

氏 名	浦 邊 真 郎 うら べ しん ろう
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1158 号
学位授与の日付	昭 和 54 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	下 水 汚 泥 焼 却 に 伴 う 乾 燥 , 燃 焼 現 象 に 関 す る 基 礎 的 研 究

(主 査)
論文調査委員 教授 岩井重久 教授 平岡正勝 教授 寺島 泰

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、下水汚泥（以下では汚泥という）の減容化・安定化に優れた効果を発揮するために、実用化が進んでいるにもかかわらず、技術的、理論的な知見の蓄積が遅れている汚泥焼却処理に関し、それに伴う基礎的現象を把握すると同時に、汚泥焼却炉の設計・運転の指針となるような知見をも併せて検討することを試みたものであり、6章からなっている。

第1章では、汚泥焼却処理の現状と技術的問題点とについて概説し、本論文の目的・意義について述べている。

第2章では、焼却処理の観点からとらえた汚泥の物性値を把握し、後章で行う汚泥層内の熱移動などの解析や数値計算に際して必要となる基礎的知見を得ようとしている。すなわち、汚泥の発熱量測定、元素分析、熱伝導率測定、熱分析などから、汚泥の熱的な諸特性値を求めるとともに、汚泥の熱分解反応を速度論的に検討している。とくに汚泥の有効熱伝導率については、①みかけ密度および間隙気体、②試料含水率、③試料温度がそれに及ぼす影響を把握するため、熱移動モデルを用いて考察し、その適合性について検討している。また、従来仮定値として取扱われてきた汚泥の比熱についても、熱分析結果などから実用性のある考察を加えている。

第3章では、汚泥の並流式燃焼（下込め燃焼）に着目した基礎的実験を行い、主に熱移動および物質（とくに水分）移動の立場から、乾燥、着火、燃焼現象をそれぞれ解析している。高熱流束下で水分を多量に含有する試料の乾燥について、従来の固体乾燥理論と対比させながらこれを把握し、蒸発面下での蒸気移動に伴う潜熱移動問題を中心に実証的検討を加えている。汚泥の着火現象については、蒸発潜熱を比熱項に加味するなどの仮定を設定し、伝導伝熱の境界条件下での熱伝導方程式の解析解から、汚泥の着火温度、着火必要時間などが推定可能であることを示している。

また汚泥の燃焼実験においては、汚泥層内の温度分布、発生ガス、発熱量および汚泥層全層の重量変化を測定することから、上述したような蒸発面下、または試料層表面といった部分的なしかも短時間の熱移動を採りあげるのではなく、試料層全層にわたる熱移動、および蒸発、燃焼（部分燃焼）に伴う重量変化

を総括的に論じるとともに、それらの関連性を実験的に明らかにしている。すなわち、乾燥および湿潤状態の汚泥とその焼却残灰とを用いて、それらの熱移動、重量減少速度の差違を対比させ、乾燥、燃焼現象を考究している。また、試料層内への熱流入量を把握するため、対流伝熱と幅射伝熱とをあわせて考慮した複合伝熱係数という概念を導入し、その妥当性について考察している。

第4章では、前章までの成果を踏まえて、乾燥、燃焼現象に伴う汚泥層内の熱移動問題を中心とした理論的考察を加えている。すなわち、汚泥層内の伝熱を水蒸気移動による潜熱移動、乾燥に伴う相変化、燃焼に伴う内部発熱を考慮した一次元熱伝導方程式モデルを導入し、前述の複合伝熱係数を用いた境界条件式のもとで解を得るため、variable space network 法による差分近似化を行って数値計算している。この方法により、汚泥層内の熱移動および試料層の重量減少に対し、十分な精度をもって、安定した数値解が得られることを検証するとともに、本モデルや数値計算手法の適用限界や問題点について考究している。つぎに乾燥、燃焼現象に伴う熱移動の変化を、試料の物性値に温度依存性を持たせつつそれを非定常非線形方程式で表現し、Galerkin 法を用いて離散化することにより、数値計算を行っている。この方法では、試料層内の含水率分布と乾燥速度、および発熱による比熱の推算方法などに問題があるものの、層内の温度分布の概略が把握できることを示している。

第5章では、汚泥焼却炉を設計する際に、重要な因子となる火床負荷や炉内伝熱に関して、パイロットプラントによる平面燃焼実験を行い、汚泥層内の等温面移動速度を基本とした質量火移り速度の概念を導入することから、それらが把握できることを実証している。その結果、第3章、第4章で得られた熱および物質移動に関する研究成果は、焼却炉の設計・運転においても有効に応用されることを示している。また、本章で用いたパイロットプラント（移動床並流式焼却炉）による汚泥焼却実験では、良好な焼却灰、排ガスが得られ、かつ火床負荷、火床負荷率においては、従来多用され、熱効率がよいとされてきた多段炉（向流式炉）と比較しても遜色が無いことが示され、本方式による焼却の有用性を実証している。

第6章では、本論文で得られた成果を要約し、今後に残された課題を提示すると同時にその解決の方向性について言及している。

論文審査の結果の要旨

下水汚泥（以下では汚泥という）の処理・処分法に関しては、近年、2次公害発生の防止、エネルギー・資源の有効利用の観点から再検討する必要が叫ばれているが、焼却処理技術も同様の問題を抱えており、その解決は重要な課題として残されたままである。本論文はこうした状況を踏まえ、汚泥焼却に伴う乾燥、燃焼現象について基礎的な考察を加えると同時に、汚泥焼却炉の設計の指針となるべき知見をも併せて検討したもので、得られた主要な成果は下記の通りである。

(1) 汚泥の熱的な諸物性値の定量的な把握を達成し、とくに有効熱伝導率については、気・液・固の3相系から構成され、しかも水分吸着性材料といった複雑な系に対し、簡単なモデルを設定して十分な精度をもって推算が可能であることを示した。

(2) 汚泥焼却に伴う乾燥、着火、燃焼といった、従来の乾燥工学、燃焼工学ではほとんど単独の現象でしか取扱われなかった諸現象について、熱および物質の同時移動現象として解析するための方向性を示し

ており、乾燥過程における水蒸気の潜熱移動や汚泥の着火温度、着火必要時間、さらには汚泥の乾燥、燃焼に伴う重量減少速度、試料層内の発熱量分布、発生ガス分布などを定量的に把握した。

(3) 相変化と同時に反応を伴う複雑な熱移動問題について、乾燥、燃焼速度を考慮した熱収支モデル式をたてて、それを variable space network 法を用いて離散化して数値計算を行えば、試料層内の熱移動や試料層の重量変化に対して、十分精度ある数値解が得られることを明らかにした。またこのモデルは、複雑な境界条件を有し、しかも反応を伴う拡散問題とみなせるために汎用性があり、その計算手法は評価される。

(4) 焼却炉設計の重要な因子である炉内伝熱や火床負荷について、試料層内の等温面移動速度を基礎にした質量火移り速度を用いれば、これらが把握されることを明らかにするとともに、上述の(3)の成果との関連性を位置づけた。

(5) 上述の基礎研究で得られた成果に基づき、構造的にも、運転管理上でも最も簡単な炉型式である移動床並流式汚泥焼却実証炉を設置し、実験した結果、従来炉に比べて本炉の型式は火床負荷では遜色がなく、また排ガスによる2次公害発生の危険性も少ないことを明らかにした。

以上を要するに、本論文は汚泥焼却に伴う熱移動や物質移動を理論的、実験的に解明し、さらにそれらを焼却炉設計因子と関連づけて把握したものであって、これらの成果は汚泥焼却処理に理論的根拠を与えるばかりでなく、汚泥の熱分解、乾留、熱処理といった他の熱的な処理プロセスに対しても興味ある知見を示唆するものであって、学術上、実際上に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。