

京都大学	博士 (工学)	氏名	Chen Minhsuan
論文題目	Experimental and feasibility study on co-incineration of sewage sludge and municipal solid waste (下水汚泥と都市ごみとの混焼に関する実験的検討と実現可能性)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>下水汚泥は、下水処理に伴って毎年莫大な量が発生する廃棄物であり、その適正な処理処分や有効利用が重要である。本論文は、今後の地域循環共生圏の形成および環境インフラの有効活用の観点から、下水汚泥の組成を徹底的に調査した後、下水汚泥と都市ごみとの包括的な処理システムの試みとして混焼処理を対象とし、実験的およびシステムの検討の両面から実現可能性を評価し、その有効性を示した論文であり、以下の5章から成る。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景が述べられた後、下水汚泥と他物質の混焼の国内外における事例、アメリカ、EU、中国、日本における下水汚泥処理や都市ごみ処理の現状、下水汚泥と都市ごみとの混焼の研究に関する調査が行われ、これらを踏まえて、研究の目的、および本論文の構成が説明されている。</p> <p>第2章では、混焼の対象となる脱水汚泥について、まず、その構成成分に影響する因子に基づいた標準組成を明らかにした。具体的には季節変動、下水収集方式、嫌気性消化の有無、脱水方式、脱水助剤の影響を考慮して選定した日本の32か所の下水処理場の計119種類の脱水汚泥について、その物理組成(水分、有機分、灰分、発熱量)や主要元素及び重金属組成の分析を行い、統計的な解析を行った。その結果、元素組成は諸外国の調査との類似性が認められた。また、数量化I類に基づく分析結果では、最も影響が大きい因子は、下水収集方式と消化の有無であり、4つの区分で組成を整理することが妥当であり、これに基づいた日本の下水汚泥の標準組成が提案された。この結果は、同時に実施した主成分分析やクラスター解析からもその妥当性が示された。以上の結果から、下水汚泥の農業利用、固形燃料化やセメント原料化について、概ね有効利用が可能であるとしつつも、特に農業利用については基準を超過する例の多い銅に配慮を要することが示された。</p> <p>第3章では、2章で対象の1つとした分流式、消化無しの脱水汚泥について、模擬都市ごみとの混合比を変化させた2種類の混焼実験を行い、混焼による効果を明らかにした。まず、熱重量示差熱分析により混焼における基礎的な熱挙動を調べた。模擬都市ごみに下水汚泥を混合することで、460℃付近での燃焼に伴う重量減少が高温側にシフトすることが示され、下水汚泥との混焼により何らかの影響が生じているものと推測された。管状炉を用いた900℃での混焼実験により、元素の挙動、特に重金属の挙動について調査した。試料中のカドミウムは揮発が促進され、逆に銅は灰に固定化された。カドミウムは模擬都市ごみ由来の塩素により塩化揮発が進行したものと推定され、Cuは下水汚泥由来のリンと反応として安定なリン酸塩として灰中に残留することがX線吸収微細構造解析により確認され、混焼が重金属分離に関して相乗効果があることが示された。</p> <p>第4章では、下水汚泥処理が今後進展する台湾を対象に、都市ごみと下水汚泥の混焼について実現可能性を検討した。まず台湾における下水処理場と都市ごみ焼却施設の位置情報を含めたデータベースを構築した。次に既に混焼が実施されている処理施設の情報を収集するとともに、台湾の処理施設にアンケート調査を行い、その結果から混焼が実現可能な距離、混焼率、稼働率を設定し、混焼処理の実現可能性がある組み合わせのスクリーニングを実施した。1200通りの組み合わせから39通りが抽出された。この結</p>			

京都大学	博士 (工 学)	氏名	Chen Minhsuan
<p>果から、台湾で発生する下水汚泥の 89.7%が都市ごみと混焼可能であることが示された。スクリーニング結果に影響を及ぼす最も重要な因子は距離であることも明らかにされた。また温室効果ガス排出量の観点から、各下水処理場に汚泥の乾燥プロセスを設置するよりも、下水汚泥は脱水汚泥の状態ですべて都市ごみ焼却施設に運搬し混焼するシナリオが最も望ましいと試算され、混焼の実現可能性が示された。</p> <p>第5章は、結論であり、本論文で得られた成果について要約し、今後の課題を述べている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、今後の地域循環共生圏の形成および環境インフラの有効活用の観点から、下水汚泥と都市ごみとの包括的な処理システムの試みとして混焼処理の実現可能性を実験的およびシステムの検討を通じて評価したものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 季節変動、下水収集方式、嫌気性消化の有無、脱水方式、脱水助剤の影響を考慮して選定した日本の32か所の下水処理場の計119種類の脱水汚泥の元素組成分析を行い、統計的解析手法により元素組成に影響を及ぼす因子等を明らかにした。最も影響が大きい因子は、下水収集方式(合流/分流)と消化の有無であり、4つの区分で組成を整理することが妥当であり、これに基づいた日本の下水汚泥の標準組成を提案した。

2. 日本の下水汚泥の元素組成調査結果より、セメント燃料化、固形燃料化、農業利用への適用性を評価したところ、概ね有効利用が可能であるが、特に農業利用については基準超過例の多い銅に配慮を要することが示された。

3. 模擬都市ごみと下水汚泥の混合試料の熱重量示差熱分析から、下水汚泥との混焼が模擬都市ごみ中固定炭素の燃焼を高温側へシフトさせることを見出した。

4. 模擬都市ごみと下水汚泥の混焼実験により、試料中のカドミウムは揮発が促進され、逆に銅は灰に固定化された。銅については、燃焼灰に対してX線吸収微細構造解析を行って銅の化学形態を推定し、銅は下水汚泥由来のリンと反応として安定なリン酸塩として灰中に残留することを明らかにした。この結果より、混焼が重金属分離に関して相乗効果を持つことを示した。

5. 台湾における下水処理場と都市ごみ焼却施設の位置情報を含めたデータベースを構築し可視化した。本データベースと台湾の施設へのアンケート結果を用い、混焼が実現可能な施設間距離、混焼率、稼働率を設定し、スクリーニングを実施したところ、施設間距離が最も重要であり、台湾で発生する下水汚泥の89.7%が都市ごみと混焼可能であることを示した。

6. 台湾における都市ごみと下水汚泥の混焼について、下水汚泥の乾燥プロセスの導入度を変化させたシナリオを設定し、温室効果ガス排出量の観点から評価した。下水汚泥を乾燥せず、脱水汚泥の状態ですべて都市ごみ焼却施設に運搬し混焼するシナリオが最も望ましいと試算され、混焼の実現可能性を示した。

以上、本論文は、下水汚泥と都市ごみとの混焼処理を対象とし、まず、日本における下水汚泥の標準組成等を示した上で、下水汚泥と都市ごみとの混焼時の燃焼特性や、重金属の挙動を実験的に明らかにし、台湾における実現可能性も評価したものである。これらのアプローチにより、下水汚泥と都市ごみとの混焼の有効性が示され、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和4年2月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、(令和5年2月1日までの間)当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日： 2022年4月1日以降