

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 横山 滋

都市ごみ焼却灰の処理は、東京に代表される巨大都市の深刻な環境問題のひとつである。従来、焼却灰は路盤材や充填材等に使用されることはあるものの、灰自体の絶対量は莫大であり、恒常的なリサイクルの流れに載せるには至っておらず、多くが自然環境に埋設処分されている。今日、巨大都市周辺部において都市ごみ焼却灰の処分場を確保することは困難を極め、それがゆえにごみ焼却工場の立地自体が困難となっている都市も少なくないのである。焼却灰の再利用による減量、リサイクルによる環境負荷低減は喫緊の課題である。そのため従来、都市ごみ焼却灰をコンクリート混和材などに使用することも試みられてきた。本研究はこの概念を一層前進させ、都市ごみ焼却灰を主原料とするセメントを製造する一連の技術を確認し、それを流通させるための品質保証システムと構造物の設計施工計画法を構築したものである。環境負荷低減に資するためには、膨大な量の処分を可能にすることが必須である。そこで、開発技術を特殊仕様向けと位置づけるのではなく、一般に建設市場で流通している普通ポルトランドセメントと同品質を有するセメントとすることを技術開発の目標に定めたのである。核となる新規技術として、本研究において熔融キルン内で塩素と重金属の除去方法を見いだしている。また、不純物として除去された物質を収集して、これを再資源化する技術も新たに開発することで、この目標を達成している。

第1章では本論文の学術的ならびに社会的背景と研究目的について述べている。都市ごみ焼却灰の処分問題の社会的な意義を定量的に分析し、いわゆるエコセメントの研究開発目標を明確にしている。同時に既往の研究成果とセメント製造システムの革新に関する経緯を概観し、都市ごみ焼却灰の化学成分の分析を通じて、論理的に都市ごみ焼却灰を主原料としてコンクリート用のセメントを製造可能であることを示している。同時に、重金属と塩素の分離が不可欠であることを提示し、製造システムの開発目標を明らかにしている。一方、副産物からの製造とリサイクルを可能にするためには、品質保証、輸送、コスト配分、リスク管理などの種々の社会システムが同時に整備あるいは改良されなければならない。本章では、エコセメントによる都市ごみ焼却灰のリサイクルを実現するために採用された種々の規約、技術指針等の展開についても整理し、今後の技術マネジメントの分析に資する技術資料を整備している。

第2章は、エコセメント製造を可能とするための技術開発の詳細について述べたものである。一般仕様のセメントとするために不可欠な脱塩素について技術開発に着手し、その経過の詳細を述べている。これまでセメントクリンカ焼成時の塩分挙動は未解明であった。そこでクリンカ解析と試作を実施し、アルカリ金属の熔融系への投入によりアルカリ金属塩化物の形態で塩素イオンを揮発、除去することに成功した。また、塩素はクリンカ生成の鉱物化剤としての作用があり、エコセメントの製造においては通常のクリンカよりも低

温で焼成可能であることが解明された。生成されたクリンカ鉱物の解析から、通常のクリンカと同じ鉱物が生成されていることが確認された。同様の原理に従って燐、重金属の除去も可能となり、これを再度、収集することによって資源化を図ることも可能となったのである。

クリンカのレベルで等価性が認められても、最終製品となるコンクリートの要求性能が普通ポルトランドセメントのそれと等価となる保証はない。本章では、建設材料であるコンクリートに求められる凝結時間と安定性、熱応力に関する水和発熱特性、硬化後の強度特性、外部からの塩化物イオンに対する固定能力、炭酸化に対する抵抗性と塩分固定能力の変化、鋼材を腐食から保護する性能、硬化前のフレッシュコンクリート状態での流動特性と時間安定性、スランプロスについて多角的な実証実験を重ねた。その結果、水セメント比を5%程度、既往のものよりも低くすることで、一般のコンクリートと同様の品質を確保することが可能であることを実証した。世界初のエコセメント製造工場の建設が本研究を基礎に行われ、製造管理システムの確立と、これを実際の建築物の建設に適用し、構造システムが問題なく成立することもあわせて実証した。ここではフレッシュコンクリート時の施工に関する管理データ等から、既往のコンクリート施工の知見が適用可能であることを確認している。

第3章では、開発されたエコセメント型結合材と製造システムをもとに、社会基盤施設および建築物の設計施工に展開するための種々の社会マネジメントについて取りまとめたものである。品質保証のための技術基準類の整備や学協会との連携、公的機関による技術審査・認証に関する企業戦略、恒常的なエコセメント生産による安定した都市ごみ焼却灰の処分のための管理システムなどについて詳細な記録を表し、これを一般化するための基礎資料の整備を技術開発とあわせて行った。本章は今後の技術マネジメント研究の分析に堪える情報を漏れなく提供したものと見える。

第4章で本研究の結論をまとめ、今後の課題について概括している。

本研究は、都市ごみ焼却灰という環境負荷の大きい廃棄物を資源化する方策を構築し、しかも大量に再利用することを可能とする技術開発を総合的に行ったものであり、極めて短期間に実現を果たしたことで都市環境の保全と向上に多大な貢献を果たした。本研究とそれに連なる一連の技術開発の成果はわが国のみならず、首都に高度な人口集中を抱えるアジア地域の環境問題にも今後、大きな貢献を果たすことが期待され、その工学上の貢献は大である。よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。