

有害物質の排出現状と抑制対策

—— 自動車排ガス・ダイオキシン・環境ホルモン ——

野 崎 文 男*

【緒言】

高度な科学技術の進展のおかげで、我々は毎日快適な生活がおくれている。しかしその一方で、日常生活や産業活動からの膨大な廃棄物によって、大気・水質・土壌の汚染が進行し自然環境の劣悪化が進行しつつある。

ところで、景気の浮揚と自然環境の保全とは二者択一の面があって、その両立・共生は難しい。経済成長と環境保全とを調和させ共生させるためには大量生産・大量消費・大量廃棄のライフスタイルから適量生産・適量消費・適量廃棄のライフスタイルへの変換が必須で唯一なシナリオであろう。実施困難な省資源・省エネルギーを成功させるには、便利さや贅沢さへの欲求をホドホドに抑え込まなければならない。そして、動脈産業（生産と消費に直結した産業）のみでなく静脈産業（後始末をする産業すなわちリサイクル技術などの環境ビジネス）の一層の育成が必要であろう。

さて、ごく最近の注目すべき話題としては環境ホルモン（外因性内分泌攪乱物質）がある。それらの多くは、優れた機能を有し我々に多くの利便さを提供した化学物質である。しかし、その役割を終えて環境に排出された後で、難分解性で残留性が高いことから長期間にわたって生態に悪さを

する有害物質であることが判明しつつある。一方、特定フロン（CFC）によるオゾン層の破壊も注目された問題であったが、代替フロン（HCFC、HFC）や次世代フロン（温室効果も示さず、フロン類似の機能を発揮する物質）の開発によって、ここ数年がピークで将来的にはオゾン層の破壊は解決に明かるい見通しがたったとされている。しかし、自動車排ガスによる大気汚染、二酸化炭素による地球温暖化、そしてゴミ焼却炉からのダイオキシンや環境ホルモンに関連した諸問題は、引き続きその解決に最大級の努力を払わねばならない重大な課題であろう。

本セミナーでは、(1)自動車排ガス、(2)ダイオキシン類、(3)環境ホルモン類の三項目について、現在までに得られている情報を整理し参考に供したい。

【(1) 自動車排ガスの現状と対策】

排気ガス・渋滞・騒音と自動車の環境に与える問題点は多く、また今に始まった問題ではない。自動車と環境問題とが未解決で悪循環を繰り返している根本的な原因は次の事柄にあらう。すなわち、戸口から戸口へ人や物品を輸送できる自動車の優位性（便利さと迅速さ）と自動車産業に頼ら

ねばならない我国の経済構造とが環境問題の重要性を覆い隠し、環境よりも経済が優先してしまっているからであろう。ともかく、いまさら自動車数を削減したり物流を他の輸送手段に代替させることは不可能であろうから、自動車排ガス対策としては排気ガス量の低減化とその無害化を推進するしか手段はない。

(1)－ 1 自動車排ガスに関する基本的事項（有害成分の種類と量）

我国では、現在7,000万台近い膨大な数の自動車が登録保有されている。この数は免許所有者数と略同じで、一世帯当たり2台近い。一車両の長さを5 mと仮定すると35万kmにもなり、地球を8周以上してしまう長さである。勿論、走行状態にある車両の割合は極めて少なく大部分が駐車場に駐車されているのであろうが、道路が渋滞するのは当然と云える。一方、概数であるが、日本の自動車メーカー11社の年間出荷額（輸出分を含めて）40兆円、年間生産台数1,000～1,300万台、従業員75万人。我国では、自動車産業が基幹産業の一つであり、経済が自動車産業に依存していることが判ろう。国内販売される台数は生産台数の半分ほどであろうが、殆どの自動車が10年以内で廃棄されるのであるから、資源のムダ使いでありゴミ処理量を増やしていると解釈すべきかもしれない。また、輸送手段としての自動車は他の輸送手段に比べてエネルギーを多量に消費するし、石油系の燃料を使用する限り多量のCO₂を排出し続ける。CO₂は地球温暖化に主役的な振る舞いをしていく。しかし、CO₂自体は無害なので、温暖化防止に関連した項目で触れるとして、ここでは有害

成分についてのみ触れる。先にも述べたように、現在の自動車保有台数はおよそ7,000万台〔（大略の内訳）普通乗用車：軽自動車：トラック・バスなどの大型車≒60：15：25〕にも達し、その中でガソリン車とディーゼル車との比率はおよそ7：3と云われている。排ガスのクリーン度からみると、後者の方が前者よりも遥に低く、ディーゼル車の排ガス対策は現在でも容易ではない。

ガソリン車のエンジンからの排ガスには有害物質としてCO、NO_x、HC（未燃焼の炭化水素）の三成分が含まれている。これら有害物質の環境規制には“10モード排ガス規制”が実施されている。ここで、10モードと云うのは、排ガス測定モードの一つであって、表1のような10種類の走行状態を指定された時間内行なって、連続的に排ガス測定をした場合に排ガス中の有害三成分が走行中つねに表2に示した数値を越えないようにするのが“10モード排ガス規制”である。

表2から規制値は除々に厳しい方向に改変されてきたことが判るが、昭和53年度以降は規制値の改変はなく、現在でも53年度規制が継続適用されている（2000年以降にはガソリン車ディーゼル車ともに規制が大幅に強化される予定になっている）。

一方、ディーゼル車については排ガス浄化が非常に困難であったことから、規制も緩かなものにせざるを得なかった事情があった。様々な変遷を経て、最近では表3に示したような規制値に落ち着いたが、ガソリン車の規制よりも相当に緩いことが判る。

ところで、排ガス規制に対する各個の自動車の適合不適合の判定は各地方自治体が責任を持って行なうことが建前になっている。そして、その実

有害物質の排出現状と抑制対策

施時期は新車発売時と車検時とである。新車発売時には相当に厳しく適否の検査が実施されているようであって、規制適合車種のみが新車発売を認可されている。一方、通常の手続き中の車から適宜に抜き取り検査をすることになっているが、極めてルーズであって実際には

全く実施されていないのが実態であろう。

さて、ガソリン車とディーゼル車とでは排ガス中の有害成分の種類も量もかなり異なる。まず、ガソリン車について排ガスの量と成分についてみてみよう。

表1 “10モード” 自動車走行条件

モード	時間(秒)	運 転 条 件
1	20	原動機を無負荷運転している状態
2	7	発進してから速度毎時20kmに至る加速状態
3	15	速度毎時20kmにおける定速状態
4	7	速度毎時20kmから停止に至る減速状態
5	16	原動機を無負荷運転している状態
6	14	発進してから速度毎時40kmに至る加速状態
7	15	速度毎時40kmにおける定速状態
8	10	速度毎時40kmから20kmに至る減速状態
9	12	速度毎時20kmから40kmに至る加速状態
10	17	速度毎時40kmから停止に至る減速状態

表2 ガソリン車の排ガス規制値の推移（単位g/km、10モード走行時）

	昭和48年度			昭和50年度			昭和53年度		
	CO	HC	NOx	CO	HC	NOx	CO	HC	NOx
最大値	26	3.8	3.0	2.7	0.39	1.6	2.7	0.39	0.48
平均値	—	—	—	—	—	—	2.1	0.25	0.25

表3 デイゼル車の排ガス規制値

年 度	平成6年度				平成10年度			
(用途)	CO	HC	NOx	PM ³⁾	CO	HC	NOx	PM ³⁾
貨物車 ¹⁾	9.2	3.8	7.8	0.96	—	—	4.5	0.25
乗用車 ²⁾	2.1	0.4	0.5	0.20	2.1	0.4	0.4	0.08

(註) 1) 単位 g/kWh (単位が通常の g/km と異なる。ただし、単位による数値の違いは大きくはない)

2) 単位 g/km

3) particulate：黒煙に代表される炭素質微粒子

ガソリンエンジンを搭載した自動車からの排ガスの組成は、浄化対策を何もしなければ、表 4 のようである（環境庁大気保全局自動車公害課 昭和51年度資料より引用した）。

表 4 理論空燃比 (A/F=14.7) 付近の混合気を燃焼させたときの排ガス組成の例
(無対策時)

物質名	容積割合(%または ppm)
N ₂	83.5 (%)
O ₂ (アルゴンを含む)	2.22 (%)
CO ₂	13.0 (%)
H ₂	0.23 (%)
◎ CO	0.97 (%)
◎ NO	0.29 (%)
(小計)	100.21 (%)
◎ HC	205 ppm
◎ NO ₂	18 ppm
(小計)	(小計) 223 ppm≒0.02%

(註1) ◎印の物質が排ガスに含まれる有害成分

(註2) 10,000ppm≒1.0%

(註3) 空燃比とは空気と燃料(ガソリン)との重量比であって、A(空気)/F(燃料)=14.7付近が理論値

ここで、表 2 と表 4 では数値の表現方法が異なっていて直接比較できない。そこで判りやすくするために、次の近似計算をしてみた。すなわち、ガソリン 1 ℓ で 10km 走行でき、ガソリンは C₅ ~ C₁₁ の多種類の炭化水素の混合物であるが C₇H₁₆ (ヘプタン、分子量 100、密度 d=0.68 g/cm³) の単一成分からなるものと見做し、時速 40km で走行しているものと仮定すると、ガソリンの消費速度や排気ガス量は下記のように概算される。

ガソリンの消費速度

$$= 40 (\text{km/h}) \div 10 (\text{km}/\ell)$$

$$= 4 \ell / \text{h} = 4 \times 0.68 \div 2.7 \text{ kg/h}$$

空気の密度を 1.17 g/ℓ = 1.17 kg/m³ と仮定し、C₇H₁₆ が完全燃焼したとき次式 C₇H₁₆ + 11 O₂ → 7 CO₂ + 8 H₂O のように、モル数変動が少ないので体積変化はないものとする、

排気ガス量(概算値)

$$= (4 \times 0.68 \times 14.7) \div 1.17 \div 34 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\equiv 34 \text{ m}^3/\text{h} \div 40 \text{ km/h} = 0.85 \text{ m}^3/\text{km}$$

すなわち、1 km 走行するごとに 0.85 m³ の排気ガスを放出していることになる。したがって、浄化対策を何もしなければ表 4 の排ガス組成から走行距離 1 km 当たりに排出される有害ガス成分の量 (g/km) は表 5 のように推算される。

表 5 排ガス対策をしなかった場合の有害ガス放出量 (g/km)

CO	: 0.85 × 10 ³ × 0.0097 × 28 ÷ 22.4 = 10.3
HC	: 0.85 × 10 ³ × 205 × 10 ⁻⁶ × 100 ÷ 22.4 = 0.78
NO _x	: 0.85 × 10 ³ × 0.0029 × 30 ÷ 22.4 = 3.3

表 5 の数値を表 2 の数値と比較すると、CO は規制値 (平均値) に対して 10.3/2.1 = 4.90 (約 5 倍)、未燃焼 HC は約 3 倍、NO_x は 3.3/0.25 = 13.2 (約 13 倍) である。したがって、比較的キレイだと云われているガソリン車の排気ガスでも、何らかの浄化対策をしなければ、有害物質の濃度は規制値を大きく越えてしまっていることが判る。

ところで、最近ではガソリン車もディーゼル車も実際に走行している車両では種々の排気ガス浄化対策がとられていて、一酸化炭素 (CO) や未燃焼炭化水素 (HC) については基準値をほぼク

有害物質の排出現状と抑制対策

リアしている。それに対して、窒素酸化物（NO_x）は浄化処理が困難であって、現在市販されている車でも規制値をクリアし難い状態が依然として続いている。

ここで、大気汚染の指標とされている窒素酸化物（NO_x）の排出量を排ガス対策がなされているガソリン車とディーゼル車について実測したデータがあったので図1に引用した。

なお、窒素酸化物（NO_x）は呼吸器系の疾患や光化学スモッグを誘発する有害ガスであって、40～60ppbの環境基準値が設定されている物質であることを付記しておく。

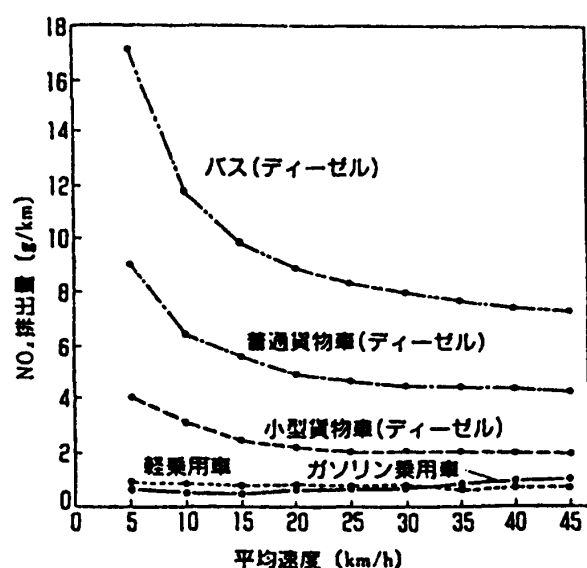


図1 自動車の平均速度とNO_x排出量の関係
(出典：東京都環境保全局)

図1から判るように、ガソリン車では窒素酸化物（NO_x）の排出量はおよそ1 g/km程度であって排出基準値の4倍はあるが、ディーゼルエンジンを搭載している車に比べればまだ許されるレベルと見做されよう。一方、ディーゼル車ではどれもこれも規制値を遥かに上回っているNO_x排出量であって、ディーゼル車からの排ガス対策が難問題であることが判る。また図1から、都内のよ

うに交通渋滞が起こりやすく平均走行速度が低い場所ではディーゼル車からのNO_x排出量は著しく大きいことが指摘できる。さらに、ディーゼル車では加速時にNO_x排出濃度がとくに上昇するので、加速と減速を繰り返す渋滞道路では走行距離あたりのNO_x排出量は著しく増える。そしてさらに問題なのは、ガソリン車と違って、ディーゼル排ガス中にはエーロゾル・黒煙（particulate：炭素質の微粒子）が含まれていることであって、この汚染物質は発癌性があると懸念されていることである。このような事情から、ディーゼル車についてもNO_xを含めて大気汚染物質の発生を抑制する種々の試みがなされてきたが、ディーゼルエンジンは黒煙を多く発生し排気浄化用の触媒機能を直ぐに失活させるなどの理由から、その排気ガス浄化対策はガソリン車に比べるとまだまだ遅れていて早急に画期的な技術開発が望まれる。ところで、自動車排ガス対策には次の①②の基本的な問題点が残されている。①ガソリン車ディーゼル車を問わず、一台一台の自動車が排気ガス規制値をたとえクリアしたとしても、多数の自動車がヒシメキ合って走行した場合、また別の問題点すなわち排ガスの総量規制の問題が残る。輸送手段としての自動車は物品の流通（物流）に対して利便性と迅速性に優れているから、自動車の排ガス総量規制を完全実施することは至難の技であって到底不可能なことになる。②排ガス対策が困難なディーゼル車はガソリン車より経済的に優位にある（燃費もよく、税制上の優遇策から燃料の軽油の単価はガソリンより遥に安く設定されている）のでディーゼル車の数をガソリン車に優先して減らすような施策は経済の原則に反してしまい実施不可能である。

(1)－2 自動車排ガス浄化技術の概略と最近の話題

自動車エンジンからの排気ガスの浄化技術は我が国のそれが世界の最先端にあるとみられている。最近は、多くの新技術が出てきているので、その概略を以下に述べる。

(1) EFI・EGR・TWC 組み合わせ方式による排気ガス浄化システム

ガソリン車に対する一般的な手法であって、今から15年ほど前から実用化されている方式である。この浄化システムでは粗悪ガソリン〔S化合物や

灯油分が混入されているもの〕や加鉛ガソリン〔四エチル鉛 $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ が添加されているもの〕の使用は避けなければならない。S や Pb 化合物で浄化触媒が直ぐに被毒されてしまい、触媒の浄化性能が失われてしまうからである。また、黒煙（スス）や NO_x を多量に発生するディーゼル車の場合にはそのまま適用することは出来ず、さらに工夫を追加するか別の浄化システムに依らねばならない。

ガソリン車からの排ガスには CO 、 HC 、 NO_x の有害三成分が含まれることを先に述べたが、これらは表 6 の①～⑤の化学式で示される反応によって無害化処理される。

表 6 ガソリン車からの排気ガス中の有害三成分(CO 、 NO 、 C_mH_n)の無害化反応

有害三成分を無害化除去するための化学反応	化学反応の特徴点
① $\text{CO} + 1/2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$	CO 、 C_mH_n は酸化反応により無害化除去される。
② $\text{C}_m\text{H}_n + (m+n/4) \text{O}_2 \longrightarrow m \text{CO}_2 + n/2 \text{H}_2\text{O}$	
③ $\text{NO} + \text{CO} \longrightarrow 1/2 \text{N}_2 + \text{CO}_2$	NO は還元反応により無害化除去される。酸素が存在すると反応が起こらない。
④ $\text{NO} + \text{H}_2 \longrightarrow 1/2 \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$	
⑤ $2(m+n/4) \text{NO} + \text{C}_m\text{H}_n \longrightarrow (m+n/4) \text{N}_2 + n/2 \text{H}_2\text{O} + m \text{CO}_2$	

ここで、①と②反応は酸化雰囲気（ O_2 が存在するときに）起こり、③～⑤反応は還元雰囲気（ O_2 が存在しないときに）進行する。したがって、三成分（ CO 、 C_mH_n 、 NO ）を一度に除去処理するためには、排気ガス中の酸素の濃度を過不足のないように制御してやらなければならない。そのための装置が電子制御燃料噴射装置（EFI：Electronic Fuel Injection）であって、これによって空気（Air）と燃料（Fuel：ガソリン）との供給比（重量比）A/F の値を走行中つねに理論

空燃比14.7付近に保っているように制御することができている。

ガソリン車の排気ガス浄化システムの概念図を図 2 に示す。なお、図 2 で、EGR 弁（Exhaust-Gas Recycle Valve）というのは、排気ガスの一部を再循環させるために設置されている弁であって、これによりエンジン内でのガソリンの燃焼温度を低下させて、エンジン内での NO_x 発生量をかなり抑えることが出来ている。

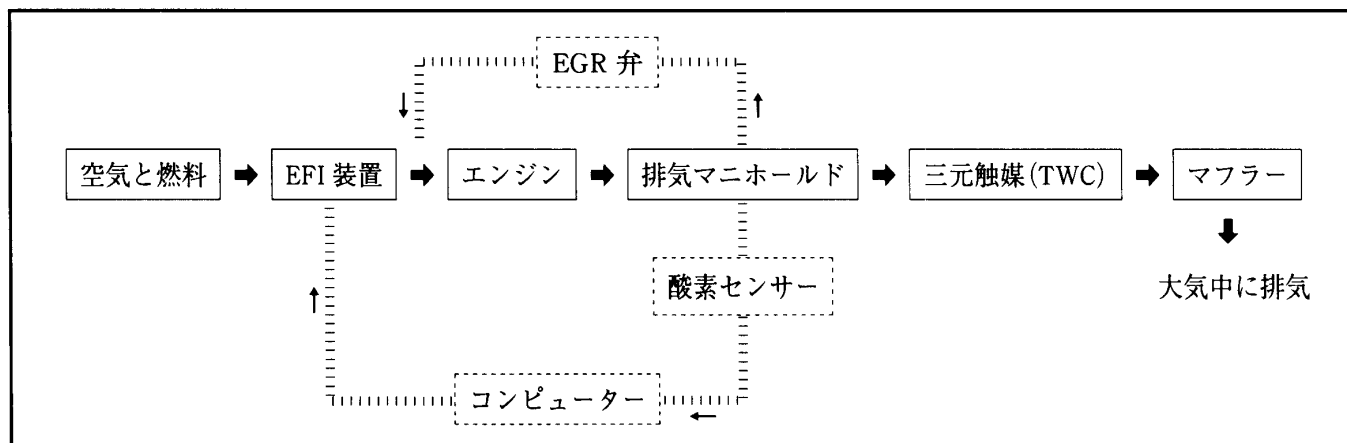


図2 ガソリン車の排気ガス浄化システムの概念図

A/F（空燃比）と有害三成分の無害化除去率との関係を図3に示す。なお、図3で、 $A/F=14.6 \pm 0.2$ の範囲に window として斜線が表示してあるが、その意味はこの狭い A/F の範囲にあれば、有害三成分（NO CO HC）のいずれもが高い変換率（Conversion）で反応除去できることを指している。この狭い $A/F=14.6 \pm 0.2$ の範囲に A/F 値を制御しているのが図2に示されている EFI 装置である。また、図2の酸素センサー（耐熱性のアモルファスの ZrO_2 で作られている）は排気ガス中の酸素濃度の変化によって電気的信号を発

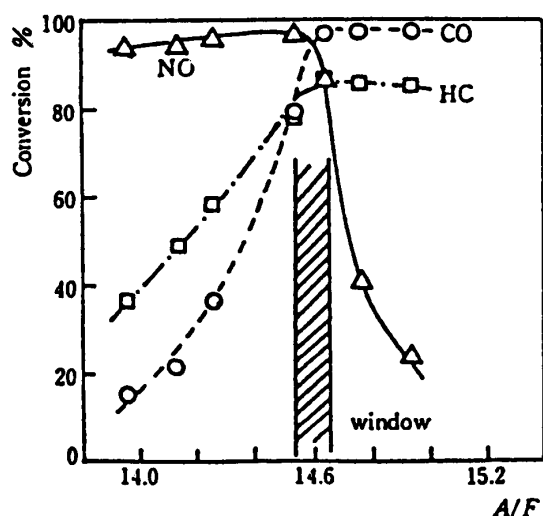


図3 A/F(空燃比)と有害三成分の無害化除去率との関係

し、コンピューターを経由してEFI装置に $A/F=14.6 \pm 0.2$ を保持するように、フィードバック信号を送る役割を担っている。これらのシステムを装備するだけでも20～30万円(?)程度の費用が余分に掛かるが、これによってガソリンエンジンからの排気ガスによる大気汚染がかなり抑えられている訳である。

ところで、図2のTWC（〔Three-ways Catalyst〕；三元触媒方式）コンバータの中に充填されている触媒は、現在ではハニカム形状の基材にアルミナをコーティングし、Pt（またはPd）にRhを組み合わせ、さらにCe等を添加した新型のものが主流である。なお、触媒の形状については実物をお見せできると思いますので御一覽下さい。

(2) デイゼルエンジンからの排気ガスの浄化

既に述べたように、デイゼルエンジン車の場合には、炭素系微粒子 particulate（パティキュレート）が多量に発生し、これが触媒に付着するので触媒機能が失われやすい。また、 NO_x 発生量自体も多くて、排気ガス浄化がガソリン車の場合よ

りも遥に困難である。そのため現在も盛んに研究が継続中であるが、例えば図 4 に示されたような、触媒の成分が異なる二段の層を組み合わせた新しいタイプの浄化触媒が提案されている。

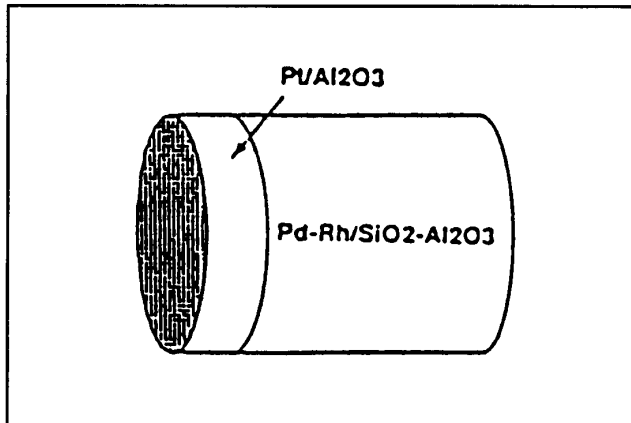


図 4 二段層新型浄化触媒のモデル図
〔(触媒 36,601 (1994)より引用した)〕

この触媒の狙いは、黒煙スス（パティキュレート）を先端部の触媒（Pt/Al₂O₃ 層）で酸化分解し、後部の触媒層（Pd-Rh/SiO₂-Al₂O₃ 層）で NO CO CmHn を無害化処理するところにある。このようなツーステージ触媒の開発によって、浄化が困難であったディーゼル車からのダーティな排気ガスにも対策の技術が及んできた。しかしながら、この種類の浄化触媒は耐久性がまだ十分とは云えない。

もともと、ディーゼル車からのダーティな排気ガスの浄化であるから、その処理対策の技術開発には時間と費用が掛かろう。ディーゼル油（軽油）からガソリンへの燃料の変換を大型車に対しても促すような施策を執るべきかも知れない（米国その他の国のように、税金面での軽油の優遇策を廃止し、ガソリンと軽油類の同率課税を施行すれば、ディーゼル車の数が減り、排気ガス対策が容易になるであろう）。また、ディーゼル車の排ガスの

浄化について、別の手法の開発もなされていて、例えば黒煙などの粒子状物質をセラミックフィルターで捕集し焼却する方式や直噴タイプのディーゼルエンジンも開発されつつある。

(3) 排ガス低減型のリーンバーンガソリンエンジン

リーンバーン（lean-burn 希薄燃焼）というのは、エンジン燃焼室で少ない燃料を多量の空気とうまくかき混ぜて、効率よく燃やす技術である。ホンダ-CVCC（複合渦流燃焼）エンジンもこの考えの初期のものである。マイコン制御技術が進歩した最近では、改めてリーンバーンエンジンの開発が進められていて、主要自動車メーカーにおいては、『近頃の販売数の半分がリーンバーンエンジン搭載車』であるとも云われている。

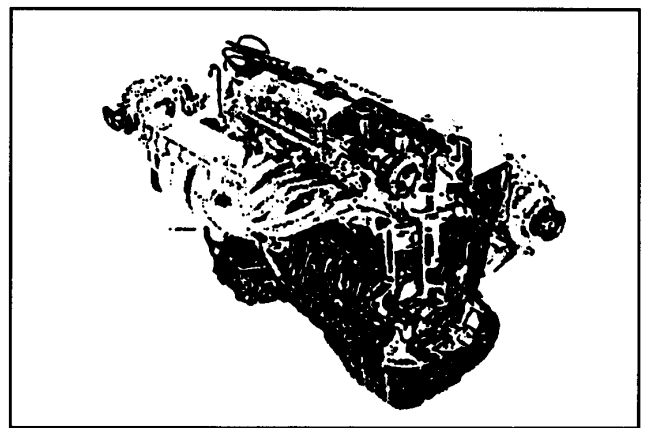


図 5 リンバーンエンジンの例
(トヨタ自動車のカットモデル)

このタイプのガソリン車では空燃比 A/F=17～20の希薄領域でエンジンを駆動させているので、三元触媒浄化方式による NO_x 除去は原理的に不可能であるから、燃焼温度の低下などの他の方法で NO_x の低減化を図り、CO と HC だけを触媒層

で酸化無害化除去処理を行なっているのであろう。燃費をある程度向上できることが売り物となっている。

(4) 燃料直噴型エンジン

平成8年秋に三菱自動車(株)から GDI (Gasoline Direct Injection の略号) -エンジンすなわち、筒内直噴ガソリンエンジンを搭載した車が市販され、評判も可成りよいようである。予めガソリンと空気を混合した上でシリンダー内に供給し燃焼させている従来のエンジンとは異なり、ガソリンを直接筒内に噴射させる新しいエンジンシステムであって、リーンバーン型エンジンよりもさらに大きな空燃比 $A/F=40$ 程度までを実現している。したがって、燃費の向上 (35% up)、パワーアップ (10% up)、CO₂ 排出削減 (35% down) ができると三菱自動車(株)は宣伝している。

ディーゼル車にも燃料直噴型エンジンの適用が検討され、排気ガス浄化が困難なディーゼル車でも相応に良好な結果が得られ始めていると最近報じられた。

(5) ハイブリッドカー (Hybrid-car : ガソリンエンジンと電気モーターとを組合せた車)

① 電気とガソリンの両方で走る車

② CO₂ 排出量と燃費は従来車の1/2

③ 有害排出ガスは規制値の1/10

ガソリンエンジン：1,496cc、出力 58PS

電気モーター：出力 30kW

車体重量：1,240kg、燃料消費率：28km/ℓ

平成9年12月10日にトヨタからハイブリッドカー (車種名はラテン語で“先駆けて”を意味するプリウス PRIUS) が発売された。物珍しさも

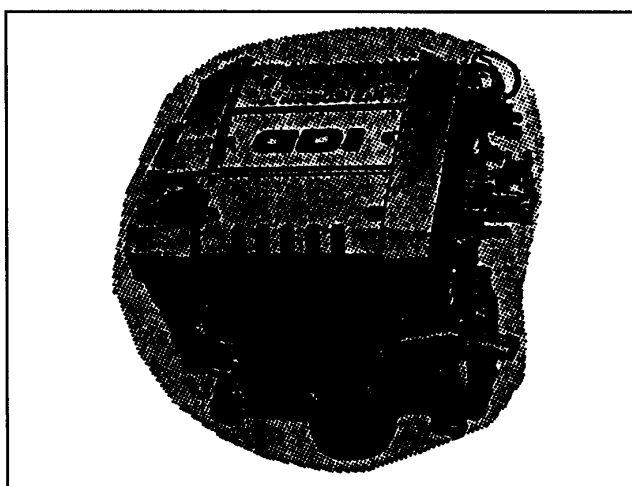


図6 GDI型エンジン (三菱自工(株))

宣伝文句ほどの性能向上の真偽はともかく、将来の自動車のエンジンシステムとして、次に述べるトヨタ(株)のハイブリッドエンジンとともに注目に値するものであることには間違いない。なお、

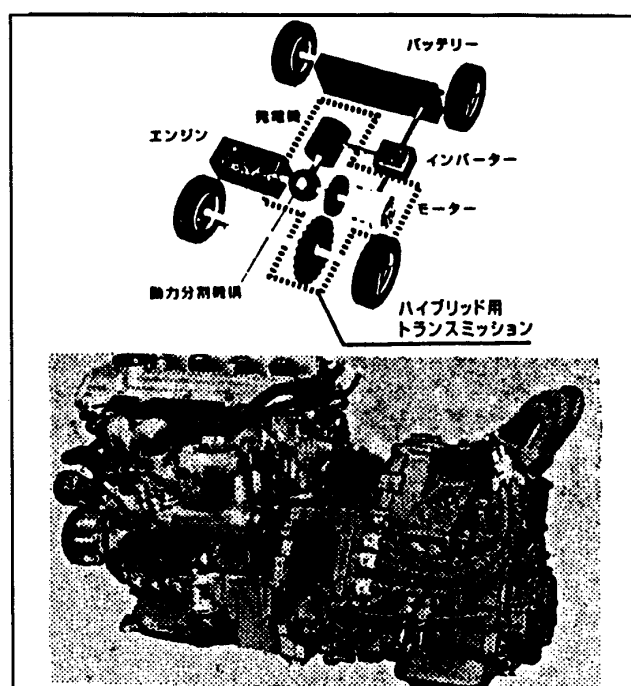


図7 ハイブリッドカーの機構概念図とエンジン部分の写真 (トヨタ自工(株))

手伝って、3500台/月の生産が需要に追い付かない状態とかだそうである。販売 PR 用カタログによれば、下のようになかなりオーバーな宣伝がされている。ガソリン走行時の余ったエネルギーを電気エネルギーとして貯え、発進時や低速走行時にはガソリンを使用しない Hybrid System（動力の組み合わせ方式）は確かに“21世紀に先駆けた”新しく画期的なシステムであって、前述の燃料直噴エンジンシステム（Direct Fuel Injection System）とともに『省エネルギー・省資源・エコカー』の思想に合致していて、今後の車作りの考え方の主流になっていくものと予想される。しかしながら、いい事ばかりではなく、現段階では、下のような欠点や弱点も指摘されている。

- ① 高価格である。規格が同じ車種と比較して 50～60万円も高い。
- ② 通常の一般道路を実際に試乗した時の燃費は16～17km/ℓしか示さなかった。C Mはオーバー。
- ③ 市街地走行時に、静か過ぎて前にいた歩行者が車に全く気付かなく危険を感じた。
- ④ 発進や加速時にややパワー不足。

いずれにしろ、ハイブリットカーに対する評価は、発売後間もないこともあって、まだ定着していない。ただ、システムが複雑であるから、故障発生頻度も高いだろうし、保守点検に手間が掛かるかも知れない。また、50～60万円も値がはる点も一般消費者の立場からすると気になる。ガソリンが100円/ℓ程度で入手できるから60万円で6,000ℓものガソリンが買え、通常の車でも60,000kmは走れて廃車までの燃料費がほぼ賄ってしまうことになる。ともあれハイブリッドカーは

通常の車に比較すると重装備（車体の重量増加）にならざるをえない。この重装備が廃車になったとき、高価な設備が再利用されなければ、設備に消費された資源とエネルギーが無駄になり、ゴミばかりが増えてゴミ処理問題を増幅してしまう。全体的にみて、本当に環境に優しい車かどうかの評価は未だ下せない。

(6) その他のタイプ（電気自動車、燃料電池式自動車、太陽電池式自動車）

排ガスゼロ（no emission vehicle）と云う宣伝文句で電気自動車、燃料電池式自動車や太陽電池式自動車などが環境カーとして新聞やテレビに登場することがある。電気自動車は排ガスも騒音も出さず、確かに環境に優しいかも知れない。しかし、一回の充電で走れる距離は短く、充電に時間が掛かるなど高価な割には実用的に弱点が多い。また基本的な問題として、充電に使う電気エネルギーが太陽光発電や風力発電など再生可能な自然エネルギーを変換したものでなければ、結局は排ガス対策を火力発電所に移し替えただけの話である。環境に優しい政策を実施していると云う宣伝のためからか、官公庁の公用車や市街地のゴミ収集車の一部分に電気自動車が採算を無視して採用使用されている程度で、実際の普及率は極めて低い。燃料電池式自動車は、水に電気エネルギーを加えて水素と酸素に分解する化学反応の逆過程を利用して、水素と酸素を燃料として電気エネルギーを取得しそれを動力として使用する方式の車である。排出される物質は基本的にはH₂Oだけであるから、環境汚染や地球温暖化の危惧は少ない車であるが、このタイプの自動車はまだ開発段

有害物質の排出現状と抑制対策

階の域に留まっている。また、太陽電池式自動車はソーラーカーと云われ排出ガスは全くゼロであって、環境問題は起こさない。しかし、パワーが天候などに左右され、使い勝手が極めて悪い。

以上に述べた三種類の電池式自動車は、共通して高価である割にはまだパワー不足で、使い勝手も悪く実用化までには相当に長時間と抜本的な改良が必要であろう。

(3)－3 地球温暖化防止や大気環境保全に対する自動車産業界の動向

自動車の低公害化対策として種々のタイプの車種が実用化されたり、開発途上にあることを述べてきた。その現状と課題の特徴点を次頁の表7にまとめて示す。

表7から、それぞれの車種に一長一短があってどれが将来の車の本命になるのか評価し難いが、コストとの兼ね合いで直噴ガソリン車が優位にあるものと思われる。

また、排ガスの点からは悪名高いディーゼル車も本来の燃費の良さと直噴タイプのディーゼルエンジンへの転換改良が進められつつあって、貨物トラックばかりでなく将来的には乗用車にもディーゼル車が多くなるであろう。

ところで、鉄道・航空機・船舶など他の輸送機関に比べると、自動車は単位輸送量当たりの（1人あるいは1kgを輸送するための）CO₂排出量が多い。乗用車・貨物車・バスの自動車全体で排出するCO₂の量は全輸送機関（鉄道・航空機・船舶を含めた）のCO₂排出総量の90%近くを占め、年間およそ2億2千万トン（CO₂重量として）にも達している。地球温暖化抑制の強い要請から自動車が排出するCO₂も出来る限りの削減が求められている。CO₂の排出削減のためには低燃費車種への変換が有効であるが、その手っ取りばやい実現には小型車への乗り換えが効果的であろう。具体的には、例えばエンジン容量3ℓ近い高級大型乗用車やRVから0.66ℓの軽自動車に乗り替えるだけで燃費は60%向上すると云われている。

表7 主な低公害車の現状と課題(読売新聞平成10年3月2日朝刊13頁より簡略化して引用したもの)

車のタイプ	CO ₂ の 排出抑制	NOxの 排出抑制	出力	走行継続 距離	残された課題
直噴ガソリン	○～◎	○～◎	◎	○～◎	燃費向上や排出ガス浄化に限界
ハイブリッド	◎	◎	△～○	◎	電池などシステムのコスト低減
電気自動車	☆	☆	△	×	充電スタンドなどインフラ不足
燃料電池式EV	☆	☆	△	△	燃料電池の大幅なコスト低減

(註) 従来のガソリンエンジンとの比較。電気自動車の排出ガスは、電力を供給する火力発電所などでの発生は考慮しない。走行継続距離は1回の燃料補給で走れる距離。

☆：大変優れている ◎：優れている ○：ほぼ変わらない △：やや劣る ×：劣る

“小さいことはいい事だ”“スモール イズ スマート”への意識改革が重要であって、大型高級車は環境保全から観れば過去の遺物、コンパクト車化（ダウンサイジング）こそが世界的な潮流となってくるものと考えられる。このような観点からすれば、大型の RV を日常の通勤やショッピングにも使っている現在のライフスタイルは早急に改めるべきであろう。

また、自動車排ガス問題の当面の解決手段として、排ガス処理触媒の改良などで排ガス中の有害物質の量を現行規制値の約十分の一までに減らすことが出来た LEV（ロー・エミッション・ビークル）と呼ばれる低公害化されたガソリン車が本田技研工業㈱から昨年発売されたことも注目すべき事柄であろう。この例のように、実現可能なところから少しずつ改良改善を進めていくことが重要なことと考えられる。

いずれにしろ、間じかに迫った2,000年以降には、自動車の排ガス規制が大幅に強化されることになっている。自動車排ガス中の有害三成分である CO・HC・NO_x の環境中での残留性は環境ホルモンなどと異なり余り高くないので救われているが、自動車排ガスの総体量は莫大である点には留意する必要がある。また、地球温暖化抑制の施策にしたがって、21世紀の早い時期に CO₂ の排出に対しても厳しい規制がしかれることが予想される。自動車エンジンの燃費の一層の向上と小型化が望まれる。

自然環境保全や地球温暖化防止の観点から、自動車排ガス対策は緊急に解決を迫られている重要な課題である。景気の上向きや下向きなどの経済問題とは切り離して、この重要かつ緊急な課題に対する一層の技術革新が切望される。

【(2) ダイオキシン類の現状と対策】

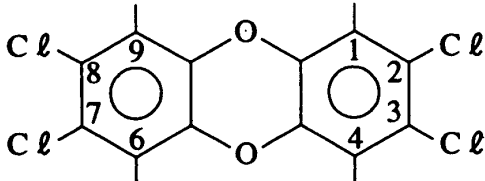
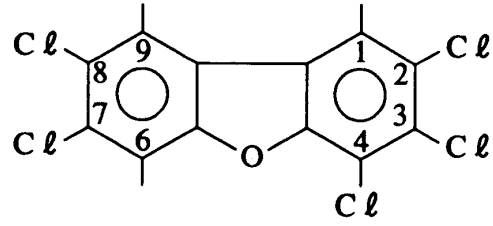
Dioxin 米語式発音ではダイオキシン、英語式発音ではジオキシンであろうが、最近日本ではダイオキシンと云う言い方が定着してしまっている。このダイオキシンは天然には存在しなかった物質であって、我国では主としてゴミ焼却炉から環境に排出されている歓迎されざる毒物である。このダイオキシンの詳細な点に関しては、未だ不明なところが多いにも拘らず、最近では環境ホルモンの一種で生態系の生殖機能にも大きな影響を与えつつあるとか、残留性が高いので始末に悪い環境汚染物質である。しかし、ダイオキシンの生態系に対する毒性は一般に云われている程には強烈なものではないとの見解を発表している外国の公衆衛生学の専門家もあり、その生体に対する毒性レベルの評価には未だ定かでない部分も多い。

(2)－1 ダイオキシンについての概説

ダイオキシンとはポリ塩化ジベンゾー p－ジオキシンとポリ塩化ジベンゾフランの総称であって、数十種類の有毒性物質の総称である。ベトナム戦争のときに使用された化学毒物（枯葉剤）に含まれていたと云う話が有名であって、急性毒性や発癌性のみならず生殖毒性や免疫毒性（いわゆる“環境ホルモン”的な毒性）もある極めて有毒な物質である。そして、自然環境の中では難分解性であって、PCB などと同様に、残留性も高い厄介な有機汚染物質である（半減期：約 7 年、すなわち人体内に摂取された量が分解排出され半分になる期間は約 7 年）。ダイオキシン類には多数の類似化合物が含まれるが、その中の二つの化合物

を例として表8に示す。

表8 ダイオキシン類に属する化合物の例

系 列	ポリ塩化ジベンゾ-p-ジオキシン系に属するものの例	ポリ塩化ジベンゾ-フラン系に属するものの例
化 学 構 造		
正 式 名 称	2,3,7,8-tetrachloro- -dibenzo-p-dioxin (MW=322)	2,3,4,7,8-pentachloro- -dibenzo-furan (MW=341)
略 号	2,3,7,8-T ₄ CDD	2,3,4,7,8-P ₅ CDF
毒性係数 (TEF)	1.0	0.5

ダイオキシン類は二個のベンゼン環が酸素でつながった構造をもち、一個から八個の塩素原子をもつことができる。一般的に、ダイオキシン類はポリ塩素化合物であって、分子中に塩素原子が多数個（4～8個）結合していて、分子量が大きく、非揮発性で、水には難溶解性であるが油脂類には可溶性の白色微結晶粉末である。そして、ダイオキシン類に属する化合物はどれも相当に毒性が高いが、表8に例として示した『2,3,7,8-T₄CDD』は、現在までに知られている人工物質の中では最も毒性が高く、地上最強の猛毒と呼ばれている。そして、モルモット実験で半数が死に至る投与量は僅か0.6μg/kg（体重）であって、その毒性の強さは神経性毒ガスであるサリンの2～3倍も高い（ただし、天然に存在するボツリヌス菌毒素や破傷風菌毒素の方がダイオキシンの毒性よりも強く、赤痢菌毒素やフグ毒と同程度の毒性レベルにあると云われている）。

ダイオキシン類にはClの数や結合位置の違いによってに多数の異性体がある。その多数の異性体はそれぞれ毒性レベルが大きく異なる。ダイオキシン類の主要な異性体は表9にリストアップした17種類である。それら異性体の毒性の強さを表わす係数を毒性係数（TEF：Toxicity Equivalency Factor）と云うが、このTEF値は毒性が最も強い2,3,7,8-T₄CDDのそれを1.0としたときの毒性の相対値を表わしている。

大気や土壌に含まれているダイオキシン類の定量は高感度高分解能のGC-MASS分析装置を用い、多種類の異性体を分離検出定量して、その含有量に表9に示されている毒性係数（TEF）を乗じて、『2,3,7,8-T₄CDD』の量に換算した等価毒性量（環境大気ではpg-TEQ/m³ 排ガスではng-TEQ/m³）で表わすのが普通である。

表9 主なダイオキシン(17種類)とその毒性係数(TEF)

PCDDs	TEF	PCDFs	TEF
2, 3, 7, 8-T ₄ CDD	1.0	2, 3, 7, 8-T ₄ CDF	0.1
1, 2, 3, 7, 8-P ₅ CDD	0.5	1, 2, 3, 7, 8-P ₅ CDF	0.05
2, 3, 4, 7, 8-P ₅ CDF	0.5		
1, 2, 3, 4, 7, 8-H ₆ CDD	0.1	1, 2, 3, 4, 7, 8-H ₆ CDF	0.1
1, 2, 3, 6, 7, 8-H ₆ CDD	0.1	1, 2, 3, 6, 7, 8-H ₆ CDF	0.1
1, 2, 3, 7, 8, 9-H ₆ CDD	0.1	1, 2, 3, 7, 8, 9-H ₆ CDF	0.1
		2, 3, 4, 6, 7, 8-H ₆ CDF	0.1
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-H ₇ CDD	0.01	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-H ₇ CDF	0.01
		1, 2, 3, 4, 7, 8, 9-H ₇ CDF	0.01
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9-O ₈ CDD	0.001	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9-O ₈ CDF	0.001
他の PCDDs	0	他の PCDFs	0

(2)ー 2 ダイオキシンの生成経路（ゴミの焼却処理とダイオキシンの発生）

ダイオキシン類の発生源は多岐にわたることが識られているが、我国では都市ゴミ焼却処理由来のものが最大割合を占め80%以上がゴミ焼却炉を発生源としている。ゴミ焼却炉以外としては、塩素系農薬・紙・パルプなどの製造過程で生ずる産業活動に由来するもの、金属精練・各種窯業などによる燃焼由来のもの、下水汚泥・コンポスト・汚染土壌による二次的発生によるもの等いろいろであるが、これらによるダイオキシンの量はゴミ焼却炉で発生するダイオキシンに比べると圧倒的に少ない。

さて、現在我々は通常の日常生活で一人一日当たり約1.1kgのゴミを排出している。四人家族では4.4kgと多く、94年度における全国の総計では一年間に5,054万トンのゴミが排出され、そのゴ

ミ処理事業経費の総額は約2.2兆円（一人当たり約17,000円）にも達したと云われている。そして、この一般家庭ゴミに加えて、多量の産業廃棄物も捨てられていて、各種のシュレダーダストが多量に焼却処分されている。これらゴミの焼却処理から我国全体では年間でおおよそ5 kgものダイオキシン類（1～2億人の致死量に相当）が環境中に排出されていると推測されている。

ここで、都市ゴミの焼却プロセスの概念図を図8（小宮山：『地球環境のための化学技術入門』p.192より引用した）に示す。

ゴミ焼却炉での焼却処理プロセスは次のようである。すなわち、焼却炉では収集されたゴミを受け入れるゴミピットからの臭気の拡散を抑えるために、ここの臭気を含む空気を燃焼用空気として燃焼炉に吹き込むようになっている。燃焼室で発生した高温ガスは除塵の後に廃熱ボイラーに供給されて熱回収が行なわれる。回収された熱は発電や温水の供給に利用されることもある。排ガスは、

有害物質の排出現状と抑制対策

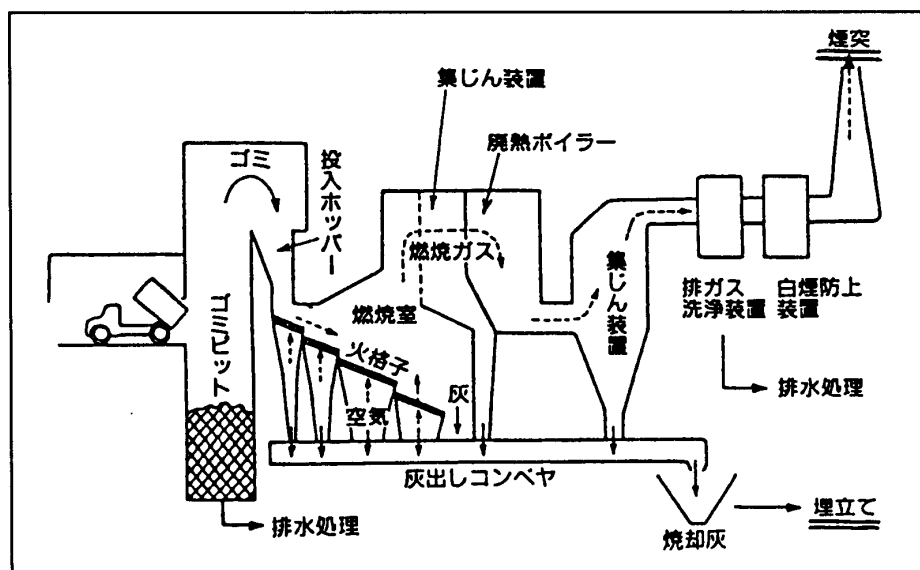


図8 都市ゴミ焼却プロセス（火格子式焼却炉）の概念図

さらに集塵装置で細かな微粒子まで除去した後、排ガス洗浄装置と白煙防止装置とを通過して煙突から大気中へ放出される。一方、焼却灰は産業廃棄物として特定の処分場に埋め立てられている。

ところで、ダイオキシン類の発生はゴミが不完全燃焼したときと排ガスが300～400℃の温度域に冷却されたときに多く認められた実験事実から、ゴミ焼却炉の操作条件として次の二点が重要であることが判明してきた。すなわち、①燃焼処理温度を出来るだけ高く（800℃以上に）設定し完全燃焼させること、②燃焼

排ガスを急速冷却（200℃以下に）すること。

その他の事項を含めて、焼却炉の維持管理ための要点を図9にまとめて示した。

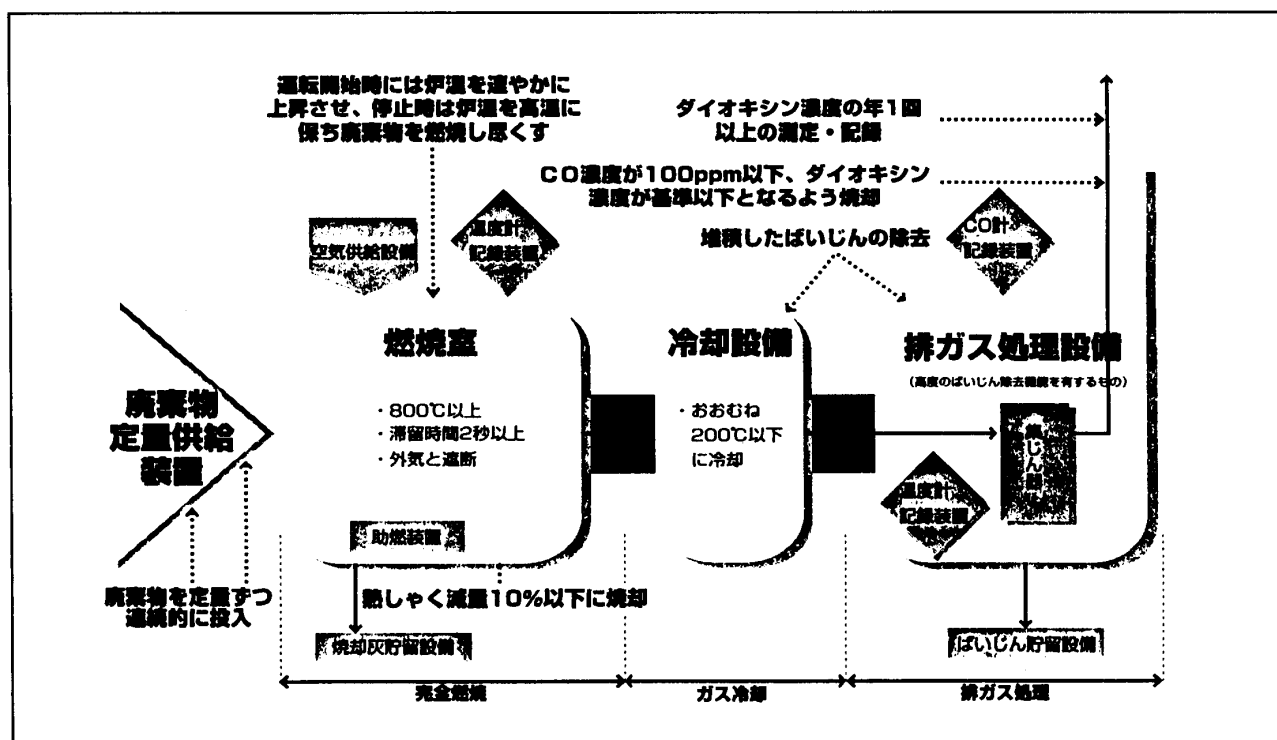


図9 基準改正後の焼却炉の維持管理の要点イメージ図
(平成9年10月厚生省監修パンフレットより引用)

そこで、最近ではダイオキシン発生の抑制のため、不完全燃焼を起こしやすい野焼きや小型焼却炉の使用は禁止され、燃焼温度800℃以上の大型で連続操業が可能な焼却炉の使用が推奨実施されている。

ところで、ゴミの中に塩化ビニール系プラスチックなどの有機塩素系物質や古紙その他の塩素分を含んだ廃棄物が混入していると、猛毒物質ダイオキシン類が発生しやすい。この焼却炉内においてダイオキシン類が生成する詳細な機構（化学反応過程）はほとんど解明されていないが、だいぶ以前から、ダイオキシン類はゴミ焼却炉の燃焼ガスが冷える過程において400℃付近で生成しやすく、とくに電気集塵装置（300～400℃程度の温度になっている）の中で生成しやすいことが突き止められてきた。高電圧を使用する電気集塵装置は微小粒子の除去には優れた性能を示すが、この装置内でダイオキシン類が生成しやすいことが判明してきたので、ダイオキシンの発生を嫌って電気集塵装置の代りに濾布を利用するバグフィルターの導入が検討され、耐熱性の高いバグフィルター用素材の開発も進められている。

さて、ダイオキシン類の焼却炉から環境への排出には、①灰塵（飛灰、fly-ash）や焼却灰に付着したり包含されて排出される分 ②焼却炉の煙突から微粒子状態で燃焼排ガスと一緒に排出される分との二つの経路がある。このとき両者で焼却炉内で発生したダイオキシン類の振り分けられる割合は前者の方が圧倒的に多く、80％程度は①とされている。特に飛散しやすい灰塵は特定管理廃棄物として焼却灰とは区別して収集処理することが義務付けられている。このダイオキシンを多量に含んだ灰塵や焼却灰の最終処理処分には充分な

注意と管理が必要である。

このような事情から、焼却灰を埋め立などの方法で廃棄処分した場合に環境汚染の問題がもち上がるケースが多い。その主な原因は汚染物質を含んだ浸出水の発生である。すなわち、埋め立てられた廃棄物からダイオキシンなどの有毒物質が高濃度の有機物や塩分あるいは重金属などの他の汚染物質と一緒に浸出水として流出することがあるからである。この浸出水による地下水や河川水の汚染を防止するために、浸出水が浸透できないようなシートを処分場の底に敷き積めたり、浸出水を集め浄化処理してから河川に放流するとか、ダイオキシンによる環境汚染を阻止する必要がある。

ところで、ダイオキシン対策としてはゴミ焼却施設の改修改善が先行しているが、一方ではダイオキシンなど有害物質を含んだ浸出水を分解し無害化処理する方策も試みられている。(株)クボタでは、生物膜濾過・オゾン処理・紫外線照射を組合せた独自技術の開発によって、ダイオキシンが付着した灰塵や焼却灰が混じっている浸出水を無害化できるテストプラントの試運転に成功し、間もなく第一号プラントを納入する段階にまで至ったと報じられている（H 9 / 6 / 21 日経新聞）。

(2)－3 ダイオキシン類の人体への侵入経路と侵入量

ダイオキシン類の人体への侵入量については、厚生省や環境庁などの公的機関が調査中であって、未だ信憑性のあるデータは余りない。ここでは、最近の酒井伸一氏の総説〔月刊 地球環境：（1997）5月号 p.2～7〕に掲載されているデータを簡略化し、**図10**に示した。図10から、我々は

有害物質の排出現状と抑制対策

食事や呼吸などによっておよそ200pg/day 程度のダイオキシンを否応無しに取り込んでいることが判る。また、図10記載の数値が正しいものとするれば、ダイオキシンは90%近く食物から体内に摂取されている事になる。特に、魚貝類からが目立ち、

牛乳類・肉類・野菜類からも少なくない。一方、大気や飲料水のダイオキシン汚染度はそれほど顕著なものではないことも判る。これはダイオキシン類が揮発性でないことと水に難溶性であることに理由付けられよう。

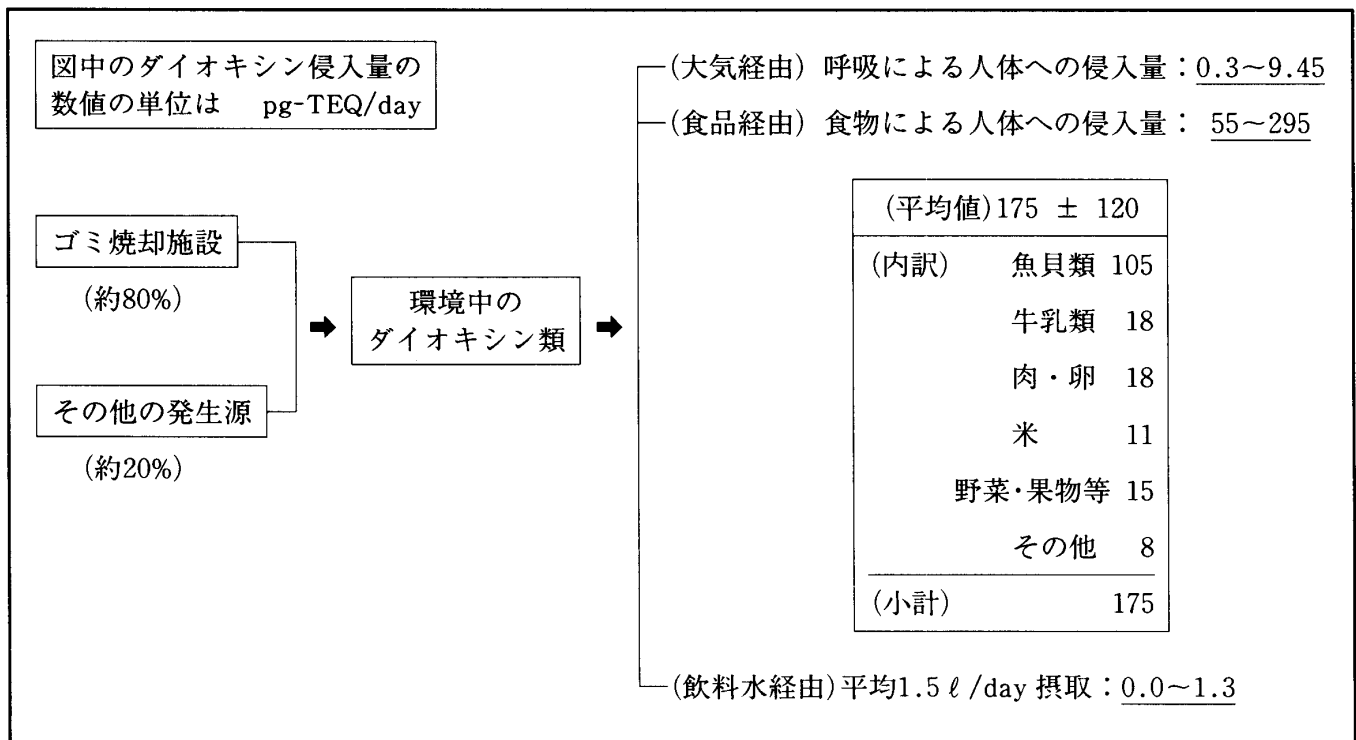


図10 ダイオキシン類の排出と環境移動および人体への侵入量

ところで、環境汚染物質の環境中での拡散移動や生体への取り込みは水に溶解した状態で起こるのが一般的である。ダイオキシン類は水に難溶性ではあるが全く不溶ではないであろう。ダイオキシン類の水に対する溶解度の詳細を知りたいが、未だ不明である。したがって、ダイオキシン類の環境中での拡散移動や生体への取り込み過程の機構は今のところ全く推測の域に留まらざるをえない。もしダイオキシン類が固体の微粒子状態のまま動物の体内に摂取されたとしても、脂肪類にはよく溶けるので生体の脂肪部分にダイオキシン類が蓄積されることは理解できる。海や河川に生息

する魚貝類の脂肪分にダイオキシン類が蓄積され、食物連鎖によってダイオキシン類が人体に移行してくるメカニズムが容易に推測される。

(2)－4 ダイオキシン類の環境基準と摂取許容量

本項目についても現在調査検討中の事柄が多く、未だ明確なことは云えない状況にある。暫定的な措置として、次頁の表10ような事項が決められている。

表10 ダイオキシンに関連して暫定的に決められている事項

焼却炉の煙突からの排ガス中の濃度		大気中の濃度	焼却炉からの焼却灰	摂取許容量
緊急対策(暫定的)基準	80 ng/m ³	年平均値	飛散しやすい灰塵は特定廃棄物として焼却灰とは区別して収集処理処分すること。焼却灰には今のところ特別な規制はない。	1 日体重 1 kg 当りに
恒久環境基準		(国の指針値)		10 pg
{ 既設炉	0.5~5 ng/m ³	0.8 pg/m ³		(健康リスク評価指針値:
{ 新設炉	0.1 ng/m ³			5 pg/日・kg 体重)

(註) 濃度や許容量はいずれも TEQ 表現であって、n および p はそれぞれ下記の超微量を表わす略号である。

n→nano(ナノ) 10億分の一 すなわち 10^{-9} ; p→pico(ピコ) 一兆分の一 すなわち 10^{-12}

表10に示されているように、暫定的な摂取許容量は10pg/日・(kg 体重)であるから体重50kgの成人であれば一日に $10 \times 50 = 500$ pgのダイオキシンを摂取してもよいことになる。これに対して、前の項目で述べたように平均的なダイオキシンの体内への取り込み量は一日に200pg程度であったから、数値的には許容量の半分以下で問題は無さそうである。しかし、体重が少ない乳幼児の場合には問題がある。と云うのは、ダイオキシンは脂肪分に濃縮される性質のあることから、母乳やミルク中のダイオキシン含有量は高くなる傾向があるので、『乳児に与える母乳やミルクは厳格にチェックする必要がある』との意見が厚生省から提示され、現在検討されつつある。ところで、自然環境規制の先進国であるヨーロッパ諸国では、ダイオキシンに関連した規制が非常に厳しく設定されていて、表10で焼却炉の煙突からの排ガス中の濃度について我国が恒久基準として設定している数値(将来の目標としている数値)である大気へのダイオキシンの排出基準 0.1 ng/m^3 が早い時期から守られている。また、大気中のダイオキシン濃度の実測値も欧米諸国では 0.1 pg/m^3 程度または以下であって、表10に示されている環境庁の指針値の十分の一の低さである。一方、我国のダイオキシン規制値は緊急避難的に仮に設けられて

いるものであって、ヨーロッパ諸国や米国に比べるとまだまだ緩いレベルにあることを認識しておく必要がある。

(2)ー 5 ダイオキシン類の発生抑制のための対策

新型ゴミ焼却炉の設置や既設炉の改良によってダイオキシン類の発生抑制のための努力が今後とも真剣に継続されることと思われる。一方、焼却炉内でのダイオキシン類発生の本来的な原因になっている塩素成分を含んだプラスチック類を分別収集し一般ゴミと一緒に焼却処理しないようにする努力や塩素成分を含まないプラスチックを塩素系プラスチックの代替品としていく等の試みがなされつつある。

後者の場合の例としては、次のような話題が注目されている。すなわち、台所で各種食品類の包装や電子レンジで食品類を温めるときに現在多量に使用されているラップ類の素材は主に塩素系の塩化ビニリデンであるが、焼却処理のときダイオキシンを発生しやすい憂いがある。このラップ類の素材として、環境に配慮した『環境にやさしい』非塩素系素材を使うようにする動きが広がっている。すなわち、110℃以下で使用する低温用ラッ

有害物質の排出現状と抑制対策

ブ類には通常のポリエチレン製のものがポリ塩化ビニリデンの代替品として出回っている。一方、120℃以上の高温で使用する場合には、今までの塩素系の素材の代わりに耐熱性にも優れた容器に対する密着性もよいように工夫されたラップ用素材として、ポリプロピレンシートの上に耐熱性に優れたナイロンシートを挟んだ三層構造の新商品のラップが間もなく発売されるとのニュースが最近報じられている。ただし、このような新複合素材は予想されるように従来品よりも価格は大幅高くなることを覚悟しなければならない。

ところで、塩素を含んでいるプラスチック類を焼却炉に持ち込まないように努力することはダイオキシン発生を抑制することにつながるであろうが、それだけでは完全ではない。プラスチック以外のゴミにもダイオキシンを生成させるには十分な量の塩素分が含まれているので、『ダイオキシンの抑制のための重要条件は焼却炉の高温完全燃焼操作を行なうことである』ことが最近の専門家によって強調されている。

【(3) 環境ホルモンの現状と対策】

(3)－1 『環境ホルモン』とは

雌雄同体の魚や貝が多く見受けられるようになったとか、ある地域ではワニの雌化が進んでいるとか、さらには男子若者の精子の数が激減しているとか、『環境ホルモン』との因果関係も『環境ホルモン』の作用メカニズムも未だ明確になっていないのに、最近では『環境ホルモン』の生殖機能への影響に関してショッキングな話題が週刊誌や日常会話にも頻繁に登場するようになってきて

いる。

ところで、『環境ホルモン』とは動物の体内に摂取されると正規のホルモンに似た動きをし、生殖機能などの内分泌機能を攪乱させる化学物質に付けられた総称的な名称であると暫定的に定義されている。我国で慣用的に使われている『環境ホルモン』に対応する英語はなく、英語では Endocrine Disruptors と云い、これを直訳すれば『内分泌攪乱物質』が対応する日本語である。

一般的には、ホルモン (Hormone) は無意識のうちに動物の体内で自然に作られ内分泌線から分泌される。動物の体内のホルモン量はごく僅かではあるが、動物の成長・生殖・免疫などに重要な役割を果たしている。一方、同様に少量ながら必須な機能物質であるビタミン (Vitamin) は植物によって作られ、動物は必要なビタミンを食物から摂取している。『環境ホルモン』のことを学術的用語では『外因性内分泌攪乱物質』と表現する場合が多いが、ホルモンはあくまで体内で作られるものであって、『環境ホルモン』は外部から間違って入り込んできた (外因性) ホルモン擬きの化学物質である。云うまでもないが、現在ではホルモンもビタミンも可成の種類が人工的に合成できるようになっているので、上述した体内・体外の区別は厳密なものではない。

さて、動物の体内における『環境ホルモン』の挙動に関しては未だ充分には判明しておらず、どのようにして動物本来の正規のホルモンの機能を攪乱してしまうのかも解っていない。生理学・薬学・医学・化学その他の広い研究分野の専門家達が協力して、環境中に排出されている多数の化学物質について『環境ホルモン』であるかどうかの判別を行なうと共に、生体内における各『環境ホ

ルモン』の影響の程度や作用機構などについても研究グループを結成し系統的な調査検討を始めようとしている。

以上、『環境ホルモン』の正体については未だよく解っていない処が多いことを述べてきたが、その名称についても統一的なものが未だ確定していない。『環境ホルモン』と云う名称が我国では既に一応の市民権を得ているかのようにマスコミその他では使用されている。しかしながら、この『環境ホルモン』と云う紛らわしい用語は環境とホルモンと云う二つの有りふれた単語を単に結合しただけの造語であって、名称が内容を表現していないし誤解を招きやすい。そのためか『環境ホルモン（外因性内分泌攪乱物質）または外因性内分泌攪乱物質（環境ホルモン）』のような二重表現がしばしば見受けられる。

『環境ホルモン』と云う造語の紛らわしさは行政官庁の用語にも及んでいて、霞が関の行政官庁の間でも表11に示したような種々の名称が使われていて、混乱を増幅しているように思われる。公式用語の早急な統一が望まれる。

表11 通称『環境ホルモン』に対して提案されている種々の名称

省 庁	名 称
環 境 庁	環境ホルモン(『外因性内分泌かく乱化学物質』も併記)
厚 生 省	内分泌かく乱化学物質
文 部 省	内分泌かく乱物質

本資料では、以下においても、慣習的な『環境ホルモン』と云う表現を使用する。

(3)－2 環境ホルモンの種類

環境ホルモンに関する研究班（環境庁リスク対策検討会）によって、ダイオキシン類・農薬類・洗剤類、その他多数の物質がリストアップされている。現在までにリストアップされている環境ホルモンと想定される化学物質を表12に引用しておく。

表12に示されている内分泌攪乱を生じると想定される化学物質（いわゆる『環境ホルモン』）には現在のところ28群70種類に近い多数の化学物質が知られている。さらに検討が進めば、多くの物質が表12にさらに追加されるものと予想される。

表12に示されている環境ホルモン類は、いずれも我々に便利な機能を提供してきた化学物質がその役割を終えて環境中に微量ではあるが止むなく捨てられた物ばかりである。表12にリストアップされている化学物質の中には、現在は製造中止や使用禁止になっている物（規制物質）も数多く含まれている。例えば、DDT、PCB、トリブチルスズなどである。これら規制物質の環境中の濃度は徐々に低下してはいるが、残留性が強いことから今だに環境ホルモンとしての影響を歴然と残存している。

有害物質の排出現状と抑制対策

表12 内分泌攪乱を生じると想定される化学物質(環境ホルモン)

(外因性内分泌攪乱化学物質問題に関する研究班中間報告書 環境新聞社 p.115より引用)

内分泌攪乱作用が考慮されている物質(群) 28 群	使用、排出や暴露に関する計画を考慮中の物質(群) 23 群	規制物質(群) 11 群
<ul style="list-style-type: none"> • アルキルフェノール類 • アルキルフェノールエトキシレート類 • ビスフェノール A • DDT 及びその代謝物 • DEHP • ダイオキシン類/フラン類 • PCB 類及びその代謝物 • フタル酸類 • トリブチルスズ • 塩素化炭化水素類 • 食品添加物 • 有機金属 • 農薬 • 調剤 • 植物エストロゲン <p>その他</p> <ul style="list-style-type: none"> • フタル酸プチル(DBP) • フタル酸プチルベンジル(BBP) • 臭化物難燃剤(例 PBB) • 洗剤の誘導体(アムソン酸) • エポキシ樹脂成分(ビスフェノール A) • 芳香族 • フェニルシロキサン類 • ノニルフェノール類/エトキシレート類 • オクチルフェノール類/エトキシレート類 • スチルベン • シロキサン類 • 化粧用の紫外線吸収剤 • ステロイドホルモン類 	<ul style="list-style-type: none"> • アルキルフェノール類 • アルキルフェノールエトキシレート類 • ビスフェノール A • フタル酸プチルベンジル • DDT/DDE • DEHP • フタル酸ジブチル • ダイオキシン • フラン類 • ノニルフェノール類/エトキシレート類 • オクチルフェノール類/エトキシレート類 • PCB • シロキサン類 • トリブチルスズ • 農業化学物質 • 塩素化炭化水素類 • 食品/食品材料(動物飼料を含む) • 残留性環境汚染物質 • 残留性有機汚染物質(POPs) • 調剤 • 植物エストロゲン • 農薬 • ステロイド類 	<ul style="list-style-type: none"> • アルキルフェノール類 • アルキルフェノールエトキシレート類 • DDT • ノニルフェノール類/エトキシレート類 • オクチルフェノール類/エトキシレート類 • PCB • トリブチルスズ • ビンクロゾリン • 農薬(例：アトラジン、ディコホール、ベノミル) • 植物エストロゲン • 大豆由来の乳児の調合乳

以下、表12の化学物質の中から、主なものについて簡単に説明しておこう。

- ① DDT その他の類似化合物：多くの国で殺虫剤や農薬として多量に長期間使用されてきた規制対象となっている有機塩素系物質で、残留性や濃縮性が高いため現在でも自然環境(土壌や生体)中に広く分布している。
- ② PCB その他の類似化合物：熱的および電氣的安定性に優れた特性のため熱媒体や絶縁油として広く多量に用いられてきたが、使用禁止になった現在でも環境中に可成り多量に残留していることで問題となっている有機塩素系化合物。特に coplanar (コプラナー) PCBs は毒性が強く ($TEF=0.1\sim 10^{-4}$) 残留量も多いので、ダイオキシン類に含めて毒性評価することが議論されている (WHO、世界保健機関では正式にダイオキシン類に入れることが既に認定されている)。
- ③ アルキルフェノール、フタル酸類：プラスチック材の可塑剤として優れた性質を有するため大量に使用されていて、我々の日常生活と深い関わりを持つ物質。
- ④ ノニルフェノール、ビスフェノール A：洗剤中に添加されている界面活性剤やポリカーボネイト合成樹脂の製造原料であって、河川や湖沼の水質汚染物質となったり、ポリカーボネイト製の食器類からの溶出などが問題視されている物質。
- ⑤ ダイオキシン類 (詳細な説明は前項(2)参照)：焼却設備の改修改善が進められた結果、事態は徐々にではあるが好転しているようである。一例を挙げれば、最近 (平成10年 1 月実施) の


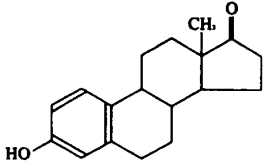
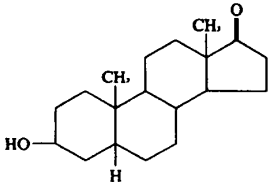

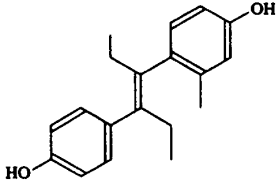
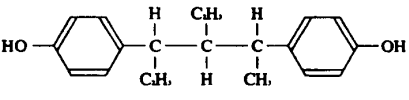
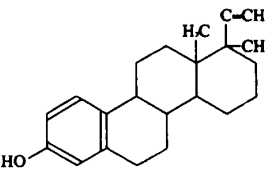

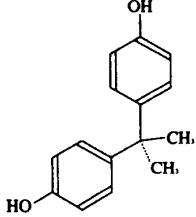
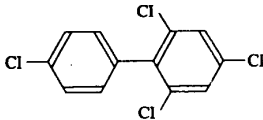
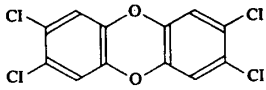
千葉市における 9 地点でのダイオキシン濃度調査によれば平均値は $0.72\text{pg}/\text{m}^3$ であって、国の指針値 $0.8\text{pg}/\text{m}^3$ を僅かではあるが下回っていた (読売新聞10・4・1 朝刊記事より引用)。

- ⑥ トリブチルスズ $[\text{Sn}(\text{C}_4\text{H}_9)_3]$ ：貝類の付着を防止するために、船底や養殖いけす網に塗られ非常な効果を発揮していたが、貝類の生殖機能に甚大な影響を与えることが判明した。それで、1990年に使用規制が始まった。その後、海水中の有機スズ濃度が徐々に減少し、最近の調査では雌のバイ貝に雄の生殖器ができる『インポセックス現象』の発生率が20%以下に減少していると云う (読売新聞 10・4・5 朝刊記事より引用)。
- ⑦ 化粧用の紫外線吸収剤：UV-cut、UV-care などの名称で市販されている紫外線よけ化粧品に含まれている機能性芳香族化合物群。化粧品業界では、紫外線吸収剤を用いた製品から環境ホルモ的な悪さをしない無機物質 (TiO_2 、 SiO_2 その他) の超微粒子を用いた紫外線散乱剤への変換が急速に進められている。
- ⑧ 合成ステロイドホルモン類：DES (ジエチルスチルベステロール：流産防止用の合成女性ホルモン剤) に代表される人工的に合成された女性ホルモン。ピル (経口避妊薬) やホルモン補助療法のときの更年期治療薬も DES と同類の合成女性ホルモンであって、環境ホルモ的な問題点もある。
- ⑨ 農薬および食品添加物：多種多様な化学物質が関係している。環境中に既に多量排出されていることと、残留性が強いことが問題点となっている。

(3)－ 3 環境ホルモン類の化学構造

天然（内因性）ホルモン、合成（人工）ホルモンおよび環境（外因性）ホルモンの化学構造を比較するため、それぞれの代表的なものについて表13にまとめて示した。

表13 代表的な天然、合成および環境ホルモンの化学構造

類 別	化 学 構 造		
天然(内因性) ホルモン 	 エストロン(代表的な女性ホルモン)	 アンドロステロン(代表的な男性ホルモン)	
合成(人工) ホルモン 	 ジエチルスチルベステロール (DES)	 ベンゼステロール	 エチニルエストラジオール (PILL)
環境(外因性) ホルモン 	 ビスフェノール A	 PCB	 ダイオキシン

人間の体内で自然に作られる性ホルモンにおいて、男女間の大きな違いは、表13の該当欄の化学構造の比較から、端の部分がフェノール構造（ベンゼン環構造）をしているかシクロヘキサノール構造（シクロヘキサン環構造）をしているか、にあることがわかる。合成（人工）ホルモンの化学構造は、それらの利用目的が流産防止や更年期治療に使用されるものが主であるので、表13に記載したものの化学構造は天然（内因性）の女性ホル

モンの特徴を有している。同様に、環境（外因性）ホルモンの例として表13に記載した三種類の化合物のいずれもが分子の端の部分の構造がフェノールまたはフェノールに変換される構造（PCB とダイオキシンの Cl－原子が加水分解すればフェノールタイプの化合物に変換される）をしていることに気が付く。

ところで、最近は『徐々にオスがメス化する傾向にある自然』を環境ホルモン類が演出している

のではないかと思わせる事例をしばしば見受ける。この原因として、環境ホルモンと見做されている化学物質の多くが女性ホルモン類似の化学構造を持っているためではないかと想像させる。環境ホルモン類の生態生殖系に対する生理学的な作用機構の解明が待たれる。

(3)－ 4 環境ホルモン対策

法治国家での犯罪に対する罰則の適用においては、『疑わしきは罰せず』が原則である。しかしながら、環境保全の場合においては、『疑わしきは罰せよ』の原則に立つべきであろう。どんなに優れた機能を有する化学物質でも、環境ホルモ的な悪さを引き起こしそうな疑いのある化学物質は直ちに製造と使用を禁止すべきであろう。

一般的に、環境ホルモン物質はピコグラム程度の超微量であっても、生態に強烈な障害を与えるので、環境ホルモン物質の環境への排出には常識を越えた厳しい規制と監視が必要であろう。環境ホルモン物質が環境中に排出され拡散してしまってからでは、生体への取り込みを防御する手立ては今のところ皆無であるから。

ところで、ダイオキシンをはじめとして、環境ホルモン類が体内に蓄積してしまったら、これを体外に排出させることはなかなか容易ではないと云われている。医学や薬学の分野でダイオキシン対策の研究が進められているようであるが、ダイオキシンの体外への排出技術や体内での無害化技術が早急に進展することを期待したい。ダイオキシン対策の初期的実験研究段階の話ではあるが、通常では容易に分解できないダイオキシンを生化学的に細菌類を利用して分解除去処理する研究も

行なわれている。その結果の一例として、ダイオキシンを入れた水に木材腐朽菌を加えると、一週間でダイオキシンの85%を分解することができたと報じられている。このように『環境ホルモン対策』についての情報や成果が徐々にではあるが集積しつつある。

【おわりに】

本セミナーで話題とした(1)自動車排ガス、(2)ダイオキシン類、(3)環境ホルモン類の三項目は何れも現在も継続検討中のものばかりであって、環境対策の方法も未だ確立していないし、生態に対する有害性についての因果関係も明確にはなっていないものばかりである。しかし一方では、これら三項目は何れも地球規模的な重要な環境問題であるので、我国のみならず先進諸国の多くで鋭意研究がなされつつあって、これらに関連した技術情報や研究成果が急速に蓄積されつつある。

このような状況下にあるので、本資料に収録したデータや事象に対する見解などは1～2年も経過すると直ぐに陳腐なものとなってしまう、大幅に改訂修正しなくてはならなくなるものと予想される。したがって、本資料に記載した事柄を無批判に参照することは避け、本資料に記載した情報を最新で修正された情報に置き換えて参考にされるように希望し、本セミナーを終わることに致します。

* 本研究所客員研究員

(敬愛大学経済学部教授、千葉大学名誉教授)