィラー分散測定機原理

ついて、グリーン強度の物性結果を分析し、測定温度：60℃にて、評価項目：「伸び」と「抗張積（引張破断エネルギー）」の2種で閾値が存在することを見出し、テープ切れの指標として活用した（図-10）。

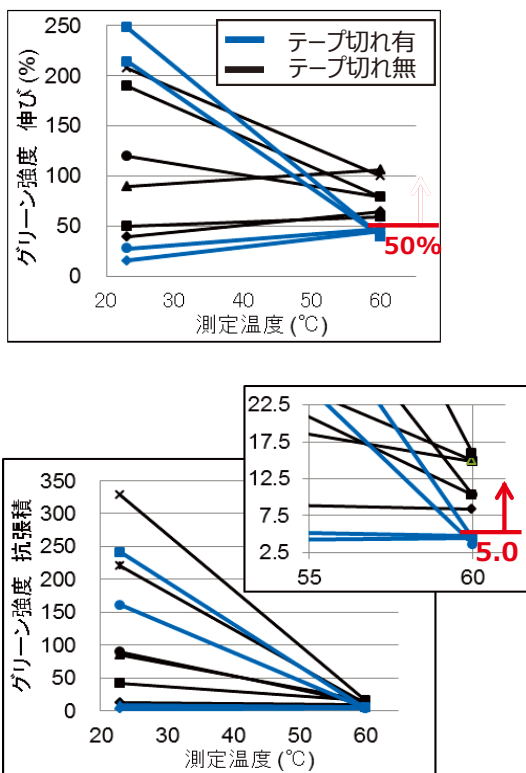


図-10 グリーン伸び／抗張積と測定温度の関係

グリーン強度で見出した結果により、軽量フィラーとして「オレフィン系フィラー」を採用することにした（表-5）。

表-5 軽量フィラーの選定結果

	原材料	比重	原材料特性			ラボで確認		工場で確認
			耐圧強度	融点	水分率	グリーン強度 伸び (≧50%)	抗張積 (≧5.0)	混練作業性
中空系	フライアッシュ	0.7	×	○	×	-	-	-
	ガラスバルーン	0.4	×	○	○	-	-	-
	架橋ポリエチレンフィラー	0.47	○	○	○	×	×	×
ソリッド系	オレフィン系フィラー	0.9	-	-	○	○	○	○
	セルロース粉末	1.4	-	-	×	-	-	-
	ナイロン繊維	1.14	-	-	×	-	-	-
	炭酸カルシウム	2.7	-	-	○	-	-	-

3-4. 軽量フィラーの配合設計

前項にて軽量フィラーとして「オレフィン系フィラー」を採用したが、既存配合にも使用している「オレフィン系フィラー①」とエチレン割合の低い「オレフィン系フィラー②」を適用（表-6）し、最適な添加比率設定を60℃雰囲気下のグリーン強度の伸びと抗張積により、決定した（図-11）。

表-6 オレフィン系フィラー特性

	エチレン割合 (wt%)	粘度 ML1+4 @100℃	融点 (°C)
オレフィン系フィラー①	77	20	99
オレフィン系フィラー②	52	40	-

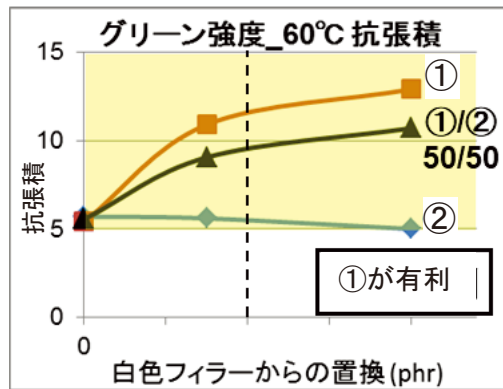
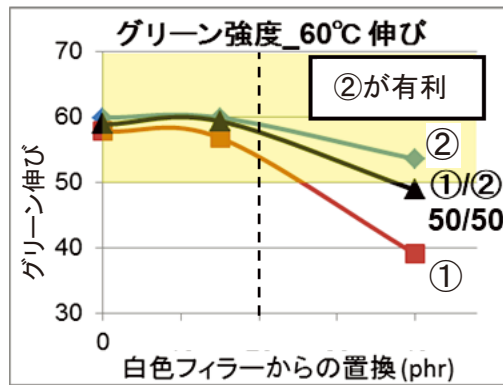
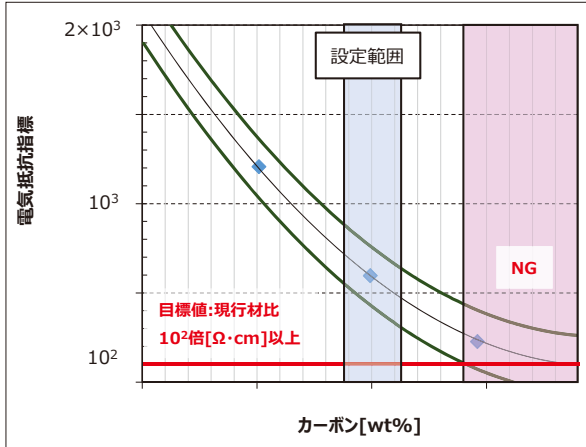


図-11 オレフィン系フィラー添加量設定

伸びと抗張積を考慮して、①/② = 50/50（等量配合）に設定し、工場での混練加工性／押出加工性の確認を実施した。

3-5. 実用配合の設定

電気抵抗指標の目標値：現行材比 10² 倍以上を満足するカーボンブラックの実用配合を設定した。このカーボンブラック配合量設定範囲は、量産工程での電気抵抗値の工程能力を十分確保している（図-12）。



※電気抵抗指標：現行材を 1 とした場合の指数を示す

図-12 カーボンブラック配合量の設定範囲

なお、図-12のカーボンブラックは表-1で検討したカーボン A であり、カーボン種が異なる場合は、上記のグラフとも異なる傾向を示す。

3-6. 工場での加工性確認

高電気抵抗性、低比重、加工性を満たす配合設計を確立し、工場での検討結果にて混練加工性と押出加工性に問題がないことを確認できた(表-7)。

表-7 開発材の目標値に対する結果

		現行材	開発材	目標値	寄与する製品特性
電気抵抗指標		1	5.5×10 ²	10 ² ≤	耐電食性
比重		1.29	1.28	1.30 ≥	製品重量
グリーン 強度 60℃	伸び (%)	55	78	50 ≤	混練 / 押出時の テープ切れ (加工性)
	抗張積	8	12	5 ≤	
フィラー分散度 (%)		89	90	85 ≤	—
テープ切れ有無		無し	無し	無し	—

※電気抵抗指標：現行材を 1 とした場合の指数を示す

4. まとめ

今までのゴム材料の高電気抵抗化は、白色フィラーを添加することによる高充填化で、比重（重

量）増加を伴うものだったが、オレフィン系の軽量フィラーを活用した豊田合成独自の最適配合技術を実施することで、比重増加を抑制しながら、電気抵抗値を高め、加工性も従来レベルを満足することが可能となった。

今回の材料を適用したラゲージウェザーストリップ(図-13)は、2018年発売の新規車種に採用され量産化された。

今後は培った配合技術を基に、他のゴム材料の開発に応用し、適用していく計画である。

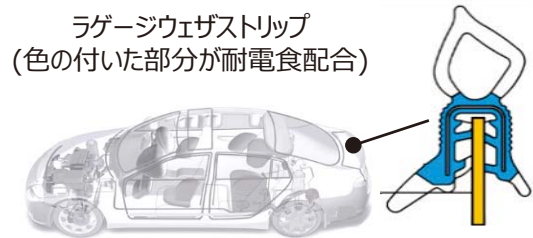


図-13 ラゲージウェザーストリップ

5. おわりに

最後に、今回の材料開発に関わるすべての関係者、及び開発材の適用から生産準備、量産化に関わったすべての関係者に対して、心から感謝いたします。

著者



中野寛之