

下水はエネルギーと資源の宝庫だ！ バイオマス発電の一層の拡大に向けて



グローバルウォーター・ジャパン代表 国連環境アドバイザー 吉村 和就

1972年荏原インフィルコ入社。荏原製作所本社経営企画部長、国連ニューヨーク本部の環境審議官などを経て、2005年グローバルウォーター・ジャパン設立。現在、国連テクニカルアドバイザー、水の安全保障戦略機構・技術普及委員長、経済産業省「水ビジネス国際展開研究会」委員、千葉工業大学非常勤講師などを務める。著書に『水ビジネス 110兆円水市場の攻防』（角川書店）、『日本人が知らない巨大市場 水ビジネスに挑む』（技術評論社）など。

福島第1原発事故以来、日本のエネルギー政策が大きく見直され、特に再生可能エネルギーとして、洋上風力発電、地熱発電、バイオマス発電などに大きな期待が寄せられている。中でも「カーボンニュートラル」であるバイオマス資源を積極的に活用することが喫緊の課題である。しかしバイオマス資源の最大の欠点は、資源が広範囲に分散されており、季節変動があり、さらに収集コストがかかることである。バイオマス資源の視点から下水汚泥をみると、下水汚泥は量・質とも安定しており、しかも下水処理場で集中的に発生し、住民がいる限り常に発生する最適なエネルギー資源である。今回は下水汚泥を中心に、エネルギーと資源創出の観点から述べてみたい。

バイオマス発電、地熱発電、海洋エネルギー発電など新しい4種類の発電能力を計1941万kW（原発の19基分と試算）と10年度比較で再生可能エネルギーを6.55倍に拡大し、総発電量に占める割合を約1割に高める方針である。内訳として、洋上風力発電は10年度比270倍の803万kW、バイオマス発電は30年までに600万kW、これを実現させるために地方自治体と協力し、既存のゴミ焼却施設の発電能力を増強したり、新規発電装置を設置する。また地熱発電は従来法（熱水、蒸気の汲み上げ）に加え高温岩体発電（地下岩体に水を注入し蒸気を発生利用）の実用化をめざし、現在の7倍、388万kWを目標に掲げている。表1から分かる通り、バイオマス発電は最も実績があり、今後も着実なエ

ネルギー開発が期待されているエネルギー源である。

バイオマス資源の 賦存量と利活用状況

バイオマスとは、再生可能な生物由来の有機性資源で、化石燃料（石炭、石油、天然ガスなど）を除いたもので燃焼などにより発生する二酸化炭素（CO₂）が地球温暖化に影響を与えない、いわゆるカーボンニュートラル資源とされている。

2006年に「バイオマス・ニッポン総合戦略」が閣議決定された。これは、特に廃棄物系のバイオマス資源に焦点を当てた戦略である。これによると、わが国全体の廃棄物系バイオマス賦存量のうち、下水汚泥は乾燥重量ベースで約3.5%を占めて

日本の再生可能エネルギー事情

環境省は原子力発電を減らす政府の方針を踏まえ、8月31日に再生可能エネルギーの発電能力を増やす新目標を発表した。それによると、2030年までに洋上風力発電や

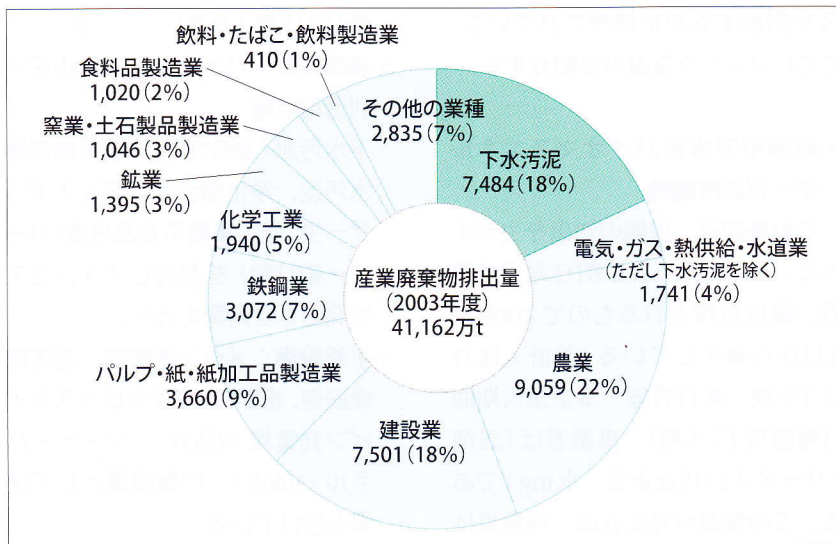
表1 再生可能エネルギーの新しい目標

（発電単位：万kW）

	2010年(実績)	2020年	2030年
洋上風力発電	3	40	803
バイオマス発電	240	396	600
地熱発電	53	107	388
海洋エネルギー発電	0	0	150
発電量総計	296	543	1941
倍率	1	1.83倍	6.55倍

出所：環境省発表

図 産業廃棄物排出量に占める下水汚泥の割合



出所：環境省「産業廃棄物排出・処理状況調査報告書」より国交省作成

いる。また国内の産業廃棄物排出量に占める下水汚泥の割合も18%と大きな数字となっている。つまり、活用されず埋め立てられている下水汚泥も多く、なお一層エネルギー資源として下水汚泥の有効利用が求められている。

下水道分野におけるバイオマスの有効利用

1955年以降、急激に下水道整備

が進み、2010年度末のわが国の汚水処理人口普及率は86.9%に達し、国内の下水道管渠の総延長は41万kmに及んでいる。これまでの下水道は汚水や雨水を収集し、下水処理場で安全に処理し公共水域に放流するという一連のプロセスにより国民の公衆衛生向上と都市環境の保全を担ってきた。一方で地球10周以上の下水管渠のネットワークは、下水区域内のすべてのバイオマス資源を集中的に収集する優れた機能を有す

るシステムともいえる。下水汚泥をバイオマス資源の視点から捉えると、①人間生活に伴い必ず発生し、量・質とも安定した資源、②個別収集の必要のない集約型バイオマス資源、さらに③エネルギー需要地である都市部に存在する都市型バイオマス資源—という特徴を有している。

下水汚泥中の固形物の約8割は有機物であり、これは緑農地利用（肥料、土壌改良材など）やエネルギー（下水道バイオガス、固形燃料化）として利用され、残り2割は無機物で、これらはセメント原料やレンガ、骨材などに利用されている。

下水道の資源循環ポテンシャル

下水道は都市活動から発生する汚水に含まれるあらゆる物質や雨水、さらに熱を収集しており、大きな資源循環のポテンシャルを有している。いままでの下水処理の考え方は汚水処理と雨水の排除に特化され、資源循環の考え方が乏しかったが、近年下水道における資源循環の考え方が注目され、多くの資源利活用案が示

表2 廃棄物系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
家畜排泄物	約8,900万t	約1,500万t	堆肥利用など：約90%
廃棄紙	約1,600万t	約1,400万t	大半が焼却
パルプ黒液	約1,400万t	約1,200万t	ほぼ全量直接焼却による利用
農作物非食用部	約1,300万t	約910万t	堆肥、飼料、家畜敷料利用など：約30%
製材工場など残材	約500万t	約430万t	エネルギーや堆肥利用：約90%
建設発生木材	約460万t	約390万t	製紙原料、家畜敷料利用など：約60%
林地残材	約370万t	約320万t	ほぼ未利用
下水汚泥	約7,500万t	約230万t	建設資材、堆肥利用：64% 埋め立て：36%
食品廃棄物	約2,200万t	約210万t	肥飼料利用：20%

出所：「バイオマス・ニッポン総合戦略」（2005年度閣議決定）を基に国交省試算

されている。表3は、下水道統計(2005年度)に基づく国交省・下水道部の資源としての試算例である。

このように、下水道は大きな資源・エネルギーポテンシャルを有しているが、その利用状況は低い水準にとどまっている。しかしながら再生可能エネルギー創出の観点から、全国各地でいろいろな試みがなされ、資源の利活用の道が拓かれつつある。以下に具体的な事例を示す。

下水汚泥の燃料化

下水汚泥の燃料化は、「消化法(メタンガス発生)」と「炭化法(炭化固形燃料)」に大別される。日本国内で現在稼働している下水処理場は約2000カ所あり、そのうち「消化法」を採用しているのは約300カ所である。そのうち26カ所でバイオマス発電が行われ、総発電量は約2万1000kW。これは、下水処理施設の総電力量の約1%分を発電していることになる。しかし、発電には下水道バイオガス総発生量の約2割しか使われず、約3割のガスは消化槽の加温用として使われている。今後の課題として、いかにバイオガス発生

量を増やすか、また加温用バイオガスを削減するかが検討されている。ここにユニークな試みを紹介する。

・黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用施設

この施設は、民間の知恵を生かすべく、PFI事業によるBTO方式で建設、維持管理されるもので2009年4月から着手している(設計・建設は3年間+維持管理・事業運営期間は建設後15年間)。事業者は「黒部Eサービス」(代表企業：水ing)である。この施設の考え方は、発電量は少ないが、地方自治体が抱えるすべてのバイオマス資源を対象にし、地域内の資源循環を図っていることである。さらにこのモデルは、日本が今後、海外、特に東南アジア向けに展開するパッケージ戦略(水の安全確保とエネルギー創出)の武器として活用が期待される。

【事業概要】

- ①公共主体：富山県黒部市
- ②SPC事業者：黒部Eサービス(株)(伊東隆治社長)
- ③事業方式：PFI事業によるBTO方式(総事業費約36億円)

④事業期間：2009年4月～26年4月(約17年3カ月)

⑤施設概要：バイオマスエネルギー利活用設備

下水汚泥(濃縮汚泥)、農業集落排水汚泥、浄化槽汚泥、デイスパーザー生ゴミ、事業系食品残渣(コーヒー絞り粕)を混合しメタンガスを発生させ発電を行う。

⑥主要設備：メタン発酵槽、汚泥乾燥設備、粉碎機、マイクロガスタービン発電機(95kW)、ソーラーパネル(10kW)、付属設備として足湯を設けている。

・神戸市バイオガスプロジェクト

神戸市では、2004年に「CO₂ダイエット作戦」として下水道事業にかかわる温室効果ガス11.5%の削減目標を掲げ、06年から東灘下水処理場で消化ガス実証試験を開始した。この下水処理場では、年間約2億m³の下水を処理し、消化ガスとして年間約1000万m³の発生量を見込んでいる。消化ガスの成分は、メタンガスが約60%、CO₂が約40%、その他の微量成分である。余剰消化ガスの活用として、①消化ガス・コージェネレーション(電気と熱を取り

表3 下水道の資源循環ポテンシャル

ポテンシャル区分	賦存量	利用状況
1 下水汚泥による発電	下水汚泥発生量：223万t/年(乾燥ベース) 発電可能量：36億kWh/年(67万世帯の年間電力消費量相当) 仮に下水汚泥全量からエネルギー回収した場合は、原油換算で約101万klに相当する	エネルギー利用された場合は1割のみ
2 下水熱利用	下水処理量：140億m ³ /年 熱容量は7800Gcal/h(1500万世帯の年間冷暖房熱源に相当)	下水熱を利用した地域熱供給は6カ所
3 資源回収(リン)	流入するリン：6万t/年(わが国の年間リン輸入量の約1割相当)	利用されたリンは1割
4 場内敷地利用	太陽光発電、風力発電、小水力発電の設置 発電可能量：23億kWh/年(約43万世帯の年間電力消費量相当)	エネルギー利用割合は約0.2%

出所：国土交通省下水道部作成

出す)にて処理場の消費電力の削減と発電の際の熱を消化タンクの加温、②消化ガスを精製して保有する天然ガス利用の自動車の燃料として使用するプロジェクトに取り組み、事業の効果として、1200t/年間のCO₂の削減、また消化ガスの天然ガス自動車の燃料(年間約70万m³)としての活用では、1日あたり市バス40台分(50km/日走行)、天然ガス乗用車700台分(30km/日走行の場合)を見込んでいる。

さらに神戸市では、12年度から「グリーン・スイーツプロジェクト」として下水汚泥と間伐材などの木質系、有機物を含む食品製造系を混合処理し、バイオガスの増量を図る実証にとりかかっている。これは国交省の「下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)」で採択されたもので、神戸市内の森林保全過程で発生する間伐材、市内の公園や街路樹の剪定枝を日量4t、食品製造系(スイーツ)では民間企業(白鶴酒造、トーラク、ロック・フィールド)3社と連携し日量11tを受け入れ、地域内バイオマスの活用を図る計画である。

・下水処理場が水素ステーションに

究極のエネルギー源として水素の活用が叫ばれ、すでに日本国内で燃料電池車(FCV)用の試験用水素ステーションが15カ所設置(2011年)され、さらに4大都市圏を中心に先行整備として100カ所の水素ステーションが計画されている。水素製造プラントに多くの実績を持つ三菱化工機は、九州大学や西部ガスと共に下水の消化ガスから水素を取り出す可能性調査をしている。研究成果の一部によると、1日あたり3500m³

の消化ガスが発生する下水処理場に水素製造プラントを設置した場合、5000m³/日の水素を製造できる見込みであることが発表されている。このガス量は一般的なFCV(35メガパスカルで充填)に供給することを想定した場合、約160台に供給可能となる。メタンガスを直接圧縮天然ガス車(CNG)で使う場合と、メタンを水素化して水素ガスとしてFCV車で使う場合のエネルギー効率からみると、CNGの車両効率率は15%程度であるが、FCVの車両効率率は41%となり、下水消化ガスを水素化してFCVに使う方が、より効率がよいことが分かっている。日本国内には、1日あたり余剰ガスを1万m³を超える下水処理場が多く存在することを踏まえると、下水処理場には大きなエネルギーポテンシャルが存在することが分かる。将来、大きな下水処理場はすべて水素ステーションに変貌しているかも知れない。

下水処理場からリン資源回収

肥料の3要素であるリン資源はいま、枯渇の危機に直面している。リンは鳥の糞が化石化したもので、限られた地域にしか存在していない。リン酸肥料は、中国やインドなどの新興国の経済発展やバイオ燃料などへの転換による穀物増産により需要が急増しており、原料となるリン鉱石は、経済的に採掘可能な年数として、あと70年といわれている。リン鉱石を全量輸入しているわが国にとり、リンの確保は大きな懸案事項となっている。

このような背景下で岐阜市と大手

水処理会社のメタウォーター社は2004年から「リン回収技術の共同研究」を始め、10年に岐阜市北部プラントに「リン回収施設」を竣工させている。(事業費は約7億円)下水汚泥焼却灰に含まれるリン成分を、薬品と反応させることで「リン酸カルシウム」を抽出・回収し、粒状乾燥させて肥料化する全自動制御の肥料製造工場である。

処理能力(汚泥焼却灰)は年間1000t、でリン酸肥料製造能力は年間500tであり、「岐阜の大地」の名称で販売されている。

下水汚泥・利活用における今後の課題

エネルギー事情が逼迫する中、下水道汚泥のエネルギー利活用を本格的に展開するために、次のような提案をしたい。

- ・下水道を地域内エネルギーセンターの中核とする。具体策として有機物量を積極的に増やすためにディスポーザーの使用を解禁すべきであろう。
- ・地域内バイオマスを省庁の管轄の枠を超えて下水処理場で一体的に処理、活用する。下水道は国交省、浄化槽・し尿処理は環境省、農業集落排水処理は農水省などバラバラに排出される地域内バイオマスを下水処理場でまとめて処理し、効率化を図る。
- ・民間企業との連携強化。民間企業の有する技術力や資金力を積極的に活用し、再生可能エネルギーに関する新ビジネスの創出、地域雇用の促進を図ることである。E