



「ゼロカーボン社会実現と下水道における嫌気性消化システムの活用」

日本下水道施設業協会協力

- 1 日時場所 令和3年11月11日（木） 馬事畜産会館 東京都中央区新川 2-6-16 2F
- 2 開催方法 オンライン方式を基本とし、一部会場参加の形態
参加者規模 会場参加 30 名、オンライン参加 80 名

3 開催主旨

地球温暖化の諸現象を受けて国連 SDG s の取組みが期待される中、わが国においてもゼロカーボン社会の実現に向けての政策目標が明らかにされつつある。当水倶楽部ではこれまで、「21 世紀の消化技術を考える」(2012.10.12)、「再生可能エネルギーの活用現場をめぐる」(2013.11.21)、「他分野、他国から学ぶバイオガス利用」(2015.11.20) で、下水道におけるバイオガス利用の課題について議論してきた。今回は、下水道における嫌気性消化システムが、従来の消化ガス発電という領域を超えて、ゼロカーボン社会の実現にどのような貢献ができるのか、各界の専門家の先生をお呼びしてご講演をいただく中で消化システムの有効活用に取り組む自治体からの発表もいただき、今後の本課題の展望について広く意見交換をしていただく。

4 プログラム (案) 13:30 ～16:30

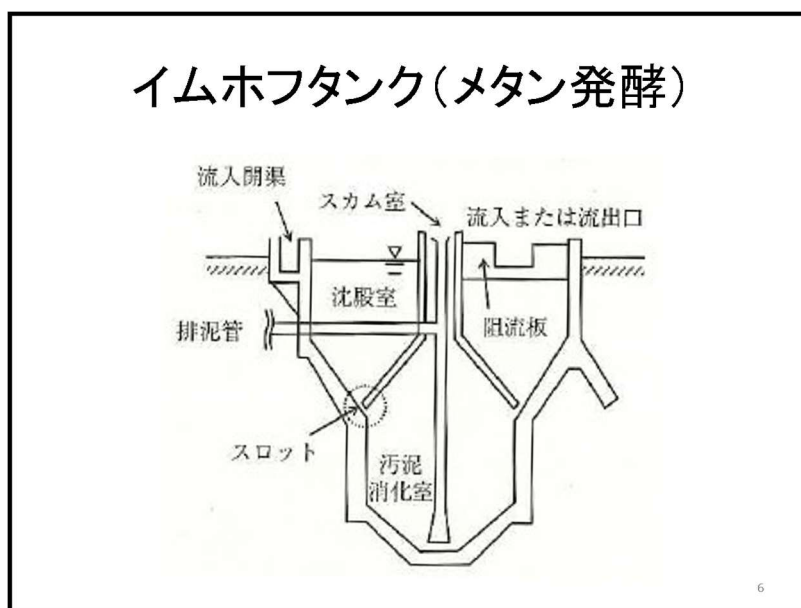
- | | |
|--|---------------------------------------|
| 13:30 開会（開場 13:00）司会 注意事項等説明 | 21 世紀水倶楽部理事 秋山礼子 |
| 13:35～13:40 挨拶 21 世紀水倶楽部理事長 栗原秀人 | |
| 13:40～14:00 講演 「汚泥消化システムの効用を探る」 | 21 世紀水倶楽部 佐藤和明 |
| 14:00～14:30 講演 「ゼロカーボン社会に向けた Power to Gas の役割」 | 日本エネルギー経済研究所新エネルギーグループマネージャー研究主幹 柴田善朗 |
| 14:30～15:00 講演 「余剰電力由来の水素を用いたバイオガスの高品質化について」 | 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻准教授 大下和徹 |
| 15:00～15:30 講演 「神戸市におけるバイオマス活用事業の展開」 | 神戸市建設局下水道部計画課水質計画担当課長 児玉かな |
| 15:30～15:45 休憩 質問事項受付 | |
| 15:45～16:45 総合討論（質疑を含む） | コーディネータ：21 世紀水倶楽部 佐藤和明 |

汚泥消化システムの効用を探る

NP021 世紀水倶楽部 佐藤和明

脱炭素（ゼロカーボン）社会の実現という将来目標を考慮したとき、下水道は、下水の収集、処理に係るエネルギーをどう低減あるいは調達していくのかという命題に取り組むことになる。このとき、汚泥中の有機物（炭素）をメタンと二酸化炭素のガスに変換するという処理原理により、下水汚泥の減量と安定化を達成してきた嫌気性汚泥消化法に大きなヒントがあるように思える。本発表では、世界ならびにわが国での汚泥消化法の適用の歴史、消化ガスの利用の経緯を概観する。

下水道の起源は遠くローマ時代あるいはもっと前の時代まで遡ることができるが、下水処理を伴ういわゆる近代式下水道は欧州とくに英国において産業革命の時代を経て発達してきた。初期の下水処理としては広大な下水畑を使う灌漑法、あるいは2週間ほど下水を貯めておくセプティックタンク法、石灰を使って下水を浄化する化学凝集沈殿法などが適用されてきたが、処理施設のコンパクト化という観点も入って、連続流の沈殿池で浮遊物を沈殿除去し、その沈殿物（汚泥）を嫌氣的に分解安定化する方法が一般化することとなった。その初期のものが、Travis タンクで。1903 年にロンドンで 10,000 人用の 2 階槽が建設された。上部の沈殿部分は 200 m³ の容量で沈殿時間は約 5 時間、下部の消化室の容量は 180 m³ であったとある。しかし、この Travis タンクでは汚泥の嫌気性消化つまりメタン発酵は十分でなかったようだ。ドイツのエムシャー下水組合の Imhoff 博士によりこの 2 階タンクは改良され、消化室で汚泥が 60 日から 90 日の長期間貯留されることにより、汚泥の嫌気性消化が確実に実施されることとなった。消化汚泥は定期的に引き抜かれ、砂地の上で脱水、天日乾燥が行われる。現在でもこのイムホフタンクは世界の小規模下水道施設で用いられている。



改めて汚泥消化技術の歴史を並べてみると、この図のようになる。

汚泥嫌気性消化の歴史	
消化プロセス	消化ガス利用
1903 Travisタンク(英国)	1896 照明とボイラの加温(英国)
1906 Imhoffタンク(ドイツ)	
1920s 分離型消化タンク(英国, 米国)	
1925 加温式消化タンク(ドイツ)	
1930s 高温消化	1930 ガスエンジン、発電
1954 連続攪拌高率消化	
1956 卵形消化タンク(ドイツ)	1959 ガスタービン発電(英国)
1996 MAP法による脱離液からのP,N回収(日本)	2002 燃料電池発電(日本)

前掲書「下・廃水汚泥の処理」および野池達也編著「メタン発酵」技報堂出版 2009 より作成

Travis タンク、Imhoff タンクに続いて水処理とは別個の分離型汚泥消化タンクが 1920 年代にでき、これに加温と攪拌も付加され 1950 年代に現在用いられている消化タンク技術が出来上がることになる。こうした汚泥消化の歴史に、私なりに最近の事例を青字で加えてみた。一つは 2012 年の当水倶楽部研究集会でも紹介された燃料電池の導入である。

下水道界では欧米での適用例は非常に限られているようで、騒音振動がない、また NOx を含む排ガスの問題がない、大変環境に優れた次世代型ともいえる燃料電池の適用はわが国においてもっと推進してもよいのではと考えられる。

次に消化脱離液からのリン、および窒素の一部を回収できる MAP 法の適用である。これもわが国での適用例が早く、エネルギー回収とともにリン資源の回収も重要な課題であるので、嫌気性消化プロセスでリンの回収が行えることは注目すべきことと思う。

演者は 1975 年、昭和 50 年より 8 年間ここに示す下水道事業調査費の課題に取り組んだ。この直前の昭和 48 年はエネルギーショックの年でもあり、東京のネオンも消えたという時局であったが、本当に時宜を得た研究調査テーマを担当させていただいた。この調査の主題は、わが国で消化ガス発電が十分適用できるのか、ということであった。その答えは然りであり、通常の標準活性汚泥法の処理場では、その消費電力量の約 3 分の 1 の電力回収が可能というものであった。

汚泥消化によるエネルギー回収に関する調査 (1975-1983) 調査成果 土木研究所報告172号

- 日本の汚泥はガスが十分出るのか
vs%の高い初沈汚泥のガス発生量は十分高い
- 消化ガスでどの程度の電力回収が可能か
標準活性汚泥法の消費電力の3分の1程度の電力回収可能 ←シミュレーション計算およびガス発電実証実験(メタヒア実証実験 科学技術庁と共同 1980-1981 北九州市日明処理場 200kWガス専焼エンジン)
- ガス発生量の季節変動はあるか
冬期に高く夏期に低くなる
- ガス発生量増大技術
余剰汚泥への前熱処理技術の効果を確認

28

本日は、Power to Gas すなわち再生可能エネルギー起源の電力をガスに替えてその利用の便益を図るということの議論を聞かせていただくが、ここに示すのはその反対の Gas to Power すなわち消化ガスのエネルギーを電力に変える技術、下水道におけるガス発電技術の標準的なエネルギーバランスを示している。1 m³の消化ガスは大体 6,000 kcal、これをガスエンジンで電力に変えると熱効率は大体 30%、1 kWh の電力のエネルギーは 860 kcal であるで、1,800 kcal の電力エネルギーは約 2 kWh となる。1 m³の消化ガスは 2 kWh の電力量になると覚えておくと便利である。しかしこのエネルギー収支の図で大事なのはエンジンの廃熱を回収して消化タンクの加温に充てている点である。電力エネルギーへの変換効率 30%と廃熱回収の 40%、あわせて 70%の効率でエネルギーが有効利用されるシステムとなる。このシステムをコージェネレーションと言うが、コージェネレーションによって高い効率でエネルギー回収を行うというのが消化ガス発電のキーポイントである。

コージェネレーションによるガス発電

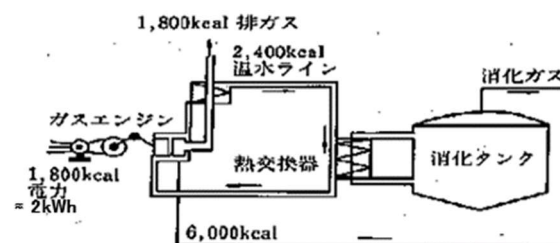
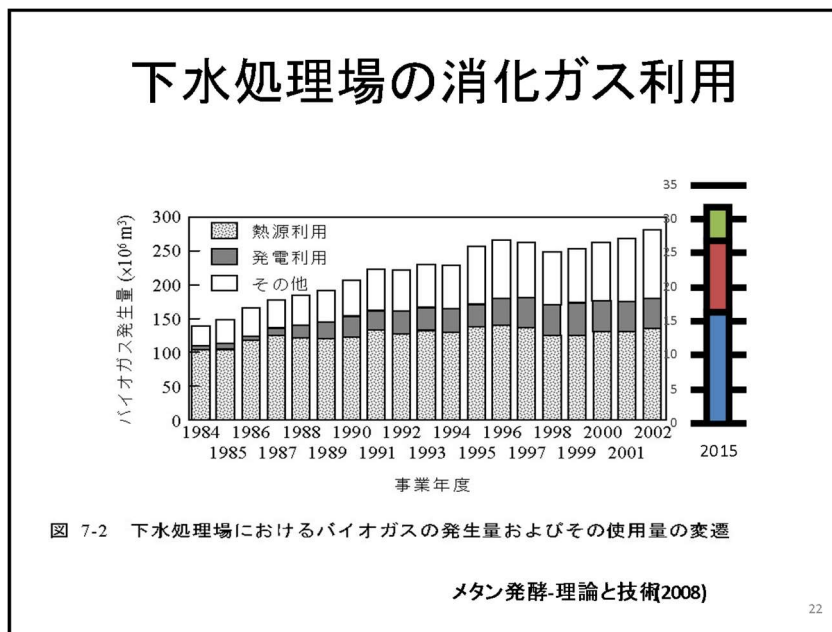


図-4・1 ガス発電システムの全体フローと消化ガス
1 m³の熱量の標準的な使われ方

土木研究所報告第172号(1987) p.40

図に示すのは、わが国の下水道消化ガス量の経年変化であるが、1980 年代の年間 1 億 5 千万 m^3 から徐々に増えて 2000 年には 2 億 5 千万 m^3 を超えている。また消化ガス発電に利用された消化ガス量も 4 千万 m^3 を超えることとなったが、暫く足踏み状態であったことが分かる。



この消化ガスの発生量、利用量の最近のデータを右側に示す。

真ん中の赤で示した消化ガス発電に利用された量はこの 15 年間で 2 倍以上に伸びた。現在約 1 億 m^3 の消化ガスにより約 2 億 kWh の電力が生産されている。

この間やはり FIT 制度の導入により消化ガス発電が経済的にあうという状況になったので、各所で消化ガス発電を始めたということによっていると思われる。最近の国交省データによれば 100 箇所以上の箇所で消化ガス発電が実施されている。2000 年までの 20 か所程度という状況から随分と変わってきている。

この表は消化ガスならびに関連するガス成分の熱量を示している。消化ガス即ちバイオガスの熱

量価は 1 m^3 当たり 5,000 から 6,000 kcal であるが、これは熱量価 8,580 kcal のメタン濃度に因っていて、60%で 5,000 kcal、70%で 6,000 kcal と言うことになる。私たちが日常使用している都市ガスは、天然ガス由来の 13A が一般に使用されており、これは、メタンが主成分で、その熱量価は 9,920 kcal、メタンの純ガスより少し高いものになる。

消化ガスの熱量価

表 7-2 各種ガスの熱量価（低位発熱量）

ガスの種類		低位発熱量, kJ/Nm^3 (kcal/Nm^3)	
バイオガス		21,000–25,000	(5,000–6,000)
メタン		35,900	(8,580)
プロパン		93,300	(22,280)
都市ガス	13A	41,540	(9,920)
	6A	27,170	(6,490)
	5C	16,800	(4,010)
ガス成分の例			
13A: メタン 88.5%, エタン 4.7%, プロパン 5.2%, ブタン 1.6%			
6A: プロパン 0.4%, ブタン 6.0%, 酸素 16.3%, 窒素 61.6%			
5C: 水素 45.5%, 一酸化炭素 3.3%, メタン 11.1%, ブタン 6.0%等			
水素 H ₂		10,800	(2,580)

メタン発酵-理論と技術(2008)

23

それでは一方、本日議論される水素はどうかというと、下の欄に示したように 1 m³ 当たり 2, 580 kcal、メタンに比べ 3 分の 1 以下のカロリーである。これは本日の Power to Gas の議論にも関係してくるので要注意である。

ゼロカーボンの目標を見据えると、どういうことが下水道に必要となるのだろうかということをもとめてみる。最もわかりやすいのは、バイオガス生成量の増加で、一つは地域バイオマスの受け入れと言うことがある。ここで忘れてはならないのが、家庭生ごみを下水道管網を利用して収集する、つまり直投型ディスポーザ適用の方策である。私ども SKG 部会の主要な課題となっているので強調しておきたい。ガス発生増加技術としては、熱処理法なども考えられるが、最初沈殿池の効率を上げるということも一方法である。そして、これからの時代、他の再生可能エネルギーとの組合せ、太陽光発電、風力発電との組み合わせによる安定したエネルギー需給システムの創造といったことが、バイオガスの有効利用の領域で検討されることが十分予想される。それが Power to Gas であり、続く二つの講演ではこの項目についてお話いただき、最後の講演ではまたこの全体に対する実施例について紹介いただく。

以上、演者からのイントロの話とさせていただきます。

ゼロカーボンの目標を見据えて

バイオガス生成量の増加

- ・他のバイオマスの受け入れ
家庭生ごみ、食品産業、刈草・水草
- ・ガス発生増加技術の適用

電力変換効率の改善

- ・燃料電池の適用

他の再生可能エネルギーの導入・組合せ

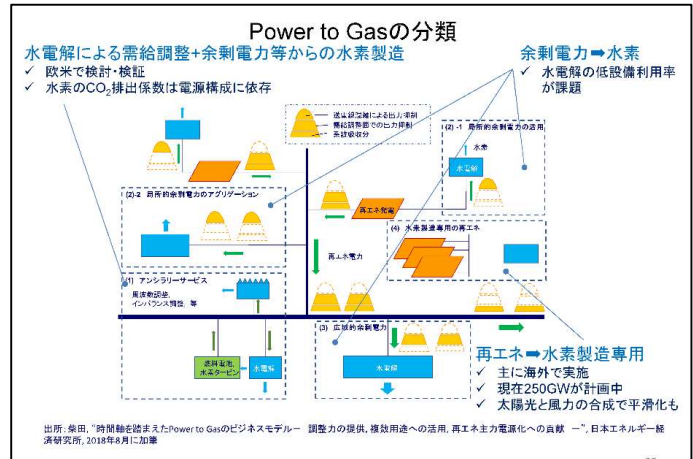
- ・太陽光発電、風力発電との組み合わせによる
安定したエネルギー需給システムの創造

「ゼロカーボン社会に向けた Power to Gas の役割」

日本エネルギー経済研究所新エネルギーグループマネージャー研究主幹 柴田善朗

1) PtG の分類

Power to Gas (以下、PtG) は、再生可能電力から水素を作り出す技術で、色々なパターンがある。電力系統に繋がず、再エネからの水素製造 (右下) は主に海外で実施されており、余剰電力からの水素製造 (右上) が最も素直な方法であるがコストが高くなる。そこで、余剰電力から水素を作ることと、電力系統の安定性のために水電解による需給調整を合わせる (左上) 検討が進められてきている。

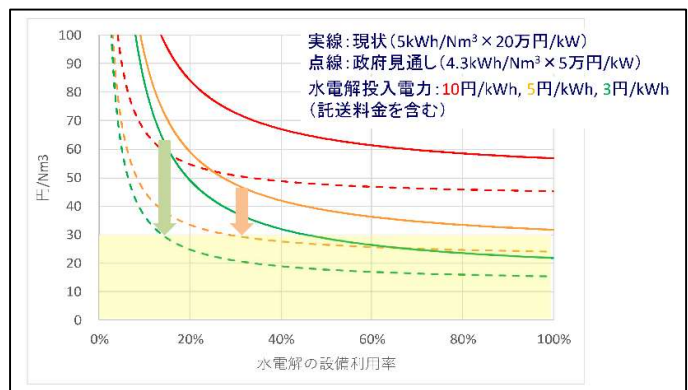


2) 余剰電力

余剰電力がどうして出るかであるが、再生可能エネルギーの「kW」を上げて、そのまま全量が「kWh」にはならず溢れる。まずは、エネルギー貯蔵技術 (蓄電) での対応であるが、それでもダメなとき水電解で水素に変えていく方策がある。次に、どの程度の余剰電力が見込まれるかについて、再エネの規模が大きくなるほど余剰電力量も大きくなる。様々な推計があるが、例えば再エネ比率 50~60%では、全国で約 220Tkw の余剰電力が見込まれる。単純計算では、440 億 Nm³ の水素製造が可能で、燃料電池自動車 4, 400 万台に相当。日本の乗用車は約 5, 000 万台であり、かなりの量であることがわかる。

製造可能量は十分に大きい、その製造コストが課題で、設備利用率が小さいと製造コストは高くなる。いかに安い余剰電力を仕入れるか、設備を高稼働させること、設備の建設費を下げていくことが必要になる。このような条件を満たせば安価な水素が製造できることになる。

“余剰電力=タダ” という考えは規模が小さければ成り立つ可能性があるが、小規模という事は発生する量も頻度も小さい。例えば、秋・春は余剰があるけど夏・冬は余剰が出ないとなれば、水



素製造設備の稼働率が小さく設備投資をしても回収できない、つまり電力をタダで得られたとしても、水素コストは高くなる。一方、再エネ事業者の立場からは、余剰電力（売れない電力）が多いというリスクがあると、設備投資しなくなる。つまり、「余剰電力をタダで引き取る」という考え方をしていると実現しないので、余剰電力をある程度の価格で購入する仕組みが必要。水電解（水素製造）の観点からは、安価な再エネの安定受給が重要で、再エネのコストダウンは必須となる。

3) 水電解水素製造コストの削減策

背景として「余剰電力のみの利用では水素製造コストは高い」があるものとして、

対策1：設備利用率向上と調達電力単価抑制の組み合わせ

水素製造設備の稼働率の向上が水素製造コストの削減に必要であると同時に、調達する電力単価の抑制を組み合わせる。通常、ビル等で契約している買電ではなく、卸売電力価格は再エネ電力の割合が高い時間帯は安価（タダに近いことも）となるので、それをなるべく拾う。逆に、天然ガスや石油に起因する電力割合が多い時間帯（100 円/kwh など）は水電解の設備稼働率を下げるなど、オペレーションの最適化を図るという対策が考えられる。100%再エネの Green 水素とはならないものの、初期需要や市場創出の方策としてあり得る。フランスや北欧のように電源の脱炭素化が進めば Green 水素となる。

対策2：水電解を複数用途に利用

水電解を、水素を作るという目的だけでなく他の用途にも使うことでコストダウンを図る。例えば、電力需給バランスが崩れると停電等の障害が生じるため、電力の安定化を図る（デマンドレスポンス）ことで、対価を得るという方法がある。

いろいろなアイデアがあるので、そこから始めるという事が大事。

4) 作った水素をどうするか

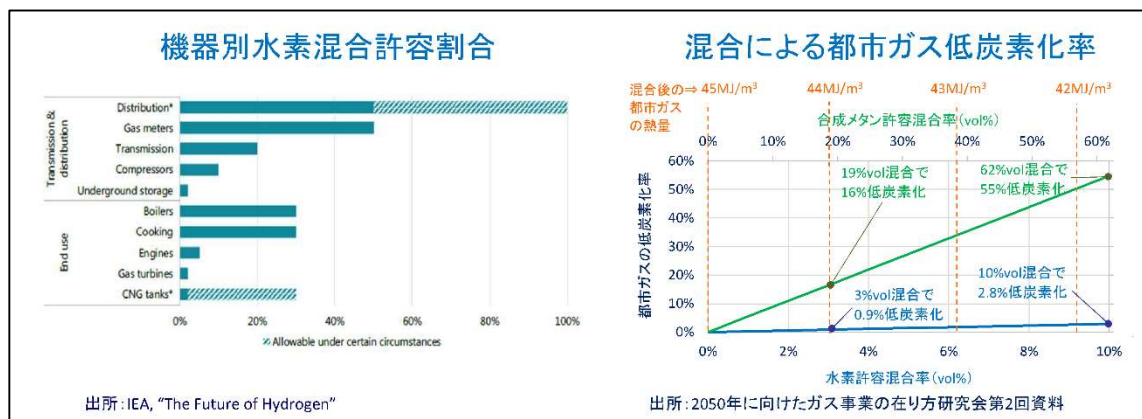
日本（赤）の戦略は、海外から大量に水素を持ってきて火力発電等に使用するという最初から大規模狙い。欧州（緑）は国によっても異なるが、小規模（半導体など）の化石燃料由来の高い Grey 水素を使っているところに Green 水素を供給していく戦略。徐々に市場拡大しコストダウンに繋げる狙い。

既存の水素利用は少なく、現状ではボンベ等で運搬。水素をエネルギー用途として

使うには、水素運搬が現状のままでは大変で新インフラが必要となる。そこで、欧州の考え方としては、既存インフラ（ガス管）が使えないかということになるが、ガス会社は嫌がる。再エネ由来という事で時間的変動があり、メタンと水素では熱量なども違うので、地理的・経年的に混入率が変化すると、運用が非常に大変になる。そのため、ガス会社としては、水素に CO2 をつけてメタンにして、都市ガスとして供給していこうとしている。合成メタンと都市ガスの熱量は似ているので



混入率が大きくできて、低炭素化効果も大きい（緑の線）。一方、水素は熱量が小さく、少量しか入れられないし脱炭素化効果も少ない（青の線）。



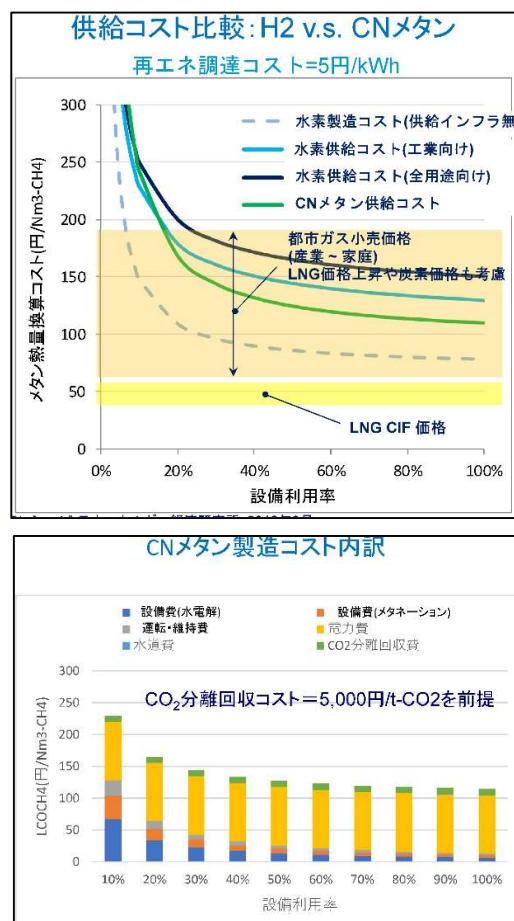
5) メタン製造

「だからメタン」という考えになるのだが、水素からメタンを製造となるので、当然、水素よりも製造コストは高くなる（点線が水素、緑線がメタン）。条件はあるが、メタンの場合は既存のインフラを利用できるというのがメリットであり、水素の場合は供給用のパイプラインも必要となるので供給価格としてはメタンよりも高くなると考えられる。

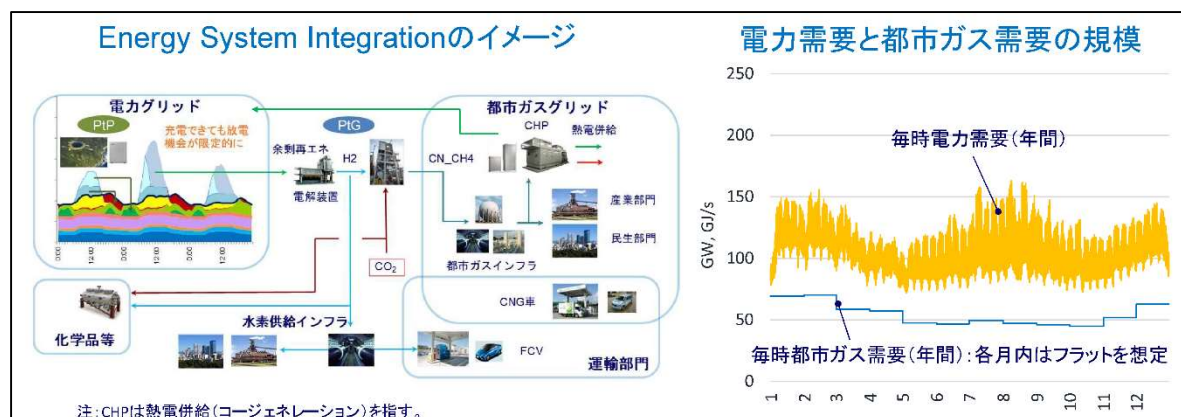
メタンを作る時のCO₂は、石炭・ガスの火力もあるが、カーボンニュートラルの観点では、空気から直接回収するDAC（Direct Air Capture）は高価であるし、バイオマス由来CO₂が重要なファクターであろう。バイオマス発電からの排出CO₂濃度は石炭・天然ガスの場合と比べると低濃度と思うので、コストは高くなるかもしれないが、CNメタン製造コストのグラフの通り、CO₂分離回収コスト（緑）の占める割合は小さいので若干高くなってもインパクトは小さく、電力費（黄）をいかに下げるかが課題。消化ガスのCO₂は濃度が高く有効活用すべきであり、コラボできると思う。

6) PtGの動き

PtGでのメタン製造は、世界中で50か所程度の実証試験（終了含む）がなされており、メタンにとどまらず液体燃料等も検討されている。メタンか水素かという議論の余地はある。左の図は電力グリッド（系統）からあふれた再エネを水素に変換して、都市ガス系統、運輸部門の燃料電池、ケミカルに使うなど様々で、いろんなセクターを繋げる「Energy System Integration」という考え



方であり、電力だけだと余剰が出るためガスに変えて他で活用するという形で、再エネを大量に受け入れることができる。例えば右の図は、日本の毎時の電力データ（オレンジ）と、都市ガスの月別データ（青）であるが、熱量でみて概ね 2:1 の割合で使用されており、余剰再エネを水素にして吸収するということが可能となる。



PtG は、電力とガスを繋げる技術であり、欧州では、実用化はしていないものの、電力会社、ガス会社、エネルギー会社の手を組んだ協働の動きがある。

7) まとめ

脱炭素化、電力やガスのシステム改革、再エネ、水素利用などの様々な動きの中で、PtG という技術や Energy System Integration が中核になる。日本ではまだアイデアベースであるが今後必要である。

日本では再エネが多く入らないのではという風潮が多く、海外からいかに大量の水素を輸入するという状況であるが、輸入水素にはリスクがある。世界中で 2050 年ゼロカーボンを目指していく中で、例えば CCS（Carbon dioxide Capture and Storage）つまりグレーな水素（化石燃料由来の水素）をブルーにするために CO2 を回収・貯留するものであるが、CCS や再エネの資源を自国のために使用していくことになると、日本への水素輸出候補国において、自国での利用と競合することになり、簡単には安価な水素が輸入できなくなる可能性もあるので、国内でも PtG を推進すべきというのが私の意見。

最後にまとめると、PtG は変動する電力をいかに馴染ませるかという対策の一つで、蓄電技術を否定するものではなく、協働していくもの。ビジネスを育てるには、短期的には市場制度設計も必要で、水電解を電力システムでいかに使っていくか（Grid Service）を進めることも重要。最終的に国内で大量に使っていくには、再エネコストの大幅低減は必須。

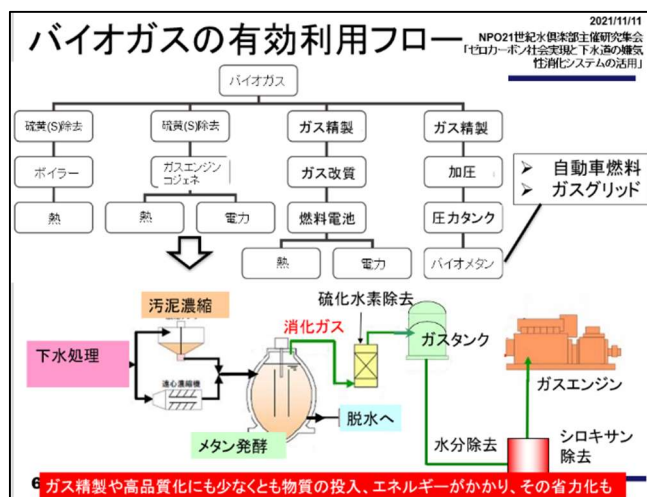
さらに、あまり論じられないことであるが、PtG において水素からメタン生成の形は、水素に比べメタンは貯蔵しやすいという特徴があり、長期貯蔵や備蓄の概念に繋がる。すなわち、エネルギーの安定供給、レジリエンスに関係してくる。足元（国内）で実施していくことが重要であり、多少高くても国内でまわすという関連産業育成が必要であり、win-win が保てると考える。

「余剰電力由来の水素を用いたバイオガスの高品質化について」

京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻 准教授 大下和徹

バイオガスの有効利用

メタン発酵によるバイオガスには、メタン60%と二酸化炭素が40%含まれていて、これらを使っているようなエネルギー利用が考えられる。下水汚泥だけでなく最近のごみの分野、特に厨芥のメタン発酵も進みつつある。バイオガス生成量でヨーロッパをリードするのはドイツで、エネルギー作物と家畜糞尿によるものが大きい割合を占める。UKとイタリアはごみを直接埋め立てるので、埋め立て地ガスを発電に利用している。日本では下水汚泥が一番多く、次いで食品工業残渣によるものである。生のバイオガスには、メタンと二酸化炭素のほか、硫化水素、シロキサン、水分が含まれる。バイオガスの有効利用は、古くはボイラーで燃やし熱として使うことが基本であったが、最近はガスエンジンでコジェネして、発電を行い熱も取る形が普及している。燃料電池のような使い方もあるが、ガス精製や改質が必要となる。さらに神戸市さんのように、しっかり精製してバイオメタンとして自動車燃料に使う道もあるし、導管注入ということでガスグリッドの方に注入することもある。ガス導管注入では、ヨーロッパ各国とも硫化水素やシロキサンに規制をかけている。バイオガスを利用するには精製が必要であり、そういうところにもエネルギーやコストがかかる。



H₂S、シロキサンの除去

H₂Sは有機物に含まれる硫黄が還元分解されて発生する。物理化学的な除去方法としては、鉄塩と反応させて硫化鉄を作ることにより取り除く。コンパクトで判りやすいが、単価が高く処分も必要である。もうひとつは生物学的な手法で、硫黄酸化細菌を用いる。バイオガスに少し空気を添加し、循環水を降らせて栄養塩を入れて硫黄酸化細菌を繁殖させ硫化水素を硫酸にまでもっていく。シロキサンも同時にとれる。こういった方式が比較的経済的でこれからの方式としてよいのではないかと考えている。シロキサンは、シャンプーリンスに含まれるものが生活排水経由で下水道汚泥に入ってから消化ガスに移行する。発電機内で燃えるとSiO₂が残ってしまい、それがガスエンジンの損傷の一因となる。活性炭をガスエンジンの前に設置すると除去できるのが判っている。ただし、そこに不純物や水分が残っていると活性炭の能力が低下しコストアップの要因となる。

CO₂の分離

固形性の有機物からメタンガスになってゆく過程は、加水分解、酸発酵、酢酸発酵、最終的にメタン化という4段階のメカニズムで進む。酢酸からメタンができるルートと、水素から出来るルートの2つのルートがあるが、通常メタン発酵はこの2つが同じタンクの中で、同時並行で起る。ここでCO₂が出てくるが、ガス導管注入とか自動車燃料として利用するにはCO₂を分離しなければならない。

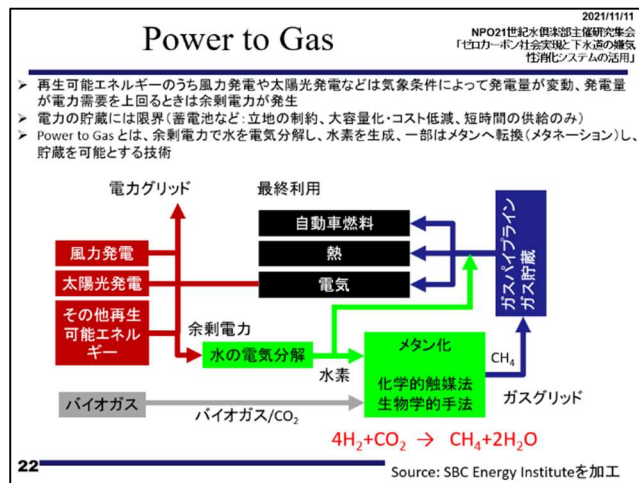
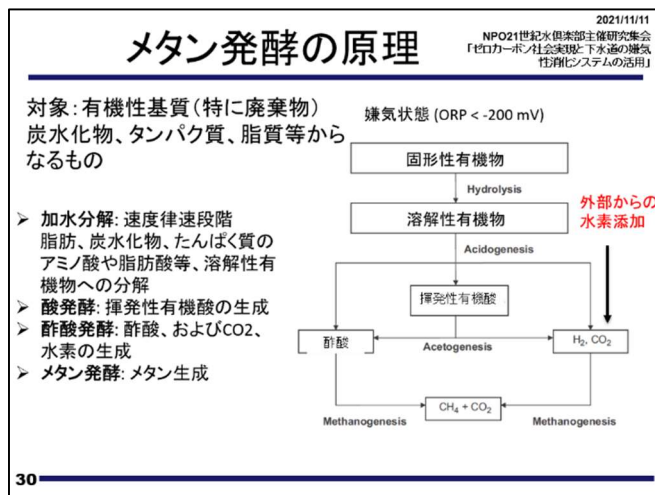
分離法としては膜分離や、神戸市で採用している高圧水吸収のほか、物理吸収、化学吸収、圧力スイング吸着、極低温処理などの手法がある。それぞれに利点欠点があり、ヨーロッパでは、高圧水吸収と化学吸収の二つ、これに次いで膜分離の採用事例が多いようである。

分離したCO₂の有効利用については、単純にドライアイスとして使用、ビニルハウスに入れて(800ppm程度)植物の発育を促す、CO₂の炭酸カルシウムとしての固定などもあるが、ここで「Power to Gas」によるバイオメタネーションが登場する。

バイオメタネーション

デンマークがバイオメタネーションで先行し、パイロットレベルでの研究が進んでいる。太陽光・風力・バイオマスによる電力供給と電力需要の間にはギャップがあり、余剰電力が発生するが、余剰電力を電力として貯蔵するには限界がある。余剰電力で水電解をして水素を作っても、水素ではハンドリングが悪いので、メタンへ転換する技術が注目された。バイオガスの中にはCO₂が残るので、余剰電力由来の水素と組み合わせ下の反応式(4H₂+CO₂→CH₄+2H₂O)を生物学的に起こす。こうして余剰に出てくるCO₂をうまくメタンに変えて利用する技術である。

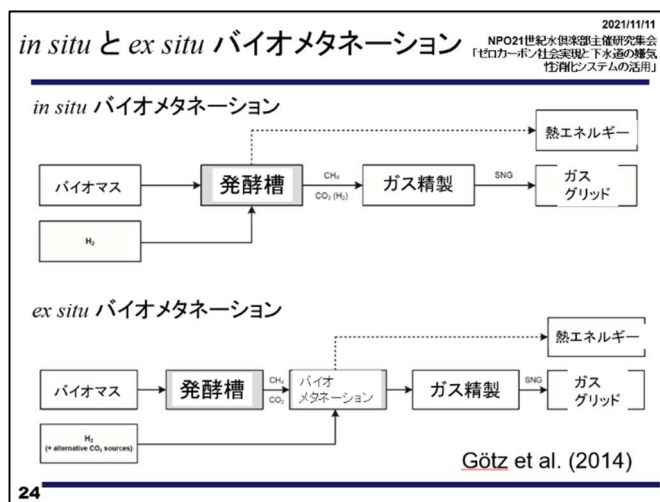
バイオメタネーションは2種類あり、発酵槽に直接水素を投入するのが*in situ*(イン・サイチュ)バイオメタネーション。発酵槽の中でいろんな反応を起こしながら、水素とCO₂の反応も加速させて高濃度のメタンを得る方法である。もう一つは*ex situ*(エックス・サイチュ)バイオメタ



ネーションで、発酵槽からバイオガスが出てきたところに反応器を作ってそこに水素を入れる。発酵槽の後に水素と CO_2 の反応だけに特化したような反応器を作りメタンの濃度を上げる方法である。

どちらもラボ／パイロットレベルでの研究がなされているが、*in situ* の場合水素の転換率が 80% ぐらい、*ex situ* では MAX99% 程度である。

この技術の目指すところは、バイオガス中 CO_2 の有効利用。ガス高品質化を簡略化することであり、 CO_2 を分離せずにメタンに転換する。バイオメタネーションと呼び方については、これでもよいと思うが、普通の嫌気性消化、メタン発酵でもバイオメタネーションであるので、Biological Biogas Upgrading (BBU) の方がふさわしい呼び方だと思う。



2050 年のエネルギー供給

バイオマス発電で 1kWh 発電すると、それは間接的に電力を減らしていることになり、現在では 470 g の CO_2 削減に換算できる。これが仮に 2050 年に電気のカーボンニュートラルが達成されてしまうと、どれだけバイオマス発電しても温室効果ガスの削減量への寄与率は 0 になる。そんな中でどうやって温室効果ガスの削減に寄与してゆくか？ エネルギー需要全体では、電力より非電力の分野の方が多いため、ここにバイオガスを用いて、非電力分野エネルギーのカーボンニュートラル化に寄与するということであれば、下水処理場としてもさらに脱炭素に貢献できるだろうと思う。

メタン発酵の制約

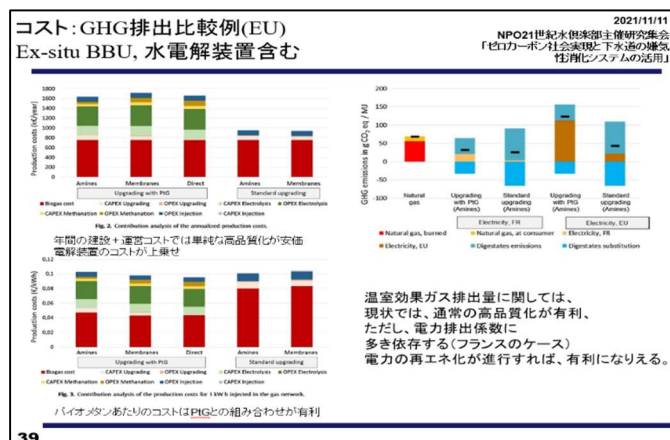
メタン発酵は 4 段階の反応が同じタンクの中で同時に進む。*in situ* の場合、外部から水素を添加することで全体としてのバランスが崩れないか、という心配があるが、実験結果では、水素の添加は酢酸がメタンになるのを阻害しないが、酪酸がメタンになることを阻害することが判っている。脂肪酸、酪酸みたいなものが分解するためには 水素分圧がある程度低くなければならないという制約と、一方、メタンが出来るためには水素分圧が高くなくてはならない。この二つの反応の間のバランスする水素のエリアがあって、それ以上に水素を投入すると阻害が起こってしまう。一つの提案としては、酢酸を作るところまでしっかり反応させて、メタンの生成のところと二槽に分けて、メタン生成のところに水素を投入するのが良いと思っている。

ex situ の方式はあまり情報がないが バッチ型、膜型、担体型、ばっ気型 4 種類の反応器が提案されている。日本ではほとんど研究が行われておらず、我々もこれから進めたいと準備をしているところある。

BBUのコストについて

膜や CO₂ 高圧水分離など単純なバイオガスの高品質化に比較すると、電解装置が入って来るので当然コストは高くなる(左上の図)。しかし、従来型では CO₂ は捨てていたのがバイオメタンあたりで換算すると十分同じコストになって来る(左下の図)。

温室効果ガス排出量についても、BBUは電力消費するので、現在の状況では通常の高品質化に較べ少し不利な状態であるが、電力のカーボンニュートラルが高まれば従来型より有利になってくる。



今後の課題

2方式にはそれぞれの課題がある。やはり、発酵阻害とか転換率の上昇が課題であり、どんな基質、どんな微生物叢が向いているのか?最適な温度や有機物負荷はどうか?水素の物質移動はどうなのか、*in situ*と*ex situ*を組み合わせた方式も考えられるし、2槽方式といわれる、酸発酵とメタン発酵も考えられるが、そういったシステム構成については、まだまだ研究が少ないという状況である。

*ex situ*の方も欧州では確立されているようだがあまり情報がない。日本独自のプラントエンジニアリング・制御技術は確立すべきであって、転換速度の上昇が開発課題になるだろうと思う。

最後に

バイオガス利用の余地はあり、ガス精製の省力化も一つのポイントだと思う。

柴田さんからの引用ですが、Power to GasがEUで注目される理由は、①意欲的なCO₂削減目標、②再生可能エネルギーの大量導入の必要性、③バイオマス等の安定型再生可能エネルギーだけでは無理、④風力・太陽光発電に依存せざるを得ない、⑤天然ガスインフラが全国規模で充実していることであり、こういった環境が日本でも整ってくるとPower to Gasが日本でも注目されるようになる。

脱炭素だけが注目されているが、下水汚泥のメタン発酵は、廃棄物処理方策の一面としても考えるべきであり、残渣の有効利用も重要になって来る。特に残渣を貯留すると残渣からもメタンが放散されて、そこからも温室効果ガスがどんどん出ているということになるので、残渣の管理・有効利用も課題として考えていかねばならないと思っている。

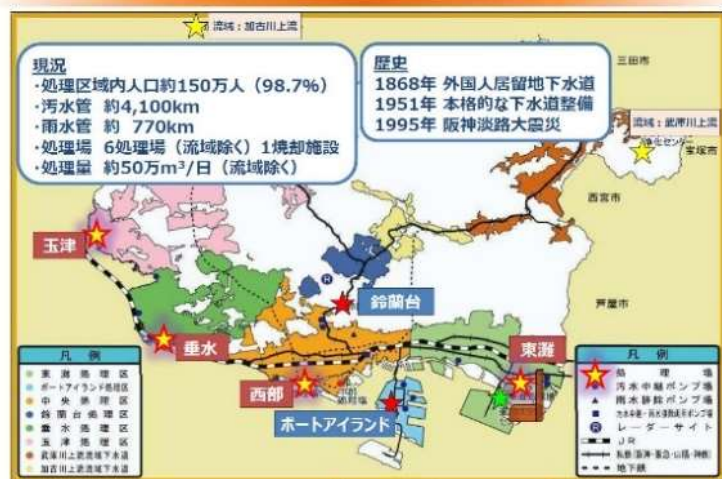
神戸市におけるバイオマス活用事業の展開

神戸市建設局下水道部水質計画担当課長 児玉かんな

【神戸市の下水道】

神戸市は 1868 年に外国人居留地における下水道整備に着手した。その後 1951 年に本格的な整備

神戸市の下水道



に着手して現在に至っている。1995 年には阪神・淡路大震災で下水道施設は甚大な被害を受けた。令和 3 年現在、市の人口は約 150 万人、人口普及率は 98.7%、約 50 万トン/日（流域処理場分を除く）の下水を玉津、垂水、西部、鈴蘭台、ポートアイランド、東灘の 6 処理場で処理している。この内、汚泥処理施設を持たない鈴蘭台とポートアイランドの汚泥は、他の処理場において処理されている。

【資源活用状況】

50 万トン/日の下水を生物処理した結果、約 1 万トン/日の汚泥が発生する。これを濃縮・消化すると約 4 万 m³/日の消化ガス(60%がメタン)が得られる。消化汚泥は脱水・焼却され、最終生産物の焼却灰が得られる。

処理水、消化ガス、MAP(リン酸マグネシウムアンモニウム)として回収するリン、焼却で得られる灰と副産物の廃熱、これらをすべて有効利用している。さらに、間伐材や食品廃棄物を東灘処理場の消化タンクに受け入れることによって、消化ガス量の増大を図っている。

本日は、【消化ガスからこうべバイオガスへ】、【こうべバイオガスの活用】、【KOBE グリーン・スイーツプロジェクト】、【アナモックス処理技術の実用化調査】、【KOBE ハーベストプロジェクト】の順に、神戸バイオマス活用事業を中心に説明する。

神戸市の下水道資源活用状況



【消化ガスからこうべバイオガスへ】

高圧水吸収法を用いて消化ガスを精製し、メタン濃度を 97%以上にまで高めて、「こうべバイオガス」の名で有効利用している。この方法は、消化ガス中のメタン・硫化水素・二酸化炭素の水への溶解度の差が圧力を高くするにつれ広がることを利用して、高圧力下で水と消化ガスを接触させることによって、硫化水素と二酸化炭素を効率的に水に溶解させる。そして水を循環使用しながら二酸化炭素が大部分を占める排ガスを排出する。

【こうべバイオガスの活用】

汚泥処理を行っている各処理場の利用法と開始時期は以下のとおりである。神戸で発生するバイオガスは全量がこうべバイオガスとして利用されている。

東灘処理場： 自動車燃料(2008 年 4 月～)、都市ガス化(2010 年 10 月～)

垂水処理場： バイオガス発電(2011 年 6 月～)、FIT 制度適用(2014 年 3 月～)

西部処理場： バイオガス発電(2016 年 3 月～)

玉津処理場： バイオガス発電(2018 年 4 月～)

東灘処理場では、2004 年 11 月に実証実験が成功を修め、2008 年 4 月から本格的な供用を開始している。この事業は全国的に注目され皇室の御視察もあった。東灘では、都市ガスのガス管に直接こうべバイオガスを注入する「都市ガス導管注入」も実施してきた。(なお、注入は 2022 年 3 月で終了予定) バイオガスと都市ガスには少し成分の違いがあるため、バイオガスの不純物を除去するとともに熱量調整のためのプロパンガスを一部添加して、都市ガスと同様の成分として一般家庭に供給している。

こうべバイオガスの活用：東灘処理場

BE KOBE



本日のテーマである二酸化炭素削減については、こうべバイオガステーションにおいて、2020 年度実績として削減量 320 トン/年(受給車両 5,700 台/年でピーク時から減少傾向)、都市ガス導管注入については 1,600 トン/年となっている。

続いて垂水処理場の事例で名称は「こうべ W エコ発電プロジェクト」、2014 年 3 月に供用開始した。エナジーバンクジャパン(株)(略称 EBJ)との共同事業である。神戸市が EBJ に消化ガスを提供する一方で、EBJ が設置したバイオガス発電設備(350kW)および太陽光発電(2,000kW)で得た電力を FIT 制度により電力会社に売却、EBJ は売電量に応じた収入およびバイオガス発電で発生する熱を神戸市に提供するというものである。

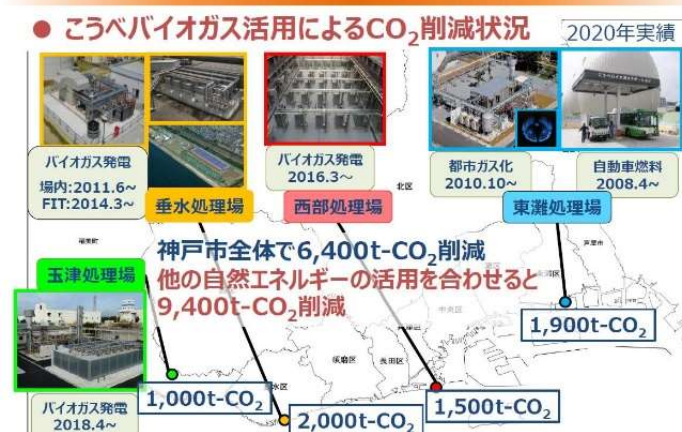
2020 年度実績として、年間発電量はバイオガス発電による 5,996 千 kWh、太陽光発電による 2,929 千 kWh で合計 8,925 kWh、二酸化炭素削減量は合計 3,000 トンであった。

最後に最も新しい玉津処理場である。ここでは、神戸市が(株)OGCTS・(株)神鋼環境ソリューション(企業体)にこうべバイオガスを供給(企業体は対価を支払う)、企業体は消化ガス発電を行って電力会社に FIT 制度を適用して売電する一方で、消化ガス発電で発生する排熱を市に供給する。二酸化炭素削減量は 2020 年度実績で 1,050 トンであった。

神戸市全体で消化ガスの有効利用状況を見ると、2007 年度には発電の 3%を含む有効利用が 49%

CO₂削減状況

BE KOBE



であったのに対して、2020 年度には発電に 59%、新たに導管注入に 11%と利用されており、場内利用なども含めて有効利用率は 86%と大きな伸びを示している。

本日のテーマである二酸化炭素の削減状況を見ると、4 処理場のバイオガス発電によって 6,400 トン/年が削減されており、これに他の自然エネルギー活用を加えれば、9,400 トン/年という大きな削減量となっている。

【KOBE グリーン・スイーツプロジェクト】

続いて、KOBE グリーン・スイーツプロジェクト(国交省 B-DASH プロジェクトに採択)について説明する。これは下水汚泥との混合消化により適していると考えられる、未だ利用されていない外部バイオマスを追加してバイオガスを増量しようとする試みである。従って、外部バイオマスなら何でも良いというわけではなく、グリーン系として木質系バイオマスである剪定枝や間伐材、スイーツ(食品系)バイオマスとして日本酒(白鶴)、プリン(こうべプリン)製造過程における廃棄物、それにデパート地下で販売される惣菜製造(ROCK FIELD)の廃棄物などが選定され、東灘処理場の消化タンクの一つに投入される。実証実験は 2012 年 2 月から 2021 年 3 月までの 9 年余りにわたって実施され、いったん終了した。

2020 年度実績としては、バイオマス受入れ量は 371 トン、それによって増加したバイオガス量は 54,000m³であった。東灘処理場周辺に位置する 3 工場で発生するバイオマスであり、まさに地域のバイオマスということが分かる。現在はこれからの事業化を検討している段階である。ちなみに、混合消化で発生する消化ガスの量は、下水汚泥単独で発生する消化ガス量と地域バイオマス単独で発生する消化ガス量の合計よりも多いと考えられ、これを混合消化のシナジー効果と呼んでいる。(第 56 回下水道研究発表会で講師が報告) なお海外では混合消化のシナジー効果についていくつかの報告があり、異種のバイオマスを混合することで C/N 比が改善されて消化率が向上するのではないか、と言われている。

【アナモックス処理技術の実用化調査】

次に、B-DASH プロジェクト（FS 調査）として 2017 年に採択されたアナモックス処理技術について説明する。この技術は、アナモックス細菌を用いた省エネ型高度処理である。このプロセスは大きく A ステージと B ステージに分かれている。

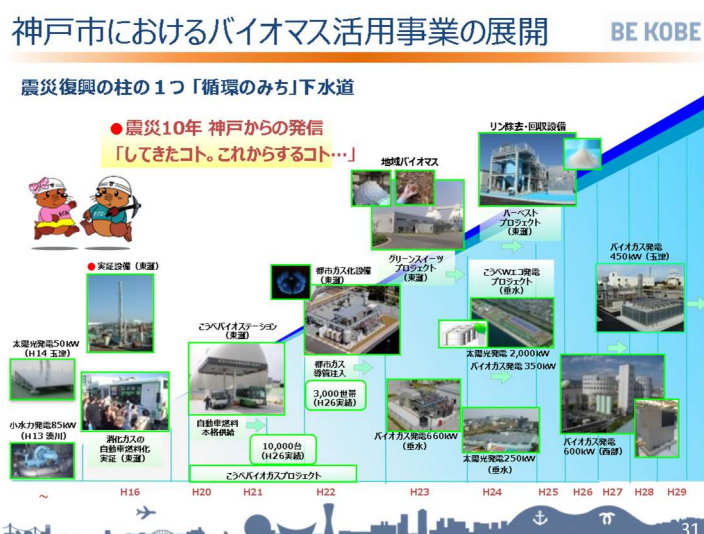
A ステージ：高負荷曝気槽→中間沈殿池で構成される。曝気槽では、溶解性有機物を生物分解するのではなく微生物に吸着させることによって除去する。そして有機物リッチな最初沈殿池汚泥を引き抜くことができるので、汚泥消化の段階でより多量のバイオガスが得られる。B ステージでは、有機物がある程度減少しているが、栄養源としての有機物を必要としないアナモックス細菌によって窒素除去を行うため、有機物不足になるわけではない。また硝化・脱窒プロセスにおいても、完全硝化→脱窒ではなく一部を亜硝酸性窒素の段階で反応を止めるため、完全硝化のための酸素は必要ではなく従って電力消費も少ない。こうしてアナモックス細菌を用いた省エネ型の窒素除去が可能になる。アナモックス細菌は汚泥処理の返流水を用いて培養し、それを B ステージ反応槽の入り口に移送する。

【KOBE ハーベストプロジェクト】

最後に、最も進展している「KOBE ハーベストプロジェクト」について説明する。リンは三大栄養素の一つで、現在の埋蔵量が 180 億トンだが 100 年後には枯渇するといわれている。日本は毎年 55 万トンを入力しており、その一部が下水道に流入していることから都市リン鉱山とも呼ばれている。一方、下水処理場にとってリンは困りもので、析出したリンが消化タンク上部や配管内などに付着して維持管理を困難にしている。このため、維持管理を容易にすることと資源利用の二つの観点から、消化汚泥からリンを MAP(リン酸マグネシウムアンモニウム)の形で除去し、野菜用など汎用性の高いこうべハーベスト(MAP20%)と水稻用のこうべハーベスト(MAP15%)の 2 種類の肥料原料としている。

20%の方を施肥して栽培したスイートコーンについては市民を対象とした収穫体験を実施、一方15%の方を肥料として栽培した「きぬむすめ」を食育として学校給食に使っているほか、山田錦を使った日本酒「環和(かんな)」も開発されている。

神戸市は平成7年1月17日に大震災を経験している。神戸市は震災復興の柱の一つとして「循環のみち下水道」を挙げている中で、平成16年からは震災から10年にわたる多くの支援に応える意味で、資源利用に関するさまざまな実証実験を行ってきた。その施設も老朽化を迎え始めているため、新たな取り組みを始めようとしているところである。



総合討論

コーディネータ

21 世紀水倶楽部 佐藤和明氏

パネラー

日本エネルギー経済研究所 柴田善朗氏

京都大学大学院工学研究科 大下和徹氏

神戸市建設局下水道部 児玉かんな氏

佐藤：総合討論の前半は本研究集会の企画に携わったコーディネータならびに会場参加の SKG 部会員からの質疑を優先し、後半にオンライン参加者の皆様からの質疑をいただきます。

講演の中で再生可能エネルギーの余剰分の利用が重要であることが話されましたが、余剰分の再生エネルギーを水の電気分解に利用していく方法についてまずお聞きします。

柴田：余剰再生エネルギーを全て水素の発生に使えるかは別の問題で、経済性の問題がありますし、蓄電池、電気自動車の方に使われると思います。短期的には、蓄電池、電気自動車に、長期的には水素の発生に使われると思います。

佐藤：余剰再生エネルギー起源の水素を効率的に使っていくポイント、水の電気分解において電力エネルギーがそっくり水素エネルギーに変換されるのかという理解でよろしいか、教えて下さい。

柴田：余剰再生エネルギーを水素の発生に使い、水素から再び電力を得るのは効率的でなく、50%程度となるのであまり得策ではありません。大下先生や児玉先生のプレゼンにあったように、熱利用として使う方が、目指すべき方向性と思います。

佐藤：水素はメタンに変換して利用するのが効率的だと思います。その場合、化石燃料由来でない二酸化炭素を使いメタンを生成させると、いわゆるカーボンニュートラルメタンとして利用することができます。下水の消化ガスは、メタン利用だけでなく二酸化炭素利用もできるので、消化ガス利用の便益は非常に高いと再認識できるのではと思いました。大下先生のお話で、水素のメタネーションが下水道の現場で実施できるのかどうかということで、これに関する技術開発の現況また関係する二相消化法の適用の可能性が紹介されました。

大下：カーボンニュートラルメタンに関連するシステムが、下水処理場に導入されていく可能性についての質問かと思います。今ヨーロッパでもまだ実証レベルで、パイロットプラントレベルの状況であるが、日本はそこまでも至っていない。まずはヨーロッパの状況に持っていくことが重要です。そのためには大学の研究だけでは駄目で、民間とタイアップする、B-DASH、そういったところで実績を積んでいくことが重要だと思います。どのような形であるかですが、やはり下水処理場の周りに太陽光パネルが敷き詰めてあり、あるいは風力発電所が動いていて、そういった再生可能エネルギーで下水処理場が動いている状態で、省エネを徹底的に行い余剰電力が発生する。将来そんな形になると思っています。最後に 2 相式ですが、今やっている研究ですと色々な制約が出てくるのがわかってきました。水素を入れすぎてもいけないし、そういったプロセスを実験的に実証しつつ進めていく

必要があると思います。

佐藤：こうべバイオガスでは、二酸化炭素を分離してメタンの利用をしている話がありました。通常ガスエンジンで発電するときには消化ガスをそのまま使うのが一般的だと思いますが。

児玉：こうべバイオガスの活用を一番初めに始めたのが自動車燃料ということで、それだとシロキサンを取るだけだと自動車燃料には使えない、メタン 97%まで高度に精製したものを供給するところからスタートしています。その後バイオガス発電の方にも活用していくのですが、同様にメタン濃度を高めたものを活用しています。カロリーも高く効率も上がるということでやっております。

佐藤：そういうプロセスを前提としますと、メタンと二酸化炭素が分離される過程でその二酸化炭素も、結構純度の高いガスとして取れる、そういう理解でよろしいでしょうか。

児玉：そうですね。これまで二酸化炭素の方は利用しようとしていなくて、臭気とかを取ってそのまま大気開放しているところですけども、何か利用できればいいなと思っています。

佐藤：実は我が国の下水道からは、消化ガスがだいたい年間 3 億 m^3 生成しますから、メタン 60%で二酸化炭素 40%ですと、二酸化炭素も 1 億 2000 万 m^3 ぐらい出ますが、下水道から出るかなり質の良い二酸化炭素は、日本全体の二酸化炭素の使い勝手からいってどうでしょうか。

柴田：そんな高濃度の二酸化炭素が大気放出される、それを使わない手はないと思いますので、そこでまたメタネーションして、全国で 1 億ノルマル m^3 のメタンができますね。今しかし、日本全体の都市ガスの消費量は、メタン換算ですがだいたい 350、360 億ノルマル m^3 のレベルで、2 桁違う。ただ、こうやって地域で使っていくのは重要なことで、高純度の二酸化炭素があるので、無駄にできないと思っております。

佐藤：ここで会場から質問を受けたいと思います。副理事長の昆さんよろしく願いいたします。

昆：日本で 2050 年までにゼロということで、あと 30 年弱ですね。かなりの技術革新とか社会を変えていかないと達成できないと思います。そういう中で、バイオマスの利用について、ヨーロッパ特にドイツに比べて日本が非常に遅れていること、この 30 年ぐらい、こんなに遅れてしまった原因を把握しないと、あと 30 年で達成するのがかなり難しいと思います、この辺の現状の問題点を教えてください。

大下：結構難しい質問と思いますが、資料の 60 ページの表を見ての質問だと思います。まず一つはですね、ヨーロッパのバイオガス、これを牽引したのがドイツです。これは圧倒的な量でございまして、その中でもエネルギー作物ですね、トウモロコシあるいは小麦、このメタン発酵と、売電システムが築き上げられて、それが発展した経緯だと思います。それで、農家も作物を刈って余った作物でメタン発酵を自前でやって、売れたら売電で収入が入る、残渣を畑にまくと、そういったのがドイツで発展してきたと、下水汚泥に関してもおそらく同じでないかもしれませんが、牽引されていったと思います。日本がこれからどうやっていくかですが、日本のバイオガスを引っ張るのは、下水道だと思っております。歴史もございまして、下水処理場での導入も、着実にデータは上がっていますので、他の分野の高い刺激になるなと思います。経済的なインセンティブ、あとは法制度整備、もう少しやりやすいやり方があるかもしれません。

佐藤：下水道が中心だと大下先生から言っていただきありがとうございます。日本は、現状では下水道の分野でもなかなかドイツまで届かないですが、ドイツは、インホフタンクから分離消化槽、さらに卵

形消化槽と、消化技術を引っ張ってきた歴史があると思います。日本は、それに対して焼却が先に進んだことが、メタンガス利用の差になっていると感じています。それでは、栗原理事長お願いいたします。

栗原：下水道が消化を持っていることも、脱炭素化を考える時、さらに地域のバイオマスをどう受け入れていくか、非常に大切と感じています。神戸市さんが地域のバイオマスを受け入れて、間伐材までも含めて受け入れてきた。今日お話しなかったですが、除害施設の基準を神戸市さんは、一般的には 600 mg/L で規制しているのを 2000 mg/L まで受け入れている訳で、脱炭素の大きな受け皿になっていると思います。液状固形も含めて、神戸市さんが地域のバイオマスをどのように受け入れていくか。技術的、あるいは制度的な課題、また余剰電力を使い水素を作り良質なメタンを取り出していこうという新しい技術に対しての感想をお聞かせください。

児玉：下水道に排除する BOD を 2000mg/L、SS も 2000mg/L としております。600 mg/L とされている都市が多いですが、200mg/L を超える部分については、実は水質使用料金ということで、付加料金をいただいています。その分、もしもメタンが増えたらもらたらいけないと思ってしまいましたけど、一応生物処理での負担が増えるということで、いただいております。地域のバイオマスの活用につきましては、グリーン・スイーツプロジェクトの中で、地元の企業さんにご協力いただいております。一応昨年度末で地域バイオマスの受け入れを、停止してございまして、それに施設の老朽化とかもあり過渡期になっております。実は今、東灘処理場の汚泥処理施設につきましては、民間企業さんに技術提案を募集しているところです。その中に地域バイオマスの活用も入っております。今までご協力いただいた企業も、新たな企業も今後、提案いただく方向です。ただ、今までは研究であつたけれど、今後は民間と一緒に事業として、廃棄物処理法の適用がされることになります。バイオマスを受け入れた場合、東灘処理場の脱水機が産業廃棄物処理施設となってしまうのと、その後のスラッジセンターでの焼却も廃棄物処理法の適用が予測され、関係部局と連携、調整しなければと思っています。余剰再生エネルギー起源の水素を 80%の効率でメタンにできるという新技術は素晴らしいと思いますが、今日初めて聞いたことで今後勉強していきたいと思っています。

佐藤：はいどうもありがとうございました。このへんでオンライン参加者からの質問に移ります。

参加者 Q1：神戸市では、いろんな産業廃棄物的なものを受け入れるようですが、産業廃棄物の指定を受けると、灰まで産業廃棄物になる、法律的な制度の問題だから、規制を解除していく流れじゃないかと思っています。一方で非常に難しい問題が出てくるでしょうね。有効資源だという話になればいいのかもしれないけど、その辺のご感想を聞かせてもらいたい。もう一つ大下先生に伺いたいけど、シロキサンの問題ですね、これはシャンプーとかリンスに入っているけど、シロキサンの元になる化合物を使わないリンスとか洗剤にすべきだという社会運動をしたらどうか、ドイツではどの様になっているのか、ご存知であれば教えていただきたい。

児玉：焼却灰は今でも産業廃棄物でございまして、産業廃棄物として神戸市はフェニックスにて埋め立て処分をしております。また下水、下水汚泥も元々産業廃棄物ですけれど、下水道法で規制を受けているので、脱水機とか焼却施設については産業廃棄物処理施設として届けなくても良いとなっています。そこが、産業廃棄物を受け入れ施設となると、産業廃棄物処理施設として届け出登録することになります。産業廃棄物の所管である環境局と協議しながら進めています。民間企業からの技術提案を今募集し

ているところでございます。バイオガスへの材料として、有用な資源として買い取る、材料として混合処理するという手もあると思います。その場合は、廃掃法の適用外となるのではないかと思います。

大下：シロキサンは、基本的には家庭で使われるシャンプー、特にリンスだと思います。あと化粧品、洗顔クリームとかも原因物質で、基本な除去方法は日本だと活性炭での除去であり、ヨーロッパでも、ドイツ等々では同じような技術が使われている状況です。ガスエンジンにシロキサン由来のスケールが溜まったトラブルを経験して、活性炭を導入した経緯があります。シロキサンの入っていないような製品を作っていくべきで、それはリンの話と一緒にして、やはり基本的に上流側への訴えかけが、基本的な観点だと思います。ただ、そのような動きを起こすには、ガスエンジンの不具合というのは、インパクトが低すぎるように思います。シロキサン自体に毒性があれば、もっと強く業界側に主張ができるが、カナダ、あるいは UK で、代表的なシロキサンの政府によるリスクアセスメントがされ、明らかに毒性があるとは認められないとの判断であるので、現段階では、なかなか厳しい状況ではないかと思います。

参加者 Q2：柴田先生にお伺いします。日本ではバイオマスでガス発電をしているところは下水道が一番だと思いますが、最近のエネ庁さんの政策、経済界の動きも見ると、クリーンエナジーというか、ゼロカーボンのエネルギーを求める声が非常に強いんですね。従って、市場で取引されている価格も、カーボンフリーのエネルギーの価格が高いと思います。下水道でガス発電をして作った電力は、下水処理場で使うことが多いですが、補助金の関係もあり仕方ない面もあるが、可能であれば、例えば神戸市さんように、むしろ民間で発電して、市場で高く売ってもらうと、その収益がちゃんと下水道に入る仕組みが、いいかなと思います。要するに経済メカニズムの中で、下水道管理者ができるだけ効率的にガス発電をしようというインセンティブを働かせる仕組みに持っていくと、例えば一つ一つの自治体が、ガス発電の電力を市場で売るよりも、いくつかの自治体が連合を組んで価格取引をして売するという話ですね。

柴田：おっしゃることは確かだと思いますけど、市場に売るにしろ、今 FIT で購入される訳ですが、逆の方向ですよね。やっぱり役所の議論というのは、太陽光発電にしろ、以前 2012 年では、40 円ぐらいで売買できた。これが国民負担となって、今は 1kWh あたり全国民に 3 円ぐらいの負担になっている。ちゃんとした経済的インセンティブを与えるっていうのが、逆の方の流れとなっていると私は感じています。ただ、それは太陽光とか風力とかに対してであり、こういったバイオガスとかバイオマスの方も、まず市場がちゃんと拡大してない中で洋上風力もそうですけども、下支えっていうのは必要かと思います。今ご指摘いただいたアグリゲートをして、なるべくバーゲニングパワーを持つのも一つの考え方です。フランスでは、FIT のガス版があるんですね。ガスをガス会社に使ってもらうこともあるのかなど。今神戸市さんの例でも大阪ガスさんだと思いますけども、その制度がまだなく、今はあくまでエネルギー供給構造高度化法の枠組みでしたか、何%入れなさいよとか、すごく微々たるものですけども、コストダウンして市場を開拓して自立化していくっていう流れは必要と思っております。

佐藤：今少し話が出ています神戸市さんの都市ガスとしての契約期限がそろそろ終わるとか、発表にもありましたが、その後どのような展開になるのでしょうか。

児玉：技術提案待ち状態でございます。

佐藤：予定時間が近づいていますが、燃料電池について何故下水道での採用例が少ないのか、柴田さま

からコメントをいただければ幸いです。

柴田：燃料電池、家庭用の小さいやつですね。今、30万とか40万円で家庭に入っていますね。100kW ぐらいの富士電機さんのリン酸型とか MCFC とかは、なぜ日本で遅れているか。逆にアメリカとか韓国では、家庭用は進んでなくて 100kW 級は進んでいます。ここはやっぱり政策ですね、自家発電が必要だというのがアメリカの事情で、不安定だから自分で発電所を持ちましょうと、そこに対する優遇措置があります。韓国の場合は 100kW 級の燃料電池に対する産業振興政策があったからですね、巨大な燃料電池パークがあります。日本は逆にエネファームとかいう小型のやつで成功しています。どっちがいいか悪いかじゃなくて、比重を置くのが違ったということです。小型の燃料電池はいい成功例ですね。フィールドテストをたくさんして、いろんな部材とか技術をメーカーさんで共有化してコストダウンを図り、市場投入させた非常にいい例ですね。下水処理場に入ってくる 200kW、300kW 級の燃料電池に今後繋がっていけばいいと思っています。

佐藤：ありがとうございます。最後に講師の皆様一言ずつ感想等いただけたらと思います。

大下：貴重な発表の機会をいただきありがとうございます。経済的な話、現場の話をこれからの研究に繋げていけたらなと思っています。2050 年のカーボンニュートラルというのが避けられないと思います。ただ 29 年後となりますので、その時代で活躍するのは、今の子供たちだろうと思ひまして、やはり大学としてもしっかりした研究者を育てていき、何かを作り出すことは非常に大事ななことかと思ひますので、これからもよろしくお願いいたします。

柴田：私も今日異分野で勉強させていただきましたけど、こういう交流は必要だと思います。というのは水電解とか水素の話をしましたけれど、電力系統の人、化学の人、両方をわかってる人がいないとうまくいかない部分もあるんですね。全然違う分野でいろいろ話したりすることは非常に重要だと思いますので、また今後ともよろしくお願いいたします。

児玉：本当に勉強になったと思うのがあの Power to Gas ですね。神戸市も、メタンをそのまま使っているのがエコステとガス導管注入です。エコステにつきましては天然ガス自動車がなかなか増えないところがあり、ガス導管につきましてはもうすぐ実証が終わる、元々 100% 補助ですので、実証が終わってしまうとなかなか経営として成り立たないところがあります。発電や Gas to Power だとやっぱり効率 3 割ってというのがネックです。どうしても熱って余ってしまいます。メタンをそのまんま使う需要が今後あったらいいなと強く思います。

佐藤：本日の研究集会では Power to Gas という新しい取り組みも紹介いただきました。ゼロカーボン社会実現の下水道の寄与のヒントになればよいと思います。皆さま有難うございました。

