

## 2-3-1 エネルギー自立型焼却炉の導入について

建設部 設備設計課 寺原 洋希

### 1. はじめに

下水道局では、「経営計画 2021」及び「アースプラン 2023」に基づき、温室効果ガス排出量の削減と再生可能エネルギー活用の拡大に取り組み、2030年カーボンハーフ実現を目指している。この目標達成に向けた取組の中で、エネルギー自立型焼却システムの導入を進めている。

エネルギー自立型焼却システムとは、燃料を必要としない領域まで汚泥含水率を低下させる「超低含水率型汚泥脱水機」と、廃熱を利用する発電機によって、外部からの電力及び都市ガスの供給を受けることなく運転を継続させることが可能な「エネルギー自立型焼却炉」を組み合わせたものである。本稿では、これまでに建設部設備設計課で設計を行ったエネルギー自立型焼却炉の発注から施工後の経過について報告する。

### 2. 当局における汚泥焼却炉の変遷について

#### 2.1 焼却炉導入の流れ

汚泥焼却炉は、水処理の過程で発生する汚泥の減容化及び安定化を目的としている。温室効果ガスを削減する焼却炉の開発は、図1に示す通り、一酸化二窒素（ $N_2O$ ）の発生抑制を目的とした高温燃焼焼却炉から始まり、高温焼却を維持しつつ燃料及び使用電力を削減する省エネルギー型焼却炉に移行した。現在では、省エネルギー型焼却炉と、焼却廃熱を利用した発電システムにより自ら使用する電力量を創出するエネルギー自立型焼却炉を、設置する機場の条件に合わせ、それぞれの特徴に応じて導入を進めている。2.2～2.4にて、世代ごとの焼却システムについて記載する。

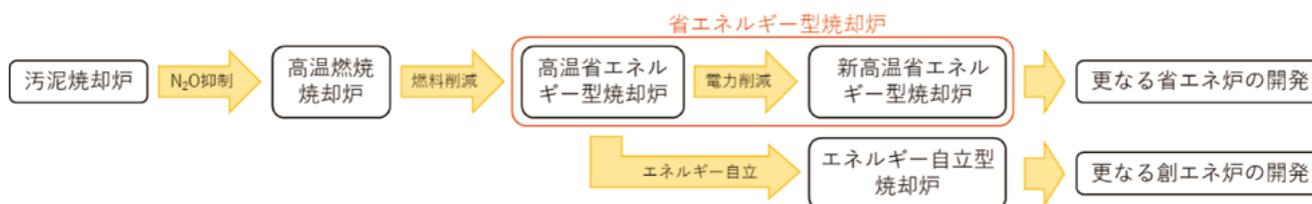


図1 焼却炉開発・導入の流れ

#### 2.2 高温燃焼焼却炉

高温燃焼焼却炉は、投入する汚泥の含水率を76%程度としており、焼却温度を従来の約800℃から約850℃まで上昇させ、 $N_2O$ 削減を目指した焼却炉である。本焼却炉は、高温焼却により約70%の $N_2O$ の発生抑制が図れるものの、燃料（都市ガス等）及び電力の使用量が增大するという問題があった。

#### 2.3 省エネルギー型焼却炉

省エネルギー型焼却炉は、高温燃焼焼却炉に対し、燃焼温度を850℃以上に高温化し、ターボ等の導入及び低含水率型脱水機（汚泥含水率74%程度）と組み合わせることにより、

温室効果ガスを大幅に削減できる焼却炉である（高温省エネルギー型焼却炉）。

さらに、新高温省エネルギー型焼却炉は、超低含水率型脱水機（汚泥含水率 74%以下）との組み合わせにより、高温燃焼焼却炉と比較して N<sub>2</sub>O を 65%、電力を 60%削減し、燃料使用量をゼロとすることが可能となる。型式として、ストーカ炉、ターボ型流動炉、タービン多層型流動炉等がある。図 2 に、省エネルギー型焼却炉の概念図を示す。

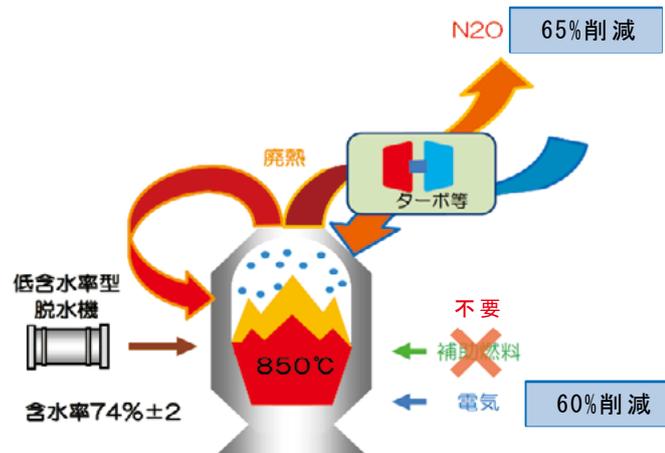


図 2 省エネルギー型焼却炉概念図

#### 2.4 エネルギー自立型焼却炉

エネルギー自立型焼却炉は、廃熱を利用した発電により電力を自給することで、燃料及び電力を必要としない焼却炉のことをいう。本焼却炉に汚泥を供給する脱水機は超低含水率型である。

図 3 に、エネルギー自立型焼却炉の概念図を示す。省エネルギー型焼却炉は、運転において外部からの電力供給を必要としたが、エネルギー自立型焼却炉では、焼却炉の廃熱を利用して発電を行うことで、外部から電力供給を受けることなく焼却炉の運転が可能となる。本焼却炉の型式として、ストーカ炉、ターボ型流動炉、タービン多層型流動炉等が局内の技術管理委員会において実用化評価を得ている。なお、エネルギー自立型焼却炉は、焼却能力が 150 t/日以上で、規定量の汚泥を安定的に供給可能な焼却炉に導入していくことを予定している。

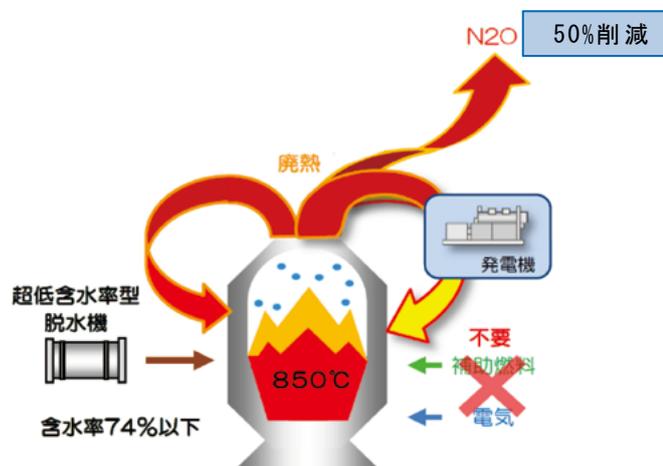


図 3 エネルギー自立型焼却炉概念図

### 3. エネルギー自立型焼却炉の設計について

新河岸水再生センター汚泥焼却設備再構築その2工事では、当局で初めてのエネルギー自立型焼却炉の導入を目的に設計を行った。本工事で、既設3号炉の跡地にエネルギー自立型焼却炉である新4号炉を設置した（図4）。

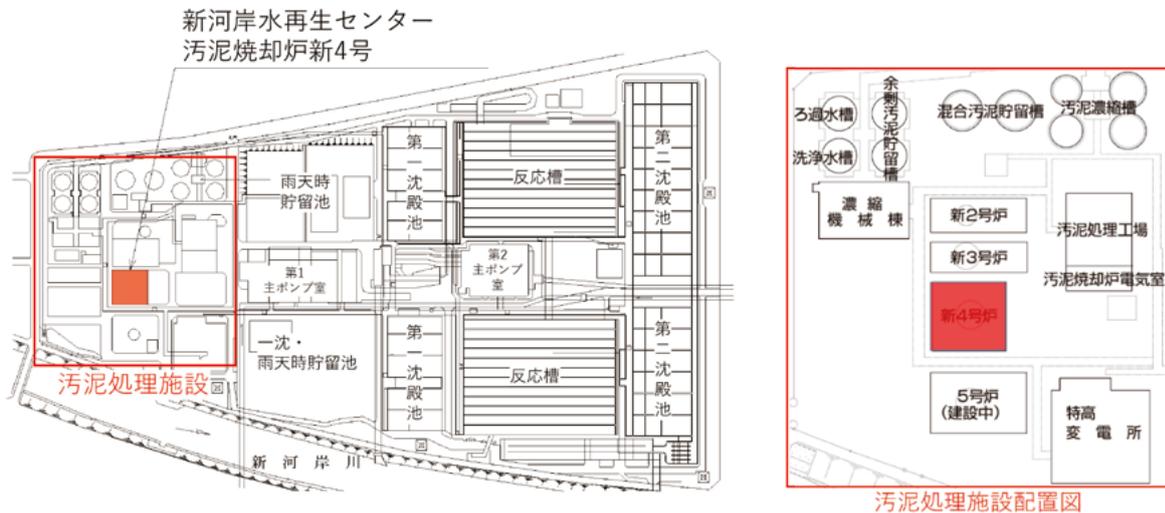


図4 新河岸水再生センター汚泥焼却炉新4号位置図

設計時の基本計画であるアースプラン2014では、環境に配慮した焼却炉として、省エネルギー型焼却炉、エネルギー自立型焼却炉の2種類を今後導入していくとしている。また、焼却炉の運用として、焼却炉定格能力の汚泥を安定的に投入し運転する定格炉と、汚泥量の変化に伴い投入量や投入間隔を調整して運転する調整炉の2種類がある（表1）。さらに、エネルギー自立型焼却炉は、150 t/日～300 t/日の定格炉として運用を行う。省エネルギー型焼却炉は、60 t/日～150 t/日未満の定格炉もしくは調整炉として運用を行う。そのため、今回の焼却炉は、250 t/日の定格炉として運用を行うため、エネルギー自立型焼却炉を採用した。

表1 焼却炉の導入方針

運転方法	定格炉	調整炉
焼却能力		
60t/日～150t/日未満	省エネルギー型	省エネルギー型
150t/日～300t/日	エネルギー自立型	省エネルギー型

設備の機器配置は、限られたスペース内で効果的に行う必要がある。さらに、エネルギー自立型焼却システムでは焼却方法や発電方式がメーカーにより異なるため、平成28年度の設計時に技術管理委員会の実用化評価を得ていた各社に技術照会を行い、経済性、維持管理性、配置計画等に関して比較検討した。その結果、3号炉の撤去後のスペースに設置可能であること、また、初期投資額及び運用額を含めた総コストに大きな差が見られず共同研究の条件を満たしていることから、ストーカ炉、ターボ型流動炉、最適燃焼制御付気泡流動炉、タービン多層型流動炉の4種類を併記して発注を行うこととした。

#### 4. 導入した焼却炉について

本工事では、「最適燃焼制御付気泡流動炉（250t炉）」を導入した。この形式は、焼却炉の砂層温度、フリーボード温度、酸素（O<sub>2</sub>）濃度を同時に監視し、流動空気量の最適な制御を行うことで、高温領域を安定的に形成し、N<sub>2</sub>Oの削減を図るとともに、超低含水率型脱水機との組み合わせにより、原則燃料を使用しないものである（図5）。また、焼却炉の廃熱を利用して、バイナリー発電により、焼却炉で使用する電力を自給して二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の削減を図るものである。

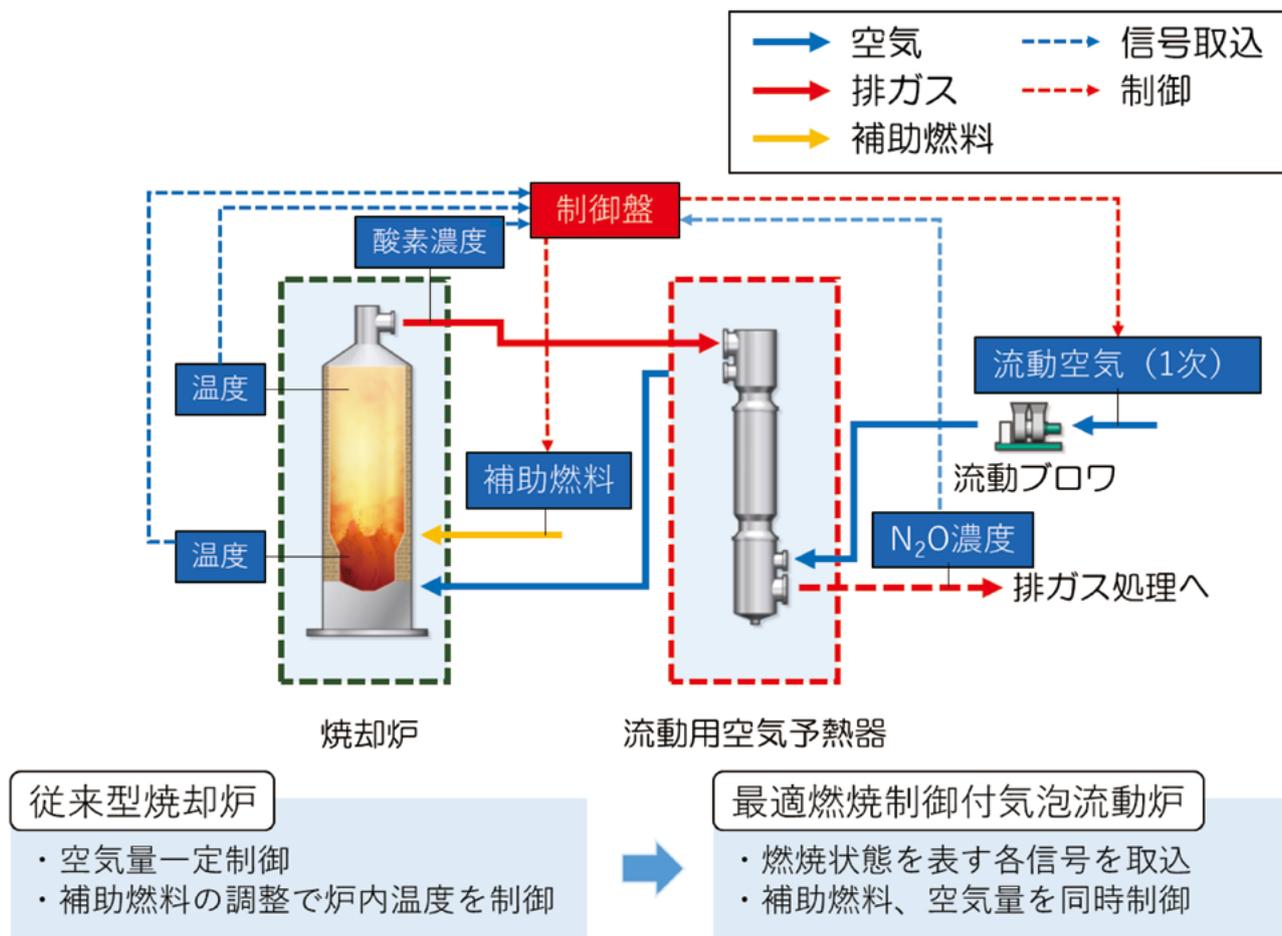


図5 最適燃焼制御付気泡流動炉の概念図

なお、バイナリー発電とは、従来の蒸気発電と異なり、熱媒体と作動媒体の、2種類の媒体を用いる方式である（図6）。焼却炉の廃熱を用いて熱媒ヒーターで熱媒体（熱媒油）を加熱し、蒸発器で沸点の低い作動媒体を沸騰させ、タービンを回して発電する方式で、従来よりも低温の熱源で安定的に高出力の発電を行える。

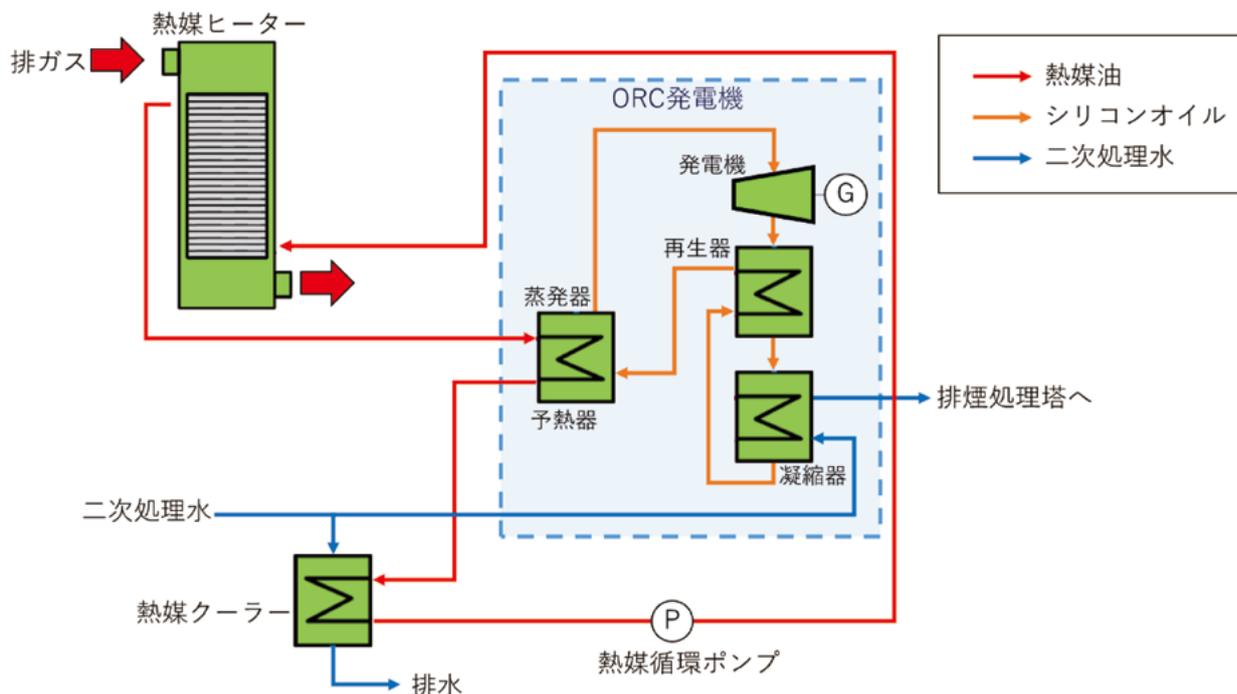


図 6 バイナリー発電フロー

本工事では、作動媒体にシリコンオイルを用いる、ORC (Organic Rankin Cycle) 発電機を導入した（図 7）。シリコンオイルは蒸気と異なり粘度が高く、タービンを低速で回転させることができるため、機械的な疲労も少なく、効率も蒸気より高いという特徴がある。



図 7 ORC 発電機

## 5. 今後の課題について

本工事は令和 5 年 3 月に完了したが、試運転時に不具合が発生したため、次に不具合内容と原因、対策内容を示す。

- (1) 空気予熱器及び熱媒ヒーターの伝熱管に灰が堆積し、熱交換がうまく行われなかった。灰が堆積した原因としては、灰に含まれるサブミクロン粒子（ $1\mu\text{m}$  以下の微細粒

子) がファンデルワールス力により、伝熱管に付着したためと考えられる。

そこで、熱媒ヒーターには圧縮空気で灰を吹き飛ばす装置（スートブロワ）を設置し、空気予熱器にはけい砂投入装置を設置して灰の堆積を防ぐ対策を行った。（図 8）

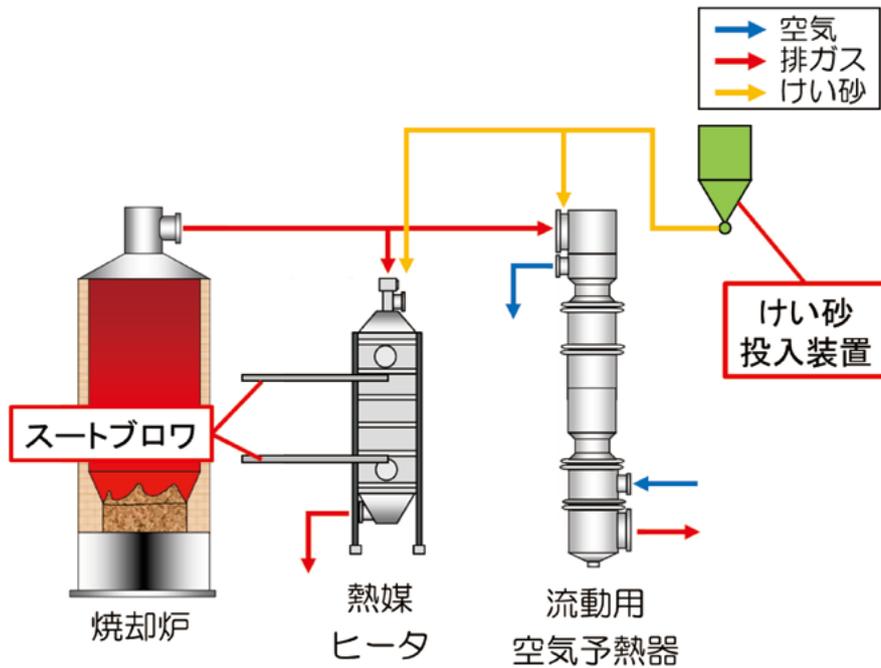


図 8 焼却灰堆積への対策

(2) 熱媒クーラー（プレート式熱交換器）は、焼却炉と発電機との間で熱を媒介する熱媒油を冷却するもので、プレート内に熱媒油と冷却水を通し、熱交換を行うものである（図 9）。その熱媒クーラーのプレートが腐食し、亀裂が生じた（図 10）。

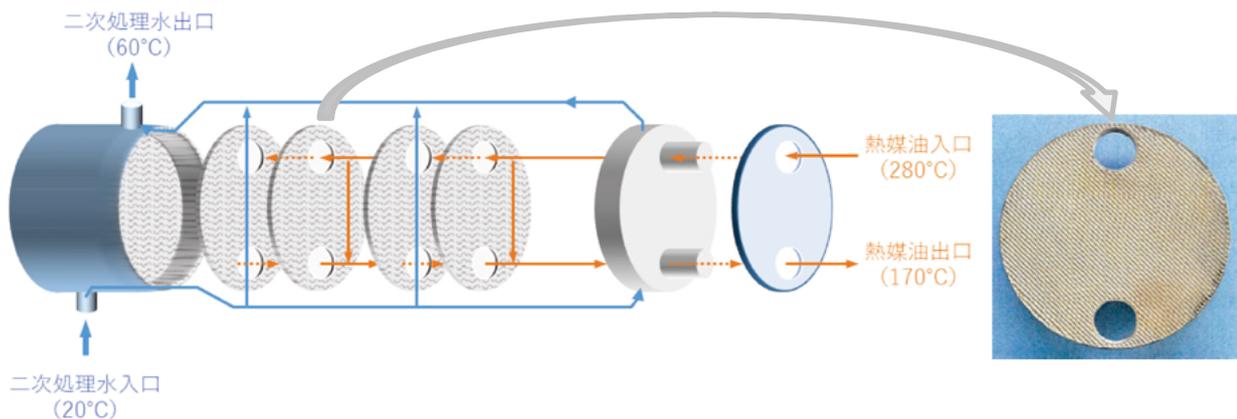


図 9 熱媒クーラー構造図

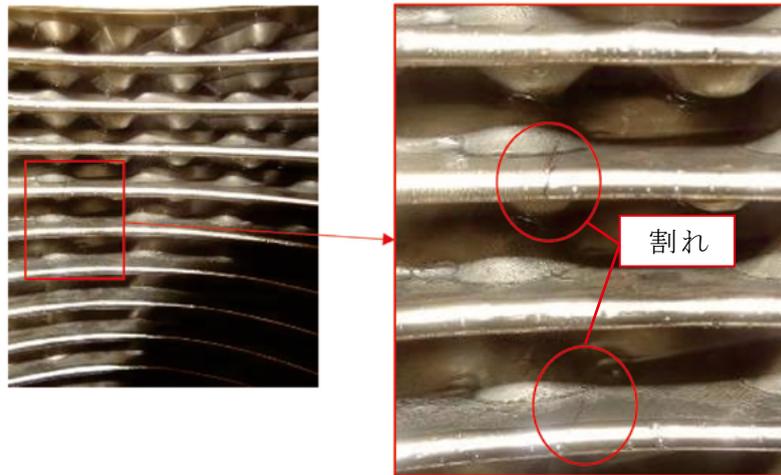


図 10 熱媒クーラープレート状況

亀裂が生じた原因は、隙間腐食等によるものと考えられる。隙間腐食等による熱媒油の漏えい対策として、次の対策を行った。

- (1)クーラーの方式をプレート式から、シェル&チューブ式に変更する。
- (2)熱媒油を、上水を介して二次処理水で間接的に冷却することで、万が一熱媒クーラーが破損した場合にも熱媒油が外部へ漏洩するのを防ぐ。
- (3)油検知器を設置する。

これらの不具合は、N<sub>2</sub>O 削減のための高温焼却と、エネルギー自立のための発電機において発生したものであり、今後、エネルギー自立型焼却炉を導入していくにあたり、設計段階で対策を考慮する必要がある。

## 6. おわりに

本稿では、下水道局がエネルギー使用量削減の一環として取り組んでいる、エネルギー自立型焼却炉の導入について報告した。今後も設備の再構築において、今回判明した課題への対策を盛り込んだ設計を行っていく。

## 参考文献

- 1)経営計画 2021、東京都下水道局
- 2)アースプラン 2023、東京都下水道局