

## 第 2 章

### シリコーンの化学

## 2. 分子構造が生み出す特徴

### 耐熱性が優れる理由

シリコンの耐熱性は、商用流通しているポリマーの中において特に優れている。その理由を考察する前に、一般論として「ポリマーの耐熱性」とはどのような性質なのかを検証したい。

耐熱性は、有機系ポリマーにおいて抗酸化性と同義である。抗酸化性の優れたポリマーは耐候性も良好であり、それらを総括して「耐老化性に優れている」と評されることが多い。シリコンにも、この評はそのままあてはまる。

耐熱性を論ずる場面では、欠かせない視点がある。シリコン以外の有機系ポリマーは、組成物という形が利用の最終形態となっている。当然、ポリマー単独での利用はされていない。組成物には、多様な有機化合物が配合設計者の考え方に沿って添加されている。代表的な添加配合材として、ポリマーの酸化を防止する酸化防止剤や、老化防止剤、紫外線吸収剤などが挙げられる。それらの有機化合物には耐熱性の上限温度が明確に存在している。おおよそ170℃程度の熱履歴が連続的に加わると酸化や解離、変質を始め、やがて実用に耐えない水準にまで劣化する。

つまり組成物という前提がある限り、仮に有機系ポリマー自身の耐熱性が優れていたとしても、組成物を維持するために必要な配合材料は、170℃程度の恒常的な環境で期待されるべき機能が果たせなくなる。それら有機化合物の耐熱性限界が、ポリマー組成物全体を律することになり、ポリマーだけに着目した耐熱性論証は意味を持たない。

一方、シリコンは組成物形態にするための添加剤を基本的に必要としない。極論すればポリマーと架橋剤だけで完結する製品もある。したがって実用に供されるシリコンの耐熱性は、シリコンの耐熱上限によってのみ一義的に決まる。これは、すべてのポリマーを対象とする耐熱性の比較において、比較の意味をも問い直す特異的な立ち位置といえる。

ポリマーの耐熱性に影響する因子として「主鎖の結合解離エネルギー」と、「発生ラジカルに対する抗力」の2点が主なものとして挙げられる。シリコンに関しては、ケイ素原子と酸素原子の結合解離エネルギーの高さが耐熱性の根源として語られている。

# 第 4 章

## シランカップリング剤の化学と選定

カップリング剤がフィラー表層の物理吸着力の作用でフィラー表面に固定される。すると、肝心の界面にシランカップリング剤が拡がることは望みにくい。その現象が起こらないものとして提案されている(4-3)式は、机上の空論になりやすい。なお、(4-3)式に代わって推奨できる計算式は見あたらない。この部分もユーザー側の経験の積み重ねが、成否に直結しやすい。

シランカップリング剤のポリマー組成物系に対する配合は、その添加のタイミングや攪拌所要動力の総和、作業環境の温度や湿度、無機材料であるフィラーの比表面積や吸油量といった多くの要素でそれぞれに影響を受ける。それらを勘案した最適量を求める理論式などは、初めから期待できないと心得るべきである。

現実的にシランカップリング剤を使いこなしている会社では、その製造ラインで起こる諸要素を予測できる実験法を確立していることが多い。あくまで、実工程の予想再現実験を通して最適量が決定されている。当然ではあるが、加水分解傾向の強いシランカップリング剤の特性を考慮し、工場の環境湿度の管理と四季を通した振れ幅、および配合するフィラーの平衡含水率情報は常に把握しておかねばならない。

## 工業材料としての距離感

高分子組成物技術者の中には「カップリング剤 青い鳥症候群」とも形容すべき事態に陥る方が少なくない。フィラーを用いて特性の物性を発現させる課題を背負った場合、そのフィラーに好適なカップリング剤があるはずだと思い込む。自身の理解が足りていない工業材料に対して、そこに一筋の光明を見つけないという心情は分からなくもない。

そして、シリコンメーカーが広報しているカップリング剤カタログに掲載されている品目を次から次に選択し供試を続ける。これは高分子組成物分野に限らず、珍しいことではない。技術課題が解決していない状況下では、客観視する余裕も失われやすく、果敢な技術者ほど前のめりになりやすいようだ。

シリコンメーカーの営業サイドとしては、このような技術者は上得意である。普段、ほとんど商用流通していない特殊部類に入るシランカップリング剤は、100 cc程度でも試薬級の値段でラインナップされている。それらは年に数回、大学の研究室から注文が入る程度の品目である。シリコンメーカーであれば特殊部類のカッ



第 7 章

高付加価値型シリコンゴムの  
基本設計と活用の視点

## 1. 特性付与の方法論

本章では想定読者として、シリコンメーカーの技術者ではないが、高分子組成物関連の配合設計や加工技術に習熟しているベテラン技術者を念頭に置いた。特に、有機ゴムと称されるシリコン以外のゴム技術者に伝えたい事項が章の中心軸を成している。

ゴム業界で当然のように行われ、それぞれの会社で独自技術にもなっているのがポリマーブレンドである。ところが、シリコンゴムではそれが不可能となる。すべて、シリコン100%のゴム組成物に仕立てる以外に術がない。さらに、ゴム配合の基本材料であるステアリン酸と老化防止剤類がシリコンゴムには不要である。手間のかかるというか、技術の見せ所でもある架橋調整もパーオキシサイドの単種配合で済む。求められるのは、その量の加減だけである。

つまり自社のゴム配合技術が投影できる素地を、シリコンゴムはほとんど持ち合わせていない。ポリマー単体を入手したとする。その配合に新入社員がチャレンジしても、この道数十年の有機ゴム技術者が工夫を凝らしても、目的が同じであれば配合設計の行き着く先は似通う。経験則としての技術の差が、見えにくいポリマーなのである。

各社の命運を握るといわれている配合設計領域においても、シリコンでは知的財産権の芽さえも見出すことが難しい。まとめれば、有機ゴムの配合設計技術者にとってシリコンゴムは食指が動きにくい、魅力にも乏しい存在といえる。

これらの異質をわきまえると、一般的なゴム技術者でも“シリコンゴム感”らしきものが自意識の中に醸成される。シリコンメーカー以外のゴム技術者がシリコンゴム相手に独自技術を生み出すことなど、夢物語に近い。シリコンゴムの配合検討にかかる時間があれば、シリコン以外のゴム技術の研究開発に充てた方が賢明である。これはベテランゴム技術者が抱く共通的な諦念でもある。

シリコンゴムの開発黎明期ならいざ知らず、令和の時代において新たに発掘できるシリコンゴムの可能性はなきに等しい。昭和の時代に日本で繰り広げられたシリコンゴムの特性を引き出す組成物の開発は、世界的に見ても技術的に群を抜いてい

# 第 8 章

## ミラブル型シリコンゴムの配合設計入門

本章は、天然ゴムを始めとする多種多様なゴム用ポリマーを操る有機ゴム系の配合技術者が、それまでに経験のないシリコンゴムの配合設計を理解するために不可欠な概要情報をまとめた。さらに進めて、初めてシリコンゴムの配合設計する場合に、予め認識すべき特異事項についても解説する。

逆も真なりでシリコンゴム配合技術者にとっては、有機系ポリマーと呼ぶシリコン以外のゴム組成物との、根本的な差異と異質を認識できる情報としても活用されるようにまとめた。

## 1. シリコンの個性

日本のゴム産業の特徴なのだが、10数種類ほど存在するゴム用ポリマーにおいて、シリコンゴムだけ扱ったことのないゴム製品会社は多数派である。また、当然のことかも知れないがシリコンメーカーはシリコン以外のゴム用ポリマーを扱わず、それ以前に扱える技術力自体を備えていない。当然、有機系ゴムメーカーとの技術交流など生まれる素地はない。

欧米のシリコンメーカーとの折衝経験を持つゴム技術者であればご存じのように、ポリマーや特定のシリコンオイルなどの原材料とされている品目も、多くは購入可能である。ただし、それに技術サービスは付帯せず、購入側からの問い合わせにも基本的に応じない。それでも、シリコン関連の材料の扱いに相応の経験があれば、自社でシリコンゴムの配合設計を進めることに困難は少ない。

日本のシリコンメーカーは、その点で異質である。“閉鎖性”という形容が似合うが、原材料の外販や製造技術情報の類は門外不出が金科玉条であるような振る舞いを続ける。彼らが著したシリコンの技術解説類は、一般のゴム技術者にとってほとんど参考になりにくい。他のポリマーなど扱ったことのないシリコンゴム一筋の技術屋がシリコンを解説しても、どのような記述や情報がポリマー組成物工業の世界に有効に作用するのかについて、知る術を持たないからである。これらのことも甘受しなければならない、日本におけるいびつな現実となる。

ゴムの配合設計に用いられる構成材料は、多種多様に存在する。ポリマーの種類を