

廃棄物の各種リサイクル有効度に対する定量的な比較手法について

青木孝一

正会員 鹿島建設株式会社 環境本部 廃棄物処理グループ

(〒163-1029 東京都新宿区西新宿三丁目 7-1 新宿パークタワー29 階)

廃棄物のリサイクルには熱利用も含め種々の用途があるが、これらリサイクル用途の比較は定性的なものが多く、同一の視点からの定量的な比較はあまりされていない。そこで筆者は、適用対象地域のリサイクル等寄与面、リサイクル事業の付加価値面、リサイクル市場面、CO₂発生抑止寄与面、事業性等の各項目について独自に指標値を設定し、これを用いてリサイクル有効度を定量的に比較する手法を開発した。本論文では、これらの指標値と比較手法を紹介すると共に、これを主に廃木材リサイクルに適用した比較事例を紹介する。

キーワード：指標値、リサイクル有効度、リサイクル定量比較、適用地域共通尺度

1. はじめに

廃棄物リサイクルの有効度を比較する場合、従来は定性的な比較が多く、定量的な比較をする場合でもコスト等一部の項目について行われている。この方法では、客観性が低いだけでなく比較項目もその都度変わるため、リサイクル原料の廃棄物種類やリサイクル用途がまったく異なる場合の客観性が高い比較評価は困難であった。また、適用地域により、廃棄物発生量やリサイクル状況等が異なるため、適用する地域状況を考慮に入れて定量的かつ共通の尺度でリサイクル有効度を比較できる適当な手法は見当たらないといえる。

本論文では、すべての廃棄物リサイクルに適用可能で適用地域状況も加味した8つの指標値により、リサイクル有効度を定量化することで客観的に比較する手法を紹介する。

2. 指標値とリサイクル有効度定量比較手法

すべての廃棄物リサイクルに対し、共通の尺度で客観的な判断が可能となるよう導入した8つの指標値と、これを用いて複数のリサイクルの有効度を比較する手法を以下に述べる。

(1) 指標値の導入

下記の3面を考慮して、各々に適した指標値を設定した。

- ・適用地域へのリサイクル・減量化貢献度
- ・適用地域でリサイクルを行う適否
- ・リサイクル事業面

a) 適用地域へのリサイクル貢献度を考慮した指標値について

①減量化寄与度

対象地域の全最終処分量に対するリサイクル計画による最終処分減量の比率で、当該地域の最終処分の減量化寄与度を判断する。

②リサイクル寄与度

対象地域の対象廃棄物リサイクル量に対する計画でのリサイクル量の比率で、当該地域のリサイクル寄与度を判断する。なお、サーマルリサイクルの場合、従来では熱利用があれば 100%リサイクルで、熱利用がない場合は 100%減容化と区分していたが、これでは熱効率や熱利用ニーズが考慮されないため、今回は実際に有効利用される熱利用率をリサイクル対象とし、廃熱分は減容化対象とした。

b) 適用地域でリサイクルを行う適否を判断する指標値について

①リサイクル競合度

リサイクル対象廃棄物の計画受入量に対する対象地域の未リサイクル量の比率で、受入設定値の妥当性等を判断する。この値が大きい場合には原料となる廃棄物が受入しやすく、小さい場合には他地域から受入をする必要もある。

②リサイクル市場有望度

リサイクル処理製品の計画生産量に対する対象地域の需要量の比率で、当該地域における市場性の高低を判断する。この値が大きいほど当該地域内で需要があり、低い場合には他の地域で需要が見込めるか否かを判断する必要がある。

c) リサイクル事業面を考慮した指標値について

①処理事業有効度

リサイクル事業を行うための必要経費に対する事業収入の比率で、リサイクル事業の採算性を判断する。

②CO₂発生抑制度

リサイクル事業に伴い使用するユーティリティ量と廃棄物及びリサイクル処理製品の運送時燃料使用量に対する廃棄物受入量全量を最終処分する場合の燃料使用量（いずれも灯油換算値）の比率で、リサイクルに伴う CO₂ 発生抑制度合いを判断する。

③付加価値度

リサイクル事業における全収入額に対する付加価値対象となるリサイクル処理製品の販売額と熱・電力販売額の合計額の比率で、リサイクルによるアウトプットの付加価値を判断する。

④土地活用有効度

リサイクル事業のための土地取得費または借地額に対するリサイクル事業の全収入額の比率で、土地有効活用の度合いを判断する。なお、この指標値は、リサイクル事業以外の事業と比較する場合にも参考となる。

d) 指標値算出の設定項目

①受入廃棄物に関する項目

- ・受入対象地域の当該廃棄物発生量： $M_j(t/\text{年})$
- ・受入対象地域の当該廃棄物リサイクル量： $Mr_j(t/\text{年})$
- ・受入対象地域の全最終処分量： $Mts(t/\text{年})$
- ・当該廃棄物の処理施設受入量： $Mij(t/\text{年})$
- ・当該廃棄物の処理施設受入単価： $Cij(\text{円}/t)$
- ・受入廃棄物を最終処分する場合の燃料使用量（輸送含む灯油換算量）： $Usij(L/\text{年})$

②処理施設に関する項目

- ・建設コスト： $Cc(\text{円})$
- ・施設使用期間： $N(\text{年})$
- ・ランニングコスト： $Cr(\text{円}/\text{年})$
- ・必要敷地面積： $A(m^2)$
- ・ユーティリティ使用量（灯油換算量）： $U(L/\text{年})$
- ・敷地購入単価 or 借地単価： $Ct(\text{円}/m^2)$

③処理後のリサイクル製品、エネルギー供給、排出物等に関する項目

- ・リサイクル製品生産量： $Mro(t/\text{年})$
- ・リサイクル有効係数： α （ $\alpha=0\sim 1$ ）
- ・リサイクル製品単価： $Cro(\text{円}/t)$
- ・外部熱供給量： $Q(kJ/\text{年})$
- ・熱供給単価： $Cq(\text{円}/kJ)$
- ・外部電力供給量： $E(kWh/\text{年})$
- ・電力供給単価： $Ce(\text{円}/kWh)$
- ・処理後最終処分廃棄物排出量： $Mso(t/\text{年})$
- ・リサイクル品販売対象地域の需要量： $Mr(t/\text{年})$
- ・受入廃棄物、リサイクル製品、処理後廃棄物の輸送燃料使用量（灯油換算）： $Uf(L/\text{年})$

注 1；上記項目でサフィックスの j は廃棄物の種類を示す。（複数廃棄物を原料とする場合）

注 2；リサイクル有効係数は、マテリアルリサイクルでは通常 1.0 で、サーマルリサイクルの場合実際に熱利用される率を設定する。

e) 指標値算出式

表-1 に指標値算出式を示す。

表-1 指標値算出式

指標名	指標値の算出式	記事
減量化寄与度	$\frac{\sum M_{ij} - M_{so}}{M_{ts}}$	・ 値が大きい程寄与度が高い
リサイクル寄与度	$\frac{\sum \alpha_j \times M_{ij}}{\sum M_{rj}}$	・ 値が大きい程寄与度が高い
リサイクル競合度	$\frac{M_j - M_{rj}}{M_{ij}}$	・ 値が大きい程競合しにくい* ・ 最小値となる廃棄物が対象
リサイクル市場有望度	$\frac{M_r}{M_{ro}}$	・ 値が大きい程市場有望度が高い
処理事業有効度	$\frac{\sum M_{ij} \times C_{ij} + M_{ro} \times C_{ro} + Q \times C_q + E \times C_e}{(C_c / N + C_r)}$	・ 値が大きい程事業有効度が高い**
CO2 発生抑制度	$\frac{\sum U_{sij}}{U + U_f}$	・ 値が大きい程 CO2 発生抑制度が高い (CO2 発生量小)
付加価値度	$\frac{M_{ro} \times C_{ro} + Q \times C_q + E \times C_e}{\sum M_{ij} \times C_{ij} + M_{ro} \times C_{ro} + Q \times C_q + E \times C_e}$	・ 値が大きい程付加価値度が高い
土地活用有効度	$\frac{\sum M_{ij} \times C_{ij} + M_{ro} \times C_{ro} + Q \times C_q + E \times C_e}{A \times C_t}$	・ 値が大きい程土地活用の有効度が高い

注 1：木材をエネルギー源とする場合、この分の U はゼロとする。

注 2：*1.0 を下回る場合、設定した量の廃棄物が収集可能か否かの精査が必要。

注 3：**1.0 を下回る場合、事業成立の精査が必要。

(2) リサイクル有効度の定量比較手法

前節で示した指標値を用いたリサイクル有効度の定量比較手法を以下に示す。

a) 手順

定量比較の手順は以下による。

①指標値を構成する項目の調査、検討及び設定

適用地域を選定（できれば県単位以上）し、リサイクル対象廃棄物とリサイクル用途・処理量を設定する。この時、用途は複数とし、用途を考慮した対象廃棄物と処理量を設定することになる。この選定及び設定後、選定地域の廃棄物発生状況等の調査とリサイクル用途別にフィージビリティスタディを含めた検討を行うことで、各指標値を構成する各項目を具体的に設定できる。

②各指標値の算出

指標値を構成する項目の設定値を表-1 の指標値算出式に代入して、リサイクル用途ごとに各指標値を算出する。

③算出した指標値によるリサイクル有効度の定量比較

定量比較を行うための総合評価方法として、一般的には次項に示す手法をとる。ただし、地域特情や事業特性等から特に優先したい指標値がある場合は、指標値のウエイト付けを行い、ウエイトにより指標値のポイント配分率を設定することもできる。

b) 総合評価方法

指標値ごとに高い値のリサイクル用途順にポイ

表-2 指標値を構成する項目の設定値

設定項目	廃木材リサイクル用途名			
	A ボード	B ウッド	C ウッド	溶融発電
○ 地域の廃木材発生量(t/年)	220,000	220,000	220,000	220,000
○ 地域の廃木材リサイクル量(t/年)	110,000	110,000	110,000	110,000
○ 地域の廃プラ発生量(t/年)	—	—	200,000	200,000
○ 地域の廃プラリサイクル量(t/年)	—	—	50,000	50,000
○ 地域の全最終処分量(t/年)	1,470,000	1,470,000	1,470,000	1,470,000
廃木材処理施設受入量(t/年)	50,000	64,800	2,750	48,000
廃木材処理施設受入単価(円/t)	15,000	0	0	15,000
廃プラ処理施設受入量(t/年)	0	0	2,250	192,000
廃プラ処理施設受入単価(円/t)	—	—	—	30,000
受入物最終処分輸送燃料使用量(L/年)	95,000	123,120	9,500	456,000
処理施設建設コスト(円)	5,500,000,000	1,800,000,000	2,100,000,000	41,234,000,000
処理施設使用期間(年)	10	10	10	17
処理施設ランニングコスト(円/年)	1,665,100,000	2,562,930,000	979,100,000	5,104,406,000
ユーティリティ使用量(灯油換算)(L/年)	3,304,800	8,050,000	2,132,480	63,876,923
必要敷地面積(m ²)	20,000	7,000	9,000	42,000
借地単価(円/m ² 月)	300			
リサイクル品生産量(t/年)	45,000	64,800	5,000	24,000
リサイクル品単価(円/t)	45,000	50,000	300,000	600
熱供給量(売却分)(kJ/年)	0	0	0	0
熱供給単価(円/kJ)	—	—	—	—
発電量(KWh/年)	0	0	0	144,000,000
電力供給量(売電分)(KWh/年)	0	0	0	72,000,000
電力供給単価(円/KWh)	—	—	—	4.6
リサイクル有効係数 α	0.90	1.0	1.0	0.40
処理後最終処分物排出量(t/年)	5,000	0	0	54,000
リサイクル品目 ○ 地域の需要量(t/年)	120,000	640,000	320,000	2,000,000
収集、製品、廃棄物運送燃料使用量(L/年)	190,000	246,240	19,000	604,200

注；上表で廃棄物は産業廃棄物が対象。また，受入物の最終処分場で使用する燃料使用量は除外した。

ント数を設定し，この集計値が高いリサイクル用途・事業ほどリサイクル有効度が高いものとして評価する。

ポイント数の設定方法を以下に示す。

・設定方法 1

指標値の大きさに関係なく，値が高い順に 1 点差となるよう，指標値ごとに各用途のポイント数を設定する。

・設定方法 2

指標値の値を考慮してある範囲ごとに高い順に 1 点差となるよう，指標値ごとに各用途のポイント数を設定する。

・設定方法 3

指標値ごとに最大値または適当な基準値を設定し，この値に対する割合でポイント数を設定する。また，ポイント数を特に設定せずに割合値をグラフ化して総合評価を行うこともできる。

上記いずれの方法でポイント数を設定する場合でも，以下の異常値が出る場合にはポイント数の

付与について必要な処置を施す。

—処理事業有効度の数値が 1.0 を下回る場合には事業を行う上でかなり厳しいため，マイナスポイント（ex.－1 点）とする。

—指標値が異常に低い場合や，リサイクル競合度が 1.0 を下回る場合には設定した地域内から収集が困難となるため，0 点とする。

3. 定量比較実施例

2 章で述べた手法により，○ 地域を対象とした廃木材を原料（一部のリサイクル用途で廃プラスチックも使用）とした 4 件のリサイクル事業の定量比較実施例を以下に示す。

(1) 指標値を構成する項目の設定

指標値を設定する項目について調査・検討を行い，それらの値を設定した。これを表-2 に示す。

(2) 指標値の算出

表-3 リサイクル用途別の指標値算出

指標名	廃木材リサイクル用途			
	A ボード	B ウッド	C ウッド	溶融発電
減量化寄与度	0.031	0.044	0.003	0.13
リサイクル寄与度	0.41	0.59	0.03	0.78
リサイクル競合度	2.2	1.7	40.0	0.78
リサイクル市場有望度	2.7	9.9	64	83
処理事業有効度	1.25	1.18	1.26	0.91
CO2 発生抑制度	0.0272	0.0148	0.0044	0.0071
付加価値度	0.73	1.0	1.0	0.05
土地活用有効度	460	1,500	560	540

注；いずれも値が大きいほど良い。

表-2 に示す設定値からリサイクル用途ごとの各指標値を算出した。この結果を表-3 に示す。

b) ポイント設定方法 2 の場合

各指標値に対し、表-5 に示す数値範囲でポイント数を設定する。

(3) 総合評価

表-3 に示す指標値を用いて、(2)節 b)項の総合評価手法により、各リサイクル用途の総合評価を行った。この結果を以下に示す。

a) ポイント設定方法 1 の場合

指標値の大きさに関係なく、指標値が高い順に 4～1 点となるようポイント数を設定した結果を表-4 に示す。なお、この表で溶融発電の処理事業有効度、リサイクル競合度、付加価値度と C ウッドの減量化寄与度、リサイクル寄与度は異常処理のポイント付与を行った。

表-4 リサイクル用途別ポイント数-1

指標名	A ボード	B ウッド	C ウッド	溶 融 発電
減量化寄与度	2	3	0	4
リサイクル寄与度	2	3	0	4
リサイクル競合度	3	2	4	0
リサイクル市場有望度	1	2	3	4
処理事業有効度	3	2	4	-1
CO2 発生抑制度	4	3	1	2
付加価値度	2	4	4	0
土地活用有効度	1	4	3	2
ポイント合計	18	23	19	15

表-5 ポイント数設定数値範囲

付与ポイント 指標名	4	3	2	1
減量化寄与度	～0.10	0.1～ 0.075	0.075～ 0.05	0.05～ 0.025
リサイクル寄与度	～0.70	0.70～ 0.50	0.50～ 0.30	0.30～ 0.10
リサイクル競合度	～10	10～ 5.0	5.0～ 2.0	2.0～ 1.0
リサイクル市場有望度	～20	20～ 10	10～ 5.0	5～ 1.0
処理事業有効度	～1.3	1.3～ 1.2	1.2～ 1.1	1.1～ 1.0
CO2 発生抑制度	～0.02	0.02～ 0.01	0.01～ 0.005	0.005～ 0.002
付加価値度	～0.8	0.8～ 0.6	0.6～ 0.4	0.4～ 0.2
土地活用有効度	～1000	1000～ 750	750～ 500	500～ 250

注；上表の上限値は未満を示す。

表-5 に基づき各リサイクル用途別ポイント数を設定した結果を、次頁の表-6 に示す。なお、異常処理のポイント付与は前項と同様である。

表-6 リサイクル用途別ポイント数-2

指標名	A ボード	B ウッド	C ウッド	溶 融 発電
減量化寄与度	2	2	0	4
リサイクル寄与度	2	3	0	4
リサイクル競合度	2	1	4	0
リサイクル市場有望度	1	2	4	4
処理事業有効度	3	2	3	-1
CO2 発生抑制度	4	3	1	2
付加価値度	3	4	4	0
土地活用有効度	1	4	2	2
ポイント合計	18	21	18	15

・評価順位は B ウッド、A ボード及び C ウッド、溶融発電の順となる。(A ボードと C ウッドはほぼ同一の評価)

なお、B ウッドはまだ開発段階で完全な実用化には到っていない。

・C ウッドの減量化寄与度及びリサイクル寄与度が低値で、リサイクル競合度が高値であるのは、生産計画量が小さいためである。

・溶融発電は上記の指標値で C ウッドとはまったく逆の結果となっており、この原因は廃棄物の受入計画量が大きすぎるためである。

c) ポイント設定方法 3 の場合

表-3 の指標値ごとに最大値を 100 とした場合の指標値の割合値を表-7 に示す。

表-7 指標値の割合値

指標名	A ボード	B ウッド	C ウッド	溶 融 発電
減量化寄与度	24	35	3	100
リサイクル寄与度	52	76	4	100
リサイクル競合度	6	4	100	2
リサイクル市場有望度	3	12	77	100
処理事業有効度	99	94	100	72
CO2 発生抑制度	100	55	16	26
付加価値度	73	100	100	5
土地活用有効度	30	100	36	35

本設定方法では、表-7 の値をポイント化せず、グラフ化して比較した。この結果を図-1 に示す。

d) 総合評価のまとめ

地域特性や事業特性等で指標値をウェイト付けしない場合、いずれの評価方法を用いても、4 つのリサイクル用途の総合評価は下記となる。

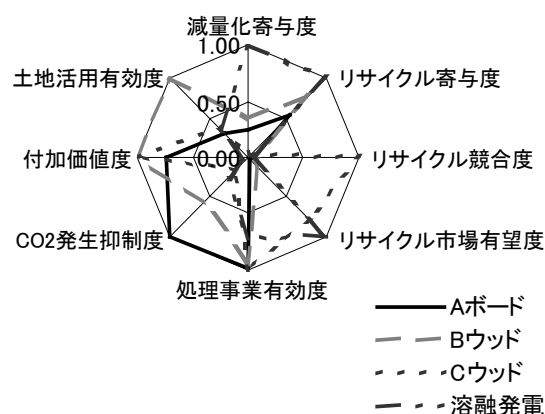


図-1 リサイクル用途別指標値割合

4. あとがき

現在、全国の各地域で、種々の廃棄物をいろいろな用途にリサイクルする計画/検討がなされている。これらの中で、場外リサイクル処理の計画を行う場合に、その事前評価として本手法が適用されることが考えられる。その場合、どのような地域でも、どのような廃棄物リサイクルでも定量的な総合評価が可能である本評価手法が、今後役立つものと思われる。