

都市ごみ焼却灰のセメント資源化システム

野村幸治（太平洋セメント）

1. はじめに

基礎素材産業であるセメント産業は、明治維新とともにその夜明けを迎え、第二次世界大戦後の復興、高度経済成長とともにさらなる拡大、発展を遂げ、1990年には過去最高の内需を記録した。この間、多くの先人の努力により、多様化する消費者ニーズに応えながら社会資本の整備を支え、また資源・エネルギー多消費型という産業としての弱点を補うべく、生産技術の改良、設備投資等、不断の努力を続けてきた。

一方で、20世紀に作り出された大量生産・大量消費の社会構造は、同時に、大量の廃棄物をいかに処理するかという社会問題を生み出してきた。セメント産業では、原燃料の種類、性状に幅がある（弾力性がある）という製造工程上の特性を活用し、他産業から排出される廃棄物や副産物を広く受け入れることで、静脈産業としての社会的要請に応えるとともに、さらなる省資源・省エネルギー化を追求してきた。

さらには、90年代以降の特徴として、市民生活と密接不可分の一般廃棄物の世界でも、容器包装リサイクル法、家電リサイクル法等の関連法の整備が象徴している通り、最終処分を前提とした処理システムの限界が顕在化している。特に、その処理システムの中核をなす焼却炉から排出される大量の残さ（焼却灰）は、ダイオキシン等環境負荷というリスクを保持したままの形で最終処分場の逼迫に追い討ちをかけている。

セメント産業では、これまでに取り組んできた廃棄物処理事業の延長線上に、この都市ごみ焼却灰を位置づけて技術開発に取り組んできたが、この21世紀に入り、首都圏地域での事業化が実現するとともに、全国への展開も始まっている。

2. セメント産業における

廃棄物・副産物の利用

現在、わが国では年間4億トンを超える産業廃棄物が排出されているが、セメント産業では、その7%に相当する約3千万トンにも上る廃棄物（含副産物）をリサイクルしている。製鉄所の精錬工程から副産する高炉スラグ、火力発電所の燃焼残さである石炭灰（フライアッシュ）、あるいは建設発生土等の無機系の材料は、原料代替物として、また、廃プラスチック、木屑、廃油、廃タイヤ等の一定の熱量を保持する廃棄物類は、燃料代替物として、近年その使用量が急速に拡大している。

業界全体としてのこのような取り組みを受け、2001年7月には、経済産業省に「循環型社会の構築に向けたセメント産業の役割を検討する会」が設置され、今後の法制度の改善、技術開発を通じて、2010年度までにセメント1トンあたりの廃棄物・副産物の使用量を400kg以上とする努力目標が示されている²⁾。（業界全体としては、2004年度に前倒して本目標を達成）

(1)セメントの製造

セメント産業において、廃棄物・副産物を大量にリサイクルできる秘密を述べる前に、最初に、その材料的特性と製造工程を概観する。

材料化学的な視点で見れば、セメントは、カルシウム（Ca）、珪素（Si）、アルミニウム（Al）、鉄（Fe）を主要化学成分とする複数の鉱物（表1、表2）から構成される無機材料で、その主たる原料は、石灰石、粘土、珪石、および銅からみ（鉄原料：銅精錬副産物）である。

製品であるセメントを1トン製造するのに必要なこれら原料は、合計約1,440kgで、石灰石が約75%を占めている（表3）。セメントの製造工程は、図1に示すように、原料工程、焼成工程、仕上げ工程、出荷工程

表1 普通セメントおよびセメント原料物質の化学組成³⁾

	主要化学成分						
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Cl
普通セメント	64.2	21.2	5.2	2.8	1.5	2.0	—
粘土	0.5~2	45~70	15~25	3~9	1~3	0~0.5	—
焼却灰(主灰)	21.0	35.6	18.3	4.9	2.7	0.78	0.72
焼却灰(飛灰)	37.3	12.7	10.5	0.8	2.7	3.41	14.9

表2 セメント鉱物の化学組成

構成化合物	化学組成	
珪酸カルシウム化合物	エーライト	3CaO・SiO ₂
	ビーライト	2CaO・SiO ₂
カルシウムアルミネート化合物	アルミネート相	3CaO・Al ₂ O ₃
	フェライト相	4CaO・Al ₂ O ₃ ・Fe ₂ O ₃

表3 普通ポルトランドセメント1トンを製造するのに必要な原料原単位・エネルギー原単位(2005年度)⁴⁾

原料(kg)	エネルギー	
石灰石	1,119	石炭等の熱エネルギー(kg)
粘土	177	
けい石	80	電力エネルギー(kWh)
鉄原料他	28	
石膏	37	
計	1,441	

注1: ①熱エネルギーは石炭(6,200kcal/kg)換算値
 ②電力エネルギーは使用ベース(排熱発電も含む)

の四つの工程に分けられる。原料工程では、原料鉱山より産出した石灰石等原料の成分変動を抑える操作をとって、仕分け・貯蔵され、また、その後の原料を調合する段階でセメントの化学成分になるよう貯蔵施設から引き出されて、粉砕機(ミル)にて数10 μ m

(0.01mm)の大きさに粉砕される。この工程は、セメントの成分を大きく左右するので、各原料および調合原料は、蛍光X線分析装置で迅速に化学成分を測定することで、厳格に品質管理されている。

セメント製造工程の中核となる焼成工程は、仮焼炉、回転窯(ロータリーキルン:写真1。以下「キルン」)およびクリンカークーラーからなる。キルンは、直径4~6m程度で、長さは60~100m程度の円筒形をしており、鋼鉄できているが、内部は、高温の焼成反応に耐えられるよう、耐火煉瓦が敷き詰められている。図2に焼成工程での温度域とセメント鉱物の生成反応を示す。仮焼炉を含むプレヒーターでは、粘土鉱物の脱水、および石灰石(CaCO₃)の脱炭酸が起こる。キルンへの入り口である窯尻部分では、CaCO₃の約90%が分解し、CaOに変化している。キルン内部では、原料はゆっくりと回転して落口まで進み、約30分かけてクーラーに達するが、この間、原料物質は化学反応を通じてセメント鉱物へと変化する。

主要成分の一つであるビーライトは1,000℃域で生成するが、エーライトは、1,200℃以上の高温の融液が生じる温度域で生成する。このような液相の溶液が生成する領域で原料の造粒が生じ、数mmから数cmのクリンカーと呼ばれる塊状物質が生成する。キルン

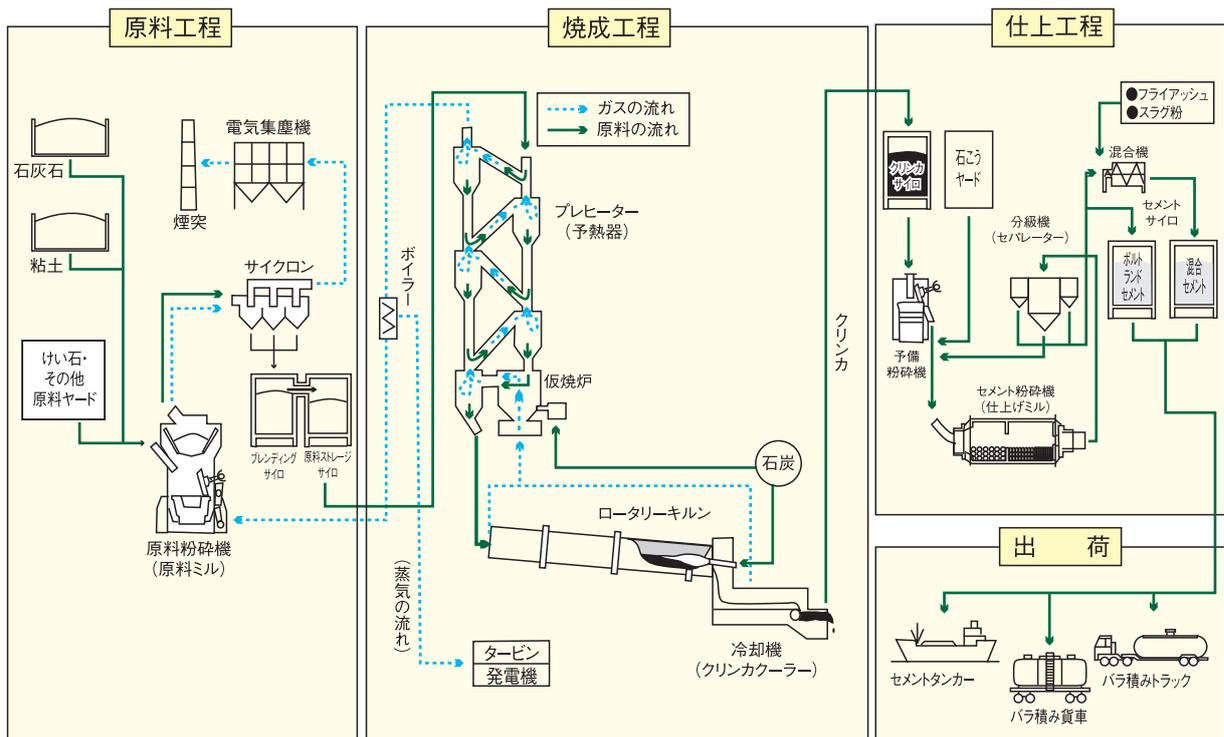


図1 セメントの製造工程¹⁾