

第1章

原子の成り立ちと周期律

われわれは自然の中に生まれ、多くの物質に囲まれ、自然界で起こる多彩な現象を眺め、自然界に存在するいろいろな物質を利用しながら生活をしている。自然科学は自然の中の現象と、それに関わる物質について研究する学問であり、物理学、化学、生物学、地学などいくつかの分野に分けられており、互いの協調によって自然界に秘められた真理を追究する学問である。

化学は物質に関する学問であり、物質の構造や性質、化学変化とエネルギーの関わりなどについて研究が進められてきた。20世紀までに多くの法則が発見され、理論が組み立てられた。化学の発展により、多くの有用な物質が創りだされ、われわれは便利で豊かな物質文明を享受している。しかし一方では、この人類の繁栄の陰に地球環境の破壊が急速に進行したことも事実であり、21世紀は環境の世紀と位置付けられている。人類の幸福と文化の向上に貢献し、全ての生物をはじめ地球環境の保全に深く寄与することも化学の目的の1つと考えられる。

本章では物質の最も基本的な粒子である原子の構造を調べ、元素の性質との関わりについて述べる。

1-1 原子の構造

ラボアジエ¹⁾が1789年にその当時までの元素に関する報告をもとに33種を元素と認定した。その後新しい元素が相次いで発見され、現在その数は110余に達している。それぞれの元素は固有の性質をもち、それは原子構造と深い関わりがあると考えられる。

1-1-1 原子を構成する粒子

原子に関する重要な発見が19世紀末頃から20世紀にかけて相次いでなされ、原子はドルトン²⁾の考えたような分割することのできない究極の粒子ではなく、いくつかの素粒子からなることが明らかになった。19世紀後半に、負の電荷をもつ電子と、同じ大きさの電荷で正の値をもち、電子の1840倍の質量をもつ陽子が発見された。また1911年には

1) A.L.Lavoisier(フランスの化学者、1743~1794)。

2) J.Dalton(イギリスの化学者、1766~1844)。

ラサフォード³⁾により、原子の中心の非常に小さい容積に質量の殆どすべてが集中して存在しているということが明らかにされた。これが原子核であり、当時原子核は陽子からなると推定されていた。さらに、シャドビック⁴⁾は1932年に、質量が陽子とほぼ同じで、荷電のない粒子を発見して中性子と名づけた。現在では、原子核は陽子と中性子からなり、これらは互いに強い力で結合していると考えられている。

原子核中にある陽子の数は原子番号に相当し、元素を特定するものである。また、原子核中にある陽子と中性子の総数は質量数とよばれ、その総質量が原子の質量となる⁵⁾。一部を除きほとんどの元素では、同一元素でも質量数の異なる原子が存在する。これらを互いに同位体とよび、その天然における存在比をかけた平均値が原子量である。質量数12、14の炭素の同位体はつぎのように表す。



原子を構成するこれら素粒子⁶⁾は物質の最も基本的な粒子であると考えられる。表1-1に素粒子の性質を示す。

表1-1 原子を構成している粒子

粒子	記号	質量 (kg)	原子質量単位*	電荷 (クーロン)
中性子	n	$1.674\ 95 \times 10^{-27}$	1.008 678	0
陽子	p	$1.672\ 62 \times 10^{-27}$	1.007 275	$+ 1.602 \times 10^{-19}$
電子 ⁶⁾	e	$9.109\ 3 \times 10^{-31}$	0.000 549	$- 1.602 \times 10^{-19}$

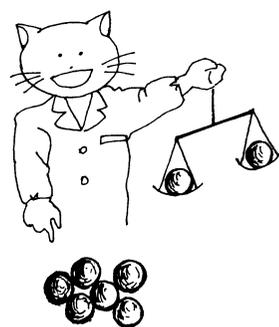
* 原子質量単位： ${}^{12}_6\text{C}$ の原子質量 (12.000 0) の1/12
 $1 \times 1/N_A = 1.660\ 43 \times 10^{-27}$ kg $N_A = 6.022\ 13 \times 10^{23}$ ⁷⁾

1-2 原子スペクトルと原子構造

陽子と中性子からなる原子核とそれを取り巻く電子が、どのようなしくみで原子を形づくっているのか、また物質の示す種々の性質をどのように原子構造と合理的に結びつけることができるのかについて調べられ、理論が組み立てられた。このさい、物質にエネルギーを加えたとき、物質の放出する光の性質に関する研究はきわめて重要であった。

1-2-1 光の二重性と水素の原子スペクトル

光の二重性 光のエネルギーは波動⁸⁾として運ばれるという考えは、光の干渉や回折現象などを説明するのに有効である。しかし、光電効果⁹⁾や光化学反応を説明することはできない。プランク¹⁰⁾は光のエネルギーが定まった単位量 (量子) で運ばれるという粒子性につながる新しい考えを提唱し、アインシュタイン¹¹⁾ (1905年) はこれを光電効果に適用して成功を取めた。



同じ元素でも重さの違うものがあります

- 3) E. Rutherford (イギリスの物理学者、1908年ノーベル化学賞を受賞、1871～1937)。
- 4) J. Chadwick (イギリスの原子物理学者、1935年ノーベル物理学賞を受賞、1891～1974)。
- 5) 電子の質量は陽子や中性子に比べて無視できるほど小さいので、陽子と中性子の質量の和を原子の質量と考えてさしつかえない。
- 6) 素粒子には、このほか中性微子 (2×10^{-8} amu)、中間子、陽電子 (荷電が+の他は電子と同じ) など数多く発見されているが、化学の領域ではこの3者で大方説明づけられる。
- 7) 0.012kgの炭素12 (${}^{12}\text{C}$) に含まれる炭素原子と同数の構成粒子を含む系の物質量を1モル (mol) という。その数は約 6.02×10^{23} 個であり、この数値をアボガドロ数 (N_A) という。
- 8) 光の波動性： $v = \frac{c}{\lambda}$, $\bar{v} = \frac{1}{\lambda}$
 λ : 波長, c : 速度, v : 振動数,
 \bar{v} : 波数
- 9) 波長の短い光 (光量子) を金属にあてるとその表面から電子が飛び出す現象。
- 10) M. Planck (ドイツの理論物理学者、1858～1947)。
- 11) A. Einstein (ドイツの理論物理学者、1921年ノーベル物理学賞を受賞、1879～1955)。黒体が高温で光を放射する実験事実から量子仮説とよばれる新しい考えを提出した。

第5章

酸と塩基

酸や塩基は、いたるところで私達の生活に密接に結びついている。一般に、酸は食生活でなじみが深く、食酢（酢酸）、梅干し、ワイン、レモンやミカンの果汁などに含まれており、酸っぱい味がする。直接の酸性・塩基性とは少々異なるが、食品には、酸性食品、塩基性食品¹⁾という分類もある。また最近、酸性雨、湖沼や河川など環境の酸性化が、地球規模の環境問題としてクローズアップされている。酸と塩基の中和反応は、最も基本的な反応の1つで、高校の化学の時間に中和滴定の実験を経験した学生も多いと思う。

この章では、酸と塩基の種類やそれらの性質、濃度とpHとの関係などについて学ぶ。

5-1 水溶液中における酸・塩基（アレニウス説）

アレニウス²⁾は1884年にNaClを水に溶かすと電気を通すようになるのは、荷電をもった粒子（イオン）に分かれるためであるという考えを提出した。この電離説³⁾に基づいて酸・塩基はつぎのように定義された。

酸は水溶液中で電離して水素イオン（ H^+ ）となる水素原子をもつ化合物である。



塩基は同じく水酸化物イオン（ OH^- ）となるOH基をもつ化合物である。



すなわち、水溶液中において酸の特性を示すものは H^+ であり、塩基の特

1) 無機質としてS、Cl、Pなどを比較的多く含む食品は、代謝されて体液に酸性を示す化合物に変わるので酸性食品、またNa、K、Mg、Caなどの多い食品はアルカリ性となるのでアルカリ性食品という。一般に穀類、肉類は酸性、野菜類、果実類、いも類はアルカリ性食品である。

2) S.A.Arrhenius(スウェーデンの化学者、1903年ノーベル化学賞を受賞、1859～1927)。

3) 溶液中の電解質はある一定の割合いで正と負のイオンに分かれているという考え方。

4) たとえば二価の酸である炭酸はつぎのように解離する。

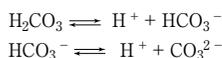


表5-1 酸・塩基の種類

一価の酸	HCl, HNO ₃ , CH ₃ COOH
二価の酸 ⁴⁾	H ₂ SO ₄ , H ₂ CO ₃ , H ₂ S, H ₂ C ₂ O ₄
三価の酸	H ₃ PO ₄ , H ₃ AsO ₄
一価の塩基	NaOH, KOH, NH ₄ OH
二価の塩基	Ca(OH) ₂ , Ba(OH) ₂
三価の塩基	Al(OH) ₃ , Fe(OH) ₃

性はOH⁻によって与えられる。

5-1-1 水素イオン濃度とpH

水はきわめてわずかであるがつぎのように電離平衡が成り立っている。



このとき水素イオンの濃度 [H⁺] と水酸化物イオンの濃度 [OH⁻] との積 K_W は一定となり、常温で 10^{-14} となる⁵⁾。これを水のイオン積という。

$$K_W = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14} \quad (5-4)$$

この関係は質量作用の法則に基づいて得られた⁶⁾もので、純粋の水の中ではもちろん、酸や塩基の水溶液の中でも成り立っている。したがって水溶液の酸性、アルカリ性の度合を表すのに [H⁺] または [OH⁻] のいずれか一方を指定すれば十分であり、通常は [H⁺] が用いられている。しかし、 10^{-a} の形で表すのは面倒で間違いやすいことから、ゼーレンゼン⁷⁾ はつぎの関係で表される pH という概念⁸⁾ を提出した。pH は比較しやすい平易な値となるので、現在広く用いられている。

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} \quad (5-5)$$

酸性、アルカリ性の範囲はつぎのように区分される。

酸性	[H ⁺] > 10 ⁻⁷	pH < 7
中性	[H ⁺] = 10 ⁻⁷	pH = 7
アルカリ性	[H ⁺] < 10 ⁻⁷	pH > 7

表5-2 種々の物質のpH

トイレ用洗剤	0.5	梅干し	1.4
胃液	1.8~2.0	レモン果汁	2.4
酢	2.7	ワイン	3.0~3.7
オレンジジュース	3.1~3.4	スポーツドリンク	3.5
ビール	4.3	トマトソース	4.3
しょう油	4.5~4.9	尿	4.8~7.4
牛乳	6.4~7.2	台所用洗剤	7.0
血液	7.4	木灰浸出液	9.6
海水	8.3~8.4	台所用漂白剤	12.5

5) K_W は温度によって変化する。

温度 (°C)	K_W
0	0.11×10^{-14}
25	1.01×10^{-14}
60	9.6×10^{-14}
100	5×10^{-13}

6) $\frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} = K$

このとき水の電離はきわめてわずかであるから [H₂O] は一定とみなすことができ、 $K[\text{H}_2\text{O}] = K_W$ として式 (5-4) が得られる。

7) Sørensen (デンマークの化学者、1868~1939)。

8) pHのほか pK_a や pOH も同様に用いられ、それぞれ K_a や [OH⁻] の負の対数を示す。

5-1-2 酸・塩基の強さと解離定数

酸は水溶液中で電離してH⁺イオンを出すものであり、このとき電離する割合を電離度 (α) といい、その大小が酸の強弱を表すものと考えられる。塩酸や硝酸などは、αがきわめて大きく、電離が完全で、強酸とよばれ、酢酸や炭酸などはαがきわめて小さく弱酸とよばれている。

いま1価の弱酸をHAで表すと、その電離平衡は次式で示される。

第7章

簡単な有機化合物

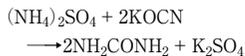
有機化合物は、19世紀の初期には、生命体によってのみつくられ、人工的に合成することはできない物質であると考えられており、ベルツェリウス¹⁾ (1807年)は“生命機能のある”という意味を含めてこの生命関連物質を有機化合物と定義した。しかし、ペーラー²⁾ (1828年)は偶然の結果として無機化合物から尿素を合成し、有機化合物の生成に生命力を必ずしも必要としないことを発見した。それ以来多くの有機化合物が合成され、“有機”という語の本来の意義は失われ、名称だけが残った。本章では数百万にもものほる多種多様な有機化合物のうちごく基本となるものについて述べることにする。

7-1 有機化合物とは

有機化合物とは炭素を骨格とする化合物のことをいい、それ以外の物質を無機化合物とよんでいる。ただし、二酸化炭素 (CO₂)、一酸化炭素 (CO)、炭酸塩 (CaCO₃ など) などは無機化合物として取り扱われる。

1) J.J. Berzelius (スウェーデンの化学者, 1779~1848)

2) F. Wöhler, ドイツの化学者, 1800~1882) シアン酸カリウムと硫酸アンモニウムを熱してシアン酸アンモニウムを得ようとしたところが、溶液を蒸留すると典型的な有機化合物である尿素ができていた。



3) 炭素の化合物を総称して有機化合物と定義したのはグメリン (L. Gmelin, ドイツの化学者, 1788~1853年) である。近年、同族のケイ素で炭素を置き換えた化合物が合成され、従来の有機化合物と類似した性質を示すことから、有機化合物に加えられている。

有機化合物³⁾の主な構成元素は炭素と水素であり、その他窒素、酸素、硫黄、ハロゲンなどを含む。

7-1-1 有機化合物と無機化合物との相異

有機化合物と無機化合物の間には、一般に次のような相異点がある。

- 1) 有機化合物は一般に可燃性、無機化合物は不燃性である。
- 2) 有機化合物は一般に水に溶けにくく、有機溶媒に溶けやすい。無機化合物は水に溶けるものが多い。
- 3) 有機化合物は一般に非電解質であり、無機化合物は電解質のものが多い。
- 4) 有機化合物の融点は一般に低く、300℃以下で融けるものも多く、無機物の融点は非常に低いもの (水素 - 259℃, 酸素 - 219℃) から非常に高いもの (鉄 1535℃, 銅 1083℃) まで幅が広い。
- 5) 有機化合物の比重は一般に1より小さく、無機物の比重は一般に

1 より大きい (鉄7.86, 鉛11.34)。

- 6) 有機化合物を構成する元素の種類は比較的少数 (C, H, N, O, S, ハロゲンなど) であるが, 化合物の数は数百万にも及ぶ。無機化合物は全ての元素を含むが, その数は数万にすぎない。

7-1-2 有機化合物の分類

有機化合物の分類は, 化合物の形による方法と, 性質を特徴づけている官能基に基づく方法とがある。化合物の形による分類は図7-1に示

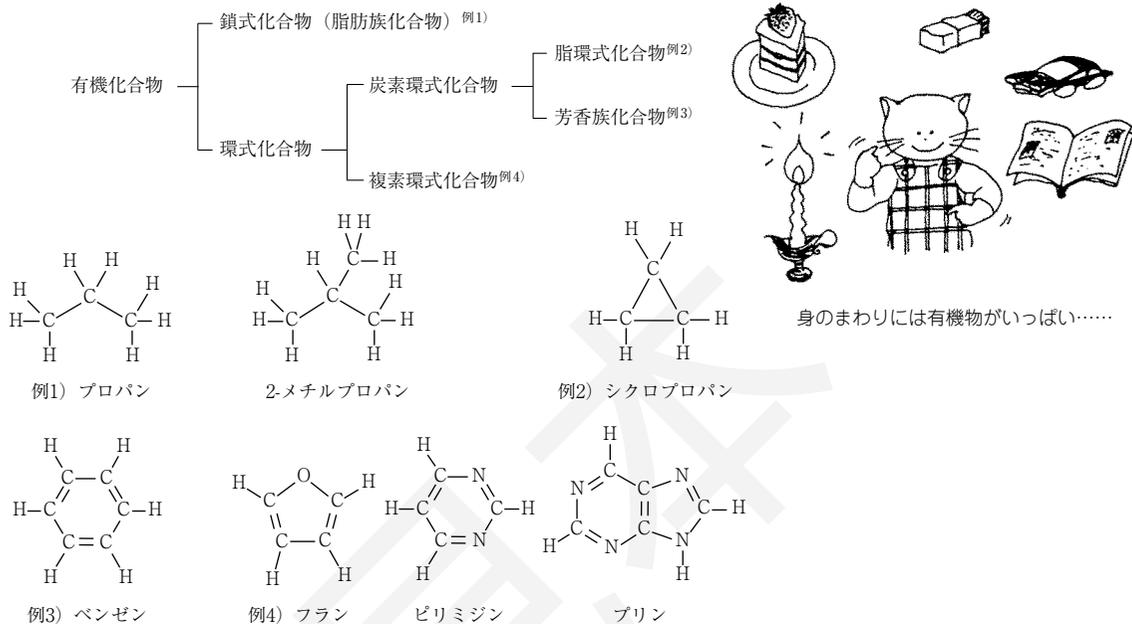


図7-1 化合物の形による分類

表7-1 主な官能基の種類と物質名

類名 (総称)	官能基	一般式	例
アルコール	-OH	R-OH	C ₂ H ₅ OH エタノール
エーテル	-O-	R-O-R'	C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅ エチルエーテル
アルデヒド**	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}=\text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{R}-\text{C}=\text{O} \end{array}$	CH ₃ CHO アセトアルデヒド
ケトン**	$\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{O} \\ \diagdown \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R} \\ \diagup \\ \text{C}=\text{O} \\ \diagdown \\ \text{R}' \end{array}$	CH ₃ COCH ₃ アセトン
カルボン酸	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{C} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	CH ₃ COOH 酢酸
エステル	-COOR	R'-COOR	CH ₃ COOC ₂ H ₅ 酢酸エチル
アミン	-NH ₂	R-NH ₂	CH ₃ NH ₂ メチルアミン
フェノール	-OH	Ar-OH	 フェノール
スルホン酸	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{S}-\text{OH} \\ \\ \text{O} \end{array}$	Ar-SO ₃ H	 ベンゼンスルホン酸

* ヒドロキシル基ともいう。

** アルデヒドとケトンの両方をあわせてカルボニル化合物ともいう。

*** アルデヒド基とケト基の両方をあわせてカルボニル基ともいう。

第10章

生活の中の有機物質

われわれの身の回りには多くの有機物質があり、生命を支え、文明を進展させている。本章ではこれら生活に深く関わる有機物質の中で主として合成高分子化合物のプラスチック・ゴム・合成繊維や医薬など化学の生み出した物質に焦点を合わせてみよう。

10-1 合成高分子化合物

10-1-1 プラスチック（合成樹脂）

第8章で示したセルロース、デンプン、タンパク質、核酸などは低分子有機化合物（単量体）が繰り返し結合した天然高分子化合物である。この構造的特徴を模倣し、全く新しい性質を示す合成高分子化合物が工業的に開発され、使用されている。

合成樹脂は熱に対する性質により熱可塑性樹脂¹⁾と熱硬化性樹脂とに分けられる。この性質は重合の仕方、付加重合と縮重合、の違いによって出現する。熱可塑性樹脂はポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ポリ塩化ビニルの4種が最も多く生産されている。熱硬化性樹脂は合成樹脂に占める割合が少ないものの、その中でもユリア樹脂、フェノール樹脂、ポリウレタン樹脂が代表的である（図10-1）。

合成樹脂 { 熱可塑性樹脂（熱で軟化して成型可能）— 付加重合（鎖状構造）
熱硬化性樹脂（熱で硬化する）— 縮重合（網目構造）

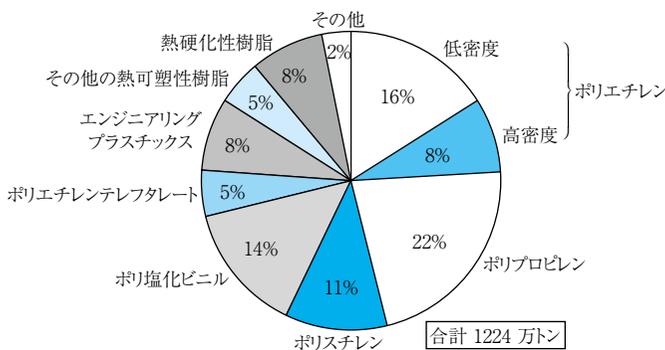


図10-1 2008年国内プラスチック生産量（経済産業省統計より）

1) 熱可塑性とは加熱で軟化した樹脂に力を加えて変形させた後、力を取り除いても元に戻らない性質をいう。加熱で軟化し、冷やすと硬化するので成型加工が簡単にできる。

熱可塑性樹脂 ほとんどのものはエチレン部分の二重結合が互いに付加反応することを基本として重合したもので、Rの種類によって異なる樹脂が生成する。



- R: H エチレン ポリエチレン
- R: CH₃ プロピレン ポリプロピレン
- R:  スチレン ポリスチレン
- R: Cl 塩化ビニル ポリ塩化ビニル

ポリエチレンには高圧法で重合した枝分れの多い低密度ポリエチレンと低圧法の枝分れが少ない高密度ポリエチレンがある。低密度のものは透明で柔らかいのでフィルムやポリ袋などに、高密度のものは結晶部分が多く不透明で固いのでポリ容器やポリビンなどに用いる。主なプラスチックの種類、略語、用途、特徴などを表10-1に示す。

表10-1 主なプラスチック

種類	略語	単量体	用途	特徴
低密度ポリエチレン	LDPE	CH ₂ =CH ₂	容器、包装材、袋、密閉容器蓋	透明、通気性、熱に弱い、ヒートシール性、電気絶縁性
高密度ポリエチレン	HDPE	〃	レトルト用袋、容器、買物袋	耐熱性、耐油性、不透明、電気絶縁性
ポリプロピレン	PP	CH ₂ =CHCH ₃	密閉容器、バケツ、魚網、ロープ	耐熱性、透明、電気絶縁
ポリスチレン	PS	CH ₂ =CHC ₆ H ₅	冷蔵・乳酸飲料容器	軽量、硬質、熱に弱い
発泡ポリスチレン	EPS	〃	トレイ、カップ、麺容器	軽量、断熱性
ポリ塩化ビニル	PVC	CH ₂ =CHCl	板や管、野菜包装材料、葺・卵容器	安価、熱に弱い
ポリ塩化ビニリデン	PVDC	CH ₂ =CCl ₂	ラップフィルム、ソーセージ充填用フィルム	柔軟性、耐油性、付着性
ポリメタクリル酸メチル	PMMA	CH ₂ =C(CH ₃)CO ₂ CH ₃	食卓用器具、バッテリーケース	透明・硬質、ガラス性
ポリテトラフルオロエチレン	PTFE	CF ₂ =CF ₂	調理器テフロン加工	電気絶縁性、耐薬品性
ポリエチレンテレフタレート*	PET	H ₃ CO ₂ C-  -CO ₂ CH ₃	ペットボトル	軽量で強度大
		HO-CH ₂ -CH ₂ -OH		電子レンジ用容器

*テレフタル酸メチルとエチレングリコールが鎖状に縮重合したもので、合成繊維にも使われる。

(大竹千代子ほか、『生活と化学』、開成出版より抜粋)

熱可塑性樹脂のほとんどは再び溶かして成形するとリサイクルできるので、ペットボトルやトレイなどの再利用が現在試みられている²⁾。

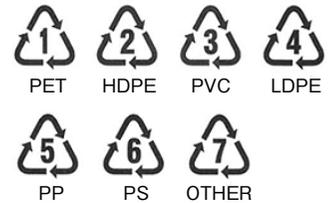
熱硬化性樹脂 熱硬化性樹脂は2種類の単量体から生成した付加重合体または低重合体が加熱や硬化剤によりさらに分子間の架橋や重合が進み三次元網目構造を形成し固くなり、一般に熱や薬品などに強くなるの

コラム

伝導性プラスチックにノーベル化学賞：白川英樹博士(筑波大学名誉教授)と共同研究者のアラン・フィーガー博士(カリフォルニア大学教授)、アラン・マクダイアミッド博士(ペンシルバニア大学教授)に2000年のノーベル化学賞が贈られた。白川博士は、ポリアセチレンの合成条件を変化させることにより「薄膜状ポリアセチレン」、「ケミカルドーピングによる伝導性」、「液晶溶媒中でのアセチレン重合」、「共役系高分子液晶」を発見された。電気絶縁体のプラスチックに電気伝導性を発現させたことは、「プラスチックエレクトロニクス」の分野と我々の生活を大きく変える大発見である。伝導性プラスチックは、低コスト・軽量・優れた加工性があり、ダイオード、スクリーン、バッテリーなどに応用可能である。

2) アメリカプラスチック産業協会(SPI)は分別回収や廃棄処理のためにプラスチック容器にその素材の略語を分類コード(SPIコード)で表示している。日本でもSPIコードで準じた識別マークを採用してペットボトルを初めいくつものものに表示されている。回収されたペットボトルからポリエステル系繊維を再生し、衣類などが作られている。主なプラスチックの分類コードを以下に示す。また、容器包装リサイクル法に基づく識別マークの例も参考として示す。

SPIコードに準じた識別マーク



OTHER: その他

容器包装リサイクル法に基づく識別マーク

