

大阪市における下水道エネルギー・資源の利用の取り組みと 経済的効果について



特 集

大阪市建設局 下水道河川部調整課
課長代理 安井 幹人氏

●はじめに

本日は、ハイテクセミナーのような技術報告の場で行政の取り組みを報告させていただき、誠に感謝いたします。下水道のようなマイナーな分野では特に貴重な機会です。私は大学卒業後、下水道がやりたくて大阪市に入庁しました。大阪市の同期はまちづくりや都市計画、港湾整備、橋梁建設等を志願する者はいても、マイナーな下水道の志願者は変わりモノでした。そんなところが面白かったのか、社会人1年目の時、大阪大学工業会誌テクノネットから卒業生として就職体験を一言書いてほしいと依頼がありました。そこに「市役所なのに意外と技術・技術している。」と生意気なことを書いたことを覚えています。役所のイメージと異なり、職場ではとにかく技術を熱く語り、私も青二才ながら、先輩たちと技術論を繰り広げていた思い出が強く印象に残っています。本日はそういった、大阪市の行政機関でありながら、技術への強い思い入れやこだわりをご紹介させていただければ面白いのかと思っています。

またエネルギー・資源有効利用というテーマでは、廃棄物である下水汚泥は使い方次第でエネルギーにも資源にもなります。大阪市では下水汚泥は全量消化し、消化ガスを全て使い、消化汚泥すら廃棄処分せずに全量有効利用するという、全国的にも極めて高水準の目標があります。私の入庁当時は遠い将来の夢物語の感がありましたが、様々な取り組みの結果、あと2年で達成するまで至りましたので、経過も含めご紹介いたします。

●本日の内容

第1章は行政としての政策論、第2章は大阪市下水道の特徴や技術面の「こだわり」の紹介、第3章は大阪市の主たる4つ施策の報告、最後に、第4章でエネルギー施策と経済的評価を述べます。経済面については、大阪市は行政機関ですが、諸先輩より「大阪市では大阪商人として金にはこだわれ！」との訓示が引き継がれています。本日の報告の中でお

金の側面も重視していきたいと思っております。

<第1章 行政におけるエネルギー政策>

●大阪市のエネルギー政策

大阪市のエネルギー施策として、1. おおさか環境ビジョン、2. おおさかエネルギー地産地消推進プラン、3. 大阪の成長戦略をご紹介します。平成23年3月に定められた「おおさか環境ビジョン」で今後の都市エネルギー施策の方向性を示し、「おおさかエネルギー地産地消推進プラン」は、東日本大震災を契機に電力供給のあり方が議論され、自治体でも地域分散型エネルギーシステムや地産地消といったキーワードが盛り込まれています。「大阪の成長戦略」では、エネルギーを産業につなげるという政策の意志表示が行われています。

●おおさか環境ビジョン

地球環境問題に貢献すべく、大阪市が全国の自治体に先駆けたモデルとして、エネルギーの有効利用、水・緑の活用、経済の活性化、市民協働の方向性などを示しています。



講師 安井 幹人氏

●地産地消推進プラン

東日本大震災の教訓として、大規模集中型から地域分散型の電力供給システムへエネルギー需給構造の転換に向け、国や電力事業者任せにせず地方自治体の自らの関与の必要性を示しています。経済産業省のエネルギー基本計画では再生エネルギーの積極的な推進を挙げており、国の動きとも連動していきます。プランの期間は2020年度までとし、再生可能エネルギーの普及拡大として太陽光発電が挙げられますが、本日の下田先生のご講演にもあったように天候に左右される等扱いにくいのが課題です。下水道のエネルギーは安定供給という面では付加価値が高いと考えています。

●成長戦略

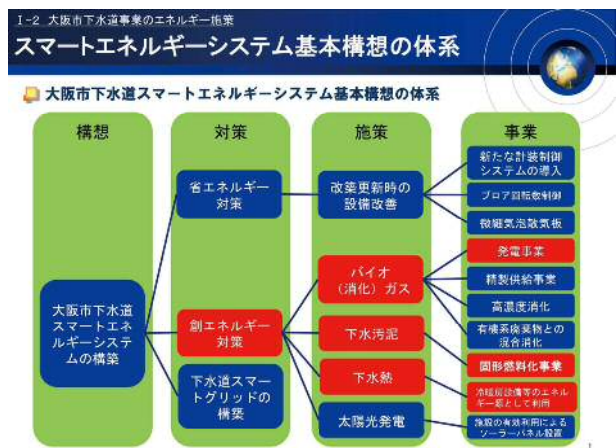
大阪が成長するために何が必要かという視点から、取り組みを幅広くまとめたプランで、「新たなエネルギー社会の構築と環境先進都市づくり」が打ち出されています。

●大阪市下水道事業のエネルギー施策

これら大阪市のエネルギー政策では、①再生可能エネルギーの普及拡大、②新たなエネルギー社会の構築と環境先進都市づくりが位置づけられています。また、下水道分野の政策として、国が「新下水道ビジョン」(平成26年7月)をとりまとめ、下水道が有するエネルギーポテンシャルを強調しています。下水汚泥発生量年間約223万tに対し、ガス化し発電すると発電可能量年間約40億kwhが見込まれています。ただし、統計上の実績は約3%の約1.4億kwhと活かしきれていません。一方、下水処理の過程のエアレーション等では大量のエネルギーを使うことから、大口需要家として自助努力も必要です。大阪市でもエネルギー対策を進める機運も高まり、下水道部局として「大阪市下水道・スマートエネルギーシステム基本構想」をまとめました。

●スマートエネルギーシステム基本構想

基本構想の体系図で示す通り、省エネルギーと創エネルギーの両面が必要ですが、下水道の強みはバイオガスや下水汚泥の燃料化技術、下水熱の地域冷暖房活用など、創エネルギーにあると思います。大阪市でも創エネルギーの取り組みを進めていくこと



としています。

<第2章 大阪市の下水道事業の概要と特徴>

●下水道事業の概要

大阪市の下水道の特徴は、1万9,000haと狭い市域に270万人の人口が密集し、下水道は99.9%普及しているため、狭い範囲で発生する大量の下水をいかに集約して効率的に処理するかという視点が大切です。市域には大小12カ所の下水処理場がありますが、処理場までは下水をポンプで圧送するのではなく、重力で自然流下させるしくみなので、12カ所の処理場は地形的に水を集めるのに適したところに作られています。よって、処理場の合併や統合による効率化は簡単ではありませんが、処理場で発生する汚泥の処理施設は、集約化を検討し、併せて資源として有効利用する発想に至っています。

●下水処理場の概要

大阪市の12カ所の下水処理場は標準活性汚泥法をベースとしており、窒素・リン同時除去等のいわゆる高度処理法には施設更新時に今後、変更していく計画です。それに合わせ、更に汚泥量が増加するポテンシャルを含み、汚泥処理計画では十分に考慮しておく必要があります。

●平成の太閤下水

今後の下水汚泥量の増加に関する事業の一つとして、平成の太閤下水を紹介いたします。2015年は道頓堀川が開削後400年のシンボルイヤーであり、それに合わせ道頓堀川等の水質改善対策として、「平成の太閤下水」を今春するに至りました。今まで雨

の日の道頓堀川には一部の汚水が下水管から流れ込むという、いわゆる合流式下水道の構造上の問題がありました。平成の太閤下水によりシャットアウトが可能になり、従前河川に流れていた汚濁物は処理場に送られ、下水汚泥へと変換されます。

汚濁物を取り込む直径6m、延長約5kmという大規模なシールドトンネルを、中之島から東心斎橋、天王寺に至るまで松屋町筋の下部に設置し、平成15年の事業開始後、様々な課題を一つ一つ解決し、目標であった今年に何とか間に合わせることができました。

●大阪市の資源・エネルギー有効活用の特徴

大阪市の技術的こだわりにあたる部分についてご紹介いたします。資源・エネルギーの有効利用の観点から、先人が積み重ねてきた大阪市の技術の特徴として、1つは汚泥集中処理ネットワークの構築があります。12の処理場を汚泥専用のネットワーク管でつなぎ、2カ所の汚泥処理施設に集約しました。併せて、汚泥の焼却施設は近隣住民から迷惑がられることから、影響の少ない臨海部埋立地等に集約し、スケールメリットによる効率化も図ります。もう1つは、高効率型消化法（高温高濃度消化法）を独自に研究開発・導入しています。これによって汚泥の減量化、安定化、施設のコンパクト化というメリットとともに、単位汚泥量当たりの消化ガス発生量が3割程度、増加が得られました。発生した消化ガスの利用方法は時代に合わせ対応してきましたが、昨今ではFIT（固定価格買取制度）などバイオガスへのアドバンテージを活かすことで、先人の残した汚泥有効利用のため技術開発や調査研究が、環境的にも経済的にも大きな財産として引き継がれています。詳細をさらにご紹介します。

●汚泥集中処理の構築

集中処理の考え方から紹介します。現在の市内は市街化し、まとまった空地は見当たらないのが課題としてあります。津守下水処理場を例とし、1940年と2000年で比較すると、60年間で開発が進み、処理場周辺にぎっしり建物が建っています。こうなると、高度処理施設等の整備にもタネ地が容易にない。そこで、考えた末に場内にある汚泥処理施設を移設・集約し、汚泥処理施設跡地をタネ地に使えな

いか、という発想に至りました。また、処理場には汚泥運搬のためのトラックが頻繁に出入りすることになり、周辺地域で騒音、排気ガスが問題となっていました。そこで、処理場間に全長約40kmの送泥専用のパイプを整備し、トラック輸送を止めてポンプで圧送することとし、併せて消化汚泥は処理場6カ所に、焼却等の最終処分は舞洲スラッジセンターと平野下水処理場の2カ所で行うこととしました。さらに、最終処分方法は、汚泥焼却による灰の埋め立て処分をやめ、全量を有効利用する汚泥溶融炉・炭化炉といった資源化施設に切り替えました。

●溶融炉と溶融スラグ

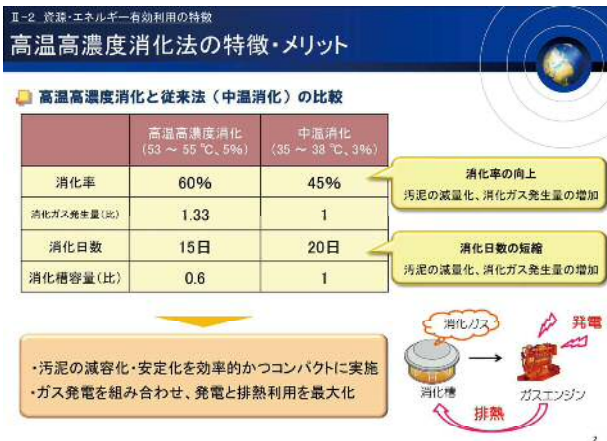
大阪市では汚泥溶融炉を採用していますが、その特徴は、①最終生成物のスラグは建設資材として有効利用が可能、②重金属などの有害物質が溶出することなくスラグ内への封じ込めができ安全性が高い、③脱水汚泥は焼却灰では約8分の1のところ、スラグでは約15分の1まで減容化でき、仮に埋め立て処分するとしても処分地の延命化が期待できることが挙げられます。

●全量汚泥消化と高温高濃度消化法の採用

下水汚泥の処理において、消化プロセスの導入の良し悪しは、全国的に議論のあるところですが、大阪市では議論し尽くした上で、高温高濃度消化法を導入し、全量消化を行っています。大阪市の水処理・汚泥処理場のフローに示す通り、高温高濃度消化法では、最終沈殿池からの余剰汚泥に機械濃縮工程を加え、初沈汚泥と混合することで、従来の3%程度の汚泥濃度を5%にまで濃縮し、高濃度に減容化した状態で消化槽に投入します。併せて消化槽の加温温度を従来の35℃から55℃まで加温することで、生成する消化汚泥が減容化し、以降のプロセスにおいて例えば脱水機等の負荷が35%減る、よって3基必要なところが2基で済む、同様に溶融炉や炭化炉についても15%程度削減可能で、7基が6基で済みます。建設費が1基数十億円となれば、経済上、大きなメリットがあります。

●高温高濃度消化法の特徴・メリット

高温高濃度消化法では、理論上、消化率は60%と15%アップし、消化ガス発生量は約3割増加し



ます。また、消化日数も3/4に大幅に短縮でき、建設する消化槽を小さくできます。機械濃縮の導入や、55℃まで加温する熱が必要となりますが、下田先生のご講演で清掃工場の熱需要のアンバランスをご指摘されていましたが、高温高濃度消化法とガス発電は、ガス発により生じる排熱が高温消化の加温に利用でき、これこそ地産地消の相性がとてもよい、バランスの良い技術の組み合わせとも言えると思います。

●従来法と高温高濃度消化の比較

高温高濃度消化のメカニズムとしては、35℃あたりと55℃あたりに消化率向上のピークがあると教科書には記載されており、この55℃を狙った取り組みです。津守下水処理場の実際の立ち上げのデータをお示しすると、従来の消化から高温高濃度消化へ推移する中で、消化率が45%から60%へ向上し、理論を裏付けるものとなっています。さらに細かな月別推移からも傾向は見受けられますが、高濃度により減容化し十分に加温状態が得られることで、消化工程やガス発生における安定化に寄与するのではと考えています。

<第3章 エネルギー施策の具体的取り組み>

●消化ガス発電事業スキーム

我々が1つ目に取り組んだのが津守下水処理場の消化ガス発電事業です。津守処理場には、千島、市岡2つの処理場の生汚泥も含めて消化するしくみであり、スケールメリットが得やすくなっています。そこで、平成15年度から導入可能性調査を始め、本市初のPFI事業として平成18年4月に事業契約

しました。大阪市はPFI事業者が消化ガスを提供し、PFI事業者は発電した電気と大阪市が消化槽加温に使う温水を市へ提供することで、市からサービス料を受け取るスキームです。PFI事業は、設計から運営、資金調達まで民間のノウハウを使って一括して事業者側が行うため、官でできないことを、民の柔軟さでやれるところが重要だと思っています。全国の下水道事業でのPFI導入実績は9件ほどありますが、当初主流となったのが発電事業で、その後には平野下水処理場のような汚泥固形燃料化などが採用されています。

●津守下水処理場消化ガス発電

事業費は建設に約18億円、維持管理・運営に20年間で約30億円を要します。効果として、エネルギーコストの削減と消化ガスの有効利用による環境負荷の軽減が得られていますが、経済性としては20年間で約18億円が通常の電力会社から電力を購入するより安くなることとなります。津守処理場から発生する消化ガスの95%を無駄なく使うことができ、年間発電量の1,280万kwは、一般家庭3,000世帯分が1年間に使用する電力量に相当します。CO₂削減量は年間4,200tで、大阪ドーム190個分の森林が吸収するCO₂量に相当し、供給熱量は年間6,460メガジュールで、一般家庭4,000世帯が1年間に使用する熱量に相当します。本市初の試みがうまくいったことで、他の下水処理場もPFI事業を活用しようと公募しましたが、ガス発生量の少ない処理場ではスケールメリットが働かず、成立しませんでした。

●大野・海老江・放出・住之江の消化ガス有効利用（FIT制度の活用）

それでも新たな道を模索しつづけ、最終的にFIT（固定価格買取制度）を活用する事業に至りました。FITによる国の後押しを受けることで、規模の小さな処理場でも採算性が確保でき、今回は処理場4つ（大野・海老江・放出・住之江）を一事業にまとめて発注することでインセンティブを働かせました。

消化ガスの未利用量をまとめてみると、消化ガス発電におけるコージェネレーションと高温高濃度消化の相性の良さが見えてきます。放出、海老江、大野では高温消化の加温用に相当量のガスが消費され

ています。逆に津守のようにガス発電を導入することで、加温ガス量は低く抑え、発電に多くを回すこととなります。FIT制度も時勢による移り変わりも予想されるため、条件のよい今のうちに実施すべきと、民間事業者と速やかに条件を整え、契約するに至りました。

2年間で設計・建設、20年間の維持管理・運営を予定し、大阪市は消化ガスの提供、事業者が処理場内の消化ガス発電機で発電し、排熱による温水は大阪市に、電気は電力事業者に売却するスキームです。消化ガス発電機は25kw×30台と660kw×2台の組み合わせが提案されています。

事業効果は、事業期間20年で約66億円という膨大な収入が大阪市に入ります。CO₂削減量は年間1万3,000tにも上ります。FIT制度は全国的にも行われていますが、消化の規模は大きくなく、4,000kwを一気にやって儲けたというのは、大阪商人の血筋といったところがあるかと思えます。

●平野下水処理場汚泥固形燃料化事業

引き続き、固形燃料化事業について紹介します。これは有機物をガス化し、絞りカスというべき消化汚泥ですら低温で蒸し焼きにし、石炭の半分くらいの熱量の炭化燃料に変えてしまう技術です。炭化燃料は火力発電所で発電燃料に利用され、埋め立て処分することなく全量有効利用に値します。20年間という長期にわたり火力発電所への製品としての供給を確保する、これこそPFI事業のメリットとして官では対処しがたいリスクを民間ベースでヘッジする取り組みとなります。建設費は約59億円、維持管理・運営費は約118億円で、炭化燃料の単価は1tあたり100円で買い取りされます。事業効果は20年間で約9億円であり、CO₂も削減されるというメリットが生まれます。低温炭化方式であり、温室効果ガス効果の高いN₂O排出量の抑制にもつながります。

●アナモックス法を用いた脱水分離液中の高濃度窒素除去

消化プロセスのデメリットとして、処理過程で脱水分離液という高濃度のアンモニア性窒素が含まれる廃液が発生することが挙げられます。大阪市では従来、脱水分離液はアンモニア・ストリッピング法

Ⅲ-2 汚泥固形燃料化事業

平野下水処理場汚泥固形燃料化 事業効果

● 事業効果

老朽化施設の更新に伴い経済性と環境性を兼ね備えた汚泥処分を実施

- 経済性 事業期間(20年)で約9億円の事業効果(PFI手法によるVFM:約6%)
- 計画CO₂削減量 約11,500t-CO₂/年
- 炭化燃料由来の電力量 1,230万kWh/年
- 低温炭化方式では、下水汚泥由来のN₂O排出量^{※1}の抑制に加え、燃料化物を石炭代替燃料として利用することで、温室効果ガスの排出が削減される)

※1 N₂Oは、CO₂の310倍の温室効果がある

項目	温室効果ガス削減量
汚泥処理方式の変更による温室効果ガス削減量	約1,500t-CO ₂ /年
石炭代替利用による温室効果ガス削減量	約10,000t-CO ₂ /年
事業全体における温室効果ガス削減量	約11,500t-CO ₂ /年

※削減量の値は事業費算定による (汚泥代替性状態(消化汚泥)、稼働率90.4%)

という物理化学的手法で、いわば力技で強制的に処理していました。アンモニア・ストリッピング法は熱源も必要でエネルギー的にも問題があります。そこで、大阪市では民間企業2社との共同研究を10年間やってきた成果として、アナモックス法という、新たな技術を開発し、現在、平野下水処理場で建設を進めています。事業費が10億円ほどかかりますが、従来のアンモニア・ストリッピング法と比べて、エネルギー等のコストメリットとして年間2.3億円安くなる見込みで、ぜひ成功させたいと思っています。

●管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用に関する実証研究

下水熱の利用は河川水や地熱と同じように取り組みやすいテーマですが、実際にはごく限られたところでしか実現されていません。国としても都市再生特別措置法の改正や都市の低炭素化の促進に関する法などの整備を進め、後押しを進めています。大阪市での共同研究の成果を紹介します。900mm管の中にワイヤーのような管を通して、その中に水を通します。下水道の生下水が流れてくると、冷たい水と温かい下水が管路越しに熱交換し、得られた熱を空調利用しようとするものです。実験では、得られた下水熱を下水道科学館の空調に利用しましたが、成果として維持管理費は抑制でき、CO₂削減効果もあります。ただし、建設費を含めた経済性では課題が残り、これもFIT同様の経済的インセンティブが適用されるのであれば、普及するポテンシャルがあると考えられます。

<第4章 エネルギー施策と経済的評価>

●消化ガス発電事業の推移・経過

最後に経済的評価について触れたいと思います。大阪市の消化ガス発電は平成8年度から、まず中浜で直営で行いましたが、消化ガス単位当たり事業効果は6.5円でした。次に平成19年度にPFIに取り組み12円に、平成29年度にFITを採用しつつさらに21円にまで向上が図られました。必ずしも初めから順調とまでは言い切れませんが、試行錯誤しながらも常に下水道のあるべき姿を求めてきた結果として、最終的にFITに至ることで、CO₂発生を大幅に削減しつつ66億円の収入を得るという、環境的にも経済的にも価値のある大ホームランにつながったのではないかとというのが私の感想です。もちろん、大阪市単独でなしえるものでなく、国の後押しや企業との協働等が不可欠ですが、常日頃からの方向性・姿勢が結果につながっていると考えています。

●消化ガス発生量による評価

高温高濃度消化の評価としては、統計資料上、全国的に占める大阪市の汚泥量は約5.6%にも関わらず、消化ガス発生量は約12%を占め、他都市に比べ効率的なガス発生量を確保できているのは、汚泥集約化や高温高濃度消化法に取り組んできた成果だと考

えています。

●経済性効果、CO₂削減効果

最終的に経済性効果、CO₂削減効果を合計で評価すると、経済効果は年間7億円程度、CO₂削減量は年間3万1,000tとなり、大阪環状線が囲む面積は約3,000haの1.5倍分程度の面積に木を植えたときに吸収できるCO₂量と評価できます。

●おわりに

今年の春に米国水環境連盟のエド・マコーミック会長が来日し、大阪市にもお越しいただき、下水道とエネルギー施策について意見交換させていただきました。マコーミック会長は、大阪市の消化ガス有効利用の取り組みについて方向性を評価し、今後のポテンシャルとして食品廃棄物も含めた消化プロセスの発展に期待したいとのご意見でした。

もう1つのマコーミック会長の指摘は、オー克蘭ドでも最も問題になるのが臭気とトラック輸送による住民苦情の問題で、大阪市がトラック輸送をやめ、汚泥処理場を沿岸部に集約するとりくみは、世界的にも共有できる技術であると認識できたことも加えてご報告させていただきます。

ご清聴ありがとうございました。

参考1 温室効果ガス抑制の取り組み事例
脱水分離液処理施設整備 事業概要

■ 事業概要

事業名称	脱水分離液処理施設整備事業
事業実施場所	平野下水処理場
事業内容	高濃度の窒素含有排水（脱水分離液）の高効率の窒素除去技術 全体計画 2,700m ³ /日（第1期1,350m ³ /日）
事業期間	平成25年度～平成30年度【設計・建設・運転管理（2年）】（第1期） →平成31年度以降、大阪市内で運転管理
事業費	約14.2億円 【設計・建設】約13.6億円 【維持管理・運営】0.6億円/2年間

■ 事業効果

- 脱水分離液中の高濃度窒素に新技術・アナモックス法を全国に先駆け導入
- 高濃度窒素の効率的な除去が可能
- エネルギーコストメリットは約2.3億円/年 ※
- CO₂削減効果は約2,700t-CO₂/年 ※

※従来法との比較による見込み(全体計画値)

IV エネルギー施策と経済的評価
経済性(コスト)効果 / CO₂削減効果

■ 実施事業の効果(見込み値)

	津守(旭) 消化ガス 発電事業※1	大野(旭) 他3か所 消化ガス有効 利用事業※2	平野(旭) 汚泥固形 燃料化事業※3	平野(旭) 脱水分離液 処理施設 整備事業※4	合計
コスト 効果	約18億 /20年	約66億円 /20年	約9億円 /20年	約2.3億円 /年	約6.9億円 /年
CO ₂ 削減 効果	4,200 t-CO ₂ /年	13,000 t-CO ₂ /年	11,500 t-CO ₂ /年	2,700 t-CO ₂ /年	31,400 t-CO ₂ /年

・年あたりの経済効果は 約6.9億円
・年あたりのCO₂削減効果は 約31,400トン
⇒ 約4,800haの森林が吸収するCO₂量に相当
(大阪城公園約106ha、大阪環状線が囲む面積約3,000haと比較としても効果は大)

※1 平成24年度の実績値 ※2 既存処理施設との比較
※3 発電される発電電力(約2,580万kWh/年)に基づく削減量
※4 汚泥処理方式の変更及び低炭素燃料としての有効利用に基づく削減