

# 神戸市下水道における資源・エネルギー回収の取組み

阪口浩一・坂部敬祐・内海秀人・小松原謙輔

## 1. はじめに

神戸市は、面積55,283ha、人口約154万人で、南は大阪湾に面し市街地の背後には六甲連山が迫る自然豊かな都市である。本市では、昭和33年に下水処理を開始し、平成24年度末では下水道人口普及率98.7%に達している。現在では市内6箇所の処理場において、1日平均約50万m<sup>3</sup>の下水を処理している。

本市は、平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震により、交通機関や港湾施設など社会産業基盤に甚大な被害を受けた。下水道施設においても壊滅的な打撃を受け、中でも本市最大の東灘処理場では、約100日もの間、汚水を処理することができないほどの甚大な被害であった。

震災からの復興の柱の一つとして、「資源・施設の有効活用」を掲げ、「資源再生」「エネルギー再生」に取り組んできた。

本稿では、神戸市下水道における「資源・エネルギー回収」の取組みの中でも特に特徴的な、「こうべバイオガス」の活用、リン回収、新たな公民連携の手法を用いた発電事業を紹介する。

## 2. こうべバイオガス

### 2.1 概要

本市では、下水を処理する過程で発生する汚泥を全て消化槽で消化（嫌気性微生物による有機物の分解処理）しており、減量化・安定化を図っている。この過程でメタンを約60%含んだ消化ガスが、日平均約36,000m<sup>3</sup>N発生する。

消化ガスは都市ガスと比べ発熱量が約半分と低く、機器を損傷・劣化させる原因となる硫化水素やシロキサン等の不純物を含んでいる。これらの不純物により機器の稼働率や維持管理性が低下するため、消化ガスの用途は消化槽の加温や空調設備の燃料等、処理場内に限られていた。

本市では、下水道の持つ代表的な資源であるこの消化ガスを、場内利用だけではなく、地産地消のエネルギーとして外部へ有効活用し、地球温暖化防止に貢献することを目指して、消化ガスを高品質化した「こうべバイオガス」の活用に取り組んでいる。

### 2.2 高圧水吸収法

平成16年度に株式会社神鋼環境ソリューション（以下、SKS）との共同研究（大阪ガス株式会社協力）により「高圧水吸収法」を開発した。本法によって、消化ガスを天然ガスと同等の品質である「こうべバイオガス」の精製に成功し、天然ガス自動車燃料への活用を実証した。

「高圧水吸収法」は、処理場に豊富にある処理水を活用でき、かつ原理がシンプルな方法である。本法は、約0.9MPaに加圧した消化ガスを水中に通すことで、二酸化炭素や硫化水素がほとんど水中に溶解するのに対し、メタンはほとんど溶解しないことを利用して、消化ガス中のメタンのみを取り出す方法であり、シロキサンも同時に除去される（図-1）。



図-1 高圧水吸収法

## 2.3 天然ガス自動車燃料

東灘処理場においてガス関連設備を改築し、平成20年より「こうべバイオガス」を天然ガス自動車燃料として本格的に供給している（図-2）。平成24年度には、約44万 $m^3$ の「こうべバイオガス」を市バスや民間の宅配車など年間延べ約14,000台の天然ガス自動車に供給している。

「こうべバイオガス」は人類が生存する限り枯渇することのないエネルギーであり、「こうべバイオガス」を燃料として走行する車両の $CO_2$ 排出量は0（ゼロ）となる。



図-2 「こうべバイオガス」自動車燃料

## 2.4 都市ガス導管注入

本市では、消化ガスのさらなる活用を図るため、平成22年に神戸市、大阪ガス、SKSの共同で、東灘処理場において「バイオガス都市ガス導管注入実証事業」を始めた。本実証事業は、「こうべバイオガス」を都市ガス導管に直接注入するもので、期間は10年間である。

「こうべバイオガス」は、天然ガス自動車燃料としては十分な品質であるが、受入事業者である大阪ガスの供給基準にあわせるために、酸素や二酸化炭素といったさらなる微量成分の除去を行い、熱量の調整及び都市ガスと同じ付臭が必要である。

平成24年度には、年間約100万 $m^3$ 、一般家庭約2,500世帯相当のガスを導管に注入した。

本取組みは、発生したバイオガスを高度に精製し、都市ガスの製造所を通すことなくそのまま都市ガスとして導管に注入するもので、これにより、都市ガスの製造所との距離に制約を受けることがなくなった。さらに、下水処理場で発生するバイオガスを余すことなく有効利用することができるようになり、理想的な地産地消のエネルギー供給と言える。

## 2.5 KOBEグリーン・スイーツプロジェクト

需要の大きな都市ガス導管注入による有効利用が実現したことで、さらなる再生可能エネルギー供給拡大、拠点化を目指した取組みを開始した。

平成23年度の国土交通省下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）に、「神戸市東灘処理場 再生可能エネルギー生産・革新的技術実証事業 - KOBEグリーン・スイーツプロジェクト -」をSKSとの共同研究体で提案のうえ採択され、平成24年度にかけて国土技術政策総合研究所（以下、国総研）の委託研究として実施した。

本事業では、木質系（グリーン）と食品製造系（スイーツ）の下水道に好適な地域バイオマスを、下水汚泥と共処理することでバイオガス発生量を増加させるとともに、木質系バイオマスの繊維質による脱水性の向上などを目指して研究を実施した。

地域バイオマスの受入は平成24年2月から開始し、その受入量は平成24年度末で累計約640 tとなった。

グリーンについては、本市の六甲山整備部門や公園・街路の維持管理部門と連携し、伐採木や剪定枝などを活用している。スイーツについては、東灘処理場近隣の食品製造会社3社からバイオマスの提供を受けている。

グリーンとスイーツの投入効果により、「こうべバイオガス」の都市ガス導管への注入量が、80万 $m^3$ （平成23年度）から100万 $m^3$ （平成24年度）に増量された。これらの他、実証の詳細な成果については、国総研よりガイドラインが発行されているので、そちらを参照されたい。

平成25年度は、SKSとの二者で実証を継続している。

## 3. KOBEハーベスト(大収穫)プロジェクト

### 3.1 背景

リンは、生体の必須元素であり動植物に多く含まれている。また、肥料の三大要素の一つでもあり、農産物の育成に不可欠な成分でもある。工業的な出発原料はリン鉱石であるが、日本は全量を輸入に依存している。

リン鉱石の最大の生産国は中国、次いで米国、モロッコ、ロシアであり、主要原産国である中国等の輸出規制の影響等もあって、国際取引価格は

ここ数年間で乱高下しており、長期的かつ安定的なリン資源の確保が懸念されている。

### 3.2 下水道とリン資源

下水道は閉鎖性水域の水質保全のため、富栄養化の原因となっている窒素やリンの栄養塩除去が求められる。一方で、リンはカリウムや窒素とともに食料生産に欠かせない肥料の三大要素の一つであり、国際的に枯渇が懸念されている。

下水道にはリン鉱石として輸入されるリンの約4～5割に相当するリンが流入しているとの推計があるが、有効利用はわずかであるとされている<sup>2)</sup>。食糧生産に不可欠な貴重資源であるリンを「都市リン鉱山」ともいえる下水道から効率的に回収する技術が求められている。

### 3.3 KOBEハーベスト(大収穫)プロジェクト

本市は、平成24年度のB-DASHプロジェクトに、「神戸市東灘処理場 栄養塩除去と資源再生(リン) 革新的技術実証事業 - KOBEハーベスト(大収穫)プロジェクト -」を提案のうえ採択され、平成25年度にかけて国総研の委託研究として実施している。



図-3 リン(MAP)回収実証設備

本プロジェクトでは、処理施設の運営調整等を行う神戸市、革新的技術実証設備の建設・運転・データ分析・解析等を行う水ing株式会社、肥料化の検討を行う三菱商事アグリサービス株式会社が共同研究体として取組んでいる。

リン濃度が高い消化汚泥からの高効率なリン(MAP)回収、肥料製造に適した形状のリン回収、さらに配管閉塞等の原因の一つであるリンを除去することによる水処理・汚泥処理の維持管理性の向上を目指している。これらの検討により、技術の革新性・安定性と共に建設コストや維持管理コストの削減を実証し、国内外への普及展開に貢献することを目的としている。

回収したリンを「神戸ブランドの循環型リン原

料」として供給することで、資源の宝庫である下水道からの「大収穫」が期待できる。

現在ガイドラインを策定中であり、今後国総研によって公表される予定である。



図-4 回収MAP(左)とMAPを使用した試作肥料

## 4. こうべWエコ発電プロジェクト

### 4.1 概要

「こうべWエコ発電プロジェクト」は、大規模太陽光発電と「こうべバイオガス」による発電であり、大阪ガスの子会社である「エナジーバンクジャパン株式会社(EBJ)」との共同事業として、垂水処理場において、平成26年3月から供用を開始した。

太陽光発電は天候等により発電量が大きく変化するが、バイオガス発電は1日24時間1年365日、継続して発電できるため、両者を組み合わせることでより安定的な事業展開が可能となる。

### 4.2 新たな公民連携事業

本プロジェクトには次の4つの特長がある。①太陽光とバイオガスの安定したWエコ発電事業であること、②公民連携による「共同事業方式」を採用していること、③神戸市が資源と空間を提供し、民間資金を活用して再生可能エネルギーを創出すること、④国の再生可能エネルギー固定価格買取制度を利用した20年間の事業であること。

EBJは、発電設備の設置・運営や、電力会社との売電契約の調整などを担うとともに、発電した電力を、固定価格買取制度により電力会社に売却し、収入を得る。

本市は、EBJに対し、発電設備の設置場所及び「こうべバイオガス」を提供する。なお、本市は発電設備の設置に関して費用は負担せず、役割に応じた売電収入の一部をEBJから受け取る。

本プロジェクトでは、広大な敷地とバイオガスを一度に提供できる本市の強みと、設備調達能力、事業運営ノウハウといった民間事業者の強み、こ

れら双方の強みを生かすことで、市が直接、発電・売電するよりも事業性を高めている。



図-5 こうべWエコ発電プロジェクト（太陽光発電）

### 4.3 事業計画

設置する発電設備及び年間発電量は下表のとおりで、一般家庭約1,300世帯が使用する電力を発電することができる。

	規模	年間発電量
太陽光発電	2,000kW (パネル約8,000枚)	約200万kWh
バイオガス 発電	350kW (25kW×14台)	約250万kWh

市内の他の処理場においても、活用できる施設上部空間や消化ガスがあり、全処理場で推計すると、太陽光発電で5,300kW、バイオガス発電で3,000kWの発電ができる可能性があり、年間発電量は約2,900万kWh、一般家庭約8,000世帯分に相当する。今後、垂水処理場の成果を踏まえて、関連設備の改築時期等を勘案しながら、他の処理場への展開を検討する。

こうべWエコ発電プロジェクトは、本市と民間事業者、双方の強みを生かした取り組みであり、再生可能エネルギーをさらに拡大する第一歩と考えている。

## 5. まとめ

本市におけるこれらのエネルギー再生、資源再生の取り組みは、全国に先駆けたものと自負している。また同時に、これまでの下水処理場のイメージを一新させた取り組みとも言える。下水処理場は「資源の宝庫」であり、今後も処理場にあるもの全てを資源と捉え、エネルギー再生、資源再生に積極的に取り組んでいく。

本市は震災から復興した「水再生・エネルギー再生のモデル」として、国土交通省から「水・環境ソリューションハブ」の認定を受けた。今後も震災から得た教訓への取り組みや、水・資源の循環型下水道の取り組み等を国内外に発信し、「国際貢献」「地域経済の活性化」「技術・技能の継承」に資する活動を展開していくとともに、水ビジネスにもさらなる貢献をしていきたい。

## 謝 辞

これら本市の取り組みに当たっては、国土交通省をはじめ多くの皆様からご指導、ご協力をいただきました。

ここに紙面をお借りして御礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：B-DASHプロジェクトNo.2 バイオガスを活用した効果的な再生可能エネルギー生産システム導入ガイドライン(案)、国総研資料、第737号、平成25年7月  
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0737.htm>
- 2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：下水道におけるリン資源化の手引き、平成22年3月

阪口浩一



神戸市建設局中央水環境センター施設課長(前神戸市建設局下水道河川部保全課長)  
Hirokazu SAKAGUCHI

坂部敬祐



神戸市建設局下水道河川部保全課処理場係長  
Keisuke SAKABE

内海秀人



神戸市建設局下水道河川部保全課処理場係  
Hideto UTSUMI

小松原謙輔



神戸市建設局下水道河川部保全課処理場係  
Kensuke KOMATSUBARA