

下水汚泥焼却炉からの温室効果ガス 排出削減対策に関する調査

1. はじめに

政府の「地球温暖化対策推進大綱」（平成14年3月）では、わが国における京都議定書に定められた温室効果ガスの削減目標を履行するための対策の全体像を明らかにされ、施策のパッケージがとりまとめられているが、このなかで、下水汚泥焼却施設における燃焼の高度化による一酸化二窒素の排出抑制策が明記されている。

今後予定されている本大綱の見直しに向けて、国土交通省では、社会資本整備審議会環境部会において社会資本整備に関する温暖化対策について審議を行い、平成16年6月に中間とりまとめを行っているが、その中で下水汚泥焼却施設の燃焼の高温化について、現在の設計指針による高温燃焼を基準化することにより燃焼の高温化を確実にしめるなど施策の強化を図る必要があるとされた。

このような背景をふまえ、本業務は下水汚泥高温焼却の基準化や下水汚泥高温焼却にかかる排出係数の見直し等に関する調査を検討し、下水汚泥焼却炉からの温室効果ガス排出対策等についてとりまとめることを目的として行った。

なお、本業務は、国土交通省都市・地域整備局下水道部からの受託研究である。

2. 調査内容

本調査の内容は大きく次の3項目である。

- (1) 下水汚泥高温焼却の基準化に係る妥当性、必要性

の調査検討

- (2) 下水汚泥高温焼却に係る排出係数見直しのための調査検討
- (3) 下水道分野におけるその他の温室効果ガス排出削減対策についての調査検討
- 調査検討にあたっては、自治体へのアンケートによる既存焼却炉および新規焼却炉計画の聴取調査も実施した。

3. 下水汚泥高温焼却の基準化に係る妥当性、必要性の調査検討

3.1 温室効果ガスの排出源

下水道において、温室効果ガスの排出源は、大きく次の項目に分けられる。

- ① 電力、燃料（石油、ガス）等のエネルギー消費に伴う排出
- ② 施設の運転に伴う各処理プロセスからの排出
- ③ 上水、工業用水、薬品類の消費に伴う排出
- ④ 下水道資源の有効利用による排出量の削減（内、自ら排出する項目は、①、②）

日本全国からの温室効果ガス排出量に占める下水道の割合^{*}は、二酸化炭素（CO₂）は0.17%、メタン（CH₄）は0.19%、一酸化二窒素（N₂O）は2.55%を占めるとされており、特に一酸化二窒素の割合が多いことがわかっている。

^{*} 『下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き』（平成11年8月 旧建設省都市局下水道部監修）による。
なお、一酸化二窒素は水処理を含めていない値。

また、一酸化二窒素の温暖化係数は大きく、温暖化への影響も大きい(表-1)。

表-1 温室効果ガスの地球温暖化係数※

物質名	地球温暖化係数
二酸化炭素	1
メタン	21
一酸化二窒素	310

※ IPCC (1955) で示されている各物質の地球温暖化係数をまとめた値。

温室効果ガスのうち、メタン、一酸化炭素については、その排出量に地球温暖化係数を乗じて、二酸化炭素ベースの地球温暖化寄与の程度を換算し、その合計値を温室効果ガスの総排出量としている。

下水処理場の場合、一酸化二窒素は、多くが汚泥焼却設備において発生していることが知られている。焼却の際、焼却物中の窒素分が熱分解され、さらに気相反応することにより一酸化二窒素が発生すると考えられているが、下水汚泥中には元々窒素分が多く含まれているため、その発生量も多くなる。

よって、温室効果ガス削減対策を検討するにあたっては、下水汚泥焼却設備からの一酸化二窒素削減が効果的と考えられる。

3.2 焼却設備における一酸化二窒素の削減対策

3.2.1 一酸化二窒素の削減率概要

現在までに発表されている研究、調査結果より、焼却設備の一酸化二窒素排出量削減には、燃焼温度の高温化が効果的であることがわかっている。

図-1 に、焼却炉温度とN₂Oへの変換率の相関データの一例を示すが、フリーボード燃焼温度が高くなる

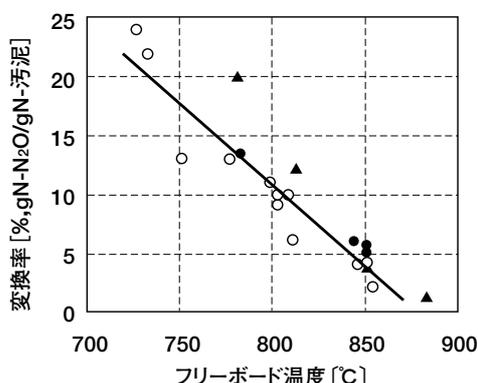


図-1 流動焼却炉におけるフリーボード燃焼温度と一酸化二窒素変換率

(「流動炉における排ガス成分の挙動解明および削減に関する共同研究報告書」土木研究所、名古屋市下水道局：共同研究報告書第109号、平成6年12月 より引用)

ほど汚泥中に含まれる窒素(N)分の一酸化二窒素への変換率が低くなっており、その効果は870°C程度まで得られることがわかる。

また、「流動炉における排ガス成分の挙動解明及び削減に関する共同研究報告書」(土木研究所：協働研究報告書第147号、1996)では、高分子系汚泥を流動炉で燃焼した場合の、下水汚泥中窒素分の一酸化二窒素への変換率を次の式で示している。

$$x = (-0.1403 \times t + 123) / 100$$

x : N₂O転換率 (N of N₂O-g/N of S ludge-g)

t : フリーボード燃焼温度 (°C)

本式により、フリーボード燃焼温度800°Cから850°Cまで50°C上昇させる場合を試算すると、約66%の一酸化二窒素が削減されることがわかる。

この他にも、燃焼温度と一酸化二窒素の相関や、燃焼温度の高温化が与える影響等についての各種研究調査が近年盛んに行われている。

3.2.2 焼却設備プロセスに与える影響

高分子流動炉(現在主流の炉形式)の燃焼温度を引き上げることにより、焼却設備プロセスが受ける影響の要点をまとめると次のようになる。

- ・補助燃料の使用量を増大させることで数十度程度の引き上げが可能であるが、空気予熱器(熱交換器)の伝熱チューブ等の損傷が進む可能性が高い。その影響の大きさは熱交換器の構造に左右され、特に損傷を受けないものから冷却器等の増設が必要となる場合もある。しかし、多くは補修頻度および補修費を増加させることで対応可能である。
- ・炉内の耐火物については、補修頻度が若干増加するおそれがあるが、大幅な耐久性の低下は生じない。
- ・炉本体、排ガス処理設備およびブロワ等の能力に制約があり、補助燃料使用量の増加に伴って汚泥処理量の低下が予想される(燃焼温度を50度引き上げた場合でも汚泥焼却能力は数%程度の減少にとどまる)。
- ・実際に高温運転してみた事例では、空気予熱器が短期間で損傷に至ることは無かった。ただし、(長期運転時の)強度寿命予測のための解析、評価が必要である。

3.2.3 焼却施設の維持管理コスト増加

高分子流動炉の燃焼温度高温化にあたっての維持管理コスト増加についてまとめると、次のようになる。

- ・高温化には補助燃料使用量の引き上げ、それに伴う空気量および排ガス量の増大がある。このため、建設費、運転・維持費(人件費、消耗品費、薬品費、

補助燃料費および電力費) および補修費のうち、運転・維持費の補助燃料費、プロワが消費する電力費、排ガス処理プロセスの薬品費および空気余熱器等の損傷が進行することによる補修費の増大が見込まれる。

- ・設計値より50度高い燃焼温度を想定した場合でも、LCCの観点からは耐用年数の変化がほとんど生じない(人件費は変化しないと仮定。消耗品費は微増が予想されるが、トータルコストに占めるシェアが1%程度であるため、無視)。
- ・設計値より50度高い燃焼温度を想定した場合、トータルコストは10~15%増加する。そのうち、補修費分は半分以上を占める。

3.2.4 温室効果ガス削減効果予測

国内焼却炉のCO₂排出総量について、現状のままの燃焼温度(約800~850℃)とした場合と、燃焼温度を高温化した場合についての予測値を表-2に示す。

表-2は「下水汚泥焼却施設の温室効果ガス削減コストに関する調査報告」に示されていた表に若干手を加え、汚泥由来CO₂を除いてのCO₂削減量を試算しなおしたものである。現状(1998年時点)と2010年(地球温暖化防止京都会議の温暖化ガス削減目標年)のそれぞれの予測排出量の推計が示されている。

表-2 全国の汚泥焼却施設から排出される温室効果ガスの予測

(単位: CO₂万t/年)

年 度		1998年度 (現状)	2010年度 (65%焼却・ 置換せず)	2010年度 (65%焼却・ 流動に置換)
現 状	汚泥由来	CO ₂	120	158
		N ₂ O	137	189
	補助燃料由来	CO ₂	28	35
	計		285	383
計(汚泥由来CO ₂ 除く)		165	224	235
高温化	汚泥由来	CO ₂	120	158
		N ₂ O	54	67
	補助燃料由来	CO ₂	33	42
	計		206	268
計(汚泥由来CO ₂ 除く)		87	110	102
削 減 量		78	115	133

※ 「下水汚泥焼却施設の温室効果ガス削減コストに関する調査報告」(土木研究所資料)表4-9より換算して作成

※ “65%焼却”とは、2010年の脱水汚泥量に対する焼却量の割合の推計値であり、1998年度から1997年度までの脱水汚泥量と焼却汚泥量のデータ、および脱水汚泥量に対する焼却汚泥量のデータから、線形外挿により求めた値。

※ “流動に置換”とは、1980年までに設置された古い焼却炉の凝集剤種類、型式が、すべて高分子系凝集剤かつ流動床式に置換されると想定した場合。“置

換せず”とは、その逆で、そのまま置換されなかった場合。

※ “高温化”とは、炉内最高温度条件を、約850℃~870℃に見直した場合のことであり、現状最高温度が825℃以下の炉は+50℃、825℃~850℃の炉は+25℃一律で上昇させた場合。

表-2より、次のことがわかる。

- ・既存の炉を高温化することで、約78CO₂万t/年の削減効果が得られる。
- ・既存の炉も含め、今後増設するすべての炉の高温化を進めていった場合、2010年時で115~133CO₂万t/年の削減効果がある。
- ・既存の炉の高温化を進めずに、今後増設する炉のみを高温化を進めた場合、37~55CO₂万t/年程度の削減効果しか得られない。
(∴(115~133)-78CO₂万t/年=37~55CO₂万t/年)よって、既存炉の改造は不可欠であると考える。

4. 下水汚泥高温焼却に係る排出係数見直しのための調査検討

4.1 アンケートの目的と内容

作業を進める上で、既設炉の実態および今後の計画について確認が必要と判断された。よって、アンケート調査によりこれら情報を収集することとした。

以下のいずれかの条件を有する地方公共団体をアンケートの対象とした。

- ・下水汚泥焼却炉のうち、平成15年度に稼働の実績のある流動焼却炉
- ・平成16年度以降平成22年度までに稼働予定の新設流動焼却炉

なお、「地球温暖化対策推進大綱」の施策で、一酸化二窒素の排出抑制のために高温化燃焼の対象となっているのは“高分子流動炉(高分子系凝集剤を用いた流動床式焼却炉)”であることから、流動床式焼却炉を対象に実施し、炉規模、建設年、凝集剤の種類、今後の停止、廃棄の有無等について確認した。

また、一酸化二窒素の排出に大きく影響を与えるとされている焼却温度については、設計温度と合わせて、実測温度についても記入してもらった。

4.2 アンケート集計結果

得られた回答数は次のとおりであった。

- ・下水汚泥焼却炉のうち、平成15年度に稼働の実績のある焼却炉(39都道府県に該当焼却炉あり)

対 象	処理場数	焼却炉数
回答数	146	224

・平成16年度以降平成22年度までに稼働予定の新設焼却炉（23都道府県に該当焼却炉あり）

対 象	処理場数	焼却炉数
回答数	41	44

本調査の目的は、国内の下水汚泥焼却炉の実態を確認するとともに、改善の対象を明らかにし、対策とその効果を検討することにある。

よって、アンケート結果を元に、“炉の改善対象である燃焼温度の低い高分子流動炉がどれくらいあるのか”という点に的を絞り、集計していった。

4.2.1 平成15年度に稼働の実績のある焼却炉の集計結果

改善対象である燃焼温度の低い高分子流動炉の確認のため、次の順序で集計を行った。

- ① 継続使用予定炉か否か
- ② 凝集剤が高分子系か石灰系か
- ③ 設計温度および実測温度が高温か否か

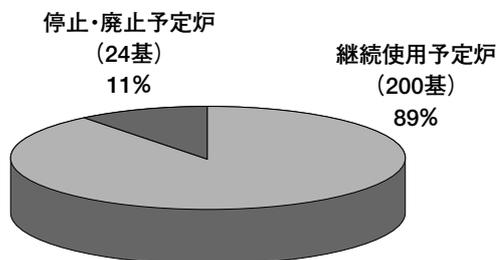
なお、先の第2章において、焼却炉の高温化の温度目標に関するポイントは次のとおりであった。

- ・850℃前後の目標が適当
- ・N₂O削減の効果は、最大約870℃程度まで

“850℃前後”については、実際の運転温度の変動域を考慮し±20℃程度をみる必要があると考える。よって、③の高温か否か、については、830℃、850℃、870℃の3点で確認を行うこととした。

① 継続使用予定炉であるか否か

平成15年現在稼働している流動炉の内、平成22年までの休止・廃棄の有無の内訳を図一2に示す。なお、本調査で対象とした“流動炉”とは、流動床式や循環流動層式およびそれに類する形式の焼却炉のことを意味し、ストーカ式、多段式、キルン式等の焼却炉や、乾燥炉や炭化炉等は集計外とした。



図一2 継続使用予定炉と停止・廃止予定炉

H15年現在稼働している流動炉224基の内、平成22年度までに停止予定の炉は24基（約10%）であり、以降の検討対象となる継続使用予定炉は200基（約

90%）であった。

② 凝集剤が高分子系か石灰系か

焼却炉に投入する脱水ケーキ中には、濃縮・脱水する過程のなかで各種薬剤が添加されており、石灰系凝集剤、高分子系凝集剤の他、塩化第二鉄やPAC等がある。ここでは、焼却時に炉出口排ガス成分（特に窒素化合物）に影響を与える石灰分の有無により分類した。

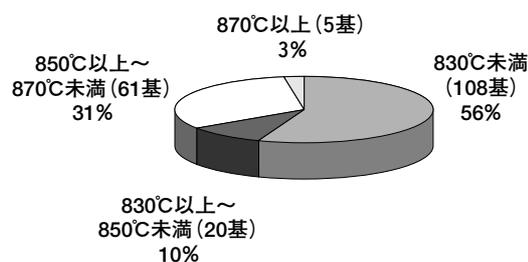
表一3 継続使用流動炉の凝集剤分類

項 目	基数 (基)	割合 (%)
高分子系凝集剤使用炉	194	97.0
石灰系凝集剤使用炉	6	3.0
継続使用流動炉全数	200	100.0

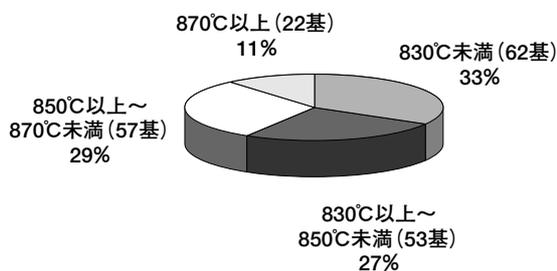
多少とも石灰系凝集剤を用いている場合はすべて石灰系凝集剤使用炉として集計したが、継続使用流動炉の3%であった。残り97%は、検討の対象となる高分子系流動炉であった。

③ 設計温度および実測温度が高温か否か

温度測定箇所や滞留時間等の条件については、今後議論を要するところではある。また、アンケート回答のなかで、範囲をつけて回答されているものもある。そこで、今回の集計では最高温度が何度であるかという点のみで考えることとし、範囲をつけて回答しているものについては、その範囲の最高温度を捨てることとした。以下に、設計温度と実測温度の各集計分類結果を示す。



図一3 高分子流動炉 設計温度別基数



図一4 高分子流動炉 実測温度別基数

図-3, 図-4より, 次のことがわかる。

- ・設計温度でみると, 850℃以上の炉は全体の約1/3 (34%) であり, その他の2/3 (66%) は850℃に到達していない。830℃未満でも, 半数以上 (56%) に及ぶ。
- ・実測温度でみると, 850℃以上の炉は全体の4割 (40%) であり, 6割が850℃に到達していない。830℃未満の炉は, 約3割 (33%) である。
- ・設計温度と実測温度を比べると, 相対的に実測温度の方が高温域の割合が高くなっている。
原因として, 設計温度 (炉出口温度等) よりもさらに高い温度帯 (フリーボード中部等) ができているケースや, 高温燃焼を意識して設備の許容温度内で高めの運転をしているケース等が考えられる。

④ 高温化対策対象炉数の特定

ここで, 今後の高温化対策対象炉数の検討材料とするため, 設計温度が850℃未満の炉を対象に, さらに条件を分けて集計を行った。結果を表-4に示す。

表-4 設計温度, 実測温度条件別基数確認結果

項目	基数	流動炉全体 (224基) からみた割合
1) 高分子流動炉の条件で, 設計温度が850℃未満の炉	128	約57%
2) 上項の条件 + 設計温度が830℃未満の炉	108	約48%
3) 上項の条件 + 実際温度が850℃未満の炉	73	約33%
4) 上項の条件 + 実際温度が830℃未満の炉	39	約17%

表より次のことがわかる。

- ・設計温度でみた場合, 830℃未満の条件でも48% (約半数) が改造対象となる。
 - ・実測温度でみると, 850℃以上で33% (約1/3), 830℃以上で17% (約1/6) が改造対象となる。
- 以上より, 対象温度, および数十度の温度条件の違いによって対象となる焼却炉の基数が大きく変わることがわかった。今後指標を検討するにあたっては, 対コスト効果も考慮しながら検討を進める必要がある。

4.2.2 平成16年度以降平成22年度までに稼働予定の新設焼却炉

既設炉の場合と同様に, 設計温度による集計を行い, 830℃未満, 830℃以上~850℃未満, 850℃以上~870℃未満, 870℃以上の4分類を行った (範囲をつけ

て回答しているものについては, その範囲の最高温度を捨てることとした)。

なお, 凝集剤については, 新規設備はほぼ高分子系が主流となっていることからすべて高分子系であるものとして取り扱った。

以下に, 設計温度による集計分類結果を示す。

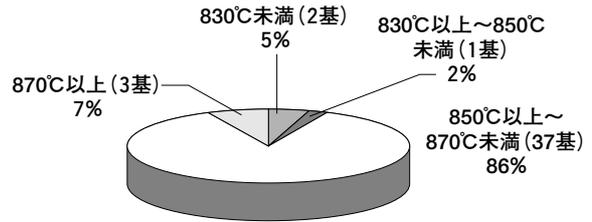


図-5 新設流動床式焼却炉 設計温度別集計

図-5に示すように, 新設炉においてはすでに設計温度850℃以上の炉がほとんどであった。「下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き」等による高温化の奨励が浸透してきたものと考えられる。

また, 既設炉の場合と同様に考えると, 実際の運転温度は設計温度よりもさらに高くなることが想定され, その場合ほぼ全数が850℃前後の運転になると考えられる。

よって, 新設炉については, 別途新たに対策をするまでもなく, 温室ガス削減対策がなされているものと判断される。

5. 下水道分野におけるその他の温室効果ガス排出削減対策についての調査検討

5.1 下水道全般に占める温室効果ガス割合

焼却炉以外の温暖化ガス排出源について, 温暖化大綱の140万t相当を削減するにあたって効果的であるかどうかの確認を行った。

下水の温暖化ガス排出源は, 自ら排出しない項目も含めると, 大きく次の4項目に分けられる。

- ① 電力, 燃料 (石油, ガス) 等のエネルギー消費に伴う排出
- ② 施設の運転に伴う各処理プロセスからの排出
- ③ 上水, 工業用水, 薬品類の消費に伴う排出
- ④ 下水道資源の有効利用による排出量の削減

「下水道における地球温暖化防止 実行計画策定の手引き」(旧建設省都市局下水道部監修, 平成11年8月)による, 全国の下水処理場から排出される温室効果ガスの試算例(下水道統計 平成8年度版より)より, 各項目の排出量を集計すると, 表-5のようになる。

表-5 項目別温室効果ガス排出量

項目	温室効果ガス 排出量 (Gg-CO ₂ /年)	割合 (%)	備考
①電力, 燃料(石油, ガス)等のエネルギー消費に伴う排出	3,394	72.5	内, 電力が 2,177Gg-CO ₂ /年
②施設の運転に伴う各処理プロセスからの排出	1,238	26.5	内, N ₂ Oが 1,092Gg-CO ₂ /年
③上水, 工業用水, 薬品類の消費に伴う排出	48	1.0	上水, 工業用水分は未集計
④下水道資源の有効利用による排出量の削減	(未集計)	-	
合計	4,680	100.0	

表-5より次のことがわかる。

- ①, ②に対応する項目で排出量の大半を占めており、合わせると99%を占める。特に①のエネルギー消費における、電力による排出量が非常に大きく、次いで②の項目のN₂Oの占める割合が大きい。
- ②の項目の大半を占めるN₂Oは、前項までに検討してきた焼却炉由来のものであり、残りは水処理由来のメタン(CH₄)によるものである。CH₄は、最初沈殿地の嫌気状態を抑制することで削減可能だが、水処理全体の各処理効率機能を考慮する必要がある点で即座に対応は難しく、また、排出量が14.6万t(全体の約3%程度)と、電力、N₂Oに比べて全体に占める量が格段に小さいことから、大きな削減効果は望めない。
- ③の項目については、残念ながら上水, 工業用水分は未集計であり、薬品部分のみの集計であるが、全体の1%程度とわずかである。仮に上水, 工業用水量をカウントしたとしても、処理場では機械用水として、ほとんどが処理水を使用していることから、使用量は限られていると考えられる。
- ④の項目については、未集計となっているが、消化ガスの利用や再生水の利用等が挙げられる。

よって、温暖化ガス排出割合の大きい、①電力, 燃料(石油, ガス)等のエネルギー消費に伴う排出, および未集計の、④下水道資源の有効利用による排出量の削減について、以降の項で確認してみる。

5.2 個別項目の排出量と削減効果の確認

5.2.1 電力消費に伴う排出

①のエネルギー消費に関する温室効果ガスの排出量に関し、より詳細に確認するため、下水道統計(平成14年度)より、電気および燃料等の使用量を積算し、CO₂排出量を求めてみた。結果を、表-6に示す。

表-6 下水道施設における燃料等の使用に伴う温暖化ガス排出量

燃料等	使用量(平成14年度) (下水道統計より)	排出係数 kgCO ₂ /kWh ℓ, m ³ , kg	排出量		
			C (Gg)	CO ₂ (万t)	
電気	千kWh	6,745,968	0.378	695.4	255.0
(油系)					
特A重油	ℓ	28,290	2.710	20.9	7.7
A重油	ℓ	56,693	2.710	41.9	15.4
灯油	ℓ	31,753	2.492	21.6	7.9
軽油	ℓ	432	2.624	0.3	0.1
ガソリン	ℓ	118	2.322	0.1	0.0
その他	ℓ	97	2.888	0.1	0.0
(ガス系)					
都市ガス	m ³	39,427,732	2.108	22.7	8.3
プロパンガス	m ³	704,285	3.002	1.2	0.4
消化ガス	m ³	152,689,215			
その他	m ³	0			
(固形系)					
コークス	t	17,364	3.251	15.4	5.6
その他	t	800	2.506	0.5	0.2
合計				820.1	300.7

- 排出係数は、「事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン(試案ver1.5)」(平成15年7月 環境省)に依った。
 - プロパンガスの排出係数は、LPGの排出係数を用いた。
 - 特A重油の排出係数は、A重油の排出係数を用いた。
 - (油系) その他の排出係数は、その他石油製品の単位発熱量当たり排出係数にその他液体燃料の単位発熱量を乗じて求めた。
 - (固形系) その他(=微粉炭)の排出係数は、原料炭の排出係数を用いた。
- プロパンガスの排出係数の単位は、kgCO₂/kg。1 m³ = 2 kgで換算した。

表-6を見ると、電力および燃料等のエネルギー消費に伴う温暖化ガス排出量は、全体で301万tあることがわかる。このうち電力使用に伴うものが特に多く、255万tと大部分(85%)を占めている。

そこで、以下に、電力使用量の推移についてもまとめてみた。

電力使用量は、処理水量および原単位により変化すると考えられるが、ここでは簡単に電力使用量の過去の推移から将来予測した(図-6に示す)。また併せ

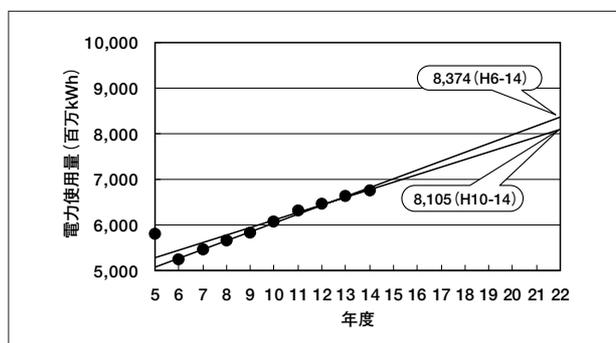


図-6 過去データに基づく電力使用量推定

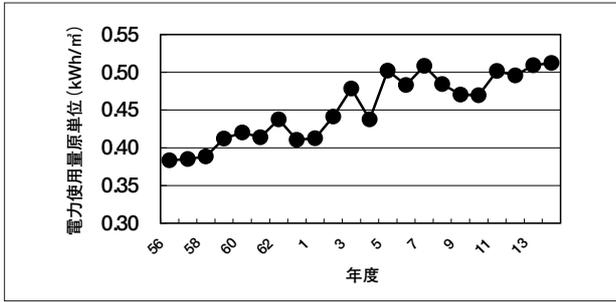


図-7 単位処理水量当たりの電力使用量累計

て、今までの単位処理水量当たりの電力使用量について、図-7に示す。

なお、図-6では、過去10年（変化の大きいH5のデータを除く）および過去5年のデータに基づき回帰分析を行った結果を示した。

図-6をみると、電力使用量は、過去5年程度をみれば電力使用量の伸びがやや小さくはなっているものの、全体的には、年を追って増加傾向にあることがわかる。また、図-7より、単位処理水量当たり電力使用量（原単位）についても、年により若干増減があるものの、全体として増加傾向にあることがわかる。

以上より、温暖化ガス排出量の割合からみて、削減を行うには、本来電力使用量の低減が最も効果的であることがわかる。

ただし、電力使用量の削減により、高温焼却導入による温暖化ガス排出量の削減量（温暖化大綱の140万t相当）と同じ削減量を得るためには、電力使用量原単位を半分程度にしなければならないことになる（電力使用量が現在のトレンドのまま推移し、2010年には8,000百万kWh余、温暖化ガス排出量として約300万tになるため）。

電力使用量削減策については、バイオマスエネルギーの有効利用や自然エネルギーによる発電等の技術が

検討、導入されているところではあるが、2010年までの短期間に半減させるのは難しいと考えられる。

5.2.2 燃料消費に伴う排出

先の表-6に示したように、電力消費によるものほどではないが、燃料消費により約50万tものCO₂が排出されている。

そこで、本項では、燃料の種類を見直すことで、CO₂排出量が削減できないかを検討してみる。

まず、下水設備で主に使用されている燃料について、発熱量当たりの排出係数を、値の低い項目から順にまとめると表-7のようになる。

表-7 発熱量を基にした排出係数

燃料	単位量当たりの排出係数	単位量当たりの発熱量	発熱量当たりの排出係数	左項比率
都市ガス	2.108kgCO ₂ /N m ³	41.1MJ/N m ³	0.051kgCO ₂ /MJ	1.00
プロパンガス	3.002kgCO ₂ /kg	50.2MJ/kg	0.060kgCO ₂ /MJ	1.17
ガソリン	2.322kgCO ₂ /ℓ	34.6MJ/ℓ	0.067kgCO ₂ /MJ	1.31
灯油	2.492kgCO ₂ /ℓ	36.7MJ/ℓ	0.068kgCO ₂ /MJ	1.32
軽油	2.624kgCO ₂ /ℓ	38.2MJ/ℓ	0.069kgCO ₂ /MJ	1.34
A重油 (特A重油)	2.710kgCO ₂ /ℓ	39.1MJ/ℓ	0.069kgCO ₂ /MJ	1.35
コークス	3.251kgCO ₂ /kg	30.1MJ/kg	0.108kgCO ₂ /MJ	2.11

- 1) 排出係数、発熱量は、「事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン（試案ver1.5）」（平成15年7月環境省）に依った。
- 2) プロパンガス排出係数は、LPGの値を用いた。

表-7をみると、総じて気体燃料（都市ガス、プロパンガス）の排出係数が低く、液体、固体となるに従い大きくなっていることがわかる。都市ガスの発熱量当たりの排出係数を1.0とした場合の各燃料の比率をみると、液体燃料は1.31~1.35倍、固体のコークスで

表-8 液体燃料を都市ガスに見直した場合のCO₂削減量

項目		特A重油 (ℓ)	A重油 (ℓ)	灯油 (ℓ)	コークス(t)	合計
処理場	消化・加温設備	2,235,315	8,451,870	1,926,084	0	
	コンポスト設備	0	47,771	26,000	0	
	乾燥・焼却・溶融関係設備	22,299,870	36,259,079	25,252,895	17,364	
	管理部門、車両燃料等	412,086	3,244,836	1,693,129	0	
	その他	29,895	1,037,433	96,124	0	
使用量合計		24,977,166	49,040,989	28,994,232	17,364	
見直し前	各燃料の排出係数 (kgCO ₂ /ℓ, t)	2.710	2.710	2.492	3.251	
	CO ₂ 排出量 (CO ₂ kg) -①	67,688,120	132,901,080	72,253,626	56,450	272,899,276
見直し後	各燃料の発熱量当たりの排出係数 (kgCO ₂ /MJ)	0.069	0.069	0.068	0.108	
	都市ガスの発熱量当たりの排出係数 (kgCO ₂ /MJ)	0.051				
	都市ガスに見直した場合のCO ₂ 排出量 (CO ₂ kg) -②	50,030,350	98,231,233	54,190,220	26,657	202,478,460
	見直しによる削減量 (①-②) (CO ₂ kg)	17,657,770	34,669,847	18,063,406	29,793	70,420,816

は2.11倍になる。

そこで、下水の各設備の液体、固体燃料を、都市ガスに切り替えた場合の温室効果削減量を試算してみる。

試算にあたっては、下水道統計（平成14年度）から、各設備ごとの燃料使用量を整理し、ポンプ場、発電設備関係を除く、各設備項目において、特A重油、A重油、灯油全量を都市ガスに切り替えた場合についてCO₂削減量を求めた。

結果を表-8に示すが、最も排出量の多いA重油の見直しで34,669,847 (CO₂kg) ≒ 3.5 (CO₂万 t) の削減効果があり、特A重油、灯油、コークスを合わせると、70,420,816 (CO₂kg) ≒ 7.0 (CO₂万 t) の削減効果となった。

5.2.3 その他項目の温暖化ガス

この他、温暖化ガス排出減としての割合が低い、④の項目についても試算してみた。

(1) 消化ガス利用により今後削減可能な量+既に利用、削減されている量

：約5万 t CO₂

- ・平成14年度時点での未利用消化ガスを全量有効利用できるものとし、さらに現状有効利用されている分も加算し試算。
- ・換算にあたっては、単位ガス量当たりの発電量を1.59kWh/m³とし、単位電力当たりの排出係数を使用

(2) 再生水利用により削減されている量

：約2万 t CO₂

- ・平成13年度の再生利用水全量に、環境用水および農業用水利用分も加算し、工業用水の排出係数 (0.108 t CO₂/千 m³) を用いて試算

以上のように大局的にみると、残念ながら温暖化ガス削減への貢献度はやや小さい。ただし、資源有効活用、水循環の意味合いからは非常に重要な施策でもあることから、普及を促進し、少しでも温室効果ガスの削減に寄与してもらいたい分野である。

6. まとめ

本調査の結果を以下にまとめて示す。

(1) 焼却炉の設定温度目標値

N₂Oの削減の効果は、CO₂の増加も考慮すると、焼

却炉の設定温度目標値を850℃前後とすることが妥当である。

(2) 焼却炉温度設定対象

温暖化大綱のCO₂削減目標である140万 tに相当する量を目指すには、新設炉のみでなく、既存炉の改造も不可欠である。この場合、数十度程度の引き上げが構造上可能な範囲である。

(3) 下水道分野の他の対策の有効性

温暖化ガス排出量の割合からみると、CO₂削減を行うには、本来電力使用量の低減が最も効果的であるが、温暖化大綱の削減量を得るためには、電力使用量原単位を半分程度にしなければならず、現状では困難である。

また、燃料種類の見直し、下水道資源の有効利用、消化ガス利用、再生水利用等についても排出量削減効果を試算してみたが、高温焼却導入による削減量ほどの効果は得られない。

以上より、高温焼却導入による一酸化二窒素削減が有力な温暖化対策であることが確認された。

今後は、具体的な費用対費用効果を考慮しながら、改造対称焼却設備をより明確にし、高温燃焼の基準化、施策に反映していく予定である。

(参考文献)

- 1) 旧建設省都市局下水道部監修：下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き、平成11年8月
- 2) 土木研究所、名古屋市下水道局：共同研究報告書第109号：流動炉における排ガス成分の挙動説明および削減に関する共同研究報告書、平成6年12月
- 3) 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 平出亮輔氏 他、平成17年2月下水道協会誌発表：下水道施設から排出される地球温暖化物質 (CH₄、N₂O) 排出インベントリーの算定と排出抑制技術
- 4) 東京都下水道局技術調査年報2003：汚泥処理における温室効果ガス排出量削減調査
- 5) 土木研究所資料 平成12年5月：下水汚泥焼却施設の温室効果ガス削減コストに関する調査報告
- 6) 下水道統計 平成14年度版
- 7) 環境省：事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン (試案ver1.5)、平成15年7月
- 8) 下水道資源有効利用推進基礎調査、平成15年3月

●この研究を行ったのは

研究第一部長	堀江 信之
研究第一部主任研究員	吉澤 正宏
研究第一部研究員	金森 聖一

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長	堀江 信之
研究第一部総括主任研究員	加畑 雅宏
研究第一部研究員	橋本 久尚