

電気を流すプラスチック（導電性高分子）とは  
九州大学先端物質化学研究所

吉澤 一成（よしざわ かずなり）

私たちは金属、半導体、絶縁体を導電率（どうでんりつ）によって区別します。電気を流すかどうかの尺度である導電率 $\sigma$ は電気抵抗の逆数で、 $\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ の単位で表されます。銀や銅などのように電気をよく流す金属の導電率は  $10^5 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$  です。半導体であるシリコンは電気をある程度流し、その導電率はだいたい  $10^{-5} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ 。電気を流さない絶縁体のポリスチレンの導電率はだいたい  $10^{-20} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$  です。

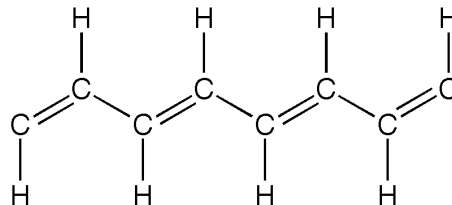


図1. いろいろな物質の導電率（辻野貴志「ナノエレクトロニクス.jp」）

図1はいろいろな物質の導電率を対数（log）で示したものです。この対数を使うと、 $10^5$ は-5と表されます。この数が1増えると電気が10倍流れやすくなることを意味します。ふつうのプラスチック（高分子）は絶縁体ですが、ある種のプラスチックは電気をよく流します。このようなプラスチックを導電性高分子といいます。導電性高分子の代表はポリアセチレンという高分子です。ポリアセチレンはアセチレンの三重結合の手がほどけてたがい



アセチレンからポリアセチレンを作る



C は炭素、H は水素をあらわす

に結びついてできた高分子です（図2）。白川英樹先生はポリアセチレンを薄い膜に作る方法を開発し、「ドーピング」という操作を行うことによりこの高分子が銀や銅のように電気をよく流すことを見つけました。このたいへん素晴らしい発見により、白川先生に2000年のノーベル化学賞が授与されたのです。

図2. アセチレンからポリアセチレンをつくる

高分子に電気が流れるにはどのような構造が必要なのでしょう？それは高分子の鎖に「共役二重結合」（きょうやくにじゅうけつごう）という構造があることが重要となります。共役した分子というのは、ポリアセチレンのように炭素の一重結合と二重結合が順番に繰り返している構造をもつ分子のことです（図2）。ポリアセチレンの炭素原子はとなりの炭素原子と二重結合をつくっていますが、そのうちひとつは「 $\sigma$ 結合」（シグマけつごう）というエネルギー的に安定な強い結合で、もうひとつは「 $\pi$ 結合」（パイけつごう）という比較的弱い結合です。そのため $\pi$ 結合にある電子は動きやすいという特殊な性質をもっています。下の図で炭素原子と炭素原子を直接結んでいる白い色の結合が $\sigma$ 結合、オレンジ色の $\pi$ 軌道どうしを結んでいるのが $\pi$ 結合です。

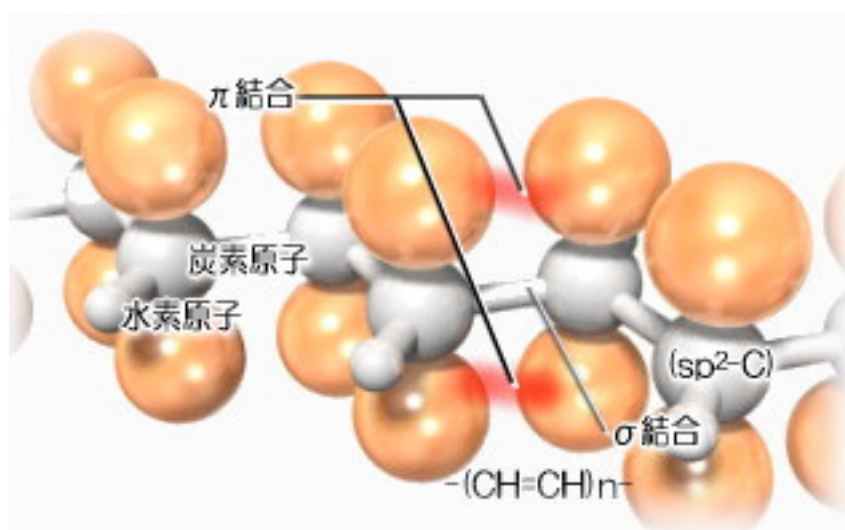


図3. ポリアセチレンの $\sigma$ 結合と $\pi$ 結合（辻野貴志「ナノエレクトロニクス.jp」）

ポリエチレンの場合は、鎖が $\sigma$ 結合だけからできていて $\pi$ 結合を含まず、電気が流れるには不都合な構造になっています。そのため、ポリエチレンの導電率は $10^{-17} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ と絶縁体の領域にあります。このように、ポリアセチレンとポリエチレンの導電率の違いは大きく違うことが分かります。ただし、ポリアセチレンには電気の通り道は存在しているが、すべての電子が結合に使われてしまって、自由に動けるあまりの電子がほとんど存在していません。あまりの電子がいなければ電気は流れません。ポリアセチレンも純粋なままではほとんど電気を通さないのです。そこである仕掛けをすることによって、ポリアセチレンの電子の数を増やし、導電率を大きく上昇させることができます。その仕掛けというのが「ドーピング」なのです。ドーピングによってポリアセチレンは新しい種類の金属（合成金属とよばれる）になります。

導電性高分子は、新しい電池の電極や有機ELディスプレイ材料として使われており、有機トランジスタなどへの応用についても研究されています。