

廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標式の妥当性

広島大学 学生会員 ○多田 捷起  
 広島大学 フェロー会員 河合 研至  
 太平洋セメント 星野 清一  
 太平洋セメント 正会員 田中 敏嗣

1. はじめに

セメント産業は、環境負荷と大きく関わりを持つ産業である。セメントの製造過程では多量のCO<sub>2</sub>が排出され、その排出量は国内全体の約3~4%を占めることは広く知られているが、セメントの製造過程では原燃料として多量の廃棄物・副産物を利用し、その使用量は国内全体の循環利用量の約10%をも占めていることはほとんど知られていない。環境問題においてはCO<sub>2</sub>排出量ばかりがクローズアップされ、資源循環などの他の側面が見落とされがちである。この資源循環による環境負荷低減への貢献をより明確にするためには、その貢献の程度を簡易に定量化できる指標が必要となる。そのため、既往の研究において廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標式を確立することを目的とした環境指標 Iw が提案された<sup>1)</sup>。

$$Iw = \{\sum(\gamma_k \times w_k) - C_w\} / (U_v + U_r) \quad [1]$$

ここで、 $\gamma_k$ : リサイクル資源 k の未利用率 (1-R<sub>k</sub>/100), R<sub>k</sub>: リサイクル資源 k のリサイクル率 (%), w<sub>k</sub>: リサイクル資源 k の使用量 (kg/t), C<sub>w</sub>: 廃棄物発生量 (kg/t), U<sub>v</sub>: バージン資源使用量 (kg/t), U<sub>r</sub>: リサイクル資源使用量 (kg/t) =  $\sum w_k$

Iw は大きいほど資源循環に貢献しているといえる。この式では U<sub>r</sub> において廃棄物と副産物を差別化する意味で分子のリサイクル資源使用量の項に未利用率で重みをつけている。この式を用いてセメント製造における評価が行われている<sup>1)</sup>。指標式の有用性を明らかとするためにはセメント産業での検討のみでは不十分であるため、本研究ではこの指標式を他の産業に適用し、セメント産業の場合と比較することで、指標式の妥当性を評価することを目的とする。

2. 環境指標式の導入

既往の研究において提案された環境指標式[1]を、

キーワード (環境影響評価, 廃棄物指標, リサイクル率, セメント産業, 鉄鋼産業, 製紙産業)

連絡先 〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科 社会基盤環境工学専攻 事務室

TEL : 082-424-7819・7828

セメント産業同様に資源循環の役割を担う、鉄鋼産業、製紙産業に適用する。しかし、式[1]において廃棄物発生量を引く際、廃棄物の再資源化率を考慮していない現段階の式では、生産過程において廃棄物を発生しないセメント産業に有利な形となっている。そこで、本研究ではその不公平さを是正し、資源循環への貢献度を正しく反映するために廃棄物発生量の項にも未利用率で重みをつけた以下の式[2]を用いて評価する。

$$Iw' = \{\sum(w_i \times \gamma_i) - \sum(C_{wj} \times \gamma_j)\} / (U_v + U_r) \quad [2]$$

ここで、w<sub>i</sub>: リサイクル資源 i の使用量 (kg/t),  $\gamma_i$ : リサイクル資源 i の未利用率 (1-R<sub>i</sub>/100), R<sub>i</sub>: リサイクル資源 i のリサイクル率 (%), C<sub>wj</sub>: 廃棄物 j の排出量 (kg/t),  $\gamma_j$ : 廃棄物 j の未利用率 (1-R<sub>j</sub>/100), R<sub>j</sub>: 廃棄物 j のリサイクル率 (%), U<sub>v</sub>: バージン資源使用量 (kg/t), U<sub>r</sub>: リサイクル資源使用量 (kg/t) =  $\sum w_i$

Iw' の算出に必要な資源使用量、リサイクル率などのデータは、論文<sup>1)</sup>、ホームページ、新聞から引用した。ただし、鉄鋼産業、製紙産業のいずれにおいても、業界全体としての統計値は見つからなかったため、使用量については業界大手の統計値を用いている。製紙産業では、2社のデータを収集し比較検討を行った。なお、鉄鋼産業、製紙産業においては、製造工程において多量の水が使用されているが、この水をバージン資源として考慮する場合と考慮しない場合について考察を行った。

また、環境負荷を評価する類似の他の指標式と比較検討するため、式[3]に示す物質フロー指標<sup>3)</sup>についても試算を行った。ここでも、未利用率で重み付けを行った式[4]をあわせて検討した。

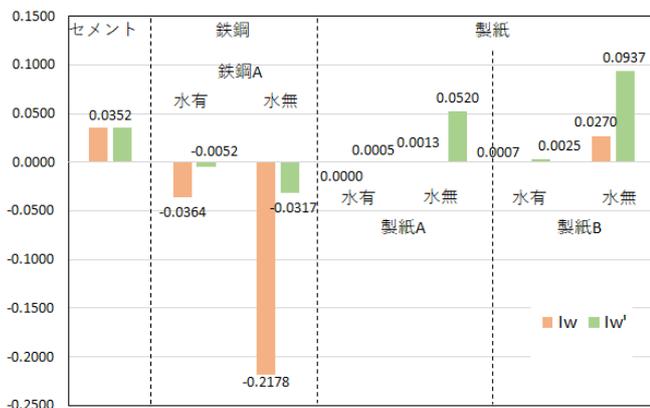


図 1 Iw および Iw'の計算結果(2011年)

$$\text{物質フロー指標} = \text{Ur}/\text{Cw} \quad [3]$$

$$\text{物質フロー指標} = \frac{\sum(w_i \times \gamma_i)}{\sum(\text{Cw}_j \times \gamma_j)} \quad [4]$$

### 3. 結果および考察

2011年のデータを用いて算出した Iw, Iw'を図 1 に示す。水を資源として考慮したものを水有, 考慮していないものを水無と示す。指標値の大小関係は Iw, Iw'ともに鉄鋼産業が一番小さく、次にセメント産業、製紙産業となった。セメント産業は生産過程において廃棄物を発生しないため、Iw と Iw'の指標値に変化はない。水は多量に使用されておりその影響があまりに大きいため、水を考慮することで指標値の絶対値は著しく小さくなった。ゆえに、水以外の資源の影響が反映されにくくなる。

製紙産業を見ると、同じ産業でも企業によって指標値に差が出ることが分かった。Iw'に変形することによる指標値の変化が、廃棄物のうちリサイクル率が高いものを多く排出している鉄鋼産業が製紙産業に比べてより大きくなっている。

また、式[3][4]を用いた結果を図 2 に示す。ここでは、資源として水は考慮していない。セメント産業は生産過程で廃棄物を発生しないことから式[3][4]では分母が 0 になるので適用できない。指標値は製紙産業が鉄鋼産業より大きくなったという点において、Iw および Iw'と同傾向を示したといえる。また、リサイクル率による重み付けをすることによる指標値の変化が、リサイクル率の高い廃棄物を多く排出している製紙 B が製紙 A に比べてより大きくなっている。Iw 式でも重み付けを行うことにより製紙 A より製紙 B で指標値が大きくなりこちらも大小関係に

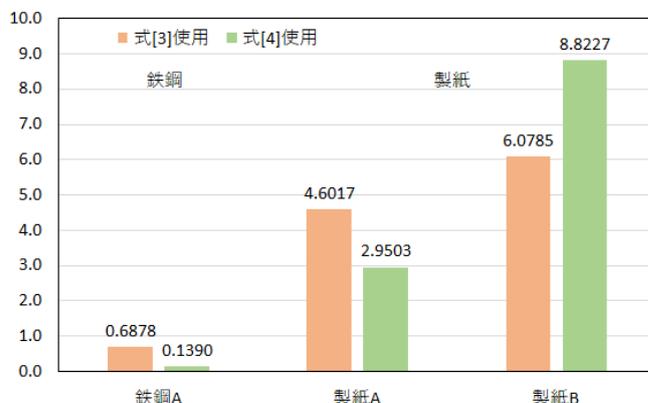


図 2 物質フロー指標での計算結果(2011年)

限って言えば、Iw および Iw'と同様の傾向を示しているといえる。

### 4. 結論

- (1) 廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標として、資源使用量、廃棄物発生量のいずれにも未利用率で重みをつけた Iw'を提示した。
- (2) Iw'に変形することで資源循環への貢献度をより適切に反映できていると考えられる。
- (3) 同一産業内でも企業ごとに指標値の差が確認された。このような指標を活用することは、企業間競争を促す可能性がある。
- (4) 資源としての水に関しては、その使用方法、使用量が不明確であること、他の資源の使用量が指標値に反映されにくくなることから、現段階では、資源としての水を指標に考慮することは難しい。
- (5) 環境負荷を評価する類似の他の指標式との比較から、Iw'式の妥当性、未利用率による重み付けの妥当性が確認されたと判断される。

### 参考文献

- 1) 星野清一, 河合研至, 久保田修, 平尾宙: セメントの廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標による各種セメントの評価: セメント・コンクリート論文集 Vol. 69 (2015) No. 1 p. 679-686
- 2) 環境省: 物質フロー指標の性質・狙い及び推計式 [http://www.env.go.jp/recycle/circul/mate\\_flow/mat\\_2-2.pdf](http://www.env.go.jp/recycle/circul/mate_flow/mat_2-2.pdf)(2016/12/23 更新)