

# 廃棄・副産物の経済価値を考慮した環境負荷量の評価 - セメント産業を事例として -

天野耕二<sup>1</sup>・伊藤昌隆<sup>2</sup>・柳沢幸雄<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 立命館大学助教授 理工学部環境システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

<sup>2</sup>工修 (株)建設環境研究所 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋2-23-2)

<sup>3</sup>工博 東京大学大学院教授 新領域創成科学研究科 (113-8654 東京都文京区本郷7-3-1)

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・副産物の経済価値を考慮した環境負荷量の評価手法について検討した。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おこな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一般的なライフサイクルインベントリーの結果と比較した。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。

*Key Words* : waste and by-product, allocation of environmental loading, carbon dioxide emission, cement industry

## 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。廃棄物最終処分場不足などの問題からも、わが国における廃棄・副産物質の再利用は緊急の政策課題であるともいえる<sup>1)</sup>。ここ数年、国内法制度においても「再生資源利用促進法」(1991年)、「容器包装の分別回収・再商品化促進に関する法」(1995年)などが制定され、社会全体でも廃棄・副産物質の再利用推進の気運が高まっている。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も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。すなわち、廃棄・副産物質の再利用の有効性を多面的に評価する指標が必要とされており、その有効性については、廃棄・副産物質を主に産出・投入する産業間における取引形態を客観的な評価基準とするべきであろう。

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も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。さらに、この評価手法を用いて廃棄・副産物質の再

利用形態について考察をおこなうことにより、環境負荷の合理的な責任分担を明確に判断できるツールの構築を目指す。事例としては、多くの廃棄・副産物質の有効利用をおこない静脈産業としての一面を持つセメント・コンクリート産業<sup>2)</sup>を中心とした産業クラスターを対象とし、環境負荷の代表としてライフサイクル二酸化炭素排出量を評価対象とした。産業界をあげての二酸化炭素排出削減も国家的な緊急課題となっており、本研究は廃棄物と温暖化ガスの両方を考慮した総合的な環境負荷評価手法の一事例を提示する。なお、対象年は1990年とし、元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引用した。

## 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「積み上げ法」によるライフサイクルインベントリーでは生産物の重量もしくは容積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ることも試みられねばならない。この新しい手法では、マイナ

表-1 仮定の産業プロセスにおける環境負荷量（総量L=100t）の割り当てモデル

case	生産物	産出量 (t)	単価 (円/t)	環境負荷量 割当率(%)	割り当て 環境負荷量 (t)
1	A	50	10	25	25
	B	10	30	15	15
	C	20	60	60	60
	合計	80	-	100	100
2	A	50	10	125	125
	B	10	30	75	75
	C	20	-20	-100	-100
	合計	80	-	100	100
3	A	50	10	100	100
	B	10	30	60	60
	C	15	-20	-60	-60
	合計	75	-	100	100

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。

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。生産物の経済価値を考慮した場合、各生産物 (i=1~n) に割り当てられる環境負荷の割合 (環境負荷割当率) と環境負荷を、それぞれ式(1)、式(2)とする。

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

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])

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

l: 生産物に割り当てられる環境負荷

L: 環境負荷の総量

仮定の産業プロセスを一例として、A、B、Cという三種類の生産物を産出する際に環境負荷として二酸化炭素を100 (t-c: CO<sub>2</sub>炭素換算トン) 計上する場合を表-1に示す。各生産物の産出量と単位あたり価格は任意に与え、産出量の単位 (unit[product]) は重量トン (t) である。

case1: 生産物A、B、Cが全て製品及び中間製品として有償取引された場合を表す。環境負荷は、生産物の産出量と単位あたり価格により各生産物に割り当てられている。

case2: 生産物A、Bが有償で、生産物Cが逆有償で取引された場合を表す。生産物Cは見かけ上マイナスの環境負荷を計上し、そのマイナス分は他の有償取引される生産物へと割り当てられている。よっ

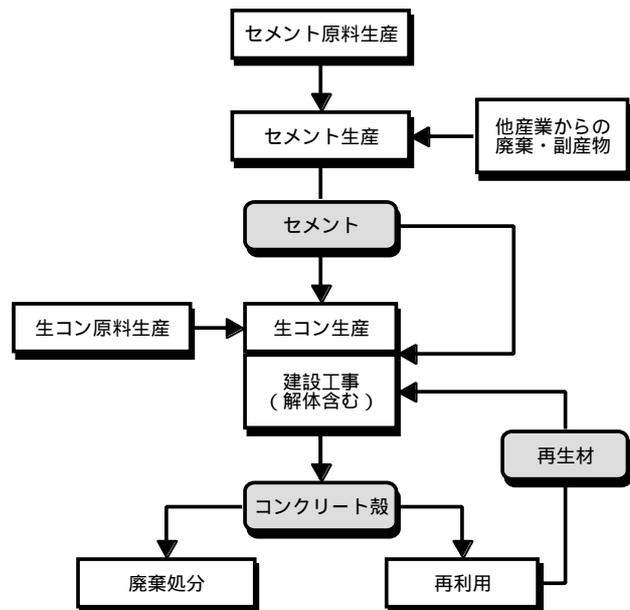


図-1 セメント・コンクリートを中心とする産業クラスターにおける物質投入プロセスフロー

て、生産物Cを投入 (購入) する別の産業プロセスでは、逆有償物質の有効利用にともなう環境負荷削減効果を得ることになる。

case3: case2において、逆有償取引される生産物Cを減らせば、有償取引される生産物A、Bへと割り当てられる環境負荷が減ることを表している。

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、生産物が無償取引されている場合 (多くの場合、廃棄・副産物) 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ことが可能となる。

### 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・コンクリートを中心とする産業クラスターにおける物質投入プロセスフロー (図-1) における各産業プロセスの産出物について、年間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 (表-2)。以下の分析において、原材料資源は本プロセス・フロー内における生産物と粘土を、エネルギー資源は化石燃料と電力を対象とする。また、ある生産物にいくつかの種類が存在する際 (セメントなど) 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

表-2 セメント・コンクリート関連産業クラスターにおける各種生産物の生産量、概算単価および投入量（1990年）

産業プロセス	主たる生産物	単位	生産量	取引単価 (概算, 円)	各産業プロセスへの投入量					
					セメント	生コン	建設	再生処理	廃棄	
岩石採掘	石灰石	10 <sup>3</sup> t	198,224	737	89,070	882	58,243			
	珪石	10 <sup>3</sup> t	17,925	1,067	4,662		11,409			
	クラッシャラン	10 <sup>3</sup> t	133,264	1,348			133,264			
	砕石	10 <sup>3</sup> t	268,105	1,033		101,303	163,471			
	砂利・砂	10 <sup>3</sup> t	410,000	1,436		218,698	183,408			
電力	電力	10 <sup>3</sup> kwh	757,593	19,559	9,083	559	23,598	40	0	
	JIS FA	10 <sup>3</sup> t	171	60,000	171					
	石炭灰	10 <sup>3</sup> t	1,313	-5,000	891	161	256			
	排煙脱硫石膏	10 <sup>3</sup> t	1,415	3,000	987		428			
鉄鋼	鉄鋼	10 <sup>3</sup> t	110,339	45,982			42,000			
	高炉スラグ	セメント向	10 <sup>3</sup> t	15,401	3,000	15,401	471	10,164		
		その他向	10 <sup>3</sup> t	10,635	1,200					
	転炉スラグ	10 <sup>3</sup> t	5,888	500	754		5,134			
自動車用タイヤ	自動車用タイヤ	10 <sup>3</sup> t	1,479	632,006						
	自動車廃タイヤ	10 <sup>3</sup> t	111	-4,500	111					
セメント	セメント	10 <sup>3</sup> t	84,445	9,132		50,008	34,437			
生コンクリート	生コンクリート	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	171,671	11,535			171,671			
建設	建設物	10 <sup>3</sup> t	1,055,641	78,018						
	コンクリート塊	再利用処理向	10 <sup>3</sup> t	12,200	-1,500				12,200	
		廃棄向	10 <sup>3</sup> t	13,200	-3,300					13,200
再生処理	再生クラッシャラン	10 <sup>3</sup> t	10,980	931			10,980			
	鉄屑	10 <sup>3</sup> t	1,220	8,000						

表-3 各産業プロセスにおけるエネルギー消費量（1990年）

エネルギー資源	単位	岩石採掘	電力	鉄鋼	タイヤ	セメント	生コンクリート	建設	再生処理
揮発油	kl	2,615	0	0	624	0	0	262,805	0
灯油	kl	26,799	0	434,594	11,429	947	0	1,204,042	0
軽油	kl	432,113	154,000	147,046	30	6,397	348,923	2,643,696	7,060
A重油	kl	10,973	0	726,533	52,287	23,904	0	1,076,733	0
B重油	kl	0	0	14,580	278	0	0	0	0
C重油	kl	25,448	23,808,000	1,663,588	156,545	289,188	0	371,164	0
原油	kl	0	21,860,000	0	0	0	0	0	0
ナフサ	kl	0	151,000	0	0	0	0	0	0
NGL	kl	0	572,000	0	0	0	0	0	0
液化石油ガス(LPG)	t	6,239	892,000	738,079	11,375	0	0	39,616	0
石油コークス	t	0	0	339,012	0	769,420	0	0	0
石炭(無煙炭含む)	t	0	27,238,000	5,846,714	0	8,679,828	0	1,977	0
液化天然ガス(LNG)	t	0	27,624,000	477,279	0	0	0	0	0
天然ガス	103Nm <sup>3</sup>	0	552,000	0	0	0	0	0	0
石炭コークス	t	1,366	0	41,337,035	0	12,940	0	0	0
都市ガス	103m <sup>3</sup>	0	0	231,910	7,172	0	0	475,609	0
電力	103kwh	1,636,766	870,000	49,922,931	1,608,003	9,083,265	559,206	23,598,000	39,797

団体へのヒヤリングや公表されている資料<sup>3)-11)</sup>より引用または推計したものである。

モデルを単純化するため、中間処理産業などの存在は考慮せず、廃棄・副産物質は各物質の産出産業からセメント・コンクリート産業に直接投入されると仮定した。例えば、タイヤについては、タイヤ産業や自動車産業の活動および一般消費者の利用による環境負荷も考慮する必要があるが、廃タイヤはタイヤ産業よりセメント産業に直接投入されるとしている。タイヤから廃タイヤとなるまでのタイムラグについては、廃タイヤはそのタイヤがいつ製造されたかとは無関係に廃棄された時点<sup>12)</sup>を産出年とした。また、各産業の主要な産出物質およびセメント産業に有価物質として投入される廃棄・副産物質

は、表-2 に示すものだけとし、高炉スラグおよびJIS FA（フライアッシュ）についてはともにセメント混合材として使用されたものとした。

#### 4. セメント・ライフサイクルにおける環境負荷

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-2 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）の二通りでおこない、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

表-4 セメント・ライフサイクルの段階別二酸化炭素排出量

	ライフサイクル二酸化炭素排出量 (10 <sup>3</sup> t-c)							セメント単位あたり (kg-c/t-cement)
	資源採取・原料生産	製品生産	使用・消費	廃棄	再生処理	再利用	計	
重量配分	6,333.5	17,298.7	2,178.3	0.6	6.8	6.1	25,823.9	305.8
取引額配分	1,390.5	17,298.7	2,064.0	0.6	1.0	6.1	20,760.8	245.9
産業連関分析	-	-	-	-	-	-	16,078.8	184.8

ー消費量に二酸化炭素排出原単位<sup>13)</sup>を乗じて求めた。表-3に各産業プロセスにおけるエネルギー消費量を示す。

セメントのライフサイクルにおける各ステージで扱う内容は以下の通りである。

- ・資源採取・原料生産段階：セメント生産プロセスに投入された原材料資源および購入電力の生産に伴う環境負荷（対象となる投入原材料は、石灰石、珪石、JIS FA、石炭灰、排煙脱硫石膏、高炉スラグ、転炉スラグ、自動車廃タイヤの計八種類）

- ・製品生産段階：セメント生産プロセス内での産業活動に伴う環境負荷

- ・使用・消費段階：生コンクリート、建設の各生産プロセスにおけるセメントの使用・消費に伴う環境負荷、および生コンクリート、建設の各生産プロセスに投入された原材料資源および購入電力の生産に伴う環境負荷（対象となる投入原材料は、生コンクリート生産プロセスについては、石灰石、砕石、砂利・砂、石炭灰、高炉スラグ、セメントの計六種類とし、建設プロセスについては、石灰石、生石灰、消石灰、珪石、ドロマイト、橄欖岩、クラッシュラン、砕石、砂利・砂、石炭灰、排煙脱硫石膏、鉄鋼、高炉スラグ、転炉スラグ、セメント、生コンクリート、再生クラッシュランの計十七種類とする）

- ・廃棄段階：廃棄プロセスにおける建設廃棄物（コンクリート塊）の廃棄に伴う環境負荷

- ・再利用処理段階：再利用処理プロセスにおけるコンクリート塊の再利用処理に伴う環境負荷

- ・再利用段階：建設プロセスにおける再生クラッシュランの利用に伴う環境負荷

コンクリートに占めるセメントの重量比率を14%とし、この値をコンクリート塊（鉄屑を除く）および再生クラッシュランの各生産物に混入されているセメント量の算定に用いた。さらに、生コンクリートの比重を2.3、電力量を1 [10<sup>3</sup>kwh] = 1 [t]と設定して重量配分方式に適用した。二酸化炭素排出量は、化石燃料起源と石灰石起源のものを考慮し、各産業プロセスにおける化石燃料および石灰石消費量に排出係数<sup>13)</sup>を乗じて計算した。

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。輸入原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>14)</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）を対象とした。

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-4に示す。この表を横に見ていくことでセメント・コンクリート産業全体としての環境負荷収支を評価することができるが、算定手法による差は資源採取・原料生産段階における値が際だっている。全体収支における資源採取・原料生産段階の割合が、重量配分法では36.6%であることに対して、取引額配分法ではわずか8%となっている。使用・消費段階と再生処理段階でも両算定手法による差がみられるが、廃棄・副産物の経済価値を考慮するか否かで全体の環境負荷収支に大きな影響を与えていることがわかる。

ライフサイクルの二酸化炭素総排出量でみると、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されず、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に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。いわば、産業連関分析における環境負荷の扱いは主生産物のみによる受け渡しを前提としており、廃棄・副産物はいかなる環境負荷の責任も負わない形になっている。しかし、廃棄・副産物といえどもその経済価値に応じた一定の環境負荷責任を負わせた上で総合的な環境負荷収支を評価すべきであろう。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

表-5 セメント生産のための資源採取・原材料生産段階における二酸化炭素排出量

産業プロセス	投入原材料	二酸化炭素 排出量 (10 <sup>3</sup> t-c)	
		重量配分	取引額配分
岩石資源	石灰石	33.7	33.7
	珪石	2.9	2.9
電力	電力	892.4	895.4
	JIS FA	16.8	51.7
	石炭灰	87.6	-22.5
	排煙脱硫石膏	97.0	14.9
鉄鋼	高炉スラグ	4,948.0	411.2
	転炉スラグ	242.2	3.4
自動車用タイヤ	自動車廃タイヤ	13.0	-0.1
計		6,333.5	1,390.5

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と考えることができる。

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・副産物の有効利用をうながす環境負荷評価をおこなうことができる。

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・原材料生産段階」における算定結果を各産業プロセスの複数の産出物質ごとに表-5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られる形となっている。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。鉄鋼生産プロセスにおける主生産物である鉄鋼製品に割り当てられた年間総二酸化炭素排出量は、重量配分法では35,449(10<sup>3</sup>t-c)で鉄鋼生産プロセス全体の排出量の78%であったが、取引額配分法では45,155(10<sup>3</sup>t-c)で全体の99%となった。

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に着目してとらえることによって、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。

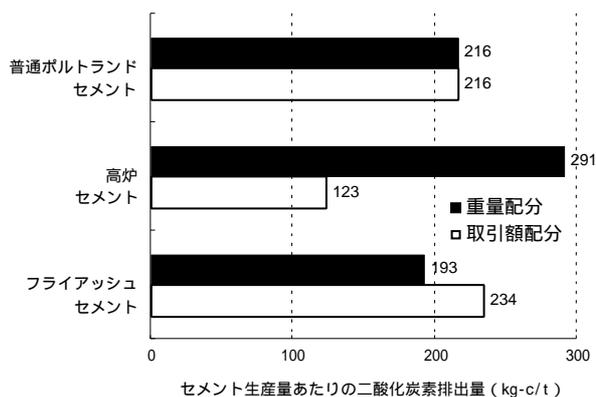


図-2 高炉セメントとフライアッシュセメントの生産に伴う二酸化炭素排出量割り当て結果

## 5. 廃棄・副産物有効利用型セメントの評価

既に述べたように、セメント生産プロセスでは、多くの廃棄・副産物を投入している。その量は全投入原材料資源（燃料除く）重量の約15%、全消費熱量の約3%にもなる<sup>15)</sup>。特に、高炉スラグとJIS FAの有効利用は大きな環境負荷の削減につながるため、それらを用いた高炉セメントとフライアッシュセメントは廃棄・副産物有効利用型製品であるとして今後の利用増大が期待されている。ここでは、その高炉セメントとフライアッシュセメントについて、前述の取引額配分方式を用いて再評価してみる。評価対象は、普通ポルトランドセメント（混合材なし）、高炉セメント（普通ポルトランドセメント50%、高炉スラグ50%）、フライアッシュセメント（普通ポルトランドセメント80%、JIS FA 20%）の三種類である。各種セメントの「原材料生産から製品生産」までの産業プロセスにおける二酸化炭素排出量について、「重量配分法」および「取引額配分法」の二手法を用いて算定した結果を比較する。

各種セメント1tあたりの二酸化炭素排出量算定結果は、図-2のようになる。重量配分法を用いた場合、普通ポルトランドセメントを基準として二酸化炭素排出量が、高炉セメントでは生産1tあたり75(kg-c)(34.6%)多く、フライアッシュセメントでは23(kg-c)(10.9%)少ない結果となった。一方、取引額配分法を用いた場合、普通ポルトランドセメントを基準として、二酸化炭素排出量が高炉セメントでは93(kg-c)(43.0%)少なく、フライアッシュセメントでは17(kg-c)(8.0%)多い結果となった。いずれも、原材料である高炉スラグやJIS FAに割り当てられる排出量が重量配分と取引額配分では大きく異なるためである。これらより、重量配分法による算定ではフ

ライアッシュセメントが、取引額配分法による算定では高炉セメントが普通ポルトランドセメントと比較して二酸化炭素排出量の少ない低環境負荷製品であると評価することができる。

## 6. 結論

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や容積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。産出側の産業は、逆有償の廃棄・副産物質を有価物質として取引できるように再生資源化することにより、主生産物である有価物質が背負う環境負荷量を削減することができる。さらに、再生資源化する際、多用途化するなどして経済的価値を上げることにより、主生産物質の背負う環境負荷量をさらに削減できる可能性もある。

また、廃棄・副産物質が投入される側の産業としては、環境負荷量のより小さい物質を選択するツールとして本研究の評価手法を活用することができる。特に、逆有償物質が投入されると逆有償物質が背負うマイナスの環境負荷量によって、環境負荷総量の削減効果をアピールすることになる。本研究で提示した総合的な環境負荷評価手法が、近年提唱されている「ゼロエミッション型」を目指す産業構造を評価する一助となることを期待したい。

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おこな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割当率は小さくなる。また、銅精錬に伴って副次的に産出される少量の金の場合のように、主生産物と副産物の価格差が極端に大きい場合にも注意が必要である。さらには、廃棄・副産物が無償取引されている場合の仮想的な取引価格についても、輸送コストなどの間接経費以外に最終処分に関わる何らかのコストを計上するべきであろう。

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に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。

謝辞：本研究の一部は平成9～10年度文部省科学研究費補助金（特定領域研究#292，ゼロエミッション）の交付を受けておこなわれたことを記し謝意を表します。また、元データの収集に際して詳細な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。

## 参考文献

- 1) 厚生省：平成5年度における産業廃棄物の排出・処理状況，産業と環境，pp.96-104，1996.
- 2) 天野耕二，伊藤昌隆，柳沢幸雄：廃棄・副産物質の再利用を考慮した環境負荷量評価について，環境システム研究，No.25，pp.255-259，1997.
- 3) 通商産業省：平成2年資源統計年報，pp.48-49，pp.78-79，1990.
- 4) 通商産業省：平成2年砕石統計年報，pp.14-15，pp.116-117，1990.
- 5) 竹島敏正：砂利・砂，コンクリート工学，No.34，pp.13-17，1996.
- 6) 通商産業省：平成2年鉄鋼統計年報，pp.86-89，1990.
- 7) 鉄鋼スラグ協会：平成7年鉄鋼スラグ統計年報，1995
- 8) 通商産業省：平成2年窯業・建材統計年報，pp.28-82，pp.102-103，1990.
- 9) 通商産業省：平成2年生コンクリート統計年報，pp.10-13，pp.54-55，1990.
- 10) 建設副産物対策近畿地方連絡協議会：建設副産物対策ハンドブック，大成出版社，pp.117-128，1994.
- 11) 本田淳裕，山田優：建設副産物・廃棄物リサイクル，省エネルギーセンター，pp.33-291，1994.
- 12) 柳沢幸雄，外岡豊，稲葉敦：GRCによる人間活動の環境基礎負荷量の評価，第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，pp.261-266，1994.
- 13) 環境庁：二酸化炭素排出量調査報告書，105p，1992.
- 14) 通商産業省：1990年産業連関表取引基本表，1990.
- 15) 飯塚州一：セメント工場における産業廃棄物・副産物の利用，セラミックス27，No.34，pp.1061～1065，1992.

(1998.9.14 受付)

# EVALUATION OF ENVIRONMENTAL LOADING RELATED TO THE CEMENT INDUSTRY CONSIDERING THE ECONOMIC VALUE OF WASTE AND BY-PRODUCT

Koji AMANO, Masataka ITO and Yukio YANAGISAWA

The mass and economic balance of wastes and by-products produced by the industrial cluster centered on cement and concrete products was investigated. In an industrial process that produces various outputs and associated wastes and by-products, the carbon dioxide emissions, for example, can be allocated in two ways. One is a routine allocation determined by the amount of each output, and the other is a modified allocation that uses the economic value of each output, including that of the wastes and by-products. These two methods are compared. The results of the proposed new method using economic values are satisfactory, although there are some imperfections of a routine life cycle inventory including the usual "Process Analysis" and "Input-Output Analysis". Use of this new allocation method based on economic values might also provide impetus for more effective use of wastes and by-products in various industrial processes.