

## 第2章 下水道のエネルギー連携事業の事例評価および排出量取引の影響に関する検討

### 2.1 下水道と他事業の GHG 排出削減対策に関する連携事例の評価

#### 2.1.1 事例の収集・整理と課題の把握

##### (1) 方法

下水汚泥由来の固形燃料の発電への活用、下水処理水及び下水等を熱源とした地域冷暖房等への熱供給及び消化ガスの都市ガス等への供給に関する代表事例を対象とし、GHG 排出量削減効果等を含む情報について既往文献を収集・整理・評価した。代表事例の対象とする地方公共団体は、東京都、金沢市及び神戸市とした。

特に東京都においては、平成 22 年度から温室効果ガス排出量取引制度を実施しており、都内におけるエネルギー使用量が一定以上の事業所（建物単位、エネルギー管理を一とする建物については複数となる）を対象としている。この点を踏まえ、事例の整理の方法として、エネルギー等の供給者（下水道事業者など）、中間事業者（熱供給事業者など）および需要者（火力発電所や各種施設など）に分けて、エネルギー使用量および GHG 排出量の整理を試みた。

##### (2) 結果および考察

下水汚泥由来の固形燃料の発電への活用、下水処理水及び下水等を熱源とした地域冷暖房等への熱供給及び消化ガスの都市ガス等への供給に関する代表事例について、エネルギー使用量および GHG 排出量の整理結果を表 2-1 に示す。エネルギー等の供給者、中間事業者および需要者に分けて整理を行う際に、次のような課題が見いだされた。

- ・東京都の炭化汚泥供給事業は、DBO 方式による事業のため、SPC（特別目的会社）が存在し、東京都下水道局は脱水汚泥を提供し、中間事業者である SPC が炭化設備の建設・維持管理を行っているが、供給者と中間事業者はほぼ一体と考えられる。焼却炉から炭化炉への変更に伴う削減量を計上しているため、供給者・中間事業者においても GHG 排出量が削減されているが、炭化汚泥の輸送に関するエネルギー消費・GHG 排出量が考慮されていないことに注意を要する。
- ・東京都における下水熱・処理水等の熱利用の事例においては、事業全体のエネルギー削減量・CO<sub>2</sub> 排出削減量が明確にされているが、事業者間での内訳は明確にされていない。また、消化ガスの都市ガス等への供給事例においては、利用される消化ガスの都市ガス等に換算した場合のCO<sub>2</sub> 排出削減量が明確にされているが、消化ガスを都市ガス等へ供給するための設備等におけるエネルギー消費等が明確にされていない。

上述のような課題を踏まえ、2.3 において排出量取引が都市におけるエネルギー需要・供給者間の連携に及ぼす影響について検討するにあたっては、より検討しやすい事例を選んで考察を行うこととした。

表 2-1 下水道と他事業の GHG 排出削減対策に関する連携事例のエネルギー使用（削減）量および GHG 排出削減量

代表事例 (概要)	対象者	項目	エネルギー使用量・削減量	CO <sub>2</sub> 排出削減量 (t·CO <sub>2</sub> /年)
東京都における炭化汚泥供給 <sup>1)</sup> （勿来発電所に、東京都下水道局東部スマッジプラントより炭化汚泥を燃料として供給）	(供) 下水道事業者 東部スマッジプラント 建設・維持管理・運営一括 委託 バイオ燃料(株) 脱水汚泥；20,000wt·t/年	補助燃料（都市ガス） 4.0Nm <sup>3</sup> /wet·t	焼却炉から炭化炉への 変更に伴う削減量 -7,400 t·CO <sub>2</sub> /年 脱水汚泥当たり削減原単位 0.37 t·CO <sub>2</sub> / wet·t	
	(需) 常磐共同火力(株) 勿来発電所 製品 1,800t/年	—	石炭換算 -2935 t·CO <sub>2</sub> /年 製品当たり削減原単位 1.63 t·CO <sub>2</sub> / wet·t	
東京都における下水熱利用 <sup>2)</sup> （後楽一丁目地区における未処理下水による熱供給）	(供) 下水道事業者（下水） 後楽ポンプ所 (中) 東京下水道エネルギー（株） (需) 後楽一丁目地区 21.6ha 業務、娯楽施設用ビル等 (約 280,000 m <sup>2</sup> )	個別熱源方式と比べ 29.8%削減 -3,468 Gcal/年 延べ床当たり削減原単位 0.0124 Gcal/m <sup>2</sup> /年	個別熱源方式と比べ 41.4%削減 -970 t·CO <sub>2</sub> 延べ床当たり削減原単位 0.0035 t·CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /年	
東京都における下水処理水等熱利用 <sup>3)</sup> （砂町水再生センター処理水を冷熱製造時の冷却水として活用し、温水製造に排煙処理水を活用）	(供) 下水道事業者（処理水） 砂町水再生センター (中) 東京下水道エネルギー（株） (需) 都福祉保険局（老人ホーム等） 下水道局（ポンプ棟） 延べ床面積 66,100m <sup>2</sup>	個別熱源方式と比べ 62%削減 -51,830 GJ/年 延べ床当たり削減原単位 0.784 GJ/m <sup>2</sup> /年= 0.187Gcal/m <sup>2</sup> /年	個別熱源方式と比べ 63%削減 -675 t·CO <sub>2</sub> /年 延べ床当たり削減原単位 0.0102 t·CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /年	
金沢市における消化ガスの都市ガス利用 <sup>4)</sup>	(供) 下水道事業者 臨海水質管理センター (中) 港エネルギーセンター 市営都市ガス製造工場 (需) 一般市民	—	-635 (2007 年) -680 (2008 年)	
神戸市における消化ガスの天然ガス代替利用 <sup>1),5)</sup>	(供) 下水道事業者 東灘処理場・こうべバイオガスステーション (需) 市バス等	—	都市ガス換算 -1,430	

凡例) (供) : 供給者、(中) : 中間事業者、(需) : 需要者

これらの事例における技術的課題を表 2-2 に整理した。下水道においては、未処理下水や下水処理水、洗煙排水、発電廃熱、消化ガスなどに未利用熱・エネルギーが大量に存在しているが、連携事業による活用を一層促進するためには、適用性の向上、利用用途の拡大、コスト削減、安全性・維持管理性の確保が必要と考えられた。

表 2-2 下水道と他事業の GHG 排出削減対策に関する連携事例の技術的課題

東京都における炭化汚泥供給 <sup>6),7)</sup>	<p>①炭化燃料の発電設備への適用性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料試験結果から、石炭に対して最大 5%（熱量ベース）の混焼が可能であるとしている<sup>6)</sup>。佐藤は炭化物の混合割合は 1%程度であり、環境規制上 3%までは混合が可能であると報告している<sup>7)</sup>。</li> </ul> <p>②安全性評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・炭化燃料は炭化処理する温度条件によって自己発熱性を有する。一定の水分を加湿することで抑制可能。炭化燃料貯蔵設備での各所予防措置や非常時対策を講じることも必要。</li> <li>・粉塵発生防止には十分な配慮をする必要がある。</li> </ul>
東京都における下水熱利用 <sup>2)</sup>	<p>①熱源水が未処理下水であることから、夾雑物及び腐食物質等が存在への対応が重要。腐食性の高い材質、チューブの閉塞を防ぐためのオートストレーナーや自動ブラシ洗浄装置を導入するなどの対策を採用。</p> <p>②蓄熱槽の容量は運転経費と密接な関係があり、できるだけ大きな容量の確保を図ることで熱需要量のピークをカットし、夜間電力を活用することが重要。</p> <p>③建物エネルギー原単位の設定が大きいと設備過剰現象が発生。</p> <p>④法制度上の整備及び事業運営に当っての助成金の財政基盤の整備。</p>
東京都における下水処理水等熱利用 <sup>3)</sup>	<p>①需要家が近隣にないと建設コストが嵩み地域限定使用となる。限定された区域だけでなく、再生水供給事業と組み合わせた熱利用方法が必要。</p> <p>②下水汚泥焼却廃熱は、下水熱利用より熱供給が限られた範囲でしかできない。温度レベルは 40~70°C と中温であり、利用用途が限られる。</p>
金沢市における消化ガスの都市ガス利用 <sup>4)</sup>	<p>①金沢市のガス事業の新たな取り組みとして、「家庭用燃料電池」の販売も計画しており、多様なガス機器に対応できるバイオガスの都市ガス化がこれからの課題。</p>
神戸市における消化ガスの天然ガス代替利用 <sup>5)</sup>	<p>①消化ガスの発生量及び自動車燃料としての利用には日変動があるため、自動車燃料としての活用のみでは 100%有効活用は困難。</p> <p>②こうべバイオガスを都市ガスとして活用する実証事業を開始している。（2009 年 10 月）</p>

## 2.1.2 連携事業の潜在的な供給・需要者の全国情報の収集・整理とポテンシャルの把握

### (1) 方法

エネルギー連携事業のフィージビリティについて検討するため、潜在的な供給者としての下水処理場、汚泥処理施設と、潜在的な需要者としての火力発電所、ガス供給施設、廃棄物発電施設、製造業等エネルギー管理指定工場の立地・需給量等に関する情報をアンケート調査や既往文献から収集整理した。その上で、下水道管理者のエネルギー連携事業に対する関心度、事業実施例、供給及び需要施設の全国分布や施設間距離等の立地特性、資源供給可能量等について整理した。下水処理場、汚泥処理施設のデータについては、アンケートが回収できた全国 1,763 施設から、所在地等の情報を得るとともに、「下水道統計<sup>8)</sup>」から下水及び汚泥処理量等を抽出した。また、火力発電所、ガス供給施設、廃棄物発電施設、製造業等エネルギー管理指定工場の情報については、「電力調査統計<sup>9)</sup>」、「廃棄物年鑑<sup>10)</sup>」、「エネルギー管理指定工場名簿<sup>11)</sup>」、「温室効果ガス特定排出者データベース<sup>12)</sup>」等から入手した。

### (2) 結果および考察

#### 1) 下水道管理者に対するアンケート調査結果

下水道等のエネルギー連携事業を推進するためには、第一に下水道管理者が当該事業に対し関心を持つことが必要であることから、全国の下水道管理者に対しアンケート調査を実施し、エネルギー連携事業への関心の有無、事業実施に当たっての課題、国に対する意見・要望等について整理した。

回答のあった 777 団体のうち約 4 % (32 団体) が既に何らかの連携事業を実施済であり、約 6 % (48 団体) が検討中であったが、関心が無い団体が 469 団体と全体の 60% を占めていた。また、事業の検討をしていない団体に対し、課題・障害について聞いた結果、「事業の採算性」が最も多く約 7 割を占めていた。その他の理由としては「事業を推進・担当する人材の不足」、「技術情報の不足」、「連携可能な事業者の不在」、「規模の小ささ」、「維持管理の複雑化懸念」、「面整備が優先」などであった。また、人口規模の大きい自治体ほど、連携事業の実施例が多く、関心が高い傾向が見られた。

#### 2) 下水処理場と各種事業場の距離の関係

アンケート調査において「エネルギー連携事業を実施済み」と回答した 28 団体について、下水処理場と連携相手の事業者との距離の関係について整理したところ、11 箇所 (約 40%) が 1km 以内、6 箇所 (約 21%) が 1~3km、2 箇所 (約 7%) が 3~5km であり、約 7 割の連携事業が下水処理場から 5km 以内で実施されていることが分かった。

また、下水処理場と各種事業場の今後のエネルギー連携事業の潜在的可能について検討するため、連携相手として有望なごみ処分業、エネルギー供給業、第 1 種製造業について、下水処理場からの距離関係について整理した。

図 2-1 は、横軸に事業場と下水処理場の直線距離を 5km までは 1km 単位で、その後は 10、20、30km と 10km 単位で分類し、縦軸には、分類した距離の範囲内に含まれる事業場の累計

数を示したものである。いずれの業種においても、事業場の累計数は処理場からの距離と相関が高く（事業場数1のガス供給業を除き、相関係数0.95～0.99）、グラフは上に凸の形状をしている。これは、下水処理場に近い場所ほど事業場の密度が高いことを示しており、下水処理場と各種事業場は比較的立地条件が類似しており近接した場所に位置していることを示している。

また、事業場数では、ごみ処分業、化学工業、窯業・土石製品供給業などの数が多い。窯業・土石製品供給業では、下水汚泥焼却灰のセメント原料等としての利用が、化学工業などでは消化ガスやバイオ原料としての利用が今後有望であると考えられる。

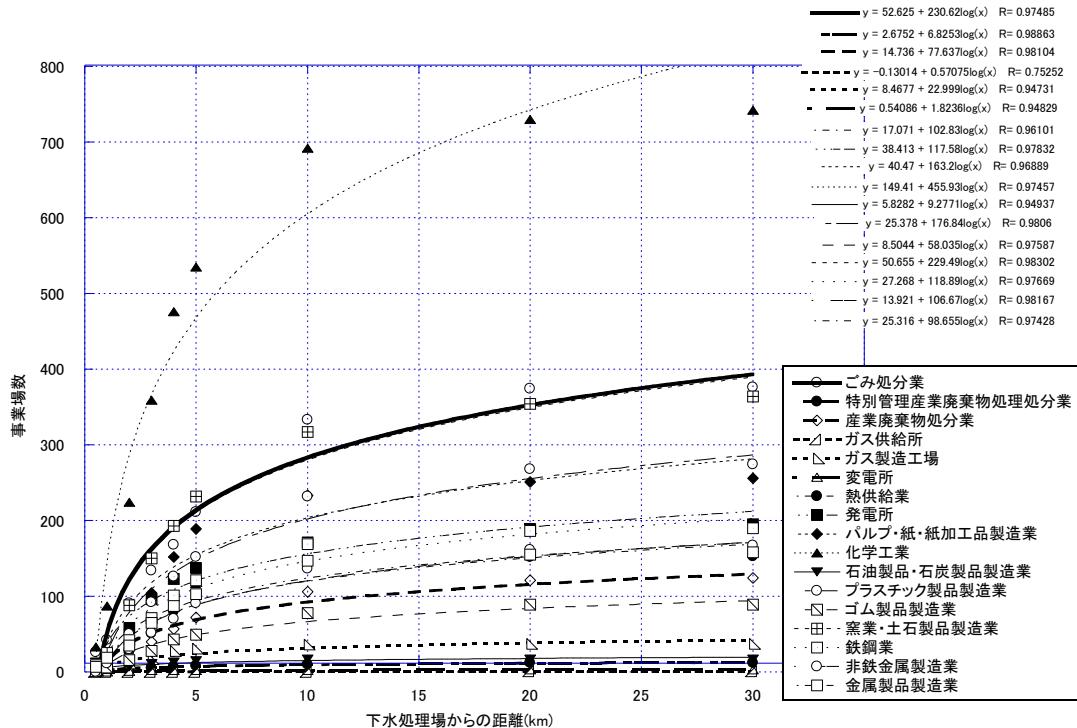


図2-1 下水処理場から事業場までの距離と累計事業場

### 3) 下水汚泥及び消化ガスの供給ポテンシャル

次に、下水処理場が有する潜在的資源量（脱水汚泥(千t)、消化ガス(千m<sup>3</sup>)）と各事業場から最寄りの下水処理場までの距離との関係について整理した。図2-2は、横軸に各事業場から最寄りの下水処理場までの距離、縦軸に下水処理場の累積資源量をとったグラフのイメージ図である。グラフが上に凸の形状になっている場合、事業場から近い場所に潜在的資源を多く有する下水処理場が存在していることを示している。ただし、実際には、各処理場が有する潜在的資源を全量利用可能な事業場が周辺に立地しているとは限らないため、下水処理場で生じた汚泥やガスが全量利用できるものではないことに注意する必要がある。

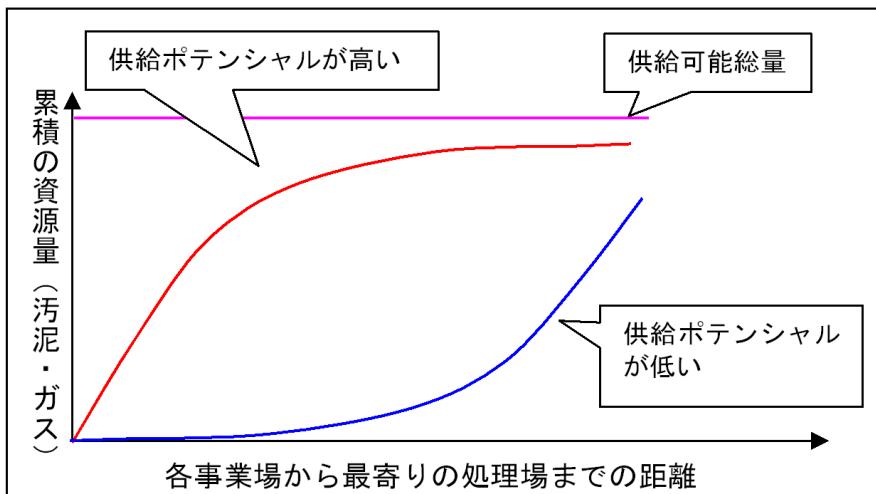


図 2-2 各事業場から下水処理場までの距離と累積資源量のイメージ図

このグラフを主な事業種別に作成したところ、ごみ処分業、発電所、化学工業、窯業・土石製品製造業のグラフは形状が上に顕著な凸となった。これらの事業種は処理場近傍の事業場密度が高く、累積資源量（脱水汚泥量、ガス量）も比較的多いことから、連携事業相手として有望であると思われる。（図 2-3～2-6）

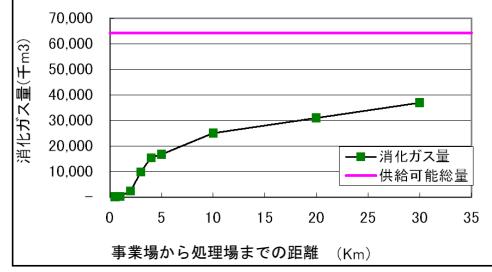
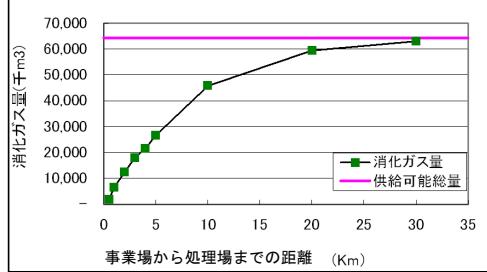
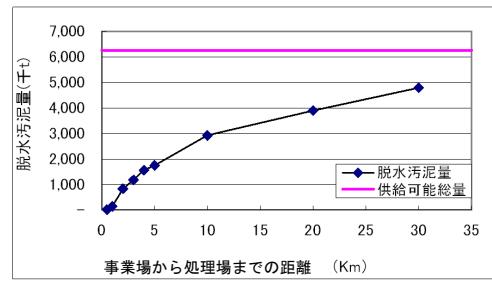
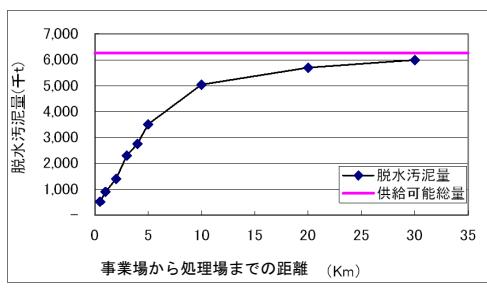


図 2-3 ごみ処分業～処理場間距離と累積資源量の関係

図 2-4 発電所～処理場間距離と累積資源量の関係

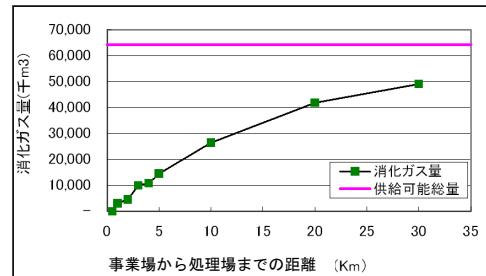
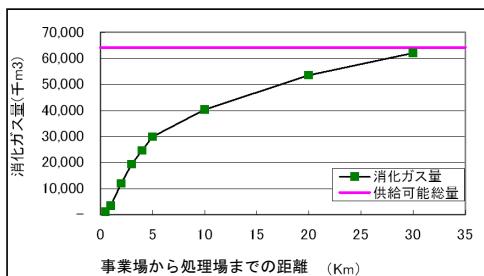
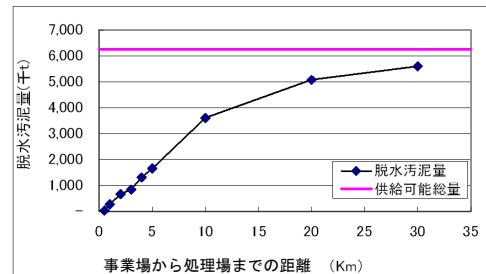
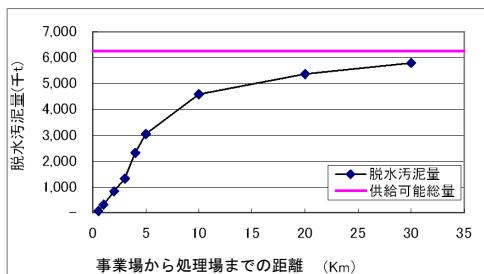


図 2-5 化学工業～処理場間距離と累積資源量の関係 図 2-6 窯業・土石製品製造業～処理場間距離と累積資源量の関係

また、上記以外の業種も含めて、下水道との連携事業実施が効果的かつ有望であると思われる事業について以下のとおり 2 タイプに整理した。

- ・処理場周辺に位置する事業所の数が多い業種  
(ごみ処分業(382 箇所)、化学工業(747 箇所)、窯業・土石製品製造業(366 箇所))
- ・処理場周辺に位置する事業所の数は多くないものの、大規模な処理場の周辺に多い業種  
(熱供給業(153 箇所)、発電所(215 箇所)、パルプ・紙・紙加工品製造業(258 箇所))

資源エネルギー庁の「エネルギー消費統計平成 20 年版<sup>13)</sup>」によると、「ごみなどの廃棄物処理業」、「化学工業」、「窯業・土石製品製造業」等は、石炭、都市ガス、他の再生可能・未活用エネルギー等を非常に多く使用している業種であり、下水道資源はこれらの代替エネルギー源として有望であることから、下水道資源の利用に最も適した業種であると考えられる。

### 2.1.3 経済性および事業成立条件の解析

#### (1) 方法

アンケート調査から得られた43例の下水道等のエネルギー連携事業の実施例の中から、今後、事業場間の連携を促進していく上で期待できる技術として、①生ゴミ等のバイオマスを外部から受け入れることによる消化ガス増産技術、②消化ガスの都市ガスへの利用技術を取り上げ、経済性について試算を行った。例えば、①については北海道北広島市<sup>14)</sup>等、②については新潟県長岡市<sup>15)</sup>等において事業が実施されている。ここでは、条件を仮設定した試算例として、一定期間(15年程度)における事業収支(キャッシュフロー)から算出したIRR(内部収益率)とDSCR(債務返済指數)などの投資効率評価指標を用いて事業採算性について評価した。具体的な手順は次のとおりである。

1) 事業期間(15年と設定)における毎年の事業収支を試算する。

$$X \text{年目のキャッシュフロー} = X \text{年目の事業収入} - X \text{年目の事業支出}$$

2) 事業1年目から15年までの各事業収支を割引率( $r=4\%$ と設定)で現在価値化して合計したものから初期投資(イニシャルコスト)を差し引いて、NPV(Net Present Value、正味現在価値)を求める。NPVが正だと投資資本以上の価値を生み出すと判断できる。

$$\text{NPV} = -\text{初期投資額(建設費*)} + 1 \text{年目のキャッシュフロー} / (1+r) + 2 \text{年目のキャッシュフロー} / (1+r)^2 + \dots + 15 \text{年目のキャッシュフロー} / (1+r)^{15}$$

3) NPVがちょうど0になるような割引率 $r$ を算出し、IRR(内部収益率)として求める。

IRRが長期的な金利水準と比べて同等以上であれば、収益性が高いと判断できる。

4) DSCR(債務返済指數)を次の式により求める。

$$\text{DSCR} = \text{累積キャッシュフロー} \div \text{初期投資額(建設費*)}$$

\*建設費が補助制度等の対象となる場合は補助金等控除後の建設費。

DSCRが100%を大きく上回ると、安定的な事業と判断できる。

#### (2) 結果および考察

1) 生ゴミ等のバイオマスを外部から受け入れることによる消化ガス増産事業の試算例

市内で発生した脱水汚泥(日量130t程度)、生ごみ(日量17t程度)及びし尿・浄化槽汚泥(日量40t程度)から消化ガスを発生させ、消化槽の加温及び消化汚泥の乾燥熱源として利用する試算例として計算した。表2-3の検討条件で事業期間(15年)のキャッシュフロー等を算出し、投資効率評価指標であるIRR(内部収益率)とDSCR(債務返済指數)を算定したところ、表2-4の結果が得られた。

DSCRはほぼ100%となり、IRRもほぼ0%となったことから、現在の条件では特に事業性が高いとも言えず、事業収支は均衡しているものと判断できる。また、図2-7に示す通り、

DSCR100%を事業成立要件として考えた場合、重油価格 76.2 円が事業成立の分岐点である。重油代削減分が事業のメリットの一つであるため、重油価格が高くなると事業性が有利となる。

表 2-3 検討条件

検討条件(1)		項目	単位	H23～H24	H25～
重油代削減分	削減量	l/年		169,300	169,300
	単価	円/L		76.0	76.0
生ごみ埋立費削減分	処理量	t/年		6,205	6,205
	単価	円/t		20,000	20,000
し尿・浄化槽汚泥処理費削減分		円/年		124,100,000	124,100,000
		円/年			150,000,000
事業収入合計		円/年		136,966,800	286,966,800

検討条件(2)

項目		H23～H24
建設費	円	2,100,000,000
補助金	円	756,000,000
実質建設費	円	1,344,000,000
借入金の返済期間	年	15
借入金利	%	1.3
償却年数	年	15
事業開始からの経過年数(事業年度)	年	11
割引率	%	4.0
イニシャルコスト合計	円	1,344,000,000
維持管理費(H23～24 人件費含む)	円	100,000,000
維持管理費(H25～ 人件費含む)	円	150,000,000

表 2-4 投資効率評価指標

投資	NPV(正味現在価値)	円	(640,264,083)
評価	DSCR(債務返済指数)	%	99.7%
指標	IRR(内部收益率)	%	-0.02%

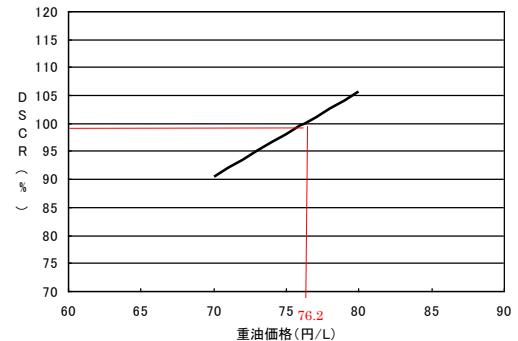


図 2-7 事業成立分岐点

## 2) 消化ガスの都市ガス利用事業の試算例

市内の下水処理場で発生する消化ガス (180 万 m<sup>3</sup>) のうち、37%を消化タンク加温用ボイラの燃料として、63%を場内冷暖房設備の燃料 (年間 2 万 m<sup>3</sup>) やガス会社へ都市ガス原料 (年間約 60 万 m<sup>3</sup>) として供給する試算例として計算した。表 2-5 の検討条件でキャッシュフロー等を算出し、投資効率評価指標である IRR (内部收益率) と DSCR (債務返済指数) を算定したところ、表 2-6 の結果が得られた。

DSCR140.6%は 100%を大きく上回り、IRR3.3%も長期的金利水準等と比較して高い水準にあるため、採算性の高い事業であると判断できる。また、図 2-8 に示す通り、DSCR100%を事業成立要件として考えた場合、売ガス価格 19.7 円/m<sup>3</sup> が事業成立の分岐点である。

表 2-5 検討条件

検討条件(1)		項目	単位	既定利利用	値
売ガス収入	販売量	m3/年		—	600,000
	販売単価	円/m3		参考値	20.0
事業収入合計		円/年		参考値利利用	12,000,000
		円/年		—	12,000,000

検討条件(2)

項目		値
建設費	円	220,000,000
補助金	円	170,500,000
実質建設費	円	49,500,000
借入金の返済期間	年	15
借入金利	%	1.3
償却年数	年	15
事業開始からの経過年数(事業年度)	年	11
割引率	%	4.0
イニシャルコスト合計	円	49,500,000

表 2-6 投資効率評価指標

投資	NPV(正味現在価値)	円	(3,500,944)
評価	DSCR(債務返済指数)	%	140.6%
指標	IRR(内部收益率)	%	3.3%

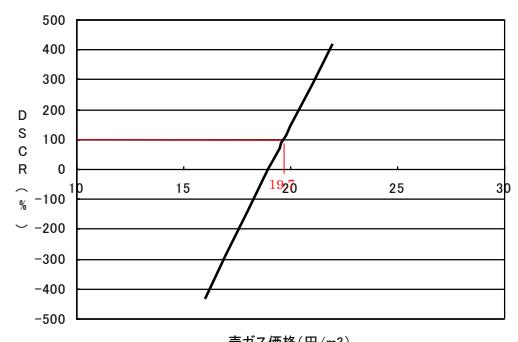


図 2-8 事業成立分岐点

### 3) 事業推進に必要なその他の条件

上述のとおり、DSCR や IRR 等の投資効率評価指標を用いることで、下水道のエネルギー連携事業の事業採算性等を明らかにするとともに、採算性を保つ上で必要な条件を把握することが可能となった。

こうした採算性のための条件に加えて、他に必要となる条件を把握するために、既に連携事業を実施している地方自治体に対し事業実施の経緯や効果等についてヒアリングを行った結果、事業を検討・実現するための条件として、補助制度などを含む経済性の他、地域課題の綿密な分析、事業実施体制の充実、行政・民間企業等の密な連携、建築基準法第 51 条ただし書きに基づく都市計画決定手続き等の課題への対応が必要であることが分かった。このため、円滑な事業推進のためには経済性以外の面についても並行して関係者間で調整していく必要がある。

## 2.2 下水道と他事業の連携事業に適用可能な最新技術メニューの把握

### (1) 方法

下水汚泥処理技術の GHG 排出量等に関する既往文献として、「月刊下水道」、「下水道協会誌」、「廃棄物研究 財団たより」、「都市清掃」、「再生と利用」、「電力中央研究所 研究年報」各資料の過去 5 年間の記事の中から、下水汚泥処理技術のうち GHG 排出量削減に向けたエネルギー利用に着目し、関係する記事、論文等を抽出した。

抽出された技術のうち、下水道と他事業の連携にはこれまで使われていないが、今後、相互連携への適用が有望と考えられる下水汚泥処理技術について、下水道・他事業相互連携への適用の可能性に関して整理することとした。

### (2) 結果および考察

下水汚泥処理技術のうち GHG 排出量削減に向けたエネルギー利用に着目し、関係する記事・論文等を対象とした資料から抽出した結果、抽出された文献に含まれる技術は、①既に連携事業に用いられている、②既に連携事業に用いられている技術の改良、③下水処理場における省エネにのみ貢献する、のいずれかに該当する技術と考えられた。この中で、現在、実用化に向けて研究開発中の技術であり、③に該当するため下水道・他事業相互連携には用いられていないが、今後、相互連携への適用が有望と考えられる技術として「下水汚泥ガス変換発電システム」（以下「本システム」という）を選定し、相互連携への適用の可能性を整理した。

本システムは NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の「新エネルギー技術開発プログラム」における「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発プロジェクト」の技術開発テーマとして平成 15～17 年度に研究開発された技術であり、小規模の実証プラントでの開発を経て検証された<sup>16)</sup>。この他、幾つかのプラントメーカーにおいても、開発されている<sup>17),18),19)</sup>。

本システムは、下水汚泥中の可燃分をガス化後、酸素と反応させ、一酸化炭素や水素などの燃料ガスに改質し、ガスエンジンにより発電するシステムである。ガス化・改質反応は、還元雰囲気での高温操作のため、地球温暖化係数の高い N<sub>2</sub>O を排出しない特徴がある。また、一般廃棄物、産業廃棄物、バイオマスといった有機性原料をガス化して、水素や一酸化炭素およびメタンなどの炭化水素を主体とした有価ガス（高濃度可燃性ガス）の生成が可能となる。得られた有価ガスはガス燃料の代替や、精製することで水素をはじめとする各種化学工業原料としても利用できるといった、エネルギーのカスケード利用が可能となる。

本システムは、下水汚泥だけでなく、一般廃棄物、産業廃棄物、他のバイオマスを混合して利用することも可能である。電力と熱でエネルギーを回収することが可能であり、電気事業者だけでなく熱供給事業者との相互連携も可能である。水素や一酸化炭素及びメタンなどの炭化水素を主体とした高濃度可燃性ガスが精製されたため、ガス燃料の代替や、各種化学工業原料等にも利用可能である。

本システムを下水道と他事業の連携に適用する場合に検討すべき事項としては、以下の項目が考えられる。

- ・大規模な施設における、長期の連続運転による信頼性及び安定性の確保
- ・熱供給方法、ガス供給方法の検討
- ・長期的に安定して相互連携できる供給先の確保
- ・施設の設計、建設、維持管理等も含めた運営に関する事業方式の検討

## 2.3 排出量取引の影響に関する評価

### (1) 方法

平成 22 年度末現在、国内において GHG の排出量取引制度が導入されているのは東京都、大阪府、広島市である。これらの制度は全て一定規模以上の大規模事業者に限定されており、下水処理場も適用対象施設である。3 都市のうち、東京都についてはオフィスビルで 8 % の削減義務が課せられているが、大阪府及び広島市については届出及び報告義務のみであり、削減義務は無い。

これら 3 都市のエネルギー連携事業の中から、汚泥燃料による火力発電事業であり、他の事例に比べて GHG 削減効果が大きいと考えられる低温炭化燃料製造技術を採用している「広島市西部水資源再生センターや下水汚泥燃料化事業」をモデルに、GHG の排出量取引制度を導入した場合の事業採算性への影響について試算した。広島市では平成 22 年 10 月より排出権取引制度<sup>20)</sup>を導入しており、温暖化対策条例により、市内大規模事業者（エネルギー消費量 1500kl/年以上）に届け出義務を課している。現状では GHG の削減義務は無く、事業者の自主性に委ねられている。なお、試算に用いた排出量取引制度には、事業スキームが広く全国的に認知されており、広島市の制度でもクレジット算入が認められている「環境省の J-VER 制度<sup>21)</sup>」を採用した。

### (2) 結果および考察

#### 1) 検討事業の概要

広島市西部水資源再生センターや下水汚泥燃料化事業の概要<sup>22)</sup>は図 2-9 に示す通りであり、広島市の西部水資源再生センターで発生した脱水汚泥を、民間企業 4 者の共同出資会社である（株）バイオコール広島西部で低温炭化した後、約 70km 離れた竹原市の火力発電所に輸送し、発電用燃料として利用する事業である。当該事業は、平成 23 年 3 月現在、炭化施設を建設中であり、汚泥処理能力は 50t/日 × 2 系列、計画汚泥処理量が約 28,000t/年に対し、計画燃料化物生成量は約 4,500t/年である。設備は広島市が所有し、期間 20 年間の DBO 方式で運営される予定である。

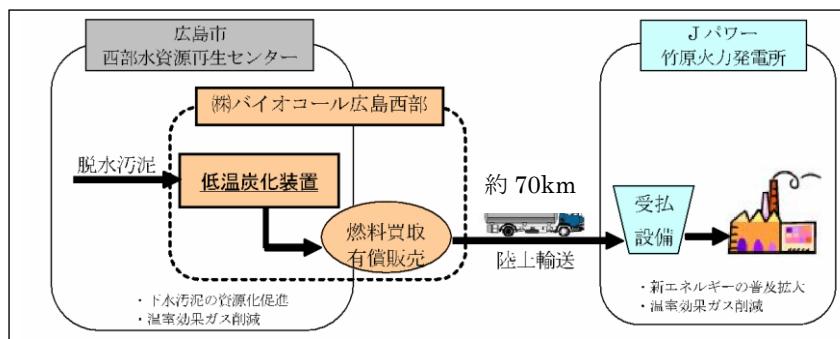


図 2-9 広島市西部水資源再生センターや下水汚泥燃料化事業フロー

## 2) 試算結果

当事業の各プロセスにおける GHG 削減量及び排出量について、事業者の発表資料<sup>22)</sup>などから試算した結果は以下の通りであり、事業全体としての GHG 排出削減量は、16,020 t-CO<sub>2</sub>/年となった。

・下水処理場における GHG 削減量	約 9,700 t-CO <sub>2</sub> /年 (減少)
・火力発電所における GHG 削減量	約 6,400 t-CO <sub>2</sub> /年 (減少)
・下水処理場から火力発電所への運搬時における GHG 排出量	約 80 t-CO <sub>2</sub> /年 (増加)
	↓
・事業全体の GHG 排出削減量 (9,700 + 6,400 - 80) =	16,020 t-CO <sub>2</sub> /年 (減少)

当事業が環境省の「J-VER」制度に参加した場合の収支についての試算結果を表 2-9 に示す。ここでクレジット売却収入とは、上述の GHG 排出削減量 16,020 t-CO<sub>2</sub>/年にカーボン・オフセットのクレジット単価（5 千円/t-CO<sub>2</sub>と設定）を乗じて得られる 80,100 千円/年である。一方、費用（支出）とは、「J-VER」制度に参加するために必要な、プロジェクト申請、クレジット発行、モニタリング等に要する経費であり、事業期間を 15 年とした場合の年価換算値の合計は、1,167 千円/年である。

以上より、「J-VER」制度に参加した場合の事業全体のクレジットの売却収支は、78,933 千円/年の黒字となり、事業の採算性向上に寄与することが期待された。

表 2-9 排出量取引制度（J-VER）に参加した場合の収支

項目	算定式	金額
クレジット売却収入 ①	排出削減量16,020t-CO <sub>2</sub> /年×クレジット単価5千円/t-CO <sub>2</sub>	80,100千円/年
費用	プロジェクト申請	1,000千円/15年÷事業期間15年
	クレジット認証	1,500千円/15年÷事業期間15年
	モニタリング	—
	計 ②	—
クレジット売却収支	①-② =80,100千円/年-367千円/年	78,933千円/年

## 3) 考察

エネルギー連携事業のフィージビリティについて多面的な検討を行うため、下水道施設と他事業種の立地特性や需給量等に関する分析を行い、下水道事業と連携することによる効果が大きいと思われる事業を抽出した。また、3つの代表的なエネルギー連携事業をモデルとして、事業採算性その他の事業成立条件について分析した。その結果、下水道資源の売却価格の高低や補助金の有無、初期建設コストの高低等の影響が大きいことが分かった。

さらに、温室効果ガス排出量取引制度を導入した場合の影響について、広島市の事例を参考に

試算した結果、GHG 排出削減量 16,020 t-CO<sub>2</sub>/年のクレジット売却により、事業全体で年間約 8,000 万円の収入が得られる可能性が示された。本事例における、下水道事業者側の事業効果としては、汚泥焼却と比較して年間 2 億円のコスト削減が見込まれており、クレジット売却により、そのコスト削減効果が最大で 1.4 倍になる可能性が示唆された。また、燃料化物の売却による下水道事業者の収入は年間で約 450 千円程度と見込まれており、クレジット売却収入の方が約 20 倍も大であることになる。ただし、クレジットの市場価格が低下すれば、その効果はより限定的なものとなる。

一方で課題としては、本事業で得られる GHG 排出削減量 16,020 t-CO<sub>2</sub>/年のうち、下水道事業者の削減として計上されるものは約 6 割（約 9,700 t-CO<sub>2</sub>/年）であり、残りの約 4 割に相当する燃料化物の化石燃料代替による GHG 排出量削減効果（約 6,400 t-CO<sub>2</sub>/年）は、燃料利用者の削減として計上されることになるため、下水道事業者へのインセンティブが限定的なものとなる可能性が挙げられる。つまり、下水道事業者のクレジット売却収入は約 5,000 万円程度にとどまり、残りの約 3,000 万円については、約 45 万円の燃料化物売却収入と引き替えに燃料化物利用者（発電事業者等）に渡していることになる。

もちろん、燃料化物利用者が燃料化物を利用してはじめて事業全体が完結するものであり、需要者と供給者のどちらにも適切なインセンティブが付与されることが望ましいが、クレジット売却収入の金額しだい（ひいてはクレジットの市場価格しだい）では、連携事業者間の既存のコスト・収益構造に大きな影響を与えて、導入される事業内容を変化させる可能性がある。

例えば、高温炭化と低温炭化を比較すると、低温炭化の方がより多くの熱量を残して需要者に引き渡すため、需要者側の GHG 排出削減量は大となりクレジット売却収入も大となるが、その反面、下水道事業者のクレジット売却収入は小となり、インセンティブが低下することが考えられる。このため、下水道事業者はむしろ高温炭化を選定し、汚泥の熱量の多くを炭化プロセスで使ってしまうことにより、炭化プロセスの外部投入エネルギーの削減等により下水道事業者側の GHG 排出削減量が大となりクレジット売却収入も大となるような事業を導入する可能性が生じる。この例のような様々な判断への影響により、下水道のエネルギー連携事業全体での効率的な GHG 排出量削減にも影響が及ぼされる可能性が考えられる。

従って、下水道のエネルギー連携事業の効果を最大限に發揮するためには、事業全体の効率性に優先的に配慮する一方で、クレジット売却収入によるインセンティブの配分に不公平感が発生しないように、必要に応じて調整する仕組みを持つことも一案と考えられた。

## 参考文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き（案）、2009.3.
- 2) 中村善人：未処理下水による熱供給＜下水熱活用状況＞、建築設備と配管工事、1999.4.
- 3) 鈴木録郎：新砂三丁目地区地域冷暖房 下水汚泥焼却廃熱の有効活用、クリンエネルギー、2005.6.

- 4) 森大輔:バイオマスガスによる都市ガス供給について、再生と利用、Vol.34、No.126、pp.21-24、2010.1.
- 5) 堀井澄夫:「こうべバイオガス」の自動車燃料としての活用と今後について、再生と利用、Vol.34、No.126、pp.25-28、2010.1.
- 6) 村木謙吾:汚泥炭化燃料の発電所利用について、J.Ton.Inst.Energy, Vol.87、No.5、pp.337-339、2008
- 7) 佐藤勝:温室効果ガス削減に向けた下水汚泥の燃料化の取り組み、水環境学会誌、Vol.32、No.7、pp.356-360、2009
- 8) 社団法人日本下水道協会:平成20年度版下水道統計、2010.7.
- 9) 資源エネルギー庁:電力調査統計、2010.
- 10) 環境産業新聞社:廃棄物年鑑、2010年版
- 11) 資源エネルギー庁:エネルギー管理指定工場名簿、2010.3.
- 12) NPO法人 有害化学物質削減ネットワーク:温室効果ガス特定排出者データベース
- 13) 資源エネルギー庁:エネルギー消費統計 平成20年度版
- 14) 深尾壯:北広島市における下水汚泥の有効利用の取り組み、再生と利用、Vol.35、No.131、pp.43-47、2011.4.
- 15) 社団法人日本下水道協会資料:長岡市消化ガス都市ガス供給事業概要
- 16) 三菱重工業(株)、日本ガイシ(株)、(財)エネルギー総合工学研究所:バイオマスエネルギー高効率転換技術開発 下水汚泥の高効率ガス変換発電システムの開発 成果報告書、2006.3.
- 17) メタウォーター(株)HP:  
[http://www.metawater.co.jp/product/sewer/gas\\_convert/index.html](http://www.metawater.co.jp/product/sewer/gas_convert/index.html)
- 18) 荏原環境プラント(株)HP:  
<http://www.eep.ebara.com/prod/twinr.html>
- 19) (株)タクマ HP:  
<http://www.takuma.co.jp/news/2007/20080228.html>
- 20) 広島市:市民参加のCO<sub>2</sub>排出量取引制度、2010
- 21) 環境省:オフセット・クレジット(J-V E R)の排出削減・吸収量の算定及びモニタリングに関する方法論
- 22) 電源開発株式会社:広島市西部水資源再生センターにおける下水汚泥燃料化事業会社「株式会社バイオコール広島西部」の設立について、2010.3.