

メタウォーターにおける下水汚泥燃料化技術について

METAWATER'S sewage sludge fuel technology

森永俊二郎*

1. はじめに

近年の「循環型社会の構築」, 「地球温暖化防止対策」といった社会的な要請に対して, 下水汚泥が期待されている役割はますます大きくなっている。

従前の汚泥処理については材料としての有効利用が積極的に行われており, 主にセメント原料や肥料原料として活用されてきた。しかしながら行政にとっては大手取引先での受け入れ中止等を経験し, 最終処分の大半を民間依存するリスクが表面化していた。

そんな中, 下水汚泥が有する有機物の全エネルギーを熱量として換算した場合, 下水処理場の年間電力消費量の約 1.6 倍にも相当する約 120 億 kWh にもものぼるとされている重要なエネルギー源を何とか活用し, かつ地域資源の再エネとして脱炭素社会に貢献しようという観点から, 下水汚泥の燃料化という技術が発展してきた経緯がある。

2. 燃料化技術の背景

従前, 単なる処理処分として焼却処分してきた脱水汚泥を, 燃料として利用すべきという観点で発生したのが, 「脱水汚泥の燃料化」というカテゴリである。

表 2.1 燃料化技術の種類

		乾燥	炭化
プロセス		脱水汚泥を70~100°Cに加熱し水分を分離する。	脱水汚泥を還元雰囲気中で400~800°Cに加熱し, 水分及び揮発分を分離する。
処理物の性状	形状	顆粒・粉体・ペレット (処理方式より異なる。)	顆粒・粉体・ペレット (処理方式より異なる。)
	臭気	残留する	揮発分が分離されるので軽減される
	水分	10~30%	<10%
	炭素分	約45%	35~55%
発熱量		16~20MJ/kg	10~22MJ/kg

燃料化は, その処理方法により①乾燥と②炭化に区分される。表 2.1 に示すように, 炭化物は, 乾燥物に比較して発熱量は低いが, 臭気が少ない, 化学的に安定している炭素分の含有率が高いという利点がある。特に臭気が減減できることは, 搬送中も含めて利用先の理解を得るのに非常に有効である。




3. 乾燥技術の種類

乾燥技術は, ①加熱方法と②乾燥機の種類でいくつかの種類に分かれる。その大きな区分を表 3.1 に示す。

ここでは簡単にその特徴について述べる。

「直接加熱式」は「熱風乾燥機」と「気流乾燥機」に区分される。熱風乾燥機は構成機器点数が少なく, 下水汚泥のみならず食品加工等の分野でも広く採用され, 国内外において多数の実績を有する。また, 気流乾燥機については破砕機による粉碎工程と乾燥工程が単一のプロセスで行えるが, 気体によるマテリアルハンドリングを行うため多量の通気量が必要

表 3.1 乾燥技術の種類

	直接加熱式		間接加熱式
	熱風乾燥機	気流乾燥機	水蒸気乾燥機
乾燥機構造			
概要	脱水汚泥をドラムが回転する乾燥機中に投入し, 熱風とドラム内の攪拌により乾燥汚泥として乾燥機より直接排出	脱水汚泥を破砕機を内蔵した乾燥機中に投入し, 熱風とドラム内の攪拌により乾燥汚泥として乾燥機外の集塵機にて捕集	脱水汚泥を羽根とケーシングの内部に水蒸気を通した乾燥機中に投入し, 水蒸気との間接接触により乾燥汚泥として乾燥機より直接排出
乾燥熱源	400~800°C程度の熱風	400~500°C程度の熱風	0.8MPa(175°C)程度の水蒸気
乾燥能力	80~150kg-H ₂ O/m ² h	80~150kg-H ₂ O/m ² h	10~15kg-H ₂ O/m ² h
乾燥汚泥性状	含水率: 5~30% 粒径: 粉状~粒状(0~5mm程度) 比重: 見かけ0.5~0.6程度	含水率: 5~20% 粒径: 粉状(0.1~2mm) 比重: 見かけ0.5~0.6程度	含水率: 20~60% 粒径: 粒状~塊状(5mm以上) 比重: 見かけ0.9程度以下
汚泥循環	無	有(循環率400%程度)	低含水率の場合, 有
汚泥破砕	乾燥機内に軽微なもの	乾燥機内に強力なもの	無

*メタウォーター株式会社 プロジェクト計画部 部長

となりブロウ動力等が大きくなる傾向である。

「間接加熱式」については熱源となる媒体が機器ケーシング等により間接的に下水汚泥に接することで、水分を蒸発させるのに必要な温度まで間接的に熱を加える。熱効率が高く通気量等は少なく済むが、汚泥との接触面積が大きい分、機器の摩耗や閉塞などのトラブル等を抑制するマテリアルハンドリング技術に高い難易度を有する。

また、それぞれから発生する乾燥物は炭化物と比較し、高いエネルギーを有するが、その分揮発分が多く残留するため臭気を有することとなる。

4. 炭化技術の種類

炭化技術は、①加熱方法と②炭化炉の種類でいくつかの種類に分かれる。その大きな区分を表4.1に示す。

加熱方法は、外部より鉄板越しに間接的に熱を加える「外熱式」と、炉の中で加熱に必要な燃焼と炭化反応を同時に行う「内熱式」がある。

外熱式では、炭化物は炭化に必要な温度まで間接的に熱を加えられる。均一に熱を加える目的と製品の形状を安定化させる為、炭化炉に汚泥を供給する前に造粒する場合が多い。酸素を遮断した状態で加熱し、炭化物自体の発熱量の消費を抑制する為、炭化物の発熱量が高くなる。一方、炭化に必要な熱量を全て外から加える為、炭化プロセスにおける燃料使用量が多くなる。

内熱式では、炭化物自体の発熱を炭化物の温度を上げる一部に利用するのが特徴である。炉の構造が焼却炉とほぼ同一となり、外熱式と比較すると構成機器がシンプルとなり燃料使用量が少なくてすむ。但し、炭化する為に熱量を利用した分だけ炭化物の発熱量が下がる。

当社において、下水分野の炭化技術は、内熱ロータリーキルン式から始まり、様々な技術の結合体と

して進化し、9基の建設実績を持つにいたる。(規模: 5t/日～110t/日 2023/3/1 現在: ガス化含む)

様々な形態をとった炭化技術だが、最終的に以下の三種の形態をとることになる。

気泡流動床式炭化技術 (内熱式)

循環流動床式炭化技術 (内熱式)

キルン式炭化技術 (外熱式)

以降では、各技術の確立過程を紹介する。

5. 流動床式炭化技術

当社は、流動床式炭化技術を2種保有している。最終的なフロー上の違いは、単に炭化炉の形式が異なるだけであるが、その技術の成立過程はまったく別々であった。その成立過程を図5.1に示す。

5.1 気泡流動床式炭化技術

当社の気泡流動床式炭化技術のルーツは2000年代まで遡れる。当社は、一般廃棄物焼却施設の建設業界への進出を目指し、当時のごみ処理において最新技術であったガス化溶融技術を開発した。このガス化溶融技術¹⁾のフローを図5.1.1に示す。この技術において、廃棄物はまず流動炉において低空気比で熱分解ガスとチャー(炭化物)という燃焼しやすい形態に変成させられる。次に、変成された物質を旋回式溶融炉において高温空気を加えることにより

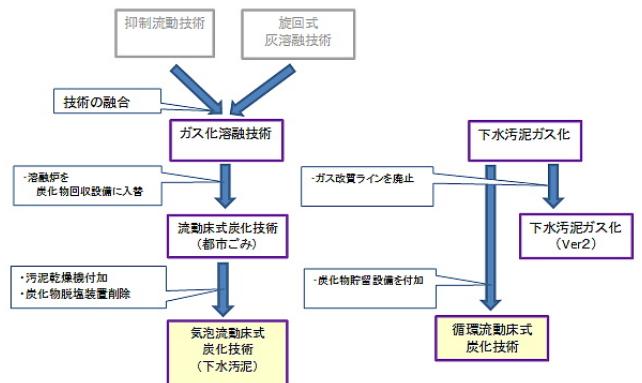


図5.1 流動床式炭化技術の成立過程

表4.1 炭化技術の種類

加熱方式	外熱式	内熱式	
炭化炉形式	外熱ロータリーキルン式	内熱ロータリーキルン式	流動床式
			気泡流動床式
概略図			
操作温度	500℃(中温炭化) 250～250℃(低温炭化)	500～600℃	450～550℃
炭の性状	形状	顆粒状	微粉・顆粒状
	発熱量	12～18MJ/kg(中温炭化) 15～22MJ/kg(低温炭化)	6～12MJ/kg
納入実績(下水汚泥)	西宮水資源再生センター(100t/日) 北濃水資源再生センター(100t/日)	美濃浄化センター(3t/日)	(株)東濃サービス(48t/日) 中濃浄化センター(75t/日) 濃尾処理場(100t/日)(ガス化炉) 濃尾浄化センター(100t/日) 東濃水資源再生センター(110t/日)

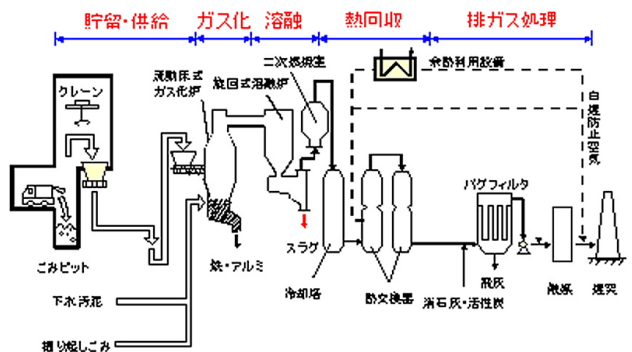


図5.1.1 流動床式ガス化溶融技術

一気に高温で燃焼しチャーに含まれる灰を溶かし、溶融炉の中に形成した旋回流で溶けた灰分を捕捉し溶融スラグとして取り出す。

後に当社はこの技術の応用として一般廃棄物の流動床式炭化技術²⁾を生み出した。この技術のフローを図5.1.2に示す。この流動床式炭化技術は、ガス化溶融技術における旋回溶融炉を高温サイクロンに置き換えることにより、炭化物(チャー)を燃やさずに回収するというものである。この技術は、A県T市の一般廃棄物処理施設として建設し、現在も稼働中である。この施設より製造される炭化物は、スクラップを溶解・再生する電気炉に使用する保温材もしくは加炭材として使用されている。また、本施設には、一般廃棄物由来の塩素を炭化物より取り除く脱塩設備を具備している。

この脱塩装置を取り外すと同時に、水分の高い下水汚泥を乾燥させる乾燥機を炭化炉の前段に配置したものが下水汚泥を対象とした気泡流動炭化技術となる。この技術のフローを図5.1.3に示す。

5.2 循環流動床式炭化技術

炭化炉に循環流動炉を用いる循環流動床式炭化技

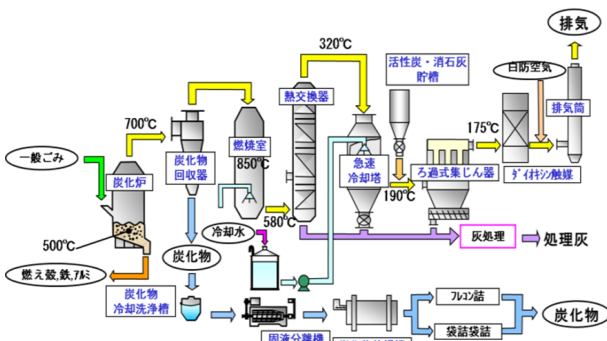


図 5.1.2 一般廃棄物流動炭化技術

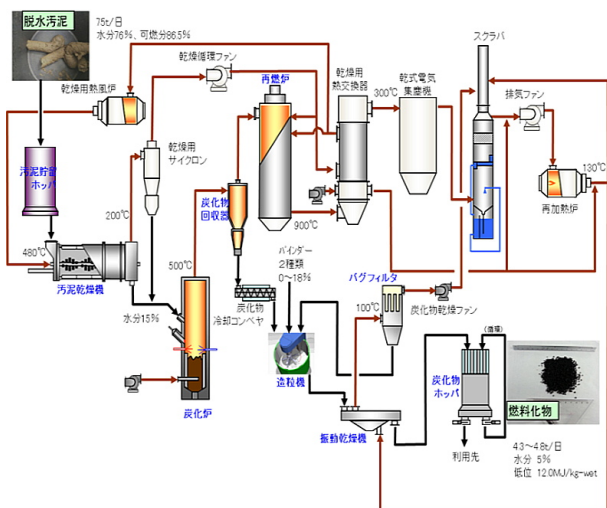


図 5.1.3 下水汚泥気泡流動炭化技術

術とは、前述の流動床式炭化技術の炭化炉の系式を循環流動床としたものであり、前後に配置される機器及び全体のフロー(図5.2.1)は同一である。ただ、その成立過程は、流動床式炭化技術のものとは全く違う流れがあるので、ここではその紹介をする。

当社における循環流動床式炭化炉のルーツは、下水汚泥ガス化炉^{3,4)}である。下水汚泥を酸素が足りない状態で加熱すると、下水汚泥中の有機物は固体である炭化物と気体である熱分解ガスに変成する。炭化技術が固体である炭化物を回収することを目的にしているのに対し、ガス化炉では、気体である熱分解ガスを回収することを目的としている。下水汚泥ガス化設備では、ガス化炉で熱分解ガスを回収し、熱分解ガスに水と熱を加え低分子ガスに改質することにより燃えやすくしエンジンに供給し発電する。そのフローシートを図5.2.2に示す。

ここでは技術として2つの形に分化しそのDNAの一部を残すこととなる。

一つは、燃焼による発生する地球温暖化ガスであるN₂Oの極小化を謳い文句とした新しいガス化炉である。そのフローを図5.2.3に示す。この技術では、汚泥をガス化したあとに、ガスに含まれている灰分を高温サイクロンにより除去することにより、高温燃焼時に灰分が溶融し形成されるクリンカの発生を抑えることができる。高温化(約900°C)が可能と

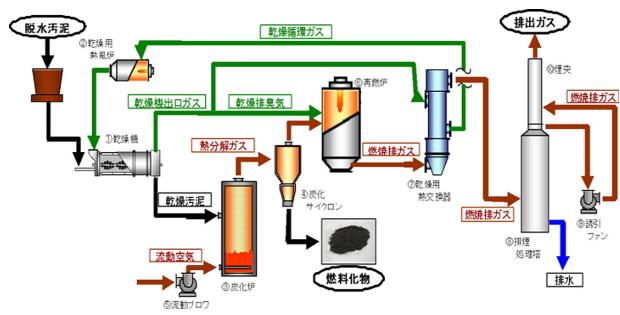


図 5.2.1 循環流動床式炭化技術フロー

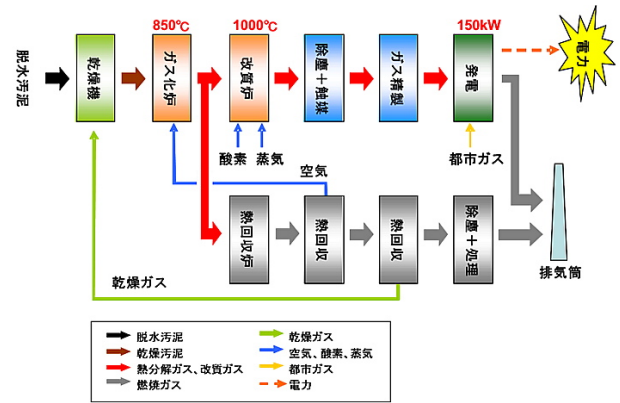


図 5.2.2 汚泥ガス化システムのフロー

なった再燃焼炉において N_2O を分解することが可能となった。

ガス炉より分化したもう一つの技術が循環流動床式炭化技術である。

炭化炉としての気泡流動炉と循環流動炉の比較を表 5.2.1 に示す。循環流動炉は、通常の流動炉と比較して、供給する空気の圧力が低いので電力消費量が低いという優位点を保有する一方、処理量の変動対応力が低く、処理量の変動吸収を前段に設置される汚泥貯留設備の容量及び、施設の運転時間に頼ることとなる。これは、循環流動炉の循環砂の循環量及び、組み込まれている循環砂回収用のサイクロンの特性が、炉の排ガス流量に大きく依存し、その流量対応範囲が限定的であることに起因する。

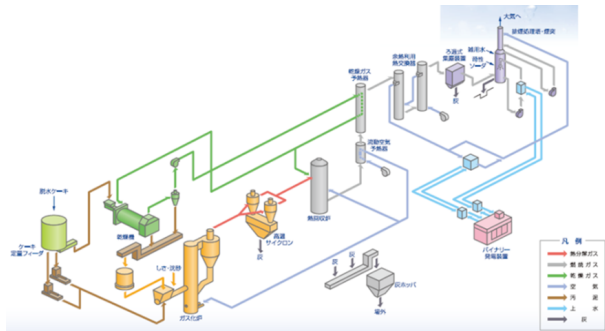


図 5.2.3 新しい汚泥ガス化システムのフロー

表 5.2.1 流動炭化炉の比較

	気泡流動床炭化炉	循環流動床炭化炉
電力使用量	密度の濃い砂層を流動させる為、流動空気圧力が高く、使用電力量が高くなる △	砂層の密度が薄いため、流動空気圧力が低く、流動プロア電力が低くなる。 ○
炭化物品質	炉内温度に分布があり、品質保持に細かい制御を要する。 △	炉内温度が均一であり、炭化物品質が安定する。 ○
建設費	設備がシンプル ○	循環流動炉として、建設費が高くなる。 △
負荷変動対応性	低負荷運転対応が可能 ○	低負荷運転に制限あり (min70%) △



図 6.1 Y 浄化センター炭化設備&吸水性陶管

6. キルン式炭化技術

キルン式炭化技術は、下水汚泥の炭化技術として国内で最も早く市場にでた技術である。2001年3月S県K浄化センターに20t/日の内熱式キルンが稼働開始した。当初の炭化製品は脱水助剤や緑農地利用が主な利用用途であった。

当社における一号機はN県Y町(現A市)に2003年3月に納入した5t/日の内熱式キルンである。炭化製品の用途は吸水性陶管の原料に多孔性を高めるための添加剤として利用された。

2005年には群馬県が「リン酸肥料原料向け低温炭化技術」として民間パートナーを公募、これに日本ガイシ(後に日本ガイシの環境装置部門と富士電機の環境装置部門が合併してメタウォーターとなり、技術も継承)が選定され、(財)下水道新技術機構と群馬県との新世代下水道支援事業に採択、知多事業所にてノエル社より導入したガス変換用外熱式キルン(図 6.2)を用いて実用化研究⁵⁾を行った(図 6.3)。

燃料化に対する当社の取り組みは、この技術を民間企業3社の共同開発⁶⁾という形態で商品化した。開発コンセプト(図 6.4)は競合技術となる乾燥造粒技術を意識し、高発熱量・低臭気・低自然発熱性をあわせもった炭化燃料を製造することとし、炉は



図 6.2 知多事業所実証キルン

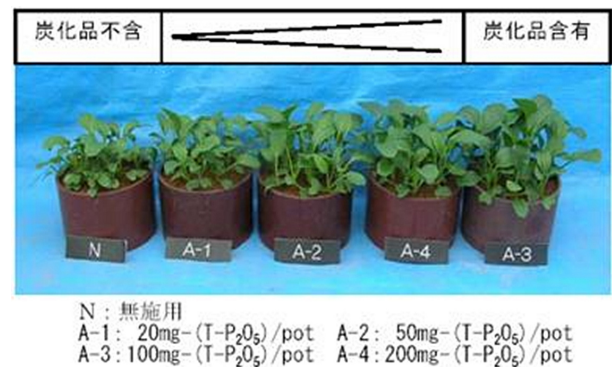


図 6.3 肥効試験

外熱キルンを採用し「低～中温炭化」技術を確立した。そのフローを図 6.5 に示す。

システムの特徴は、250℃～500℃と従来に比べ低温での炭化操作により汚泥中の有機分（カロリー）をより多く炭化物として回収する。製品の臭いは汚泥臭ではなく僅かな石油タール臭に抑えた。また、炭化工程前にペレタイズ造粒を組み込み、自然発火性を低減すると共に、製品ハンドリング性も向上させた。

本開発は先の知多事業所におけるガス変換用外熱キルンでの実証実験で得た知見が大いに活かされ、その後日本下水道事業団と 2006～2007 年度にわたり共同研究を実施し、技術評価認定を受けた。

本技術による燃料化設備は H 市、A 県などにて PPP 事業として運営中である。

7. 今後の展望

今後、社会の持続性を鑑みるにおいては、下水汚



図 6.4 製品コンセプト

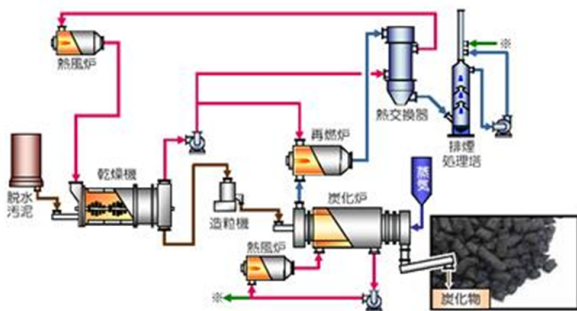


図 6.5 システムフロー

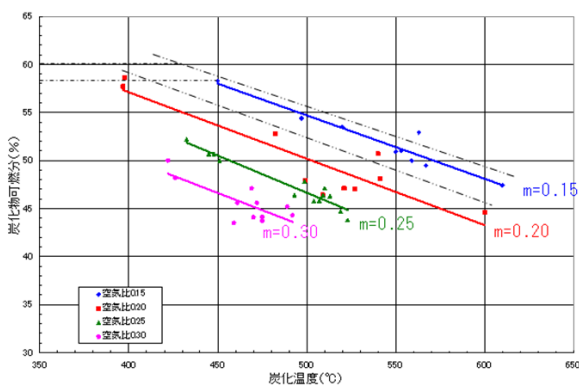


図 7.1 炭化物の発熱と炭化温度の関係

泥を含むバイオマス廃棄物の利活用追及は続いていくであろう。特に、「環境負荷の低減・有効利用の促進・コストの縮減」も加味した対応を進め、循環型社会の構築・地球温暖化防止といった社会的要請にも貢献していくことを目指していかなければならない。

特に下水汚泥のエネルギー利用に関しては、今回の炭化技術のように技術開発も進み、具体的な事例が多々、運用されている状況であり、今後もその推進を図っていく所存である。得られた技術知見を確実に後世に伝達し、きたるべきさらなる循環型社会の構築に備えることが重要であると考えます。

参考文献

- 1) 廃棄物研究財団・廃棄物処理技術開発支援概要書・流動床式ガス化溶融炉によるごみ処理技術(2000.12)
 - 2) 財)下水道新技術推進機構・建設技術審査証明書・下水汚泥加炭材(流動床式炭化炉にて製造する下水汚泥炭化物の電気炉製鋼用加炭材としての用途拡大)(2011.3)
 - 3) 財)下水道新技術推進機構・性能評価研究報告書・下水汚泥のガス化技術(2012.3)
 - 4) 東京都下水道局・再生と利用 Vol36 No.137・清瀬水再生センター汚泥ガス化炉の技術評価について(2012.10)
 - 5) 群馬県・エンジニアングレポート・リン酸肥料原料を確保するための下水汚泥炭化技術に関する共同研究(2006)
 - 6) 財)日本下水道事業団・共同研究研究成果報告書・石炭火力発電所に適した下水汚泥炭化燃料製造技術開発に関わる共同研究(2008)
- ※「財)下水道新技術推進機構」は現在、「公益財団法人 日本下水道新技術機構」

著者略歴



森永俊二郎(モリナガ シュンジロウ)

2002年4月株式会社日本ガイシ入社。2008年よりメタウォーター、主に都市ごみ溶融設備、リサイクル設備、下水汚泥焼却設備、炭化設備等の設計業務を担当。2021年7月より現職。主にPPP事業における計画業務に従事。