

2-3-3 エネルギー供給型（カーボンマイナス）焼却炉の開発

計画調整部 技術開発課 技術開発担当 氏名 豊田 晃徳

1. はじめに

東京都下水道局（以下「当局」という。）は、日常生活や都市活動で発生する汚水を処理して河川や海に放流するとともに、道路や住宅に降った雨水を速やかに排除するなど、安全で快適な生活環境の確保や良好な水環境の形成に必要な役割を担っている。一方で、全国の下水处理量の約1割という膨大な量の下水を処理することから、都内における電力使用量の約1%に当たる電力を消費するなど、電力や燃料など大量のエネルギーを必要とし多くの温室効果ガスを排出している。当局が排出する温室効果ガスのうち、汚泥処理工程に由来するものは約3割を占めており、そのうち焼却工程に伴うものが大部分である。

これまで当局では、エネルギー自立型焼却炉（以下「自立型焼却炉」という。）や省エネルギー型焼却炉（以下「省エネ型焼却炉」という。）等環境に配慮した焼却炉を開発・導入してきたが、より一層の環境負荷の低減を達成するために高性能の焼却炉の技術開発を進めている。

令和4年度に「開発技術の導入を前提とした共同研究」として公募をしたところ、焼却炉メーカー6社から応募があり共同研究を実施した。共同研究の結果、焼却炉から発生する温室効果ガスの排出量を廃熱発電による温室効果ガス削減量が上回ることでカーボンマイナスを達成することが可能なエネルギー供給型（カーボンマイナス）焼却炉（以下「供給型焼却炉」という。）が、令和5年12月に局技術管理委員会において実用化技術として認定されたので報告する。

2 共同研究開発条件及び開発目標

各焼却炉メーカーとの共同研究に当たり、**当局で設定した焼却炉の開発に必要な開発条件として、表-1に示す代表的な性状の脱水汚泥を焼却炉へ投入する想定をした。**また、**図-1に示すように脱水汚泥含水率の性状範囲を6点想定し、季節変動等による汚泥**

表-1 脱水汚泥の性状

種別	混合汚泥	
含水率(%)	72	
可燃分(%-DS ^{※1})	82	
灰分(%-DS)	18	
高位発熱量(kJ/kg-DS)	18,600	
組成比率(%-VTS ^{※2})	炭素	51.5
	水素	7.8
	窒素	6.0
	酸素	33.6
	硫黄	1.0
	塩素	0.1

※1：乾燥固形物（dry solids）の略称。

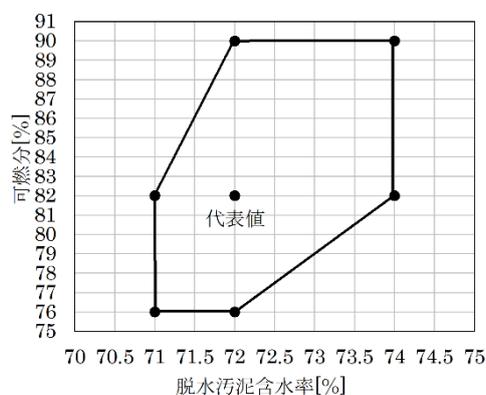


図-1 脱水汚泥含水率の性状範囲

性状の変化を想定した。これらの条件下において、表-2に示す6つの開発目標を設定し、温室効果ガス排出量の削減や発電能力等の性能を定め共同研究を実施した。

なお、共同研究は提出された技術的検討資料（熱収支による机上計算やシミュレーション）を基に、詳細なヒアリングを実施することで進めた。

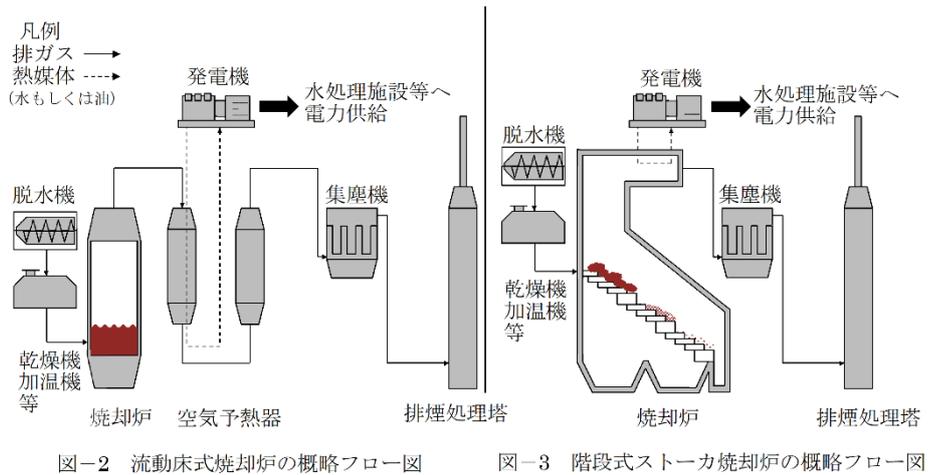


図-2 流動床式焼却炉の概略フロー図

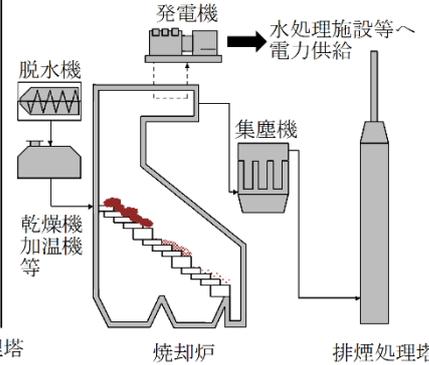


図-3 階段式ストロカ焼却炉の概略フロー図

表-2 当局で設定した開発目標

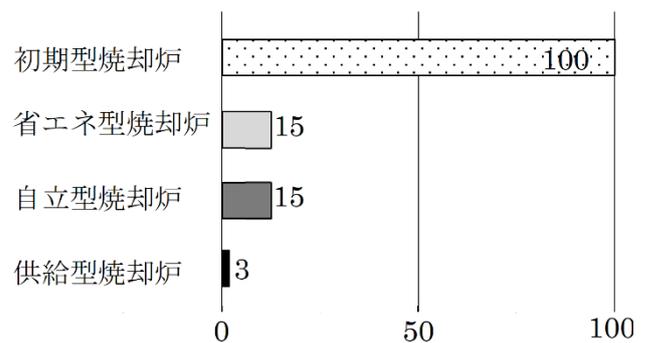
開発目標
(1)焼却炉から発生する温室効果ガス排出量を廃熱発電による温室効果ガス削減量が上回る
(2)一酸化二窒素（以下 N_2O という。）の排出量は、 $0.2kg-N_2O/t-DS$ 以下とする
(3)発電電力量から使用電力量を引いた余剰電力量が年平均で1時間当たり $850kWh$ 以上
(4)発電単価は自立型焼却炉と比べて著しく高価とにならないこと
(5)補助燃料は必要としない (焼却炉立上げ・立下げ・保温時及び脱水汚泥含水率が74%を超える時を除く。)
(6)廃熱回収率は40%以上とする

3 機器構成

焼却炉メーカーによって構成は異なるが、流動床式焼却炉と階段式ストロカ焼却炉の概略フローを図-2及び図-3に示す。

各社とも高性能な脱水機で脱水汚泥の含水率を71~74%まで低下させた脱水汚泥に対応可能なことは共通しているが、廃熱により脱水汚泥の含水率をより一層低下させる乾燥機や、汚泥を加温することで燃焼効率が向上する加温機を採用するなどの工夫があった。また、炉内の燃焼温度を一層高温化（約 $900^{\circ}C$ 以上）し、排ガス中に含まれる N_2O を低濃度にまで分解することで温室効果ガス排出量の削減を図った。

なお、廃熱発電機は蒸気タービン発電機とバイナリー発電機（熱媒体と作動媒体を用いる方式）の2種類の提案があった。



初期型焼却炉ベースで比較(%)
図-4 N_2O 排出量の削減効果

4 過去に導入した焼却炉と新たに開発した供給炉との導入効果の比較

当局では、技術開発以前に設置された焼却炉（以下「初期型焼却炉」という。）から技術的な知見を蓄積し、環境に配慮した焼却炉の技術開発を行ってきた。燃焼温度 850℃以上を確保しつつ、ターボ等を活用して消費電力を減らすことができる省エネ型焼却炉、燃焼温度 850℃以上を確保しながら焼却炉の運転に必要な電力やエネルギーを自給できる自立型焼却炉を導入してきた。これらのような過去に技術開発を行ってきた各型式の焼却炉と今回新たに開発した供給型焼却炉とを比較して、期待できる効果について示す。

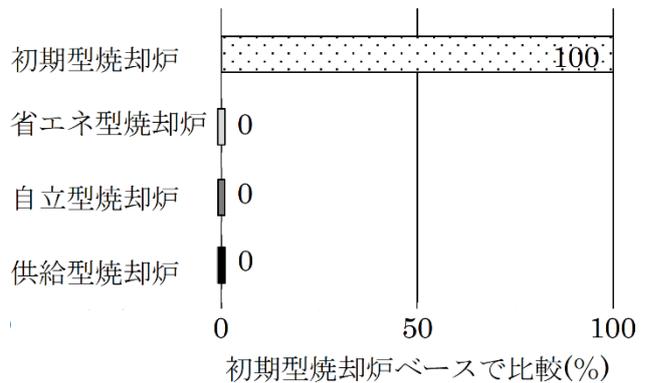


図-5 燃料使用量の削減効果

4.1 N₂O 排出量の削減効果

焼却炉の型式ごとの N₂O 排出量の削減効果について図-4 に示す。

初期型焼却炉を基準に比較した場合、省エネ型焼却炉及び自立型焼却炉では燃焼温度 850℃を採用したことによって、N₂O が低濃度にまで分解されることで N₂O 排出量の大幅な削減が可能となった。これにより、省エネ型焼却炉及び自立型焼却炉では N₂O 排出量の 85%削減を見込んでいる。供給型焼却炉は他の型式の焼却炉よりも燃焼温度のより一層の高温化を図ることで、初期型焼却炉比で N₂O 排出量 97%の削減を見込んでいる。しかし、燃焼温度が高温化することによって汚泥中に含まれるりんが溶融し、炉頂部の煙道に析出することで煙道閉塞が生じる懸念がある。そこで、既存の焼却炉の対策方法でもある、薬品注入やエアブローなどの煙道閉塞対策の充実化を図った。

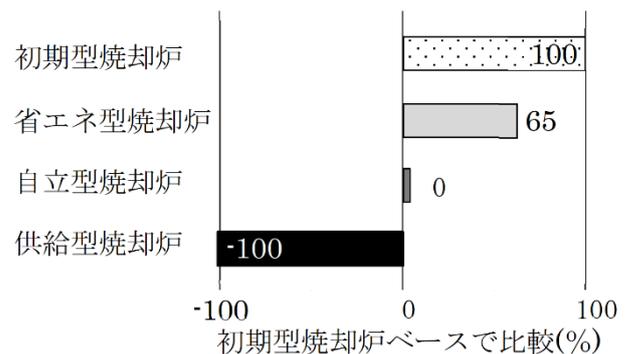


図-6 電力使用量の削減効果

4.2 燃料使用量の削減効果

焼却炉の型式ごとの燃料使用量の削減効果について図-5に示す。

N₂O排出量を削減するには燃焼温度を高温化しN₂Oを低濃度まで分解することが有効であるが、必要なエネルギーが増加するためN₂O排出量と燃料使用量とは相反する関係にある。省エネ型焼却炉、自立型焼却炉及び供給型焼却炉は、廃熱回収を積極的に行うことで、焼却炉の立上げ、立下げ及び保温時以外は自然運転が可能となるように設計されており、発電機やターボ等によって焼却炉の運転に必要なエネルギーを自給自足することが可能である。補助燃料が不要となることで、燃料使用量0%を見込んでいる。

4.3 電力使用量の削減効果

焼却炉の型式ごとの電力使用量の削減効果について図-6に示す。

省エネ型焼却炉はターボ等を活用して消費電力を削減することで電力使用量35%削減を見込んでいる。自立型焼却炉は廃熱発電機を活用して焼却炉の運転に必要な電力を自給自足し、電力使用量0%を見込んでいる。一方の供給型焼却炉は、燃焼温度を自立型焼却炉よりも一層高温化しつつ自燃運転することや、高効率のバイナリー発電機を採用することによって、焼却炉で消費する電力以上に発電し、水処理施設や汚泥処理施設へ電力供給が可能であるため電力使用量マイナス100%を見込んでいる。

5 まとめ

供給型焼却炉の導入により、以下の効果が期待できる。

- (1) N₂O 排出量初期型比 97%削減
- (2) 燃料使用量ゼロ
- (3) 焼却炉で使用する電力以上に発電し、焼却炉以外の水処理施設へ電力供給によりCO₂削減量が排出量を上回り、カーボンマイナスを実現

6 カーボンマイナスへの今後の取組

当局の温室効果ガス排出量削減状況を図-7に示す。

温室効果ガス排出量は2000年度を基準として比較した場合、2021年度実績では20%減の72.8万t-CO₂にまで削減している状況にある。関係各所と協力し、今回新たに開発した「供給型焼却炉」を導入していくとともに、再生可能エネルギーの活用及び水処理工程と汚泥処理工程の効率化などの取組を積み重ねていくことで、温室効果ガス排出量を2030年度までに50%減の45.9万t-CO₂にまで削減することとしている¹⁾。

今後、カーボンマイナスに向けて、環境に配慮した焼却炉が想定どおりの性能を発揮しているか検証を行い、汚泥焼却技術をより一層向上させ、環境負荷のより少ない焼却技術の開発に引き続き取り組んでいく。

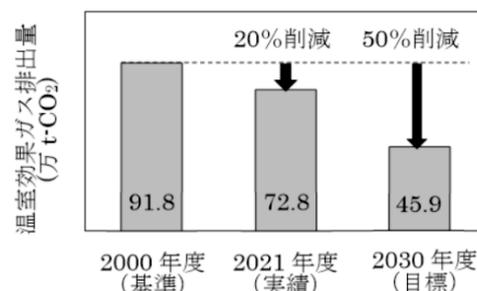


図-7 当局の温室効果ガスの削減状況¹⁾

参考文献

- 1) 東京都下水道局. (2023). アースプラン 2023 (pp. 65).