

鉄鋼製造プロセスの副産物の環境負荷を考慮したセメント産業の環境影響評価

広島大学 学生会員 ○松本 唯良
 広島大学 フェロー会員 河合 研至
 広島大学 正会員 小川由布子

1. はじめに

セメント産業はセメント製造の際に多量の CO₂ を排出する。一方で、他産業から排出された廃棄物を多量に受け入れ、セメント原料や熱エネルギーとして活用することで環境負荷低減に貢献している。しかし、廃棄物活用による環境負荷低減への貢献を考慮したセメント産業の環境影響評価の事例は少なく、この環境貢献は一般的にあまり知られていない。また、一般的に副産物は環境負荷を負担しておらず、混合セメントを含むセメントの環境影響は過大評価されている恐れがある。そこで本研究では鉄鋼製造プロセスの副産物に環境負荷を配分することがセメントの環境影響評価に与える影響を把握し、検討することを目的とした。

2. 研究方法

評価は、産業としてセメント産業、鉄鋼産業、石炭火力発電、セメントとしてポルトランドセメント(PC)、高炉セメント B 種(BB)、フライアッシュセメント B 種(FB)を対象とし、それぞれの製品製造工程を評価範囲とした。また、評価指標には第三版日本版被害算定型影響評価手法(LIME3)⁹⁾を参考に(式1)を用いた。評価領域は地球温暖化、大気汚染、光化学オキシダント、鉱物・化石資源消費、森林資源消費、水消費、廃棄物の7つとし、環境負荷を負の値、環境負荷の削減(環境貢献)を正の値として算出した。鉄鋼産業の製品を転炉鋼、高炉スラグ、転炉系スラグ、電気炉鋼、電気炉系スラグに分け、副産物が受け持つ環境負荷について重量、コストに応じて比例配分して評価し、各種セメントの製造による環境影響を評価した。さらに鉄鋼製品の単価変動の感度分析を行い、その際にセメント産業に与える影響について検討した。評価に用いたインベントリデータは複数の文献より収集した^{2)~5)}。

$$\text{環境影響評価統合化結果}(IR) = \sum_{\text{Impact}} \sum_X (Inv(X) \times IF_2^{\text{Impact}}(X)) \quad [1]$$

ここで、 $Inv(X)$: インベントリ項目 X の排出量

$IF_2^{\text{Impact}}(X)$: インベントリ項目 X の影響領域 impact に関する統合化係数

3. 結果および考察

セメント産業において副産物として多く使用されている高炉スラグの評価結果を図1、図2に示す。ここでは鉄鋼産業の環境負荷を鋼材、高炉スラグ、製鋼スラグに分けた柴崎ら⁶⁾による評価(評価①)と、転炉鋼、電気炉鋼、高炉スラグ、転炉系スラグ、電気炉系スラグに細分化した評価(評価②)の2つを比較した。重量配分について比較すると評価①よりも評価②の方が環境負荷の値が大きくなっており、項目別では、地球温暖化はあまり変化ないが、資源消費、廃棄物の項目の環境負荷が大きくなった。コスト配分については評価①と評価②の値の変動は小さく、重量配分に比べて副産物が受け持つ環境負荷は少ない。

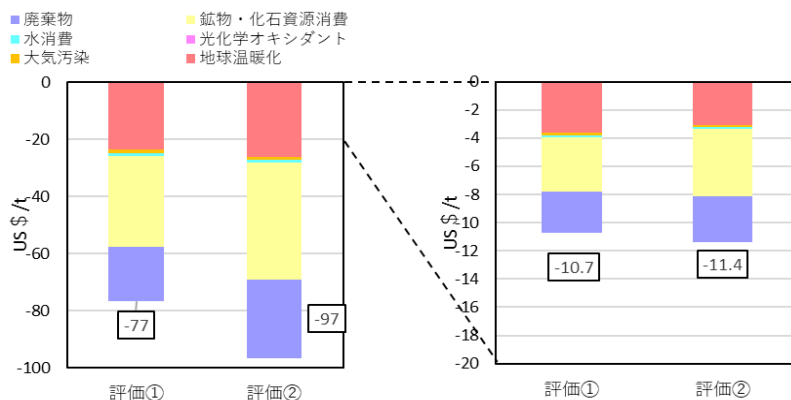


図1 重量配分における高炉スラグの評価の比較

図2 コスト配分における高炉スラグの評価の比較

これは副産物の単価が、主製品の 1/10 程度であるため、配分率が小さくなっているためである。

各種セメントの評価結果を図3に示す。いずれの環境負荷配分手法を適用しても、統合化評価値は PC>FB>BB の順となり、PC が最も環境への貢献が大きいセメントであると評価された。これはクリンカ製造時の廃棄物活用が多く、クリンカの構成比率が小さくなることで混合セメントの廃棄物利用が小さくなり、環境貢献が小さくなったためと考えられる。副産物使用量の多い BB の指標値は PC と比較して大きく減少し、特に重量配分では負の値を示し、BB の製造が環境に負荷を与える可能性があるとして評価された。FB の評価結果は BB よりも副産物の環境負荷による影響が小さいと評価されているが、これは副産物の使用量が BB よりも少ないためである。

単価変動による BB の統合化評価の感度分析結果を図4に示す。転炉鋼の価格が上昇するとより環境貢献するようになり、高炉スラグの価格が上昇すると環境負荷が上昇することが示された。一方で電気炉鋼、製鋼スラグの価格においては変動してもほとんど変動の無い結果となった。本検討の仮想的な単価変動においてはセメントの評価が逆転することはなく、影響はあまり大きくないといえる。しかし、本検討では製品ごとに単価を変動させたが、主製品と副産物の単価には相関性があるため、主製品の単価変動に応じて副産物の単価も変動する可能性も考えられる。副産物の単価変動を主製品に連動させた感度分析が今後の課題である。

4. 結論

- (1) 鉄鋼産業の製造過程を細分化すると、高炉スラグの環境負荷は重量配分の場合に資源消費、廃棄物排出の値が大きくなった。一方、コスト配分の場合には細分化の影響はほとんどなかった。
- (2) セメントの環境影響評価において、各産業の副産物に環境負荷を配分した結果、PC>FB>BB の順に環境貢献している製品ということが示された。副産物へ環境負荷を重量配分した場合に BB の評価値は負の値を示し、BB の製造は環境負荷につながると評価された。
- (3) 副産物へ環境負荷をコスト配分する場合の単価変動による感度分析の結果、0.5 倍～1.5 倍の範囲の製品ごとの単価変動においては評価結果が変化しないことが明らかとなった。ただし、副産物の単価変動を主製品に連動させた感度分析を行う必要がある。

参考文献

- 1) 伊坪徳宏・稲葉敦：LIME3 -グローバルスケールの LCA を実現する環境影響評価手法- (2018)
- 2) 産業環境管理協会：リサイクルデータブック (2022)
- 3) セメント協会：セメントの LCI データの概要 (2022)
- 4) セメント協会：セメントハンドブック 2022 年度版 (2022)
- 5) 日本鉄リサイクル工業会：価格推移表 (<https://www.jisri.or.jp/kakaku>) (2023 年 2 月 3 日閲覧)
- 6) 柴崎悠吾・河合研至・桐野裕介・新見龍男：高炉スラグ産出時における環境負荷配分を考慮した高炉セメントの環境影響評価，土木学会第 74 回年次学術講演会講演概要集，VII-82 (2019)

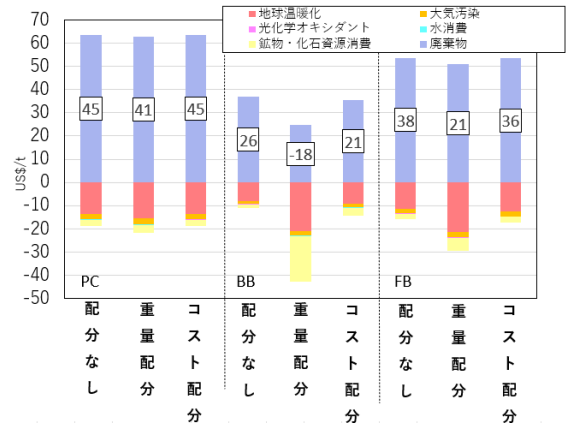


図3 各種セメントの評価結果

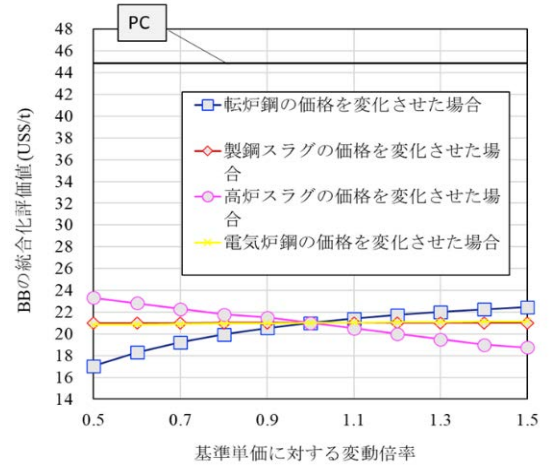


図4 統合化評価の単価変動