

# 性能指標の設定による汚泥焼却技術のエネルギー効率化の促進

渡邊航介・太田太一・山下洋正

## 1. はじめに

2015年にCOP21で採択されたパリ協定や、国連に提出された日本の約束草案を踏まえ、2016年には地球温暖化対策を総合的かつ計画的に推進するため地球温暖化対策計画<sup>1)</sup>が閣議決定された。この地球温暖化対策計画では、水・汚泥処理技術に関連する目標として、処理水量当たりエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量を2030年に0.15t-CO<sub>2</sub>/km<sup>3</sup>とすることが掲げられている。

また、国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）下水道研究部では、2011年度より、国土交通省下水道部と連携し、「下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）」を実施している。B-DASHプロジェクトでは、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出等を実現することを目的としている。2013年には「脱水・燃焼・発電を全体最適化した革新的下水汚泥エネルギー転換システムの実証事業」及び「下水道バイオマスからの電力創造システム実証事業」において汚泥焼却・発電に関する技術が実証され、2015年にガイドライン化を行う等、新技術の実用化への取り組みを進めている。

B-DASH技術を含む新技術を普及し、汚泥焼却技術のエネルギー効率化を促進するには、省エネ・創エネに対する性能指標を設定し、各技術間の性能を定量的に比較・評価することが重要である。本稿では、上記を踏まえ、地球温暖化対策計画の目標を満たす汚泥焼却技術のエネルギー効率についての性能指標の考え方を提示し、現状の国内の焼却炉の性能を踏まえた基準年値及び目標値を設定した。また、2013年採択のB-DASH技術その他新技術の性能と比較することにより、性能指標の目標値が達成可能であるか、妥当性の検討を行った結果について報告する。

## 2. 性能指標の設定方法

### 2.1 地球温暖化対策計画における目標

地球温暖化対策計画では、下水道における省エネ・創エネ対策として、下水処理場における省エネによるCO<sub>2</sub>排出削減、下水汚泥等を利用した発電や固形燃料供給等による化石燃料の代替を通じたCO<sub>2</sub>排出削減が掲げられている。具体的には、2013年における処理水量当たりエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量0.28t-CO<sub>2</sub>/km<sup>3</sup>を、2030年に0.15t-CO<sub>2</sub>/km<sup>3</sup>とすることとしている。これは、下水処理水量当たりのエネルギー消費量が毎年1.26%減少し、2030年に約70万t-CO<sub>2</sub>の削減がなされることを想定し、設定されている。

### 2.2 性能指標の基準年値及び目標値の設定

地球温暖化対策計画の目標を達成するため、汚泥焼却技術にも同程度の目標を設定することを試みた。「下水処理水量当たりのエネルギー消費量」を「投入脱水汚泥量当たりのエネルギー消費量」と置き換え、さらに湿重量ベースでは汚泥性状による影響が大きくなることが予想されるため乾燥重量ベースで評価することとした。また、エネルギー消費量を電力消費量として評価することとし、補助燃料についても熱量を電力量に換算して含むこととした。このように地球温暖化対策計画の対象を汚泥焼却技術に置き換え、目標は同様に電力消費量を毎年1.26%削減することとし、2030年に21.42%削減することとした。なお、今後導入される汚泥焼却設備は10年以上使用されることが想定されるため削減目標は21.42%で一律とした。地球温暖化対策計画及び本研究における目標値を表-1にまとめる。

2013年の下水道統計より、脱水設備及び焼却設備（炭化炉を除く）を有する処理場の中から、条件を単純化するため脱水汚泥量と焼却炉に投入する汚泥量が概ね一致するものを対象として選定し、現状の焼却設備における電力消費量、燃料使用量を調査した。また、下水道統計では焼却設備のみの電力消費量は記載がないため、汚泥処理設

備の電力消費量から、国総研で過去に調査した脱水設備の電力消費量の平均値（表-2）を一律に差し引くことで、焼却設備の電力消費量と同等と見なすこととした。なお、固形物量当たりの電力消費量は規模に依らず一定と仮定した。また、今回調査対象とした処理場ではほとんどが重力濃縮を行っていたため、濃縮設備の電力消費量は0.007千kWh/t-DSと小さく無視した。

上記の方針により2013年度の電力消費量の実績を調査し、各処理場における基準年値とし、これを21.42%低減させたものを目標値と設定した。基準年値、目標値を式(1)、式(2)によりそれぞれ設定した。

表-1 地球温暖化対策計画及び本研究における目標値

	地球温暖化対策計画における目標	本研究で設定する目標
対象	エネルギー起源CO <sub>2</sub> 排出量	焼却設備に関する電力消費量
目標	エネルギー起源CO <sub>2</sub> 排出量 0.15t-CO <sub>2</sub> /千m <sup>3</sup> (2030年)	電力消費量 21.42%削減 (2013年基準)
目標の設定根拠	下水処理水量当たりのエネルギー消費量が毎年1.26%減少	1.26%/年の減少より2013年から2030年で1.26×(2030-2013)=21.42%の削減

$$Y1 = (A + B \times C \div D) \div X - E \text{-----式(1)}$$

$$Y2 = Y1 \times \{(100 - 21.42) \div 100\} \text{-----式(2)}$$

Y1：各処理場における基準年値 [千kWh/t-DS]

Y2：各処理場における目標値 [千kWh/t-DS]

X：2013年度下水道統計における

年間焼却炉投入固形物量 [t-DS/年]

A：2013年度下水道統計における

汚泥処理設備の年間電力消費量 [千kWh/年]

B：2013年度下水道統計における

焼却設備の年間燃料消費量 [千kL/年]

C：燃料種別の単位発熱量 [MJ/kL]

D：電力の一次換算投入熱量 9.5 [MJ/kWh]<sup>2)</sup>

E：脱水設備の電力消費量 0.0792 [千kWh/t-DS]

表-2 脱水設備の電力消費量

	電力消費量	固形物量当たりの電力消費量	固形物量当たりの電力消費量(平均値)
	千kWh/日	千kWh/t-DS	千kWh/t-DS
ベルトプレス	1.272	0.0814	0.0792
遠心	1.836	0.1150	
スクリュープレス	0.955	0.0598	
回転加圧	0.968	0.0607	

### 2.3 性能指標と新技術のエネルギー効率の比較

本研究で設定した性能指標が妥当なものであるか検討を行うため、2013年採択のB-DASH技術2件及び新型炉として近年導入されている多段吹込燃焼式流動炉、二段燃焼式循環流動炉、ストーカ炉、過給式流動焼却炉の電力消費量を調査した。

## 3. B-DASH技術その他新技術の概要

汚泥焼却・発電技術に関するB-DASH技術及び近年導入が進んでいる比較的新しい炉を新型炉と位置づけ調査し、概要をまとめる。

### 3.1 B-DASH技術の概要

B-DASHプロジェクトにより実証された汚泥焼却技術は2013年採択の汚泥焼却・発電技術2件であり、これらは焼却炉に発電技術を組み合わせた技術である。本稿ではそれぞれB-DASH技術①及び②とする。

#### 3.1.1 B-DASH技術①の概要<sup>3)</sup>

本技術は「脱水・燃焼・発電を全体最適化した革新的下水汚泥エネルギー転換システムの実証事業」においてメタウォーター（株）、池田市共同研究体により実証された技術であり、①低含水脱水技術、②低空気比省エネ燃焼技術、③高効率排熱発電技術の3つの要素技術を組み合わせた革新的技術である。これらを導入することにより、100t-wet/日規模において従来の一液調質型脱水機と流動炉を組み合わせたものと比較し、LCCが31%、エネルギー消費量が77%低減されることが実証された。B-DASH技術①の概要を図-1に示す。また、実証結果を用いて試算したB-DASH技術①の電力消費量を表-3に示す。

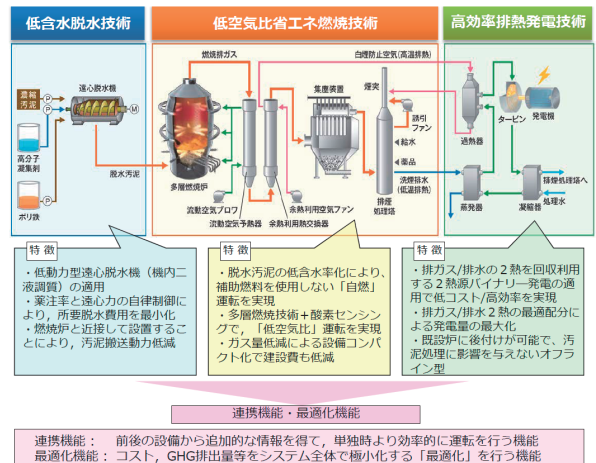


図-1 B-DASH技術①の概要

表-3 B-DASH技術①の電力消費量

焼却設備規模 t-DS/日	電力消費量		発電量 千kWh/年	燃料消費量 kL/年	固形物当たりの 電力消費量 千kWh/t-DS
	焼却 千kWh/年	発電 千kWh/年			
24	1641	89	1029	26.7	0.116
48	3167	121	2332	51.5	0.083
72	4693	153	3636	77.1	0.073

※電力消費量（発電）：発電設備で消費する電力量  
 発電量：発電設備で発電する電力量

### 3.1.2 B-DASH技術②の概要<sup>4)</sup>

本技術は「下水道バイオマスからの電力創造システム実証事業」において和歌山市、日本下水道事業団、京都大学、(株)西原環境、(株)タクマ共同研究体により実証された技術であり、①低含水率化技術、②エネルギー回収技術、③エネルギー発電技術の3つの要素技術を組み合わせた革新的技術である。これらを導入することにより、24t-DS/日規模において従来の一液調質型脱水機と流動炉を組み合わせたものと比較し、LCCが37%、エネルギー消費量が70%低減されることが実証された。B-DASH技術②の概要を図-2に示す。また、実証結果を用いて試算したB-DASH技術②の電力消費量を表-4に示す。

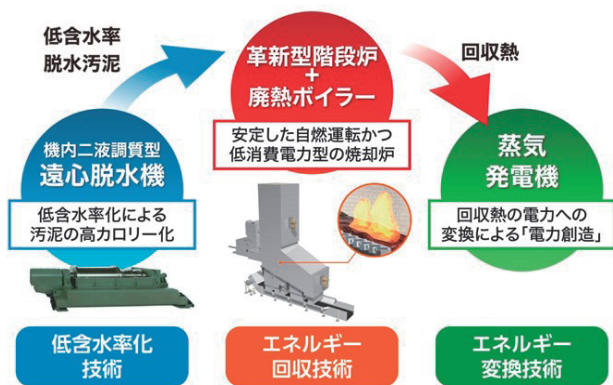


図-2 B-DASH技術②の概要

表-4 B-DASH技術②の電力消費量

焼却設備規模 t-DS/日	電力消費量		発電量 千kWh/年	燃料消費量 kL/年	固形物当たりの 電力消費量 千kWh/t-DS
	焼却 千kWh/年	発電 千kWh/年			
12	688	0	1162	1.2	-0.132
24	1184	0	2402	2.4	-0.170
36	1633	0	3851	3.5	-0.207

※電力消費量（発電）：発電設備で消費する電力量  
 発電量：発電設備で発電する電力量

### 3.2 新型炉の概要

2015年に国総研よりメーカーヒアリングを実施した。各技術の概要を下記にまとめる。なお、本研究では、比較的新しく、下水汚泥エネルギー

化技術ガイドラインにおいて高温焼却以下のN<sub>2</sub>O排出係数である炉を新型炉と位置づけている。

#### 3.2.1 多段吹込燃焼式流動炉の概要

炉内を鉛直方向に層状分割し、各層の反応場を分けることでN<sub>2</sub>O排出量を抑制する。汚泥酸化抑制ゾーンでは1次空気量を減少させることでN<sub>2</sub>O生成を抑制し、層状燃焼ゾーンでは2次、3次空気量制御により高温ゾーンを形成することでN<sub>2</sub>O分解を促進させる。

#### 3.2.2 二段燃焼式循環流動炉の概要

本炉は、熱分解ゾーンと完全燃焼ゾーンの2つから構成されており、流動炉の砂層部が熱分解ゾーン、フリーボード部が完全燃焼ゾーンに相当する。完全燃焼ゾーンを分離して二次空気を吹き込むことにより900℃程度の局所高温部を作ることによってN<sub>2</sub>O生成を抑制している。また、熱分解ゾーンには循環炉を採用することで炉内温度の安定維持、汚泥性状や負荷の変動に強いため、し渣・沈砂の混焼への対応を容易としている。

#### 3.2.3 ストーカ炉の概要

ストーカと呼ばれる階段状に並んだ火格子上に汚泥を投入し、後段の廃熱ボイラにより焼却廃熱を回収し、蒸気を発生させる。この蒸気は乾燥機の熱源やその他熱利用設備に利用される。

#### 3.2.4 過給式流動焼却炉の概要

気泡流動炉と過給機を組み合わせたシステムであり、脱水汚泥を約130kPaGの圧力下で汚泥を燃焼させる。発生した燃焼排ガスにより過給機タービンを駆動して圧縮空気を製造し、これを燃焼空気として焼却炉に供給する。

## 4. 性能指標の妥当性の検討

2013年の下水道統計より調査した値、基準年値の算定曲線（式(1)より求めた値の近似式）、目標値の算定曲線（式(2)より求めた値の近似式）、B-DASH技術・新型炉の焼却炉投入固形物量当たりの電力消費量を図-3にまとめる。また、基準年値及び目標値の算定式を表-5に示す。

図-3より、現状では多くの既設の焼却炉において目標値は満たされていないが、更新の際に新型炉やB-DASH技術を導入することにより達成することができることを確認した。

なお、図-3より見て取れるように小規模の処理場においては厳しい指標となっており、焼却が効



率的となり得る規模についても留意が必要である。

また、新たに焼却設備を導入する際には計画する電力消費量が目標値を満たすことで、従来技術よりも消費電力削減率が約20%以上であることが確認でき、式(3)により具体的な消費電力削減率を算出することが可能である。

$$Y3 = \{1 - (F \div G)\} \times 100 \dots \dots \dots \text{式(3)}$$

Y3 : 消費電力削減率 [%]

F : 計画する焼却設備の電力消費量 [kWh/t-DS]

G : 基準年値 [kWh/t-DS]

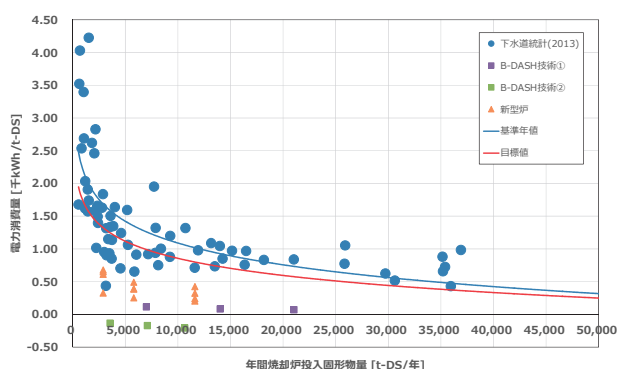


図-3 性能指標とB-DASH技術その他新技術のエネルギー効率との比較

表-5 性能指標の基準年値及び目標値

	算定式	R <sup>2</sup> 値
基準年値	$Y = -0.48 \ln(X) + 5.51$	0.4798
目標値	$Y = -0.377 \ln(X) + 4.33$	—

Y : 電力消費量 [kWh/t-DS]

X : 年間焼却炉投入固形物量 [t-DS/年]

## 5. まとめ

本研究により、地球温暖化対策計画を踏まえた汚泥焼却設備のエネルギー効率に関する性能指標

を設定した。現状では多くの既設の焼却炉において性能指標の目標値を満たせていないが、B-DASH技術その他新技術を導入することで達成可能であることを確認した。また、導入を計画する焼却設備について、その電力消費量及び本性能指標の基準年値の試算に基づき、従来技術と比較した消費電力削減率を算出可能とした。

なお、本性能指標による汚泥焼却技術のエネルギー効率に関する技術基準案を踏まえ、2017年9月には国水事第38号「下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技術の導入について」において、本研究で設定した性能指標を参考とし、技術導入の指標の一部として用いられる運びとなった。今後も革新的技術の実証、性能指標案の提示等により、エネルギー効率に優れた下水道技術の普及展開に努めたい。

## 謝 辞

本研究の一部はメタウォーター（株）、池田市共同研究体及び和歌山市、日本下水道事業団、京都大学、(株)西原環境、(株)タクマ共同研究体への委託研究による成果を使用している。記して謝意を表するものである。

## 参考文献

- 1) 地球温暖化対策計画、2016年閣議決定
- 2) 戒能一成、エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数の改訂案について、2014
- 3) 国土技術政策総合研究所資料第859号：B-DASHプロジェクトNo.9脱水・燃焼・発電を全体最適化した革新的下水汚泥エネルギー転換システム導入ガイドライン(案)、2015
- 4) 国土技術政策総合研究所資料第860号：B-DASHプロジェクトNo.10下水道バイオマスからの電力創造システム導入ガイドライン(案)、2015

渡邊航介



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 交流研究員  
Kohsuke WATANABE

太田太一



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 主任研究官  
Taichi OTA

山下洋正



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室長、現 地方共同法人日本下水道事業団技術戦略部上席調査役 兼 技術開発企画課長  
Hiromasa YAMASHITA