

2-(4)-2 汚泥ガス化炉事業における事後評価の実施について

流域下水道本部技術部施設管理課井本 淳介
〃 小岩 徳昭
(現 施設管理部施設管理課) 宇津木 正義
(現 東京下水道サービス) 大坪 廣基

1. はじめに

東京都下水道局は、東京都の事務事業活動で排出される温室効果ガスの約4割を排出しており、東京都が2006年に策定した「10年後の東京」の実行プログラム（カーボンマイナス東京10年プロジェクト）において、大幅な温室効果ガス排出量の削減を求められた。

このため、下水道局では温室効果ガスの更なる削減に向け、2010年に「アースプラン2004」を見直し、「アースプラン2010」を策定した。

本プランにおいて、燃焼方式を改善したターボ型、多層型を採用した新型汚泥焼却炉の導入のほか、脱水汚泥中の有機分を熱分解して燃焼ガスを製造する汚泥のガス化炉を導入して、汚泥焼却時に発生する温室効果ガス削減を図る計画としている。

この汚泥ガス化炉は、アースプラン2010の重要施策の一つとして位置づけられ、汚泥の高温焼却（850℃）に比べ、温室効果ガス排出量を約7割削減する効果が見込まれた。

下水道局では、日本初となる汚泥ガス化炉（100t/日）を清瀬水再生センターに設置し、平成22年7月に稼働させた。

本稿は、この清瀬水再生センターに導入した汚泥ガス化炉の約2年間の運転状況を事業の事後評価として、まとめたものである。



汚泥ガス化炉全景

2. 汚泥ガス化炉の特長

本施設は、次の2つの技術的な特長がある。

(1) 温室効果ガス削減

乾燥炉で乾燥させた下水汚泥（脱水汚泥）をガス化炉にて、還元雰囲気下（低酸素状態）で熱分解し、 N_2O 生成要因物質である NO の生成を抑制しながら熱分解ガス（水素（ H_2 ）・メタン（ CH_4 ）・一酸化炭素（ CO ））を抽出し、温室効果ガスの発生を大幅に抑制する。

(2) 熱分解後の生成ガスを活用したガス発電

高温の熱分解ガスをガス化炉内の汚泥乾燥機の熱源として再使用するとともに、ガス精製設備によって熱分解ガスを調質し、ガスエンジン発電機の燃料として活用する。ガスエンジン発電によって発電された電力は施設内の電力として使用する。

本施設の処理フローを図1に示す。

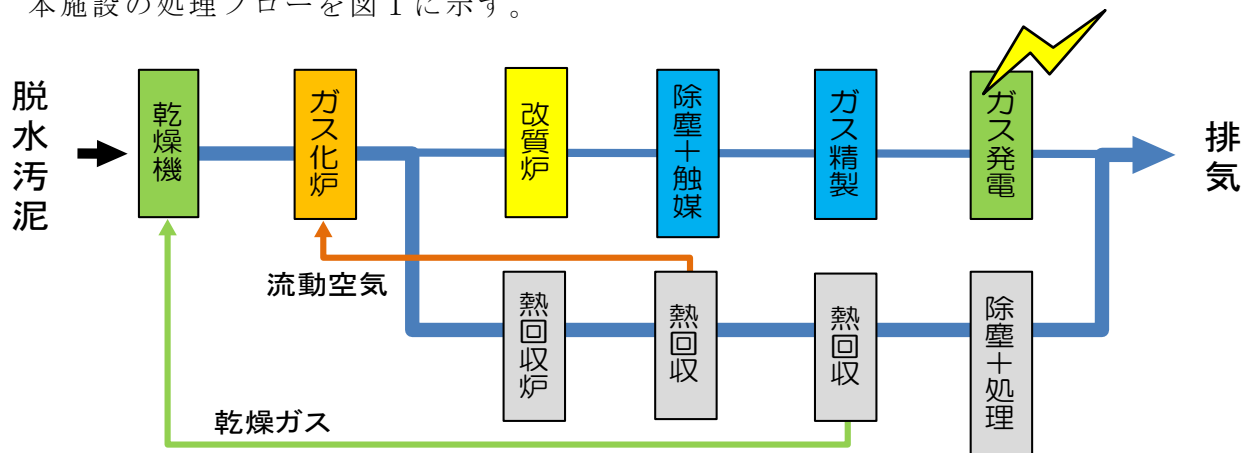


図 1 ガス化炉処理フロー

なお、事業の実施にあたっては、民間のノウハウを活用し、効果的かつ効率的に事業を実施するため、本事業の実施に必要な施設の設計及び建設並びに維持管理及び運営を通して民間事業者へ委託している。

3. 事後評価について

3.1 目的

今回、新規導入、運用されたガス化炉施設が変動する脱水汚泥性状下においても、安定した処理が行え、温室効果ガス発生量、ガス発電量等要求水準項目を満足しているか量的に検証し、事業効果を評価する。

さらに、清瀬水再生センターの既存の汚泥焼却炉、他のセンターに導入が計画されているターボ型、多層型といった燃焼方式を改善した新型汚泥焼却炉から発生する温室効果ガス量（メーカ試算値）との削減効果の比較を行う。

事業の評価期間は次の期間で実施した。

事業評価期間：平成22年7月1日から平成24年3月31日（1年9ヶ月）

3.2 検証方法

事業評価は、清瀬水再生センター汚泥ガス化炉事業要求水準書（平成19年10月15日東京都下水道局（以下「要求水準書」という。））の温室効果ガス発生量等各項目について、3.3で掲げた内容の検証を行った。

3. 3 要求水準書に基づく検証項目

(1) 運転管理性

供給する脱水汚泥性状は表 1 に示す変動範囲の脱水汚泥を供給し、この変動範囲内の脱水汚泥を供給しても、年間を通じて安定した処理が出来ること。

各運転管理値等は次に示す。

1) 脱水汚泥処理量：33,000t/年

2) 処理能力：100t/日

1) で示す年間の脱水汚泥処理量 33,000t を達成するためには、ガス化炉の日処理能力 (100t/日) より $33,000\text{t/年} \div 100\text{t/日} = \underline{330}$ 日の稼働が必要である。

表 1 脱水汚泥性状

	含水率(%)	可燃分(%)	高位発熱量(kJ/kg-DS)
基本点	76	86	20,300
変動幅	70~80	82~88	19,300~20,700

※基本点とは、脱水汚泥の変動幅の中心点の性状を示す。

3) 各種環境法令遵守

本施設における大気、臭気、排水に関する環境法令基準値は表 2 の範囲内となること。

表 2 法規制値

項目		規制値	ばいじん (g/m ³)	NOx (ppm)	SOx (ppm)	HCl (ppm)	ダイオキシン類 (ng-TEQ/m ³)
大気汚染物質	排気筒出口	(O ₂ 換算12%時)	0.15	250	6.42	700	5
	ガスソーン出口	(O ₂ 換算0%時)	0.05	500	—	—	—
臭気 (排気塔出口)		290,000 (m ³ n/分)					
排水水質	シアン化合物	1 (mg/l 以下)					

(2) 温室効果ガス発生量、発電量

汚泥性状変動範囲内の脱水汚泥を供給し、処理した結果において次の項目を満たすこと。

1) 温室効果ガスの発生量が定められた数値以下になること。

年間 3,500t-CO₂/年以下

(参考)

温室効果ガス発生量内訳

ア) 電力由来：1,488t-CO₂/年

イ) 汚泥由来：2,012t-CO₂/年

2) ガス発電量が定められた数値以上になること。

発電量 100kWh以上

ただし、安定的な発電出力を得るため、都市ガス等を補助燃料として用いることは差し支えない。

なお、事業者が導入時に提案した提案性能では、ガスエンジンの発電量は150kWhとなっている。このため、本稿ではガス発電量 150kWhとして性能を評価する。

4. 検証結果

4. 1 運転管理性

4. 1. 1 ガス化炉稼働状況

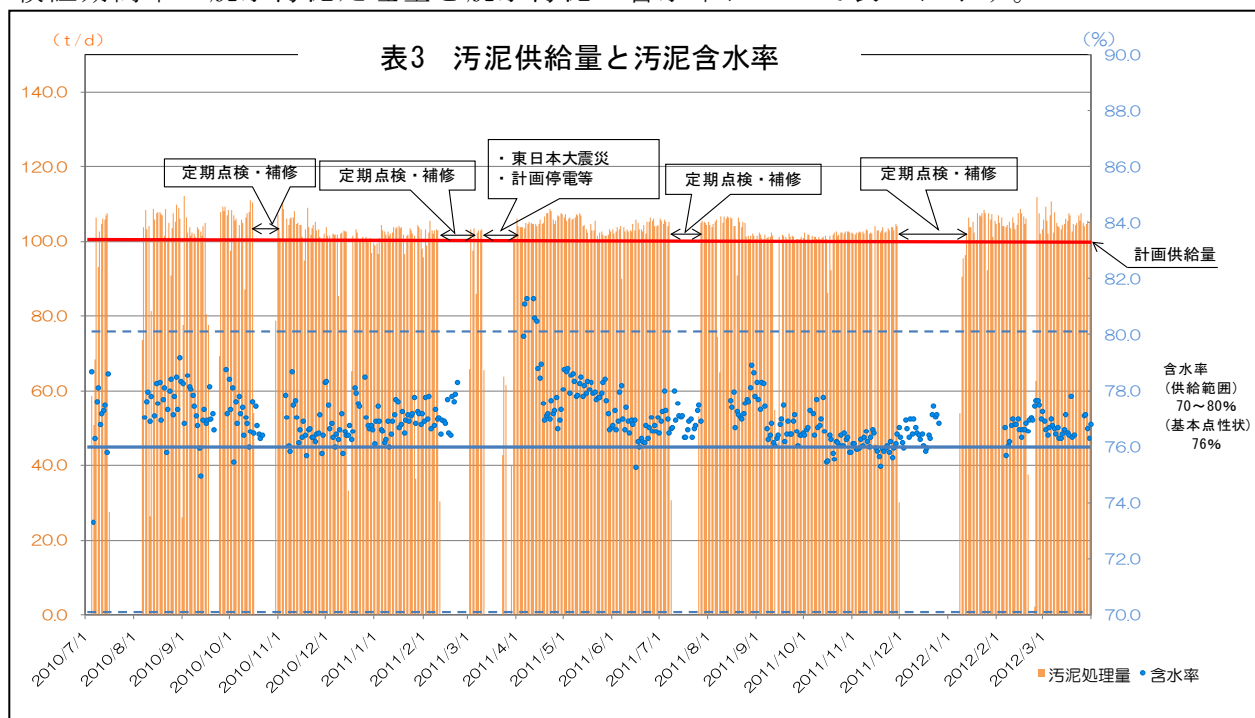
(1) 平成 22 年度 稼働実績：198 日/240 日(平成 22 年 7 月 1 日～平成 23 年 3 月 31 日)

脱水汚泥処理量：24,000t 計画に対し、処理実績：19,335 t

(2) 平成 23 年度 稼働実績：305 日/330 日(平成 23 年 4 月 1 日～平成 24 年 3 月 31 日)

脱水汚泥処理量は 3 月 31 日まで 33,000 t に対し、処理実績 31,131 t

検証期間中の脱水汚泥処理量と脱水汚泥の含水率について表 3 に示す。

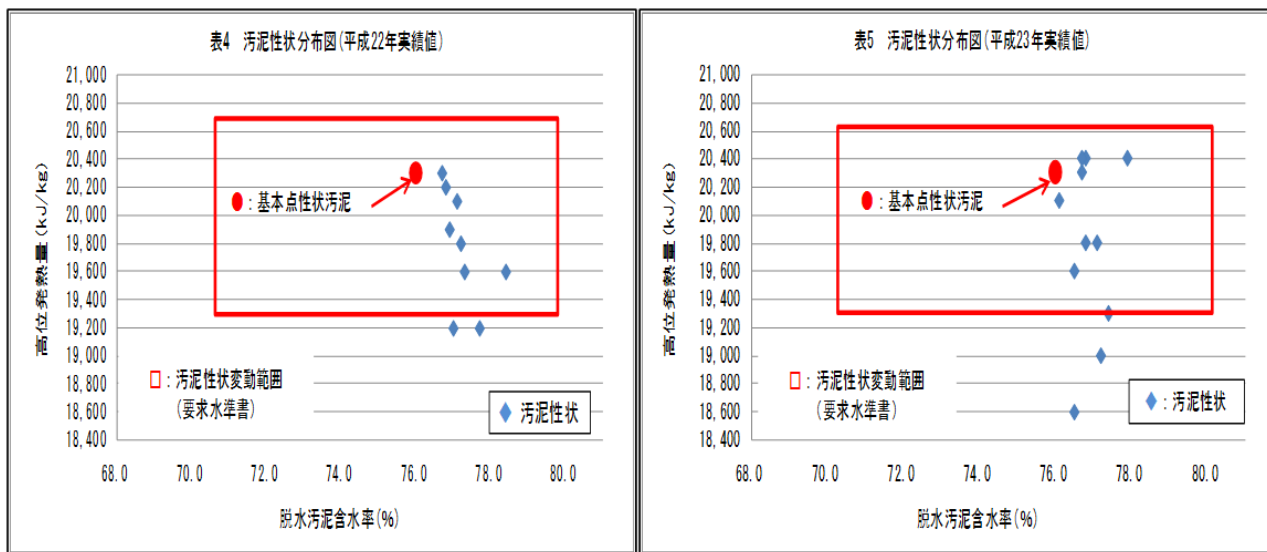


稼働初期に実施した設備改良のため、施設停止日数が当初計画より増加した。さらに、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災に伴う計画停電等による停止等の予見できない事由発生により、施設稼働日数、汚泥処理量が要求水準を若干下回る結果となった。

しかし、施設としては上記の表 3 のように大きなトラブルもなく、平成 22 年 7 月の稼働以降、脱水汚泥を要求水準とおおむね 100 t /日処理し、日々安定した汚泥処理を実施した。

4. 1. 2 汚泥性状

検証期間中のガス化炉に供給した脱水汚泥の分布を表4、5に示す。
 なお、含水率等は、検証期間中の月毎の平均をプロットした。



供給した脱水汚泥について、含水率、高位発熱量とも概ね変動範囲内に収まっているが、変動範囲に満たない月もあり、後段のガス発電設備で都市ガス使用量増加に繋がった。

4. 1. 3 各種環境法令遵守状況

検証期間中の各種環境法令の測定結果について表6に示す。

表6 測定結果

項目		規制値	ばいじん (g/m ³)	NOx (ppm)	SOx (ppm)	HCl (ppm)	ダイオキシン類 (ng-TEQ/m ³)
大気汚染物質	排気筒出口	(O ₂ 換算12%時)	0.15	250	6.42	700	5
		測定結果	0.008	19.4	0.106	<3	0.000034
	ガスエンジン出口	(O ₂ 換算0%時)	0.05	500	—	—	—
		測定結果	0.004	144	—	—	—
臭気(排気塔出口)	290,000 (m ³ n/分)	(測定結果) 142,500					
排水水質	シアン化合物	1 (mg/l以下)	(測定結果) <0.1				

※測定結果は、平成22、23年度に行った四季毎の結果を平均化したものである。

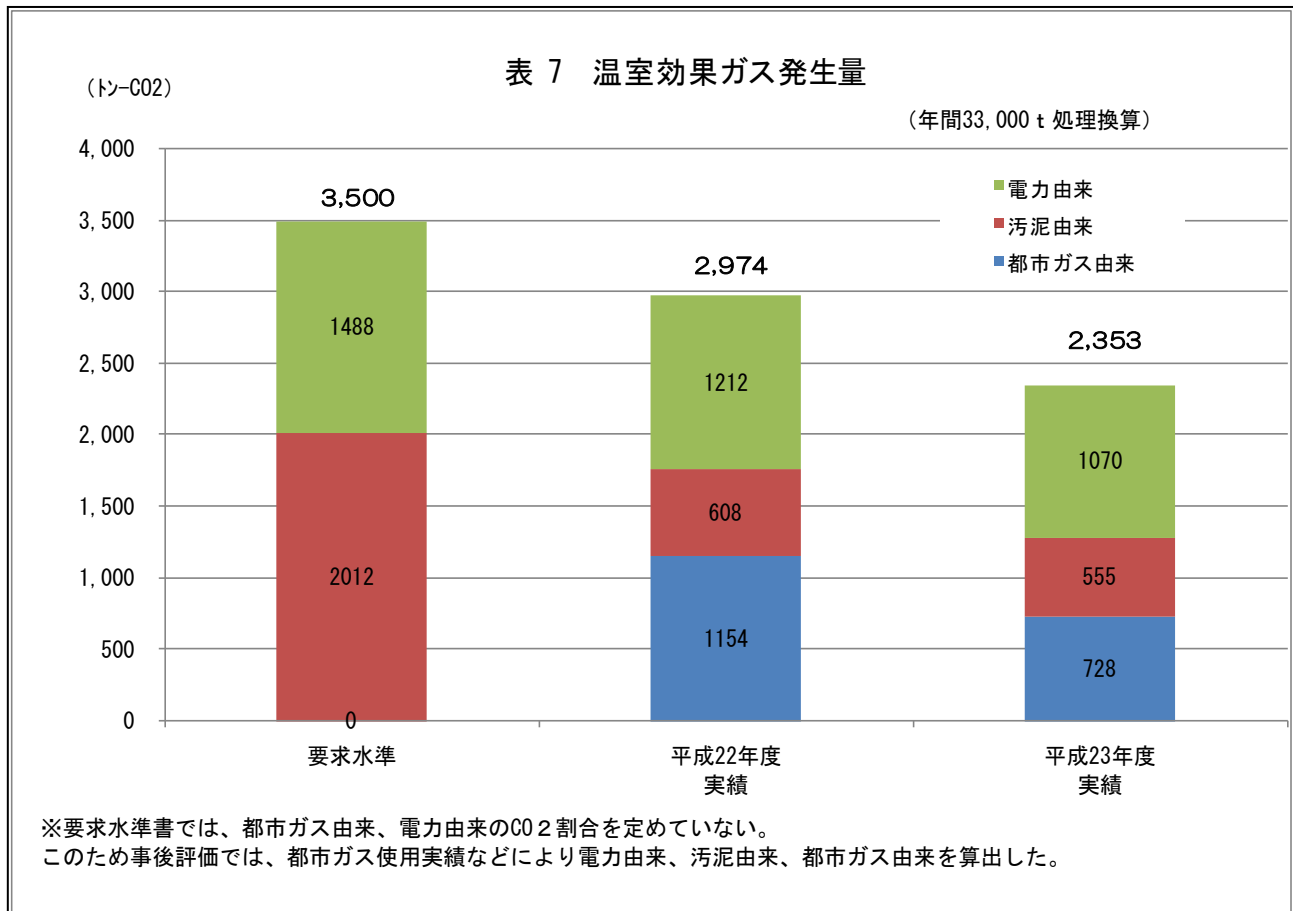
※表中の<は、定量下限未満を示す。また—は、測定対象外を示す。

全ての規制項目で基準値以下のとなり、法規制値を満足している。

4. 2 温室効果ガス発生量、ガス発電量

4. 2. 1 温室効果ガス発生量（実績）

4. 1. 1 のガス化炉稼働状況時における温室効果ガス発生量を表 7 に示す。



供給汚泥の含水率、高位発熱量の変動もあったが、表 7 のとおり要求水準で求める 3,500t-CO₂/年以下を達成した。

燃料(都市ガス)由来のCO₂発生量は、当初、要求水準では想定をしていなかったが、供給汚泥の変動によって改質炉へ供給するガスのエネルギーが不安定となったため、都市ガスを供給することにより安定化を図ったことによって生じた。

また、熱回収炉が当初 900℃運転を想定していたが、実際には 900℃以上の運転が行えたことで、N₂Oの大幅な削減を達成した。

4. 2. 2 ガス発電量（実績）

4. 1. 1 のガス化炉稼働状況時におけるガス発電量を表 8、9 に示す。

表 8 ガス発電量

	要求水準	平成22年平均値	平成23年平均値	事業者提案性能
ガス発電機	100kWh	約137kWh	約145kWh	150kW
汚泥由来発電量	—	約62 k Wh	約52kWh	105kW
都市ガス発電量	—	約75kWh	約93kWh	45kW

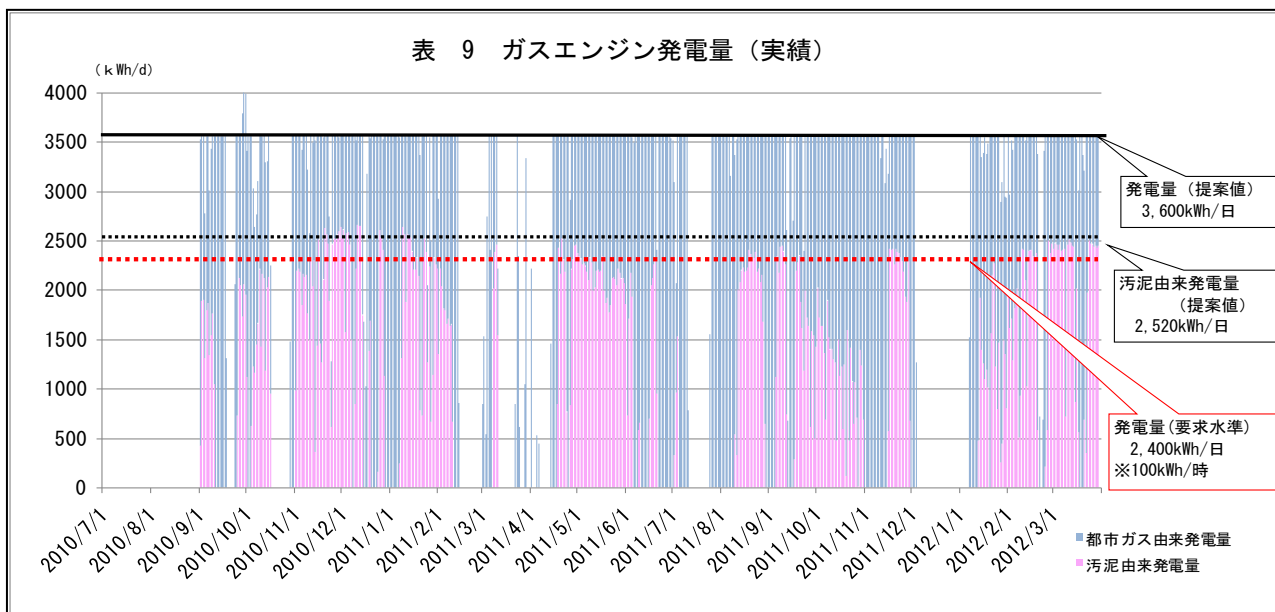


表 8、9 で示すとおり、ガス発電量は要求水準を達成した。ただし、表 8 で示すように都市ガス由来の発電量が半数を占める結果となった。

これは、ガス化炉内に発生するクリンカを抑制するため、ガス化温度を 850℃から 780℃へ下げたこと。さらに、供給した脱水汚泥が基本点より高含水率、低発熱量の性状変動幅が大きかったことにより、熱分解ガスの熱量が下がったためである。なお、クリンカの発生原因として、清瀬水再生センターの汚泥濃縮設備で使用される塩化第二鉄や汚泥中に取り込まれるリンの影響により共融現象が発生し、通常より低温域でリンや鉄の酸化物が溶解し炉内のけい砂とクリンカを形成したと考えられる。

4. 3 検証結果まとめ

運転管理性、温室効果ガス発生量、ガス発連量を要求水準等に照らし合わせ評価を行う。

(1) 運転管理性

約 2 年間の運転により、運転上のノウハウの蓄積が行われた結果、平成 23 年度はより安定した運転が可能となった。なお、稼働日数の要求水準を年間汚泥処理量(33,000t)より、330 日/年と設定していたが、東日本大震災等の影響によって達成できなかった。

しかし、当局では既存の流動焼却炉の稼働日数を 292 日(稼働率 80%)と設定しており、本施設の平成 23 年度実績はこれを上回る稼働日数 305 日(稼働率 83.6%)を達成した。

このことから、既存流動焼却炉と同等の安定した運用が可能である。

さらに、大気汚染物質等各種環境規制値について、全ての項目で法規制値以下となっており、環境性も問題なかった。

(2) 温室効果ガス発生量

供給する汚泥の成分、含水率、発熱量等性状の変動が生じてても、要求水準(3,500t-CO₂/年以下)を達成した。なお、改質炉の安定運転のため、都市ガスを供給したことにより、燃料由来の CO₂ が発生したが、熱回収炉で当初予定以上の高温域での運転が可能となったため、大幅な温室効果ガスの発生量が抑制された。

(3) ガス発電量

表 4、5 のように変動する脱水汚泥性状の状況下においても、不足する生成ガスの熱量を都市ガス供給で補い、要求水準(発電量 100kWh 以上)を達成した。

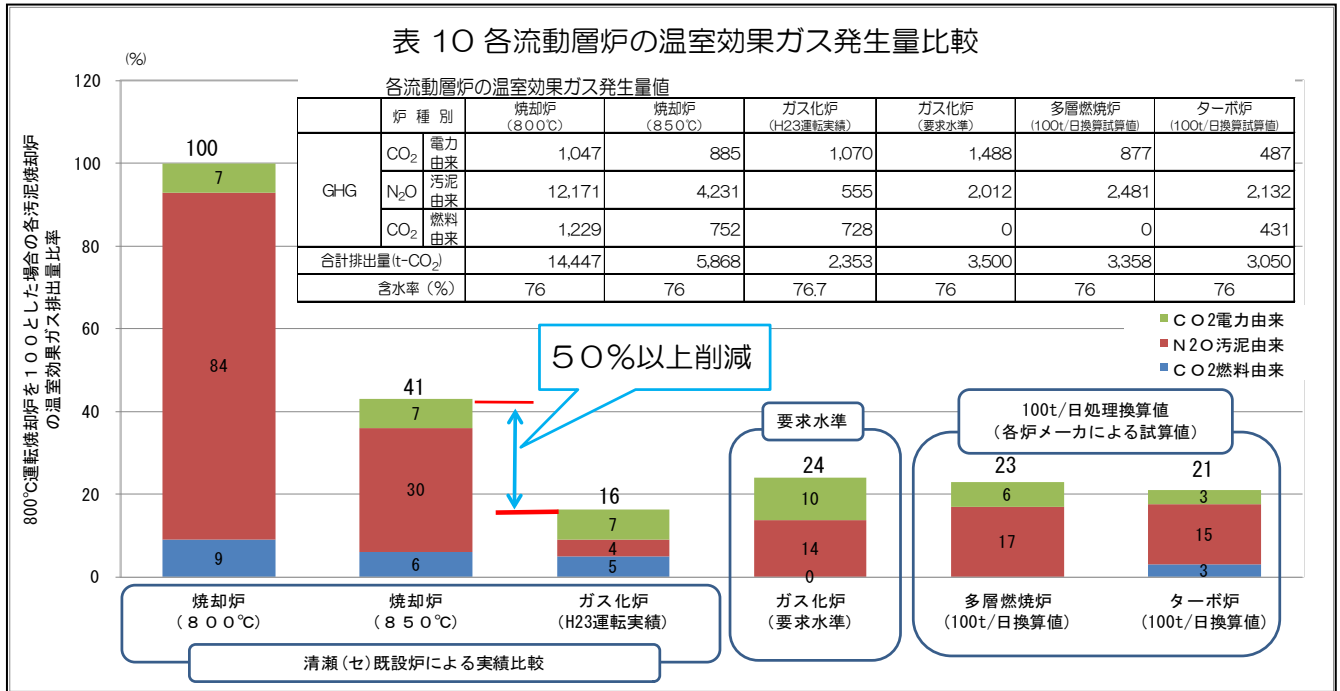
(4) まとめ

東日本大震災発生等予見できない事由発生により、稼働日数は要求水準に満たない結果となったが、各種環境規制値、温室効果ガス発生量、ガス発電量とも要求水準を達成した。

5. 既存汚泥焼却炉、新型焼却炉との温室効果ガス発生比較検証

清瀬水再生センターのガス化炉と同センター既存汚泥焼却炉（流動層式）及び、今後、他のセンターで導入が計画されている多層型、ターボ型の温室効果ガス発生量比較を表 10 に示す。

なお、多層型、ターボ型の温室効果ガス発生量は、メーカーの試算値を参考とした。



清瀬水再生センターの既存炉の高温焼却運転時と比較しても導入したガス化炉の温室効果ガス発生量は、表 10 で示すとおり 50%以上の削減が図れた。

さらに発生量はメーカーの試算値ではあるが、多層型、ターボ型といった燃焼方式を改善した新型焼却炉とも比較しても同等以上の削減効果が見込める。

6. 汚泥ガス化炉事業の事後評価まとめ

本施設は、汚泥性状が日々変動する中でも、汚泥処理を通年で支障なく行え、各種環境法規制値も満足している。さらに定期点検等計画的な停止を行っても年間の運転日数は 8 割を超え、既存の汚泥焼却炉と同様の安定運用が可能である。今後、汚泥ガス化炉の導入に際し、既存汚泥焼却炉と同様の年間 8 割稼働として設定することが妥当である。

また、温室効果ガス発生量は、燃焼方式を改善した新型焼却炉と同等以上の削減効果が見込めることから、今後、導入拡大すべき技術であると評価できる。

なお、ガス発電量は、供給する汚泥性状(含水率、発熱量)の変動より、汚泥由来の発電量が変動すること明確となった。

このため、今後、生成ガスの利用方法については、汚泥性状などを考慮して、発電や他の利用方法も検討し、個々の水再生センターの特性に応じた最適な設備を選定する必要がある。