

氏 名	楊 瑜 芳
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 1932 号
学位授与の日付	平 成 12 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 環 境 地 球 工 学 専 攻
学位論文題目	好気性中高温微生物反応による有機廃棄物処理プロセスのメカニズム解析と数 理モデルの確立

論文調査委員 (主 査)
教 授 内 藤 正 明 教 授 寺 島 泰 教 授 松 岡 讓

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、有機物循環システム構築のための好気性中高温微生物反応プロセスとして、高温好気法の重要性に着目し、この反応メカニズム解明のための各種実験を行い、そのデータに基づいた数理モデルを確立した。さらに、これらを実用化に結び付けるために、微生物反応プロセスである「コンポスト化・高温好気法」の適切な設計と操作方法について検討した結果をまとめたものであって、7章からなっている。

第1章は緒言であり、持続可能な循環型社会を実現するための有機廃棄物再資源化の必要性、および好気性微生物反応プロセスを組み込んだシステム確立の重要性を述べている。

第2章はコンポスト化および高温好気法について、これまでの研究をまとめ、これらを組み込んだ新たな有機物循環システムの提案を行った。この好気性中高温微生物反応としての「コンポスト化・高温好気法」複合プロセスは、需給にギャップが生じることが多い対象の循環系形成のためには特に有意義であることを提示している。

第3章は反応副資材として、地域の廃材を有効に利用するため、竹チップを用いた下水汚泥のコンポスト化実験を行った。この結果を総合すると、竹チップを副資材として用いた下水汚泥のコンポスト化では1週間で処理が安定化し、また米糠の添加により下水汚泥コンポストにカリウムの補充ができることが分かった。さらに、モデル地域より排出される実際の排水処理汚泥に対して、その地域に存在する竹チップおよび米糠を添加してコンポスト化を行い、それが地域内緑農地へ適切に還元されることが分かった。このことから、地域資源循環系形成の可能性を提言している。

第4章は下水汚泥の高温好気法において竹および、杉チップを担体とした場合の有効性について調べた結果より、杉チップは高温好気法の担体としてより適切なものであることが見出された。この杉チップを用いて下水汚泥の高温好気における反応特性を把握し、以下のような結論を得た。

①10日間の反応期間中にほぼ50℃以上の高温が持続し、有機物の分解が継続して活発に起ることが分かった。②酸素消費速度データに基づき反応特性を検討した結果、濃縮汚泥の処理では、最大酸素消費速度が高く、他の汚泥より速かに分解されることが認められた。③各々の処理では高温好気法前半における酸素消費速度の差がみられ、下水汚泥の有機物は廃食用油より生物分解され易く、反応開始後6～8時間で起こることが明らかになった。④消費酸素から予測した分解率は、余剰汚泥実験では62.7%、濃縮汚泥実験では86.8%、脱水ケーキ実験では82.4%であった。濃縮汚泥が最も速く処理された。また、下水汚泥については余剰汚泥の分解率は99.4%であり、濃縮汚泥は99.6%、脱水ケーキは82.1%であったため、余剰汚泥と濃縮汚泥では有機物のほとんどが分解されたと考えられる。⑤熱収支の解析から、反応熱のうち水分の蒸発に使われた熱量が、廃食用油の場合59%、余剰汚泥の場合59%濃縮汚泥の場合63%、脱水ケーキの場合55%となった。各実験で水分の蒸発熱量が全反応熱の半分以上を占めることが分かった。⑥装置からの散熱量は全反応熱の23～30%になった。その二つを合わせ、全反応熱に対する85%を占め、高温好気処理過程で反応熱が最も有効に利用されるためには、有機物源に応じた装置の熱管理をすること、水分をより効率的に蒸発させることが重要であることが見出された。

第5章は4章の考察に立って、より精度が高く、再現性のある実験結果をうる高温好気法の実験装置を開発した。その装置を用いて、反応が均一におきているとみなせる小空間領域（1ℓ）において高温好気法反応実験を行い、実験データに基づき数値モデルを作成し、このモデルにより数値シミュレーションを試みた。その結果以下のような結論が得られた。

①高温好気法における微生物反応モデルとしては、一次の自己触媒反応式が適合する。増殖期においては比増殖速度 μ と絶対温度の逆数との関係は Johnson-Lewin 式に従い、実験結果より式中パラメータ (k_1, k_2, a_1, a_2) が求められた。そして、シミュレーションモデルにより計算した反応温度と実測値とはほぼ一致した。②同モデルを用いて試料初期含水率を変化させた理論計算で初期含水率が比較的高い場合、温度変化は緩やかであるため、最高温度に到達するには時間がかかる。③高温好気反応過程における反応温度はほぼ高温状態で維持されるため、通気量変化による反応温度変化を小さく保持しうる。

第6章は好気性微生物反応プロセスの運転のために、「コンポスト化」または「高温好気処理法」選択の指標としての“ H_s/H_w 比（カロリー / 水の蒸発熱）”の重要性を見出した。そのため、有機物の“ H_s/H_w 比”を同定し、これを操作変数として両処理プロセスの選択の可能性を検討した。

その結果、原料の H_s/H_w 比と原料の含水率との関係から、コンポスト化領域（Ⅰ）、共通領域（Ⅱ）、高温好気法領域（Ⅲ）の三つの領域が存在することが明らかになった。①原料含水率 50% ~ 70% の場合には、原料の H_s/H_w 比が 1 ~ 2 の範囲に含まれば、コンポスト化が可能で、高温好気法は困難であり、原料の H_s/H_w 比が 1.9 以上になるⅡの領域では、コンポスト化と高温好気法処理の併行が可能である。②含水率 80% の高水分原料の場合には、コンポスト化の反応条件の限界を超え、コンポスト化反応が生じないため、この場合は高温好気法が適正な処理方法である。

以上の結果を踏まえて、地域において発生する有機物の質、量に応じて、「コンポスト化」または「高温好気処理法」を選択するためには、有機物の“ H_s/H_w 比”を操作変数とした処理プロセスの選択的運転操作が可能になったことが明らかになった。

第7章は総括であり、本論文で得られた研究成果と今後の研究の展望について記した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、好気性中高温微生物を利用したコンポスト化および高温好気法が、生物系有機物循環を形成する際に有用な技術であることを明らかにし、地域においてこの循環システムを確立するための課題と方向性を明らかにすることを目標に研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. コンポスト化は、家畜糞尿や生ごみのような有機性廃棄物の処理において、農業を取り込んだ小負荷型の処理方法の一つとして、地域循環システムの中核に位置付けられる。しかし、コンポストの需要量は季節に応じて変動するため、非需要期は有機物を分解する柔軟な方法である高温好気法を導入し、好気性中高温微生物反応プロセス「コンポスト化・高温好気法」の有効性を示した。

2. 竹チップを副資材として下水汚泥のコンポスト化を試み、1週間で処理が安定化し、また米糠の添加により下水汚泥コンポストにカリウムの補充ができることを認め、困難であった下水汚泥の再利用に一つの可能性を示した。

3. 高温好気法における下水汚泥の反応特性については、濃縮汚泥の場合には、最大酸素消費速度が高く、他の汚泥より速かに分解されていた。また、各々の処理では高温好気法前半における酸素消費速度の差がみられ、下水汚泥の有機物は廃食用油より生物分解され易く、反応開始後 6 ~ 8 時間で分解反応の起こることが明らかになった。

4. 熱収支の解析によって、各実験で水分の蒸発熱量が全反応熱の半分以上を占めることが分かった。また、装置からの散熱量は全反応熱の 23 ~ 30% になった。その二つを合わせると、全反応熱の 85% を占め、高温好気処理過程では、水分の蒸発力を保持するための装置の熱管理が重要であることが明らかとなった。

5. 高温好気法に関する数値モデルの確立については微生物反応モデルとして、一次の自己触媒反応式が適合することを見出した。モデルによるシミュレーション計算の結果は反応温度に関して実測値とはほぼ一致した。同モデルを用いて試料初期含水率を変化させた理論実験の結果から、初期含水率が比較的高い場合、温度変化は緩やかで、また通気量変化による反応温度変化は小さいことが認められた。

6. 微生物反応プロセスの選択と操作において、有機物の“ H_s/H_w 比（カロリー / 水の蒸発熱）”の設計・操作パラメータとしての重要性を見出し、これを操作変数として処理プロセスを適正操作することの可能性を見出した。

有機物循環システム構築のためのプロセスとして、「コンポスト化・高温好気法」複合プロセスは、需給ギャップが生じる

ことが多い対象の収支バランスを維持するためには特に有意義であり、これを中心とした環境低負荷型地域循環システムの提案は、学術上、実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12年2月22日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。