HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Immobilization of Heavy Metals by Metakaolin-Based K-Geopolymer [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Pramesti, Prihutami
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16134号
Issue Date	2024-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93383
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Pramesti_Prihutami_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　Pramesti Prihutami

審査担当者　主　査　教　授　佐藤 努
副　査　教　授　大竹 翼
副　査　准教授　エラクネス ヨガラジャ

学位論文題名

Immobilization of Heavy Metals by Metakaolin-Based K-Geopolymer
(メタカオリンを用いたカリウム型ジオポリマーによる重金属の不溶化)

人間活動により発生した液体および固体廃棄物には、一般的に水銀、カドミウム、鉛、亜鉛などの重金属が含まれている。これらの重金属は、さまざまな濃度や組み合わせで廃棄物中に存在する。これらの重金属はその毒性の高さから、廃棄物からの重金属による環境汚染が懸念されている。一般産業廃棄物とは別に、フライアッシュは福島第一原子力発電所のオンサイトおよびオフサイトから発生するごみ焼却からも発生し、重金属だけでなく放射性セシウムも含まれている。したがって、重金属を含む様々な有害物等を含む廃棄物を安定化させる適切な処理が必要とされている。最近の先行研究では、固化・安定化処理のためのバインダーとして、セメントの他にジオポリマーが有力候補として考えられるようになってきた。これまでの研究で、水酸化ナトリウムで活性化させたジオポリマーが金属陽イオンを固定化するのに優れていることが示されている。しかし、アルミノケイ酸塩前駆体の種類、金属濃度、混合手順などが様々であるため、金属を固定化するメカニズムの見解は先行研究研究で異なっていて、統一された結論に至っていない。したがって、ジオポリマーで固化した廃棄物の長期安定性を予測するためには、メカニズムの解明が必須となる。長期安定性は、ナトリウムの代わりに水酸化カリウムで活性化させたジオポリマーを使用した場合にも期待できる。カリウム活性ジオポリマーは、ナトリウムのものに比べて優れた長所を有するにもかかわらず、あまり研究されていない。そこで本論文では、カリウム活性ジオポリマーの重金属の固定化メカニズムを理解し、汚染廃棄物の安定化にジオポリマーを使用することを提案することを目的とする。

第 1 章では、この研究の包括的な背景を説明している。特にカリウム活性化ジオポリマーの重金属固定化の可能性について紹介している。この章の最後には、本研究の目的を述べている。

第 2 章では、ジオポリマーについて、その成分や形成過程を含めた文献レビューを行っている。またこの章では、ジオポリマーを用いた重金属固定化に関する先行研究をまとめてレビューし、先行研究における残された問題点を浮き彫りにしている。

第 3 章では、カリウム活性化ジオポリマー中のカドミウムと水銀の化学種に及ぼす混合手順と重金属濃度の影響を調査した。その結果、混合手順や重金属濃度が最終的な化学種とジオポリマーの特性を決定することを明らかにし、ジオポリマー内で生成する化学種を十分考慮することで重金属溶出を制御できることを示唆した。

第 4 章では、カリウム活性化ジオポリマーにおける亜鉛、カドミウム、水銀、鉛の固定化メカニズムを、様々な分析機器を用いて解明した。また、それぞれのメカニズムに影響を与える要因につ

いても、その共通点や相違点を含めて説明している。

第 5 章では、カリウム活性化ジオポリマーへの水銀の固定化に焦点を当てる。廃棄物内の水銀濃度が高い場合は、そのままジオポリマーに固定化しても溶出を抑制できないからである。そこで、カリウム活性化ジオポリマー作製時に硫化水素イオンを添加することで溶解度の低い硫化水銀を生成させ、溶出率を低く抑制できることに成功した。

第 6 章では、脱イオン水中での溶出挙動を観察することで、亜鉛、カドミウム、鉛の固定化に対する硫化水素イオン添加の効果を確認した。その結果、硫化水素イオン添加が検討した重金属の固定化にプラスの効果をもたらすことを明らかにした。

第 7 章では、本研究の総括と結論を述べ、得られた知見を強調するとともに、今後の研究の方向性を示唆した。

これを要するに、筆者は、重金属等で汚染された様々な廃棄物の安全な保管・処分のための固化材料の選定に関して、精緻な実験と解析によりカリウム活性化ジオポリマーの有効性を明示した。このことは、上記廃棄物の処理・処分に新たな技術オプションを提示することを可能にしただけでなく、その技術開発の背景となる環境鉱物学や環境資源工学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。