

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 22 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26292130

研究課題名(和文) 微生物呼吸熱と化学反応熱のハイブリッド反応による有機性汚泥の炭化

研究課題名(英文) Torrefaction of biological wastes by using microbial and chemical spontaneous heat generation

研究代表者

岩淵 和則 (Iwabuchi, Kazunori)

北海道大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：00193764

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,900,000円

研究成果の概要(和文)：バイオマスの炭化は、一般に多くの外部熱エネルギーを要するため、この削減が可能であれば環境負荷の少ない、かつ持続的な再生可能エネルギー資源の生産が可能なプロセスである。廃棄物自らが発する熱で品温を上昇させ、乾燥し、炭化する省エネルギーな燃料炭製造方法を見出し、この検証を行った。その結果100℃以下であっても炭化可能であることを実験的に証明し、断熱性が維持されることによって実用規模の炭化装置が実現可能であることを数値実験により示した。

研究成果の概要(英文)：Carbonation of biomass is environmentally sound and sustainable process for renewable energy resource production if external heat energy for carbonation can be extremely reduced. We found out the new method for torrefaction process by using microbial and oxidative spontaneous heat generation. As results of our determination, torrefaction can be conducted at extremely low temperature. Additionally our numerical analysis demonstrated that the carbonization process of practical scale was feasible by using insulated wall of the facility.

研究分野：生物資源循環工学

キーワード：バイオマス 再生可能エネルギー 有機性廃棄物 半炭化 炭化

1. 研究開始当初の背景

日本の畜産業は国民の食生活の西欧化を背景に発展し、農業総産出額の約31% (2兆5千億円) を占める基幹的な部門となっている (農林水産基本データ, 2013)。それに呼応し家畜排泄物は年間8700万トンも排出されており (環境省廃棄物・リサイクル対策部, 2011), 廃棄物系バイオマスでは最多で、産業廃棄物全体の中でも2番目に多い21%を占めている。これに加えて食品廃棄物が年間1851万トンも排出されているが、その大半である75%が焼却・埋め立て処分されている (環境省環境統計集, 2012)。有機廃棄物系のバイオマス賦存量が年間1億トンを超えるほど膨大であることから、土壌への栄養負荷量が過剰傾向にあるため、有機肥料以外の利活用方法を考案することが喫緊の課題である。有機廃棄物は、乾燥物の発熱量が木質バイオマスと同じであることから「再生可能」や「カーボンニュートラル」と言う特長を十分活かしたエネルギー資源としての利活用が最も合理的であり、自己発熱反応を誘発させて炭製造が可能となる製造エネルギーフリーの新しい方法を考案した。

2. 研究の目的

通常の炭化プロセスはバイオマスを無酸素状態で加熱し、残った固形物が炭として利用される。しかし、85%も水分があるバイオマスには水分蒸発に要するエネルギーがあまりにも大きく、従来の炭化プロセスが廃棄物系バイオマスに適用されることはなかった。そこで申請者は廃棄物自らが発する熱で品温を上昇させ、乾燥し、さらには残った乾燥廃棄物を炭化できる省エネルギーな燃料炭製造方法を見出したが、反応の詳細なメカニズムは明らかになっていない部分があるため、これを明らかにして廃棄物系バイオマスのエネルギー化技術を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

反応メカニズム解明のため以下に示す3項目の実験を進めた。

(1) 室内実験による反応メカニズムの解明

廃棄物系バイオマスの中でも特に含水率が高く、取り扱いの難しいとされる乳牛ふんを材料とした。微生物の呼吸熱によって70℃程度まで昇温させたのち、70℃から水の沸点 (100℃) 以下で進む化学酸化反応を誘発することで、自然発火につながる反応条件を見出すことを目標に進められた。

(2) 木質チップ堆積現場での観測

室内実験に加え、木質チップの堆積層での観測実験を行なった。この堆積層では年間を通じて80℃を超える高温を維持しているおり、時間が経過するに従い酸素不足

により部分的に炭化されるものや層亀裂から酸素が供給され自然発火に至る場合もある。そこで、堆積層内部の温度およびガス分析を行い、自然発火現象につながる昇温要因を特定することを目標として進められた。

(3) 数値計算による自然発火現象の再現
堆積層内部の反応メカニズムを裏付けるため、数値計算による自然発火現象の再現を目指した。ここでは発火の理論式として用いられる Frank-Kamenetskii 式により、有機物が自然に発火する下限界温度 (限界発火温度) が材料堆積状況によってどのように変化するのかについて調べた。また、微生物反応および化学酸化反応による発熱の支配方程式を立て、それらを連成解析することで自然発火現象の再現を試みた。

4. 研究成果

(1) 室内実験による反応メカニズムの解明

微生物反応から化学酸化反応を誘発する実験では、当初予想されていたよりも反応速度が遅く、それに伴い自然発火へとつながるような反応を安定的に引き起こすことは困難であった。しかし、酸素量を適切に制御することで、80℃を超える昇温反応を確認した。このような昇温反応は微生物反応の至適温度域を大きく上回っており、化学酸化反応が起きていたことを示唆する結果であった。

そこで100℃以下での化学酸化反応について詳しく調べるため、乳牛ふんを一定温度下 (80, 90℃) で加熱し、反応で生成するCO₂ならびにCO₂ガスを分析した。その結果、酸素消費とともにCO₂の発生が確認され、100℃以下であっても化学酸化反応が進むことを確認した (図1)。この実験結果は、申請者が想定する、廃棄物自らが発する熱で品温を上昇させ、炭化するという構想が十分に実現可能であることを強く支持するものである。

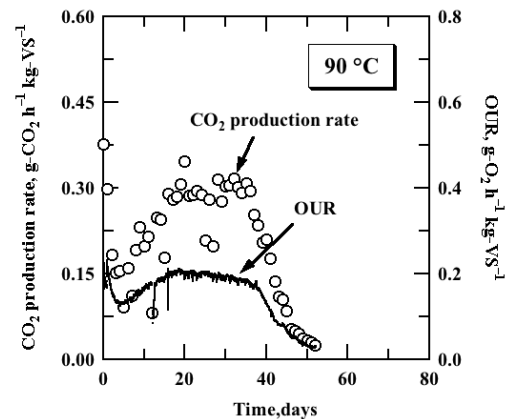


図1 一定温度雰囲気下における乳牛ふんの酸素消費と二酸化炭素発生速度

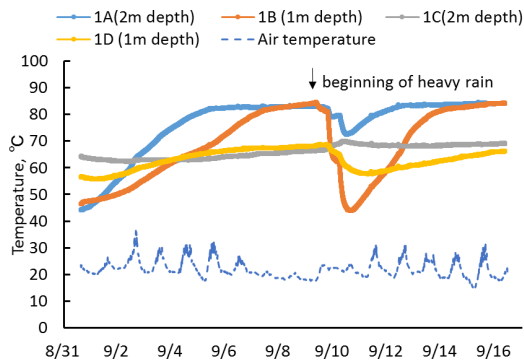


図2 木質チップ堆積物内部の温度変化

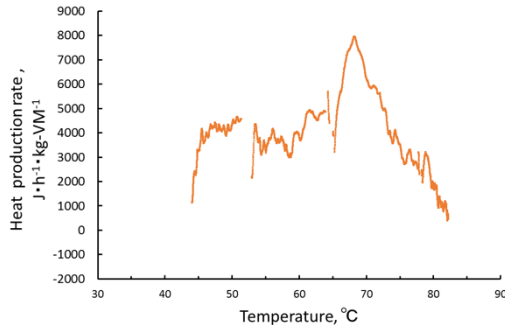


図3 木質チップ堆積物の昇温過程における熱発生速度と温度の関係

今後も引き続き、自然発火に至る化学酸化反応を誘発させるような条件を、材料の断熱性や材料状態などの視点からさらに検討する必要がある。

(2) 木質チップ堆積現場での観測

自然発火現象が生じている現場での温度変化を図2に示す。測定地点による最高到達温度には違いが見られたものの、ある地点では80℃を超えるような高温を維持していた。

また、今回の実験では堆積物の深さ1mと2mで測定を行ったが、堆積物の深さと最高到達温度には関連性が見られなかった。これについてはさらなる検証が必要であるが、堆積物内部では高温になりやすい部分とそうでない部分が混在していることが明らかとなった。このような現象が生じる原因については現在のところ不明であるが、堆積物内部への酸素供給が不均一であったためと考えられる。

堆積層内部のガス組成を測定すると、酸素濃度は4-8%、二酸化炭素濃度は12-16%を推移していた。このように堆積層内部のガス組成は空気と大きく異なっており、何らかの反応が起きていたことを示している。現在のところ、これらは微生物の呼吸と化学酸化反応によってもたらされたと考えている。

続いて堆積物の昇温要因について検討した。得られた温度データから熱発生速度を

算出したところ、熱発生速度は50℃、70℃で極大を取る二峰性を示した(図3)。このような特定の温度域で熱発生速度が最大値を取るのには微生物反応特有の現象である。したがって、常温付近から80℃付近までの昇温は主に微生物によるものと考えられた。ただし、堆肥化における微生物反応とはやや異なる温度帯での活性を示す微生物群が支配しており、この原因については今後さらなる調査が必要である。また、水分吸着熱の可能性も考えられたが、木質チップの含水率はおよそ60%程度であり、水分吸着熱による顕著な昇温が見られる10%程度に比する極めて高い含水率である。このことから、水分吸着熱による昇温の可能性は棄却した。以上の結果から、木質チップ堆積場では微生物反応によりもたらされ、それに引き続き生じる化学反応による昇温によって自然発火現象が引き起こされていると結論付けられた。

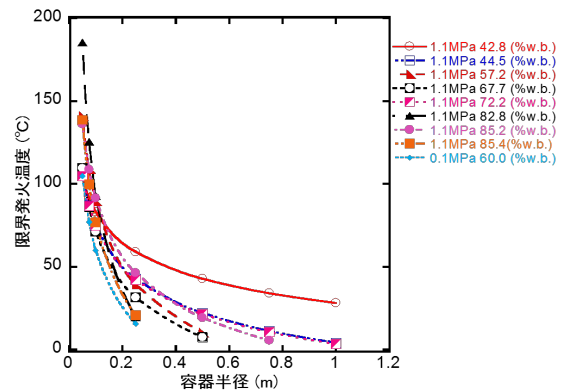


図4 容器半径と限界発火温度の関係

(3) 数値計算による自然発火現象の再現

自然発火をより常温に近い温度で容易に生じさせ得るのかを検討するため、実測データをFrank-Kamenetskiiの発火理論式に適用することにより、限界発火温度について検討した。この時、容器半径(バイオマスの体積に相当)および、かさ密度を操作因子としてそれらが限界発火温度に与える影響を調べた。まず、容器半径を大きくすると限界発火温度が低下することを確認した(図4)。容器半径が大きくなる、すなわちバイオマスの体積が増大するにしたがって、堆積物と外気との間で生じる熱損失量に比べ堆積物内部の発熱量が上回りやすくなったためと考えられた。また、密度を増加させることで限界発火温度は低下することが確認された。この原因として、容器半径が一定の場合、試料の密度を大きくすることで単位体積あたりの有機物量が増えるに伴い、発熱量も増加するためと考えられた。

最後に自然発火現象のモデル化を試みた。現場での観測結果から、自然発火現象は主

に微生物反応と化学反応によってもたらされていると考えられた。そのため、モデリングでは微生物反応と化学反応、それぞれの支配方程式を連成解析することで再現を試みた。その結果、まだ不完全ではあるが、数値計算によってもその現象がほぼ再現できるようになった。特に、堆積物を大きくするにつれて断熱性が高められ、それによって最高到達温度に顕著な違いが見られた。今後、材料の物性等をさらに充実することにより、より精度の高い数値計算による予測が可能と考えられる。

残された課題として、微生物反応から発火へと接続するプロセスには、材料の三相率等の堆積状況、ガス輸送等が複雑に関連するため、このメカニズムを整理する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 7 件)

1. 太田薫平, 岩瀨和則, 伊藤貴則, 谷黒克守, 木質チップの自然発火現象初期過程における昇温要因の解明, 第 27 回廃棄物資源循環学会研究発表会, 2016/09/29, 和歌山大学 (和歌山県和歌山市)
2. Bakri, S. N. S., Iwabuchi, K., Yoshimoto, R., Taniguro, K., Effect of moisture content on dairy manure torrefaction, International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB 2016), 2016 May 23 to 25, Niigata convention center, Niigata, Japan.
3. Itoh, T., Iwabuchi, K., Takata, Y., Taniguro, K., Investigation of low-temperature carbonization process for organic wastes, International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB 2016), 2016 May 23 to 25, Niigata convention center, Niigata, Japan.
4. Bakri, S. N. S., Yoshimoto, R., Iwabuchi, K., Preliminary study of dairy manure torrefaction for biochar production, ISER 9th International Conference, 2015 October 30 to 31, Berlin, Germany.
5. 岩瀨和則, 田中美礼, バイオマスの半炭化技術確立のための自然発火シミュレーション, 農業環境工学関連 5 学会 2015 年合同大会, 2015/09/16, 岩手大学 (岩手県盛岡

市)

6. 岩瀨和則, 谷黒克守, 自己発熱反応による有機性廃棄物の昇温現象, 2014 年度農業施設学会大会, 2014/08/28, 神戸大学 (兵庫県神戸市)
7. 岩瀨和則, 高田優祈, 谷黒克守, 乳牛ふん乾燥密度による発火温度低下の可能性, 第 73 回農業食料工学会年次大会, 2014/05/14, 琉球大学 (沖縄県中頭郡西原町)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩瀨 和則 (IWABUCHI Kaunozri)
北海道大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 00193764