

# 下水汚泥の低温造粒乾燥による臭気・燃料化率への影響

## Odor Intensity and Energy Conversion Efficiency of Bio-Solids Derived from Sewage Sludge by Low Temperature Drying System

山田 眞樹 YAMADA Masaki JFE エンジニアリング アクアシステム事業部 プロジェクト室 グループマネージャー  
能登 隆 NOTO Takashi JFE エンジニアリング 技術研究所 エネルギー技術研究部 主幹  
橋本 久尚 HASHIMOTO Hisanao JFE エンジニアリング アクアシステム事業部 プロジェクト室 経営スタッフ

### 要旨

湿潤バイオマスの固形燃料製造プロセスにおいて、乾燥工程の前処理工程として 200℃以下の低温熱を利用した加熱処理を行うことにより、揮発分の揮散を抑制して高い燃料化率を維持し、かつ悪臭の発生を大幅に抑制した燃料を製造する「表面固化処理技術」に関する研究開発を行った。200℃表面固化と 120℃燃料化処理を組み合わせた表面固化処理技術を用いることにより、下水汚泥燃料化物の臭気強度を 2 に抑えるとともに、燃料化率を 96.2% に維持できた。

### Abstract:

A study was carried out on the surface solidification drying technology to produce bio-solids from sewage sludge with high energy conversion efficiency and at reducing unbearable odors of the solid fuels substantially by utilizing a low-grade heat source of below 200°C as a pre-process of the drying system to minimize volatilization loss of the volatile matter in the sewage sludge. As a result, the targets of odor intensity and energy conversion efficiency were attained: solid fuels from the sewage sludge were produced at odor intensity of equal to or less than 2 and energy conversion efficiency of 96.2% from sewage sludge to solid fuels by the surface solidification and drying technology that used a combination process of the surface solidification at 200°C and the conversion into solid fuels at 120°C.

## 1. はじめに

近年の地球温暖化問題を背景に、下水汚泥や農集排汚泥などの湿潤バイオマスの燃料化利用が盛んに研究、実用化されつつある。しかしながら、その燃料から発生する強い臭気、特にアンモニア、硫化メチル、脂肪酸などの悪臭の発生が障害となり固形燃料の普及が遅れている。この欠点を補う技術として、揮発分を還元状態で積極的に燃焼する炭化処理技術があるが、この技術ではもともと湿潤バイオマスが含有する熱量源（有機物）の多くが失われてしまう。

よって、ユーザーが取り扱う上で障害となる臭気を極力抑え（臭気強度 2 以下：表 1 参照）、かつ汚泥が本来保有するエネルギーを揮発・燃焼させずに燃料化物に残すこと（燃料化率 85% 以上）を目標に、かつ熱源としては比較的他設備の排熱などから得やすくハンドリングもし易い 200℃以下の熱風を用いて汚泥の造粒乾燥試験を行った。

以下に、乾燥条件が燃料化物の臭気や燃料化率などに与

表 1 臭気強度と内容<sup>1)</sup>

Table 1 An odor intensity and the contents

臭気強度	内容
0	無臭
1	やっと感知できるにおい（検知閾値濃度）
2	何の臭いかわかる弱いにおい（認知閾値濃度）
(2.5)	(2 と 3 の中間)
3	らくに感知できるにおい
(3.5)	(3 と 4 の中間)
4	強いニオイ
5	強烈なニオイ

敷地境界線の規制基準設定の範囲

える影響について報告する。

## 2. 試験方法と内容

### 2.1 試験の進め方

小型の基礎試験装置、および 50～200 kg/h の処理能力をもつ実証機により試験を行った（基礎試験装置では、汚泥造粒径条件、温度条件が臭気に与える影響確認を、実証機では基礎試験結果を基に、造粒乾燥物の生成、検証試験

を実施)。

なお、今回の試験では、A処理場(都市下水汚泥集約処理場)の下水混合生汚泥脱水ケーキ(ベルトプレス脱水ケーキ、高分子凝集)を用いることとした。

## 2.2 基礎試験

### 2.2.1 試験装置

熱風乾燥式(φ300mm径×1000mmL鋼製筒, 0.7m/s上向流熱風方式)とし、熱源には電気ヒーターを用いた(図1)。

なお、汚泥粒は網上に載せ、頂部から網をワイヤーで吊り下げることで乾燥中の重量変位を計測すると同時に、汚泥粒(一粒)を熱電対の先端に突き刺して温度変位を計測することで、乾燥状況(水分蒸発状況)の確認を行い、目的の含水率の乾燥物を生成した。

### 2.2.2 試験内容

事前に、粒径条件: φ7~25mm, 熱風温度条件: 120~200℃の範囲で乾燥造粒物を試験的に生成したところ、120℃乾燥では脱水ケーキ臭が強く、200℃乾燥では焦げ臭が強い傾向があった。また、粒径が小さいほど臭気は弱く感じられた。そこで、次の要領で臭気濃度を定量的に確認することとした。

乾燥造粒物条件: (1) φ20mm 粒径×120℃, (2) φ7mm 粒径×120℃, (3) φ7mm 粒径×200℃の3条件とし、含水率約0%まで乾燥。

臭気ガス採取方法と分析項目: 50lのテドラーバッグ(フッ化ビニル樹脂袋)に固形物量換算で17.7gの造粒乾燥物を乾燥後30分で封入(図2)。18時間常温保存後、袋内ガス臭気22成分について臭気濃度を分析(ガスクロマトグラフによる臭気分析: 昭和47環告第9号 改正平成12年環告17号)。

なお、対比のため、脱水ケーキについても同方法で臭気ガスを吸引し分析比較を行うこととした。

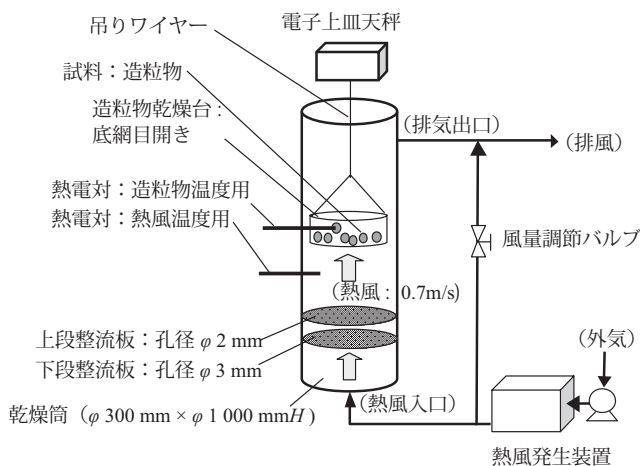


図1 基礎試験装置

Fig.1 The outline of equipment for a basic test

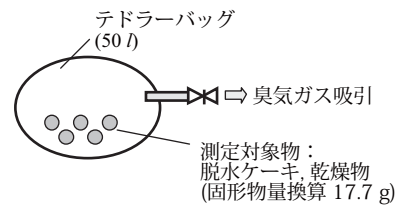


図2 臭気の採取方法

Fig.2 The way to sample the odor

## 2.3 実証試験

φ500mm×2900mmLのキルン乾燥設備(図3)にて、乾燥造粒物を生成し、臭気強度、および燃料化率の確認を行った。なお、造粒物粒径は約φ15mmとした。

乾燥条件: 120℃, 200℃温度条件の他, 200(15分)+120℃で、含水率約1%まで乾燥

臭気ガス採取方法と分析項目: 乾燥後、測定対象物を別途保管装置内で24h 通気保管後、臭気ガス採取装置(図4)にて臭気ガスを採取し、臭気判定士による臭気強度を測

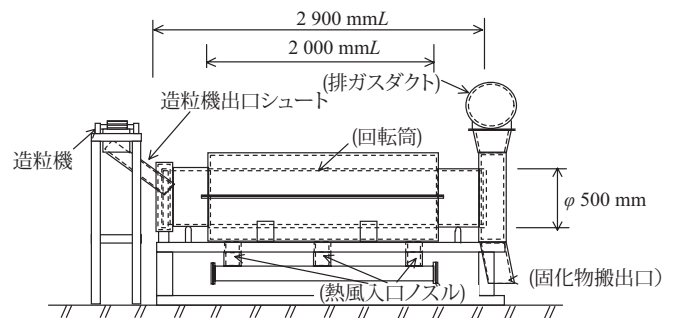


図3 実証試験機概要図

Fig.3 The outline of equipment for demonstration

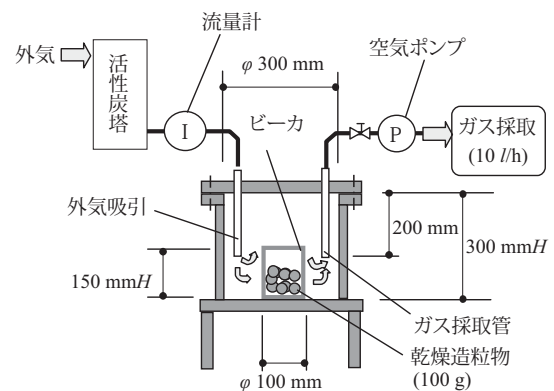


図4 臭気の採取方法

Fig.4 The way to sample the odor

※臭気測定対象物は臭気測定装置内部中央に設置するピーカ内に100g入れ、10 l/hの風量で臭気ガス吸引  
 ※臭気ガスが装置内部に充滿するように、臭気ガス吸引前には20 l/h 風量で1hの事前通気

定

燃料化率確認方法と分析項目：強熱減量，固形分低位発熱量，有機分組成を分析。その結果を基に，次の式にて燃料化率を算出

$$\text{燃料化率 (\%)} = \text{有機分の残留率 (\%)} \times \text{有機分単位量あたりの発熱量残留率 (\%)}$$

## 3. 試験結果

### 3.1 基礎試験結果

基礎試験装置で生成した造粒乾燥物のガスクロマトグラフによる臭気濃度分析結果を図5に，またこの分析結果をウェーバーフェヒナーの法則により換算して臭気強度に置き

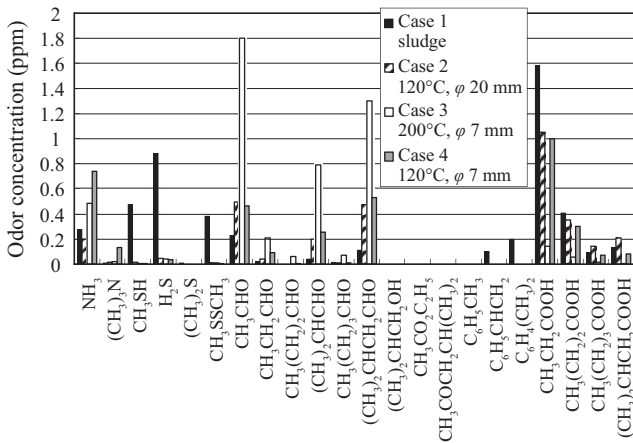


図5 乾燥温度条件と臭気濃度

Fig.5 Condition of the temperature and odor concentration

換えた結果を図6に示す。

この結果より次の傾向が読み取れる。

脱水ケーキ，乾燥物とも，イソバレルアルデヒド⑫，有機酸類（プロピオン酸⑬，n-酪酸⑭，n-吉草酸⑮，イソ吉草酸⑯）の臭気強度が高い値を示した。逆に，スチレン⑰，キシレン⑱などの揮発性物質は，脱水ケーキでは検知されたが，乾燥物では3ケースとも定量下限値未満であった。イソブタノール，酢酸エチル，メチルイソブチルケトン，トルエンの4物質⑲については，脱水ケーキ，乾燥物共検出されなかった。

メチルメルカプタン③，硫黄系臭気物質④～⑥，および有機酸類は，乾燥処理により値が小さくなる傾向が見られた。ただし，乾燥温度が与える影響はガス項目により異なり，沸点の低いメチルメルカプタン，硫黄系臭気物質は120°Cの乾燥温度（ケース2，4）でも十分に削減効果が大きい，沸点の高い有機酸類については，乾燥温度200°C（ケース3）になるまで大きな削減効果が得られない傾向が見られた。

一方，アルデヒド類（アセトアルデヒド⑦，プロピオンアルデヒド⑧，n-ブチルアルデヒド⑨，イソブチルアルデヒド⑩，n-バレルアルデヒド⑪，イソバレルアルデヒド⑫）については，温度高くなるほど値が大きくなる傾向が見られた。アルデヒド類は沸点が小さくガス化しやすい物性を持っているにも関わらず値が増えている。よって，アルデヒド類は高温になる過程で生成されている（焦げつきができてい）ものと考えられる。

### 3.2 実証試験結果

#### 3.2.1 実証試験機による燃料化物試作結果

下水汚泥は粘性が高く，装置内壁や他の粒と付着しやすいため，造粒乾燥物の製造技術面で非常に難しい面があったが，造粒機や乾燥装置内部の改良を行うことで，最終的にはφ15mm径の燃料化物を各種温度条件下で連続的に製造できることが確認できた（写真1）。

#### 3.2.2 臭気強度

乾燥3ケースの内，200（15分）+120°Cの乾燥を行ったケースで，臭気強度が最も低くなり，目標の臭気強度2以

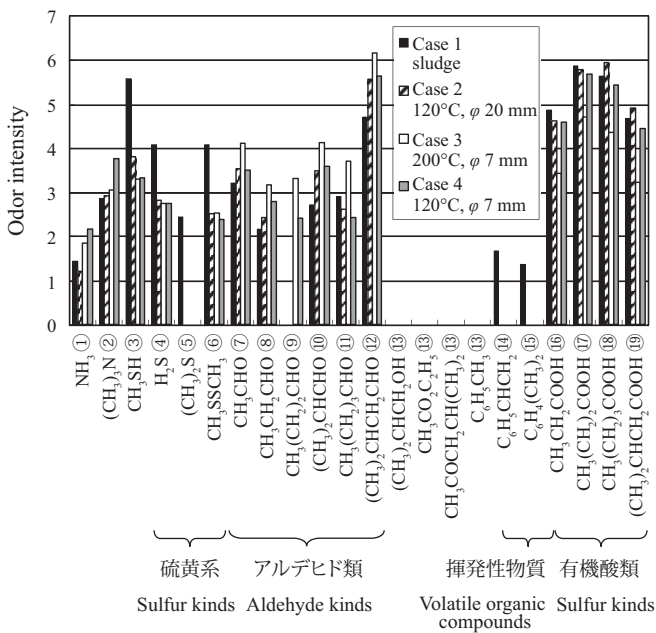


図6 乾燥温度条件と臭気強度

Fig.6 Condition of temperature and odor intensity

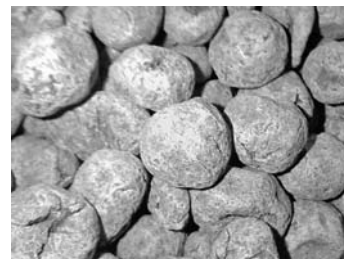


写真1 実証機により生成した燃料化物（φ15mm例）

Photo1 Solid fuel (φ15mm for example)

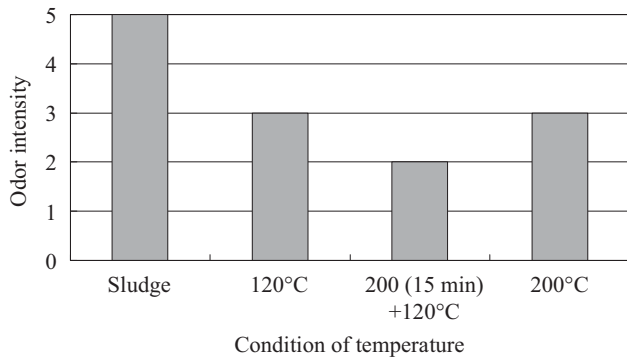


図7 乾燥温度条件と臭気強度

Fig.7 Condition of temperature and odor intensity

下になることが確認された(図7)。これは、最初に短時間200°Cで乾燥し、その後120°Cの低温で乾燥することで、高温域で発生しやすいアルデヒド類、低温では削減しにくい有機酸類をともに低濃度に維持・削減できたものと考えられる。

### 3.2.3 燃料化率

120°C乾燥では燃料化率が97%以上と脱水ケーキが保有する有機分熱量のほとんどが維持される結果であったのに対し、200°C乾燥では燃料化率約89%と、10%以上が揮発・燃焼により減少する結果となった(図8)。

よって、一般の熱風乾燥装置の温度としては低めである200°C程度の温度域でも燃料化率の減少は起こっており、乾燥温度がより低い条件であるほど(高い乾燥温度時間が短いほど)燃料化率の削減が抑えられるものといえる。なお、臭気強度が最も低かった200(15分)+120°Cの乾燥では、燃料化率約96%であり、目標の85%を大きく上回ることが確認された。

また、有機物組成成分についてみた結果を図9に示すが、Cl分を除き、乾燥温度が高くなるにつれて、有機分組成全般が一様に減少する傾向が見られた。よって、乾燥温度が高いほど、有機分量は一様に減るものの、その組成に大き

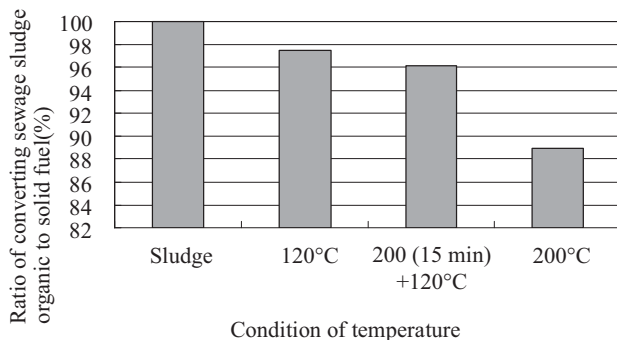


図8 乾燥温度条件と燃料化率

Fig.8 Relationship between condition of temperature and energy conversion efficiency from sewage sludge to solid fuel

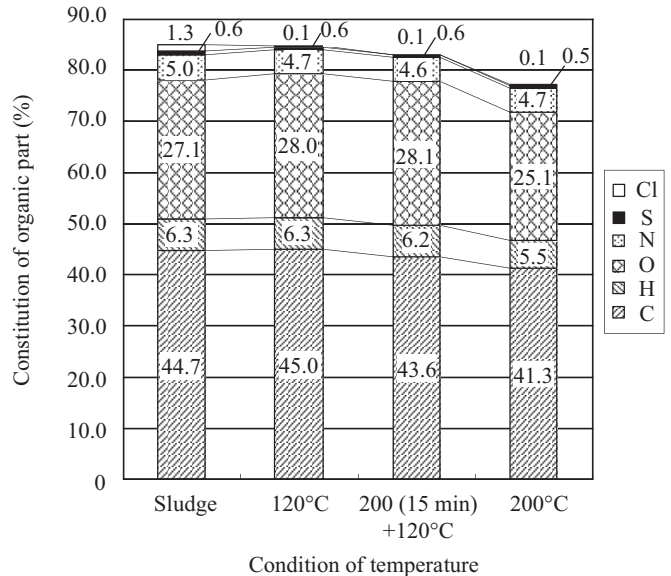


図9 乾燥温度条件と有機物組成

Fig.9 Relationship between condition of the temperature and constitution of the organic part

な違いは出ないといえる。

## 4. まとめ

以上の結果を次にまとめる。

### (1) 基礎試験結果

120～200°Cの乾燥条件では、メチルメルカプタン、硫黄系臭気物質、および有機酸類は、温度高になるほど小さくなる傾向であった。

アルデヒド類(焦げ臭)については、逆に温度高になるほど大きくなる傾向となった。

### (2) 実証機乾燥試験

#### ①-1 臭気強度

120°C, 200°C, 200(15分)+120°Cの3ケースの中では、200(15分)+120°Cが最も低い結果となった。また本温度条件時には目標の臭気強度2を満たすことが確認された。

#### ②-2 燃料化率

乾燥温度が高いほど(200°C乾燥温度時間が長いほど)減少する傾向が見られ、200°C単一乾燥時には10%以上が揮発・燃焼により減少する結果となった。

臭気強度が最も低かった200(15分)+120°C条件では燃料化率は約96%となり、目標の85%以上を大きく上回ることが確認できた。

## 5. おわりに

200(15分)+120°C乾燥により、臭気強度が低く、燃料

化率の高い燃料化物が得られることが確認された。今後は本条件を用いた乾燥装置の実機化に向けた開発を鋭意進める予定である。

本内容は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構との共同研究であり、燃料化物の臭気評価という過去の研究事例が少ない分野において、推進委員会（奥野委員、武田委員、赤松委員、大瀧委員）、徳岡准教授（慶應義塾大学）および独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構関係各位のご助言、ご指導により研究を推進することができた。ここに心より感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 臭気対策行政ガイドブック. 2002-04 環境省環境管理局大気生活環境室



山田 真樹



能登 隆



橋本 久尚