

論文審査の結果の要旨

氏名 原 卓也

わが国のセメント産業はこれまで大量の廃棄物を原燃料として利用してきたことから、セメント産業を中心とする産業間での副産物・廃棄物のリサイクルシステムが廃棄物最終処分量の削減に大きく貢献することが期待されている。特にリサイクルが難しい焼却灰などの廃棄物を大量に利用できる可能性を持つという点でセメント産業によるリサイクルは重要な位置を占めると考えられる。本論文は、セメント産業を中心とする廃棄物リサイクルシステムに着目し、ライフサイクル分析、マテリアルフロー分析、産業連関分析を用いて、リサイクルシステムの環境負荷（最終処分削減効果と CO₂ 削減効果）と経済性の観点から評価をおこなうものである。以下に各章の要旨を示す。

第 1 章では本研究の背景と目的を述べている。

第 2 章ではセメント産業におけるリサイクルと廃棄物処理の現状について概括し、廃棄物のセメント原料化リサイクルに関する研究の現状と課題について調査している。

第 3 章では各種廃棄物（高炉スラグ、石炭飛灰、一般廃棄物焼却灰主灰・飛灰）のセメント原料化リサイクルについてライフサイクル分析をおこない、ライフサイクル CO₂ 排出量およびライフサイクルコストを求めている。一般廃棄物焼却灰処理について、セメント原料化リサイクルと他の処分方法との比較をおこない、セメント原料化リサイクルの有効性を評価している。

以上の分析より次の知見を得ている。

- (1) 高炉スラグのセメント原料化は CO₂ 削減に有効である。これは高炉スラグがカルシウムを多く含有することから、石灰石の代替原料としての利用可能量が大きいためである。高炉スラグを CO₂ 削減に有効に利用することは、土木資材など CO₂ 削減にほとんど寄与しない方法で利用することより合理的である。
- (2) 石炭飛灰のセメント原料化リサイクルは、CO₂ 排出量を増加させることなく最終処分量の削減に有効なリサイクルである。
- (3) 一般廃棄物焼却灰のセメント原料化は、コスト面で埋め立て処分に次いで安価な処分方法である。エコセメント・灰溶融など他の処理方法と比較して、廃棄物の長距離輸送を考慮してもコスト・CO₂ 排出量の点で有利であるため、埋め立て処分場が逼迫した場合には、有望な代替オプションとなる。

第 4 章では、ライフサイクル分析で有効性が確認されたセメント産業による廃棄物のマテリアルリサイクルのわが国全体での環境負荷削減ポテンシャルを、本研究で構築した拡張型産業連関モデルにより推計している。シナリオ分析より、セメント産業による廃棄物利用量を 1995 年実績値から増加させることで、CO₂ 排出削減、最終処分削減のどちらも可能であることが見出されている。しかし、廃棄物の利用量がクリンカ製造プロセスでの廃棄物利用可能量の上限に達した場合には、ある廃棄物の利用量を増加させることは別の種類の廃棄物利用量を減少させることになるため、結果として CO₂ 排出削減と最終処分削減のどちらも満たすことはできなくなることが示されている。

廃棄物の種類により CO₂ 排出削減効果が異なることにより廃棄物のセメント原料化リサイクルでは CO₂ 排出削減と最終処分削減の間にはトレードオフ関係が生じる。拡張型産業連関モデルを用いてトレードオフ関係を表すフロンティア曲線を得ている。

第 5 章では、リサイクル量の増加に伴う廃棄物輸送距離・輸送コストの増加の影響を考慮するため、

日本全国のセメント工場と高炉一貫製鉄所、石炭火力発電所、および一般廃棄物焼却処理場の間の廃棄物輸送を考慮する廃棄物輸送・セメント生産モデルを構築している。構築したモデルを用いてシミュレーションをおこない、リサイクルの促進に有効な施策を提案している。

シミュレーションから得られた主な知見は以下の通りである。

- (1) CO₂削減プロジェクトとしての高炉スラグのセメント原料化リサイクルは、費用効果の大きな削減プロジェクトである。345万t-CO₂削減時の限界削減費用は3400円/t-CO₂程度である。国内のCO₂削減プロジェクトにより発生したCO₂排出削減量を3400円/t-CO₂程度の価格で買い取る制度の導入は、高炉スラグのセメント原料化リサイクルの促進に効果的な政策となる。
- (2) セメント原料化リサイクルによる最終処分削減策は、削減ポテンシャルの大きな削減策である。限界削減費用は廃棄物の種類によって異なるが、3000～7600円/t程度である。廃棄物のセメント原料化リサイクルシステムの基盤を整備することは、循環型社会形成を目的とする政策として重要であり、焼却灰前処理施設の初期投資への補助は他の焼却灰処理施設への投資と比較して費用効果的である。

第6章は以上を総括し本論文の結論を述べている。

本研究の新規性としては、廃棄物のセメント原料化リサイクルによる環境負荷削減量（CO₂削減量と最終処分削減量）と追加費用の関係を、日本全国のセメント工場と廃棄物排出源の間の廃棄物輸送を考慮する廃棄物輸送・セメント生産モデルを用いて定量的に評価している点あげられる。本モデルによりコスト最適な廃棄物輸送ルート・輸送手段についての情報を得ることができ、広域リサイクル計画の策定にも寄与することが期待される。また、廃棄物のセメント原料化リサイクルに関して、混合セメント（高炉スラグ・石炭飛灰を混合したセメント）によるポルトランドセメント（普通セメント）の代替が進行する場合を想定していた既往の研究に対し、廃棄物をクリンカ原料として利用するというより現実的で大きなポテンシャルを有するリサイクルの環境負荷削減効果を対象とした点あげられる。

以上、本研究は、内容がオリジナルであることに加えて、リサイクル促進による環境負荷削減に有効な政策を提案するという社会的意義を持つものである。

なお、本論文第3、4、5章は、松橋隆治、吉田好邦、島裕和との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（環境学）の学位を授与できると認める。