

脱塩処理コストを考慮した都市ごみ焼却灰のセメント資源化モデル

飯野成憲・荒井康裕*・岡田万由子**・稲員とよの*・小泉明*

(*首都大学東京大学院、**元 首都大学東京)

【要約】脱塩処理コストを考慮した都市ごみ焼却灰（以下、「焼却灰」）のセメント資源化モデルを構築した。北海道及び沖縄を除く既存セメント工場の受入余力は年間 104 万 t と推定された。全国の受入余力を変化させた上で、①清掃工場、②既存セメント工場、③リサイクルポート、④エコセメント工場で脱塩処理する 4 パターンにおける焼却灰の輸送及び処理、脱塩施設建設コストをモデルにより計算した。その結果、受入余力にかかわらず④が最も安価であること、①～③の総コストの大小関係は受入余力に影響されることがわかった。

【目的】

国内の一般廃棄物最終処分場の残余容量は減少傾向にある。焼却灰のうち、特に飛灰は塩素やナトリウム、カリウムが多いため、既存のセメント工場で普通ポルトランドセメントを製造する場合には、一般的にこれらの忌避成分を除去するための水洗脱塩等の前処理が必要である。エコセメントを製造する場合、塩素による制約が少ないため特別な前処理は不要である一方、建設コストが高い。こうした中で、自治体は今後の焼却灰のセメント資源化の進展や輸送・処理・建設コストを考慮に入れた中長期的な焼却灰の処理計画を作成していく必要がある。そこで本研究では、東京 23 区から 1 年間に発生する焼却灰約 27 万 t の資源化に関する将来計画に寄与することを目的に、前処理施設の配置を考慮した既存セメント工場の利用とエコセメント工場を新設する場合の、経済的に最適な焼却灰のセメント資源化モデルを構築した。

【方法】

(1) 既存セメント工場 27 施設における前処理後の焼却灰受入余力の推定 セメント原料の化学成分(表 1)やセメントクリンカの品質管理項目である水硬率等を考慮した生産計画を定式化し、焼却灰受入余力を推定した。
(2) 焼却灰の輸送・処理・建設コストの試算 主灰の輸送にはトラック、鉄道、船舶のいずれか、飛灰の輸送にはジェットパッカー車(トラックの 1.5 倍の輸送単価と想定)を使用するとした。処理単価は飛灰は水洗脱塩、水処理、セメント原料化の合計で 35,000 円/t、主灰は飛灰の処理工程に異物除去工程が加わり 45,000 円/t とした。脱塩施設の建設単価は現施設の建設コストをベースに 0.6 乗則を用い、1 年あたりの償却額とした。
(3) コスト最小化を目的とした脱塩処理を考慮したセメント資源化モデル ①清掃工場、②既存セメント工場、③リサイクルポートのいずれかで前処理(主灰:異物除去+水洗脱塩、飛灰:水洗脱塩)後、既存セメント工場で資源化、及び焼却灰の前処理が不要な④エコセメント工場を東京 23 区臨海部に 1 施設新設して資源化する 4 つのパターン(図 1~4)を考え、モデルを定式化した。他地域の焼却灰セメント資源化の進展も考慮し、受入余力に上限がない場合、及び受入余力上限の 75%、50%の場合についてそれぞれ総コストを試算した。

【結果の概要】

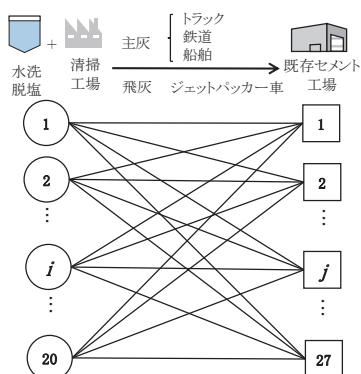
(1) 既存セメント工場 27 施設における前処理後の焼却灰受入余力 陸上輸送が不可能な北海道及び沖縄を除いた既存セメント工場における焼却灰受入余力は、年間 104 万 t と推定された。
(2) 既存セメント工場の受入余力を設けない場合の総コスト パターン①では各清掃工場に前処理施設を建設するため、スケールメリットが働かず、最も建設コストが高くなった。一方、パターン③では大規模な前処理施設の建設によりスケールメリットが得られるものの、清掃工場から前処理施設へのトラック輸送コストが追加されることにより、総コストでは最も高くなった。
パターン②では、飛灰を乾燥状態で既存セメント工場に輸送できることから、最も輸送コストが安くなった。また、複数のセメント工場に前処理施設を建設するため、1 つの前処理施設を建設するパターン③に比べ建設コストが高くなるものの、総コストでは最も安くなるということがわかった(図 5)。
(3) 既存セメント工場の受入余力を設ける場合の総コスト パターン①及びパターン③では受入余力の減少に伴い輸送コストのみが増加するが、パターン②では、前処理施設数が増加すると、輸送コストに加え建設コストも増加する。そのため、受入余力上限の 75%まではパターン②よりもパターン①の方が総コストは高くなるが、受入余力上限の 50%になると、その関係が逆転した。よって、前処理施設の配置による総コストの大小関係は、セメント工場の受入余力の上限に影響を受けることがわかった。なお、いずれの場合においても、全国の焼却灰のセメント資源化の進展に影響を受けないパターン④では、最も総コストを抑えられることがわかった。これは、遠方のセメント工場への長距離輸送や前処理コストが必要ないことによると考えられる(図 5)。

表1 セメント原料の化学成分

クリンカ原料・生産物		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ Oeq	Cl	参照
主原料	石灰石	1.1	0.3	0.3	54.2	0.5	0.03	0.189	1)
	粘土	64.3	14.1	5.1	2.7	1.7	2.63		
	けい石	91.1	4.1	1.5	0.1	0.5	0.69		
	鉄原料	16.4	5.3	54.4	9.4	1.5	0.53		
廃棄物原料	スラグ	39.2	13.1	1.2	38.7	4.9	0.61	0.003	2)
	石炭灰	55.4	31.1	6.5	3.0	1.3	2.44		
	前処理後焼却灰	30.1	17.6	4.0	28.0	3.2	2.93		
生産物	クリンカ	20.7	5.3	2.9	64.3	1.4	0.54	0.015	3)

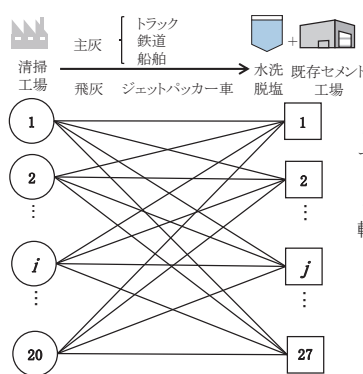
・主灰は異物除去後に水洗脱塩、飛灰は水洗脱塩し、両者を混合した焼却灰は塩素濃度が約0.4%まで低下と算定。
 ・主灰飛灰発生比率は一定であると仮定。

図1 パターン①



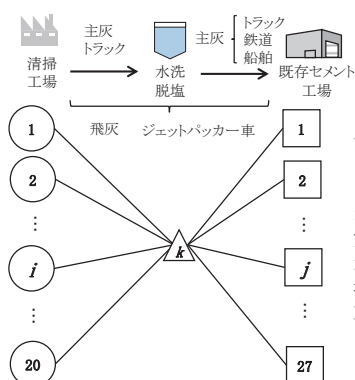
・各清掃工場で前処理
 ・焼却灰は水洗により重量が増加して輸送

図2 パターン②



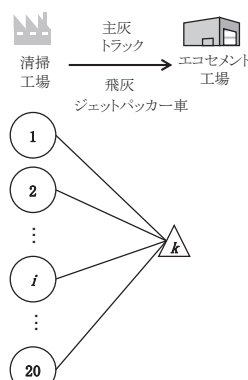
・各既存セメント工場
 で前処理
 ・焼却灰は乾燥状態で輸送可能

図3 パターン③



・リサイクルポートで前処理
 ・焼却灰はリサイクルポートまでは乾燥状態、リサイクルポートから既存セメント工場までは水洗により重量が増加して輸送

図4 パターン④



・焼却灰は前処理することなくエコセメント工場へ乾燥状態で輸送

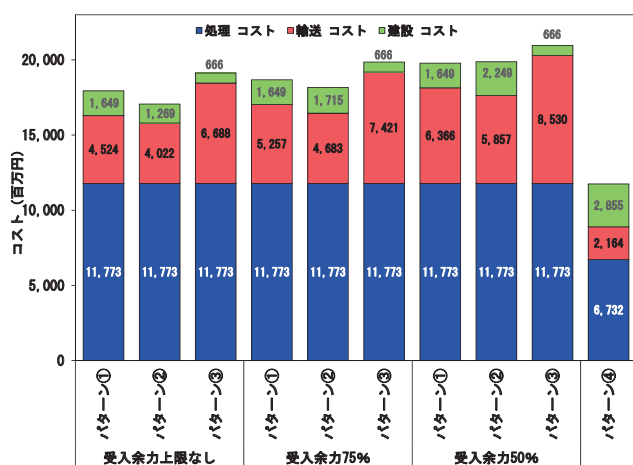


図5 各パターンにおける総コスト

【受入余力に上限を設けない場合】

既存セメント工場で前処理を実施する場合【パターン②】、リサイクルポートに前処理施設を建設する場合【パターン③】に比べ建設コストは高い。しかし、飛灰を乾燥状態で輸送できるため、総コストは最も安い。

【受入余力を減少させた場合】

前処理施設の配置による総コストの大小関係は、セメント工場の受入余力の上限に影響を受け、全国の既存セメント工場の受入余力と他地域からの焼却灰受入状況により、有利となる代替案は異なる。

受入余力の上限にかかわらず、全国の焼却灰のセメント資源化の進展の影響を受けないエコセメント工場を利用する場合【パターン④】には、最も総コストを抑制できる。

【参考文献】1) (社)セメント協会建設副産物利用促進専門委員会：セメント・コンクリート, No. 621, pp. 52-59, 1998 2) 北海道大学大学院工学研究科廃棄物資源工学講座廃棄物処分工学分野：都市ごみの総合管理を支援する評価計算システムの開発に関する研究, 1998 3) 一般社団法人セメント協会：セメントの常識, pp.19-20, 2013 4) 飯野・荒井ら：都市ごみ焼却灰の脱塩処理コストを考慮したセメント資源化モデル, 土木学会論文集G(環境), 印刷中