

II-555

エネルギー的側面から見た古紙回収の評価の試み

京都大学工学部 正員 長谷川健
 京都大学工学部 正員 森澤眞輔
 京都大学工学部 正員 井上頼輝

1.はじめに

資源の有効利用と廃棄物量の減少の両面から古紙、空き缶・瓶などのリサイクルが進められている。これら資源のうち古紙は回収され再び再生紙として利用される。この点は、空き缶・瓶でも同じである。しかし、古紙は回収されずに廃棄物として回収されて焼却される場合には焼却熱として発電や温水プールの熱源としてエネルギー回収される。そこで、古紙を紙資源として回収するのとエネルギー源として利用するのはどちらの方が有効であるか比較する必要がある。この比較をエネルギー収支の視点から行うことが本研究の目的である。

2.紙資源流動のエネルギー的特性分析

紙資源流動¹⁾に伴うエネルギー収支がどのように変化するかを検討するために、ヴァージンパルプのみから作る紙や再生紙等、紙資源の種類によってエネルギー収支に差が見られない部分を省略し、紙資源のフローを図1のように簡略化する。図1において記号A～Eはエネルギーの出入を意味する(表1参照)。また、図1中の数値は1991年における紙資源流動の実績値である。

6つの因子(a.化学パルプの生産に要するエネルギー、b.機械パルプの生産に要するエネルギー、c.古紙パルプの生産に要するエネルギー、d.黒液からの回収エネルギー、e.パルプから紙を生産する際に要するエネルギー)を考慮して、紙生産に必要なネット・トータル・エネルギーの経年変化を図2に示す。

3.エネルギー収支から見た古紙リサイクルの効果

以上のエネルギーデータをもとに1991年における紙・板紙の生産・消費・回収・廃棄の実績を対象にして、古紙のリサイクル率を変化させて、熱エネルギーの収支状況を分析する。

古紙回収量が増加(減少)するのに伴って古紙パルプの生産が増え(減り)、ヴァージンパルプの使用量が減少(増加)する。

このとき、古紙パルプの増加(減少)分をヴァージンパルプである化学パルプと機械パルプをどのような割合で減少(増加)させるかによってエネルギー収支状況が大きく変わる。ここではエネルギー投入量が全体としてより少なくなる次のケースについて検討する。すなわち、ヴァージンパルプの使用量を減少させる場合には、より多くのエネルギー投入が必要な(黒液としてのエネルギー回収が不可能な)機械パルプを優先的に減少させ、逆にヴァージンパルプの使用量を増加させるときは化学パルプを優先的に増加させる。

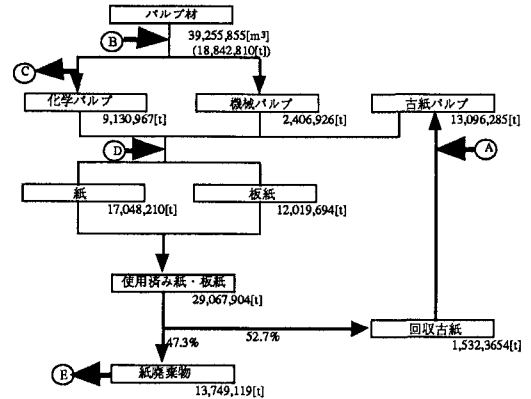


図1 本研究で想定する紙資源流れ

表1 図1中の記号の意味

記号	エネルギー
A	古紙パルプ生産に必要なエネルギー
B	ヴァージンパルプ生産に必要なエネルギー
C	クラフト・パルプ生産に伴い発生する黒液(回収黒液)を燃焼させることによって得られるエネルギー
D	パルプから紙・板紙を生産する際に必要なエネルギー
E	紙廃棄物が焼却される時に得られるエネルギー

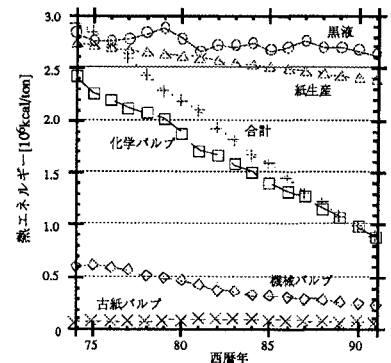


図2 紙生産に必要なネットトータルエネルギー

紙資源サイクルの全体としてのエネルギー収支 ΔE を考える。
エネルギー収支 ΔE は次式で定義するものとする。

$$\Delta E = V_e - I_{\text{net}} \quad (1)$$

ここに、 V_e は紙・板紙の使用価値のエネルギー換算量[kcal]、 I_{net} は紙・板紙の生産等に必要のネットトータルエネルギー[kcal]である。指標 ΔE は大きいほどよく、負の ΔE は紙の生産によってエネルギーが消費されることを意味する。「紙・板紙の使用価値のエネルギー換算量」とは、紙・板紙が紙資源として有している価値(この価値は紙・板紙が使用されることによって失われるので、ここでは便宜的に使用価値と称す)を熱エネルギーに換算したものである。この換算が如何にして可能になるかは議論の余地があるが、ここでは仮に紙・板紙の発熱量に相対的に評価することにする。つまり

$$V_e = tH \quad (2)$$

と表現することにする。ここに、 t は低位発熱量を紙・板紙の使用価値のエネルギー換算量に換算する係数[-]、 H は紙の低位発熱量[kcal]である。

黒液からの回収エネルギー、廃棄物焼却プロセスからの回収エネルギーは原料木材や紙・板紙が持つ発熱量の一部を評価していることになる。そこで、ネットトータルエネルギー I_{net} を評価する場合には紙・板紙生産用原材料の持つエネルギー価値も含めることにする。つまり、

$$I_{\text{net}} = I_e + I_f \quad (3)$$

と表記する。ここに、 I_e は生産工程における正味投入エネルギー[kcal]、 I_f は紙・板紙の生産に必要な原材料等の熱量換算投入エネルギー[kcal]である。 I_f は、パルプ材の発熱量に対して相対的に評価することにする。つまり、

$$I_f = uJ \quad (4)$$

ここに、 J はパルプ材の発熱量[kcal]、 u はエネルギー以外の形態で紙・板紙生産に投入される原材料の価値をパルプ材のエネルギー価値に相対的に表示するための係数[-]である。

以上のパラメータ t, u を適当に定めてシミュレーションした結果の一部を図3に示す(二つの図は見やすさのため軸の向きが異なっている)。図3より、以下を指摘することができる。

- 1) 古紙回収率の増加は常にエネルギー収支 ΔE を増加させるとは限らない。紙・板紙の生産に必要な薬品やパルプ等のエネルギー換算値(u)を大きく評価する場合には古紙回収率の増加によってエネルギー収支 ΔE は減少する。
- 2) 紙・板紙の使用価値(t)を大きく評価すると、エネルギー収支 ΔE は全体としてプラス側にシフトする。
- 3) 廃棄物焼却における熱回収率が小さいので、古紙を紙資源として回収するのとエネルギー源として利用することの間にはトレードオフは認められない。

4. おわりに

廃棄物焼却における熱エネルギー回収を視野にいれ、紙資源リサイクルの効果を評価することを試み、資源としての古紙回収とエネルギー回収との優劣が、上述のパラメータ u に支配される可能性を示した。

<参考文献> 1) 関口・森澤・井上：土木学会第47回年講、II-180, (1992)

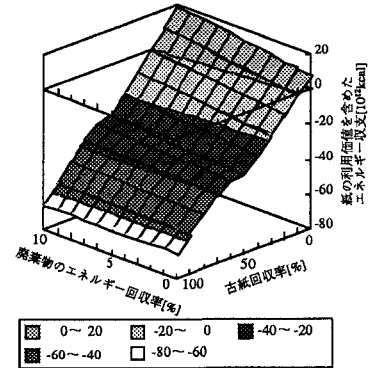


図3(a) 廃棄物からのエネルギー回収率、古紙回収率と紙資源流動のエネルギー収支($t=0, u=0$)

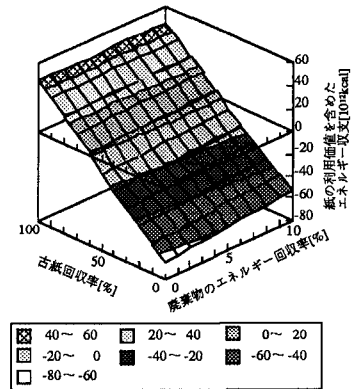


図3(b) 廃棄物からのエネルギー回収率、古紙回収率と紙資源流動のエネルギー収支($t=1, u=1$)