

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24561009

研究課題名(和文)好氣的微生物反応を利用した生物系廃棄物の燃料化

研究課題名(英文)Solid fuel generation from bio-waste using aerobic microbiological reaction

研究代表者

金子 栄廣(KANEKO, Hidehiro)

山梨大学・総合研究部・教授

研究者番号：60177524

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、まず生物系廃棄物は乾燥すれば燃料として利用可能な発熱量を保有することを試料分析に基づいて示した。また、好氣的微生物反応を利用すれば乾燥が効率よく行えることを理論的に示した。続いて、乾燥という物理現象について既存の数理モデルを整理して実験結果と合致するシミュレーションプログラムを作成した。また、様々な実験を通して好氣微生物反応における有機物分解、酸素消費、発熱および温度変化に関する数理モデルを構築した。以上の結果を踏まえ、好氣的微生物反応を利用した生物系廃棄物の乾燥をシミュレーションするプログラムを作成した。実験結果と比較の結果、妥当なプログラムが作成できたことが確認できた。

研究成果の概要(英文)：Firstly, this research showed that bio-waste has high caloric value which can be used as fuel if it is dried experimentally. The effectiveness of bio-drying was also shown based on theoretical discussion. A simulation program which can simulate the physical aspect of drying was made based on some mathematical models. The relationships between organic matter degradation, oxygen consumption, heat evolution and temperature change of material were examined experimentally and they were summarised as mathematical models. By combining the above outcomes, a simulation program which can describe the bio-drying process was established. Comparing with the experimental results, validity of this program was confirmed.

研究分野：環境・衛生工学

キーワード：固形燃料化 生物系廃棄物 乾燥 好氣的微生物反応 シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

生ごみ、下水汚泥、家畜糞尿などの生物系廃棄物は、古くから再生可能な資源として認識され、飼料化、堆肥化、メタン発酵などの方法によって有効活用が図られてきた。しかし、飼料化や堆肥化のように物質としてリサイクルする場合、排出時の性状のばらつきが避けられない廃棄物が原料なため品質を安定させるのが難しく、需要に限られるという問題があった。また、メタン発酵でエネルギー源として活用する場合も、メタン回収後に残る残渣や排水の処理処分の問題がある。

また、近年では地球温暖化防止の観点から再生エネルギーのひとつとしてバイオマス利活用が注目されるようになった。東日本大震災にともなう福島原子力発電所の事故を受けて化石燃料や核に頼らない地産地消型エネルギーの確保も重要視されている。

ところで、元来、好氣的生物反応を利用して対象生物系廃棄物中の易分解性有機物を分解させ、安定化した製品（堆肥＝コンポスト）を製造する堆肥化では、微生物反応にともなう発熱により材料の温度が高温になる。この現象は酸素供給のための通気との相乗効果により材料の乾燥を進行させる。本研究ではこの乾燥現象に注目し、堆肥化と類似の好氣的微生物反応によって材料の乾燥を効果的に行う技術の開発を目指すこととした。

2. 研究の目的

本研究では、好氣的微生物反応を応用して、マテリアルリサイクルと併せてサーマルリサイクルも視野に入れた生物系廃棄物の利活用を実現することを最終目標としているが、この目標を達成に向けた検討の途上として以下4項目を具体的目的に掲げた。なお、2.～4.の実験およびシミュレーションの作成で反応器を必要とする際には、反応器として通気反応塔を用いた場合に限定して検討を行うこととした。

- 生物系廃棄物の発熱量評価
- 通気反応塔内での単純乾燥のシミュレーションプログラムの構築
- 対象材料の熱的特性および生物反応特性の把握
- 通気反応塔内での好氣的微生物反応のシミュレーションプログラムの構築

3. 研究の方法

まず目的 に関しては、いくつかの生物系廃棄物試料を入手し、自動ボンベ熱量計（島津製作所、CA-4AJ）を用いて発熱量の測定を行った。

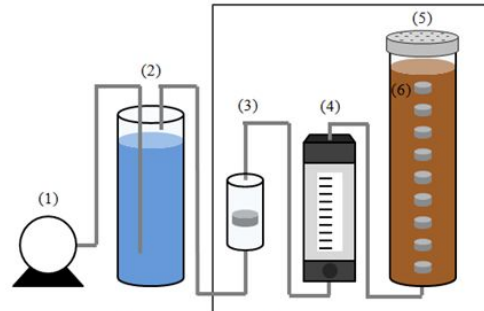
目的 に関しては、分解しない材料として木くずを用いて乾燥実験を行うと同時に、乾燥速度への影響因子として温度、気相湿度、材料含水率、通気速度を考慮したシミュレーションプログラムを作成し、実験結果と比較した。

目的 では、目的 のための実験で使用す

る材料の比熱を求め、また材料の好氣分解に伴う酸素消費量と発熱量の関係把握を行った。

目的 では目的 についての検討結果を踏まえ、目的 で構築したシミュレーションプログラムを発展させて、好氣的微生物分解する材料の反応と乾燥をシミュレーションするプログラムを作成した。また、分解する材料を用いた乾燥実験を行い、シミュレーション結果と比較することによって、シミュレーションの精度や妥当性を検証した。

目的 および 達成の過程で使用した実験装置の概要を図1に示す。



(1) 送風機 (2) シリカゲル (3) ボタン型温湿度記録計 (4) 流量計 (5) プラスチック筒 (6) ボタン型温度記録計

図1 カラム乾燥実験装置

4. 研究成果

(1) 生物系廃棄物の発熱量

いくつかの生物系廃棄物試料について発熱量を測定した結果を表1に示す。可燃ごみ由来の燃料 RDF の標準発熱量 18,000J/g と比べてやや低いものもあるが、乾燥すれば燃料として使用可能なものがほとんどであった。

表1 生物系廃棄物試料の低位発熱量

生物系廃棄物試料	低位発熱量 (J/gDW)
木くず(WC)	25,000
ドッグフード(DF)	23,832
混合物(WC:DF=1:1)	24,400
混合物(WC:DF=2:1)	24,600
牛糞堆肥	17,300
下水汚泥堆肥	15,500
家庭系厨芥堆肥	12,000
コーヒーかす	19,500
茶殻	19,400
ブドウかす	17,800

(2) 単純乾燥のシミュレーション

目的 を達成することが本研究の最終目標であった。しかし、乾燥という物理的現象

と有機物の生物分解という生物学的現象が複雑に影響し合う事象のシミュレーションをすべて最初から構築するには困難が予想された。そこで、まずは生物分解しない材料を用い、通気による乾燥のみが起こる場合のシミュレーションプログラムを考えることとした。

また、シミュレーションプログラムの妥当性を評価するには実験が必要なため、材料として短期間では生物分解しにくい木くずを材料としたカラム乾燥実験を行った。

図2は深さ50cmに初期含水率65%の材料を充填して40の乾燥空気を0.5L/min通気した場合の材料深さ方向の含水率分布の時間推移について実験結果とシミュレーション結果（実線は実験結果、破線はシミュレーション結果）を重ねて示したものである。

材料分解を伴わない場合の乾燥を上手くシミュレーションできるプログラムを作成することができた。

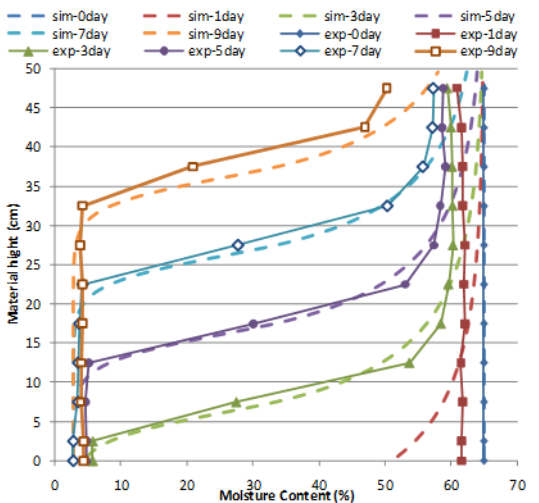


図2 木くずの含水率分布の推移

(3) 材料の特性把握

目的では、生物分解反応する実験材料として木くずとドッグフードの混合物（乾燥重量比 2:1）を使用する。この材料の分解にともなう発熱がどのように温度変化に反映されるかを評価するには、材料の比熱を把握する必要がある。そこで、水熱量計を用いた比熱測定と文献値からそれぞれの比熱を求めた。その結果、 $2.62(\text{J/gDW}\cdot)$ あるいは $3.57(\text{J/gWW}\cdot \text{ at Moisture content}=60\%)$ と求まった。

また、材料の分解反応に伴う酸素消費量と発熱量との関係を実験的に調べたところ、1gの酸素消費に対して17KJの発熱があるという結果が得られた。この値は、一般に好氣的微生物反応の酸素消費量当たりの発熱量として知られている値とほぼ等しいものであった。

(4) 好氣的微生物反応する材料の乾燥と反応のシミュレーション

(2)および(3)の結果を踏まえ、好氣的微生物

反応する材料の乾燥と分解をシミュレーションするプログラムを作成した。

木くずとドッグフードの混合物（乾燥重量比 2:1、初期含水率 65%）を深さ 45cm に充填してカラム乾燥実験を行うとともに、実験と同じ条件を与えてシミュレーションを行った。

図3および図4はいずれも40の乾燥空気を0.5L/min(1.7L/min/kgDW)で送気した場合の深さごとの含水率の時間推移について、それぞれシミュレーションした結果と実験の結果を示したものである。

若干のずれはあるが深さごとの含水率の時間変化は似たような挙動を示していることが分かる。

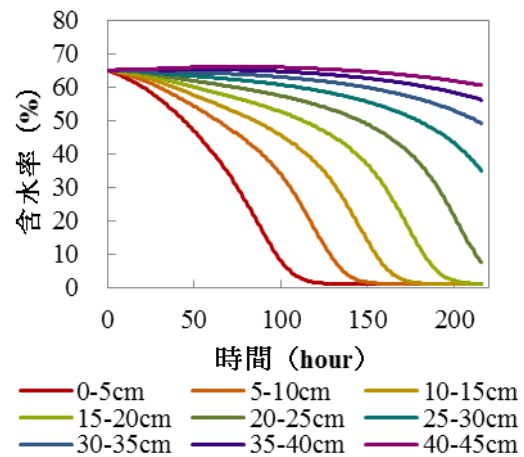


図3 深さ別含水率の推移(シミュレーション)

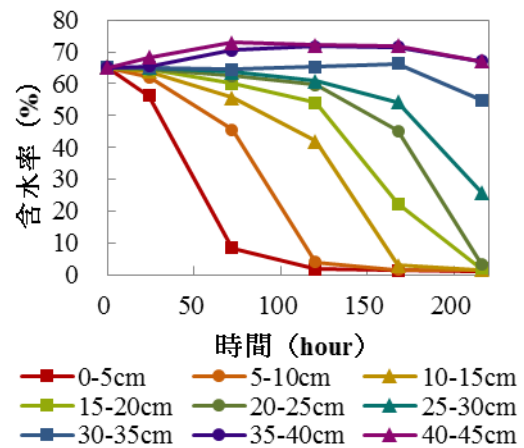


図4 深さ別含水率の推移(実験結果)

また、同様に深さごとの温度の時間推移についてシミュレーション結果と実験結果とを比べたところ、両者はほぼ同じとなることも確認できた。これらのことから、通気反応塔を利用した生物系廃棄物の乾燥過程を概ね再現できるプログラムを提示することができ、本研究の目的を達成することができた。

(5) シミュレーションの活用

報告書の最後に、このようにして提示され

たシミュレーションプログラムの活用について述べる。

好氣的微生物反応を利用してある材料の分解と乾燥を行おうとした場合、その最適な運転管理条件を見いだすには試行錯誤的に実験を行う必要があった。しかし、シミュレーションを行うことができれば、簡単に最適条件の検討が行える。具体的には以下のような局面でシミュレーションプログラムを活用することが有用である。

- ・単純乾燥と比べて好氣的微生物反応を利用した方がどの程度有利に乾燥を行えるか検討する。
- ・ある材料を乾燥するのに、どのような運転管理を行うと効率がよいかを検討する。
- ・通気反応塔を用いてある材料を乾燥する場合、最適な反応器寸法を設計する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

金子栄廣：通気反応塔を用いた生物系廃棄物の乾燥過程のシミュレーション，ケミカルエンジニアリング，査読なし，第58巻，pp.45-48，2013

〔学会発表〕(計7件)

井上貴仁，平山けい子，平山公明，金子栄廣：好氣性生物反応を利用した生物系廃棄物の乾燥による固形燃料化，土木学会関東支部第42回技術研究発表会，-19，2015.3.5，東海大学湘南キャンパス(平塚市)

伊藤浩二郎，金子栄廣：通気反応塔を用いたコンポスト材料の乾燥シミュレーション，第51回環境工学研究フォーラムβ-46，2014.12.21，山梨大学甲府キャンパス(甲府市)

井上貴仁，金子栄廣：コンポスト材料の分解にともなう発熱と温度上昇，第25回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集，pp.255-256，2014.9.16，広島工業大学(広島市)

伊藤浩二郎，金子栄廣：通気反応塔を用いた生物系廃棄物の乾燥に関する研究，第41回土木学会関東支部技術研究発表会，-13，2014.3.13，長岡技術科学大学(長岡市)

伊藤浩二郎，金子栄廣：通気反応塔を用いたコンポスト材料の乾燥に関する研究，第24回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集，pp.333-334，2013.11.2，北海道大学(札幌市)

金子栄廣，清水宏一郎：コンポスト化過程における質量減少量，酸素消費量および放出熱量の関係，第24回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集，pp.331-332，2013.11.2，北海道大学(札幌市)

金子栄廣，林和希：通気反応塔を用いた生物系廃棄物の乾燥過程のシミュレーション

ン，第23回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集，pp.355-356，2012.10.22，仙台国際センター(仙台市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

金子 栄廣 (KANEKO, Hidehiro)
山梨大学大学院・総合研究部・教授
研究者番号：60177524