

2024年度 各務記念材料技術研究所共同研究報告書

研究課題名	汚泥焼却灰の肥料化におけるプロセス効率化のためのリン化学構造解析
重点課題	Ⅱ－A（4Rとプロセス）、Ⅱ－B（4Rと構造）
新規・継続	新規
研究代表者	オヤマ ケイシ
氏名	小山 恵史
所属機関・ 部局・職名	九州大学・大学院工学研究院地球資源システム工学部門・助教

研究目的

リンは肥料として利用される重要元素であるが、リン資源を保有していない日本はその全量を輸入に依存しているため、国産のリン資源開発が望まれる。本研究では、人類の生活に伴って大量に排出される下水汚泥、特にその焼却灰にリン資源としてのポテンシャルを期待し、下水汚泥焼却灰中に含まれるリン及びその他元素の存在形態を把握することで、肥料化の可能性を模索することを目的とした。

実験内容と研究成果

国内の下水汚泥焼却灰施設から排出された下水汚泥焼却灰を複数種入手し、粒度分布測定、XRD 分析、SEM-EDS 分析に供した。汚泥焼却灰の大部分は 100 μm 以下の微粉末として構成されており、0.5 μm 程度から 300 μm 程度の幅広い分布を示した。また XRD 分析から、whitlockite ($\text{Ca}_9(\text{Mg,Fe})(\text{PO}_4)_6\text{PO}_3\text{OH}$)、quartz (SiO_2)、hematite (Fe_2O_3)、aluminum phosphate (AlPO_4)などが主要構成要素として存在していることを見出し、リンの主な存在形態としてカルシウムリン酸塩を形成していることを明らかとした。SEM-EDS 分析の観察像からも粒度分布測定によって確認された分布の幅の広い粒子群が確認されたが、これに加えて行った元素マッピングによる観察の際に、有用成分であるリンが比較的微細な粒子として、ケイ素などの不要成分から独立した状態で存在している様子が確認された。このことから、粒子径と元素濃縮傾向に基づいて適切に分級を行えば、汚泥焼却灰中のリンを特定の粒子群に濃縮でき、肥料としての利用可能性を高めることができると考えた。

分級には、プロセスの負荷となるエネルギー消費も勘案し、空気分級機を採用した。この分級機は、100 μm 以下の微細粒子を乾式で 3 点分級できるという特徴を有する。本研究では、汚泥焼却灰の粒子径に基づいて分級点を 10 μm および 50 μm と設定し、試料供給速度を 0.5 g/min に固定して実験を行った。

この結果、Fig. 1 に示す通り、それぞれの粒群の粒子径分布幅が小さい分級産物が得られ、汚泥焼却灰を粒子径に基づいて 3 点分級可能であることを見出した。得られたそれぞれの産物に対して XRF 分析を行ったところ、SEM-EDS 分析から予想された通り、微粉側にリンが、粗粉側にはケイ素が濃縮している様子が確認された。一方で、これと同時にヒ素や鉛、カドミウムのなどの有害元素も微粉側に濃縮されてしまう様子も確認された。産地の異なる汚泥焼却灰についても各元素の分配を確認したところ、試料によっては大部分のリンと有害元素が微粉側に移動し、肥料としての活用が難しい試料も見受けられたが、微粉側に有害元素だけが濃縮され、中粉および粗粉に大部分のリンが残存している試料を見出すこともできた。より詳細なリンと有害元素の共存形態の把握や洗浄工程の導入を検討する必要があるものの、対象を適切に選べば、空気分級によって汚泥焼却灰の肥料化利用促進が可能であることを見出した。

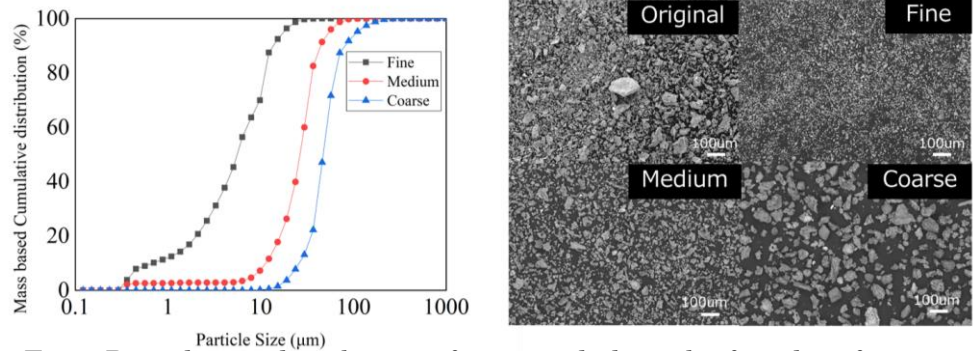


Fig. 1 Particle size distribution of sewage sludge ash after classification

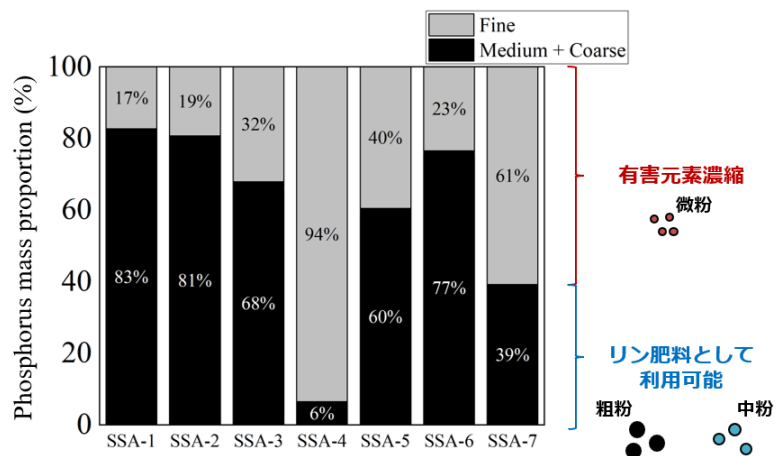


Fig. 2 Phosphate distribution in classification fractions

研究成果の公表状況（論文、国際・国内会議、学会発表、特許等の知財）

1. Zhou Kun, Mauricio Cordova-Udaeta, Keishi Oyama, Hidehiro Kamiya, Chiharu Tokoro, Masahiro Ito, Kazuhiro Fujimori, Yoshihiro Iwai, Eisuke Tamura. "Heavy metal removal from sewage sludge ash using air classifier" 2024 年度粉体工学会春期研究発表会 (5 月 14 日-15 日, 兵庫). 2024, 一般-25.
2. Masahiro Ito, Kun Zhou, Mauricio Córdoba, Kazuhiro Fujimori, Yoshihiro Iwai, Eisuke Tamura, Keishi Oyama, Hideyuki Kamiya, Chiharu Tokoro. "Heavy metal concentration reduction for fertilizer application of sewage sludge incineration ash using Coanda effect-based air classifier", 49th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites (ICACC2025) (Jan.26-31, Florida, USA). 2025, Oral (invited), ICACC-FS6025-2025.