

セメント製造企業における廃棄物原価計算 —事例研究アプローチ—

Waste cost accounting in cement manufacturing enterprise —A case study approach—

向田 靖
(Yasushi MUKAIDA)

【要 約】

本研究の目的は、伝統的な原価計算の非度外視法における、廃棄物の原価計算対象化に関する基礎的考察を行うために、事例研究アプローチに基づいて、セメント製造業の製造工程上の諸特性をふまえた上で、廃棄物を中心に原価計算システムの実態を検討し、受入廃棄物を含めた原価計算上の取扱いに関する仮説を示すことである。

逆有償受入廃棄物について、棚卸資産会計の観点から、受入時のマイナスの資産としての貸方計上と、公正価値による受入益の計上という原価処理に関する仮説、また、補修費や処理費・処分費を含めた廃棄物原価の検討を通して、廃棄物を広義の減損と補修可能仕損品として捉えて原価計算対象化する廃棄物原価計算により、生産活動の実態の可視化の度合いを高めることが可能となるという仮説を提示する。

キーワード：廃棄物原価計算、広義の減損、逆有償廃棄物、公正価値、原価計算対象、非度外視法、マイナスの資産

【Abstract】

The purpose of this study is to examine the characteristics on the manufacturing process of the cement manufacturing and the realities of the costing system from the point of view of waste based on the case study approach, and to show hypotheses including about the cost accounting in the acceptance of waste, for basic consideration about the possibility of the cost-objectivization of waste in traditional cost accounting by the method of non-neglect.

Two hypotheses concerning the cost processing are presented from the viewpoint of the accounting for inventories. One is that the inverse onerous contract waste should be summed up to the credit as the negative assets at the time of acceptance, and the other one is that it should be summed up the receipt profit by fair value. As a result of examining the waste cost that includes the repairing and disposable cost, the third hypothesis is that the degree of visualization of actual conditions of production activity is enhanced by waste cost accounting that waste means as wide sense shrinkage and defective unit.

Keyword : waste cost accounting, wide sense shrinkage, inverse onerous contract waste, fair value, cost-objectivization, method of non-neglect, negative assets

1. はじめに

環境保全は、企業が果たすべき社会的責任の大きな柱の一つとして位置づけられ、2010年（平成22年）に国際標準化機構（International Organization for Standardization : ISO）において発行された社会的責任に関する国際規格（ISO 26000）でも、環境は人権や労働慣行に並んで7つの中核主題のひとつを構成している。環境保全の推進には、環境処理能力の向上か環境負荷削減の少なくともいずれかが必要となるが、企業では専ら負荷削減に取り組んでおり、その対象のひとつが廃棄物である（向田2010a）。

企業が取扱う廃棄物は、①いわゆる環境報告書に記載される企業から排出される最終処分対象の廃棄物（最終処分廃棄物）、②企業内でゼロエミッションに向けて再利用される廃棄物（非直行資源）、③企業が循環型社会システムの一環として受入れる廃棄物（受入廃棄物）の3つに大別できる。これら廃棄物のうち、伝統的な原価計算において識別が可能なものは、減損、仕損品および作業屑に限られるため、例えば、廃熱や原材料の梱包材のように従前の減損概念には含まれていないもの、また、温室効果ガス（Greenhouse Gas : GHG）のように、そのもの自体は自由財であるために概念内でも無視されてきたものは、認識・測定の対象外である。原価計算は可能な限り生産活動に忠実に写像すべきであるという観点から、これまで、減損の概念拡張を主張してきた（向田2010b、c、2011b）。

企業が廃棄物を把握し、その削減を意思決定するためには、経済的価値として認識・測定する、すなわち、非度外視法における原価計算の対象とすることが必要不可欠となる。本研究では、最終処分廃棄物を、拡張した概念である広義の減損に補修不能仕損品を加えたものとし、かかる減損原価および補修不能仕損品原価を廃棄物原価とする。

本研究の目的は、伝統的な原価計算の非度外視法における、廃棄物の原価計算対象化について、その可能性に関する基礎的考察を行うために、原価計算システムの実態について検討し、また、受入廃棄物を含めた廃棄物に関しての原価計算上の取扱いについて、生産活動を忠実に写像するための仮説を示すことである。そのために、セメント製造企業を事例として、製造上の諸特性を検討した上で、事例研究アプローチに基づいた個別観察法（面談法を含む）を採用し、CO₂・廃熱を含む廃棄物を中心に、製造工程の状況と原価計算システムの実態を把握する。

なお、本研究は、廃熱およびCO₂のプロセス排出の多い産業である窯業を事例として取り上げた一連の研究のひとつであり、石灰製造業の研究事例（向田2012a）に続くものである。

次節では、セメント製造業の特性について確認し、第3節では対象企業の概要および具体的な製造工程および原価計算の実態を検討する。続く第4節では得られた知見に基づき、受入廃棄物の取扱い、および廃棄物の非度外視法における原価計算対象化に関する考察を行う。

2. セメント製造業の特性

2. 1 セメントの材料と種別

セメント産業は、コンクリートやモルタルを作る際の主原料である、石灰石・粘土・けい石・酸化鉄を焼成・粉砕し、石膏を加えた灰白色の粉状製品（セメント）を製造する産業である。セメントは、水で練ることにより速やかに凝縮・硬化し、これに砂（細骨材）を混練したものがモルタル、さらに砂利（粗骨材）を混ぜて練ったものが（生）コンクリートとなる。

主原料の主要化学組成は、石灰石類がCaCO₃（炭酸カルシウム）・MgCO₃（炭酸マグネシウム（ドロマイト））、CaO（酸化カルシウム）、MgO（酸化マグネシウム）、およびCO₂（二酸化炭素）、粘土類はSiO₂（二酸化けい素）、Al₂O₃（酸化アルミニウム）およびFe₂O₃（酸化第二鉄）、けい石類はSiO₂（二酸化けい素）、鉄原料はFe₂O₃（酸化第二鉄）、そして石膏はCaO（酸化カルシウム）、SO₃（三酸化硫黄）となっている。

セメントの種別については、日本工業規格（Japanese Industrial Standards : JIS）による品質規

定があるものと、規定の無い「特殊なセメント」と称されるものに大別される。

JIS規定のあるセメントは、ポルトランドセメント、ポルトランドセメントに各種の混合材を加えた混合セメント、および焼却灰や汚泥などの廃棄物を主原料とするエコセメントに3区分がされている。表1に示したように、ポルトランドセメントについては、普通、早強、超早強、中庸熱、低熱および耐硫酸塩という6区分の規定が置かれており、混合セメントについても、高炉セメント、フライアッシュセメント、シリカセメントの3区分が規定されている。

特殊なセメントとしては、ポルトランドセメントをベースにしたものもしくはアレンジしたものと、異なる成分からなるものがある。

一般にセメントという場合にはポルトランドセメントを指す場合が多い。日本におけるセメント生産量は、1996年度9,927万トン（輸出用クリンカーを含む）をピークに漸減しており、2010年度は5,605万トン、対ピーク比で56.46%と6割を切った状況にある。種類別生産量と構成比（輸出用クリンカーを除く）で見ると、ポルトランドセメントは全体の75%、うち普通ポルトランドセメントは全体の68%を占めている。

なお、ポルトランドセメントは1980年で全体の90%を超えていた。また、普通ポルトランドセメントについては1980年に全体の88%であったから、この30年で20%の低下となっている。セメント品種の多様化が表れているが、ポルトランドセメントのシェアは依然として高いものである（セメント協会2011、8）。

表1. セメントの種別

JIS規定のあるセメント	ポルトランドセメント	普通ポルトランド	JIS R 5210
		早強ポルトランド	
		超早強ポルトランド	
		中庸熱ポルトランド	
		低熱ポルトランド	
		耐硫酸塩ポルトランド	
	混合セメント	高炉セメント	JIS R 5211
		シリカセメント	JIS R 5212
		フライアッシュセメント	JIS R 5213
		エコセメント	普通/速硬エコセメント
それ以外のセメント	特殊なセメント	膨張セメント、アルミナセメント等	
	セメント系固化剤		

セメント協会（2009、1より作成）

2. 2 セメントの製造工程

以下では、最も一般的なポルトランドセメントの製造における3つの工程を概観する。

(1) 原料工程

5つの原料のうち、石膏を除いた石灰石類・粘土類・けい石類・鉄原料の4種類を、JIS規格に定められた化学組成となるように調合し、原料粉砕機（原料ミル）で乾燥・粉砕する。原料ミルを経た後、サイクロンで分級された原料は、ブレンディングサイロでより均一になるよう混ぜ合わされ、原料ストレージサイロに蓄えられる。本工程の完了品は調合原料と呼ばれる。

原料工程におけるこの調合作業が、セメントの成分を決定するため、投入された個々の4つの原料ならびに調合原料は、迅速な成分チェックが求められ、蛍光X線分析が用いられて厳重な管理が行われている。

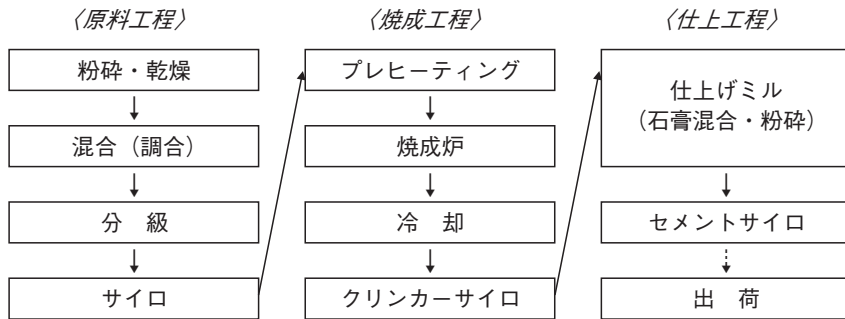


図1. セメント製造の工程概要図

(2) 焼成工程

調合原料は、予熱装置（プレヒーター）で800～900℃に加熱される。現在の予熱方式は、仮焼炉のないサスペンションプレヒーターによる“SP方式”と、仮焼炉を設けたニューサスペンションプレヒーターによる“NSP方式”がある。この際に石灰石の主成分である炭酸カルシウムが酸化カルシウムと二酸化炭素に分解される。

脱炭酸された原料は、回転窯（ロータリーキルン）で焼成される。ロータリーキルンは、若干（3～5%程度）の傾斜をつけて寝かせて設置された、耐火煉瓦を内張りした鋼鉄製の円筒炉である。高い側から投入された調合原料は、キルンの回転によって、低い（製品出口側）にあるバーナーからの高熱により徐々に温度を上げながら移動しながら化学変化を進める。最終的には1,450℃の最高温度で焼成が完了し、本工程の完了品である硬い塊状のクリンカーとなる。

キルンから排出されたクリンカーは、エアークエンチングクーラー（クリンカクーラー）で急速に空冷されクリンカーサイロに貯蔵される。

(3) 仕上工程

クリンカーは石膏を加えられ、一部は予備粉碎機を経てセメント粉碎機（仕上げミル）において微粉状態に仕上げられる。仕上げミルは、円筒状のドラム状で、中にある複数の鋼鉄製のボールがドラムの回転によって衝突し、挟まれたクリンカーと石膏が粉碎される仕組みとなっている。このあと、セパレーターを通して分級され、所定の細度に達していない粗粉については、再度仕上げミルに戻される。本工程完了品はすなわち製品であるセメントであり、セメントサイロ（製品サイロ）にストレージされる。

なお、混合セメントについては、この仕上げミルの後で、混合機においてスラグ粉やフライアッシュ（石炭灰）等の混合材が加えられて製品となる。

2. 3 ポルトランドセメントの主成分と原単位

焼成工程の完了品であるクリンカーは、主に①エーライトと称される $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ （トリカルシウム・シリケート（けい酸塩））、②ビーライトと称される $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ （ダイカルシウム・シリケート）、③アルミネート相 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 、および④フェライト相 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ の4つの化合物から構成される。セメント化学の分野では、各酸化物成分についてCaOを「C」、 Al_2O_3 を「A」、 Fe_2O_3 を「F」そして SiO_2 を「S」という略号を用いることがあり、そのためエーライトはC3S、ビーライトはC2S、アルミネート相はC3A、フェライト相はC4AFと表されることがある。

以上の工程を経て製品となった普通ポルトランドセメントは、酸化カルシウムと二酸化けい素を主成分とし、その構成比については表2の通りとなる。

また、セメントを1トン製造するにあたって必要な原料およびエネルギーの量、すなわち1トン

表2. ポルトランドセメントの成分構成比

成分名		構成比 (%)
酸化カルシウム	CaO	63.0 ~ 65.0
二酸化けい素	SiO ₂	20.0 ~ 23.0
酸化アルミニウム	Al ₂ O ₃	3.8 ~ 5.8
酸化第二鉄	Fe ₂ O ₃	2.5 ~ 3.6
三酸化硫黄	SO ₃	1.5 ~ 2.3

あたりの原単位は、石灰石類が1,200kg、粘土類が217kg、けい石類77kg、鉄原料25kg、石膏37kg（合計1,556kg）となっている。また、エネルギーについては、石炭等熱源が110kg、電力が105kWhである。

なお、セメント製造における大きな技術革新として、エネルギーおよび原料の代替物としての廃棄物利用がある。これは、循環型社会の形成に貢献するべく、熱源・原料としてのそれまでに単純焼却・直接埋立処理の対象であった廃棄物の受入れを推進することによって、①化石起源エネルギー消費の削減、②対単純焼却比較でのCO₂排出抑制、③最終処分場の延命効果、といった効用を社会に提供するものである。

代表的な活用例としては、代替原料として、火力発電所からのフライアッシュ、製鉄所からの高炉スラグ・製鋼スラグ、製紙工場からの製紙スラッジや建設現場からの建設汚泥・建設発生土などが挙げられる。また、代替エネルギー源としては、製油所からの廃油・再生油、各種工場・事業所からの廃プラスチックがある。廃タイヤや木屑などは、熱源・原料の両面で代替物としての役割を果たしている。

2. 4 工程におけるGHGの発生

セメント製造において発生するGHGはCO₂であり、直接排出は専ら焼成工程での原料から生じる工業プロセス起源のものと、ロータリーキルンのバーナーにおける燃料燃焼によるエネルギー起源のものである。

表3は、原料の化学変化の推移を温度帯別に表したものである。工業プロセス起源のCO₂は、石灰石類の脱炭酸に拠るもので、炭酸マグネシウム（ドロマイト）については700～750℃の域で次式の化学反応を生じる。

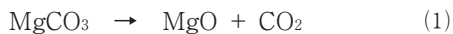


表3. 焼成工程における主な化学変化

	温度帯 (°C)	化学変化の状況
(1)	700 ~ 750	ドロマイトの脱炭酸 $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$
(2)	750 ~ 900	炭酸カルシウムの脱炭酸 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ビーライト (2CaO · SiO ₂) の生成開始
(3)	1,200 ~ 1,300	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) の生成
(4)	1,350 ~ 1,450	エーライト (3CaO SiO ₂) の生成 酸化アルミニウム、酸化第二鉄、酸化ナトリウム、 および酸化カリウム等は熔融状態となる
～1,450℃をピークに、温度は低下する～		
(5)	1,200	アルミネート相、フェライト相が再生成される

また、炭酸カルシウムについては、炭酸マグネシウムより少し高い温度帯の750～900℃の域において、以下の式に示す化学反応によりCO₂が放出される。



(1)、(2)いずれの反応も、現在のSP方式・NSP方式では、ロータリーキルン本体ではなく、専らプレヒーター（サスペンションプレヒーター・ニューサスペンションプレヒーター）内で生じる。その他の直接排出としては、発電部門や動力部門において燃料として用いられる重油・軽油および石炭等の化石燃料から生じるエネルギー起源のものがある。

セメント製造におけるCO₂排出は、2009年度のデータによれば、プロセス起源によるものが58%、エネルギー起源によるものが42%となっており、エネルギー起源の排出についての内訳は、焼成工程での燃料起源が31%、発電にかかる燃料起源が9%、そして購入電力起源が2%となっている。この購入電力起源分は、工程内における電力消費を伴う、原料ミル・仕上げミル、クリンカクーラー他の設備に拠る間接排出にあたるものである。

2. 5 工程における廃熱の発生

製造工程において必要とされる熱は、主原料である石灰石類の熱分解、およびアルミニウム・鉄・ナトリウム・カリウム等の酸化物が溶融するに足る熱量と、原料ミルにおける材料乾燥やバーナー用の燃料（微粉炭等）の乾燥に必要な熱量である。したがって、工程において燃料が燃焼によって変換された熱エネルギーのうち、これら必要とされる熱量を差し引いた余剰分は廃熱となる。

多消費型産業の典型とされるセメント産業では、1972年の仮焼炉を備えたニューサスペンションクーラーの開発を始めとして、生産能力の向上とともに、省エネルギー・省力化に務めてきた経緯がある。熱エネルギーの有効利用という点では、ドライボイラー付キルン、湿式ロングキルンから1997年にSP方式・NSP方式への100%転換を完了したことにより、1970年からの20年間で、熱エネルギー原単位を40%低減させた。また、電力エネルギーの低減という点では、堅型ミル・予備粉碎機の導入といった粉碎工程設備の効率向上を図ったことにより、同じく1970年からの20年間で、約20%の低減を実現した。

図2は、現行の生産工場における熱効率を例示したものであるが、バーナー燃料である微粉炭に

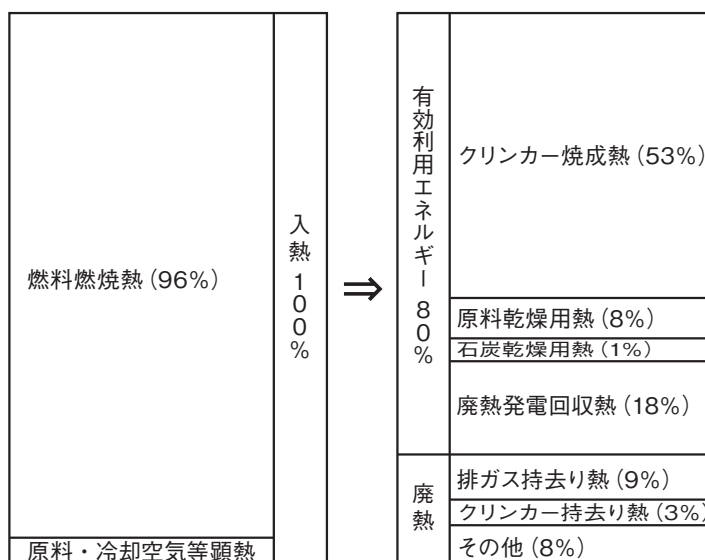


図2. 熱エネルギーの流れ例（セメント協会 2009, 8より作成）

燃焼前の予熱を与える石炭乾燥用熱など、熱利用へのプロセスの改善が細かく積み重ねられてきた他、廃熱ボイラーによる廃熱発電設備が有効エネルギー利用率の向上に大きく貢献している。また、焼成工程のクリンカーラーは、クリンカーを冷却するだけでなく、キルンを抜けてプレヒーターにまで高温の空気を送り込み、キルンの熱効率を向上させる熱交換器の役割も果たしている。この結果、キルンの炉壁放熱を少なくして原料乾燥用熱として効率よく利用が可能となり、廃熱発電と併せてセメント製造における廃熱率を20%程度にまで引き下げている。

2. 6 廃棄物の逆有償による受入

前述の技術革新において、通常の財・サービス、すなわち有償物の受入れ（有償）とは逆の状況がセメント製造業に起きている。排出側である他の産業や自治体からの廃棄物を、セメント製造企業が受入れ、さらに、その排出側から受入れに伴う対価の支払いを受ける状況である。なぜならば、廃棄物は、外部不経済を生じせしめない場合には自由処分・無料処分が可能であるが、一般には不利益を他の経済主体に与えることが無いように適正な処理が必要であるからである。この適正処理ないしは再資源化にあたって排出側での費用、いわばマイナスの対価が発生する状態を逆有償といい、図3に示したように、有償であれば財・サービスと対価の流れの向きは反対となるが、逆有償では同じとなる。

排出に際して地方自治体および業者等が支払う処分費を、受入側が（その処分費を）受取って廃棄物を引取る状況を、廃棄物の逆有償による受入という。例えば、高炉による還元精製時に鉄鉱石の鉱物成分を含んだ高炉スラグを、粘土類の代替原料として受入れる場合、産業廃棄物としての高炉スラグの処分費を20,000円/トンとすれば、同額を逆有償による受入の対価として、産業廃棄物処理業者に替わってセメント製造企業が受取ることとなる。従前に原料として購入していた粘土類原料を、15,000円/トンとすれば、同量による代替が可能であり、かつ受入対価を全額原価のマイナスとすることと仮定した場合には、原価として1トンの鉄原料で製造できるセメントの原価は、35,000円の低減となる。

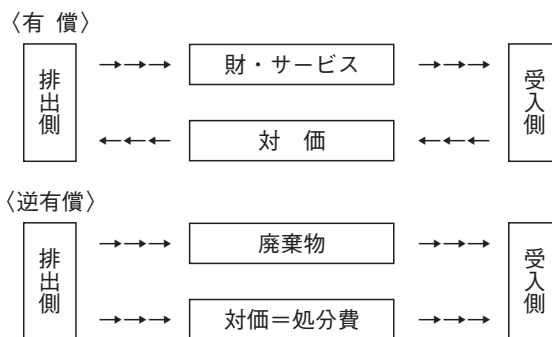


図3. 有償・逆有償の概説図

3. 事例研究対象企業の製造工程と原価計算

3. 1 対象企業および工場の概要

本事例研究の対象は、東京都に本社を置く、セメント製造の国内大手のA社のX工場である。X工場は、関東・首都圏に立地する内陸型の工場で、生産能力は年間約200万トン、約100人の従業員による徹底した自動化・省力化による労働生産性の高い製造システムとなっている。普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメントを中心に、中庸熱ポルトランドセメントおよび高炉セメ

ント等を製造している。生産方式については、一部製品（中庸熟ポルトランドおよび高炉セメント）を除き見込生産を行っている。

3. 2 X工場の特徴

セメント産業は、他産業における副産物や廃棄物を、品質調整のための添加材、混合材および燃料などの補助材として利用する代替原燃料化（マテリアルリサイクル・サーマルリサイクル）に古くから取り組んできた。そもそも内陸型工場は、消費地に近く製品の配送には利点があったが、石灰石鉱山に隣接する場合を除いては、原燃料の輸送に費用がかさむという問題点を有していた。

X工場は、不法投棄が社会問題化した廃タイヤ・廃パチンコ台の処理・再資源化等の技術開発を積極的に展開し、セメント工場が廃棄物処理施設として位置づけた先進的な歴史を持ち、人口と企業の集中により生活系および産業系廃棄物を多く排出する首都圏を受入廃棄物の供給源としてゼロエミッションに向けて取り組んできた。

原料のうち、粘土、けい石および鉄原料については、バージン材の投入がない廃棄物代替率100%の状況となっており、廃棄物の一部については、逆有償で受入れている。特にフライアッシュ、汚泥、都市ごみ、がれき類、建設発生土、廃タイヤ、および廃プラスチックといった受入量の多い逆有償リサイクル原燃料については、在庫として認識されている。

3. 3 原価計算方式と部門・工程の構成

A社では、工程別総合原価計算方式を採用しており、原料（材料）費、労務費、経費の形態別原価について、部門間での配賦の後、工程に集約させ、製品へ跡付けている。原価計算期間は1ヶ月単位である。なお、A社における原価計算システムは、全社会計システムの一部を構成するサブシステムである。生産に関する数量データについては、製造工程を網羅する生産管理システムからインタフェースして受け入れる形となっている。

X工場は、大きく①製造部門、②補助経営部門および③管理部門の3部門から構成されている。製造部門は、前出の3工程、原料工程・焼成工程・仕上工程に、出荷工程を加えた4つとした一般的なセメント製造の工程構成となっているが、出荷工程については生産管理上の独立区分である。原価計算上では、半製品勘定については、調合原料サイロ、焼成工程のクリンカーサイロで測定され、また仕上工程では製品サイロで製品の実測がなされており、原料・焼成・仕上の3工程¹⁾としてシステムが構築されている。

一方で、補助経営部門²⁾は、(a) 廃熱発電と電力事業者からの購入およびディーゼル発電3方式を並存させる電力部門、(b) 貨物鉄道線から分岐して石灰石や石炭を構内へ搬入する引込線部門、(c) 般ごみを自治体の清掃工場で焼却処理する際に発生する焼却灰と煤塵を再資源化する受入焼却残渣処理部門、(d) ロータリーキルンのバーナー用に石炭等を微粉際する燃料粉碎部門、(e) 受入れたプラスチック廃棄物をリサイクル燃料用にペレット化する廃プラスチック処理部門の5つの部門に分かれている。

部門と工程の相関について、主なプラント・設備（マシンセンター）への原料およびエネルギーの投入状況を踏まえて確認すると、次の通りとなる。図4は、部門・工程における用役の流れを示したものである。

(a) 電力部門

電力部門では、廃熱ボイラーから動力を供給される廃熱発電が24時間稼動し、購入(買電)は価格の安い夜間のみとして、日中はディーゼル発電装置を行っており、昼夜それぞれ2式並列となっている。X工場の廃熱ボイラーはプレヒーターの下部に設置され、効率よく廃熱を蒸気に変換している。部門コストは、設備の減価償却費と若干の補助材料費のみであり、ディーゼル発電機は重油燃焼によるものなので、電力部門としては廃熱以外のリサイクルエネルギー源は投入されていない。

各部門および工程へ供給する部門原価（電力コスト）は、それぞれの消費電力量基準で配賦される。

(b) 引込線部門

引込線部門のマシンセンターである動力車両は、電力部門からの電気エネルギーのみによって輸送業務を遂行している。過去において、鉄道による貨車出荷が行われていた時期には出荷部門が独立しており、貨車入庫量とセメント貨車出荷量で按分して、出荷部門にも配賦が行われていたが、現在の引込線部門の原価は原料工程にだけ賦課される。

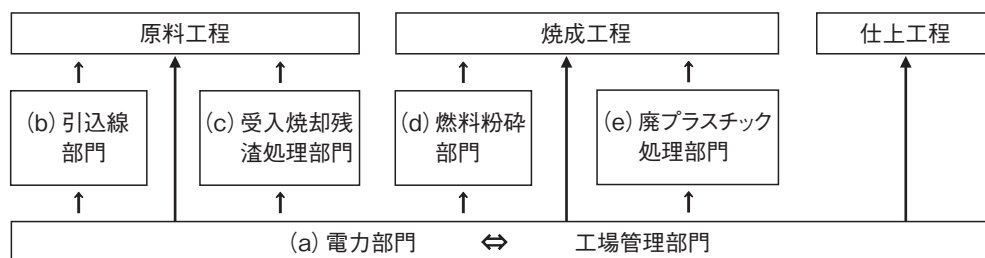


図4. 部門・工程における用役の流れ

(c) 受入焼却残渣処理部門

一般ごみの焼却灰は、酸化カルシウム20～30%、二酸化けい素20～30%、酸化アルミニウム10～20%そして10%以下の酸化第二鉄を含んでおり、煤塵はごみ焼却時の排ガスに含まれた微細な飛散灰で、成分は焼却灰と同一でセメントに近い成分構成である。いずれもリサイクル原料としての代替性を持っているが、焼却灰は金属片（金物）等の異物を、また煤塵は塩素の含有量が10～20%と高く、加えてダイオキシン類・重金属類が微量に含まれる。本部門の焼却残渣処理システムは、焼却灰の混入異物を除去して分級の後キルンに投入³⁾し、また煤塵を水で溶液化してフィルターによる脱塩・ろ過処理によって焼却灰とほぼ同一成分のケーキ状にしてキルンに投入してセメント原料として利用するシステムである。ダイオキシン類はロータリーキルン内での高温焼成により安全に分解される。結果的に、ダイオキシンの高温燃焼による無害化という、いわば絶対的な環境貢献をも果たしており、受入廃棄物処理という点で特徴的なX工場において、本部門は象徴的ともいえる。

マシンセンターとしては、水溶化する溶解槽や塩化物水溶液の処理装置、選別・粉碎機等があり、いずれも電力部門からの電気エネルギーで稼動する。本部門の原価はすべて原料工程に賦課される⁴⁾。

(d) 燃料粉碎部門

ロータリーキルンのバーナーとプレヒーターの仮焼炉の熱源としては、一部のリサイクル燃料を除いて専ら微粉炭が用いられ、石炭および石油コークスを微粉碎し、また燃焼に際しての熱効率を向上するために予熱する作業を本部門で行う。粉碎機等は電力によって稼動し、原価はすべて焼成工程が負担する。

(e) 廃プラスチック処理部門

焼成工程の熱源として微粉炭と併用される主要なリサイクル燃料である廃プラスチックは、破碎・溶解・造粒といった作業を経てペレット化され、投入・燃焼される。X工場では、廃ばちんこ遊技機をリサイクル材として受入れており、材料選別の後、同様の作業で処理される。なお、破碎後の一部については、ロータリーキルン内へ直接投入され、キルン内部で補助燃料として活用される。本部門も燃料粉碎部門と同様に、設備は電動であり、原価は焼成工程に賦課される。

なお、工場一般業務、品質管理、および主要設備の修繕のタイミングを評価・分析・決定を含めた設備管理等を担う工場管理部門の原価については、材料費・減価償却費を除いた費用を基準にして配賦がなされている。

原料工程では、主力の原料ミルをはじめとするマシンセンターは電力稼動であり、石灰石類を除いた投入原料は、高炉・鉄鋼スラグ、フライアッシュ、汚泥・スラッジ、建設発生土などいずれもリサイクル原料である。

焼成工程における仮焼炉・ロータリーキルン用バーナーのいずれのマシンセンターも、燃料粉碎部門からの微粉炭をベースに、廃プラスチック処理部門からのペレットや廃油・再生油等のリサイクル燃料を混焼させて熱エネルギーに変換している。また、空冷式のクリンカクーラーは電力部門からの電気エネルギーで稼動している。

なお、前出の一部の廃プラスチックの他、廃タイヤや木屑等も補助燃料として直接キルンへ投入されている。廃タイヤについては含有されているスチールウールが鉄原料の代替物としてリサイクル原料としての役割も果たしている。

仕上工程の主要設備である仕上げミルをはじめ、予備粉碎機やセパレーターおよび混合機についてもすべて動力は電力である。投入される石膏や混合材のスラグ・フライアッシュもリサイクル原料ではない。

3. 4 原価の集計

A社では、原価の集計に際して、直接材料費と加工費による2区分法ではなく、材料費と労務費および経費による形態別3区分法を採用している⁵⁾。各費目に関して、以下の点においてX工場の特徴が確認できる。

材料費については、5つの主要材料のうち、仕上工程で投入される石膏を除いて、全て原料工程で投入される。リサイクル材による代替が進んでおり、X工場では粘土、けい石類および鉄原料のバージン材投入はない。なお、焼成工程に賦課される燃料粉碎部門の微粉炭製造の電力費、および受入焼却残渣処理部門の電力費については材料費として扱われている。

労務費については、省力化の結果として少人数でのオペレーターなどの運行管理業務等に限定されており、それぞれの部門・工程ごとに特定出来るため、個別 実際賃率を集計している。

経費については、大型設備装置による資本集約化のため減価償却費が、また、エネルギー費および下請け作業の外注費の構成比率が高くなっている。

なお、各工程から製品への配賦は製品重量基準による。また、X工場の原価計算において特に留意すべき特徴として、受入廃棄物の一部は逆有償リサイクル材（逆有償リサイクル原料および逆有償リサイクル燃料）であり、これらについてはその受領した金額分を材料費および経費から差引く、控除法を採用している点が指摘できる。

4. 廃棄物原価に関する現状と考察

4. 1 CO₂・廃熱およびその他の廃棄物の内容と原価

X工場における廃棄物原価について、その内容と発生する工程、認識と測定の状況、および原価計算上の取扱いについては以下の通りである。

(1) CO₂

直接排出は、焼成工程の仮焼炉とロータリーキルン用バーナーにおける微粉炭および混焼リサイクル燃料、およびディーゼル発電時の重油から発生する。また、間接排出分は、原料ミル、サイクロン、クリンカクーラー等の電力稼動マシンセンター等での電力消費分で、買電量相当分が該当する。

セメント産業では、セメント協会を中心に早くから排出量削減に取り組んできた経緯があり、A社

では、セメントCO₂・エネルギープロトコル⁶⁾に従って排出量を算定し、排出量取引の国内統合市場の試行的実施に目標設定参加者としてしているため、数量ベースでの認識と測定については実施されている。

排出承認証取得費用が発生しない現段階では、原価計算の領域でCO₂排出コストが配賦されるような取組みには至っていないものの、当該費用がアフターコストとして原価に参入されるべきものであるとの認識が、面談を通じて確認された。

(2) 廃熱

焼成工程において、各種燃料から変換された熱エネルギーは、ロータリーキルンおよびプレヒーターで原料の熱化学変化および原料の乾燥に必要なとされる熱量を供給するが、図2に示したように、およそ38%については余剰となる。この余剰分のうち半分近くの47%（全体の18%）は、プレヒーター下部に設置された廃熱ボイラーで蒸気に熱交換されて発電に回り、残余分（全体の約20%）が廃熱となっている。

大規模生産設備の導入による資本集約度の向上により、原価における減価償却費とエネルギー費の比率は高く、廃熱にかかる原価は決して小さくない。これまで主張してきたように、廃熱は広義の減損であり、生産管理工学的に投入熱量が把握されている以上、理論値としての廃熱原価は算定が可能である。しかしながら、焼成工程では同時に複数の製品の製造が行われず、また同工程の所要時間も数時間程度と短いため、製品間での配賦の必要が認められないために、A社・X工場では認識・測定の対象外で、単独での原価計算対象とされていない。

(3) ダスト

原料工程のサイクロンにおいて、分級作業時に粉散した微粉末原料は、電気集塵機ならびにバグフィルターを通じて集められる。ダストは伝統的な原価計算の基準に照らしても減損に相当するものであるが、生産量に比して排出量が極めて少なく、かつその回収頻度も低い。そのため、材料費や回収にかかる労務費および設備の減価償却額等の経費、すなわち減損原価は度外視されている。さらに、このダストは原料として再投入されているため、産業廃棄物としての処理費もかからないために、X工場では減損として認識されていない。

(4) 金属スクラップ

受入焼却残渣処理部門において焼却灰から磁力選別等により取り除かれた金属や、廃プラスチック処理部門において廃ばちんこ遊技機から回収される釘等の金属については、作業屑として売却対象とされている。それぞれの部門における除去（抽出）コストは考慮せず、原価外の雑収入としての処理が行われている。

(5) 希釈塩水

受入焼却残渣処理部門において、煤塵からの脱アルカリ処理後に水溶液中に残った塩素分⁷⁾については、すべて排水基準以下で放流されている。この塩素分については、減損に相当し、例えば水溶状態ではなく固体としての塩塊となっていたとすれば、産業廃棄物として有償で処理する必要（外部への処理費の支払い）が生じるものと思われる。現状では、希釈排水管理処理コストが処分費にあたり、結果としては、処分費を含めた同部門全体のコストがリサイクル原料コストとして原料工程に賦課される形となっていて、認識・測定の対象外とされている。

(6) 二級品クリンカー

焼成工程の完了品であるクリンカーについては、クリンカサイロへの収容時に検品され、製品切り替え（調合原料の切り替わり）時に発生する成分構成が不安定な粉体原料（調合原料）によって作られたクリンカーについては、厳しい基準によって良品と分別され、二級品サイロに蓄えられる。両者に成分的に大きな相違は無いため、X工場では製造されるセメント製品がJIS規格の基準範囲となるように、この二級品クリンカーについては、適宜良品と混在させて仕上工程で製品化を行っている。

二級品クリンカーは、いわば補修可能仕損品に相当するものであるが、A社の原価計算において、二級品クリンカー原価（仕損品原価）は良品原価と同額となっている。実際の作業としては、成分構成を基準内に合わせるための再調合等を行うために追加の設計費用が発生している。しかし、不安定とはいえ量産品間で生じることであるために、仕上工程の一部作業として織り込まれており、補修費は発生させておらず、結果として原価計算においては良品と同様に扱われている。

(7) 吹きこぼれ

出荷時に際して、セメント製品は粉体であるがために、微量の粉散が認められる。A社では、出荷量ベースで完成品数量を把握することにより、度外視法によって粉散分を減損扱いしており、減損原価は認識・測定されていない。

(8) 耐火煉瓦

ロータリーキルンに内張りされた耐火煉瓦は、焼成される原材料によってコーティングされ、炉壁からの廃熱を少なくすると同時にキルンを熱による変形から防いでいる。A社の他工場では、経年の劣化によって産業廃棄物として最終処分にまわるが、X工場においては廃棄されず、建設発生土などと同じようにリサイクル原料となっている。

4. 2 受入廃棄物の原価計算に関して

一般に廃棄物は、企業活動におけるアウトプットとして考えられているが、循環型社会に向けた取組みの進展に伴って、本事例のように原燃料として受入れられるインプットとしても捉えられなければならない。原価計算においても相応の影響が発生する。

逆有償による受入廃棄物について、X工場では、受領金額から運賃等の経費を引いた額（正味受領額）を材料費および経費からマイナスする控除法によって原価が計算される。原料として用いられる逆有償リサイクル原料を例に、正味受領額 p 円とした場合、直ちにリサイクル原料として投入される場合には次のように会計処理される。

(借方) 現金 p (貸方) 材料費 p

となる。

また、受入量の多いために在庫として認識される逆有償リサイクル原燃料については、受入時点では、正味受領額で棚卸資産の貸方計上をおこなって、以後は数量管理により、消費に応じてマイナスの材料に振替えて原価を控除する形が採られている。期首において正味受取額 q 円で受領し、期中 r 円分を消費したとすれば以下のように仕訳が行われる。

(借方) 現金 q (貸方) △棚卸資産 q

(借方) △棚卸資産 r (貸方) 材料費 r

通期では、次のように認識される。

(借方) 現金 q (貸方) △棚卸資産 $(q - r)$
材料費 r

期末時点における貸借対照表上の記載は次の通りとなる。

(借方) 現金 $(q - r)$ (貸方) △棚卸資産 $(q - r)$

逆有償による受入は、セメント製造プロセスが高い廃棄物処理能力を有しているため、ある程度の期間にわたって継続することが想定可能かと思われる。しかし、バイオマス燃料需要の高まりから、木屑の価格が上昇したように、リサイクル技術の進展によって新規参入の受入先が増加して需要が供給を上回るなど、市場の原理による逆有償額の変動リスクが高まることも考えられる。このとき、簡便法である控除法の採用は、有償取引の市場変動に加え、逆有償市場という更なる変動要素を抱え、かつその影響が材料費や経費として原価計算の途中で織り込まれていくこととなり、原価管理という視点からは回避すべきであるものと考えられる。

4. 3 廃棄物に関する原価計算対象化について

以上のように、先進的な循環型であるX工場では、最終処分廃棄物が極めて少なく、面談を通じても処理費を含めた原価を背負うような廃棄物はゼロに近いとの認識であった。

しかしながら、廃熱発電コストについては、現状では減価償却費と定期検査費用および少量の補助材料費のみで算出されており、廃熱原価は可視化されていない。入出熱勘定の当該比率分である18%については、焼成工程原価から抜き出して、廃熱発電コストに加え、電力部門コストとして配賦されるべきである。さらに、有効利用できなかった20%の廃熱分についても、セメント製造業のようにエネルギー費が総原価に占める割合が高い産業では、原価計算の枠組みの中で、比率ではなく金額ベースで把握されることにより、更なる活用・転用の方策を検討する動機付けとなる可能性があり、廃熱原価が可視化される意義は存在する。減損に関しては、生産工程において無駄である「削減対象減損」と、生産に必然的に発生する必要不可欠な「削減不能減損」が存在し、両者は区別されるべきものである。廃熱については、焼成工程で熱分解に必要な熱量を超えて投入された熱エネルギーは前者であり、製品が一定温度まで低下するために放出される熱エネルギーは後者である。削減不能のものについては活用・転用という視点が求められる。

非直行資源は、補修可能仕損品と同一である。たとえば、数量的に測定されている二級品クリンカーについては、原価に差がないとしても、製品切替に起因する必然的・定期的なものとされているために、実際には二級品クリンカーが原因で成分調整・管理といったコストを仕上工程が度外視している状況と理解できる。つまり、非直行資源にかかる補修費を認識できていないがゆえに、削減対象となっていない。直行率が高まり、仕損品が減量されることは、原価率の改善に貢献するのであるから、二級品クリンカーについては、補修コストを含めた原価を非度外視法で明示するべきである。

なお、生産活動の忠実な写像という視点からは、電力部門と受入焼却残渣処理部門の配賦については留意が必要である。仕上工程は夜間のみの稼働であるために重油コストを配賦すべきではないが、3方式の電力について加重平均単価を算出し、月間使用量で部門・工程の金額を算出しているため、電力の実使用形態は各部門の原価に反映されていない。また、受入焼却残渣処理部門における焼成工程の脱塩バイパスから受入れた塩素処理コストについては、処理量を基準に焼成工程にも負担させるべきであるが、すべて原料工程に賦課している。

4. 4 仮説の提示

逆有償による受入廃棄物については、次の仮説を提示する。

[仮説1]

「逆有償による受入廃棄物については、原材料の棚卸資産として扱われる場合において、マイナスの資産として貸方計上する方法がある。」

受入量が多く、期中に消費できない場合に、一般に資産勘定は正味残高で示されるため、貸借対照表上においてはマイナスの資産の状況は表れない。しかしながら、逆有償による受入という取引事実にしたがったものであり、実態を表わすという点で意味を持つのであって、このようなマイナスの資産については、貸借対照表上でも正味残高で表さず、区別して記載されるべきである。

また、財務会計における棚卸資産会計という位置づけから原価計算を捉えた場合、逆有償の受入廃棄物については、受入時にマイナスの資産として貸方計上を行った後、消費する際に控除法を用いると、無償による資産の取得は公正価値によるという大前提を無視することとなるため、次の仮説を提示する。

[仮説2]

「消費分のマイナスの資産額を廃棄物受入益として貸方に、当該廃棄物が代替する資源についての公正価値による評価額を材料費もしくは経費として借方計上し、貸方にはこの評

価額を受贈益として計上すべきである。」

このとき、4. 2で示した会計処理例の

(借方) △棚卸資産 r (貸方) 材料費 r

については、公正価値による評価額を s として、次のように表わすことができる。

(借方) △棚卸資産 r (貸方) 廃棄物受入益 r
材料費 s 受贈益 s

公正価値の導入によって、原燃料の調達を通常取引の下で行ったとする逆有償がない場合の原価を算出し、結果としてどれだけ原価を低減させたのかという、逆有償の効果を取り出して認識することが可能となる。

また、廃棄物の原価計算上の取扱いにおいては、識別が不十分なものについて、その原価性が意識されていない状況下では、結果として部門や工程間での配賦が適切に行われれないなど、生産活動の忠実な写像という点での不都合が存在することから、以下の仮説を示すことができる。

【仮説3】

「最終処分廃棄物を広義の減損として、非直行資源を補修可能仕損品として識別し、原価計算対象化する廃棄物原価計算により、生産活動の実態の可視化の度合いを高めることが可能となる。」

広義の減損と仕損品として捉えなおす概念拡張により、廃棄物を数量だけでなく原価として把握するという点で、非度外視法によって分離計算と対象とすることは有意義であり、資源生産性向上という観点における原価計算の貢献と考えられる。

5. おわりに

本研究では、A社X工場の事例に基づいて、セメント製造業における原価計算システムの実態について、廃棄物に関する原価計算を中心に検討を行った。

産業として志向する循環型が進められた結果、最終処分の対象となる廃棄物は減量し、廃棄物の原価に着目する必然性が低下していると企業の側では考えられている。しかしながら、伝統的な原価計算における廃棄物への対応には検討すべき点があり、代替原燃料としての廃棄物や、識別に際しての概念の狭隘さなどに関しての原価計算上の対応は十分であるとはいえない状況にある。

逆有償受入廃棄物についての会計処理について、棚卸資産会計の観点から、受入時におけるマイナスの資産としての貸方計上の必要性和、無償による資産の取得は公正価値によるという立場から、控除法を用いずに受入益を計上する原価処理に関する仮説を提示した。また、補修費や処理費・処分費を含めた廃棄物原価の検討を通して、廃棄物を広義の減損と補修可能仕損品として捉えて原価計算対象化する廃棄物原価計算により、生産活動の実態の可視化の度合いを高めることが可能となることを仮説として示した。

【謝辞】

本研究にあたり、A社・X工場の関係者の皆様には、ご多忙な中を複数回にわたる面談・検分にたいへんご丁寧な対応を頂きました。かかるご協力なしには本研究は成り立ち得ず、ここに衷心より感謝の念を申し上げます。

また、ご多忙な中、査読をご担当いただきました匿名のレフェリーの先生により、本稿の内容並びに表現を改善することができました。ご指摘を通じて、今後の研究にあたっての貴重な示唆と温かい励ましのお言葉も頂戴いたしました。深く謝意を表します。

【注】

本研究の要旨については、日本管理会計学会第21回全国大会自由論題報告「減損・仕損品原価計算の事例研究～窯業企業のケース～」(2012年8月26日・国士舘大学)においてケースの一つとして発表した。

- 1) 3工程区分は、補助簿におけるものであり、内訳明細である。総勘定元帳上の半製品は1つである。
- 2) 補助経営部門の呼称については、現実に用いられている呼称ではなく、本研究用に設定されたものである。
- 3) 焼却灰処理にあたり、金属については磁力選別等を行い、粗粒は粉砕機で細粒化する。
- 4) リサイクル原料に処理された焼却残渣の物理的な投入は、原料工程ではなく、焼却工程のロータリーキルンに直入される。
- 5) A社で用いられている変動製造費の集計表においては、逆有償のリサイクル原料および燃料を経費のマイナスとして算定することをふまえて、変動費について、原料と燃料および電力に3区分している。
- 6) セメントCO₂・エネルギープロトコルとは、セメント会社が開発普及を推進してきた、全世界で統一的にCO₂の排出量を算定・報告するためのガイドラインである。
- 7) 塩素(塩分)は、焼成工程においてキルンを傷めるだけでなく、セメント製品としても鉄筋を腐食させる(錆びさせる)原因となるために、脱塩は必要不可欠であり、ロータリーキルンおよびプレヒーターにも塩素バイパス装置が設置されている。受入焼却残渣処理部門では、同装置で採集される塩分についても希釈排出処理を行っている。

【参考文献】

- 荒井康夫, 1990, 『改訂2版 セメントの材料化学』大日本図書.
- 番場嘉一郎, 1963, 『原価計算論』中央経済社.
- 大門正機, 1989, 『セメントの科学: ポルトランドセメントの製造と硬化』内田老鶴圃.
- Horngren, C.T., S.M. Datar., and G. Foster., 2000, *Cost Accounting: A managerial Emphasis* Tenth Edition, Prentice Hall.
- 細田衛士, 1999, 『グッズとバズズの経済学 循環型社会の基本原理解』東洋経済新報社.
- 片岡洋一, 1978, 『製品原価の測定理論』白桃書房.
- , 2007, 「製品原価測定の諸問題」『目白大学経営学研究』第5号 pp.17-27.
- 宮本寛爾, 1996, 『原価計算の基礎(現代会計学の基礎)』税務経理協会.
- 向田 靖, 2010a, 「企業の社会的責任と環境戦略—国際標準化時代の戦略目的の検討と基本フレームの構築」片岡洋一編著『経営戦略の新展開』目白大学経営研究所ライブラリー第3巻 富山房インターナショナル.
- , 2010b, 「製品原価計算における正常減損・仕損非度外視法の研究」日本原価計算研究学会第36回全国大会及び同予稿集.
- , 2010c, 「伝統的な原価計算における廃棄物・GHGの認識と測定に関する研究」日本管理会計学会第19回全国大会及び同予稿集.
- , 2011a, 「排出量取引に関する現状と企業が取り組むべき課題」『目白大学経営学研究』第9号 pp.65-77.
- , 2011b, 「原価計算におけるエネルギーロスの配賦に関する研究」日本管理会計学会第20回全国大会及び同予稿集.
- , 2012a, 「石灰製造企業における廃棄物原価計算: 事例研究アプローチ」片岡洋一編著『会計学と経営学のための事例研究アプローチ』目白大学経営研究所ライブラリー第4巻 富山房インターナショナル.
- , 2012b, 「減損・仕損品原価計算の事例研究～窯業企業のケース～」日本管理会計学会第21回全国大会及び同予稿集.
- Mukaida, Y. and Y. Kataoka, 2009, The Development of Material Flow Cost Accounting: A Managerial Approach *Forum Proceedings* The Asia-Pacific Management Accounting Association.

津曲直躬, 1985, 『原価計算論講義』中央経済社.

【参考資料】

無機マテリアル学会, 1995, 『セメント・セッコウ・石灰ハンドブック』技報堂出版.

日本石灰協会技術委員会, 1992, 『石灰ハンドブック(石灰製造技術ハンドブックCD-ROM改訂版)』日本石灰協会.

石膏石灰学会, 1972, 『石膏石灰ハンドブック』技報堂.

セメント協会, 1987, 『セメント・コンクリート化学とその応用』社団法人セメント協会.

—————, 2009, 『セメントの常識』社団法人セメント協会.

—————, 2011, 『セメントハンドブック 2011年度版』社団法人セメント協会.

セメント協会ホームページ「セメント産業における環境対策・セメント産業における地球温暖化対策の取り組み」<http://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/jg1.html> 最終アクセス2012/12/02