

省エネルギー型温室効果ガス削減技術 を利用した下水汚泥焼却

大野 卓哉

元 茨城県流域下水道事務所 (〒300-0032 茨城県土浦市湖北2-8-1)

現 茨城県土木部 営繕課 (〒310-8555 茨城県水戸市笠原町978番6)

温室効果ガスの一つである一酸化二窒素（以下「 N_2O 」という。）は下水汚泥を焼却する際に発生することから、地球温暖化対策の取り組みとして、その削減が急務となっている。一方で、これまでに N_2O 排出量削減を目的とした対策として焼却炉の高温化（以下「高温焼却」という。）が実施されているが、高温焼却に伴う補助燃料のコスト増も問題となっている。このことから、その両方の削減を目的として、省エネルギー型温室効果ガス削減技術を利用した多層燃焼流動炉を採用した。その結果、従来運転時と比較して N_2O 排出量を50～70%削減し、燃料使用量も高温焼却したにも関わらず従来の焼却時よりも削減することができた。

キーワード 温室効果ガス、地球温暖化対策、高温焼却、省エネルギー型、多層燃焼流動炉

1. はじめに

地球温暖化対策の取り組みの一つとして、温室効果ガスの削減があげられる。我が国の温室効果ガスの排出量は1,212百万トン- CO_2 /年（2019年）¹⁾であり、そのうち下水処理工程では約5.3百万トン- CO_2 /年²⁾の温室効果ガスを排出している。下水処理工程で排出される温室効果ガスのうち、 N_2O は下水汚泥を焼却する際に発生し、約2割を占めている²⁾。

一方で、これまでに N_2O 排出量削減を目的とした対策として高温焼却が実施されているが、高温焼却に伴う補助燃料のコスト増も問題となっている。このため、省エネルギー型温室効果ガス削減技術を利用した汚泥焼却炉を採用し、温室効果ガスの排出量削減及び補助燃料の削減を図った。

2. 処理場概要

(1) 霞ヶ浦浄化センターの概要

土浦市・石岡市の一部・かすみがうら市の一部・小美玉市・阿見町の5市町を対象として、昭和48年に事業に着手し、昭和54年1月から供用開始している。

事業概要は以下のとおり。

- ・幹線管渠：57.0km
- ・処理能力：107,000 m^3 /日
- ・処理場面積：24.9ha

- ・処理水量：82,935 m^3 /日（R3晴天日日平均実績）

(2) 焼却炉の概要

当処理場では、2基の焼却炉が稼働しており、年間で約25,000 tの脱水汚泥を焼却し、年間約1,250 tの焼却灰を外部へ搬出している。

（設備概要）

- ・2号炉（流動焼却炉50 t）：平成7年4月稼働開始
（今回改築対象）
- ・3号炉（流動焼却炉50 t）：平成12年7月稼働開始

(3) 今回工事の概要

- ・老朽化した設備の更新
- ・炉の多層燃焼化

3. 現状と課題

(1) 流動焼却炉

汚泥を焼却する目的は、減量化と安定化である。汚泥中の有機物が燃焼し、水分が蒸発することにより大幅に減量化され、焼却残渣として無機物である灰のみが残るため安定化する。

炉内の流動層を形成する流動媒体（一般的には珪砂）が、下から吹き上げられる空気により、水の沸騰状態のような挙動で炉内を流動し、補助燃料によって熱せられる。その中に供給された脱水汚泥が、流動槽内の流動媒体と接触し、熱を受けることにより短時間のうちに粉砕、

乾燥、焼却される。

炉から排出される焼却灰は約50～300 μm の細かい粒子となり、集塵装置によって捕集され、燃焼ガスは排ガス処理され、大気へ放出される。

(2) 流動焼却炉における課題

下水中に含まれる窒素成分は、焼却工程からその多くが排出される。また、 N_2O の地球温暖化係数が310(二酸化炭素の310倍)と大きいことから、温室効果ガスの総排出量に占める割合が大きい³⁾。

流動焼却炉は、焼却効率が高く未燃焼分が少ない、排ガスの臭気対策が不要、維持管理が容易などの理由から、近年採用が多くなっているが、他の焼却方法に比べ N_2O 排出係数が大きいという課題がある。

4. 対策(高温焼却)

(1) 高温焼却による N_2O 削減効果

国土交通省がとりまとめた「下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き」⁴⁾や東京都下水道局の調査結果⁵⁾では、流動焼却炉における N_2O の削減方策として高温焼却の有効性が示されている。

図-1に示すように燃焼温度を850 $^{\circ}\text{C}$ の高温焼却とする

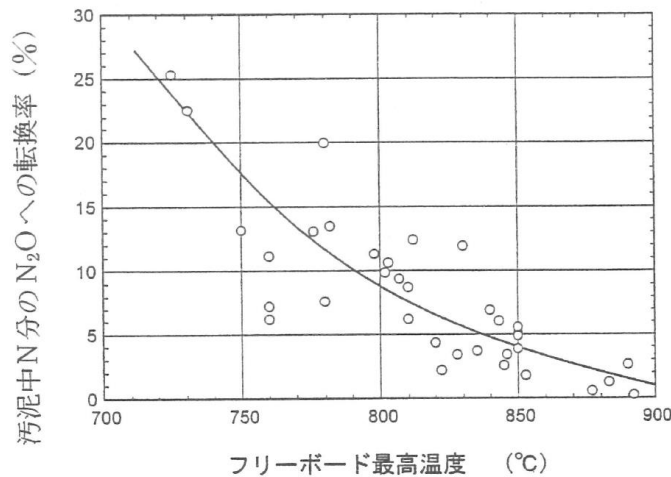


図-1 フリーボード最高温度と汚泥中N分の N_2O への転換率の関係⁶⁾

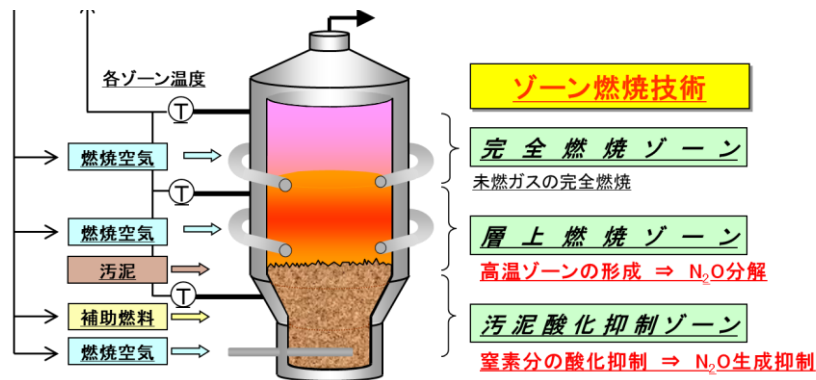


図-2 多層燃焼制御技術概念図

ことで、 N_2O を削減することが可能である。一方で、高温焼却する場合、使用燃料の増大に伴うエネルギー起源 CO_2 排出量相当分が増加し、850 $^{\circ}\text{C}$ を超えると、補助燃料による CO_2 排出量が N_2O 減少分を上回り、対策の効果は期待できないと記されている⁹⁾。このことから下水道施設計画・設計指針の解説((公社)日本下水道協会発行)においても、平成13年に流動焼却炉の燃焼温度を850 $^{\circ}\text{C}$ とすることが明確化されている。

5. 対策(多層燃焼技術)

(1) 多層燃焼の概要

図-2に多層燃焼技術の概念図を示す。本技術は空気供給位置及び空気比のコントロールにより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_2O 排出量の低減、かつ補助燃料の使用量の低減することを目的とした技術である。以下に各ゾーンでの役割を示す。

【汚泥酸化抑制ゾーン】

一次空気(流動空気)量を低減することで、汚泥中窒素分の酸化による N_2O の生成を抑制する。この領域には、流動媒体が堆積しており砂層と称される。

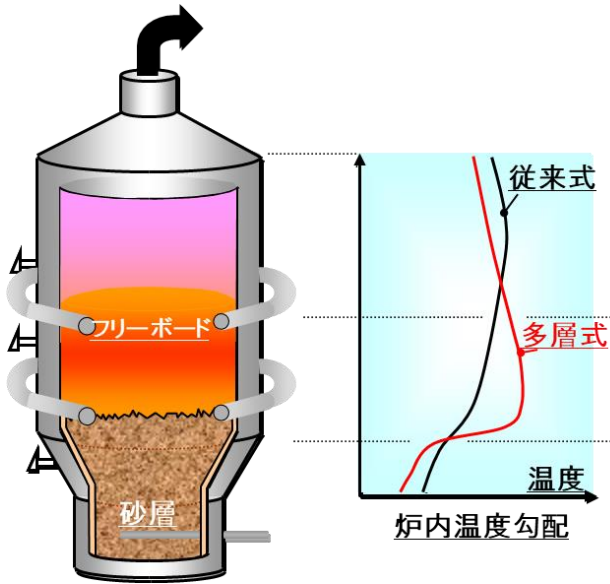


図-3 炉内温度勾配比較

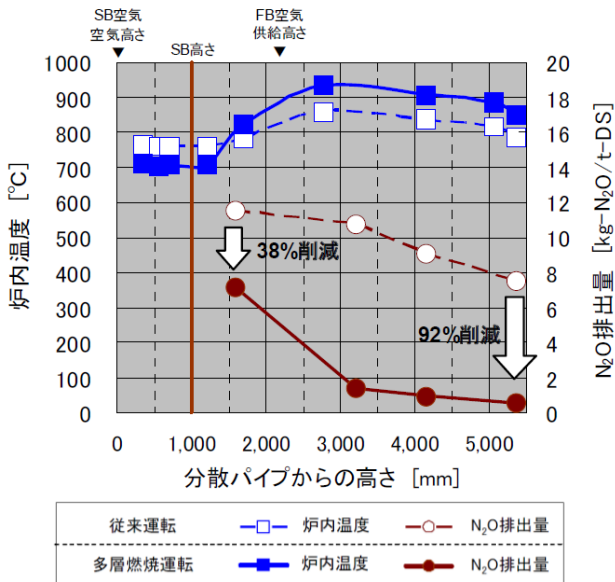


図-4 炉内温度及びN₂O分布⁷⁾

【層上燃焼ゾーン】

二次、三次空気量制御により、砂層で生成した熱分解ガスが高温ゾーンを形成、N₂Oを分解する。

【完全燃焼ゾーン】

空気の完全混合、十分な滞留時間により、未燃分を完全燃焼する。

(2) 炉内温度の比較

図-3に多層燃焼式と従来式の流動炉内温度勾配を示す。図で示すとおり多層燃焼式とすることで、従来式と比較すると砂層部の温度は低温、フリーボード部では高温域を維持することができる。

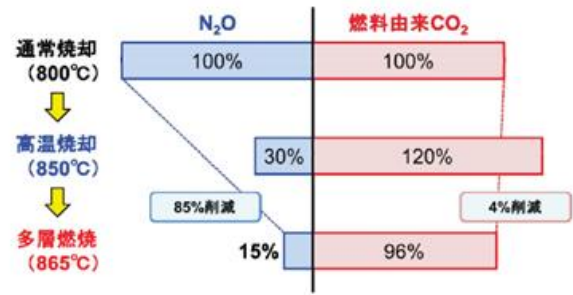


図-5 N₂O及びCO₂の推移⁸⁾

当処理場での多層燃焼炉への改築後においても、砂層部では約760°Cであるのに対し、砂層上段から炉内上部にある焼却領域（以下「フリーボード部」という。）の温度は約860°Cを維持することができ、空気供給位置、空気比のコントロールにより、砂層及びフリーボード部の温度を調整できることが確認できた。

(3) 多層燃焼によるN₂O削減効果

多層燃焼炉では、砂層部の低温下に伴うN₂Oの生成抑制及びフリーボード部での高温焼却に伴うN₂O分解による相乗効果によりN₂Oの排出抑制が期待される。図-4に示すとおり、東京都下水道局の調査結果によれば、各層でのN₂O排出削減効果が、砂層部では38%、フリーボード部では92%であったことが報告されている⁷⁾。

さらに、同局の調査結果では、多層燃焼炉の導入によりN₂O排出量の削減と燃料使用量の削減の両立が可能であることも報告されている⁸⁾。図-5に示すとおり、850°Cの高温焼却の場合、通常焼却と比較してN₂O排出量を約7割削減することはできるが、燃料由来のCO₂排出量が約2割増加する。一方で、多層燃焼炉による焼却の場合は、865°Cの焼却においても、通常焼却と比較して、燃料由来のCO₂を削減しつつ、高温焼却よりもさらに、N₂O排出量を削減できることが示されている。

6. 結果

(1) N₂O排出量削減効果

図-6に当処理場での改築後における焼却炉運転時のフリーボード中部温度に対するN₂O排出量の結果を示す。通常焼却から高温焼却及び多層燃焼を導入することにより、フリーボード中部の温度が828～835°Cから852～873°Cへ高温化し、N₂Oの排出量は約50～70%減少した。

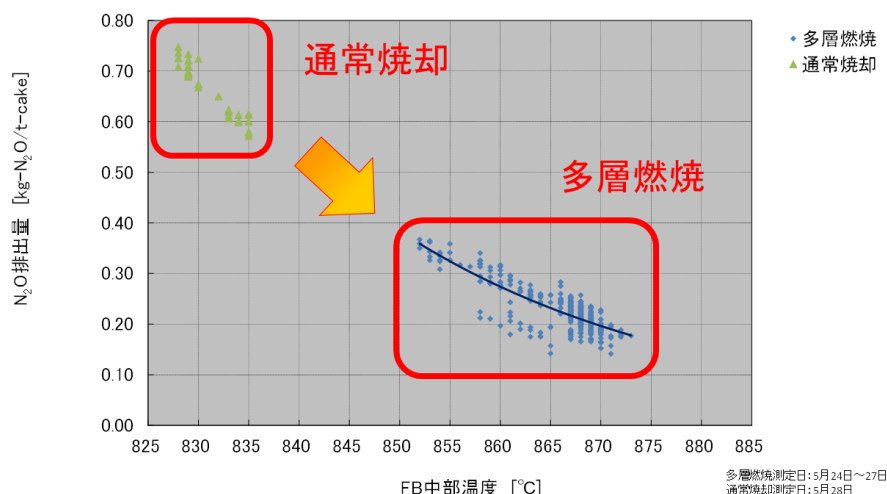


図-6 N₂O排出量の変化

表-1 燃料原単位比較

焼却炉		令和2年度						平均
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	
2号 (通常)	汚泥投入量 [t/月]	1,199.0	1,132.5	182.7	187.9	1,127.9	1,204.9	
	燃料使用量 [L/月]	39,721	32,445	6,532	5,610	33,875	43,688	
	原単位 [L/t]	33.1	28.6	35.8	29.9	30.0	36.3	32.3

焼却炉		令和4年度						平均
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	
2号 (高温+多層)	汚泥投入量 [t/月]	1,009.1	1,171.1	284.3	1,232.9	1,529.2	1,585.7	
	燃料使用量 [L/月]	34,446	36,211	8,819	35,658	44,807	51,160	
	原単位 [L/t]	34.1	30.9	31.0	28.9	29.3	32.3	31.1

(2) 燃料（重油）使用量削減効果

表-1に当処理場の焼却炉における燃料使用量の原単位を示す。

高温焼却及び多層燃焼化の改築を行う前後で燃料使用量を比較した結果、炉内温度を約865°Cの高温焼却をしているにも関わらず燃料使用量は同等もしくは削減する傾向が示された。

7. おわりに

多層燃焼焼却炉への改築により、通常運転時と比較してN₂O 排出量を50~70%削減し、燃料使用量についても高温焼却したにも関わらず通常焼却よりも削減できる可能性が示された。下水汚泥は、時期により含水率などの性状が異なるため、今後は、焼却炉のより適切な運転方法を日々の維持管理の中で確立していく必要がある。

また、下水処理工程から排出される温室効果ガスについては、汚泥焼却から排出されるN₂Oだけでなく、他の工程からも多く排出しているため、その削減については継続して検討していく必要がある。

謝辞：本事業の推進ならびに論文作成にあたり、工事受注者であるメタウォーター（株）及び霞ヶ浦浄化センターの指定管理者である（株）ウォーターエージェンシーに多くの御協力をいただきました、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 環境省：地球温暖化対策計画 令和3年10月22日
- 2) 国土交通省 HP：下水道分野における温室効果ガス排出とポテンシャル
- 3) 国土交通省：一酸化二窒素の排出抑制対策（下水道）の推進について
- 4) 国土交通省：下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き 平成21年3月
- 5) 東京都下水道局：汚泥処理における温室効果ガス排出量削減調査
- 6) 下水道協会誌：下水道施設から排出される地球温暖化物質（CH₄、N₂O）排出インベントリリーの算出と排出抑制技術 Vol.42, No.508, 2005/02, pp.97-110
- 7) 第21回廃棄物資源循環学会研究発表会：多層燃焼技術による下水汚泥流動焼却炉からのN₂O排出抑制効果について
- 8) 東京都下水道局 技術調査年報多層燃焼炉における燃費改善に向けた取組 -2014- Vol.38