

エネルギー問題と産業廃棄物の再資源化

大阪大学工学部石油工学科教授 堤

繁

エネルギーの主体である石油の寿命は30年足らずと極論を述べる人々も少なくない。しかしこのような極論は原子力関係の人々から出されることが多く、石油、石炭、天然ガスがなくなったら、当原子力に依存せざるを得ないとも思われるが、筆者は稍楽観的であり、ここ100年は大丈夫と考えている。

これは筆者が大学を卒業した昭和7年頃から30年説が出ており、5年、10年と経過しても依然として30年説が唱えられているからである、

しかし、これからは愈々30年説が正しいとの一抹の不安がないでもない。

科学が進歩した今日でも、依然として石油の成因については不明である。

従来の石油成因についての有力な説は、プランクトンを中心とする有機一低温説である。すなわち、魚の主食であるプランクトンは長年月の間に湖または海の底にたまり、厚い層を形成し、バクテリアにより低温で分離されてできたとされている。

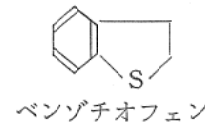
この有機説の有力な手掛りは、原油中に光学的に活性な窒素化合物が存在することで、光学的に、活性であることと低温説とは密接な関係があり、温度上昇すると、一般に光学的に不活性となる。

しかし筆者は、上述の有機一低温説に対し、無機一高温説を主張している。その骨子は Hot carbon と水素原子が高温で反応して、まず、連鎖のパラフィンを生じ、これが2～3次の高熱をうけて、ナフテン、芳香族となるとしている。

併して上述の光学的に窒素化合物の存在は、石油が次第に冷却して100℃以下になった後動物性の窒素化合物になったと考えている、

さらに高温説を裏付ける証は、現在公害問題

で騒がれている重油中のイオウ化合物で、その主体はベンゾチオフェンの誘導体である。



ベンゾチオフェンは最も簡易な母体で、実際上は数多くベンゼン核がかさなり合ったもので、このような化合物は炭化水素とイオウとから高温で容易に生成するからである。

さて上述の有機一低温説また筆者の無機一高温説にせよ、現在でもなお、石油ができつつある公算はないでもない。

ただ、エネルギーの消費量は、年とともにまちまち増加し、この調子で行けば、石油の生成量よりも、消費の量が多いことが、石油資源に一抹の不安を与えていることは否定できない。

まず、つぎの第一表に西歴0～2051年におけるエネルギー消費量と推定量とを示す。

第1表 西歴0～2051年における全世界のエネルギー消費量と推定量
単位 500億トンの石炭(発熱量 5,000キロカロリー) = 1Q

年 代	エネルギー消費量	年間平均
0～1850	9Q	
1850～1937	4Q	0.046Q
1937～2000	11Q	0.18Q
2000～2051	61Q	1.20Q

西歴2000～2051年の51年間のエネルギー消費量推定は61Q、年間平均1.20Qであるが、西歴2000年以後はエネルギーが年とともに急増することは、ここに述べるまでもあるまい。

なお、国連から最近発表されたところによると、西歴2000年における3年間エネルギー消費

量は364億トン石炭相当(0,72Q)で、その内石油消費量は201億トン石炭相当(0,4Q)と推定されている。

しかし、エネルギー消費量を大きく支配するのは、人口の急増で、このまま放置したときの世界人口の増加はつぎのように推定されている。

第2表 世界の人口増加推定

年 代	世界人口数
1970	35億
1990	51〃
2010	70〃
2030	110〃
2050	150〃
2070	220〃
2090	250(?)〃

上表のように、人口が急増すれば、エネルギー問題は正にお手上げというところで、これのためには Fertility control(多産調節)を積極的に進め西歴2010年以降は世界の人口を70~80億に調節することが絶対必要とされている。

さらに、人口増加に関係するのは、人間の平均寿命の延びで、つぎの第3表にこの方面の変化を記して参考にする

第3表 人間の寿命の延び

年 代	平均年令
鉄, 銅器時代	18 才
2000年前	22 〃
中 世	33 〃
1687~1691	33.5〃
1789年前	35.5〃
1838~54	40.9〃
1900~02	49.2〃
1964	66.7〃

すなわち、医学の進歩によって平均年令は66才前後となったわけで、これ以上に延びたとの心配もあるが、この方面の解決の鍵は多産調節にあることは確実であろう。

因みに、従来用いられた Birth control の変りに恰好のよい言葉、Fertility control に使われ

てきたことを付記しておきたい。

I, エネルギー資源の奨来

石油の寿命は約30年、これに対し石炭のそれは約100年とはよく云われることである。しかしこの寿命については、経済的採掘可能ということが条件となるであろう。

米国の石油の寿命については数年前15年説が出たが、最近30年にのびた。これは採鉱の技術向上と了解したいところであるが、どうも政治的な要素が含まれているような気がしてならない。

しかし、米国が Oil shell, Tarsand の権利獲得に躍気になっており、また米国は国策上自己の油田をできるだけ温存し、外国からの転入原油に依存する方策をとっていることが参考となるであろう。

因みに、100年前後の寿命をもっている油田としては中東(クェイト, 南アラビア, イラン, イラク)があり、60年前後のインドネシア、最も寿命の長いものはリビアとされている。

さて西歴2000年には、原子力関係から出されたものによると原子力60、従来の燃料40と期待されている。

原子力発電の迅速な発展をわれわれも大いに期待しているわけであるが、もしこれが、スムーズに進行しなかったときには、石油を中心としてエネルギー燃料の奨来は楽観を許さないわけであらう。

このような情勢の下に、エネルギー関係者は、太陽エネルギーの活用を提案している。

第4表 Solar energy 1年

1年地球外圏に到達するもの	5300Q
地表に到達するもの	3200Q
陸地に到達するもの	840Q

上表からみて、年間地球上の陸地に到達する太陽のエネルギーは実に840Qに達するわけで、西歴2000年における年間エネルギー消費量0,7Qに対し、その約1000位のエネルギーが太陽によって供給し得ることになる。

さて、太陽のエネルギーを最大に利用してい

るものに植物があることはここに述べるまでもあるまい、しかし植物の同化作用のために利用される太陽のエネルギーの効率は僅か0,2%といわれ、よってもしこの効率が2%に増加でもすれば世界のエネルギー問題に対して大きな寄与をするものと確信される。

これに対しては、葉緑素の光増感向上に対する研究が大くなクローズ・アップされるであろう。

ただこれは植物の生長促進、燃料としての木材の増産と結び付くわけで、薪を家庭用、工業用燃料として用いることに対しては、大きな抵抗があることは否定できない。

因みに、この方面では3%位の高効率をもつクロレラが中心として検討されているが、これ以後の前向きの検討が切望されつつある次第である。

いづれにしても、エネルギー源としての太陽光線の活用は、今から真剣に考えておく必要が痛感されるであろう。

II. 立派な石油資源であるプラスチック廃棄物

過去十数年間の短期間に日本は米国につぐ、世界の石油化学工業国に躍進した。そして石油化学工業の主原料であるエチレンの製造能力も400万トン/年に達せんとしている。エチレンの製造は、ここに述べるまでもなく、ナフサを700~800℃の高温で熱分解して得られるが、これに伴って約300万トン余のプロピレンが副成するそしてこのエチレン、プロピレンからポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP) が工業的に生産されつつある。さらにエチレンとベンゼンとから製造されるポリスタイレン (PS)、またエチレンから誘導されるポリ増加ビニル (PVC) などが、主なプラスチックとして追加される。

さらに、最近建材方面に大きな用途を見出しつつあるポリエステル、これに硝子繊維を入れて強化された FRP、その他アクリル、ベークライト、その他のプラスチックが活用されている。

しかし現在これらのプラスチックの総生産高は約500万トン、そのうち、消費者の手へ渡ってすぐ棄てられる、いわゆる One way plastics の量は、その40%の200万トンに達する。

一方昭和50年には、プラスチックの総生産高は1000万トンに達すると推定され、その40%の400万トンが One way plastics となるであろう。

これに関連して、最近大きくクローズアップされている東京のゴミ戦争であろう。

家庭ゴミの量は1日1人当たり1~1,2kgといわれており、東京都の人口1000万人とすれば、1日1万2千トンの家庭ゴミが放棄される。そしてその10%に当たる1200トンがプラスチックと推定されている。大阪、京都、神戸、などの大都市については、その詳細は明らかではないが、その人口数から大体の推定がつくであろう。

さて東京都の1日のプラスチック廃棄物量が1200トンとすれば年間44万トンとなり、日本全体の One way plastics の22%が東京都で占められていることになる。

このような家庭ゴミはプラスチックを含んだままで燃却することが常道であった。しかしプラスチックは立派な固体状の石油資源であり、発熱量が高く、一度燃焼がスタートすると、プラスチックの量が多いときには、異常高温が発生し、そのために燃却炉の損耗が甚しく、本年初め頃にはこれに関する新聞ニュースがよくみられたが、最近では少なくなったところをみると、その燃焼方式について改善が積重ねられたものと考えられる。

しかし筆者に云わせれば、石油資源に乏しいわが国において、この貴重な石油資源であるプラスチックを焼いて灰にすることは不合理で、けしからんといいたいところである。

すなわち、プラスチック廃棄物の主体をなす PE, PP, PS, PUC, のうち、PVC を除いては、炭素と水素からなる、イオウを全然含まない、立派な石油資源であるからである。

それでは、各自治体からでる、プラスチック

ス廃棄物の組成はどうであろうか。

ある自治体で集められた混合プラスチックの組成をつぎの第5表に示す。

第5表 ある自治体からのプラスチック廃棄物の組成

	冬	夏
PE	55 {硬 25 軟 30}	63 {硬 37 軟 25}
PVC	25	25
PS	17	7
PP	3	3
		その他 2

上表ではPEの種類が冬と夏によって異なり、夏には融点の高い硬質が軟質よりも多く用いられる。

さて基礎研究として、まず500mmHg、450°C前後の温度でステンレス製のクライゼン容器を用いて分解蒸留を行ったところ、軟質からは95.1%、硬質からは92.5%の収率をもってガソリン-灯油の混合物が得られた。

筆者の説の特徴は減圧度を変えることによって、留出油の沸点範囲が調節できることである。

たとえば300mmHgの高い減圧下で行うと、留出物はSoft max様のものであり、一方ガソリンを主体とする軽質油を得んとするときには常圧に近い300mmHgを用いればよい。

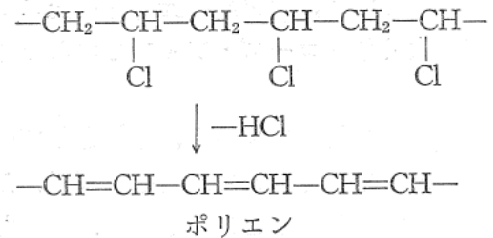
ただし、常圧で行えばガス状生成物が多くなり、これに伴って炭素の析出が多くなる、500mmHgでは炭素の析出量は常に1%以下で、これは実質量で、連続操作を行うときに極めて好都合のことである。

PPとしては立体特異性に乏しい、Off-gradeといわれるAtactic ppを原料としたところ、91.4%のガソリン-灯油の留分が得られた。

つぎに乳酸菌系飲料の容器として活用されているPSを分解したところ、スタイレン、モノマーを65.8%含む留出油95.9%が得られ、その他メチル、スタイレン6.8%、エチルベンゼン2.4%トルエン5.4%が含まれ、残りはスタイレンの2~3量体からなっていた。

つぎにプラスチック廃棄物のうち、公害の主犯人といわれているPVCについて検討した。

その結果HClの回収率93.0%で8.5%留出油が得られた。元来PVCからは59%のHClと、つぎのように不安定なポリエンを中間に生成する。



このポリエンからアセチレンを回収せんとしたが、現在のところ成功せず、その代わりに6個の炭素が環状化して生成した、ベンゼンを主体とした芳香族それにエチレンと炭素とを生成した。

このようにPVCの分解があまり結果がよくないのは、熱伝導性が悪く、加熱が均一に行かないことに原因すると思われ、よってPVC-PE(50-50)の混合物を処理したところ、50.8%の留出油が得られ、一方炭素の析出量は理論値の20.8%から7.8%と約13%の減少を示した、この結果単独よりもPEと混和した方がよく、これによって第5表に示したプラスチック混合物も処理が容易であるとの結論に到達したわけである。

プラスチック混合物からのPVCの分別が、一部で研究されつつあるが、筆者の結果ではPVCは分別の必要なく、PE、PP、PSとの混和が却って好都合であるわけである。

PE 60, PVC 25, PS 12, PP 3の人造混合物からは75%の留出油から得られることが判り、1トン/日のパイロットテストの結果も同様な結果を確認するに至った。

この結果が実際上成功すれば、東京都で廃棄される1日1200トンのプラスチックから約900トンの石油が回収されることになる。

しかしプラスチック廃棄物の石油への再資源のときに、一番問題となるのは、比重の小さなプラスチック廃棄物をいかにして、処理場に運搬するかである。

大型トラックでのプラスチックの運搬可能量は 200~300kg と極めて少なく、また発泡型のもは 1kg の運搬に 50円を要する由である。

よって、まず家庭でのプラスチックの自主的分別、自治体の責任においての処理場への集荷が先決となるであろう。

つぎにプラスチックは熱伝導率が悪く、よって大規模のときに、いかにして迅速に融解するかが大きな問題となる。

筆者はこの対策として Microwave の活用を提案している。

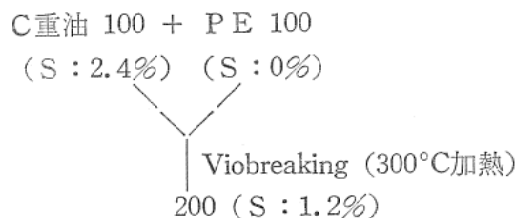
ただ、PE, PP, PS は無極性のため、Microwave に感応せず、PVC は極性のため、感応するが、稍緩慢で、このためには適当な感応剤の使用を必要とする。

いづれにしても、東京都からのゴミとして 1回 1200トンのプラスチックはこれを 900トンの石油に還元することは経済的に有利であると断言しても差支えなく、これを焼却することは、不合理であることを再記しておきたい。

Ⅲ. プラスチック廃棄物の脱硫への活用

PE, PP, PS はイオウを全然含んでいない立派な固体状石油資源であり、よってこれを活用して低イオウ燃料油の製造に活用することは極めて有意義である。

たとえば、筆者の提案する簡易低イオウ重油の製造性はここに Visbreaking とは PE が固体であり、よって粘度を減少せしめるために、軽い分解をおこさせることを意味する。



しかし、この方法は、あまり芸のないことで、イオウの多い重油とプラスチック廃棄物とを混和し、これを 450°C前後で分解蒸留を行うと容易に低イオウ重油を製造し得ることを見出し、目下 1トン/日のパイロットテストを行いつつある。

たとえば、イオウが多いので周知のカフジ釜残油 (S : 5.02%) 50 に対し PE 50 を加えて分解蒸留するとカフジ釜残油に対し 170% の収率でイオウ 1.25% の重油が得られた。

しかしその後色々改良が加えられ、カフジ単独でもイオウ 1.35% の重油が得られるようになってきた。勿論な PE どのプラスチック廃棄物を添加すれば、さらに低イオウの重油が得られることは明らかである。

加うるに、カフジ釜残油からは 20% 余の炭素が副成するが、イオウ含有量が 6~7% で、これの脱硫は大きな問題となっていたが、新しい方法では、析出炭素のイオウ含有量も 0.4% まで減少せしめることに成功した。

Ⅲ. 新しい武器 Microwave

料理用電子レンジに使用されている 2450 Mc の Microwave は、脱硫に対して極めて有効であることが当研究室で確認された。

すなわち、水は Microwave に quick response することは周知であるが、少量の水を滴下した固体状の NaOH は Microwave 照射によって強い火花放電をなし、容器として用いた硝子ビーカーは高温発生のため溶融破損される。

そして石英容器の使用を余儀なくされる。

この新しい方法は重油の脱硫に有効であるが、特にイオウの多い石油コークスに対して威力を発揮する。

たとえば 6~7% のイオウを含む石油コークスは Microwave 処理によって 0.4% の低イオコークスとなる。

また PVC 単独でも Microwave に感応するが少量の NaOH-H₂O をスプレーすると極めて短時間に PVC を分解することができる。

しかし PVC の Microwave 分解は現在のところ、そう経済的に有利ではない、これは Magnetron の電流効率あまりよくなく、たとえば、500ワットの Magnetron では 1キロワットの電流を必要とするからである、単独よりも PE との混和が有利に進行するが、PVC の処理は前述の分解一蒸留方式が有利と考えられる。

Microwave は、また古タイヤの無公害処理に

極めて有効である。

古タイヤもプラスチックと同様、大きな社会問題としてクローズアップされつつある。

米国の大きなゴムタイヤ会社である Firestoned Rubber Co は Bureau of Mines と協同研究によって、乾留方式の実用化を急ぎつつある。

しかしゴムタイヤはプラスチックと同様に熱伝導性が悪く、小規模のときには、あまり問題とならないうえに大規模の実装置では、内部の温度をいかにして迅速に上昇せしめるかが大きな問題となる。

ところでタイヤは30~50%のカーボンブラックを含み、これは Microwave の大好物といっても過言ではない。

すなわち、古タイヤに Microwave を照射すると Microwave が短時間にタイヤの内部まで浸透し、制限量の空気の下に熱分解される。

最近古タイヤの処理については、径15cm以下に裁断することが義務づけられんとしており、機械メーカーもこの線に沿って活発な動きを示しつつあるが、裁断したものをいかに処理するかが大きな問題であろう。

筆者は古タイヤは原形のまま Microwave 照射を行うことが経済的に有利であると結論しつつある。

む す び

公害問題は社会問題として大きくクローズアップされているが、遅々として解決されないのが現状ではあるまいか。

これは公害プラントは決して大きな利益をうむものとは考えられず、現在国家の補助金を目的として表面上活発な動きを見せているに過ぎないのであるまいか。

これは企業だけではなく大学人に対しても同じことが言えるであろう。

公害の研究は決して恰好よいものではなく、泥臭いことでもあえて行わざるを得ないときが多い。

長い間 Academic な研究に終始した大学人、悪く言えば自己満足型の人々が多いことは否定できない。

筆者は昭和7年以来、石油および石油化学の研究に終始し、また世界第2位に躍進した石油化学工業を強力にバックアップした1人であり、また60才をすぎた今日、「化学公害は化学者の手によって自主的に解決する義務と責任がある」との持論をまちまち固め、上述のプラスチック廃棄物の処理に取りかかった次第である。

しかし従来 Academic な恰好のよい研究に従事した筆者にとっては、一抹の淋しさを感じることが否定できない。

ただ社会の要求に答える研究は、大学人と言えどもこれを放置することが、許されない時期が到来することは必至であろう。

社会の要求を真剣に取上げ、公害の解決に全力を注ぐことが、今後の石油化学工業を躍進せしめる大きな原動力となることを記してこの稿を終りたい。