

災害廃棄物の選別処理ラインの構成から見た選別効率の評価手法に関する研究

九州大学大学院工学府 学生会員 ○川畑 雄大
九州大学大学院工学研究院 正会員 中山 裕文
〃 フェロー会員 島岡 隆行

1. はじめに

将来の大規模災害時における災害廃棄物の処理においては、東日本大震災での災害廃棄物処理の様な過去の災害での事例を踏まえた効率的な処理が望まれる。ここで効率性の検討として、混合状態の災害廃棄物に対する選別処理ライン全体としての性能の評価が必要である。既往の研究において多成分の混合物選別の効率の評価指標が存在し、この指標により選別ライン全体としての性能の評価や、選別ラインの比較等に使用できると考えられている。

本研究では多成分からなる混合物の選別効率の評価方法の改善を検討し、東日本大震災における二次仮置場での選別処理ラインのケースを例として選別処理ラインの構成等を考慮した検討を行った。

2. 選別効率の評価手法

2-1. 既往の選別効率の評価手法での問題点と改善手法

多成分の混合物の選別における選別ライン全体の選別性能としての効率性の評価指標は既往の研究で検討されており、拡張総合選別効率¹⁾等の指標がある。図1に拡張総合選別効率等の選別指標で扱う多成分の選別の考え方の概要を示す。図1に示す様に、混合物中に選別後の各回収物に該当する成分がそれぞれ100%存在する物とし、それらの成分が選別後の回収物へ分配された割合として回収率、或いは混入率が定められる。これら各回収物における回収率、混入率全体を評価する指標として選別後の各回収物中の各成分の回収率を列ベクトルとしたn次正方行列の行列式、あるいは行列から導かれる式として選別効率の選別指標が検討されている。式(1)に回収率の行列表示を示す。

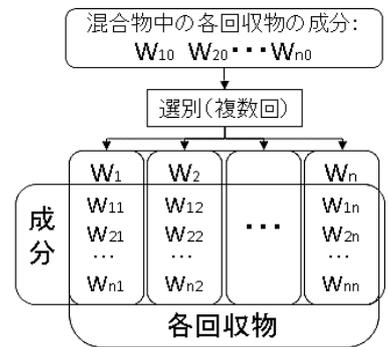


図1 多成分の選別の概要

$$\begin{pmatrix} W_{11}/W_{10} & W_{12}/W_{10} & \dots & W_{1n}/W_{10} \\ W_{21}/W_{20} & W_{22}/W_{20} & \dots & W_{2n}/W_{20} \\ \vdots & \dots & W_{ij}/W_{i0} & \vdots \\ W_{n1}/W_{n0} & \dots & \dots & W_{nn}/W_{n0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \dots & S_{ij} & \vdots \\ S_{n1} & \dots & \dots & S_{nn} \end{pmatrix} \dots \text{式(1)}$$

(W_{n0} : 混合物中の各回収物の成分、 W_{ij} : 回収物 i として回収された回収物 j の成分、 n : 回収物の数、 S_{ij} : 回収物 i として回収された回収物 j の分配割合、回収率)

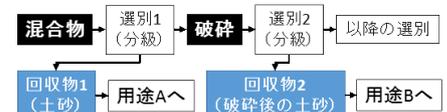


図2 回収物の組成と分類が一致しない場合

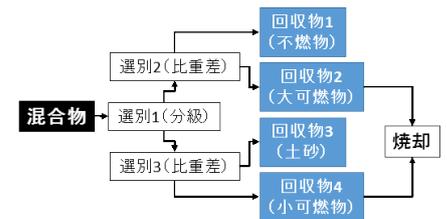


図3 回収物の組成と分類が一致しない場合

ここで、東日本大震災における混合状態の災害廃棄物の中間処理における、破碎選別処理の様な場合を考えると、選別後の回収物の組成と回収物の分類との不一致のために、図1、式(1)の回収率の考え方では、現実の選別での評価に即していない面がある。図2、図3に回収物の組成と回収物の分類との不一致が考えられる場合を例として示す。図2に例示する様に、土砂が破碎処理を挟んでそれぞれ回収され、その後区別されて取り扱われる場合には問題が生じる。具体的には土砂という性質上は同一であっても成立段階の違いにより、図1に示す方法に従うとそれらは別の回収物として扱われ、回収物中の成分としては互いに混入した成分として扱われる。そのため選別ライン全体の選別性能としての効率性は過小評価されると考えられる。また図3での回収物2、4の可燃物の様にサイズの違いにより別に回収され、選別後の処理方法等が同一の場合も同様である。

本研究ではこの回収物の組成と選別後の分類との不一致の是正のために、図2における回収物2中の回収物1の成分の回収率(S_{12})を例として場合式(1)から以下に示す式(2)、又は(3)の様な行列内での変形を検討した。

$$\begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \dots & S_{ij} & \vdots \\ S_{n1} & \dots & \dots & S_{nn} \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} S_{11} + S_{12} & 0 & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \dots & S_{ij} & \vdots \\ S_{n1} & \dots & \dots & S_{nn} \end{pmatrix} \dots \text{式(2) (同一の成分間での加算)}$$

$$\begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \dots & S_{ij} & \vdots \\ S_{n1} & \dots & \dots & S_{nn} \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} \frac{S_{11}}{1-S_{12}} & 0 & \dots & \frac{S_{1n}}{1-S_{12}} \\ \frac{W_{20}S_{21}}{W_{20}+W_{10}S_{12}} & \frac{W_{20}S_{22}+W_{10}S_{12}}{W_{20}+W_{10}S_{12}} & \dots & \frac{W_{20}S_{2n}}{W_{20}+W_{10}S_{12}} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ S_{n1} & \dots & \dots & S_{nn} \end{pmatrix} \dots \text{式 (3)} \left(\begin{array}{l} \text{同一の回収物間での加算、回収物の} \\ \text{の質量あるいは数量が式に表れる} \end{array} \right)$$

2-2. 選別処理ラインの構成に対する選別効率の評価への適用

式(1)、(2)、また式(3)において回収物成分の質量、或いは数量を考慮しない場合での、資料^{2),3)}より得られた選別ラインの構成に関する情報に基づき、東日本大震災での選別処理ラインを例として、指標の示す意味が明確である拡張総合選別効率¹⁾を用いての比較検討を行った。式(4)に拡張総合選別効率¹⁾を示す。表1に検討対象の選別ラインA、B、Cの概要を示す。選別形式は分級、比重差、手選別に類する選別のみで考え、磁力選別やその他工程の他、末端での粒径調節にあたる破碎、分級を省略した。各選別における回収率(≠回収率行列中の回収率)は各選別の性能差を考慮せず、各選別での回収対象の回収物成分の回収率を0.5~1.0、混入率を0~0.5の有限区間の様子の頻度分布として、モンテカルロ法を用いて拡張総合選別効率の平均値、その標準偏差を検討した。

2-3. 選別効率の検討結果の比較結果

表2に拡張総合選別効率の平均値、標準偏差の検討結果を示す。今回の検討では各選別の性能を考慮していないため、選別ラインの構成の差による結果が示される。式(1)~(3)での比較結果としては、検討対象A、Bでは表1に示す様に2-1で挙げた過小評価に繋がる部分が多いため、式(1)の行列のままに検討した場合と比べて、式(2)、(3)に示す変形を行った場合での拡張総合選別効率の平均値はどちらも比較的高く示された。検討対象Cでは過小評価に繋がる部分は1つのみであるため結果に差は殆ど表れなかった。式(2)、(3)での差については、式(3)における回収物成分の質量、或いは数量を考慮していないため、結果には殆ど差は生じなかった。また表2に示した拡張総合選別効率の平均値を与える、選別率の行列の内訳として、表3に各回収物において適切に回収される成分(式(1)~(3)に示す行列の対角項)の各項の平均回収率の平均値、最大値、最小値、標準偏差を示す。表2に示す選別効率の平均値と同様に検討対象A、Bでは表3に示す結果は式(1)の場合と比べて、式(2)、(3)での結果はどちらも比較的高く示され、検討対象Cでは式(1)~(3)での表3に示す結果に差は殆ど表れない。

今回の研究では回収率の行列内の項の変形により、回収物の組成と回収物の分類が一致しない場合の選別性能の過小評価の是正を行ったが、これは回収物の組成と回収物の分類を一致させる物ではなく、選別後の各回収物の組成として選別の評価を示す事はできない。しかしながら、選別ライン全体としての選別性能は今回行った回収率の行列内の項の変形により、過小評価することなく示す事ができると考えられる。

3. まとめ

- 多成分の混合物の選別ライン全体の選別性能の評価方法が既往の研究において示されているが、回収物の組成と回収物の分類が一致しない場合、過小評価となる可能性がある。
- 回収率の行列内の変形により上記の選別性能の過小評価に対して若干ながら是正を図り、東日本大震災選別処理ラインを例として、式(1)~(3)での拡張総合選別効率¹⁾の比較検討を行った。回収物成分の数量を考慮していないため式(2)、(3)に示す方法ではば差は表れなかった。
- 各回収物の組成としての選別の評価を示す事はできないものの、選別ラインとしての選別性能は今回行った回収率の行列内の項の変形により、過小評価なく示す事ができると考える。

【参考文献】

- 1) 占部武生、水原詞治：多成分多選別系の総合選別効率、廃棄物資源循環学会論文誌，Vol. 23, No. 6, pp. 251- 263, 2012
- 2) 宮城県：宮城県災害廃棄物処理実行計画（最終版）資料編，2013。
- 3) 榎奥村組・宮城建設榎・榎中塚工務店・榎晴山石材建設特定業務共同企業体：破碎・選別計画概要（久慈地区）（その2）

$$\begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \dots & S_{ij} & \vdots \\ S_{n1} & \dots & \dots & S_{nn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} m+b & b & \dots & b \\ b & m+b & \dots & b \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ b & \dots & \dots & m+b \end{vmatrix} = d$$

$$m = d^{n-1}, \quad b = \frac{1-m}{n} \dots \text{式 (4)}$$

m : 拡張総合選別効率¹⁾, 完全に選別される比率 (=0~1)
 b : 分配される比率の平均値, d : 行列式, n : 回収物数
 S_{ij} : 回収物*i*として回収された回収物の分配割合, 回収率

表1 検討対象の各選別ラインの概要

検討対象	回収物数 (過小評価に 繋がる数)	選別工程(左側から右側へ進行)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	8(6)	分級	破碎	分級	比重差	手選別	破碎	分級	比重差	分級	比重差	分級
B	5(4)	分級	比重差	手選別	分級	比重差						
C	4(1)	分級	比重差	手選別	分級							

※網掛けで示す選別工程で回収物が存在する。

表2 拡張総合選別効率の平均値、標準偏差の検討結果

検討対象	回収率行列の形式			
	式(1)	式(2)	式(3)	
平均値	A	0.23	0.34	0.33
	B	0.38	0.48	0.49
	C	0.25	0.25	0.25
標準偏差	A	0.05	0.05	0.05
	B	0.09	0.09	0.09
	C	0.07	0.07	0.07

表3 適切に回収される成分の平均回収率の平均値等

検討対象	回収率行列の形式			
	式(1)	式(2)	式(3)	
平均値	A	0.37	0.47	0.47
	B	0.53	0.62	0.63
	C	0.46	0.46	0.46
標準偏差	A	0.19	0.22	0.23
	B	0.11	0.12	0.11
	C	0.31	0.31	0.31