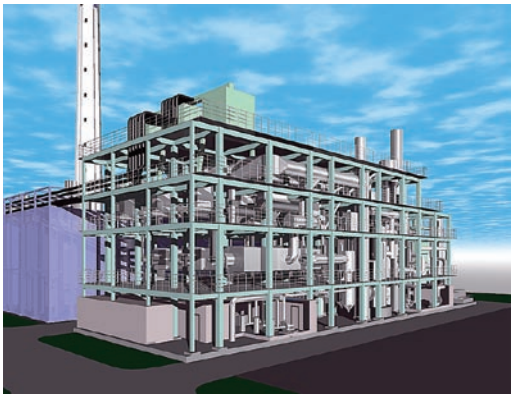
特　集　論　文



下水汚泥炭化燃料製造とバイオマス発電利用への取組み

Biomass Solid Fuel Production from Sewage Sludge with Pyrolysis and Co-firing in Coal Power Plant

古賀洋一[*1] Youichi Koga
遠藤雄樹[*2] Yuuki Endo
大貫博[*2] Hiroshi Oonuki
加倉田一晃[*2] Kazuaki Kakurata
甘利猛[*3] Takeshi Amari
小瀬公利[*4] Kimitoshi Ose

下水汚泥処理場での汚泥資源化，温暖化ガス排出抑制ニーズと，火力発電所でのカーボンフリーな化石燃料代替ニーズの両者を解決することが可能な技術として，下水汚泥を発電燃料に資源化するための炭化システムを開発した．本システムは既に木屑ガス化発電施設として実用化した間接加熱式ロータリーキルンを主機として構成するシステムであり，下水汚泥から安定的に，かつ効率的に炭化物を製造することが可能である．下水汚泥を炭化燃料化して，発電用燃料として利用する世界初の取組みに向けて，当社は，バイオ燃料(株)より，下水汚泥炭化設備の建設工事を受注し建設中であり，平成 19 年内の竣工の予定である．

1. は　じ　め　に

地球温暖化防止に向けた温室効果ガスの削減，循環型社会の形成に向けた廃棄物の有効利用の観点より，新エネルギーの一つであるバイオマス利用が推進されている．バイオマス資源のエネルギー利用にあたっては，供給の安定性や，性状の変動，経済性の課題の解決や，バイオマス資源の収集，エネルギー変換，利用に際する関連する事業者間のニーズに合致した仕組みを見いだす必要がある．

当社では，環境・エネルギーのソリューションに向けて，これまで培ってきた環境装置技術，エネルギー変換技術をもとに，種々のバイオマスに対応するエネルギー変換，利用技術の開発，実用化に取り組んでいる．この一貫として，供給および性状の安定性に優れ，資源化及び温暖化ガス排出低減ニーズのある下水汚泥処理と，火力発電所におけるカーボンニュートラル燃料利用ニーズの両者を解決することができる技術として，下水汚泥を発電用燃料として資源化するための炭化システムを開発した．

本稿では，世界初の“下水汚泥炭化事業”の実現に向けての上記取組み状況について紹介する．

2. 下水汚泥炭化システムの概要と特長

2. 1　システムの概要

図 1 に炭化システムのフロー図を，表 1 にはシステムの主な仕様を示す．

下水汚泥炭化燃料の性状を安定で，安全なものとし，

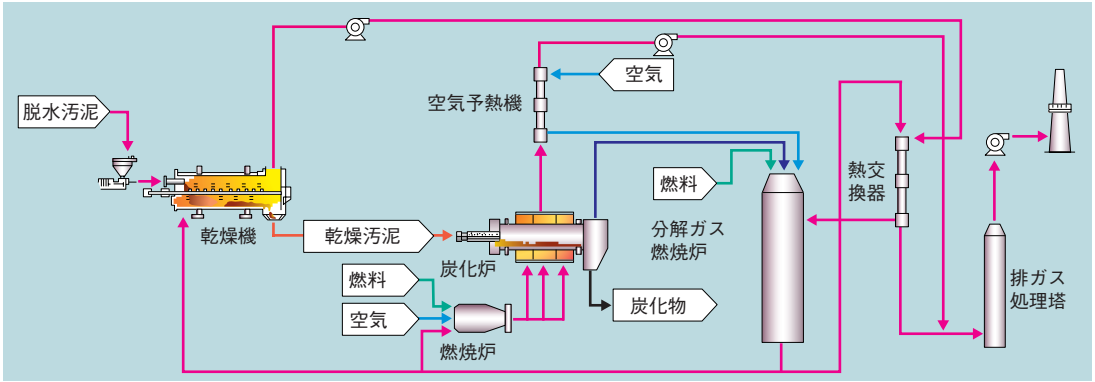


図 1　下水汚泥炭化システムフロー図
プラントのシステム構成図．

[*1] 横浜製作所環境ソリューション部計画開発グループ長
[*2] 横浜製作所環境ソリューション部計画開発グループ
[*3] 技術本部横浜研究所流体・伝熱研究室
[*4] 技術本部横浜研究所技監・主幹

表１　下水汚泥炭化システムの主要機器仕様

項　目	仕　様
乾燥機	ロータリーキルン式撹拌機付熱風乾燥機
炭化炉	間接加熱式ロータリーキルン
熱分解ガス燃焼炉	耐火断熱式円筒炉
排ガス処理	湿式ガス洗浄塔

かつ，少ない助燃料で炭化可能なシステムを実現するために，当社の技術を結集し，以下に示すシステムを構築した．

本システムは，乾燥工程，炭化工程，熱分解ガス燃焼・廃熱回収工程，排ガス処理工程で構成される．乾燥工程は攪拌機付熱風乾燥機による直接乾燥方式を用い，水分約 76 %の脱水汚泥を水分約 25 %に乾燥する．本方式では，回転ドラム内へ投入された脱水汚泥は内部に取り付けられた攪拌機により攪拌されながら 800 ～ 850 ℃の高温排ガスと直接接触させることにより効率的に乾燥される．汚泥を乾燥した約 200 ℃の乾燥機排ガスは，後述の燃焼工程で燃焼・脱臭される．乾燥汚泥の含水率を約 25 %とすることでシステムの助燃料消費量低減に寄与すると共に，後段の炭化工程での水分負荷変動の影響を低減することができる．

炭化工程では，乾燥汚泥を，間接加熱式ロータリーキルンにより低酸素雰囲気で約 500 ℃に加熱・熱分解することにより炭化物を得る．本方式では約 950 ～ 1 100 ℃の高温ガスにより，乾燥汚泥を間接的に加熱・熱分解する．生成した炭化物は冷却コンベヤで冷却後，自己発熱防止のために加湿を行い炭化燃料として取扱う．

熱分解ガス燃焼・廃熱回収工程では，独立した燃焼炉（熱分解ガス燃焼炉）により，炭化炉で発生した熱分解ガスおよび乾燥機排ガスを空気とともに吹き込み，高温（950 ℃）で燃焼させる．燃焼排ガスの一部は間接加熱式ロータリーキルンの熱源として利用される．また，熱分解ガスの燃焼排ガスは乾燥機排ガスと，炭化炉加熱後の燃焼排ガスは燃焼空気とそれぞれ熱交換を行ない，廃熱を回収する．

排ガス処理工程では燃焼工程で発生する排ガスを，排煙処理塔で脱硫（SOx）・脱塩（HCl）の上，冷却・減湿し，必要に応じて湿式電気集塵機でばいじん除去を行う．さらに，必要に応じて，煙突出口での白煙防止を行う．

2. 2　システムの特長

(1) 間接加熱による安定した炭化処理

ロータリーキルンの外側からの高温燃焼ガスによる間接加熱方式を採用することにより，キルン内部で直接燃焼させる方式に比べると水分蒸発及び加熱昇温が緩慢で，汚泥の含水率の変動に対しても熱分解条件の急激な変動を起こすことがなく，安定した加熱熱分解が可能である．

また，本キルンはキルン外周の加熱ガス用外筒の内部を長手方向に複数の区画に分割した構造としており，それぞれの加熱ガス量の調節が可能な特長を持つ．本構造の採用により汚泥中の水分に応じた適正な熱量配分が可能となるため，安定した熱分解ガス化により，一定品質の炭化物を得ることが出来る．

(2) 熱分解ガスの高温クリーン燃焼と熱源としての利用

本システムでは，独立した熱分解ガス燃焼炉を設置し，熱分解ガスを高温でクリーン燃焼すると共に，臭気成分を含有する乾燥機排ガスもこの燃焼炉で燃焼脱臭を図る．独立した燃焼炉とすることで熱分解ガスを適正な空気比，燃焼温度で燃焼させることができ，安定したクリーン燃焼が可能となり，また一般に下水汚泥処理に採用されている流動床式焼却設備と比較して，二酸化炭素の 310 倍の温室効果を持つ亜酸化窒素の排出量を大幅に低減可能である．

(3) 廃熱の回収利用による助燃料の低減

下水汚泥自身から発生する熱分解ガスの燃焼熱を，乾燥，炭化工程の熱源に効率よく利用するために，本システムは複数の熱交換器を配している．間接加熱式ロータリーキルンを加熱したあとの燃焼排ガスは，燃焼空気の予熱の熱源に用いる．熱分解ガスの燃焼排ガスは，乾燥機排ガスを燃焼炉に導く前に予熱するための熱源に用いる．これら燃焼排ガスからの熱回収により，助燃料を低減している．

3. 実用化に向けた技術開発

当社は，下水汚泥炭化物を発電燃料として利用する東京電力(株)と共同開発を行った中で，下水汚泥から炭化燃料を製造する炭化システムと，炭化燃料の微粉炭焚きボイラでの混焼利用に関して，図２に示す検証

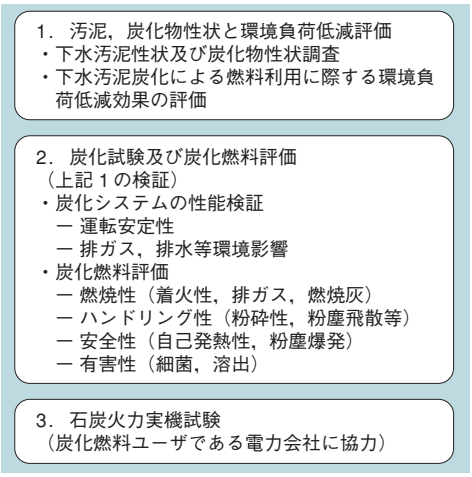


図２　炭化システム及び燃料利用に向けての主要な検証・評価項目
実用化に向けての取組み．

図３　実証設備の外観
実証設備の外観を示す.

を行ってきた．これらのうち，炭化システムの運転性の検証及び炭化燃料の評価について以下に示す.

(1) 炭化システムの運転性の検証

乾燥機と炭化炉の組み合わせからなるシステムの実機における運用を想定し，一体システムを用いて入口投入量変動などの条件を与え，システムの安定運転性と，生成燃料の性状の安定性を検証すべく試験を実施した．図３に試験設備の外観を示す．本設備は当社横浜製作所で稼動中の汚泥炭化設備に乾燥設備を追設したものであり，熱分解ガスの燃焼排ガスが乾燥機及び炭化炉の熱源となり，それぞれ乾燥処理，炭化処理を行うものである.

乾燥機の運転方法は，熱分解ガス燃焼炉の高温排ガスを，乾燥機出口のファンにより乾燥機内に導き，乾燥機出口の乾燥排ガス温度が約 200 ℃になるように熱分解ガス燃焼炉からの高温排ガス量を調節することにより乾燥汚泥水分を約 25 %に調節する．炭化炉においては，炭化温度が約 500 ℃になるように，熱分解ガス燃焼炉の排ガス量を調節することで炭化条件を調節する．また，炭化炉の入口に熱風発生炉を設置し，熱分解ガス燃焼炉の排ガス温度を任意の温度に調整し，炭化炉の加熱源として利用する．図４に試験結果を示す．同図は汚泥供給量を変動させた際のシステムの安定性を検証したものである．乾燥汚泥の水分は脱水汚泥の供給量を 60 ～ 40 kg/h に変動させても 25 ± 10 %程度で安定して運転されており，また炭化温度も安定制御されている．得られた炭化物の発熱量は図４(c)に示すとおり安定している.

(2) 炭化燃料性状の評価

表２には下水汚泥および炭化燃料の性状と外観を示す．炭化燃料は石炭のおよそ２分の１の発熱量を有する．粒径は数 mm であり，既存の微粉炭焚きボイラの石炭と同様なハンドリングが可能である.

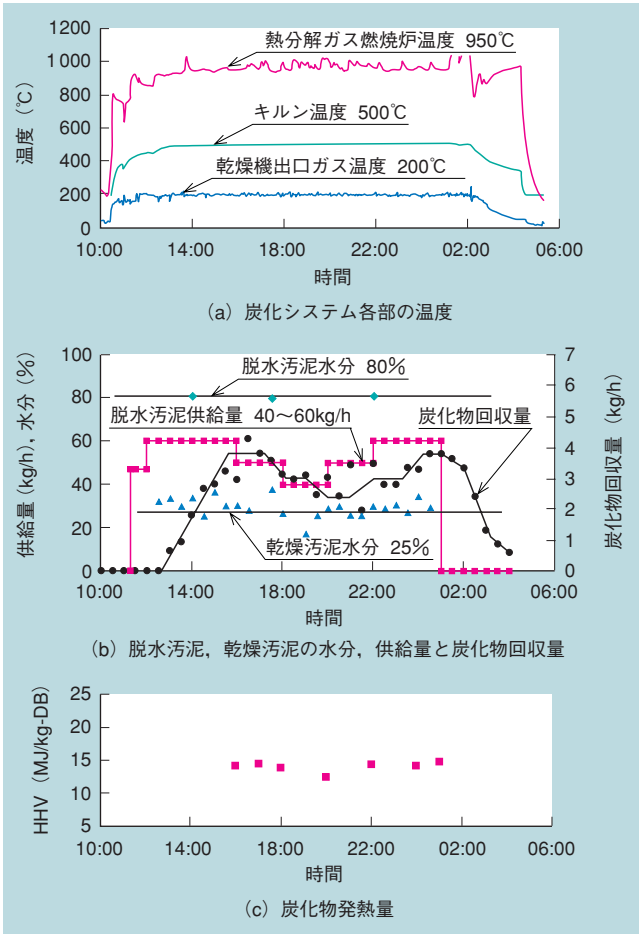


図４　炭化システムの運転状況
乾燥機出口温度と，炭化温度を一定に制御し，安定的に炭化物を製造できる.

表２　下水汚泥及び炭化物の性状

		脱水汚泥	炭化物
水　分	(wt. %－WB)	79.7	—
灰　分	(wt. %－DB)	17.7	55.3
可燃分	(wt. %－DB)	82.3	44.7
C	(wt. %－DB)	44.4	38.6
H	(wt. %－DB)	6.5	0.8
N	(wt. %－DB)	4.5	3.0
S	(wt. %－DB)	0.82	0.62
Cl	(wt. %－DB)	0.09	0.05
HHV	(kJ/kg－DB) (kcal/kg－DB)	20040 (4790)	13950 (3330)
炭化燃料外観			

粉砕性は良好で微粉炭機で問題なく粉砕でき，石炭との数 cal %での混焼では着火性，燃焼性も問題ないことが，燃焼試験で確認されている.

下水汚泥炭化物は，石炭と同様に自己発熱性を有するが，炭化システムにおける炭化温度により抑制

が可能である．さらに，炭化物は 10 ～ 20 %に加湿を行うことで自己発熱を抑制する．

4. 下水汚泥炭化燃料化技術の実用化状況

当社は，下水汚泥炭化事業を行うバイオ燃料㈱（東京電力㈱子会社）より，下水汚泥炭化設備の建設工事を受注し，現在，東京都東部スラッジプラント内に建設中である．竣工は平成 19 年内を予定しており，これにより，年間 99 000 千トンの汚泥から，8 700 トンの炭化燃料を製造して石炭の一部代替燃料として利用する計画である．

5. ま　と　め

下水汚泥の炭化システムの開発，製造燃料の発電用燃料利用に関する検討，及び国内初となる下水汚泥炭化事業の事業化の現況を紹介した．

今後これら成果の実用化，普及を図り，カーボンニュートラルであるバイオマス資源の有効利用促進という社会要請にこたえると共に，さらなる改良や，新技術開発を推進する所存である．

古賀洋一

遠藤雄樹

大貫博

加倉田一晃

甘利猛

小瀬公利