

ガラスのリサイクル総論

東京大学生産技術研究所

安井 至

Several Aspects of Glass Recycle

Itaru Yasui

Professor, Institute of Industrial Science, University of Tokyo

1. はじめに

ガラスのリサイクルは、過去から行われていた有効な資源再利用法である。このところ、日本の法制度に様々なリサイクル法が追加された。さらに、リサイクルなどに対する根本的な理念を決定する法律として、2000年春の国会で、「循環型社会形成推進基本法」ができた。このような状況で、ガラスという材料についても、さらなるリサイクルの推進、再利用体制などを再構築して、より循環型材料としてのガラスを強化する必要があるのだろう。

2. なぜリサイクルなのか

後述するように、今後しばらくの間、日本では循環型社会を実現することによって、社会全体をより持続型に変化させることを大きな目標として掲げ、その法律的な枠組みとして、循環型社会形成推進基本法をはじめとして、いくつかのリサイクル法ができた。

さて、循環型社会が社会を持続型に変えるこ

とができるのだろうか。このような議論を行う枠組みとしては、マクロな系に対する議論ゆえに、熱力学が有効である。

熱力学の枠組みでは、第一法則としてエネルギー保存則が述べられている。それ以前に、科学全体の枠組みとして物質不滅の法則がある。ある系をより持続的にするためには、まず、この世の中に関わる重要な2つの要素である、エネルギーと物質とをできるだけ循環させて使うべきことになる。これは2つの基本的な法則によって可能ではなくである。

しかし、エントロピーなるやっかいなものが熱力学の第二法則によって規定されており、自発的な変化が起きれば、どのような閉鎖系についてもエントロピーは増大する。すなわち、最終的にはエントロピーの暴走によって系が死を迎えることが必定なのである。

しかし、極めて幸いなことには、地球という天体は、物質的には確かに閉鎖系に近いのだが、エネルギー的には開放系なのである。太陽エネルギーは、地球に到着している分が、現時点で人類が使っているエネルギーの10,000倍を超しており、その分は最終的には宇宙空間へと放出されている。このエネルギーの流れのおかげで、地球全体としての熱的なエントロピーの増大は考えなくても良いことになる。

一方の濃度の減少、別の言葉で表現すれば、資源の劣化によるエントロピーの増大は、熱エントロピーの増大と違って、どのような場合でも、考察の対象にせざるを得ない。

このような状況を考慮して、ある系を持続型に使用すると、以下のような対策を考えなければならないことになる。

系を持続型にするためのエントロピー対策法一覧^[1]

熱エントロピーの増大を防止するには、
エネルギー面：できるだけエネルギー使用量を下げる。可能なら再生可能エネルギーを使う。廃熱などを上手に使う、無駄なエントロピーの増大を避ける。

濃度エントロピーの増大を防止するには、
資源面1：できるだけ資源使用量を減らす。可能なら再生可能資源を使う。

資源面2：枯渇性の高い元素は絶対に、それほどもでもない元素もできるだけリサイクル。

排出面1：できるだけ短時間で分解して地球上に普遍的に存在する物質になるものを使う。

排出面2：濃度を地球の生態系を乱さない程度まで下げて、分解を地球の能力にゆだねる。

排出面3：難分解性の有毒な物質や人工的な物質を使う場合には、完全クローズドシステムの実現を心がける。

排出面4：製品の最終ライフサイクルである廃棄過程まで十分に考慮して機器設計・材質設計を行う。

最終処分1：できるだけ最終的な埋立を避ける。どうしても埋め立てる場合には、鉱物的性格の物質にする。

最終処分2：焼却は有効な手段ではある。しかし、最後の最後の手段だと考える。

このような条件に適合した方法論で、今後の循環型社会では、材料を取り扱うことになるだろう。リサイクルよりもリユースを優先すべきであるという原則も、一般にリユースの方が低エネルギー消費であることが知られており、これらの条件から導くことができる。確認のために、これらの原則に照らして、ガラスのリサイクルの妥当性を一通り考えるよう。資源面1, 2はむしろ一般原則であり、当然、ガラスのリサイクルを支持する。排出面1について、ガラスは、もともと地球との親和性の高い素材であって、生態系を乱すようなガラスは、きわめて特殊な組成のものに限られるだろう。最終処分1の原則は、ガラスは人工黒曜石だと考えれば満足しているだろう。それ以外の原則についても、おおむね適合しているか、あるいは、無関係なものと言える。

このように、ガラスという物質は、リサイクルを行うことによって、社会全体の持続可能性を高めるべき材料のように思える。

3. リサイクル一般論とガラス瓶

3-1. リサイクルループ

循環型社会形成推進基本法の中でも述べられていることだが、それまで環境負荷を減少する方法として、1R、すなわち、リサイクルだけが強調されてきたが、これからは、3R、すなわち、Reduce, Reuse, Recycleを目指した社会を構築するが、その際、3Rにも優先順位を設定し、Recycleは、他の2Rよりも低位に置くこととなった。すなわち、リサイクル手段は、最後の手段だと見なすことになった。

3Rにかかわる状況を図示してみると、図1のようになる。すなわち、地球から資源・エネルギーを採取し、材料・製品を製造するが、ループとしては2種類を考え、製品そのものを再度使用するReuseと、材料レベルでのRecycleとを分けて考えることがまず第一のポイントである。さらに、Recycleについても、

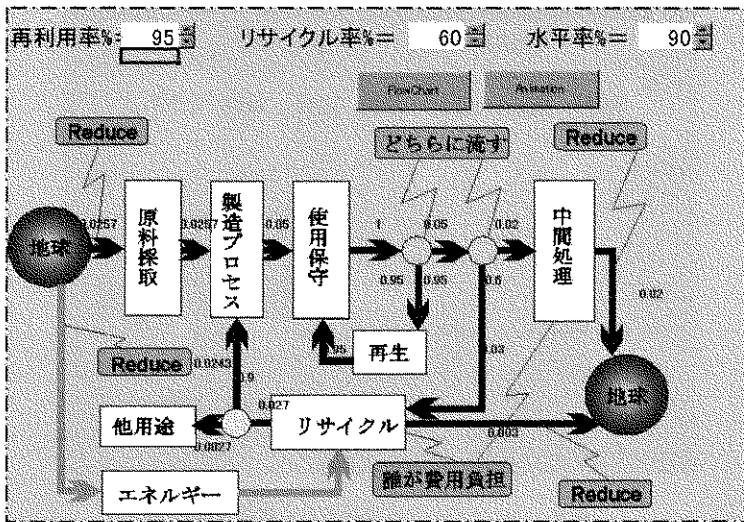


図1 リサイクルプロセスの二重ループ

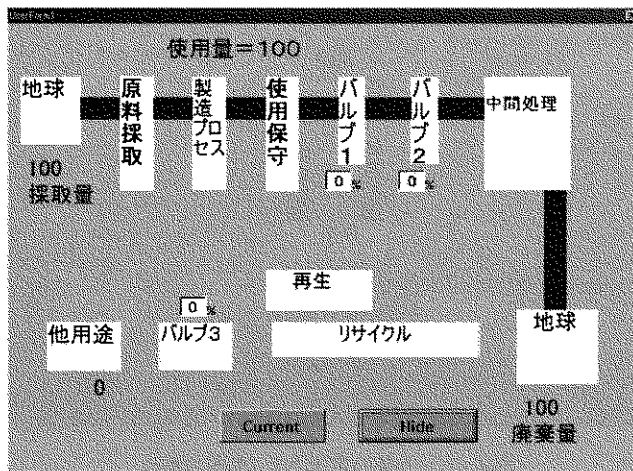


図2 リサイクルなしの場合の物質の流れ。すべて地球から採取され地球に埋められる。

できるだけ水平に回すこと、すなわち、もとの製品に戻すことを優先すべきことが第二のポイントである。そして、第三のポイントとして、これらのループを回すのに要するエネルギーを減らすことである。

図2以下に、物質の流れの量を太さで表現した場合のリサイクルループの様子を示す。図2は、ループが作用していない場合であり、すべての物質は、地球から採取され、最終的に廃

棄物として地球に戻されている。1990年代の後半、日本における環境問題は、廃棄物問題であるとの認識が高まり、最終処分地の新規建設が住民同意を必要とするという意味から不可能に近い状況になったこともあって、廃棄物の減量化が最大の課題になった。そのために容器包装リサイクル法が97年から施行されるようになった。1999年時点におけるペットボトルは、リサイクル率が約25%であるが、これの

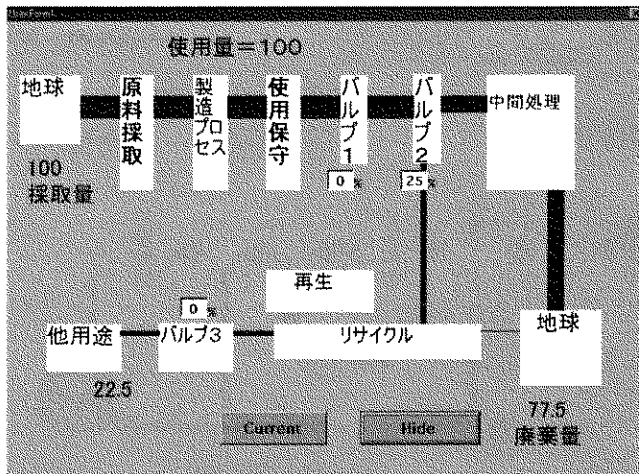


図3 ペットボトルの現状を示す物質の流れ

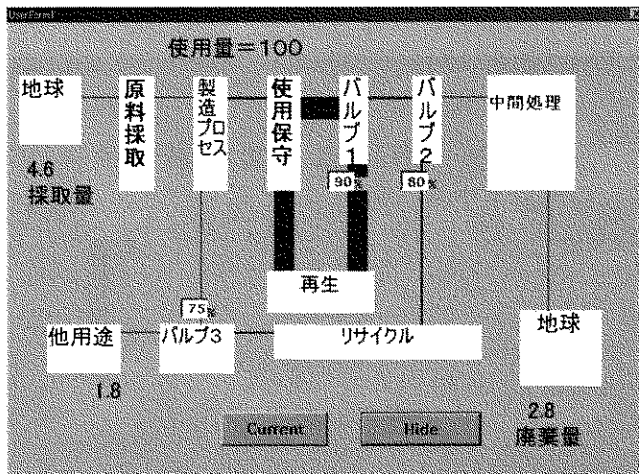


図4 ビール瓶の現状を示す物質の流れ

状況を図3に示す。たしかに、最終的な埋立量は、ほんのわずか減少したことにはなるが、図全体としてのイメージは余り大きな変化が無い。何が問題かと言えば、それは、(1)ペットボトルが再度ペットボトルに戻ることは無いため、ループになっていないこと、(2)ペットボトルをそのまま再利用することが行われていないために、ループ2重になっていないこと、の2点である。

3-2. リターナブル瓶

ガラス瓶について言えば、ビール瓶、牛乳瓶については、リターナブル瓶という名前で呼ばれているリユースシステムが存在し、持続型の社会システムができあがっている。図4にビール瓶の場合の物質の流れを示す。21世紀の環境適合性を評価する方法論の一つに、拡大製造者責任という言葉がある。すなわち、製品を製造したときには、その商品が商品として使われている間だけではなく、その後の廃棄過程

に至るまで、すなわち、その商品のライフサイクル全般にわたって、製造業者がその責任を果たすべきであるという考え方である。

リターナブル瓶というものは、もともと飲料業者の資産であって、消費者は借りているにすぎない。そのため、消費者が使用済みのリターナブル瓶を販売店に返せば、補償金として5円が戻ってくる仕組みになっている。一升瓶もリターナブル瓶であり、しばらく前までは、日本酒の容器として主流であった。しかし、小型の容器に対する需要が高まったこともあり、近年、一升瓶というリターナブル瓶は絶滅危惧種になっている。

ワンウェイタイプのガラス容器の環境負荷は必ずしも低くは無い。しかし、現在の状況だと、意匠性をかなり意識した容器が化粧品や高級酒類を中心に使われている。このような状況が今後、どこまで許容されるか、不明である。まあ、10年20年で、禁止になるようなことではないだろう。しかし、ワンウェイガラス容器の場合であっても、ガラスカレットレベルでのリサイクルは可能な組成にしておくことが必要で、鉛ガラスなどを容器に使うことは極力避けるべきだろう。

3-3. 色ガラスの問題

ガラス瓶の場合に限らないが、着色ガラスを使用するという用途は数多い。ガラスの着色は、多くの場合に、遷移元素の添加や、コロイドを形成する微量添加物によって実現されている。このような方法で着色されてしまうと、もはや脱色することは不可能である。ポリフェノールが健康によいと宣伝され、ポリフェノールの一種であるアントシアニンなる赤い色素を含む赤ワインが売れに売れて、緑色のワイン瓶が大量に積み上げられたことは記憶に新しい。

現在、大阪工業研究所などでは、酸化還元の影響や高エネルギー光の照射によって着色し、加熱をすることによって、無色に戻るといった着色法を研究している^[2]。その他にも、簡単にはがれる薄膜の干渉色を使う方法などもあるだ

ろう。さらにもっと実用的な方法としては、着色したプラスチックフィルムを被せることもすでに開発されている^[3]。

着色をする極限の理由が、太陽光が内容物の劣化になることであるのなら、紙をガラスに巻きつけるという解決法も無い訳ではない。実際、デンマークなどでは、そんな方法が採用されており、これも将来のことになるのだろうが、市民社会の発想が、「そのような容器でも中身は同じ」ということになれば、そんな解決法が手っ取り早い。産業になるか、あるいは、技術的な発展があるか、という意味ではやや疑問が残る方法ではあるが。

色ガラスについては、最後にビール瓶用の茶瓶の有用性を指摘しておきたい。鉄イオンによるガラスの着色の場合には、還元することによってほぼ無色にすることが可能である。したがって、炭素還元状態で溶解されるビール瓶は、さまざまな色のガラスの最終的なシンクとしての役割を果たす。ビール瓶は、残念ながら現在減少中である。さまざまなガラスの再利用の可能性を残すために、ビール瓶は、是非ともある数以上の生産量を確保しておきたい。今日から、ビールは瓶で飲みましょう。

4. その他のガラス

板ガラス（自動車用、建設用）のリサイクルはあまり進んでいない。しかし、現在さまざまな技術が開発されようとしているし、自動車リサイクル法ができれば、確実にやらなければならない状況になるだろう。建築廃材のリサイクルも法によって強制されたため、板ガラスのリサイクルも視野に入れておく必要があるだろう。

鉛ガラスや透明結晶化ガラスのような特殊なガラスが、通常のソーダ石灰ガラスのリサイクルを阻害しないように、永久に消えない形で表示を行うことが必要になるだろう。

5. ま と め

循環型社会を形成することが、ここ数年の日本全体の社会的目標となっている。ガラスという素材自体は、循環型社会を構成する極めて重要なメンバーのひとつだと言える。

参考インターネットアドレス

- [1] http://plaza13.mbn.or.jp/~yasui_it/EnvEntropy2.htm
- [2] http://www.onri.go.jp/optical_j.html
<http://www.jaeri.go.jp/life/ind.html>
- [3] http://www.kirin.co.jp/active/env/envreport99/p14_p15.html