

「熱測定とエネルギー」雑談(III)

— 都市廃棄物の資源化 —

益 子 洋一郎*

1. 化石燃料はもやしてはいけない。化学工業や食糧の原料にすべきである。
2. 航空機、自動車はガソリンを使ってはいけない。水素を燃料とすべきである。
3. 発電はいつまでもタービンに頼ってはいけない。電子状態の転移機構を利用すべきである。
4. 原子力発電所は僻地につくってはいけない。大都市、工場地帯に建設すべきである。以上(I)
5. 水素の資源と製造法
6. 食糧源としての石油
7. 資源量、エネルギー量の基本単位設定の必要性
以上(II)

8. ゴミの熱力学的背景

自然は無秩序を好む。また、自然はエネルギーの平衡を好む。物質の状態を秩序あるものにしたたり、あるいはエネルギーを局在化させようとするれば、それ以前にあった状態以上の無秩序が局所以外のところに生じ、またそれ以前にあったエネルギー以上の余分なエネルギーを必要とする。

1個の乾電池を例にとってみよう。乾電池はそれを構成する金属類、炭素極、薬品などを拾ってきて組み立てられるものではない。それぞれの素材が鉱山、炭坑などから採掘した原料を工場処理、加工して作られたもので、それまでの過程で素材に火力、電力、人力などのエネルギーが加えられ、他の不要のものを除去しながら、特定の物質が入手され、さらに最終加工されて電池が組み上げられるものである。従って、電池という1個の秩序ある製品が、目の前の机の上という局所に存在するためには、他の多くの素材を乱雑に除去し、またその電池の発生する電気エネルギー以上のエネルギーを消費してはじめて可能となるのである。

これは反自然的操作である。熱力学的に言えば、このような秩序の確立およびエネルギーの局在化を行えば、全体の系のエントロピー(熱量/絶対温度)は増大する。自然が完全に静止してしまった絶対零度の場合を除いて、われわれを囲む環境のエントロピーはつねに増大しつづけるのである。

ヒトを進化の頂点とする生物は、その神秘的ともいえる物質およびエネルギー代謝の機構から言えば、乾電池とは比較にならない位に秩序度の高いものである。しかし、生物は地球年代史的長時間をかけて、自然に対して大規模の無秩序を起さず、エネルギー平衡をできるだけかき乱さないで進化してきたものであるので、その局在

化には人間が電池を製造する際に必要とするような反自然的操作は極小である。

人類が原始的社会生活を営んでいるうちは万事よかった。現代にいたって、人類がより秩序あると考える社会生活を営むために、エネルギーの付加された人工物を作りつつ行いう人為的生産行為は反自然的操作の度を一層加え、その結果、工場、都市などという局所から排出される大量の廃棄物および多大のエネルギーが環境を汚染、破壊するようになり、エントロピーがますます増大しつづけるのである。都市廃棄物であるゴミの熱力学的背景は以上のとおりである。

9. 現在のゴミ処理の化学的評価

ゴミはわが国においてはとくに多量(約20%以上)の水分を含む有機質を主とし、これに無機質、金属などの不燃性物質の混じったものである。東京都清掃研究所のデータによると、概ね紙類30%、繊維・木竹・わら類5%、プラスチック10%、水分の多い可燃性ゴミ40%、不燃性ゴミ15%の組成であり、発熱量は800~2000 kcal/kg以上となる。ゴミ処理に埋立て放棄は論外であるが(将来に資源を温存するという意味では焼却よりはよい)、焼却方式では水分は水蒸気となり、有機質はCO₂、H₂Oその他となって、不燃性の無機質、金属類は焼却残渣(スラッグ)として残る。有機質の中のプラスチックや食品滓からはHCl、NH₃、NO_xなども発生する。

熱力学的にみると、有機物を一挙にH₂OやCO₂というきわめて安定な、エネルギー的に利用度の小さい簡単な分子にしてしまえばかりでなく、燃焼という酸化反応でえられる多量の熱エネルギーを大気中に無駄に放出してエントロピーを増大させているにすぎないことになる。

つぎにのべる本稿の主題である化学プロセスによるゴミ処理法は、ゴミを水資源、有機質資源および無機質金属資源とみて、とくに有機質資源を化石燃料によるエネルギー源の代替(前号5参照)、および合成化学工業用の有機質資源の補完として有効利用し、熱力学的にもっとも有意義な方法をとってエントロピーの増大を最小にしつつ、人類の生産、社会活動の秩序維持に資することを考えたものである。

10. ゴミの新処理法

(特許番号 876169, 公告番号 特公昭52-3644)

この方法は筆者が昭和46年に着想をえて出願し、49年に公開されたものである。表5に本処理法の工程(プロセス)を示すが、このゴミ処理の工程全体を一つの閉じた系として考えると、この系での物質およびエネルギ

*元工業技術院東京工業試験所(化学技術研究所)長

表5 ゴミ処理の工程(プロセス)

工 程	一次脱水	極低温 粉碎	選 別	加 熱	熱分解	洗 淨	融 解
処理物質	乾燥ガス	LNG	磁石, 溶媒, 空気	非酸化性雰囲気		水	
生成取得 物(kg/t)	水 蒸 気	(NPG)	紙, プラスチ ックス, 金属	吸蔵ガス(50 m ³), 水蒸気 (50), 低沸点 有機物(5)	分解ガス, 軽質油蒸気, 重質油, タ ール	塩類水溶 液(50)	融解物(無 機物, 金属, 固体カーボ ン) (200~300)
二次処理	冷却分離		分 離	冷 却 分 離	冷却分離, 脱炭酸, 脱 硫	分 離	
エネルギー	吸 熱 (-)	発 熱 (+)		吸 熱 (-)	吸 熱 (-)		吸 熱 (-)

の入出力関係は、入力にゴミ、出力は各種有用物質および熱エネルギーである(後述)。全工程を通じて物質の循環による有効利用、熱交換による熱管理を最大限に行うものとする。

工程順にのべると、一次脱水ではゴミの乾燥と同時に水の回収が行われるが、乾燥ガスは加熱あるいは熱分解工程で生成したものを用いる。ここでゴミの含水量の95%が除かれ、えられた水蒸気は凝縮精製されて飲料水、工業用水として使用される。つぎの低温粉碎は液化天然ガス(LNG)によって粗大ゴミを冷却脆弱化させてロールミルなどを用いて粉碎し、後の処理をし易くする。LNGを都市ガスに使用するための加熱エネルギーをゴミによって与えるのである。選別工程は通常のものと考えてよい。

本処理法の大きな特長はつぎの加熱、熱分解工程にある。ここまでに水分、非有機物質等を除いた残りは、非酸化性雰囲気中で200~300℃に加熱される。ここでは二次的な脱水および吸蔵揮発性ガスの回収を目的とし、えられる蒸気は多段冷却してガス混合物、低沸点有機化合物および水に分離する。成分はCH₄、C₆H₆、水等である。熱分解工程は加熱工程の連続プロセスとして行う場合は500℃から1000℃まで昇温法を用いるが、定温法では温度750℃から1000℃の熱分解炉にゴミを移動させる。

この熱分解によって前号(II)でのべたように容量%で
 H₂ 50~55% CH₄ 10~20%
 CO 15~25% C₂H₄ 5~10%
 がえられる。この他ポリ塩化ビニルに由来するHClやタイヤ等のゴム加硫剤によるH₂Sなどがあるが、前者は食品タンパク質からメラミン樹脂などからのNH₃と化合させて無害化し、後者は必要に応じて脱硫処理して除去する。ここでえられるガスは水素燃料用原料、あるいは化学工業用原料として使用されるが、とくにエネルギー源としては、これを本処理法の各工程で必要とする熱エネルギーとして供給使用して余りあるものである。このガス混合物を分離した後、さらに多段冷却分離により軽質油(含芳香族)、重質油(パラフィン、ナフテン、オレフィン、芳香族)、タール類が回収できる。

洗浄工程では熱分解残渣から、NaCl、NH₄Clなどの塩類を分離するため水洗処理を行う。最後に融解工程で1000℃以上に加熱融解を行えば、主として不溶性無機物、ガラス質、金属および無機質炭素の多孔性均質混合物がえられ、要すれば酸、アルカリ処理、酸化、還元反応を用いて有価物を回収できる。

11. 本処理法の物質およびエネルギー収支と経済性

ゴミ処理のプロセスを一つの閉じた系として考えると、物質およびエネルギーの保存から容易に表6のように入出力関係が導かれる。物質収支からはいうまでもなく不要物と考えられたゴミが有効に資源化され、しかも有害ガスの発生および廃水の排出が皆無であることがわかる。エネルギー収支については、平均的都市ゴミ1tを900℃で熱分解するのに約5×10⁶ kcalの熱量が必要であるが、この1tのゴミから発生する熱分解ガスは約20×10⁶ kcalの熱量を有するので甚だ大きなプラスの値である。現在行われている単純燃焼(せいぜい地域冷暖房用熱源として考えられているにすぎない)、ならびに埋立て投棄と比較するまでもあるまい。

表6 本ゴミ処理法の物質およびエネルギーの入出力関係

	入 力	出 力
物 質	ゴ ミ	H ₂ , CO, CH ₄ , C ₂ H ₄ , …… 水 軽油, 重質油, タール, 塩類, 固形カーボン, 紙類, 金属
エネルギー	ゴミの 生成熱	(可燃性ガスエネルギー + LNG蒸発潜熱) -(加熱エネルギー + 粉碎機械エネルギー+その他)

ただし、当然ここでゴミの集荷、処理工場の立地、設備投資、法的規制、さらに管轄は自治体か事業団(運用形態いかんにより膨大な利潤を挙げることがある)かなどという問題が提起されよう。集荷の近代的な方法としては真空パイプ輸送、スラリー輸送などが現在開発中、または一部実施中であることに言及するにとどめる。その他の問題は筆者の専門外である。

おわりに筆者の提言に忌憚のない御批判をいただければ幸いである。
 (12月9日記)