

京都大学	博士 (工学)	氏名	田崎 光雄
------	---------	----	-------

論文題目	下水汚泥焼却システムのエネルギー効率化に関する研究
------	---------------------------

(論文内容の要旨)

本論文は、下水汚泥焼却システムに関して、エネルギー効率化をはかるための燃焼技術、熱回収技術および環境負荷低減技術についての研究開発を行った結果をまとめたものであり、10章から成り立っている。

1章は序論であり本論文の研究背景および目的について述べている。

2章は、気泡流動層炉に関する基礎特性に関する研究で、テーパ型のコールドモデルによって流動基本数値を把握し従来の円筒型の計算式がほぼ適用できることを明らかにした。実際の流動層炉の運転で使用する運転風速を完全流動化速度と定義し、円筒型とテーパ型を比較した。テーパ型の方が完全流動化速度が遅く約60%の空気量で運転できるので省エネルギーであった。大型流動層の分散板の設計は、熱膨張・熱応力を考慮する必要があり、形状設計に有限要素法(FEM)を用いた熱応力解析を行い、その有効性を確認した。

3章は乾燥-流動システムの実稼働機を調査し、そのデータから100t/日のシミュレーションを行った。乾燥-流動システムは汚泥を直接燃焼するシステムより経済的であり可燃物の少ない汚泥ほどその傾向が強いことを明らかにした。可燃分60~70%の汚泥の場合は、100t/日の炉で年間1億円ランニングコストが安くなり乾燥設備の設備費の上昇分を6~7年で回収できる結果になった。燃焼制御にファジィ制御を適用し、熟練した運転員と同様の制御を可能とし、補助燃料を10~18%削減できることを実証した。

4章はほとんどの下水汚泥焼却施設で使用されているシェル&チューブ式熱交換器の高温腐食を調査し、高温対応熱交換器を開発した。塩素を多く含有する汚泥は、塩化物のデポジットによって熔融塩腐食を起し、腐食のピークは600~650℃の温度範囲にあることとテストピースによって最適な耐食材料を明らかにした。塩素の多い汚泥の焼却排ガスからの熱回収は、この腐食温度を避けて熱回収するかインコネル625などの耐腐食材料を用いた熱回収が必要である。高温熱交換器は高温排ガス(850℃)による高温空気(700℃)の熱回収を目的に開発を行い、熱応力によって最も破損し易い部分を実験と応力解析で特定し、その部分の冷却方法を改良することによって温度を低下させ、長寿命化させることを達成した。

5章は乾燥-流動や汚泥熔融の前処理乾燥機用として用いられている蒸気乾燥機の性能アップを図るために現状の乾燥機内の汚泥の挙動を把握した。乾燥機内で汚泥の戻りがあることを槽列モデルを用いた解析によって定量的に扱えるようにし、乾燥機内の各ゾーン別の戻り固形物量や乾燥速度を解析した。この解析結果から汚泥の入口、出口の伝熱面となるブレードの形状を改造し、実機に応用することに成功した。

6章は汚泥中の窒素の挙動に関する研究であり、流動層炉のフリーボード温度700℃で窒素分の熱分解生成物であるシアン化水素、アンモニアガス発生量が最大となり、それ以上の温度では酸化反応が進み窒素酸化物、亜酸化窒素、窒素ガスに分解することをラボスケールテストや実機実験で明らかにした。シアン化水素は800℃以下の温度では分解が不十分で、排煙処理塔で回収されたシアン化水素が排水側に移行し水処

京都大学	博士 (工学)	氏名	田崎 光雄
<p>理系統に悪影響を及ぼし、温度管理を十分に行うことが必要であった。汚泥焼却炉から大量に発生している亜酸化窒素は、炉内温度を 850℃にすることで大幅に(64%)削減できることを明らかにした。さらに高温熱交換器を使用して燃焼空気温度を現状の 600℃から 700℃に上げて炉内温度を 850℃にすることで二酸化炭素換算で 69%削減でき全国の汚泥焼却炉から発生している亜酸化窒素の約 70%を削減できることを明らかにした。</p> <p>7 章はダイオキシン類の制御に関する研究である。汚泥焼却炉から 1 次及び 2 次生成反応で発生するダイオキシン類は低く、マスバランス調査からむしろ下水処理場に流入するダイオキシン類を流動層炉で分解していることを明らかにした。</p> <p>8 章は焼却灰中の重金属の不溶化に関する研究で除じん装置の低温化(約 200℃)に伴ってヒ素、セレンが焼却灰から溶出する問題が発生している。従来用いられてきた消石灰添加法では酸性雨を想定した炭酸連続法(pH4)では溶出するので新たな溶出防止方法を開発した。ラボスケールテストとベンチスケールテストから硫酸第一鉄(約 3%)とチオ硫酸ナトリウム(約 1%)を添加し、150~200℃に加温する方法で溶出を安定的に防止できることを実証した。</p> <p>9 章は循環流動層炉の適用性について検討した。循環流動層内の粒子循環速度は、1.08kg/sec(3899kg/h)であり、排ガス持出し熱量の 2.5 倍の熱量が砂とともに循環しており炉内温度がほぼ一定で安定燃焼ができることを明らかにした。石灰石を炉内に投入した炉内脱硫実験で約 99%の硫黄酸化物の除去率を達成できた。また固形廃棄物と下水汚泥の混焼実験をテストプラントで行い、固形廃棄物が重油などの補助燃料の代わりになることを明らかにした。</p> <p>10 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

下水汚泥は水分を多量に含み発熱量も低いため、汚泥を燃焼させるには補助燃料を必要とする。このため、下水汚泥を焼却処理するには省資源・省エネルギーのシステムを構築することが求められている。本論文は、我が国の下水汚泥処理方法で主流となっている流動層汚泥焼却システムに関して、様々な装置におけるエネルギー効率化を目標に研究した結果をまとめたものである。下水汚泥焼却の根幹を担う気泡流動層炉および循環流動層炉の開発から関連する設備および環境負荷物質の制御に至る領域で研究が展開されており、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 流動層炉に関する流動化速度について、テーパ型のコールドモデル実験を行い、計算式により求められた値との検証を行い、空気の分散ノズルの設計を可能にした。また分散板の熱応力解析を有限要素法 (FEM) を用いて行い、流動層炉の大型化を可能とした。
2. 流動層焼却システムのエネルギー効率化をはかるため、乾燥-焼却システムを提案し、直接焼却システムに比べエネルギー消費量およびコストが低減されることを実機で明らかにした。さらにファジイ制御を取り入れた燃焼制御で省エネルギーおよび排ガスのクリーン化を実現した。
3. 乾燥機の大型化に関してトレーサー試験などにより汚泥の挙動を調査し、汚泥の返送に関して槽列モデルにより表現することで実際の乾燥速度を求めて、乾燥性能を向上させることを可能とした。
4. 廃熱回収によるエネルギー効率化では、従来の高温熱交換器におけるトラブル要因を実機調査およびテストピースによる曝露試験などによって明らかにし、新たに管板冷却方式を開発して高温ガスの流入に耐えて高温予熱空気を創出する高温熱交換器の開発に成功した。
5. 流動層炉からの排ガス中の窒素酸化物やシアン、亜酸化窒素、ダイオキシン類などは炉内や排ガスの温度と密接に関連しており、エネルギー効率化に影響する。そのため、焼却時の窒素分やダイオキシン類の挙動を明らかにし、その制御方策を提示した。
6. 有害金属であるヒ素、セレンについて焼却灰からの溶出制御に関する研究も行い、硫酸第一鉄とチオ硫酸ナトリウムを微量添加して乾燥処理することで溶出を防止できることを明らかにした。
7. 循環流動層炉について熱収支を明らかにするとともに、補助燃料として他の固形廃棄物との混焼可能性について検討し、エネルギー効率化を図ることができることを明らかにした。

以上、本論文は下水汚泥焼却処理システムのエネルギー効率化および環境負荷低減のために必要な要素技術の開発を行ったものであり、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、平成 23 年 10 月 24 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。