

## 1. はじめに

我が国の下水道普及率は平成15年度末で66.7%、8,458万人が下水道を利用できる地域に住んでいる。下水処理場は1,718カ所(平成13年度末)、管渠の総延長は34万5千Kmに及んでいる。また、年間130億 $m^3$ の下水処理水、200万DS-tの汚泥等の資源も有している。

一方、少子高齢化社会を迎えるに当たって、既存のインフラストックを最大限に活用し、効率的な社会資本整備を行うことが求められている。少子高齢化による社会活力の衰退を防ぐために、既存のインフラを活用して、新たな需要を喚起する施策も必要である。

下水道インフラは、社会の隅々にまで張り巡らされており、市民のために有効に活用することによって大きなインパクトを社会に与えることができる。また、水資源としての下水処理水、資源として有効な有機物、無機物を含む下水汚泥は、地域社会自身が保有するおおきな財産であるが、その活用はまだ不十分である。

本稿では下水道インフラがどのような潜在的価値を有しているかを明らかにし、それを活用するための方策について、ディスポーザー導入、下水道光ファイバー、廃棄有機物の資源化などの具体例をもとに論じるものとする。



図 1 ディスポーザー

## 2. ディスポーザーと下水道

ディスポーザーとは、台所の流しの下に取り付ける破砕機で、厨芥を主とする生ゴミを粉砕し、水で流す装置である。下水道に直接生ゴミを流した場合、下水管の詰まり、過負荷によって下水処理場の機能低下などの不安があるため、多くの自治体では下水道への直接の接続は自粛するように住民に要請している。下水道に放流する前に、厨房廃水のみを一定の水質に処理してから放流する、ディスポーザーシステムについては、設置が許可されており、新築マンションなどに導入する例が増えている。

### 2.1 米国における状況

米国においては、数十年前から使用されており、1999年時点で平均普及率は44%となっており、直近4年間に建設された住宅でのディスポーザーの各都市における普及率は、図2に示すとおり平均普及率よりもかなり高いものとなっている。

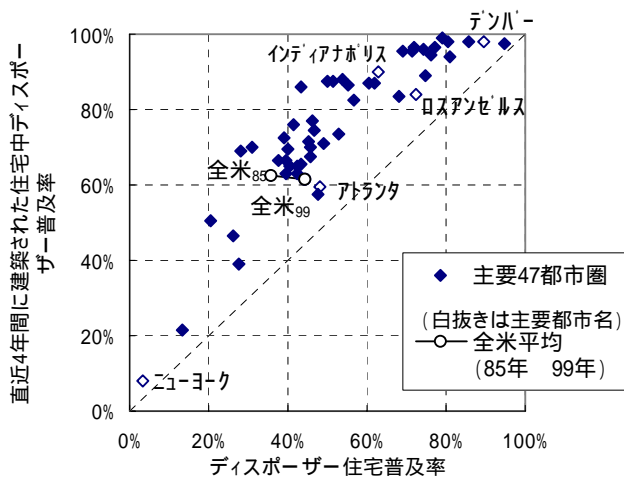


図 2 米国のディスポーザー普及率

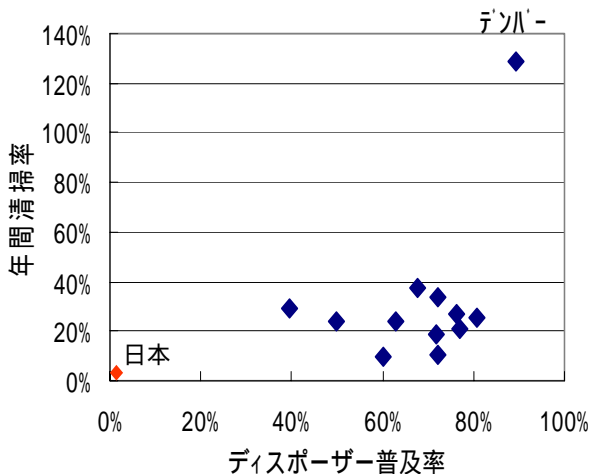


図 3 ディスポーザー普及率と管渠清掃率の関係

筆者も20年前、カルフォルニアでディスポーザー付きのアパートに1年間住んだことがあるが、キッチンが清潔に保たれること、ゴミ出しが1週間に1度で済むことなど、非常に快適な電化製品であることを実感した。当時、興味を持ってカルフォルニアの下水管渠の設計基準や屋内配管の基準を見てみたが、日本のそれと大差のないものであった。図3は米国の各都市におけるディスポーザー普及率と、管渠の清掃率（全管渠延長中、1年間で清掃を行った管渠延長の割合）を示したものである。日本の平均清掃率も同時に示してあるが、米国の清掃率は日本に比較してかなり高いものになっている。ただし、ディスポーザー普及率とは相関はほとんど無い。デンバー市の清掃率が極端に高いが、大部分が木の根が下水管に侵入するためであることが判明している。デンバー市は乾燥地帯にあるため土壌水分が極端に少ない。

管渠が古い陶管であるため、管渠の継ぎ目

から木の根が侵入しやすいとのことであった。他の都市の清掃頻度が高い理由も、油の大量流入、タオルなどによる詰まりなど、使用者のモラルが原因で、ディスポーザーとの直接的関係はなかった。

## 2.2 日本におけるディスポーザー導入の影響評価

我が国では多くの自治体がディスポーザーの使用自粛を住民に要請しているため、ディスポーザーを導入した場合、下水道、ゴミ処理を含めた有機性廃棄物の処理システム全体がどのように変化するかを詳細に検討した例はなかった。平成12年に北海道歌登町で、ディスポーザーを広範囲の家庭に設置し、その影響を多角的な面から検証する社会実験が始まった。国土交通省下水道部、国総研下水道研究部、北海道、歌登町の共同研究として開始された実験は、平成15年度で一区切りとされ、平成16年11月に「ディスポーザー導入が下水道に与える影響評価の手引き」として公表された。

### 2.2.1 歌登町における社会実験の概要

北海道歌登町は図 4 に示すように、北海道北部に位置する人口 2,110 人の町であり、下水道普及率は 80%、市街地はほぼ下水道整備が終了している。町営住宅に対して町の費用で順次ディスポーザーを設置していった。平成 14 年には一般家庭でも希望者を募り設置した結果、下水道使用人口に対するディスポーザー使用人口の割合は 35.6% となった。ゴルフ場、スキー場などを併設する町営の宿泊施設にもディスポーザーを設置した。



図 4 歌登町位置図

社会実験は、下水管渠の閉塞・硫化水素などガス発生、下水処理場の水処理・汚泥処理、ゴミ収集・処理、家庭のゴミ排出実態、利用者アンケートなど多岐に渡った。

### 2.2.2 ディスポーザーへの生ゴミ投入量

種々の調査から一人 1 日あたりの生ゴミ発生量は 250 g 前後であり、従来はこれがそのままディスポーザーに投入されるものとして扱われていた。歌登町において住民の協力を得てディスポーザーを使用した場合と、使用しなかった場合の排出生ゴミ量を正確に測定することができた。さらに歌登町では平成 15 年から生ゴミの分別収集を開始した。ディスポーザー使用家庭でも分別できる生ゴミは分別してゴミ出しすることとなったためその状態での排出量も測定した。結果は図 5 に示すとおりである。

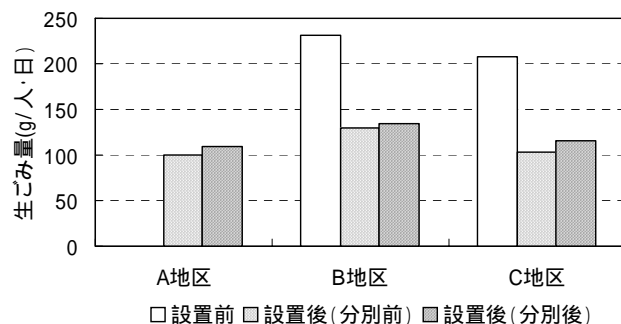


図 5 ディスポーザー設置前後の厨芥排出量の変化

ディスポーザー設置前には平均210 wet-g/人・日の排出量であったが、設置後は99 wet-g/人・日減少したのみであり、依然110 wet-g/人・日の生ゴミがゴミとして排出されていた。この知見は、沖縄県など他の調査でも確認されており、ディスポーザーが下水道システムに与える負荷量等が従来の予想より小さいものであることを示している。

歌登町で実際に下水道へ投入された厨芥から、汚濁物負荷原単位の増加量を予想したものが表1である。ディスポーザー設置前の2000年6月の原単位に対して、SS等の主な水質指標で10～30%程度の増加が予想される。

表 1 ディスポーザー使用による汚濁負荷原単位増加量の予測

水質項目	(g/人・日)						
	SS	BOD	COD <sub>Mn</sub>	TN	TP	Cl-	n-Hex
ディスポーザー排水	8.1	11.2	5.4	0.7	0.1	0.3	1.7
実測負荷量 (2000年6月歌登町)	34.0	42.0	31.0	12.5	1.2	25.8	3.7
負荷量の増加率 (%)	24	27	17	6	9	1	47
流総指針	45.0	58.0	27.0	11.0	1.3	-	-
負荷量の増加率 (%)	18	19	20	7	8	-	-

注) 歌登町におけるディスポーザー投入生ごみ量を99gとして増加負荷量を算出した。  
 実測負荷量は、歌登町下水処理場流入水のコンポジットサンプルの水質データである。  
 なお、この時のディスポーザー普及率は、4.5%(/人)であった。

### 2.2.3 管渠への影響

歌登町では、ディスポーザーを設置している町営住宅の下流部で、管渠内堆積物の発生状況を管渠点検用のテレビカメラを用いて定期的に調査するとともに、ビデオを用いて管渠内の様子を定点観測している。写真1は管渠内の堆積物の状況である。堆積物の多くは図6に示すように卵殻と貝殻であり、歌登町と同様にディスポーザーを設置している魚津町においても同様の結果であった。また、堆積物の80%は何らかの原因で管渠がたわんだり逆勾配になっている場所で発生していた。写真2は管渠の定点観測の結果である。8月6日に見られた堆積物が8月20日にはかなり少なくなっていることが確認され、管渠の洗浄を行わなくても自然に堆積物が掃流されることを示している。9月18日に管渠を高圧洗浄した。その後堆積物はある程度の量に達するが極端に増加する様子は見えない。

これらの観測から、通常の管渠では逆勾配の区間に堆積物が見られるが、管渠を閉塞するような事態には至らないと考えられる。ただし、河川等を越える箇所で作られるサイフォン管などでは、点検、清掃回数が増えることが予想される。



設置前(7.5年間無清掃)

設置後(12ヶ月経過時点)

管径: 200mm 材質: VU(塩ビ管) 勾配: 4.7-5.1%

写真 1 ディスポーザー設置前後の管渠内テレビカメラ調査結果

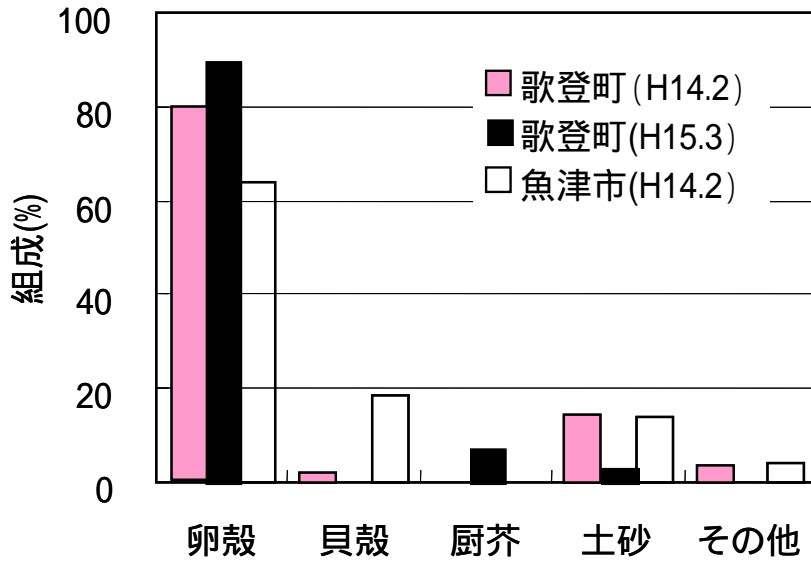


図 6 ディスポーザー設置場所の管渠内堆積物組成

## A地区 No11定点観測



写真 2 定点観測による堆積物の自然流出状況

### 2.2.4 処理場への影響

ディスポーザー設置家庭の水道使用量を調査して、設置前後で使用量に変化がないことが明らかとなった。下水処理場の流入水量も増加量を検知できるほどには変化していなかった。

図 7は下水処理場の流入水質の経年変化である。平成12年からディスポーザーの設置が始まり、平成14年末にはディスポーザーの普及率は35.6%になっている。また、平成15年には町営の宿泊施設でディスポーザーを使用し始め、かなりの負荷を発生させるようになった。BOD、SSとも平成12年から増加傾向が見られるが、このデータは月2回の定時採水によるデータであるため、正確な水質の変化を求めることは困難である。ディスポーザーの影響を推定するため、各家庭のディスポーザー使用時間より求めた発生負荷量を、流入下水の水質に割り戻した結果を図 8に示す。朝、昼、晩の3回ピークが発生し、朝の場合、BODで24mg/l流入水質濃度が高くなることが推定された。

下水処理場への流入負荷の増加により、汚泥発生量も増加した。図 9はディスポーザー普及人口と、一定期間に処理場から汚泥として搬出された固形物量と下水処理水中固形物量、さらに反応タンク内でのその間の固形物の増減量の合計を流出固形物量として両者の関係を示したものである。図中の線はディスポーザー由来の固形物がすべて汚泥となっ

た場合に想定される流出固形物量を示しているが平成15年度のデータをのぞき両者はほぼ一致している。平成15年度は宿泊施設がディスポーザーの使用を開始した時期に当たり、その影響については現在調査中である。

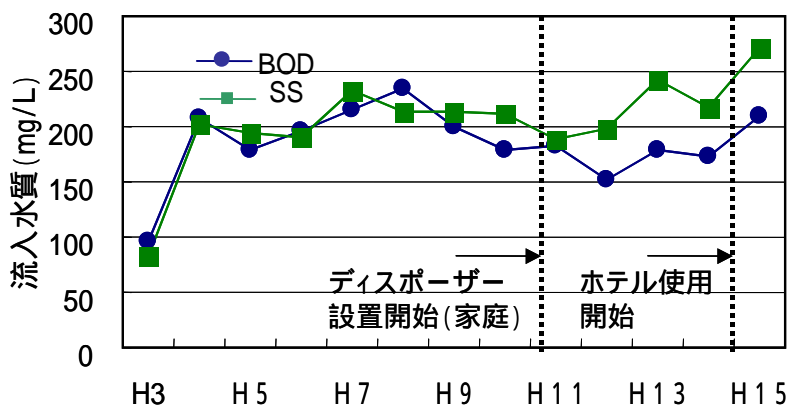


図 7 ディスポーザー設置後の処理場流入水質の変化

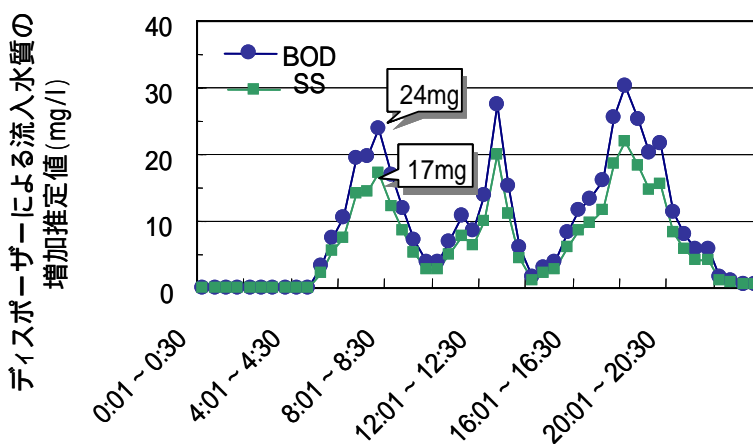


図 8 歌登町におけるディスポーザー設置による流入水質増加量の推計

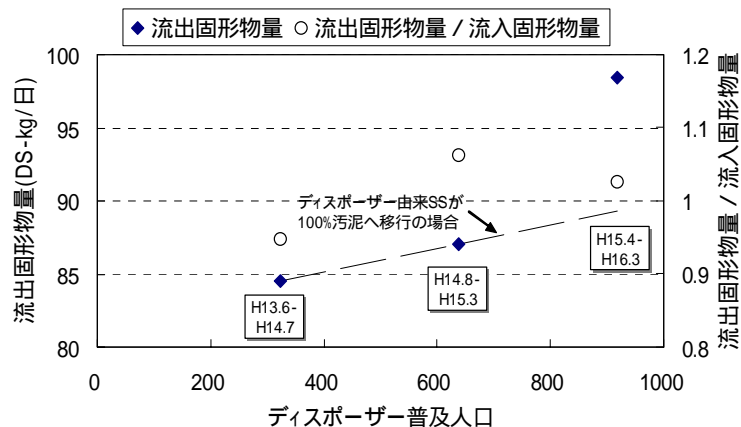


図 9 ディスポーザー普及人口と汚泥発生量の関係

### 2.2.5 歌登町における社会実験のまとめ

歌登町の実験からは、すべての厨芥がディスポーザーに投入されることはないこと、管渠への影響は主に逆勾配区間に限られ、管渠が変形している区間や伏せ超しなどを重点的に点検する必要があること、処理場への影響もディスポーザー普及人口を把握していれば予測可能なこと等が明らかになった。

このほかにも、経済性、LCA の検討を行っているが、これらは、地域の特性によって大きく異なるため、ディスポーザー導入を考えているそれぞれの地域の事情によって検討すべきである。

### 2.3 インフラの活用とディスポーザー

我が国の一人1日当たりの食品使用量(可食部分)は1,213g、このうち食品ロス量は68.3g(2)である。食品ロス量には、リンゴの皮や魚の骨といった非可食部分は含まれないため、1,213gの食品を調理する際に発生する厨芥を含む生ゴミは、食品ロス量の数倍に上ると思われる。生ゴミは各自治体のゴミ処理システムに従って処理され、可燃ゴミや分別生ゴミとして他のゴミと分けて処理される場合も多い。ディスポーザーによって生ゴミを他のゴミと分別することによるメリットは、先に挙げた使用者の利便性・満足感向上以外にもいくつかをあげることができる。

下水管渠を生ゴミの輸送施設として利用することは、ゴミの収集、分別コストを削減することができるため、既存インフラ活用の好例である。ゴミ処理システムで可燃ゴミとして収集している場合は、生ゴミの分別はゴミ焼却炉からのエネルギー創出にプラスとなる。分別生ゴミとして収集する場合には、分別収集や生ゴミの液状部分の処理などにコストと手間、住民の協力が必要であるが、ディスポーザーで分別収集する場合には下水道システム全体の中でそれらのコスト、手間を吸収し、容易に生ゴミの分別を行うことができる。

生ゴミを容易に収集できることによって、有機物資源の活用を進めることが可能になる。



### 3. 下水管渠の空間利用 下水道光ファイバー

下水管渠は都市内の至るところに到達している目に見えないインフラであり、各家庭、事業所に確実に接続されているという点では電気や水道と同様の性格を有している。しかし、電線や水道管は電気、水道水の供給という目的以外には利用が困難であるが、下水管渠は下水を流すという目的のほかに利用できる空間を有している。この空間を利用する技術として下水道光ファイバー事業が実施されている。

下水道光ファイバー事業は公共事業として実施され、基本的には下水道事業の一環として、下水道施設を遠方監視したり、各戸の水道使用量をモニタリングしたりする用途に使われるが、地域情報化サービスメニューを実施することも可能である。行政・教育・各種生活情報等の提供、TV映像による在宅健康管理、独居高齢者の安否確認、オンラインショッピング、河川氾濫・津波の恐れのある箇所等の画像監視、産業・観光情報の発信等に利用することができる。さらに、使用料を徴収して民間企業へ貸し出すこともできる。

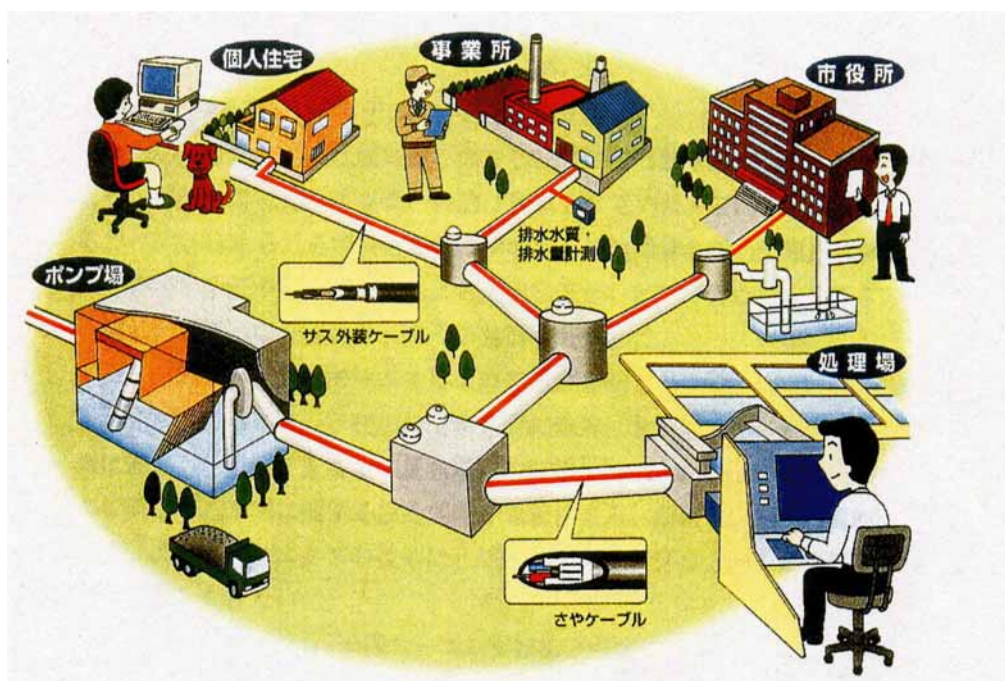


図 10 下水道光ファイバー事業のイメージ



写真 3 下水管に設置された光ファイバー

#### 4 . 下水汚泥のバイオマスとしての有効利用

資源エネルギー問題や地球規模気候変動の解決策の一つとして循環型社会の形成が、求められている。循環型社会を構築するための有力な手段として、バイオマスの有効利用がある。下水処理によって日々生産される下水汚泥は、生物由来の有機性資源（バイオマス）であり、他のバイオマスとともに循環資源として有効利用することが求められている。

##### 4 . 1 下水汚泥のエネルギー利用

下水汚泥は、1g 当たり 19kJ のエネルギーを有する資源である。嫌気性消化によってこれをメタンガスとして回収し、得られたエネルギーを有効に利用するため、従来は比較的大規模な下水処理場でガスエンジンによる発電が行われていた。近年、発電効率の向上や、小規模な処理場での適用が可能な燃料電池やマイクロガスタービンによる発電も行われている。横浜市下水道局で行われている汚泥消化ガスを用いた燃料電池発電システムの例を図 11 に示す。汚泥消化ガスには硫化水素などの有害成分も含まれているため、それらを除去し、メタンを水素に改質する前処理が必要である。図 11 には前処理でガス成分がどのように変化するかも示してある。

また、メタンガスの発生は、気温、投入する汚泥の質と量などによって変動するため、一定量のガスを発電装置に供給することが困難であった。年間を通して安定した消化ガス供給を行うために、活性炭を吸着材とした吸着貯蔵法により、余剰ガスを貯蔵する方法も実用化されている。図 12 に示すように、活性炭の細孔内に加圧したガスを吸着するもので、従来のガスホルダーに比べ同一容積で、20～30 倍のメタンガスを貯留することができる。

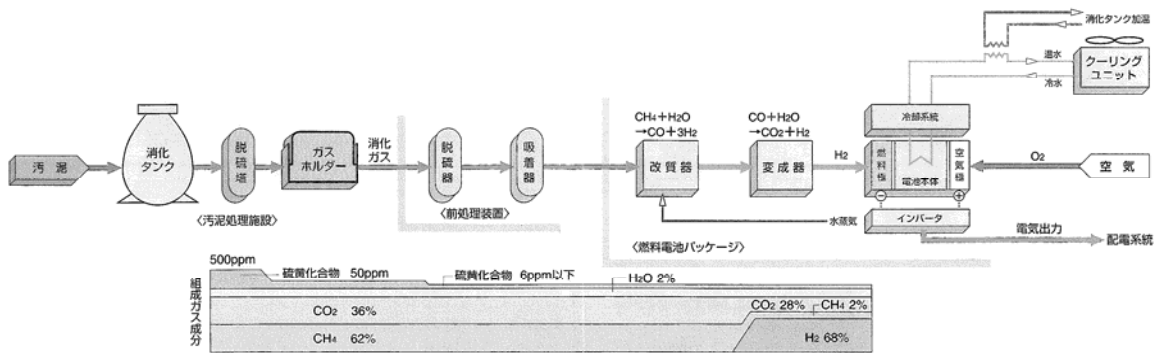


図 1 1 横浜市下水道局の消化ガスを用いた燃料電池発電システム

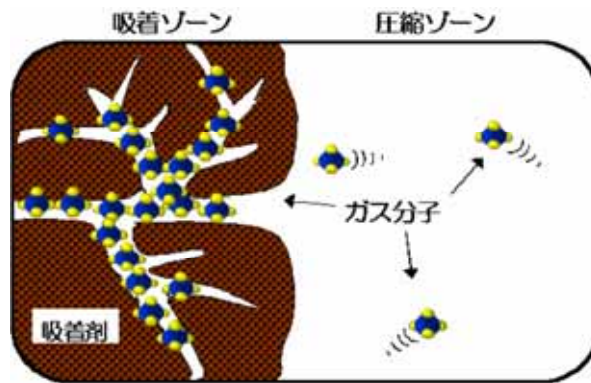


図 1 2 消化ガス吸着貯蔵法の原理

#### 4. 2 草木廃材の資源化

地域の街路樹や農業から発生する草木廃材は、セルロースやリグニンなどの強固な植物組織を有するため、バイオマスとして消化し難く、メタンなどのエネルギー活用をするためには一般的に不向きである。土木研究所では草木廃材を有効利用するため、蒸気加圧爆砕処理により微細化し、下水汚泥と混合してメタン発酵させ、メタンガスを回収する技術を開発した。これは、水蒸気により高温高压状態に短時間保持した後、瞬時に減圧し、木材等を軟化・粉砕する方法で、米菓子のバクダンあられを製造する原理と同じ原理を用いた植物組織の微細化法である。写真 4 にパイロット規模の爆砕装置を、写真 5 に爆砕前後の木片の様子を示す。

図 1 3 は下水汚泥に爆砕処理をした草木廃材を添加して、嫌気性処理を行い、発生するガス量を調査した結果であるが、添加量の増加に従って発生消化ガス量も増加していることが分かり、爆砕処理の有効性が確認された。



写真 4 草木廃材の爆砕装置



写真 5 蒸気加圧爆砕前後の木材チップ  
(土木研究所)

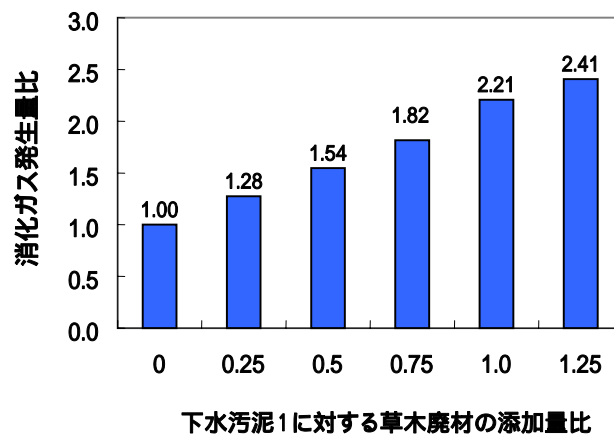


図 13 爆砕木材からのメタン回収 (土木研究所)

#### 4.3 畜産廃棄物との混合によるコンポストの高品質化

下水汚泥は、窒素、リンを豊富に含むバイオマスであるが、肥料の3大要素であるカリウムについては、水に溶けやすいため下水汚泥中に残るものは少ない。下水汚泥の肥料価値を、カリウムを多く含む牛糞により補足するため、両者を混合してコンポスト化することにより、肥料効果の高い融合コンポストを製造することができる。



写真 6 融合コンポスの製造試験（土木研究所）

#### 4.5 下水処理場を核としたバイオマスの資源化・リサイクルシステム

草木廃材、畜産廃棄物、厨芥などの地域から発生するバイオマスは、現在、十分に利用されているとは言い難い。これは、有効利用の手法が限られている、あるいは、施設がないといった原因のためである。

下水処理場には、バイオマスをエネルギーに変換するために必要な下水汚泥の持つ栄養塩類と微生物資源があり、また、嫌気性消化槽などの既存の施設がある。これらを利用することにより、図 14 に示すような、下水処理場を核としたバイオマスからのエネルギー回収およびバイオマスの農業利用のためのバイオマスの資源化・リサイクルシステムの将来像を描くことができる。

#### 5. まとめ

下水道インフラとして今後の活用が見込めるものとして、初めにディスポーザーを取り上げた。下水管渠、下水処理場に及ぼすディスポーザーの影響を、歌登町で行った社会実験で評価した。汚濁物負荷量原単位の増加分は、発生厨芥量の半分程度であることを明らかにし、それらのデータを基にディスポーザー導入の可否を判断する手順を示すことができた。今後は、ディスポーザーの普及率を予測する手法や、合流式下水道における影響、事業所に導入した場合の影響などを評価する必要がある。

下水道光ファイバーについては、下水管の空間を利用する新たなインフラ活用事業である。町中の各戸に確実に到達している下水管を利用するため、比較的小規模な自治体で一気に光ファイバー網を整備する場合、非常に有効な方法である。

バイオマス利用の中心施設として、下水道インフラを活用する構想について紹介した。下水道は元々、発生する汚泥を熱・電気エネルギー、肥料、焼却灰などの無機材料として

有効利用する技術とインフラを有している。一方、草木廃材や畜産廃棄物、厨芥などは発生する時期、場所が限られていたり、逆に少量のバイオマスが広範囲に発生するため、これらを利用する施設は限られていた。下水道施設をこれらの地域バイオマスの有効利用拠点とすることで、利用量、範囲を大きく拡大することができるであろう。

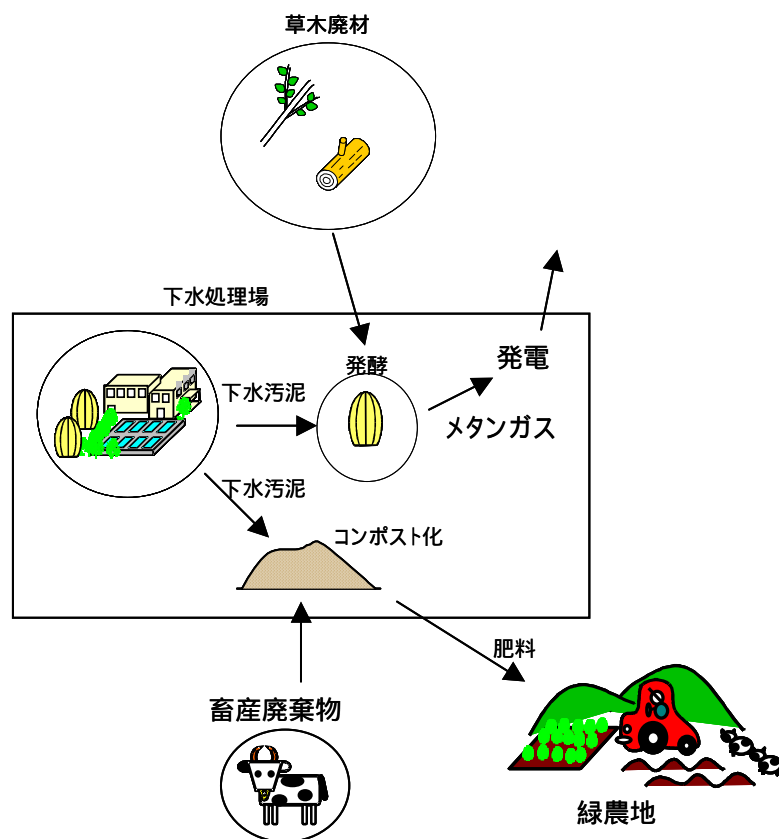


図 14 下水処理場を核としたバイオマスの資源化・リサイクルシステム