



# 下水道の有するポテンシャルとその活用状況について

---



# 下水污泥

---

# - 1. (1) 下水汚泥の資源・エネルギーのポテンシャル

下水汚泥の発生量は固形物ベースでバイオマス全体のうち約3%

下水汚泥の発熱量は約19MJ / DS-kg (4,500kcal / kg) であり、エネルギーポテンシャルは約36PJ (原油換算で約94万kl相当)

## バイオマスの賦存量と利活用状況

バイオマスの種類	年間発生量 (湿重量)	年間発生量試算値 (乾燥重量)	利活用の状況
家畜排せつ物	約8,900万トン	約1,500万トン	たい肥利用約90%
食品廃棄物	約2,200万トン	約210万トン	肥飼料利用約20% 80%が焼却・埋立等
製材工場等残材	約500万トン	約430万トン	エネルギーやたい肥への利用約90%
廃棄紙	約1,600万トン	約1,400万トン	大半が焼却
<b>下水汚泥</b>	<b>約7,500万トン</b>	<b>約230万トン</b>	<b>建設資材、たい肥利用約64% 埋立約36%</b>
パルプ黒液	約1,400万トン	約1,200万トン	ほぼ全量直接焼却による利用
建設発生木材	約460万トン	約390万トン	製紙原料、ボード原料、家畜飼料等へ 利用約60%
農作物非食用部	約1,300万トン	約910万トン	たい肥・飼料、畜舎敷料等への利用 約30%
林地残材	約370万トン	約320万トン	ほぼ未利用

出典: バイオマス・ニッポン総合戦略(平成17年度閣議決定)を基に国交省試算

## バイオマスエネルギーとしてのポテンシャル

< 発生汚泥量(2003年度) >

現物量: 7,500万t

(含水率は約97%)

固形物量: 214万DS-t

(全てエネルギー回収した場合)

原油換算で約94万kl

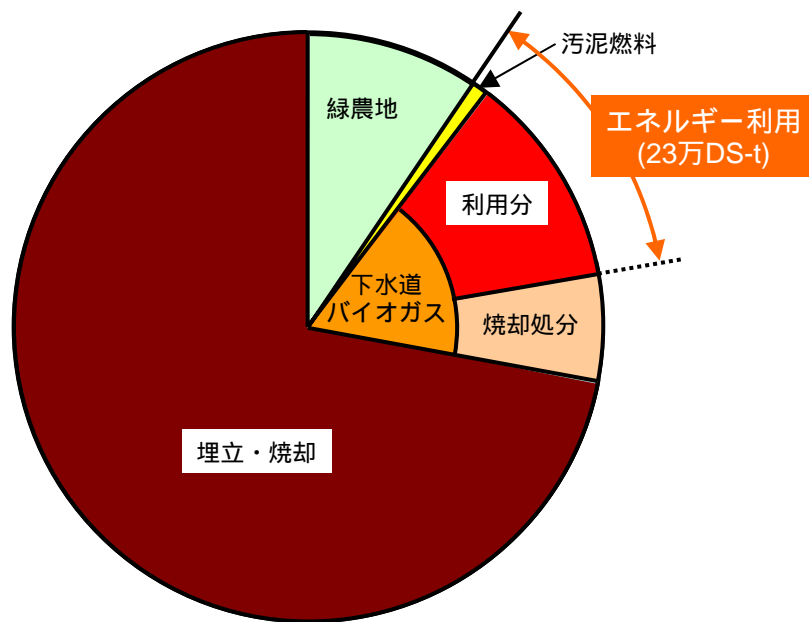
## - 1. (2) 下水汚泥の資源・エネルギーの利用状況

下水汚泥中の固形分の約8割を占める有機分のうち、エネルギー利用されている割合は約13%にとどまっている

エネルギー利用は下水道バイオガスとしての利用が主であり、処理場規模の大きいところでの利用が中心

下水汚泥の固形分のうち約2割を占める無機分の組成をみると、リンは $P_2O_5$ の形態で約24%含まれており、我が国に輸入されるリン鉱石のうち約1～2割に相当

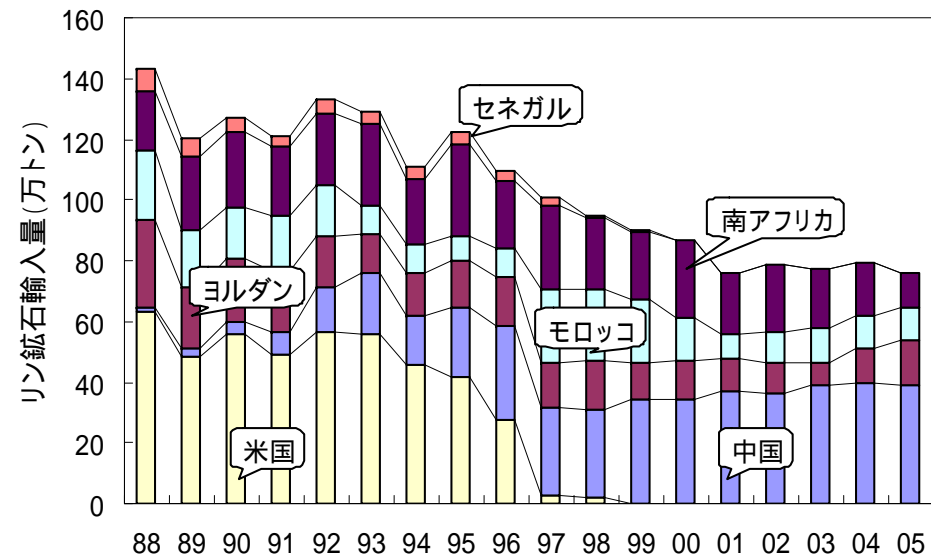
下水汚泥のバイオマス利用状況(2004年度)



「下水汚泥のバイオマス利用率(エネルギー利用)」

$$= \frac{\text{エネルギー利用された有機分}}{\text{有機分の総量}} = \frac{23 \text{ 万DS-t}}{174 \text{ 万DS-t}} = 13\%$$

リン鉱石の国別の輸入状況



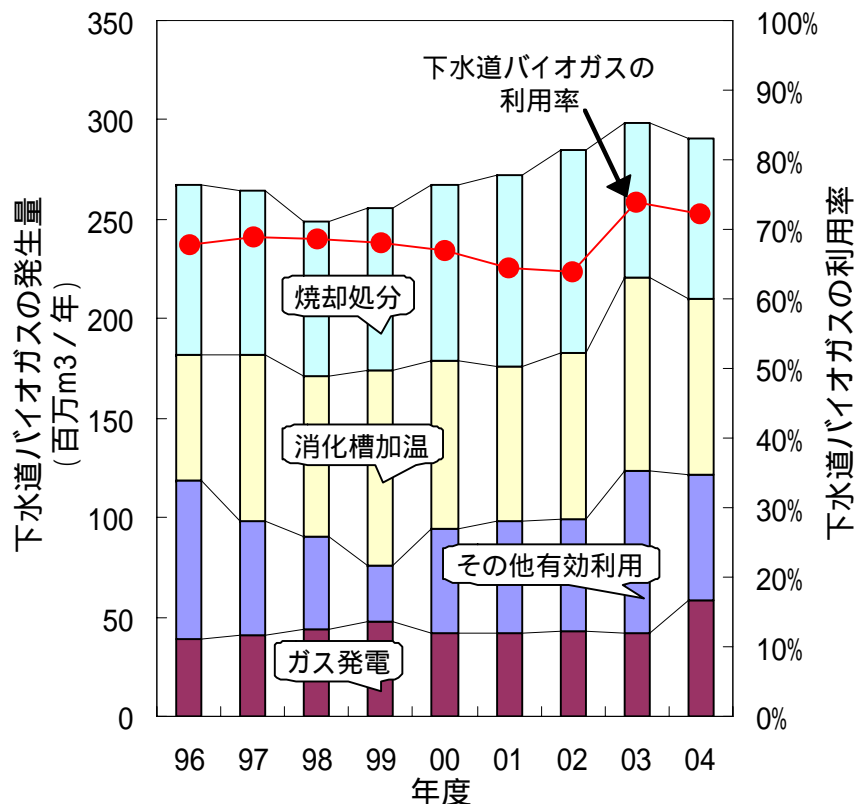
## - 2 . (1) 下水道バイオガスの利用状況

消化されている下水汚泥は2004年度において約940千DS-t(汚泥発生量の約43%)であり、約291百万m<sup>3</sup>/年(約6.4PJ)の下水道バイオガスが得られている

このうち約7割は消化槽加温や発電、焼却設備補助燃料等に利用されているが、残り3割は焼却処分されている

小規模な処理場ではまとまったバイオガス量が確保できないこと、発電効率が25～30%程度と小さいこと、排熱の需要が少ないこと等の理由からエネルギー利用が進んでいない状況

下水道バイオガスの利用状況の経年変化



下水道バイオガスの用途別内訳 (2004年度)

利用用途	利用量 (万m <sup>3</sup> /年)	割合 (%)
ガス発電	5,879	20%
他の有効利用	6,291	22%
消化槽加温	8,848	30%
<b>未利用</b>	<b>8,035</b>	<b>28%</b>
合計	29,053	

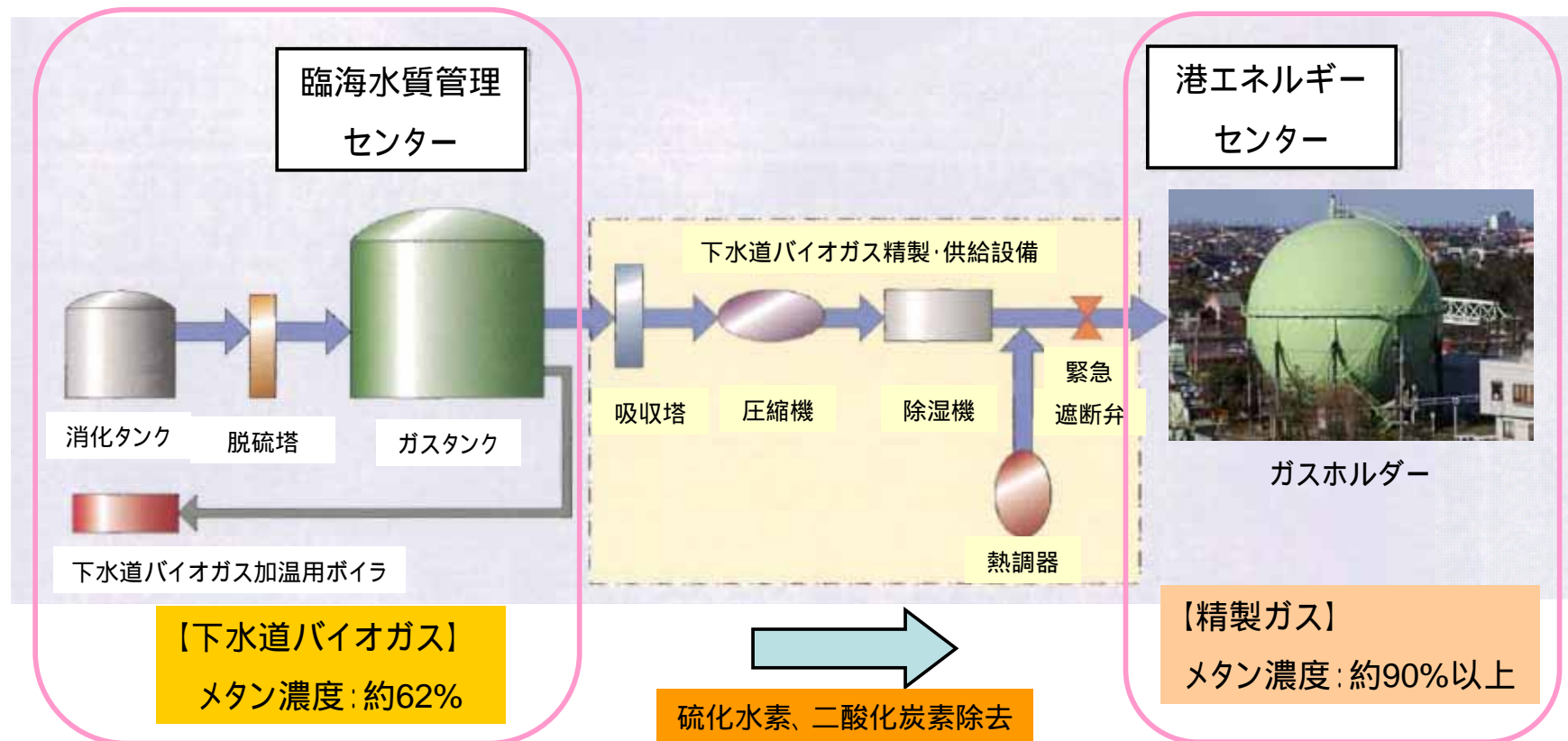
未利用バイオガス分で  
約1.8 PJのポテンシャルを  
有している

## - 2 . ( 2 ) 地域へのエネルギー供給手法

地域全体でエネルギー需給バランスを改善すると、下水道バイオガスを地域に供給することも可能である

【金沢市の事例(平成17年度より実施)】

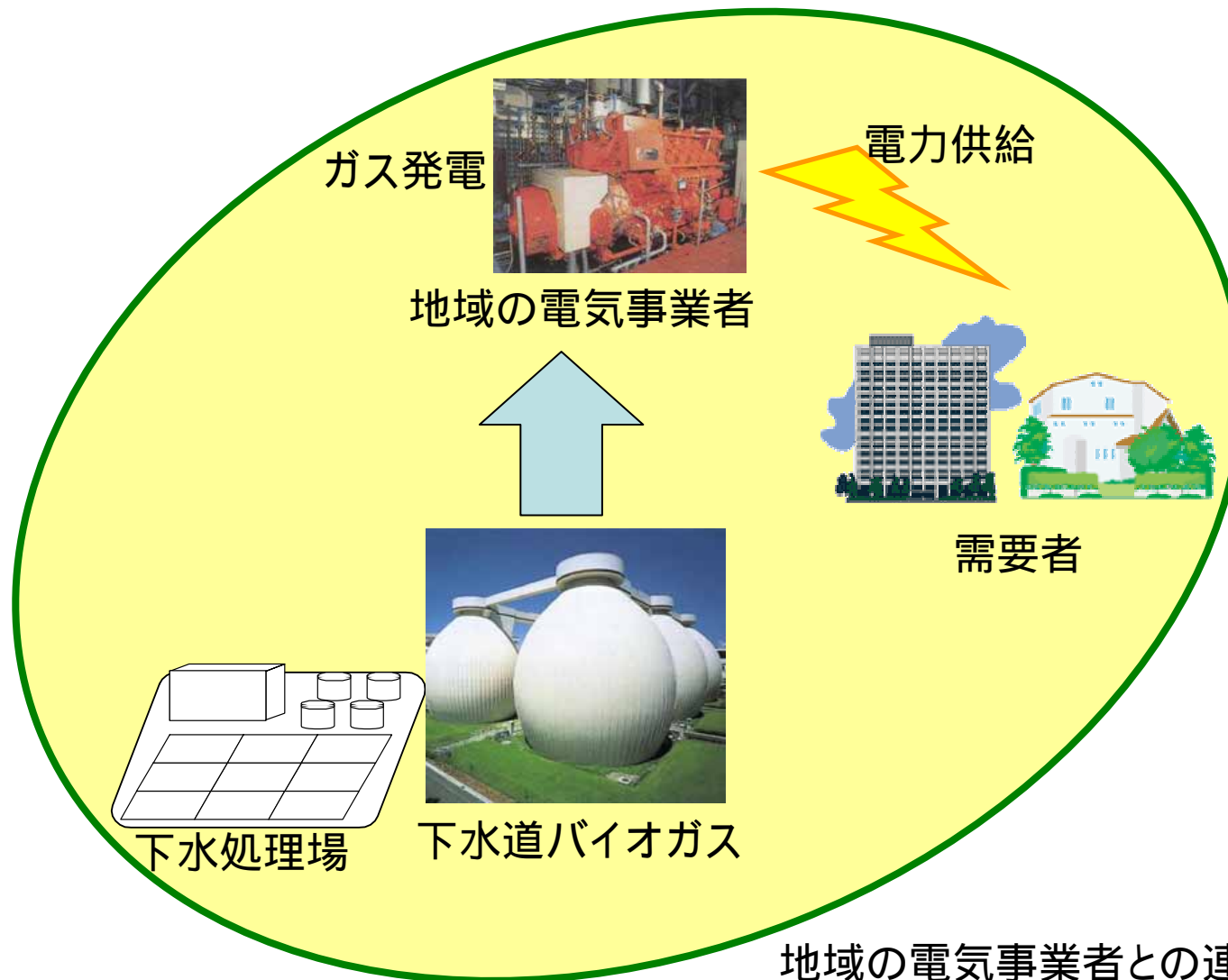
下水道バイオガスを精製し( $\text{CH}_4$ :90%)、隣接する都市ガス工場へ供給  
都市ガスへの混入率は約1%  
下水処理場の電力消費は買電でまかなっている



- ・精製ガス量:年間50万 $\text{m}^3$ (一般家庭1700戸分相当)
- ・年間840t- $\text{CO}_2$ の削減効果

## - 2.(3) 地域へのエネルギー供給手法

地域へ電力を供給する電気事業者との連携により、バイオガスを効率的に利用することが可能である



地域の電気事業者との連携イメージ

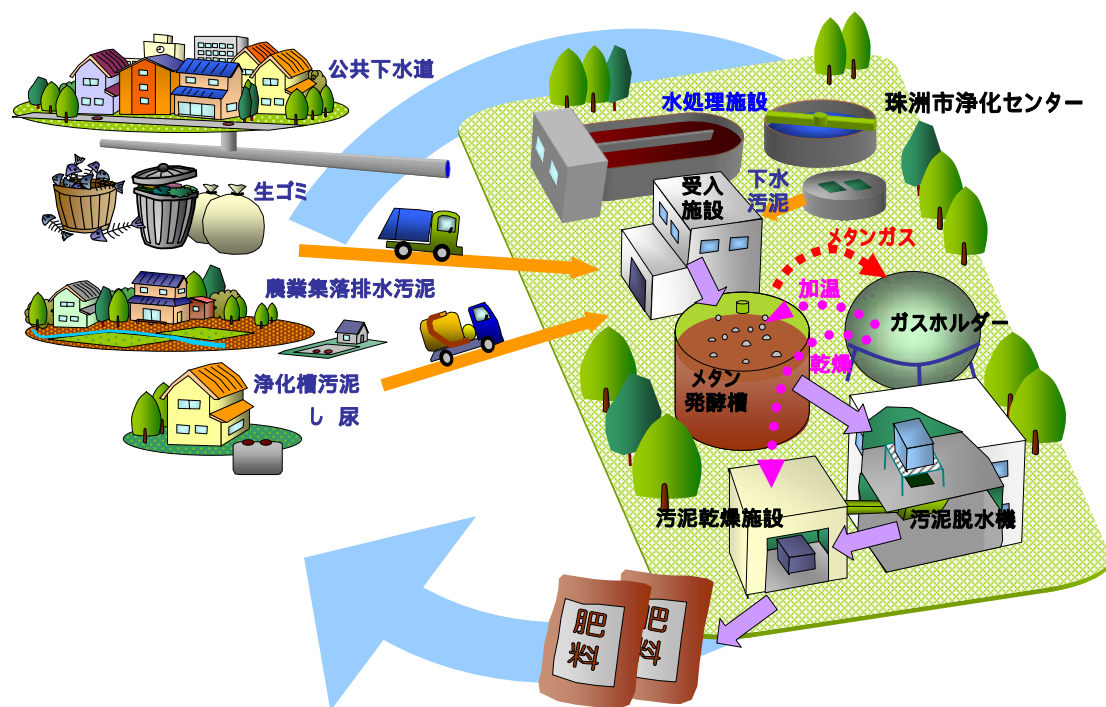
## - 2 . (4) 地域へのエネルギー供給手法

地域で連携して、地域の様々なバイオマスと共同でバイオガスエネルギーを抽出することにより、より大きな効果が得られる

【石川県珠洲市の事例(平成18年度より実施)】

下水汚泥とあわせて、生ごみ、し尿、浄化槽・農業集落排水汚泥等を消化槽で共処理し、得られたメタンを下水汚泥の乾燥や消化槽の加温用として有効利用  
バイオガスを燃料として汚泥を乾燥し、肥料として地域に還元

珠洲市・バイオマスエネルギー推進プラン



下水汚泥等の処理量  
(2012年度における計画値)

	一日当たり投入量 (t / 日)
下水汚泥	27.2
浄化槽汚泥	13.7
農集排汚泥	0.6
し尿	7.1
生ごみ	2.4
合計	51.0

(現物量ベース)

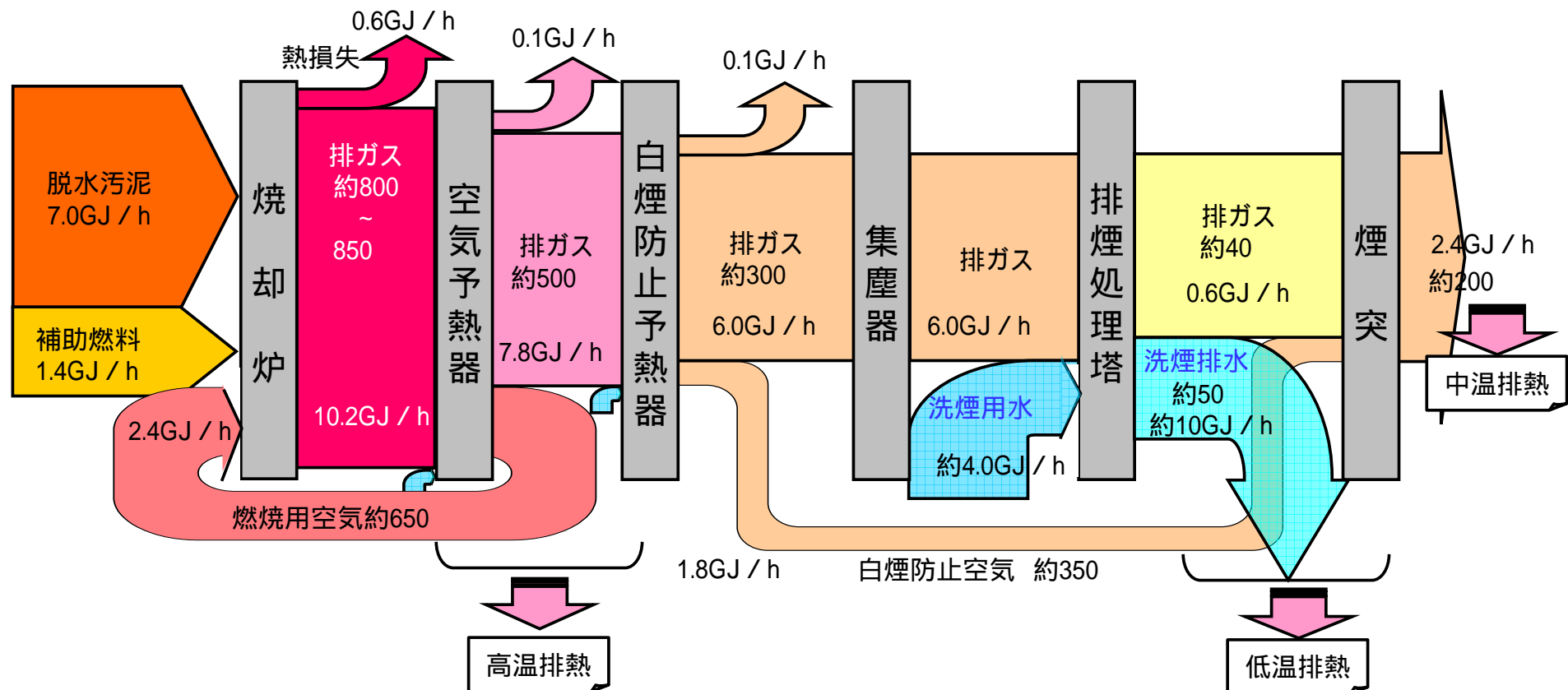


## - 3 . (1) 下水汚泥の焼却排熱の利用状況

通常、脱水汚泥の焼却には補助燃料の投入が必要であり、投入量を削減するため、高温排熱を用いた燃烧用空気の予熱や脱水汚泥の乾燥等により全て有効利用されている

中・低温排熱は年間約3PJ程度発生しており、大半の焼却設備から回収が可能であるが、排熱温度が低く用途が限られること等から大半が利用されずにいる

流動床式焼却設備の熱収支フローの例(50t-脱水汚泥/日)

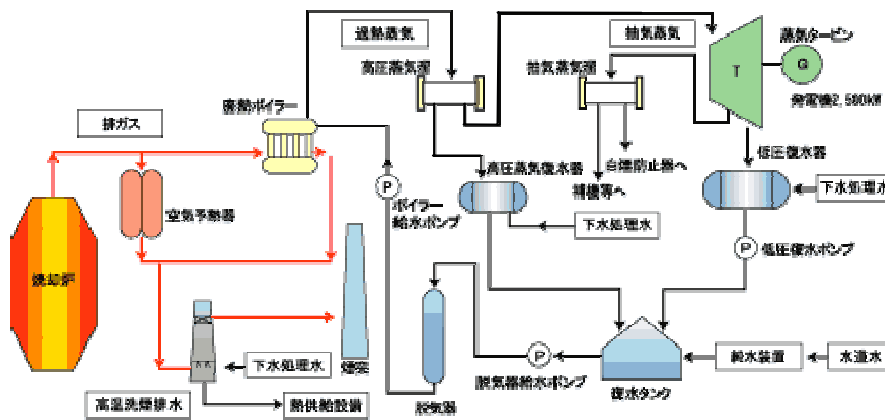


## - 3 . (2) 地域と一体となった排熱利用の例

高温排熱(約650℃)については、焼却炉の補助燃料の削減のほか、排熱発電を行って処理場内で有効利用している事例がある

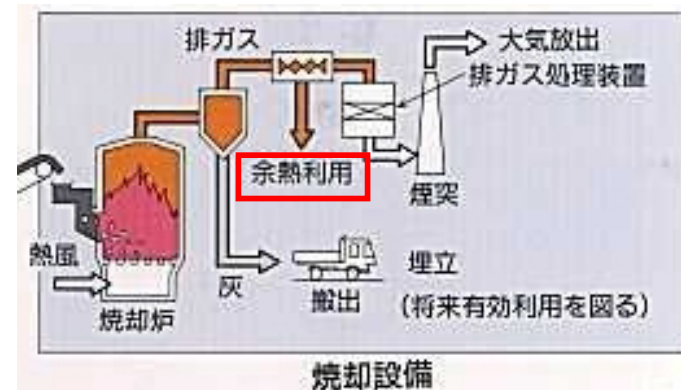
また、中温排熱(約200℃)や低温排熱(約50℃)については、処理場内の暖房や、暖房・給湯等の地域の熱需要に対して供給する取組が行われている

高温排熱による発電(東京都東部スラッジプラント)



蒸気式熱交換器に排熱ボイラーの蒸気を送り、発電(最大2,500kW)や東部スラッジプラント庁舎(約1,400m<sup>2</sup>)の冷暖房の熱源として利用

低温排熱のプール加温等への利用  
(川崎市入江崎スラッジセンター)



汚泥焼却炉からの中温排熱を給湯とプールの加温用熱源として、洗煙排水からの低温排熱を温水プールの加温用ヒートポンプの熱源として利用

## - 4 . ( 1 ) 汚泥燃料 ( 油温減圧乾燥 ) の有効利用の現状

固形燃料化されている下水汚泥は2004年度において約0.68千DS-t(汚泥発生量の約0.03%)であり、約0.01 PJの汚泥燃料が得られている

具体的には、福岡県御笠川浄化センターで脱水汚泥を廃食用油等に投入し、減圧・加熱の条件下で水分を蒸発させ、火力発電所に燃料として供給している

得られる汚泥燃料は油を約30%含み、発熱量は約24MJ / kg (5,700 kcal / kg)

油温減圧乾燥装置 (福岡県御笠川浄化センター)



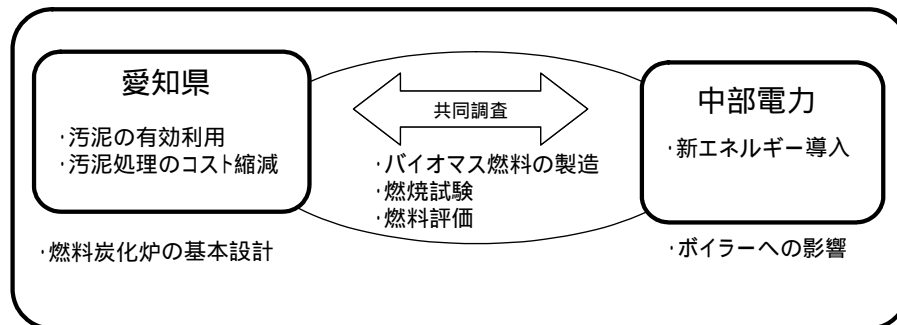
## - 4 . ( 2 ) 炭化汚泥の有効利用の現状

脱水汚泥を乾燥した後、低酸素もしくは無酸素状態で蒸し焼きすることで炭化させ、燃料として電力会社等に供給することが検討されている

- ・東京都: 2007年度下期より事業開始予定 ( 勿来火力発電所に供給予定 )
- ・愛知県: 2008年度からの実用化を視野に検討中 ( 碧南火力発電所に供給予定 )
- ・発熱量: 約13MJ / kg ( 3,000 kcal / kg )

また、低温で炭化した場合に、炭化汚泥中に肥効成分 ( ク溶性リン酸 ) が多く含まれる特性を利用し、肥料としての活用も検討されている

### 下水汚泥の燃料化の事業スキーム ( 愛知県 )



炭化汚泥



## - 5 . コンポスト利用の現状

コンポストは汚泥中の有機物を生物学的に分解・安定化したもの  
コンポストの汚泥性状は下記の理由から緑農地利用に適している

- ・緑農地に投与すると急激に分解して、植物の生育に悪影響を及ぼすことなく、堆肥としての肥効性を保つことができる
- ・運搬、貯留、保管等の作業性及び取扱い性に優れている
- ・コンポスト製造時の発酵熱により有害な微生物等の除去が可能であり、品質・衛生面からも適している

緑農地利用のためにコンポスト化されている下水汚泥は2004年度において約229千DS-t(汚泥発生量の約11%)

コンポスト化施設(北海道)



## - 6 . 下水汚泥の創エネルギーに係る技術について

### 下水道バイオガスの利用

- 1 . 消化槽加温、管理棟の空調・給湯等
- 2 . 下水道バイオガス発電システム(ガスエンジン、燃料電池、マイクロガスタービン)及びコージェネによる温水利用(消化槽加温、空調等)
- 3 . 汚泥処理設備(焼却、乾燥、炭化、脱臭等)の補助燃料
- 4 . 都市ガスの原料やCNG車の燃料として供給

### 汚泥燃料の利用

- 1 . 高温炭化、低温炭化:火力発電所への供給
- 2 . 油温減圧乾燥設備:火力発電所への供給
- 3 . 造粒乾燥設備:火力発電所への供給



# 下水·下水処理水

---



## - 1. (1) 下水・下水処理水の有する下水熱のポテンシャル

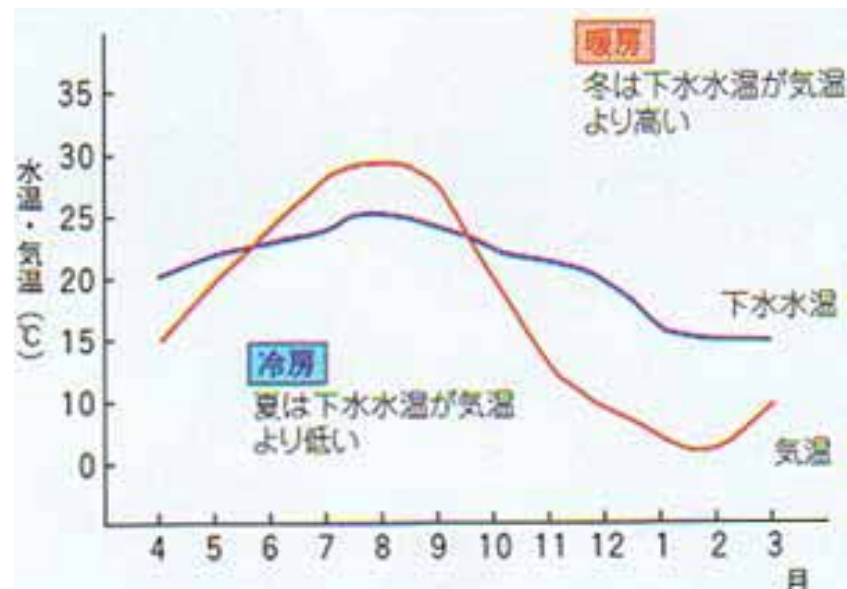
下水は季節によらず安定した量・温度を保っており、特に都市部において、夏季は冷熱源、冬季は温熱源として、ヒートポンプからの熱を受け入れることが可能

また、夏季においては、都市からの排熱を下水道が受け入れることで地表面の排熱が減少するため、ヒートアイランド対策の観点からも注目されている

下水処理水量は年間約140億m<sup>3</sup>であり、また、管きょ網は都市内に張り巡らされており、都市内の熱源として活用のポテンシャルは広範囲にわたる

一方で、下水熱は気温との温度差が小さく、有効利用できるエネルギーの占める割合は小さいことから、熱源として直接利用する方法は効率性の観点で課題がある

下水の水温と気温の関係



出典: 東京都資料より



## - 1.(2) 下水熱の利用状況

下水熱は管理棟の冷暖房への利用のほか、地域熱供給としての利活用が全国3箇所で実施されている

下水熱を利用した地域熱供給の導入実績

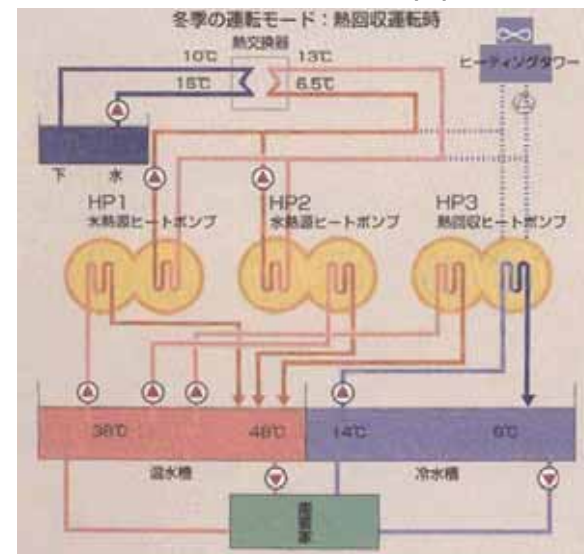
供給地域	東京都後楽1丁目	千葉県幕張新都心	岩手県盛岡駅
供給延べ床面積(m <sup>2</sup> )	295,000	932,000	56,000
冷熱温度	7	7	6
温熱温度	47	47	50

後楽ポンプ所の地域熱供給

< 熱供給エリア >



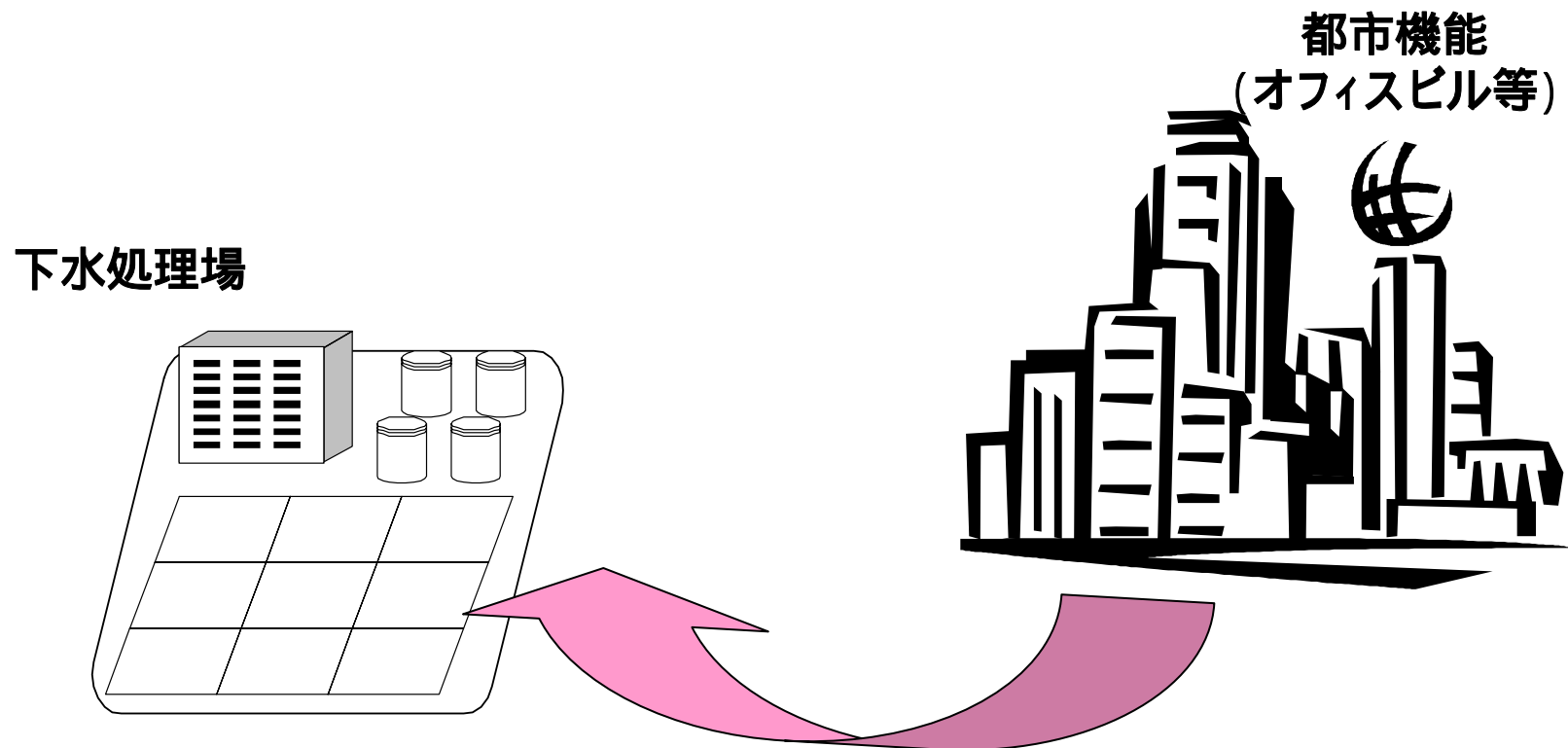
< システムフロー図 >



ヒートポンプと温度蓄熱層を組み合わせ、個別方式の冷暖房に比べ約40%の省エネ化とNOxの削減を達成

## - 1. (3) 都市排熱の下水道への受け入れ

下水処理水の安定した量・温度を活用することで、都市のビル等から冷却水・排熱を受け入れることが可能であり、都市におけるヒートアイランド対策の観点からも貢献が可能である



**都市の排熱を下水道が受け入れ可能**

< 夏場における下水処理場の活用イメージ >

## - 2 . 小水力発電の導入ポテンシャル

処理水の放流渠等における落差を利用し、小水力発電(100kW程度以下)を導入することが可能であり、処理水の安定した水量を活用することで定常的な発電が可能

小水力発電で得られるエネルギー量は流量と有効落差に比例するため、処理水を公共用水域に放流する際の落差が大きい地域での導入が可能

現在、4箇所の下水処理場において導入されているところ

小水力発電の導入実績

処理場名	東京都葛西処理場	東京都森ヶ崎水再生センター	神戸市鈴蘭台下水処理場	京都市石田水環境保全センター	
定格出力(kW)	24	95	4	56	9.4
平均流量(m <sup>3</sup> /s)	0.67	5	0.3	0.185	1.1
有効落差(m)	5.05	2.5	2	65	2.13
年間発電量(万kWh)	14	80	49	8	
電力消費に占める割合	0.2%	0.7%	13.6%	0.5%	

鈴蘭台処理場における小水力発電



H18年度設置予定



# 下水道施設空間

---

## - 1. 下水道施設空間におけるポテンシャル

下水処理場の敷地面積は全国の都市公園面積の約1割に相当する貴重なスペースであり、太陽光発電施設や風力発電施設の設置場所として活用が期待される

### 太陽光発電の導入ポテンシャル

約400haの面積(全国の下水処理場敷地面積の約5%)に設置した場合

発電量:273百万kWh/年(下水道施設の消費電力の4.4%に相当)

下水道施設のエネルギー消費量のうち2.5%に相当

### 風力発電の導入ポテンシャル

風力発電が導入されている市町村内の下水処理場(約300処理場)に設置した場合

発電量:463百万kWh/年(下水道施設の消費電力の7.5%に相当)

下水道施設のエネルギー消費量のうち4.7%に相当

### < 太陽光発電の導入ポテンシャル >

#### 【前提条件】

- ・下水処理場の敷地のうち、管理棟等の建物の屋根に多結晶型太陽電池を導入することを想定
- ・敷地面積に対する屋根の面積の比率:一部の実績値より5%
- ・傾斜配置の場合の占有率:67%
- ・太陽電池パネル1m<sup>2</sup>当たりの年間発電量:100kWh/年(発電効率:10%、システム利用率:12%程度)

### < 風力発電の導入ポテンシャル >

#### 【前提条件】

- ・下水処理場のうち、処理場が立地する市町村において風力発電が導入されている場合、当該処理場に風力発電を導入することを想定
- ・風力発電によって当該処理場の電力消費量をすべて賄えると仮定

## - 2 . 太陽光発電・風力発電の導入状況

### 【太陽光発電】

管理棟等の屋根や覆蓋を利用し、10 - 300kW級の太陽光発電が導入されているところ

一般的に太陽光発電は建設コストが高く、導入の阻害要因となっている

### 【風力発電】

風力エネルギーは、風を受ける面積、空気の密度、風速の3乗に比例するため、大きい風速が安定的に得られる地域においての導入が期待されている

現在、2箇所の下水処理場において風力発電が導入されており、静岡県大須賀浄化センターでは電力消費量のほぼ全量をまかなっている

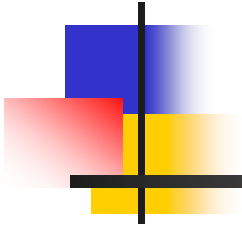
風力発電の導入の可能性及び発電見込み量は、個別の処理場における風況(風速の大きさ、分布)等に左右されることに留意

風力発電の導入実績

処理場名	静岡県掛川市 大須賀浄化センター	静岡市 中島浄化センター
定格出力(kW)	660	1,500
定格出力風速(m/s)	15	13
最小出力風速(m/s)	4	3.5
年間発電量(万kWh)	115	256
電力消費に占める割合	ほぼ100%	2割程度

# 下水道のエネルギー消費の 現状

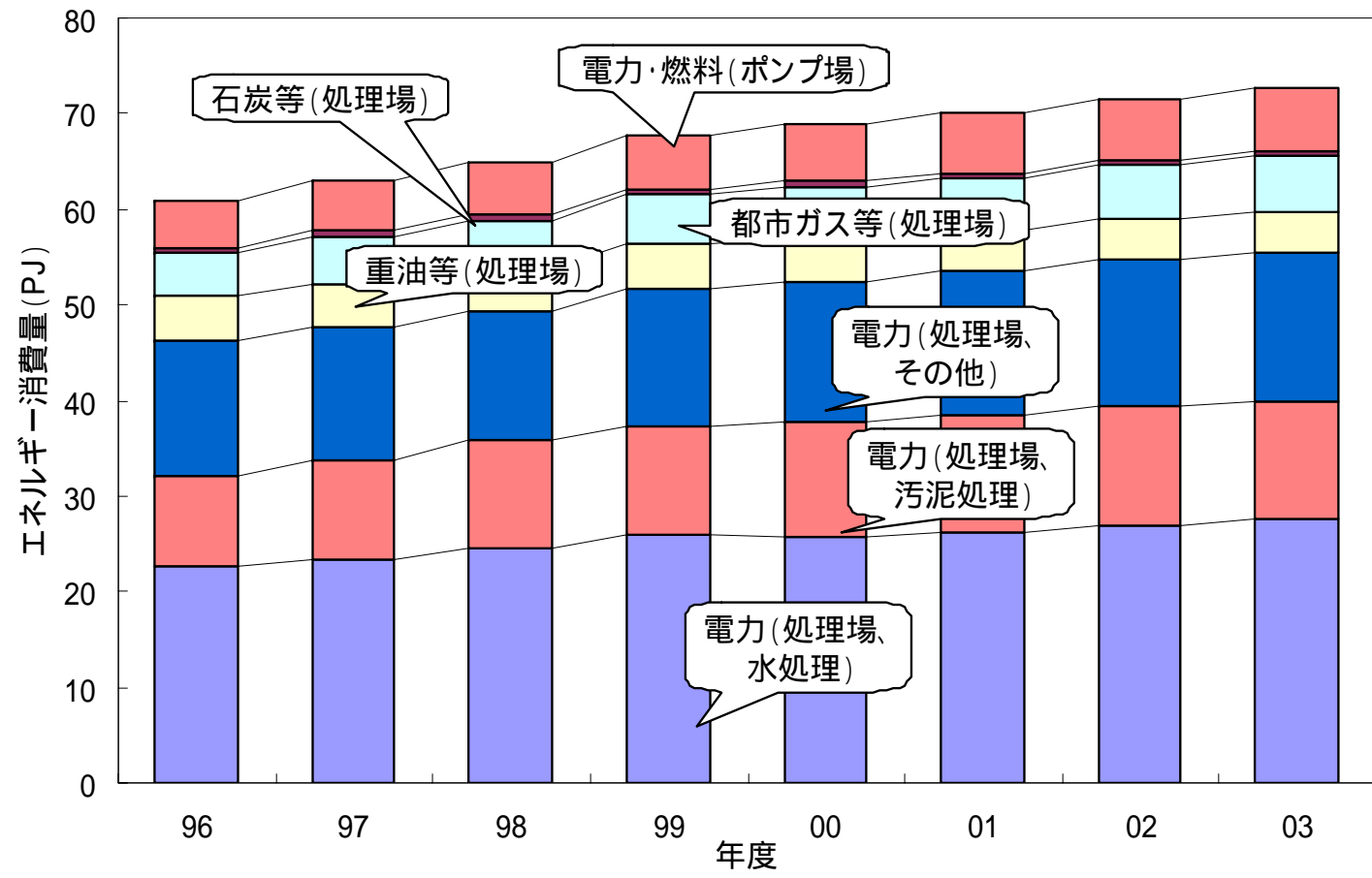
---



# 1. 下水道施設におけるエネルギー消費量の推移

下水道施設における電力・燃料消費量は、下水道普及率の増加に伴い年々増加傾向  
処理場における水処理の電力消費量が38%と最も大きい割合を占めている  
下水道施設のエネルギー消費量は、一次エネルギー換算で2003年度において約  
72.6PJ(=約188万原油換算kl)に達しており、我が国全体の一次エネルギー総供給量  
のうち約0.3%を占める

下水道施設のエネルギー消費量の経年変化(一次エネルギー換算)



出典: 下水道統計



## 2. 下水処理場におけるエネルギー消費原単位

下水処理場におけるエネルギー消費原単位は、規模が小さいほど大きく、かつばらつきも大きい

< 算定式 >

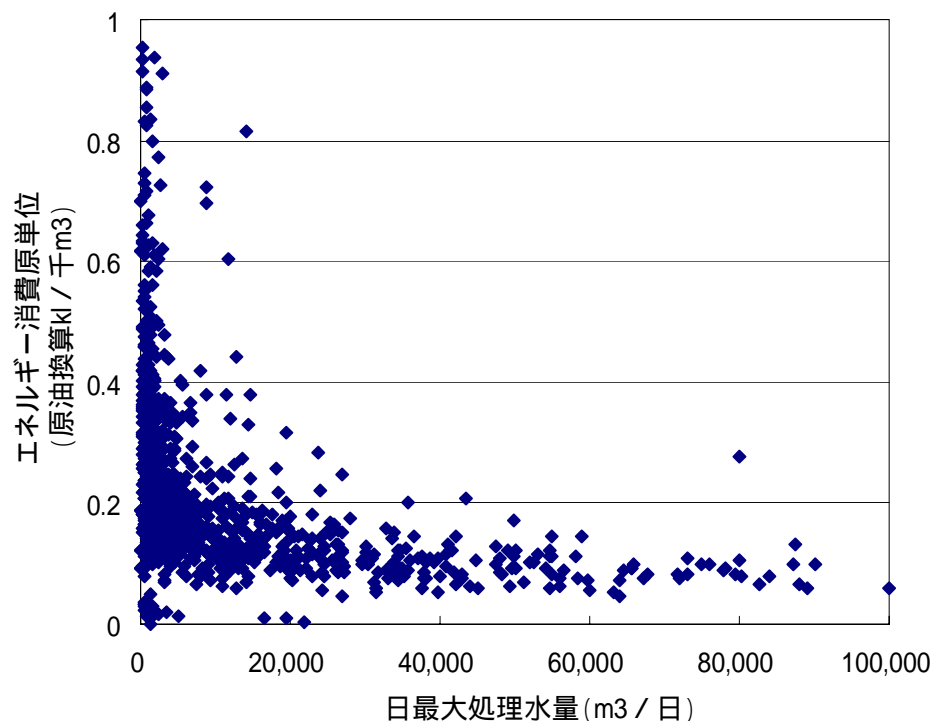
【水処理を行う処理場の場合】

下水処理場におけるエネルギー消費原単位 = 下水処理場の電力・燃料消費量[MJ] / 年間処理水量[m<sup>3</sup>]

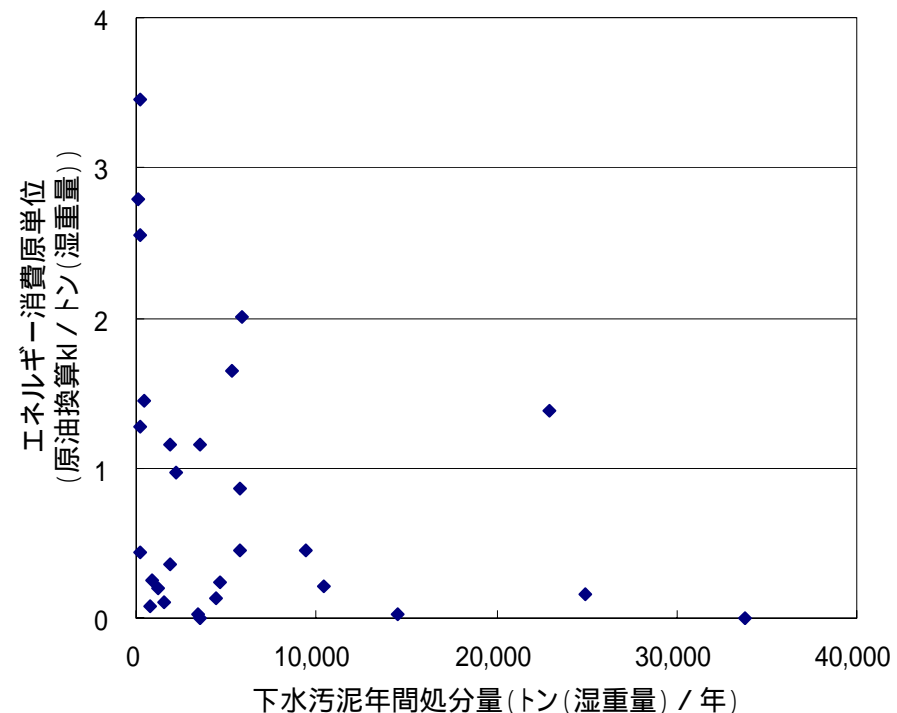
【汚泥処理のみを行う処理場の場合】

下水処理場におけるエネルギー消費原単位 = 下水処理場の電力・燃料消費量[MJ] / 年間処理汚泥量[トン]

処理場のエネルギー消費原単位(水処理を行う場合)



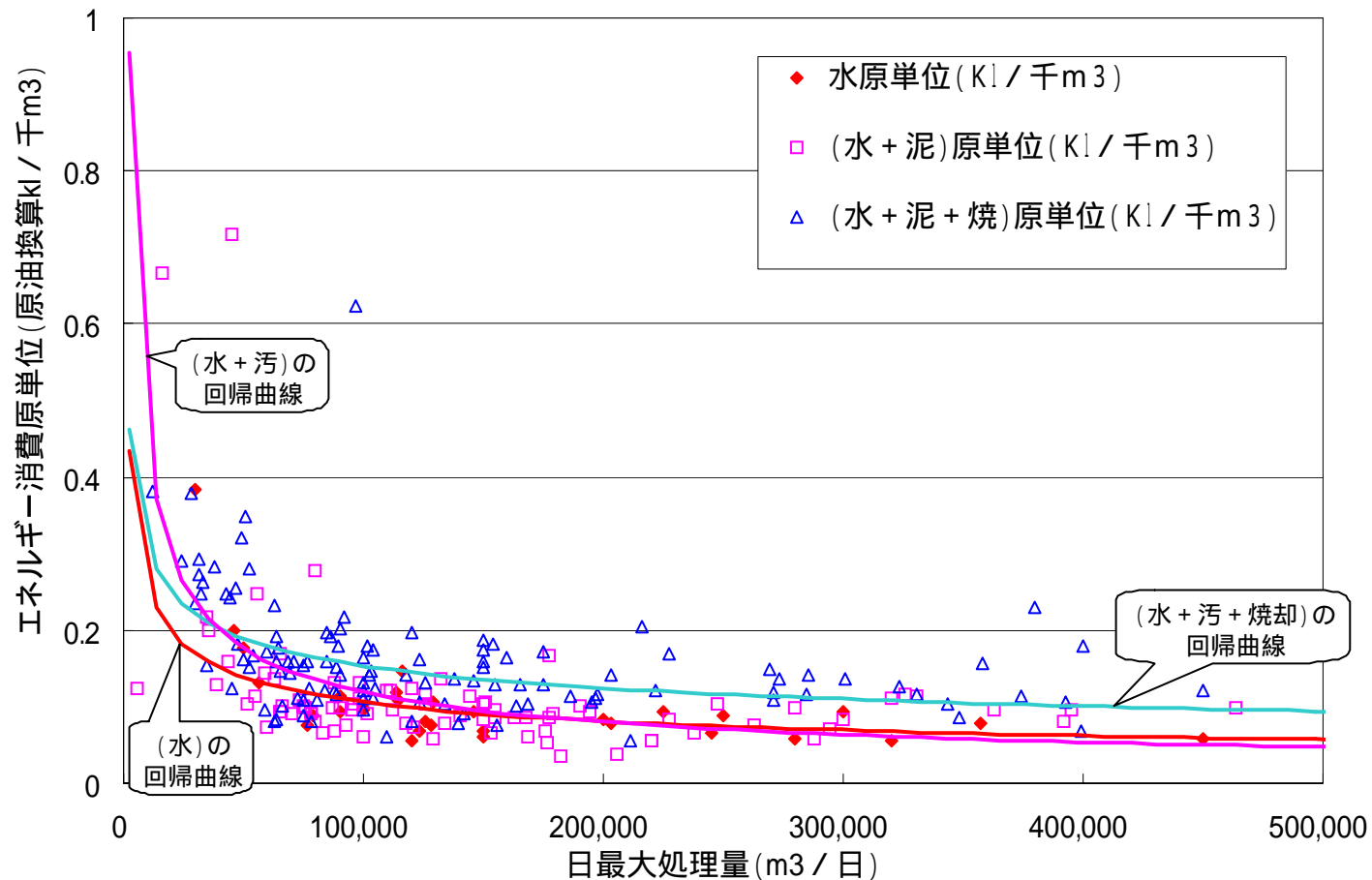
処理場のエネルギー消費原単位(汚泥処理のみ)



### 3. 処理プロセス別のエネルギー消費特性

汚泥処理のうち、焼却・溶融を行っている場合は、原単位がその分大きくなるが、他の汚泥処理工程(濃縮・脱水等)が原単位に与える影響は軽微

下水処理場における処理プロセス別のエネルギー消費原単位



処理場を「水処理のみ」、「水処理 + 汚泥処理(焼却・溶融なし)」、「水処理 + 汚泥処理(焼却・溶融あり)」に分類

出典: 下水道統計

## 4. 下水道施設における省エネ技術例

沈砂地・主ポンプ・・・スクリーン設備間欠運転、揚砂設備間欠運転、池順次・交互運転、流入水量に応じた池数制御、主ポンプ運転の効率化、主ポンプ揚水量の平準化(管きよ、調整池を利用)

### 水処理工程

1. 最初沈殿地・・・流入水量に応じた池数制御、掻き寄せ機・汚泥引き抜きポンプ間欠運転
2. 反応タンク・・・送風量適正化、散気装置酸素移動効率の向上、散気装置目詰まり防止対策、消泡水量の適正化、間欠散水
3. 最終沈殿池・・・掻き寄せ機間欠運転、返送汚泥ポンプの回転数制御、余剰汚泥ポンプ間欠運転、スカム捕捉効率の向上(返流水量の低減)
4. 高度処理・・・水中攪拌機の間欠運転、硝化液循環ポンプ・返送汚泥ポンプの回転数制御、砂ろ過装置・生物膜ろ過装置洗浄工程の最適化

### 汚泥処理工程

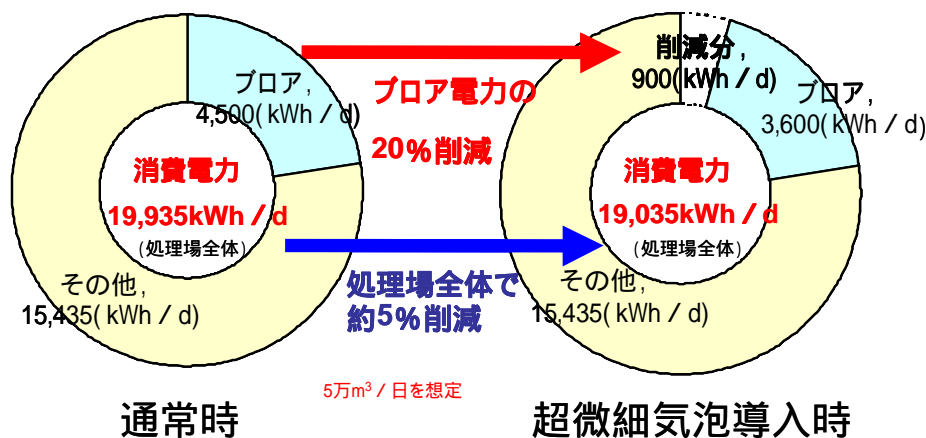
1. 濃縮・・・濃縮性能の向上、固形物回収率の向上、機械濃縮動力の低減
2. 消化タンク・・・消化タンク投入汚泥濃度の管理、消化タンクの温度管理、消化タンク保温の強化、消化タンク攪拌機の低動力化、蒸気配管加温設備の断熱強化、加温ボイラ・温水ヒータ自動制御
3. 脱水・・・供給汚泥濃度の管理、脱水汚泥の低含水率化、搬送設備も含めた脱水機系列の制御、機械脱水動力の低減
4. 焼却・・・汚泥焼却炉稼働計画と脱水汚泥発生量との適合、適正負荷率運転、脱水汚泥の低含水率化、補助燃料の低減、自燃時間の拡大

## 5. 省エネ型機器の導入による省エネ効果の例(超微細気泡)

水処理時の電力消費の大半は、ブローアの動力用であり、超微細気泡を導入することにより、ブローアの電力消費量を約20% (処理場全体の電力消費量の5%に相当) 削減可能と試算される

### 超微細気泡の導入による省エネ効果の試算

例えば、5万m<sup>3</sup>/日の規模の下水処理場において、ブローアに超微細気泡を導入することで、ブローアの電力消費量を約20%、処理場全体の電力消費量を約5%削減できると試算される



### < 省エネ効果の例 >

- ・京都市洛南浄化センター  
超微細気泡を導入した系列における水処理の電力消費量を約48%削減
- ・コスト削減効果の試算  
処理場全体の電力消費量を5%削減した場合、電気代に換算して年間約1,800万円のコスト削減効果が期待される

## 6. 運転管理による省エネ効果の事例(燃焼の最適化)

省エネのソフト対策として、燃料消費量の多くを占めると考えられる下水汚泥の焼却工程における焼却条件の最適化等が挙げられる

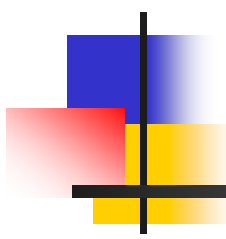
大阪府今池処理場では、下水汚泥の燃焼の最適化等を図ることにより、当該下水処理場の燃料消費量を約16%削減

引き続き、省エネ対策を実施することによるエネルギー消費量の削減ポテンシャルについてデータ分析を行う

下水汚泥の燃焼の最適化による省エネ効果の試算  
(大阪府大和川下流今池処理場)

- ・処理水量:8.6万m<sup>3</sup>/日
- ・流動空気圧損を24~25kPaに管理すること等による流動床焼却炉の燃焼の最適化をはじめ、汚泥濃度の改善、ケーキ貯留時間の短縮化等により、処理場全体の燃料消費量を約16%削減
- ・燃料代に換算して年間約600万のコスト削減に相当すると試算される

# 下水道における温室効果 ガスの排出状況

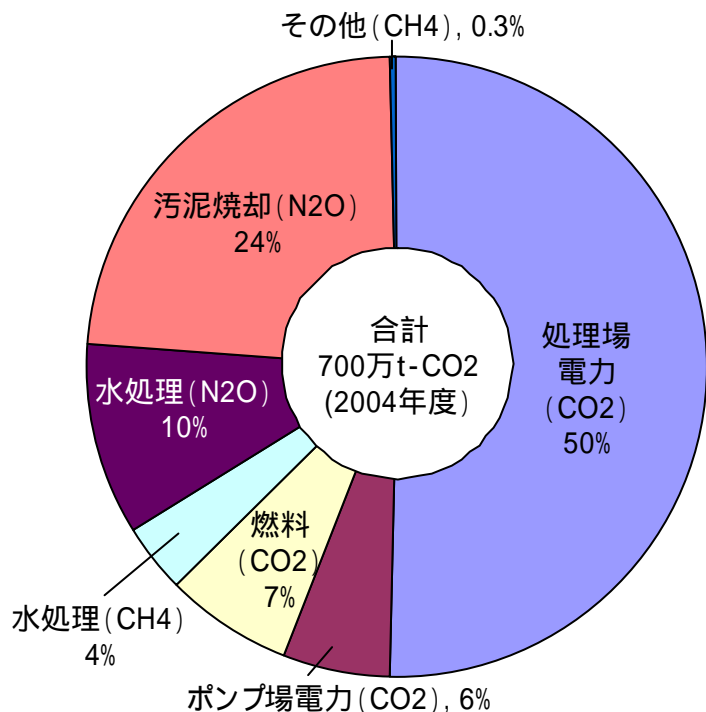


---

# 1. 下水道施設からの温室効果ガス排出量

2004年度の下水道施設からの温室効果ガス排出量は二酸化炭素換算で約700万t-CO<sub>2</sub>(全国の温室効果ガス排出量の約0.5%を占める)  
 温室効果ガス排出量の内訳を見ると、エネルギー起源CO<sub>2</sub>が約62%を占めるほか、下水汚泥の焼却に伴うN<sub>2</sub>Oの排出量が約24%に達している  
 平成17年4月に閣議決定された「京都議定書目標達成計画」において、N<sub>2</sub>O排出量削減対策として、下水汚泥焼却施設における燃焼の高度化が盛り込まれた

下水道施設からの温室効果ガス排出量



< 一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)とは >  
 > 代表的な温室効果ガスの一つ  
 > N<sub>2</sub>Oは、燃焼工程や微生物の働き等により発生  
 > N<sub>2</sub>Oの地球温暖化係数は310  
 N<sub>2</sub>Oを1削減することは、CO<sub>2</sub>を310削減することと同等の効果

< 下水道でN<sub>2</sub>O対策が必要な理由 >  
 > 燃焼過程でのN<sub>2</sub>Oの発生は被燃焼物中の窒素に由来  
 > 下水汚泥の窒素含有率は他の廃棄物に比べて大きい  
 > 今後とも下水汚泥発生量・焼却量は増加する見込み  
 > 特に、主流の流動床炉におけるN<sub>2</sub>O排出係数が大きい

被燃焼物	N含有率(%)
下水汚泥	5
一般ゴミ	1

排出係数	g-N <sub>2</sub> O / t
下水汚泥	294 ~ 1,508
一般ゴミ	21 ~ 180

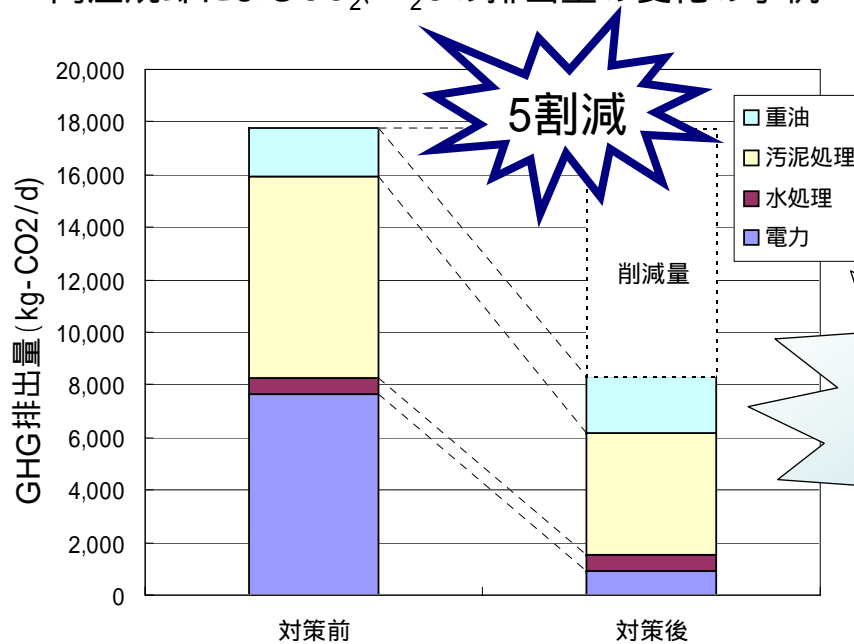
## 2. 下水汚泥の高温焼却によるN<sub>2</sub>O排出削減

高分子凝集剤を用いて脱水した下水汚泥を、流動床炉において焼却する場合、燃焼温度を通常の焼却(800 )から高温焼却(850 )に転換することにより、汚泥焼却量当たりのN<sub>2</sub>O排出量を約6割減少させることが可能

高温焼却に転換する際に、補助燃料の追加投入に伴ってCO<sub>2</sub>排出量が若干増加するが、N<sub>2</sub>O削減効果はその増加分を上回っている

2010年までに、該当するすべての焼却施設において高温焼却を実施し、N<sub>2</sub>O排出量を約130万t-CO<sub>2</sub>削減することが求められている

高温焼却によるCO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>Oの排出量の変化の事例



2004年度において、高分子流動床炉131基のうち62基で高温焼却実施

高温焼却によるN<sub>2</sub>O削減効果の見込み

