

第 2 章 技術の概要と評価

第 1 節 技術の概要

§ 5 技術の目的

下水道事業において新エネ・省エネ対策および温室効果ガス排出量削減を推し進めることが喫緊の課題となっている。

本技術は、下水汚泥焼却設備において、下水汚泥焼却炉の廃熱等の下水処理場資源を有効活用しながらエネルギー削減効果、温室効果ガス削減効果を得ることを目的とする。

【解 説】

平成 28 年 5 月に「地球温暖化対策計画」が策定され、中期目標(2030 年度削減目標)の達成に向けて着実に取り組むことが基本的方向として示された。また、パリ協定や長期的な目標を見据えた戦略的取り組みとして、抜本的な温室効果ガスの排出量削減を可能とする革新的技術の開発・普及などイノベーションによる解決の最大限の追及が求められている。

下水道事業で温室効果ガス排出量を削減する方法としては、消費エネルギーの削減、汚泥焼却炉での一酸化二窒素(N_2O)排出抑制等が挙げられる。ここで、消費エネルギーの削減方法に関しては、汚泥焼却炉から排出される高温排ガスからのエネルギー回収が有効な手法の一つと考えられる。また、汚泥焼却炉からの排ガス中には温暖化への影響が大きい N_2O が多く含まれるため、排出量を削減することを目的に高温焼却化対策が進められている。ただし、前者については、下水汚泥焼却炉は得られる余剰熱量が少ないため高効率発電設備の導入が困難な実情がある。また、後者については、燃焼温度が高いほど窒素酸化物(NO_x)の排出量が増加するため、 N_2O 削減のため高温焼却化するだけでは NO_x の排出量が増加することになる。

生成された NO_x は降雨や霧、粒子状物質に溶解・吸着することにより降下・蓄積され流下する水の硝酸イオン濃度を上昇させ、土壌および地下水の酸性化がすすみ水環境や農業へ影響が及ぶ。また、 NO_x の主な発生源は自動車排ガスであることから、「自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法」1992 年より大気汚染防止法の特別措置法として制定されるとおり、削減を進める事が重要とされている物質である。一方、 N_2O は二酸化炭素(CO_2)の 298 倍の温室効果をもつガスであり、地球温暖化防止の観点からも排出の抑制が望まれる温室効果ガスである。

これらの背景を踏まえ、本ガイドラインでは、これらの課題に対処でき、下水道管理者の課題の解決に寄与する (1)高効率発電技術、及び(2)局所攪拌空気吹込み(二段燃焼)技術について示す。また、本技術のイメージを図 5-1 に、本技術の概念図を図 5-2 に示す。両技術共に新設もしくは更新時の同時設置のみならず、既存設備への段階追加設置が可能な技術であるため、設備の更新時期を待つことなく早期に導入が可能であり、省エネルギー効果及び創エネルギー効果を速やかに得るとともに地球温暖化対策に貢献可能である。

(1) 高効率発電技術

豊富な下水処理水を冷却水として活用する高効率小型蒸気タービン発電技術
: 150~1,500kW の小規模での高効率発電が可能で、従来得られる余剰熱量が少なく高効率蒸気タービン発電設備の導入が困難であった焼却炉(約 200wet-t/日 (52ds-t/日))に導入可能。

(2) 局所攪拌空気吹込み技術

N₂O および NO_x の排出を抑制する二段燃焼技術
: 既設焼却炉まわりの省スペースに、省コストで設置可能。

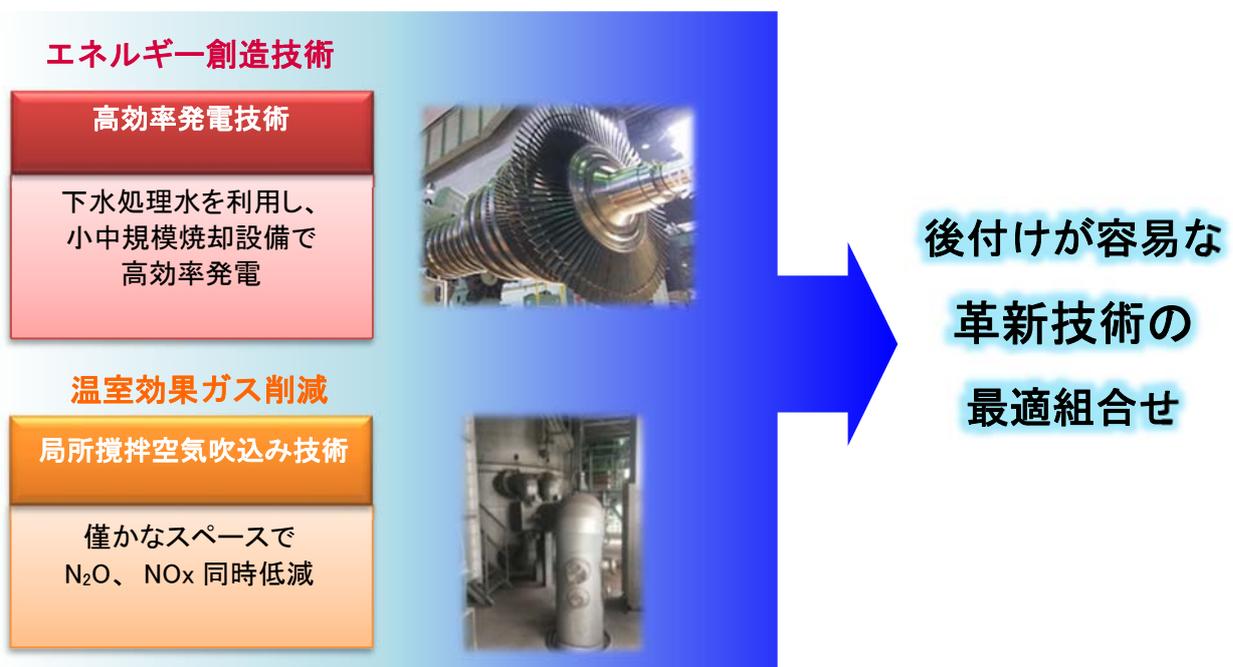


図 5-1 本技術のイメージ

注記: 図 5-1 局所攪拌空気吹込み技術の写真は、炉へ吹込むノズルは上下二段となっているが
実証試験向け条件確認用の設置であり、設備の必須条件ではない。

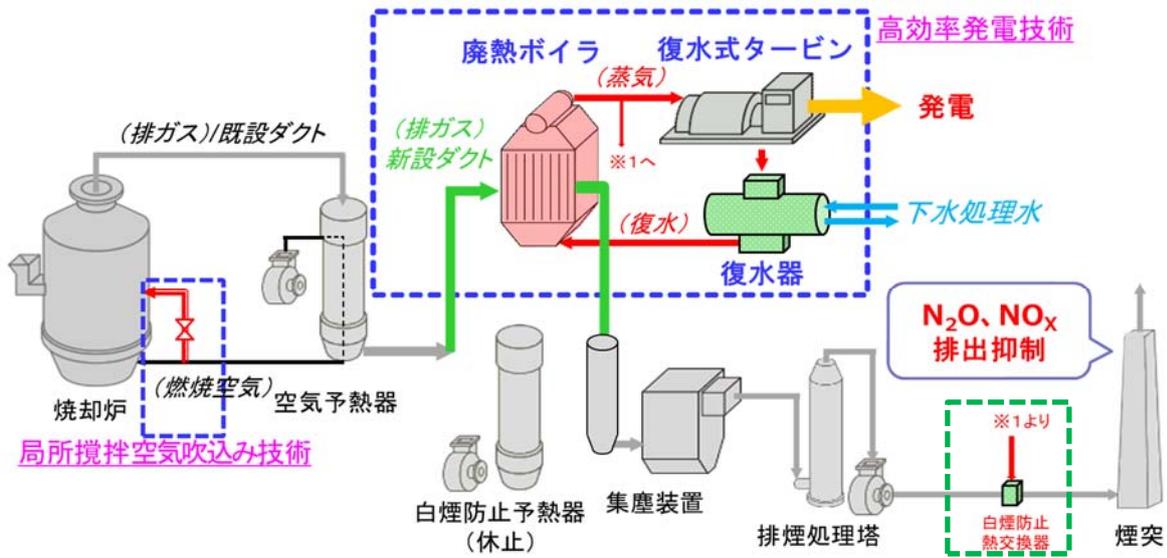


図 5-2 本技術の概念図

(3) 高効率発電技術の追加設置概説

後付け高効率発電設備は、既設焼却設備の廃熱回収機器(空気予熱器)と排ガス処理設備(集塵装置)の間に設置する。(下記の下線部は追加設置を示す)

なお、白煙防止熱交換器については設置するが、本技術による発電量を最大限発揮させるため、運用しないことを原則とする。

既設焼却炉の焼却排ガス

↓

既設ダクト(高温焼却排ガス+焼却灰含む)

↓

既設空気予熱器(炉運転に必要な熱を回収:高温排ガス+焼却灰含む)

↓

新設ダクト(高温焼却排ガス+焼却灰含む)

↓

高効率発電設備(廃熱により蒸気を作る:高温排ガス+焼却灰含む)

↓

新設ダクト(高温焼却排ガス+焼却灰含む)

↓

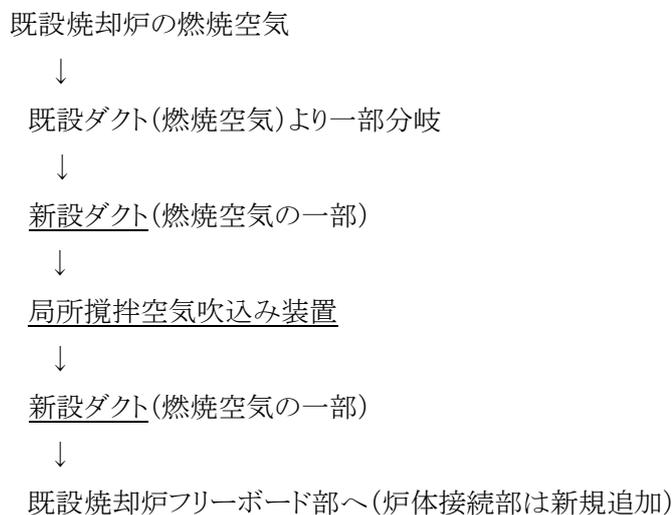
既設集塵装置(灰捕集:以下、既設排ガス処理設備同様の処理)

既設焼却炉で焼却処分された汚泥は燃焼し、高温焼却排ガスとして炉から排出され既設ダクトを経て既設空気予熱器へ接続される。ここで、炉の運転に必要な熱を既設空気予熱器にて回収する。その後、焼却排ガスは追加設置する焼却排ガスダクトを通り、ボイラへ入る。ボイラでは

焼却排ガスを熱源とした蒸気が作られ、蒸気はタービンの動力源として利用される。一方、ボイラで熱回収された焼却排ガスは、既設集塵機入口のダクトへ接続され、既設排ガス処理設備を経てダストの捕集、排ガスの調整を経て大気放出される。処理場によって、煙突部の白煙防止運転が必要となる場合は、排煙処理塔出口に白煙防止蒸気熱交換器を設置(図 5-2 緑破線部)するケースもある。

(4) 局所攪拌空気吹込み技術の追加設置概説

追加設置局所攪拌空気吹込み装置は、既設燃焼空気より分岐し、局所攪拌空気吹込み装置を経て、既設焼却炉フリーボード部へ吹込む。(下記の下線部は追加設置を示す)



焼却炉へ供給される燃焼空気の量は変わらないが、炉へ吹込む方法を変える事でフリーボードの高温化を図る。

§ 6 高効率発電技術の概要と特徴

従来、脱水汚泥約 200wet-t/日(約 52ds-t/日)以下の焼却炉では、得られる余剰熱量が少ないため高効率蒸気タービン発電設備の導入が困難であった。本技術は、豊富な下水処理水を冷却水として活用する高効率小型復水式タービンにより発電を行なうものであり、発電量で 150~1,500kW の発電が可能である。また、脱水汚泥量約 60~300wet-t/日(約 12.6~78ds-t/日)の焼却炉規模に導入可能であり、既存設備にはダクトを切り回すことで後付可能な設備である。

本技術の特徴は以下の通りである。

- (1) 小中規模焼却設備にも適応可能な、高効率小型復水式タービン
- (2) 下水処理水を冷却水として有効活用、高効率化

【解 説】

本技術は、高効率小型復水式タービンの開発、下水処理水の利用による発電効率の高効率化により、従来、高効率発電が難しいとされていた小中規模焼却炉でも導入が可能な技術である。

(1) 小中規模焼却設備にも適応可能な、高効率小型復水式タービン

下水汚泥焼却設備では、既に幾つかの発電設備が実用化されているが、効率が低く普及しづらい状況にあった。図 6-1 に各種発電技術の発電効率を示す。本技術では、都市ごみ焼却設備において実績を有するタービンを小中規模の下水処理場に適応できるように改良した。発電出力 150~1,500kW 範囲でも対応できる高効率小型復水式タービンを採用しており、効率の良い発電が行えるようになっている。なお、実証フィールド(150t/日、含水率 74%程度)では最高 730kW程度の発電を確認した。

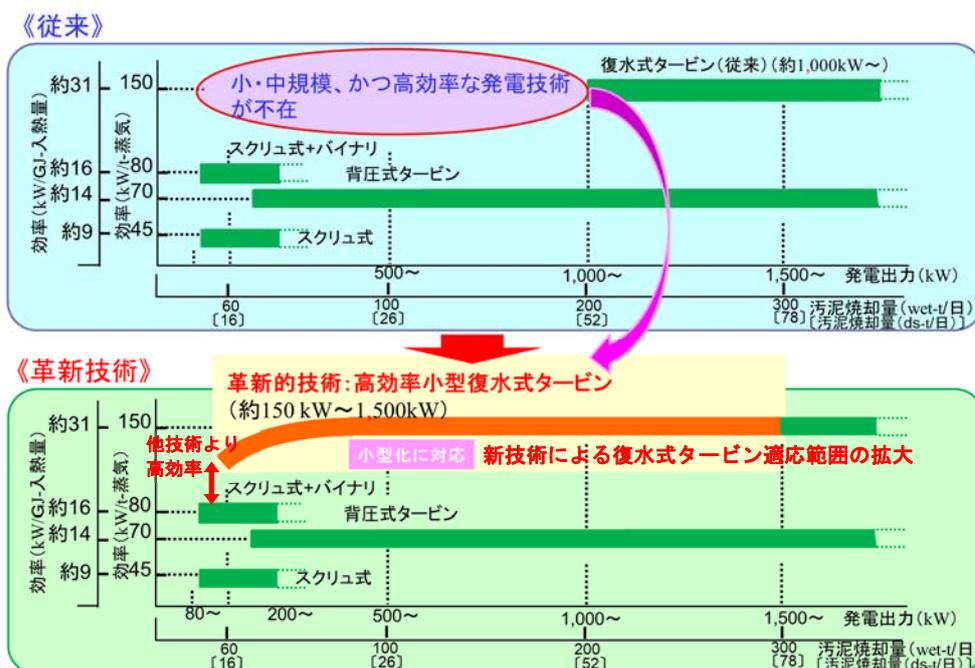


図 6-1 下水汚泥焼却炉に用いられる各種発電技術の効率比較

※スクリュ式+バイナリ発電効率:B-DASH ガイドラインより、排圧式タービン発電効率:カタログより、スクリュ式発電効率:カタログより

(2) 下水処理水を冷却水として有効利用、高効率化

蒸気タービンには、タービン出口で蒸気を冷却する復水式と、冷却しない背圧式がある。従来よりごみ焼却設備の発電では、復水式を採用することが多く、発電効率や実績の面でも復水式が有利とされている。同方式を用いた実績は既に多数あり、本実証で下水施設でも適用可能であることを確認した。図 6-2 に示すように、復水式を採用することにより、タービン出口蒸気の温度、圧力が下がり、タービン出入口の蒸気のエネルギー量の差が大きくなる。これにより、発電に使用可能なエネルギー量が増え、発電量も増える。また、汚泥性状・処理量によっては焼却設備の電力自立も可能となるケースがある。

なお、復水式には冷却媒体に空気を使用する空冷方式と、水を使用する水冷方式があるが、図 6-3 に示すように、下水処理場に豊富に存在する下水処理水を用いた水冷方式の復水式タービンを採用することで、空冷方式よりも高い効率の発電を実現できる。本実証フィールドは下水処理場に隣接しており、年間を通して水温が安定している下水処理水を豊富に利用できることから、循環利用を行わない一度限りの利用方法とした。

また、図 6-4 にタービン+発電機概念図を示す。蒸気がタービンへ入り、タービン羽根の回転運動を経て発電する概念を示している。

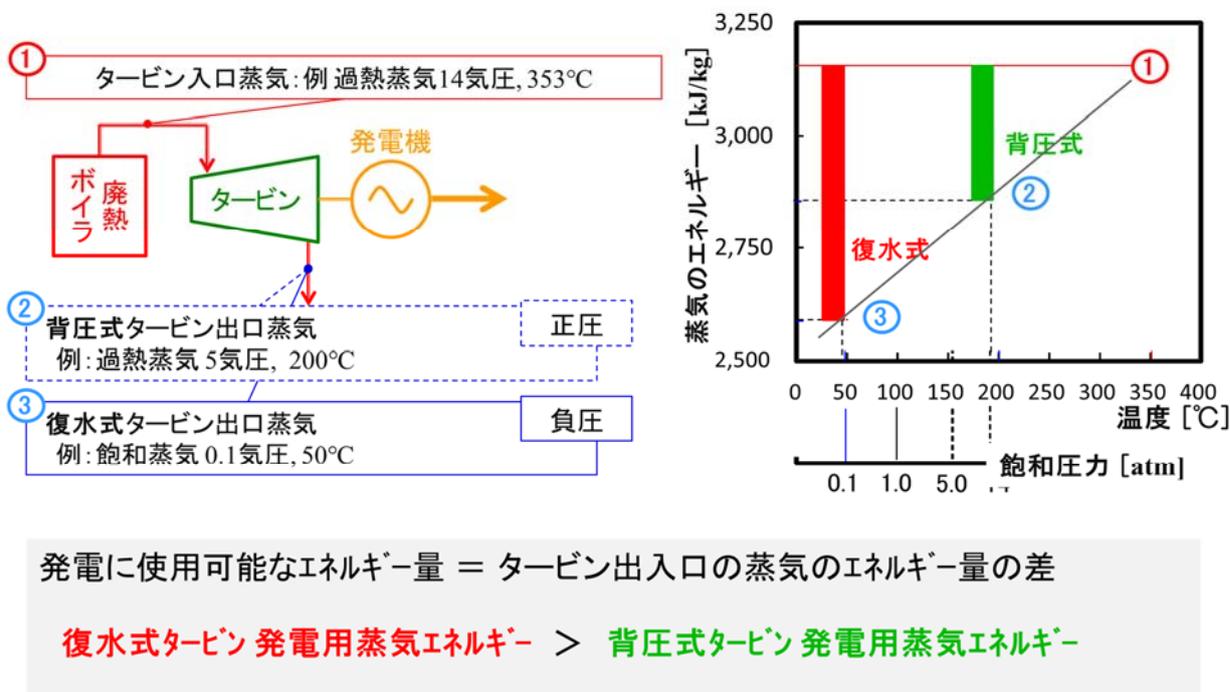


図 6-2 背圧式と復水式の比較

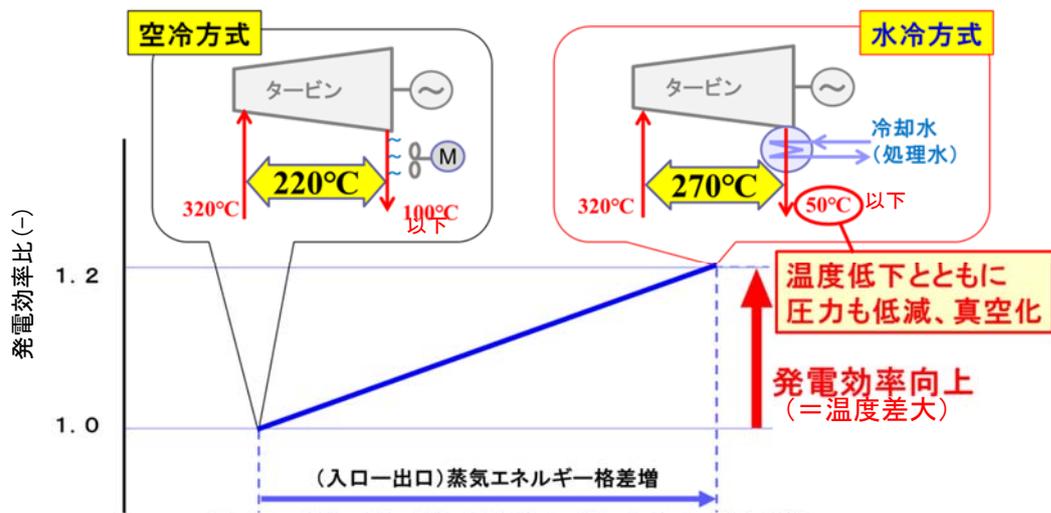


図 6-3 復水式における空冷方式と水冷方式の比較

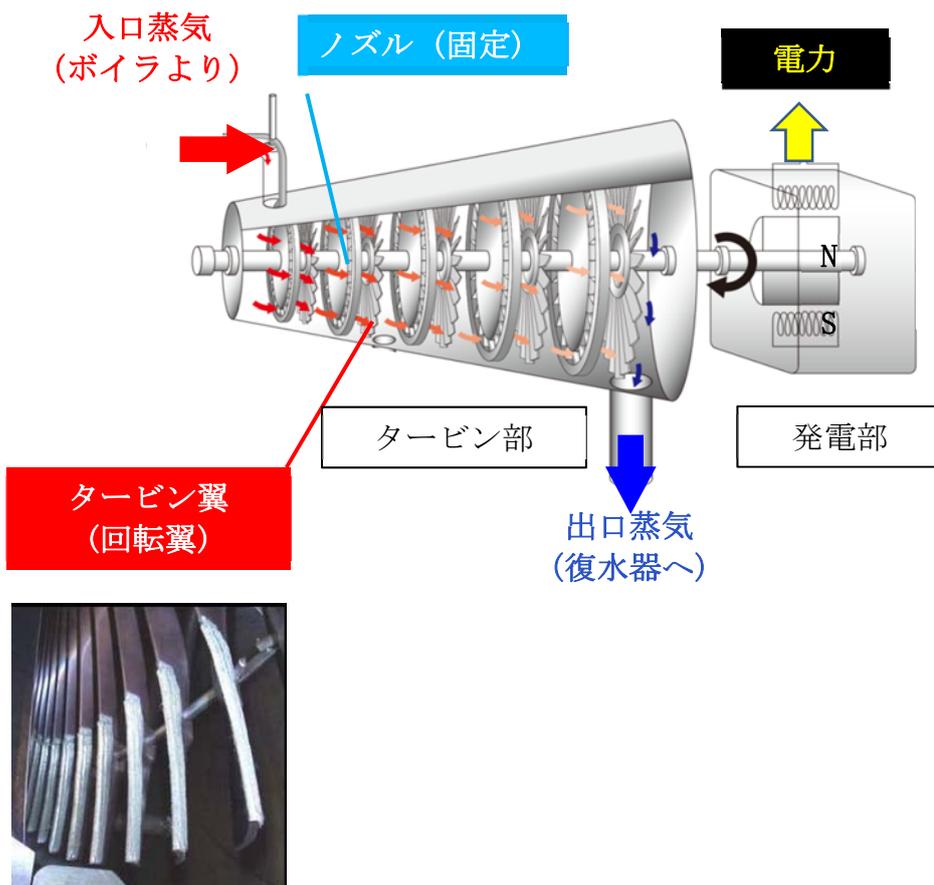


図 6-4 タービン発電機概念図

§ 7 局所攪拌空気吹込み技術の概要と特徴

本技術は、燃焼空気の一部を局所攪拌空気としてフリーボード部に吹込むことにより、 N_2O 排出量を削減すると同時に NO_x も削減を可能とする技術である。

本技術の特徴は以下の通りである。

(1) N_2O 、 NO_x 排出量の同時削減

N_2O 排出係数 $0.263\text{kg-}N_2O/\text{wet-t}^*$ 以下かつ NO_x 排出量の削減が可能

(実証フィールドにおいて、 N_2O 排出係数 $0.232\text{ kg-}N_2O/\text{wet-t}$ 、 NO_x 排出量 50%以上削減 (本技術導入前比)を達成)

(2) 省スペースと追加設置の容易性

※下水道における地球温暖化対策マニュアル⁴⁾より

【解 説】

(1) N_2O 、 NO_x 排出量の同時削減

燃焼空気の一部を局所攪拌空気としてフリーボード部 (FB部) に吹込むことにより、 850°C 以上の高温燃焼運転時に、 N_2O 、 NO_x を同時削減する (N_2O 排出係数 $0.263\text{kg-}N_2O/\text{wet-t}$ 以下、温暖化対策マニュアル※) 技術である。§ 5で示すとおり、 N_2O は CO_2 の298倍の温室効果をもつガスであり、地球温暖化防止の観点からも排出の抑制が望まれている。

実証研究において、本技術適用時の N_2O 排出係数は $0.232\text{kg-}N_2O/\text{wet-t}$ であり、温暖化対策マニュアルにおける排出係数 $0.263\text{kg-}N_2O/\text{wet-t}$ を十分に下回る結果が得られている。

また、 NO_x については、大気汚染の原因物質として規制の対象となっており、大気保全の観点から削減が求められている。一般的に N_2O は燃焼温度を上昇させると分解が促進され、削減が可能であるが、燃焼温度を上げることにより NO_x が増加するトレードオフの関係にある。本技術は、 N_2O 及び NO_x を同時に削減することが可能であるため、地球温暖化対策及び大気保全の両面に寄与する技術である。

本技術の適用により N_2O 、 NO_x が低減する理由として、汚泥中の N 成分に対し図 7-1 に示したように以下のメカニズムの化学反応が起こっている。削減原理は NO_x 及び N_2O についてそれぞれ記載した。

- ① 砂層部 : 流動空気を減少させ、燃焼を抑制し、砂層温度を下げることで NH_3 の発生量を増加させ、 HCN の発生量を減らす
- ② FB下部 : HCN や NH_3 により NO_x が分解。また、 HCN は反応により N_2O 、 NH_3 は反応により N_2 化
- ③ FB上部 : 二段燃焼による高温場の創出や活発な燃焼 (H や OH の供給)により、 N_2O を分解

NO_x 削減原理: 高温・高圧で燃焼することで本来反応しにくい空気中の窒素と酸素が反応して窒素酸化物になる場合 (サーマル NO_x) と、燃料由来の窒素化合物から窒素酸化物となる場

合(フューエル NOx)がある。今回、汚泥は燃焼燃料となることから、汚泥由来のフューエル NOx を削減する事になる。汚泥が砂層部で燃焼すると砂層温度は上昇するが、その砂層部の温度上昇をある一定温度以下にするため、汚泥燃焼に必要な O₂ 量を管理しフューエル NOx を抑制する。

N₂O 削減原理: 亜酸化窒素とは、窒素酸化物の 1 種である。化学式では N₂O と表されるため、一酸化二窒素(いっさんかにちっそ)とも呼ばれる。一般的にはヒトが吸入すると陶酔させる作用があることから笑気ガスといわれ医療用に使用される。また、工業用途では燃料の発火促進のために使われる。常温では比較的安定しているが、約 500°C 以上になると分解して酸素と窒素になり酸化剤の役割を果たす。(2N₂O = 2N₂ + O₂)、650°C 以上に加熱すると更に分解が進み、高温になるにつれ分解が促進される。本技術としては、砂層部一次空気の O₂ 濃度管理により、汚泥由来の未燃ガス生成が促進されフリーボード部が燃焼しやすい環境となる。そこへ、流動空気から分岐した燃焼用の二次空気を吹込み、攪拌することでフリーボード部に高温場を形成し、N₂O を分解する。

以上より、本技術は NOx、N₂O の同時削減を行う、最適な運転条件を確立する技術である。

以上のことから、今回の実証運転時も炉内フリーボード部の温度、高温場の位置、及び燃焼空気の O₂ 濃度に注意を払い運転し、実証データを得た。

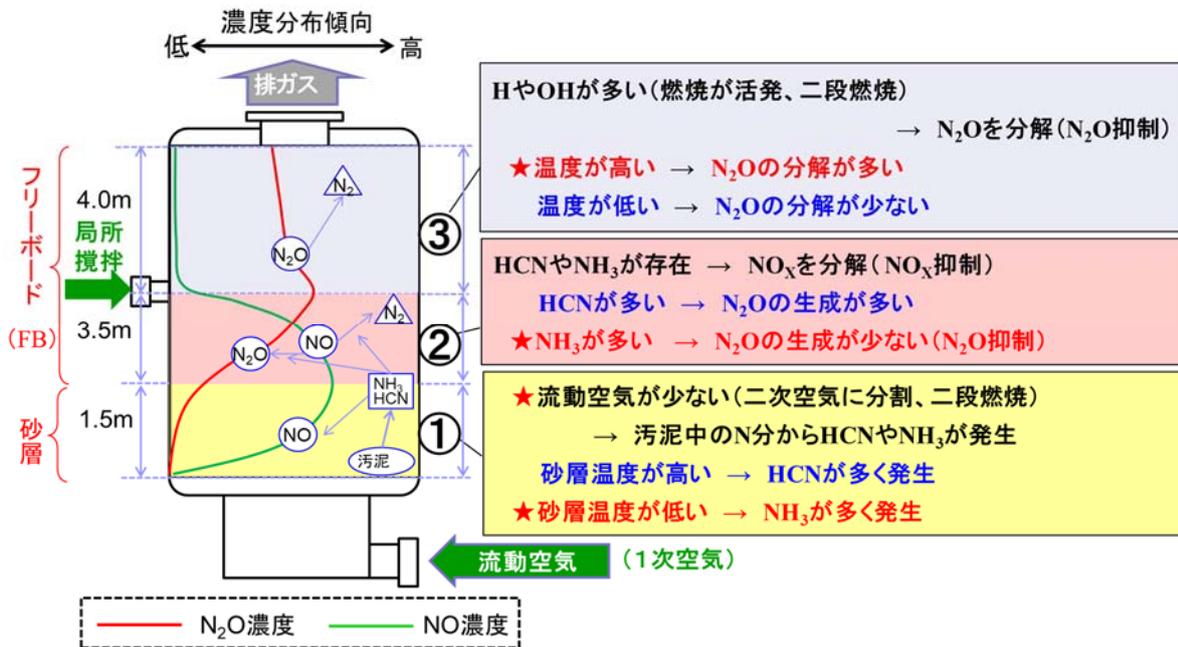


図 7-1 N₂O、NOx が低減するメカニズム

(2) 省スペースと追加設置の容易性

焼却設備のフリーボード部に二段燃焼装置等の設置を計画する場合、炉周りの空きスペースを考慮しながら配置を検討する必要がある。図 7-2 に示すように、通常、炉周りにはケーキ投入機、始動バーナ、点検架台、配管およびサポート等が配置されており、炉周りの空きスペースは非常

に限られることが多い。しかし、本技術で用いる局所攪拌空気吹込み装置は、焼却炉フリーボード部の一面から攪拌空気吹込みを行うため、非常に省スペースで設置が可能であり、既存の焼却設備に対応させる際も炉の改造に要する工期は短く、設備配置・施工の両面からも追加設置が容易である。

局所攪拌空気は、既設焼却炉に入る前の燃焼空気ダクトから分岐する。この燃焼空気は既設空気予熱器で昇温された空気であり、焼却炉へ汚泥を投入するに適した温度まで温められている。詳細については、§ 26 を参照されたい。

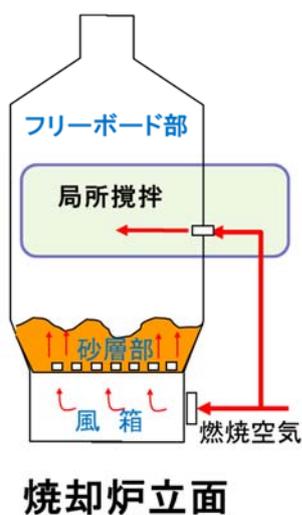
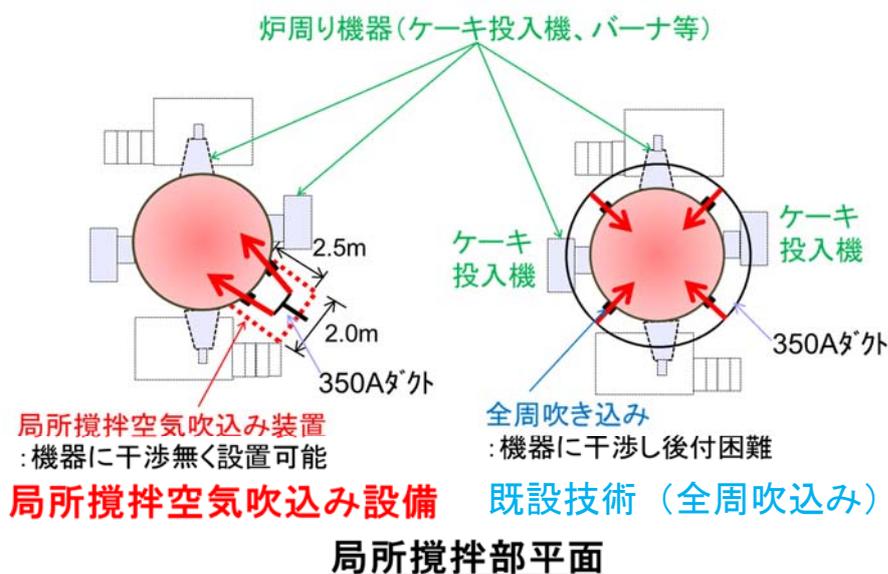


図7-2 局所攪拌空気吹込み設備の設置検討例(150wet-t/日炉例)

第2節 技術の適用・推奨条件

§ 8 適用・推奨条件

本技術は高効率発電技術、局所攪拌空気吹込み技術からなる。その導入効果は、汚泥性状や処理規模等の各種条件によって、導入効果に大きな差異があるため、適用条件、推奨条件を以下に示す。

【解 説】

本技術を適用することで、下水汚泥焼却設備の大幅な省エネ化を図ることができる。汚泥条件によっては発電量が設備消費電力以上となる電力自立、余剰電力を処理場内で利用する創エネルギーを可能とする。加えて、N₂OとNO_x 排出量 の同時削減効果もあわせた、温室効果ガス排出量の削減を目的とする。

本技術が適用可能となる「適用条件」、導入効果が高くなる「推奨条件」を以下に示す。

- (1) 「高効率発電技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」の両技術を導入する場合の適用・推奨条件適用・推奨条件について、下表に示す。

表 8-1 両技術を導入する場合の適用・推奨条件

適用条件	補足説明
焼却規模が約60wet-t/日(約16ds-t/日)以上であること	<p>【高効率発電技術】</p> <p>約60wet-t/日(約16ds-t/日)以上あれば、蒸気タービンは技術的に稼働・発電が可能である。</p> <p>なお、大規模になる分については300wet-t/日(約76ds-t/日)以上でも対応可能であるが、300wet-t/日以上の規模については、従来の蒸気タービン発電技術の適用範囲となる。</p> <p>【局所攪拌空気吹込み技術】</p> <p>特に炉の規模に制約は無い</p>
焼却炉形式が、流動床式であること また、二段燃焼、およびそれに類する設備を保有していないこと	<p>【高効率発電技術】</p> <p>焼却炉形式にかかわらず、排ガスに熱量がありボイラを設置できれば設置可能(循環流動層式、階段ストーク式でも良い)。</p> <p>【局所攪拌空気吹込み技術】</p> <p>二段燃焼、およびそれに類する設備を保有していない流動床式焼却炉のみを対象とする。</p>

<p>脱水污泥含水率が85%未満(一般的脱水機の上限值「機械設備工事一般仕様書平成31年度版」(日本下水道事業団)⁵⁾より)であること</p>	<p>【高効率発電技術】 含水率が85%を超える場合でも、排ガスに熱量がありボイラを設置できれば設置は可能。但し、含水率が高い場合には、乾燥機を付け補助燃料使用量を下げる、脱水機の高機能化による低含水率化を図る等も考えられる。</p> <p>【局所攪拌空気吹込み技術】 特に脱水污泥含水率に制約は無い</p>
<p>下水処理水の利用が可能であること</p>	<p>【高効率発電技術】 下水処理水の水質、水量を確認のこと。水利用設備の腐食に配慮する。水質によって、ストレーナ等の設置を検討する。</p> <p>【局所攪拌空気吹込み技術】 特に影響は無い</p>
<p>推奨条件</p>	<p>補足説明</p>
<p>100wet-t/日(約26ds-t/日)以上の規模であること</p>	<p>【高効率発電技術】 費用回収年を考慮した場合、約100wet-t/日(約26ds-t/日)以上の規模であることが望ましい。</p> <p>100wet-t/日以上の規模の焼却炉に導入することで、耐用年数と同程度以下の費用回収年となる。</p> <p>【局所攪拌空気吹込み技術】 特に影響は無い</p>
<p>白煙防止の必要が無い、もしくは必要な熱量が少ないこと (地方・地域によっては、気候条件により白防運転が不要となる場合がある。 白防運転が必要となる条件でも、少ない熱量で白煙を防止できる。)</p>	<p>【高効率発電技術】 白煙防止用の熱量が不要、もしくは少なく済みばボイラでの回収熱量が増え、発電量が増える。</p> <p>【局所攪拌空気吹込み技術】 特に白煙防止の有無等は影響ない</p>
<p>余剰の消化ガスがあること</p>	<p>【高効率発電技術】 余剰の消化ガスがある場合、焼却設備で補助燃料として燃焼し、排ガスの熱量を増やすことで、発電量を増やすことができる。</p> <p>但し、その場合次のいずれかの条件が必要である。</p> <p>①焼却設備の污泥焼却負荷量(稼働率)に余裕があり、あえて時間あたりの污泥焼却量を減らして消化ガスを補助燃料として使用する運転ができるこ</p>

	<p>と</p> <p>② 燃烧空気の炉内投入温度を下げ、消化ガスを補助燃料として使用できる設備となっていること</p> <p>【局所攪拌空気吹込み技術】</p> <p>特に影響は無い</p>
<p>今後、各自治体が温室効果ガスと大気汚染物質の排出量を同時に削減する事が必要となる場合</p>	<p>排ガス排出削減方策、削減目標強化は今後も続くことが考えられる。その場合、【高効率発電技術】、【局所攪拌空気吹込み技術】を一括新設もしくは一括追加設置する事で各自治体の目標とする、温室効果ガスと大気汚染物質の排出量を同時に削減することができる。(N₂O排出係数は二段燃焼等の0.263kgN₂O/wet-t以下が可能。)</p>
<p>複数炉にボイラ設置ができる条件(ボイラを各炉に設置、発電機は共通1台)の場合</p>	<p>【高効率発電技術】</p> <p>各焼却炉の余剰熱量をボイラで全て回収できれば、ボイラの発生蒸気量を増やす事ができる。それに伴い、タービンに使用できる蒸気が増え、タービン発電効率を上げる事ができるスケールメリットが考えられる。</p> <p>【局所攪拌空気吹込み技術】</p> <p>特に影響は無い</p>

なお、各技術は個別に設置が可能な技術であり「高効率発電技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」各々の技術を単独に導入する場合、両技術を一括新設もしくは一括追加設置する場合に比べて得られる効果は少ないが、各技術を個別に導入することも可能である。資料編 3.ケーススタディ、(3)高効率発電技術と局所攪拌空気吹込み技術を各々単独導入した場合の技術適用条件・推奨条件、表資 3.2.3-1、表資 3.2.3-2 へ個別技術適用条件・推奨条件を記すので参照されたい。

§ 9 導入シナリオ

「高効率発電技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」は相乗効果により、コスト縮減効果、エネルギー削減、温室効果ガス削減を最大限に発揮でき、両技術の新設時及び更新時の一括新設もしくは既存設備への一括追加設置が望ましい。しかし、両技術は個別に導入が可能な技術であり、個別に追加設置も可能である。

この場合、焼却設備の残存耐用年数から導入タイミングを検討する必要があるため、設備の更新時期を鑑みた導入検討を行うこととなる。よって、導入シナリオは、一括新設、一括追加設置、各既設条件による段階追加設置の複数ケースが考えられる。

【解 説】

「高効率発電技術」を導入することで、コスト縮減効果、エネルギー削減効果、温室効果削減効果を、「局所攪拌空気吹込み技術」を導入することで温室効果ガス削減効果を個別に得ることができるが、両方の装置を兼ね備えることで、これら効果は最大となり、両技術を同時に導入する、もしくは早期に両技術を導入することが望ましい。

ただし、「局所攪拌空気吹込み技術」は焼却設備更新後の流用が難しいことから、焼却設備の残存耐用年数が 7 年以下の場合は、処分制限期間 7 年以下を避ける意味で、焼却炉の更新時に導入する等の検討が必要である。

(1) 導入シナリオの考え方

本技術の導入が有効と考えられる典型的なシナリオ 3 例を以下に示す。

1) シナリオ1 「高効率発電技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」を一括追加設置

既存の焼却設備に、一度の工事で両技術を同時に導入する方法であり、コスト縮減、エネルギー削減、温室効果ガス削減の効果が同時かつ最大限に発揮される。

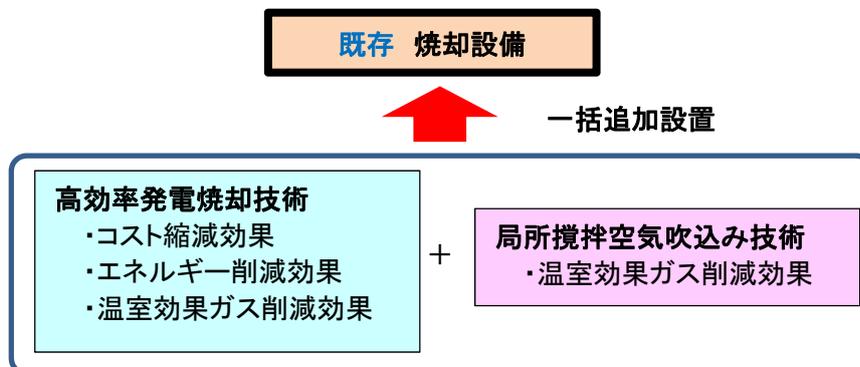


図9-1-1 シナリオ1 概念図

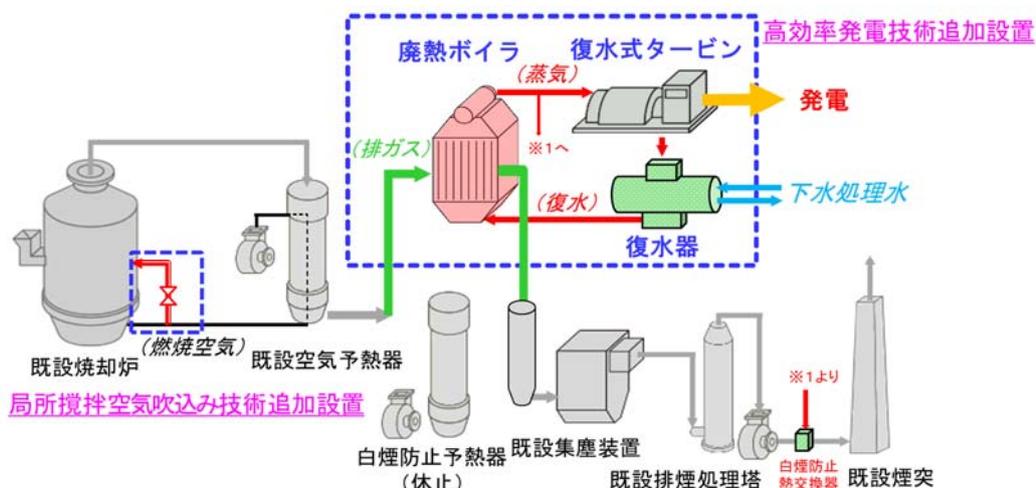


図9-1-2 シナリオ1 フロー図

- 2) シナリオ2 「高効率発電焼却技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」を一括新設
 (もしくは更新設置) —
 焼却設備の新設もしくは更新時に、「高効率発電技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」を同時に設置する方法であり、架台の共通化や効率の良い機器レイアウト・ダクトルートを採用でき、最大限のコスト縮減効果を得られる。

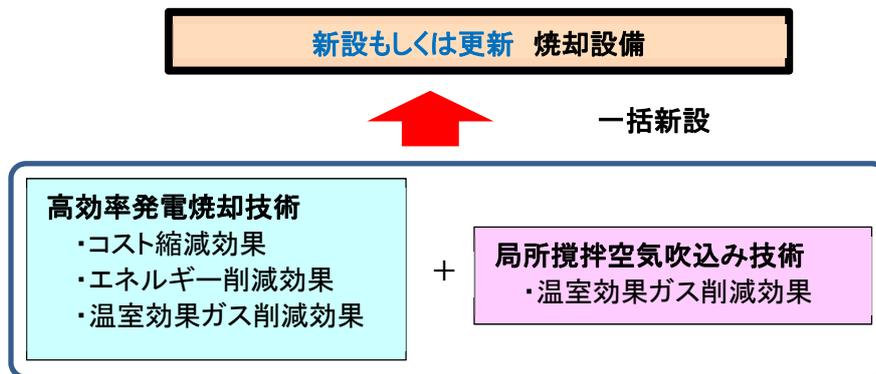


図9-2-1 シナリオ2 概念図

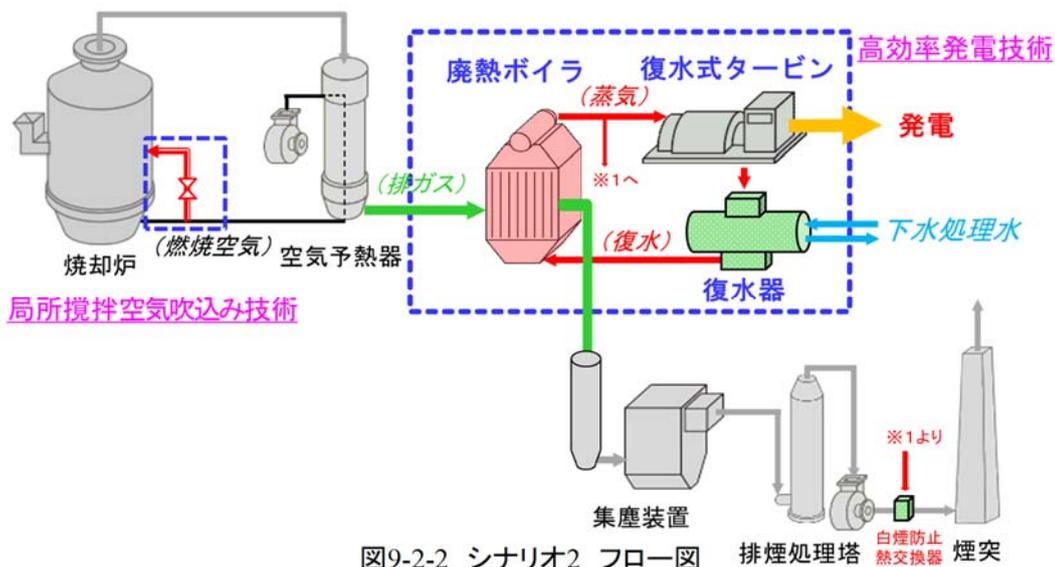


図9-2-2 シナリオ2 フロー図

3) シナリオ3 「高効率発電焼却技術」を追加設置後、

「局所攪拌空気吹込み技術」を設備更新時に段階追加設置
各設備を段階的に設置する案であり、高効率発電技術のみを先行設置後、設備更新時に局所攪拌空気吹込み技術を設置する。

コスト縮減、エネルギー削減効果を重視する場合、もしくは設置対象の焼却設備の残存耐用年数が少なく(残存年数7年以下)、処分制限期間を考慮し局所攪拌空気吹込み装置の設置が適当でない
と判断される場合には、本シナリオが有効となる。

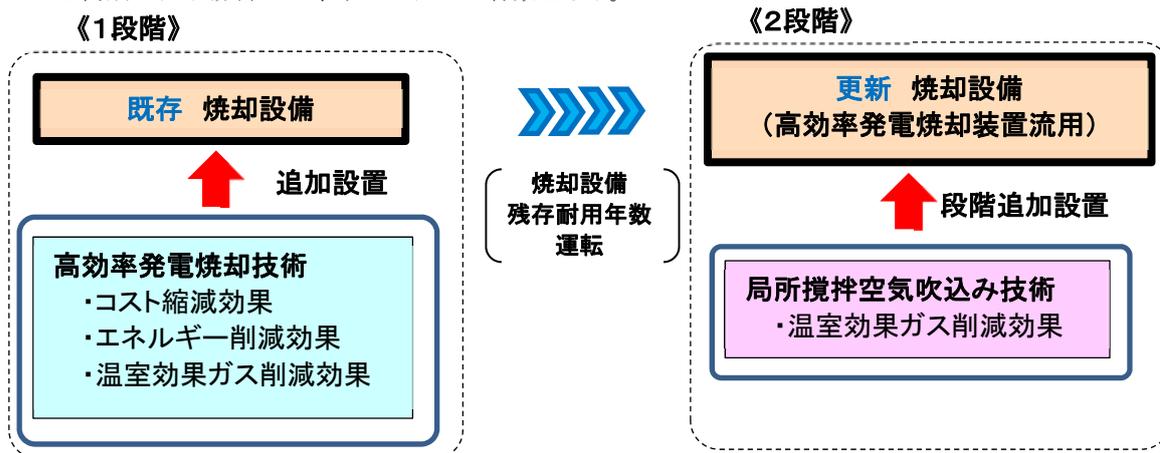


図 9-3-1 シナリオ 3 概念図

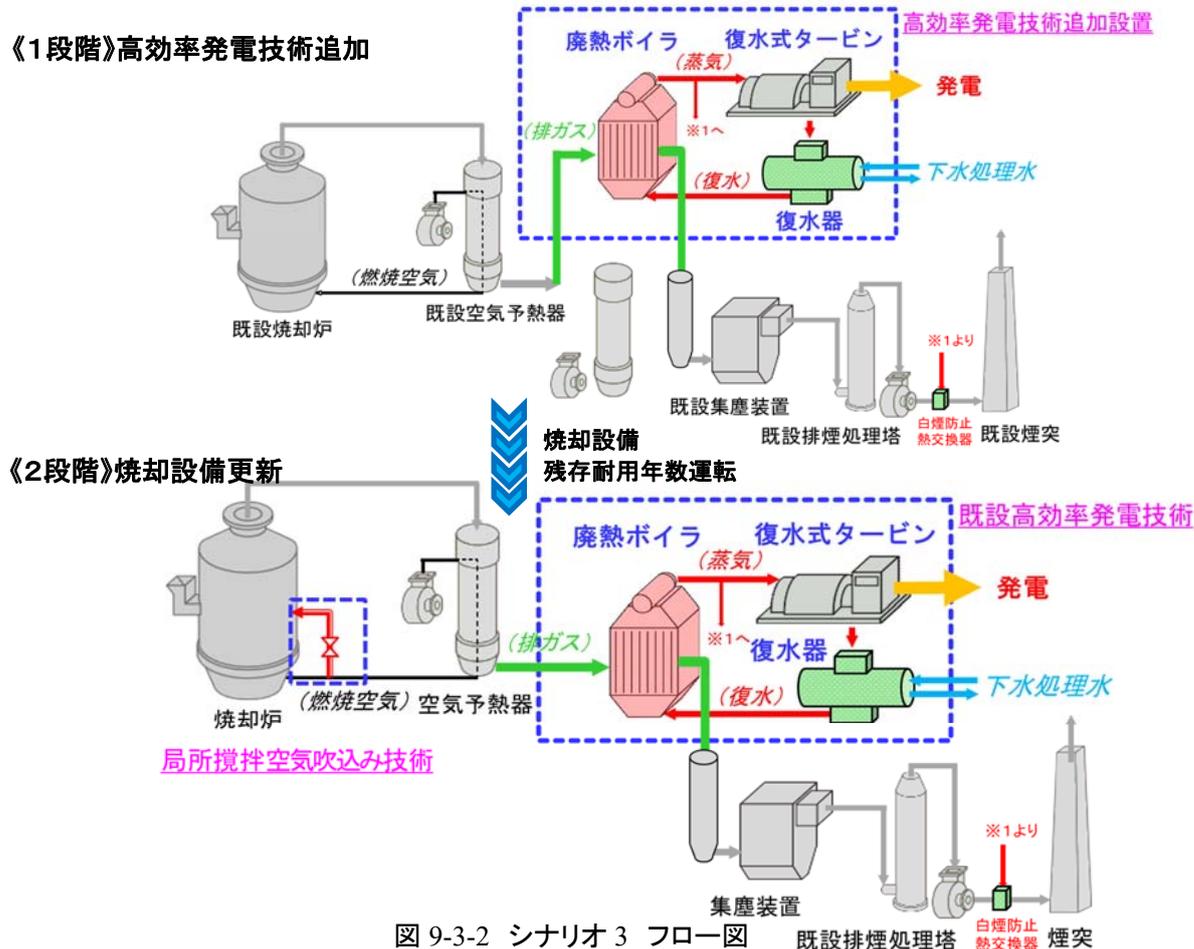


図 9-3-2 シナリオ 3 フロー図

(2) 各シナリオの詳細条件

設備検討にあたって、各シナリオの詳細について以下のような条件を設定する。

- ・汚泥が混合生汚泥の場合、もしくは消化汚泥の場合：(No. 1-1～1-8、No. 2、No. 3)の全条件
- ・補助燃料が都市ガス、消化ガス、液体化石燃料(灯油、A重油)の場合
：(No. 1-1～1-8、No. 2、No. 3)の全条件
- ・場内の複数の焼却設備から集熱し、蒸気回収・発電する場合：(No. 1-4)
- ・高効率脱水機の採用により脱水ケーキの低含水率化が実施されている場合：(No. 1-5)

この他、焼却炉の処理規模、後付時期(残存耐用年数、費用回収年)等により検討が必要である。そこで、以下のシナリオ1の中に8条件を、シナリオ2、シナリオ3に1条件を設定し、資料編3.ケーススタディに試算例を示す。

表9-1 導入シナリオ一覧

シナリオ1 —「高効率発電焼却技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」を一括追加設置—				
No.	規 模	汚泥性状	補助燃料	焼却設備数
1-1	60(wet-t/日)[16(ds-t/日)]	混合生汚泥 (含水率74%)	都市ガス	1
1-2	100(wet-t/日)[26(ds-t/日)]			
1-3	150(wet-t/日)[39(ds-t/日)]			
1-4				2*
1-5	141(wet-t/日)[39(ds-t/日)]	低含水率混合生汚泥 (含水率72%)	都市ガス	1
1-6	150(wet-t/日)[39(ds-t/日)]	消化汚泥 (含水率79%)	消化ガス	1
1-7			灯油	
1-8	200(wet-t/日)[52(ds-t/日)]	混合生汚泥 (含水率74%)	都市ガス	
シナリオ2 —「高効率発電焼却技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」を一括新設(もしくは更新設置)—				
2	150(wet-t/日)[39(ds-t/日)]	混合生汚泥 (含水率74%)	都市ガス	1
シナリオ3 —「高効率発電焼却技術」を追加設置後、 「局所攪拌空気吹込み技術」を設備更新時に設置—				
3	150(wet-t/日)[39(ds-t/日)]	混合生汚泥 (含水率74%)	都市ガス	1

※ No. 1-4は No. 1-3と同じタービンを使用し、発電機(1基)の仕様を変更して試算する。ボイラ等の仕様はNo. 1-3と同等とする。

(3) 既存焼却設備の残存耐用年数と導入時期について

「高効率発電技術」「局所攪拌空気吹込み技術」を既存焼却設備へ追加設置する場合、既存焼却設備側の残存耐用年数の考慮が必要である。

既存焼却設備の残存耐用年数が長く、その耐用期間内に費用回収年が収まり、当該技術を設置することで効果を十分に得られるならば良いが、既存焼却設備の残存耐用年数が少ない条件で「高効率発電技術」を導入する場合は、既存焼却設備の更新後も「高効率発電技術」を活用するといった選択肢がでてくる。

「高効率発電技術」については、設備を構成する廃熱ボイラや復水タービンの流用が比較的容易である。よって、更新後の焼却設備設備容量も考慮し、「高効率発電焼却技術」の設備規模を決定することで、焼却設備更新後も、その効果を得ることが可能である。

一方、「局所攪拌空気吹込み技術」は、設備を構成する大部分が焼却設備に付帯する装置であり焼却設備更新後で、その流用は難しい。よって、残存耐用年数が7年以下は、「局所攪拌空気吹込み技術」を一括後付するシナリオ 1 ではなく、段階的に設置するシナリオ 3 を検討する方が妥当と考えられる。

なお、費用回収年を考慮して設備導入の検討を進める事になるが、交付金で設置する場合は、処分制限期間(汚泥焼却設備の場合7年)以上の運用が求められるため、既設焼却炉の耐用年数を考慮した導入検討に留意する。

また、「高効率発電技術」の流用を行う場合、発電設備を使用しない期間は設備性能維持のため、腐食対策等の保全処置を検討する必要がある。

一方、既設焼却設備へ「高効率発電技術」を導入するが、焼却設備更新時に新規「高効率発電技術」を導入して、先行設置の「高効率発電技術」を継続使用しないケースでは、当初設置において「高効率発電技術」単体での費用回収年が設置の目安となる。

以下、表 9-2、表 9-3 へ各シナリオの設置時期目安を示す。

表 9-2 既設焼却設備の残存年数を考慮した設置時期目安 シナリオ 1

焼却設備	15年間稼働															15年間稼働																	
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1			
残存年数	焼却設備建設(設置)															焼却設備更新(設置)																	
焼却設備稼働年数	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目	11年目	12年目	13年目	14年目	15年目	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目	11年目	12年目	13年目	14年目	15年目			
シナリオ 1	焼却設備稼働期間															焼却設備稼働期間																	
	設置	7年処分制限期間(費用回収年12.8年)														費	設置	7年処分制限期間(費用回収年12.8年)														費	
	設置	7年処分制限															設置	7年処分制限															
	設置	7年処分制限(")														費	設置	7年処分制限(")														費	
	設置	7年処分制限															設置	7年処分制限															
	設置	7年処分制限(")														保全処置	費	設置	7年処分制限(")														
	設置	7年処分制限															設置	7年処分制限															
	設置	7年処分制限(")														保全処置	費	設置	7年処分制限(")														
	設置	7年処分制限															設置	7年処分制限															
	設置	7年処分制限(")														保全処置	費	設置	7年処分制限(")														
	設置	7年処分制限															設置	7年処分制限															
	設置	7年処分制限(")														保全処置	費	設置	7年処分制限(")														
	設置	7年処分制限															設置	7年処分制限															
	設置	7年処分制限(")														保全処置	費	設置	7年処分制限(")														
	設置	7年処分制限															設置	7年処分制限															

注記

- 図 () は焼却発電設備を示す
- 図 () は局所攪拌空気吹込み設備を示す
- 「費」は費用回収年を示す

【局所攪拌空気吹込み設備設置時期】
 焼却設備稼働後、9年目以降(残存年数7年目以降)に局所攪拌空気吹込み設備を設置する場合は、炉の撤去に伴う設備ロスが発生する期間のため、焼却設備の新設・更新時に設置する検討を行う
 →シナリオ3へ

- 破線は発電焼却、局所攪拌の費用回収年を示す。保全処置費用については別途考慮のこと。
- 焼却設備延命化処置が施された場合は別途考慮のこと

表 9-3 既設焼却設備の残存年数を考慮した設置時期目安 シナリオ 2、シナリオ 3

焼却設備	15年間稼働															15年間稼働																	
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1			
残存年数	焼却設備建設(設置)															焼却設備更新(設置)																	
焼却設備稼働年数	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目	11年目	12年目	13年目	14年目	15年目	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目	11年目	12年目	13年目	14年目	15年目			
焼却設備稼働期間																																	
シナリオ 2	設置	7年処分制限期間(費用回収年12.8年)														費	設置	7年処分制限期間(費用回収年12.8年)														費	
	設置	7年処分制限															設置	7年処分制限															
シナリオ 3	設置								7年処分制限(〃)							保全処置	費	設置	7年処分制限														
	設置								7年処分制限(〃)							保全処置	費	設置	7年処分制限														
シナリオ 3	設置								7年処分制限(〃)							保全処置	費	設置	7年処分制限														
	設置								7年処分制限(〃)							保全処置	費	設置	7年処分制限														
シナリオ 3	設置								7年処分制限(〃)							保全処置	費	設置	7年処分制限														
	設置								7年処分制限(〃)							保全処置	費	設置	7年処分制限														
シナリオ 3	設置								7年処分制限(〃)							保全処置	費	設置	7年処分制限														
	設置								7年処分制限(〃)							保全処置	費	設置	7年処分制限														
シナリオ 3	設置								7年処分制限(〃)							保全処置	費	設置	7年処分制限														
	設置								7年処分制限(〃)							保全処置	費	設置	7年処分制限														

注記

- 図 [焼却発電設備を示す] は焼却発電設備を示す
- 図 [局所攪拌空気吹込み設備を示す] は局所攪拌空気吹込み設備を示す
- 「費」は費用回収年を示す

- ・破線は発電焼却、局所攪拌の費用回収年を示す。保全処置費用については別途考慮のこと。
- ・焼却設備延命化処置が施された場合は別途考慮のこと

第 3 節 実証研究に基づく評価の概要

§ 10 評価項目

実証研究に基づく本技術の評価項目を以下に示す。

- (1) コスト(建設費、維持管理費、費用回収年、総費用)
- (2) エネルギー削減効果
- (3) 温室効果ガス削減効果

【解説】

本技術を検討するにあたり、各技術の性能を定量的に評価し、評価項目、評価方法並びに評価結果を設定、提示する必要がある。

本ガイドラインでは、実証研究で得られた投入熱量に対する発電量、NOx 削減割合、N₂O 削減割合を基に、評価する項目としてコスト、エネルギー削減効果、温室効果ガス削減効果について評価を行った。

本技術は汚泥焼却設備に付帯する設備であるため、検討対象範囲は汚泥焼却設備(脱水汚泥受け入れ設備～煙突まで)とした。革新的技術の概略フローを図 10-1、従来設備の概略フローを図 10-2 に示す。評価に際しては、図 10-3 で示したように従来技術と革新的技術のコスト、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量を試算し比較することで、各項目の評価を行った。

試算に当たっては表 10-1、表 10-2 に示した仮想の汚泥性状、実証設備の仕様及び実際の運転データを基に、本システムを既設焼却設備に追加設置時(§ 9 導入シナリオ :シナリオ 1 参照)のコスト、エネルギー削減効果、温室効果ガス削減効果について評価した。

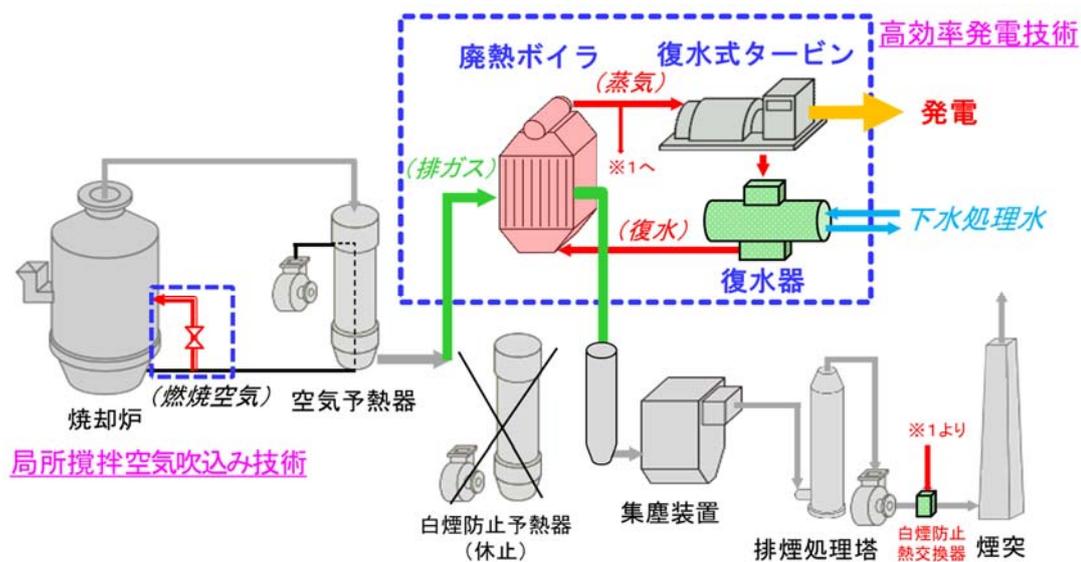


図 10-1 革新的技術概略フロー

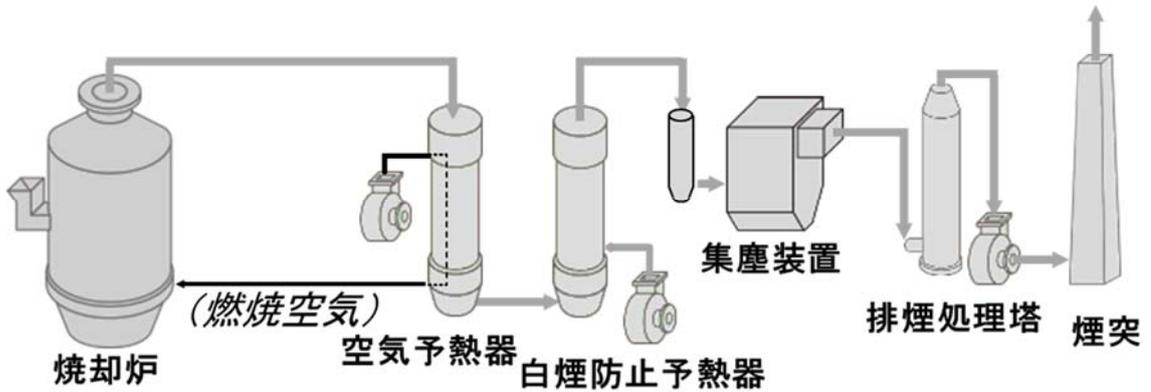


図 10-2 従来技術概略フロー

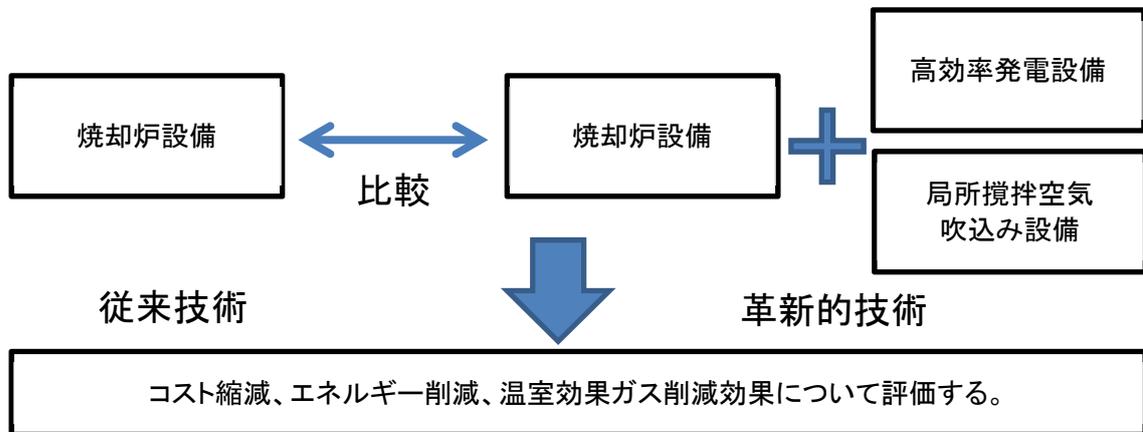


図 10-3 評価イメージ

表 10-1 試算に用いる汚泥条件

項目		混合生汚泥
含水率	%	74.0
有機分 (VS/TS)	%	86.4
高位発熱量	kJ/kg-DS	19,890
低位発熱量	kJ/kg-DS	17,586

※H30 年度実証研究分析平均値より

表 10-2 本技術の評価における試算条件

	①	②	③	④
処理規模 [wet-t/日]	60	100	150	200
処理規模 [ds-t/日]	15.6	26.0	38.0	52.0

※白煙防止予熱器は休止するものとし、150wet-t/日については実証結果より試算を行う。

各評価項目について以下に解説する。

(1) コスト(建設費、維持管理費、費用回収年、総費用)

検討を容易にするため、建設費、ユーティリティ(電気、上水、薬品、補助燃料)消費量を算定式化した。なお、算定式については資料編 2.1 建設費簡易算定式の導出方法を参照のこと。本技術導入時のコストを評価する項目を以下に示す。

1) 建設費

建設費は、本実証技術に関する機械設備、電気設備、土木建築施設の設置に係る工事費を対象とした。

機械・電気設備費については、容量計算などにより機器の仕様を決定し、機器の単価を乗じてこれを積算するとともに、機器費を材料費として扱い、工費(労務費)を計上した。

土木建築設備費については、機械設備主要部は屋外設置とし、建屋(ブロワ室、電気室、制御室等)は既存施設を利用するものとし、機械基礎、防液堤等の増築費を計上した。また、本工事範囲としては整地済の既存敷地に建設されるものとし、造成費、杭打設費、既設建築物の撤去費等は含まないこととした。従来技術と革新的技術の試算範囲は、表 10-3 の通りである。以上の試算結果より、革新的技術の建設費算定式を算出し表 15-2、3 に示した。詳細は資料編 2.1 建設費算定式を参照のこと。

表 10-3 試算範囲

設備名称	機器名称	従来技術	革新的技術
焼却設備	焼却炉本体	○	○
	空気予熱器・流動ブロワ	○	○
	白煙防止予熱器	○	—
	集塵装置・排煙処理塔	○	○
	煙突	○	○
発電設備	廃熱ボイラ	—	○
	蒸気タービン・発電機・復水器	—	○
	白煙防止熱交換器	—	○
局所攪拌空気吹込み設備	局所攪拌空気吹込み設備	—	○
電気設備	従来技術	○	○
	革新的技術	—	○
土木設備	従来技術	○	○
	革新的技術	—	○

汚泥焼却炉部分の建設費の算出には、「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル」⁶⁾より、下記式をそれぞれ用いた。

- ・土木建築建設費(建屋:電気、ブロー室程度)

$$Y_{91} = 2.42X_d^{0.0094}$$

- ・機械建設費

$$Y_{91} = 1.888X_d^{0.597}$$

- ・電気建設費

$$Y_{91} = 0.726X_d^{0.539}$$

なお、 Y_{91} は建設費(億円)、 X_d は設備規模(wet-t/日)を示す。

年価換算については、「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル」⁶⁾より、利率 2.3%とし、表 15-5 に示す各設備の耐用年数を考慮して、次式を用いて行った。

$$\text{建設費年価} = \text{建設費} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad i: \text{利率} \quad n: \text{耐用年数}$$

2) 維持管理費

本実証技術の維持管理費は、「焼却炉部分の維持管理費」と、「革新的技術実証設備の維持管理費」を足し合わせたものとする。

焼却炉部分の維持管理費については、建設費と同じく「バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル」⁶⁾より下記式を用いて算出する。なお、試算を行う仮想汚泥焼却炉の運転日数は 330 日/年、24 時間連続運転とする。

また、消化汚泥焼却炉の維持管理費については使用する補助燃料に関らず混合生汚泥焼却炉の維持管理費と同額とし、計算は省略する。

- ・流動焼却設備維持管理費(電力、燃料、薬品費、補修費、人件費)

$$y = 0.287X_y^{0.673}$$

なお、 y は維持管理費(百万円/年)、 X_y は年間処理脱水汚泥量(wet-t/年)を示す。

革新的技術の維持管理費については発電設備及び局所攪拌空気吹込み設備設置によるユーティリティ費用の増加分と点検整備費の増加分を足し合わせたものとし、消費電力の計算では、発電電力分を差し引いて積算するものとした。

本システムに用いるユーティリティについて、実証研究から得られたデータを用い、定常運転時について推算した。点検補修費については廃熱ボイラ及びタービンに必要な法定点検を積算した。なお、発電した電力は全量場内で利用するものとし、発電設備の消費電力から発電電力を差し引いたものから消費電力費を算出した。各ユーティリティ単価については表 15-6 に記載した。発電電力量については発電出力に運転時間を乗じて算出した。発電出力算出の際に用

いる投入熱量(GJ/h)については、焼却炉への投入熱量とし、焼却する脱水汚泥の低位発熱量と焼却量(kg/h)を乗じたものと補助燃料消費量と補助燃料発熱量を乗じたものを足し合わせた熱量とする。

また、焼却設備で利用される電気、補助燃料については、従来技術における維持管理費に含まれるものとし、本実証設備におけるユーティリティ消費には含まないものとした。

各ユーティリティ消費量の試算には表 15-6 ユーティリティ消費量算定式に示した式を用いた。

さらに、発電設備の設置により休止する設備については、表 15-8 の通り、動力及び点検整備費、交換に関する費用が不要になるものとしてその他導入効果として負の値で積算を行った。

発電設備の点検補修費については汚泥投入量 150wet-t/日の設備において、発電設備の主要機器である蒸気タービンおよび廃熱ボイラ設備の 15 年間分の保守点検費用の合計を年平均し、18 百万円/年の点検補修費がかかるとした。

なお、発電設備の保守点検費は設備規模が変化しても大きく変わらないと考えられるため、施設規模によらず、同価格として計上するものとする。

各算定式の詳細については資料編 2.2 ユーティリティ消費量算定式、2.3 点検補修費算定式を参照のこと。

3) 費用回収年

下記計算式にて算出する。

$$\text{費用回収年} = \frac{\text{建設費(百万円)}}{\text{導入効果(百万円)} - \text{維持管理費(百万円)}}$$

① 建設費

発電設備及び局所攪拌空気吹込み設備設置で従来技術に対し増額となる設備費

② 維持管理費

発電設備及び局所攪拌空気吹込み設備設置で従来技術に対し増額となる維持費

③ 導入効果

発電設備を付加することによる消費電力削減効果等

4) 総費用(年価換算値)

総費用(年価換算値)は建設費を年価換算したものと、維持管理費、解体・廃棄費を対象とした。算出した総費用(年価換算値)より、総費用(年価換算値)縮減効果を下記の通り算出し、評価を行う。なお、革新的技術の建設費及び維持管理費は、従来設備の建設費及び維持管理費に革新的技術において付加した設備の建設費及び維持管理費を加えたものとする。

$$\text{総費用(年価換算値)縮減効果} = \left(1 - \frac{\text{総費用(年価換算値)(革新的技術)}}{\text{総費用(年価換算値)(従来技術)}}\right) \times 100$$

(2) エネルギー削減効果

エネルギー削減効果については、本実証設備を付加しない場合のエネルギー消費量に対して、本実証設備を付加した場合の正味のエネルギー消費量の削減率により評価を行う。

エネルギー消費量の算出にあたっては、ユーティリティ(電気、燃料)の使用に係るものを対象とし、薬品に係るものは除外した。各原単位については表 15-9 に記載した。

なお、「下水道における地球温暖化対策マニュアル」⁴⁾より、補助燃料として使用した消化ガス由来のエネルギーについてはエネルギー消費量に含まないものとして計算を行った。

エネルギー創出量は、物質収支・熱収支計算結果ならびに蒸気タービン発電機の性能目安から求められる発電電力量とし、負の消費量として計上した。なお、エネルギー創出量とエネルギー消費量を足した値を、正味のエネルギー消費量とした。

また、エネルギー削減効果の計算には、電力基準で算出したエネルギー消費量を用いた。計算例については § 11 評価結果を参照のこと。

$$\text{エネルギー削減効果} = \left(1 - \frac{\text{エネルギー消費量(革新的技術)} + \text{発電によるエネルギー創出量}}{\text{エネルギー消費量(従来技術)}} \right) \times 100$$

(3) 温室効果ガス削減効果

温室効果ガス削減効果については、本実証設備を付加しない場合の温室効果ガス排出量に対して、本実証設備を付加した場合の温室効果ガス排出量の削減率により評価を行う。算出にあたっては、下記項目について算出した。なお、地球温暖化対策推進法においては 7 種類の温室効果ガスが規定されているが、下水道温暖化対策推進計画において対象とされている CO₂、CH₄、N₂O を検討対象とし、燃焼排ガスより排出される CH₄ については一酸化二窒素と比較して排出係数及び地球温暖化係数が小さく、温室効果ガス排出量に対する寄与が小さいため、炉内で完全燃焼されるものとして本試算においては含まないものとした。温室効果ガス排出量の算出にあたっては、ユーティリティ(電気、燃料)の使用、燃焼の結果生成される N₂O に係るものを対象とし、薬品に係るものは除外した。

温室効果ガス削減効果は下記の式に従い算出した。

$$\text{温室効果ガス削減効果} = \left(1 - \frac{\text{温室効果ガス排出量(革新的技術)}}{\text{温室効果ガス排出量(従来技術)}} \right) \times 100$$

1) 二酸化炭素(CO₂)

本システム技術に用いるユーティリティ(電気、補助燃料)の定常運転中に排出されるものを対象とした。ユーティリティ使用量は実証結果に基づき算出した。焼却している汚泥由来二酸化炭素はバイオマス炭素由来のため、試算の対象外とした。各原単位については「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル」⁷⁾より表 15-10 に記載した。また、発電によって得られた電力については相当量の CO₂ 排出量を温室効果ガス排出量から除いた。

なお、「下水道における地球温暖化対策マニュアル」⁴⁾より、消化ガス由来の二酸化炭素につい

ては温室効果ガスに含まないものとして計算を行った。

2) 一酸化二窒素(N_2O)

焼却炉の運転時に燃焼排ガスより排出される N_2O については、実証研究にて実測した結果(資料編 1.2.2 局所攪拌空気吹込み設備運転結果参照)を踏まえ算出した排出係数を汚泥処理量(wet-t /日)に乗じて排出量を算出し、温室効果ガス換算係数の 298 を乗じて CO_2 排出量として算出した。

3) 窒素酸化物(NO_x)

温室効果ガスではないが NO_x は大気保全の観点から削減が求められている物質であり、本技術は NO_x についても削減が可能(実証フィールドの場合 50%削減を達成)である。削減効果については、検討対象の焼却設備の排ガス中の NO_x 濃度を確認し、既存設備の NO_x 濃度を踏まえた削減率を設定して期待される排出量及び濃度を確認する。

§ 11 評価結果

春季、夏季、秋季、冬季の各実証研究結果より、推算式を導出し、下記項目について評価を行った。

- (1) コスト(建設費、維持管理費、費用回収年、総費用)
- (2) エネルギー削減効果
- (3) 温室効果ガス削減効果

【解説】

実証研究結果を解析し、コスト削減効果、エネルギー削減効果、温室効果ガス削減効果について整理を行った。さらに実証データから得られた推算式を用いて、60wet-t/日、100wet-t/日、200wet-t/日の条件について推算を行い、費用回収年、総費用(年価換算値)、エネルギー削減効果、温室効果ガス削減効果について試算を行った結果を以下の表 11-1 に示す。なお、以下の評価については、シナリオ 1 (本実証設備を追加で設置した場合) について行うものとする。焼却設備負荷については定格運転(100%負荷)、運転日数 330 日/年、24 時間連続運転を行うものとして試算を行う。

試算の結果、処理規模を増加させると、総費用(年価換算値)削減効果、エネルギー削減効果、温室効果ガス削減効果すべてにおいて改善が確認できた。

表 11-1 試算結果一覧

処理規模 [wet-t/日] (固形物量) [ds-t/日]	60 (15.6)	100 (26.0)	150* (39.0)	200 (52.0)
投入熱量 [GJ/h]	7.9	11.7	17.0	22.7
費用回収年 [年]	39.2	17.9	12.0	9.8
総費用(年価換算値) 削減効果 [%]	-6.0	-2.2	0.5	2.2
エネルギー削減効果 [%]	17.2	49.9	97.6	125
温室効果ガス削減効果 [%]	51.2	62.8	69.7	72.9

※150wet-t/日については、実際の実証試験結果より試算を行った。

(1) コスト(建設費、維持管理費、費用回収年、総費用)

実証研究結果より得られた費用回収年及び総費用(年価換算値)縮減効果を以下に示す。さらに実証データから得られた推算式を用いて、60wet-t/日、100wet-t/日、200wet-t/日の条件について推算を行い、規模の変化によるコスト構造の変化を確認した。なお、試算については § 10 評価項目に示した試算方法を用いて行い、発電による電力費削減効果及び白煙防止予熱器停止による点検費用、交換費用削減効果については導入効果として負の値で積算した。

以下に実証条件(150 wet-t/日)における計算例を示す。

1) 建設費

① 局所攪拌・発電設備分

§ 10 評価項目、表 15-2、3 革新的技術導入時の建設費算定式より、以下の通り局所攪拌・発電設備の建設費を算出した。

・発電設備

$$\begin{aligned} \text{発電設備建設費(百万円)} &= 2.42 \times 150(\text{wet-t/日}) + 340 \\ &= 703 \end{aligned}$$

・局所攪拌空気吹込み設備建設費

$$\begin{aligned} \text{局所攪拌空気吹込み設備建設費(百万円)} &= 0.0142 \times 150(\text{wet-t/日}) + 0.791 \\ &= 2.9 \end{aligned}$$

・電気設備

$$\begin{aligned} \text{電気設備建設費(百万円)} &= 0.311 \times 150(\text{wet-t/日}) + 53.3 \\ &= 100 \end{aligned}$$

・土木設備

$$\begin{aligned} \text{土木設備建設費(百万円)} &= 0.134 \times 150(\text{wet-t/日}) + 6.58 \\ &= 26.7 \end{aligned}$$

§ 10 評価項目の建設費年価換算式及び表 15-5 各設備の耐用年数より、年価換算を行った。

・発電設備(年価)

$$\begin{aligned} \text{発電設備建設費(年価)(百万円/年)} &= 703 \times \frac{0.023 \times (1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} \\ &= 56.0 \end{aligned}$$

・局所攪拌空気吹込み設備(年価)

$$\begin{aligned} \text{局所攪拌空気吹込み設備建設費(年価)(百万円/年)} &= 2.9 \times \frac{0.023 \times (1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} \\ &= 0.23 \end{aligned}$$

・電気設備(年価)

$$\begin{aligned} \text{電気設備建設費(年価)(百万円/年)} &= 100.0 \times \frac{0.023 \times (1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} \\ &= 8.0 \end{aligned}$$

- ・土木設備(年価)

$$\begin{aligned} \text{土木設備建設費(年価)}(\text{百万円/年}) &= 26.7 \times \frac{0.023 \times (1+0.023)^{45}}{(1+0.023)^{45}-1} \\ &= 1.0 \end{aligned}$$

以上の結果より、局所攪拌・発電設備に関する建設費年価は 65.1 百万円/年となる。

② 従来設備

§ 10 評価項目に示した建設費算定式より、以下の通り従来設備の建設費を算出した。

- ・機械設備

$$\begin{aligned} \text{機械設備建設費(百万円)} &= 1.888 \times 150(\text{wet-t/日})^{0.597} \times 100 \\ &= 3,759 \end{aligned}$$

- ・電気設備

$$\begin{aligned} \text{電気設備建設費(百万円)} &= 0.726 \times 150(\text{wet-t/日})^{0.539} \times 100 \\ &= 1,081 \end{aligned}$$

- ・土木設備

$$\begin{aligned} \text{土木設備建設費(百万円)} &= 2.42 \times 150(\text{wet-t/日})^{0.0094} \times 100 \\ &= 254 \end{aligned}$$

§ 10 評価項目の建設費年価換算式及び表 15-5 各設備の耐用年数より、年価換算を行った。

- ・機械設備(年価)

$$\begin{aligned} \text{機械設備(年価)}(\text{百万円/年}) &= 3,759 \times \frac{0.023 \times (1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} \\ &= 299 \end{aligned}$$

- ・電気設備(年価)

$$\begin{aligned} \text{電気設備建設費(年価)}(\text{百万円/年}) &= 1,081 \times \frac{0.023 \times (1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} \\ &= 86 \end{aligned}$$

- ・土木設備(年価)

$$\begin{aligned} \text{土木設備建設費(年価)}(\text{百万円/年}) &= 254 \times \frac{0.023 \times (1+0.023)^{45}}{(1+0.023)^{45}-1} \\ &= 9.1 \end{aligned}$$

以上の結果より、既設備に係る建設費年価は 394 百万円/年となる。

2) 維持管理費

① 局所攪拌・発電設備分

維持管理費については消費電力、薬品費、上水費、点検・補修費を対象とし、§ 10 評価項目、表 15-6 ユーティリティ消費量算定式より算出した。

- ・消費電力(局所攪拌・発電設備)による電力費

$$\begin{aligned} \text{消費電力(kWh)} &= 0.119 \times 150(\text{wet-t/日}) + 65.1 \\ &= 82.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{電力費(百万円/年)} &= 82.9 \times 330(\text{日/年}) \times 24(\text{h/日}) \times 15(\text{円/kWh}) \times 10^{-6} \\ &= 9.8 \end{aligned}$$

・発電電力による電力費

$$\begin{aligned} \text{投入熱量(GJ/h)} &= (6,250 \text{ (kg/h)} \times (1-0.74) \times 17,586 \text{ (kJ/kg-DS)} \\ &\quad -2,500 \text{ (kJ/kg-H}_2\text{O)} \times 6,250 \text{ (kg/h)} \times 0.74) \times 10^{-6} \\ &\quad + 0 \text{ (Nm}^3\text{/h)} \times 44.8 \text{ (MJ/Nm}^3) \times 10^{-3} \\ &= 17.0 \\ \text{発電電力(kW)} &= 33.1 \times 17.0 \text{ (GJ/h)} - 102 \\ &= 461 \end{aligned}$$

ただし、150 wet-t/日については、定格負荷運転結果の平均電力を採用する。

資料編 1.2.1 発電設備運転結果より、平均発電出力は 465kW とする。

また、発電電力量については発電出力に運転時間を乗じて算出する。

$$\begin{aligned} \text{発電電力量(千 kWh)} &= 465 \times 330 \text{ (日/年)} \times 24 \text{ (h/日)} \times 10^{-3} \\ &= 3,679 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{発電による電力費削減(百万円/年)} &= 3,679 \times 15 \text{ (円/kWh)} \times 10^{-3} \\ &= 55.2 \end{aligned}$$

発電による電力費削減は負の値として維持管理費に計上する。

・薬品費

$$\begin{aligned} \text{薬品消費量(m}^3\text{/h)} &= 0.0150 \times 150 \text{ (wet-t/日)} + 0.737 \\ &= 3.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{薬品費用(百万円/年)} &= 3.0 \times 20 \text{ (円/m}^3) \times 330 \text{ (日/年)} \times 24 \text{ (h/日)} \times 10^{-6} \\ &= 0.48 \end{aligned}$$

・上水費

$$\begin{aligned} \text{上水消費量(m}^3\text{/日)} &= 0.0274 \times 150 \text{ (wet-t/日)} + 1.35 \\ &= 5.46 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{上水費用(百万円/年)} &= 5.46 \times 200 \text{ (円/m}^3) \times 330 \text{ (日/年)} \times 10^{-6} \\ &= 0.36 \end{aligned}$$

・点検・補修費

§ 10 評価項目より、18 百万円/年の維持管理費を計上した。

・その他導入効果

§ 10 評価項目より、発電設備導入に伴い休止される白煙防止予熱器及び白煙防止ブロワの点検・交換費用及び電力費用を負の値として計上する。

点検整備費用削減

$$\begin{aligned} \text{白煙防止ブロワ及び熱交換器点検費用(百万円/年)} &= 0.131 \times 150 \text{ (wet-t/日)}^{0.7} \\ &= 4.4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{白煙防止熱交換器更新費用削減(百万円/年)} &= 0.998 \times 150 \text{ (wet-t/日)}^{0.7} \\ &= 33.3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{白煙防止ブロワ休止による削減電力 (kWh)} &= (0.213 \times 150 (\text{wet-t/日}) + 10.5) \times \\ & \quad 330 (\text{日/年}) \times 24 (\text{h/日}) \\ &= 336,600 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{白煙防止ブロワ停止による電力費削減 (百万円/年)} &= 336,600 \times 15 (\text{円/kWh}) \times 10^{-6} \\ &= 5.0 \end{aligned}$$

以上の結果より、局所攪拌・発電設備の維持管理費及び導入効果についてまとめると下記の通りとなる。

維持管理費

$$\begin{aligned} \text{維持管理費 (百万円/年)} &= 0.48 + 0.36 + 18 \\ &= 18.8 \end{aligned}$$

※電力費については発電による削減効果のほうが大きいいため、維持管理費からは除くものとする。

導入効果

$$\begin{aligned} \text{導入効果 (百万円/年)} &= 9.8 - 55.2 - 4.4 - 33.3 - 5.0 \\ &= -88.1 \end{aligned}$$

② 既設設備分

既設設備の維持管理費は、§ 10 評価項目に示した流動焼却設備維持管理費より

$$\begin{aligned} \text{維持管理費 (百万円/年)} &= 0.287 \times (150 (\text{wet-t/日}) \times 330 (\text{日/年}))^{0.673} \\ &= 414 \end{aligned}$$

3) 費用回収年

§ 10 評価項目より、費用回収年を算出する。

$$\begin{aligned} \text{費用回収年 (年)} &= \frac{703 + 2.9 + 100 + 26.7}{88.1 - 18.8} \\ &= 12.0 \end{aligned}$$

4) 総費用 (年価換算値)

§ 10 評価項目より、総費用 (年価換算値) 削減効果を算出する。

① 革新的技術の総費用 (年価換算値)

・建設年価 (革新的技術)

$$\begin{aligned} \text{建設年価 (革新的技術) (百万円/年)} &= 394 + 65.1 \\ &= 459 \end{aligned}$$

・維持管理費 (革新的技術)

$$\text{維持管理費 (革新的技術) (百万円/年)} = 414 + 18.8$$

$$=433$$

$$\text{革新的技術の総費用(年価換算値)}(\text{百万円/年})=459+433-88.1$$

$$=804$$

② 従来技術の総費用(年価換算値)

$$\text{従来技術の総費用(年価換算値)}(\text{百万円/年})=394+414$$

$$=809$$

以上の結果より総費用(年価換算値)削減効果(%)は下記式で算出できる。

$$\text{総費用(年価換算値)削減効果}(\%)=\left(1-\frac{804}{809}\right)\times 100$$

$$=0.5$$

表 11-2 試算した費用回収年(革新的技術)

処理規模 [wet-t/日] (固形物量) [ds-t/日]	60 (15.6)	100 (26.0)	150* (39.0)	200 (52.0)
投入熱量 [GJ/h]	7.9	11.7	17.0	22.7
工事費 [百万円/年]	45.0	53.9	65.1	76.3
維持管理費 [百万円/年]	18.4	18.6	18.8	19.0
導入効果 [百万円/年]	-33.1	-57.1	-88.1	-119
費用回収年 [年]	39.2	17.9	12.0	9.8

※150 wet-t/日については、実際の実証試験結果より試算を行った。

表 11-3 試算したコスト

処理規模 [wet-t/日] (固形物量) [ds-t/日]	60 (15.6)	100 (26.0)	150* (39.0)	200 (52.0)
投入熱量 [GJ/h]	7.9	11.7	17.0	22.7
従来技術	工事費 [百万円/年]	235	313	394
	維持管理費 [百万円/年]	224	315	414
	総費用(年価換算値) [百万円/年]	458	629	809
革新的技術	工事費 [百万円/年]	280	367	459
	維持管理費 [百万円/年]	242	334	433
	導入効果 [百万円/年]	-33.1	-57.1	-88.1
	総費用(年価換算値) [百万円/年]	489	644	804
総費用(年価換算値)縮減効果 [%]	-6.6	-2.5	0.5	2.4

※150 wet-t/日については、実際の実証試験結果より試算を行った。

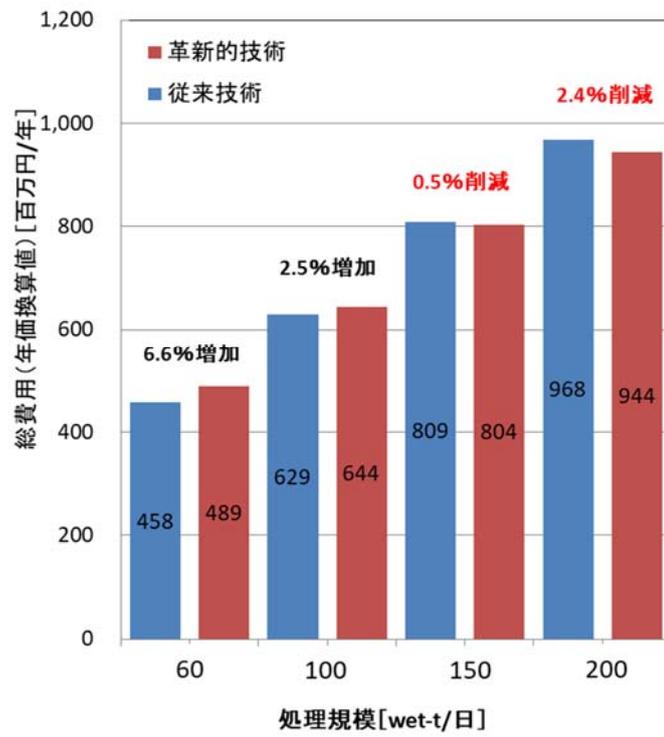


図 11-1 総費用(年価換算値)縮減効果

(2) エネルギー削減効果

実証研究結果及び試算によって得られたエネルギー消費量及びエネルギー削減効果を以下に示す。さらに実証データから得られた推算式を用いて、60wet-t/日、100wet-t/日、200wet-t/日の条件について推算を行い、規模の変化によるエネルギー削減効果の変化を確認した。

なお、試算については § 10 評価項目に示した試算方法を用いて行い、エネルギー創出量については、消費エネルギーを削減する効果を持つため、負の値として表記した。

以下に実証条件(150 wet-t/日)における計算例を示す。

1) エネルギー消費量(電気由来)

① 革新的技術

革新的技術の消費電力は、従来技術(汚泥焼却設備)の消費電力と局所攪拌・発電設備の消費電力及びその他導入効果による消費電力の削減の和となる。なお、消費電力については、消費電力に運転時間を乗じて算出するものとする。

$$\begin{aligned} \text{従来技術の消費電力 (kW)} &= 1.12 \times 150 (\text{wet-t/日}) + 266 \\ &= 435 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{革新的技術の消費電力 (kW)} &= 435 + 0.119 \times 150 (\text{wet-t/日}) + 65.1 \\ &\quad - 0.213 \times 150 (\text{wet-t/日}) + 10.5 \\ &= 475 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費量(電気由来) (千 kWh/年)} &= 475 \times 330 (\text{日/年}) \times 24 (\text{h/日}) \times 10^{-3} \\ &= 3,760 \end{aligned}$$

② 従来技術

$$\begin{aligned} \text{従来技術の消費電力 (kW)} &= 1.12 \times 150 (\text{wet-t/日}) + 266 \\ &= 435 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費量(電気由来) (千 kWh/年)} &= 435 \times 330 (\text{日/年}) \times 24 (\text{h/日}) \times 10^{-3} \\ &= 3,443 \end{aligned}$$

2) エネルギー消費量(補助燃料由来)

① 革新的技術

革新的技術の補助燃料消費量は、焼却炉の熱収支計算によって決定する。

実証運転条件においては補助燃料使用量が 0 のため、エネルギー消費量(補助燃料由来)も 0 となるが、参考までに計算式を示す。

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費量(補助燃料由来) (千 kWh/年)} &= \text{補助燃料使用量 (Nm}^3/\text{h)} \times \text{運転日} \\ &\quad \text{数 (日/年)} \times \text{運転時間 (h/日)} \times \text{補助燃料エネルギー原単位 (MJ/Nm}^3) \times 10^{-3} \times \text{換算係} \\ &\quad \text{数 (kWh/MJ)} \end{aligned}$$

② 従来技術

革新的技術と同様に、実証運転においては補助燃料使用量が 0 のため、エネルギー消費量(補助燃料由来)も 0 となる。

3) エネルギー創出量

① 革新的技術

実証運転時の発電量は、資料編 1.2.1 発電設備運転結果より 465kW となる。また、発電電力量については発電出力に運転時間を乗じて算出するものとし、エネルギー消費量に対して負の値のエネルギー創出量として計上する。

$$\begin{aligned} \text{エネルギー創出量(千 kWh/年)} &= -465 \times 330(\text{日/年}) \times 24(\text{h/日}) \times 10^{-3} \\ &= -3,679 \end{aligned}$$

4) エネルギー削減効果

§ 10 評価項目より、革新的技術と従来技術のエネルギー削減効果を算出する。

① 革新的技術

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費量(千 kWh/年)} &= 475 \times 330(\text{日/年}) \times 24(\text{h/日}) \times 10^{-3} + 0 - 3,679 \\ &= 80.8 \end{aligned}$$

② 従来技術

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費量(千 kWh/年)} &= 435 \times 330(\text{日/年}) \times 24(\text{h/日}) \times 10^{-3} + 0 \\ &= 3,443 \end{aligned}$$

よってエネルギー削減効果は以下の式で表される。

$$\begin{aligned} \text{エネルギー削減効果(\%)} &= \left(1 - \frac{80.8}{3,443}\right) \times 100 \\ &= 97.6 \end{aligned}$$

表 11-4 試算したエネルギー消費量

処理規模 [wet-t/日] (固形物量) [ds-t/日]		60 (15.6)	100 (26.0)	150* (39.0)	200 (52.0)
投入熱量 [GJ/h]		7.9	11.7	17.0	22.7
従来技術	エネルギー消費量(電気由来) [千 kWh/Y]	2,642	2,998	3,443	3,888
	エネルギー消費量(補助燃料由来) [千 kWh/Y]	2,490	840	0	0
	エネルギー消費量[千 kWh/Y]	5,582	3,838	3,443	3,888
革新的技術	エネルギー消費量(電気由来) [千 kWh/Y]	3,035	3,351	3,760	4,175
	エネルギー消費量(補助燃料由来) [千 kWh/Y]	2,490	840	0	0
	エネルギー創出量 [千 kWh/Y]	-1,275	-2,268	-3,679	-5,142
	エネルギー消費量[千 kWh/Y]	4,249	1,923	80.8	-967
エネルギー削減効果 [%]		17.2	49.9	97.6	125

※150 wet-t/日については、実際の実証試験結果より試算を行った。

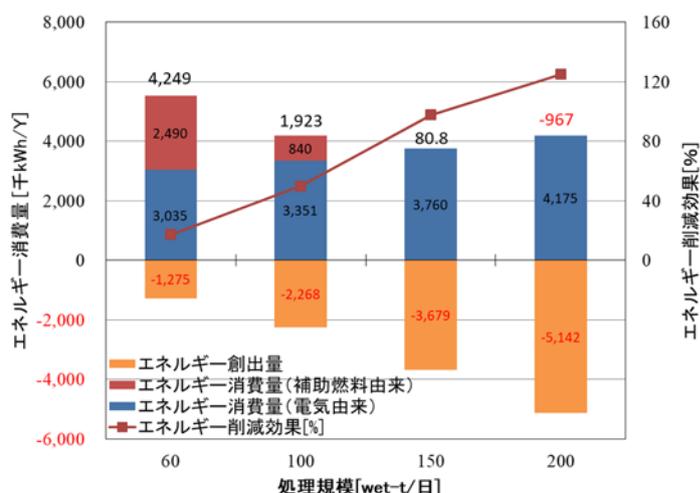


図 11-2 エネルギー消費量削減効果

※グラフ上部の数値はエネルギー消費量[千 kWh/年]

(3) 温室効果ガス削減効果

実証研究結果及び試算によって得られた温室効果ガス排出量及び温室効果ガス削減効果を以下に示す。さらに実証データから得られた推算式を用いて、60wet-t/日、100wet-t/日、200wet-t/日の条件について推算を行い、規模の変化による温室効果ガス削減効果の変化を確認した。なお、試算については § 10 評価項目 に示した試算方法を用いて行い、発電による温室効果ガス排出量は、発電によって得られた電力相当量の二酸化炭素を削減したものとして負の値として積算した。

以下に実証条件(150 wet-t/日)における計算例を示す。

1) 温室効果ガス排出量(電気由来)

電気由来の温室効果ガス排出量は、電気由来エネルギー消費量に対し、温室効果ガス排出量原単位を乗じて算出する。

① 革新的技術

$$\begin{aligned} \text{温室効果ガス排出量(電気由来)} (t\text{-CO}_2/\text{年}) &= \\ &= 3,760 (\text{千 kWh/年}) \times 0.555 (t\text{-CO}_2/\text{千 kWh}) \\ &= 2,087 \end{aligned}$$

② 従来技術

$$\begin{aligned} \text{温室効果ガス排出量(電気由来)} (t\text{-CO}_2/\text{年}) &= \\ &= 3,443 (\text{千 kWh/年}) \times 0.555 (t\text{-CO}_2/\text{千 kWh}) \\ &= 1,911 \end{aligned}$$

2) 温室効果ガス排出量(補助燃料由来)

補助燃料由来の温室効果ガス排出量は、補助燃料消費量に対し、温室効果ガス排出量原単位を乗じて算出する。なお、革新的技術の補助燃料消費量は、焼却炉の熱収支計算によって決定する。なお、実証運転条件においては補助燃料使用量が 0 のため、エネルギー消費量(補助燃料由来)も 0 となるが、参考までに計算式を示す。

温室効果ガス排出量(補助燃料由来) (t-CO₂/年) =

$$\frac{\text{補助燃料消費量 (Nm}^3\text{/h)} \times 330 \text{ (日/年)} \times 24 \text{ (h/日)}}{10^3 \times \text{温室効果ガス排出量原単位 (t-CO}_2\text{/千 Nm}^3\text{)}}$$

3) 温室効果ガス排出量(N₂O 由来)

N₂O 由来の温室効果ガス排出量は、処理量に対して排出係数を乗じて N₂O 排出量を算出し、得られた N₂O 排出量に対して温室効果ガス排出量原単位を乗じて算出する。

革新的技術の N₂O 排出係数: 0.000232 t-N₂O/ wet-t

従来技術の N₂O 排出係数: 0.000645 t-N₂O/ wet-t

(「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル」⁷⁾より)

① 革新的技術

$$\begin{aligned} \text{N}_2\text{O 排出量 (t-N}_2\text{O/年)} &= 0.000232 \text{ (t-N}_2\text{O/ wet-t)} \times 150 \text{ (wet-t/日)} \times 330 \text{ (日/年)} \\ &= 11.5 \\ \text{温室効果ガス排出量 (N}_2\text{O 由来) (t-CO}_2\text{/年)} &= 11.5 \times 298 \text{ (t-CO}_2\text{/t-N}_2\text{O)} \\ &= 3,422 \end{aligned}$$

② 従来技術

$$\begin{aligned} \text{N}_2\text{O 排出量 (t-N}_2\text{O/年)} &= 0.000645 \text{ (t-N}_2\text{O/ wet-t)} \times 150 \text{ (wet-t/日)} \times 330 \text{ (日/年)} \\ &= 31.9 \\ \text{温室効果ガス排出量 (N}_2\text{O 由来) (t-CO}_2\text{/年)} &= 31.9 \times 298 \text{ (t-CO}_2\text{/t-N}_2\text{O)} \\ &= 9,514 \end{aligned}$$

4) 温室効果ガス排出量(発電由来)

発電由来の温室効果ガス排出量は、発電によるエネルギー創出量分に相当する温室効果ガス排出量を削減したものととして、負の値として計上する。

$$\begin{aligned} \text{温室効果ガス排出量 (発電由来)} &= -3,679 \text{ (千 kWh/年)} \times 0.555 \text{ (t-CO}_2\text{/千 kWh)} \\ &= -2,042 \end{aligned}$$

5) 温室効果ガス排出量削減効果

以上の結果より、革新的技術と従来技術の温室効果ガス排出量は下記の通りとなる。

① 革新的技術

$$\begin{aligned} \text{温室効果ガス排出量 (革新的技術) (t-CO}_2\text{/年)} &= 2,087 + 0 + 3,422 - 2,042 \\ &= 3,467 \end{aligned}$$

② 従来技術

$$\begin{aligned} \text{温室効果ガス排出量 (従来技術) (t-CO}_2\text{/年)} &= 1,911 + 0 + 9,514 \\ &= 11,425 \end{aligned}$$

よって温室効果ガス排出量削減効果は下記の通りとなる。

$$\begin{aligned} \text{温室効果ガス排出量削減効果 (\%)} &= \left(1 - \frac{3,467}{11,425}\right) \times 100 \\ &= 69.7 \end{aligned}$$

表 11-5 試算した温室効果ガス排出量

処理規模 [wet-t/日] (固形物量) [ds-t/日]		60 (15.6)	100 (26.0)	150* (39.0)	200 (52.0)
投入熱量 [GJ/h]		7.9	11.7	17.0	22.7
従来技術	温室効果ガス排出量(電気由来) [t-CO ₂ /Y]	1,466	1,664	1,911	2,158
	温室効果ガス排出量(補助燃料由来) [t-CO ₂ /Y]	447	151	0	0
	温室効果ガス排出量(N ₂ O 由来) [t-CO ₂ /Y]	3,806	6,343	9,514	12,686
	温室効果ガス排出量[t-CO ₂ /Y]	5,719	8,158	11,425	14,843
革新的技術	温室効果ガス排出量(電気由来) [t-CO ₂ /Y]	1,684	1,860	2,087	2,317
	温室効果ガス排出量(補助燃料由来) [t-CO ₂ /Y]	447	151	0	0
	温室効果ガス排出量(N ₂ O 由来) [t-CO ₂ /Y]	1,369	2,282	3,422	4,563
	温室効果ガス排出量(発電由来) [t-CO ₂ /Y]	-708	-1,259	-2,042	-2,854
	温室効果ガス排出量[t-CO ₂ /Y]	2,792	3,033	3,467	4,026
温室効果ガス削減効果[%]		51.2	62.8	69.7	72.9

※150 wet-t/日については、実際の実証試験結果より試算を行った。

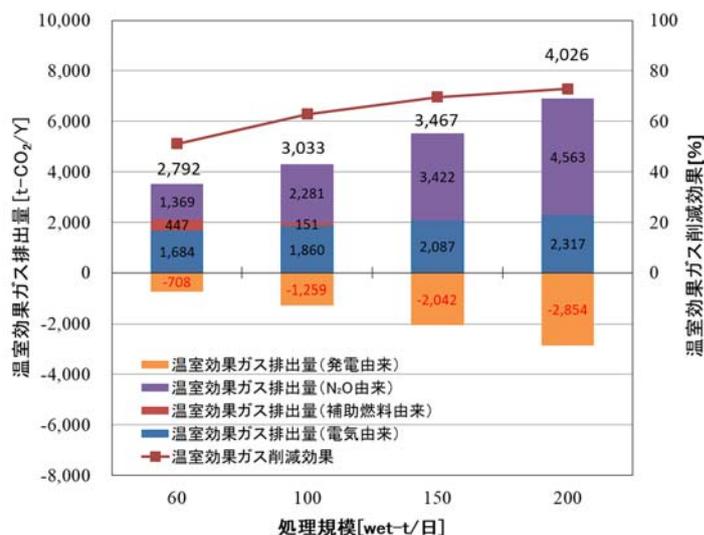


図 11-3 温室効果ガス排出量削減効果

※グラフ上部の数値は温室効果ガス排出量[t-CO₂/年]

6) NOx 削減効果

実証フィールドにおける実証結果より、年間を通して排ガス中の NOx 濃度の 50%削減が可能であることを確認した。(資料編 1.2 実証運転データ参照)この結果から、革新的技術の導入により、NOx 排出量の削減が期待できる。