

# セメント産業に関連した廃棄・副産物のエコバランスについて

天野耕二，伊藤昌隆\*，柳澤幸雄\*\*

立命館大学理工学部 草津市野路東1-1-1

\*建設環境研究所 豊島区東池袋2-23-2

\*\*東京大学工学部 文京区本郷7-3-1

キーワード：セメント産業，廃棄・副産物，環境負荷配分

## 要 旨

セメント産業を中心とする産業クラスターにおいて，廃棄・副産物の物量収支に着目したエコバランスについて検討した。廃棄・副産物を含む複数の生産物を算出する産業プロセスにおける二酸化炭素排出量の割り当て（アロケーション）を取引高による重みづけで行った結果を重量や容積といった量的な重みづけに基づいた従来の算定結果と比較した。積み上げ法による「全てのものを重量換算しなければならない問題」や産業連関分析法による「無償あるいは逆有償の廃棄・副産物を算定に加えることができない問題」を解消するとともに，生産と消費双方のプロセスにおいて廃棄・副産物の有効利用促進をうながすための環境負荷評価手法を提示することができた。

### 1．はじめに

資源を有効利用し廃棄物量を削減することは，今日の環境問題の中でも重要な課題の一つである。しかし，一般的な環境負荷評価では，廃棄・副産物質のリサイクルシステムにとまなう新たな環境負荷などから，必ずしも廃棄・副産物質の再利用が環境負荷低減につながるとは評価されていない。本研究では，各種の産業が産出した物質の背負う環境負荷（対象物質の生産にとまなう物質に内包される負荷）を正当に割り当てるため，取引高による重みづけを用いた環境負荷算定手法を提案する。事例としては，多くの廃棄・副産物質の有効利用がなされているセメント・コンクリート産業を中心とした産業クラスターを扱い，環境負荷の代表として二酸化炭素排出量の割り当てを試みた。なお，モデル作成の対象年は1990年とし，データは公的機関および関連各種業界団体発行の資料より用いた。

### 2．環境負荷の配分について

廃棄・副産物を含む複数の生産物を産出する産業プロセスを考えた場合，一般的なライフサイクルインベントリーでは生産物の量に応じた環境負荷の割り当てが行われている。しかしながら，無償あるいは逆有償の廃棄・副産物の有効利用を評価するためには，生産物の経済価値によって環境負荷を割り当てねばならない。この新しい手法では，マイナスの経済価値を持つ逆有償廃棄・副産物にはマイナスの環境負荷を割り当てることになる。環境負荷の算定方法は，一般的な積み上げ法によるライフサイクルインベントリーと同様である。また，産出量は固有の単位（unit[product]）表し，価格単位は「円」である。

ある産業が産業活動をおこなった結果，生産物を $n$ 種類産出し，それに伴ってを何らかの環境負荷を総量で $L$ （unit[load]）計上した場合を考える。この場合，各生産物に割り当てられる環境負荷の割

合（環境負荷割当率）と環境負荷の一般式は，各々（式-1），（式-2）に示すようになる。

$$r_i = \frac{M_i \times P_i}{(M_i \times P_i)} \times 100 \quad (\text{式-1})$$

r：環境負荷割当率（%）  
M：生産物の産出量（unit[product]）  
P：生産物の単位あたり価格（円/unit[product]）

$$l_i = \frac{r_i}{100} \times L \quad (\text{式-2})$$

l：生産物に割り当てられる環境負荷  
L：環境負荷の総量

このような環境負荷評価では，無償取引される生産物については，単位あたり価格がゼロとなるため環境負荷分配率を表現することができない。しかし，生産物（多くの場合，廃棄・副産物）が無償取引されている場合でも実質的には何らかの間接的コスト（輸送コストなど）が計上されることが多いため，仮想的な価格を用いて環境負荷を割り当てるのが可能とある。

### 3．セメント・コンクリートに関連した産業クラスターにおける物質収支について

セメント産業への物質投入プロセスフローを中心として，関連各産業プロセスにおける産出物の生産量と概算価格および他産業への投入量を集計した<sup>1,2,3,4)</sup>（表-1）。以下の分析において，資材は本プロセス・フロー内における生産物と粘土を，エネルギーは化石燃料と電力を対象とする。また，ある資材にいくつかの種類が存在する際（セメントなど）の資材量算定は，種類の考慮はせず重量ベースで同等に扱った。各物質の投入量や概算価格は，関連各種業界団体へのヒヤリングや公表されている資料より引用または推計したものである。

Table 1 Material balance for the principal outputs from the industrial processes related to cement and concrete products in 1990

industrial process	principal products	unit	amount of output	unit price (YEN per unit)	input to other industrial processes					
					cement	concrete	construction	recycle	disposal	
mining	limestone	10 <sup>t</sup>	198,224	737	89,070	882	58,243			
	silica	10 <sup>t</sup>	17,925	1,067	4,662		11,409			
	crashed macadam	10 <sup>t</sup>	133,264	1,348			133,264			
	quarry	10 <sup>t</sup>	268,105	1,033		101,303	163,471			
	gravel&sand	10 <sup>t</sup>	410,000	1,436		218,698	183,408			
electric power	electric power	10 <sup>kwh</sup>	757,593	19,559	9,083	559	23,598	40	0	
	JIS FA	10 <sup>t</sup>	171	60,000	171					
	coal ash	10 <sup>t</sup>	1,313	-5,000	891	161	256			
	desulfurization gypsum	10 <sup>t</sup>	1,415	3,000	987		428			
steel	steel	10 <sup>t</sup>	110,339	45,982			42,000			
	blast slag	for cement	10 <sup>t</sup>	15,401	3,000	15,401	471	10,164		
		others	10 <sup>t</sup>	10,635	1,200					
revolving slag	10 <sup>t</sup>	5,888	500	754		5,134				
tire	new tire	10 <sup>t</sup>	1,479	632,006						
	used tire	10 <sup>t</sup>	111	-4,500	111					
cement	cement	10 <sup>t</sup>	84,445	9,132		50,008	34,437			
concrete	concrete	10 <sup>m<sup>3</sup></sup>	171,671	11,535			171,671			
construction	building	10 <sup>t</sup>	1,055,641	78,018						
	concrete waste	for recycle	10 <sup>t</sup>	12,200	-1,500				12,200	
		for disposal	10 <sup>t</sup>	13,200	-3,300					13,200
recycle	recycled macadam	10 <sup>t</sup>	10,980	931			10,980			
	scrap steel	10 <sup>t</sup>	1,220	8,000						

#### 4. セメント・コンクリート材料のエコバランス

セメント・コンクリート関連の産業クラスターにおけるライフサイクル二酸化炭素排出量を、表-1に示した生産物ごとに割り当てられた排出量を積み上げることによって評価する。排出量を物質の重量に応じて割り当てる方法と2節で述べた取引額に応じて割り当てる方法（式-1および式-2参照）の二通りで行い、結果を比較する。各産業プロセスにおける総二酸化炭素排出量については、エネルギー消費量に二酸化炭素排出原単位<sup>5)</sup>を乗じて求めた。また、ライフサイクルすべてにわたる負荷総量を考察する際には産業連関分析法による算定結果についても比較対象とした。輸入材料については考慮せず、セメント生産部門について、(I-A)<sup>-1</sup>型の逆行列係数により生産波及効果を求めた。算定には、1990年産業連関表取引基本表<sup>6)</sup>を一部修正し、内生部門405部門に加工したものをを用いた。被誘発部門として石炭、原油、天然ガス、石油製品の各生産部門（化石燃料起源）およびセメント生産部門（石灰石起源）を考慮した。

各算定手法によるセメント・ライフサイクルの二酸化炭素排出量を表-2に示す。取引額配分法による算定結果が、他の手法による算定結果の間をとる形になっている。これには、各手法における廃棄・副産物の取り扱い方の差異が影響している。重量配分法では、廃棄・副産物の経済的価値は考慮せず、他の製品（主生産物など）と共に重量に応じて環境負荷を割り当てる方法が用いられる。一方、産業連関分析法では原則として一生産部門にひとつの生産物を対応させる必要があり、主生産物以外に生産技術上必然的に産出される廃棄・副産物の取引額は産出と投入のいずれの取引額にも含まれない。すなわち、重量配分法では経済的価値が考慮されないため環境負荷が過大評価され、産業連関分析法では廃棄・副産物の取引を算定結果に加えることが困難であるため環境負荷が過小評価されている可能性がある。

また、重量割り当て方式では全てのものを重量換算する必要があり、電力の扱い時などにおいて問題を残している。取引額配分法では、物質やエネルギーの物量単位によらず経済的な価値に基づいた合理的な評価が可能になることに加え、一般的には負の価値を持つ廃棄・副産物の有効利用促進をうながす環境負荷評価を行うことができる。

経済価値による割り当て結果をさらに詳細に評価するために、重量および取引額による二つの割り当て方法による「セメント生産のための資源採取・原料生産段階」における算定結果を各産業ブ

Table 2 Life cycle carbon dioxide emissions estimated by three methods

	stages						total (10 <sup>3</sup> t-c)	per cement product (Kg-c/t-cement)
	resources & materials	production	consumption	disposal	recycle	reuse		
allocated by weight	6,333.5	17,298.7	2,178.3	0.6	6.8	6.1	25,823.9	305.8
allocated by price	1,390.5	17,298.7	2,064.0	0.6	1.0	6.1	20,760.8	245.9
input-output analysis	1,390.5	17,298.7	2,064.0	0.6	1.0	6.1	16,078.8	184.8

Table 3 Carbon dioxide emissions for each input material involved in cement production, according to the respective methods of allocation

industrial process	input material	carbon dioxide emission (10 <sup>3</sup> t-c)	
		allocated by weight	allocated by price
mining	limestone	33.7	33.7
	silica	2.9	2.9
electric power	electric power	892.4	895.4
	JIS FA	16.8	51.7
	coal ash	87.6	-22.5
	desulfurization gypsum	97.0	14.9
steel	blast slag	4,948.0	411.2
	revolving slag	242.2	3.4
tire	used tire	13.0	-0.1
	total	6,333.5	1,390.5

ロセスの複数の産出物質ごとに表-3に示す。石炭灰および廃タイヤが逆有償物質として扱われているため、取引額割り当て方式では電力産業の石炭灰とタイヤ産業の廃タイヤでマイナスの二酸化炭素排出量が計上され、このマイナス分は電力およびタイヤ産業の主たる有償産出物質に割り当てる形となっている。また、鉄鋼産業においては高炉スラグおよび転炉スラグの取引価格が主製品である鉄鋼製品よりも安価であるために、取引額割り当て方式による排出量が極めて少なくなっている。このように、処理・埋立処分などを必要とする逆有償物質の投入をその経済的価値とともに考慮することによって、セメント産業に代表される静脈産業型の産業プロセスが背負う環境負荷総量を廃棄・副産物の活用状況に応じて評価することができる。

## 5. おわりに

本研究では、セメント産業を中心とする産業クラスターを対象に産出物質ごとの新たな環境負荷の割り当て方式について検討した。物質収支における重量による割り当てではなく、経済的価値を考慮した取引額割り当て方式を用いることによって、多くの産業が様々な廃棄・副産物の有効利用を進める具体的な動機づけを行えるような評価結果を導いた。

一方、この評価手法の問題点として次のようなことが考えられる。例えば、産出産業が廃棄・副産物質の処理コストを削減すると、逆有償物質の削減を行った場合と同様の効果が現れる。つまり、不法投棄などを含めて環境に対して負荷を増大させるような処理を行なった場合でも処理費が安価であれば環境負荷量割当率は小さくなる。また、現実には廃棄・副産物質の取引価格はケースバイケースであり、今回のように産出産業の設定範囲を大きくした上で正確な算定することは困難な場合が多い。すなわち、廃棄・副産物質の発生・処理・再資源化・処分などに関するさらに正確なデータ整備の必要性とあわせて検討・改善の余地が残されている。

本研究を行うにあたり、ヒアリング調査にご協力頂いた日本フライアッシュ協会、日本自動車タイヤ協会、セメント協会、鉄鋼スラグ協会、石灰石鉱業協会の各協会団体の方々に感謝の意を表します。

## 6. 参考文献

- 1) 平成2年各種（資源、化学工業、砕石、鉄鋼、ゴム製品、窯業・建材、生コンクリート）統計年報、通商産業省(1990)
- 2) 鉄鋼スラグ統計年報、鉄鋼スラグ協会（1995）
- 3) 平成3年度電力需給の概要、通商産業省(1991)
- 4) タイヤリサイクルハンドブック、(社)日本自動車タイヤ協会(1996)
- 5) 二酸化炭素排出量調査報告書、環境庁(1992)
- 6) 1990年産業連関表取引基本表、通商産業省(1990)